ทดสอบผลกระทบของ ระยะเวลาในปฏิกิริยา และ ความเข้มข้นของสารเคมี ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเคลือบผิวกระจกเงา

นาย วุฒินันท์ ผลภาษี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RESEARCH EFFECT OF TIME OF REACTION AND CHEMICAL CONCENTRATION ON MIRROR REACTION ON SURFACE

MR. WUTTINUN POLPASEE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ทดสอบผลกระทบของ ระยะเวลาในปฏิกิริยา และ ความเข้มข้นของสารเคมี ที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเคลือบผิวกระจกเงา
โดย	นาย วุฒินันท์ ผลภาษี
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วุฒินันท์ ผลภาษี : ทดสอบผลกระทบของ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา และ ความเข้มข้นของสารเคมีที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเคลือบผิวกระจกเงา (RESEARCH EFFECT OF TIME OF REACTION AND CHEMICAL CONCENTRATION ON MIRROR RECATION ON SURFACE)

อ.ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์: รศ.ดร.เดชา, 63 หน้า.

ผลของการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาและความเข้มข้นของสารยึดเกาะ 2 ชนิดต่อคุณภาพของกระจกเงาในการผลิตจริงในโรงงานการผลิต ผลของการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 และ 2 สามารถลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงได้ 33% และ 20% ของการผลิตปกติตามลำดับและจากผลการทดลองทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 20% ของการผลิตปกติ และจากการทดลองลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชั้นโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาสามารถลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะได้เพียงชนิดเดียว คือ ชนิดที่ 1 โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกระจกเงา โดยสามารถลดความเข้มข้นลงเหลือเป็น 71% จากการผลิตปกติทำให้สามารถลดการใช้สารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงได้ 29%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา: วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต:.....

สาขาวิชา: วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:.....

ปีการศึกษา: 2551

##4871446821: MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: MIRROR / COATING / SURFACE REACTION / REFLECTION

WUTTINUN POLPASEE: RESEARCH EFFECT OF TIME OF REACTION AND CHEMICAL CONCENTRATION ON MIRROR REACTION ON SURFACE
PRINCIPAL ADVISOR: ASSOC. PROF.DR. DEACHA CHATSIRWECH, 63 pp.

Effect of reaction time and sensitizer concentrations reductions on quality of mirror have been investigated on actual production lines. The reaction time of the first sensitizer and the second one can be reduced by 33% and 20%, respectively, from the normal operation, leading to increase production rate more 20%. While only the concentration of the first sensitizer can be reduced to 71% of the normal value. Therefore the consumption of such first sensitizer can be saved by 29% mirror produced.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Chemical Engineering Student's signature:.....
Field of study: Chemical Engineering Advisor's signature:.....
Academic year: 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เดชา ฉัตรศิริเวช ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการทำงานวิจัย แนวทางการแก้ปัญหา และให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม และอาจารย์ ดร.วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ในการเก็บตัวอย่าง ให้กำลังใจตลอดจนคำแนะนำดี ๆ เสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้องในครอบครัว และผู้มีอุปการคุณที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย 2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
วิธีดำเนินการวิจัย.....3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แนวคิดและทฤษฎี

2.1 ประเภทของกระจก.....4
2.2 การประยุกต์ใช้งานกระจกโดยการเคลือบสารเคมีเพื่อเพิ่มคุณสมบัติ.....12
2.3 กระบวนการเกิดกระจกเงา.....12
2.4 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต.....20

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลของกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง.....21
3.2 ข้อจำกัดในกระบวนการผลิต.....23
3.3 วิธีการทดสอบผลของการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาเคมี.....26
3.4 วิธีการทดสอบผลของการความเข้มข้นของสารยึดเกาะ.....28
3.5 การทดสอบคุณภาพของกระจก.....29

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และ อภิปรายผล

4.1 ผลของการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 31

4.2 ผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 36

4.3 ผลการลดความเข้มข้นของสารละลายสารยึดเกาะชนิดที่ 1.....41

4.4 ผลการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2.....45

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง.....50

5.2 ข้อเสนอแนะหลังการทดลอง.....51

รายการอ้างอิง.....52

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.....54

ภาคผนวก ข.....59

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณภาพของกระจกจากการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยา.....32
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพของกระจกจากการลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 36
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณภาพของกระจกจากการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1.41
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณภาพของกระจกจากการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2.45
ภาคผนวก
ตาราง ข.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา 59
ตาราง ข.2 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากการกัดกร่อนที่ขอบ.....59
ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากปริมาณจุด.....59
ตาราง ข.4 ผลการทดสอบการหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา.....60
ตาราง ข.5 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากการกัดกร่อนที่ขอบ.....60
ตาราง ข.6 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากปริมาณจุด.....60
ตาราง ข.7 ผลการทดสอบการหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา.....61
ตาราง ข.8 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากการกัดกร่อนที่ขอบ.....61
ตาราง ข.9 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากปริมาณจุด.....61
ตาราง ข.10 ผลการทดสอบการหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา.....62
ตาราง ข.11 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากการกัดกร่อนที่ขอบ.....62
ตาราง ข.12 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากปริมาณจุด.....62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 2.1 ภาพพื้นที่ผิวของกระจกก่อน(บน) และหลังการผ่านกระบวนการขัดแล้ว(ล่าง).....13
รูปที่ 2.2 โครงสร้างกระจกใส.....14
รูปที่ 2.3 โครงสร้างกระจกหลังขัดด้วย Cerium Oxide.....14
รูปที่ 2.4 ลำดับการเคลือบผิวของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2 และโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา.....15
รูปที่ 2.5 วิธีการเคลือบผิวโดยใช้สารยึดเกาะชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2.....15
รูปที่ 2.6 ผิวกระจกหลังจากการเกิดปฏิกิริยากับ สารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2).....16
รูปที่ 2.7 ผิวกระจกหลังจากการเกิดปฏิกิริยากับ สารสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2).....17
รูปที่ 2.8 ระบบผลิตน้ำ DI 20
รูปที่ 2.9 ผงซีเรียมออกไซค์และโมเลกุลของซีเรียมออกไซค์ 21
รูปที่ 3.1 แสดงการใช้พ่นสารเคลือบผิวที่ใช้ในกระบวนการผลิต.....22
รูปที่ 3.2 การไหลของน้ำล้างบนกระจก.....23
รูปที่ 3.3 การผสมสารยึดเกาะกับน้ำ DI.....24
รูปที่ 3.4 ระดับความเข้มงวดของมาตรฐานการผลิต.....25
รูปที่3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจกต่อค่าการสะท้อนแสง.....30
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2).....32
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณการกัดกร่อนที่ขอบ กับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2) 33
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2).....37
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณการกัดกร่อนที่ขอบกับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2).....37
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับความเข้มเข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2).....42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของปริมาณการกัดกร่อนที่ขอบกับความเข้มเข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2)……..42
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับความเข้มเข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2) ……..……..43
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของปริมาณการกัดกร่อนที่ขอบกับความเข้มเข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_BCl_2) ……..43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ในบทที่ 1 อธิบายถึงกระบวนการผลิตแบบพอสังเขป และกล่าวถึงเหตุจูงใจ ขอบเขต วัตถุประสงค์ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และลำดับวิธีการของการทำการทดลองในครั้งนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตกระจกเงาในประเทศไทยมีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ทำให้การผลิตกระจกเงาภายในประเทศไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ ทำให้ต้องมีการนำเข้ากระจกเงาจากต่างประเทศ

จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องมีการขยายกำลังการผลิตให้เพิ่มมากขึ้น โดยได้มีการศึกษาวิธีการที่จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นได้โดยไม่ต้องเพิ่มสายการผลิต จากการศึกษาพบว่ามีอีกแนวทางหนึ่ง ที่จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้นอีกได้โดยวิธีการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของการผลิตกระจกเงาให้สั้นลงเพื่อที่จะสามารถเพิ่มความเร็วของสายพานลำเลียงกระจกให้มีความเร็วมากขึ้น มีผลทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้นได้

ในปัจจุบันมีการเคลือบผิววัสดุเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของชิ้นงานให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น หรือมีคุณสมบัติเพิ่มเติมจากคุณสมบัติเดิมที่มีอยู่แล้ว โดยวิธีการเคลือบสารจะแบ่งตามแต่ละชนิดของวัสดุและชนิดของวิธีการเคลือบ โดยการเคลือบสารแบ่งเป็นหลายรูปแบบ เช่น การเคลือบผิวด้วยโลหะบนกระจกแผ่นเรียบ หรือการเคลือบผิววัสดุต่างๆ ที่มีผิวมันวาว โดยการศึกษาในครั้งนี้จะทำการทดลองกับวัสดุที่เป็นกระจกแผ่นเรียบ โดยจะทำการศึกษาผลของการลดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการยึดเกาะผิวกระจกแผ่นเรียบและผลของการลดความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการยึดเกาะ โดยจะทำการทดลองกับสารเคมี 2 ชนิดและทำการวัดผลการทดลองโดยดูจากปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาต่อพื้นที่และการทดสอบความทนทานของการยึดเกาะของชั้นโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา ที่ใช้การยึดเกาะด้วยกระบวนการทางเคมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลของการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาและความเข้มข้นของสารยึดเกาะ 2 ชนิดต่อคุณภาพของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.ศึกษาคุณลักษณะทั่วไปและคุณสมบัติเคมีของเคมี 2 ชนิด

- สารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2)
- สารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2)

2. คำนวนหาค่าของปฏิกิริยาเคมีทั้ง 2 ชนิดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิต
3. ทดลองโดยแปรผันปัจจัย ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิด
4. ลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิด
5. ลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิด
6. วิเคราะห์ผลการทดลองจากข้อมูลที่ได้และสรุปผลการทดลอง
7. จัดทำวิทยานิพนธ์เป็นรูปเล่ม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการผลิตกระจกเงา
2. ศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการยึดเกาะและวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิวสะท้อนเงา
3. ศึกษากระบวนการผลิตกระจกสะท้อนเงา
4. ศึกษากระบวนการทางเคมีของสารเคมี 2 ชนิดที่เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวกระจก
   สารยึดเกาะชนิดที่ 1 กับ กระจก
   สารยึดเกาะชนิดที่ 2 กับ กระจก
5. ศึกษาผลกระทบของการลดเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารยึดเกาะ 2 ชนิด ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีบนผิวหน้าของกระจก โดยการลดระยะทางการเกิดปฏิกิริยาเคมีลง
6. ระยะทางการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 บนผิวของกระจก โดยกำหนดขอบเขตการทดลอง (กำหนดให้ระยะที่ใช้ในการผลิตปกติเป็น 100% จากนั้นทำการทดลองที่ระยะทางการเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็น 100%, 93%, 87%, 80%, 67% ของค่าการผลิตปกติ จำนวน 5 การทดลอง)

7. ระยะทางการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 บนผิวของกระจกโดยกำหนดขอบเขตการทดลอง (กำหนดให้ระยะที่ใช้ในการผลิตปกติเป็น 100% จากนั้นทำการทดลองที่ระยะทางการเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็น 100%, 95%, 90%, 85%, 80% ของค่าการผลิตปกติ จำนวน 5 การทดลอง)
8. ศึกษาผลกระทบของการลดความเข้มข้นของสารเคมี ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีบนผิวหน้าของกระจก โดยการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะ 2 ชนิด
9. ความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 บนผิวของกระจก โดยกำหนดขอบเขตการทดลอง (กำหนดให้ความเข้มข้นที่ใช้ในการผลิตปกติเป็น 100% จากนั้นทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 เป็น 100%, 86%, 71% ของค่าการผลิตปกติ จำนวน 3 การทดลอง)
10. ความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 บนผิวของกระจก โดยกำหนดขอบเขตการทดลอง (กำหนดให้ความเข้มข้นที่ใช้ในการผลิตปกติเป็น 100% จากนั้นทำการทดลองที่ความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 เป็น 100%, 94%, 88% ของค่าการผลิตปกติ จำนวน 3 การทดลอง)
11. การวัดผลของการเกิดปฏิกิริยาเคมีและคุณภาพของกระจกเงา จะใช้การทดสอบ 2 ชนิด ในการวัดผลการเกิดปฏิกิริยาเคมี
    ก. การทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test : ASTM B 368-97)
    ข. การทดสอบหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธี ไตรเตรต

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงผลการลดระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารยึดเกาะ ของสาร 2 ชนิดต่อคุณสมบัติของกระจกเงา
2. ทราบถึงผลของการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะของสาร 2 ชนิด ต่อคุณสมบัติของกระจกเงา
3. สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต และเพิ่มกำลังการผลิตได้
4. สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีลง เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แนวคิดและทฤษฎี

ในบทนี้จะรวบรวมแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดลองต่าง ๆ ในบทต่อ ๆ ไป

2.1 ประเภทของกระจก[1]

กระจกธรรมดา

กระจกธรรมดาเป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

กระจกใส (Clear Glass)

กระจกสี (Tinted Glass)

กระจกอบความร้อน (Heat Treated Glass)

กระจกอบความร้อนหรือกระจกสีที่นำไปผ่านกระบวนการปรับแต่งคุณภาพของเนื้อกระจกเพื่อให้มีความแข็งแกร่งมากขึ้น หรือรับแรงกระทำจากแรงภายนอกได้มากขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered Glass)

กระจกฮีตสเตรงเทน (Heat Strengthen Glass)

กระจกเคลือบผิวหรือกระจกสะท้อน (Surface Coated Glass)

กระจกเคลือบผิวเป็นกระจกธรรมดาที่นำไปผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจกเพื่อให้เกิดการสะท้อนแสง และความร้อนจากแสงอาทิตย์ สำหรับนำไปใช้งานในด้านการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถแบ่งตามรูปแบบของการเคลือบผิวได้เป็น 2 ชนิด

กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar Reflective Glass)

กระจกที่สภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low E Glass)

กระจกดัดแปลง (Processed Glass)

กระจกดัดแปลงเป็นกระจกที่นำมาดัดแปลงด้วยกระบวนการต่างๆเพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated Glass)

กระจกฮีตมิเรอร์ (Heat Mirror)

กระจกฮีตสต็อป (Heat Stop)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระจกนิรภัยหลายชั้น (Laminated Glass)

กระจกอื่นๆ

กระจกเงา (Mirror)

กระจกลวดลาย (Pattern Glass)

กระจกเสริมลวด (Wired Glass)

กระจกใส (Clear Glass)

กระจกใสคือกระจกโปร่งแสงที่สามารถมองผ่านได้อย่างชัดเจนและให้ภาพสะท้อนสมบูรณ์ ไม่บิดเบี้ยว

คุณสมบัติ

สามารถมองเห็นจากภายนอกเข้ามาภายในได้อย่างชัดเจน ผิวกระจกไม่ร้อน เพราะกระจกดูดกลืนความร้อนได้น้อยมาก

กระจกสี (Tinted Glass)

ผลิตขึ้นโดยการผสมโลหะออกไซด์เข้าไปในส่วนผสมในขั้นตอนการผลิตกระจก ทำให้กระจกมีสีสัน

คุณสมบัติ

ผิวกระจกร้อน เนื่องจากสีของเนื้อกระจกที่เกิดจากการเติมโลหะออกไซด์ต่างๆ เป็นตัวดูดความร้อน ทำให้ความร้อนจากกระจกแผ่เข้ามาภายในอาคาร ตัดแสงไม่ให้เข้ามาภายในอาคารมาก กระจกสีมีค่าสัมประสิทธิ์เปรียบเทียบการบังแดดต่ำกว่ากระจกใสมาก เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำมากๆ แสงเข้าน้อยทำให้ความร้อนเข้ามาได้น้อยด้วย สามารถสกัดกั้นความร้อนจากแสงอาทิตย์ ที่ตกกระทบกระจกสีได้มากกว่ากระจกใส ปริมาณการดูดกลืนความร้อนขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเนื้อกระจก ซึ่งสามารถผลิตให้มีการสกัดกั้นรังสีอาทิตย์ได้หลายระดับ แต่ผิวกระจกจะร้อนขึ้นเมื่อมีการสกัดกั้นรังสีมาก ช่วยลดความจ้าของแสงที่ส่งผ่านกระจกสีทำให้ได้แสงที่นุ่มนวลและเกิดความสบายตาในการมอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered Glass)

กระจกนิรภัยเทมเปอร์เป็นการนำกระจกไปผ่านกระบวนการเทมเปอร์ (Tempering)เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยใช้หลักการเดียวกับการทำคอนกรีตอัดแรง คือสร้างให้เกิดชั้นของแรงอัดขึ้นที่ผิวแก้วเพื่อต่อต้านแรงจากภายนอก วิธีการนี้ทำได้โดยการให้ความร้อนกับกระจกที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวของแก้วเล็กน้อยที่ประมาณ 650-700องศาเซลเซียส และทำให้ผิวกระจกเกิดความเย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยใช้ลมเย็นเป่า ผลของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกกับส่วนกลางของแผ่นกระจกจะทำให้เกิดชั้นของแรงอัดขึ้นที่ผิวของกระจกทั้ง 2 ด้าน โดยจะประกบชั้นส่วนกลางเหมือนลักษณะเซนวิชและชั้นที่ผิวนี้จะต้านแรงจากภายนอกทำให้กระจกที่ผ่านกระบวนการเทมเปอร์แล้วมีความแข็งแรงขึ้นประมาน 4 เท่า

คุณสมบัติ

ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงที่ทำให้หักงอ (Bending Strength) เมื่อเปรียบเทียบกระจกธรรมดากับกระจกนิรภัยเทมเปอร์ที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร กระจกธรรมดามีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงและแรงที่ทำให้กระจกหักงอ 500-650กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ในกระจกนิรภัยเทมเปอร์มีค่าสูงถึง1,500 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร การต้านทานน้ำหนัก (Loading Resistance) คือความต้านทานต่อแรงดันและแรงกระแทกโดยแบ่งออกเป็น

การด้านทานน้ำหนักหรือสถิติ (Static Load Resistance) คือแรงที่มากระทบกระจก กระจกนิรภัยเทมเปอร์สามารถทนต่อแรงกระทบ ได้มากกว่ากระจกธรรมดาที่มีความหนาเดียวกันประมาณ 3-5 เท่า

การต้านทานน้ำหนักกระแทก (Impact Load Resistance) คือความทนทานของกระจกต่อแรงกระแทกโดยทั่วไปกระจกนิรภัยเทมเปอร์สามารถรับแรงกระแทกได้ดีได้ดีกว่ากระจกธรรมดาประมาณ 4 เท่า

ความปลอดภัยคือ การลดอันตรายที่จะเกิดจากการโดนกระจกบาด เพราะการแตกของกระจกนิรภัย จะแตกออกเป็นเม็ดเล็กๆและมีความคมน้อย

การต้านทานความร้อน (Heat Resistance) คือความทนทานของกระจกต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณภูมิแบบทันทีทันใดจากการทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อนของกระจกนิรภัยเทมเปอร์เปรียบเทียบกับกระจกธรรมดาที่มีความหนา 5 มิลลิเมตรเท่ากัน มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

กระจกนิรภัยเทมเปอร์สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 170 องศาเซลเซียส และจะเริ่มแตกทั้งหมดเมื่ออุณหภูมิสูงถึงประมาณ 220 องศาเซลเซียส

กระจกธรรมดาสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเพียงประมาณ 60 องศาเซลเซียสและจะแตกทั้งหมดเมื่อค่าความแตกเมื่อค่าของอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงประมาณ 100 องศาเซลเซียส

กระจกฮีตสเตรงเทน (Heat Strengthen Glass)

กระจกฮีตสเตรงเทน เป็นกระจกที่ได้จากกระบวนการผลิตที่คล้ายกับกระจกนิภัยเทมเปอร์ แต่ต่างกันที่กระจกฮีตสเตรงเทนจะปล่อยให้กระจกเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จึงมีความแข็งแรงกว่ากระจกนิรภัยเทมเปอร์

คุณสมบัติ

เป็นกระจกกึ่งนิรภัย มีคุณสมบัติพิเศษคือ แข็งแกร่งกว่ากระจกธรรมดาประมาณ 2 เท่า เหมาะสำหรับการป้องกันการแตกของกระจกจากความร้อน ลักษณะการแตกของกระจกชนิดนี้ จะแตกเป็นแผ่นเหมือนกระจกธรรมดา

กระจกเคลือบผิว (Surface Coated Glass)

กระจกเคลือบผิวเป็นกระจกธรรมดาที่นำไปผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจก เพื่อให้เกิดการสะท้อนแสง และความร้อนจากแสงอาทิตย์ สำหรับนำไปใช้งานในด้านการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถแบ่งตามรูปแบบของการเคลือบผิวได้เป็น 2 ชนิดได้แก่ แบ่งตามบริษัทผู้ผลิตเครื่องเคลือบผิวกระจกที่ใช้ในเมืองไทยได้ 2 แบบ

แบบแอร์โค่ (AIRCO) เป็นวิธีการเคลือบโดยใช้ไทเทเนียมบริสุทธิ์เป็นโลหะในการเคลือบ สามารถเคลือบให้ได้สีสัน ภาพลักษณ์ และคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานที่แตกต่างกันตามชื่อรหัสการเคลือบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

TE-Titanium Earth

TS-Still Blue

SS-Silver

TBU-Blue

แบบเลย์โบลด์ (LEYBOLD) เป็นวิธีการเคลือบโดยใช้ดีบุกบริสุทธิ์เป็นโลหะในการเคลือบ โดยมีคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกับแบบแอร์โค่ แต่ให้สีสันที่แตกต่างกันออกไปจากแบบแอร์โค่ ตามชื่อรหัสการเคลือบต่างๆดังต่อไปนี้

SL-Silver

AS-Antigua Silver

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BR-Bronze

SB-Sapphire Blue

แบ่งตามเทคนิคในการเคลือบผิวกระจกได้ 2 แบบดั้งนี้

การเคลือบแบบสูญญากาศ (Vacuum Deposition or Soft Coating) โดยการพ่นโลหะออกไซด์บางชนิดบนผิวด้านใดด้านหนึ่งของผิวกระจกกระแสไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยาทำให้โลหะเกาะผิวกระจกการเคลือบด้วยวิธีนี้สารที่เคลือบจะถูกขูดขีดออกได้ง่ายแต่สามารถเคลือบไปได้ทั่วทุกพื้นที่ของผิวกระจก

การเคลือบแบบไพโรลิทิค (Prolific Deposition or Hart Coating) กรรมวิธีนี้กระจกจะถูกเคลือบในลักษณะที่เป็นของเหลวโลหะออกไซด์จะกระจายแทรกซึมลงในเนื้อกระจกด้วย แม้วิธีนี้โลหะออกไซด์ไม่สามารถกระจายไปทุกพื้นผิวของกระจกอย่างสม่ำเสมอกันแต่ก็มีความแข็งแรงทนทานกว่ากระจกที่เคลือบแบบสูญญากาศ

กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar Reflective Glass)

กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์เป็นกระจกธรรมดาที่เคลือบด้วยโลหะออกไซด์ มีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย มีสีสันสวยงามหลายสีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเคลือบ และสีของกระจกที่เป็นวัตถุดิบที่นำมาเคลือบ

คุณสมบัติ

1. ทำให้แสงอาทิตย์และรังสีความร้อนผ่านเข้ามาในอาคารได้น้อย
2. ช่วยลดแสงที่แรงจ้าให้นุ่มนวลลง ทำให้เกิดความสบายตา
3. สร้างความเป็นส่วนตัวแก่คนภายในอาคาร เนื่องจากมองทะลุเข้ามาในตัวอาคารได้ลำบาก

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ เป็นกระจกเคลือบสารโลหะโดยมีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นองค์ประกอบสำคัญ

คุณสมบัติ

1. ป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี
2. ยอมให้แสงผ่านได้มากกว่ากระจกสะท้อนแสง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ช่วยสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเลต(UV) ได้บางส่วน ปริมาณการสะท้อนขึ้นอยู่กับผู้ผลิต ทำให้ลดความเสียหาย ซึ่งอาจเกิดกับพรมและเฟอร์นิเจอร์ต่างๆได้ระดับหนึ่ง
4. ช่วยลดความจ้าของแสง

กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated Glass)

กระจกฉนวนกันความร้อนผลิตโดยการนำกระจกอย่างน้อย 2 แผ่น ตัดให้ได้ขนาดตามต้องการมาประกบกันโดยมีอลูมิเนียมซึ่งบรรจุสารดูดซึมความชื้นคั่นกลาง หลังจากนั้นจะปิดรอยที่ขอบกระจก ผลก็คือ อากาศภายในช่องระหว่างกระจกจะกลายเป็นอากาศที่แห้งไม่มีความชื้นเหลืออยู่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการกันความร้อน

คุณสมบัติ

1. ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาในอาคาร ทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศ
2. ช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกอาคารได้ดีกว่ากระจกธรรมดา
3. สามารถปรับแรงดันลมได้เพิ่มขึ้น
4. ให้ความปลอดภัยในอาคารในกรณีที่ใช้กระจกนิภัยเทมเปอร์ หรือกระจกนิรภัยหลายชั้นมาผลิตเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน

กระจกฮีตมิเรอร์ (Heat Mirror)

ลักษณะของกระจกฮีตมิเรอร์เป็นระบบของกระจกสองชั้นที่เคลือบสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำทั้ง 2 ด้านของฟิล์มที่อยู่ระหว่างช่องอากาศ โดยที่ช่องว่างอากาศทั้งสองข้างจะกลายเป็นช่องว่างอากาศสะท้อนรังสี

คุณสมบัติ

1. สามารถสะท้อนความร้อนออกไปจากกระจกได้มากถึงประมาณ 80% หรือยอมให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาเพียง 10% ที่เหลืออยู่ 10% จะถูกดูดกลืนเข้าไปในกระจก
2. ยอมให้แสงสว่างผ่านเข้ามาได้ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้องค์ประกอบของกระจกและฟิล์ม
3. ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต โดยสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเลตประมาณ 98%

กระจกฮีตสต็อป (Heat Stop)

กระจกฮีตสต็อปมีลักษณะเป็นกระจกสองชั้นประกอบขึ้นด้วยกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบด้วยสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำเป็นกระจกด้านนอก และด้านในใช้กระจกใส สารที่เคลือบนั้นสามารถป้องกันความร้อนอินฟาเรดให้ผ่านเข้ามาได้เพียง 5% ช่องว่างตรงกลางใส่ก๊าซอาร์กอน

คุณสมบัติ

1. สามารถสะท้อนความร้อนออกไปจากกระจกได้มาก
2. ยอมให้แสงสว่างผ่านกระจกเข้ามามากถึงประมาณ 60%
3. ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต โดยสะท้อนรังสีอัลตร้าไวโอเลตได้ประมาณ 95 %

กระจกนิรภัยหลายชั้น

เป็นการนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไป มาผนึกเข้าด้วยกัน โดยมีแผ่นฟิล์มโพลีไวนิลนิวทิเรต ที่เหนียวและแข็งแรงซ้อนอยู่ระหว่างกลาง ทำหน้าที่ยึดกระจกให้ติดกัน เมื่อกระจกชนิดนี้ถูกกระแทกจนแตก แผ่นฟิล์มโพลีไวนิลบิวทิเรตจะช่วยยึดไม่ให้เศษกระจกหลุดกระจาย จะมีเพียงรอยแตกหรือรอยร้าวคล้ายใยแมงมุมเท่านั้น

คุณสมบัติ

1. การใช้กระจกนิรภัยหลายชั้น สามารถช่วยลดการบาดเจ็บจากกระจกได้
2. ป้องกันการทะลุทะลวง เนื่องจากการแตกและการบุกรุกได้
3. ช่วยลดเสียงรบกวน และลดการก้องของเสียงได้ดี
4. ช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ
5. แผ่นฟิล์มในกระจกนิรภัยหลายชั้นช่วยในการลดรังสีอัลตราไวโอเลต

กระจกลวดลาย (Pattern Glass)

กระจกลวดลาย ผลิตโดยกระจกที่ยังไม่แข็งตัวเข้าไปสู่แถวของลูกกลิ้ง เพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการ และพิมพ์ลวดลายซึ่งติดกับลูกกลิ้งลงบนผิวด้านใดด้านหนึ่งของกระจก หรือทั้ง 2 ด้าน

คุณสมบัติ

กระจกลวดลายมีคุณสมบัติโปร่งแสงแต่ไม่โปร่งใส จึงทำให้เกิดภาพที่นุ่มนวล แต่อาจไม่ชัดเจนนัก

กระจกเสริมลวด (Wired Glass)

กระจกเสริมลวดผลิตโดยการใส่แผงตาข่ายลวดลงในกระจกขณะที่กระจกหลอมเหลว เพื่อเป็นการเพิ่มการแข็งแรงให้กับกระจก แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามลวดลายของแบบตาข่ายดังนี้

1. ลายข้าวหลามตัด (Diamond-Shaped Pattern or Misco)
2. ลายสี่เหลี่ยม (Baroque Pattern)
3. ลายหกเหลี่ยม (Hexagonal Pattern)
4. ลายแนวตั้ง (Pinstipe Pattern)

คุณสมบัติ

มีความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษ จึงมักใช้เป็นกระจกป้องกันการโจรกรรม แตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ มีความคม

กระจกเงา (Mirror)

กระจกเงาที่ดีควรผลิตจากกระจกใส และมีคุณภาพสูง จึงจะให้ภาพที่แจ่มชัดเหมือนจริง ไม่บิดเบี้ยวหลอกตา ผ่านกรรมวิธีเคลือบเงาด้วยเครื่องจักร 4 ขั้นตอนคือ

1. เคลือบวัสดุเงิน (Silvery Coating)
2. เคลือบวัสดุทองแดงบริสุทธิ์ (Pure Copper Coating)
3. เคลือบวัสดุอย่างดีชั้นที่1 (1st Layer High Quality Colour Coating)
4. เคลือบวัสดุอย่างดีชั้นที่ 2 (2nd Layer High Quality Colour Coating)

คุณสมบัติ

เหมาะสำหรับการตกแต่งภายใน โดยเฉพาะกระจกเงาใสซึ่งจะให้บรรยากาศภายในห้องที่สดใสการใช้กระจกเงาเพื่อการตกแต่งและสร้างบรรยากาศภายในอาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การประยุกต์ใช้งานกระจกโดยการเคลือบสารเคมีเพื่อเพิ่มคุณสมบัติ

การเพิ่มค่าความแข็งแรงของกระจกโดยวิธีการเคลือบผิวด้วยพอลิเมอร์

ความแข็งแกร่ง หรือ bending strength ของแผ่นแก้วสามารถทำให้เพิ่มได้ประมาณ 5-6% เมื่อเคลือบผิวแก้วโดยการชุบในสารละลาย 2% โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์พื้นฐานประเภท PE, PP, PMMA หรือ PVA และเพิ่มได้ประมาณ 8-10% เมื่อเคลือบผิวแก้วโดยการชุบในสารละลาย 10% โดยปริมาตรของสารประกอบดีบุกประเภท Tin tetrachloride, n-butyltin trichloride, dibutyltin diacetate หรือ dibutyltin dilaurate แล้วทำการอบที่อุณหภูมิ 400-480 C° เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบดังกล่าวสลายตัวเป็น Tin oxide เคลือบบนผิวแก้วนั้น นอกจากนี้หากทำการเคลือบร่วม (dual coating) โดยการเคลือบด้วย tin oxide แล้ว เคลือบตามด้วยพอลิเมอร์ที่เหมาะสม ค่า bending strength ของแผ่นแก้วจะเพิ่มขึ้นแบบ synergistic กล่าวคือ ค่า bending strength เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าที่เพิ่มเนื่องจากการเคลือบด้วยพอลิเมอร์รวมกับค่าที่เพิ่มเนื่องจากการเคลือบด้วยสารประกอบดีบุก

2.3 กระบวนการเกิดกระจกเงา[2]

กรรมวิธีการผลิตกระจกเงา เป็นกระบวนการที่ถูกพัฒนาโดย John Pratt ตั้งแต่ปี ค.ศ 1876 โดยแบ่งเป็น

กระบวนการผลิตกระจกเงาแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนใหญ่ดังนี้

1. กระบวนการล้างและเตรียมผิวกระจก
2. กระบวนการเพิ่มแรงเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า (สารยึดเกาะชนิดที่ 1, สารยึดเกาะชนิดที่ 2)
3. กระบวนการเคลือบผิวด้วยโลหะสะท้อนเงาลงบนกระจก
4. กระบวนการเคลือบสี
5. กระบวนการล้างกระจกและทำความสะอาดกระจก

2.3.1 กระบวนการล้างและเตรียมผิวกระจก

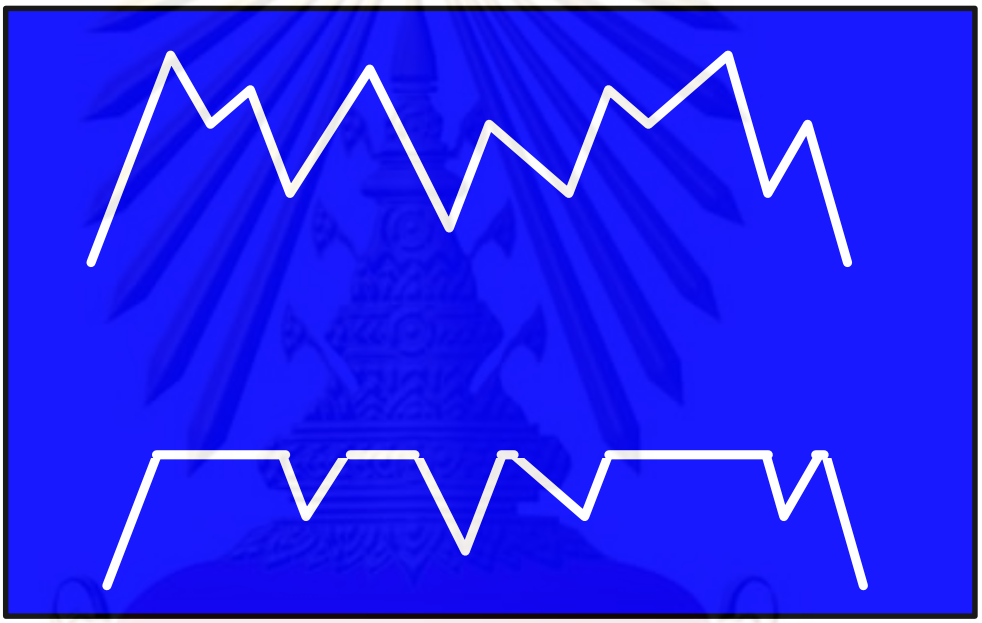
เริ่มต้นด้วยการรับกระจกใสเข้าทำความสะอาดโดยใช้แปรง (Cup Brush) น้ำสะอาดและผ่านกระบวนการดึงประจุของโลหะออกแล้ว (DI Water) และ ผงขัด (Cerium Oxide) กระจกใสที่ใช้เป็นกระจกที่ผลิตจากกระบวนการลอยบน ดีบุกเหลว (Float Glass Process) ทำให้กระจกที่ได้จากกการผลิตมี 2 ด้าน คือ ด้านที่สัมผัสกับน้ำดีบุก และ ด้านที่สัมผัสกับอากาศ โดยปกติด้านผิวที่สัมผัสกับอากาศจะมีลักษณะไม่เรียบและกระจกจะมีไอออนของโซเดียมกระจายอยู่ที่ผิวทำให้zผิวของกระจกมีคุณสมบัติเป็นเบสอ่อน โดยด้านที่จะใช้ในการผลิตกระจกคือด้านที่สัมผัสกับอากาศ

การขัดผิวกระจกจะทำหน้าที่ 2 ส่วนคือ

1. เพื่อล้างและขัดผิวกระจกให้เรียบสม่ำเสมอและขัด
2. เพื่อกำจัดไอออนของโซเดียมที่กระจายอยู่ที่ผิวของกระจก

1. เพื่อล้างและขัดผิวกระจกให้เรียบสม่ำเสมอและขัด

การล้างและขัดผิวกระจกให้เรียบสม่ำเสมอกันโดยการขัดจะทำการขูดผิวของกระจกออกไป (ดังแสดงในรูปที่ 2.1)



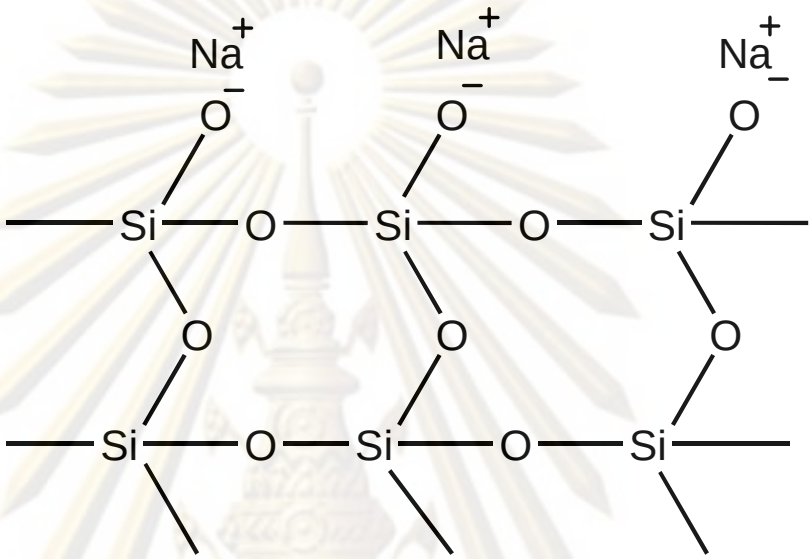
รูปที่ 2.1 ภาพพื้นที่ผิวของกระจกก่อน (บน) และหลังการผ่านกระบวนการขัดแล้ว (ล่าง)

2. เพื่อกำจัดไอออนของโซเดียมที่กระจายอยู่ที่ผิวของกระจก

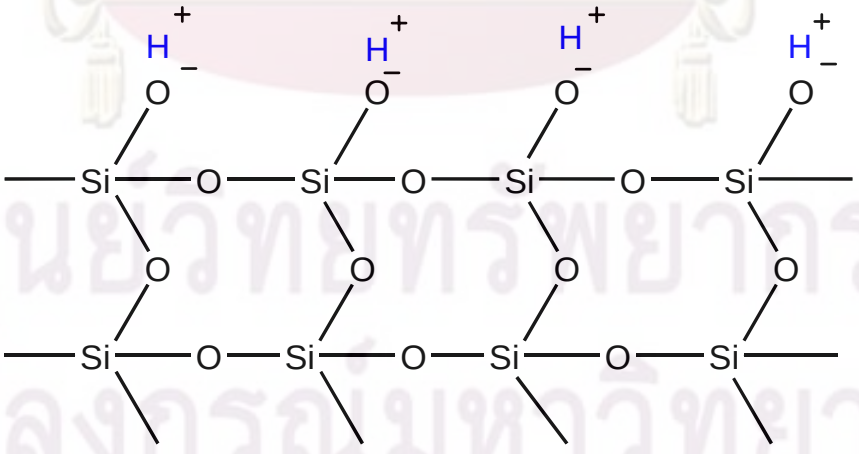
เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตทำให้ที่ผิวของกระจกมีไอออนของโซเดียม (Na^+) กระจายอยู่ในกระบวนการผลิตกระจกเป็นการเกิดปฏิกิริยา ของ โลหะเคลือบสะท้อนเงา กับกระจก (Silica Oxide) การที่มีโลหะชนิดอื่นอยู่บนผิวของกระจกอาจมีผลกับการเกิดปฏิกิริยาได้ทำให้จำเป็นต้องทำการกำจัดไอออนของโลหะทุกชนิดที่อาจเกิดปฏิกิริยากับกระจกทั้งที่ตัวกระจกเองและที่น้ำที่จะใช้ในการเกิดปฏิกิริยาและเป็นการเตรียมผิวกระจกเพื่อปฏิกิริยาในขั้นต่อไปด้วยโดยให้ไฮโดรเจนไปแทนที่ไอออนโซเดียม (Na^+) บนผิวของกระจก

2.3.1.2 **ปฏิกิริยาการขัดผิวของผงขัด** (Cerium oxide)

เป็นการนำเอาโซเดียมที่ผิวของกระจกใส (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) ออกโดยการแทนที่ของไฮโดรเจนในน้ำโดยวิธีการขัดผิวของกระจกออก (ดังแสดงในรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างกระจกใส



รูปที่ 2.3 โครงสร้างกระจกหลังขัดด้วย Cerium Oxide

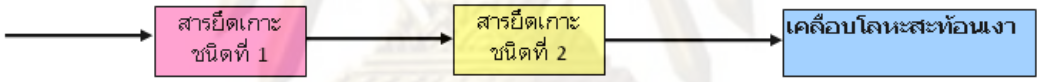
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 กระบวนการเพิ่มแรงเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า

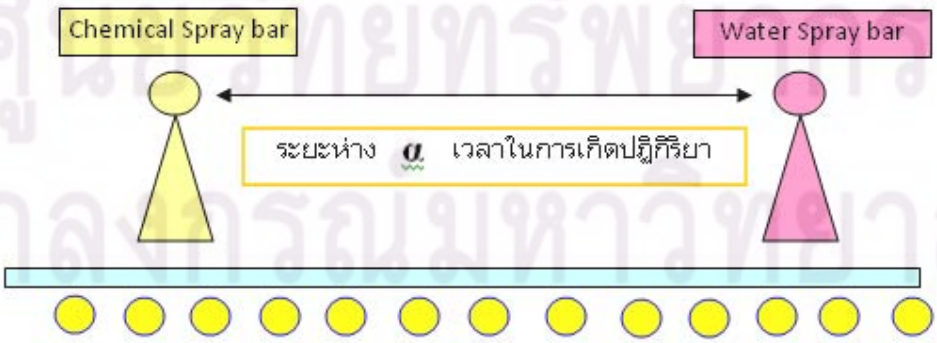
หลังจากกระจกผ่านกระบวนการเตรียมผิวแล้วขั้นต่อไปจะเข้าสู่ขั้นตอนกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างผิวกระจกกับสารที่จะช่วยให้กระจกสามารถติดกับโลหะเคลือบสะท้อนเงาได้โดยแบ่งสารเคมีออกเป็น 2 ชนิด

1. สารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2)
2. สารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2)

โดยขั้นตอนการผลิตกระจกเงาจะเริ่มจากปฏิกิริยาของ สารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2) กับกระจกใสที่ผ่านกระบวนการเตรียมผิวแล้ว หลังจากนั้นจึงจะมาถึงขั้นตอนที่ 2 คือขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยากับ สารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2) (ดังแสดงในรูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 ลำดับการเคลือบผิวของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2 และโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา



รูปที่ 2.5 วิธีการเคลือบผิวโดยใช้สารยึดเกาะชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2

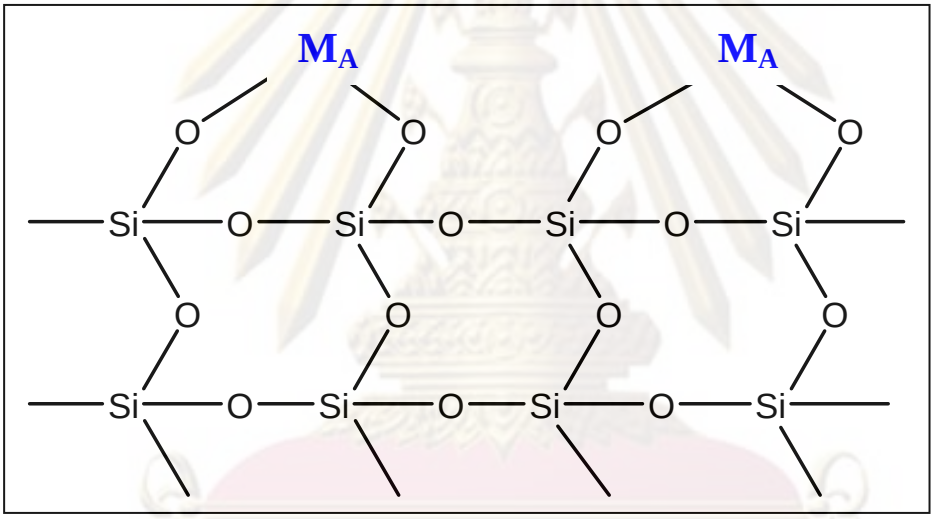
2.3.2.1 ปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2)

หลังจากกระจกผ่านกระบวนการเตรียมผิวแล้วที่ผิวของกระจกจะมีไอออนของไฮโดรเจนกระจายอยู่ขั้นตอนนี้จะเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างผิวกระจกและสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2) โดยจะเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนที่อยู่ที่ผิวของกระจกโดยมีปฏิกิริยาดังนี้

สมการเคมี

$$2[\ SiO_3H\ ] + M_ACl_2 \text{ ------ > } [\ SiO_3]_2\ M_A + 2HCl$$

$$HCl + NaOH \text{ -------> } H_2O + NaCl$$



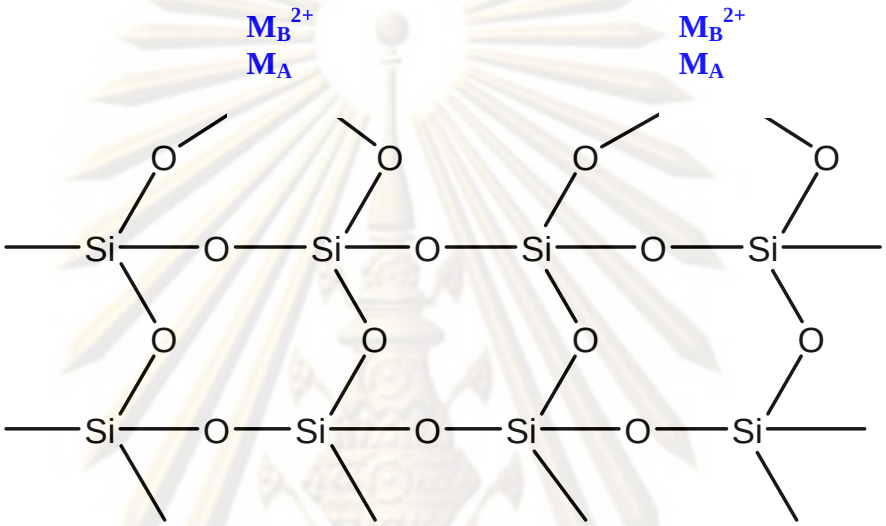
รูปที่ 2.6 ผิวกระจกหลังจากการเกิดปฏิกิริยากับ สารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2)

2.3.2.2 ปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2)

หลังจากกระจกผ่านกระบวนการเกิดปฏิกิริยากับสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2) แล้วเพื่อเพิ่มแรงเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าขึ้นอีกขั้นจึงผ่านเข้าสู่กระบวนการขั้นที่ 2 โดยจะให้ทำปฏิกิริยากับสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2) เพื่อเพิ่มแรงเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าที่ผิวของกระจกสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2) ทำหน้าที่เป็น Reducer ให้กับสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ที่อยู่บนผิวกระจกให้ มีปฏิกิริยาดังนี้

สมการเคมี

$$[\ SiO_3]_2\ M_A + M_BCl_2 + H_2O \text{ --------- > } [\ [\ SiO_3]_2\ M_A]M_B^{2+} + 2HCl + O_2$$



รูปที่ 2.7 ผิวกระจกหลังจากการเกิดปฏิกิริยากับ สารสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2)

2.3.3 กระบวนการเคลือบชั้นโลหะสะท้อนเงาลงบนกระจก

กระบวนการเคลือบสะท้อนเงาลงบนผิวของกระจกโดยเริ่มต้นด้วยการผสมโลหะเคลือบสะท้อนเงา แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. ส่วนการเตรียมเคมีที่ใช้ในการเคลือบลงบนผิวกระจก
2. ปฏิกิริยาการเกิดแผ่นฟิลม์ของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนผิวกระจก

1. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการเคลือบลงบนผิวกระจก (M_CNO_3)

การทำกระจกเป็นการเคลือบผิวกระจกโดยใช้สารเคลือบผิวสะท้อนเงาที่เป็นโลหะแต่ในทางปฏิบัติแล้วโลหะสะท้อนเงามีคุณสมบัติเป็นของแข็งทำให้ไม่สามารถเคลือบลงบนผิวกระจกได้จึงต้องอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเข้าช่วยโดยเริ่มเตรียมสารละลายของโลหะสะท้อนเงามาทำปฏิกิริยากับด่าง (NaOH , NH_4OH) ที่ผิวของกระจกแล้วจึงเกิดเป็นฟิลม์ของสารเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ผิวของกระจก

การเตรียมสารเคมีโดยทำการผสมสารเคมี

1. ผลึกสารเคลือบสะท้อนเงา (M_CNO_3)
2. แอมโมเนียมไฮดรอไซค์ (Ammonium Hydroxide: NH_4OH)

3.3.3.1 ปฏิกิริยาของการเตรียมสารละลายโลหะเคลือบสะท้อนเงา

เนื่องจากสารเคลือบสะท้อนเงาเป็นของแข็งจึงต้องทำละลายให้เป็นของเหลวก่อนโดยผสมกับเอมโมเนียมไฮดรอไซด์และนำร้อนแสดงเป็นสมการเคมีดังนี้

สมการเคมี

$$M_CNO_3 + 2NH_4OH \text{ ---------- > } M_C[NH_3]_2NO_3 + 2H_2O$$

3.3.3.2 ปฏิกิริยาการเกิดแผ่นฟิล์มของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาบนผิวกระจก

เป็นการนำสารที่ได้จากการเตรียมของปฏิกิริยาด้านบนมาทำการพ่นลงบนหน้ากระจกพร้อมกับสารละลายด่าง (NaOH) ให้เกิดปฏิกิริยาที่ผิวของกระจกหลังจากที่กระจกผ่านการเคลือบผิวด้วยสารยึดเกาะชนิดที่ 1 และ ชนิดที่ 2 แล้ว โดยในสารละลายด่างโดยใช้หัวพ่นแบบเป็นแผ่นโดยพ่นเต็มหน้ากระจก

สมการเคมี

$$2M_C[NH_3]_2NO_3 + 2NaOH \text{ ---------- > } M_{C2}O + 2NH_4 + 2NaNO_3$$

$$M_{C2}O + 2[[SiO_3]_2 M_A]M_B^{2+} \text{ ------ > } 2[[[[SiO_3]_2 M_A] M_B^{2+}] M_C] + O_2$$

เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดจะได้กระจกเงาที่สามารถสะท้อนเงาได้โดยที่ $[[[SiO_3]_2 M_A] M_B^{2+}] M_C$ ก็คือกระจกใสที่สามารถสะท้อนเงาได้ติดอยู่นั้นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4 กระบวนการเคลือบสารสี

หลังจากได้กระจกเงาแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยากับอากาศในขั้นตอนนี้เป็นตัวตัดสินคุณภาพของกระจก ว่าเทคโนโลยีของใครจะสามารถปกป้องกระจกได้นานกว่ากันโดยในระบบโดยทั่วไปจะใช้การเคลือบสีเป็นตัวป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของกระจกโดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. ชั้นที่ 1 ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาของโลหะสะท้อนเงากับอากาศ
2. ชั้นที่ 2 ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดการขีดข่วนที่จะทำให้เกิดรอยกับสีชั้นที่ 1 จะทำให้กระจกทำปฏิกิริยากับอากาศได้

หลังจากผ่านกระบวนการเคลือบสีแล้วกระจกจะผ่านเข้าห้องอบสีต่อโดยที่มีการควบคุมอุณหภูมิของการอบโดยที่การอบจะแบ่งเป็น 2 ช่วงคือ

1. ช่วงการอบเพื่อไล่ตัวทำละลายของสีออกโดยที่ช่วงนี้อุณหภูมิจะขึ้นอย่างรวดเร็ว
2. ช่วงที่ 2 จะเป็นการอบเพื่อให้สีแห้งโดยในช่วงนี้จะทำการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

2.3.5 กระบวนการล้างกระจกและทำความสะอาดกระจก

กระจกที่ผ่านกระบวนการผลิตกระจกแล้วจะมีโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่เกิดปฏิกิริยาส่วนเกิดที่ด้านหน้าของกระจกจำเป็นต้องทำการล้างออกก่อนและทำความสะอาดก่อนส่งขายโดยในขั้นตอนนี้จะใช้สารเคมีเป็นตัวกำจัดโลหะสะท้อนเงาโดยใช้สารละลายการกรดที่เกิดปฏิกิริยาบนผิวหน้าของกระจก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต

2.4.1 น้ำ DI (Deionized water)[3]

น้ำปราศจากไอออน (deionized water) หรือทั่วไปเรียกกันว่าน้ำ DI เป็นน้ำที่ผ่านการกรองไอออน โดยใช้เรซินเป็นตัวกรองสองชนิดคือเรซินที่ใช้กำจัดไอออนบวกและเรซินที่ใช้กำจัดไอออนลบจึงทำให้ได้น้ำที่ไม่มีไอออนหลงเหลืออยู่และเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงอย่างแท้จริง เพราะโมเลกุลที่เหลืออยู่จะมีเพียงโมเลกุลของน้ำ H_2O เท่านั้น ปัจจุบันวิธี deionization เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำให้น้ำบริสุทธิ์ และยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับวิธีการทำให้น้ำบริสุทธิ์วิธีอื่น ๆ เช่น RO การกรอง หรือการกลั่นอีกด้วย ถึงแม้ว่าวิธี DI จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีข้อจำกัดคือไม่สามารถกรองจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีอื่นควบคู่กันไป

รูปที่ 2.8 ระบบผลิตน้ำ DI

2.4.2 **ซีเรียมออกไซด์** (Cerium Oxide CeO_2)[3]

เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำทำหน้าที่ในการขัดผิวของกระจก โดยกรรมวิธีการใช้จะทำการผสมกับน้ำโดยต้องทำการกวนตลอดเวลาเนื่องจากว่าผงซีเรียมไม่ละลายน้ำแต่จะแขวนลอยในน้ำและจะตกตะกอนอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องกวนสารตลอดเวลาในการผลิต

รูปที่ 2.9 ผงซีเรียมออกไซด์และโมเลกุลของซีเรียมออกไซด์

คุณสมบัติทั่วไปของ ซีเรียม

1. ชื่อทั่วไป ซีเรียม ออกไซด์ ,Ceric oxide, Ceria, Cerium dioxide
2. สูตรเคมี CeO_2
3. น้ำหนักมวล 172.115 g/mol
4. 7.65 g/cm^3, solid , 7.215 g/cm^3, fluorite phase
5. จุดหลอมเหลว 2100 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทที่ 3 อธิบายการทดลองและการหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมีและความเข้มข้นของสารเคมีกับคุณภาพและคุณสมบัติของกระจกเงา

3.1 ข้อมูลของกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

กระบวนการผลิตกระจกเงาเป็นกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ผิวของกระจกขนาดคงที่ แต่สามารถเคลื่อนที่โดยลำเลียงผ่านสายพานลำเลียงด้วยความเร็วคงที่ มีการพ่นเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตจากด้านบนทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวกระจก และพ่นน้ำ (DI water) เพื่อล้างสารเคมีก่อนที่จะส่งผ่านไปพ่นสารเคมีชุดต่อไป และการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะสิ้นสุดลงเมื่อกระจกเคลื่อนที่ผ่านชุดพ่นน้ำสำหรับล้างเคมี (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) ด้วยอัตราการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียงที่คงที่ในสายการผลิต การเปลี่ยนแปลงเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมีสามารถทำโดยเพิ่มหรือลดระยะทางระหว่างชุดพ่นสารเคมีกับชุดพ่นน้ำล้างสารเคมี โดยการเพิ่มนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีนานขึ้น และการลดระยะทางลงจะเป็นการลดระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมีเช่นกัน

ในกระบวนการผลิตกระจกเงาการพ่นสารเคมีลงบนกระจกจะถูกควบคุมด้วยการผสมกันระหว่างสารเคมีกับน้ำ(DI water) แล้วจึงพ่นลงบนกระจก การผสมกันนี้จะใช้ปั๊มในการผสม โดยควบคุมอัตราการจ่ายของน้ำ (DI water) ให้คงที่และสามารถเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเคมีโดยการปรับอัตราการจ่ายของปั๊มที่มีการควบคุมเป็น ลบ.ซม.ต่อนาที

รูปที่ 3.1 แสดงการพ่นสารเคลือบผิวที่ใช้ในกระบวนการผลิต

โดยใช้ความสัมพันธ์ของระยะทางกับเวลา จาก

$$D = \nu t$$

โดยกำหนดให้

D = ระยะห่างระหว่างหัวพ่นสารเคมีกับหัวพ่นน้ำล้าง (เซนติเมตร: cm)

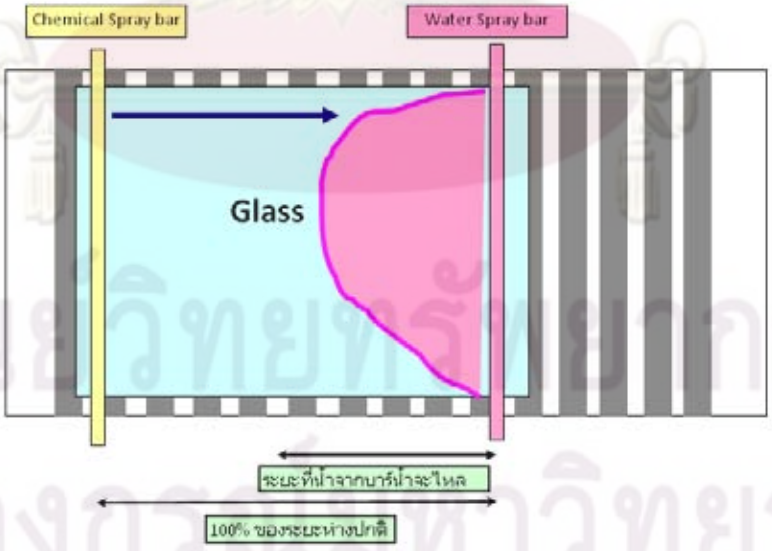
ν = ความเร็วของสายพานการผลิต (เมตรต่อนาที: m/min)

t = ระยะเวลาระหว่างที่กระจกเคลื่อนที่จากหัวพ่นสารเคมีกับหัวพ่นน้ำล้าง (วินาที: sec)

3.2 ข้อจำกัดของกระบวนการผลิต

3.2.1 ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาเคมีบนผิวกระจก

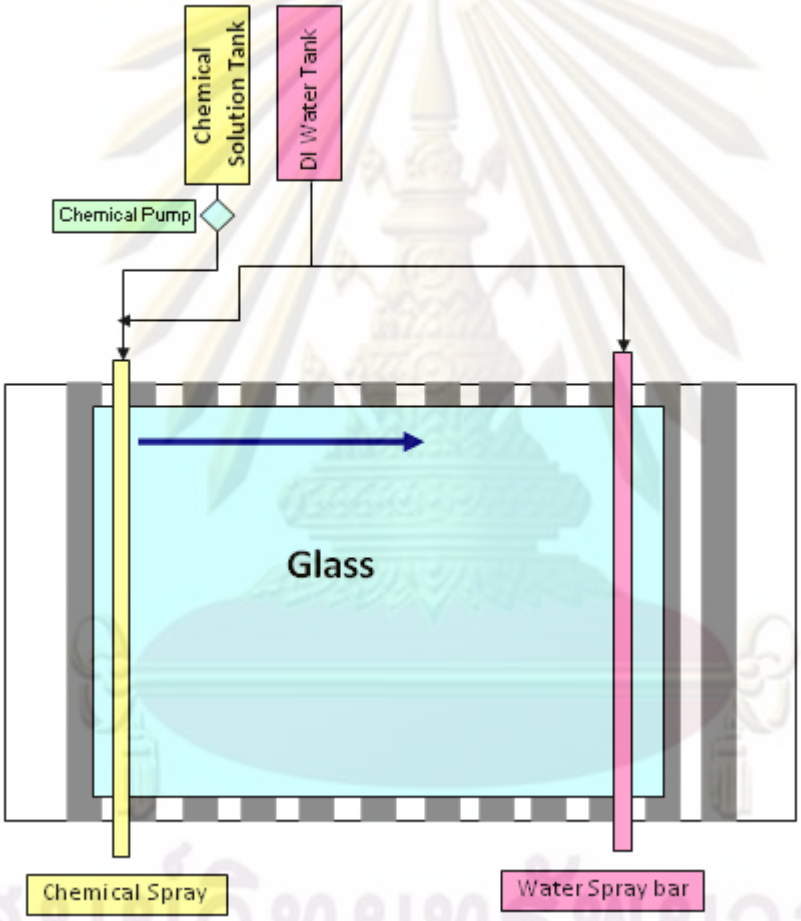
ในกระบวนการผลิตนั้น เป็นการผลิตแบบสายพานลำเลียงโดยในการผลิตกระจกมีหลายขนาดด้วยกันตั้งแต่ขนาดกลาง (1220 x 2440 mm x mm) จนถึงขนาดใหญ่ (2440 x 3660 mm x mm) ด้วยความเร็วสายพานการผลิตคงที่เมื่อทำการผลิตกระจกขนาดใหญ่หรือกระจกที่มีความยาวมากจะทำให้ระยะที่น้ำล้างจากหัวพ่นน้ำล้างจะเข้ามาเจือจางสารยึดเกาะออกจากผิวของกระจกทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ (รูปที่ 3.2) จึงทำให้สามารถลดเวลาของปฏิกิริยาทางลงได้ไม่เกินร้อยละ 53 และร้อยละ 40 ของคาบเวลาปกติ สำหรับสารยึดเกาะชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 การกระจายของน้ำล้างบนผิวกระจก

3.2.2 ความเข้มข้นของสารยึดเกาะ

ความเข้มข้นของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิดเกิดจากการผสมกันโดยสารเคมีจะถูกปั้มจากถังเก็บ มาผสมกับน้ำ DI ก่อนเข้าที่แกนของหัวพ่นเคมี การทำงานของปั้มจะถูกควบคุมด้วยไฟฟ้าและทำงานแบบกระบอกสูบ เนื่องจากเป็นการทำงานแบบกระบอกสูบทำให้ปริมาณของสารเคมีที่ถูกจ่ายออกมาผสมกับน้ำ DI โดยไม่ควรปรับลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 มากกว่า 14% และ สารยึดเกาะชนิดที่ 2 มากกว่า 6% ในการลดแต่ละครั้งของการทดลอง ซึ่งอาจทำให้การทดลองผิดพลาดได้เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์การผลิต



รูปที่ 3.3 การผสมสารยึดเกาะกับน้ำ DI

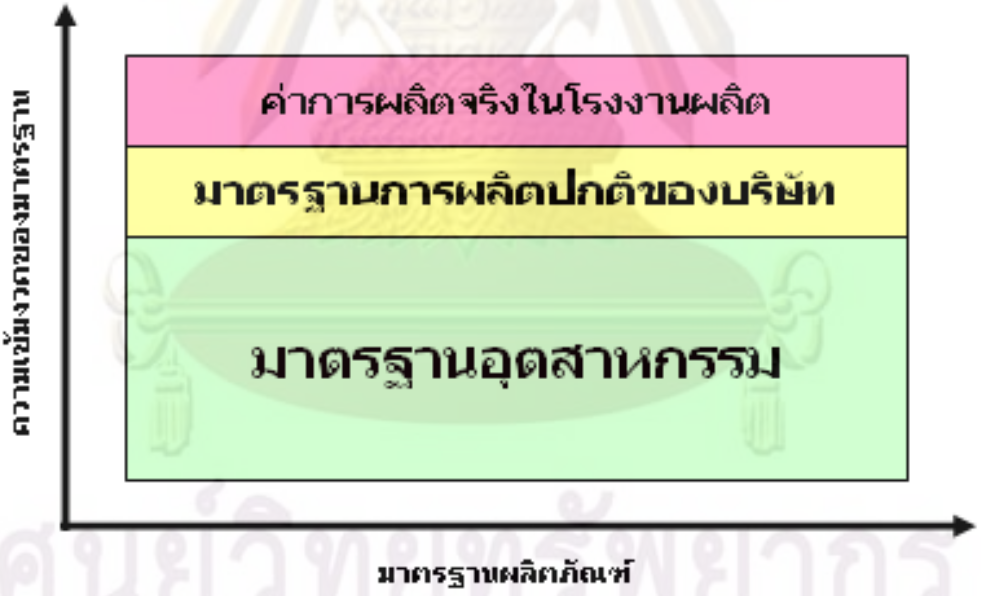
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ในการผลิตปกติกระจกที่ใช้มีหลากหลายขนาดตั้งแต่ขนาดกลาง (1220 x 2440 mm x mm) จนถึงขนาดใหญ่ (2440 x 3660 mm x mm) แต่ในการทดลองไม่สามารถใช้กระจกขนาดใหญ่ในการทดลองได้จำเป็นต้องใช้กระจกขนาดเล็กในการทดลอง (กระจกขนาด 210 x 914 mm x mm ,หนา 5 มิลลิเมตร) แต่เพื่อให้การทดลองสามารถเทียบได้กับการผลิตปกติจึงได้ทดสอบผลของขนาดแผ่นกระจกทดสอบเทียบกับแผ่นกระจกเงาที่ผลิตตามปกติ

3.2.4 วิธีการทดสอบกระจก

การทดสอบทั้ง 3 ชนิดเป็นการทดสอบที่ถูกกำหนดมาตรฐานโดยบริษัทให้สูงกว่าค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม การควบคุมการผลิตปกติจะอยู่สูงกว่ามาตรฐานของบริษัทอีกทีหนึ่ง เพื่อป้องกันความผิดพลาดอันเป็นสาเหตุของความด้อยคุณภาพของกระจกเอง ในการวิจัยชิ้นนี้จึงรายงานผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองโดยเทียบกับกระบวนการผลิตปกติ



รูปที่ 3.4 ระดับความเข้มงวดของมาตรฐานการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.5 ตัวแปรจากกระบวนการผลิต

ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของกระจกเงา

1. **ตัวแปรควบคุมตามกระบวนการผลิตปกติ**
   - ความเร็วของสายพานลำเลียง (ν_0)
   - อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ผสมกับสารเคมีและอุณหภูมิของผิวกระจก (T_0)
   - ความดันของหัวพ่นแต่ละจุด (P_0)
2. **ตัวแปรศึกษา**
   - ความเข้มข้นของสารยึดเกาะ 2 ชนิดในกระบวนการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้า (C_0)
   - ระยะทางการเกิดปฏิกิริยาเคมี (S_0)

3.3 วิธีการทดสอบผลของการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

3.3.1 ปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1

1. วัดระยะระหว่างหัวพ่นเคมีของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 กับหัวพ่นน้ำสำหรับล้างเคมีให้อยู่ที่ 100% ของการผลิตปกติ
2. ป้อนกระจกเข้าในสายการผลิตจำนวน 2 แผ่นตามขนาดที่ได้เตรียมไว้ วัดระยะห่างของหัวพ่นสารเคมีของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 กับหัวพ่นน้ำสำหรับล้างเคมี
3. หลังจากที่กระจกผ่านการเคลือบโลหะสะท้อนเงาแล้วเก็บตัวอย่าง จำนวน 1 แผ่นโดยไม่ต้องเคลือบสี
4. ทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธีไตรเตรตชั่น
5. บันทึกผลการทดลองที่ได้
6. เคลือบสีกระจกแผ่นที่สองแล้วตัดให้ได้ขนาด 12 x 12 นิ้ว
7. เข้าทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test : ASTM B 368-97)
8. ทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งด้วยตัวแปรเดิมและเก็บผลการทดลอง
9. ทดลองซ้ำแต่ทำการปรับระยะทางระหว่างหัวพ่นเคมีของสารเคลือบผิวชนิดที่ 1 กับหัวพ่นน้ำสำหรับล้างเคมี จากเดิมเป็น 93%, 87%, 80%, 67% ของระยะทางการผลิตปกติ จำนวน 4 การทดลอง และเก็บผลการทดลอง
10. นำตัวอย่างจากการทดลองมาลดระยะทางระหว่างหัวพ่นเคมีของสารเคลือบผิวชนิดที่ 1
    ก. ทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธีไตรเตรตชั่น

ข. ทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test :ASTM B 368-97)

3.3.2 **ปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่** 2

1. วัดระยะระหว่างหัวพ่นเคมีของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 กับหัวพ่นน้ำสำหรับล้างเคมีให้อยู่ที่ 100% ของการผลิตปกติ
2. ป้อนกระจกเข้าสายการผลิตจำนวน 2 แผ่นตามขนาดที่เตรียมไว้ วัดระยะห่างของหัวพ่นเคมีของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 กับหัวพ่นน้ำสำหรับล้างเคมี
3. หลังจากที่กระจกผ่านการเคลือบโลหะสะท้อนเงาแล้ว เก็บตัวอย่าง จำนวน 1 แผ่น โดยไม่ต้องเคลือบสี
4. ทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธีไตรเตรตชั่น
5. บันทึกผลการทดลองที่ได้
6. กระจกแผ่นที่สองเคลือบสี แล้วตัดให้ได้ขนาด 12 x 12 นิ้ว
7. ทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test : ASTM B 368-97)
8. ทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งด้วยตัวแปรเดิมและเก็บผลการทดลอง
9. ทดลองซ้ำแต่ปรับระยะระหว่างหัวพ่นเคมีของสารเคลือบผิวชนิดที่ 2 กับหัวพ่นน้ำสำหรับล้างเคมี จากเดิมเป็น 95%, 90%, 85%, 80% จำนวน 4 การทดลอง และเก็บผลการทดลอง
10. นำตัวอย่างการทดลองมาลดระยะทางระหว่างหัวพ่นสารเคมีของสารเคลือบผิวชนิดที่ 2
    ก. ทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธีไตรเตรตชั่น
    ข. ทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test :ASTM B 368-97)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 วิธีการทดสอบผลของการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะ

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

3.4.1 ปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1

1. ตั้งค่าความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ที่อัตราความเข้มข้น 100% ของการผลิตปกติ
2. ป้อนกระจกเข้าในสายการผลิตจำนวน 2 แผ่นตามขนาดที่ได้เตรียมไว้ พ่นสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ที่ความเข้มข้น 100 % (ตามการผลิตปกติ)
3. หลังจากที่กระจกผ่านการเคลือบโลหะสะท้อนเงาแล้ว เก็บตัวอย่าง จำนวน 1 แผ่นโดยไม่ต้องทำการเคลือบสี
4. ทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธีไตรเตรตชั่น
5. บันทึกผลการทดลองที่ได้
6. กระจกแผ่นที่สองเคลือบสีแล้ว ตัดให้ได้ขนาด 12 x 12 นิ้ว
7. ทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test : ASTM B 368-97)
8. ทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งด้วยค่าการทดลองเดิมและเก็บผลการทดลอง
9. ทดลองซ้ำแต่ปรับความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 เป็น 86%, 71% ของความเข้มข้นในการผลิตปกติจำนวน 2 การทดลอง และเก็บผลการทดลอง
10. นำตัวอย่างจากการทดลองลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1
    ก. ทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธีไตรเตรตชั่น
    ข. ทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test :ASTM B 368-97)

3.4.2 ปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2

1. ตั้งค่าความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ที่อัตราความเข้มข้น 100% ของการผลิตปกติ
2. ป้อนกระจกเข้าในสายการผลิตจำนวน 2 แผ่นตามขนาดที่ได้เตรียมไว้ พ่นสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ที่ความเข้มข้น 100 % (ตามการผลิตปกติ)
3. หลังจากที่กระจกผ่านการเคลือบโลหะสะท้อนเงาแล้ว เก็บตัวอย่าง จำนวน 1 แผ่นโดยไม่ต้องเคลือบสี
4. ทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวกระจกโดยวิธีไตรเตรตชั่น
5. บันทึกผลการทดลองที่ได้
6. กระจกแผ่นที่สองเคลือบสีแล้วตัดให้ได้ขนาด 12 x 12 นิ้ว

7. ทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test : ASTM B 368-97)
8. ทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งด้วยค่าการทดลองเดิม และเก็บผลการทดลอง
9. ทดลองซ้ำแต่ปรับความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 เป็น 94%, 88% ของความเข้มข้นในการผลิตปกติจำนวน 2 การทดลอง และเก็บผลการทดลอง
10. นำตัวอย่างจากการทดลองลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2
    ก. ทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธีไตรเตรตชั่น
    ข. ทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนของกระจก (Cass Test :ASTM B 368-97)

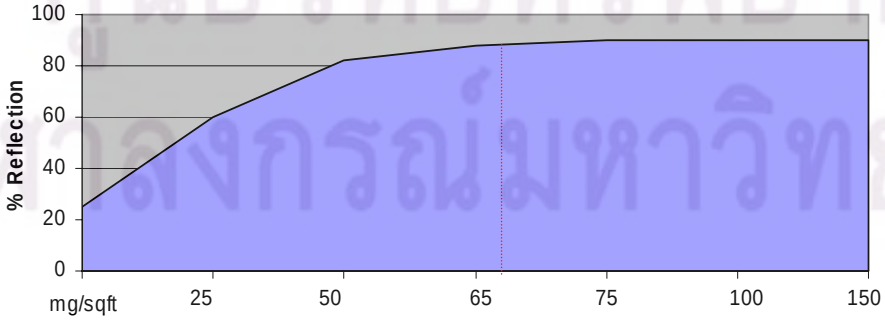
3.5 การทดสอบคุณภาพของกระจกเงา

เพื่อทดสอบผลของการทดลอง จะวัดผลการทดลองจากผลการทดสอบคุณสมบัติ 3 ส่วนของกระจกเงา คือ

1. คุณภาพการสะท้อนแสงกระจกเงา [5] [6]
1. คุณสมบัติการยึดเกาะของสารยึดเกาะต่อชั้นของสารเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบกระจก (การกัดกร่อนที่ขอบ) [7]
2. คุณสมบัติการยึดเกาะของสารยึดเกาะบนชั้นของสารเคลือบผิวสะท้อนเงาที่กระจกด้านใน (การเกิดจุดดำ) [8]

3.5.1 การวัดคุณภาพการสะท้อนเงาของกระจกเงา[5] [6]

การวัดคุณภาพของกระจกเงาที่ได้โดยวิธีการวัดคุณภาพจากการสะท้อนของเงา การวัดค่าการสะท้อนแสงทำได้ยากและใช้อุปกรณ์พิเศษ แต่จากการศึกษาพบว่าการสะท้อนแสงมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาต่อพื้นที่จึงใช้การทดสอบวัดผลโดยหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาที่ยึดเกาะอยู่บนผิวของกระจกโดยวิธีไตรตเตรตชั่น



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาต่อหน่วยพื้นที่ (mg/m^2)

3.5.2 **ความทนทานต่อการกัดกร่อนบริเวณขอบกระจก**[7]

การทดสอบคุณภาพการยึดเกาะของสารยึดเกาะกับชั้นโลหะเคลือบสะท้อนเงาสามารถทำได้โดยวิธีวัดการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบแผ่นกระจกจากการทดสอบแผ่นกระจกเงาในสภาวะยิ่งยวดโดยวิธีที่เรียกว่า Cass Test ตามมาตรฐานของ ASTM B 368-97 โดยมาตรฐานระบุว่าค่าที่ได้จากการทดสอบความทนต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวดต้องมีค่าการกัดกร่อนสูงสุดน้อยกว่า 300 นาโนเมตรจากขอบกระจก

3.5.3 **ความทนทานต่อการกัดกร่อนบริเวณในของแผ่นกระจก**[8]

ในการทดสอบของทางบริษัทยังมีการตรวจสอบเพิ่มเติมจากการทดสอบคุณภาพการยึดเกาะของสารยึดเกาะกับชั้นโลหะเคลือบสะท้อนเงา จากวิธีการทำ Cass Test ตามมาตรฐานของ ASTM B 368-97 โดยนำตัวอย่างทดสอบที่ได้จากการทำการทดสอบ Cass Test มาตรวจสอบดูการเกิดจุดดำหรือ Black spot ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของโลหะสะท้อนเงากับอากาศทำให้เกิดจุดดำที่ด้านในของแผ่นกระจก จากการทดสอบคุณสมบัติการยึดเกาะของสารเคลือบผิวสะท้อนเงากับสารยึดเกาะเป็นตัวช่วยบอกถึงคุณภาพของแผ่นกระจกด้านในด้วยว่า การกระจายตัวของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิดกระจายตัวได้ดีหรือไม่ โดยกำหนดให้มาตรฐานอยู่ที่ 1 จุดต่อ 1 แผ่นกระจกทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และ อภิปรายผล

ในบทที่ 4 อธิบายผลจากศึกษาอิทธิพลของการปรับลดเวลาและความเข้มข้นของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิดโดยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน โดยแยกการอธิบายผลการทดลองออกเป็นแต่ละการทดลอง แล้วจึงอภิปรายผลการทดลองอีกครั้ง ตามข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

4.1 ผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1

การลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาโดยลดระยะทางการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 โดยควบคุมความเข้มข้นและระยะทางของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาและปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อการทดลองไว้ ณ ค่าการผลิตเดิม ในการทดลองจะใช้กระจกขนาดเล็ก โดยเทียบกับการผลิตกระจกขนาดใหญ่ในการผลิตปกติ เพิ่มการทดลองที่ 0 เข้าในตารางแสดงผลการทดลองเนื่องจากการทดลองที่ 0 เป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากการผลิตจริงในขนาดใหญ่กว่าเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับการทดลองที่ใช้กระจกขนาดเล็ก

4.1.1 ผลการศึกษาการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1

การลดระยะทางต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 กับกระจกโดยใช้การทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจกโดยวิธีการไตรเตรตชั่นและการทดสอบคุณสมบัติการยึดเกาะโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test)

ทดลองโดยลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารเคลือบผิวที่ 1 บนกระจกโดยทดลองจำนวน 5 ครั้งต่อ 1 การทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยค่าที่แสดงจะใช้หน่วยเป็นร้อยละของการผลิตมาตรฐานการผลิตกระจก ในการทดลองนั้นได้ทดลองจำนวน 5 ขั้นดังผลในตาราง และ กราฟความสัมพันธ์ด้านล่างโดยแยกผลการทดสอบออกเป็นการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจก ระยะการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบ และปริมาณจุดดำ (Black spot) ที่เกิดขึ้น

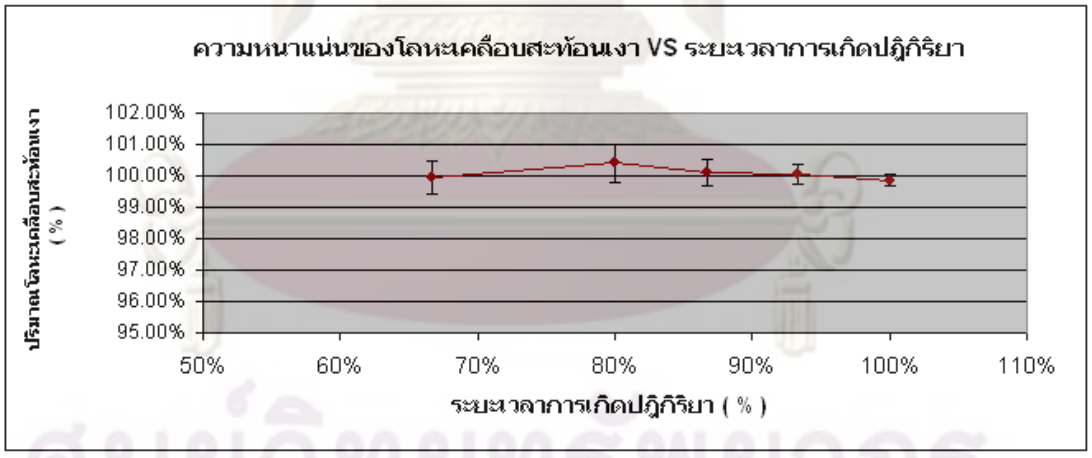
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณภาพของกระจกจากการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยา

No.	Concentration	Time	Metal Reflection		Result black spot		Max. Edge Corrosion	
			AVG	SD	Spot/Sq.m	SD	AVG	SD
การผลิตมาตรฐาน	100%	100%	100%		5.43		100%	
1	100%	100%	99.87%	0.21%	4.35	0.55	99%	6.5%
2	100%	93%	100.05%	0.29%	6.52	0.55	100%	6.4%
3	100%	87%	100.11%	0.42%	6.52	0.55	98%	6.3%
4	100%	80%	100.40%	0.63%	8.70	0.45	101%	6.5%
5	100%	67%	99.95%	0.55%	4.35	0.55	98%	7.5%

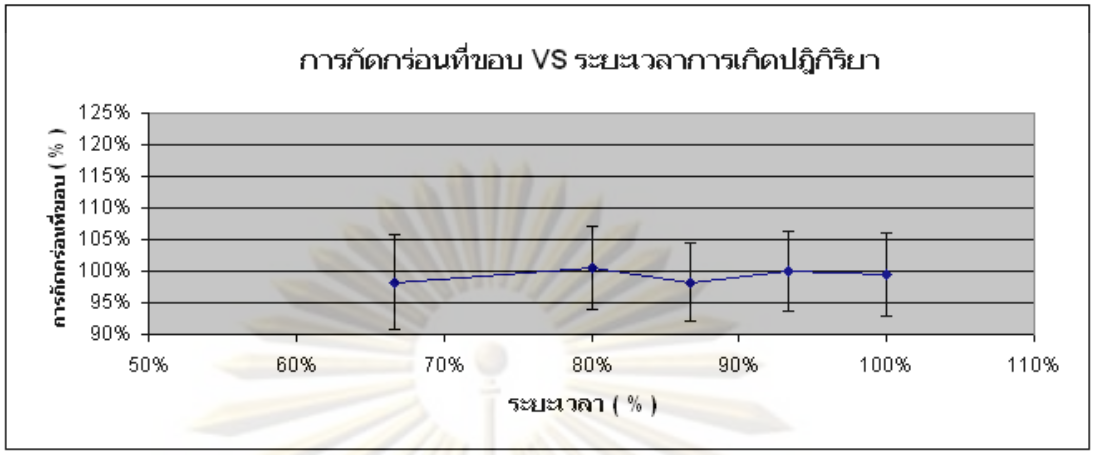
* เพิ่มเติม

1. การทดลองที่ 0 (การผลิตมาตรฐาน) คือ ตัวอย่างที่ไม่ได้จากการทดลองแต่ได้จากการผลิตปกติ จะเก็บเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิต
2. การทดลองที่ 1 คือ การทดลองโดยควบคุมตัวแปรในการผลิตเหมือนกับการผลิตปกติแต่ทำการลดขนาดของแผ่นกระจกลง
3. ที่ 100% ของตัวแปร (ความเข้มข้น ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา) หมายถึง มีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้เท่ากับการผลิตปกติ
4. ที่ 100% ของผลการทดลอง หมายถึง ค่าเฉลี่ยปกติของผลที่ได้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2) (100% ของระยะเวลา คือ ระยะเวลาเท่ากับเวลาในการผลิตจริง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของระยะการกัดกร่อนที่ขอบกับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2) (100% ของระยะเวลา คือ ระยะเวลาเท่ากับเวลาในการผลิตจริง)

4.1.2 การทดสอบความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจก

ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรทั้งสองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงเป็นกระจกขนาดเล็กลงพบว่าผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 4.1 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกได้

จากการทดลองที่ 2, 3 ,4 และ 5 เป็นการทดลองลดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงเหลือเป็น 93%, 87%, 80%, 67% ของการผลิตปกติโดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงจนกระทั่งเหลือเป็น 67% ของการผลิตปกติ ความหนาแน่นของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติ

4.1.3 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนที่ขอบกระจก

จากผลการทดสอบกระจกที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด(Cass Test) เพื่อหาคุณสมบัติการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากความสามารถในความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test) โดยวัดการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบผลการทดสอบหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบของกระจกที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรทั้งสองไว้ ณ การ

ผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงเป็นกระจกขนาดเล็กลงพบว่าผลการทดสอบค่าการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบของกระจกเงาได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 4.2 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบของกระจกได้

จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นการทดลองลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงเหลือเป็น 93%, 87%, 80%, 67% ของการผลิตปกติ โดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงจนกระทั่งเหลือเป็น 67% ของการผลิตปกติ ค่าการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบของกระจกเงาไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติ

4.1.4 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนที่ด้านในของแผ่นกระจก

จากผลการทดสอบกระจกที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด(Cass Test) เพื่อหาคุณสมบัติการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากความสามารถในความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test) โดยวัดปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นผลการทดสอบหาปริมาณของจุดดำ (Black Spot) ที่เกิดขึ้นที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรของทั้งสองการทดลองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงพบว่า ปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นนั้นไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นได้

จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นการทดลองลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงเหลือเป็น 93%, 87%, 80%, 67% ของการผลิตปกติโดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงจนกระทั่งเหลือเป็น 80% ของการผลิตปกติปริมาณค่าเฉลี่ยของจุดดำ (Black Spot) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม ในการผลิตปกติเป็น 160% ของการผลิตปกติมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในมาตรฐานการผลิตของทางบริษัท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.5 อภิปรายและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงพบว่าไม่มีผลกับการเกิดปฏิกิริยา โดยดูจากผลของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาและคุณสมบัติการยึดเกาะของชั้นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับกระจก (ตาราง 4.1) สามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาของสารเป็นการเกิดแบบทันทีเนื่องจากเป็นการแทนที่ของไฮโดรเจนที่ผิวของกระจกทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว ส่วนผลจากการทดลองที่พบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนทั้ง 2 ชนิดมีค่าสูง เนื่องมาจากวิธีการทดสอบต้องใช้เวลาในการทดสอบนาน 5 วัน อีกทั้งเป็นการวัดผลที่กระทำโดยใช้สายตาและระบุขนาดโดยบุคคลหลายคนทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูง

ผลพบว่าสามารถลดระยะเวลาลงมาเหลือเป็น 67% ของเวลาการผลิตปกติโดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพของกระจก ทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตกระจกจากปกติอีก 33% โดยการเพิ่มความเร็วของสายพานการผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 ผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2

การลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาโดยลดระยะทางการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 โดยควบคุมความเข้มข้นและระยะทางของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาและปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อการทดลองไว้ ณ ค่าการผลิตเดิมในการทดลองจะใช้กระจกขนาดเล็ก โดยเทียบกับการผลิตกระจกขนาดใหญ่ในการผลิตปกติ เพิ่มการทดลองที่ 0 เข้าในตารางแสดงผลการทดลองเนื่องจากการทดลองที่ 0 เป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากการผลิตจริงในขนาดใหญ่กว่าเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับการทดลองที่ใช้กระจกขนาดเล็ก

4.2.1 ผลการศึกษาการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2

การลดระยะทางต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 กับกระจกโดยใช้การทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจกโดยวิธีการไตรเตรตชั่นและการทดสอบคุณสมบัติการยึดเกาะโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test)

ทดลองโดยลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารเคลือบผิวที่ 2 บนกระจกโดยทดลองจำนวน 5 ครั้งต่อ 1 การทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยค่าที่แสดงจะใช้หน่วยเป็นร้อยละของการผลิตมาตรฐานการผลิตกระจก ในการทดลองนั้นได้ทดลองจำนวน 5 ขั้นดังผลในตาราง และ กราฟความสัมพันธ์ด้านล่างโดยแยกผลการทดสอบออกเป็นการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจก ระยะการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบ และปริมาณจุดดำ (Black spot) ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบคุณภาพของกระจกจากการลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา

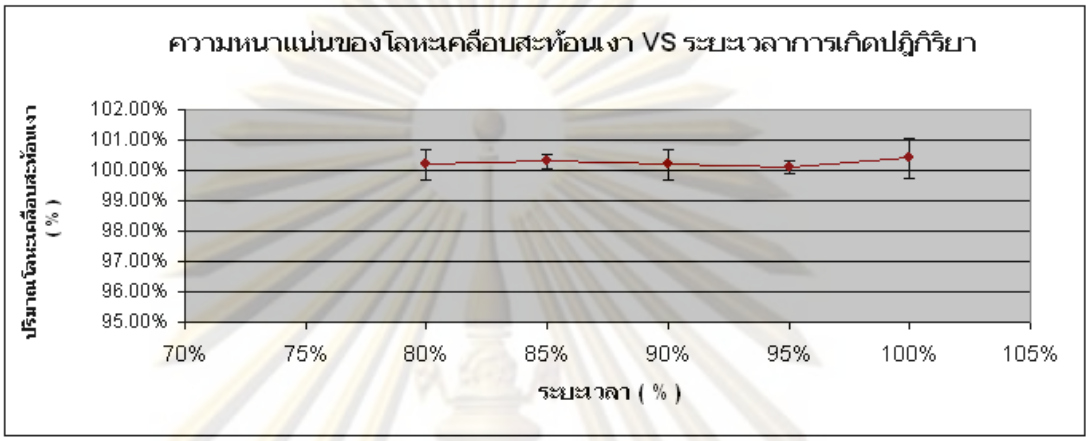
No.	Concentration	Time	Metal Reflection		Result black spot		Max. Edge Corrosion	
			AVG	SD	Spot/Sq.m	SD	AVG	SD
การผลิตมาตรฐาน	100%	100%	100%		5.43		100%	
1	100%	100%	100.40%	0.67%	2.17	0.45	98%	6.3%
2	100%	95%	100.12%	0.21%	4.35	0.55	101%	9.6%
3	100%	90%	100.20%	0.50%	6.52	0.89	102%	6.3%
4	100%	85%	100.29%	0.24%	10.87	1.00	102%	8.5%
5	100%	80%	100.20%	0.50%	10.87	0.71	103%	8.1%

* เพิ่มเติม

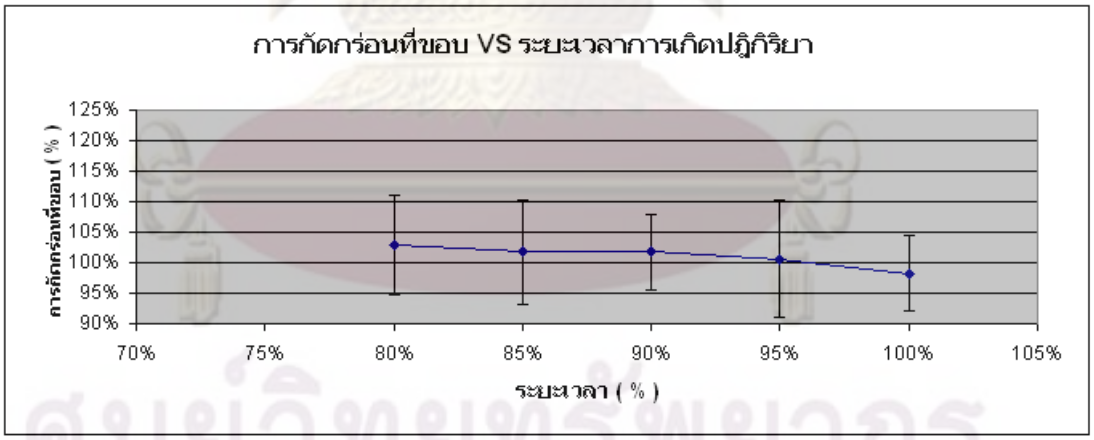
1. การทดลองที่ 0 (การผลิตมาตรฐาน) คือ ตัวอย่างที่ไม่ได้จากการทดลองแต่ได้จากการผลิตปกติ จะเก็บเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิต
2. การทดลองที่ 1 คือ การทดลองโดยควบคุมตัวแปรในการผลิตเหมือนกับการผลิตปกติแต่ทำการลดขนาดของแผ่นกระจกลง

3. ที่ 100% ของตัวแปร (ความเข้มข้น ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา) หมายถึง มีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้เท่ากับการผลิตปกติ

4. ที่ 100% ของผลการทดลอง หมายถึง ค่าเฉลี่ยปกติของผลที่ได้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2) (100% ของระยะเวลา คือ ระยะเวลาเท่ากับเวลาในการผลิตจริง)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของปริมาณการกัดกร่อนที่ขอบกระจกกับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2) (100% ของระยะเวลา คือ ระยะเวลาเท่ากับเวลาในการผลิตจริง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 การทดสอบความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจก

ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรในการผลิตทั้งสองการทดลองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลง พบว่าผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 4.3 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกได้

จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นการทดลองลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงเหลือเป็น 95%, 90%, 85%, 80% ของการผลิตปกติโดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงจนกระทั่งเหลือร้อยละ80% ของการผลิตปกติ ความหนาแน่นของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติ

4.2.3 ผลการทดสอบความสามารถในการทนทานต่อการกัดกร่อนที่ขอบของกระจก

จากผลการทดสอบกระจกที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด(Cass Test) เพื่อหาคุณสมบัติการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากความสามารถในความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test) โดยวัดการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบกระจก ผลการทดสอบหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบของกระจกที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรทั้งสองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงเป็นกระจกขนาดเล็ก พบว่าผลการทดสอบค่าการเกิดการกักกร่อนที่ขอบของกระจกเงาไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 4.4 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบของกระจกได้ จากการทดลองที่ ที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นการทดลองลดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงเหลือเป็น 95%, 90%, 85%, 80% ของการผลิตปกติโดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่าผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงจนกระทั่งเหลือเป็น 80% ของการผลิตปกติ ค่าการเกิดการกักกร่อนที่ขอบของกระจกเงามีค่าเพิ่มขึ้น 3% จากการผลิตปกติแต่ยังอยู่ในมาตรฐานการผลิตของทางบริษัท

4.2.4 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนที่ด้านในของแผ่นกระจก

จากผลการทดสอบกระจกที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด(Cass Test) เพื่อหาคุณสมบัติการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากความสามารถในความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test) โดยวัดปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นผลการทดสอบหาปริมาณของจุดดำ (Black Spot) ที่เกิดขึ้นที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยทำการควบคุมตัวแปรในการผลิตทั้งสองการทดลองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงเป็นกระจกขนาดเล็กลงพบว่าปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในตาราง 4.2 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นได้

จากการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นการทดลองลดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงเหลือเป็น 95%, 90%, 85%, 80% ของการผลิตปกติโดยทำการเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงจนกระทั้งเหลือเป็น 80% ของการผลิตปกติปริมาณค่าเฉลี่ยของจุดดำ (Black Spot) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 200% เมื่อเทียบกับการผลิตปกติแต่ยังอยู่ในมาตรฐานการผลิตของทางบริษัท

4.2.5 อภิปรายและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงพบว่าไม่มีผลต่อความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงา แต่ส่งผลกับคุณสมบัติการยึดเกาะของชั้นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับกระจก (ตาราง 4.2) สามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ได้ว่าความหนาแน่นของสารเคลือบผิวสะท้อนเงาไม่ลดลงแต่การกระจายตัวของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ไม่ทั่วถึงส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของชั้นโลหะสะท้อนเงาทำได้ไม่ดีเนื่องจากเป็นการเกิดปฏิกิริยาโดยการพ่นสารเคมีลงบนหน้ากระจกเป็นละอองของหยดน้ำแล้วทำการรวมตัวกันบนผิวหน้าของกระจกอีกทีหนึ่งการลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงมีผลให้การรวมตัวของหยดน้ำไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดปฏิกิริยากับโลหะเคลือบสะท้อนเงาไม่สม่ำเสมอกันทั่วทั้งแผ่น และผลจากการทดลองที่พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนทั้ง 2 ชนิดมีค่าสูงเนื่องมาจากวิธีการทำการทดสอบต้องใช้เวลาในการทดสอบนาน 5 วัน อีกทั้งเป็นการวัดผลที่กระทำระบุโดยใช้สายตาและทำการระบุขนาดโดยบุคคลหลายคนทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูง

ผลจากการลดระยะเวลาลงมาเหลือเป็น 80% ของเวลาการผลิตปกติโดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพของกระจก จากการทดลองพบว่าทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตกระจกจากปกติอีก 20% โดยการเพิ่มความเร็วของสายพานของผลิต

จากกระบวนการผลิตกระจกเป็นการผลิตแบบสายพานลำเลียงด้วยความเร็วคงที่ทั้งสายการผลิตฉะนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิด คือ เมื่อทำการเพิ่มความเร็วสายพานลำเลียงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารทั้ง 2 ชนิดเท่ากัน และจากการทดลองลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 และเมื่อนำผลการทดลองของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิดมาทำการวิเคราะห์ร่วมกันจะเห็นว่าการเพิ่มความเร็วของสายพานการในผลิตโดยไม่กระทบคุณภาพของกระจกเงา สามารถเพิ่มความเร็วสายพานการผลิตได้ 20% จากความเร็วของการผลิตเดิม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ผลการลดความเข้มข้นของสารละลายสารยึดเกาะชนิดที่ 1

การลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 โดยควบคุมความเข้มข้นและระยะทางของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาและปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อการทดลองไว้ ณ ค่าการผลิตเดิม โดยในการทดลองจะใช้กระจกขนาดเล็ก โดยเทียบกับการผลิตขนาดใหญ่ในการผลิตปกติ เพิ่มการทดลองที่ 0 เข้าในตารางแสดงผลการทดลองเนื่องจากการทดลองที่ 0 เป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากการผลิตจริงในขนาดใหญ่กว่าเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับการทดลองที่ใช้กระจกขนาดเล็ก

4.3.1 ผลการศึกษาการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1

การลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 บนกระจก โดยใช้การทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจกโดยวิธีการไตรเตรตและการทดสอบคุณสมบัติการยึดเกาะโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test)

ทดลองโดยลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 โดยทดลองจำนวน 5 ครั้งต่อ 1 การทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยค่าที่แสดงจะใช้หน่วยเป็นร้อยละของการผลิตมาตรฐานการผลิตกระจกในการทดลองนั้นได้ทดลองกับการปรับความเข้มข้นจำนวน 3 ขั้นดังผลในตาราง และกราฟความสัมพันธ์ด้านล่างโดยแยกผลการทดสอบออกเป็นการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจก ระยะการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบ และปริมาณจุดดำ (Black spot) ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณภาพของกระจกจากการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1

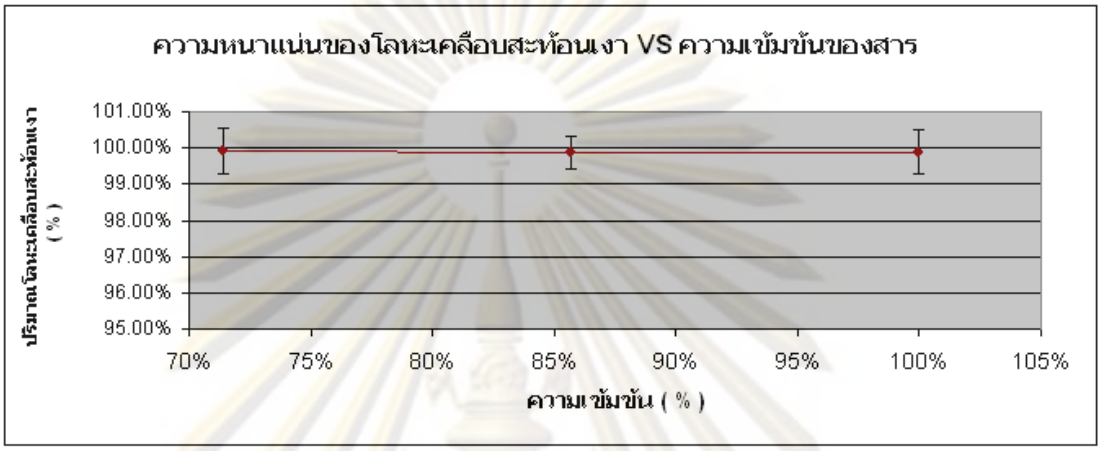
No.	Concentration	Time	Metal Reflection		Result black spot		Max. Edge Corrosion	
			AVG	SD	Spot/Sq.m	SD	AVG	SD
การผลิตมาตรฐาน	100%	100%	100%		5.43		100%	
1	100%	100%	99.89%	0.59%	6.52	6.52	99%	6.5%
2	86%	100%	99.87%	0.46%	8.70	8.70	99%	6.5%
3	71%	100%	99.92%	0.65%	6.52	6.52	98%	6.3%

* เพิ่มเติม

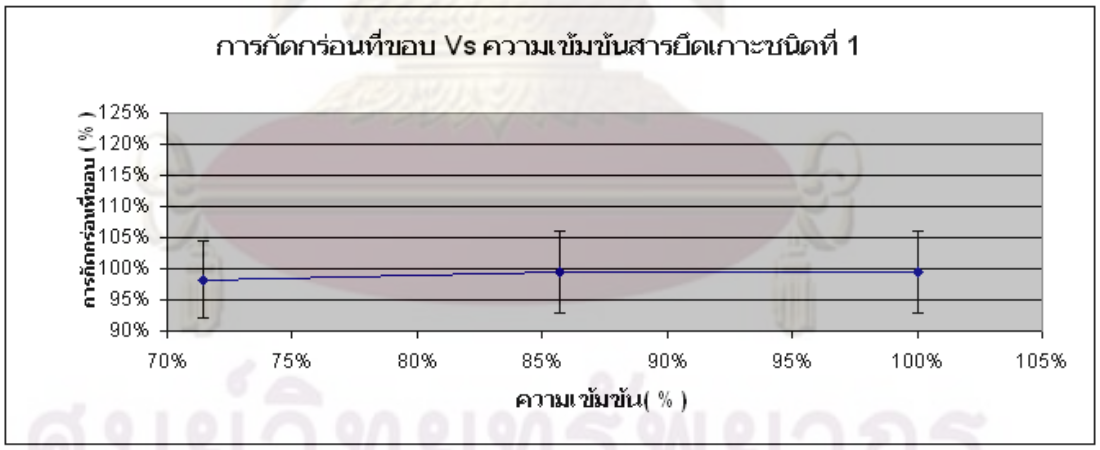
1. การทดลองที่ 0 (การผลิตมาตรฐาน) คือ ตัวอย่างที่ไม่ได้จากการทดลองแต่ได้จากการผลิตปกติ จะเก็บเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิต
2. การทดลองที่ 1 คือ การทดลองโดยควบคุมตัวแปรในการผลิตเหมือนกับการผลิตปกติแต่ทำการลดขนาดของแผ่นกระจกลง

3. ที่ 100% ของตัวแปร (ความเข้มข้น ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา) หมายถึง มีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้เท่ากับการผลิตปกติ

4. ที่ 100% ของผลการทดลอง หมายถึง ค่าเฉลี่ยปกติของผลที่ได้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับความเข้มเข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2) (100% ของความเข้นข้น คือ ความเข้มข้นของสารยึดเกาะที่เท่ากับค่าการผลิตจริง)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของปริมาณการกัดกร่อนที่ขอบกับความเข้มเข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 (M_ACl_2) (100% ของความเข้นข้น คือ ความเข้มข้นของสารยึดเกาะที่เท่ากับค่าการผลิตจริง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 การทดสอบความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจก

ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรในการผลิตทั้งสองการทดลองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงเป็นกระจกขนาดเล็กลงพบว่าผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกได้

การทดลองที่ 2 และ 3 เป็นการทดลองลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงเหลือเป็น 86%, 71% ของการผลิตปกติโดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงเหลือเป็น 71% ของการผลิตปกติ ความหนาแน่นของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติ

4.3.3 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนที่ขอบกระจก

จากผลการทดสอบกระจกที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด(Cass Test) เพื่อหาคุณสมบัติการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากความสามารถในความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test) โดยวัดการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบ ผลการทดสอบหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบของกระจกที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรในการผลิตทั้งสองการทดลองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงเป็นกระจกขนาดเล็กลงพบว่าผลการทดสอบค่าการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบของกระจกเงาได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 4.6 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบของกระจกได้

จากการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นการทดลองความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงเหลือเป็น 86%, 71% ของการผลิตปกติ โดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงจนกระทั่งเหลือเป็น 71% ของการผลิตปกติ ค่าการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบของกระจกเงาไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนที่ด้านในของแผ่นกระจก

จากผลการทดสอบกระจกที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด(Cass Test) เพื่อหาคุณสมบัติการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากความสามารถในความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test) โดยวัดปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นผลการทดสอบหาปริมาณของจุดดำ (Black Spot) ที่เกิดขึ้นที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรในการผลิตของทั้งสองการทดลองไว้ ณ การผลิตปกติ แต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงพบว่าปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นนั้นไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นได้

จากการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นการทดลองความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงเหลือเป็น 86%, 71% ของการผลิตปกติโดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงเหลือเป็น 86% ของการผลิตปกติ ปริมาณค่าเฉลี่ยของจุดดำ (Black Spot) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 200% ของการผลิตปกติและมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในมาตรฐานการผลิตของทางบริษัท

4.3.5 อภิปรายและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงพบว่าไม่มีผลกับการเกิดปฏิกิริยา โดยดูจากผลของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาและคุณสมบัติการยึดเกาะของชั้นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับกระจก (ตาราง 4.3) สามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ได้ว่าการเกิดปฏิกิริยาของสารเป็นการเกิดแบบทันทีเนื่องจากเป็นการแทนที่ของไฮโดรเจนที่ผิวของกระจกทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว ส่วนผลจากการทดลองที่พบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนทั้ง 2 ชนิดมีค่าสูง เนื่องมาจากวิธีการทดสอบต้องใช้เวลาในการทดสอบนาน 5 วัน อีกทั้งเป็นการวัดผลที่กระทำระบุโดยใช้สายตาและระบุขนาดโดยบุคคลหลายคนทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูง

ผลจากการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 ลงมาเหลือเป็น 71% ของการผลิตปกติโดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพของกระจกทำให้สามารถลดการใช้สารเคมีลงได้ 29%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ผลการลดความเข้มข้นของสารละลายสารยึดเกาะชนิดที่ 2

การลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 โดยควบคุมความเข้มข้นและระยะทางของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาและปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อการทดลองไว้ ณ ค่าการผลิตเดิมโดยในการทดลองจะใช้กระจกขนาดเล็ก โดยเทียบกับการผลิตขนาดใหญ่ในการผลิตปกติ เพิ่มการทดลองที่ 0 เข้าในตารางแสดงผลการทดลองเนื่องจากการทดลองที่ 0 เป็นค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากการผลิตจริงในขนาดใหญ่กว่าเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับการทดลองที่ใช้กระจกขนาดเล็ก

4.4.1 ผลการศึกษาการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2

การลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 บนกระจก โดยใช้การทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจกโดยวิธีการไตรเตรตและการทดสอบคุณสมบัติการยึดเกาะโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test)

ทดลองโดยลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 โดยทดลองจำนวน 5 ครั้งต่อ 1 การทดลองแล้วหาค่าเฉลี่ย โดยค่าที่แสดงจะใช้หน่วยเป็นร้อยละของการผลิตมาตรฐานการผลิตกระจกในการทดลองนั้นได้ทดลองกับการปรับความเข้มข้นจำนวน 3 ขั้นดังผลในตาราง และกราฟความสัมพันธ์ด้านล่างโดยแยกผลการทดสอบออกเป็นการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจก ระยะการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบ และปริมาณจุดดำ (Black spot) ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบคุณภาพของกระจกจากการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2

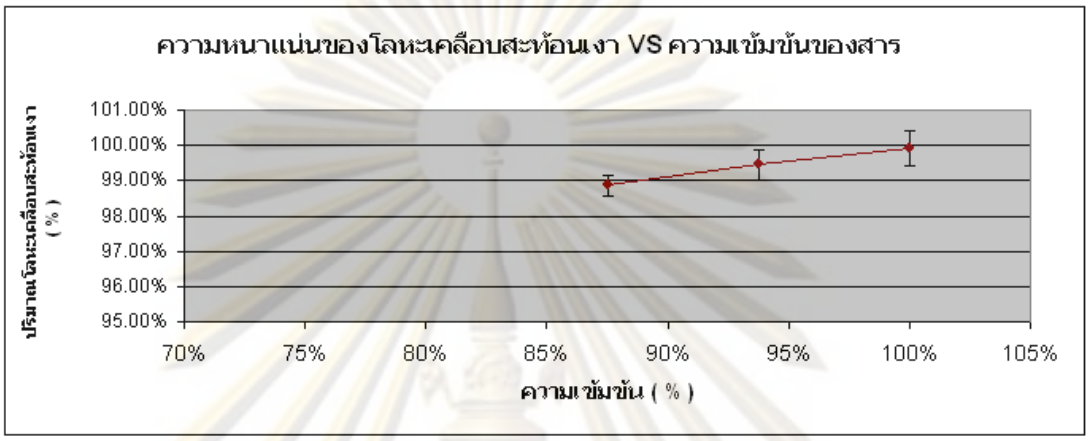
No.	Concentration	Time	Metal Reflection		Result black spot		Max. Edge Corrosion	
			AVG	SD	Spot/Sq.m	SD	AVG	SD
การผลิตมาตรฐาน	100%	100%	100%		5.43		100%	
1	100%	100%	99.92%	0.48%	6.52	0.55	99%	6.5%
2	94%	100%	99.44%	0.41%	13.04	0.45	109%	4.0%
3	88%	100%	98.86%	0.27%	19.57	0.45	114%	5.7%

* เพิ่มเติม

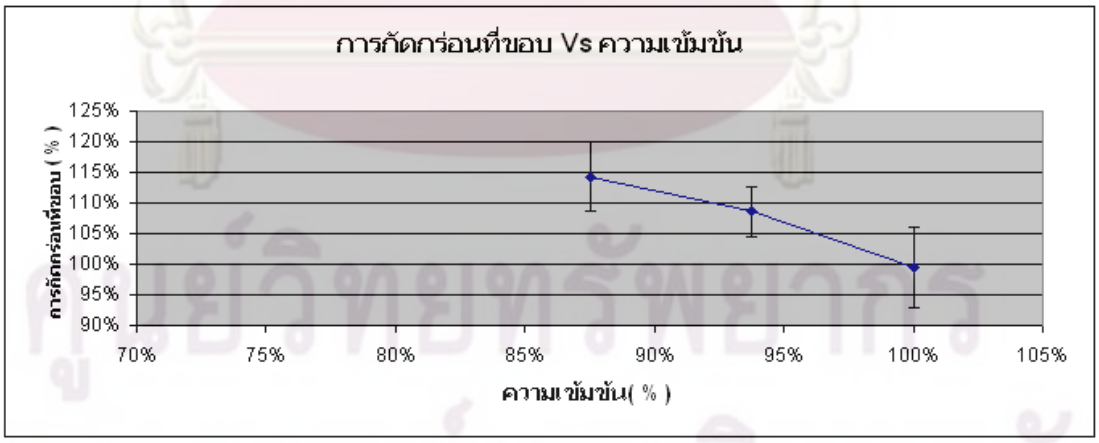
1. การทดลองที่ 0 (การผลิตมาตรฐาน) คือ ตัวอย่างที่ไม่ได้จากการทดลองแต่ได้จากการผลิตปกติ จะเก็บเป็นค่าเฉลี่ยของการผลิต
2. การทดลองที่ 1 คือ การทดลองโดยควบคุมตัวแปรในการผลิตเหมือนกับการผลิตปกติแต่ทำการลดขนาดของแผ่นกระจกลง

3. ที่ 100% ของตัวแปร (ความเข้มข้น ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา) หมายถึง มีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้เท่ากับการผลิตปกติ

4. ที่ 100% ของผลการทดลอง หมายถึง ค่าเฉลี่ยปกติของผลที่ได้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับความเข้มเข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2) (100% ของความเข้นข้น คือ ความเข้มข้นของสารยึดเกาะที่เท่ากับค่าการผลิตจริง)



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของปริมาณการกัดกร่อนที่ขอบกับความเข้มเข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 (M_BCl_2) (100% ของความเข้นข้น คือ ความเข้มข้นของสารยึดเกาะที่เท่ากับค่าการผลิตจริง)

4.4.2 การทดสอบปริมาณโลหะสะท้อนเงาบนผิวกระจก

ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรในการผลิตของทั้งสองการทดลองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงเป็นกระจกขนาดเล็กลงพบว่าผลการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 4.7 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของการทดสอบหาความหนาแน่นของโลหะเคลือบสะท้อนเงาบนกระจกได้

จากการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นการทดลองลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงเหลือเป็น 94%, 88% ของการผลิตปกติโดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่าหลังจากลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงมากกว่าเป็น 88%ของการผลิตปกติส่งผลทำให้ความหนาแน่นของสารเคลือบผิวสะท้อนเงามีค่าลดลงต่ำกว่ามาตรฐานการผลิตดังแสดงในรูปที่ 4.7 แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม

4.4.3 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนที่ขอบกระจก

จากผลการทดสอบกระจกที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด(Cass Test) เพื่อหาคุณสมบัติการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากความสามารถในความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test) โดยวัดการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบผลการทดสอบหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบของกระจกที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรในการผลิตของทั้งสองการทดลองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงเป็นกระจกขนาดเล็กลงพบว่าผลการทดสอบค่าการเกิดการกักกร่อนที่ขอบของกระจกเงาได้ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติดังแสดงในรูปที่ 4.8 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ขอบของกระจกได้

จากการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นการทดลองความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงเหลือเป็น 94%, 88% ของการผลิตปกติ โดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 เป็น 94% ของการผลิตปกติผลขอการกัดกร่อนที่ขอบกระจกยังอยู่ช่วงที่ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติและหากลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงอีกจนกระทั้งเหลือน้อยกว่าเป็น 88% ของการผลิตปกติจะส่งผลให้ค่าการกัดกร่อนที่ขอบของกระจกมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่บริษัทกำหนดแต่ยังคงต่ำกว่าที่มาตรฐานอุตสหกรรมกำหนดไว้

4.4.4 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนที่ด้านในของแผ่นกระจก

จากผลการทดสอบกระจกที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการอบในสภาวะยิ่งยวด(Cass Test) เพื่อหาคุณสมบัติการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากความสามารถในความทนทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะยิ่งยวด (Cass Test) โดยวัดปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นผลการทดสอบหาปริมาณของจุดดำ (Black Spot) ที่เกิดขึ้นที่การผลิตมาตรฐาน (การทดลองที่ 0) เทียบกับการทดลองที่ 1 โดยควบคุมตัวแปรทั้งสองไว้ ณ การผลิตปกติแต่ลดขนาดของกระจกที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ลงพบว่า ผลการทดสอบหาความสามารถในการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นนั้น ไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ทำให้สามารถใช้กระจกขนาดเล็กเป็นตัวแทนของการยึดเกาะของโลหะสะท้อนเงาต่อผิวกระจกโดยดูจากปริมาณของจุดดำที่เกิดขึ้นได้

จากการทดลองที่ 2 และ 3 เป็นการทดลองความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงเหลือเป็น 94%, 88% ของการผลิตปกติ โดยเทียบกับการทดลองที่ 1 ที่ควบคุมตัวแปรไว้ ณ ค่าการผลิตปกติ พบว่า ผลการลดความเข้มข้นขอสารยึดเกาะชนิดที่ 2 เป็น 94% ของการผลิตปกติผลจำนวนจุดดำมีค่าสูงขึ้นเป็น 200% ของการผลิตปกติ แต่ยังคงอยู่ในมาตรฐานที่ทางบริษัทกำหนดและหลังจากลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงอีกจนกระทั้งเหลือน้อยกว่าเป็น 88% ของการผลิตปกติจะส่งผลให้ปริมาณจุดดำที่เกิดขึ้นมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐานการผลิตที่ทางบริษัทกำหนดไว้

4.4.5 อภิปรายและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองลดความเข้มข้นสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ลงเป็น 94%ของการผลิตปกติจะส่งผลกระทบกับความหนาแน่นสารเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ผิวของกระจกและส่งผลกับคุณสมบัติการยึดเกาะของชั้นของโลหะเคลือบสะท้อนเงากับกระจกดังแสดงในตาราง 4.4 สามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ได้ว่าเนื่องจากว่าทั้งสารยึดเกาะชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 สามารถยึดเกาะกับสารเคลือบผิวสะท้อนเงาได้ทั้ง 2 ชนิดแต่แรงในการยึดเกาะกับชั้นของสารเคลือบผิวสะท้อนเงานั้นจุดที่เกิดปฏิกิริยาจากสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิดมีแรงยึดเกาะสูงกว่าจุดที่มีการเกิดปฏิกิริยาจากสารยึดเกาะชนิดที่ 1 เพียงอย่างเดียวซึ่งสาเหตุดังกล่าวเป็นผลมาจากการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ส่งผลทำให้ปริมาณของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ต่อพื้นที่ลดลงส่งผลให้ความสามารถในการยึดจับกับสารเคลือบผิวสะท้อนเงาทำได้ยากขึ้นทำให้ความหนาแน่นของสารเคลือบผิวสะท้อนเงา ลดลงและส่งผลโดยตรงกับคุณภาพในการยึดเกาะกับชั้นของสาร

เคลือบผิวสะท้อนเงาจะเห็นได้จากค่าการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและค่าของจุดดำ (Black spot) ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

อีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความหนาแน่นของสารเคลือบผิวสะท้อนเงาลดลงและคุณภาพในการยึดเกาะของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ต่อชั้นของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา เนื่องจากเป็นการเกิดปฏิกิริยาโดยการพ่นสารเคมีลงบนหน้ากระจกเป็นละอองของหยดน้ำแล้วทำการรวมตัวกันบนผิวหน้าของกระจกอีกที ทำให้การกระจายตัวของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 ไม่สม่ำเสมอกันทั่วทั้งแผ่น ส่วนผลจากการทดลองที่พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนทั้ง 2 ชนิดมีค่าสูงเนื่องมาจากวิธีการทำการทดสอบต้องใช้เวลาในการทดสอบนาน 5 วัน อีกทั้งเป็นการวัดผลที่กระทำระบุโดยใช้สายตาและทำการระบุขนาดโดยบุคคลหลายคนทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูง

จากการทดลองพบว่าสามารถประมาณค่าความเข้มข้นสูงสุดที่จะสามารถทำการปรับลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 เป็น 92%ของการผลิตปกติ โดยคุณภาพของกระจกยังคงสูงกว่ากว่ามาตรฐานการผลิตของทางบริษัท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

ในบทที่ 5 นี้ นำผลจากการทดลองบทที่ 4 มาแสดงพร้อมทั้งสรุปข้อมูลการทดลองและให้ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 บนผิวกระจก พบว่าความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวของกระจกไม่เปลี่ยนแปลงจากค่าการผลิตปกติ และการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบกระจกยังคงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงจากการผลิตปกติแต่ปริมาณจุดดำมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็น 160% จากค่าการผลิตปกติ จากการทดลองทำให้สามารถลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาลงได้ 33% จากการผลิตปกติ

จากการทดลองลดระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 บนผิวกระจก พบว่าความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวของกระจกไม่เปลี่ยนแปลงจากค่าการผลิตปกติ และการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบกระจกมีค่าสูงขึ้นมากว่าการผลิตปกติ 3% ในการละระยะเวลาลงเหลือเป็น 80% ของเวลาการเกิดปฏิกิริยาในการผลิตปกติและปริมาณจุดดำมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็น 200% จากค่าการผลิตปกติแต่ยังคงอยู่ในมาตรฐานการผลิต

จากการทดลองลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1 บนผิวกระจกพบว่าความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวของกระจกไม่เปลี่ยนแปลงจากค่าการผลิตปกติและการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบกระจกไม่เปลี่ยนเปลงจากการผลิตปกติและปริมาณจุดดำมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็น 30% ของการผลิตปกติเมื่อลดความเข้มข้นลงเป็นน้อยกว่า 86% ของการผลิตปกติแต่ยังคงอยู่ในมาตรฐานการผลิตของบริษัท

จากการทดลองลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 พบว่าความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงาบนผิวของกระจกมีค่าลดลงต่ำลงร้อยละ 1.15% ของผลิตปกติเมื่อทำการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะน้อยกว่า 88% ของการผลิตปกติและการเกิดการกัดกร่อนที่ขอบกระจกมีค่าสูงขึ้นมากว่าการผลิตปกติ 14% ของการผลิตปกติเมื่อลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 เหลือน้อยกว่า 88% ของการผลิตปกติและปริมาณจุดดำมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็น 360% จากค่าการผลิตปกติเมื่อลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2 เหลือเป็นน้อยกว่า 88% ของการผลิตปกติมีผลทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานการผลิตของบริษัท

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองที่ผ่านมาในขั้นต้นยังคงเป็นเพียงการศึกษาในส่วนเดียวคือ ในส่วนของปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบผิวของโลหะสะท้อนแสงในทางปฏิบัติยังคงต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในหลายส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต

1. ในขั้นต่อไปจำเป็นต้องทดลองโดยหาความสัมพันธ์ของสารยึดเกาะทั้ง 2 ชนิดโดยการปรับตัวแปรทั้ง 2 คือ ความเข้มข้นของสารยึดเกาะและระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารด้วยเพื่อหาความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ตัวแปรด้วย
2. ในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรของระบบเพียง 2 ชนิดในลำดับต่อไปอาจทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการเพิ่มอุณหภูมิ หรือ เพิ่มความดันที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเคมีในลำดับต่อไปได้
3. ในการทดลองในวิทยานิพนธ์เป็นการทดสอบกระจกเพียงขนาดเดียวจำเป็นต้องทดลองกับกระจกที่ขนาดและความหนาอื่นๆเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถเป็นตัวแทนของการผลิตจริงได้อย่างถูกต้อง
4. ในส่วนของการเคลือบสีและการอบสีเนื่องจากการเพิ่มความเร็วของสายพานการผลิตจะส่งผลกระทบกับการแห้งของสีด้วยจำเป็นต้องทำการศึกษากระบวนการอบสีเพิ่มเติมด้วย
5. การปรับปรุงเครื่องจักรจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตในส่วนของ การเพิ่มความเร็วของสายพานเช่น ปรับเปลี่ยนขนาดของมอเตอร์
6. ระบบ น้ำ เนื่องจากกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจะเป็นต้องลงทุนในส่วนของเครื่องผลิตน้ำ DI ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Guardian industries Crop company. Glass knowledge Paper. (2003): 1-70. (Unpublished Manuscript)

[2] Valspar's Company. Copper Free Mirror Process Technical Paper. (1995): 1-53. (Unpublished Manuscript)

[3] ข้อมูลการผลิตระบบน้ำ DI water [online] .www.asiawater.co.th. 23 เมษายน 2552

[4] ระบบการผลิตน้ำ DI water [online]. www.ttc.most.go.th. 23 เมษายน 2552

[5] ASTM C1503-01 Standard specification for silvered Flat glass Mirror. Annual Book of ASTM standards volume 15.02 (2001)

[6] ASTM E 903 -96 Solar Rbsorptance, Reflectance , and transmittance of materials using Integrating Spheres. Annual Book of ASTM standards volume 03.02 (2001)

[7] ISO 3770 : 1976 "Metalic coatings" Copper accelerated acetic acid salt spray test (CASS test) Annual Book of ASTM standards volume 03.02 (2000)

[8] Guardian industries Crop company. Mirror line Technical Standard (2003): 1-7. (Unpublished Manuscript)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
วิธีการทดสอบคุณภาพกระจก

การทดสอบและวัดคุณภาพกระจกโดยวิธีการไตรเตรต
วิธีการไตรเตรตหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา

สารเคมี

1. กรดไนตริค 68%
2. น้ำ DI (Deionized water)
3. สารละลาย Indicator ที่ได้จากการเตรียม Ferric Ammonium Sulfate
4. สารละลาย Titrant ที่ได้จากการเตรียม Potassium Thiocyanate 0.01 N

อุปกรณ์

1. ตัวอย่างกระจกเงาที่ยังไม่เคลือบสี
2. Washing bottle
3. Self Zeroing Burret
4. ถาดพลาสติกสำหรับวางตัวอย่าง 1 ถาด
5. บีกเกอร์ 1 ใบ
6. Magnetic stirrer พร้อม Magnetic stir bar 1 ชุด

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างกระจกเงาขนาด 6”x6” ที่ยังไม่เคลือบสีโดยเลือกตัดบริเวณที่ไม่ติดกับขอบกระจกเงา
2. วางตัวอย่างกระจกเงาลงในถาดพลาสติกหันด้านที่เคลือบขึ้นด้านบนใช้สารละลายกรดไนตริกที่เตรียมไว้ใน Washing bottle ค่อยๆ ราดลงบนผิวกระจกด้านที่เคลือบเพื่อละลายโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาออกจากผิวกระจก
3. ล้างด้วยน้ำ DI ใน Washing bottleเพื่อให้แน่ใจว่าโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาถูกละลายออกจากผิวกระจกจนหมด
4. เตรียมบีกเกอร์สะอาดวางบน Magnetic stirrer พร้อมทั้งวาง Magnetic stir bar 1แท่งลงในบีกเกอร์

5. รินสารละลายที่ได้ในถาดพลาสติกลงในบีกเกอร์
6. ใช้น้ำ DI ชะล้างถาดให้ทั่วอีกครั้งและรินสารละลายที่ได้ลงในบีกเกอร์ทั้งหมด
7. เติมสารละลาย Indicator 4 - 5 หยดลงในบีกเกอร์
8. เปิดเครื่อง Magnetic stirrer เพื่อให้สารละลายผสมกันได้ดีซึ่งจะได้สารละลายใส
9. ใช้สารละลาย Titrant ซึ่งบรรจุใน Self - Zeroing Burret ทำการไตรเตรตโดยค่อยๆ ปล่อยสาร Titrant ลงในบีกเกอร์ทีละน้อย
10. สังเกตุการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายในบีกเกอร์ซึ่งจะเปลี่ยนจากสารละลายใสเป็น "สีขาวขุ่น" แสดงว่าใกล้ถึงจุดยุติของการไตรเตรตค่อย ๆ หยดต่อไปช้า ๆ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็น "สีน้ำตาลอ่อน"
11. ทิ้งไว้ประมาณ 20 วินาที หากสีของสารละลายยังคงเป็นสีน้ำตาลอ่อนแสดงว่าถึงจุดยุติของการไตรเตรต
12. อ่านค่าปริมาตรสาร Titrant ที่ถูกใช้ไปใน Burret หน่วยเป็น ml
13. คำนวนหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ติดอยู่บนกระจกทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยใช้ตัวอย่างกระจกที่เหลืออีก 1 แผ่น

การเตรียมสารละลาย Indicator

วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมสารละลาย Indicator ซึ่งใช้ในการแสดงจุดสิ้นสุดของการไตรเตรตสารเคมี

สารเคมี

1. ผง Ammonium Iron (III) Sulfate-12- hydrate
2. น้ำ DI จำนวน 200 ml

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 250 ml
2. Magnetic stirrer พร้อม Magnetic stirrer bar
3. วิธีการเตรียม
4. เติมน้ำ DI ลงในบีกเกอร์ ประมาณ 200 ml
5. ค่อยๆเติมผง Ammonium Iron (III) Sulfate - 12 - hydrate ครั้งละ 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. เปิด Magnetic stirrer เพื่อกวนให้ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน
7. ถ้าผง Ammonium ละลายน้ำหมด ให้เติมลงไปอีกครั้งละ 5 กรัมจนกว่าผง Ammonium ในบีกเกอร์ไม่สามารถละลายได้อีก

การเตรียมสารละลาย Titrant

เพื่อเตรียมสารละลาย KSCN ที่มีความเข้มข้น 0.01N สำหรับการไตรเตรต หาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาที่ติดบนกระจก

สารเคมี

1. ผง Potassium Thiocyanate (KSCN) จำนวน 0.97 กรัม
2. น้ำ DI

อุปกรณ์

1. ขวดชมพู่ (Volumetric Flask) ขนาด 1000 ml

วิธีการเตรียม

1. เติมน้ำ DI ลงในขวดชมพู่ ประมาณ 200 - 300 ml
2. ชั่งผง KSCN จำนวน 0.97 กรัม เทใส่ในขวดชมพู่
3. เขย่าให้ผง KSCN ละลายจนหมด
4. เติมน้ำ DI ลงในขวดชมพู่ จนถึงระดับ 1000 ml
5. เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลาย KSCN 0.01N พร้อมนำไปใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบและวัดคุณสมบัติการทนทานของกระจกโดยการทดสอบ Cass Test

(ASTM B 368-97)

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบสมรรถนะของกระจกเงาในการทนต่อสภาพแวดล้อม ที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง ภายใต้แรงดัน เพื่อเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพให้เร็วขึ้น

สารเคมี

1. เกลือแกง (Sodium chloride : NaCl) 2 กิโลกรัม
2. สารคอปเปอร์ทูคลอไรด์ไดไฮเดรต (Copper (II) Chloride Dihydrate : $CuCl_2.2H_2O$) 10.4 กรัม (0.26 ± 0.02 g/l)
3. กรดอะซิติค (Citric acid: 99.5%) 80 cc
4. น้ำ DI (Deionized water) 40 ลิตร

อุปกรณ์

1. ถังพลาสติกขนาด 40 ลิตร
2. กระดาษวัดค่า pH ที่มีความละเอียดทศนิยม 1 ตำแหน่ง
3. ตู้ Spray cabinet

วิธีการเตรียมสารละลาย

1. เทโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 2 กิโลกรัม (1.8-2.2 กิโลกรัม) ลงในถังพลาสติก และเติมน้ำ DI ลงไปพอประมาณจนเกลือสีขาวละลายหมด ซึ่งจะได้สารละลายที่ไม่มีสีใดๆ ค่า pH ที่ได้อยู่ในช่วง 6.0-7.0

2. เติมคอปเปอร์ทูคลอไรด์ไดไฮเดรต ($CuCl_2.2H_2O$) 10.4 กรัม (11.2 - 9.6 กรัม) ลงในถังน้ำเกลือข้างต้น เติมน้ำ DI ลงในถังพลาสติกจนได้สารละลายสุดท้ายที่ 40 ลิตร

3. เติมกรดอะซิติก 99.5% ที่ความถ่วงจำเพาะ 1.040 ประมาณ 80 cc ลงในสารละลายจนได้ค่า pH 3.0-3.1

4. กวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลาย Sodium chloride เข้มข้น 20% จำนวน 40 ลิตร

วิธีการปรับสภาพภายในตู้ Spray cabinet

ปรับอุณหภูมิภายในตู้ Spray cabinet ไว้ที่ 120 °F (118-125 °F หรือ 48-52 °C) ควบคุมค่า pH ของสารละลายที่ได้จากหัว Spray จะต้องอยู่ในช่วง 3.1 – 3.3 ซึ่งเกิดจากสารละลายที่เตรียมไว้ pH 3.0 – 3.1 ควบคุมความดันของ Compressed air ที่ผ่านหอกลั่นน้ำ (Saturation tower) ประมาณ 70-170 kPa

วิธีการทดสอบ

1. ตัดกระจกตัวอย่างที่ต้องการทดสอบให้มีขนาดพอเหมาะ (โดยทั่วไปใช้ขนาด 12”x12”) ทำความสะอาดกระจกด้วยน้ำ DI ให้สะอาดก่อนวางลงในตู้ Spray cabinet
2. วางด้านกระจกเงาให้หงายขึ้น และเอียงทำมุมประมาณ 20° (15° - 30°) ในแนวตั้ง และต้องไม่สัมผัสซึ่งกันและกัน
3. ปิดตู้ Spray cabinet ทิ้งไว้นาน 120 ชั่วโมง
4. เมื่อครบกำหนดเวลา ให้นำกระจกเงาออกจากตู้ Spray cabinet และวางทิ้งไว้ประมาณ ½ - 1 ชั่วโมง
5. ล้างคราบเคมีที่เกาะบนกระจกออกด้วยน้ำสะอาด (DI)
6. ตรวจสอบ Corrosion โดยดูขณะที่มีน้ำไหลอยู่บนกระจก

<u>หมายเหตุ</u> :

ลักษณะของปัญหา เช่น เกิดเป็นจุดขาว / จุดดำ หรือขอบดำ

การเกิดการกัดกร่อนที่ขอบของกระจกเงาการแยกชั้นระหว่างกระจกกับโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง

ผลของการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 1

ตาราง ข.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา

ระยะเวลา/การผลิต	ผลการวัดค่าความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงา					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	100.00%	99.60%	100.13%	99.87%	99.74%	99.87%	0.2%
93%	99.60%	100.13%	100.40%	100.00%	100.13%	100.05%	0.3%
87%	100.13%	99.47%	100.13%	100.66%	100.13%	100.11%	0.4%
80%	100.26%	100.40%	99.47%	101.19%	100.66%	100.40%	0.6%
67%	99.47%	100.13%	99.47%	99.87%	100.79%	99.95%	0.6%

ตาราง ข.2 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากการกัดกร่อนที่ขอบ

ระยะเวลา/การผลิต	ผลการวัดค่าความการกัดกร่อนที่ขอบกระจก					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	97%	109%	91%	97%	103%	99%	6.52%
93%	91%	97%	109%	100%	103%	100%	6.39%
87%	97%	97%	91%	109%	97%	98%	6.26%
80%	103%	109%	91%	97%	103%	101%	6.52%
67%	91%	97%	103%	91%	109%	98%	7.45%

ตาราง ข.3 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากปริมาณจุดดำ

ระยะเวลา/การผลิต	ผลการวัดปริมาณจุดดำ					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	0%	0%	0%	200%	200%	80%	110%
93%	200%	200%	200%	0%	0%	120%	110%
87%	200%	0%	200%	0%	200%	120%	110%
80%	200%	0%	200%	200%	200%	160%	89%
67%	0%	0%	200%	0%	200%	80%	110%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของการลดเวลาการเกิดปฏิกิริยาของสารยึดเกาะชนิดที่ 2

ตาราง ข.4 ผลการทดสอบการหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา

ระยะเวลา/การผลิต	ผลการวัดค่าความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงา					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	99.47%	100.66%	100.00%	100.66%	101.19%	100.40%	0.7%
95%	100.40%	100.13%	99.80%	100.13%	100.13%	100.12%	0.2%
90%	99.47%	100.66%	100.07%	100.13%	100.66%	100.20%	0.5%
85%	100.13%	100.66%	100.40%	100.13%	100.13%	100.29%	0.2%
80%	99.47%	100.66%	100.07%	100.13%	100.66%	100.20%	0.5%

ตาราง ข.5 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากการกัดกร่อนที่ขอบ

ระยะเวลา/การผลิต	ผลการวัดค่าความการกัดกร่อนที่ขอบกระจก					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	97%	97%	91%	109%	97%	98%	6.26%
95%	103%	114%	91%	91%	103%	101%	9.56%
90%	109%	109%	97%	97%	97%	102%	6.26%
85%	97%	91%	103%	103%	114%	102%	8.48%
80%	91%	97%	109%	109%	109%	103%	8.08%

ตาราง ข.6 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากปริมาณจุดดำ

ระยะเวลา/การผลิต	ผลการวัดปริมาณจุดดำ					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	0%	0%	200%	0%	0%	40%	89%
95%	0%	200%	200%	0%	0%	80%	110%
90%	0%	400%	0%	200%	0%	120%	179%
85%	400%	0%	400%	0%	200%	200%	200%
80%	200%	200%	0%	200%	400%	200%	141%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 1

ตาราง ข.7 ผลการทดสอบการหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา

ความเข้มข้น	ผลการวัดค่าความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงา					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	99.60%	99.47%	100.53%	100.53%	99.34%	99.89%	0.6%
86%	100.13%	100.13%	99.87%	100.13%	99.07%	99.87%	0.5%
71%	100.53%	99.47%	99.21%	100.66%	99.74%	99.92%	0.6%

ตาราง ข.8 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากการกัดกร่อนที่ขอบ

ความเข้มข้น	ผลการวัดค่าความการกัดกร่อนที่ขอบกระจก					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	97%	109%	91%	97%	103%	99%	6.52%
86%	103%	97%	109%	91%	97%	99%	6.52%
71%	97%	97%	91%	109%	97%	98%	6.26%

ตาราง ข.9 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากปริมาณจุดดำ

ความเข้มข้น	ผลการวัดปริมาณจุดดำ					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
1	200%	0%	200%	0%	200%	120%	110%
0.857142857	200%	200%	0%	200%	200%	160%	89%
0.714285714	200%	0%	200%	200%	0%	120%	110%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการลดความเข้มข้นของสารยึดเกาะชนิดที่ 2

ตาราง ข.10 ผลการทดสอบการหาปริมาณโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงา

ความเข้มข้น	ผลการวัดค่าความหนาแน่นของโลหะสะท้อนเงา					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	100.66%	99.47%	100.13%	99.74%	99.60%	99.92%	0.5%
94%	99.07%	98.94%	99.87%	99.60%	99.74%	99.44%	0.4%
88%	99.07%	98.41%	99.07%	98.94%	98.81%	98.86%	0.3%

ตาราง ข.11 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากการกัดกร่อนที่ขอบ

ความเข้มข้น	ผลการวัดค่าความการกัดกร่อนที่ขอบกระจก					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	97%	109%	91%	97%	103%	99%	6.52%
94%	109%	114%	109%	103%	109%	109%	4.04%
88%	120%	109%	120%	109%	114%	114%	5.71%

ตาราง ข.12 ผลการทดสอบการยึดเกาะของโลหะเคลือบผิวสะท้อนเงาจากปริมาณจุดดำ

ความเข้มข้น	ผลการวัดปริมาณจุดดำ					AVG	SD
	1	2	3	4	5		
100%	200%	0%	200%	0%	200%	120%	110%
94%	200%	400%	200%	200%	200%	240%	89%
88%	400%	200%	400%	400%	400%	360%	89%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวุฒินันท์ ผลภาษี เกิดเมื่อวันที่ 26 พฤศจิกายน 2522 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2544 ปัจจุบันทำงานที่ การเดียร อินดัสตี้ คอป จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกรฝ่ายผลิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย