

ศักราชของผองแก้วในการเป็นปอชโฆลาน



นาย สุภนนท์ บรรจงเกลี้ยง

## สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

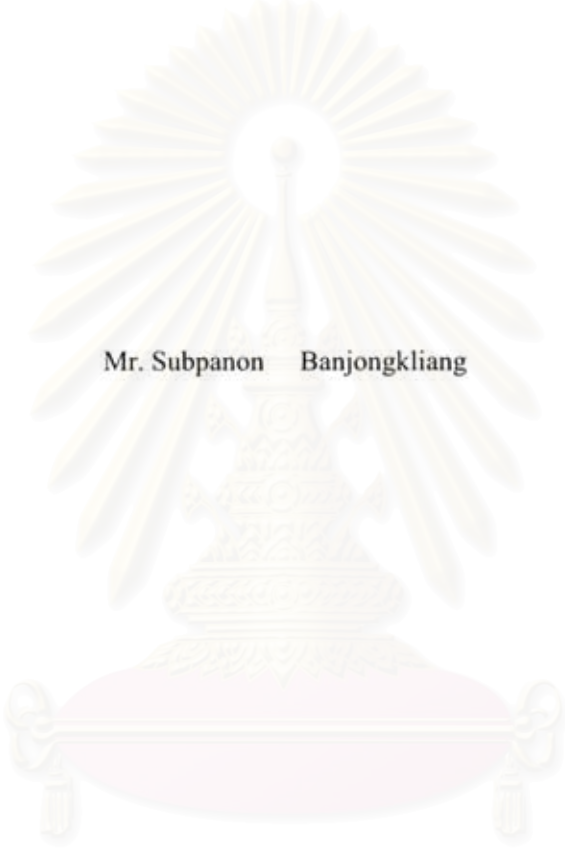
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา ๒๕๔๕

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

POTENTIAL OF GLASS POWDER AS POZZOLAN



Mr. Subpanon Banjongkliang

สถาบันวิทยบริการ  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

**490825**


หัวข้อวิทยานิพนธ์	ศักยภาพของผงแก้วในการเป็นปอชโซลาน
โดย	นาย ศุภนนท์ บรรจงเกลี้ยง
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม


---

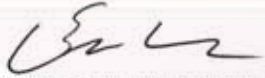
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


  
..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีรพงศ์ เสนจันทร์ฉวีไชย)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศุภนนท์ บรรจงเกลี้ยง : ศักยภาพของผงแก้วในการเป็นปอซโซลาน. (POTENTIAL OF GLASS POWDER AS POZZOLAN) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.บุญไชย สถิตมั่นในธรรม, ๑๕๖ หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้วซึ่งเป็นวัสดุสัณฐาน โดยเน้นศึกษาปริมาณรีแอกทีฟซิลิกา จากนั้นศึกษาผลของผงแก้วต่อการพัฒนากำลังอัดและปริมาตรโพรงในมอร์ตาร์รวมทั้งความทนทานของคอนกรีต การวิจัยใช้ผงแก้วที่ได้จากการบดเศษขวดแก้วใสจนมีขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอนในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ ๕๕ โดยน้ำหนัก ด้วยขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงแก้วเพียง ๐.๑๒ ไมครอน มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจากเทคนิค BET สูงกว่าปูนซีเมนต์เป็น ๑.๔๒ ตารางเมตรต่อกรัม ประกอบกับมีปริมาณรีแอกทีฟซิลิการ้อยละ ๔๐ ของน้ำหนักทั้งหมด สูงกว่าเถ้าลอยแม่เมาะซึ่งมีร้อยละ ๓๕ ของน้ำหนักทั้งหมด จึงมีแนวโน้มที่ผงแก้วจะให้ศักยภาพในการเป็นปอซโซลานที่ดีกว่าเถ้าลอยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการพัฒนากำลังอัดในระยะหลัง ผงแก้วสามารถจัดเป็นปอซโซลานเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C618 ได้ และปฏิกิริยาปอซโซลานของผงแก้วซึ่งช่วยลดปริมาตรรวมทั้งความต่อเนื่องของโพรงในเฟสตั้งผลดีต่อการพัฒนากำลังอัด และช่วยเพิ่มความทนทาน พบว่าผงแก้วช่วยพัฒนากำลังอัดทั้งในระยะต้นและระยะหลัง โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้ (w/b) ที่ w/b เป็น ๐.๕ ผงแก้วจะช่วยพัฒนากำลังอัดตั้งแต่ระยะแรกโดยให้กำลังอัดเทียบเท่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ประมาณ ๗ วันและให้ดัชนีกำลังอัดสูงถึงประมาณร้อยละ ๑๓๐ ที่ ๕๖ วัน อีกทั้งผงแก้วช่วยเพิ่มความสามารถในทางด้านทนทานการซึมผ่านของคอนกรีต โดยลดประจุคลอไรด์ที่ผ่านจาก ๕,๑๖๕ คูลอมบ์ที่ ๗ วัน จนเหลือเพียง ๑๕๐ คูลอมบ์ที่ ๕๖ วัน ในขณะที่คอนกรีตไม่ผสมผงแก้วมีค่าประจุผ่านลดลงเล็กน้อยจาก ๔,๕๖๐ คูลอมบ์ ที่ ๗ วัน เหลือ ๔,๑๔๕ คูลอมบ์ที่ ๕๖ วัน


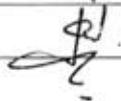
ภาควิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมโยธา \_\_\_\_\_ ลายมือชื่อนิสิต \_\_\_\_\_  
 สาขาวิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมโยธา \_\_\_\_\_ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_  
 ปีการศึกษา \_\_\_\_\_ ๒๕๔๕ \_\_\_\_\_ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม \_\_\_\_\_

## 4670528221 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: GLASS POWDER / POZZOLAN / REACTIVE SILICA / COMPRESSIVE STRENGTH / PORE VOLUME / DURABILITY

SUBPANON BANJONGKLIANG : POTENTIAL OF GLASS POWDER AS POZZOLAN. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. BOONCHAI STITMANNAITHUM, D.Eng., 156 pp.

In this research, properties of amorphous glass powder (GP), especially amount of reactive silica, its strength development and pore volume of mortars and durability in concretes were studied. The GP were obtained by grounding clear glass bottle cullet in ball mill until at least 95 % by weight of its particle size is smaller than 38 microns. It has 0.12 microns average particle diameter and 1.42 m<sup>2</sup>/g BET specific surface area. The GP has more reactive silica (40% by weight) than Mae Moe fly ash (35% by weight) , which might introduce more pozzolanic character and especially gave more later strength. It can be treated as a pozzolanic material according to ASTM C618. Pozzolanic reaction of GP which could reduce volume of continuous pores in paste improved both strength and durability. GP could improve both early and later strength. Its pozzolanic reaction rate was depended on w/b ratio. At w/b=0.5, GP could develop strength since early age. It gave slightly higher strength than control mortar at 7 days and gave strength activity indexes about 130% at 91 days. The GP could reduce permeability in concrete. It reduced passed charge greatly from 5,165 coulombs at 7 days to 750 coulombs at 91 days, while charge passed through control concrete was reduced slightly from 4,960 coulombs at 7 days to 4,745 coulombs at 91 days.

Department Civil Engineering Student's signature   
 Field of study Civil Engineering Advisor's signature   
 Academic year 2006 Co-advisor's signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

อันดับแรก ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อศักดิ์และคุณแม่ฉวีพร บวรจง เกอียง รวมทั้งบุคคลในครอบครัวของข้าพเจ้าทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนและอบรมสั่งสอนข้าพเจ้ามาอย่างดียิ่ง

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้และคำแนะนำอันมีคุณค่า คอยชี้แนะแนวทางการดำรงชีวิตนักศึกษาในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งได้ตรวจสอบและช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชีรพงศ์ เสนจันทร์ฉัย และรองศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ผู้ที่เป็นแบบอย่างในการศึกษาให้กับข้าพเจ้า และได้กรุณาตรวจสอบรวมถึงให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ จนวิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้เขียนขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดเวลาที่ได้ทำการศึกษาและทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณกำลังใจทั้งใกล้และไกลที่ได้รับเสมอมา จากเพื่อนนักศึกษาที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเพื่อน พี่ น้อง ในห้องทัศนศึกษาปริญญาโททุกท่าน ขอขอบคุณไมตรีที่ได้รับจากใจจริง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ณ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ ๑ บทนำ.....	๑
๑.๑ บทนำ.....	๑
๑.๒ วัตถุประสงค์.....	๒
๑.๓ ขอบเขตงานวิจัย.....	๒
๑.๔ การดำเนินการวิจัย.....	๓
๑.๕ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	๔
บทที่ ๒ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	๕
๒.๑ คุณสมบัติของปอช โซลาน.....	๕
๒.๒ การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตผสมปอช โซลาน.....	๖
๒.๓ ความทนทานและการศึกษาความสามารถในการต้านทานการซึมผ่าน ของคอนกรีตผสมปอช โซลาน.....	๗
๒.๔ การศึกษาโพรงด้วยเทคนิค MIP.....	๘
๒.๕ ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแก้วบรรจุภัณฑ์.....	๑๐
๒.๖ งานวิจัยที่ผ่านมาและวิวัฒนาการของการใช้แก้วในงานคอนกรีต.....	๑๑
๒.๗ ความเป็นไปได้ในการศึกษาการใช้ผงแก้วเป็นปอช โซลานใน ประเทศไทย.....	๑๒

	หน้า
<b>บทที่ ๓ การทดสอบและผลการทดสอบ.....</b>	<b>๒๐</b>
๓.๑ การเตรียมวัสดุ.....	๒๐
๓.๒ การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้ว.....	๒๒
๓.๓ การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์.....	๒๕
๓.๔ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โพรงในมอร์ตาร์.....	๒๕
๓.๕ การทดสอบความคงทนจากความสามารถในการต้านทานการซึมผ่าน ของคลอไรด์ไอออนผ่านคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 1202.....	๒๖
<b>บทที่ ๔ การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....</b>	<b>๓๖</b>
๔.๑ การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและการระบุการเป็นปอซโซลาน ของผงแก้ว.....	๓๖
๔.๒ การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี.....	๓๗
๔.๓ การวิเคราะห์ปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาและเปรียบเทียบศักยภาพในการ เป็นปอซโซลานเบื้องต้นระหว่างผงแก้ว เถ้าลอยแม่เมาะและซิลิกาฟูม โดยพิจารณาร่วมกับความละเอียด.....	๓๗
๔.๔ ผลของผงแก้วต่อการพัฒนากำลังอัด.....	๓๘
๔.๕ การเปลี่ยนแปลงปริมาตร โพรงในมอร์ตาร์เพสต์.....	๔๐
๔.๖ ผลของผงแก้วต่อความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอ ไรด์ไอออนผ่านคอนกรีต.....	๔๑
<b>บทที่ ๕ สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>๔๑</b>
๕.๑ สรุปผลการวิจัย.....	๔๑
๕.๒ ข้อเสนอแนะ.....	๔๘
<b>รายการอ้างอิง.....</b>	<b>๔๙</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>๕๑</b>
ภาคผนวก ก. ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับแก้ว.....	๕๒
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบ.....	๕๔



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
๒.๑	ประเภทของ โพรงและผลที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีต.....	๑๔
๒.๒	ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของแก้วบรรจุภัณฑ์แต่ละสี เถ้าลอย และซิลิกาฟูม.....	๑๕
๒.๓	ออกไซด์ที่ใช้ผสมเพื่อให้สีในแก้ว.....	๑๕
๒.๔	แหล่งวัตถุดิบซึ่งเป็นที่มาขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆในแก้ว.....	๑๖
๓.๑	ขนาดผลของลูกบอลบดที่ใช้.....	๒๗
๓.๒	ขนาดผลของหินและทรายที่ใช้ในการทดสอบ.....	๒๗
๓.๓	สัดส่วนผสมและค่าได้ะการไหลของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดและศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โพรง.....	๒๘
๓.๔	สัดส่วนผสมของคอนกรีต (กก./ คอนกรีต ๑ ลบ.ม.) ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนตามมาตรฐาน ASTM C1202.....	๒๘
๓.๕	องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุโดยเครื่อง XRF.....	๒๙
๓.๖	องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุโดยวิธีทดสอบทางเคมีตามมาตรฐาน BS EN 196-2.....	๒๙
๓.๗	ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์.....	๓๐
๓.๘	ค่าดัชนีกำลังอัดของมอร์ตาร์.....	๓๐
๓.๙	ผลการทดสอบหาปริมาตร โพรงค่อเนื่องภายในมอร์ตาร์ด้วยเทคนิค MIP (๐.๐๐๗) – ๑๕๐ ไมครอน).....	๓๑
๓.๑๐	ผลการทดสอบการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C1202.....	๓๒
๔.๑	คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ.....	๔๒

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
๒.๑	กำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งใช้เถ้าถ่านหิน (เถ้าลอย) จากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยแทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ ๒๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน โดยมีค่าได้ะการไหลอยู่ในช่วง ๑๐๕-๑๑๕ เปอร์เซนต์.....	๑๗
๒.๒	กำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งใช้เถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสานในสัดส่วนต่างๆ.....	๑๗
๒.๓	ลักษณะการเกาะตัวของของเหลวกับผิวสัมผัสของวัสดุเป็นแบบเปียกและแบบไม่เปียก.....	๑๘
๒.๔	ลักษณะการแทรกซึมของของเหลวแต่ละแบบในโพรง.....	๑๘
๒.๕	ดัชนีกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยปอชโซลาน (ซิลิกาฟูม เถ้าลอยหรือผงแก้ว) ร้อยละ ๓๐ โดยปริมาตรของวัสดุปอชโซลาน.....	๑๘
๓.๑	ขนาดคละของทรายผสมทำคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C33.....	๓๓
๓.๒	ขนาดคละของหินผสมทำคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยมีขนาดโตสุดเป็น ๓/๔ นิ้ว.....	๓๓
๓.๓	ผลการกระจายขนาดของอนุภาคผงแก้วและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑.....	๓๔
๓.๔	ผลทดสอบความเป็นผลึก โดยเครื่อง XRD แสดงความเป็นอัมมฐานของผงแก้ว.....	๓๔
๓.๕	ภาพถ่ายรูปร่างอนุภาคของ ก) ปูนซีเมนต์ (๒,๐๐๐ เท่า) และ ข) ผงแก้ว (๑,๕๐๐ เท่า) โดยเครื่อง SEM.....	๓๕
๔.๑	กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๗๒.....	๔๓
๔.๒	กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๕.....	๔๓
๔.๓	ดัชนีกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมผงแก้วที่สัดส่วนแก้วและสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ในช่วงอายุ ๑-๗ วัน.....	๔๔
๔.๔	ดัชนีกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมผงแก้วที่สัดส่วนแก้วและสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ในช่วงอายุ ๑-๕๖ วัน.....	๔๔
๔.๕	ปริมาตรโพรงกะปริดในมอร์ตาร์เฟส (๐.๐๑ - ๑๐ ไมครอน).....	๔๕

รูปที่		หน้า
๔.๖	ปริมาตรโพรงกะปิลาวรีช่วง ๐.๐๒ – ๑๐ ไมครอนกับค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์.....	๔๕
๔.๗	ค่าประจุล่อไรต์ที่สามารถซึมผ่านคอนกรีต (กิโลมบ์).....	๔๖



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ ๑

### บทนำ

#### ๑.๑ บทนำ

ปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ชนิดหนึ่ง ใช้ผสมโดยการแทนที่ซีเมนต์บางส่วนเพื่อช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพสูงขึ้นหรือมีคุณสมบัติที่ต้องการ ทั้งการพัฒนากำลังทั้งในระยะต้นและระยะหลัง รวมถึงความทนทานต่อสภาพแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถช่วยลดความร้อนจากการทำปฏิกิริยากับน้ำ

การใช้ปอซโซลานในประเทศไทยค่อนข้างมีข้อจำกัด ทั้งนี้เพราะได้ล้อยที่ใช้ผสมในงานคอนกรีตนั้นแม้จะมีราคาถูก แต่จะมีการพัฒนากำลังอัดช้าและให้กำลังในระยะต้นต่ำ ส่วนการนำซิลิกาฟูมมาใช้ แม้จะมีการพัฒนากำลังอัดที่เร็วและให้กำลังระยะต้นที่สูงกว่าคอนกรีตปกติ แต่มีราคาที่สูงมากตามไปด้วย ดังนั้นหากมีวัสดุปอซโซลานชนิดใหม่ซึ่งสามารถชดเชยลักษณะดังกล่าวได้ ทั้งการพัฒนากำลังอัด (กำลังระยะต้นสูง) และมีต้นทุนการผลิตซึ่งไม่สูงจะเป็นประโยชน์ต่อการก่อสร้างในประเทศไทยอย่างมาก

ในเบื้องต้นวัสดุจะมีคุณสมบัติเป็นปอซโซลานได้ ต้องมีคุณลักษณะ ๓ ประการด้วยกัน คือ มีปริมาณซิลิกาสูง เป็นวัสดุอสัณฐาน (ไม่เป็นผลึก) และมีความละเอียดสูง (๑) นั่นคือ ปอซโซลานที่คิดว่าจะต้องมีซิลิกาซึ่งอยู่ในรูปที่ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานในปริมาณสูง (รีแอกทีฟซิลิกา) เพื่อให้สามารถเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตจากปฏิกิริยาปอซโซลานได้มาก อีกทั้งหากวัสดุปอซโซลานมีพื้นที่ผิวมาก การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจะง่ายขึ้นและมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็ว

ผงแก้วมีศักยภาพซึ่งสามารถเป็นปอซโซลานดังกล่าวได้ คือ มีปริมาณซิลิกาสูง โดยเป็นส่วนประกอบที่สำคัญเพื่อให้โครงสร้างของแก้วแข็งแรง เป็นวัสดุอสัณฐานเนื่องมาจากกระบวนการผลิตจะทำให้แก้วเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วหลังการหลอม อีกทั้งแก้วเป็นวัสดุที่หาง่าย เพราะมีการใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวันและมีการรวบรวมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เพียงขั้นตอนการบดเพื่อให้มีความละเอียดมากพอที่จะทำปฏิกิริยาเท่านั้น พบว่าหากบดแก้วจนละเอียดเป็นผงเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ ๔๐๐ (๑๘ ไมครอน) ผงแก้วจะมีคุณสมบัติเป็นปอซโซลานได้และเมื่อเพิ่มความละเอียดความเป็นปอซโซลานจะยิ่งมากขึ้น (๑) ด้วยลักษณะของผงแก้วที่น่าสนใจและสำคัญที่สุด คือ มีซิลิกาในรูปอสัณฐานในปริมาณที่สูง อยู่ในช่วงร้อยละ ๖๐ – ๗๐ ของน้ำหนักทั้งหมด หากซิลิกานั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน (รีแอกทีฟซิลิกา) ได้มาก ผงแก้วจะสามารถช่วยพัฒนากำลังอัดได้ดีทั้งในระยะต้นและระยะหลังเหมือนอย่างซิลิกาฟูม แต่เนื่องจากการหาปริมาณซิลิกาที่จะสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้จริงไม่สามารถกระทำได้โดยตรง จึงมีการประยุกต์ใช้ข้อกำหนดของได้ล้อย ตามมาตรฐาน BS EN 450-1 (๒) และวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ

ซีเมนต์ ตามมาตรฐาน BS EN 196-2 (๓) เพื่อทำการเทียบหาปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาจากผลต่างระหว่างปริมาณซิลิกาทั้งหมด (total silica) กับปริมาณซิลิกาในกากที่ไม่สามารถละลายได้ในกรดและด่าง (insoluble residue) ดังที่ได้มีงานวิจัยหลายฉบับใช้วิธีการประยุกต์นี้เพื่อศึกษาผลของรีแอกทีฟซิลิกาในแง่ลดต่อการพัฒนากำลังและพบว่าปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาที่สูงจะช่วยในการพัฒนากำลังอัดได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกำลังอัดในระยะหลัง (๔, ๕)

ด้วยเหตุนี้จึงเกิดการศึกษาศักยภาพของแก้วใสบดละเอียดจนเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน ในการเป็นปอซโซลาน โดยได้ทำการศึกษาคูสมบัติพื้นฐานของผงแก้วทั้งการระบุงการเป็นปอซโซลานเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C618 คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณรีแอกทีฟซิลิกา ต่อจากนั้นได้ทำการศึกษาผลของการใช้ผงแก้วต่อการช่วยพัฒนากำลังอัดและการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โพรงต่อเนื่องในมอร์ตาร์ รวมทั้งความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านในคอนกรีต

## ๑.๒ วัตถุประสงค์

๑.๒.๑ ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้วทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติการเป็นปอซโซลาน และองค์ประกอบทางเคมี โดยเน้นศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค ความเป็นผลึก และปริมาณรีแอกทีฟซิลิกา

๑.๒.๒ เปรียบเทียบศักยภาพการเป็นปอซโซลานเบื้องต้นระหว่างผงแก้ว เถ้าลอยแม่เมาะ และซิลิกาฟูม จากปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาและความละเอียดของอนุภาค

๑.๒.๓ ศึกษาผลของผงแก้วต่อการพัฒนากำลังอัด

๑.๒.๔ ศึกษาผลของผงแก้วต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โพรงต่อเนื่องในมอร์ตาร์

๑.๒.๕ ศึกษาผลของผงแก้วต่อความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนในคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C1202

## ๑.๓ ขอบเขตงานวิจัย

๑.๓.๑ ผงแก้วในการศึกษาครั้งนี้ได้จากการบดเศษขวดแก้วใส เพราะเป็นแก้วประเภทโซดาไลม์ซึ่งใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ ที่มีปริมาณซิลิกาสูง อีกทั้งมีปริมาณการใช้งานในชีวิตประจำวันสูงที่สุด (แก้วโซดาไลม์แต่ละสี จะมีปริมาณซิลิกาใกล้เคียงกัน และอยู่ในช่วงร้อยละ ๖๐ - ๗๐ ของน้ำหนักทั้งหมด ขึ้นกับวัตถุดิบในแต่ละท้องถิ่น)

๑.๓.๒ ผงแก้วที่ใช้ได้จากการบดเศษแก้ว จนมีขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน (ผ่านตะแกรงเบอร์ ๔๐๐) ในปริมาณมากกว่าร้อยละ ๕๕ ของน้ำหนักทั้งหมด (เนื่องจากมีข้อจำกัดของการบด ทั้งเรื่องช่วงเวลาที่สามารถใช้เครื่องบดและประสิทธิภาพของเครื่องบดทำให้ไม่สามารถบดผงแก้วให้

เล็กกว่า ๓๘ ไมครอน ได้ทั้งหมด อีกทั้งผลการทดสอบเบื้องต้นเทียบเท่ากับมาตรฐาน ASTM C618 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (๑) ยืนยันความเป็นปอชโซลานจากเกณฑ์ความละเอียดดังกล่าว)

๑.๓.๓ ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยผงแก้วไม่เกินร้อยละ ๓๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน

๑.๓.๔ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ ตามมาตรฐาน มอก. ๑๕ เล่ม ๑-๒๕๔๗ หรือ ASTM C150-02

๑.๓.๕ ใช้ทรายแม่น้ำ มีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C778 สำหรับใช้ผสมทำมอร์ตาร์ และมีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 สำหรับใช้ผสมทำคอนกรีต

๑.๓.๖ ใช้หินปูนย่อย มีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยใช้หินขนาดโตสุด ๓/๔ นิ้ว

๑.๓.๗ ระยะเวลาในการทดสอบกำลังอัด การเปลี่ยนแปลงปริมาตร โพรงและความสามารถในการซึมผ่านไม่เกิน ๙๑ วัน

#### ๑.๔ การดำเนินการวิจัย

การศึกษาศักยภาพของผงแก้วในการเป็นปอชโซลานนี้ ใช้วัสดุประสานในการทดสอบเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ ๑ และผงแก้วซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอนในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ ๕๕ ของน้ำหนักทั้งหมด โดยได้ทำการศึกษาคูณสมบัติพื้นฐานของผงแก้วและศึกษาผลของผงแก้วต่อคุณสมบัติด้านกำลังและการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โพรงของมอร์ตาร์ รวมทั้งความทนทานของคอนกรีต

การดำเนินการเพื่อทดสอบ แบ่งเป็น ๕ ส่วน ได้แก่

๑. การเตรียมวัสดุ

๒. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้ว ซึ่งประกอบด้วย

๒.๑ สมบัติทางกายภาพของผงแก้ว ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ การกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ขนาดอนุภาคเฉลี่ย พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) รูปร่างอนุภาคและความเป็นผลึก (Crystallinity)

๒.๒ การหาค่าประกอบทางเคมี

๒.๓ การหาปริมาณรีแอกทีฟซิลิกา

๒.๔ การทดสอบเพื่อระบุการเป็นปอชโซลาน เทียบเท่ากับมาตรฐาน ASTM C618 (ทั้งนี้มาตรฐาน ASTM C618 ใช้เพื่อระบุการเป็นปอชโซลานของเถ้าลอยและวัสดุปอชโซลานจากธรรมชาติเท่านั้น)

๓. การทดสอบกำลังอัดและหาดัชนีกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมผงแก้วในสัดส่วนการแทนที่ซีเมนต์และสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ

๔. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงในมอร์ตาร์ผสมผงแก้วต่างๆ

๕. การทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานต่อสภาพแวดล้อมจากความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของกลอไรด์ไอออนตามมาตรฐาน ASTM C1202 ของคอนกรีตผสมผงแก้วในสัดส่วนการแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๒๐ โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

#### ๑.๕ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

๑.๕.๑ ทราบคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณลักษณะสำคัญ ๓ ประการของการเป็นปอซโซลาน คือ ปริมาตรรีแอกทีฟซิลิกา ความเป็นผลึก และความละเอียดของอนุภาคผงแก้ว

๑.๕.๒ ทราบถึงศักยภาพเบื้องต้นของการใช้ผงแก้วเป็นปอซโซลาน โดยเทียบกับเจ้าลอยแม่เมาะและซิลิกาฟูม จากปัจจัยในด้านปริมาตรรีแอกทีฟซิลิกาและความละเอียดของอนุภาค

๑.๕.๓ ทราบถึงผลของผงแก้วต่อการพัฒนากำลังอัด

๑.๕.๔ ทราบถึงผลของผงแก้วต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงต่อเนื่อง

๑.๕.๕ ทราบถึงผลของผงแก้วต่อความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของกลอไรด์ไอออน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ ๒

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ๒.๑ คุณสมบัติของปอชโซลาน

##### ๒.๑.๑ ลักษณะของปอชโซลาน

ปอชโซลาน หมายถึง วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินา มีสมบัติในการยึดประสานเล็กน้อยหรือไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ และเมื่อมีความชื้นแล้วเกิดเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน (ความหมายตาม มาตรฐาน มอก. ๘๕๐-๒๕๓๒)

นั่นคือ วัสดุจะมีศักยภาพในการเป็นปอชโซลานได้ ต้องมีคุณลักษณะพร้อมกัน ๓ ประการ

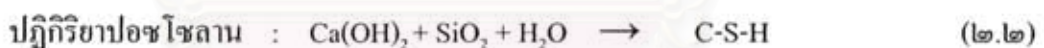
(๑) คือ

ก) มีปริมาณซิลิกาสูง

ข) มีความละเอียดสูง

ค) เป็นวัสดุออสฐาน

ปอชโซลานเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ อาจได้จาก ธรรมชาติ เช่น เถ้าภูเขาไฟ หรือทำขึ้น (ผลพลอยได้จากงานอุตสาหกรรมอื่น) เช่น เถ้าลอย (fly ash) ซิลิกาฟูม (silica fume) เถ้าแกลบ (rice husk ash) วัสดุปอชโซลานที่ละเอียดจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในซีเมนต์เพสต์ได้เป็นวัสดุยึดประสาน ดังนี้



ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันในส่วนของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติดังนี้ (๖)

ก) แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) มีปริมาณประมาณร้อยละ ๕๐-๗๐ ของปริมาตรเพสต์ทั้งหมด ทำให้ซีเมนต์เพสต์เกิดเป็นวุ้น มีคุณสมบัติเป็นตัวยึดประสาน มีความเหนียวคล้ายกากก่อตัว แข็งตัวและยึดเกาะแน่นกับวัสดุผสม ให้ความแข็งแรงกับซีเมนต์เพสต์หรือคอนกรีต

ข) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) เป็นผลึกอยู่ในโพรงกะปิลลารี (capillary pore) มีปริมาตรประมาณร้อยละ ๒๐ - ๒๕ ของปริมาตรเพสต์ทั้งหมด ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างโดยทำให้เกิดค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) ประมาณ ๑๒.๖ - ๑๓.๕ (๗) ช่วยป้องกันการเกิดสนิมในเหล็กโดยทำให้เกิดฟิล์มบางๆของเหล็กออกไซด์รอบเหล็กเส้น (passivation) ตัวผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไม่ให้ผลด้านกำลังต่อเพสต์และหากมีปริมาณมากจะทำให้ความทนทาน

(durability) ของคอนกรีตลดน้อยลง โดยสามารถถูกชะล้างและกัดกร่อนทางเคมีได้โดยง่าย (chemical attack)

### ๒.๒.๒ ผลจากปฏิกิริยาปอซโซลาน

เมื่อเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ในเพสต์จะเพิ่มขึ้นและปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเพสต์จะลดลง ทำให้ช่องว่างภายในเพสต์ลดลง เพสต์มีตัวยึดประสานและกำลังรวมทั้งความทนทานเพิ่มขึ้นตามอายุ การถูกทำลายทางเคมีที่จะเกิดกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยตรงมีน้อยลงเพราะปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดน้อยลง อีกทั้งช่วยลดความค่อเนื่องของโพรงค้ำปัดลารี่จึงช่วยลดความสามารถในการซึมผ่าน ทำให้เพสต์มีความทึบน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ความทนทานของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้น

โดยทั่วไปปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ยกเว้นกรณีของซิลิกาฟูมซึ่งอนุภาคมีขนาดเล็กและมีซิลิกาซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ง่ายและรวดเร็วในปริมาณที่สูง เพราะต้องรอให้ความเป็นด่างในเพสต์สูงพอที่จะทำลายซิลิกาในปอซโซลาน อีกทั้งซิลิกาดังกล่าวจะไปทำปฏิกิริยากับอัลคาไล (alkali) ตัวอื่นในซีเมนต์ก่อน นั่นคือก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน และให้ผลดีดังที่กล่าวมา วัสดุปอซโซลานซึ่งใช้ผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนจะเป็นเพียงวัสดุเฉื่อยซึ่งจะทำให้กำลังในระยะต้นของคอนกรีตลดลง แม้ปอซโซลานในฐานะที่เป็นวัสดุเนื้อขนาดเล็กจะส่งผลดีต่อกำลังอัดบ้างในด้านการเติมเต็มช่องว่าง (filler effect) และด้านการทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสขนาดเล็กช่วยเร่งการเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่อาจไม่สามารถทดแทนกำลังที่ลดลงไปเนื่องจากปริมาณซีเมนต์ที่ลดลงได้

### ๒.๒ การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตผสมปอซโซลาน

ตามที่ได้อธิบายข้างต้น จากการที่ปฏิกิริยาปอซโซลานโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ คอนกรีตที่ใช้ปอซโซลานผสมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนจึงมีอัตราการพัฒนากำลังอัดช้า แต่จะให้กำลังอัดในระยะหลังเท่ากันหรือมากกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ดังรูปที่ ๒.๑ โดยต้องบ่มขึ้นให้นานกว่าปกติ

ปัจจัยในส่วนของปอซโซลานที่ส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัด มี ๓ ปัจจัย (๓) ได้แก่ ปริมาณซิลิกาที่สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน (รีแอกทีฟซิลิกา) ขนาดอนุภาคปอซโซลาน และการออกแบบส่วนผสม

เมื่อพิจารณาปัจจัยในส่วนของปริมาณซิลิกาที่สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน หากพิจารณาปฏิกิริยาปอซโซลานตามสมการเคมีที่ ๒.๒ พบว่าหากปอซโซลานมีปริมาณรีแอกทีฟซิลิ

กามาก จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตในเฟสดีเพิ่มขึ้น ส่งผลสำคัญให้กำลังอัดในช่วงหลังสูงขึ้น (๔, ๕)

ในส่วนของขนาดอนุภาคปอซโซลานต่อการพัฒนากำลังอัดนั้นพบว่าอนุภาคขนาดเล็ก (พื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามาก) จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานสูงกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ และส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดดีขึ้น โดยเฉพาะในช่วงอายุต้นๆ (๕) ดังที่ได้มีงานวิจัยหลายฉบับในประเทศไทยพบว่าคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยบดละเอียดมีการพัฒนากำลังอัดและให้กำลังอัดที่สูงกว่าเถ้าลอยที่ไม่บด (๘, ๙)

ปัจจัยสุดท้ายในส่วนของ การออกแบบส่วนผสม พบว่าปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปอซโซลานจะส่งผลต่อกำลังอัด ดังรูปที่ ๒.๒ จะเห็นว่า การเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปอซโซลานในปริมาณที่เหมาะสม จะให้กำลังในระยะหลังที่สูง โดยต้องการเวลาเพื่อพัฒนากำลังอัดนานขึ้น การแทนที่ด้วยปอซโซลานในปริมาณที่มากเกินไป ทำให้เหลือปอซโซลานในส่วนที่ไม่ทำปฏิกิริยาทำให้ได้กำลังอัดน้อยลง

### ๒.๓ ความทนทานและการศึกษาความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคอนกรีตผสมปอซโซลาน

ผลของปฏิกิริยาปอซโซลานดังที่ได้กล่าวมาจะไปลดความสามารถในการซึมผ่านและเพิ่มความคงทนให้คอนกรีตต่อการทำลายจากน้ำทะเล ชัลเฟต และกรด ลดปฏิกิริยาระหว่างด่างกับหิน (alkali silica reaction) เพราะไปทำปฏิกิริยาและลดปริมาณด่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ในคอนกรีต แต่ปอซโซลานจะไม่ช่วยเพิ่มความคงทนทานจากการเปื่อยและแข็งสลับกัน (freezing and thawing) จึงจำเป็นต้องใช้สารผสมเพิ่มกักกระจายฟองอากาศ (air entrainment admixture) ในกรณีนี้ (๖)

คุณสมบัติด้านความทนทานของคอนกรีตดังกล่าวเป็นผลมาจากปริมาณของโพรงกะปิลลารีที่ต่อเนื่องซึ่งส่งผลถึงความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) การลดความต่อเนื่องของโพรงกะปิลลารี เป็นคุณสมบัติหนึ่งของปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านและมีความทนทานมากขึ้น

การศึกษาคูณสมบัติด้านความต่อเนื่องของโพรงกะปิลลารีสามารถวัดได้จากความสามารถในการซึมผ่านของคอนกรีตหรือมอร์ตาร์ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การวัดการดูดซับน้ำ (absorption) การวัดการแพร่ของแก๊สหรือไอออน (diffusion) และการวัดการซึมผ่านของน้ำหรือไอ (permeability) (๗) ทั้งนี้สามารถหาปริมาณโพรงต่อเนื่อง (continuous pores) ภายในเฟสดีซึ่งวัดได้ง่ายด้วยเทคนิค MIP (mercury Intrusion porosimetry) เพื่อแสดงถึงคุณสมบัติด้านนี้

การวัดความสามารถในการซึมผ่านด้วยการแพร่ของคลอไรด์ไอออน เป็นวิธีวัดการซึมผ่านแบบหนึ่งซึ่งสามารถใช้ได้กับตัวอย่างซึ่งอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำหรือค่อนข้างชื้น ซึ่งเป็นสภาพโดยทั่วไปของตัวอย่างคอนกรีตหรือมอร์ตาร์หรือสามารถทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพดังกล่าวก่อนการทดสอบได้ง่าย ขณะที่การทดสอบด้วยวิธีอื่นต้องทำให้ตัวอย่างแห้งซึ่งทำได้ยากและอาจทำให้ลักษณะโพรงภายในเปลี่ยนไป อีกทั้งการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนสามารถเกิดได้ผ่านตลอดตัวอย่างไม่จำกัดเฉพาะบริเวณผิวเหมือนวิธีวัดการดูดซับน้ำ (๗)

#### ๒.๔ การศึกษาโพรงด้วยเทคนิค MIP (mercury intrusion porosimetry) (๑๐)

เทคนิค MIP (mercury intrusion porosimetry) หรือวิธีการศึกษาโพรงด้วยการแทรกซึมของปรอท เป็นวิธีที่นิยมใช้วิธีหนึ่งเพื่อศึกษาโพรงภายในของวัสดุประเภท เซรามิกส์ หิน ดินเหนียว และพลาสติกประเภทซีเมนต์ (cement-based materials) ผลจากเทคนิค MIP จะทำให้ทราบปริมาณโพรงภายในที่ต่อเนื่องและการกระจายขนาดของโพรง (pore size distribution) โดยเครื่องมือทดสอบที่ใช้หลักการนี้จะเรียกว่า “mercury porosimeter”

แม้ว่าเทคนิค MIP เป็นวิธีการทดสอบที่กระทำได้ง่าย ให้ผลการทดสอบเป็นปริมาณและขนาดของโพรงภายในรวมทั้งการกระจายขนาดของโพรง (pore size distribution) ซึ่งสามารถหาความเข้าใจได้ง่าย แต่พึงระลึกว่าหลักการทดสอบและการแสดงผลตั้งอยู่บนสมมติฐานและข้อจำกัดหลายประการ (ซึ่งจะกล่าวต่อไป) การประเมินผลการศึกษาโพรงด้วยเทคนิค MIP นี้ จึงต้องกระทำอย่างระมัดระวัง

##### ๒.๔.๑ หลักการเบื้องต้น

เทคนิค MIP อาศัยแรงดันเพื่อดันของเหลวที่มีลักษณะการเกาะตัวกับผิวสัมผัสของวัตถุเป็นแบบไม่เปียก (non-wetting liquids) เช่น ปรอท ดังแสดงในรูปที่ ๒.๓ และ ๒.๔ เข้าไปในโพรงของวัตถุซึ่งตั้งสมมติฐานให้เป็นท่อทรงกระบอกและมีขนาดลดหลั่นลงไปตามความลึกจากผิววัตถุ โดยความดันที่สามารถดันปรอทเข้าไปในโพรงขนาดหนึ่งๆ จะสามารถนำไปคำนวณเพื่อหาขนาดของโพรงดังกล่าวได้ ดังสมการที่ ๒.๓ และปริมาณของปรอทที่แทรกเข้าไปในโพรงดังกล่าวจะเป็นค่าของปริมาณโพรงนั่นเอง

$$P = \frac{-2\sigma_{l/v} \cos \theta}{r} \quad (๒.๓)$$

เมื่อ  $P$  คือ ความดันที่ใช้ดันปรอทเข้าไปในโพรงทรงกระบอกรัศมี  $r$  (psi)

$r$  คือ รัศมีของโพรงทรงกระบอกที่ปรอทแทรกเข้าได้เมื่อให้ความดัน  $P$  (ไมครอน)

$\sigma_{l/v}$  คือ แรงตึงผิวของปรอท ( $๔๘๐ \text{ erg/cm}^2$ )

๐ คือ ค่ามุมสัมผัสระหว่างปรอทและเพสต์ซีเมนต์ (๑๑๗ องศา สำหรับเพสต์ซีเมนต์ที่ทำให้แห้งด้วยเตาอบ)

#### ๒.๔.๒ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบด้วยเทคนิค MIP

ก) มุมสัมผัส (contact angle) ความถูกต้อง (accuracy) ของค่ามุมสัมผัสส่งผลสำคัญต่อความถูกต้องของขนาดโพรงที่คำนวณได้ เช่น การใช้ค่ามุมสัมผัสคลาดเคลื่อนจากค่าจริงไปร้อยละ ๑ ของมุมสัมผัส ๑๔๐ องศา จะทำให้ค่าขนาดโพรงคลาดเคลื่อนไปร้อยละ ๑.๕ ค่ามุมสัมผัสของเพสต์ประเภทซีเมนต์ (cement-based materials) จะขึ้นกับวิธีการทำตัวอย่างให้แห้ง โดยเพสต์ที่ทำให้แห้งด้วยเตาอบ ที่ ๑๐๕ องศา (oven dried sample) จะมีค่ามุมสัมผัสเป็น ๑๑๗ องศา ส่วนกรณีของการทำให้แห้งแบบ P-dry condition (การทำแห้งด้วยสุญญากาศและสาร magnesium perchlorate hydrates) และ D-dry condition (การทำแห้งด้วยสภาวะเยือกแข็งสุญญากาศ โดยนำตัวอย่างที่ผ่านการแช่เย็นจนแข็งมาระเหิดน้ำออกภายใต้สภาวะสุญญากาศจนกระทั่งสารแห้ง) จะมีค่าเป็น ๑๓๐ และ ๑๒๖ องศา ตามลำดับ

ข) วิธีการทำตัวอย่างให้แห้ง (sample drying) ตัวอย่างที่ถูกทำให้แห้งในแต่ละวิธี นอกเหนือจากจะมีค่ามุมสัมผัสแตกต่างกัน ยังมีสภาวะน้ำคงเหลือภายในโพรงขนาดเล็กแตกต่างกัน จึงมีอิทธิพลต่อผลการทดสอบในส่วนขนาดของโพรงขนาดเล็ก

ค) ความบริสุทธิ์ของปรอท (mercury purity) ในการทดสอบควรใช้ปรอทบริสุทธิ์ (distilled mercury) เพื่อหลีกเลี่ยงความแปรปรวนในส่วนค่ามุมสัมผัสและค่าแรงตึงผิวปรอท

ง) อัตราการให้ความดัน

#### ๒.๔.๓ ข้อจำกัดและปัญหาที่พึงระหมกของการหาปริมาตร โพรงด้วยเทคนิค MIP

ก) ใช้สมมติฐานว่าโพรงเป็นท่อทรงกระบอก

ข) ใช้สมมติฐานว่าความต่อเนื่องของโพรงมีลักษณะเรียงจากโพรงขนาดใหญ่ด้านนอกไปสู่โพรงขนาดเล็กกว่าด้านใน แต่การเชื่อมต่อในสภาพจริงไม่เป็นเช่นนี้ เช่น การที่มีโพรงขนาดใหญ่กว่าอยู่หลังโพรงขนาดเล็ก หรือปัญหาสภาพคอขวดซึ่งมีโพรงขนาดเล็กมากเชื่อมต่อไปยังโพรงขนาดใหญ่ (neck-bottle effect) จะทำให้ผลทดสอบคลาดเคลื่อน โดยปริมาตรของโพรงขนาดใหญ่กว่าด้านในจะถูกแสดงผลรวมไปในส่วนปริมาตรของโพรงขนาดเล็กกว่าลำดับก่อนหน้า

ค) การไม่สามารถวัดปริมาตร โพรงได้ทั้งหมด เพราะโพรงบางส่วนจะมีขนาดเล็กมาก เช่น โพรงเจล จนปรอทไม่สามารถแทรกเข้าได้

ง) การใช้ความดันสูงมากอาจทำลายผนังโพรงไม่ต่อเนื่องให้เกิดการต่อเนื่องขึ้น

#### ๒.๔.๔ ข้อเสนอแนะในการศึกษาโพรงด้วยเทคนิค MIP

จากการที่ได้มีการทดสอบเปรียบเทียบผลการศึกษาโพรงด้วยเทคนิค MIP กับเทคนิคภาพถ่าย (image analysis) พบว่าจากปัญหาและข้อจำกัดของเทคนิค MIP ในลักษณะการเรียงขนาดโพรงและปัญหาคอขวดจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่อผลการกระจายขนาดโพรง แต่พบว่าข้อจำกัดดังกล่าวจะไม่ส่งผลต่อการวิเคราะห์ในเชิงปริมาตร โพรงทั้งหมด (porosity) (๑๑, ๑๒) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีการแนะนำให้ใช้เทคนิค MIP เพื่อจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ปริมาตรโพรง (volume of pores) และไม่ควรใช้เพื่อการวิเคราะห์การกระจายขนาดของโพรง (๑๑, ๑๒)

ทั้งนี้สามารถจำแนกประเภทของโพรงและผลที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เพื่อใช้ประกอบการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ดังตารางที่ ๒.๑ โดยพบว่าโพรงกะปิลาริขนาดใหญ่มากกว่าช่วง ๐.๑๒-๐.๑๖ ไมครอน จะมีผลสำคัญต่อความสามารถในการซึมผ่านและในส่วนของกำลังอัดจะได้รับปัจจัยหลักมาจากโพรงที่มีขนาดใหญ่กว่า ๐.๐๒ ไมครอน (๗)

#### ๒.๕ ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับแก้วบรรจุภัณฑ์ (๑๓)

##### ๒.๕.๑ ลักษณะทั่วไปของแก้ว

แก้ว (Glass) เป็นวัสดุโปร่งใส เนื้อใสสะอาด มีความเป็นมันแววสุกใส แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกากับสารโลหะออกไซด์มีความเปราะในตัวเอง ตามมาตรฐาน ASTM C162 (standard terminology of glass and glass products) กล่าวว่า แก้ว คือ วัสดุที่ได้มาจากการนำสารอนินทรีย์ต่างๆมาเผาให้ถึงจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงและเมื่อเวลาเย็นตัวลงมาจะกลายเป็นของแข็งโดยไม่ตกผลึก (อสัณฐาน)

แก้วบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแก้วชนิดโซดาไลม์ (soda lime glass) ซึ่งผลิตจากวัตถุดิบหลัก คือ ทราย โซดาแอช หินปูน เป็นแก้วที่พบเห็นโดยทั่วไปและมีปริมาณการใช้มากที่สุด ได้แก่ แก้วที่เป็นขวด แก้วน้ำ กระจก เป็นต้น สามารถทำให้เกิดสีต่างๆได้โดยการเติมออกไซด์ที่มีสีลงไปเป็นปริมาณต่ำ เช่น โครเมียมออกไซด์ให้ สีเขียว นิกเกิลให้สีน้ำตาล เป็นต้น

##### ๒.๕.๒ องค์ประกอบทางเคมีและวัตถุดิบในการหลอมแก้ว

องค์ประกอบทางเคมีของแก้วจะมีผลต่อคุณสมบัติของแก้ว ดังนี้ (ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของแก้วบรรจุภัณฑ์สีต่างๆแสดงในตารางที่ ๒.๒)

ก)  $\text{SiO}_2$  ช่วยให้แก้วมีโครงสร้างที่แข็งแรง ทนต่อความร้อนและสารเคมี แต่ทำการผลิตได้ยากเนื่องจากต้องใช้การหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงขึ้นไป และขึ้นรูปได้ยากเนื่องจากมีความหนืดสูง

ข)  $\text{Na}_2\text{O}$  ช่วยให้แก้วหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำ ปรากฏง่าย และไม่ทนต่อสารเคมี ถ้ามีปริมาณ  $\text{Na}_2\text{O}$  สูงมากๆ จะสามารถละลายน้ำได้

ค)  $\text{K}_2\text{O}$  ช่วยให้การตกผลึกเป็นไปอย่างช้าๆ ทำให้การเรียงตัวของผลึกออกมาสวยงาม

ง)  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  หรือ  $\text{BaO}$  ช่วยให้แก้วคงตัว (setting) เร็วขึ้นเมื่อเย็นลงและเพิ่มความทนทานต่อสารเคมี แก้วที่มีปริมาณ  $\text{MgO}$  มากกว่า  $\text{CaO}$  จะทำให้การตกผลึกเป็นไปอย่างช้าๆ และทำให้การเรียงตัวของผลึกสวยงาม

จ)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ช่วยให้แก้วมีความทนทานต่อการสึกกร่อนและสารเคมีได้ดีขึ้น

ฉ)  $\text{B}_2\text{O}_3$  ช่วยให้แก้วมีความทนทานต่อกรดและด่าง และทนต่อความร้อน เนื่องจากจะทำให้สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของแก้วลดลง แก้วประเภทนี้เป็นแก้วที่ใช้ในอุปกรณ์วิทยาศาสตร์และเป็นแก้วประเภทที่สามารถใช้ในเตาไมโครเวฟได้

ช)  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  ช่วยให้เนื้อแก้วใสวาวเนื่องจากมีค่าดัชนีหักเหสูงมีความอ่อน (soft) ไม่แข็งกระด้าง ง่ายต่อการเจียรระโน เวลาเคาะมีเสียงดังกังวาน

ซ)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ช่วยประหยัดเชื้อเพลิงในขณะหลอม แต่จะทำให้เนื้อกระจกมีสีเขียวอ่อน

ฌ) ออกไซด์ อื่นๆ หากต้องการให้แก้ว หรือกระจกมีสีอื่นต่างๆ สามารถเติมสารอื่นนอกเหนือจากส่วนผสมข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว ดังแสดงในตารางที่ ๒.๓

โดยองค์ประกอบทางเคมีของแก้วดังที่ได้กล่าวมา จะมาจากแหล่งวัตถุดิบ ดังแสดงในตารางที่ ๒.๔

## ๒.๖ งานวิจัยที่ผ่านมาและวิวัฒนาการของการใช้แก้วในงานคอนกรีต

ในต่างประเทศของเสียที่เป็นวัสดุประเภทเศษแก้ว (cullet) นั้นมีปริมาณมาก ถือว่าส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมจึงได้มีการนำกลับไปใช้ใหม่และใช้ในวัตถุประสงค่อื่นๆ การนำเศษแก้วมาใช้งานคอนกรีตนั้นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการแก้ปัญหา (๑, ๑๔-๑๕)

### ๒.๖.๑ การใช้แก้วเป็นมวลรวมในคอนกรีต

จากความเข้าใจเดิมว่าแก้วเป็นวัสดุที่เฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมี เป็นวัสดุที่แข็งและมีกำลังรับแรงอัดที่สูงจึงได้มีการทดลองนำเศษแก้วมาเป็นมวลรวมในคอนกรีต แต่เนื่องจากมวลรวมแก้วมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูง (ร้อยละ ๖๐-๗๐ ของน้ำหนักทั้งหมด) และมีลักษณะเป็นวัสดุอสัณฐานที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับอัลคาไลในคอนกรีต (reactive aggregate) ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวมหรือซิลิกา (alkali-silica reaction หรือ ASR) ซึ่งทำให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีต จึงเป็นปัญหาใหญ่ของการใช้แก้วเป็นมวลรวมดังกล่าว (๑๔, ๑๕, ๑๖)

ทั้งนี้ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างค่างกับซิลิกาจะลดลง เมื่อทำให้เศษแก้วมีขนาดเล็กลง โดยใช้เป็นมวลรวมละเอียด (๑๕, ๑๖) โดยพบว่าการใช้แก้วสีเขียว (green soda lime glass) จะเกิดปัญหาจากปฏิกิริยาระหว่างค่างกับซิลิกาน้อยกว่าแก้วสีน้ำตาล (brown soda lime glass) เพราะมี  $Cr_2O_3$  (ออกไซด์ซึ่งให้สีเขียวกับแก้ว) เป็นองค์ประกอบซึ่งเชื่อว่ามีกลไกบางอย่างช่วยลดการขยายตัวของเจลรอบมวลรวมอันเกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าว (๑๕) และเมื่ออบแก้วให้มีความละเอียดมากขึ้น โดยใช้แทนที่ซีเมนต์บางส่วน ผงแก้วจะไม่ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องปฏิกิริยาระหว่างค่างกับซิลิกา และยังช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวอีกด้วย (๑๖) ที่สำคัญคือพบว่าผงแก้วจะมีพฤติกรรมเป็นปอซโซลานได้ (๑, ๑๖, ๑๗)

### ๒.๖.๒ การใช้ผงแก้วเป็นวัสดุปอซโซลาน

พบว่าเมื่ออบเศษแก้วหลอดไฟชนิดโซดาไลม์ (soda lime glass) จนมีขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอนทั้งหมด ผงแก้วจะมีพฤติกรรมเป็นปอซโซลาน คือจะสามารถช่วยพัฒนากำลังอัดอย่างต่อเนื่องจากที่มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตซึ่งไม่ใช่ผงแก้ว จนกระทั่งมีค่าเทียบเท่าและสูงกว่าในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ ๒.๕ ซึ่งจะเห็นได้ว่าดัชนีกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยผงแก้วร้อยละ ๓๐ โดยปริมาตรของวัสดุประสาน จะมีค่ามากขึ้นตามเวลาและตามความละเอียดของผงแก้ว (ซึ่งแบ่งเป็น ก) ผงแก้วขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน ข) ขนาดระหว่าง ๑๕-๑๕๐ ไมครอน และ ค) ขนาดระหว่าง ๓๘-๑๕ ไมครอน) และสำหรับในกรณีของผงแก้วขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน จะให้ค่าดัชนีกำลังอัดมากกว่าร้อยละ ๑๕ ตั้งแต่ที่อายุ ๗ วันและให้ดัชนีกำลังอัดถึงร้อยละ ๑๒๐ ที่อายุ ๕๐ วัน (๑) จัดเป็นปอซโซลานได้ หากเทียบผลการทดสอบตามวิธีนี้กับตามมาตรฐาน ASTM C618 จะเห็นว่า ผงแก้วให้ค่าดัชนีกำลังอัดสูงกว่าร้อยละ ๑๕ ที่อายุ ๗ วัน ซึ่งอาจจัดเป็นปอซโซลานตามมาตรฐานได้ แต่จำเป็นต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมในส่วนนี้

### ๒.๗ ความเป็นไปได้ในการศึกษาการใช้ผงแก้วเป็นปอซโซลาน

จากคุณลักษณะของวัสดุซึ่งสามารถเป็นปอซโซลาน ๓ ประการดังที่กล่าวมาแล้ว คือ

- ก) มีปริมาณซิลิกาสูง
- ข) เป็นวัสดุอันตราย และ
- ค) มีความละเอียดสูง

เมื่อพิจารณาถึงศักยภาพของแก้ว (ขวดแก้วใส) ในการเป็นปอซโซลานจากลักษณะเบื้องต้นทั้ง ๓ ประการ สามารถพิจารณาเทียบได้ดังนี้

ก) แก้วมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบทางเคมีในปริมาณสูง โดยแก้วเป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมขึ้นมา มีองค์ประกอบทางเคมีค่อนข้างคงที่ตามแต่ละชนิดของแก้วและ



วัตถุดิบในแต่ละประเทศ ซึ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมีปริมาณซิลิกาโดยทั่วไปประมาณร้อยละ ๖๐-๗๐ ของน้ำหนักทั้งหมด อยู่ระหว่างปริมาณซิลิกาในถ้ำลอยและซิลิกาฟูม ดังแสดงในตารางที่ ๒.๒

ข) แก้วมีรูปผลึกเป็นอสัณฐาน จากกระบวนการผลิตซึ่งทำให้แก้วเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว และดึงความหมายที่ให้ไว้ในมาตรฐาน ASTM C162

ค) ในส่วนความละเอียดของผงแก้วซึ่งเป็นคุณลักษณะที่ต้องการข้อสุดท้าย เมื่ออ้างอิงตามงานวิจัยที่ผ่านมา (๑) และตามการทดสอบเบื้องต้นซึ่งได้จัดทำขึ้นเพื่อระบุการเป็นปอซโซลาน เทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C618 (ดังรายละเอียดในบทที่ ๓) พบว่าหากสามารถบดแก้วจนได้ผงแก้วละเอียดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน ในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ ๘๕ ของน้ำหนักทั้งหมด ผงแก้วสามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานได้ ซึ่งหมายถึงมีความละเอียดเพียงพอ ความละเอียดหรือขนาดของผงแก้วค่านี้จึงเป็นที่มาของขนาดอนุภาคของผงแก้วที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย

จากผลการเปรียบเทียบลักษณะ ๓ ประการดังกล่าวและการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C618 พบว่าในเบื้องต้นผงแก้วที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน ในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ ๘๕ ของน้ำหนักทั้งหมด มีคุณสมบัติในการเป็นปอซโซลาน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๒.๑ ประเภทของโพรงและผลที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีต (๖)

ประเภทของโพรง	ขนาดโพรง (ไมครอน)	ลักษณะ	ผลที่มีต่อคุณสมบัติของ เพสต์
Entrained air voids	๕ - ๑๐๐๐	Bulk pores	กำลัง
Entrapped air voids	> ๑๐	Bulk pores	กำลัง
โพรงกะปิลลารี	๐.๐๕ - ๑๐	Large capillaries	กำลังและความสามารถในการซึมผ่าน
	๐.๐๑ - ๐.๐๕	Medium capillaries	กำลัง ความสามารถในการซึมผ่านและการหดตัวที่ความชื้นสูง
โพรงเจล	๐.๐๐๒๕ - ๐.๐๑	Small capillaries	การหดตัวที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ ๕๐
	๐.๐๐๐๕ - ๐.๐๐๒๕	Micropores	การหดตัวจากการคืบ (creep)
	< ๐.๐๐๐๕	Micropores (interlayer)	การหดตัวจากการคืบ (creep)

ตารางที่ ๒.๒ ตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมีของแก้วบรรจุภัณฑ์แต่ละสี เถ้าลอย และซิลิกาฟุ้ง

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด				
	แก้วใส	แก้วสีน้ำตาล	แก้วสีเขียว	เถ้าลอย (๘)	ซิลิกาฟุ้ง (๑)
SiO <sub>2</sub>	๗๔.๗๒	๗๒.๗๑	๗๒.๓๘	๔๕.๖๑	๖๖.๕๐
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	๑.๔๔	๑.๓๗	๑.๔๕	๒๕.๖๒	๐.๕๐
TiO <sub>2</sub>	๐.๐๔	๐.๐๔	๐.๐๔	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	๐.๐๐	๐.๐๓	๐.๑๓	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	๐.๐๗	๐.๒๖	๐.๒๕	๘.๖๘	๒.๐๐
CaO	๑๑.๕๐	๑๑.๕๗	๑๑.๒๖	๖.๓๖	๐.๘๐
MgO	๐.๓๒	๐.๓๖	๐.๕๔	๒.๓๖	๐.๖๐
Na <sub>2</sub> O	๑๓.๖๔	๑๓.๗๕	๑๓.๕๒	๑.๔๓	๐.๔๐
K <sub>2</sub> O	๐.๓๕	๐.๒๐	๐.๒๗	๒.๗๑	๒.๐๐
SO <sub>3</sub>	๐.๒๑	๐.๑๐	๐.๐๗	๑.๒๓	๐.๒๐

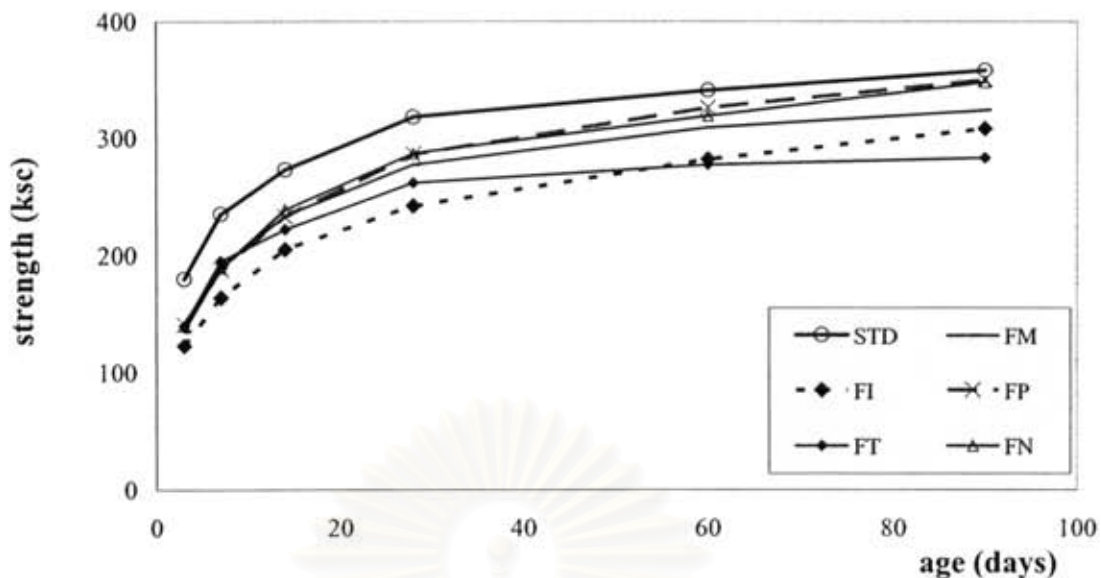
ตารางที่ ๒.๓ ออกไซด์ที่ใช้ผสมเพื่อให้สีในแก้ว

ออกไซด์	สีที่เกิดในแก้ว
โครเมียมออกไซด์ (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	สีเขียว
โคบอลต์ออกไซด์	สีน้ำเงิน
ยูเรเนียม (U)	สีเหลือง
นิกเกิล (Ni)	สีน้ำตาล
แมงกานีส (Mn)	สีชมพู

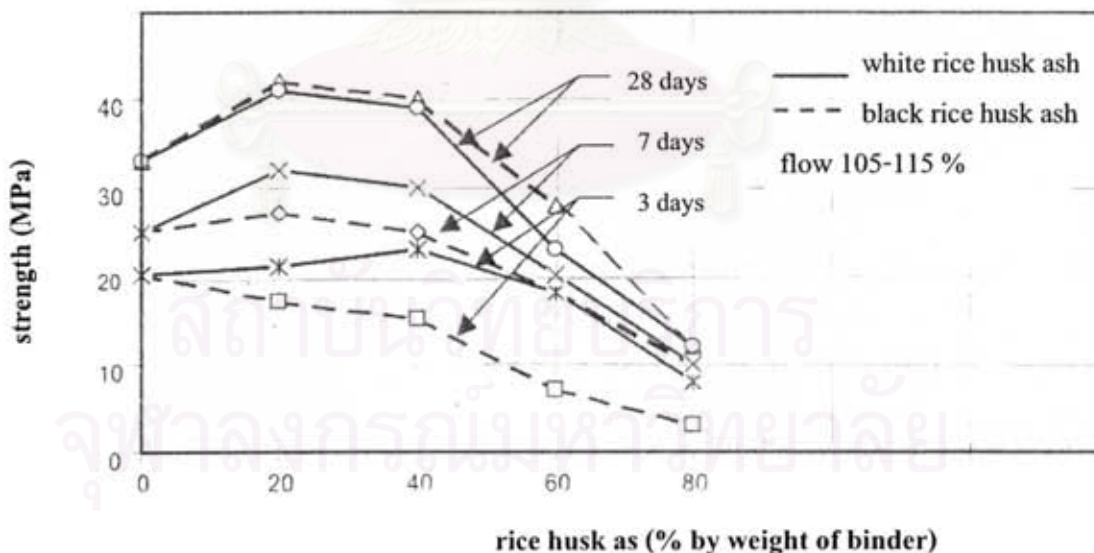
ตารางที่ ๒.๔ แหล่งวัตถุดิบซึ่งเป็นที่มาขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ในแก้ว

องค์ประกอบทางเคมี	วัตถุดิบซึ่งเป็นแหล่งที่มา
$\text{SiO}_2$	ทรายแก้ว (Silica sand)
$\text{Na}_2\text{O}$	โซดาแอช ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) และ salt cake ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )
$\text{K}_2\text{O}$	แร่เฟลด์สปาร์(เป็นแร่พวกอลูมิโนซิลิเกตที่มี Na,K เจือปน)
$\text{CaO}$	แร่โคโลไมท์ (เป็นแร่พวกคาร์บอเนตของแมกนีเซียม และแคลเซียม) และหินปูน
$\text{MgO}$	แร่โคโลไมท์
$\text{Al}_2\text{O}_3$	แร่เฟลด์สปาร์
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	สิ่งเจือปน (impurities)

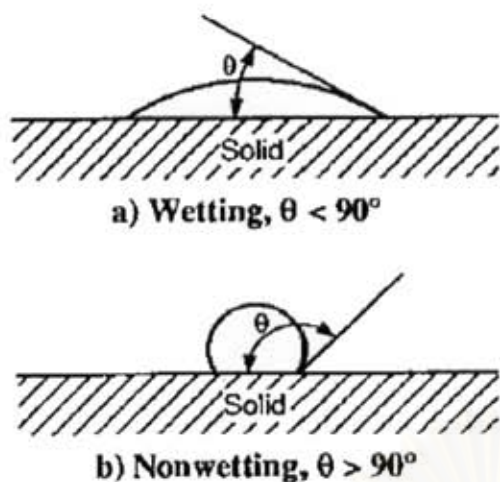
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



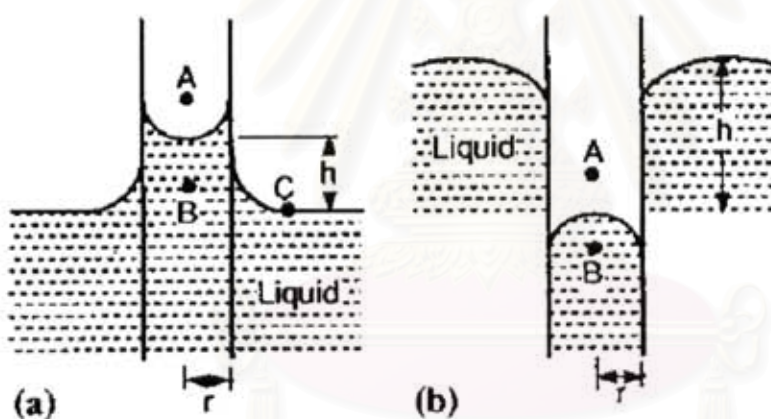
รูปที่ ๒.๑ กำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งใช้เถ้าถ่านหิน (เถ้าลอย) จากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยแทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ ๒๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน โดยมีค่าไค้การไหลอยู่ในช่วง ๑๐๕-๑๑๕ เปอร์เซ็นต์ (๘) เมื่อ STD คือ มอร์ตาร์ควบคุมซึ่งไม่มีเถ้าลอย และสัญลักษณ์ของเถ้าถ่านหินมีความหมายถึงแหล่งที่มา ดังนี้ FM คือ แม่เมาะ FI คือ ระยอง FP คือ สมุทรสาคร FT คือ กาญจนบุรี และ FN คือ ไม่ทราบแหล่งผลิต



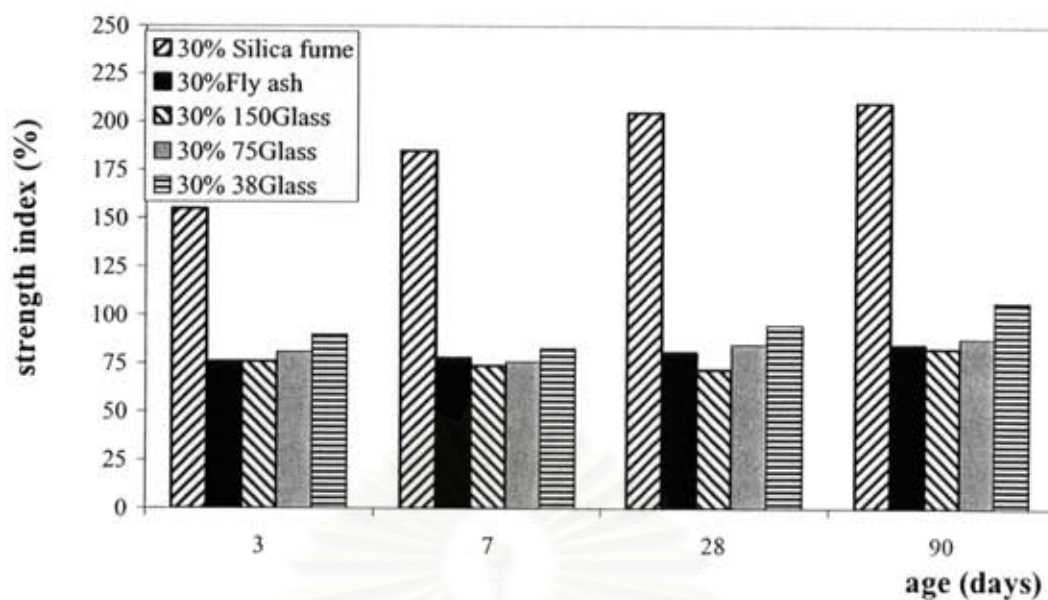
รูปที่ ๒.๒ กำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุประสานในสัดส่วนต่างๆ (๑๘)



รูปที่ ๒.๓ ลักษณะการเกาะตัวของของเหลวกับผิวสัมผัสของวัตถุเป็นแบบเปียก (a: wetting liquid) และแบบไม่เปียก (b: non-wetting liquid)



รูปที่ ๒.๔ ลักษณะการแทรกซึมของของเหลวแต่ละแบบในโพรง a) แบบเปียก (wetting liquid) จะเห็นว่ามีสภาพเหมือนดันตัวเองเข้าไปในโพรงได้ และ b) แบบไม่เปียก (non-wetting liquid) จะเห็นว่าจำเป็นต้องใช้แรงดันเพื่อดันของเหลวเข้าไปในโพรง



รูปที่ ๒.๕ คัดนี้กำลังอัดของคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยปอซโซลาน (ซิลิกาฟุ่ม เถ้าลอย หรือผงแก้ว) ร้อยละ ๓๐ โดยปริมาตรของวัสดุปอซโซลาน (๑)

## บทที่ ๓

### การทดสอบและผลการทดสอบ

การศึกษาศักยภาพของผงแก้วในการเป็นปอซโซลานนี้ ใช้วัสดุประสานในการทดสอบเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ ๑ และผงแก้วที่ได้จากการบดแก้วบรรจุภัณฑ์ไอจนมีขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอนในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ ๕๕ ของน้ำหนักทั้งหมด โดยได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้วและศึกษาผลของผงแก้วต่อคุณสมบัติด้านกำลังและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงของมอร์ตาร์ รวมทั้งความทนทานของคอนกรีต

การทดสอบ แบ่งเป็น ๕ ส่วน ได้แก่

#### ๑. การเตรียมวัสดุ

#### ๒. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้ว ซึ่งประกอบด้วย

๒.๑ สมบัติทางกายภาพของผงแก้ว ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ การกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) ขนาดอนุภาคเฉลี่ย พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) รูปร่างอนุภาคและความเป็นผลึก (crystallinity)

#### ๒.๒ องค์ประกอบทางเคมี

#### ๒.๓ ปริมาณรีแอกทีฟซิลิกา

#### ๒.๔ การทดสอบเพื่อระบุการเป็นปอซโซลานเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C618

๓. การทดสอบกำลังอัดและหาดัชนีกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมผงแก้วในสัดส่วนการแทนที่ซีเมนต์ต่างๆ

#### ๔. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงในมอร์ตาร์ผสมผงแก้วต่างๆ

๕. การทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานต่อสภาพแวดล้อมจากความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนตามมาตรฐาน ASTM C1202 ของคอนกรีตผสมผงแก้วในสัดส่วนการแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๒๐ โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

#### ๓.๑ การเตรียมวัสดุ

##### ๓.๑.๑ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ ๑

สำหรับโครงสร้างทั่วไป ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C150

##### ๓.๑.๒ ผงแก้ว

ได้มาจากการนำเศษแก้วบรรจุภัณฑ์ไอ ไปบดเปิดด้วยบอลมิลจนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน (ร่อนแบบเปียกผ่านตะแกรงเบอร์ ๔๐๐) ในปริมาณมากกว่า ๕๕ เปอร์เซ็นต์โดย



น้ำหนัก จากนั้นนำไปอบจนแห้งและบดแห้งด้วยบอลมิลอีกครั้งเพื่อข่อยอนุภาคที่จับกันเป็นก้อนให้เป็นผงแก้วก่อนนำไปเก็บรักษาไว้ในภาชนะที่ปราศจากความชื้น โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการเตรียมผงแก้วดังนี้

ก) การบดหยาบเศษแก้ว ดำเนินการ โดยนำเศษแก้วบรรจุถังที่ใสมาบดหยาบด้วยคลัชชิงจอร์และคลัชชิงโรลเลอร์ตามลำดับเพื่อลดขนาด จากนั้นนำเศษแก้วที่ผ่านการบดไปร่อนเอาเฉพาะส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ ๑๐ (ขนาด ๒ มม.) เพื่อให้ได้ขนาดแก้วที่ค่อนข้างเล็ก ก่อนจะนำไปบดละเอียดต่อไป

ข) การบดละเอียดเศษแก้ว ดำเนินการ โดยนำเศษแก้วที่ผ่านการบดหยาบมาทำการบดเปียกด้วยบอลมิลซึ่งเหมาะสำหรับการบดปริมาณไม่มากหรือเป็นการบดในห้องปฏิบัติการและแก้ปัญหาการเกาะติดของผงแก้วที่ผิวบอลมิล โดยบอลมิลที่ใช้ประกอบด้วย

- อะลูมินามิล ใช้สำหรับบรรจุวัสดุที่จะบดและลูกบอลบด มิลมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ๑๐ เซนติเมตร สูง ๑๕ เซนติเมตร มีปริมาตรบรรจุประมาณ ๑,๑๘๐ ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน ๕ มิล

- ลูกบอลบด เป็นอะลูมินาบอลทรงกลมมีขนาดแตกต่างกัน ดังตารางที่ ๓.๑

ขั้นตอนการบดละเอียดนั้นเริ่มจากบรรจุเศษแก้วบดปริมาณ ๔๐๐ กรัม (๑๖๐ ลูกบาศก์เซนติเมตร) และอะลูมินาบอลลงในอะลูมินามิล จากนั้นเติมน้ำลงไปประมาณ ๓๐๐ ลูกบาศก์เซนติเมตรจนท่วมวัสดุทั้งหมด ปิดฝาอะลูมินามิล และนำอะลูมินามิลทั้ง ๕ มิล ไปวางบนเครื่องหมุนบอลมิลที่มีความเร็วรอบ ๑๕๐ รอบ/วินาที เพื่อทำการบดเป็นระยะเวลา ๒๔ ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ได้ผงแก้วที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ๑๕ ไมครอนในปริมาณมากกว่า ๘๕ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

หลังจากบดละเอียดเสร็จ นำผงแก้วเปียกไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ ๑๐๕ องศาเซลเซียส นาน ๒๔ ชั่วโมงหรือจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ แต่เนื่องจากขั้นตอนการอบแห้งทำให้ผงแก้วจับกันเป็นก้อน จึงต้องนำก้อนผงแก้วดังกล่าวไปทำการบดแห้งด้วยอะลูมินามิลอีกครั้งนาน ๑ ชั่วโมงเพื่อข่อยก้อนผงแก้วให้เป็นผงละเอียดตามที่กำหนดไว้ สุดท้ายนำผงแก้วที่ได้ไปทำการเก็บรักษาในถุงพลาสติกที่มีสารดูดความชื้นและปิดกันความชื้น เพื่อรอการทดสอบต่อไป

### ๓.๑.๑ ทราย

ใช้ทรายแม่น้ำซึ่งมีขนาดละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C778 สำหรับใช้ผสมทำมอร์ตาร์ และมีขนาดละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33 สำหรับใช้ผสมทำคอนกรีต ดังตารางที่ ๓.๒ และรูปที่ ๓.๑

### ๓.๑.๒ หิน

ใช้หินปูนซึ่งมีขนาดกละตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยใช้หินขนาดโตสุด ๓/๔ นิ้ว ดังตารางที่ ๓.๒ และรูปที่ ๓.๒

### ๓.๑.๓ วิธีการผสมมอร์ตาร์

ดำเนินการผสมมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C109 โดยมีสัดส่วนการผสมดังแสดงในตารางที่ ๓.๓

### ๓.๑.๔ วิธีการผสมคอนกรีต

ดำเนินการผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C39 โดยมีสัดส่วนการผสมดังแสดงในตารางที่ ๓.๔

## ๓.๒ การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้ว

### ๓.๒.๑ การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผงแก้ว ได้แก่

ก) หาปริมาณอนุภาคผงแก้วซึ่งเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน โดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ๔๐๐ (๓๘ ไมครอน) ดำเนินการโดยนำตัวอย่างผงแก้วประมาณ ๕๐ กรัม มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ๔๐๐ โดยใช้ น้ำไหลผ่านช่วยในการร่อน (wet sieve analysis) นำตะแกรงที่มีตัวอย่างผงแก้วค้างอยู่ไปอบจนแห้ง แล้วนำมาร่อนอีกครั้งโดยใช้เครื่องเขย่าตะแกรง (dry sieve analysis) ชั่งน้ำหนักผงแก้วที่ค้างบนตะแกรง และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของผงแก้วที่ผ่านตะแกรงเบอร์ ๔๐๐

พบว่าผงแก้วที่ได้ผ่านการบดละเอียดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ ๔๐๐ ได้ประมาณร้อยละ ๘๘ ของน้ำหนักทั้งหมด

ข) การกระจายขนาดอนุภาคของผงแก้ว ดำเนินการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดหาการกระจายขนาดอนุภาค Malvern Mastersizer laser scattering particle size analyzer ที่อาศัยหลักการของการเลี้ยวเบนของแสง (ใช้แสงเลเซอร์ชนิดแก๊สฮีเลียม-นีออนซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ ๐.๖๓ ไมครอน) คือ เมื่อมีอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในตัวกลางผ่านลำแสงชั่วระยะเวลาหนึ่ง โดยการใช้สมมติฐานของฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer approximation) และการประยุกต์ทฤษฎีของมี (Mie Theory) จะได้ว่าความเข้มของแสงที่เกิดการเลี้ยวเบนมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอนุภาคในแต่ละขนาด และมุมเลี้ยวเบนเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค โดยคำนวณขนาดอนุภาคเทียบเป็นขนาดอนุภาคทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากัน (equivalent volumetric diameter) การใช้ตัวกรองแสงเลนส์ และตัวตรวจจับทางแสงร่วมกับคอมพิวเตอร์ ช่วยให้สามารถประมวลผลจากข้อมูลการ

เลี้ยวเบนเป็นการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดยสามารถวัดขนาดของอนุภาคได้ในช่วง ๐.๐๕ - ๕๐๐ ไมครอน และให้ผลการทดสอบการกระจายขนาดของผงแก้วและปูนซีเมนต์ดังรูปที่ ๓.๓

พบว่าผงแก้ว มีอนุภาคส่วนละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ โดยเมื่อเทียบผงแก้วกับปูนซีเมนต์จะมีขนาดอนุภาคตามเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๑๐ เป็น ๐.๐๖ และ ๐.๔๒ ไมครอน ตามลำดับ มีขนาดอนุภาคตามเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๕๐ เป็น ๐.๑๒ และ ๑๕.๐๘ ไมครอน ตามลำดับ และมีขนาดอนุภาคตามเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๙๐ เป็น ๓๒.๘๑ และ ๔๕.๙๓ ไมครอน ตามลำดับ ทั้งนี้ในรูปที่ ๓.๓ ยังได้แสดงผลการกระจายขนาดของวัสดุประสานที่ใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๑๐ ๒๐ และ ๓๐ โดยน้ำหนักของวัสดุประสานเพิ่มเติม

ก) ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคผงแก้ว โดยใช้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยตามเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๕๐ จากผลทดสอบการกระจายขนาดอนุภาคในข้อ ข. พบว่าผงแก้วและปูนซีเมนต์มีขนาดเฉลี่ยเป็น ๐.๑๒ และ ๑๕.๐๘ ไมครอนตามลำดับ และวัสดุประสานที่ใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๑๐ ๒๐ และ ๓๐ โดยน้ำหนักของวัสดุประสานมีขนาดเฉลี่ยเป็น ๑๓.๓๐ ๑๑.๔๕ และ ๙.๔๖ ไมครอน ตามลำดับ

ง) พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) เนื่องจากผลการทดสอบการกระจายขนาดของอนุภาคพบว่าผงแก้วมีส่วนละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์มาก จึงใช้เทคนิค BET ในการหาพื้นที่ผิวจำเพาะของทั้งผงแก้วและปูนซีเมนต์ เพราะสามารถใช้ทดสอบกับวัสดุที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงได้ ขณะที่วิธี Blaine air permeability ไม่เหมาะสมกับวัสดุที่มีความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์มากๆ (๗) หรือมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเกินกว่า ๐.๕ ตารางเมตร/กรัม (๑๐) โดยพบว่าผงแก้วและปูนซีเมนต์มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ BET เป็น ๑.๔๒ และ ๐.๘๕ ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ

จ) ความถ่วงจำเพาะ ดำเนินการทดสอบผงแก้วโดยใช้มาตรฐาน ASTM C188 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะของผงแก้วเป็น ๒.๔๕

ฉ) ความเป็นผลึก ดำเนินการทดสอบผงแก้วโดยใช้เครื่อง XRD (X-ray diffraction spectrometry) ซึ่งอาศัยปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนออกจากวัตถุของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) คือ เมื่อนำรังสีเอกซ์มาฉายลงบนผลึกที่ต้องการศึกษา ลำรังสีส่วนใหญ่ผ่านผลึกไปโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง บางส่วนสะท้อน และมีบางส่วนกระจายออกไปในหลายทิศทางเป็นรูปแบบที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งเกิดจากการที่รังสีเอกซ์ทำอันตรกิริยากับกลุ่มของอิเล็กตรอนของอะตอมบนระนาบและกระเจิงหรือเลี้ยวเบนออกไปโดยจะมีการแทรกสอดแบบเสริมกันทำให้มีความเข้มของรังสี ณ มุมกระเจิงนั้นๆ ไม่เป็นศูนย์ตามสมการของแบรกก์ (Bragg's equation) มุมของรังสีเอกซ์ที่กระเจิงออกมาจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับขนาด รูปร่าง และสมมาตรของหน่วยเซลล์ ในขณะบันทึกข้อมูลผลึกจะถูกหมุนเพื่อเพิ่มโอกาสในการกระเจิง เครื่องวัดรังสีจะถูกเลื่อนไปในตำแหน่งต่างๆ เพื่อวัดรังสีที่กระเจิงออกมาจากผลึก แล้วบันทึกความเข้มที่ค่ามุมต่างๆ ไว้ในคอมพิวเตอร์ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกแสดงออกมาเป็นกราฟระหว่างความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมากับมุมที่ทำการวัด และจะ

สามารถบอกชนิดของสารประกอบที่ทำการทดสอบได้โดยการนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน JCPDS (Joint Committee on Power Diffraction Standard)

ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ ๓.๔ ซึ่งแปลความหมายได้ว่าผงแก้วเป็นวัสดุออสซิลิก โดยไม่มีองค์ประกอบทางเคมีใดๆ ที่มีลักษณะเป็นผลึกในผงแก้ว

ข) รูปร่างของอนุภาค ดำเนินการตรวจสอบโดยใช้กล้อง SEM (scanning electron microscope) แสดงผลดังรูปที่ ๓.๕ จะพบว่าอนุภาคของทั้งผงแก้วและปูนซีเมนต์มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม (angular)

### ๓.๒.๒ องค์ประกอบทางเคมี

ดำเนินการหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีโดยเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence spectrometer) และการวิเคราะห์ทางเคมีตามมาตรฐาน BS EN 196 แสดงผลดังตารางที่ ๓.๕ และ ๓.๖ ตามลำดับ

### ๓.๒.๓ ปริมาณรีแอคทีฟซิลิกา

ในส่วนของปริมาณรีแอคทีฟซิลิกาหรือปริมาณซิลิกาที่สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้จริงนั้น ไม่สามารถหาได้โดยตรง แต่ในเชิงเปรียบเทียบสามารถหาได้โดยการนำมาตรฐาน BS EN 450-1 (๒) และ BS EN 196-2 (๓) มาประยุกต์ใช้และทำการเทียบหาปริมาณรีแอคทีฟซิลิกาจากผลต่างระหว่างปริมาณซิลิกาทั้งหมด (total silica) กับปริมาณซิลิกาในกากที่ไม่สามารถละลายได้ในกรดและด่าง (insoluble residue) (๔) ดังสมการที่ ๓.๒

$$RSi = TSi - ISi \quad (๓.๒)$$

เมื่อ  $RSi$  = ปริมาณรีแอคทีฟซิลิกา (reactive silica) (ร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด)

$TSi$  = ปริมาณซิลิกาทั้งหมด (total silica) (ร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด)

$ISi$  = ปริมาณซิลิกาในกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (silica in insoluble residue) (ร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด)

พบว่าผงแก้ว เถ้าลอยแม่เมาะ และซิลิกาฟูมมีปริมาณรีแอคทีฟซิลิกาคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักทั้งหมดได้ ๔๐.๓๖ ๓๕.๒๖ และ ๘๖.๗๖ ตามลำดับ ดังแสดงผลในตารางที่ ๓.๖

### ๓.๒.๔ การทดสอบเพื่อระบุการเป็นปอซโซลานเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C618

ดำเนินการทดสอบตามขั้นตอน ดังนี้

ก) ทำการทดสอบกำลังอัดและหาดัชนีกำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งใช้ผงแก้วแทนที่ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ ๒๐ โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C109 โดยใช้สัดส่วนน้ำผสมเพื่อให้ได้ค่า

โตะการไหลอยู่ระหว่างร้อยละ ๑๐๕ - ๑๑๕ จากนั้นหล่อเป็นรูปลูกบาศก์ ขนาด ๕ x ๕ x ๕ เซนติเมตร ทิ้งไว้ในห้องขึ้น ๑ วัน จากนั้นทำการถอดแบบและนำไปบ่มทิ้งไว้ในน้ำเพื่อรอทดสอบ กำลังอัดที่อายุ ๗ และ ๒๘ วัน สัดส่วนการผสมเป็นดังส่วนผสม A1 และ A3 ในตารางที่ ๓.๓

ข) เปรียบเทียบดัชนีกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C618 ก็คือต้องมากกว่าร้อยละ ๗๕ ที่ อายุ ๗ หรือ ๒๘ วัน จึงสามารถจัดเป็นปอชโซลานได้ โดยสามารถคำนวณค่าดัชนีกำลังอัดได้ตาม สมการที่ ๓.๓ ดังนี้

$$SAI = 100 \times \frac{A}{B} \quad (๓.๓)$$

เมื่อ  $SAI$  = ดัชนีกำลังอัด (strength activity index) (ร้อยละ)

$A$  = กำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ตาร์ที่ใช้วัสดุปอชโซลานแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๒๐ ของ น้ำหนักวัสดุประสาน

$B$  = กำลังอัดเฉลี่ยของมอร์ตาร์มาตรฐานที่ไม่ใช้วัสดุปอชโซลาน

จากผลการทดสอบพบว่าผงแก้วให้ดัชนีกำลังอัดเป็น ๗๘ และ ๘๒ เปอร์เซ็นต์ ที่อายุ ๗ และ ๒๘ วันตามลำดับ

### ๓.๓ การทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

ดำเนินการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ลูกบาศก์ขนาด ๕ x ๕ x ๕ เซนติเมตรตามมาตรฐาน ASTM C 109 ที่อายุ ๑ ๓ ๗ ๒๘ ๕๖ และ ๘๑ วัน โดยทดสอบ ๓ ก้อนตัวอย่าง/ส่วนผสม/อายุ ผสม มอร์ตาร์ในสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วที่ร้อยละ ๐ ๑๐ ๒๐ และ ๓๐ โดยน้ำหนักของ วัสดุประสาน และเพื่อศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอชโซลานเมื่อใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ต่างกันจึงใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในงานวิจัย ๒ ค่า เป็น ๐.๕ และ ๐.๗๒ (เพียงพอให้เกิดค่า โตะการไหลร้อยละ ๑๐๕-๑๑๕) โดยมีสัดส่วนการผสมดังตารางที่ ๓.๓

ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ๓.๗ และ ๓.๘ ตามลำดับ

### ๓.๔ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงในมอร์ตาร์

ดำเนินการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงในมอร์ตาร์ผสมผงแก้วอันเนื่องมาจากผลของ ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปอชโซลาน ตั้งแต่ช่วงอายุ ๒ ถึง ๖๐ วัน โดยใช้เทคนิค MIP (mercury intrusion porosity) ทำการทดสอบหาปริมาตรโพรงที่ต่อเนื่อง (continuous pores) แต่ละขนาด ใน มอร์ตาร์ที่ใช้ผงแก้วแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ ๐ - ๓๐ โดยน้ำหนักของวัสดุประสานและ ใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๗๒ ดังตารางที่ ๓.๓

จัดเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยทุบชิ้นส่วนมอร์ตาร์ที่ผ่านการทดสอบกำลังอัดที่อายุ ๒ ๓๑ และ ๖๐ วันให้เป็นก้อนขนาดเล็ก นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ ๑๐๕ องศาเซลเซียสประมาณ ๒๔

ชั่วโมง จนมีน้ำหนักคงที่ซึ่งถือได้ว่าเป็นน้ำในเพชรออกจนทำให้ได้ผิวสัมผัสภายในโพรงมีมุมสัมผัส (Contact angles) คงที่เป็น ๑๑๗ องศา จากนั้นนำตัวอย่างมอร์ตาร์ดังกล่าวไปทดสอบวัดปริมาตรโพรงที่ต่อเนื่องด้วยเทคนิค MIP ภายในวันเดียวกัน

ได้ผลการหาปริมาตรโพรงแต่ละประเภทของมอร์ตาร์ตามอายุ ดังตารางที่ ๓.๕

### ๓.๕ การทดสอบความคงทนจากความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนผ่านคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 1202

ดำเนินการทดสอบความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนตามมาตรฐาน ASTM C1202 (๑๕) กับคอนกรีตที่มีอายุ ๗, ๒๘ และ ๕๖ วัน ใช้ผงแก้วแทนที่ปูนซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ ๐ และ ๒๐ โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๖ ดังแสดงในตารางที่ ๓.๔ โดยทำการทดสอบ ๒ ก้อนตัวอย่าง/ส่วนผสม/อายุและนำมาหาค่าเฉลี่ย

ผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C33 หล่อเป็นก้อนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐ เซนติเมตร สูง ๒๐ เซนติเมตร ทิ้งไว้ในห้องขึ้น ๑ วัน ทำการถอดแบบและตัดก้อนคอนกรีตดังกล่าว ออกเป็น ๓ ก้อนให้มีความสูงก้อนละ ๕ เซนติเมตร นำก้อนตัวอย่างไปบ่มในน้ำเพื่อรอทดสอบความคงทนตามมาตรฐาน ASTM C1202 ที่อายุ ๗ และ ๒๘ วันต่อไป

ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ ๓.๑๐

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓.๑ ขนาดคละของลูกบอลบดที่ใช้

เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอลบด (มม.)	ปริมาตรต่อลูก (ลบ.ซม.)	ปริมาณ (ลูก)	รวมปริมาตร (ลบ.ซม.)
๓๐	๑๔	๓	๔๒
๒๖	๑๐	๘	๘๒
๒๒	๖	๑๖	๘๙
๑๙	๔	๑๔	๕๐
๑๓	๑	๓๑	๓๖
รวม			๓๐๐

ตารางที่ ๓.๒ ขนาดคละของหินและทรายที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดตะแกรง	กำรย่อยละเอียดของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง		
	มอร์ตาร์ (ASTM C778)	คอนกรีต (ASTM C33)	
	ทราย	ทราย	หิน
๒ นิ้ว	-	-	-
๑ ๑/๒ นิ้ว	-	-	-
๑ นิ้ว	-	-	๑๐๐.๐ (๑๐๐)
๓/๔ นิ้ว	-	-	๕๐.๐ (๕๐-๑๐๐)
๑/๒ นิ้ว	-	-	-
๓/๘ นิ้ว	-	๑๐๐.๐ (๑๐๐)	๔๕.๐ (๒๐-๕๕)
เบอร์ ๔	-	๕๕.๒ (๕๕-๑๐๐)	๑๐.๐ (๐-๑๐)
เบอร์ ๘	-	๕๓.๒ (๘๐-๑๐๐)	๐.๐ (๐-๕)
เบอร์ ๑๖	-	๗๕.๓ (๕๐-๘๕)	๐.๐ (๐)
เบอร์ ๓๐	๕๘ (๕๖-๑๐๐)	๕๑.๐ (๒๕-๖๐)	๐.๐
เบอร์ ๔๐	๗๒ (๗๕-๖๕)	-	-
เบอร์ ๕๐	๒๕ (๒๐-๓๐)	๑๖.๕ (๑๐-๓๐)	๐.๐
เบอร์ ๑๐๐	๐ (๐-๒)	๓.๑ (๒-๑๐)	๐.๐
โมดูลัสความละเอียด	-	๒.๖	๖.๖

ตารางที่ ๓.๓ สัดส่วนผสมและค่าโตะการไหลของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบกำลังอัดและศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรง

w/b	ส่วนผสม	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก			ค่าโตะการไหล(%)
		ผงแก้ว	ซีเมนต์ชนิดที่ ๑	ทรายกละ	
๐.๗๒	A1	๐.๐	๑.๐	๒.๗๕	๑๑๕
	A2	๐.๑	๐.๕		๑๑๐
	A3	๐.๒	๐.๘		๑๐๕
	A4	๐.๓	๐.๗		๙๕
๐.๕๐	A5	๐.๐	๑.๐	๒.๗๕	-
	A6	๐.๒	๐.๘		-
	A7	๐.๓	๐.๗		-

ตารางที่ ๓.๔ สัดส่วนผสมของคอนกรีต (กก./ คอนกรีต ๑ ลบ.ม.) ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของกลอไรด์ไอออนตามมาตรฐาน ASTM C1202

ส่วนผสม	GP/b	w/b	w/c	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กก./ คอนกรีต ๑ ลบ.ม.)				
				ผงแก้ว	ซีเมนต์ชนิดที่ ๑	น้ำ	ทรายกละ	หินกละ
B1	๐	๐.๖	๐.๖	๐	๓๓๓	๒๐๐	๘๖๗	๕๘๐
B2	๐.๒	๐.๖	๐.๗๕	๖๗	๒๖๗	๒๐๐	๘๕๒	๕๘๐



ตารางที่ ๓.๕ องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุโดยเครื่อง XRF

ออกไซด์	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)			
	ซีเมนต์ชนิดที่ ๑	ผงแก้ว	เถ้าลอยแม่เมาะ	ซิลิกาฟูม
CaO	๖๕.๔๑	๑๑.๔๒	๑๕.๓๑	๐.๘๐
SiO <sub>2</sub>	๒๐.๕๐	๖๕.๖๖	๓๑.๕๐	๕๑.๔๐
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	๔.๗๖	๑.๓๒	๑๕.๖๘	๑.๒๔
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	๓.๔๑	๐.๑๔	๑๖.๔๖	๑.๖๐
MgO	๑.๒๕	๑.๕๘	๓.๕๗	๑.๓๑
Na <sub>2</sub> O	๐.๒๔	๑๘.๘๗	๒.๗๗	๐.๕๗
K <sub>2</sub> O	๐.๓๕	๐.๒๕	๒.๘๔	๑.๒๗
SO <sub>3</sub>	๒.๗๑	๐.๒๑	๕.๕๔	๐.๒๔
LOI	๐.๕๑	-	-	-

ตารางที่ ๓.๖ องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุโดยวิธีทดสอบทางเคมีตามมาตรฐาน BS EN 196-2

ออกไซด์	สัดส่วนโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)		
	ผงแก้ว	เถ้าลอยแม่เมาะ	ซิลิกาฟูม
total SiO <sub>2</sub>	๖๘.๗๑	๓๖.๗๐	๕๑.๔๐*
reactive SiO <sub>2</sub>	๔๐.๓๖	๓๕.๒๖	๘๖.๗๖
re. SiO <sub>2</sub> / total SiO <sub>2</sub>	๐.๕๙	๐.๙๖	๐.๙๕

(\* ค่า total SiO<sub>2</sub> ของซิลิกาฟูมนำมาจากการทดสอบด้วยเครื่อง XRF ดังตารางที่ ๓.๕)

ตารางที่ ๓.๗ ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์

อายุ (วัน)	กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
๑	๑๐๕	๕๐	๗๘	๗๐	๑๒๒	๑๐๖	๕๗
๓	๑๗๘	๑๔๔	๑๓๕	๑๑๖	๑๘๐	๑๕๐	๑๔๒
๗	๒๖๔	๒๐๖	๑๗๗	๑๖๑	๑๕๗	๒๑๐	๑๕๕
๓๑	๓๒๗	๓๐๑	๒๗๕	๒๕๓	๒๒๘	๒๘๕	๒๘๕
๕๖	๓๓๓	๓๔๒	๓๓๓	๒๕๔	๒๕๓	๓๔๘	๓๓๔
๕๑	๓๓๓	๓๔๔	๓๕๒	๓๑๔	๒๖๐	๓๖๕	๓๕๐
GP/binder	๐	๐.๑	๐.๒	๐.๓	๐	๐.๒	๐.๓
w/b	๐.๗๒				๐.๕๐		

ตารางที่ ๓.๘ ค่าดัชนีกำลังอัดของมอร์ตาร์

อายุ (วัน)	ดัชนีกำลังอัด (เปอร์เซ็นต์)				
	A2	A3	A4	A6	A7
๑	๘๓	๗๒	๖๔	๘๗	๘๐
๓	๘๑	๗๖	๖๕	๕๓	๗๕
๗	๗๘	๖๗	๖๑	๕๘	๑๐๑
๓๑	๕๒	๘๔	๗๗	๑๒๕	๑๒๕
๕๖	๑๐๓	๑๐๐	๘๘	๑๓๐	๑๓๒
๕๑	๑๐๓	๑๐๖	๕๔	๑๓๗	๑๓๕
GP/binder	๐.๑	๐.๒	๐.๓	๐.๒	๐.๓
w/b	๐.๗๒			๐.๕๐	

ตารางที่ ๓.๕ ผลการทดสอบหาปริมาณโพรงต่อเนื่องภายในมอร์ตาร์ด้วยเทคนิค MIP (๐.๐๐๗ - ๑๕๐ ไมครอน)

อายุ (วัน)	ส่วนผสม	GP/binder	ปริมาณโพรง (ร้อยละของปริมาณเฟสค์)				
			๐.๐๐๗ - ๐.๐๑ ไมครอน <sup>๑</sup>	๐.๐๑ - ๑๐ ไมครอน <sup>๒</sup>	๑๐ - ๑๕๐ ไมครอน <sup>๓</sup>	๐.๐๐๗ - ๑๕๐ ไมครอน <sup>๔</sup>	๐.๐๒ - ๑๐ ไมครอน <sup>๕</sup>
๒	A1	๐	๐.๓๓	๒๐.๗๐	๑.๓๓	๒๒.๓๖	๑๕.๖๐
	A2	๐.๑	๐.๒๓	๒๕.๒๑	๑.๖๔	๒๗.๐๗	๒๔.๕๘
	A3	๐.๒	๐.๒๒	๒๘.๕๐	๓.๓๐	๓๒.๐๑	๒๗.๑๖
	A4	๐.๓	๐.๓๕	๒๕.๓๐	๑.๓๖	๒๗.๐๐	๒๓.๕๗
๓๑	A1	๐	๑.๓๖	๑๗.๓๔	๑.๘๔	๒๐.๕๔	๑๔.๕๕
	A2	๐.๑	๑.๑๐	๒๐.๒๐	๒.๓๑	๒๓.๖๑	๑๗.๕๗
	A3	๐.๒	๐.๘๘	๒๐.๕๓	๒.๖๕	๒๔.๔๕	๑๘.๓๖
	A4	๐.๓	๑.๒๔	๒๒.๓๕	๑.๕๑	๒๕.๑๔	๑๕.๓๒
๖๐	A1	๐	๑.๒๔	๑๔.๔๘	๐.๕๕	๑๖.๖๖	๑๒.๕๔
	A2	๐.๑	ไม่มีการทดสอบ				
	A3	๐.๒	๑.๔๑	๑๖.๑๐	๘.๑๐	๒๕.๖๑	๑๓.๔๒
	A4	๐.๓	ไม่มีการทดสอบ				

(ก = โพรงเจลบางส่วน ข = โพรงกะปิลลารี ค = โพรงขนาดใหญ่ ง = โพรงที่วัดได้ทั้งหมด และ จ = โพรงกะปิลลารีที่ใช้วิเคราะห์ผลต่อกำลังอัดต้องมีขนาดใหญ่กว่า ๐.๐๒ ไมครอน (๑) )

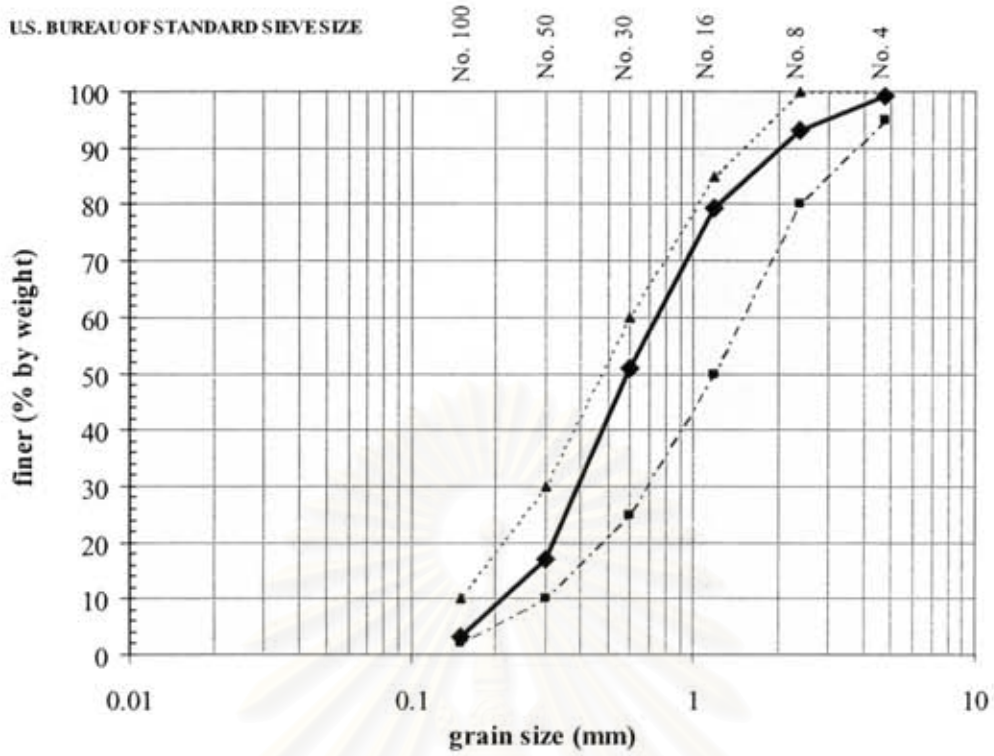
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓.๑๐ ผลการทดสอบการต้านทานการซึมผ่านของกลอไรด์ไอออนของคอนกรีตตาม  
มาตรฐาน ASTM C1202

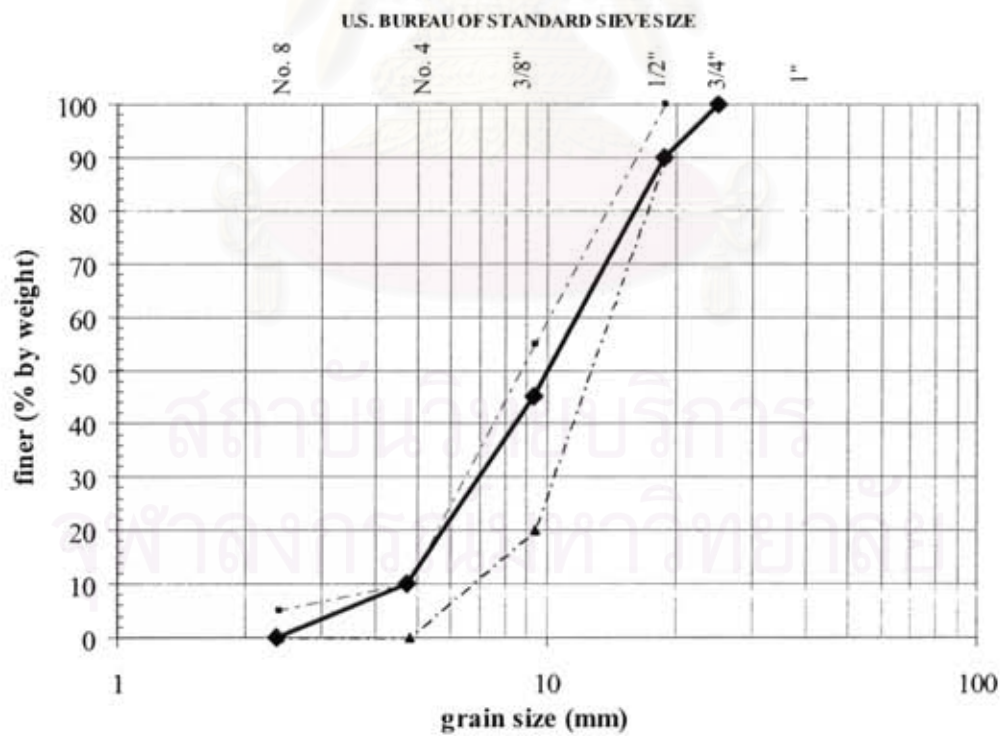
วัน	ค่าประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่าน (คูลอมบ์)					
	B1			B2		
	๑	๒	ค่าเฉลี่ย	๑	๒	ค่าเฉลี่ย
๓	๔๕๓๐	๔๕๕๐	๔๕๖๐	๕๑๓๐	๕๒๐๐	๕๑๖๕
๒๘	๔๕๕๐	๔๘๗๐	๔๕๑๐	๑๓๕๐	๑๒๗๐	๑๓๑๐
๕๑	๔๗๘๐	๔๗๑๐	๔๗๔๕	๗๓๐	๗๗๐	๗๕๐



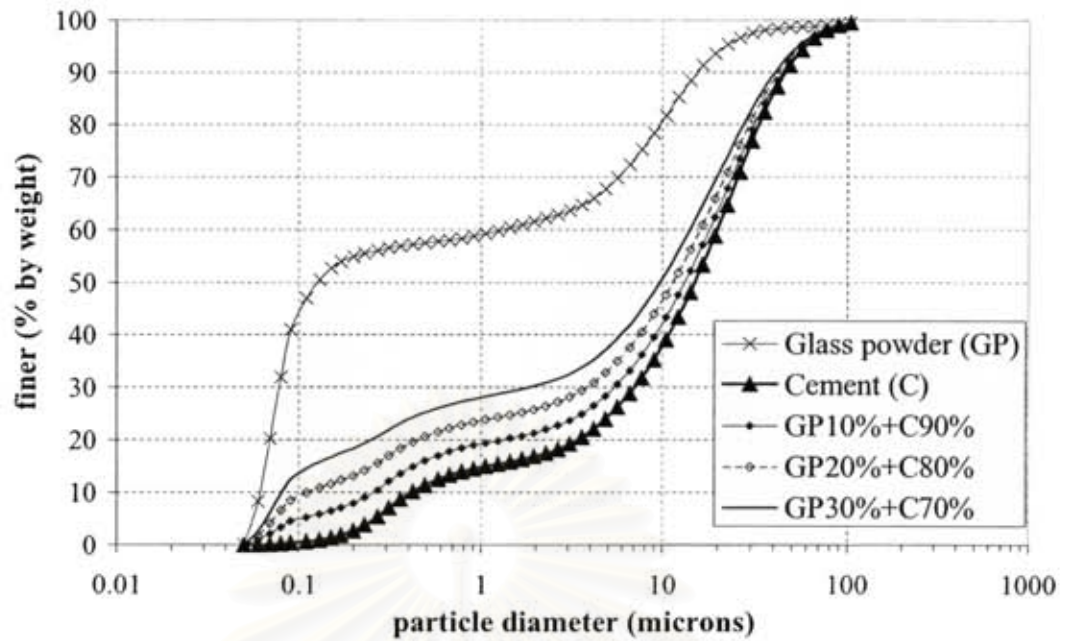
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



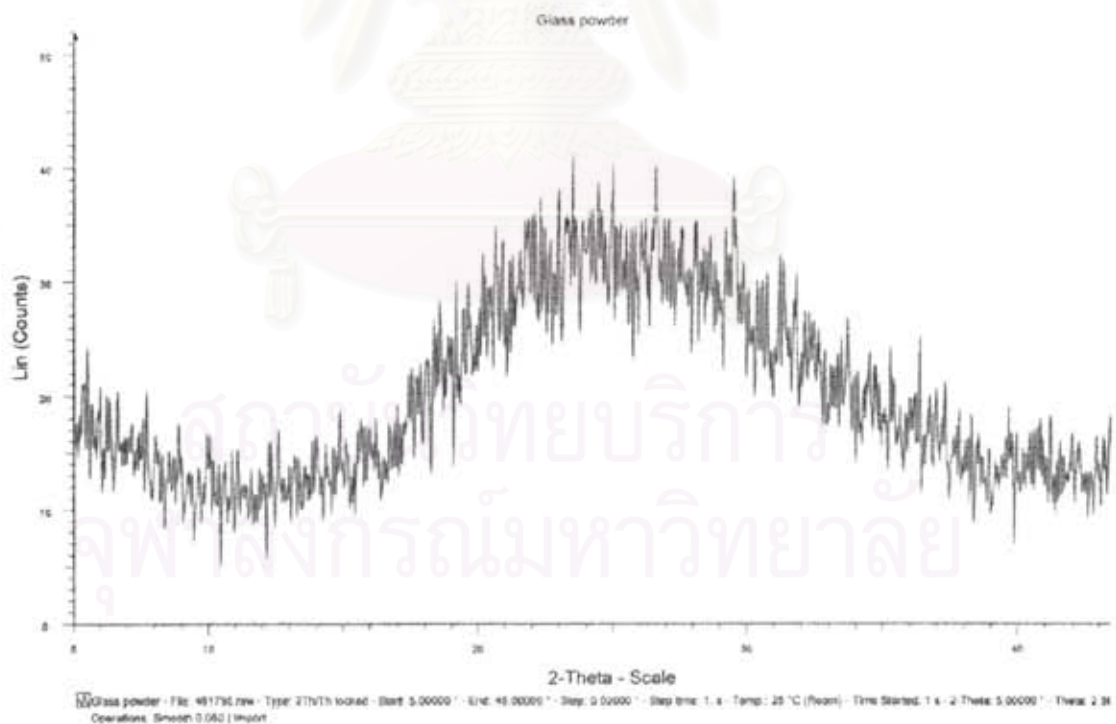
รูปที่ ๓.๑ ขนาดละเอียดของทรายผสมทำคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C33



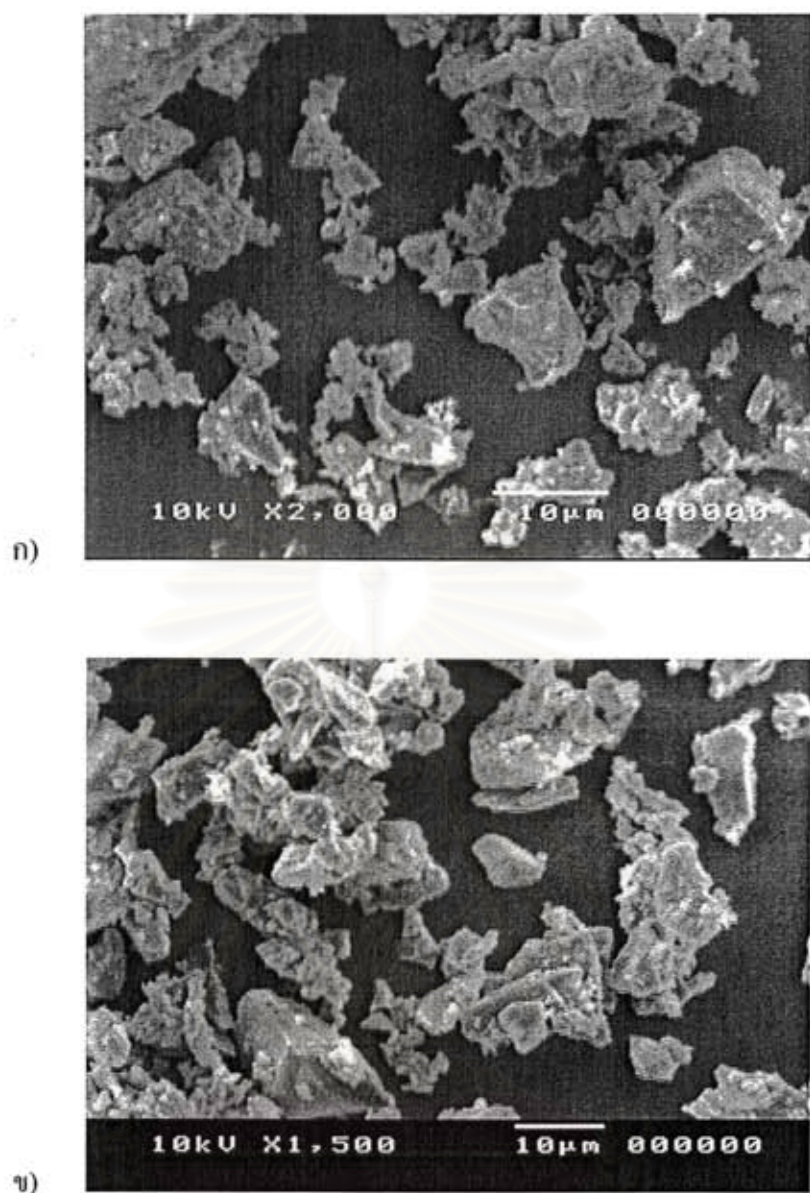
รูปที่ ๓.๒ ขนาดละเอียดของหินผสมทำคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยมีขนาดโตสุดเป็น ๓/๔ นิ้ว



รูปที่ ๓.๓ ผลการกระจายขนาดของอนุภาคผงแก้วและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑



รูปที่ ๓.๔ ผลทดสอบความเป็นผลึก โดยเครื่อง XRD แสดงความเป็นอสัณฐานของผงแก้ว



รูปที่ ๓.๕ ภาพถ่ายรูปร่างอนุภาคของ ก) ปูนซีเมนต์ (๒,๐๐๐ เท่า) และ ข) ผงแก้ว (๑,๕๐๐ เท่า) โดยเครื่อง SEM

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ ๔

### การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

#### ๔.๑ การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและการระบุการเป็นปอซโซลานของผงแก้ว

ผงแก้วเป็นวัสดุสัณฐานและอนุภาคผงแก้วที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้มีความละเอียดสูงซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ทั้งนี้สามารถจัดผงแก้วที่มีขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอนในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ ๕๕ ของน้ำหนักทั้งหมด เป็นวัสดุปอซโซลานเทียบเท่ากับมาตรฐาน ASTM C618 ได้ (ทั้งนี้มาตรฐาน ASTM C618 ใช้เพื่อระบุการเป็นปอซโซลานของเถ้าลอยและวัสดุปอซโซลานจากธรรมชาติเท่านั้น)

ผงแก้วมีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น ๒.๕๕ ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ ๑ และอนุภาคผงแก้วมีความละเอียดสูงและละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ ดังที่ได้แสดงเปรียบเทียบในตารางที่ ๔.๑ โดยมีพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งวัดด้วยเทคนิค BET เป็น ๑.๔๒ ตารางเมตร/กรัม และมีขนาดเฉลี่ยเพียง ๐.๑๒ ไมครอน เท่านั้น (ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ ๕๐ จากผลการกระจายขนาดของอนุภาค) ในขณะที่ปูนซีเมนต์มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะเป็น ๐.๘๕ ตารางเมตร/กรัม และขนาดเฉลี่ยเป็น ๑๕.๐๘ ไมครอน หรือประมาณ ๑๒๕ เท่าของอนุภาคผงแก้ว ด้วยอนุภาคผงแก้วซึ่งเล็กกว่าปูนซีเมนต์อย่างมากอาจส่งผลดีต่อกำลังอัดจากผลด้านการเติมช่องว่าง (filler effect) หรือการเป็นนิวเคลียสให้ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันก่อตัวซึ่งช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงต้น แต่ยังคงไม่สามารถทดแทนกำลังที่หายไปเนื่องจากปริมาณซีเมนต์ที่ลดลงได้ ดังผลการทดสอบกำลังอัดในรูปที่ ๔.๑ และ ๔.๒ ที่กำลังอัดในช่วงอายุต้นของมอร์ตาร์ลดลงเมื่อสัดส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงแก้วเพิ่มขึ้น โดยจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในผลกระทบจากสองปัจจัยนี้

เมื่อทำการเปรียบเทียบความละเอียดระหว่างอนุภาคผงแก้วกับเถ้าลอยแม่เมาะและซิลิกาฟูม ดังตารางที่ ๔.๑ พบว่าผงแก้วมีความละเอียดสูงกว่าเถ้าลอยแม่เมาะมากจะทำให้มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานมากกว่า โดยเถ้าลอยแม่เมาะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยสูงถึง ๒๘.๕ ไมครอน หรือประมาณ ๒๓๗ เท่าของอนุภาคผงแก้ว และเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคซิลิกาฟูม จะสังเกตพบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงแก้วและซิลิกาฟูมใกล้เคียงกันเป็น ๐.๑๒ ไมครอนและ ๐.๑๐ ไมครอน ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิค BET จะพบว่าผงแก้วมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่าซิลิกาฟูมเป็นอย่างมาก โดยซิลิกาฟูมมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง ๒๐ ตารางเมตรต่อกรัม หรือประมาณเกือบ ๑๕ เท่าของผงแก้ว

หากพิจารณาผลกระทบจากการใช้ผงแก้วต่อความสามารถในการเทได้ พบว่าจากปัจจัยด้านความละเอียดของผงแก้วซึ่งมีค่าสูงกว่าปูนซีเมนต์จึงต้องการน้ำมาหุ้มอนุภาคมากขึ้น ประกอบกับรูปร่างอนุภาคของผงแก้วที่เป็นเหลี่ยมมุมจึงทำให้เกิดการขัดกันของอนุภาคซึ่งจะไม่ช่วยในการ



หล่อลื่นเหมือนอย่างอนุภาครูปร่างกลม ทำให้เพศตั้งใช้ผงแก้วแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนต้องการ ปริมาณน้ำมากขึ้นเพื่อคงความสามารถในการเทได้ให้เหมือนเดิม ดังค่าโต๊ะการไหล (Flow table test) ที่แสดงในตารางที่ ๓.๓ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อใช้สัดส่วนผงแก้วมากขึ้น

#### ๔.๒ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ผงแก้วประกอบด้วยซิลิกาและอัลคาไลที่ค่อนข้างสูง โดยมีปริมาณซิลิกาไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ร้อยละ ๖๕.๖๖ ของน้ำหนักทั้งหมด สูงกว่าเถ้าลอยแม่เมาะซึ่งมีอยู่ร้อยละ ๓๖.๑๐ ของน้ำหนัก ทั้งหมด แต่น้อยกว่าซิลิกาฟูมซึ่งมีสูงถึงร้อยละ ๘๑.๔๐ ของน้ำหนักทั้งหมด ส่วนโปแตสเซียมไดออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) และโซเดียมไดออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) มีปริมาณร้อยละ ๐.๒๕ และ ๑๘.๘๗ ของน้ำหนัก ทั้งหมด ตามลำดับ ทั้งนี้ในส่วนของคุณสมบัติของอัลคาไลที่สูงมากในแก้วจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่อง ปฏิกริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (alkaline-silica reaction) หากใช้แก้วเป็นมวลรวม (๑๐, ๑๑) แต่ พบว่าเมื่ออบคั่วจนมีขนาดเล็กเพียงพอปัญหานี้จะหายไป (๑๒, ๑๓) และผงแก้วจะเป็นปอซโซลาน ที่มีอัลคาไลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตในช่วงอายุต้น (๑, ๗, ๒๐) โดยอัลคาไลนั้นจะทำให้ชั้นของผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน (hydration products) รอบไตร แคลเซียมซิลิเกตถูกซึมผ่านได้ง่ายขึ้นจึงช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงที่ปฏิกิริยาถูกควบคุมด้วย การแพร่ (diffusion control) (๒๐) ทำให้กำลังอัดในช่วงแรกค่อนข้างสูง (๑, ๗, ๒๐) ดังผลการ ทดสอบในรูปที่ ๔.๓ ซึ่งพบว่ามอร์ตาร์ที่ใช้ผงแก้วมีกำลังอัดค่อนข้างสูงโดยเปรียบเทียบ ในช่วงอายุต้นระหว่าง ๑-๓ วัน ทั้งนี้สำหรับเถ้าลอยแม่เมาะที่มีความละเอียดต่างกัน (๘) ซึ่งมี โปแตสเซียมไดออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) และโซเดียมไดออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ต่ำกว่าในผงแก้ว โดยอยู่ในช่วง ร้อยละ ๒.๓๐-๓.๐๐ และ ๑.๓๑-๑.๕๓ ของน้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ จะให้กำลังอัด ของมอร์ตาร์ ในช่วงอายุ ๑-๓ วัน สูงขึ้นตามเวลาโดยไม่มีลักษณะค่อนข้างสูงโดยเปรียบเทียบในช่วงอายุต้น เหมือนดังผลกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงแก้วในงานวิจัยฉบับนี้ อันเป็นผลเนื่องมาจากอัลคาไลที่มี ปริมาณสูงในผงแก้วนั่นเอง

#### ๔.๓ การวิเคราะห์ปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาและเปรียบเทียบศักยภาพในการเป็นปอซโซลานเบื้องต้น ระหว่างผงแก้ว เถ้าลอยแม่เมาะและซิลิกาฟูมโดยพิจารณาร่วมกับความละเอียด

จากการหาปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาเชิงเปรียบเทียบ พบว่าผงแก้วมีปริมาณรีแอกทีฟซิลิการ้อย ละ ๔๐.๓๖ ของน้ำหนักทั้งหมด อยู่ระหว่างเถ้าลอยแม่เมาะซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันที่ร้อยละ ๓๕.๒๖ ของน้ำหนักทั้งหมด และซิลิกาฟูมซึ่งมีสูงถึงร้อยละ ๘๖.๑๖ ของน้ำหนักทั้งหมด เห็นได้ชัดว่า ปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาของซิลิกาฟูมที่สูงมาก ประกอบกับการมีพื้นที่ผิวจำเพาะที่สูง ส่งผลคือ กำลังอัดทั้งในระยะต้นและหลัง โดยที่ปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาจะส่งผลสำคัญต่อกำลังอัดในระยะ

หลังมากกว่าและการพัฒนากำล้างอัดในระยะแรกมีปัจจัยหลักมาจากความละเอียดของอนุภาคเป็นสำคัญ (๕) ดังที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของความละเอียดและปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาของเถ้าลอยต่อการพัฒนากำล้างอัด (๔, ๕) พบว่าเถ้าลอยที่มีปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาซึ่งใช้วิธีวิเคราะห์เดียวกับหัวข้อ ๓.๑ ต่างกัน แต่มีค่าความละเอียดใกล้เคียงกัน จะให้ผลการทดสอบกำล้างอัดใกล้เคียงกัน ในช่วงอายุต้น แต่ที่ช่วงอายุหลังค่ากำล้างอัดจะต่างกัน โดยการใส่เถ้าลอยที่มีปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาสูงกว่าจะให้ค่ากำล้างอัดในช่วงหลังมากกว่า (๔) ทั้งนี้การพัฒนากำล้างอัดในระยะแรกจะยิ่งดีหากความละเอียดของอนุภาคเถ้าลอยมีสูง และกำล้างอัดในระยะหลังจะสูงเมื่อปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาในเถ้าลอยยังมีมาก (๕) จากคุณสมบัติด้านปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาและความละเอียดของอนุภาคนี้ เมื่อเปรียบเทียบสัณฐานภาพเบื้องต้นในการเป็นปอซโซลานระหว่างผงแก้วกับเถ้าลอย หากพิจารณาให้รีแอกทีฟซิลิกาซึ่งทดสอบหามาได้มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้เท่ากัน ผงแก้วควรจะให้กำล้างอัดในระยะหลังดีกว่า ส่วนกำล้างอัดระยะต้นนั้นอาจต้องพิจารณาปัจจัยเรื่องความละเอียดของอนุภาคเป็นสำคัญ รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีชนิดอื่นที่จะส่งผลต่อกำล้างอัดในช่วงแรกเริ่ม เช่น อัลคาไลในผงแก้ว หรือแคลเซียมออกไซด์ในเถ้าลอย

ทั้งนี้พึงระลึกว่าวิธีการหาปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาดังกล่าวนี้เป็นวิธีเชิงเปรียบเทียบ อาจไม่ได้ปริมาณซิลิกาซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้จริงทั้งหมดทั้งนี้เพราะค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) ที่เกิดขึ้นจริงในซีเมนต์เพสต์นั้นมีเพียง ๑๒.๖ – ๑๓.๕ (๗) ต่ำกว่าค่าความเป็นกรดและด่างที่เกิดในขั้นตอนทดสอบที่ ๓.๒.๓ เพื่อทำละลายผงแก้วให้ได้กากที่ไม่ละลายในกรดและด่างซึ่งใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวทำละลายนาน ๑๖ ชั่วโมง และนำไปต้มอีก ๔ ชั่วโมงโดยให้ค่าความเป็นกรดและด่างสูงมากถึง ๑๔.๖๕ อีกทั้งความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจริงของวัสดุซึ่งมีความเป็นผลึกไม่เหมือนกันนั้นต่างกัน ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

#### ๔.๔ ผลของผงแก้วต่อการพัฒนากำล้างอัด

พบว่ามอร์ตาร์ทุกสัดส่วนผสมที่ใช้ผงแก้วจะมีกำล้างอัดในช่วงอายุต้นที่ ๑-๓ วันลดลงตามสัดส่วนของผงแก้วที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำกว่ากำล้างอัดของมอร์ตาร์ควบคุมซึ่งไม่ใช้ผงแก้ว พิจารณาได้จากดัชนีกำล้างอัดตามรูปที่ ๔.๓ ทั้งนี้เป็นเพราะสัดส่วนปูนซีเมนต์ที่จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและให้กำล้างมีน้อยลง ในขณะที่ผงแก้วยังมีลักษณะเป็นเหมือนวัสดุเฉื่อยที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานหรืออาจเกิดน้อย และผลด้านอื่นไม่สามารถชดเชยกำล้างที่ลดลงไปได้ เช่น การเติมช่องว่างและการทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่าค่าดัชนีกำล้างของมอร์ตาร์ซึ่งใช้ผงแก้วทุกสัดส่วนผสมให้ค่าสูงโดยเปรียบเทียบในช่วงอายุประมาณ ๑-๓ วัน ก่อนที่จะลดลงและพัฒนาเพิ่มขึ้นต่อไปตามลำดับ ค่าดัชนีกำล้างอัดที่สูงในช่วงต้นนี้เป็นผลมาจากปริมาณอัลคาไลในผงแก้วซึ่งมีสูง (๑)

การพัฒนากำลังอัดที่มีสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามเวลาของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงแก้ว จากที่มีค่ากำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม จนกระทั่งมีค่าเทียบเท่าหรือสูงกว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ควบคุม อีกทั้งยังสามารถพัฒนากำลังได้อย่างต่อเนื่องหลังอายุ ๕๖ วัน ในขณะที่มอร์ตาร์ควบคุมมีการพัฒนากำลังอัดค่อนข้างคงที่หรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจาก ๕๖ วัน เป็นการแสดงถึงผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานของผงแก้วนั่นเอง ดังในรูปที่ ๔.๑ -๔.๔

กำลังอัดของมอร์ตาร์ซึ่งใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ ๑๐ และ ๒๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน (GP10% และ GP20%) ที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๗๒ เพิ่มขึ้นจนมีค่าเทียบเท่าหรือสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม (PC) เล็กน้อยหลัง ๕๖ วันเป็นต้นไป ดังแสดงในรูปที่ ๔.๑ และ ๔.๔ ในขณะที่มอร์ตาร์ซึ่งใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วนร้อยละ ๒๐ และ ๓๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน (GP20% และ GP30%) ที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำกว่าเป็น ๐.๕ มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงหรือสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมเล็กน้อยตั้งแต่อายุ ๗ วัน และมีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นตามเวลาจนให้ค่าดัชนีกำลังอัดสูงกว่า ๑๓๐ เปอร์เซ็นต์ ที่อายุ ๕๖ วัน ดังรูปที่ ๔.๒ และ ๔.๔ แสดงให้เห็นว่าผงแก้วสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจนส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัดอย่างชัดเจนได้ก่อน ๗ วัน ที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๕ โดยอาจเป็นเพราะความเป็นด่างในเฟสค์ที่มีสูงมากพอจนสามารถทำลายรีแอกทีฟซิลิกาได้ตั้งแต่ช่วงอายุต้น

หากเปรียบเทียบค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๗๒ (ค่าโตะการไหลอยู่ในช่วงร้อยละ ๑๐๕ - ๑๑๕) กับ ๐.๕ จะพบว่ามอร์ตาร์ที่ใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานสูงกว่าเป็น ๐.๗๒ กลับมีค่ากำลังอัดมากกว่า ทั้งนี้คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากความอัดแน่นของเนื้อตัวอย่าง (degree of compaction) ที่ดีกว่า เนื่องมาจากมอร์ตาร์สดจะมีลักษณะเหลว การหล่อลงแบบและอัดแน่นทำได้ง่าย ความเป็นเนื้อเดียวกันและปริมาณโพรงอากาศภายในจึงน้อยกว่า ดังเป็นที่ยอมรับว่าการที่คอนกรีตจะมีกำลังอัดสูงขึ้นเมื่อใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำลงตามกฎของอาบรัมส์นั้น (Abrams' law) คอนกรีตต้องอยู่ในสภาพที่อัดแน่นอย่างเต็มที่เท่านั้น (fully compacted concrete) ในกรณีที่ใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ การอัดแน่นคอนกรีตจะทำได้ยาก ปริมาณโพรงอากาศภายในจะมาก ทำให้กำลังอัดลดลงไม่เป็นไปตามกฎของอาบรัมส์ (๖)

จึงเป็นที่แน่นอนว่าความเป็นปอซโซลานของผงแก้วช่วยเพิ่มกำลังอัดในระยะหลังได้เมื่อความเป็นด่างในเฟสค์มากพอที่จะทำลายรีแอกทีฟซิลิกาในผงแก้วให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเพิ่มแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ในการยึดประสานและไปเติมเต็มช่องว่างมากขึ้น สอดคล้องกับผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงซึ่งปริมาตรโพรงลดลงตามเวลาดังรูปที่ ๔.๖ อีกทั้งสามารถช่วยพัฒนากำลังอัดในระยะแรกหากผสมในสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำซึ่งจะมีความเป็นด่างในเฟสค์สูงและทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานสูงตั้งแต่ช่วงอายุต้น โดยจะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ก่อน ๗ วัน เมื่อใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ ๐.๕

#### ๔.๕ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงในมอร์ตาร์เพสต์

ผลจากปฏิกิริยาปอซโซลานของผงแก้วทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสานไปช่วยอุดช่องว่างเพิ่มขึ้น จึงช่วยลดปริมาตรรวมทั้งความต่อเนื่องของโพรงกะปิลลารีในเพสต์ อีกทั้งเพิ่มปริมาณสัดส่วนของโพรงขนาดเล็ก จึงส่งผลให้เกิดการพัฒนากำลังอัดดังผลการทดสอบกำลังอัดที่กล่าวไปแล้ว

การศึกษาในส่วนนี้จะพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรงกะปิลลารี (๐.๐๑ - ๑๐ ไมครอน) เท่านั้น ทั้งนี้การทดสอบด้วยเทคนิค MIP สามารถหาปริมาตรของโพรงได้ในช่วง ๐.๐๐๗ - ๑๕๐ ไมครอน (ปริมาตรโพรงจริงอยู่ในช่วงน้อยกว่า ๐.๐๐๐๕ ไมครอน ถึงมากกว่า ๑๐ ไมครอน (๖)) โดยปริมาตรโพรงเจลบางส่วนที่ตรวจวัดได้ในทุกตัวอย่าง (๐.๐๐๗ - ๐.๐๑ ไมครอน) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ ๑ ของปริมาตรเพสต์ ถือได้ว่าไม่มีนัยสำคัญ ทำให้ยากที่จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแต่ละตัวอย่างจึงไม่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ อีกทั้งผลในส่วนของปริมาตรโพรงขนาดใหญ่ (๑๐ - ๑๕๐ ไมครอน) ซึ่งถือได้ว่าเป็น entrapped air void (พบว่าโดยทั่วไปแม้จะมีการอัดแน่นดีเพียงใด ยังคงมีปริมาตรของโพรงประเภทนี้อยู่ประมาณร้อยละ ๓ - ๘ ของปริมาตรมอร์ตาร์ ขึ้นกับการลดขนาดของทราย (๒๑)) มีการแปรเปลี่ยนโดยไม่ขึ้นกับทั้งอายุและตัวอย่าง ทั้งนี้เพราะ โพรงอากาศประเภทนี้จะอยู่โดดเดี่ยวทำให้ไม่สามารถตรวจวัดได้ทั้งหมด จึงยากในการนำผลส่วนนี้มาใช้อธิบายคุณสมบัติใดๆ ได้

ผลการศึกษาในส่วนของโพรงกะปิลลารี พบว่า ปริมาตรโพรงกะปิลลารีของทุกเพสต์มีค่าลดลงตามเวลาซึ่งสอดคล้องกับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและปอซโซลานิกที่มีอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งสังเกตได้ว่าปริมาตรโพรงกะปิลลารีของมอร์ตาร์ GP20% (ใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๒๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน) ลดลงเกือบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม PC (ไม่ใช้ผงแก้ว) ที่อายุ ๖๐ วัน ดังแสดงในรูปที่ ๔.๕ ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกของผงแก้วทำให้มีแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตไปช่วยอุดช่องว่างเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๒๐ ของน้ำหนักวัสดุประสานซึ่งมีการพัฒนากำลังอัดอย่างต่อเนื่องจนมีค่ากำลังอัดเทียบเท่ามอร์ตาร์ควบคุมที่อายุประมาณ ๕๖ วัน ดังรูปที่ ๔.๔ และ ๔.๖

นอกจากปฏิกิริยาปอซโซลานของผงแก้วจะช่วยลดปริมาตรโพรงกะปิลลารีแล้ว ยังช่วยเพิ่มสัดส่วนของปริมาตรโพรงกะปิลลารีขนาดเล็กต่อปริมาตรโพรงกะปิลลารีทั้งหมดซึ่งส่งผลดีต่อการพัฒนากำลังอัดเช่นกัน ทั้งนี้เป็นที่เข้าใจว่าในกรณีที่เพสต์มีปริมาตรโพรงทั้งหมดเท่ากัน หากเพสต์ใดมีสัดส่วนโพรงขนาดเล็กในปริมาณมากกว่า เพสต์นั้นจะมีกำลังอัดสูงกว่า (๗) และเมื่อจะพิจารณาผลของปริมาตรโพรงต่อการพัฒนากำลังอัดต้องพิจารณาปริมาตรโพรงที่มีขนาดใหญ่กว่า ๐.๐๒ ไมครอน (๗) ดังรูปที่ ๔.๖ เมื่อเปรียบเทียบมอร์ตาร์ GP30% (ใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๓๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน) ที่อายุ ๓๑ วันกับมอร์ตาร์ควบคุม PC (ไม่ใช้ผงแก้ว) ที่อายุ ๒ วัน ซึ่ง

มีปริมาตรโพรงกะปิลลารีใกล้เคียงกันเป็นร้อยละ ๑๕.๓๒ และ ๑๕.๖๐ ของปริมาตรมอร์ตาร์ตามลำดับ มอร์ตาร์ทั้งสองควรมีกำลังอัดใกล้เคียงกัน แต่กลับพบว่ามอร์ตาร์ซึ่งใช้ผงแก้วมีกำลังอัดมากกว่า หากอธิบายผลในเชิงของปริมาตรโพรงภายใน สามารถอธิบายได้ว่าเป็นเพราะลักษณะโพรงของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงแก้วประกอบด้วยสัดส่วนของโพรงกะปิลลารีขนาดเล็กในปริมาณมากกว่า จึงส่งผลให้กำลังอัดสูงกว่า (๗)

#### ๔.๖ ผลของผงแก้วต่อความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนผ่านคอนกรีต

ผลจากปฏิกิริยาปอซโซลานของผงแก้วที่ช่วยลดช่องว่างและปริมาณโพรงต่อเนื่องภายในเพสต์ จะช่วยเพิ่มความทนทานหรือความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนผ่านคอนกรีต

พบว่าการใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์บางส่วนนั้นสามารถช่วยลดความสามารถในการซึมผ่านได้ ดังรูปที่ ๔.๗ ทั้งนี้คอนกรีต GP20% (ใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๒๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน) มีประจุผ่านลดลงจาก ๕๑๖๕ คูลอมบ์ ที่ ๗ วัน (high permeability class ตาม ASTM C1202) จนเหลือเพียง ๑๓๑๐ คูลอมบ์ (จัดเป็น low permeability class) และ ๗๕๐ คูลอมบ์ (จัดเป็น very low permeability) ที่ ๒๘ และ ๕๑ วัน ตามลำดับ ในขณะที่คอนกรีต PC (ไม่ใช้ผงแก้ว) มีค่าประจุผ่านลดลงเล็กน้อยจากประมาณ ๕,๐๐๐ คูลอมบ์ ที่ ๗ วัน เหลือประมาณ ๔๗๐๐ คูลอมบ์ที่ ๕๑ วัน ทั้งนี้คอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็น ๐.๖ ซึ่งบ่มอย่างต่อเนื่องจำเป็นต้องใช้เวลานานถึง ๖ เดือนจึงจะสามารถทำให้โพรงกะปิลลารีไม่ต่อเนื่องทั้งหมด (๖)

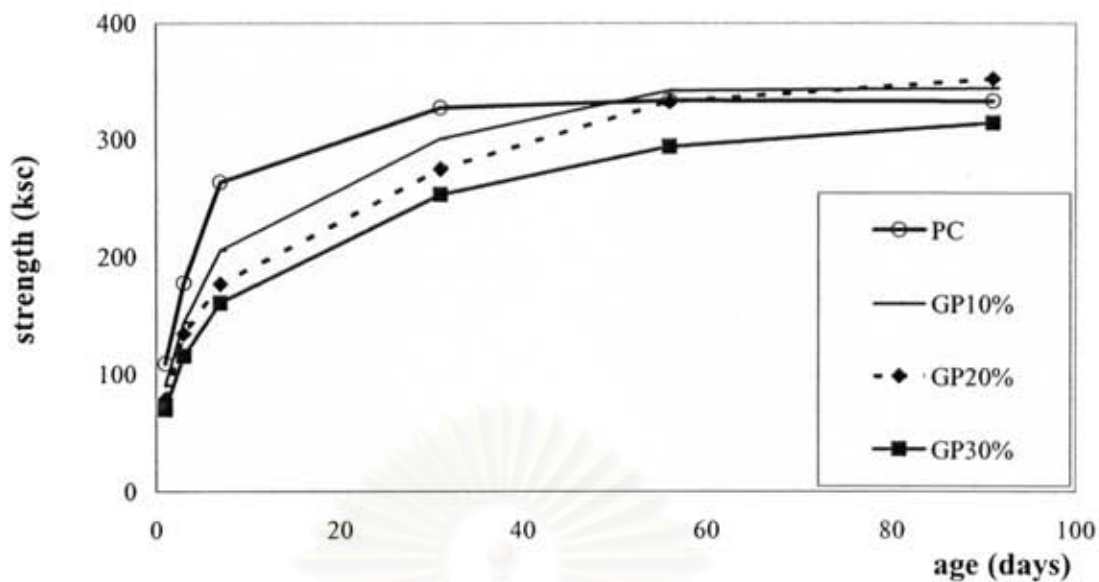
จากผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้กล่าวมา ในส่วนของคุณสมบัติพื้นฐานของผงแก้ว ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ ความเป็นอสัณฐาน และปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาที่มีอยู่ประมาณร้อยละ ๔๐ ของน้ำหนักทั้งหมด จะเห็นได้ว่าแก้วมีคุณสมบัติเบื้องต้นที่ดีในการเป็นปอซโซลาน จึงส่งผลดีต่อการพัฒนากำลังอัด ช่วยลดปริมาตรโพรง และเพิ่มความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ไอออนดังที่ปรากฏ

ตารางที่ ๔.๑ คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

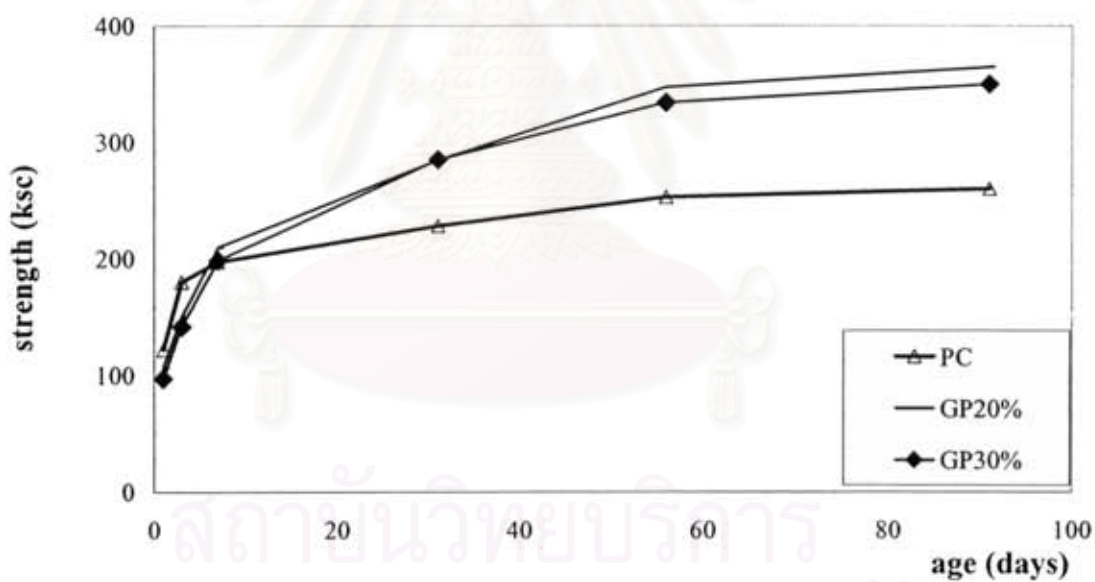
	ซีเมนต์	ผงแก้ว	เถ้าลอยแม่เมาะ (๘)	ซิลิกาฟูม (๑๘)
ความถ่วงจำเพาะ ( Specific gravity)	๓.๑๔	๒.๔๕	๒.๐๒	๒.๒๐
ความละเอียด (Fineness) :				
- ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ๔๐๐ (ร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด)	-	๕๘	-	-
- ขนาดเล็กกว่า ๓๘ ไมครอน (การกระจายขนาดอนุภาค) (ร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด)	-	> ๕๘	-	-
- พื้นที่ผิวจำเพาะ (BET) (ตร.ม. / กรัม)	๐.๘๕	๑.๔๒	-	๒๐
- ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์ ไทล์ที่ ๕๐ ของผลการกระจาย ขนาดอนุภาค) (ไมครอน)	๑๕.๐๘	๐.๑๒	๒๘.๕๐	๐.๑๐
รูปร่างอนุภาค	เหลี่ยมมุม	เหลี่ยมมุม	กลม	กลม
ความเป็นผลึก *	ผลึก	อสัณฐาน	อสัณฐาน	อสัณฐาน

(\* ทดสอบความเป็นผลึกด้วยเครื่อง X-ray diffraction spectrometry )

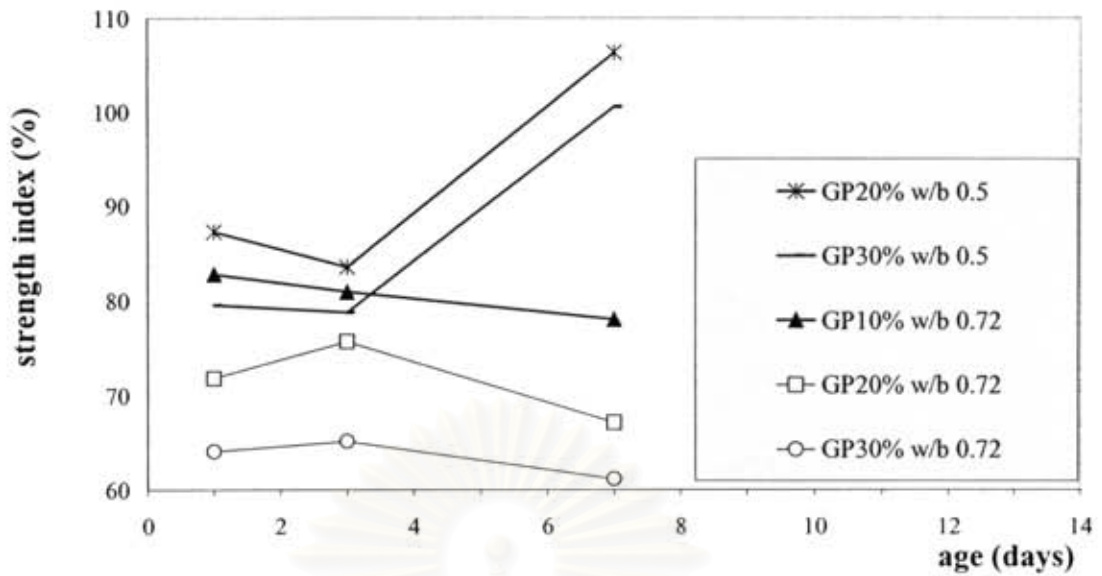
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



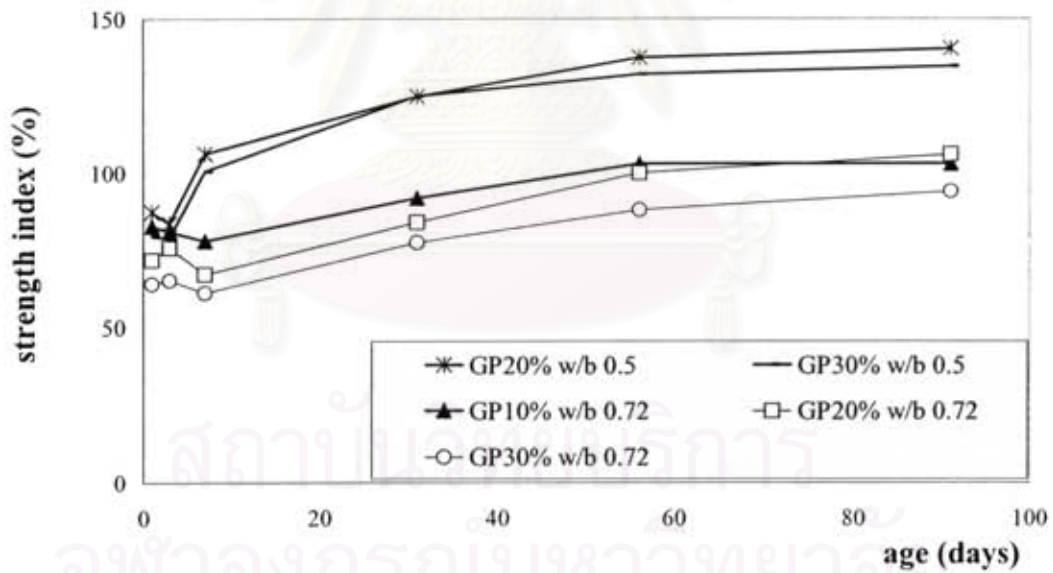
รูปที่ ๔.๑ กำลังอัดของนอร์คาร์ทที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๗๒



รูปที่ ๔.๒ กำลังอัดของนอร์คาร์ทที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๕

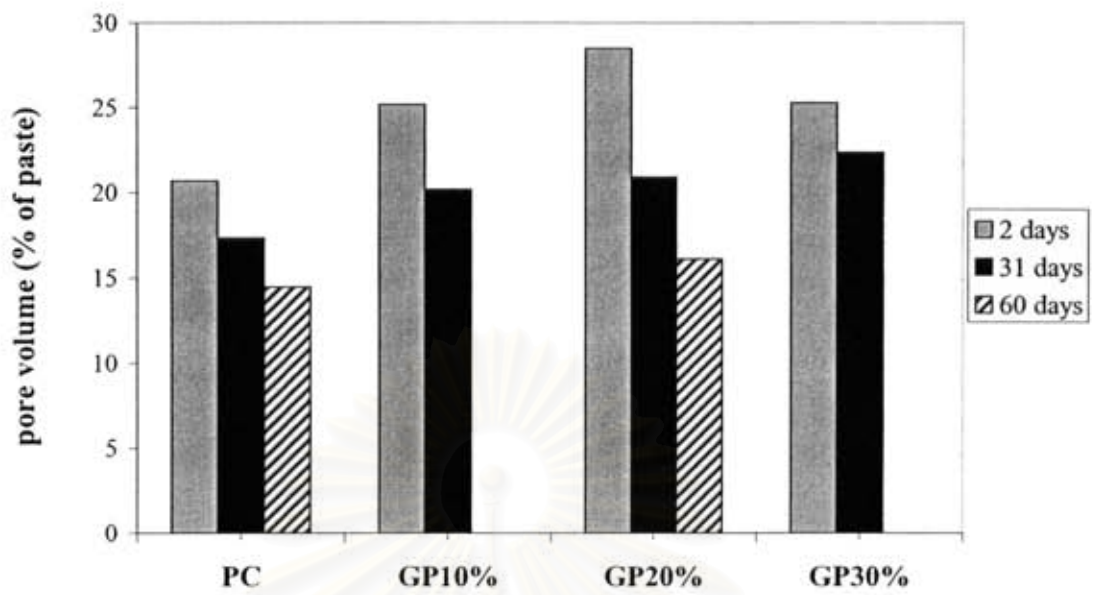


รูปที่ ๔.๓ คัดนี้กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมผงแก้วที่สัดส่วนแก้วและสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ในช่วงอายุ ๑-๗ วัน

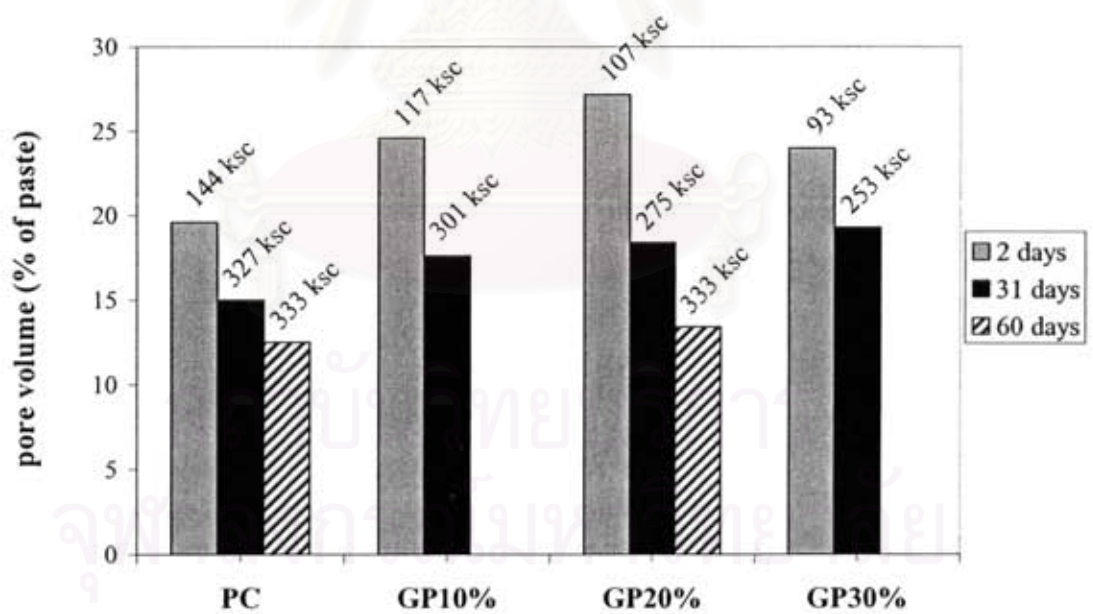


รูปที่ ๔.๔ คัดนี้กำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมผงแก้วที่สัดส่วนแก้วและสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่างๆ ในช่วงอายุ ๑-๙๑ วัน

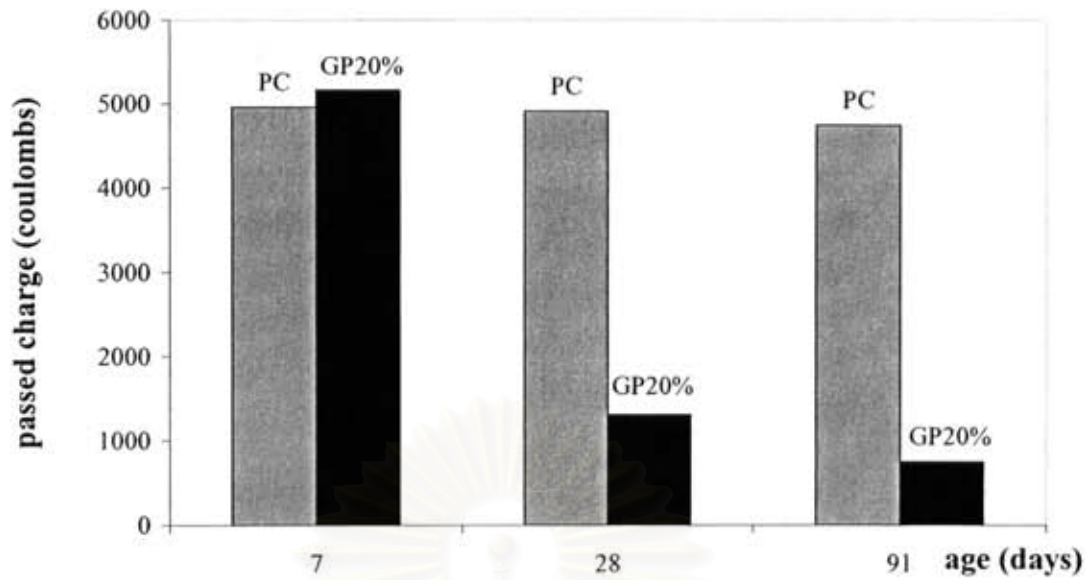




รูปที่ ๔.๕ ปริมาตรโพรงกะปิลลารีในมอร์ตาร์ทดสอบ (๐.๐๑ - ๑๐ ไมครอน)



รูปที่ ๔.๖ ปริมาตรโพรงกะปิลลารีช่วง ๐.๐๒ - ๑๐ ไมครอนกับค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์



รูปที่ ๔.๗ ค่าประจุลอไรด์ที่สามารถซึมผ่านคอนกรีต (คูลอมบ์)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ ๕

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### ๕.๑ สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาศักยภาพการเป็นปอชโซลานของผงแก้ว (จากแก้วบรรจุภัณฑ์ใส) ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ๓๘ ไมครอนในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ ๕๕ ของน้ำหนักทั้งหมด สามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้

๕.๑.๑ ผงแก้วมีคุณลักษณะ ๓ ประการของปอชโซลาน (๑) คือ มีปริมาณซิลิกาและรีแอกทีฟซิลิกาสูงคิดเป็นร้อยละ ๖๖ และ ๔๐ ของน้ำหนักทั้งหมด เป็นวัสดุออสซิลาน และมีอนุภาคขนาดเล็ก อีกทั้งพบว่าสามารถจัดผงแก้วดังกล่าวเป็นปอชโซลานเทียบเท่ากับมาตรฐาน ASTM C618 ได้

๕.๑.๒ จากปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาในผงแก้วที่มีร้อยละ ๔๐ ของน้ำหนักทั้งหมด ขณะที่เถ้าลอยแม่เมาะมีประมาณร้อยละ ๓๕ ของน้ำหนักทั้งหมด (ซิลิกาฟูมมีปริมาณรีแอกทีฟซิลิการ้อยละ ๘๖ ของน้ำหนักทั้งหมด และมีความละเอียดสูง จึงสามารถพัฒนากำลังอัดได้ดีตั้งแต่อายุต้น) จึงมีแนวโน้มที่ผงแก้วจะช่วยเพิ่มกำลังอัดทั้งในระยะต้นและระยะหลังได้ดีตั้งแต่อายุต้น แต่ทั้งนี้ความละเอียดของอนุภาคปอชโซลานทั้งสองจะเป็นปัจจัยหลักของกำลังอัดในระยะต้น

๕.๑.๓ ด้วยลักษณะของอนุภาคผงแก้วซึ่งมีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงกว่าปูนซีเมนต์ ประเภทที่ ๑ อีกทั้งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ทำให้เพศซึ่งใช้ผงแก้วผสมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนนั้น ต้องการปริมาณน้ำมากขึ้นเพื่อคงความสามารถในการเทได้ของมอร์ตาร์หรือคอนกรีตสดให้เหมือนเดิม

๕.๑.๔ ปฏิกริยาปอชโซลานของผงแก้วจะช่วยจะลดช่องว่างในเพศ เพิ่มสัดส่วนของโพรงขนาดเล็กและลดปริมาณโพรงที่ต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลดีต่อการพัฒนากำลังอัดและลดความสามารถในการซึมผ่านตามอายุ

๕.๑.๕ ผลจากปฏิกริยาปอชโซลานของผงแก้วช่วยพัฒนากำลังอัดทั้งในระยะต้นและหลัง ทั้งนี้การพัฒนากำลังอัดจะขึ้นกับสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและปริมาณการแทนที่ด้วยผงแก้ว โดยเมื่อใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๖๒ กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงแก้วจะให้ค่าเทียบเท่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใช้ผงแก้วในช่วงอายุหลัง (ที่ ๕๖ วัน) แต่ในกรณีที่ใช้สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำกว่าเป็น ๐.๕ กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้ผงแก้วจะให้ค่าเทียบเท่ามอร์ตาร์ที่ไม่ใช้ผงแก้วตั้งแต่อายุต้นที่ประมาณ ๖ วัน และให้ค่าดัชนีกำลังอัดที่อายุ ๕๖ วัน สูงกว่าร้อยละ ๑๓๐ ทั้งการแทนที่ซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ ๒๐ และ ๓๐ โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

๕.๑.๖ ในช่วงอายุแรกที่ผงแก้วยังมีลักษณะเป็นวัสดุเฉื่อย การใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์บางส่วนจะทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดลดลง แม้ผงแก้วจะมีอัลคาไลช่วยเร่งการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชัน

แต่ยังไม่อาจชัดเจนกำลังที่หายไปจากการจากของสัดส่วนซีเมนต์ที่ลดลงได้ อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาปอซโซลานของผงแก้วจะช่วยให้เกิดการพัฒนากำลังอัดอย่างต่อเนื่อง

๕.๑.๗ ผลจากปฏิกิริยาปอซโซลานของผงแก้วช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานซึมผ่านของคอนกรีตได้ เมื่อใช้ผงแก้วแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ ๒๐ ของน้ำหนักวัสดุประสาน ที่สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น ๐.๖ ทำให้คอนกรีตมีประจุผ่านลดลงจาก ๕,๑๖๕ กูลอมบ์ ที่ ๗ วัน เหลือเพียง ๑,๓๐๘ กูลอมบ์ และ ๑๕๐ กูลอมบ์ ที่ ๒๘ และ ๕๑ วัน ตามลำดับ ในขณะที่คอนกรีตไม่ใช้ผงแก้ว มีค่าประจุผ่านลดลงเล็กน้อยจากประมาณ ๕,๐๐๐ กูลอมบ์ ที่ ๗ วัน เหลือประมาณ ๔๗๐๐ กูลอมบ์ที่ ๕๑ วัน

## ๕.๒ ข้อเสนอแนะ

๕.๒.๑ พึงระลึกว่าปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาที่ทำได้ในงานวิจัยฉบับนี้เป็นวิธีการเชิงเปรียบเทียบเท่านั้น ยังมีปัจจัยด้านความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่แท้จริงและอัตราการเกิดปฏิกิริยาซึ่งต้องพิจารณาและศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

๕.๒.๒ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบจากการบดเพิ่มความละเอียดของผงแก้ว ต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานของซิลิกา รวมทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานของผงแก้ว

๕.๒.๓ เนื่องจากการใช้ผงแก้วเป็นวัสดุประสาน จะทำให้เพสต์มีความสามารถในการเทได้ลดลงเป็นอย่างมาก การศึกษาในลำดับต่อไปจึงควรใช้สารผสมเพิ่มประเภทรายน้ำ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเทได้และทำให้เพสต์สามารถอัดแน่นได้ดีและง่ายขึ้น

๕.๒.๔ ควรมีการศึกษาถึงพลังงานที่ใช้และค่าใช้จ่ายในการบดผงแก้วควบคู่กับผลการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต เพื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าของแก้วเมื่อนำไปใช้ในงานประเภทอื่นด้วย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- [๑] Shao, Y., Lefort, T., Moras, S., and Rodriguez, D. Studies on concrete containing ground waste glass. Cement and Concrete Research 30(2000) : 91-100.
- [๒] British Standards Institution. BS EN 450-1 : Fly ash for concrete—definitions, specifications and conformity criteria. Brussels : CEN, 2000.
- [๓] British Standards Institution . EN 196-2 : Methods of testing cement, Part 2-Chemical analysis of cement. Brussels : CEN, 1987.
- [๔] Antiohos, S. and Tsimas, S. Investigating the role of reactive silica in the hydration mechanisms of high-calcium fly ash/cement systems. Cement and Concrete Composites 27(2005) : 171-181.
- [๕] Ranganath, R.V., Shama, R.C. and Krishnamoorthy, S. Influence of fineness and soluble silica of fly ashes on their strength development with respect to age. Proceedings of Fifth CANMET/ACI International Conference on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete 1(1995) : 355-366.
- [๖] Mindess, S. and Young, J.F. Concrete. Prentice Hall : Englewood Cliffs, 1981.
- [๗] Neville, A.M. Properties of concrete. Fourth edition. Essex : Longman, 1996.
- [๘] ณรงค์ชัย, ทศมาศ และอรรรณพล. การศึกษาค่าดัชนีกำลังของเถ้าถ่านหินหยาบที่บดละเอียดกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑. การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๔(๒๕๔๐) : MAT164-172.
- [๙] ณรงค์ชัย และสมิทร. บทบาทของเถ้าถ่านหินที่แยกละเอียด ๕ ชนิดต่อกำลังอัดของคอนกรีต. การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๕(๒๕๔๒) : MAT208-214.
- [๑๐] Ramachandran, V.S. and Beaudoin, J.J. Handbook of analytical techniques in concrete science and technology. William Andrew : Noyes, 2001.
- [๑๑] Kumara, R. and Bhattacharjee, B. Study on some factors affecting the results in the use of MIP method in concrete research. Cement and Concrete Research 33(2003) : 417-424.
- [๑๒] Diamond, S. Mercury porosimetry : An inappropriate method for the measurement of pore size distributions in cement-based materials. Cement and Concrete Research 30(2000) : 1517-1525.

- [๑๓] Samunya, S. (Glass Science and Technology Information Services) [Online]. National Metal and Materials Technology Center (Producer), 2004. Available from : <http://www.mtec.or.th/th/research/GSAT/Glassweb/define.html> [2005 January, 28]
- [๑๔] Park, S.B., Lee, B.C., and Kim, J.H. Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate. Cement Concrete Reserch (2004).
- [๑๕] Park, S.B., Lee, B.C. Studies on expansion properties in mortar containing waste glass and fibers. Cement Concrete Reserch (2004).
- [๑๖] Shayan, A., and Xu, A. Value-added utilization of waste glass in concrete. Cement Concrete Reserch 34(2004): 81-89.
- [๑๗] Byars, Zhu, and Morales. Conglascrete2. Oxon : WRAP, 2004.
- [๑๘] ชัย และปริญญา. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ ๑. กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตไทย, ๒๕๔๗.
- [๑๙] American Society for Testing and Materials. ASTM C1202 : Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration. W.Conshohocken : PA, 1995.
- [๒๐] Taylor, H.F.W. Cement chemistry. Academic Press : Thomas Telford, 1997.
- [๒๑] St Hohn, D.A., Poole, A.B., and Sims, I. Concrete petrography. New York : John Wiley & Sons, 1998.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.

## ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับแก้ว

## ชนิดของแก้ว

การแบ่งประเภทของแก้ว สามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามกรรมวิธีผลิต แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมีหรือแบ่งตามการใช้งาน แต่โดยส่วนใหญ่มักจะบอกประเภทของแก้วตามองค์ประกอบของมันดังนี้

## ๑. แก้วโซดาไลม์ (soda-lime glass)

ผลิตจากวัตถุดิบหลัก คือ ทราย โซดาแอช หินปูน เป็นแก้วที่พบเห็นโดยทั่วไป ได้แก่ แก้วที่เป็นขวด แก้วน้ำ กระฉก เป็นต้น สามารถทำให้เกิดสีต่างๆ ได้โดยการเติมออกไซด์ที่มีสีลงไป

## ๒. แก้วที่บอโรซิลิเกต (borosilicate glass) หรือ pyrex

เป็นแก้วที่มีการเติมบอริกออกไซด์ลงไป ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน แก้วที่ได้สามารถนำไปใช้ทำเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ ทำภาชนะแก้วสำหรับใช้ในเตาไมโครเวฟ เป็นต้น

## ๓. แก้วตะกั่ว (lead glass) หรือแก้วคริสตัล

เป็นแก้วที่มีสารผสมของตะกั่วออกไซด์ อยู่มากกว่าร้อยละ ๒๔ โดยน้ำหนัก จะเป็นแก้วที่มีดัชนีหักเหสูงมากกว่าแก้วชนิดอื่น ทำให้มีแวววาวประกายสวยงามและแกะสลักเป็นลวดลายต่างๆ ได้ ใช้ทำเครื่องแก้วที่มีราคาแพง

## ๔. แก้วโอปอล (opal glass)

เป็นแก้วที่มีการเติมสารบางตัว เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ ทำให้มีการตกผลึก หรือการแยกเฟสเกิดขึ้น ในเนื้อแก้ว ทำให้แก้วชนิดนี้มีความขุ่นหรือโปร่งแสง เนื่องจากสามารถหลอม และขึ้นรูปได้ง่ายจึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถทำให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้นเมื่อนำไปผ่าน ขบวนการอบ (tempering) หรือการเคลือบ (laminating)

## ๕. แก้วอลูมิโนซิลิเกต (Alumino silicate glass)

มีอลูมินาและซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อนต่ำ และมีจุดอ่อนตัวของแก้ว (softening point) สูง พอที่จะป้องกันการเสียรูปทรงเมื่อทำการอบ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้ผลิตภัณฑ์

## ๖. แก้วอัลคาไลน์-เอิร์ท อลูมิโนซิลิเกต (alkaline-earth alumino silicate)

มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์ หรือแบเรียมออกไซด์ ทำให้มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายกว่าและมีความทนทานต่อกรดและด่าง มากกว่าแก้วตะกั่วเล็กน้อย



ต้นฉบับไม่มีหน้านี้

NO THIS PAGE IN ORIGINAL

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ๗. กลาส-เซรามิกส์ (glass-ceramic)

เป็นแก้วประเภทลิเทียมอลูมิโนซิลิเกตที่มี  $\text{TiO}_2$  หรือ  $\text{ZrO}_2$  ผสมอยู่เล็กน้อย ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในเนื้อแก้ว ซึ่งอาจทำให้แก้วมีความทึบแสงหรือโปร่งใส ขึ้นกับชนิดของผลึก กลาส-เซรามิกส์จะทนทาน และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก สามารถนำไปใช้เป็นภาชนะหุงต้ม หรือเป็นแผ่นบนเตาหุงต้มได้

นอกจากนี้อาจมีแก้วประเภทอื่นๆอีกหลายประเภท ขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไป แต่เนื่องจาก อาจไม่มีการใช้ที่แพร่หลายนัก จึงไม่นำมากล่าวในที่นี้

### สมบัติทางกลของวัสดุแก้ว

#### ๑. คุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น (Elasticity)

แก้วเป็นวัสดุยืดหยุ่น (elastic material) ที่สมบูรณ์แบบ คือมันจะไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร แต่มันมีความเปราะซึ่งหมายถึงมันจะแตกเมื่อได้รับความเค้น (stress) เพิ่มขึ้น

ก) ค่า Young's modulus,  $E$  สำหรับแก้วมาตรฐานยุโรปจะมีค่าเท่ากับ  $๗ \times ๑๐^{๑๐}$  ปาสคาล

ข) ค่า Poisson's ratio สำหรับแก้วในงานก่อสร้างและตกแต่ง เป็น ๐.๒๒

#### ๒. กำลังรับแรงอัด (compressive strength)

แก้วมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงมาก ถึง ๑๐๐๐ เมกะปาสคาล

#### ๓. กำลังรับแรงดึง (tensile strength)

แก้วตามปกติจะมีกำลังรับแรงดึง ประมาณ ๔๐ เมกะปาสคาล และอาจทำให้เพิ่มสูงขึ้นถึง ๑๒๐-๒๐๐ เมกะปาสคาล เมื่อผ่านกระบวนการเพิ่มความแข็งแรงต่างๆ

## ภาคผนวก ข.

## ผลการทดสอบ

ประกอบด้วยรูปซึ่งแสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้ต่อไปนี้

	หน้า
รูปที่ ข.๑ ผลการทดสอบหาปริมาณซิลิกาทั้งหมดของเถ้าลอยแม่เมาะ (FA) และผง แก้ว (GP) ตามมาตรฐาน BS EN 196-2.....	๕๖
รูปที่ ข.๒ ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของผงแก้ว (GP) โดยเครื่อง XRF..	๕๗
รูปที่ ข.๓ ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาฟูม (SF) โดยเครื่อง XRF.....	๕๘
รูปที่ ข.๔ ผลการทดสอบหาปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาของผงแก้ว เถ้าลอยแม่เมาะ และ ซิลิกาฟูม (GP, FA และ SF).....	๕๙
รูปที่ ข.๕ ผลการทดสอบหาการกระจายขนาดของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ ๑.....	๖๐
รูปที่ ข.๖ ผลการทดสอบหาการกระจายขนาดของอนุภาคผงแก้ว.....	๖๑
รูปที่ ข.๗ ผลการทดสอบหาพื้นที่ผิวจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ โดยเทคนิค BET.....	๖๒
รูปที่ ข.๘ ผลการทดสอบหาพื้นที่ผิวจำเพาะของผงแก้วด้วยเทคนิค BET .....	๖๓
รูปแสดงผลการทดสอบหาปริมาตร โพร่งด้วยเครื่อง MIP.....	๖๔



## รายงานการทดสอบ

ชื่อวัตถุตัวอย่าง	เครื่องหมาย / ทรา	หมายเลขปฏิบัติการ
GP	-	YP.340
FA	-	YP.341

## ผลการทดสอบ

หมายเลขปฏิบัติการ	Reactive Silica (SiO <sub>2</sub> ), %	Total Silica (SiO <sub>2</sub> ), %
YP.340	0.07	68.71
YP.341	0.30	36.70

ชื่อผู้ให้บริการ นายศุภนรินทร์ บรรจงเกียรติ  
 ที่อยู่ผู้ให้บริการ วิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท  
 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ  
 ลักษณะตัวอย่าง ผงสีขาวและผงสีน้ำตาล  
 วันที่ทดสอบ 3 - 18 พฤษภาคม 2549  
 วิธีทดสอบ BS EN 196 - 2 : 1995

ผู้รับรอง

(นายประดับ ช่างศรี)  
 นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

ผู้รายงาน

(นายจรูญ จันทร์สมบูรณ์)  
 นักวิทยาศาสตร์ 5

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานนี้รับรองเฉพาะวัตถุตัวอย่างที่ทดสอบ/สอบเทียบเท่านั้น ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง  
 ห้ามคัดลอกในบริบทอื่นหรือรายงานต่อแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นลายลักษณ์อักษร  
 กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
 ถนนพระรามที่ 6 ราชเทวี กรุงเทพฯ 10400 ประเทศไทย

หน้า 2/2

รูปที่ ข.๑ ผลการทดสอบหาปริมาณซิลิกาทั้งหมดของเถ้าลอยแม่เมาะ (FA) และผงแก้ว (GP) ตาม  
 มาตรฐาน BS EN 196-2

Chulalongkorn University  
Quantified peaks in c:\superq\data\482314c\_.pks

## Summary of results

Sample: 482314C GP  
 Measured: 9/7/05 15:28  
 Quantified: 9/8/05 13:28  
 Sum: 100.0%  
 RMS: 0.000  
 Used lines: 12  
 Traces: P, Co  
 Qual. program: SemiQ2004

## Concentrations

Analyte	Type	Calibration status	Compound	Concentration (%)	Calculation method
Na	Binder	Not matched	113B03	5.709	Fixed
Na	Sample	Calibrated	Na2O	18.87	Calculate
Mg	Sample	Calibrated	MgO	1.982	Calculate
Al	Sample	Calibrated	Al2O3	1.324	Calculate
Si	Sample	Calibrated	SiO2	65.658	Calculate
S	Sample	Calibrated	SO3	0.205	Calculate
Cl	Sample	Calibrated	Cl	0.037	Calculate
K	Sample	Calibrated	K2O	0.25	Calculate
Ca	Sample	Calibrated	CaO	11.42	Calculate
Ti	Sample	Calibrated	TiO2	0.083	Calculate
Fe	Sample	Calibrated	Fe2O3	0.144	Calculate
Sr	Sample	Calibrated	SrO	0.009	Calculate
Zr	Sample	Calibrated	ZrO2	0.019	Calculate

## Sample preparation

Sample type: Powder (binder: 113B03)  
 Initial weight: 4.82 g  
 Final weight: 2.24 g  
 Area ratio: 1.12  
 Additive/sample: 0.00  
 Film: None  
 Normalise: to 100.0%  
 X-ray path: Vacuum

## Quantify parameters

Recipe: c:\superq\data\new.rep  
 Spectrometer resp. file: c:\superq\data\scintq.sti  
 Use compound list: c:\superq\sample\scintq.cpl  
 Apply drift corr.: No  
 Disall. elem. set: None  
 Disall. lines set: None  
 Error weighting: Raw0  
 Max. Flow detector intensity: 2000 kcps  
 Max. Scint detector intensity: 1000 kcps  
 Max. Scint detector intensity: 1000 kcps  
 Max. Duplex detector intensity: 2000 kcps

## Disallowed elements

No elements disallowed

รูปที่ ข.๒ ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของผงแก้ว (GP) โดยเครื่อง XRF

Chulalongkorn University

Quantified peaks in e:\superq\data\482314d .pks

## Summary of results

Sample:	482314D	SF
Measured:	9/7/05 15:48	
Quantified:	9/8/05 13:30	
Sum:	100.0%	
RMS:	0.000	
Used lines:	15	
Traces:	Cr Crs Cr	
Qual. program:	SemiQ2004	

## Concentrations

Analyte	Type	Calibration status	Compound	Concentration (%)	Calculation method
Na	Binder	Not matched	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	9.398	Fixed
	Sample	Calibrated	Na <sub>2</sub> O	0.566	Calculate
Mg	Sample	Calibrated	MgO	1.307	Calculate
Al	Sample	Calibrated	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.243	Calculate
Si	Sample	Calibrated	SiO <sub>2</sub>	91.396	Calculate
P	Sample	Calibrated	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.153	Calculate
S	Sample	Calibrated	SO <sub>3</sub>	0.242	Calculate
Cl	Sample	Calibrated	Cl	0.058	Calculate
K	Sample	Calibrated	K <sub>2</sub> O	1.211	Calculate
Ca	Sample	Calibrated	CaO	0.796	Calculate
Ti	Sample	Calibrated	TiO <sub>2</sub>	0.031	Calculate
Mn	Sample	Calibrated	MnO <sub>2</sub>	1.206	Calculate
Fe	Sample	Calibrated	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.591	Calculate
Zn	Sample	Calibrated	ZnO	0.035	Calculate
Se	Sample	Calibrated	SeO	0.048	Calculate
Ba	Sample	Calibrated	BaO	0.09	Calculate

## Sample preparation

Sample type:	Powder (binder: H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )
Initial weight:	1.23 g
Final weight:	5.30 g
Area ratio:	1.18
Additive/sample:	0.09
Film:	None
Normalise:	to 100.0%
X-ray path:	vacuum

## Quantify parameters

Recipe:	e:\superq\data\new.rep
Spectrometer resp. file:	e:\superq\data\setmq.rst
Use compound list:	e:\superq\example\setmq.cpl
Apply drift corr.:	No
Disall. elem. set:	None
Disall. lines set:	None
Error weighting:	Root
Max. Flow detector intensity:	2000 keps
Max. Scint detector intensity:	1000 keps
Max. Seint detector intensity:	1000 keps
Max. Duplex detector intensity:	3000 keps

## Disallowed elements

[No elements disallowed]

รูปที่ ข.๓ ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาฟุ่ม (SF) โดยเครื่อง XRF



ที่ วท 0307/ 17197

ถึง: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

กรมวิทยาศาสตร์บริการ ขอส่งรายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ วัสดุตัวอย่าง ตาม คำร้อง

ลงวันที่ 22 สิงหาคม 2548 เลขรับ 5954 วันที่ 22 สิงหาคม 2548

ซึ่งกรมวิทยาศาสตร์ฯ ได้รับเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม 2548

กรมวิทยาศาสตร์บริการ ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

โครงการพิธีกรรมและวิศวกรรม

โทร 0-2201-7130



## รายงานการตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ

ชื่อวัสดุตัวอย่าง	เครื่องหมาย ตรา กวช.	หมายเลข บัญชีการ	ผลการทดสอบ	
			ภาคที่ไม่ละลายในกรดและด่าง, %	ซิลิคอนไดออกไซด์(SiO <sub>2</sub> )ที่ละลาย, %
สถานที่ผู้ส่งเรียก	ที่ระบุตัวอย่าง	บัญชีการ		
GP	-	YD.620	18.38	40.36
CP	-	YD.621	54.94	41.74
FA	-	YD.622	3.73	35.26
SF	-	YD.623	3.73	86.76

ลักษณะตัวอย่าง: GP เป็นผงสีขาว CP และ SF เป็นผงสีเทา FA เป็นผงสีน้ำตาล

วันที่ทดสอบ : 4-31 ตุลาคม 2548

วิธีทดสอบ : BS EN 196-2 : 1995

ผู้รับรอง  
  
(นายประจักษ์ สว่างศรี)  
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

ผู้รายงาน  
  
(นายอนันต์ ปิณฑประสิทธิ์)  
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

## สถาบันวิทยบริการ

ห้ามคัดลอกใบรับรองหรือรายงานผลการทดสอบ ใดๆ โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางปฏิบัติกร เป็นอาณัติของผลิตภัณฑ์ 1/1

รายงานนี้ : - รับรองเฉพาะวัสดุตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบ เท่านั้น  
- ไม่รับรองวัตถุหรือสินค้าที่ใช้รายงานนี้ในการโฆษณาหรืออ้างถึง

รูปที่ ข.๔ ผลการทดสอบหาปริมาณรีแอกทีฟซิลิกาของผงแก้ว ฝ้าลอยแม่เมาะ และซิลิกาฟุ่ม (GP, FA และ SF)



**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: Cement	Run Number: 13	Measured: 4 Feb 2005 15:28PM
Sample File: OTHER8	Record Number: 3	Analyzed: 4 Feb 2005 15:28PM
Sample Path: C:\		Result Source: Analyzed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium: Water Tested by Kaw Kijornchayanul		

System Details			
Range Lens: 500RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler MS17	Dispersure: 15.5 %
Presentation: SOHD	[Particle R.I. = (1.5255, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]		Residual: 0.349 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: Active --	Killed Data Channels: Low 0, High 2		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0114 %/Vol	Density = 3.150 g/cub. cm	Specific S.A. = 1.2083 sq. m/g
Mean Diameter:	D (v, 0.1) = 0.42 um	D (v, 0.5) = 15.08 um	D (v, 0.9) = 45.93 um
D [x, 2] = 20.20 um	D [x, 2] = 1.58 um	Span = 3.018E+00	Uniformity = 8.575E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.03	0.06	0.03	6.63	2.89	7.72	31.84
0.06	0.07	0.07	0.10	7.72	3.40	8.00	35.23
0.07	0.11	0.08	0.21	8.00	3.83	10.48	36.06
0.08	0.16	0.09	0.37	10.48	4.28	12.21	43.34
0.09	0.22	0.11	0.59	12.21	4.73	14.22	48.07
0.11	0.30	0.13	0.89	14.22	5.17	16.57	53.24
0.13	0.42	0.15	1.31	16.57	5.57	19.31	58.21
0.15	0.59	0.17	1.90	19.31	5.98	22.49	64.70
0.17	0.84	0.20	2.73	22.49	6.17	26.20	70.86
0.20	1.17	0.23	3.90	26.20	5.99	30.53	76.85
0.23	1.51	0.27	5.41	30.53	5.52	35.56	82.38
0.27	1.71	0.31	7.12	35.56	4.83	41.43	87.21
0.31	1.93	0.36	9.75	41.43	3.89	48.27	91.20
0.36	1.42	0.42	10.17	48.27	3.10	56.23	94.20
0.42	1.24	0.48	11.41	56.23	2.24	65.31	96.44
0.48	1.07	0.58	12.48	65.31	1.60	76.32	98.04
0.58	0.84	0.67	13.31	76.32	0.81	88.91	98.86
0.67	0.68	0.79	13.97	88.91	0.51	103.58	99.46
0.79	0.55	0.91	14.52	103.58	0.27	120.67	99.74
0.91	0.47	1.06	14.90	120.67	0.18	140.58	99.82
1.06	0.44	1.24	15.43	140.58	0.08	163.77	100.00
1.24	0.43	1.44	15.88	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.46	1.68	16.33	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.53	1.95	16.86	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.64	2.28	17.50	258.95	0.00	301.88	100.00
2.28	0.79	2.65	18.29	301.88	0.00	351.40	100.00
2.65	1.00	3.06	19.29	351.40	0.00	408.45	100.00
3.06	1.28	3.60	20.55	408.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.58	4.19	22.10	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.89	4.88	23.99	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.24	5.69	26.23	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.61	6.63	28.84	754.23	0.00	878.67	100.00



รูปที่ ข.๕ ผลการทดสอบหาการกระจายขนาดของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑





ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 อาคารเฉลิม ๒ จุฬาลงกรณ์ ๖๖๖ ๖๖ ๖ พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ ๑๐๓๓๐ โทร ๒๑๘๖๐๒-๓๒, ๒๑๘๖๐๑ โทรสาร ๒๑๔๒๐๑  
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University  
 Building 2-2 Chula Soi 62 Phaya Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel: 2188029-32, 2188101 Fax: 2188111

**Analysis Result**

Sample Details		
Sample ID: Glass powder	Run Number: 5	Measured: 1 May 2006 14:41PM
Sample File: CHULA	Record Number: 17	Analyzed: 1 May 2006 14:42PM
Sample Path: C:\SIZER\DATA\		Result Source: Analyzed
Sample Notes: Wet Analysis System Dispersing medium: Water Tested by Kaew Kajornchalyakul		

System Details			
Range Lens: 500RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: MS1	Obscuration: 16.1 %
Presentation: 30HD	[Particle R.I. = ( 1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]		Residual: 0.623 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0051 %/vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 44.8096 sq. m / g
Mean Diameters:	D [v, 0.1] = 0.09 um	D [v, 0.5] = 0.12 um	D [v, 0.9] = 15.49 um
D [4, 3] = 5.94 um	D [3, 2] = 0.13 um	Span = 1.2592E+02	Uniformity = 4.822E+01

Size_Low (um)	Wt %	Size_High (um)	Under%	Size_Low (um)	Wt %	Size_High (um)	Under%
0.05	8.19	0.05	8.19	6.62	2.89	7.72	75.18
0.06	11.99	0.07	20.19	7.72	3.17	9.00	79.32
0.07	11.73	0.08	31.91	9.00	3.36	10.48	81.68
0.08	9.08	0.09	40.99	10.48	3.47	12.21	85.15
0.09	5.96	0.11	46.95	12.21	3.23	14.22	86.37
0.11	3.56	0.13	50.81	14.22	2.62	16.57	91.18
0.12	2.09	0.15	52.51	16.57	2.32	19.31	92.00
0.15	1.30	0.17	53.91	19.31	1.79	22.49	95.28
0.17	0.88	0.20	54.80	22.49	1.28	26.29	96.58
0.20	0.68	0.25	55.48	26.29	0.87	30.53	97.45
0.23	0.55	0.27	56.03	30.53	0.54	35.56	98.00
0.27	0.44	0.31	56.49	35.56	0.32	41.43	98.32
0.31	0.37	0.39	56.86	41.43	0.19	48.27	98.50
0.36	0.31	0.42	57.17	48.27	0.12	56.23	98.62
0.42	0.28	0.49	57.45	56.23	0.08	65.51	98.79
0.49	0.27	0.58	57.72	65.51	0.07	76.32	98.95
0.58	0.26	0.67	58.01	76.32	0.09	88.91	99.14
0.67	0.33	0.78	58.33	88.91	0.20	103.68	99.34
0.78	0.40	0.91	58.73	103.68	0.19	120.67	99.54
0.91	0.48	1.06	59.31	120.67	0.17	140.38	99.71
1.06	0.55	1.24	59.76	140.38	0.13	163.77	99.84
1.24	0.57	1.44	60.33	163.77	0.09	190.80	99.92
1.44	0.57	1.68	60.91	190.80	0.05	222.28	99.98
1.68	0.59	1.95	61.49	222.28	0.02	258.95	100.00
1.95	0.61	2.28	62.10	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.68	2.65	62.78	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.81	3.09	63.60	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.03	3.60	64.62	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.32	4.19	65.94	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.69	4.88	67.53	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.10	5.69	69.73	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.82	6.63	72.26	754.23	0.00	879.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.  
 Malvern, UK  
 Tel:0684 892456 Fax:0684 892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.11  
 Serial Number: 32734-89

p. 13  
 01 May 06 14:50

รูปที่ ข.๖ ผลการทดสอบหาการกระจายขนาดของอนุภาคผงแก้ว

MICROMERITICS INSTRUMENT CORPORATION  
FlowSorb 2300

BET SURFACE AREA ANALYSIS  
REPORT DATE: 04/25/49

SAMPLE I.D.: Cement  
SAMPLE WEIGHT: 1.7052 g  
MOL. CROSS-SECTIONAL AREA: 0.162 nm<sup>2</sup>  
AMBIENT TEMPERATURE: 22.00 C

ADSORBATE: Nitrogen  
BAROMETRIC PRESSURE: 760 mmHg  
SATURATION PRESSURE: 775 mmHg

EXPERIMENTAL DATA (%)	(VOL)	VOL ADSORBED (cm <sup>3</sup> /g AT STP)	X=P/Po	Y=X/[(1-X)V]
5.000	0.35	0.19	0.0490	0.27143
12.000	0.40	0.22	0.1177	0.51436
18.000	0.44	0.24	0.1765	0.89762
24.000	0.48	0.26	0.2354	1.18151

BET SURFACE AREA: 0.89 +/- 0.01 m<sup>2</sup>/g  
SLOPE: 4.8795 +/- 0.0319  
INTERCEPT: 0.0354 +/- 0.0051  
C: 138.70  
Vm: 0.20 cm<sup>3</sup>/g  
CORRELATION COEFFICIENT 1.0000



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข.๖ ผลการทดสอบหาพื้นที่ผิวจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ โดยเทคนิค BET

MICROMERITICS INSTRUMENT CORPORATION  
FlowSorb 2300

BET SURFACE AREA ANALYSIS  
REPORT DATE: 04/25/49

SAMPLE I.D.: Glass powder  
SAMPLE WEIGHT: 0.8835 g  
MOL. CROSS-SECTIONAL AREA: 0.162 nm<sup>2</sup>  
AMBIENT TEMPERATURE: 22.00 C

ADSORBATE: Nitrogen  
BAROMETRIC PRESSURE: 760 mmHg  
SATURATION PRESSURE: 775 mmHg


EXPERIMENTAL DATA (%)	(VOL)	VOL ADSORBED (cm <sup>3</sup> /g AT STP)	X=P/Po	Y=X/[(1-X)V]
5.000	0.30	0.31	0.0490	0.16408
12.000	0.34	0.36	0.1177	0.37449
18.000	0.37	0.39	0.1765	0.55306
24.000	0.40	0.42	0.2354	0.73460

BET SURFACE AREA: 1.42 +/- 0.00 m<sup>2</sup>/g  
SLOPE: 3.0594 +/- 0.0057  
INTERCEPT: 0.0140 +/- 0.0009  
C: 219.17  
Vm: 0.33 cm<sup>3</sup>/g  
CORRELATION COEFFICIENT 1.0000



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข.๘ ผลการทดสอบหาพื้นที่ผิวจำเพาะของผงแก้วด้วยเทคนิค BET



รูปแสดงผลการทดสอบหาปริมาตรโพรงด้วยเครื่อง MIP

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Request No. 66/49

**MATERIALS TECHNOLOGY  
DEPARTMENT (MTD)**

Lab No. 66/49

Date April 24, 2006

Page 1 of 5!

REPORT ON TESTING AND ANALYSIS  
FOR  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Testing/analysis of :- CO.485(@ 2 days), GP0(@ 2 days), GP10(@ 2 days),  
GP20(@ 2 days) and GP30(@ 2 days)

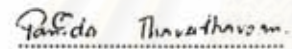
Method of testing/analysis :- Pore Size Distribution by Mercury Porosity Method;  
Model: PoreMaster

Result of testing/analysis :-

The results of pore size and porosity of the samples are shown in the table  
on page 2 and the details are shown on pages 3-51.

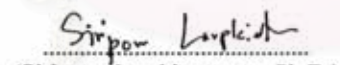
Tested/analysed by

Approved by

  
.....  
(Ms. Panida Thaveethavorn)

  
.....  
(Siriporn Larpiattaworn, Ph.D.)  
Materials Technology Department  
**TISTR**

Examined by

  
.....  
(Siriporn Larpiattaworn, Ph.D.)

FM-MTD-GEN 02-02 Rev.0

Remark : The above results are valid exclusively for tested/analysis sample as mentioned in the report  
Publicity of the results on testing and analysis is prohibited unless written permission is obtained from the governor of  
TISTR

**The results of pore size and porosity of the samples**

Sample	Pore Diameter: Mode ( $\mu\text{m}$ )	Total Porosity (%)	Remark
CO.485(@ 2 days)	0.07	22.63	3-12
GP0(@ 2 days)	0.13	22.35	13-22
GP10(@ 2 days)	0.25	27.07	23-32
GP20(@ 2 days)	0.31	32.02	33-42
GP30(@ 2 days)	0.31	27.00	43-52



TISTR



สถาบันวิจัยบริการ

Thailand Institute of Scientific and Technological Research

35 Moo 3, Technopolis Tambon Khlong 5 Amphoe Khlong Luang Pathum Thani 12120 Thailand

Tel. (66) 0 2577 9000 Fax 0 2577 9009

E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Page 13 of 51

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GPO(#2days)	File Name	S640402H_Merged
Sample Weight	1.1489 grams	Bulk Sample Volume	0.5884 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 ± FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

Standard Report

Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	.....	13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	.....	33.6363 [g]
Cell+Hg Weight	.....	77.6185 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	.....	70.8037 [g]
Temperature	.....	25.00 [°C]			

High Pressure

Data File Name	.....	S640402H.PRM
Analysis Date	....	04/04/2006
# of repeat cycles	....	0
Penetrometer Constant	..	1360 [mV/cc]
Auto-Oil Fill Time	....	5 [sec]
Run Mode	.....	Fixed Speed
Motor Speed	.....	20

Low Pressure

Data File Name	.....	S6404042.PRM
Analysis Date	....	04/04/2006
# of repeat cycles	....	0
Penetrometer Constant	..	1414 [mV/cc]
Evacuation Rate	.....	5
Fine Evac. Until	.....	1.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	....	20.0000 [mm Hg]
Coarse Evac. Until	....	2.0000 [min.]

341 Points Acquired    234 Pts in Intrusion Range    107 Pts in Extrusion Range



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Page 14 of 51

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GPO(#2days)	File Name	S640402H_Merged
Sample Weight	1.1489 grams	Bulk Sample Volume	0.5884 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Standard Report

339 Points Used      233 Intrusion Pts Used      106 Extrusion Pts Used

## Intrusion Statistics

Pressure Range : 1.340 PSIA to 30031.592 PSIA  
Pore Diameter Range : 159.229645 µm to 0.007103 µm

## Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
Volume	8.279E-02 cc/g. at a diameter of 7.475E-02 µm	7.139E+02 cc/(µm-g) at a diameter of 1.313E-01 µm	5.723E-02 cc/g at a diameter of 1.675E-01 µm
Surface Area	1.398E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 7.475E-02 µm	3.590E-02 m <sup>2</sup> /(µm-g) at a diameter of 9.266E-03 µm	3.063E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 2.776E-02 µm
Pore Number Fraction	5.010E-03 at a diameter of 9.266E-03 µm	2.658E-02 at a diameter of 9.266E-03 µm	5.061E-01 at a diameter of 1.493E-02 µm

## Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume	0.1145 cc/g	Bulk (Particle) Density	1.952
Total Surface Area	6.1254 m <sup>2</sup> /g	Apparent Density	3.978



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Report date: 04/24/2006

Page 15 of 51

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GPO(#2days)	File Name	S640402H Merged
Sample Weight	1.1489 grams	Bulk Sample Volume	0.5884 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.5884 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling poresize limit =	4266.4438 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.0101 [cc]
Total interparticle porosity =	1.7239 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.1214 [cc]
Total intraparticle porosity =	20.6272 [%]
Total intruded volume =	0.1315 [cc]
Total porosity =	22.3511 [%]
He density =	2.0000 g/cc
Theoretical porosity =	2.3700 [%]



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID ~ GPO(#2days) File Name S640402H\_Merged  
Sample Weight 1.1489 grams Bulk Sample Volume 0.5884 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.340	1.592E+02	0.0000	0.0000	0.00	1.231E-05	5.958E-03
1.491	1.430E+02	0.0004	0.0004	0.36	1.367E-05	6.278E-03
1.722	1.239E+02	0.0008	0.0004	0.73	1.736E-05	6.515E-03
1.950	1.094E+02	0.0012	0.0003	1.01	2.217E-05	6.675E-03
2.176	9.805E+01	0.0015	0.0003	1.27	2.738E-05	6.820E-03
2.415	8.832E+01	0.0018	0.0004	1.58	3.334E-05	7.001E-03
2.647	8.060E+01	0.0021	0.0003	1.87	4.337E-05	7.790E-03
2.878	7.412E+01	0.0024	0.0003	2.13	4.644E-05	7.866E-03
3.095	6.892E+01	0.0027	0.0003	2.35	5.123E-05	8.128E-03
3.315	6.435E+01	0.0029	0.0002	2.56	5.731E-05	8.477E-03
3.523	6.056E+01	0.0032	0.0002	2.76	6.311E-05	8.739E-03
3.729	5.721E+01	0.0034	0.0002	2.95	6.818E-05	8.974E-03
3.924	5.436E+01	0.0036	0.0002	3.14	7.539E-05	9.540E-03
4.110	5.191E+01	0.0038	0.0002	3.31	8.314E-05	1.013E-02
4.295	4.967E+01	0.0040	0.0002	3.47	9.223E-05	1.082E-02
4.479	4.763E+01	0.0041	0.0002	3.62	1.013E-04	1.142E-02
4.656	4.581E+01	0.0043	0.0002	3.77	1.100E-04	1.193E-02
4.832	4.414E+01	0.0045	0.0002	3.97	1.195E-04	1.249E-02
5.019	4.250E+01	0.0048	0.0002	4.19	1.278E-04	1.285E-02
5.217	4.089E+01	0.0051	0.0003	4.41	1.364E-04	1.314E-02
5.410	3.943E+01	0.0053	0.0002	4.62	1.451E-04	1.338E-02
5.615	3.799E+01	0.0055	0.0002	4.82	1.532E-04	1.348E-02
5.821	3.665E+01	0.0058	0.0002	5.02	1.580E-04	1.325E-02
6.036	3.534E+01	0.0060	0.0002	5.21	1.539E-04	1.232E-02
6.260	3.407E+01	0.0062	0.0002	5.39	1.482E-04	1.132E-02
6.482	3.291E+01	0.0064	0.0002	5.55	1.379E-04	1.004E-02
6.701	3.183E+01	0.0065	0.0001	5.68	1.271E-04	8.862E-03
6.920	3.083E+01	0.0066	0.0001	5.78	1.132E-04	7.549E-03
7.136	2.990E+01	0.0067	0.0001	5.83	9.680E-05	6.198E-03
7.351	2.902E+01	0.0067	0.0000	5.87	8.059E-05	4.963E-03
7.556	2.823E+01	0.0067	0.0000	5.89	6.374E-05	3.790E-03
7.749	2.753E+01	0.0068	0.0000	5.90	4.620E-05	2.669E-03
7.931	2.690E+01	0.0068	0.0000	5.90	3.073E-05	1.733E-03
8.113	2.629E+01	0.0068	0.0000	5.90	1.815E-05	1.004E-03
8.296	2.571E+01	0.0068	0.0000	5.90	1.157E-05	6.238E-04
8.480	2.516E+01	0.0068	0.0000	5.90	5.611E-06	2.960E-04
8.663	2.462E+01	0.0068	0.0000	5.90	3.018E-06	1.544E-04
8.846	2.411E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
9.029	2.363E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
9.213	2.315E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
9.397	2.270E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
9.590	2.224E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
9.792	2.179E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
10.003	2.133E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
10.214	2.089E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TICTD

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GPO(#2days)	File Name	S640402H_Merged
Sample Weight	1.1489 grams	Bulk Sample Volume	0.5884 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
10.423	2.047E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
10.633	2.006E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
10.842	1.968E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
11.050	1.931E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
11.257	1.895E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
11.463	1.861E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
11.669	1.828E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
11.874	1.796E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
12.079	1.766E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
12.284	1.737E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
12.479	1.709E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
12.665	1.684E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
12.850	1.660E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
13.026	1.638E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
13.203	1.616E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
13.381	1.594E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
13.548	1.575E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
13.707	1.556E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
13.867	1.538E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
14.026	1.521E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
14.186	1.504E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
14.353	1.486E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
14.530	1.468E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
14.705	1.451E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
14.888	1.433E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
15.070	1.416E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
15.251	1.399E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
15.441	1.382E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
15.639	1.364E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
15.844	1.346E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
16.040	1.330E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
16.243	1.313E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
16.447	1.297E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
16.651	1.281E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
16.854	1.266E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
17.058	1.251E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
17.261	1.236E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
17.464	1.222E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
17.665	1.208E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
17.867	1.194E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
18.061	1.181E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
18.263	1.168E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
18.455	1.156E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
18.647	1.144E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00
18.839	1.132E+01	0.0068	0.0000	5.90	0.000E+00	0.000E+00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
TISTR

Report date: 04/24/2006

Page 18 of 51

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID / GPO(#2days) File Name S640402H\_Merged  
Sample Weight 1.1489 grams Bulk Sample Volume 0.5884 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
19.031	1.121E+01	0.0068	0.0000	5.90	7.410E-06	2.019E-04
19.223	1.110E+01	0.0068	0.0000	5.90	1.515E-05	4.067E-04
19.414	1.099E+01	0.0068	0.0000	5.90	2.323E-05	6.141E-04
19.606	1.088E+01	0.0068	0.0000	5.90	3.160E-05	8.227E-04
19.797	1.078E+01	0.0068	0.0000	5.90	4.026E-05	1.033E-03
19.988	1.067E+01	0.0068	0.0000	5.91	4.922E-05	1.244E-03
20.178	1.057E+01	0.0068	0.0000	5.92	6.694E-05	1.674E-03
20.367	1.047E+01	0.0068	0.0000	5.93	8.531E-05	2.108E-03
20.557	1.038E+01	0.0068	0.0000	5.93	1.043E-04	2.546E-03
20.748	1.028E+01	0.0068	0.0000	5.94	1.330E-04	3.210E-03
20.939	1.019E+01	0.0068	0.0000	5.95	1.628E-04	3.883E-03
21.129	1.010E+01	0.0068	0.0000	5.97	1.845E-04	4.362E-03
21.320	1.001E+01	0.0068	0.0000	5.98	2.069E-04	4.844E-03
21.510	9.917E+00	0.0069	0.0000	6.00	2.398E-04	5.563E-03
21.700	9.830E+00	0.0069	0.0000	6.02	2.740E-04	6.295E-03
21.889	9.745E+00	0.0069	0.0000	6.05	3.095E-04	7.036E-03
22.078	9.662E+00	0.0070	0.0000	6.07	3.463E-04	7.789E-03
22.267	9.580E+00	0.0070	0.0000	6.10	3.635E-04	8.090E-03
22.455	9.500E+00	0.0070	0.0000	6.13	3.813E-04	8.398E-03
22.642	9.421E+00	0.0071	0.0000	6.16	4.011E-04	8.742E-03
22.829	9.344E+00	0.0071	0.0000	6.19	3.906E-04	8.424E-03
23.014	9.269E+00	0.0071	0.0000	6.23	3.775E-04	8.067E-03
23.199	9.195E+00	0.0072	0.0000	6.25	3.642E-04	7.741E-03
23.383	9.123E+00	0.0072	0.0000	6.28	3.542E-04	7.564E-03
23.558	9.055E+00	0.0072	0.0000	6.30	3.345E-04	7.343E-03
24.215	8.809E+00	0.0073	0.0000	6.34	3.178E-04	7.210E-03
25.704	8.299E+00	0.0073	0.0001	6.42	3.118E-04	7.158E-03
28.424	7.505E+00	0.0075	0.0002	6.57	3.240E-04	7.385E-03
33.172	6.431E+00	0.0079	0.0004	6.90	3.826E-04	8.184E-03
41.347	5.159E+00	0.0086	0.0007	7.54	5.022E-04	9.362E-03
54.245	3.933E+00	0.0097	0.0010	8.46	7.212E-04	1.103E-02
74.312	2.871E+00	0.0110	0.0014	9.64	1.266E-03	1.368E-02
103.543	2.060E+00	0.0129	0.0019	11.29	2.374E-03	1.708E-02
143.734	1.484E+00	0.0153	0.0024	13.38	4.460E-03	2.112E-02
196.633	1.085E+00	0.0182	0.0029	15.89	7.967E-03	2.569E-02
262.995	8.111E-01	0.0216	0.0034	18.86	1.329E-02	3.052E-02
343.078	6.218E-01	0.0254	0.0038	22.19	2.123E-02	3.574E-02
437.182	4.879E-01	0.0297	0.0043	25.95	3.279E-02	4.139E-02
545.557	3.910E-01	0.0344	0.0047	30.01	4.820E-02	4.704E-02
667.853	3.194E-01	0.0393	0.0049	34.30	6.798E-02	5.371E-02
803.022	2.656E-01	0.0441	0.0049	38.56	9.249E-02	5.771E-02
950.415	2.245E-01	0.0490	0.0049	42.80	1.210E-01	6.226E-02
1107.838	1.926E-01	0.0538	0.0048	46.99	1.532E-01	6.618E-02
1273.493	1.675E-01	0.0583	0.0046	50.97	1.864E-01	6.884E-02
1446.134	1.475E-01	0.0626	0.0042	54.67	2.195E-01	7.105E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TICTD

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 19 of 51

Sample ID GPO(#2days) File Name S640402H\_Merged  
 Sample Weight 1.1489 grams Bulk Sample Volume 0.5884 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1624.114	1.313E-01	0.0665	0.0040	58.13	2.506E-01	7.139E-02
1806.684	1.181E-01	0.0701	0.0036	61.24	2.801E-01	7.136E-02
1993.895	1.070E-01	0.0734	0.0033	64.08	3.066E-01	7.063E-02
2183.551	9.770E-02	0.0762	0.0028	66.54	3.283E-01	6.911E-02
2376.001	8.978E-02	0.0787	0.0025	68.73	3.450E-01	6.685E-02
2571.295	8.296E-02	0.0808	0.0022	70.61	3.577E-01	6.422E-02
2769.882	7.701E-02	0.0828	0.0020	72.32	3.659E-01	6.129E-02
2971.113	7.180E-02	0.0846	0.0018	73.87	3.719E-01	5.842E-02
3174.690	6.719E-02	0.0862	0.0016	75.26	3.749E-01	5.550E-02
3380.811	6.310E-02	0.0875	0.0014	76.47	3.785E-01	5.295E-02
3589.378	5.943E-02	0.0888	0.0012	77.55	3.805E-01	5.042E-02
3799.790	5.614E-02	0.0899	0.0011	78.56	3.840E-01	4.825E-02
4012.548	5.316E-02	0.0910	0.0011	79.49	3.859E-01	4.609E-02
4226.603	5.047E-02	0.0920	0.0010	80.36	3.877E-01	4.415E-02
4444.000	4.800E-02	0.0929	0.0009	81.18	3.903E-01	4.249E-02
4664.192	4.574E-02	0.0938	0.0009	81.92	3.962E-01	4.121E-02
4886.330	4.366E-02	0.0946	0.0008	82.61	4.038E-01	4.017E-02
5109.766	4.175E-02	0.0953	0.0007	83.24	4.111E-01	3.919E-02
5334.897	3.999E-02	0.0960	0.0007	83.84	4.182E-01	3.827E-02
5561.826	3.835E-02	0.0966	0.0007	84.43	4.286E-01	3.778E-02
5790.201	3.684E-02	0.0973	0.0006	84.98	4.424E-01	3.769E-02
6020.372	3.543E-02	0.0979	0.0006	85.52	4.610E-01	3.794E-02
6252.240	3.412E-02	0.0985	0.0006	86.03	4.826E-01	3.838E-02
6485.954	3.289E-02	0.0990	0.0006	86.52	5.058E-01	3.881E-02
6721.963	3.174E-02	0.0996	0.0006	87.05	5.289E-01	3.916E-02
6959.918	3.065E-02	0.1003	0.0006	87.60	5.518E-01	3.944E-02
7199.071	2.963E-02	0.1009	0.0006	88.16	5.768E-01	3.981E-02
7440.219	2.867E-02	0.1015	0.0006	88.70	6.018E-01	4.014E-02
7683.913	2.776E-02	0.1021	0.0006	89.21	6.286E-01	4.050E-02
7929.203	2.690E-02	0.1027	0.0006	89.70	6.555E-01	4.081E-02
8176.688	2.609E-02	0.1032	0.0005	90.16	6.746E-01	4.063E-02
8426.170	2.532E-02	0.1037	0.0005	90.63	6.832E-01	3.986E-02
8676.897	2.459E-02	0.1042	0.0005	91.07	6.871E-01	3.889E-02
8929.771	2.389E-02	0.1047	0.0005	91.50	6.885E-01	3.786E-02
9184.741	2.323E-02	0.1052	0.0005	91.92	6.915E-01	3.695E-02
9441.358	2.259E-02	0.1057	0.0004	92.30	6.984E-01	3.631E-02
9699.621	2.199E-02	0.1060	0.0004	92.64	7.036E-01	3.562E-02
9960.329	2.142E-02	0.1064	0.0004	92.97	7.070E-01	3.488E-02
10223.281	2.087E-02	0.1068	0.0004	93.29	7.111E-01	3.423E-02
10487.632	2.034E-02	0.1071	0.0003	93.60	7.134E-01	3.359E-02
10754.078	1.984E-02	0.1075	0.0004	93.92	7.140E-01	3.297E-02
11022.470	1.935E-02	0.1079	0.0003	94.22	7.149E-01	3.237E-02
11292.608	1.889E-02	0.1082	0.0003	94.52	7.185E-01	3.179E-02
11564.893	1.845E-02	0.1085	0.0003	94.82	7.215E-01	3.123E-02
11839.322	1.802E-02	0.1089	0.0003	95.10	7.223E-01	3.069E-02

TISTR

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID GPO(๘2days) File Name S640402H\_Merged  
Sample Weight 1.1489 grams Bulk Sample Volume 0.5884 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm² Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
12115.447	1.761E-02	0.1092	0.0003	95.36	7.241E-01	2.935E-02
12399.906	1.720E-02	0.1094	0.0003	95.61	7.105E-01	2.810E-02
12692.696	1.681E-02	0.1097	0.0003	95.85	6.946E-01	2.679E-02
12993.970	1.642E-02	0.1100	0.0003	96.08	6.803E-01	2.561E-02
13303.575	1.603E-02	0.1102	0.0003	96.29	6.590E-01	2.422E-02
13621.763	1.566E-02	0.1105	0.0003	96.51	6.398E-01	2.297E-02
13948.884	1.529E-02	0.1107	0.0002	96.69	6.220E-01	2.183E-02
14284.835	1.493E-02	0.1109	0.0002	96.86	6.033E-01	2.067E-02
14622.882	1.459E-02	0.1111	0.0002	97.03	5.849E-01	1.956E-02
14970.160	1.425E-02	0.1112	0.0002	97.19	5.641E-01	1.841E-02
15319.334	1.393E-02	0.1114	0.0002	97.34	5.400E-01	1.721E-02
15677.491	1.361E-02	0.1116	0.0002	97.50	5.094E-01	1.585E-02
16031.652	1.331E-02	0.1118	0.0002	97.63	4.946E-01	1.503E-02
16381.676	1.302E-02	0.1119	0.0001	97.75	4.909E-01	1.460E-02
16726.857	1.275E-02	0.1120	0.0001	97.85	4.695E-01	1.367E-02
17067.650	1.250E-02	0.1121	0.0001	97.94	4.500E-01	1.283E-02
17404.600	1.226E-02	0.1122	0.0001	98.01	4.207E-01	1.174E-02
17736.857	1.203E-02	0.1123	0.0001	98.08	3.861E-01	1.057E-02
18064.127	1.181E-02	0.1124	0.0001	98.18	3.571E-01	9.594E-03
18393.443	1.160E-02	0.1125	0.0001	98.24	3.316E-01	8.749E-03
18717.670	1.140E-02	0.1125	0.0001	98.30	3.102E-01	8.043E-03
19044.139	1.120E-02	0.1126	0.0000	98.33	2.979E-01	7.604E-03
19365.871	1.102E-02	0.1126	0.0000	98.37	3.004E-01	7.567E-03
19689.248	1.083E-02	0.1126	0.0000	98.40	3.236E-01	8.127E-03
20014.723	1.066E-02	0.1127	0.0000	98.43	3.289E-01	8.224E-03
20342.393	1.049E-02	0.1127	0.0000	98.46	3.529E-01	8.733E-03
20671.656	1.032E-02	0.1128	0.0000	98.50	3.868E-01	9.458E-03
21002.418	1.016E-02	0.1128	0.0001	98.55	4.327E-01	1.041E-02
21334.775	9.999E-03	0.1129	0.0001	98.66	4.857E-01	1.148E-02
21668.631	9.845E-03	0.1130	0.0001	98.74	5.568E-01	1.293E-02
22004.732	9.694E-03	0.1131	0.0001	98.83	6.316E-01	1.441E-02
22342.531	9.548E-03	0.1132	0.0001	98.92	7.103E-01	1.590E-02
22681.326	9.405E-03	0.1133	0.0001	99.01	7.814E-01	1.716E-02
23020.969	9.266E-03	0.1134	0.0001	99.11	8.316E-01	1.792E-02
23362.361	9.131E-03	0.1136	0.0001	99.23	7.999E-01	1.691E-02
23704.701	8.999E-03	0.1137	0.0001	99.34	7.782E-01	1.612E-02
24048.283	8.871E-03	0.1139	0.0001	99.46	7.547E-01	1.533E-02
24392.668	8.745E-03	0.1140	0.0001	99.57	7.163E-01	1.427E-02
24741.145	8.622E-03	0.1141	0.0001	99.66	6.751E-01	1.320E-02
25090.518	8.502E-03	0.1141	0.0000	99.70	6.309E-01	1.221E-02
25441.238	8.385E-03	0.1142	0.0000	99.73	5.555E-01	1.019E-02
25792.311	8.271E-03	0.1142	0.0000	99.76	4.755E-01	8.545E-03
26143.627	8.160E-03	0.1142	0.0000	99.78	3.908E-01	7.389E-03
26495.648	8.051E-03	0.1142	0.0000	99.80	3.089E-01	6.553E-03
26848.963	7.945E-03	0.1143	0.0000	99.83	2.374E-01	5.615E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 21 of 51

Sample ID	GPO(๒2days)	File Name	S640402H_Merged
Sample Weight	1.1489 grams	Bulk Sample Volume	0.5884 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [μm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(μm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
27202.373	7.842E-03	0.1143	0.0000	99.84	2.339E-01	4.212E-03
27556.639	7.741E-03	0.1143	0.0000	99.86	2.481E-01	4.448E-03
27911.055	7.643E-03	0.1143	0.0000	99.88	2.575E-01	4.587E-03
28266.463	7.547E-03	0.1143	0.0000	99.89	2.384E-01	4.171E-03
28618.221	7.454E-03	0.1144	0.0000	99.90	2.399E-01	4.124E-03
28969.863	7.364E-03	0.1144	0.0000	99.93	2.403E-01	4.063E-03
29323.453	7.275E-03	0.1144	0.0000	99.97	2.518E-01	4.118E-03
29677.211	7.188E-03	0.1145	0.0000	100.00	2.654E-01	4.205E-03
30031.592	7.103E-03	0.1145	0.0000	100.00	2.820E-01	4.205E-03

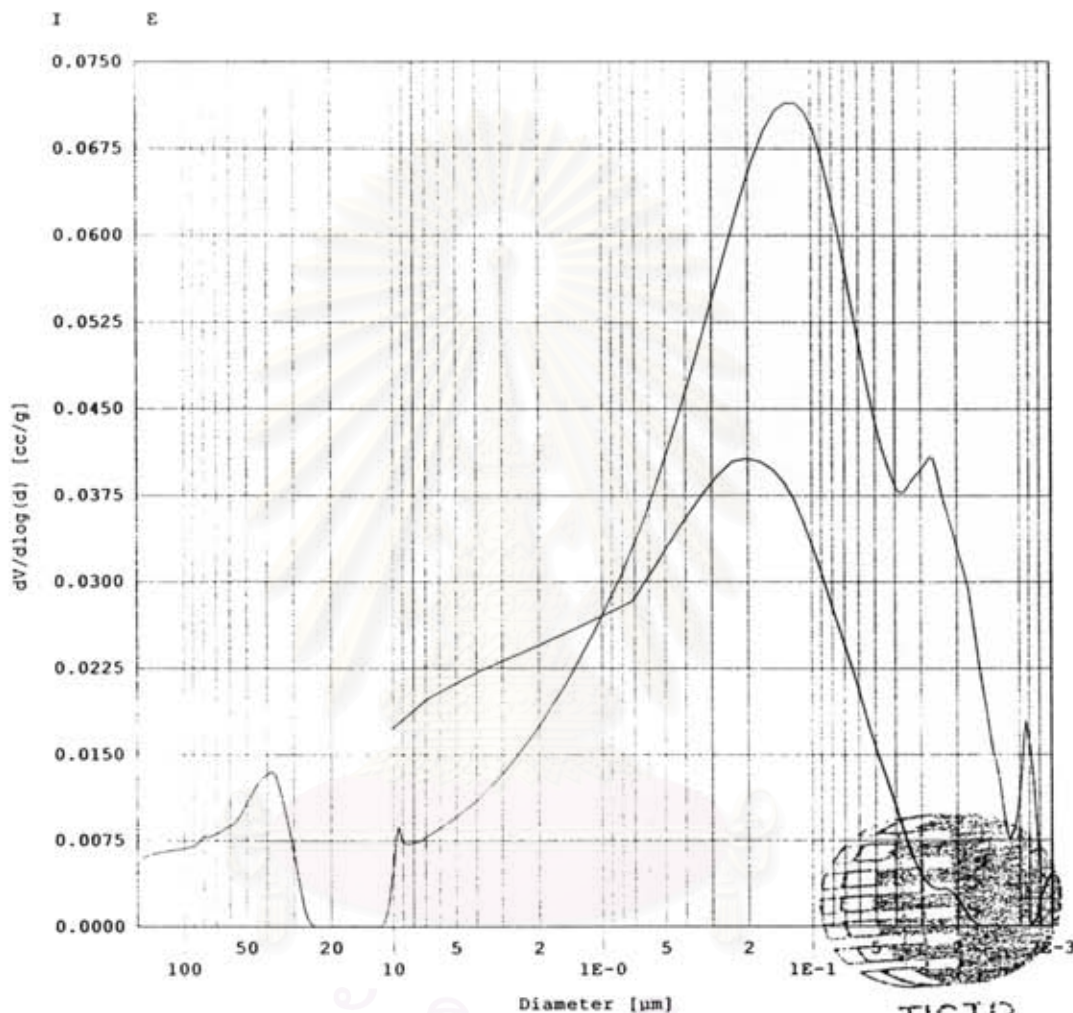


TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sample ID	GPO(๒2days)	File Name	S640402H_Merged
Sample Weight	1.1489 grams	Bulk Sample Volume	0.5884 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TISTR



Report date: 04/24/2006

**Quantachrome Instruments**  
**Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report**  
 Version 4.03

Page 23 of 51

Sample ID	GP10 (#2days)	File Name	S640404H_Merged
Sample Weight	1.2147 grams	Bulk Sample Volume	0.6448 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Standard Report

## Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	.....	13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	.....	33.6363 [g]
Cell+Hg Weight	.....	77.6285 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	.....	70.1171 [g]
Temperature	.....	25.00 [°C]			

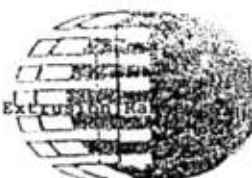
## High Pressure

Data File Name	.....	S640404H.PRM
Analysis Date	....	04/04/2006
# of repeat cycles	....	0
Penetrometer Constant	..	1360 [mV/cc]
Auto-Oil Fill Time	....	5 [sec]
Run Mode	.....	Fixed Speed
Motor Speed	.....	20

## Low Pressure

Data File Name	.....	S6404072.PRM
Analysis Date	....	04/04/2006
# of repeat cycles	....	0
Penetrometer Constant	..	1414 [mV/cc]
Evacuation Rate	.....	5
Fine Evac. Until	.....	1.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	....	20.0000 [mm Hg]
Coarse Evac. Until	....	2.0000 [min.]

343 Points Acquired	232 Pts in Intrusion Range	111 Pts in Extrusion Range
---------------------	----------------------------	----------------------------



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 24 of 51

Sample ID	GP10 (#2days)	File Name	S640404H_Merged
Sample Weight	1.2147 grams	Bulk Sample Volume	0.6448 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

## Standard Report

341 Points Used      231 Intrusion Pts Used      110 Extrusion Pts Used

## Intrusion Statistics

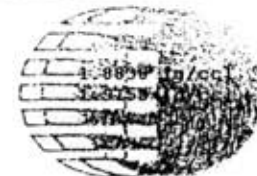
Pressure Range : 1.321 PSIA to 29791.742 PSIA  
Pore Diameter Range : 161.434189 µm to 0.007160 µm

## Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
Volume	1.093E-01 cc/g at a diameter of 1.075E-01 µm	7.307E+02 cc/(µm-g) at a diameter of 2.479E-01 µm	7.186E-02 cc/g at a diameter of 3.560E-01 µm
Surface Area	1.126E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 1.075E-01 µm	2.339E-02 m <sup>2</sup> /(µm-g) at a diameter of 9.511E-03 µm	2.675E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 3.229E-02 µm
Pore Number Fraction	4.485E-03 at a diameter of 9.511E-03 µm	1.719E-02 at a diameter of 9.511E-03 µm	5.088E-01 at a diameter of 1.504E-02 µm

## Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume	0.1437 cc/g	Bulk (Particle) Density	4.8850 g/cc
Total Surface Area	5.3491 m <sup>2</sup> /g	Apparent Density	5.3750 g/cc



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

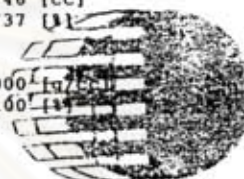
Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 25 of 51

Sample ID	GP10 (#2days)	File Name	S640404H_Merged
Sample Weight	1.2147 grams	Bulk Sample Volume	0.6448 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.6448 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling poresize limit =	4266.4438 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.0166 [cc]
Total interparticle porosity =	2.5817 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.1579 [cc]
Total intraparticle porosity =	24.4920 [%]
Total intruded volume =	0.1746 [cc]
Total porosity =	27.0737 [%]
He density =	2.0000 [g/cc]
Theoretical porosity =	5.8100 [%]



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 26 of 51

Sample ID GP10 (#2days) File Name S640404H\_Merged  
Sample Weight 1.2147 grams Bulk Sample Volume 0.6448 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.321	1.614E+02	0.0000	0.0000	0.00	3.555E-05	1.672E-02
1.507	1.415E+02	0.0022	0.0022	1.55	3.896E-05	1.690E-02
1.742	1.225E+02	0.0035	0.0013	2.45	4.784E-05	1.630E-02
1.989	1.073E+02	0.0044	0.0009	3.06	5.890E-05	1.573E-02
2.227	9.581E+01	0.0051	0.0007	3.52	6.984E-05	1.495E-02
2.468	8.642E+01	0.0056	0.0005	3.89	8.081E-05	1.424E-02
2.710	7.872E+01	0.0063	0.0007	4.40	1.002E-04	1.478E-02
2.962	7.203E+01	0.0068	0.0005	4.73	8.074E-05	1.163E-02
3.209	6.648E+01	0.0072	0.0004	5.00	7.447E-05	1.004E-02
3.455	6.174E+01	0.0074	0.0003	5.17	7.133E-05	8.905E-03
3.698	5.769E+01	0.0076	0.0002	5.32	6.851E-05	7.937E-03
3.934	5.423E+01	0.0078	0.0002	5.43	6.599E-05	7.151E-03
4.161	5.127E+01	0.0079	0.0001	5.50	5.533E-05	5.848E-03
4.376	4.875E+01	0.0080	0.0001	5.55	4.967E-05	5.107E-03
4.580	4.658E+01	0.0080	0.0001	5.59	4.406E-05	4.469E-03
4.786	4.457E+01	0.0081	0.0001	5.63	4.159E-05	4.138E-03
4.987	4.277E+01	0.0081	0.0001	5.67	3.979E-05	3.889E-03
5.183	4.116E+01	0.0082	0.0001	5.71	3.928E-05	3.764E-03
5.373	3.970E+01	0.0083	0.0001	5.76	4.051E-05	3.778E-03
5.562	3.835E+01	0.0083	0.0001	5.80	4.312E-05	3.889E-03
5.748	3.711E+01	0.0084	0.0001	5.84	4.648E-05	4.042E-03
5.936	3.594E+01	0.0085	0.0001	5.88	4.650E-05	3.852E-03
6.125	3.483E+01	0.0085	0.0001	5.93	4.480E-05	3.539E-03
6.321	3.375E+01	0.0086	0.0001	5.97	4.252E-05	3.204E-03
6.527	3.268E+01	0.0086	0.0001	6.01	3.961E-05	2.846E-03
6.742	3.164E+01	0.0087	0.0001	6.06	3.613E-05	2.473E-03
6.952	3.069E+01	0.0087	0.0000	6.06	3.188E-05	2.082E-03
7.159	2.980E+01	0.0087	0.0000	6.06	2.688E-05	1.680E-03
7.366	2.896E+01	0.0087	0.0000	6.06	2.114E-05	1.268E-03
7.573	2.817E+01	0.0087	0.0000	6.06	1.492E-05	8.598E-04
7.780	2.742E+01	0.0087	0.0000	6.06	8.233E-06	4.571E-04
7.987	2.671E+01	0.0087	0.0000	6.06	1.116E-06	6.039E-05
8.192	2.604E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
8.396	2.541E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
8.599	2.481E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
8.805	2.423E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
9.010	2.368E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
9.206	2.317E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
9.395	2.270E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
9.582	2.226E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
9.760	2.186E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
9.939	2.146E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
10.118	2.108E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
10.290	2.073E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
10.452	2.041E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID GP10 (#2days) File Name S640404H\_Merged  
Sample Weight 1.2147 grams Bulk Sample Volume 0.6448 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
10.616	2.009E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
10.777	1.979E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
10.938	1.950E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
11.108	1.920E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
11.285	1.890E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
11.461	1.861E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
11.646	1.832E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
11.831	1.803E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
12.015	1.775E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
12.208	1.747E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
12.400	1.720E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
12.581	1.696E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
12.764	1.671E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
12.939	1.649E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
13.112	1.627E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
13.279	1.607E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
13.437	1.588E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
13.594	1.569E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
13.752	1.551E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
13.910	1.534E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
14.068	1.516E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
14.235	1.499E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
14.411	1.480E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
14.584	1.463E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
14.765	1.445E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
14.946	1.427E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
15.135	1.410E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
15.332	1.391E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
15.528	1.374E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
15.723	1.357E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
15.927	1.339E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
16.130	1.323E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
16.332	1.306E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
16.534	1.290E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
16.736	1.275E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
16.937	1.259E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
17.138	1.245E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
17.339	1.230E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
17.541	1.216E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
17.743	1.202E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
17.945	1.189E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
18.138	1.176E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
18.330	1.164E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
18.522	1.152E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
18.714	1.140E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 28 of 51

Sample ID GP10 (@2days) File Name S640404H\_Merged  
Sample Weight 1.2147 grams Bulk Sample Volume 0.6448 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
18.906	1.128E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
19.097	1.117E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
19.288	1.106E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
19.478	1.095E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
19.668	1.085E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
19.856	1.074E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
20.043	1.064E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
20.231	1.054E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
20.417	1.045E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
20.603	1.035E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
20.789	1.026E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
20.975	1.017E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
21.161	1.008E+01	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
21.346	9.994E+00	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
21.531	9.908E+00	0.0087	0.0000	6.06	0.000E+00	0.000E+00
21.714	9.824E+00	0.0087	0.0000	6.06	2.059E-05	4.899E-04
21.899	9.741E+00	0.0087	0.0000	6.06	4.515E-05	1.074E-03
22.084	9.660E+00	0.0087	0.0000	6.06	7.132E-05	1.707E-03
22.269	9.579E+00	0.0087	0.0000	6.06	1.020E-04	2.475E-03
22.446	9.504E+00	0.0087	0.0000	6.06	1.432E-04	3.578E-03
22.856	9.333E+00	0.0088	0.0000	6.09	1.993E-04	5.166E-03
23.847	8.945E+00	0.0089	0.0001	6.17	2.677E-04	7.013E-03
25.221	8.458E+00	0.0090	0.0002	6.29	3.561E-04	9.196E-03
27.028	7.893E+00	0.0093	0.0003	6.47	4.622E-04	1.150E-02
29.716	7.179E+00	0.0098	0.0005	6.82	6.096E-04	1.425E-02
33.784	6.314E+00	0.0108	0.0010	7.49	8.363E-04	1.748E-02
39.881	5.349E+00	0.0122	0.0015	8.51	1.155E-03	2.090E-02
48.656	4.384E+00	0.0143	0.0021	9.96	1.681E-03	2.478E-02
61.455	3.471E+00	0.0169	0.0026	11.75	2.589E-03	2.919E-02
79.027	2.699E+00	0.0202	0.0033	14.04	4.127E-03	3.407E-02
104.325	2.045E+00	0.0245	0.0043	17.03	6.672E-03	3.921E-02
138.254	1.543E+00	0.0297	0.0053	20.69	1.063E-02	4.417E-02
182.412	1.169E+00	0.0356	0.0059	24.80	1.662E-02	4.936E-02
238.945	8.928E-01	0.0421	0.0065	29.33	2.521E-02	5.443E-02
308.500	6.915E-01	0.0490	0.0069	34.12	3.760E-02	5.968E-02
391.378	5.451E-01	0.0561	0.0071	39.06	5.364E-02	6.437E-02
488.476	4.367E-01	0.0631	0.0069	43.88	7.334E-02	6.819E-02
599.295	3.560E-01	0.0699	0.0069	48.66	9.567E-02	7.074E-02
723.587	2.948E-01	0.0765	0.0065	53.21	1.204E-01	7.238E-02
860.652	2.479E-01	0.0827	0.0063	57.57	1.464E-01	7.307E-02
1010.690	2.111E-01	0.0884	0.0057	61.54	1.728E-01	7.290E-02
1170.557	1.822E-01	0.0934	0.0050	64.98	1.977E-01	7.184E-02
1339.456	1.593E-01	0.0975	0.0042	67.87	2.214E-01	7.040E-02
1515.241	1.408E-01	0.1011	0.0036	70.38	2.407E-01	6.803E-02
1696.314	1.258E-01	0.1042	0.0031	72.53	2.561E-01	6.526E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TICTO

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID GP10 (#2days) File Name S640404H\_Merged  
Sample Weight 1.2147 grams Bulk Sample Volume 0.6448 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1882.577	1.133E-01	0.1070	0.0027	74.42	2.660E-01	6.207E-02
2073.180	1.029E-01	0.1093	0.0024	76.08	2.738E-01	5.921E-02
2266.379	9.412E-02	0.1115	0.0022	77.60	2.805E-01	5.647E-02
2462.122	8.664E-02	0.1134	0.0018	78.88	2.883E-01	5.413E-02
2660.858	8.017E-02	0.1150	0.0017	80.04	2.960E-01	5.202E-02
2862.439	7.452E-02	0.1166	0.0015	81.10	3.043E-01	5.012E-02
3065.916	6.958E-02	0.1181	0.0015	82.14	3.133E-01	4.855E-02
3271.339	6.521E-02	0.1194	0.0013	83.07	3.233E-01	4.728E-02
3478.758	6.132E-02	0.1206	0.0012	83.92	3.325E-01	4.606E-02
3688.870	5.783E-02	0.1217	0.0011	84.69	3.450E-01	4.527E-02
3901.279	5.468E-02	0.1227	0.0010	85.41	3.580E-01	4.453E-02
4115.633	5.183E-02	0.1237	0.0010	86.10	3.713E-01	4.387E-02
4331.683	4.925E-02	0.1247	0.0010	86.77	3.787E-01	4.259E-02
4550.378	4.688E-02	0.1256	0.0009	87.40	3.873E-01	4.151E-02
4771.769	4.471E-02	0.1265	0.0009	88.02	3.978E-01	4.068E-02
4995.154	4.271E-02	0.1273	0.0008	88.59	4.085E-01	3.991E-02
5219.987	4.087E-02	0.1281	0.0008	89.13	4.211E-01	3.935E-02
5446.666	3.917E-02	0.1288	0.0007	89.59	4.332E-01	3.887E-02
5675.390	3.759E-02	0.1294	0.0006	90.04	4.427E-01	3.816E-02
5905.860	3.612E-02	0.1300	0.0006	90.47	4.525E-01	3.756E-02
6138.177	3.475E-02	0.1306	0.0006	90.88	4.615E-01	3.696E-02
6371.692	3.348E-02	0.1312	0.0006	91.29	4.737E-01	3.668E-02
6606.803	3.229E-02	0.1318	0.0006	91.70	4.867E-01	3.647E-02
6844.608	3.117E-02	0.1323	0.0005	92.08	5.075E-01	3.676E-02
7084.609	3.011E-02	0.1329	0.0005	92.46	5.296E-01	3.707E-02
7326.057	2.912E-02	0.1334	0.0005	92.82	5.477E-01	3.705E-02
7569.401	2.818E-02	0.1339	0.0005	93.20	5.674E-01	3.711E-02
7814.991	2.730E-02	0.1345	0.0005	93.57	5.857E-01	3.706E-02
8062.326	2.646E-02	0.1350	0.0005	93.94	5.949E-01	3.642E-02
8311.907	2.566E-02	0.1355	0.0005	94.30	6.078E-01	3.600E-02
8563.434	2.491E-02	0.1360	0.0005	94.62	6.154E-01	3.528E-02
8816.956	2.419E-02	0.1364	0.0005	94.94	6.191E-01	3.435E-02
9072.524	2.351E-02	0.1369	0.0004	95.25	6.126E-01	3.294E-02
9330.489	2.286E-02	0.1373	0.0004	95.51	6.032E-01	3.146E-02
9589.601	2.225E-02	0.1376	0.0004	95.76	5.877E-01	2.980E-02
9850.457	2.166E-02	0.1380	0.0003	95.99	5.704E-01	2.816E-02
10113.710	2.109E-02	0.1383	0.0003	96.20	5.552E-01	2.669E-02
10379.058	2.055E-02	0.1385	0.0003	96.37	5.353E-01	2.510E-02
10646.053	2.004E-02	0.1388	0.0002	96.54	5.120E-01	2.344E-02
10915.293	1.954E-02	0.1390	0.0002	96.70	4.978E-01	2.225E-02
11192.117	1.906E-02	0.1392	0.0002	96.86	4.818E-01	2.105E-02
11471.087	1.860E-02	0.1394	0.0002	97.01	4.662E-01	1.990E-02
11751.654	1.815E-02	0.1396	0.0002	97.14	4.537E-01	1.892E-02
12034.716	1.773E-02	0.1398	0.0002	97.27	4.477E-01	1.823E-02
12319.622	1.732E-02	0.1400	0.0002	97.39	4.396E-01	1.749E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Sample ID GP10 (@2days) File Name S640404H\_Merged  
 Sample Weight 1.2147 grams Bulk Sample Volume 0.6448 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm² Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
12612.913	1.691E-02	0.1401	0.0002	97.51	4.299E-01	1.671E-02
12914.734	1.652E-02	0.1403	0.0002	97.63	4.150E-01	1.573E-02
13218.354	1.614E-02	0.1405	0.0002	97.73	4.036E-01	1.494E-02
13530.605	1.577E-02	0.1406	0.0002	97.84	3.911E-01	1.412E-02
13851.687	1.540E-02	0.1408	0.0001	97.94	3.836E-01	1.352E-02
14181.600	1.504E-02	0.1409	0.0001	98.03	3.727E-01	1.283E-02
14507.771	1.470E-02	0.1410	0.0001	98.10	3.614E-01	1.218E-02
14842.575	1.437E-02	0.1411	0.0001	98.17	3.527E-01	1.162E-02
15179.525	1.405E-02	0.1412	0.0001	98.24	3.451E-01	1.113E-02
15518.621	1.375E-02	0.1413	0.0001	98.31	3.376E-01	1.068E-02
15859.262	1.345E-02	0.1414	0.0001	98.37	3.275E-01	1.015E-02
16196.213	1.317E-02	0.1415	0.0001	98.44	3.228E-01	9.808E-03
16528.721	1.291E-02	0.1416	0.0001	98.50	3.279E-01	9.764E-03
16863.674	1.265E-02	0.1416	0.0001	98.56	3.245E-01	9.470E-03
17193.836	1.241E-02	0.1417	0.0001	98.62	3.264E-01	9.325E-03
17518.910	1.218E-02	0.1418	0.0001	98.66	3.175E-01	8.886E-03
17839.445	1.196E-02	0.1419	0.0001	98.71	3.139E-01	8.621E-03
18161.775	1.175E-02	0.1419	0.0001	98.76	3.160E-01	8.548E-03
18479.365	1.154E-02	0.1420	0.0001	98.80	3.205E-01	8.540E-03
18798.799	1.135E-02	0.1421	0.0001	98.85	3.288E-01	8.642E-03
19120.330	1.116E-02	0.1421	0.0000	98.88	3.402E-01	8.834E-03
19443.811	1.097E-02	0.1422	0.0001	98.91	3.593E-01	9.193E-03
19768.982	1.079E-02	0.1422	0.0001	98.96	3.826E-01	9.653E-03
20095.754	1.062E-02	0.1423	0.0001	99.00	3.981E-01	9.903E-03
20423.871	1.044E-02	0.1424	0.0001	99.06	4.226E-01	1.034E-02
20753.686	1.028E-02	0.1424	0.0001	99.12	4.481E-01	1.078E-02
21085.695	1.012E-02	0.1425	0.0001	99.18	4.845E-01	1.144E-02
21419.252	9.959E-03	0.1426	0.0001	99.24	5.224E-01	1.211E-02
21754.455	9.806E-03	0.1427	0.0001	99.30	5.370E-01	1.223E-02
22091.555	9.656E-03	0.1428	0.0001	99.36	5.518E-01	1.234E-02
22429.949	9.511E-03	0.1429	0.0001	99.42	5.562E-01	1.221E-02
22769.594	9.369E-03	0.1430	0.0001	99.48	5.438E-01	1.173E-02
23110.732	9.230E-03	0.1431	0.0001	99.54	5.302E-01	1.123E-02
23452.672	9.096E-03	0.1431	0.0001	99.59	5.040E-01	1.050E-02
23796.107	8.965E-03	0.1432	0.0001	99.64	4.818E-01	9.868E-03
24140.789	8.837E-03	0.1433	0.0001	99.68	4.639E-01	9.364E-03
24489.213	8.711E-03	0.1433	0.0000	99.71	4.445E-01	8.852E-03
24838.689	8.588E-03	0.1433	0.0000	99.74	4.238E-01	8.334E-03
25188.812	8.469E-03	0.1434	0.0000	99.76	3.758E-01	7.290E-03
25540.281	8.352E-03	0.1434	0.0000	99.78	3.452E-01	6.595E-03
25891.801	8.239E-03	0.1434	0.0000	99.81	3.193E-01	5.030E-03
26244.963	8.128E-03	0.1435	0.0000	99.84	2.921E-01	5.445E-03
26598.977	8.020E-03	0.1435	0.0000	99.87	2.782E-01	5.109E-03
26953.844	7.914E-03	0.1435	0.0000	99.88	2.717E-01	4.933E-03
27309.600	7.811E-03	0.1436	0.0000	99.89	2.580E-01	4.665E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Report date: 04/24/2006

Page 31 of 51

**Quantachrome Instruments**  
**Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report**  
 Version 4.03

Sample ID	GP10 (22days)	File Name	S640404H_Merged
Sample Weight	1.2147 grams	Bulk Sample Volume	0.6448 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
27665.461	7.711E-03	0.1436	0.0000	99.91	2.564E-01	4.526E-03
28021.619	7.613E-03	0.1436	0.0000	99.92	2.524E-01	4.425E-03
28375.621	7.518E-03	0.1436	0.0000	99.94	2.402E-01	4.148E-03
28730.170	7.425E-03	0.1437	0.0000	99.95	2.228E-01	3.780E-03
29085.906	7.334E-03	0.1437	0.0000	99.96	2.336E-01	3.909E-03
29439.557	7.246E-03	0.1437	0.0000	99.98	2.463E-01	4.044E-03
29791.742	7.160E-03	0.1437	0.0000	100.00	2.455E-01	3.955E-03



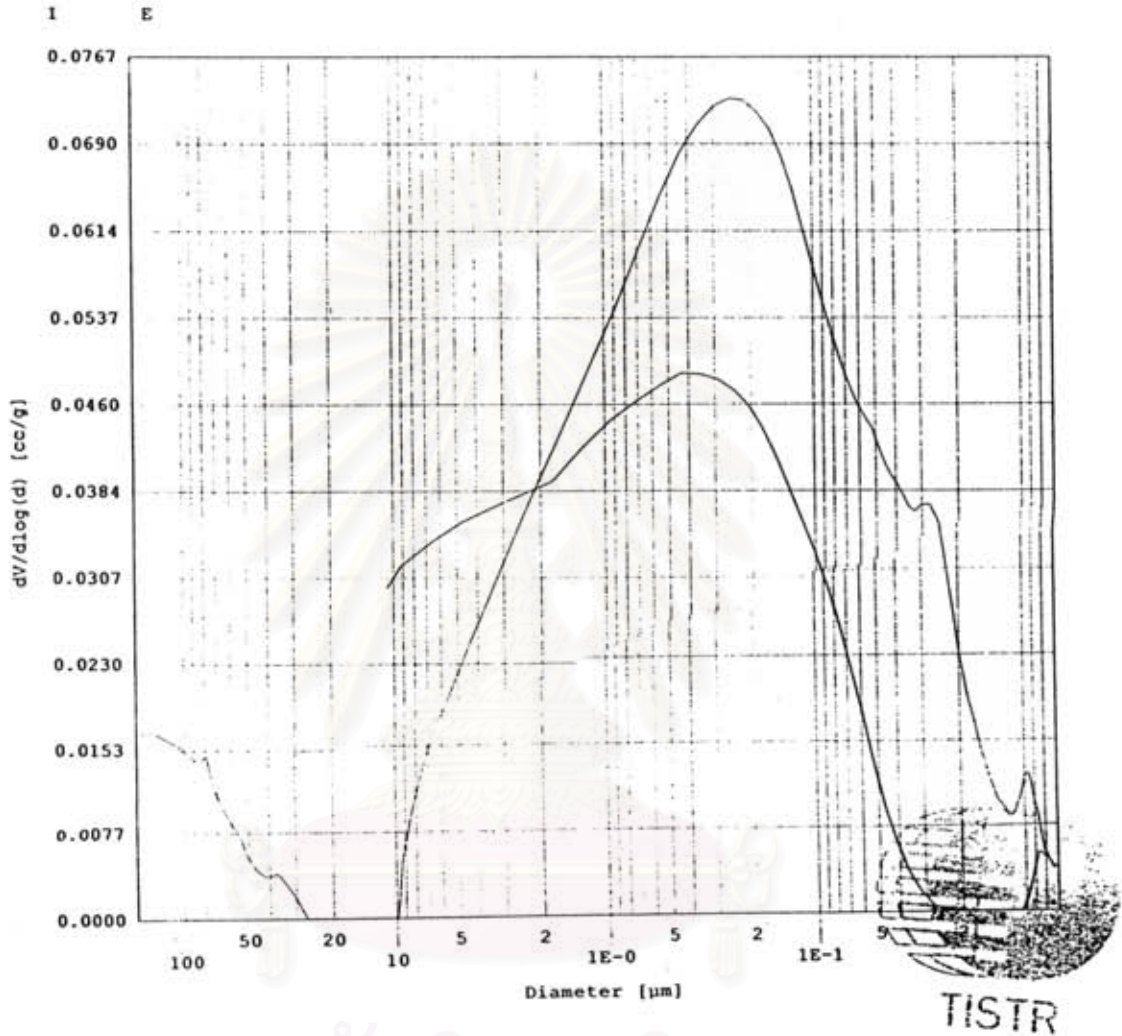
TISTR



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sample ID	GP10 (#2days)	File Name	S640404H_Merged
Sample Weight	1.2147 grams	Bulk Sample Volume	0.6448 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GP20(@2days)	File Name	S640405H_Merged
Sample Weight	0.9876 grams	Bulk Sample Volume	0.5483 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

Standard Report

Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	.....	13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	.....	33.6363 [g]
Cell+Hg Weight	.....	77.6185 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	.....	71.1859 [g]
Temperature	.....	25.00 [°C]			

High Pressure

Data File Name ..... S640405H.PRM  
 Analysis Date .... 04/04/2006  
 # of repeat cycles .... 0  
 Penetrometer Constant . 1360 [mV/cc]  
 Auto-Oil Fill Time .... 5 [sec]  
 Run Mode ..... Fixed Speed  
 Motor Speed ..... 20

Low Pressure

Data File Name ..... S6404092.PRM  
 Analysis Date .... 04/04/2006  
 # of repeat cycles .... 0  
 Penetrometer Constant . 1414 [mV/cc]  
 Evacuation Rate ..... 5  
 Fine Evac. Until ..... 1.0000 [min.]  
 Coarse Evac. Until .... 20.0000 [mm Hg]  
 Coarse Evac. Until .... 2.0000 [min.]

344 Points Acquired 234 Pts in Intrusion Range 110 Pts in Extrusion Range



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 34 of 51

Sample ID GP20(๘2days) File Name S640405H\_Merged  
 Sample Weight 0.9876 grams Bulk Sample Volume 0.5483 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

## Standard Report

342 Points Used 233 Intrusion Pts Used 109 Extrusion Pts Used

## Intrusion Statistics

Pressure Range : 1.435 PSIA to 29741.793 PSIA  
 Pore Diameter Range : 148.620438 µm to 0.007172 µm

## Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
Volume	1.371E-01 cc/g at a diameter of 1.039E-01 µm	8.928E+02 cc/(µm-g) at a diameter of 3.128E-01 µm	8.887E-02 cc/g at a diameter of 3.813E-01 µm
Surface Area	1.298E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 1.039E-01 µm	2.759E-02 m <sup>2</sup> /(µm-g) at a diameter of 1.173E-02 µm	3.423E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 2.658E-02 µm
Pore Number Fraction	3.470E-03 at a diameter of 1.215E-02 µm	2.021E-02 at a diameter of 1.215E-02 µm	5.014E-01 at a diameter of 1.420E-02 µm

## Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume 0.1777 cc/g Bulk (Particle) Density  
 Total Surface Area 6.8454 m<sup>2</sup>/g Apparent Density



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

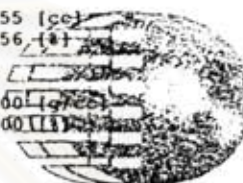
Quantachrome Instruments  
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 35 of 51

Sample ID	GP20(๒2days)	File Name	S640405H_Merged
Sample Weight	0.9876 grams	Bulk Sample Volume	0.5483 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Porosity Summary

Sample (bulk) volume	=	0.5483 [cc]
Interparticle filling pressure limit	=	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling poresize limit	=	4266.4438 [nm]
Intruded volume (interparticle)	=	0.0203 [cc]
Total interparticle porosity	=	3.7108 [%]
Intruded volume (intraparticle)	=	0.1552 [cc]
Total intraparticle porosity	=	28.3048 [%]
Total intruded volume	=	0.1755 [cc]
Total porosity	=	32.0156 [%]
He density	=	2.0000 [g/cc]
Theoretical porosity	=	9.9400 [%]



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GP20(#2days)	File Name	5640405H_Merged
Sample Weight	0.9876 grams	Bulk Sample Volume	0.5483 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.435	1.486E+02	0.0000	0.0000	0.00	8.542E-05	3.619E-02
1.721	1.240E+02	0.0101	0.0101	5.67	9.817E-05	3.700E-02
2.081	1.025E+02	0.0132	0.0031	7.44	1.284E-04	3.411E-02
2.409	8.855E+01	0.0147	0.0015	8.26	1.599E-04	3.059E-02
2.708	7.876E+01	0.0155	0.0008	8.72	1.879E-04	2.780E-02
2.988	7.139E+01	0.0160	0.0005	9.01	2.117E-04	2.527E-02
3.275	6.513E+01	0.0177	0.0017	9.94	2.559E-04	2.527E-02
3.562	5.988E+01	0.0182	0.0005	10.23	1.289E-04	1.363E-02
3.832	5.567E+01	0.0183	0.0001	10.27	1.001E-04	1.018E-02
4.087	5.220E+01	0.0183	0.0001	10.32	8.500E-05	8.090E-03
4.330	4.927E+01	0.0183	0.0000	10.32	7.552E-05	6.637E-03
4.564	4.674E+01	0.0183	0.0000	10.32	6.874E-05	5.535E-03
4.794	4.450E+01	0.0183	0.0000	10.32	2.193E-05	1.731E-03
5.019	4.250E+01	0.0183	0.0000	10.32	5.944E-06	4.646E-04
5.240	4.071E+01	0.0183	0.0000	10.32	3.344E-06	2.470E-04
5.458	3.908E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
5.674	3.760E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
5.888	3.623E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
6.091	3.502E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
6.283	3.395E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
6.467	3.299E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
6.651	3.208E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
6.834	3.121E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
7.017	3.040E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
7.200	2.963E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
7.382	2.890E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
7.564	2.820E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
7.746	2.754E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
7.928	2.691E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
8.119	2.628E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
8.318	2.565E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
8.526	2.502E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
8.733	2.443E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
8.939	2.387E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
9.144	2.333E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
9.349	2.282E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
9.554	2.233E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
9.758	2.186E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
9.962	2.141E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
10.166	2.098E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
10.370	2.057E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
10.573	2.018E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
10.776	1.980E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
10.970	1.945E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
11.155	1.912E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00

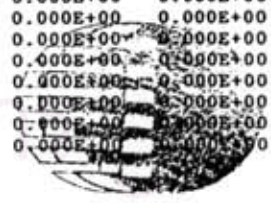
Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID GP20(๘2days) File Name S640405H\_Merged  
 Sample Weight 0.9876 grams Bulk Sample Volume 0.5483 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm² Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
11.340	1.881E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
11.516	1.852E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
11.693	1.824E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
11.869	1.797E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
12.037	1.772E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
12.195	1.749E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
12.354	1.727E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
12.514	1.705E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
12.673	1.683E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
12.842	1.661E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
13.018	1.639E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
13.194	1.617E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
13.378	1.595E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
13.562	1.573E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
13.744	1.552E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
13.935	1.531E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
14.126	1.510E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
14.307	1.491E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
14.488	1.472E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
14.661	1.455E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
14.833	1.438E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
14.997	1.422E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
15.153	1.408E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
15.308	1.393E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
15.464	1.379E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
15.620	1.366E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
15.776	1.352E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
15.949	1.338E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
16.130	1.322E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
16.310	1.308E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
16.498	1.293E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
16.685	1.279E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
16.881	1.264E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
17.084	1.249E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
17.286	1.234E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
17.487	1.220E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
17.688	1.206E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
17.889	1.192E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
18.080	1.180E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
18.272	1.167E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
18.463	1.155E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
18.653	1.144E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
18.844	1.132E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
19.034	1.121E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
19.225	1.110E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
TISTR

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 38 of 51

Sample ID GP20(#2days) File Name S640405H\_Merged  
Sample Weight 0.9876 grams Bulk Sample Volume 0.5483 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
19.416	1.099E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
19.607	1.088E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
19.797	1.078E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
19.988	1.067E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
20.178	1.057E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
20.367	1.047E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
20.556	1.038E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
20.745	1.028E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
20.933	1.019E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
21.121	1.010E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
21.307	1.001E+01	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
21.493	9.925E+00	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
21.678	9.841E+00	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
21.862	9.758E+00	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
22.046	9.676E+00	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
22.229	9.596E+00	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
22.413	9.518E+00	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
22.595	9.441E+00	0.0183	0.0000	10.32	0.000E+00	0.000E+00
22.778	9.365E+00	0.0183	0.0000	10.32	3.447E-06	7.840E-05
22.959	9.291E+00	0.0183	0.0000	10.32	1.199E-05	2.754E-04
23.141	9.218E+00	0.0183	0.0000	10.32	2.509E-05	5.876E-04
23.322	9.147E+00	0.0183	0.0000	10.32	4.773E-05	1.165E-03
23.502	9.077E+00	0.0183	0.0000	10.32	8.228E-05	2.138E-03
24.164	8.828E+00	0.0183	0.0000	10.32	1.355E-04	3.774E-03
25.258	8.446E+00	0.0184	0.0000	10.35	2.015E-04	5.838E-03
27.085	7.876E+00	0.0185	0.0001	10.40	2.873E-04	8.415E-03
29.992	7.113E+00	0.0188	0.0003	10.56	4.105E-04	1.162E-02
34.381	6.205E+00	0.0194	0.0006	10.92	6.090E-04	1.586E-02
41.047	5.197E+00	0.0208	0.0014	11.70	9.428E-04	2.096E-02
51.290	4.159E+00	0.0230	0.0022	12.93	1.537E-03	2.679E-02
66.607	3.203E+00	0.0262	0.0032	14.74	2.645E-03	3.334E-02
88.642	2.407E+00	0.0306	0.0044	17.20	4.736E-03	4.067E-02
119.044	1.792E+00	0.0366	0.0060	20.57	8.488E-03	4.847E-02
159.859	1.334E+00	0.0437	0.0072	24.61	1.482E-02	5.655E-02
212.899	1.002E+00	0.0518	0.0081	29.16	2.446E-02	6.420E-02
278.463	7.661E-01	0.0605	0.0087	34.03	3.856E-02	7.173E-02
357.698	5.964E-01	0.0696	0.0091	39.17	5.776E-02	7.858E-02
451.553	4.724E-01	0.0789	0.0093	44.42	8.250E-02	8.437E-02
559.478	3.813E-01	0.0882	0.0093	49.63	1.107E-01	8.778E-02
682.073	3.128E-01	0.0970	0.0088	54.57	1.417E-01	8.928E-02
817.741	2.609E-01	0.1053	0.0083	59.25	1.746E-01	8.921E-02
965.683	2.209E-01	0.1128	0.0075	63.46	2.073E-01	8.808E-02
1124.603	1.897E-01	0.1194	0.0065	67.15	2.371E-01	8.555E-02
1293.302	1.649E-01	0.1245	0.0051	70.02	2.625E-01	8.375E-02
1469.536	1.452E-01	0.1285	0.0040	72.29	2.814E-01	8.240E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TICTD

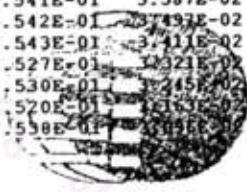


Sample ID GP20(@2days) File Name S640405H Merged  
 Sample Weight 0.9876 grams Bulk Sample Volume 0.5483 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1651.058	1.292E-01	0.1317	0.0032	74.12	2.944E-01	7.410E-02
1838.369	1.160E-01	0.1346	0.0029	75.74	2.992E-01	6.914E-02
2029.920	1.051E-01	0.1371	0.0025	77.13	2.991E-01	6.434E-02
2223.318	9.595E-02	0.1393	0.0022	78.38	2.952E-01	5.977E-02
2420.059	8.815E-02	0.1414	0.0021	79.53	2.964E-01	5.641E-02
2619.095	8.145E-02	0.1432	0.0019	80.59	3.030E-01	5.414E-02
2820.926	7.562E-02	0.1449	0.0016	81.51	3.137E-01	5.254E-02
3024.702	7.053E-02	0.1464	0.0015	82.38	3.230E-01	5.075E-02
3230.823	6.603E-02	0.1478	0.0014	83.17	3.340E-01	4.929E-02
3438.741	6.203E-02	0.1491	0.0013	83.89	3.441E-01	4.784E-02
3648.954	5.846E-02	0.1503	0.0012	84.58	3.522E-01	4.627E-02
3861.561	5.524E-02	0.1515	0.0011	85.22	3.590E-01	4.473E-02
4076.265	5.233E-02	0.1525	0.0010	85.78	3.683E-01	4.357E-02
4292.715	4.969E-02	0.1534	0.0009	86.30	3.776E-01	4.261E-02
4513.107	4.727E-02	0.1543	0.0009	86.79	3.888E-01	4.192E-02
4735.095	4.505E-02	0.1551	0.0008	87.24	4.020E-01	4.148E-02
4958.830	4.302E-02	0.1558	0.0008	87.67	4.136E-01	4.096E-02
5184.011	4.115E-02	0.1566	0.0007	88.09	4.260E-01	4.055E-02
5411.239	3.942E-02	0.1573	0.0007	88.51	4.441E-01	4.060E-02
5639.814	3.782E-02	0.1581	0.0007	88.92	4.633E-01	4.072E-02
5870.285	3.634E-02	0.1588	0.0007	89.34	4.848E-01	4.099E-02
6102.851	3.495E-02	0.1595	0.0007	89.74	5.103E-01	4.151E-02
6336.764	3.366E-02	0.1602	0.0007	90.12	5.372E-01	4.205E-02
6572.574	3.246E-02	0.1609	0.0007	90.51	5.632E-01	4.244E-02
6810.180	3.132E-02	0.1615	0.0007	90.87	5.833E-01	4.234E-02
7048.883	3.026E-02	0.1622	0.0006	91.24	6.004E-01	4.202E-02
7289.982	2.926E-02	0.1628	0.0006	91.60	6.151E-01	4.158E-02
7532.977	2.832E-02	0.1634	0.0006	91.95	6.323E-01	4.134E-02
7778.366	2.743E-02	0.1640	0.0006	92.29	6.501E-01	4.116E-02
8025.652	2.658E-02	0.1646	0.0005	92.58	6.659E-01	4.086E-02
8274.983	2.578E-02	0.1651	0.0005	92.87	6.803E-01	4.048E-02
8526.410	2.502E-02	0.1656	0.0005	93.14	6.919E-01	3.996E-02
8779.483	2.430E-02	0.1661	0.0005	93.42	6.992E-01	3.924E-02
9035.004	2.361E-02	0.1666	0.0005	93.70	7.045E-01	3.844E-02
9291.720	2.296E-02	0.1670	0.0005	93.97	7.108E-01	3.774E-02
9550.632	2.234E-02	0.1675	0.0005	94.23	7.229E-01	3.733E-02
9811.539	2.174E-02	0.1679	0.0004	94.48	7.371E-01	3.701E-02
10074.293	2.117E-02	0.1683	0.0004	94.71	7.503E-01	3.666E-02
10339.043	2.063E-02	0.1687	0.0004	94.93	7.541E-01	3.587E-02
10605.438	2.011E-02	0.1691	0.0004	95.15	7.542E-01	3.493E-02
10873.829	1.962E-02	0.1695	0.0004	95.36	7.543E-01	3.411E-02
11144.318	1.914E-02	0.1699	0.0004	95.57	7.527E-01	3.321E-02
11416.501	1.869E-02	0.1702	0.0004	95.77	7.530E-01	3.245E-02
11696.769	1.824E-02	0.1705	0.0003	95.95	7.520E-01	3.174E-02
11978.781	1.781E-02	0.1709	0.0003	96.12	7.538E-01	3.111E-02



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Sample ID GP20(#2days) File Name S640405H Merged  
 Sample Weight 0.9876 grams Bulk Sample Volume 0.5483 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
12269.577	1.739E-02	0.1712	0.0003	96.30	7.501E-01	3.005E-02
12562.318	1.698E-02	0.1715	0.0003	96.46	7.480E-01	2.927E-02
12857.204	1.659E-02	0.1717	0.0003	96.63	7.429E-01	2.840E-02
13154.287	1.622E-02	0.1720	0.0003	96.78	7.356E-01	2.751E-02
13453.166	1.586E-02	0.1723	0.0003	96.93	7.351E-01	2.688E-02
13753.841	1.551E-02	0.1725	0.0002	97.07	7.380E-01	2.642E-02
14063.247	1.517E-02	0.1728	0.0002	97.21	7.322E-01	2.563E-02
14381.487	1.483E-02	0.1730	0.0002	97.34	7.339E-01	2.512E-02
14701.970	1.451E-02	0.1732	0.0002	97.47	7.344E-01	2.460E-02
15017.713	1.420E-02	0.1735	0.0002	97.59	7.426E-01	2.437E-02
15335.801	1.391E-02	0.1737	0.0002	97.72	7.462E-01	2.400E-02
15649.399	1.363E-02	0.1739	0.0002	97.83	7.588E-01	2.393E-02
15964.293	1.336E-02	0.1741	0.0002	97.94	7.665E-01	2.372E-02
16281.185	1.310E-02	0.1743	0.0002	98.05	7.803E-01	2.370E-02
16600.219	1.285E-02	0.1745	0.0002	98.17	7.938E-01	2.364E-02
16921.354	1.261E-02	0.1747	0.0002	98.28	8.049E-01	2.350E-02
17244.281	1.237E-02	0.1749	0.0002	98.39	8.034E-01	2.300E-02
17562.721	1.215E-02	0.1751	0.0002	98.49	8.154E-01	2.287E-02
17876.318	1.193E-02	0.1753	0.0002	98.60	8.172E-01	2.248E-02
18191.412	1.173E-02	0.1754	0.0002	98.70	8.088E-01	2.182E-02
18508.805	1.153E-02	0.1756	0.0002	98.79	7.895E-01	2.091E-02
18828.090	1.133E-02	0.1757	0.0001	98.88	7.681E-01	1.996E-02
19148.922	1.114E-02	0.1759	0.0001	98.96	7.392E-01	1.886E-02
19472.398	1.096E-02	0.1760	0.0001	99.03	7.059E-01	1.768E-02
19797.623	1.078E-02	0.1761	0.0001	99.10	6.623E-01	1.629E-02
20123.943	1.060E-02	0.1762	0.0001	99.16	6.154E-01	1.487E-02
20452.062	1.043E-02	0.1763	0.0001	99.21	5.707E-01	1.357E-02
20782.674	1.026E-02	0.1764	0.0001	99.26	5.345E-01	1.250E-02
21114.984	1.010E-02	0.1765	0.0001	99.30	5.011E-01	1.156E-02
21449.090	9.946E-03	0.1766	0.0001	99.33	4.777E-01	1.090E-02
21784.393	9.792E-03	0.1766	0.0001	99.36	4.591E-01	1.034E-02
22121.789	9.643E-03	0.1767	0.0001	99.39	4.391E-01	9.760E-03
22460.336	9.498E-03	0.1767	0.0001	99.42	4.242E-01	9.306E-03
22800.627	9.356E-03	0.1768	0.0001	99.46	4.223E-01	9.153E-03
23141.768	9.218E-03	0.1769	0.0001	99.50	4.270E-01	9.139E-03
23483.955	9.084E-03	0.1769	0.0001	99.53	4.459E-01	9.423E-03
23827.689	8.953E-03	0.1770	0.0001	99.56	4.727E-01	9.848E-03
24172.475	8.825E-03	0.1770	0.0001	99.59	5.081E-01	1.044E-02
24513.217	8.702E-03	0.1771	0.0001	99.63	5.373E-01	1.088E-02
24854.107	8.583E-03	0.1771	0.0001	99.66	5.517E-01	1.101E-02
25196.045	8.466E-03	0.1772	0.0001	99.70	5.420E-01	1.065E-02
25539.682	8.353E-03	0.1773	0.0001	99.74	5.396E-01	1.044E-02
25884.217	8.241E-03	0.1774	0.0001	99.79	5.459E-01	1.037E-02
26229.248	8.133E-03	0.1774	0.0001	99.83	5.508E-01	1.031E-02
26575.477	8.027E-03	0.1775	0.0001	99.87	5.508E-01	1.025E-02

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 41 of 51

Sample ID GP20(๒2days) File Name S640405H\_Merged  
 Sample Weight 0.9876 grams Bulk Sample Volume 0.5483 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm² Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
26922.756	7.923E-03	0.1775	0.0000	99.89	5.312E-01	9.637E-03
27270.932	7.822E-03	0.1776	0.0000	99.91	4.784E-01	8.520E-03
27619.207	7.724E-03	0.1776	0.0000	99.94	4.227E-01	7.394E-03
27968.180	7.627E-03	0.1777	0.0000	99.96	3.539E-01	6.093E-03
28322.812	7.532E-03	0.1777	0.0000	99.99	3.207E-01	5.434E-03
28678.342	7.438E-03	0.1777	0.0000	100.00	2.890E-01	4.815E-03
29033.656	7.347E-03	0.1777	0.0000	100.00	2.748E-01	4.498E-03
29387.963	7.259E-03	0.1777	0.0000	100.00	2.535E-01	4.076E-03
29741.793	7.172E-03	0.1777	0.0000	100.00	2.215E-01	3.497E-03



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

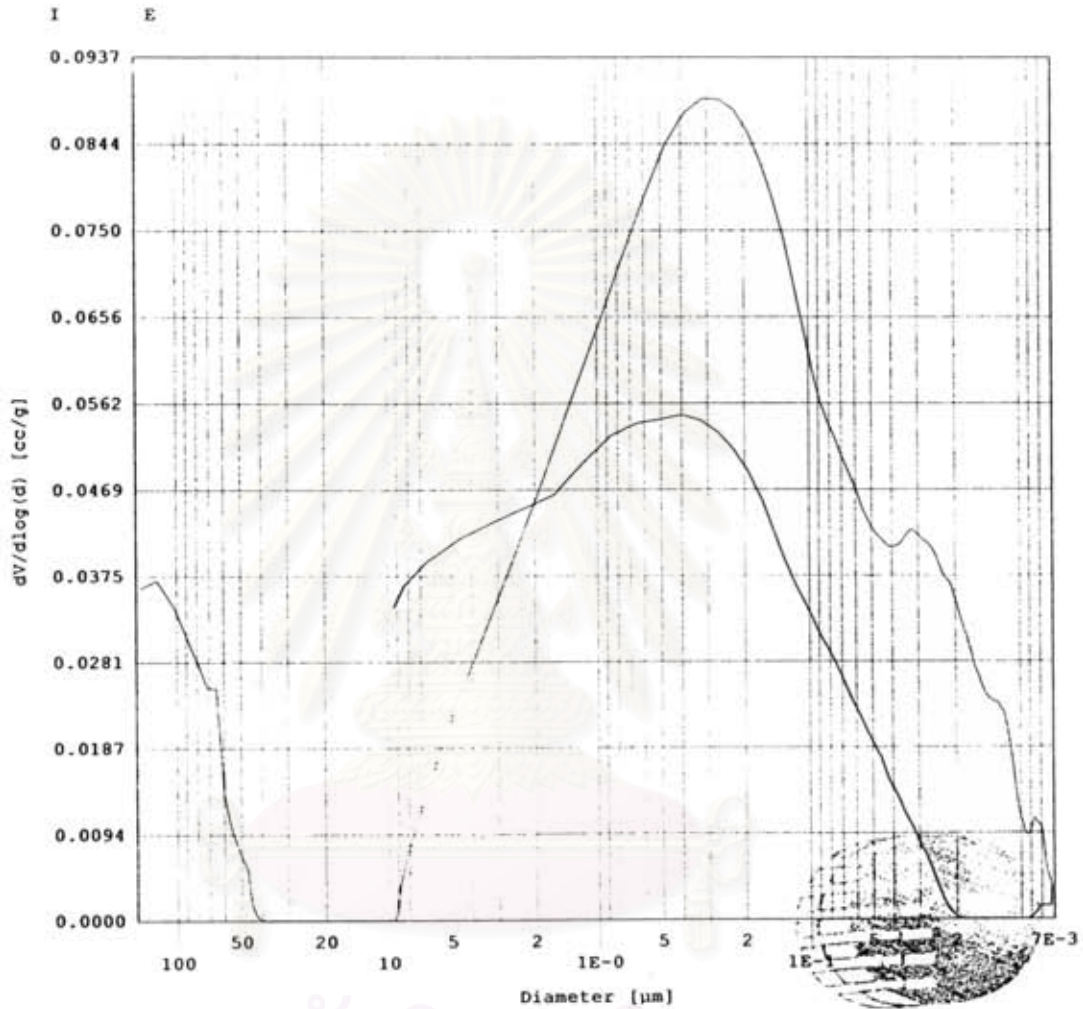
Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 42 of 51

Sample ID	GP20(@2days)	File Name	S640405H_Merged
Sample Weight	0.9876 grams	Bulk Sample Volume	0.5483 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 43 of 5

Sample ID	GP30(#2days)	File Name	S640403H_Merged
Sample Weight	1.2027 grams	Bulk Sample Volume	0.6566 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Standard Report

## Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	..... 13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	..... 33.6363 [g]
Cell+Hg Weight	..... 77.6185 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	..... 69.9353 [g]
Temperature	..... 25.00 [°C]		

## High Pressure

Data File Name	..... S640403H.PRM
Analysis Date	.... 04/04/2006
# of repeat cycles	.... 0
Penetrometer Constant	.... 1360 [mV/cc]
Auto-Oil Fill Time	.... 5 [sec]
Run Mode	..... Fixed Speed
Motor Speed	..... 20

## Low Pressure

Data File Name	..... S6404062.PRM
Analysis Date	.... 04/04/2006
# of repeat cycles	.... 0
Penetrometer Constant	.... 1414 [mV/cc]
Evacuation Rate	..... 5
Fine Evac. Until	.... 1.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	.... 20.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	.... 2.0000 [min.]

325 Points Acquired    218 Pts in Intrusion Range    107 Pts in Extrusion Range



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID GP30(@2days) File Name S640403H\_Merged  
Sample Weight 1.2027 grams Bulk Sample Volume 0.6566 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Standard Report

323 Points Used 217 Intrusion Pts Used 106 Extrusion Pts Used

Intrusion Statistics

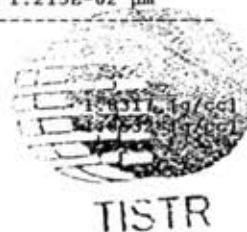
Pressure Range : 1.494 PSIA to 29748.379 PSIA  
Pore Diameter Range : 142.748489 µm to 0.007171 µm

Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
Volume	1.142E-01 cc/g at a diameter of 8.932E-02 µm	7.489E+02 cc/(µm-g) at a diameter of 3.092E-01 µm	7.371E-02 cc/g at a diameter of 3.782E-01 µm
Surface Area	1.243E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 8.932E-02 µm	3.780E-02 m <sup>2</sup> /(µm-g) at a diameter of 7.171E-03 µm	3.301E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 2.366E-02 µm
Pore Number Fraction	2.633E-03 at a diameter of 1.078E-02 µm	2.686E-02 at a diameter of 1.078E-02 µm	5.053E-01 at a diameter of 1.215E-02 µm

Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume 0.1474 cc/g Bulk (Particle) Density  
Total Surface Area 6.6015 m<sup>2</sup>/g Apparent Density



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

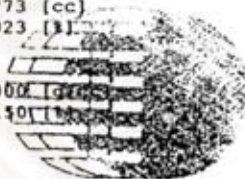
Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 45 of 51

Sample ID	GP30(#2days)	File Name	S640403H_Merged
Sample Weight	1.2027 grams	Bulk Sample Volume	0.6566 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.6566 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling poresize limit =	4266.4438 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.0131 [cc]
Total interparticle porosity =	1.9986 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.1642 [cc]
Total intraparticle porosity =	25.0037 [%]
Total intruded volume =	0.1773 [cc]
Total porosity =	27.0023 [%]
He density =	2.0000 [g/cc]
Theoretical porosity =	8.4140 [%]



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Page 46 of 5

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID GP30(82days) File Name S640403H\_Merged  
Sample Weight 1.2027 grams Bulk Sample Volume 0.6566 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.494	1.427E+02	0.0000	0.0000	0.00	9.692E-06	4.954E-03
1.921	1.110E+02	0.0006	0.0006	0.38	1.279E-05	5.303E-03
2.291	9.310E+01	0.0011	0.0005	0.72	1.943E-05	5.573E-03
2.619	8.144E+01	0.0014	0.0004	0.96	2.596E-05	5.713E-03
2.877	7.416E+01	0.0017	0.0003	1.13	3.175E-05	5.782E-03
3.109	6.862E+01	0.0019	0.0002	1.26	3.669E-05	5.815E-03
3.378	6.316E+01	0.0021	0.0003	1.44	4.565E-05	6.334E-03
3.627	5.881E+01	0.0024	0.0002	1.60	4.928E-05	6.384E-03
3.851	5.539E+01	0.0025	0.0002	1.72	5.090E-05	6.252E-03
4.053	5.263E+01	0.0027	0.0001	1.81	5.298E-05	6.209E-03
4.247	5.023E+01	0.0028	0.0001	1.90	5.430E-05	6.091E-03
4.433	4.812E+01	0.0029	0.0001	1.97	5.653E-05	6.103E-03
4.615	4.623E+01	0.0030	0.0001	2.04	5.630E-05	5.894E-03
4.803	4.441E+01	0.0031	0.0001	2.10	5.610E-05	5.701E-03
4.999	4.267E+01	0.0032	0.0001	2.16	5.665E-05	5.562E-03
5.192	4.109E+01	0.0033	0.0001	2.22	5.713E-05	5.405E-03
5.392	3.956E+01	0.0034	0.0001	2.29	5.744E-05	5.233E-03
5.590	3.816E+01	0.0034	0.0001	2.34	5.830E-05	5.117E-03
5.787	3.687E+01	0.0035	0.0001	2.39	5.921E-05	5.024E-03
5.991	3.561E+01	0.0036	0.0001	2.45	6.151E-05	5.054E-03
6.205	3.438E+01	0.0037	0.0001	2.50	6.300E-05	5.008E-03
6.417	3.324E+01	0.0037	0.0001	2.54	6.676E-05	5.140E-03
6.628	3.218E+01	0.0038	0.0001	2.58	6.783E-05	5.065E-03
6.837	3.120E+01	0.0039	0.0001	2.62	7.110E-05	5.154E-03
7.047	3.027E+01	0.0039	0.0001	2.67	7.526E-05	5.315E-03
7.246	2.944E+01	0.0040	0.0001	2.71	7.871E-05	5.412E-03
7.436	2.869E+01	0.0041	0.0001	2.76	8.554E-05	5.749E-03
7.617	2.801E+01	0.0041	0.0001	2.80	9.471E-05	6.230E-03
7.798	2.736E+01	0.0042	0.0001	2.84	1.056E-04	6.804E-03
7.980	2.673E+01	0.0043	0.0001	2.89	1.171E-04	7.382E-03
8.161	2.614E+01	0.0043	0.0001	2.93	1.254E-04	7.724E-03
8.343	2.557E+01	0.0044	0.0001	2.98	1.358E-04	8.161E-03
8.523	2.503E+01	0.0045	0.0001	3.04	1.427E-04	8.379E-03
8.704	2.451E+01	0.0046	0.0001	3.11	1.519E-04	8.692E-03
8.884	2.401E+01	0.0047	0.0001	3.18	1.585E-04	8.849E-03
9.064	2.354E+01	0.0048	0.0001	3.23	1.621E-04	8.838E-03
9.253	2.306E+01	0.0049	0.0001	3.29	1.691E-04	9.007E-03
9.450	2.257E+01	0.0049	0.0001	3.35	1.713E-04	8.912E-03
9.656	2.209E+01	0.0050	0.0001	3.40	1.699E-04	8.626E-03
9.860	2.163E+01	0.0051	0.0001	3.45	1.624E-04	8.017E-03
10.064	2.120E+01	0.0051	0.0001	3.49	1.576E-04	7.687E-03
10.267	2.078E+01	0.0052	0.0001	3.54	1.561E-04	7.488E-03
10.470	2.038E+01	0.0053	0.0001	3.58	1.549E-04	7.317E-03
10.672	1.999E+01	0.0053	0.0001	3.62	1.501E-04	7.170E-03
10.875	1.962E+01	0.0054	0.0000	3.64	1.519E-04	6.906E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR



Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID GP30(82days) File Name S640403H\_Merged  
Sample Weight 1.2027 grams Bulk Sample Volume 0.6566 cc  
Sample Description 04/04/49  
Comments TISTR  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
11.077	1.926E+01	0.0054	0.0001	3.68	1.565E-04	6.992E-03
11.279	1.891E+01	0.0055	0.0001	3.71	1.615E-04	7.098E-03
11.481	1.858E+01	0.0055	0.0000	3.74	1.614E-04	6.975E-03
11.683	1.826E+01	0.0056	0.0001	3.78	1.612E-04	6.841E-03
11.884	1.795E+01	0.0056	0.0001	3.82	1.693E-04	7.068E-03
12.076	1.766E+01	0.0057	0.0001	3.86	1.828E-04	7.491E-03
12.259	1.740E+01	0.0058	0.0001	3.90	1.854E-04	7.468E-03
12.444	1.714E+01	0.0058	0.0000	3.93	1.923E-04	7.632E-03
12.618	1.691E+01	0.0058	0.0000	3.96	2.020E-04	7.895E-03
12.793	1.667E+01	0.0059	0.0001	3.99	2.050E-04	7.892E-03
12.969	1.645E+01	0.0059	0.0001	4.03	2.048E-04	7.775E-03
13.135	1.624E+01	0.0060	0.0000	4.05	2.022E-04	7.581E-03
13.292	1.605E+01	0.0060	0.0000	4.08	2.006E-04	7.434E-03
13.450	1.586E+01	0.0061	0.0000	4.11	2.066E-04	7.570E-03
13.609	1.568E+01	0.0061	0.0000	4.14	2.146E-04	7.769E-03
13.766	1.550E+01	0.0061	0.0000	4.16	2.110E-04	7.557E-03
13.933	1.531E+01	0.0062	0.0000	4.18	2.072E-04	7.343E-03
14.108	1.512E+01	0.0062	0.0000	4.21	2.181E-04	7.639E-03
14.282	1.494E+01	0.0062	0.0000	4.24	2.186E-04	7.569E-03
14.465	1.475E+01	0.0063	0.0000	4.27	2.193E-04	7.508E-03
14.646	1.457E+01	0.0063	0.0000	4.29	2.281E-04	7.718E-03
14.827	1.439E+01	0.0064	0.0000	4.32	2.332E-04	7.791E-03
15.017	1.421E+01	0.0064	0.0001	4.35	2.396E-04	7.902E-03
15.215	1.402E+01	0.0065	0.0000	4.38	2.484E-04	8.079E-03
15.411	1.384E+01	0.0065	0.0000	4.41	2.522E-04	8.098E-03
15.615	1.366E+01	0.0066	0.0001	4.45	2.633E-04	8.357E-03
15.819	1.349E+01	0.0066	0.0000	4.48	2.760E-04	8.634E-03
16.022	1.331E+01	0.0066	0.0000	4.51	2.903E-04	8.955E-03
16.216	1.315E+01	0.0067	0.0000	4.54	2.829E-04	8.606E-03
16.411	1.300E+01	0.0067	0.0000	4.57	2.812E-04	8.432E-03
16.597	1.285E+01	0.0068	0.0001	4.61	2.788E-04	8.250E-03
16.774	1.272E+01	0.0068	0.0000	4.64	2.665E-04	7.789E-03
16.943	1.259E+01	0.0069	0.0000	4.67	2.583E-04	7.460E-03
17.122	1.246E+01	0.0069	0.0000	4.68	2.562E-04	7.322E-03
17.300	1.233E+01	0.0069	0.0000	4.70	2.516E-04	7.118E-03
17.478	1.221E+01	0.0070	0.0000	4.72	2.469E-04	6.916E-03
17.647	1.209E+01	0.0070	0.0000	4.73	2.269E-04	6.298E-03
17.817	1.197E+01	0.0070	0.0000	4.74	2.102E-04	5.785E-03
17.986	1.186E+01	0.0070	0.0000	4.76	1.904E-04	5.208E-03
18.163	1.174E+01	0.0070	0.0000	4.78	1.930E-04	5.238E-03
18.340	1.163E+01	0.0071	0.0000	4.80	1.957E-04	5.268E-03
18.525	1.152E+01	0.0071	0.0000	4.81	2.052E-04	5.488E-03
18.717	1.140E+01	0.0071	0.0000	4.82	2.218E-04	5.875E-03
18.917	1.128E+01	0.0071	0.0000	4.84	2.392E-04	6.288E-03
19.107	1.116E+01	0.0072	0.0000	4.85	2.417E-04	6.298E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 48 of 5

Sample ID GP30(#2days) File Name S640403H\_Merged  
 Sample Weight 1.2027 grams Bulk Sample Volume 0.6566 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
19.296	1.106E+01	0.0072	0.0000	4.87	2.527E-04	6.500E-03
19.485	1.095E+01	0.0072	0.0000	4.90	2.563E-04	6.528E-03
19.674	1.084E+01	0.0073	0.0000	4.92	2.688E-04	6.768E-03
19.862	1.074E+01	0.0073	0.0000	4.94	2.881E-04	7.174E-03
20.050	1.064E+01	0.0073	0.0000	4.96	2.944E-04	7.237E-03
20.238	1.054E+01	0.0074	0.0000	4.99	2.927E-04	7.134E-03
20.425	1.044E+01	0.0074	0.0000	5.00	2.948E-04	7.187E-03
20.612	1.035E+01	0.0074	0.0000	5.02	3.026E-04	7.621E-03
20.791	1.026E+01	0.0074	0.0000	5.04	3.122E-04	8.437E-03
21.401	9.968E+00	0.0075	0.0001	5.08	3.259E-04	9.635E-03
22.844	9.338E+00	0.0076	0.0001	5.18	3.690E-04	1.171E-02
25.766	8.279E+00	0.0080	0.0004	5.42	4.429E-04	1.437E-02
31.316	6.812E+00	0.0091	0.0011	6.18	6.158E-04	1.797E-02
40.790	5.230E+00	0.0111	0.0020	7.54	9.775E-04	2.228E-02
55.686	3.831E+00	0.0141	0.0029	9.54	1.686E-03	2.708E-02
77.651	2.747E+00	0.0183	0.0042	12.41	3.226E-03	3.296E-02
108.480	1.966E+00	0.0238	0.0055	16.16	6.236E-03	3.967E-02
150.170	1.421E+00	0.0304	0.0065	20.60	1.170E-02	4.696E-02
204.167	1.045E+00	0.0376	0.0072	25.49	2.010E-02	5.386E-02
272.176	7.838E-01	0.0452	0.0077	30.68	3.245E-02	6.039E-02
354.854	6.012E-01	0.0532	0.0080	36.09	4.972E-02	6.644E-02
452.051	4.719E-01	0.0615	0.0083	41.71	7.124E-02	7.102E-02
564.118	3.782E-01	0.0699	0.0084	47.38	9.592E-02	7.378E-02
690.007	3.092E-01	0.0776	0.0078	52.67	1.229E-01	7.489E-02
829.018	2.573E-01	0.0848	0.0071	57.50	1.510E-01	7.477E-02
979.654	2.178E-01	0.0912	0.0064	61.85	1.792E-01	7.376E-02
1140.470	1.870E-01	0.0964	0.0053	65.42	2.052E-01	7.190E-02
1310.317	1.628E-01	0.1006	0.0041	68.22	2.254E-01	6.880E-02
1487.448	1.434E-01	0.1038	0.0032	70.40	2.385E-01	6.494E-02
1670.518	1.277E-01	0.1064	0.0027	72.21	2.461E-01	6.090E-02
1857.778	1.148E-01	0.1088	0.0023	73.78	2.484E-01	5.672E-02
2048.382	1.041E-01	0.1108	0.0021	75.18	2.453E-01	5.242E-02
2242.578	9.512E-02	0.1126	0.0018	76.37	2.428E-01	4.887E-02
2438.171	8.749E-02	0.1142	0.0016	77.47	2.443E-01	4.627E-02
2636.309	8.092E-02	0.1157	0.0015	78.50	2.506E-01	4.459E-02
2836.144	7.522E-02	0.1171	0.0014	79.43	2.598E-01	4.343E-02
3038.823	7.020E-02	0.1183	0.0012	80.27	2.700E-01	4.250E-02
3243.846	6.576E-02	0.1195	0.0012	81.05	2.803E-01	4.165E-02
3451.364	6.181E-02	0.1205	0.0011	81.77	2.935E-01	4.114E-02
3660.879	5.827E-02	0.1216	0.0010	82.47	3.049E-01	4.037E-02
3872.389	5.509E-02	0.1225	0.0010	83.13	3.147E-01	3.948E-02
4085.745	5.221E-02	0.1235	0.0009	83.76	3.245E-01	3.864E-02
4301.197	4.960E-02	0.1244	0.0009	84.36	3.355E-01	3.792E-02
4518.196	4.721E-02	0.1252	0.0008	84.93	3.464E-01	3.729E-02
4738.388	4.502E-02	0.1259	0.0007	85.43	3.581E-01	3.674E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Sample ID GP30(๑2days) File Name S640403H\_Merged  
 Sample Weight 1.2027 grams Bulk Sample Volume 0.6566 cc  
 Sample Description 04/04/49  
 Comments TISTR  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
4960.625	4.300E-02	0.1266	0.0007	85.90	3.696E-01	3.639E-02
5185.508	4.114E-02	0.1273	0.0007	86.35	3.822E-01	3.611E-02
5412.037	3.942E-02	0.1279	0.0006	86.77	3.943E-01	3.581E-02
5640.263	3.782E-02	0.1285	0.0006	87.18	4.073E-01	3.562E-02
5869.785	3.634E-02	0.1291	0.0006	87.58	4.201E-01	3.543E-02
6100.755	3.497E-02	0.1297	0.0006	87.98	4.376E-01	3.557E-02
6333.172	3.368E-02	0.1303	0.0006	88.39	4.574E-01	3.586E-02
6567.933	3.248E-02	0.1309	0.0006	88.78	4.797E-01	3.628E-02
6804.292	3.135E-02	0.1315	0.0006	89.17	5.041E-01	3.680E-02
7042.896	3.029E-02	0.1320	0.0006	89.55	5.286E-01	3.726E-02
7283.146	2.929E-02	0.1326	0.0005	89.92	5.539E-01	3.772E-02
7525.243	2.835E-02	0.1331	0.0005	90.29	5.759E-01	3.790E-02
7769.036	2.746E-02	0.1336	0.0005	90.65	5.913E-01	3.763E-02
8014.326	2.662E-02	0.1342	0.0005	91.01	6.067E-01	3.736E-02
8261.611	2.582E-02	0.1347	0.0005	91.36	6.200E-01	3.698E-02
8510.395	2.507E-02	0.1352	0.0005	91.70	6.320E-01	3.654E-02
8761.373	2.435E-02	0.1357	0.0005	92.02	6.427E-01	3.605E-02
9014.746	2.366E-02	0.1361	0.0004	92.30	6.509E-01	3.545E-02
9269.915	2.301E-02	0.1365	0.0004	92.58	6.537E-01	3.460E-02
9527.031	2.239E-02	0.1369	0.0004	92.85	6.542E-01	3.369E-02
9786.142	2.180E-02	0.1373	0.0004	93.10	6.525E-01	3.272E-02
10046.700	2.123E-02	0.1376	0.0004	93.35	6.468E-01	3.162E-02
10309.153	2.069E-02	0.1380	0.0004	93.59	6.420E-01	3.060E-02
10573.704	2.017E-02	0.1383	0.0003	93.81	6.442E-01	2.993E-02
10840.101	1.968E-02	0.1386	0.0003	94.03	6.432E-01	2.915E-02
11108.392	1.920E-02	0.1389	0.0003	94.23	6.435E-01	2.847E-02
11379.029	1.875E-02	0.1392	0.0003	94.42	6.439E-01	2.783E-02
11657.650	1.830E-02	0.1395	0.0003	94.61	6.429E-01	2.715E-02
11938.218	1.787E-02	0.1397	0.0003	94.79	6.415E-01	2.646E-02
12220.730	1.746E-02	0.1400	0.0003	94.97	6.414E-01	2.584E-02
12505.088	1.706E-02	0.1403	0.0003	95.14	6.406E-01	2.523E-02
12791.193	1.668E-02	0.1405	0.0002	95.31	6.414E-01	2.471E-02
13079.691	1.631E-02	0.1407	0.0002	95.47	6.415E-01	2.417E-02
13376.274	1.595E-02	0.1410	0.0002	95.63	6.434E-01	2.370E-02
13681.440	1.559E-02	0.1412	0.0002	95.78	6.466E-01	2.331E-02
13995.238	1.524E-02	0.1414	0.0002	95.93	6.541E-01	2.306E-02
14318.368	1.490E-02	0.1416	0.0002	96.08	6.567E-01	2.263E-02
14643.440	1.457E-02	0.1418	0.0002	96.22	6.609E-01	2.226E-02
14964.125	1.426E-02	0.1420	0.0002	96.35	6.640E-01	2.189E-02
15286.553	1.395E-02	0.1422	0.0002	96.49	6.735E-01	2.176E-02
15610.778	1.367E-02	0.1424	0.0002	96.63	6.882E-01	2.179E-02
15936.801	1.339E-02	0.1426	0.0002	96.76	7.082E-01	2.200E-02
16264.969	1.312E-02	0.1428	0.0002	96.89	7.285E-01	2.220E-02
16595.133	1.285E-02	0.1430	0.0002	97.01	7.614E-01	2.271E-02
16921.305	1.261E-02	0.1432	0.0002	97.14	7.966E-01	2.336E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 04/24/2006

Page 50 of 51

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GP30(๒2days)	File Name	S640403H_Merged
Sample Weight	1.2027 grams	Bulk Sample Volume	0.6566 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
17242.137	1.237E-02	0.1434	0.0002	97.26	8.221E-01	2.365E-02
17558.977	1.215E-02	0.1436	0.0002	97.40	8.439E-01	2.384E-02
17870.480	1.194E-02	0.1438	0.0002	97.52	8.721E-01	2.419E-02
18183.730	1.173E-02	0.1440	0.0002	97.66	9.007E-01	2.454E-02
18499.123	1.153E-02	0.1442	0.0002	97.80	9.336E-01	2.497E-02
18816.711	1.134E-02	0.1444	0.0002	97.93	9.543E-01	2.506E-02
19136.398	1.115E-02	0.1445	0.0002	98.05	9.729E-01	2.509E-02
19457.979	1.096E-02	0.1447	0.0002	98.17	9.734E-01	2.465E-02
19781.256	1.078E-02	0.1449	0.0002	98.30	9.706E-01	2.413E-02
20106.580	1.061E-02	0.1451	0.0002	98.42	9.485E-01	2.316E-02
20433.252	1.044E-02	0.1452	0.0002	98.53	9.194E-01	2.207E-02
20762.219	1.027E-02	0.1454	0.0002	98.64	8.974E-01	2.118E-02
21092.033	1.011E-02	0.1455	0.0001	98.73	8.783E-01	2.038E-02
21423.941	9.957E-03	0.1457	0.0001	98.82	8.570E-01	1.958E-02
21757.398	9.805E-03	0.1458	0.0001	98.89	8.237E-01	1.853E-02
22092.451	9.656E-03	0.1459	0.0001	98.96	7.825E-01	1.734E-02
22428.951	9.511E-03	0.1460	0.0001	99.03	7.438E-01	1.623E-02
22766.449	9.370E-03	0.1461	0.0001	99.10	7.079E-01	1.524E-02
23105.594	9.232E-03	0.1462	0.0001	99.17	6.804E-01	1.444E-02
23445.586	9.099E-03	0.1463	0.0001	99.23	6.512E-01	1.362E-02
23786.727	8.968E-03	0.1464	0.0001	99.28	6.319E-01	1.302E-02
24129.264	8.841E-03	0.1464	0.0001	99.33	6.173E-01	1.254E-02
24472.449	8.717E-03	0.1465	0.0001	99.38	6.014E-01	1.205E-02
24819.529	8.595E-03	0.1466	0.0001	99.43	5.840E-01	1.155E-02
25167.006	8.476E-03	0.1466	0.0001	99.47	5.653E-01	1.105E-02
25515.682	8.360E-03	0.1467	0.0001	99.51	5.654E-01	1.093E-02
25865.506	8.247E-03	0.1467	0.0001	99.55	5.721E-01	1.092E-02
26215.725	8.137E-03	0.1468	0.0001	99.59	5.859E-01	1.104E-02
26567.295	8.030E-03	0.1469	0.0001	99.63	5.878E-01	1.095E-02
26919.512	7.924E-03	0.1469	0.0001	99.67	6.171E-01	1.137E-02
27272.676	7.822E-03	0.1470	0.0001	99.72	6.486E-01	1.180E-02
27626.094	7.722E-03	0.1471	0.0001	99.76	6.619E-01	1.187E-02
27980.307	7.624E-03	0.1471	0.0001	99.81	6.227E-01	1.095E-02
28334.643	7.529E-03	0.1472	0.0001	99.85	6.390E-01	1.102E-02
28687.750	7.436E-03	0.1473	0.0001	99.91	6.558E-01	1.110E-02
29040.900	7.346E-03	0.1474	0.0001	99.96	6.732E-01	1.110E-02
29393.635	7.257E-03	0.1474	0.0001	100.00	6.776E-01	1.105E-02
29748.379	7.171E-03	0.1474	0.0000	100.00	6.776E-01	1.105E-02

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
TISTR

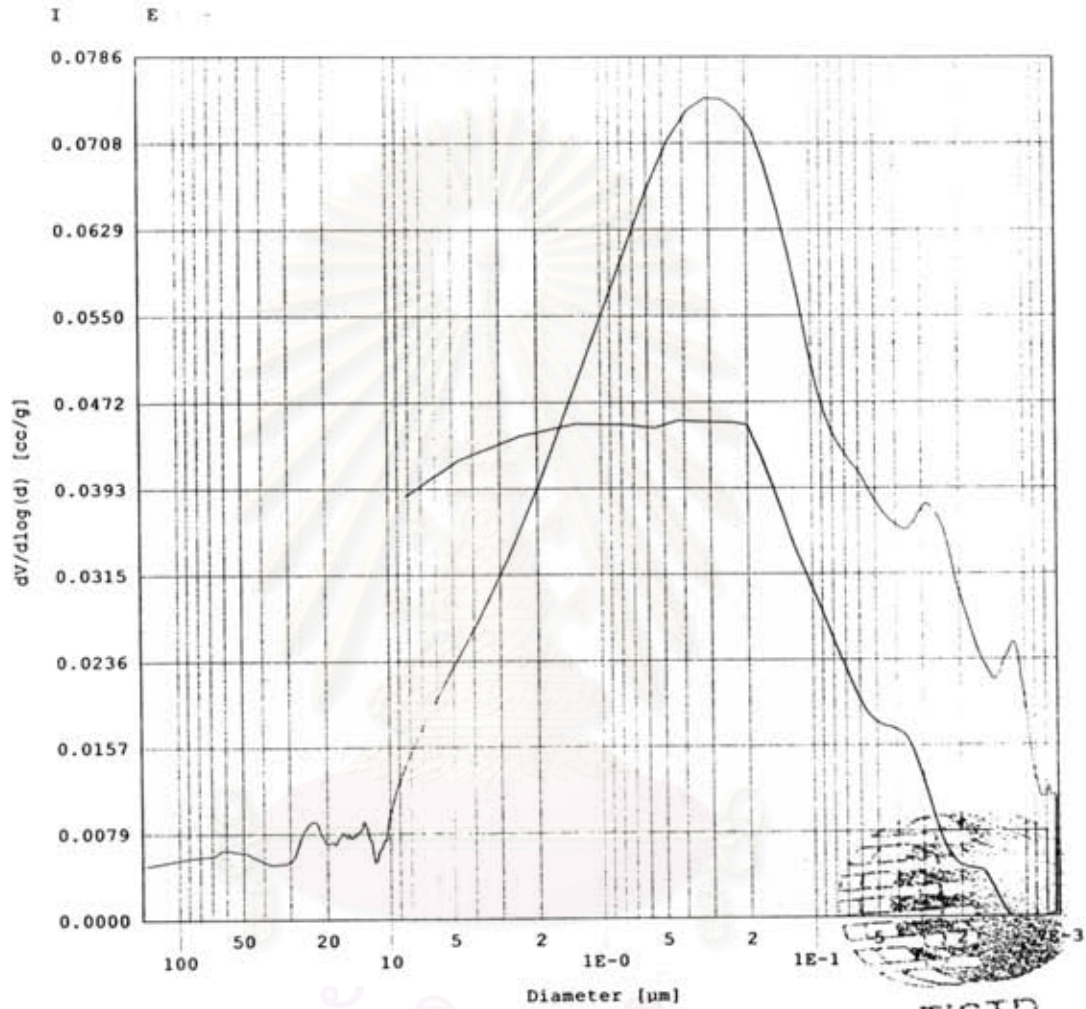
Report date: 04/24/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 51 of 51

Sample ID	GP30(#2days)	File Name	S640403H_Merged
Sample Weight	1.2027 grams	Bulk Sample Volume	0.6566 cc
Sample Description	04/04/49		
Comments	TISTR		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่ขอวิเคราะห์ ทว. 7649 **ฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ (สทว.)** ที่ ทอ. 72/49  
 วันที่ 18 ตุลาคม 2549 **หน้า 1 / 33**

**รายงานผลการทดสอบและวิเคราะห์**  
**ให้แก่**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

การทดสอบ/วิเคราะห์ :- GP0 @31days, GP10 @31days, GP20 @31days และ GP30@31days  
 วิธีทดสอบ/วิเคราะห์ :- วัดความพรุนด้วย Mercury Porosimetry Analyzer Model: PoreMaster  
 ผลการทดสอบ/วิเคราะห์ :-

ผลการวัดความพรุนตัวของตัวอย่าง GP0 @31days, GP10 @31days, GP20 @31days และ GP30@31days แสดงตามตารางข้างล่าง

ตัวอย่าง	ขนาดรูพรุน (ไมครอน)	ความพรุนตัว (%)	หมายเหตุ
GP0 @31days	0.07	20.54	หน้า 2 -9
GP10 @31days	0.05	23.61	หน้า 10 -17
GP20 @31days	0.06	24.49	หน้า 18 -25
GP30 @31days	0.06	25.14	หน้า 26 -33

ผู้ทดสอบ/วิเคราะห์ ผู้รับรอง

  
 (นางปณิศา ทวีถาวร)
   
 ผู้อำนวยการฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ

ผู้ตรวจสอบ **จจ.**

  
 (นางสาวศิริพร สภาเกียรติถาวร)

FM-MTD-GEN 02-01 แก้ไขครั้งที่ 0

ผลการทดสอบวิเคราะห์นี้ วัตถุประสงค์เฉพาะตัวอย่างที่ได้มีการทดสอบวิเคราะห์เท่านั้น  
 ห้ามนำผลการทดสอบ วิเคราะห์ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจก ทว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 2/33

Sample ID	GPO@31days	File Name	S650901H_Merged
Sample Weight	1.0138 grams	Bulk Sample Volume	0.4624 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Standard Report

## Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	..... 13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	..... 33.0688 [g]
Cell+Hg Weight	..... 77.7254 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	..... 72.4818 [g]
Temperature	..... 25.00 [°C]		

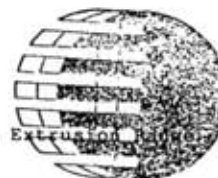
## High Pressure

Data File Name	..... S650901H.PRM
Analysis Date	.... 05/09/2006
# of repeat cycles	.... 0
Penetrometer Constant	.... 1360 [mV/cc]
Auto-Oil Fill Time	.... 5 [sec]
Run Mode	..... Fixed Speed
Motor Speed	..... 20

## Low Pressure

Data File Name	..... S6509021.PRM
Analysis Date	.... 05/09/2006
# of repeat cycles	.... 0
Penetrometer Constant	.... 1489 [mV/cc]
Evacuation Rate	..... 5
Fine Evac. Until	.... 1.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	.... 20.0000 [mm Hg]
Coarse Evac. Until	.... 5.0000 [min.]

277 Points Acquired    168 Pts in Intrusion Range    109 Pts in Extrusion Range



๐๐.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

หน้า 3/33

**Quantachrome Instruments**  
**Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report**  
**Version 4.03**

<b>Sample ID</b>	GPO#31days	<b>File Name</b>	S650901H_Merged
<b>Sample Weight</b>	1.0138 grams	<b>Bulk Sample Volume</b>	0.4624 cc
<b>Sample Description</b>	TISTR		
<b>Comments</b>	9/5/49		
<b>Hg Surface Tension</b>	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	<b>Hg Contact Angle</b>	(I)140.00°, (E)140.00°
<b>Minimum Delta Vol.</b>	0.000 % FS	<b>Moving Point Avg.</b>	11 (Scan Mode)
<b>Operator</b>	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

Standard Report

275 Points Used      167 Intrusion Pts Used      108 Extrusion Pts Used

Intrusion Statistics

Pressure Range : 1.291 PSIA to 29849.369 PSIA  
 Pore Diameter Range : 165.282883 µm to 0.007147 µm

Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
<b>Volume</b>	6.740E-02 cc/g   at a diameter of 3.800E-02 µm	7.248E+02 cc/(µm-g)   at a diameter of 6.574E-02 µm	4.684E-02 cc/g   at a diameter of 7.455E-02 µm
<b>Surface Area</b>	2.457E+00 m <sup>2</sup> /g   at a diameter of 3.800E-02 µm	1.890E-01 m <sup>2</sup> /(µm-g)   at a diameter of 7.147E-03 µm	4.931E+00 m <sup>2</sup> /g   at a diameter of 1.503E-02 µm
<b>Pore Number Fraction</b>	3.314E-03   at a diameter of 7.147E-03 µm	1.351E-01   at a diameter of 7.147E-03 µm	5.067E-01   at a diameter of 9.602E-03 µm

Mercury Porosimetry Data Summary

<b>Total Intruded Volume</b>	0.0937 cc/g	<b>Bulk (Particle) Density</b>	2.1925 g/cc
<b>Total Surface Area</b>	9.8623 m <sup>2</sup> /g	<b>Apparent Density</b>	2.2301 g/cc



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 4/33

Sample ID	GPO831days	File Name	S650901H_Merged
Sample Weight	1.0138 grams	Bulk Sample Volume	0.4624 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.4624 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling poresize limit =	4266.4438 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.0092 [cc]
Total interparticle porosity =	1.9790 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.0858 [cc]
Total intraparticle porosity =	18.5604 [%]
Total intruded volume =	0.0950 [cc]
Total porosity =	20.5394 [%]



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 5/33

Sample ID GPO#31days File Name S650901H Merged  
Sample Weight 1.0138 grams Bulk Sample Volume 0.4624 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 9/5/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.291	1.653E+02	0.0000	0.0000	0.00	9.265E-06	4.921E-03
1.530	1.394E+02	0.0005	0.0005	0.57	1.076E-05	5.148E-03
1.772	1.204E+02	0.0010	0.0004	1.04	1.424E-05	5.301E-03
2.030	1.051E+02	0.0013	0.0003	1.38	1.815E-05	5.402E-03
2.378	8.971E+01	0.0016	0.0004	1.75	2.345E-05	5.485E-03
2.767	7.709E+01	0.0020	0.0003	2.10	3.059E-05	5.507E-03
3.126	6.825E+01	0.0023	0.0003	2.47	4.223E-05	6.100E-03
3.511	6.075E+01	0.0026	0.0003	2.81	4.571E-05	6.065E-03
3.908	5.459E+01	0.0029	0.0003	3.12	4.938E-05	6.093E-03
4.330	4.927E+01	0.0032	0.0003	3.41	5.644E-05	6.422E-03
4.777	4.465E+01	0.0034	0.0002	3.67	6.454E-05	6.691E-03
5.248	4.065E+01	0.0037	0.0003	3.96	7.497E-05	7.062E-03
5.724	3.727E+01	0.0040	0.0003	4.23	8.364E-05	7.263E-03
6.202	3.440E+01	0.0042	0.0003	4.50	9.307E-05	7.483E-03
6.680	3.193E+01	0.0045	0.0003	4.81	1.054E-04	7.930E-03
7.163	2.978E+01	0.0048	0.0002	5.07	1.179E-04	8.293E-03
7.647	2.790E+01	0.0050	0.0003	5.35	1.333E-04	8.749E-03
8.133	2.623E+01	0.0052	0.0002	5.59	1.482E-04	9.123E-03
8.620	2.475E+01	0.0055	0.0002	5.83	1.628E-04	9.398E-03
9.109	2.342E+01	0.0057	0.0003	6.12	1.767E-04	9.597E-03
9.599	2.222E+01	0.0060	0.0002	6.36	1.848E-04	9.474E-03
10.092	2.114E+01	0.0062	0.0002	6.61	1.954E-04	9.454E-03
10.563	2.020E+01	0.0064	0.0002	6.84	2.038E-04	9.374E-03
11.013	1.937E+01	0.0066	0.0002	7.03	2.112E-04	9.270E-03
11.466	1.861E+01	0.0068	0.0002	7.21	2.155E-04	9.038E-03
11.898	1.793E+01	0.0069	0.0001	7.34	2.070E-04	8.318E-03
12.332	1.730E+01	0.0070	0.0001	7.47	1.992E-04	7.689E-03
12.768	1.671E+01	0.0071	0.0001	7.60	1.937E-04	7.254E-03
13.206	1.615E+01	0.0072	0.0001	7.72	1.872E-04	6.816E-03
13.646	1.563E+01	0.0073	0.0001	7.81	1.854E-04	6.593E-03
14.087	1.514E+01	0.0074	0.0000	7.86	1.787E-04	6.187E-03
14.529	1.468E+01	0.0074	0.0000	7.91	1.770E-04	5.949E-03
14.973	1.425E+01	0.0075	0.0001	7.99	1.781E-04	5.860E-03
15.440	1.382E+01	0.0076	0.0001	8.07	1.765E-04	5.685E-03
15.931	1.339E+01	0.0077	0.0001	8.18	1.772E-04	5.575E-03
16.422	1.299E+01	0.0077	0.0001	8.25	1.829E-04	5.604E-03
16.935	1.260E+01	0.0078	0.0001	8.32	2.006E-04	5.926E-03
17.448	1.223E+01	0.0079	0.0001	8.42	2.252E-04	6.437E-03
17.961	1.188E+01	0.0080	0.0001	8.50	2.339E-04	6.483E-03
18.473	1.155E+01	0.0080	0.0001	8.58	2.343E-04	6.266E-03
18.984	1.124E+01	0.0081	0.0001	8.66	2.226E-04	5.764E-03
19.495	1.094E+01	0.0082	0.0001	8.75	2.180E-04	5.447E-03
20.004	1.066E+01	0.0083	0.0001	8.85	2.127E-04	5.142E-03
20.485	1.041E+01	0.0084	0.0001	8.93	1.988E-04	4.715E-03
21.418	9.960E+00	0.0084	0.0001	9.00	1.905E-04	4.385E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments

May 16/33

Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

**Sample ID** GPO#31days **File Name** S650901H\_Merged  
**Sample Weight** 1.0138 grams **Bulk Sample Volume** 0.4624 cc  
**Sample Description** TISTR  
**Comments** 9/5/49  
**Hg Surface Tension** 480.00 erg/cm<sup>2</sup> **Hg Contact Angle** (I)140.00°, (E)140.00°  
**Minimum Delta Vol.** 0.000 % FS **Moving Point Avg.** 11 (Scan Mode)  
**Operator** Panida **Mercury volume normalized by sample weight.**

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
22.654	9.416E+00	0.0085	0.0000	9.04	1.846E-04	4.038E-03
24.542	8.692E+00	0.0085	0.0001	9.10	1.810E-04	3.730E-03
27.282	7.819E+00	0.0086	0.0001	9.18	1.800E-04	3.448E-03
31.473	6.778E+00	0.0087	0.0001	9.32	1.657E-04	3.098E-03
38.212	5.583E+00	0.0090	0.0002	9.55	1.707E-04	3.163E-03
50.343	4.237E+00	0.0093	0.0003	9.88	2.306E-04	3.731E-03
70.761	3.015E+00	0.0097	0.0005	10.38	4.012E-04	4.697E-03
102.110	2.089E+00	0.0103	0.0006	11.00	7.782E-04	6.005E-03
146.786	1.453E+00	0.0111	0.0008	11.86	1.536E-03	7.598E-03
205.963	1.036E+00	0.0122	0.0011	12.98	2.860E-03	9.455E-03
279.760	7.625E-01	0.0134	0.0013	14.36	4.975E-03	1.157E-02
368.575	5.788E-01	0.0149	0.0015	15.95	8.344E-03	1.406E-02
472.609	4.514E-01	0.0167	0.0017	17.79	1.330E-02	1.684E-02
592.210	3.602E-01	0.0185	0.0019	19.79	2.068E-02	2.008E-02
726.830	2.935E-01	0.0205	0.0020	21.93	3.081E-02	2.358E-02
875.471	2.437E-01	0.0226	0.0021	24.16	4.401E-02	2.724E-02
1035.239	2.061E-01	0.0248	0.0022	26.49	6.056E-02	3.106E-02
1203.938	1.772E-01	0.0270	0.0022	28.85	8.095E-02	3.525E-02
1378.625	1.547E-01	0.0293	0.0023	31.32	1.047E-01	3.948E-02
1556.954	1.370E-01	0.0316	0.0023	33.78	1.323E-01	4.399E-02
1738.576	1.227E-01	0.0339	0.0023	36.20	1.635E-01	4.845E-02
1922.693	1.109E-01	0.0362	0.0023	38.62	1.986E-01	5.296E-02
2109.106	1.011E-01	0.0385	0.0024	41.13	2.367E-01	5.720E-02
2296.716	9.288E-02	0.0408	0.0023	43.60	2.778E-01	6.122E-02
2484.076	8.588E-02	0.0432	0.0023	46.10	3.192E-01	6.465E-02
2672.334	7.983E-02	0.0455	0.0023	48.52	3.609E-01	6.752E-02
2861.541	7.455E-02	0.0477	0.0022	50.92	4.031E-01	6.998E-02
3052.544	6.988E-02	0.0498	0.0022	53.21	4.445E-01	7.188E-02
3245.043	6.574E-02	0.0519	0.0021	55.42	4.796E-01	7.248E-02
3439.489	6.202E-02	0.0539	0.0019	57.50	5.108E-01	7.235E-02
3636.130	5.867E-02	0.0557	0.0018	59.44	5.338E-01	7.111E-02
3834.169	5.564E-02	0.0574	0.0017	61.27	5.525E-01	6.950E-02
4034.003	5.288E-02	0.0590	0.0016	62.98	5.654E-01	6.745E-02
4235.484	5.037E-02	0.0604	0.0014	64.45	5.749E-01	6.531E-02
4439.560	4.805E-02	0.0616	0.0012	65.78	5.796E-01	6.289E-02
4647.078	4.590E-02	0.0627	0.0011	66.95	5.811E-01	6.032E-02
4857.092	4.392E-02	0.0638	0.0010	68.05	5.808E-01	5.779E-02
5069.550	4.208E-02	0.0647	0.0010	69.10	5.756E-01	5.499E-02
5283.705	4.037E-02	0.0657	0.0010	70.12	5.650E-01	5.188E-02
5499.705	3.879E-02	0.0666	0.0009	71.07	5.591E-01	4.935E-02
5717.104	3.731E-02	0.0674	0.0008	71.95	5.552E-01	4.717E-02
5935.699	3.594E-02	0.0682	0.0008	72.77	5.567E-01	4.555E-02
6155.741	3.465E-02	0.0689	0.0007	73.51	5.546E-01	4.373E-02
6376.831	3.345E-02	0.0695	0.0006	74.14	5.503E-01	4.187E-02
6599.767	3.232E-02	0.0700	0.0006	74.73	5.409E-01	3.979E-02



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

May 17/33

Sample ID GPO#31days File Name S650901H\_Merged  
Sample Weight 1.0138 grams Bulk Sample Volume 0.4624 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 9/5/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
6823.651	3.126E-02	0.0705	0.0005	75.31	5.305E-01	3.778E-02
7049.183	3.026E-02	0.0711	0.0005	75.87	5.230E-01	3.614E-02
7276.510	2.932E-02	0.0715	0.0005	76.37	5.136E-01	3.446E-02
7505.084	2.842E-02	0.0720	0.0004	76.83	5.096E-01	3.325E-02
7735.455	2.758E-02	0.0724	0.0004	77.25	5.168E-01	3.280E-02
7967.374	2.677E-02	0.0727	0.0004	77.66	5.215E-01	3.219E-02
8200.988	2.601E-02	0.0731	0.0004	78.07	5.254E-01	3.156E-02
8436.349	2.529E-02	0.0735	0.0004	78.45	5.277E-01	3.089E-02
8673.855	2.459E-02	0.0739	0.0004	78.84	5.377E-01	3.067E-02
8913.257	2.393E-02	0.0742	0.0004	79.26	5.509E-01	3.062E-02
9154.605	2.330E-02	0.0746	0.0004	79.64	5.713E-01	3.095E-02
9398.397	2.270E-02	0.0749	0.0003	80.00	5.983E-01	3.161E-02
9643.338	2.212E-02	0.0753	0.0003	80.36	6.243E-01	3.219E-02
9890.125	2.157E-02	0.0756	0.0003	80.73	6.577E-01	3.310E-02
10138.959	2.104E-02	0.0760	0.0003	81.10	6.861E-01	3.370E-02
10394.726	2.052E-02	0.0763	0.0004	81.49	7.085E-01	3.399E-02
10657.379	2.002E-02	0.0767	0.0004	81.91	7.435E-01	3.480E-02
10921.979	1.953E-02	0.0771	0.0004	82.33	7.776E-01	3.548E-02
11194.163	1.906E-02	0.0775	0.0004	82.78	8.136E-01	3.617E-02
11467.346	1.860E-02	0.0779	0.0004	83.19	8.493E-01	3.681E-02
11748.261	1.816E-02	0.0783	0.0004	83.60	8.809E-01	3.721E-02
12035.963	1.772E-02	0.0787	0.0004	84.04	9.119E-01	3.755E-02
12330.750	1.730E-02	0.0791	0.0004	84.46	9.342E-01	3.752E-02
12633.720	1.689E-02	0.0795	0.0004	84.89	9.552E-01	3.741E-02
12943.975	1.648E-02	0.0799	0.0004	85.32	9.725E-01	3.716E-02
13255.726	1.609E-02	0.0803	0.0004	85.72	9.966E-01	3.715E-02
13564.085	1.573E-02	0.0807	0.0004	86.12	1.021E+00	3.716E-02
13874.688	1.537E-02	0.0810	0.0004	86.50	1.037E+00	3.691E-02
14193.726	1.503E-02	0.0814	0.0004	86.88	1.061E+00	3.694E-02
14508.970	1.470E-02	0.0817	0.0003	87.25	1.094E+00	3.732E-02
14826.312	1.439E-02	0.0821	0.0003	87.62	1.129E+00	3.773E-02
15140.207	1.409E-02	0.0824	0.0003	87.97	1.166E+00	3.814E-02
15450.712	1.381E-02	0.0827	0.0003	88.32	1.197E+00	3.837E-02
15758.024	1.354E-02	0.0831	0.0003	88.67	1.222E+00	3.836E-02
16061.144	1.328E-02	0.0834	0.0003	89.03	1.246E+00	3.834E-02
16360.421	1.304E-02	0.0838	0.0003	89.40	1.274E+00	3.847E-02
16662.045	1.280E-02	0.0841	0.0003	89.75	1.294E+00	3.832E-02
16966.162	1.257E-02	0.0844	0.0003	90.08	1.307E+00	3.794E-02
17266.188	1.235E-02	0.0847	0.0003	90.38	1.320E+00	3.759E-02
17561.672	1.215E-02	0.0849	0.0003	90.66	1.324E+00	3.704E-02
17859.055	1.194E-02	0.0852	0.0003	90.95	1.297E+00	3.565E-02
18158.832	1.175E-02	0.0855	0.0003	91.22	1.259E+00	3.402E-02
18460.404	1.156E-02	0.0857	0.0002	91.47	1.246E+00	3.314E-02
18763.773	1.137E-02	0.0859	0.0002	91.72	1.226E+00	3.211E-02
19068.439	1.119E-02	0.0861	0.0002	91.96	1.235E+00	3.118E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 8/33

Sample ID GPO@31days File Name S650901H Merged  
 Sample Weight 1.0138 grams Bulk Sample Volume 0.4624 cc  
 Sample Description TISTR  
 Comments 9/5/49  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dv/d(log d) [cc/g]
19375.352	1.101E-02	0.0863	0.0002	92.15	1.236E+00	3.142E-02
19684.258	1.084E-02	0.0865	0.0002	92.34	1.230E+00	3.083E-02
19995.162	1.067E-02	0.0867	0.0002	92.56	1.245E+00	3.077E-02
20307.264	1.050E-02	0.0869	0.0002	92.77	1.271E+00	3.097E-02
20621.361	1.034E-02	0.0871	0.0002	93.01	1.302E+00	3.132E-02
20937.502	1.019E-02	0.0873	0.0002	93.22	1.335E+00	3.164E-02
21255.191	1.004E-02	0.0875	0.0002	93.44	1.387E+00	3.236E-02
21574.279	9.888E-03	0.0878	0.0002	93.68	1.442E+00	3.308E-02
21894.812	9.743E-03	0.0880	0.0002	93.92	1.466E+00	3.312E-02
22217.141	9.602E-03	0.0882	0.0002	94.16	1.503E+00	3.342E-02
22541.166	9.464E-03	0.0884	0.0002	94.40	1.516E+00	3.320E-02
22866.240	9.329E-03	0.0886	0.0002	94.63	1.556E+00	3.358E-02
23192.264	9.198E-03	0.0889	0.0002	94.85	1.583E+00	3.365E-02
23519.531	9.070E-03	0.0890	0.0002	95.05	1.624E+00	3.408E-02
23847.949	8.945E-03	0.0892	0.0002	95.26	1.658E+00	3.434E-02
24173.023	8.825E-03	0.0894	0.0002	95.45	1.663E+00	3.398E-02
24498.498	8.708E-03	0.0896	0.0002	95.67	1.712E+00	3.458E-02
24825.168	8.593E-03	0.0898	0.0002	95.86	1.778E+00	3.551E-02
25152.887	8.481E-03	0.0900	0.0002	96.10	1.863E+00	3.674E-02
25481.451	8.372E-03	0.0902	0.0002	96.33	1.974E+00	3.848E-02
25811.168	8.265E-03	0.0904	0.0002	96.52	2.108E+00	4.060E-02
26141.926	8.160E-03	0.0907	0.0002	96.77	2.251E+00	4.280E-02
26474.242	8.058E-03	0.0909	0.0002	97.03	2.372E+00	4.453E-02
26808.094	7.957E-03	0.0912	0.0003	97.30	2.497E+00	4.623E-02
27142.750	7.859E-03	0.0914	0.0003	97.60	2.639E+00	4.828E-02
27477.105	7.764E-03	0.0917	0.0003	97.91	2.805E+00	5.069E-02
27816.049	7.669E-03	0.0920	0.0003	98.22	3.006E+00	5.359E-02
28155.395	7.577E-03	0.0923	0.0003	98.53	2.992E+00	5.250E-02
28496.131	7.486E-03	0.0926	0.0003	98.81	3.096E+00	5.392E-02
28837.590	7.397E-03	0.0929	0.0003	99.15	3.198E+00	5.486E-02
29178.115	7.311E-03	0.0932	0.0003	99.50	3.281E+00	5.478E-02
29512.736	7.228E-03	0.0935	0.0003	99.84	3.330E+00	5.435E-02
29849.369	7.147E-03	0.0937	0.0001	100.00	3.377E+00	5.420E-02

๐๐.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

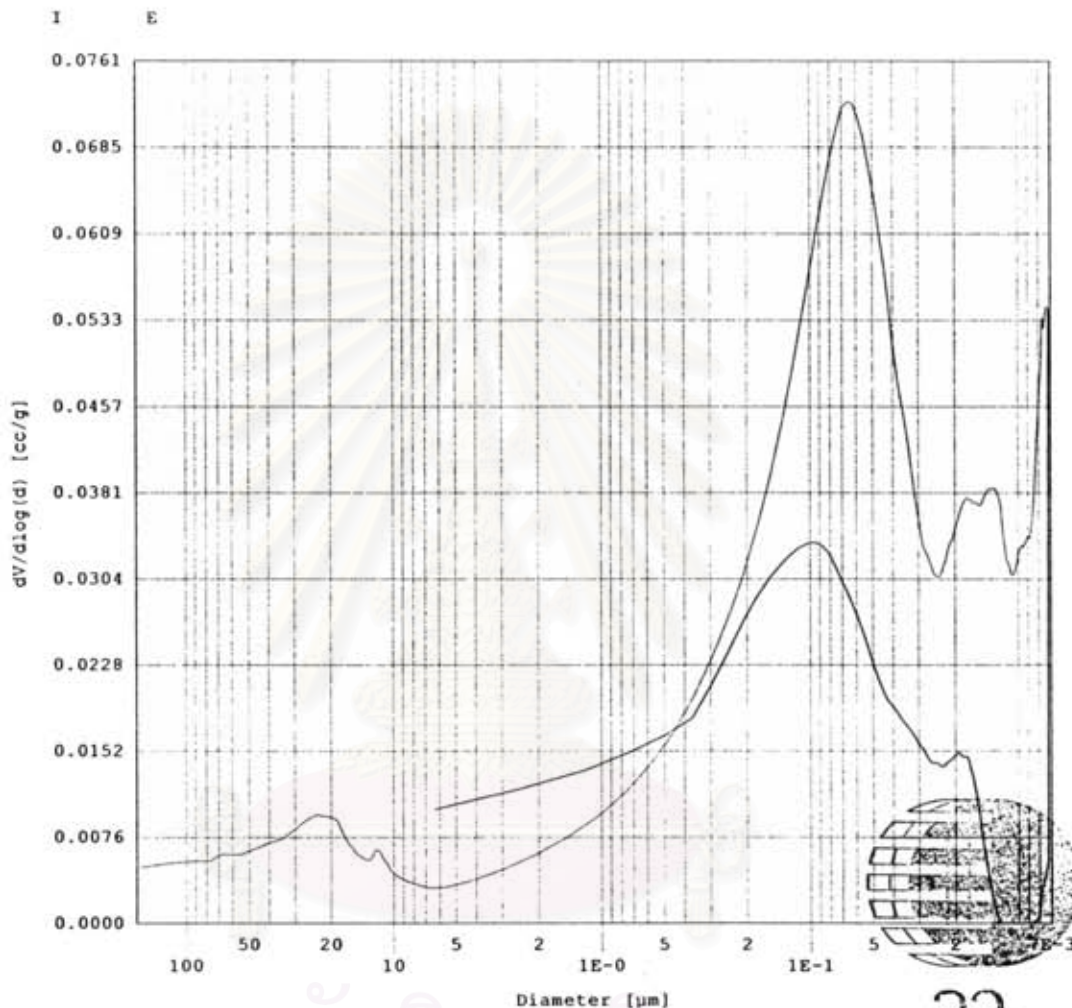
Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 9/33

Sample ID	GPO#31days	File Name	S650901H_Merged
Sample Weight	1.0138 grams	Bulk Sample Volume	0.4624 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



๑๑.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 10/33

Sample ID	GP10#31days	File Name	S650902H_Merged
Sample Weight	1.0106 grams	Bulk Sample Volume	0.5073 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Standard Report

## Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	..... 13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	..... 33.5152 [g]
Cell+Hg Weight	..... 78.6233 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	..... 72.7682 [g]
Temperature	..... 25.00 [°C]		

## High Pressure

Data File Name	..... S650902H.PRM
Analysis Date	.... 05/09/2006
# of repeat cycles	.... 0
Penetrometer Constant	.... 1360 [mV/cc]
Auto-Oil Fill Time	.... 5 [sec]
Run Mode	..... Fixed Speed
Motor Speed	..... 20

## Low Pressure

Data File Name	..... S6509022.PRM
Analysis Date	.... 05/09/2006
# of repeat cycles	.... 0
Penetrometer Constant	.... 1414 [mV/cc]
Evacuation Rate	..... 5
Fine Evac. Until	..... 1.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	.... 20.0000 [mm Hg]
Coarse Evac. Until	.... 5.0000 [min.]

280 Points Acquired 169 Pts in Intrusion Range 111 Pts in Extrusion Range



๖๖.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 11/33

Sample ID GP10#31days File Name S650902H Merged  
Sample Weight 1.0106 grams Bulk Sample Volume 0.5073 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 9/5/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Standard Report

278 Points Used 168 Intrusion Pts Used 110 Extrusion Pts Used

Intrusion Statistics

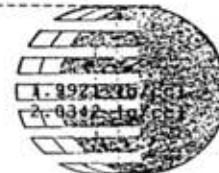
Pressure Range : 1.291 PSIA to 30057.387 PSIA  
Pore Diameter Range : 165.282883 µm to 0.007097 µm

Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
Volume	8.313E-02 cc/g at a diameter of 4.061E-02 µm	9.548E+02 cc/(µm-g) at a diameter of 5.472E-02 µm	5.926E-02 cc/g at a diameter of 7.299E-02 µm
Surface Area	2.864E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 4.061E-02 µm	1.284E-01 m <sup>2</sup> /(µm-g) at a diameter of 7.097E-03 µm	5.838E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 1.723E-02 µm
Pore Number Fraction	4.667E-03 at a diameter of 7.097E-03 µm	9.195E-02 at a diameter of 7.097E-03 µm	5.079E-01 at a diameter of 1.066E-02 µm

Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume 0.1185 cc/g Bulk (Particle) Density  
Total Surface Area 11.6754 m<sup>2</sup>/g Apparent Density



๐๐.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 12/33

Sample ID	GP10@31days	File Name	S650902H_Merged
Sample Weight	1.0106 grams	Bulk Sample Volume	0.5073 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

## Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.5073 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling poresize limit =	4266.4438 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.0132 [cc]
Total interparticle porosity =	2.6026 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.1066 [cc]
Total intraparticle porosity =	21.0095 [%]
Total intruded volume =	0.1198 [cc]
Total porosity =	23.6121 [%]
He density =	2.0090 g/cc
Theoretical porosity =	0.3950 [%]



๖๖.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

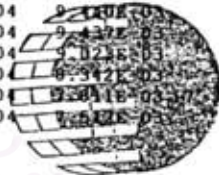
วันที่ 13/33

Sample ID	GP10E31days	File Name	S650902H_Merged
Sample Weight	1.0106 grams	Bulk Sample Volume	0.5073 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.291	1.653E+02	0.0000	0.0000	0.00	1.456E-05	8.039E-03
1.589	1.343E+02	0.0009	0.0009	0.75	1.774E-05	8.441E-03
1.807	1.181E+02	0.0015	0.0006	1.26	2.385E-05	8.672E-03
2.055	1.038E+02	0.0020	0.0005	1.71	2.960E-05	8.771E-03
2.397	8.898E+01	0.0027	0.0006	2.24	3.780E-05	8.868E-03
2.783	7.664E+01	0.0032	0.0006	2.71	4.916E-05	8.940E-03
3.142	6.790E+01	0.0038	0.0006	3.19	6.775E-05	9.905E-03
3.511	6.075E+01	0.0043	0.0005	3.61	7.456E-05	9.797E-03
3.908	5.459E+01	0.0047	0.0004	3.99	8.042E-05	9.626E-03
4.330	4.927E+01	0.0052	0.0004	4.35	8.744E-05	9.495E-03
4.777	4.465E+01	0.0056	0.0004	4.70	9.527E-05	9.380E-03
5.248	4.065E+01	0.0060	0.0004	5.07	1.054E-04	9.399E-03
5.724	3.727E+01	0.0063	0.0003	5.35	1.125E-04	9.275E-03
6.202	3.440E+01	0.0066	0.0003	5.60	1.207E-04	9.292E-03
6.680	3.193E+01	0.0069	0.0003	5.83	1.306E-04	9.426E-03
7.163	2.978E+01	0.0072	0.0002	6.03	1.400E-04	9.511E-03
7.647	2.790E+01	0.0074	0.0003	6.25	1.487E-04	9.519E-03
8.133	2.623E+01	0.0077	0.0003	6.46	1.557E-04	9.475E-03
8.620	2.475E+01	0.0079	0.0003	6.68	1.676E-04	9.643E-03
9.109	2.342E+01	0.0082	0.0003	6.91	1.795E-04	9.779E-03
9.599	2.222E+01	0.0084	0.0002	7.11	1.921E-04	9.873E-03
10.092	2.114E+01	0.0086	0.0002	7.29	2.061E-04	1.001E-02
10.563	2.020E+01	0.0088	0.0002	7.46	2.184E-04	1.009E-02
11.036	1.933E+01	0.0090	0.0002	7.63	2.260E-04	9.953E-03
11.489	1.857E+01	0.0092	0.0002	7.78	2.294E-04	9.678E-03
11.921	1.789E+01	0.0094	0.0001	7.91	2.274E-04	9.232E-03
12.355	1.727E+01	0.0095	0.0001	8.03	2.285E-04	8.979E-03
12.791	1.668E+01	0.0097	0.0001	8.16	2.355E-04	8.979E-03
13.229	1.613E+01	0.0098	0.0001	8.25	2.377E-04	8.779E-03
13.669	1.561E+01	0.0099	0.0001	8.34	2.387E-04	8.563E-03
14.110	1.512E+01	0.0100	0.0001	8.42	2.414E-04	8.429E-03
14.553	1.466E+01	0.0101	0.0001	8.50	2.505E-04	8.525E-03
14.996	1.423E+01	0.0102	0.0001	8.61	2.575E-04	8.549E-03
15.463	1.380E+01	0.0103	0.0001	8.70	2.604E-04	8.418E-03
15.931	1.339E+01	0.0104	0.0001	8.79	2.683E-04	8.405E-03
16.422	1.299E+01	0.0105	0.0001	8.89	2.789E-04	8.458E-03
16.935	1.260E+01	0.0107	0.0001	9.00	3.032E-04	8.901E-03
17.448	1.223E+01	0.0108	0.0001	9.11	3.234E-04	9.215E-03
17.961	1.188E+01	0.0109	0.0001	9.20	3.326E-04	9.213E-03
18.473	1.155E+01	0.0110	0.0001	9.28	3.510E-04	9.140E-03
18.984	1.124E+01	0.0111	0.0001	9.36	3.620E-04	9.137E-03
19.495	1.094E+01	0.0112	0.0001	9.47	3.578E-04	9.121E-03
20.004	1.066E+01	0.0113	0.0001	9.58	3.410E-04	8.342E-03
20.512	1.040E+01	0.0115	0.0001	9.66	3.266E-04	9.581E-03
20.996	1.016E+01	0.0116	0.0001	9.75	3.174E-04	9.542E-03



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 14/33

Sample ID GP10831days File Name S650902H\_Merged  
 Sample Weight 1.0106 grams Bulk Sample Volume 0.5073 cc  
 Sample Description TISTR  
 Comments 9/5/49  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
21.633	9.861E+00	0.0117	0.0001	9.84	3.103E-04	7.349E-03
22.773	9.367E+00	0.0118	0.0001	9.92	3.076E-04	7.241E-03
24.814	8.597E+00	0.0119	0.0001	10.01	3.029E-04	7.009E-03
29.154	7.317E+00	0.0121	0.0003	10.25	3.232E-04	6.980E-03
37.041	5.759E+00	0.0127	0.0005	10.69	4.037E-04	7.341E-03
51.218	4.165E+00	0.0135	0.0008	11.41	5.591E-04	7.884E-03
75.228	2.836E+00	0.0147	0.0011	12.37	9.074E-04	8.950E-03
110.819	1.925E+00	0.0161	0.0014	13.57	1.743E-03	1.075E-02
159.736	1.335E+00	0.0178	0.0017	15.05	3.452E-03	1.301E-02
223.028	9.565E-01	0.0198	0.0020	16.72	6.207E-03	1.541E-02
301.465	7.076E-01	0.0220	0.0021	18.54	1.017E-02	1.786E-02
395.319	5.396E-01	0.0243	0.0023	20.51	1.559E-02	2.032E-02
504.492	4.228E-01	0.0269	0.0026	22.66	2.301E-02	2.284E-02
629.283	3.390E-01	0.0295	0.0027	24.90	3.263E-02	2.529E-02
768.294	2.777E-01	0.0321	0.0026	27.12	4.430E-02	2.761E-02
920.677	2.317E-01	0.0347	0.0025	29.25	5.840E-02	3.013E-02
1083.838	1.968E-01	0.0370	0.0023	31.22	7.520E-02	3.294E-02
1253.984	1.701E-01	0.0392	0.0022	33.07	9.428E-02	3.598E-02
1429.968	1.492E-01	0.0412	0.0020	34.77	1.150E-01	3.913E-02
1610.343	1.325E-01	0.0431	0.0019	36.36	1.383E-01	4.274E-02
1793.762	1.189E-01	0.0450	0.0019	38.00	1.658E-01	4.701E-02
1979.725	1.078E-01	0.0471	0.0020	39.71	1.984E-01	5.180E-02
2167.135	9.844E-02	0.0492	0.0021	41.48	2.374E-01	5.710E-02
2354.745	9.059E-02	0.0513	0.0021	43.26	2.827E-01	6.271E-02
2542.754	8.389E-02	0.0535	0.0022	45.16	3.353E-01	6.872E-02
2732.260	7.808E-02	0.0559	0.0024	47.20	3.951E-01	7.482E-02
2922.664	7.299E-02	0.0584	0.0025	49.29	4.575E-01	8.028E-02
3114.615	6.849E-02	0.0609	0.0025	51.42	5.230E-01	8.543E-02
3308.462	6.448E-02	0.0635	0.0025	53.55	5.879E-01	8.958E-02
3503.905	6.088E-02	0.0660	0.0025	55.68	6.521E-01	9.293E-02
3700.197	5.765E-02	0.0685	0.0025	57.75	7.105E-01	9.506E-02
3898.285	5.472E-02	0.0708	0.0023	59.69	7.575E-01	9.548E-02
4098.419	5.205E-02	0.0730	0.0023	61.60	7.955E-01	9.479E-02
4300.998	4.960E-02	0.0751	0.0021	63.35	8.254E-01	9.329E-02
4507.219	4.733E-02	0.0770	0.0019	64.99	8.478E-01	9.113E-02
4716.533	4.523E-02	0.0788	0.0018	66.50	8.602E-01	8.820E-02
4927.594	4.329E-02	0.0804	0.0016	67.81	8.659E-01	8.493E-02
5141.400	4.149E-02	0.0818	0.0014	69.01	8.683E-01	8.161E-02
5356.652	3.982E-02	0.0831	0.0013	70.14	8.577E-01	7.741E-02
5573.701	3.827E-02	0.0844	0.0013	71.19	8.475E-01	7.360E-02
5792.496	3.683E-02	0.0855	0.0012	72.17	8.358E-01	7.000E-02
6013.386	3.547E-02	0.0866	0.0011	73.10	8.240E-01	6.663E-02
6236.223	3.421E-02	0.0877	0.0010	73.97	8.198E-01	6.359E-02
6460.707	3.302E-02	0.0886	0.0009	74.71	8.196E-01	6.083E-02
6686.786	3.190E-02	0.0894	0.0009	75.43	8.207E-01	5.859E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

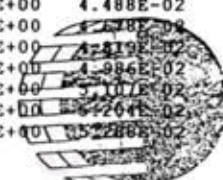
May 15/33

Sample ID GP10@31days File Name S650902H\_Merged  
Sample Weight 1.0106 grams Bulk Sample Volume 0.5073 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 9/5/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
6914.862	3.085E-02	0.0902	0.0008	76.12	8.231E-01	5.829E-02
7144.584	2.986E-02	0.0910	0.0008	76.77	8.281E-01	5.689E-02
7376.253	2.892E-02	0.0917	0.0007	77.38	8.325E-01	5.554E-02
7609.119	2.804E-02	0.0924	0.0007	77.99	8.377E-01	5.429E-02
7843.881	2.720E-02	0.0932	0.0007	78.59	8.544E-01	5.374E-02
8080.688	2.640E-02	0.0939	0.0007	79.19	8.725E-01	5.332E-02
8318.942	2.564E-02	0.0945	0.0007	79.76	8.929E-01	5.304E-02
8558.993	2.492E-02	0.0952	0.0007	80.31	9.172E-01	5.296E-02
8800.739	2.424E-02	0.0958	0.0006	80.83	9.432E-01	5.297E-02
9043.934	2.359E-02	0.0964	0.0006	81.35	9.641E-01	5.266E-02
9288.925	2.297E-02	0.0970	0.0006	81.86	9.793E-01	5.203E-02
9535.162	2.237E-02	0.0976	0.0006	82.37	9.914E-01	5.128E-02
9783.247	2.180E-02	0.0982	0.0006	82.87	1.003E+00	5.054E-02
10033.178	2.126E-02	0.0988	0.0006	83.36	1.018E+00	5.000E-02
10284.954	2.074E-02	0.0993	0.0005	83.81	1.033E+00	4.947E-02
10538.825	2.024E-02	0.0998	0.0005	84.23	1.043E+00	4.871E-02
10793.546	1.976E-02	0.1003	0.0005	84.64	1.046E+00	4.765E-02
11050.112	1.930E-02	0.1008	0.0005	85.03	1.044E+00	4.645E-02
11307.777	1.887E-02	0.1013	0.0005	85.43	1.038E+00	4.511E-02
11566.888	1.844E-02	0.1017	0.0004	85.80	1.029E+00	4.374E-02
11833.335	1.803E-02	0.1021	0.0004	86.16	1.022E+00	4.251E-02
12107.265	1.762E-02	0.1025	0.0004	86.51	1.022E+00	4.151E-02
12382.791	1.723E-02	0.1029	0.0004	86.83	1.022E+00	4.056E-02
12659.216	1.685E-02	0.1033	0.0004	87.14	1.019E+00	3.957E-02
12936.540	1.649E-02	0.1036	0.0004	87.44	1.011E+00	3.845E-02
13221.397	1.613E-02	0.1040	0.0003	87.73	1.012E+00	3.769E-02
13507.303	1.579E-02	0.1043	0.0003	88.02	1.017E+00	3.715E-02
13794.954	1.546E-02	0.1047	0.0003	88.29	1.028E+00	3.682E-02
14083.804	1.515E-02	0.1050	0.0003	88.56	1.041E+00	3.653E-02
14374.649	1.484E-02	0.1053	0.0003	88.82	1.062E+00	3.652E-02
14667.341	1.454E-02	0.1056	0.0003	89.09	1.081E+00	3.646E-02
14956.240	1.426E-02	0.1059	0.0003	89.36	1.111E+00	3.675E-02
15240.997	1.400E-02	0.1062	0.0003	89.61	1.146E+00	3.724E-02
15527.801	1.374E-02	0.1065	0.0003	89.86	1.185E+00	3.781E-02
15817.149	1.349E-02	0.1068	0.0003	90.12	1.238E+00	3.884E-02
16108.594	1.324E-02	0.1071	0.0003	90.37	1.305E+00	4.021E-02
16395.994	1.301E-02	0.1074	0.0003	90.63	1.373E+00	4.164E-02
16685.592	1.278E-02	0.1077	0.0003	90.89	1.449E+00	4.324E-02
16977.586	1.256E-02	0.1080	0.0003	91.16	1.529E+00	4.488E-02
17272.023	1.235E-02	0.1084	0.0003	91.45	1.621E+00	4.678E-02
17568.607	1.214E-02	0.1088	0.0004	91.76	1.701E+00	4.899E-02
17866.887	1.194E-02	0.1091	0.0004	92.09	1.791E+00	5.156E-02
18167.061	1.174E-02	0.1095	0.0004	92.42	1.869E+00	5.457E-02
18469.680	1.155E-02	0.1099	0.0004	92.76	1.939E+00	5.804E-02
18774.199	1.136E-02	0.1103	0.0004	93.10	2.007E+00	6.208E-02



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 16/33

Sample ID GP10031days File Name S650902H\_Merged  
 Sample Weight 1.0106 grams Bulk Sample Volume 0.5073 cc  
 Sample Description TISTR  
 Comments 9/5/49  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
19080.113	1.118E-02	0.1107	0.0004	93.42	2.041E+00	5.281E-02
19388.422	1.100E-02	0.1111	0.0004	93.74	2.060E+00	5.235E-02
19698.977	1.083E-02	0.1115	0.0004	94.05	2.045E+00	5.106E-02
20011.330	1.066E-02	0.1118	0.0004	94.35	2.017E+00	4.949E-02
20325.377	1.050E-02	0.1122	0.0003	94.64	1.979E+00	4.777E-02
20641.268	1.033E-02	0.1125	0.0003	94.90	1.926E+00	4.575E-02
20959.008	1.018E-02	0.1128	0.0003	95.15	1.891E+00	4.424E-02
21278.443	1.003E-02	0.1130	0.0003	95.37	1.841E+00	4.244E-02
21599.727	9.876E-03	0.1133	0.0002	95.57	1.794E+00	4.076E-02
21922.303	9.731E-03	0.1135	0.0002	95.77	1.749E+00	3.920E-02
22246.479	9.589E-03	0.1137	0.0002	95.96	1.707E+00	3.776E-02
22572.701	9.450E-03	0.1140	0.0002	96.15	1.694E+00	3.698E-02
22900.121	9.315E-03	0.1142	0.0002	96.34	1.673E+00	3.603E-02
23228.486	9.184E-03	0.1144	0.0002	96.52	1.684E+00	3.579E-02
23557.852	9.055E-03	0.1146	0.0002	96.70	1.703E+00	3.569E-02
23888.018	8.930E-03	0.1148	0.0002	96.88	1.735E+00	3.589E-02
24222.721	8.807E-03	0.1151	0.0002	97.07	1.776E+00	3.624E-02
24558.770	8.686E-03	0.1153	0.0002	97.24	1.810E+00	3.645E-02
24896.270	8.568E-03	0.1155	0.0002	97.43	1.844E+00	3.664E-02
25234.518	8.454E-03	0.1157	0.0002	97.61	1.895E+00	3.715E-02
25574.258	8.341E-03	0.1159	0.0002	97.79	1.938E+00	3.748E-02
25915.002	8.232E-03	0.1161	0.0002	97.98	1.973E+00	3.763E-02
26256.889	8.124E-03	0.1164	0.0002	98.17	1.986E+00	3.736E-02
26599.877	8.020E-03	0.1166	0.0002	98.35	2.034E+00	3.774E-02
26944.111	7.917E-03	0.1168	0.0002	98.54	2.064E+00	3.779E-02
27289.939	7.817E-03	0.1170	0.0002	98.72	2.077E+00	3.751E-02
27637.020	7.719E-03	0.1172	0.0002	98.89	2.064E+00	3.677E-02
27981.752	7.624E-03	0.1174	0.0002	99.05	2.034E+00	3.575E-02
28326.783	7.531E-03	0.1176	0.0002	99.22	2.119E+00	3.690E-02
28672.006	7.440E-03	0.1178	0.0002	99.38	2.151E+00	3.680E-02
29018.160	7.351E-03	0.1180	0.0002	99.53	2.167E+00	3.644E-02
29365.057	7.264E-03	0.1181	0.0002	99.66	2.188E+00	3.617E-02
29711.787	7.180E-03	0.1183	0.0001	99.78	2.218E+00	3.604E-02
30057.387	7.097E-03	0.1185	0.0003	100.00	2.278E+00	3.263E-02

๑๑.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

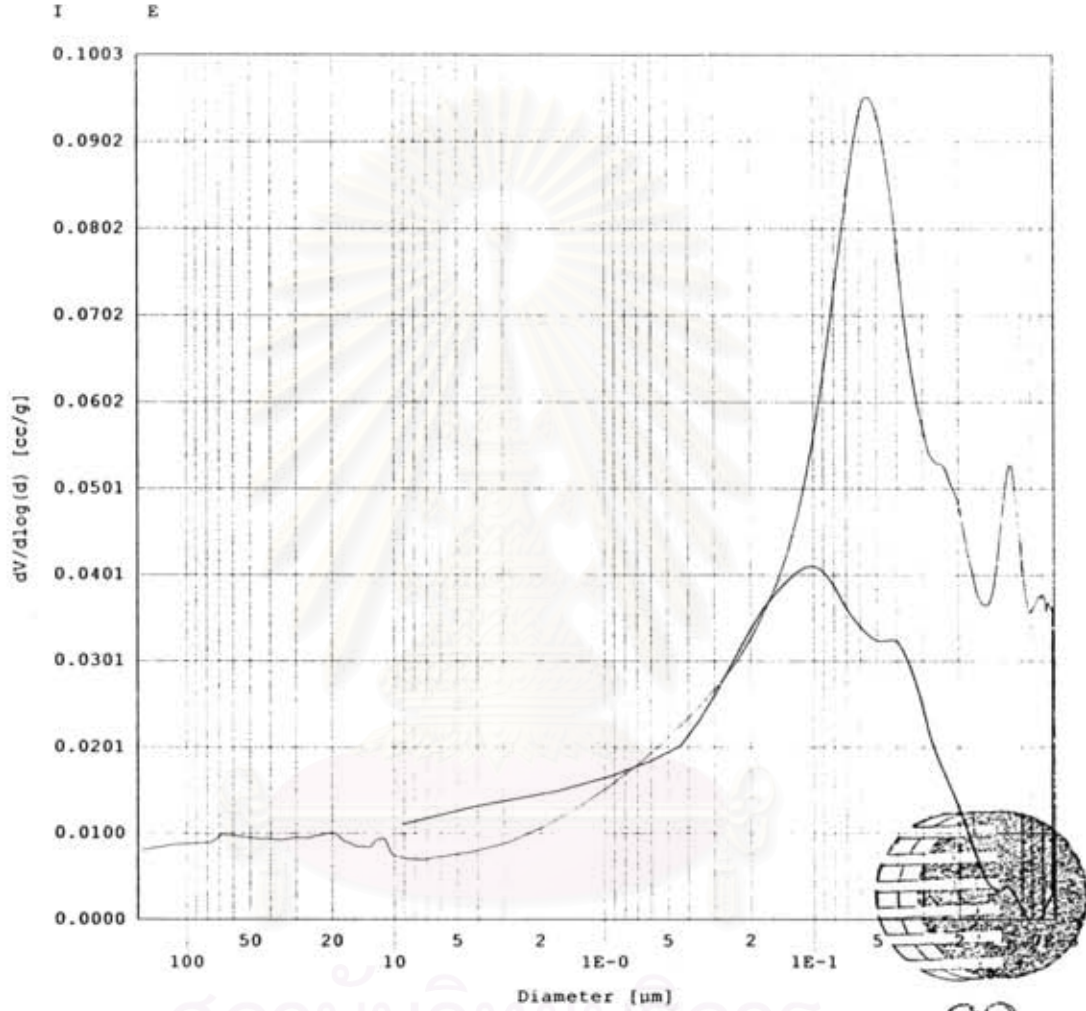
Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Foremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 17/33

Sample ID	GP10031days	File Name	S650902H_Merged
Sample Weight	1.0106 grams	Bulk Sample Volume	0.5073 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๐๐.

Report date: 05/18/2006

**Quantachrome Instruments**  
**Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report**  
 Version 4.03

หน้า 18/33

Sample ID	GP20@31days	File Name	S650903H_Merged
Sample Weight	0.9979 grams	Bulk Sample Volume	0.5015 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Standard Report

## Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	.....	13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	.....	33.0688 [g]
Cell+Hg Weight	.....	77.7254 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	.....	71.9356 [g]
Temperature	.....	25.00 [°C]			

## High Pressure

Data File Name	.....	S650903H.PRM
Analysis Date	....	05/09/2006
# of repeat cycles	....	0
Penetrometer Constant	..	1360 [mV/cc]
Auto-Oil Fill Time	....	5 [sec]
Run Mode	.....	Fixed Speed
Motor Speed	.....	20

## Low Pressure

Data File Name	.....	S6509031.PRM
Analysis Date	....	05/09/2006
# of repeat cycles	....	0
Penetrometer Constant	..	1489 [mV/cc]
Evacuation Rate	.....	5
Fine Evac. Until	.....	1.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	....	20.0000 [mm Hg]
Coarse Evac. Until	....	5.0000 [min.]

273 Points Acquired    164 Pts in Intrusion Range    109 Pts in Extrusion Range



๖๖.

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 19/33

Sample ID	GP20@31days	File Name	S650903H_Merged
Sample Weight	0.9979 grams	Bulk Sample Volume	0.5015 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Standard Report

271 Points Used      163 Intrusion Pts Used      108 Extrusion Pts Used

## Intrusion Statistics

Pressure Range : 1.370 PSIA to 29778.566 PSIA  
Pore Diameter Range : 155.749207 µm to 0.007164 µm

## Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
Volume	8.477E-02 cc/g at a diameter of 4.287E-02 µm	1.089E+03 cc/(µm-g) at a diameter of 5.689E-02 µm	6.154E-02 cc/g at a diameter of 6.752E-02 µm
Surface Area	2.940E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 4.287E-02 µm	9.986E-02 m <sup>2</sup> /(µm-g) at a diameter of 7.164E-03 µm	5.742E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 2.005E-02 µm
Pore Number Fraction	5.813E-03 at a diameter of 7.164E-03 µm	7.152E-02 at a diameter of 7.164E-03 µm	5.041E-01 at a diameter of 1.169E-02 µm

## Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume	0.1231 cc/g	Bulk (Particle) Density	
Total Surface Area	11.4848 m <sup>2</sup> /g	Apparent Density	



๐๐.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 20/33

Sample ID	GP20@31days	File Name	S650903H_Merged
Sample Weight	0.9979 grams	Bulk Sample Volume	0.5015 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.5015 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling poresize limit =	4266.4438 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.0154 [cc]
Total interparticle porosity =	3.0666 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.1074 [cc]
Total intraparticle porosity =	21.4249 [%]
Total intruded volume =	0.1228 [cc]
Total porosity =	24.4915 [%]
He density =	2.0000 [g/cc]
Theoretical porosity =	0.5100 [%]



๐๐.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

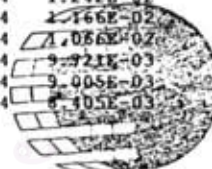
MM 21/33

Sample ID	GP20E31days	File Name	S650903H_Merged
Sample Weight	0.9979 grams	Bulk Sample Volume	0.5015 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.370	1.557E+02	0.0000	0.0000	0.00	1.219E-05	7.246E-03
1.748	1.221E+02	0.0008	0.0008	0.67	1.573E-05	7.857E-03
2.149	9.925E+01	0.0015	0.0007	1.25	2.418E-05	8.303E-03
2.578	8.273E+01	0.0022	0.0007	1.80	3.500E-05	8.740E-03
3.024	7.053E+01	0.0029	0.0007	2.35	4.823E-05	9.130E-03
3.477	6.135E+01	0.0035	0.0006	2.81	6.336E-05	9.411E-03
3.919	5.444E+01	0.0041	0.0006	3.30	8.711E-05	1.052E-02
4.371	4.881E+01	0.0046	0.0005	3.74	9.946E-05	1.093E-02
4.829	4.418E+01	0.0051	0.0005	4.17	1.129E-04	1.123E-02
5.297	4.028E+01	0.0056	0.0005	4.58	1.270E-04	1.151E-02
5.767	3.699E+01	0.0061	0.0005	4.95	1.411E-04	1.181E-02
6.242	3.418E+01	0.0065	0.0004	5.29	1.572E-04	1.214E-02
6.719	3.175E+01	0.0069	0.0004	5.61	1.701E-04	1.226E-02
7.198	2.964E+01	0.0072	0.0003	5.88	1.844E-04	1.245E-02
7.680	2.777E+01	0.0076	0.0003	6.15	1.960E-04	1.242E-02
8.166	2.612E+01	0.0079	0.0003	6.43	2.073E-04	1.239E-02
8.654	2.465E+01	0.0082	0.0003	6.70	2.221E-04	1.257E-02
9.122	2.338E+01	0.0085	0.0003	6.94	2.378E-04	1.280E-02
9.571	2.229E+01	0.0088	0.0003	7.17	2.537E-04	1.307E-02
9.998	2.134E+01	0.0090	0.0002	7.35	2.740E-04	1.355E-02
10.428	2.046E+01	0.0093	0.0002	7.53	2.915E-04	1.383E-02
10.857	1.965E+01	0.0095	0.0002	7.74	3.053E-04	1.393E-02
11.288	1.890E+01	0.0098	0.0002	7.94	3.224E-04	1.416E-02
11.699	1.823E+01	0.0100	0.0002	8.13	3.410E-04	1.444E-02
12.087	1.765E+01	0.0102	0.0002	8.32	3.565E-04	1.463E-02
12.479	1.710E+01	0.0104	0.0002	8.49	3.774E-04	1.500E-02
12.872	1.657E+01	0.0106	0.0002	8.64	3.974E-04	1.531E-02
13.266	1.608E+01	0.0108	0.0002	8.81	4.135E-04	1.547E-02
13.684	1.559E+01	0.0111	0.0002	8.98	4.260E-04	1.545E-02
14.125	1.510E+01	0.0113	0.0002	9.16	4.347E-04	1.523E-02
14.591	1.462E+01	0.0115	0.0002	9.34	4.455E-04	1.511E-02
15.033	1.419E+01	0.0117	0.0002	9.50	4.635E-04	1.521E-02
15.455	1.380E+01	0.0119	0.0002	9.66	4.770E-04	1.519E-02
15.877	1.344E+01	0.0121	0.0002	9.80	4.855E-04	1.504E-02
16.300	1.309E+01	0.0122	0.0001	9.92	4.961E-04	1.500E-02
16.746	1.274E+01	0.0124	0.0002	10.06	5.063E-04	1.491E-02
17.191	1.241E+01	0.0126	0.0002	10.21	5.171E-04	1.484E-02
17.613	1.211E+01	0.0127	0.0001	10.33	5.100E-04	1.422E-02
18.011	1.184E+01	0.0128	0.0001	10.44	4.906E-04	1.333E-02
18.410	1.159E+01	0.0130	0.0001	10.56	4.687E-04	1.242E-02
18.808	1.134E+01	0.0131	0.0001	10.67	4.496E-04	1.166E-02
19.180	1.112E+01	0.0133	0.0001	10.77	4.158E-04	1.086E-02
19.829	1.076E+01	0.0134	0.0001	10.88	3.816E-04	9.921E-03
20.953	1.018E+01	0.0135	0.0001	11.00	3.628E-04	9.005E-03
23.077	9.244E+00	0.0137	0.0002	11.15	3.595E-04	8.405E-03



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

วันที่ 22/33

Sample ID GP20831days File Name S650903H\_Merged  
Sample Weight 0.9979 grams Bulk Sample Volume 0.5015 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 9/5/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
27.224	7.836E+00	0.0140	0.0003	11.41	3.778E-04	7.864E-03
35.714	5.973E+00	0.0146	0.0005	11.84	4.587E-04	7.606E-03
51.643	4.131E+00	0.0154	0.0009	12.55	6.203E-04	7.549E-03
77.826	2.741E+00	0.0165	0.0011	13.42	1.046E-03	8.325E-03
116.461	1.832E+00	0.0178	0.0013	14.47	1.907E-03	9.630E-03
169.169	1.261E+00	0.0193	0.0015	15.72	3.505E-03	1.142E-02
236.450	9.022E-01	0.0211	0.0017	17.10	5.986E-03	1.344E-02
319.228	6.682E-01	0.0229	0.0019	18.64	9.672E-03	1.566E-02
417.523	5.109E-01	0.0250	0.0020	20.29	1.453E-02	1.780E-02
531.836	4.011E-01	0.0271	0.0022	22.04	2.126E-02	2.014E-02
661.366	3.225E-01	0.0294	0.0023	23.90	3.025E-02	2.274E-02
805.616	2.648E-01	0.0317	0.0023	25.76	4.159E-02	2.555E-02
961.991	2.218E-01	0.0339	0.0022	27.57	5.592E-02	2.884E-02
1127.597	1.892E-01	0.0359	0.0020	29.19	7.323E-02	3.250E-02
1300.038	1.641E-01	0.0379	0.0020	30.79	9.408E-02	3.671E-02
1476.771	1.445E-01	0.0399	0.0020	32.41	1.190E-01	4.153E-02
1657.046	1.287E-01	0.0419	0.0020	34.05	1.483E-01	4.692E-02
1840.414	1.159E-01	0.0441	0.0022	35.82	1.839E-01	5.303E-02
2025.031	1.053E-01	0.0464	0.0023	37.67	2.261E-01	5.950E-02
2211.044	9.648E-02	0.0488	0.0024	39.65	2.777E-01	6.666E-02
2397.756	8.897E-02	0.0514	0.0026	41.75	3.371E-01	7.409E-02
2586.064	8.249E-02	0.0541	0.0027	43.97	4.046E-01	8.179E-02
2775.520	7.686E-02	0.0570	0.0029	46.32	4.778E-01	8.906E-02
2966.722	7.191E-02	0.0599	0.0029	48.67	5.527E-01	9.536E-02
3159.621	6.752E-02	0.0629	0.0029	51.06	6.287E-01	1.007E-01
3354.116	6.360E-02	0.0658	0.0029	53.46	7.026E-01	1.050E-01
3551.107	6.007E-02	0.0688	0.0030	55.89	7.709E-01	1.078E-01
3749.544	5.689E-02	0.0716	0.0028	58.20	8.296E-01	1.089E-01
3949.828	5.401E-02	0.0743	0.0026	60.35	8.767E-01	1.085E-01
4152.706	5.137E-02	0.0768	0.0025	62.36	9.163E-01	1.072E-01
4358.578	4.894E-02	0.0791	0.0023	64.25	9.463E-01	1.051E-01
4566.895	4.671E-02	0.0812	0.0021	65.97	9.658E-01	1.021E-01
4777.606	4.465E-02	0.0831	0.0019	67.50	9.688E-01	9.779E-02
4990.464	4.275E-02	0.0848	0.0017	68.87	9.666E-01	9.344E-02
5205.417	4.098E-02	0.0863	0.0016	70.15	9.627E-01	8.935E-02
5422.516	3.934E-02	0.0878	0.0015	71.36	9.558E-01	8.534E-02
5642.008	3.781E-02	0.0892	0.0014	72.49	9.452E-01	8.131E-02
5862.700	3.639E-02	0.0904	0.0012	73.48	9.366E-01	7.774E-02
6085.088	3.506E-02	0.0916	0.0012	74.44	9.344E-01	7.487E-02
6309.172	3.381E-02	0.0928	0.0011	75.36	9.386E-01	7.247E-02
6535.351	3.264E-02	0.0938	0.0011	76.23	9.455E-01	7.083E-02
6762.728	3.154E-02	0.0948	0.0010	77.02	9.487E-01	6.881E-02
6991.952	3.051E-02	0.0958	0.0009	77.79	9.537E-01	6.702E-02
7223.222	2.953E-02	0.0967	0.0009	78.53	9.656E-01	6.568E-02
7456.187	2.861E-02	0.0976	0.0009	79.26	9.701E-01	6.486E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

หน้า 23/33

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID GP20@31days File Name S650903H\_Merged  
 Sample Weight 0.9979 grams Bulk Sample Volume 0.5015 cc  
 Sample Description TISTR  
 Comments 9/5/49  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
7690.749	2.774E-02	0.0984	0.0009	79.98	9.692E-01	6.181E-02
7927.008	2.691E-02	0.0993	0.0008	80.64	9.696E-01	5.996E-02
8164.563	2.613E-02	0.1000	0.0008	81.27	9.774E-01	5.866E-02
8404.465	2.538E-02	0.1008	0.0007	81.87	9.796E-01	5.708E-02
8646.262	2.467E-02	0.1014	0.0006	82.40	9.850E-01	5.580E-02
8889.854	2.400E-02	0.1020	0.0006	82.88	9.816E-01	5.409E-02
9134.895	2.335E-02	0.1026	0.0006	83.36	9.709E-01	5.212E-02
9381.582	2.274E-02	0.1032	0.0006	83.84	9.651E-01	5.048E-02
9630.115	2.215E-02	0.1037	0.0005	84.29	9.631E-01	4.918E-02
9879.746	2.159E-02	0.1043	0.0006	84.74	9.602E-01	4.786E-02
10131.175	2.106E-02	0.1048	0.0005	85.15	9.685E-01	4.710E-02
10384.746	2.054E-02	0.1053	0.0005	85.53	9.859E-01	4.681E-02
10640.165	2.005E-02	0.1057	0.0005	85.91	1.004E+00	4.656E-02
10897.132	1.958E-02	0.1062	0.0005	86.31	1.009E+00	4.574E-02
11161.183	1.911E-02	0.1067	0.0005	86.67	1.024E+00	4.532E-02
11426.631	1.867E-02	0.1071	0.0005	87.04	1.046E+00	4.536E-02
11693.425	1.824E-02	0.1076	0.0005	87.42	1.074E+00	4.554E-02
11968.104	1.782E-02	0.1081	0.0005	87.80	1.103E+00	4.571E-02
12244.329	1.742E-02	0.1085	0.0004	88.15	1.140E+00	4.619E-02
12528.288	1.703E-02	0.1089	0.0004	88.50	1.164E+00	4.610E-02
12820.032	1.664E-02	0.1094	0.0005	88.91	1.202E+00	4.653E-02
13113.371	1.627E-02	0.1099	0.0005	89.29	1.244E+00	4.706E-02
13413.697	1.590E-02	0.1104	0.0005	89.66	1.279E+00	4.728E-02
13721.507	1.555E-02	0.1108	0.0005	90.06	1.303E+00	4.707E-02
14031.062	1.520E-02	0.1113	0.0004	90.42	1.348E+00	4.752E-02
14337.176	1.488E-02	0.1117	0.0005	90.78	1.382E+00	4.759E-02
14645.037	1.457E-02	0.1122	0.0005	91.16	1.377E+00	4.635E-02
14954.941	1.426E-02	0.1126	0.0004	91.52	1.391E+00	4.582E-02
15260.259	1.398E-02	0.1130	0.0004	91.84	1.418E+00	4.573E-02
15567.566	1.370E-02	0.1135	0.0004	92.17	1.420E+00	4.487E-02
15870.837	1.344E-02	0.1138	0.0004	92.47	1.436E+00	4.448E-02
16169.918	1.319E-02	0.1141	0.0003	92.72	1.451E+00	4.415E-02
16471.090	1.295E-02	0.1145	0.0003	92.99	1.452E+00	4.343E-02
16768.322	1.272E-02	0.1148	0.0004	93.28	1.454E+00	4.276E-02
17061.662	1.250E-02	0.1151	0.0003	93.52	1.474E+00	4.263E-02
17357.197	1.229E-02	0.1154	0.0003	93.77	1.484E+00	4.226E-02
17654.180	1.208E-02	0.1157	0.0003	94.04	1.503E+00	4.211E-02
17953.656	1.188E-02	0.1161	0.0003	94.29	1.532E+00	4.212E-02
18255.031	1.169E-02	0.1164	0.0003	94.53	1.528E+00	4.125E-02
18558.400	1.149E-02	0.1167	0.0003	94.78	1.518E+00	4.030E-02
18864.213	1.131E-02	0.1170	0.0003	95.04	1.548E+00	4.014E-02
19171.773	1.113E-02	0.1173	0.0003	95.28	1.563E+00	4.017E-02
19481.281	1.095E-02	0.1175	0.0003	95.49	1.540E+00	4.033E-02
19793.080	1.078E-02	0.1178	0.0002	95.67	1.510E+00	3.750E-02
20107.178	1.061E-02	0.1180	0.0002	95.86	1.477E+00	3.601E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

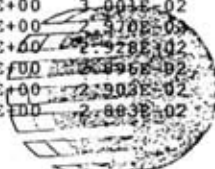
หน้า 24/33

Sample ID GP20@31days File Name S650903H\_Merged  
Sample Weight 0.9979 grams Bulk Sample Volume 0.5015 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 9/5/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
20422.674	1.045E-02	0.1183	0.0003	96.09	1.435E+00	3.444E-02
20739.963	1.029E-02	0.1185	0.0003	96.30	1.383E+00	3.269E-02
21059.449	1.013E-02	0.1187	0.0002	96.47	1.345E+00	3.134E-02
21380.430	9.977E-03	0.1189	0.0002	96.61	1.335E+00	3.067E-02
21703.209	9.829E-03	0.1191	0.0002	96.74	1.343E+00	3.041E-02
22027.984	9.684E-03	0.1192	0.0002	96.88	1.332E+00	2.971E-02
22354.008	9.543E-03	0.1194	0.0002	97.00	1.266E+00	2.785E-02
22681.525	9.405E-03	0.1196	0.0002	97.15	1.216E+00	2.641E-02
23010.492	9.271E-03	0.1198	0.0002	97.30	1.219E+00	2.614E-02
23339.957	9.140E-03	0.1199	0.0002	97.45	1.257E+00	2.661E-02
23670.371	9.012E-03	0.1201	0.0002	97.58	1.311E+00	2.740E-02
23999.236	8.889E-03	0.1202	0.0001	97.68	1.366E+00	2.820E-02
24328.949	8.768E-03	0.1204	0.0001	97.79	1.439E+00	2.931E-02
24659.961	8.651E-03	0.1205	0.0002	97.92	1.483E+00	2.981E-02
24992.070	8.536E-03	0.1207	0.0002	98.07	1.519E+00	3.015E-02
25325.529	8.423E-03	0.1209	0.0002	98.23	1.548E+00	3.032E-02
25660.480	8.313E-03	0.1211	0.0002	98.39	1.577E+00	3.045E-02
25996.182	8.206E-03	0.1213	0.0002	98.56	1.647E+00	3.133E-02
26333.631	8.101E-03	0.1215	0.0002	98.71	1.719E+00	3.222E-02
26671.627	7.998E-03	0.1217	0.0002	98.86	1.758E+00	3.249E-02
27011.074	7.898E-03	0.1219	0.0002	99.00	1.747E+00	3.182E-02
27351.363	7.799E-03	0.1220	0.0002	99.13	1.695E+00	3.043E-02
27696.494	7.702E-03	0.1222	0.0002	99.26	1.619E+00	2.864E-02
28042.625	7.607E-03	0.1224	0.0002	99.41	1.707E+00	3.001E-02
28388.430	7.514E-03	0.1225	0.0002	99.54	1.720E+00	3.070E-02
28734.480	7.424E-03	0.1226	0.0001	99.64	1.725E+00	2.978E-02
29080.637	7.336E-03	0.1227	0.0001	99.72	1.735E+00	2.996E-02
29428.578	7.249E-03	0.1228	0.0001	99.78	1.771E+00	2.903E-02
29778.566	7.164E-03	0.1231	0.0003	100.00	1.788E+00	2.883E-02



๐๐.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

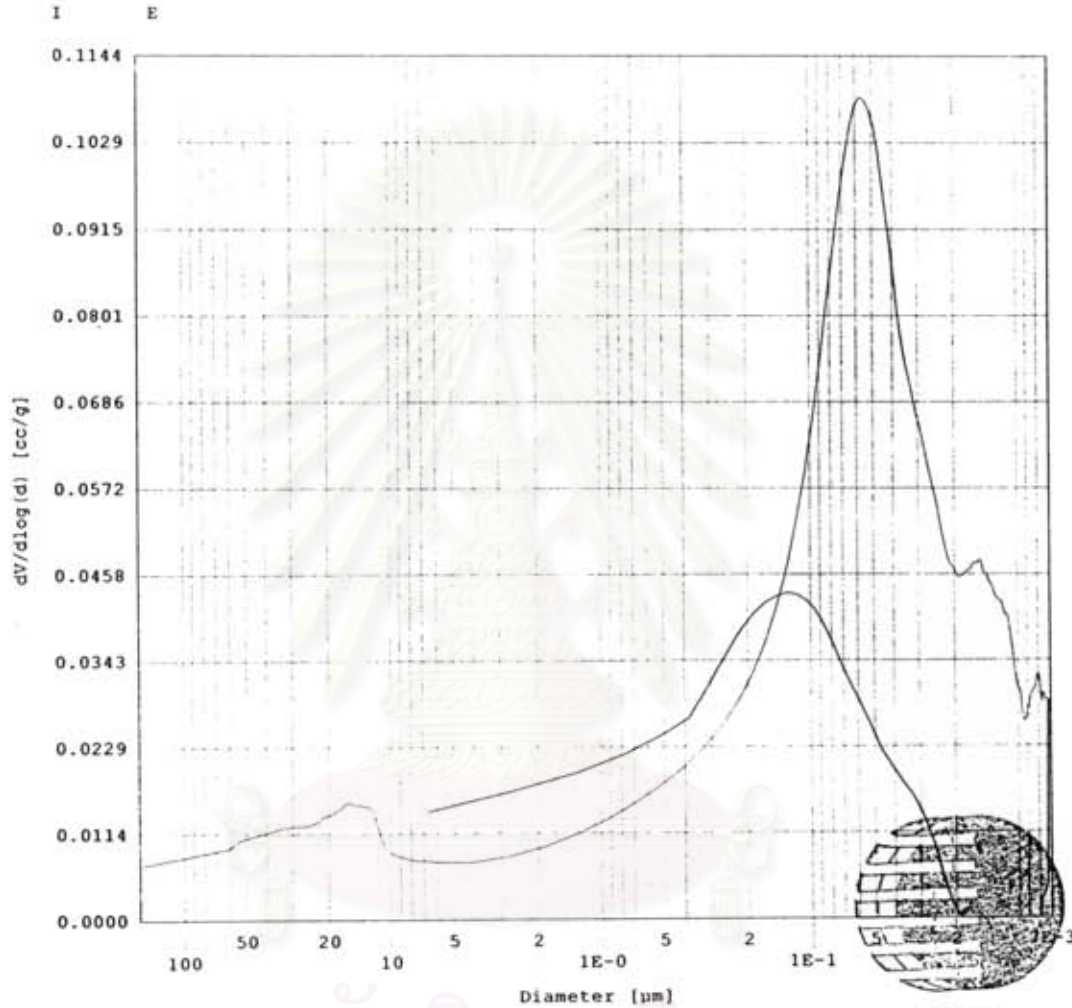
Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 25/33

Sample ID GP20831days  
Sample Weight 0.9979 grams  
Sample Description TISTR  
Comments 9/5/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup>  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS  
Operator Panida

File Name S650903H\_Merged  
Bulk Sample Volume 0.5015 cc  
Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Mercury volume normalized by sample weight.

-dV/dlogD vs. Pore Size



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๖๖.

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 26/33

Sample ID	GP30031days	File Name	S650904H_Merged
Sample Weight	1.0848 grams	Bulk Sample Volume	0.5881 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 1 FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Standard Report

## Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	..... 13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	..... 33.5152 [g]
Cell+Hg Weight	..... 78.6233 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	..... 71.7495 [g]
Temperature	..... 25.00 [°C]		

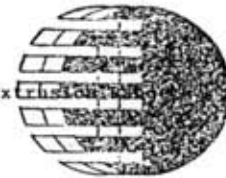
## High Pressure

Data File Name	..... S650904H.PRM
Analysis Date	.... 05/09/2006
# of repeat cycles	.... 0
Penetrometer Constant	.... 1360 [mV/cc]
Auto-Oil Fill Time	.... 5 [sec]
Run Mode	..... Fixed Speed
Motor Speed	..... 20

## Low Pressure

Data File Name	..... S6509032.PRM
Analysis Date	.... 05/09/2006
# of repeat cycles	.... 0
Penetrometer Constant	.... 1414 [mV/cc]
Evacuation Rate	..... 5
Fine Evac. Until	..... 1.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	.... 20.0000 [mm Hg]
Coarse Evac. Until	.... 5.0000 [min.]

278 Points Acquired    168 Pts in Intrusion Range    110 Pts in Extrusion Range



๐๐.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 27/33

Sample ID	GP30@31days	File Name	S650904H_Merged
Sample Weight	1.0848 grams	Bulk Sample Volume	0.5881 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

## Standard Report

276 Points Used      167 Intrusion Pts Used      109 Extrusion Pts Used

## Intrusion Statistics

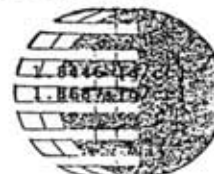
Pressure Range : 1.370 PSIA to 29839.490 PSIA  
Pore Diameter Range : 155.749207 µm to 0.007149 µm

## Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
Volume	9.519E-02 cc/g   at a diameter of 3.852E-02 µm	1.226E+03 cc/(µm-g)   at a diameter of 5.864E-02 µm	6.814E-02 cc/g   at a diameter of 6.575E-02 µm
Surface Area	3.744E+00 m <sup>2</sup> /g   at a diameter of 3.852E-02 µm	1.460E-01 m <sup>2</sup> /(µm-g)   at a diameter of 7.149E-03 µm	7.076E+00 m <sup>2</sup> /g   at a diameter of 1.760E-02 µm
Pore Number Fraction	4.512E-03   at a diameter of 7.149E-03 µm	1.048E-01   at a diameter of 7.149E-03 µm	5.070E-01   at a diameter of 1.075E-02 µm

## Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume	0.1363 cc/g	Bulk (Particle) Density
Total Surface Area	14.1517 m <sup>2</sup> /g	Apparent Density



๐๐.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 28/33

Sample ID	GP30831days	File Name	S650904H_Merged
Sample Weight	1.0848 grams	Bulk Sample Volume	0.5881 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.5881 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling poresize limit =	4266.4438 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.0098 [cc]
Total interparticle porosity =	1.6636 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.1380 [cc]
Total intraparticle porosity =	23.4735 [%]
Total intruded volume =	0.1478 [cc]
Total porosity =	25.1371 [%]
He density =	2.0000 g/cc
Theoretical porosity =	7.7700 [%]



วว.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

May 29/33

Sample ID	GP30R3ldays	File Name	S650904H_Merged
Sample Weight	1.0848 grams	Bulk Sample Volume	0.5881 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.0000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.370	1.557E+02	0.0000	0.0000	0.00	1.043E-05	5.965E-03
1.748	1.221E+02	0.0008	0.0008	0.61	1.322E-05	6.334E-03
2.149	9.925E+01	0.0015	0.0006	1.08	1.987E-05	6.503E-03
2.578	8.273E+01	0.0021	0.0006	1.52	2.800E-05	6.590E-03
3.024	7.053E+01	0.0026	0.0005	1.89	3.787E-05	6.716E-03
3.477	6.135E+01	0.0029	0.0004	2.15	4.853E-05	6.663E-03
3.919	5.444E+01	0.0034	0.0004	2.48	6.533E-05	7.211E-03
4.371	4.881E+01	0.0037	0.0004	2.75	6.825E-05	6.917E-03
4.829	4.418E+01	0.0041	0.0003	2.98	7.240E-05	6.715E-03
5.297	4.028E+01	0.0044	0.0003	3.21	7.576E-05	6.501E-03
5.767	3.699E+01	0.0046	0.0002	3.38	7.972E-05	6.347E-03
6.242	3.418E+01	0.0048	0.0002	3.53	8.639E-05	6.340E-03
6.719	3.175E+01	0.0050	0.0001	3.64	8.754E-05	6.072E-03
7.198	2.964E+01	0.0051	0.0001	3.75	8.973E-05	5.889E-03
7.680	2.777E+01	0.0053	0.0001	3.85	9.287E-05	5.794E-03
8.166	2.612E+01	0.0054	0.0001	3.96	9.405E-05	5.619E-03
8.654	2.465E+01	0.0055	0.0001	4.07	9.906E-05	5.625E-03
9.122	2.338E+01	0.0057	0.0001	4.17	1.044E-04	5.659E-03
9.571	2.229E+01	0.0058	0.0001	4.25	1.138E-04	5.875E-03
9.998	2.134E+01	0.0059	0.0001	4.34	1.199E-04	5.902E-03
10.428	2.046E+01	0.0060	0.0001	4.42	1.260E-04	5.944E-03
10.857	1.965E+01	0.0061	0.0001	4.50	1.318E-04	5.972E-03
11.288	1.890E+01	0.0062	0.0001	4.58	1.347E-04	5.851E-03
11.699	1.823E+01	0.0063	0.0001	4.66	1.390E-04	5.808E-03
12.111	1.761E+01	0.0064	0.0001	4.71	1.426E-04	5.748E-03
12.502	1.706E+01	0.0065	0.0001	4.77	1.468E-04	5.754E-03
12.896	1.654E+01	0.0066	0.0001	4.83	1.513E-04	5.769E-03
13.290	1.605E+01	0.0066	0.0001	4.87	1.560E-04	5.804E-03
13.708	1.556E+01	0.0067	0.0001	4.92	1.608E-04	5.835E-03
14.149	1.508E+01	0.0068	0.0001	4.98	1.648E-04	5.829E-03
14.615	1.460E+01	0.0069	0.0001	5.04	1.774E-04	6.079E-03
15.056	1.417E+01	0.0069	0.0001	5.10	1.885E-04	6.267E-03
15.478	1.378E+01	0.0070	0.0001	5.16	2.029E-04	6.585E-03
15.901	1.342E+01	0.0071	0.0001	5.21	2.255E-04	7.132E-03
16.323	1.307E+01	0.0072	0.0001	5.27	2.497E-04	7.705E-03
16.746	1.274E+01	0.0073	0.0001	5.34	2.765E-04	8.312E-03
17.191	1.241E+01	0.0074	0.0001	5.40	2.952E-04	8.627E-03
17.613	1.211E+01	0.0075	0.0001	5.47	3.117E-04	8.836E-03
18.035	1.183E+01	0.0076	0.0001	5.55	3.258E-04	8.980E-03
18.433	1.157E+01	0.0077	0.0001	5.63	3.399E-04	9.120E-03
18.831	1.133E+01	0.0078	0.0001	5.71	3.530E-04	9.253E-03
19.229	1.109E+01	0.0079	0.0001	5.78	3.459E-04	6.820E-03
19.649	1.086E+01	0.0080	0.0001	5.84	3.360E-04	6.322E-03
20.091	1.062E+01	0.0080	0.0001	5.89	3.172E-04	6.042E-03
20.531	1.039E+01	0.0081	0.0001	5.95	2.937E-04	6.041E-03



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2005

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 30/33

Sample ID GP30@31days File Name S650904H\_Merged  
 Sample Weight 1.0848 grams Bulk Sample Volume 0.5881 cc  
 Sample Description TISTR  
 Comments 9/5/49  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
20.986	1.017E+01	0.0082	0.0001	6.01	2.656E-04	6.288E-03
21.892	9.744E+00	0.0082	0.0001	6.05	2.381E-04	5.694E-03
23.450	9.097E+00	0.0083	0.0001	6.10	2.256E-04	5.428E-03
26.382	8.086E+00	0.0084	0.0001	6.17	2.316E-04	5.484E-03
32.511	6.562E+00	0.0087	0.0003	6.36	2.691E-04	5.848E-03
44.254	4.820E+00	0.0092	0.0006	6.78	3.621E-04	6.459E-03
64.832	3.290E+00	0.0101	0.0009	7.41	5.434E-04	7.389E-03
96.890	2.202E+00	0.0113	0.0012	8.28	1.079E-03	9.190E-03
142.075	1.501E+00	0.0128	0.0015	9.38	2.227E-03	1.149E-02
201.285	1.060E+00	0.0146	0.0018	10.73	4.454E-03	1.427E-02
275.419	7.745E-01	0.0167	0.0021	12.24	8.040E-03	1.726E-02
365.382	5.838E-01	0.0190	0.0023	13.91	1.317E-02	2.034E-02
470.563	4.533E-01	0.0215	0.0025	15.77	2.053E-02	2.368E-02
591.262	3.608E-01	0.0242	0.0027	17.78	3.051E-02	2.724E-02
727.030	2.934E-01	0.0271	0.0029	19.91	4.368E-02	3.106E-02
876.419	2.434E-01	0.0300	0.0029	22.04	6.010E-02	3.497E-02
1036.786	2.058E-01	0.0328	0.0028	24.09	8.054E-02	3.928E-02
1204.936	1.770E-01	0.0356	0.0027	26.09	1.055E-01	4.422E-02
1378.475	1.548E-01	0.0382	0.0027	28.06	1.344E-01	4.956E-02
1556.006	1.371E-01	0.0409	0.0027	30.03	1.677E-01	5.524E-02
1737.478	1.228E-01	0.0436	0.0026	31.97	2.065E-01	6.161E-02
1921.246	1.110E-01	0.0463	0.0027	33.98	2.527E-01	6.876E-02
2106.212	1.013E-01	0.0492	0.0029	36.11	3.074E-01	7.646E-02
2292.774	9.304E-02	0.0522	0.0030	38.32	3.701E-01	8.440E-02
2479.984	8.602E-02	0.0553	0.0031	40.58	4.392E-01	9.210E-02
2669.041	7.992E-02	0.0586	0.0033	42.98	5.150E-01	9.964E-02
2858.896	7.462E-02	0.0620	0.0034	45.48	5.968E-01	1.068E-01
3050.847	6.992E-02	0.0654	0.0035	48.03	6.807E-01	1.131E-01
3244.395	6.575E-02	0.0689	0.0034	50.56	7.610E-01	1.177E-01
3440.138	6.201E-02	0.0722	0.0033	53.00	8.360E-01	1.208E-01
3637.827	5.864E-02	0.0755	0.0033	55.38	9.059E-01	1.226E-01
3837.162	5.559E-02	0.0786	0.0031	57.66	9.606E-01	1.222E-01
4039.142	5.281E-02	0.0815	0.0029	59.81	9.994E-01	1.200E-01
4243.667	5.027E-02	0.0842	0.0027	61.76	1.024E+00	1.163E-01
4450.687	4.793E-02	0.0866	0.0024	63.51	1.034E+00	1.116E-01
4660.750	4.577E-02	0.0888	0.0022	65.13	1.038E+00	1.067E-01
4872.759	4.378E-02	0.0907	0.0019	66.53	1.030E+00	1.011E-01
5087.262	4.193E-02	0.0923	0.0017	67.76	1.012E+00	9.532E-02
5303.363	4.022E-02	0.0938	0.0015	68.85	9.894E-01	8.964E-02
5522.558	3.863E-02	0.0952	0.0014	69.85	9.656E-01	8.428E-02
5743.298	3.714E-02	0.0965	0.0013	70.82	9.478E-01	7.878E-02
5965.936	3.576E-02	0.0977	0.0012	71.69	9.303E-01	7.355E-02
6190.419	3.446E-02	0.0988	0.0011	72.51	9.241E-01	6.828E-02
6415.800	3.325E-02	0.0999	0.0011	73.30	9.242E-01	6.305E-02
6642.878	3.211E-02	0.1009	0.0010	74.02	9.342E-01	5.803E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 31/33

Sample ID	GP30@31days	File Name	S650904H_Merged
Sample Weight	1.0848 grams	Bulk Sample Volume	0.5881 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
6872.101	3.104E-02	0.1019	0.0010	74.75	9.484E-01	6.786E-02
7103.071	3.003E-02	0.1028	0.0009	75.44	9.565E-01	6.630E-02
7335.936	2.908E-02	0.1037	0.0009	76.12	9.656E-01	6.477E-02
7570.749	2.818E-02	0.1046	0.0009	76.76	9.769E-01	6.345E-02
7807.655	2.732E-02	0.1055	0.0009	77.40	9.853E-01	6.200E-02
8045.661	2.651E-02	0.1063	0.0008	78.02	1.001E+00	6.106E-02
8285.412	2.575E-02	0.1071	0.0008	78.59	1.010E+00	5.985E-02
8526.760	2.502E-02	0.1078	0.0007	79.09	1.023E+00	5.896E-02
8769.454	2.433E-02	0.1085	0.0007	79.59	1.034E+00	5.799E-02
9014.445	2.366E-02	0.1091	0.0006	80.05	1.058E+00	5.783E-02
9261.532	2.303E-02	0.1097	0.0006	80.53	1.075E+00	5.735E-02
9509.865	2.243E-02	0.1104	0.0006	80.98	1.095E+00	5.707E-02
9760.345	2.186E-02	0.1110	0.0006	81.44	1.125E+00	5.723E-02
10011.972	2.131E-02	0.1116	0.0006	81.89	1.166E+00	5.786E-02
10265.046	2.078E-02	0.1123	0.0007	82.38	1.208E+00	5.849E-02
10519.965	2.028E-02	0.1129	0.0006	82.86	1.254E+00	5.918E-02
10776.132	1.980E-02	0.1136	0.0006	83.33	1.297E+00	5.971E-02
11033.848	1.933E-02	0.1142	0.0006	83.79	1.346E+00	6.052E-02
11299.145	1.888E-02	0.1148	0.0006	84.27	1.386E+00	6.081E-02
11572.077	1.843E-02	0.1155	0.0006	84.74	1.433E+00	6.132E-02
11846.257	1.801E-02	0.1161	0.0006	85.19	1.455E+00	6.074E-02
12121.684	1.760E-02	0.1167	0.0006	85.64	1.478E+00	6.021E-02
12404.396	1.720E-02	0.1173	0.0006	86.10	1.495E+00	5.948E-02
12694.644	1.680E-02	0.1179	0.0006	86.54	1.505E+00	5.842E-02
12986.785	1.643E-02	0.1185	0.0006	86.97	1.511E+00	5.728E-02
13280.025	1.606E-02	0.1191	0.0005	87.37	1.513E+00	5.603E-02
13574.563	1.571E-02	0.1196	0.0005	87.75	1.521E+00	5.508E-02
13870.747	1.538E-02	0.1201	0.0005	88.12	1.528E+00	5.417E-02
14168.979	1.506E-02	0.1206	0.0005	88.46	1.519E+00	5.272E-02
14463.017	1.475E-02	0.1210	0.0004	88.79	1.517E+00	5.158E-02
14752.863	1.446E-02	0.1214	0.0004	89.09	1.505E+00	5.018E-02
15044.608	1.418E-02	0.1218	0.0004	89.41	1.496E+00	4.890E-02
15338.646	1.391E-02	0.1223	0.0004	89.72	1.486E+00	4.765E-02
15629.090	1.365E-02	0.1226	0.0004	90.00	1.485E+00	4.676E-02
15915.446	1.340E-02	0.1230	0.0004	90.27	1.508E+00	4.667E-02
16203.446	1.317E-02	0.1234	0.0004	90.53	1.525E+00	4.642E-02
16494.143	1.293E-02	0.1237	0.0003	90.76	1.563E+00	4.682E-02
16787.283	1.271E-02	0.1240	0.0003	90.99	1.605E+00	4.735E-02
17082.768	1.249E-02	0.1243	0.0003	91.24	1.659E+00	4.824E-02
17380.449	1.227E-02	0.1247	0.0004	91.51	1.728E+00	4.944E-02
17680.324	1.207E-02	0.1251	0.0004	91.77	1.783E+00	5.018E-02
17982.049	1.186E-02	0.1254	0.0004	92.05	1.869E+00	5.174E-02
18286.064	1.167E-02	0.1258	0.0004	92.35	1.964E+00	5.341E-02
18592.129	1.147E-02	0.1263	0.0004	92.67	2.071E+00	5.544E-02
18900.238	1.129E-02	0.1267	0.0004	92.98	2.174E+00	5.767E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 32/33

Sample ID GP30@31days File Name S650904H\_Merged  
 Sample Weight 1.0848 grams Bulk Sample Volume 0.5881 cc  
 Sample Description TISTR  
 Comments 9/5/49  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
19210.195	1.110E-02	0.1271	0.0004	93.27	2.242E+00	5.784E-02
19522.496	1.093E-02	0.1275	0.0004	93.59	2.336E+00	5.924E-02
19836.990	1.075E-02	0.1280	0.0004	93.89	2.398E+00	5.978E-02
20153.033	1.059E-02	0.1284	0.0004	94.21	2.426E+00	5.943E-02
20471.023	1.042E-02	0.1288	0.0004	94.52	2.411E+00	5.806E-02
20790.559	1.026E-02	0.1292	0.0004	94.80	2.404E+00	5.693E-02
21111.938	1.010E-02	0.1296	0.0004	95.11	2.427E+00	5.655E-02
21435.467	9.952E-03	0.1300	0.0004	95.40	2.377E+00	5.446E-02
21760.891	9.803E-03	0.1303	0.0003	95.65	2.334E+00	5.261E-02
22087.611	9.658E-03	0.1306	0.0003	95.86	2.311E+00	5.135E-02
22415.877	9.517E-03	0.1309	0.0003	96.08	2.254E+00	4.937E-02
22745.893	9.378E-03	0.1313	0.0003	96.32	2.236E+00	4.830E-02
23077.053	9.244E-03	0.1315	0.0002	96.50	2.189E+00	4.669E-02
23409.162	9.113E-03	0.1318	0.0002	96.68	2.159E+00	4.547E-02
23739.525	8.986E-03	0.1320	0.0003	96.90	2.153E+00	4.475E-02
24070.887	8.862E-03	0.1323	0.0002	97.08	2.180E+00	4.470E-02
24403.945	8.741E-03	0.1326	0.0003	97.28	2.185E+00	4.420E-02
24738.549	8.623E-03	0.1328	0.0003	97.48	2.161E+00	4.314E-02
25074.150	8.508E-03	0.1331	0.0003	97.67	2.202E+00	4.332E-02
25409.904	8.395E-03	0.1334	0.0003	97.86	2.259E+00	4.384E-02
25746.451	8.285E-03	0.1336	0.0003	98.05	2.235E+00	4.279E-02
26084.299	8.178E-03	0.1338	0.0002	98.22	2.272E+00	4.291E-02
26421.148	8.074E-03	0.1341	0.0002	98.38	2.267E+00	4.228E-02
26758.346	7.972E-03	0.1343	0.0002	98.55	2.240E+00	4.121E-02
27094.695	7.873E-03	0.1345	0.0002	98.73	2.205E+00	4.003E-02
27435.189	7.775E-03	0.1347	0.0002	98.87	2.203E+00	3.952E-02
27777.180	7.680E-03	0.1350	0.0002	99.04	2.310E+00	4.110E-02
28119.867	7.586E-03	0.1352	0.0002	99.19	2.364E+00	4.157E-02
28459.965	7.496E-03	0.1353	0.0002	99.32	2.421E+00	4.182E-02
28800.264	7.407E-03	0.1355	0.0002	99.44	2.467E+00	4.187E-02
29138.926	7.321E-03	0.1357	0.0002	99.59	2.482E+00	4.143E-02
29486.025	7.235E-03	0.1360	0.0003	99.82	2.567E+00	4.211E-02
29839.490	7.149E-03	0.1363	0.0002	100.00	2.610E+00	4.240E-02

๖๖.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

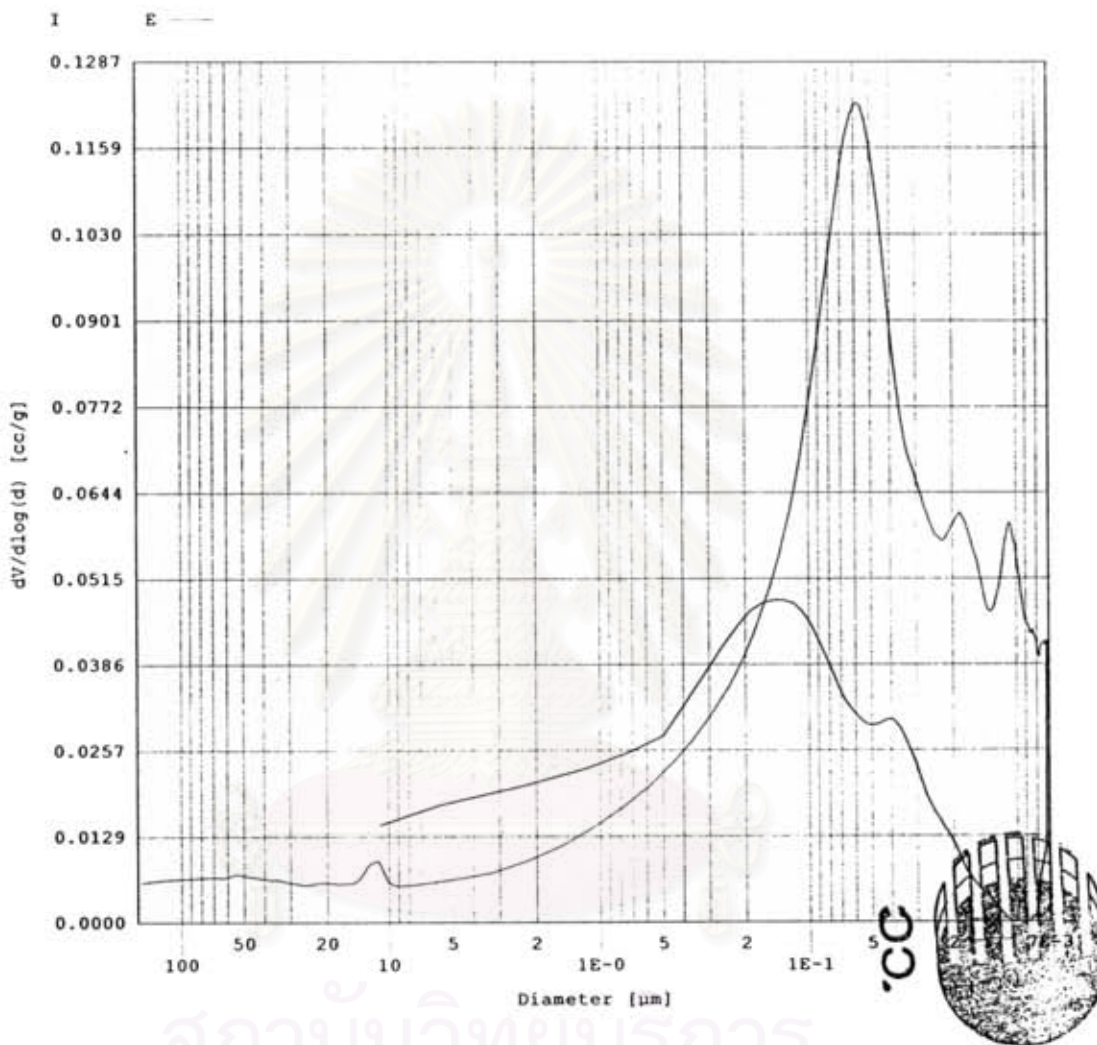
Report date: 05/18/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

หน้า 33/33

Sample ID	GP30@31days	File Name	S650904H_Merged
Sample Weight	1.0848 grams	Bulk Sample Volume	0.5881 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	9/5/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

-dV/dlogD vs. Pore Size



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Request No. 89/49

MATERIALS TECHNOLOGY DEPARTMENT  
(MTD)

Lab No. 84/49

Date June 20, 2006

Page 1 of 17

REPORT ON TESTING AND ANALYSIS

FOR

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Testing/analysis of :- GPO @60days and GP20 @60days  
 Method of testing/analysis :- Mercury Porosimetry Analyzer Model: PoreMaster  
 Result of testing/analysis :-

The results of pore size and porosity of the samples are shown in the table below. The details are shown on pages 2-17

Sample	Pore Diameter: Mode ( $\mu\text{m}$ )	Total Porosity (%)	Remark
GPO @60days	0.048	16.66	Pages 2-9
GP20 @60days	0.040	25.01	Pages 10-17

Tested/analysed by

Approved by

*Panida Thaveethavorn*  
 (Ms.Panida Thaveethavorn)

*Chulima Eamchotchawalit*  
 (Chulima Eamchotchawalit, Ph.D.)  
 Acting Director  
 Materials Technology Department

Examined by

*Siriporn Larpkiattaworn*  
 (Siriporn Larpkiattaworn, Ph.D.)

TISTR

FM-MTD-GEN 02-02 Rev. 0

Remark : The above results are valid exclusively for tested/analysis sample as mentioned in the report  
 Publicity of the results on testing and analysis is prohibited unless written permission is obtained from the governor of TISTR

Report date: 06/19/2006

**Quantachrome Instruments**  
**Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report**  
**Version 4.03**

Page 2 of 17

<b>Sample ID</b>	GP0#60Days	<b>File Name</b>	S660701H Merged
<b>Sample Weight</b>	1.0040 grams	<b>Bulk Sample Volume</b>	0.4874 cc
<b>Sample Description</b>	TISTR		
<b>Comments</b>	7/06/49		
<b>Hg Surface Tension</b>	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	<b>Hg Contact Angle</b>	(I)140.00°, (E)140.00°
<b>Minimum Delta Vol.</b>	0.000 % FS	<b>Moving Point Avg.</b>	11 (Scan Mode)
<b>Operator</b>	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

Standard Report

Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	.....	13.5335 [g/cc]	Empty Cell Weight	.....	33.2454 [g]
Cell+Hg Weight	.....	77.2195 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	.....	71.6279 [g]
Temperature	.....	25.00 [°C]			

High Pressure

Data File Name	.....	S660701H.PRM
Analysis Date	....	06/07/2006
# of repeat cycles	....	0
Penetrometer Constant	..	1327 [mV/cc]
Auto-Oil Fill Time	....	5 [sec]
Run Mode	.....	Fixed Speed
Motor Speed	.....	20

Low Pressure

Data File Name	.....	S6607011.PRM
Analysis Date	....	06/07/2006
# of repeat cycles	....	0
Penetrometer Constant	..	1461 [mV/cc]
Evacuation Rate	.....	5
Fine Evac. Until	.....	1.0000 [min.]
Coarse Evac. Until	....	20.0000 [min Hg]
Coarse Evac. Until	....	5.0000 [min.]

297 Points Acquired    171 Pts in Intrusion Range    126 Pts in Extrusion Range



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Report date: 06/19/2006

**Quantachrome Instruments**  
**Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report**  
**Version 4.03**

Page 3 of 17

<b>Sample ID</b>	GP0#60Days	<b>File Name</b>	S660701H Merged
<b>Sample Weight</b>	1.0040 grams	<b>Bulk Sample Volume</b>	0.4874 cc
<b>Sample Description</b>	TISTR		
<b>Comments</b>	7/06/49		
<b>Hg Surface Tension</b>	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	<b>Hg Contact Angle</b>	(I)140.00°, (E)140.00°
<b>Minimum Delta Vol.</b>	0.000 % FS	<b>Moving Point Avg.</b>	11 (Scan Mode)
<b>Operator</b>	Panida		Mercury volume normalized by sample weight.

Standard Report

293 Points Used      170 Intrusion Pts Used      123 Extrusion Pts Used

Intrusion Statistics

Pressure Range : 1.365 PSIA to 30049.701 PSIA  
 Pore Diameter Range : 156.318695 µm to 0.007099 µm

Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/d(log D))	Median
Volume	5.842E-02 cc/g at a diameter of 3.239E-02 µm	1.052E+03 cc/(µm-g) at a diameter of 4.779E-02 µm	4.045E-02 cc/g at a diameter of 5.012E-02 µm
Surface Area	3.368E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 3.239E-02 µm	1.556E-01 m <sup>2</sup> /(µm-g) at a diameter of 7.099E-03 µm	4.995E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 1.741E-02 µm
Pore Number Fraction	5.344E-03 at a diameter of 7.099E-03 µm	1.113E-01 at a diameter of 7.099E-03 µm	5.119E-01 at a diameter of 9.675E-03 µm

Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume	0.0809 cc/g	Bulk (Particle) Density	2.999 g/cc
Total Surface Area	9.995 m <sup>2</sup> /g	Apparent Density	2.999 g/cc



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 06/19/2006

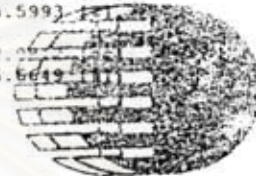
Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 4 of 17

Sample ID	GP0860Days	File Name	S660701H Merged
Sample Weight	1.0040 grams	Bulk Sample Volume	0.4874 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	7/06/49		
Hg Surface Tension	400.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 cc	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	vanida	Mercury volume calculations by sample weight	

## Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.4874 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [psia]
Interparticle filling porosity limit =	4266.4439 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.3062 [cc]
Total interparticle porosity =	1.0656 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.0760 [cc]
Total intraparticle porosity =	15.5993 [%]
Total intruded volume =	0.3822 [cc]
Total porosity =	16.6649 [%]



TISTR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 5 of 17

Sample ID CP0060Days File Name S660701H\_Merged  
 Sample Weight 1.0040 grams Bulk Sample Volume 0.4874 cc  
 Sample Description TISTR  
 Comments 7/06/49  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.365	1.563E+02	0.0000	0.0000	0.00	5.311E-06	3.089E-03
1.587	1.344E+02	0.0001	0.0001	0.15	6.175E-06	3.354E-03
1.988	1.073E+02	0.0006	0.0004	0.69	8.948E-06	3.593E-03
2.456	8.687E+01	0.0009	0.0004	1.15	1.352E-05	3.771E-03
2.950	7.231E+01	0.0013	0.0003	1.58	1.944E-05	3.893E-03
3.458	6.169E+01	0.0015	0.0003	1.90	2.664E-05	4.037E-03
3.930	5.428E+01	0.0018	0.0003	2.24	3.733E-05	4.470E-03
4.433	4.812E+01	0.0021	0.0003	2.58	4.592E-05	4.712E-03
4.959	4.302E+01	0.0023	0.0003	2.90	5.009E-05	4.702E-03
5.488	3.887E+01	0.0026	0.0002	3.17	5.523E-05	4.697E-03
6.021	3.543E+01	0.0028	0.0002	3.44	6.053E-05	4.714E-03
6.555	3.254E+01	0.0030	0.0002	3.66	6.711E-05	4.756E-03
7.091	3.008E+01	0.0031	0.0002	3.85	7.118E-05	4.669E-03
7.605	2.805E+01	0.0032	0.0001	4.01	7.425E-05	4.571E-03
8.096	2.635E+01	0.0034	0.0001	4.15	7.635E-05	4.444E-03
8.564	2.491E+01	0.0035	0.0001	4.28	7.641E-05	4.196E-03
9.034	2.361E+01	0.0036	0.0001	4.41	7.464E-05	3.913E-03
9.505	2.244E+01	0.0037	0.0001	4.51	7.412E-05	3.703E-03
9.977	2.138E+01	0.0037	0.0001	4.62	7.483E-05	3.581E-03
10.453	2.041E+01	0.0038	0.0001	4.72	7.567E-05	3.472E-03
10.931	1.952E+01	0.0039	0.0000	4.77	7.600E-05	3.330E-03
11.411	1.869E+01	0.0039	0.0000	4.83	7.462E-05	3.145E-03
11.893	1.794E+01	0.0039	0.0000	4.88	7.350E-05	2.990E-03
12.376	1.724E+01	0.0040	0.0001	4.95	7.165E-05	2.808E-03
12.886	1.655E+01	0.0041	0.0001	5.02	6.892E-05	2.616E-03
13.422	1.589E+01	0.0041	0.0000	5.07	6.710E-05	2.464E-03
13.984	1.525E+01	0.0041	0.0000	5.13	7.159E-05	2.524E-03
14.546	1.466E+01	0.0042	0.0000	5.18	7.629E-05	2.584E-03
15.113	1.412E+01	0.0042	0.0000	5.22	8.107E-05	2.645E-03
15.681	1.360E+01	0.0043	0.0000	5.26	8.172E-05	2.576E-03
16.252	1.313E+01	0.0043	0.0000	5.30	8.240E-05	2.518E-03
16.825	1.268E+01	0.0043	0.0000	5.36	8.555E-05	2.526E-03
17.398	1.226E+01	0.0044	0.0000	5.41	8.901E-05	2.543E-03
17.972	1.187E+01	0.0044	0.0000	5.47	9.271E-05	2.569E-03
18.547	1.150E+01	0.0045	0.0000	5.51	1.026E-04	2.763E-03
19.120	1.116E+01	0.0045	0.0000	5.55	1.142E-04	2.988E-03
19.694	1.083E+01	0.0045	0.0000	5.59	1.232E-04	3.119E-03
20.266	1.053E+01	0.0046	0.0000	5.63	1.210E-04	2.952E-03
20.813	1.025E+01	0.0046	0.0000	5.67	1.172E-04	2.765E-03
21.330	1.000E+01	0.0046	0.0000	5.73	1.138E-04	2.620E-03
21.812	9.780E+00	0.0047	0.0000	5.78	1.109E-04	2.490E-03
22.440	9.506E+00	0.0047	0.0000	5.83	1.076E-04	2.349E-03
23.514	9.072E+00	0.0047	0.0000	5.86	1.072E-04	2.236E-03
24.785	8.607E+00	0.0048	0.0000	5.89	1.077E-04	2.103E-03
26.404	8.079E+00	0.0048	0.0000	5.94	1.090E-04	2.198E-03

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

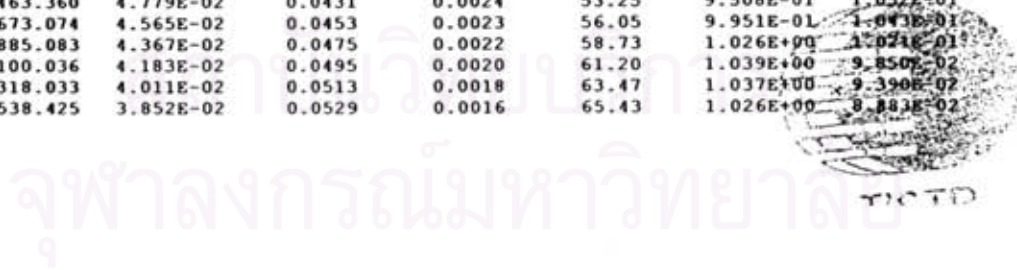
Page 6 of 17

Sample ID GP060Days File Name S660701H Merged  
Sample Weight 1.0040 grams Bulk Sample Volume 0.4874 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 7/06/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
28.370	7.519E+00	0.0048	0.0000	5.98	1.016E-04	1.724E-03
30.584	6.975E+00	0.0049	0.0000	6.02	9.010E-05	1.483E-03
33.396	6.388E+00	0.0049	0.0001	6.08	8.227E-05	1.337E-03
36.857	5.788E+00	0.0050	0.0001	6.14	9.606E-05	1.433E-03
40.840	5.223E+00	0.0050	0.0001	6.23	1.136E-04	1.521E-03
45.697	4.668E+00	0.0051	0.0001	6.30	1.273E-04	1.551E-03
51.634	4.131E+00	0.0052	0.0001	6.43	1.535E-04	1.650E-03
59.418	3.590E+00	0.0053	0.0001	6.58	1.917E-04	1.787E-03
69.048	3.089E+00	0.0055	0.0001	6.75	2.360E-04	1.900E-03
81.572	2.615E+00	0.0056	0.0001	6.92	3.057E-04	2.117E-03
98.287	2.170E+00	0.0057	0.0001	7.11	3.962E-04	2.349E-03
121.190	1.760E+00	0.0059	0.0002	7.34	5.589E-04	2.715E-03
153.223	1.392E+00	0.0062	0.0002	7.65	7.857E-04	3.102E-03
196.782	1.084E+00	0.0065	0.0003	8.00	1.153E-03	3.608E-03
252.916	8.435E-01	0.0069	0.0004	8.48	1.719E-03	4.262E-03
322.920	6.606E-01	0.0073	0.0004	9.02	2.637E-03	5.115E-03
407.145	5.239E-01	0.0078	0.0005	9.68	4.087E-03	6.213E-03
506.189	4.214E-01	0.0084	0.0006	10.39	6.212E-03	7.476E-03
619.204	3.445E-01	0.0091	0.0007	11.21	9.206E-03	8.903E-03
746.639	2.857E-01	0.0098	0.0008	12.15	1.352E-02	1.057E-02
887.496	2.404E-01	0.0107	0.0008	13.20	1.910E-02	1.233E-02
1040.079	2.051E-01	0.0116	0.0010	14.38	2.660E-02	1.437E-02
1202.890	1.773E-01	0.0126	0.0010	15.63	3.643E-02	1.686E-02
1374.084	1.552E-01	0.0137	0.0010	16.93	4.924E-02	1.974E-02
1550.767	1.376E-01	0.0148	0.0011	18.29	6.550E-02	2.310E-02
1732.090	1.232E-01	0.0159	0.0011	19.64	8.539E-02	2.682E-02
1916.506	1.113E-01	0.0171	0.0012	21.09	1.100E-01	3.111E-02
2103.468	1.014E-01	0.0184	0.0013	22.72	1.394E-01	3.588E-02
2291.726	9.308E-02	0.0198	0.0014	24.46	1.759E-01	4.150E-02
2481.631	8.596E-02	0.0213	0.0015	26.36	2.207E-01	4.797E-02
2672.884	7.981E-02	0.0229	0.0016	28.36	2.737E-01	5.498E-02
2865.233	7.445E-02	0.0247	0.0018	30.55	3.364E-01	6.257E-02
3059.479	6.972E-02	0.0266	0.0019	32.88	4.072E-01	7.030E-02
3255.472	6.553E-02	0.0287	0.0021	35.48	4.823E-01	7.750E-02
3452.312	6.179E-02	0.0310	0.0023	38.29	5.638E-01	8.463E-02
3650.600	5.843E-02	0.0334	0.0024	41.23	6.468E-01	9.092E-02
3850.185	5.541E-02	0.0358	0.0025	44.27	7.319E-01	9.659E-02
4052.115	5.264E-02	0.0383	0.0025	47.33	8.130E-01	1.010E-01
4256.340	5.012E-02	0.0407	0.0024	50.29	8.889E-01	1.041E-01
4463.360	4.779E-02	0.0431	0.0024	53.25	9.508E-01	1.052E-01
4673.074	4.565E-02	0.0453	0.0023	56.05	9.951E-01	1.043E-01
4885.083	4.367E-02	0.0475	0.0022	58.73	1.026E+00	1.024E-01
5100.036	4.183E-02	0.0495	0.0020	61.20	1.039E+00	9.850E-02
5318.033	4.011E-02	0.0513	0.0018	63.47	1.037E+00	9.390E-02
5538.425	3.852E-02	0.0529	0.0016	65.43	1.026E+00	8.883E-02



Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 7 of 17

Sample ID GP0#60Days File Name S660701H\_Merged  
 Sample Weight 1.0040 grams Bulk Sample Volume 0.4874 cc  
 Sample Description TISTR  
 Comments 7/06/49  
 Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
 Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
 Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
5761.211	3.703E-02	0.0543	0.0014	67.11	9.956E-01	8.258E-02
5985.994	3.564E-02	0.0555	0.0012	68.63	9.570E-01	7.623E-02
6213.420	3.433E-02	0.0566	0.0011	69.96	9.099E-01	6.984E-02
6442.394	3.311E-02	0.0576	0.0010	71.15	8.605E-01	6.379E-02
6673.714	3.196E-02	0.0584	0.0009	72.21	8.063E-01	5.780E-02
6907.228	3.088E-02	0.0591	0.0007	73.09	7.583E-01	5.264E-02
7142.789	2.987E-02	0.0598	0.0006	73.88	7.201E-01	4.844E-02
7380.244	2.890E-02	0.0604	0.0006	74.62	6.810E-01	4.444E-02
7619.696	2.800E-02	0.0609	0.0006	75.31	6.493E-01	4.116E-02
7860.595	2.714E-02	0.0614	0.0005	75.89	6.211E-01	3.830E-02
8103.690	2.632E-02	0.0618	0.0004	76.43	5.973E-01	3.588E-02
8349.030	2.555E-02	0.0623	0.0004	76.96	5.865E-01	3.429E-02
8596.664	2.481E-02	0.0626	0.0004	77.43	5.797E-01	3.300E-02
8845.846	2.412E-02	0.0630	0.0004	77.90	5.725E-01	3.175E-02
9097.074	2.345E-02	0.0634	0.0004	78.35	5.731E-01	3.105E-02
9349.550	2.282E-02	0.0637	0.0003	78.78	5.877E-01	3.108E-02
9603.521	2.221E-02	0.0641	0.0003	79.21	6.079E-01	3.140E-02
9859.589	2.164E-02	0.0644	0.0003	79.63	6.284E-01	3.171E-02
10117.801	2.108E-02	0.0647	0.0003	80.03	6.593E-01	3.246E-02
10377.910	2.056E-02	0.0651	0.0004	80.47	6.876E-01	3.303E-02
10639.416	2.005E-02	0.0655	0.0004	80.94	7.224E-01	3.385E-02
10902.371	1.957E-02	0.0659	0.0004	81.42	7.564E-01	3.456E-02
11166.520	1.910E-02	0.0663	0.0004	81.89	7.862E-01	3.502E-02
11432.168	1.866E-02	0.0666	0.0004	82.37	8.192E-01	3.558E-02
11699.463	1.823E-02	0.0670	0.0004	82.83	8.560E-01	3.625E-02
11974.440	1.781E-02	0.0674	0.0004	83.31	8.714E-01	3.595E-02
12251.115	1.741E-02	0.0678	0.0004	83.77	8.881E-01	3.578E-02
12535.772	1.702E-02	0.0681	0.0003	84.20	8.963E-01	3.526E-02
12828.115	1.663E-02	0.0685	0.0004	84.65	9.039E-01	3.472E-02
13128.241	1.625E-02	0.0688	0.0004	85.09	9.078E-01	3.407E-02
13430.015	1.588E-02	0.0691	0.0003	85.45	9.155E-01	3.358E-02
13740.270	1.553E-02	0.0695	0.0003	85.86	9.102E-01	3.263E-02
14059.406	1.517E-02	0.0698	0.0003	86.24	9.137E-01	3.204E-02
14380.887	1.483E-02	0.0701	0.0003	86.61	9.283E-01	3.185E-02
14704.563	1.451E-02	0.0704	0.0003	86.98	9.340E-01	3.136E-02
15030.437	1.419E-02	0.0707	0.0003	87.35	9.385E-01	3.086E-02
15352.716	1.389E-02	0.0709	0.0003	87.67	9.635E-01	3.098E-02
15677.541	1.361E-02	0.0712	0.0003	88.02	9.686E-01	3.049E-02
15998.024	1.333E-02	0.0715	0.0003	88.38	9.753E-01	3.005E-02
16314.616	1.308E-02	0.0718	0.0003	88.70	9.869E-01	2.979E-02
16627.217	1.283E-02	0.0720	0.0002	89.01	9.931E-01	2.940E-02
16942.111	1.259E-02	0.0723	0.0002	89.32	9.901E-01	2.875E-02
17252.666	1.236E-02	0.0725	0.0002	89.59	1.014E+00	2.892E-02
17558.629	1.215E-02	0.0727	0.0002	89.83	1.013E+00	2.838E-02
17867.137	1.194E-02	0.0729	0.0002	90.09	1.004E+00	2.767E-02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 8 of 17

Sample ID	GP0860Days	File Name	S660701H_Merged
Sample Weight	1.0040 grams	Bulk Sample Volume	0.4874 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	7/06/49		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 % FS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Panida	Mercury volume normalized by sample weight.	

## Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
18177.441	1.174E-02	0.0731	0.0002	90.34	1.017E+00	2.758E-02
18489.393	1.154E-02	0.0733	0.0002	90.56	1.027E+00	2.742E-02
18803.342	1.134E-02	0.0735	0.0002	90.84	1.036E+00	2.725E-02
19119.332	1.116E-02	0.0737	0.0002	91.06	1.061E+00	2.748E-02
19437.471	1.097E-02	0.0738	0.0002	91.28	1.105E+00	2.817E-02
19757.154	1.080E-02	0.0741	0.0002	91.54	1.140E+00	2.862E-02
20078.986	1.062E-02	0.0743	0.0002	91.79	1.181E+00	2.919E-02
20402.414	1.046E-02	0.0745	0.0002	92.03	1.250E+00	3.042E-02
20728.484	1.029E-02	0.0747	0.0002	92.29	1.288E+00	3.088E-02
21055.955	1.013E-02	0.0749	0.0002	92.58	1.351E+00	3.186E-02
21384.920	9.975E-03	0.0751	0.0002	92.85	1.422E+00	3.299E-02
21715.783	9.823E-03	0.0753	0.0002	93.12	1.459E+00	3.331E-02
22048.492	9.675E-03	0.0756	0.0002	93.43	1.510E+00	3.392E-02
22382.748	9.531E-03	0.0758	0.0002	93.71	1.576E+00	3.486E-02
22717.801	9.390E-03	0.0760	0.0002	94.00	1.625E+00	3.538E-02
23054.551	9.253E-03	0.0763	0.0002	94.29	1.661E+00	3.564E-02
23392.898	9.119E-03	0.0765	0.0002	94.55	1.705E+00	3.603E-02
23731.793	8.989E-03	0.0767	0.0002	94.82	1.763E+00	3.672E-02
24069.389	8.863E-03	0.0770	0.0002	95.12	1.794E+00	3.685E-02
24408.037	8.740E-03	0.0772	0.0002	95.39	1.839E+00	3.726E-02
24748.477	8.620E-03	0.0774	0.0002	95.66	1.884E+00	3.766E-02
25090.018	8.502E-03	0.0776	0.0002	95.94	1.919E+00	3.776E-02
25433.252	8.388E-03	0.0779	0.0002	96.23	1.984E+00	3.850E-02
25778.137	8.275E-03	0.0781	0.0002	96.52	2.039E+00	3.911E-02
26124.314	8.166E-03	0.0783	0.0002	96.80	2.083E+00	3.944E-02
26472.332	8.058E-03	0.0785	0.0002	97.08	2.145E+00	4.008E-02
26822.461	7.951E-03	0.0788	0.0002	97.36	2.213E+00	4.089E-02
27173.832	7.850E-03	0.0790	0.0002	97.65	2.250E+00	4.091E-02
27527.139	7.750E-03	0.0792	0.0002	97.94	2.291E+00	4.113E-02
27882.352	7.650E-03	0.0795	0.0002	98.23	2.338E+00	4.160E-02
28244.158	7.553E-03	0.0797	0.0002	98.53	2.414E+00	4.243E-02
28602.466	7.458E-03	0.0800	0.0002	98.84	2.497E+00	4.326E-02
28962.254	7.365E-03	0.0802	0.0002	99.09	2.574E+00	4.399E-02
29324.730	7.274E-03	0.0804	0.0002	99.37	2.629E+00	4.355E-02
29687.870	7.186E-03	0.0806	0.0002	99.68	2.700E+00	4.397E-02
30049.701	7.100E-03	0.0808	0.0002	100.00	2.782E+00	4.480E-02

TISTR

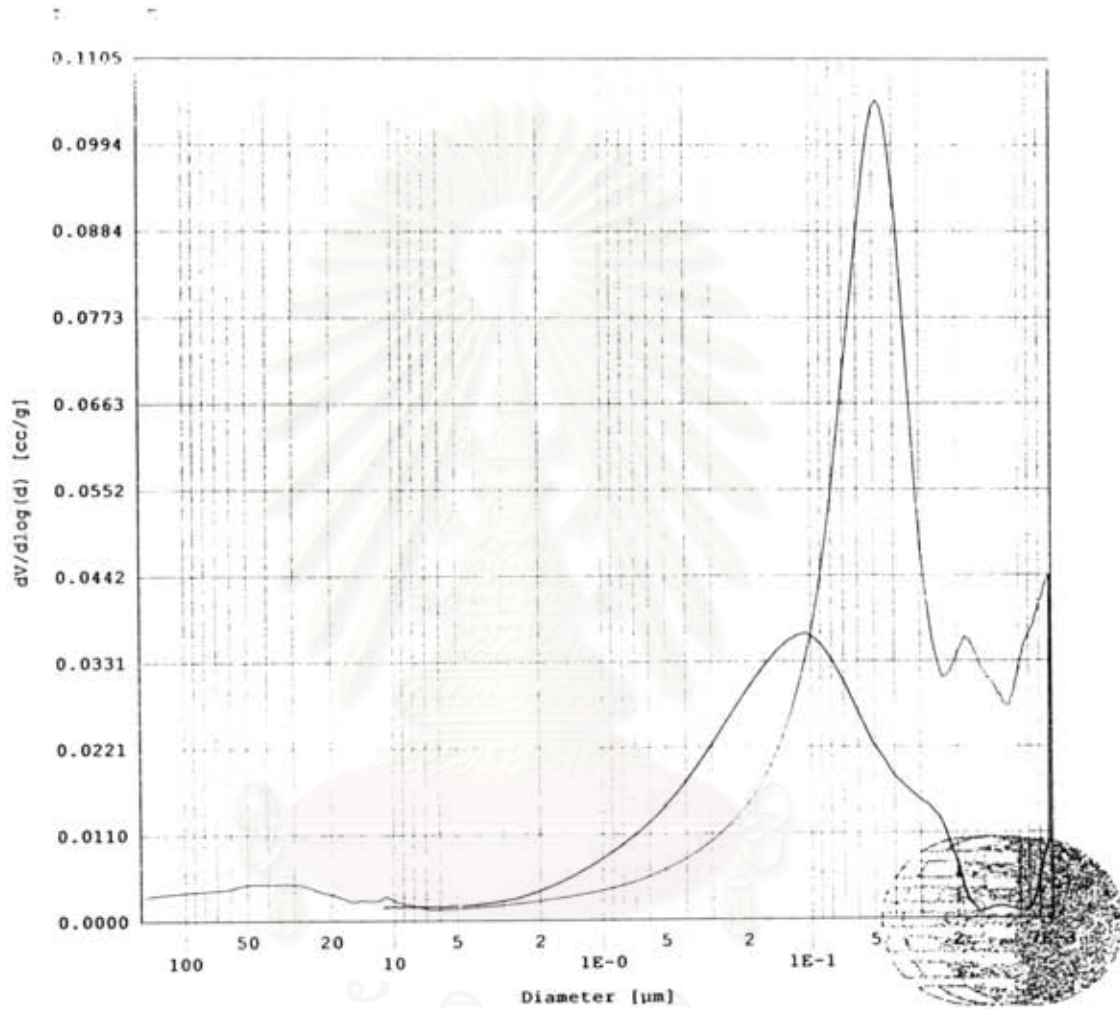
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 9 of 17

Sample ID	GP0860Days	File Name	GP0860 merged
Sample Weight	1.0040 grams	Bulk Sample Volume	0.0000
Sample Description	TISTR		
Comments	7/06/49		
Hg Surface Tension	480.00 dynes/cm	Hg Contact Angle	135.00 deg
Minimum Delta Vol.	0.0000 cc	Moving Point Avg.	0.0000
Operator	7/06/49		



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TISTR

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 10 of 17

Sample ID	GP70260Days	File Name	S660702H Merged
Sample Weight	2.1220 grams	Bulk Sample Volume	0.6339 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	7/06/13		
Hg Surface Tension	480.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°
Minimum Delta Vol.	0.000 cc	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Parisa	Mercury volume normalized by sample weight.	

Standard Report

Data Acquisition Parameters

Density of Mercury	13.5336 [g/cc]	Empty Cell Weight	32.2628 [g]
Cell+Hg Weight	77.3600 [g]	Cell+Hg+Sample Weight	70.9332 [g]
Temperature	25.00 [°C]		

High Pressure

Data File Name ..... S660702H.PRM  
 Analysis Date .... 06/07/2006  
 # of report cycles .... 0  
 Penetrometer Constant . 1327 [mV/cc]  
 Auto-Oil Fill Time .... 5 [sec]  
 Run Mode ..... Fixed Speed  
 Motor Speed ..... 20

Low Pressure

Data File Name ..... S6607012.PRM  
 Analysis Date .... 06/07/2006  
 # of report cycles .... 0  
 Penetrometer Constant . 1481 [mV/cc]  
 Evacuation Rate ..... 2  
 Fine Evac. Until ..... 1.0000 [min.]  
 Coarse Evac. Until .... 20.0000 [min.]  
 Coarse Evac. Until .... 5.0000 [min.]

325 Points Acquired 186 Pts in Intrusion Range 139 Pts in Extrusion Range



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GP20860Days	File Name	S660702H Merged	Page 11 of 17
Sample Weight	2.1220 grams	Bulk Sample Volume	0.6339 cc	
Sample Description	TISTR			
Comments	7/06/49			
Hg Surface Tension	490.00 erg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	(I)140.00°, (E)140.00°	
Minimum Delta Vol.	0.000 % DS	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)	
Operator	Janida	Mercury volume normalized by sample weight.		

## Standard Report

303 Points Used      174 Intrusion Pts Used      129 Extrusion Pts Used

## Intrusion Statistics

Pressure Range : 1.365 PSIA to 29913.586 PSIA  
Pore Diameter Range : 156.318695 µm to 0.007131 µm

## Pore Diameter Statistics Summary

	Mean	Mode (df/dilog D)	Median
Volume	4.995E-02 cc/g at a diameter of 4.169E-03 µm	16.204E+02 cc/(µm-g) at a diameter of 4.017E-02 µm	3.826E-02 cc/g at a diameter of 7.527E-03 µm
Surface Area	1.108E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 4.169E-03 µm	11.100E-01 m <sup>2</sup> /(µm-g) at a diameter of 7.131E-03 µm	3.671E+00 m <sup>2</sup> /g at a diameter of 1.406E-03 µm
Pore Number Fraction	5.144E-03 at a diameter of 7.131E-03 µm	7.977E-02 at a diameter of 7.131E-03 µm	5.080E-01 at a diameter of 1.007E-03 µm

## Mercury Porosimetry Data Summary

Total Intruded Volume	0.0766 cc/g	Bulk (Particle) Density
Total Surface Area	7.3419 m <sup>2</sup> /g	Apparent Density



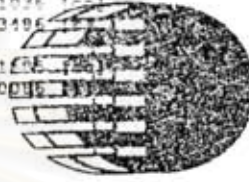
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Sample ID	GP208600days	File Name	5668782H Merged
Sample Weight	2.1220 grams	Bulk Sample Volume	0.6339 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	7/06/19		
Hg Surface Tension	480.00 dyg/cm <sup>2</sup>	Hg Contact Angle	11140.00°, (11140.00°)
Minimum Delta Vol.	0.000 ± 10	Moving Point Avg.	11 (Scan Mode)
Operator	Janida	Mercury volume normalized by sample weight.	

Porosity Summary

Sample (bulk) volume =	0.6339 [cc]
Interparticle filling pressure limit =	50.0000 [PSIA]
Interparticle filling porosity limit =	4266.4439 [nm]
Intruded volume (interparticle) =	0.0550 [cc]
Total interparticle porosity =	8.6600 [%]
Intruded volume (intraparticle) =	0.1026 [cc]
Total intraparticle porosity =	16.3495 [%]
Total intruded volume =	0.1576 [cc]
Total porosity =	25.0095 [%]



TISTR



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 13 of 17

Sample ID GP20860Days File Name S660702H\_Merged  
Sample Weight 2.1220 grams Bulk Sample Volume 0.6339 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 7/06/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm² Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
1.365	1.563E+02	0.0000	0.0000	0.00	5.796E-05	2.692E-02
1.587	1.344E+02	0.0057	0.0057	7.43	6.311E-05	2.724E-02
1.988	1.073E+02	0.0080	0.0023	10.42	8.433E-05	2.598E-02
2.456	8.687E+01	0.0097	0.0017	12.70	1.200E-04	2.504E-02
2.950	7.231E+01	0.0111	0.0014	14.49	1.645E-04	2.418E-02
3.458	6.169E+01	0.0121	0.0011	15.86	2.154E-04	2.341E-02
3.930	5.428E+01	0.0138	0.0016	17.98	2.919E-04	2.468E-02
4.433	4.812E+01	0.0147	0.0009	19.15	1.905E-04	1.813E-02
4.959	4.302E+01	0.0155	0.0009	20.27	1.941E-04	1.723E-02
5.488	3.887E+01	0.0162	0.0007	21.21	2.053E-04	1.669E-02
6.021	3.543E+01	0.0169	0.0006	22.04	2.201E-04	1.636E-02
6.555	3.254E+01	0.0174	0.0005	22.72	2.410E-04	1.642E-02
7.091	3.008E+01	0.0179	0.0005	23.37	2.291E-04	1.508E-02
7.605	2.805E+01	0.0183	0.0004	23.90	2.401E-04	1.489E-02
8.096	2.635E+01	0.0186	0.0004	24.37	2.491E-04	1.473E-02
8.564	2.491E+01	0.0190	0.0003	24.80	2.590E-04	1.467E-02
9.034	2.361E+01	0.0193	0.0004	25.28	2.690E-04	1.461E-02
9.505	2.244E+01	0.0197	0.0003	25.70	2.831E-04	1.467E-02
9.977	2.138E+01	0.0200	0.0003	26.11	2.973E-04	1.473E-02
10.453	2.041E+01	0.0203	0.0003	26.53	3.148E-04	1.490E-02
10.931	1.952E+01	0.0206	0.0003	26.93	3.348E-04	1.512E-02
11.411	1.869E+01	0.0209	0.0003	27.30	3.531E-04	1.526E-02
11.893	1.794E+01	0.0212	0.0003	27.64	3.582E-04	1.482E-02
12.376	1.724E+01	0.0214	0.0003	27.99	3.673E-04	1.455E-02
12.886	1.655E+01	0.0217	0.0003	28.34	3.808E-04	1.453E-02
13.422	1.589E+01	0.0220	0.0003	28.70	3.878E-04	1.420E-02
13.984	1.525E+01	0.0222	0.0003	29.05	3.975E-04	1.398E-02
14.546	1.466E+01	0.0224	0.0002	29.30	4.098E-04	1.384E-02
15.113	1.412E+01	0.0226	0.0002	29.54	4.226E-04	1.373E-02
15.681	1.360E+01	0.0228	0.0002	29.85	4.237E-04	1.322E-02
16.252	1.313E+01	0.0230	0.0002	30.10	4.212E-04	1.266E-02
16.825	1.268E+01	0.0232	0.0002	30.36	4.181E-04	1.215E-02
17.398	1.226E+01	0.0234	0.0002	30.62	4.079E-04	1.145E-02
17.972	1.187E+01	0.0236	0.0002	30.87	4.101E-04	1.108E-02
18.547	1.150E+01	0.0238	0.0001	31.04	4.064E-04	1.057E-02
19.120	1.116E+01	0.0239	0.0001	31.20	3.785E-04	9.526E-03
19.662	1.085E+01	0.0240	0.0001	31.35	3.576E-04	8.717E-03
20.402	1.046E+01	0.0241	0.0001	31.51	3.308E-04	7.790E-03
21.240	1.004E+01	0.0242	0.0001	31.67	3.047E-04	6.894E-03
22.272	9.578E+00	0.0244	0.0001	31.83	2.769E-04	5.965E-03
23.452	9.096E+00	0.0244	0.0001	31.93	2.670E-04	5.765E-03
24.823	8.592E+00	0.0245	0.0001	32.03	2.571E-04	5.565E-03
26.352	8.095E+00	0.0246	0.0001	32.14	2.472E-04	5.365E-03
28.072	7.599E+00	0.0247	0.0001	32.26	2.401E-04	5.205E-03
29.990	7.113E+00	0.0248	0.0001	32.40	2.360E-04	5.105E-03



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

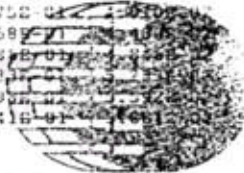
Page 14 of 17

Sample ID GP20@60Days File Name S660702H Merged  
Sample Weight 2.1220 grams Bulk Sample Volume 0.6339 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 7/06/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
32.106	6.644E+00	0.0249	0.0001	32.55	2.407E-04	3.862E-03
34.370	6.207E+00	0.0250	0.0001	32.72	2.660E-04	3.985E-03
36.915	5.779E+00	0.0252	0.0001	32.89	2.948E-04	4.124E-03
39.759	5.365E+00	0.0253	0.0001	33.07	3.292E-04	4.257E-03
43.052	4.955E+00	0.0255	0.0001	33.26	3.682E-04	4.396E-03
46.844	4.554E+00	0.0256	0.0002	33.48	4.135E-04	4.529E-03
50.986	4.184E+00	0.0258	0.0002	33.71	4.594E-04	4.603E-03
55.626	3.835E+00	0.0260	0.0002	33.95	5.049E-04	4.643E-03
61.314	3.479E+00	0.0262	0.0002	34.20	5.593E-04	4.672E-03
67.950	3.139E+00	0.0264	0.0002	34.49	6.268E-04	4.706E-03
75.934	2.809E+00	0.0266	0.0002	34.81	7.082E-04	4.730E-03
85.663	2.490E+00	0.0269	0.0003	35.14	7.981E-04	4.693E-03
97.688	2.184E+00	0.0272	0.0003	35.49	9.125E-04	4.669E-03
113.156	1.885E+00	0.0275	0.0003	35.88	1.053E-03	4.614E-03
132.466	1.610E+00	0.0278	0.0003	36.29	1.250E-03	4.616E-03
157.314	1.356E+00	0.0281	0.0003	36.73	1.487E-03	4.585E-03
189.697	1.125E+00	0.0285	0.0003	37.18	1.795E-03	4.565E-03
231.660	9.208E-01	0.0288	0.0004	37.67	2.238E-03	4.628E-03
284.799	7.490E-01	0.0292	0.0004	38.17	2.832E-03	4.736E-03
349.864	6.097E-01	0.0296	0.0004	38.71	3.629E-03	4.970E-03
428.201	4.982E-01	0.0300	0.0004	39.24	4.623E-03	5.248E-03
519.861	4.103E-01	0.0304	0.0004	39.78	5.892E-03	5.613E-03
625.541	3.410E-01	0.0309	0.0004	40.35	7.558E-03	6.072E-03
745.042	2.863E-01	0.0313	0.0004	40.94	9.641E-03	6.607E-03
877.816	2.430E-01	0.0318	0.0005	41.61	1.237E-02	7.270E-03
1022.815	2.086E-01	0.0324	0.0005	42.28	1.570E-02	7.980E-03
1178.890	1.810E-01	0.0329	0.0005	42.96	1.996E-02	8.810E-03
1344.146	1.587E-01	0.0334	0.0005	43.65	2.527E-02	9.770E-03
1515.789	1.407E-01	0.0339	0.0005	44.35	3.160E-02	1.083E-02
1693.819	1.259E-01	0.0345	0.0006	45.08	3.942E-02	1.210E-02
1876.839	1.137E-01	0.0351	0.0006	45.80	4.822E-02	1.341E-02
2063.750	1.034E-01	0.0356	0.0006	46.54	5.809E-02	1.501E-02
2253.805	9.465E-02	0.0362	0.0006	47.32	7.205E-02	1.681E-02
2445.406	8.723E-02	0.0368	0.0006	48.11	8.799E-02	1.898E-02
2639.303	8.083E-02	0.0375	0.0007	48.97	1.077E-01	2.160E-02
2833.998	7.527E-02	0.0381	0.0007	49.84	1.315E-01	2.463E-02
3031.039	7.038E-02	0.0389	0.0007	50.81	1.603E-01	2.810E-02
3229.825	6.605E-02	0.0397	0.0008	51.83	1.942E-01	3.188E-02
3429.909	6.219E-02	0.0405	0.0009	52.96	2.331E-01	3.588E-02
3632.488	5.873E-02	0.0415	0.0010	54.23	2.775E-01	4.010E-02
3836.064	5.561E-02	0.0426	0.0011	55.62	3.258E-01	4.460E-02
4041.088	5.279E-02	0.0437	0.0011	57.11	3.784E-01	4.930E-02
4247.359	5.022E-02	0.0449	0.0012	58.68	4.331E-01	5.430E-02
4455.277	4.788E-02	0.0461	0.0012	60.29	4.899E-01	5.950E-02
4665.689	4.572E-02	0.0474	0.0013	61.95	5.441E-01	6.500E-02



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poromaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

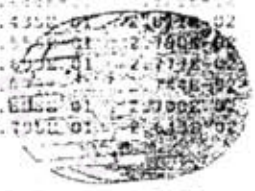
Page 15 of 17

Sample ID GP20860Days File Name S660702H\_Merged  
Sample Weight 2.1220 grams Bulk Sample Volume 0.6339 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 7/06/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm² Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 % FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Dv(d) [cc/(µm-g)]	-dV/d(log d) [cc/g]
4878.347	4.373E-02	0.0487	0.0013	63.63	5.927E-01	6.077E-02
5093.600	4.188E-02	0.0500	0.0013	65.28	6.343E-01	6.183E-02
5310.349	4.017E-02	0.0512	0.0012	66.88	6.682E-01	6.204E-02
5528.844	3.858E-02	0.0524	0.0012	68.43	6.950E-01	6.165E-02
5750.035	3.710E-02	0.0535	0.0011	69.88	7.151E-01	6.074E-02
5973.021	3.571E-02	0.0545	0.0010	71.19	7.271E-01	5.928E-02
6198.203	3.442E-02	0.0554	0.0009	72.37	7.297E-01	5.720E-02
6425.330	3.320E-02	0.0562	0.0008	73.45	7.255E-01	5.477E-02
6654.254	3.206E-02	0.0570	0.0008	74.47	7.155E-01	5.213E-02
6885.274	3.098E-02	0.0577	0.0007	75.42	7.009E-01	4.941E-02
7118.239	2.997E-02	0.0584	0.0007	76.32	6.872E-01	4.694E-02
7352.851	2.901E-02	0.0590	0.0006	77.12	6.763E-01	4.481E-02
7589.459	2.811E-02	0.0596	0.0006	77.85	6.682E-01	4.295E-02
7828.462	2.725E-02	0.0601	0.0005	78.53	6.622E-01	4.131E-02
8069.112	2.644E-02	0.0606	0.0005	79.18	6.550E-01	3.968E-02
8309.362	2.567E-02	0.0611	0.0005	79.81	6.447E-01	3.794E-02
8548.915	2.495E-02	0.0615	0.0005	80.41	6.325E-01	3.620E-02
8789.415	2.427E-02	0.0620	0.0004	80.98	6.252E-01	3.482E-02
9031.511	2.362E-02	0.0624	0.0004	81.52	6.207E-01	3.364E-02
9275.952	2.300E-02	0.0628	0.0004	82.02	6.187E-01	3.254E-02
9521.991	2.240E-02	0.0631	0.0003	82.47	6.130E-01	3.150E-02
9770.225	2.183E-02	0.0634	0.0003	82.88	6.059E-01	3.035E-02
10020.105	2.129E-02	0.0637	0.0003	83.28	5.980E-01	2.924E-02
10272.030	2.077E-02	0.0640	0.0003	83.67	5.921E-01	2.829E-02
10525.204	2.027E-02	0.0643	0.0003	84.04	5.872E-01	2.743E-02
10780.374	1.979E-02	0.0646	0.0003	84.40	5.836E-01	2.683E-02
11039.035	1.932E-02	0.0649	0.0003	84.74	5.817E-01	2.644E-02
11300.376	1.886E-02	0.0651	0.0003	85.08	5.810E-01	2.614E-02
11560.410	1.842E-02	0.0654	0.0003	85.43	5.802E-01	2.585E-02
11820.628	1.799E-02	0.0656	0.0003	85.77	5.807E-01	2.560E-02
12142.641	1.757E-02	0.0659	0.0003	86.12	5.835E-01	2.571E-02
12427.100	1.717E-02	0.0662	0.0003	86.50	5.874E-01	2.624E-02
12713.306	1.678E-02	0.0665	0.0003	86.85	5.911E-01	2.729E-02
13001.556	1.641E-02	0.0667	0.0003	87.21	7.262E-01	2.772E-02
13291.253	1.605E-02	0.0670	0.0003	87.56	7.496E-01	2.797E-02
13583.047	1.571E-02	0.0673	0.0003	87.90	7.736E-01	2.823E-02
13883.413	1.537E-02	0.0675	0.0003	88.26	7.957E-01	2.839E-02
14192.729	1.503E-02	0.0678	0.0003	88.63	8.098E-01	2.823E-02
14505.179	1.471E-02	0.0681	0.0003	88.99	8.267E-01	2.821E-02
14819.624	1.439E-02	0.0684	0.0003	89.34	8.435E-01	2.800E-02
15130.377	1.410E-02	0.0686	0.0003	89.67	8.554E-01	2.790E-02
15442.926	1.381E-02	0.0689	0.0003	89.98	8.671E-01	2.779E-02
15757.324	1.354E-02	0.0691	0.0003	90.30	8.787E-01	2.768E-02
16073.668	1.327E-02	0.0693	0.0002	90.61	8.898E-01	2.760E-02
16392.154	1.301E-02	0.0696	0.0002	90.91	8.995E-01	2.751E-02



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย TISTR

Report date: 06/19/2006

Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 16 of 17

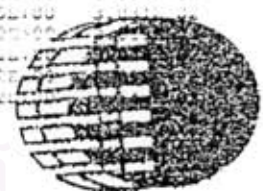
Sample ID GP20#60Days File Name S660702H Merged  
Sample Weight 2.1220 grams Bulk Sample Volume 0.6339 cc  
Sample Description TISTR  
Comments 7/06/49  
Hg Surface Tension 480.00 erg/cm<sup>2</sup> Hg Contact Angle (I)140.00°, (E)140.00°  
Minimum Delta Vol. 0.000 ± FS Moving Point Avg. 11 (Scan Mode)  
Operator Panida Mercury volume normalized by sample weight.

Pore Size Distribution By Volume - Intrusion

Printing every data point.

Pressure [PSI]	Pore Diameter [µm]	Volume Intruded [cc/g]	Delta Volume [cc/g]	% Volume Intruded %	Divide [cc/(µm-g)]	SW/Decay [cc/g]
16712.930	1.270E-02	0.0000	0.0000	01.20	0.000E+01	2.400E-02
17036.115	1.252E-02	0.0700	0.0002	91.48	8.864E-01	2.562E-02
17355.002	1.233E-02	0.0702	0.0002	91.75	0.075E-01	2.517E-02
17669.197	1.207E-02	0.0704	0.0002	91.99	8.942E-01	2.491E-02
17979.555	1.187E-02	0.0706	0.0002	92.20	0.083E-01	2.450E-02
18289.857	1.166E-02	0.0708	0.0002	92.46	8.992E-01	2.423E-02
18592.505	1.147E-02	0.0709	0.0002	92.69	0.081E-01	2.391E-02
18918.002	1.128E-02	0.0711	0.0002	92.91	9.086E-01	2.371E-02
19235.641	1.109E-02	0.0712	0.0002	93.13	0.109E-01	2.355E-02
19554.877	1.091E-02	0.0714	0.0002	93.35	9.322E-01	2.356E-02
19875.011	1.073E-02	0.0716	0.0002	93.56	0.549E-01	2.375E-02
20198.838	1.056E-02	0.0718	0.0002	93.77	9.729E-01	2.382E-02
20523.512	1.039E-02	0.0719	0.0002	93.99	0.086E-01	2.400E-02
20850.232	1.023E-02	0.0721	0.0002	94.20	1.027E+00	2.440E-02
21176.440	1.007E-02	0.0722	0.0002	94.42	1.050E+00	2.453E-02
21508.514	9.918E-03	0.0724	0.0002	94.64	1.085E+00	2.499E-02
21840.375	9.767E-03	0.0726	0.0002	94.85	1.110E+00	2.530E-02
22173.832	9.620E-03	0.0728	0.0002	95.08	1.150E+00	2.587E-02
22509.035	9.477E-03	0.0729	0.0002	95.31	1.190E-02	2.600E-02
22844.686	9.338E-03	0.0731	0.0002	95.52	1.238E+00	2.683E-02
23182.434	9.202E-03	0.0732	0.0002	95.75	1.290E+00	2.735E-02
23524.771	9.068E-03	0.0735	0.0002	95.98	1.309E+00	2.753E-02
23866.355	8.937E-03	0.0736	0.0002	96.22	1.347E+00	2.790E-02
24213.539	8.810E-03	0.0738	0.0002	96.45	1.373E+00	2.804E-02
24559.410	8.686E-03	0.0740	0.0002	96.69	1.398E+00	2.808E-02
24908.543	8.564E-03	0.0742	0.0002	96.93	1.445E+00	2.867E-02
25259.207	8.445E-03	0.0742	0.0002	97.15	1.464E-02	2.900E-02
25609.486	8.330E-03	0.0745	0.0002	97.37	1.480E+00	2.960E-02
25959.400	8.217E-03	0.0747	0.0002	97.59	1.507E-02	2.985E-02
26316.914	8.106E-03	0.0748	0.0002	97.80	1.526E+00	2.982E-02
26673.571	7.997E-03	0.0750	0.0002	98.04	0.145E+00	2.914E-02
27032.127	7.891E-03	0.0752	0.0002	98.25	1.573E+00	2.973E-02
27390.400	7.788E-03	0.0753	0.0002	98.46	1.610E-02	2.910E-02
27746.742	7.688E-03	0.0755	0.0002	98.66	1.610E+00	2.870E-02
28105.545	7.590E-03	0.0757	0.0002	98.85	0.170E+00	2.904E-02
28464.593	7.494E-03	0.0758	0.0002	99.03	1.750E+00	3.041E-02
28825.514	7.400E-03	0.0759	0.0002	99.21	1.790E-02	2.980E-02
29186.105	7.309E-03	0.0762	0.0002	99.39	1.830E+00	3.020E-02
29550.607	7.221E-03	0.0762	0.0002	99.57	1.902E-02	2.960E-02
29919.586	7.136E-03	0.0765	0.0002	100.00	1.962E+00	3.060E-02

สถานวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
TISTR

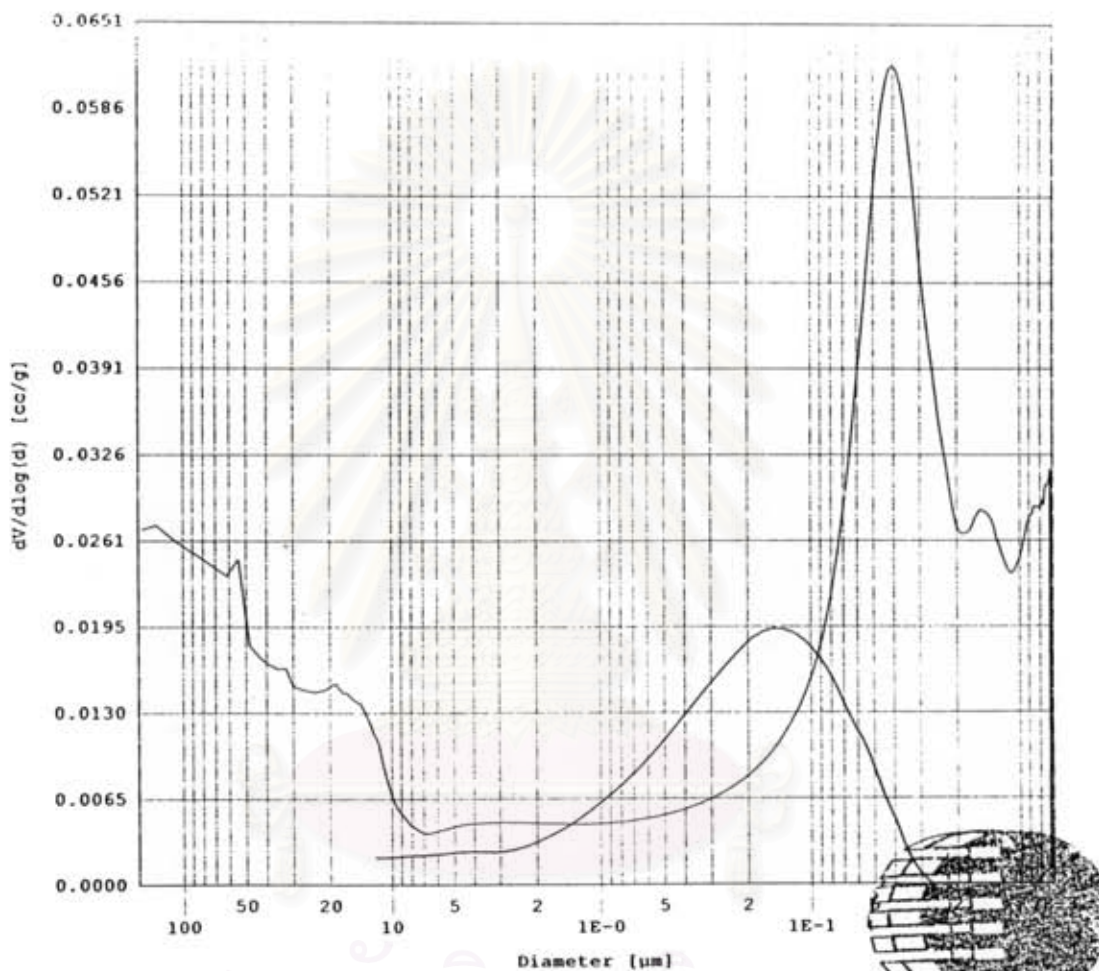


Report date: 06/19/2006

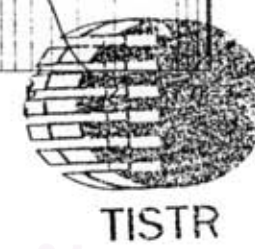
Quantachrome Instruments  
Quantachrome Poremaster for Windows® Data Report  
Version 4.03

Page 17 of 17

Sample ID	GP20860Days	File Name	06082006 Merged
Sample Weight	2.1220 grams	Bulk Sample Volume	2.0019 cc
Sample Description	TISTR		
Comments	7/06/49		
Hg Surface Tension	100.00 dyne/cm	Hg Contact Angle	130.00 deg
Minimum Delta Vol.	0.0004 cc	Moving Point Avg.	0.0001 cc
Operator	pkh	Reading Method	Integration by Range Weight



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศุภนนท์ บรรจงเกลี้ยง เกิดวันที่ ๗ มกราคม พ.ศ. ๒๕๒๕ มีภูมิลำเนาอยู่ที่ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ศึกษาสำเร็จระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนสัมพันธศึกษา และระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษาในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา ในปี พ.ศ. ๒๕๔๖ และได้ทำการศึกษาต่อเนื่องในระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายในปีเดียวกัน จนสำเร็จการศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา พ.ศ. ๒๕๔๘



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย