



โครงการการเรียนการสอนเพิ่มประสบการณ์

ชื่อโครงการ ผลของตัวแปรดำเนินการต่อประสิทธิภาพการคัดแยกของแข็ง-ของเหลวด้วยเครื่องแยกตัวกลางหนัก

Effect of operating parameters on the solid-liquid separation efficiency in dense media separator

ชื่อนิสิต นางสาวนภสร นิปัจการ **เลขประจำตัว** 6032928423

นางสาววนาลี เชื้อก เทิดทูนภุภุช **เลขประจำตัว** 6032954723

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ

ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2563

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการภาษาไทย	ผลของตัวแปรดำเนินการต่อประสิทธิภาพการตัดแยกของแข็ง-ของเหลวด้วยเครื่องแยกตัวกลางหนัก
ชื่อนิสิตที่ร่วมในโครงการ	นางสาวนภสร นิจังการ นางสาววนาลี เช็ค เทิดทูนภูกฤษ
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ ดร.รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำเป็นปัญหาที่สำคัญในปัจจุบัน เนื่องจากพลาสติกถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในระบบอุตสาหกรรมที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เมื่อผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตขึ้นนี้เกิดการย่อยสลายก็จะแปรสภาพเป็นไมโครพลาสติก โดยไมโครพลาสติกนั้นมีขนาดเล็กมากจึงทำให้เกิดการปนเปื้อนลงในแหล่งน้ำได้ง่าย ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตที่ใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภคเหล่านี้ก็จะได้รับอันตรายเมื่อเข้าไปสะสมในร่างกาย ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้ศึกษาตัวแปรดำเนินการต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการตัดแยกไมโครพลาสติกออกจากน้ำด้วยการใช้เครื่องแยกตัวกลางหนัก โดยจะศึกษาทั้งหมด 2 วิธี คือ ทำการทดลองโดยการใช้ LARCODEMS เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการตัดแยกทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ อัตราส่วนปริมาณเม็ดพลาสติก PP ต่อ HDPE (0:1 1:1 และ 1:0) มุมเอียง (15 30 และ 45 องศา) และ ปริมาณเม็ดพลาสติกที่ป้อนเข้า (20 30 และ 40 กรัม) และศึกษาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลน เพื่อศึกษารูปแบบการไหล โดยมีตัวแปรที่ออกแบบเกี่ยวข้องกับทางป้อนเข้าระบบ 3 ตัวแปร คือ อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องป้อนเข้า (1:2 และ 2:1) องศามุมป้อนเข้า (22.5 และ 45.0 องศา) และ มุมจากระนาบแนวนอน (มุมเงยและมุมกด) ที่ส่งผลต่อค่าความดัน ค่าความเร็วตามแนวแกน ค่าความเร็วตามแนวรัศมี และ ค่าความเร็วตามแนวสัมผัส ภายในไฮโดรไซโคลน ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ จะทำให้ทราบผลของตัวแปรที่ทำให้การตัดแยกเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และ ช่วยลดปริมาณไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในระบบนิเวศ

คำสำคัญ: เครื่องแยกตัวกลางหนัก, ลาร์โคเดม, ไฮโดรไซโคลน, ไมโครพลาสติก, รีไซเคิล

ลายมือชื่อนิสิต..... นภสร นิจังการ

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ..... 1๒๒๒๒ ๑๕๖๖๖ ๖/๑๑

Title Effect of operating parameters on the solid-liquid separation efficiency in dense media separator

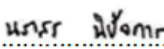
Student name Ms. Napasorn Nipajakarn
Ms. Wanalee Shaikh Therdthoonbhubhuch

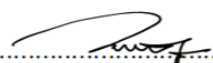
Advisor Assoc. Prof. Dr. Benjapon Chalermnsinsuwan
Dr. Ratchanon Piemjaiswang

Abstract

Microplastics contaminated in the environment are currently a significant problem since plastics are used as monomer in many manufacturing processes found in daily life product. Microplastics come from the degradation of plastic products. These tiny microplastic particles has small size so that it is easy to contaminate in water source, therefore, these microplastics then can affect the ecosystem. This research was carried out in two parts. The first part is the development of lab-scale dense media separator. The operating parameters including PP to HDPE content ratio (0:1, 1:1 and 1:0), angle of inclination (15, 30 and 45 degrees) and the solid loading (20, 30 and 40 grams) on the solid-liquid separation efficiency in dense media separator by using LARCODEMS were studied to investigate its performance. The second part is to study the flow behavior within the hydrocyclone by using computational fluid dynamics (CFD). The study design factors included the ratio of width to height of feed inlet (1:2 and 2:1), angle of feed inlet inclination (22.5 and 45.0 degrees) and the inlet orientation (angle of elevation and depression) that affecting the pressure, axial velocity, radial velocity and tangential velocity within the hydrocyclone. The obtained results from this research identify the most effectively separation variables. The outcome provides significant information to reduce the amount of microplastics releasing to the ecosystem.

Keywords: DMS, LARCODEMS, Hydrocyclone, Microplastics, Recycle

Student's signature 

Student's signature 

Advisor's signature 

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ และ ดร. รัชชานนท์ เปี่ยมใจสว่าง อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และ ความร่วมมือ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว และ ยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการ พัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะผู้วิจัย

พฤษภาคม 2564

สารบัญ

บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
บทที่ 1: บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2: เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3: วิธีดำเนินงานวิจัย	21
3.1 การศึกษาตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยเครื่องแยกตัวกลางหนัก	21
3.2 การศึกษาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลน	25
บทที่ 4: ผลการวิจัย	27
4.1 การศึกษาตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยเครื่องแยกตัวกลางหนัก	27
4.2 การศึกษาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลน	32
บทที่ 5: สรุปผลการวิจัย	39
4.1 การศึกษาตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยเครื่องแยกตัวกลางหนัก	39
4.2 การศึกษาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลน	39
เอกสารอ้างอิง	40

รูปภาพอ้างอิง	42
ตารางอ้างอิง	43
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก การกระจายความดันและความเร็วในกรณีต่าง ๆ	44
ภาคผนวก ข วิธีใช้โปรแกรม ANSYS 2020 R2	60

บทที่ 1: บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการใช้พลาสติกเป็นสารตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อาทิ บรรจุภัณฑ์ชิ้นส่วนวัสดุก่อสร้าง ขนส่งยานยนต์ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ในครัวเรือน และ ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จากข้อมูลรายงานสถิติการผลิตพลาสติกของประเทศ พบว่า พลาสติกเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ที่มีสัดส่วนสูงสุดและเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดขยะมากที่สุด นอกเหนือจากพลาสติกขนาดใหญ่แล้วยังมีพลาสติกขนาดเล็กที่ปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วยซึ่งเกิดจากการแตกตัวของพลาสติกขนาดใหญ่ เช่น พลาสติกในกลุ่มพอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิสไตรีน (Polystyrene) และ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกที่มีอนุภาคขนาดเล็กปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และ เข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะสารประเภทไมโครพลาสติกที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร เนื่องจากอนุภาคของไมโครพลาสติกมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบาจึงสามารถเคลื่อนที่ผ่านกระบวนการบำบัดในชั้นต่าง ๆ และ ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ [1] โดยทั่วไปวิธีการฝังกลบเป็นวิธีทั่วไปที่ใช้กำจัดขยะ ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะเป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อเสีย คือ ถ้าหากฝังกลบไม่ดีก็อาจทำให้ปนเปื้อนน้ำใต้ดินได้จากการรั่วซึมของพื้นที่ฝังกลบ และ อีกข้อเสียหนึ่ง คือ ไม่สามารถนำขยะกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง ซึ่งจะไม่สามารถเพิ่มมูลค่าของขยะได้ [2] งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดเพื่อการคัดแยกของแข็ง-ของเหลวโดยใช้เครื่องแยกตัวกลางแบบหนักในการแยกไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อน ซึ่งเครื่องนี้สามารถคัดแยกของแข็ง-ของเหลวโดยใช้สมบัติค่าความถ่วงจำเพาะ หรือ ความหนาแน่นของตัวกลางเป็นเกณฑ์ [3] ประโยชน์ของการใช้เครื่องคัดแยกประเภทนี้ คือ มีความสามารถเหนือกว่ากระบวนการแรงโน้มถ่วง เนื่องจากกระบวนการนี้สามารถแยกความหนาแน่นที่ต้องการได้แม้ว่าสารมีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังสามารถแยกได้ด้วยประสิทธิภาพการแยกสูง [4] อีกทั้ง ยังสามารถนำไมโครพลาสติกที่แยกได้นั้นนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกครั้ง [5] โดยจะศึกษาปัจจัยดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการคัดแยก เนื่องจากการเข้าใจผลของปัจจัยดำเนินการจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกให้สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมสิ่งแวดล้อม และสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ในอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพในการคัดแยกของแข็ง-ของเหลว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรดำเนินการต่าง ๆ โดยใช้เครื่องแยกตัวกลางหนัก และ ศึกษารูปแบบการไหลของไฮโดรไซโคลนด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ในด้านความรู้และประสบการณ์ ผลการศึกษานี้จะทำให้ทราบถึงวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกของแข็ง-ของเหลวผ่าน การศึกษาตัวแปรดำเนินการที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยก โดยใช้เครื่องแยกตัวกลางหนัก

1.3.2 ความรู้ ความเข้าใจที่นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของสังคมหรือสภาพแวดล้อม ผลการศึกษานี้จะเป็นแนวทางไปสู่องค์ความรู้การคัดแยกสารของแข็ง-ของเหลวด้วยเครื่อง แยกตัวกลางหนักในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมการปนเปื้อนของน้ำที่พบกันอยู่ในปัจจุบัน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ก. แผนการศึกษา

1. ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูล Sciencedirect Scopus และ สืบค้นข้อมูลจากเว็บไซต์ต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกตัวแปรในการศึกษาประสิทธิภาพในการแยกของแข็ง-ของเหลวจากเครื่องแยกตัวกลางหนัก
2. สร้างเครื่องแยกตัวกลางหนักจากข้อมูลที่ได้ศึกษาตามรูปแบบเครื่องแยกตัวกลางหนักโดยใช้ LARCODEMS และ สร้างแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลน
3. ออกแบบการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการแยกไมโครพลาสติกของเครื่องแยกตัวกลางหนัก โดยตัวแปรที่เลือกศึกษา คือ อัตราส่วนปริมาตรเม็ดพลาสติก PP ต่อ HDPE มุมเอียง และ ปริมาตรเม็ดพลาสติกที่ป้อนเข้า และ ศึกษารูปแบบการไหล โดยใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลน โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับทางป้อนเข้าระบบ คือ อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องป้อนเข้า องศามุมป้อนเข้า และ มุมป้อนเข้าจากระนาบแนวนอน
4. ทำการทดลองตามการออกแบบการทดลองจากเครื่องแยกตัวกลางหนัก เพื่อหาประสิทธิภาพในการคัดแยก และ ทำการรันผลจากการสร้างแบบจำลอง
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และ เขียนรายงานโครงการ

ข. ระยะเวลาที่ศึกษา

ใช้เวลาในการทำวิจัยทั้งหมดเป็นเวลา 12 เดือน ดังนี้

กิจกรรม	ระยะเวลา (เดือนที่)				
	1	2-3	4-5	6-9	10-12
ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ สืบค้นข้อมูลจากเว็บไซต์ต่าง ๆ					
สร้างเครื่องแยกตัวกลางหนัก					
ออกแบบการทดลอง					
ทำการทดลองจาก LARCODEMS เพื่อหา ประสิทธิภาพในการคัดแยก และ วิเคราะห์ ผลด้วยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิง คำนวณของไฮโดรไซโคลอน					
วิจารณ์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และ เขียนรายงานโครงการ					

บทที่ 2: เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.1 พลาสติก

พลาสติกจัดเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวๆ แต่ไม่สามารถมองเห็นเป็นสายโซ่ได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งสายโซ่ดังกล่าวประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ ที่เรียกว่า มอนอเมอร์ โดยที่พอลิเมอร์สามารถสังเคราะห์ได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ของมอนอเมอร์ โดยใช้แหล่งวัตถุดิบจากปิโตรเคมีเป็นหลัก พลาสติกมีหลายชนิดและสามารถใช้แทนวัสดุธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ใช้ผลิตท่อพีวีซี พอลิเอทิลีนเทเรพธาลเอท (PET) ใช้ผลิตขวดบรรจุน้ำดื่ม และพอลิสไตรีน (PS) ใช้ผลิตภาชนะบรรจุต่างๆ เช่น ข้อน พลาสติก เป็นต้น โดยประเภทของพลาสติกตามสมบัติทางความร้อน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดเนื่องจากโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกันไปได้ง่ายขึ้น เมื่อได้รับความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้ สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือโครงสร้างของพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไปมากนัก

พลาสติกประเภทนี้สามารถขึ้นรูปโดยการฉีดขณะที่พลาสติกถูกทำให้อ่อนตัวและไหลได้ด้วยความร้อนและความดัน เข้าไปในแม่แบบที่มีช่องว่างเป็นรูปร่างตามต้องการ ภายหลังจากที่พลาสติกไหลเข้าจนเต็มแม่พิมพ์ จะถูกทำให้เย็นตัว และถอดออกจากแม่พิมพ์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการ เมื่อใช้งานเสร็จแล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบด และหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก แต่พลาสติกประเภทนี้มีข้อเสียและขีดจำกัดของการใช้งาน คือไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะอาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปทรงไป ตัวอย่างเช่น ขวดน้ำดื่มไม่เหมาะสำหรับใช้บรรจุน้ำร้อนจัดหรือเดือด

2. เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้พอลิเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน และหากได้รับความร้อนสูงเกินไป จะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก ได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นพอลิเมอร์ต่อไป

การผลิตพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตจะแตกต่างจากพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกคือ ในขั้นตอนแรกต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเพียงบางส่วน มีการเชื่อมโยงโมเลกุลเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย และยังสามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน จึงสามารถขึ้นรูปภายใต้ความดัน และอุณหภูมิสูงได้ เมื่อผลิตภัณฑ์มีรูปร่างตามต้องการแล้ว ให้อุณหภูมิไว้ประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้โครงสร้างแบบร่างแหที่เสถียร และแข็งแรง สามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากแบบโดยไม่ต้องรอให้เย็น เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวอยู่ในแม่พิมพ์ ดังนั้นการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตพลาสติกเทอร์โมเซตกลับทำให้วัสดุแข็งขึ้น ต่างจากกระบวนการผลิตพลาสติกเทอร์โมพลาสติกที่การให้ความร้อนจะทำให้พลาสติกนิ่ม และหลอมเหลว พลาสติกเทอร์โมเซตเมื่อใช้งาน

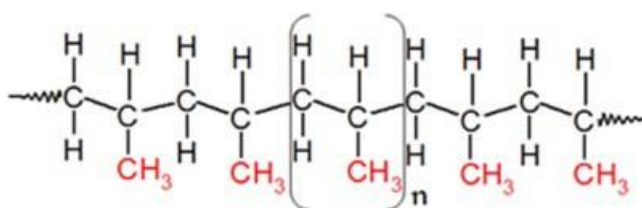
เสร็จแล้วไม่สามารถนำมาผ่านการหลอมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือ รีไซเคิล (Recycle) ได้อีก และถ้าให้ความร้อนมากเกินไป จะทำให้พลาสติกเกิดการสลายตัวหรือไหม้ โดยไม่เกิดการหลอมเหลว ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้เช่น เบคเคอไลต์ และเมลามีน เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ประเภทพลาสติกทั้ง 7 ประเภท [1]

รหัส	เรซิน	การใช้ประโยชน์	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล
 PETE	โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (polyethylene terephthalate)	ภาชนะสำหรับใส่เครื่องดื่ม ใส่อาหารร้อน	ผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์ เช่น เสื้อกันหนาว พรม
 HDPE	โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density polyethylene)	ขวดใส่นม ขวดแชมพู ขวด น้ำยาซักผ้า	เฟอร์นิเจอร์ เช่น ศาลา ม้านั่ง
 V	ไวนิล (vinyl) หรือโพลีไวนิล คลอไรด์ (polyvinylchloride)	แผ่นฟิล์มถนอมอาหาร ฉนวนหุ้มสายไฟ สายยางใส ท่อน้ำประปา	กรวยจราจร ท่อน้ำประปาสำหรับ การเกษตร
 LDPE	โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene)	ฟิล์มห่ออาหาร ถุงพลาสติก แผ่นฟิล์ม	ถุงดำใส่ขยะ ถังขยะ ตู้จดหมาย
 PP	โพลีโพรพิลีน (polypropylene)	ถุงใส่ของชำ กล่องบรรจุ อาหาร ภาชนะห่ออาหาร	กล่องแบตเตอรี่รถยนต์ กันชนรถ ยนต์
 PS	โพลีสไตรีน (polystyrene)	ช้อน โฟมกันกระแทก ถ้วย ไอศกรีม	ไม้แขวนเสื้อ ไม้บรรทัด
 Other	อื่นๆ	ภาชนะบรรจุอาหาร เช่น ขวด น้ำมะเขือเทศ ขวดน้ำส้ม น้ำ มะนาว	ท่อนไม้พลาสติก ผลิตภัณฑ์ พลาสติกอื่นๆ

2.1.2 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

พอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นโดย Giulio Natta และนักเคมีชาวเยอรมัน Karl Rehn ในเดือนมีนาคม ปี 1954 ในประเทศสเปน โดยพอลิโพรพิลีนที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบผลึกชนิด isotactic การค้นพบครั้งนี้เป็นการบุกเบิกนำไปสู่การผลิตเพื่อการค้าต่อมาในปี 1957 และ Giulio Natta และผู้ร่วมงานยังได้สังเคราะห์พอลิโพรพิลีนชนิดซินดิโอแทคติก (Syndiotactic) ขึ้นเป็นครั้งแรก

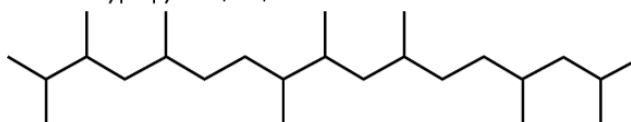


รูปภาพที่ 2.1 โครงสร้างพอลิโพรพิลีน [1]

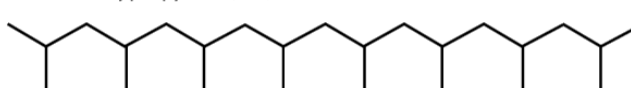
พอลิโพรพิลีน หรือ พีพีเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน ผลิตจากโพรพิลีน เป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้ง โปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนกรด เบส และ สารเคมีต่างๆ ยกเว้นไฮโดรคาร์บอน และ คลอรีเนตไฮโดรคาร์บอน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน ได้แก่ ไอโซแทคติกพอลิโพรพิลีน ซินดีโอแทคติกพอลิโพรพิลีน และแอนแทคติกพอลิโพรพิลีน ซึ่งพอลิโพรพิลีนมีสมบัติดีกว่า พอลิเอทิลีนหลายอย่าง ได้แก่ ทนแรงกระแทกสูง ทนการขีดข่วน ทนสารเคมี มีจุดอ่อนตัวสูง มีความหนาแน่นต่ำ และมีอุณหภูมิในการหลอมสูง ทำให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 120 °C

พอลิโพรพิลีนชนิดไอโซแทคติกนำมาผลิตเป็นพลาสติกใช้อยู่โดยทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างมีการจัดเรียงของหมู่เมทิลอยู่ด้านเดียวกันอย่างเป็น ระเบียบจึงมีความเป็นผลึกสูง ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็ง ทนทาน ตรงข้ามกับชนิดแอนแทคติกที่จะมีความเหนียวมากกว่าเนื่องจากหมู่เมทิลมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (amorphous) ส่วนชนิดไอโซแทคติก หมู่เมทิลจัดเรียงตรงข้ามกันมีความแข็งน้อยกว่า แต่จะทนทานมากกว่าชนิดไอโซแทคติก

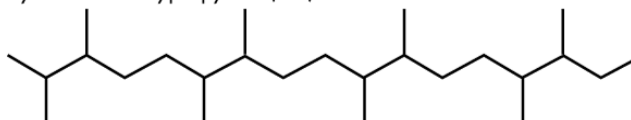
Atactic Polypropylene (aPP)



Isotactic Polypropylene (iPP)



Syndiotactic Polypropylene (sPP)



รูปภาพที่ 2.2 ประเภทโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน [2]

คุณสมบัติของพอลิโพรพิลีน

- มีความแข็ง ความเปราะและแตกง่ายน้อยกว่า HDPE และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า LDPE มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัวไม่เสีรูปร่าง มีความทนทานมาก
- เมื่อไม่ได้ผสมสีมีลักษณะขาวขุ่น ไม่ทึบแต่ไม่ใส ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน แต่ไม่ใสเท่ากับพอลิสไตรีน
- มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อย ในช่วง 0.855 - 0.946 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีน
- มีจุดหลอมเหลวสูง 130–171 องศาเซลเซียสจึงสามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization: 100 องศาเซลเซียส) ได้
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง
- มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี
- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก ได้แก่ กรด ต่าง แอลกอฮอล์ ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะเกิดการพองตัวอ่อนนิ่ม หรือพื้นผิวเป็นรอยได้ในสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นคลอรีน หรือ ไฮโดรคาร์บอนทั้งชนิดอะโรมาติกและอะลิฟาติก เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีคุณสมบัติไม่มีขั้วสามารถดูดซึมสารที่ไม่มีขั้วได้ดี ดังนั้นจึงสามารถทนต่อสารที่มีขั้วได้ดีกว่า และพอลิโพรพิลีนจะพองตัวและละลายตัวได้ในสารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง เช่น ไกกรดไนตริก กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและร้อนการละลายตัวของพอลิโพรพิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรพิลีน

ผลิตภัณฑ์ที่พบเสมอคือ กล่อง ของเล่นเด็ก ถุงปุ๋ย ไหมเทียม พรมและแผ่นรองพรม ผ้าใบกันน้ำ เชือกสายรัดบรรจุภัณฑ์ ถุงร้อน ขวดใส่เครื่องดื่ม ซองขนม ท่อ ปลอกหุ้มสายไฟและสายเคเบิล งานเคลือบกระดาษ วัสดุอุดรอยรั่ว อุปกรณ์ภายในรถยนต์ กล่องเครื่องมือ กระเป่า ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและตลับ เครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือนกล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ขวดใส่สารเคมี ครอบป้องกันเครื่องกระสอบข้าว และ ถุงบรรจุปุ๋ย

พลาสติกสำหรับใช้งานในทางการแพทย์หรือในห้องปฏิบัติการส่วนมากทำจากพอลิโพรพิลีน ซึ่งมีข้อดีคือ ทนต่อความร้อนสูงได้สามารถนำไปอบฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดความดัน (Autoclave) เมื่อทำเป็นภาชนะบรรจุอาหาร ก็สามารถนำเข้าเครื่องล้างจานอัตโนมัติ และ ภาชนะบรรจุอาหารสำหรับไมโครเวฟได้

ภาชนะที่ทำจากพอลิโพรพิลีนซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติก ได้รับการจำแนกชนิดของพลาสติก เพื่อนำกลับไปรีไซเคิล มีสัญลักษณ์เป็นเลข 5 ซึ่งหมายถึง Resin Identification Code 5

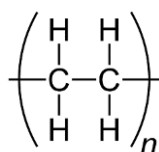
การสลายตัวของพอลิโพรพิลีน

พอลิโพรพิลีนเกิดการสลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีแรงกระแทก ความร้อน ออกซิเจน แสงยูวี เนื่องจากโครงสร้างมี tertiary carbon atom ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายทำให้ตัดพันธะ พอลิเมอร์สายสั้นลง และให้สารกลุ่มอัลดีไฮด์ กรดคาร์บอกซิลิก แลคโตนและเอสเทอร์ออกมาทำให้พอลิเมอร์ไม่คงทนมีรอยแตกและเหลือง ดังนั้น เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิโพรพิลีนสำหรับการใช้งานภายนอกอาคาร อาจต้องมีการเติม carbon black เพื่อป้องกันแสง UV และสารต้านออกซิเดชันเพื่อป้องกันพอลิเมอร์สลายตัว

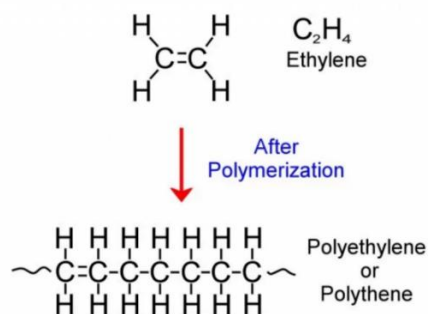
2.1.3 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)

พอลิเอทิลีน (Polyethylene หรือ Polythene) ถูกค้นพบในปี 1933 โดย Reginald Gibson และ Eric Fawcett แห่งบริษัท Imperial Chemical Industries (ICI) ในประเทศอังกฤษ พอลิเอทิลีนแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ LDPE และ HDPE โดย LDPE ใช้ผลิตแผ่นฟิล์มและวัสดุสำหรับบรรจุหีบห่อ ส่วน HDPE มีความแข็งแรงกว่า ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ ท่อน้ำ และอุปกรณ์ยานยนต์

HDPE เป็นพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนมีค่าความหนาแน่นสูง การเรียงตัวของโมเลกุลจะมีกิ่งก้านมาก มีความหนาแน่นมาก HDPE มีความหนาแน่นประมาณ 0.941-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นิยมใช้กันมากในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก เช่น ขวด ถัง ถาด ถุงที่ต้องการความแข็งแรงแต่ไม่ต้องการความใสมาก



รูปภาพที่ 2.3 โครงสร้างของ HDPE



รูปภาพที่ 2.4 กระบวนการพอลิเมอไรเซชันจากเอทิลีนเป็นพอลิเอทิลีน [3]

HDPE เป็นวัสดุประเภท Polyethylene Thermoplastic ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม จัดเป็นพลาสติกที่ได้รับสัญลักษณ์เลข 2 ซึ่งหมายถึง Resin Identification Code 2 เพื่อความสะดวกสำหรับการจำแนกชนิดของพลาสติกในการนำกลับไปรีไซเคิล

คุณสมบัติของ HDPE

- ชู้น แสงผ่านได้น้อยกว่า low density polyethylene (LDPE) และ LLDPE
- สามารถใช้ได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดและด่าง ไม่ว่องไวต่อสารเคมี
- มีความเหนียว ค่อนข้างนิ่ม ยืดหยุ่น ความต้านทานแรงต่างๆ ได้ดี ทนทานต่อแตกหรือการหักงอได้ดี
- มักใช้งานเป็นถุงที่ต้องรับน้ำหนักมาก ลัง ถัง ตะกร้า
- ป้องกันการผ่านของอากาศได้ดี จึงไม่เหมาะสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ใช้การอัดอากาศ
- สามารถเพิ่มสีส่นของขวดได้โดยไม่จำเป็นต้องเคลือบมัน สามารถพิมพ์สกรีนตกแต่งขวดได้
- ทนความร้อนได้เล็กน้อย หากใช้วิธีบรรจุแบบอุ่น (Warm filled: 80-100 องศาเซลเซียส)
- สามารถทนความเย็นต่ำกว่าจุดเยือกแข็งได้ ใช้บรรจุอาหารแช่เยือกแข็ง (frozen food)
- ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้สูงมาก
- การใช้ HDPE แทนที่ LDPE น้ำหนักของขวดสามารถลดลงได้มากกว่า 40% เนื่องจากสามารถเป่าขวดที่มีผิวได้บางมาก

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก HDPE

HDPE ทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลายหลายชนิด มีความยืดหยุ่นต่อแรงกระแทกแตก ไม่แตกง่าย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานต่าง ๆ โดยเฉพาะการผลิตภาชนะบรรจุที่เตรียมจากการเป่าจากแม่พิมพ์ (Blow molding) เนื่องจากหดรตัวในแม่พิมพ์ได้ดีมาก ไม่ติดแม่พิมพ์ ทำให้ถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดบรรจุนม ถาดทำน้ำแข็ง ภาชนะ กล่อง กระปุกบรรจุอาหาร กระปุกยาและวิตามิน ขวดใส่สารเคมี ขวดสบู์เหลว (ขวดปั้ม) ขวดน้ำยาซักผ้า ครอบป้องกัน ลังและกล่องบรรจุสินค้า ถุงใส่ของ เครื่องเล่นเด็ก ฉนวนไฟฟ้า โตะ แก้ว นอกจากนี้ HDPE ยังใช้ในการบุพื้นบ่อฝังกลบขยะเพื่อป้องกันการรั่วซึมของสารเคมีลงสู่พื้นดินและแหล่งน้ำธรรมชาติ

การสลายตัวของ HDPE

HDPE นั้นเป็นพลาสติกที่สลายตัวได้ยาก ส่วนใหญ่แล้วได้ถูกนำมารีไซเคิลโดยการแปรรูปพลาสติกให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง นอกจากนี้ ยังมีการถูกนำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตน้ำมันไพโรไลซิสซึ่งมีคุณภาพเทียบเคียงได้กับน้ำมันเบนซิน และ ดีเซล โดยการใช้ขยะพลาสติกที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านกระบวนการทางความร้อน

2.1.4 ไมโครพลาสติก (Microplastics)

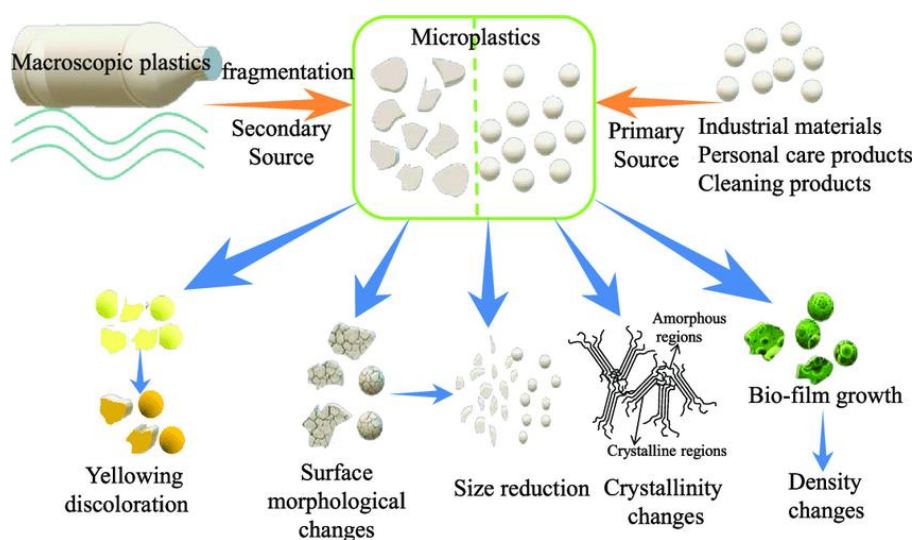
ในการดำรงชีวิตในปัจจุบันนั้นล้วนมีความเกี่ยวข้องกับพลาสติกด้วยกันทั้งสิ้น พลาสติกอยู่ในสิ่งของแทบทุกสิ่งที่ใช้กัน ไม่ว่าจะเป็นขวดน้ำพลาสติก ถังพลาสติก ฝามปากกา เป็นต้น ซึ่งล้วนเป็นส่วนประกอบจากกลุ่มของพอลิเมอร์อินทรีย์ที่ได้จากปิโตรเลียม โดยรวมถึงพอลิไวนิลคลอไรด์ ไนลอน พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน และพอลิโพรพิลีน ทั้งนี้พลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรลงไป หรือมีขนาดอยู่ในช่วง 1 นาโนเมตรจนถึง 5 มิลลิเมตร ซึ่งจะเรียกว่า ไมโครพลาสติก มักเกิดจากการย่อยสลายหรือแตกหักของขยะพลาสติกขนาดใหญ่ หรือเกิดจากพลาสติกที่มีการสร้างให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้เหมาะกับวัตถุประสงค์การใช้งาน ส่วนใหญ่มีรูปร่างทรงกลม ทรงรี หรือบางครั้งมีรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งไมโครพลาสติกนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้



รูปภาพที่ 2.5 ไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำ [4]

1. Primary microplastics เป็นพลาสติกที่ถูกผลิตให้มีขนาดเล็กมาตั้งแต่ต้น เพื่อการใช้ประโยชน์เฉพาะด้าน เช่น เม็ดพลาสติกที่นำมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นของการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก (Plastic pellet) เม็ดพลาสติกที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวหน้า เครื่องสำอาง หรือยาสีฟัน (Plastic scrub) ซึ่งมักเรียกกันว่า ไมโครบีดส์ (Microbeads) หรือเม็ดสครับ ไมโครพลาสติกประเภทนี้สามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมทางทะเลจากการทิ้งของเสียโดยตรงจากบ้านเรือนสู่อ่างน้ำและไหลลงสู่ทะเล

2. Secondary microplastics เป็นพลาสติกที่เกิดจากพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ หรือมาโครพลาสติก (Macroplastic) ซึ่งสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานานเกิดการย่อยสลายหรือแตกหัก โดยกระบวนการย่อยสลายพลาสติกขนาดใหญ่ให้กลายเป็นพลาสติกขนาดเล็กนี้สามารถเกิดได้ทั้งกระบวนการย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) กระบวนการย่อยสลายทางเคมี (Chemical degradation) กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biological degradation) และกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงอาทิตย์ (UV degradation) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะทำให้สารแต่งเติมในพลาสติกหลุดออก ส่งผลให้โครงสร้างของพลาสติกเกิดการแตกตัวจนมีขนาดเล็ก กลายเป็นสารแขวนลอยปะปนอยู่ในแม่น้ำและทะเล



รูปภาพที่ 2.6 คุณสมบัติของไมโครพลาสติกหลังการย่อยสลาย [5]

ผลกระทบของไมโครพลาสติก

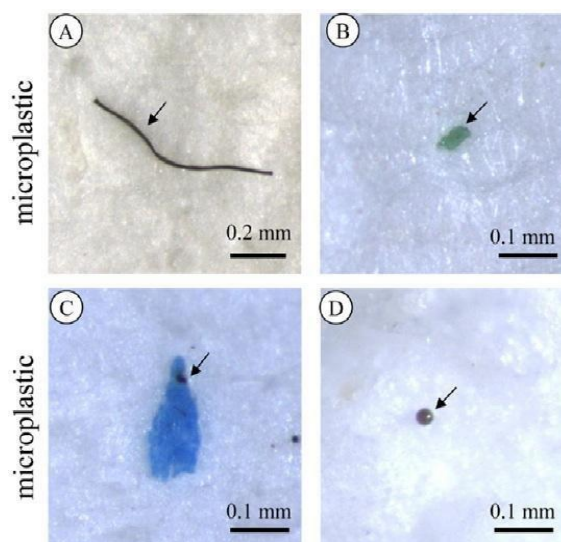
ไมโครพลาสติกนั้นเป็นอันตรายต่อห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถดูดซึมสารพิษที่มีอยู่ในทะเล ถ้าหากยังอยู่ในน้ำทะเลนาน ไมโครพลาสติกจะมีความเป็นพิษเพิ่มสูงขึ้น สิ่งมีชีวิตตั้งแต่ต้น

ห่วงโซ่อาหาร อย่างเช่น แพลงตอนสัตว์ในทะเลจึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับพลาสติกเหล่านี้เข้าไป ส่วนสิ่งมีชีวิตทำยห่วงโซ่อาหารอย่างเช่นมนุษย์อาจได้รับสารพิษตกค้าง เพราะไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กสามารถผ่านผนังเซลล์ มีนักวิจัยนำเสนอความเป็นไปได้ว่าอนุภาคพลาสติกขนาดเล็กเหล่านี้อาจโดนลมพัดและลอยลอยอยู่ในอากาศเข้าสู่ปอดของสิ่งมีชีวิตได้ เป็นเหมือนมลภาวะทางอากาศเช่นเดียวกับไอเสียจากรถยนต์

ปัจจุบัน ไมโครพลาสติกแพร่กระจายอยู่ในทะเล และมหาสมุทรทั่วโลก และสะสมอยู่ในสัตว์น้ำเกือบทุกชนิด ดังนั้นไมโครพลาสติกเหล่านี้จึงเข้าสู่คนโดยการกินอาหารทะเล หากได้รับประทานสิ่งที่ปนเปื้อนไมโครพลาสติกเข้าไปปริมาณมากอย่างสม่ำเสมอ อาจทำให้เป็นโรคมะเร็งได้ง่ายขึ้น อาจก่อให้เกิดมะเร็งในกระเพาะอาหารส่งผลกระทบต่อระบบไหลเวียนโลหิต ด้วยขนาดที่เล็กเท่าแบคทีเรียหรือไวรัส ก็อาจสามารถเข้าไปในเส้นเลือดได้ กรณีร้ายแรงที่สุดอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม แม้ว่าไมโครพลาสติกเหล่านี้ส่วนใหญ่จะถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระ แต่ไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กเท่าแบคทีเรีย หรือ ไวรัส อาจแทรกเข้าไปในเส้นเลือด นำไปสู่อวัยวะต่างๆ เช่นเข้าไปฝังอยู่ในเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกายและก่อให้เกิดโรคมะเร็ง รวมทั้งไมโครพลาสติกอาจเข้าไปสะสมอยู่ในระบบหมุนเวียนโลหิต ทำให้เส้นเลือดอุดตัน เป็นต้น

ไมโครพลาสติกหลายชนิดทั้งที่มีอันตรายมากและน้อยมีต้นกำเนิดจากพลาสติกที่ผลิตเพื่อใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ถุงพลาสติกใส่อาหารทั้งร้อนและเย็น ประกอบด้วยสารพอลิโพรพิลีน ขวดน้ำดื่มประกอบด้วยสารพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเรต และ ฟิล์มห่ออาหาร ผลิตจากพอลิไวนิลคลอไรด์

มลพิษจากพลาสติกเกิดจากการกำจัดขยะที่ไม่เหมาะสม ทั่วโลกมีการผลิตพลาสติกมากกว่า 8 พันล้านตัน นับตั้งแต่มีการใช้งานขนาดใหญ่ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1950 ประมาณ 6.3 พันล้านตันที่กลายเป็นขยะ มีเพียงร้อยละ 9 เท่านั้นที่ถูกรีไซเคิล และ ร้อยละ 12 ที่ถูกนำไปเผาทิ้ง ส่วนที่เหลือไปสู่หลุมฝังกลบแม่น้ำและมหาสมุทรสร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจต่อระบบนิเวศทางทะเลเป็นอย่างมาก ซึ่งรวมถึงความสูญเสียต่ออุตสาหกรรมการประมงและการท่องเที่ยว ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาดชายหาด และเนื่องจาก ไมโครพลาสติกจะสะสมสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่ผลิตออกซิเจนจึงทำให้จุลินทรีย์ตายได้ ดังนั้น สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำก็จะขาดอากาศหายใจและตายในที่สุด อาจทำให้ไม่มีสัตว์น้ำส่งออก ซึ่งทำให้อุตสาหกรรมประมงขาดรายได้อย่างมหาศาล

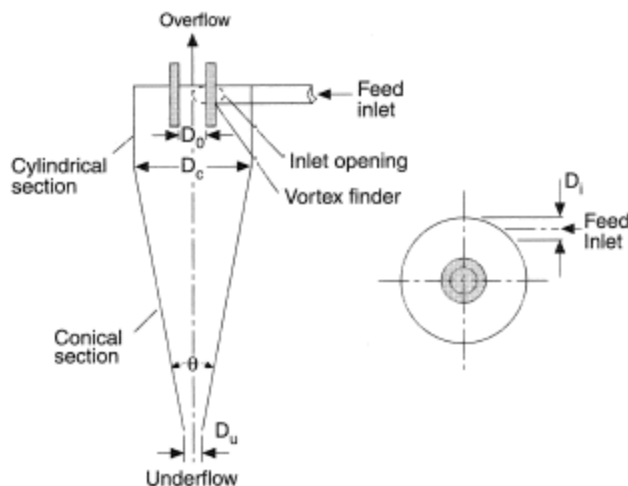


รูปภาพที่ 2.7 ไมโครพลาสติกที่พบจากปลาในประเทศจีน [6]

นอกจากนี้กระบวนการผลิตพลาสติกบางส่วนมีการใส่สารเคมีเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้กับพลาสติก เช่น Bisphenol A (BPA) ซึ่งส่งผลกับการเจริญเติบโตของเด็ก และพบ Poly Bromodifenyl Ether (PBDE) ในเนื้อเยื่อของนกที่อาศัยแถวทะเล ซึ่งเป็นสารมีพิษที่ใส่ในพลาสติกเพื่อกันการติดไฟ

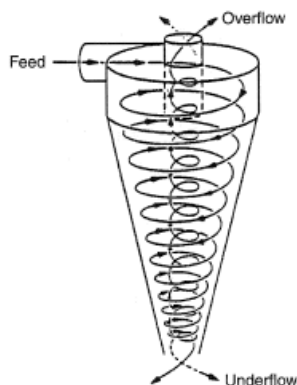
2.1.5 ไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone)

ไฮโดรไซโคลนเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ความดันของไหลเพื่อสร้างแรงเหวี่ยง (Centrifugal force) และ รูปแบบการไหล (Flow pattern) ซึ่งสามารถแยกอนุภาคออกจากตัวกลางที่เป็นของเหลว อนุภาคเหล่านี้ต้องมีความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างเพียงพอเมื่อเทียบกับตัวกลางเพื่อที่จะทำให้เกิดการแยกออกจากกันได้ สำหรับส่วนประกอบของไฮโดรไซโคลนนั้นประกอบไปด้วยส่วนของทางเข้าสารป้อน (Feed inlet) จะอยู่ติดกับส่วนของทรงกระบอก (Cylindrical chamber) และจะเชื่อมต่อกับส่วนกรวย (Conical body) ซึ่งที่ด้านล่างส่วนปลายของกรวยนั้นจะเป็นทางออกของของเหลวที่เรียกว่าอันเดอร์โฟลว์ (Underflow) ในส่วนของการไหลย้อนกลับจะไหลออกไปในส่วนของท่อที่ยื่นออกมาด้านบนตามแนวแกน หรือเรียกว่า วอร์เท็กซ์ไฟนเดอร์ (Vortex finder) และปล่องโอเวอร์โฟลว์ (Overflow) ออกมา



รูปภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของไฮโดรไซโคลน [7]

รูปแบบการไหลภายในไฮโดรไซโคลนนั้นเป็นรูปแบบของการหมุนวน เมื่อสารป้อนไหลเข้าไปในตัวไฮโดรไซโคลนในส่วนที่เป็นรูปทรงกระบอก จะทำให้เกิดกระแสน้ำวน หรือ วอร์เท็กซ์ ขึ้น เกิดความเร็วในแนวสัมผัสซึ่งทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัว โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ หรือ ความหนาแน่นสูง จะแยกตัวออกมาใกล้กับผนังของไฮโดรไซโคลนเป็นอันเดอร์โฟลว์ ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็ก หรือ ความหนาแน่นต่ำเป็นโอเวอร์โฟลว์ไหลออกทางวอร์เท็กซ์ไฟนเดอร์



รูปภาพที่ 2.9 ทิศทางการไหลภายในไฮโดรไซโคลน [7]

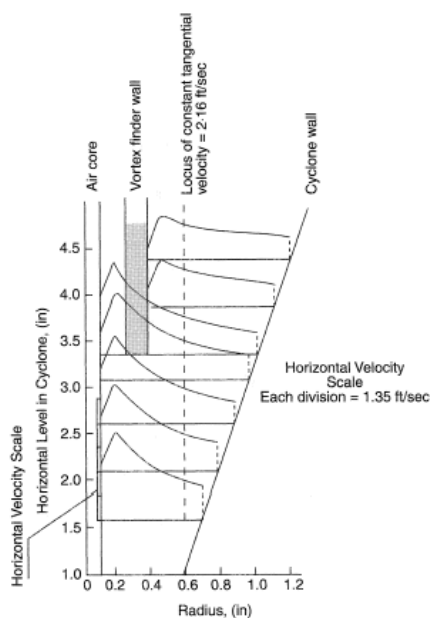
ค่าความเร็วต่าง ๆ ในไฮโดรไซโคลน (u) นั้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$ur^n = \text{constant} \quad (2.1)$$

เมื่อ $n = -1$ สำหรับวอร์เท็กซ์ด้านใน และ $n = 0.5-0.8$ สำหรับวอร์เท็กซ์ด้านนอก
และ r คือ ระยะรัศมีภายในไฮโดรไซโคลน (หน่วยเป็นนิ้ว)

1. ความเร็วแนวสัมผัส (Tangential velocity)

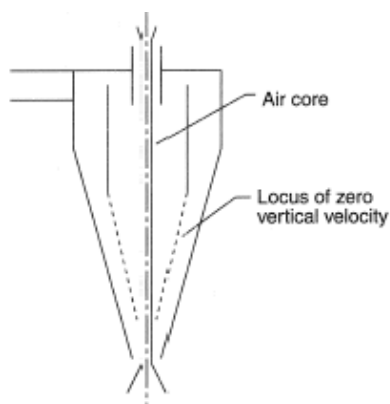
ความเร็วแนวสัมผัส คือ ความเร็วเชิงเส้นของของไหลที่มีทิศทางสัมผัสกับผิวรอบของไฮโดรไซโคลน



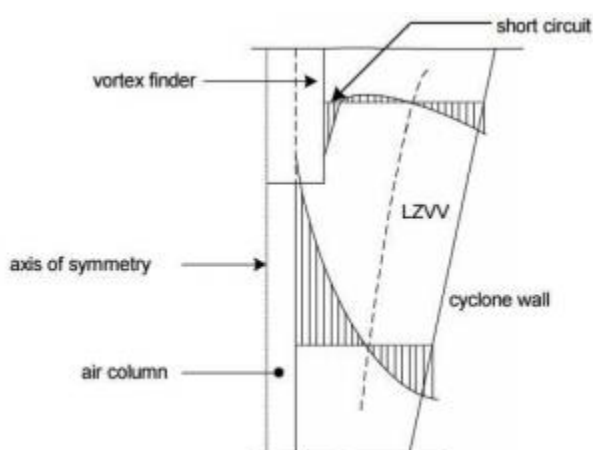
รูปภาพที่ 2.10 การแจกแจงความเร็วตามแนวสัมผัสภายในไฮโดรไซโคลน [7]

2. ความเร็วตามแนวแกน (Axial velocity)

ความเร็วตามแนวแกนนั้น คือ ความเร็วที่มีทิศทางตามแนวแกนทั้งทิศขึ้นและลง ในการเกิดขึ้นของกระแสที่ไหลออกทางด้านบนและด้านล่างนั้น เกิดขึ้นจากการมีตำแหน่งที่ความเร็วในแนวตั้งเป็นศูนย์ (Locus of zero vertical velocity) ในขณะเดียวกัน ทั้งสองกระแสก็เกิดความเร็วแนวสัมผัส (Tangential velocity) โดยที่วอร์เท็กซ์ด้านนอกจะมีความเร็วแนวสัมผัสลดลงเมื่อรัศมีเพิ่มขึ้น ส่วนวอร์เท็กซ์ด้านในจะมีความเร็วแนวสัมผัสลดลงเมื่อรัศมีลดลง นอกจากนี้ ยังมีบริเวณที่เกิดการไหลลัดวงจร (Short-circuit flow) ที่บริเวณด้านบนของขอบนอกวอร์เท็กซ์พายเดอร์ ซึ่งเกิดขึ้นเป็นปกติภายในไฮโดรไซโคลน



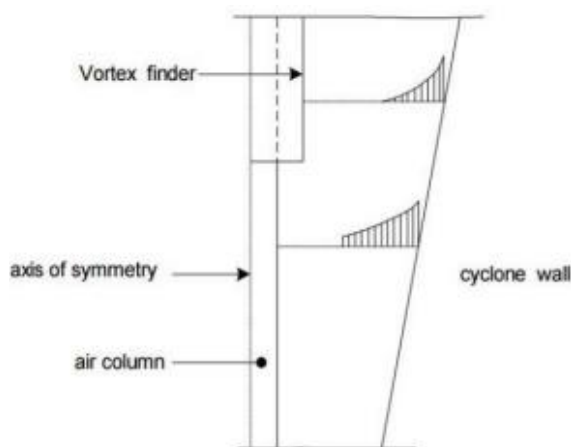
รูปภาพที่ 2.11 ภาพแสดงตำแหน่งความเร็วในแนวแกนมีค่าเป็นศูนย์ [7]



รูปภาพที่ 2.12 การแจกแจงความเร็วตามแนวแกนภายในไฮโดรไซโคลน [8]

3. ความเร็วตามแนวรัศมี (Radial velocity)

ความเร็วตามแนวรัศมี จะมีทิศทางตั้งฉากกับความเร็วมตามแนวแกน เป็นความเร็วของไหลภายในไฮโดรไซโคลนที่มีค่าน้อยที่สุดจากค่าความเร็วทั้งหมด โดยความเร็วตามแนวรัศมีจะมีค่าสูงสุดที่บริเวณเหนือขอบของวอเท็กซ์พายเดอร์ใกล้ผนังของไฮโดรไซโคลน และ มีความสัมพันธ์กับความเร็วของไหลที่เข้าสู่ระบบ



รูปภาพที่ 2.13 การแจกแจงความเร็วตามแนวรัศมีภายในไฮโดรไซโคลน [8]

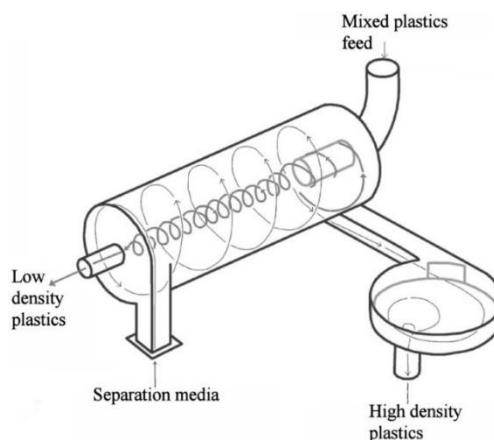
ขนาดและรูปร่างของวอร์เท็กซ์ไฟนเดอร์ รูปร่างของตัวไฮโดรไซโคลน และ รูปทรงทางเรขาคณิตของทางเข้าสารป้อนนั้นล้วนเป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลรวมไปถึงกระแสไหลหมุนวนภายในไฮโดรไซโคลนด้วย และเนื่องจากความซับซ้อนในการออกแบบขนาดและรูปร่างต่าง ๆ ภายในไฮโดรไซโคลนนี้ทำให้มีผู้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการคัดแยก และ ความดันลดในไฮโดรไซโคลน ซึ่งได้รับการเผยแพร่โดย Bradley (1965) และ Svarovsky (1984)

สำหรับแรงเหวี่ยงที่สร้างขึ้นภายในไฮโดรไซโคลนนั้น สามารถแยกอนุภาคของแข็งที่มีขนาดประมาณ 5 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลนเล็กลงก็จะมีแรงเหวี่ยงมากขึ้น และ ยิ่งทำให้ประสิทธิภาพในการแยกอนุภาคขนาดเล็กสูงขึ้น นอกจากนี้ การออกแบบกรวยยาวจะให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกที่ดีกับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน อย่างไรก็ตาม ในการดำเนินการจริงส่วนใหญ่ ไฮโดรไซโคลนดังกล่าวจะต้องเชื่อมต่อแบบอนุกรม และ เชื่อมต่อแบบขนานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ในอุตสาหกรรม

2.1.6 Large coal density media separator (LARCOCODEMS)

LARCOCODEMS นั้นถูกผลิตขึ้นมาเพื่อใช้กับถ่านหิน แต่ก็ได้มีการนำมาใช้ในกระบวนการแปรรูปแร่เหล็ก และ คัดแยกพลาสติกด้วยเช่นกัน โดยความสามารถในการคัดแยก และ ขนาดสูงสุดของอนุภาคที่รับได้นั้นจะเป็นไปตามสัดส่วนกับเส้นผ่านศูนย์กลางของตัว LARCOCODEMS ซึ่งได้มีการผลิตขึ้นมาแล้ว 6 รุ่น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 300, 500, 850, 1000 และ 1200 มิลลิเมตร สำหรับรุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุด (300 มิลลิเมตร) ยังมีความสามารถในการคัดแยกพลาสติกได้ถึง 6 ตันต่อชั่วโมง

สำหรับส่วนประกอบ LARCODEMS จะประกอบไปด้วยไปด้วยส่วนแยกรูปทรงกระบอกที่มีมุมเอียง 30 องศาจากแนวนอน ดังรูปภาพที่ 2.14 โดยตัวกลางในการแยกจะเข้ามาที่ทางเข้าด้านล่างขึ้นไปทางอีกฝั่งของด้านบน จากนั้นตัวกลางจะหมุนวนขึ้นไปที่พื้นผิวด้านในจนถึงปลายด้านบน จนกระทั่งตัวกลางเกิดกระแสไหลสวนทางลงมา (Counter current) กับกระแสที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้น เมื่อปริมาตรของตัวกลางในการแยกมีมากเพียงพอ จะทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวน หรือ วอร์เท็กซ์ซึ่งเป็นผลมาจากแกนกลางอากาศ (Air core) ตัวกลางนั้นจะไม่ไหลกลับลงไปในทางที่เข้ามา แต่จะไหลออกไปในทางซิงค์พอร์ต (Sink port) ซึ่งจะมีการเชื่อมต่อกับตัวแยกกระแสน้ำวน (Vortex extractor) อีกทีเพื่อรักษาเสถียรภาพของกระแสน้ำวน เป็นการลดความผันผวนที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลเข้าของตัวกลางมีค่ากว้าง ในส่วนของอนุภาคที่ใช้ในการคัดแยกนั้นจะถูกนำใส่เข้ามาที่ทางเข้าปลายด้านบนของวอร์เท็กซ์ เพื่อให้อนุภาคที่มีความหนาแน่นสูงไหลออกทางซิงค์พอร์ต และ อนุภาคที่มีความหนาแน่นต่ำจะไหลออกไปในทางฟลอตพอร์ต (Float port) ที่ทางออกด้านล่างของส่วนปลายทรงกระบอก



รูปภาพที่ 2.14 รูปแบบการไหลภายใน LARCODEMS [9]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Baoyu Cui และคณะ [6] ทำการศึกษาช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางวอร์เท็กซ์พายเดอร์ที่ให้ประสิทธิภาพการแยกที่ดีที่สุดและเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาคขาเข้าด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวอร์เท็กซ์พายเดอร์ขนาดต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม CFD (Computational Fluid Dynamic) และ สร้างแบบจำลองของไฮโดรไซโคลอนที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวอร์เท็กซ์พายเดอร์ต่างกันในช่วง 0.12D ถึง 0.60D (D = 50 มิลลิเมตร = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลอน) การทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกของการทดลองจะเป็นการศึกษาแบบการไหลภายใน พบว่า เมื่อเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวอร์เท็กซ์พายเดอร์จะส่งผลให้ความเร็วในแนวเส้นสัมผัสลดลง และจะสูงสุดที่ 0.24D ในการทดลองส่วนที่สอง ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคขาเข้าและร้อยละการกลับคืน (percent recovery) ซึ่งจะได้จุดวิกฤติที่ขนาด 0.36D นั่นก็คือ ที่ขนาดสูงกว่า 0.36D จะทำให้ร้อยละการกลับคืนของอันเดอร์ฟลัวร์ลดลงอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกัน ในช่วงขนาดต่ำกว่าจุดวิกฤติจะสามารถแยกของแข็งได้มากขึ้นเมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของวอร์เท็กซ์พายเดอร์มีค่าสูงขึ้น จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปช่วงของเส้นผ่านศูนย์กลางของวอร์เท็กซ์พายเดอร์ที่เหมาะสมต่อการแยก คือ 0.24D ถึง 0.36D และพบว่า ในช่วงนี้ขนาดของอนุภาคขาเข้าจะไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการคัดแยก

Shuangcheng Fu และคณะ [7] ศึกษาเชิงทดลองร่วมกับการจำลองค่าที่เหมาะสมโดยโปรแกรม CFD เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการแยกขยะพลาสติก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการรีไซเคิลโดยใช้เทคโนโลยีการแยกแบบตัวกลางเบาด้วยไฮโดรไซโคลอน จากผลการทดลองพบว่าไฮโดรไซโคลอนมีอัตราการไหลเข้าของสารด้านล่างสูงขึ้น สอดคล้องกับค่าความดันลด (pressure drop) ซึ่งเพิ่มขึ้นตามฟังก์ชันยกกำลัง ในส่วนค่าประสิทธิภาพของนิวตันมีค่าสูงสุด ณ อัตราการไหลขาเข้าเท่ากับ 3.6 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงและมีค่าสูงสุด ณ อัตราส่วนต่อปริมาตร (volume ratio) ของโพลีโพรพิลีน กับ โพลีเอทิลีนเท่ากับ 2.0 ตามลำดับ

Tianlong Han และคณะ [8] ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการบรรจุกระบอกไว้ภายในไฮโดรไซโคลอน ทำให้ไฮโดรไซโคลอนมีขนาดกะทัดรัด และประหยัดพลังงาน จากผลการวิจัยพบว่าการเพิ่มทรงกระบอกด้านในเข้ากับท่อไหลเข้าของสารด้านล่างสามารถลดค่าการใช้พลังงานของไฮโดรไซโคลอนหรือค่าออยเลอร์ (E_u) ได้อย่างมาก แต่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกน้อย ในส่วนของข้อจำกัดการตั้งทรงกระบอกกับท่อไหลของสารด้านล่างนั้นคือไม่ สามารถทำได้ทุกอัตราการไหลของสารเพราะอัตราการไหลของสารบางค่ามีผลต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอน ดังนั้นในการตั้งทรงกระบอกด้านในโดยใช้ลวดบางไขว้กระบอกจำนวนสองเส้นจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า นอกจากนี้เมื่อลดความยาวของทรงกระบอกประมาณ 1/3 จากขนาดเดิม ประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลอนที่มีกระบอกภายในลดลงเพียงร้อยละ 1.1 ถึง 2.0 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแบบเดิม ณ ภายใต้อัตราการไหลเข้าของสารที่สูงซึ่งแปรผกผันกับอัตราการไหลเข้าของสารที่ต่ำ ประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลอนที่มี ทรงกระบอกสั้นลงนี้ลดลงถึงร้อยละ 5.8 รวมถึงการไหลเข้าของสารด้านบนและด้านล่างมีค่าออยเลอร์ลดลงอย่าง มีนัยสำคัญ อีกทั้งใน

การเพิ่มประสิทธิภาพการแยกภายใต้อัตราการไหลเข้าของสารต่ำสามารถทำได้โดยการเพิ่ม กรวยขนาดเล็กด้านในตรงด้านล่างของส่วนรูปกรวยของไฮโดรไซโคลอน แนวคิดใหม่ที่น่าเสนอในงานนี้สามารถใช้ในการออกแบบไฮโดรไซโคลอนสำหรับอุตสาหกรรมให้มีขนาดกะทัดรัดสำหรับการแยกอนุภาคละเอียดภายใต้แรงดันขาเข้าที่ต่ำได้

Fernanda F. Salvador และคณะ [9] ศึกษาผลของการใช้กระบอกและกรวยที่มีรูปทรงแท่งในไฮโดรไซโคลอน และประเมินผลกระทบของมิติทางเรขาคณิตของเครื่องแยกที่มีต่อประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอน โดยมีอัลกอริทึมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของไฮโดรไซโคลอนซึ่งแสดงให้เห็นผ่านประสิทธิภาพค่าออยเลอร์ ทั้งค่าสูงสุด และ ค่าต่ำสุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไฮโดรไซโคลอนที่มีรูปทรงเรขาคณิตที่เหมาะสม จะแสดงประสิทธิภาพโดยรวมสูงขึ้นร้อยละ 89.59 และมีค่าออยเลอร์ที่ต่ำกว่า 582 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าไฮโดรไซโคลอนในรูปแบบการทดลองอื่น ๆ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ได้ผลสรุปทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการต่าง ๆ กับประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอนได้ ดังนี้

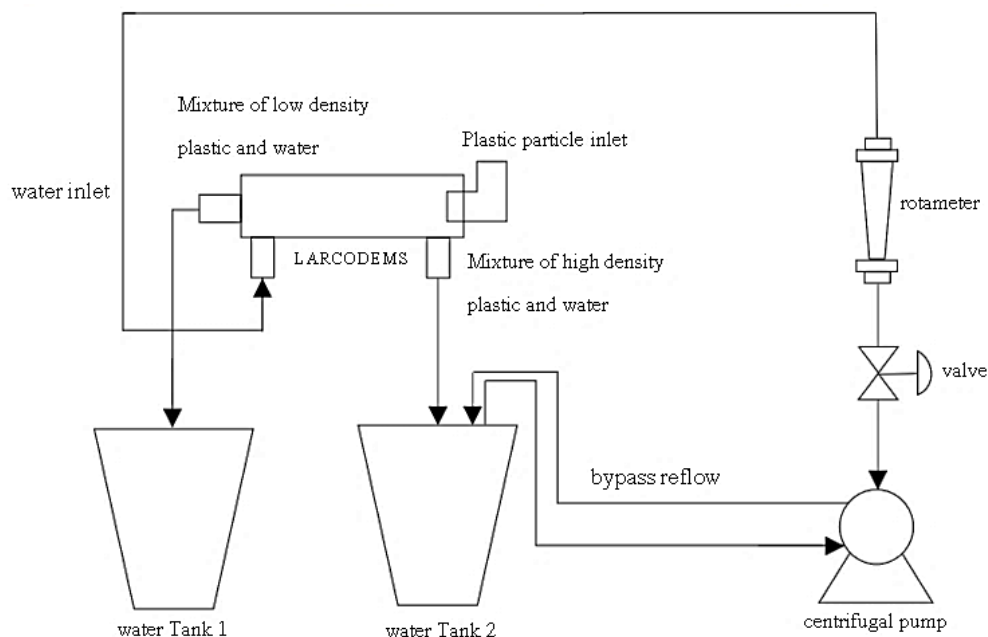
ตารางที่ 2.2 ทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรดำเนินการต่าง ๆ กับ ประสิทธิภาพของไฮโดรไซโคลอน

แปรผันตรงกับประสิทธิภาพ	แปรผกผันกับประสิทธิภาพ
1. ความดันขาเข้า	1. เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลอน
2. ขนาดของอนุภาค	2. ความหนืดของของผสม
3. ความหนาแน่นของอนุภาค	3. พื้นที่ทางเข้าของของผสม
4. ความเร็วขาเข้า	
5. ความยาวของตัวไซโคลอน	

บทที่ 3: วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยเครื่องแยกตัวกลางหนัก

3.1.1 แผนภาพแสดงระบบโดยรวม



รูปภาพที่ 3.1 ผังระบบการคัดแยกไมโครพลาสติกด้วย LARCODEMS

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. แบบจำลอง LARCODEMS

- ทรงบอก LARCODEMS
ความยาว 435 มิลลิเมตร และ รัศมี 60 มิลลิเมตร
- ทางเข้าของน้ำและทางออกของน้ำกับพลาสติกความหนาแน่นต่ำ
ความกว้าง 26.5 มิลลิเมตร และ ความยาว 26.5 มิลลิเมตร
- ทางออกของน้ำกับอนุภาคพลาสติกความหนาแน่นสูง
ความยาว 55 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร
- ทางเข้าของอนุภาคพลาสติก
ความยาว 70 มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร

2. โรตاميเตอร์ (Rotameter)
3. เม็ดพลาสติก HDPE และ PP
4. ท่อ PVC และข้อต่อต่าง ๆ ขนาด 1 และ 2 นิ้ว
5. นี้อต และ ข้อต่อ
6. อะลูมิเนียมโปรไฟล์
7. ป้อน้ำ
8. สายยาง
9. แผ่นยาง
10. ถังน้ำขนาดใหญ่
11. แผงวงจรไฟฟ้าควบคุมระบบ

3.1.3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1.3.1 การสร้างโครงสร้างอะลูมิเนียมโปรไฟล์สำหรับติดตั้ง LARCODEMS

- กำหนดขนาดอะลูมิเนียมโปรไฟล์ และ ท่อ PVC
- ทำการออกแบบโครงสร้างจากอะลูมิเนียมโปรไฟล์
- ปรีกษาช่าง และ ตัดอะลูมิเนียมโปรไฟล์ให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบ
- ประกอบอะลูมิเนียมโปรไฟล์เป็นโครงสร้างสำหรับยึด LARCODEMS

3.1.3.2 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ทำการตัดท่อให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้
- ประกอบท่อให้เชื่อมต่อกับ LARCODEMS ป้อน้ำ และ โรตاميเตอร์
- นำเอาไปติดตั้งบนโครงสร้างอะลูมิเนียมโปรไฟล์ที่สร้างไว้แล้ว

- ต่อสายยางเข้ากับทางออกไปยังถังน้ำเพื่อเก็บเม็ดพลาสติก
- ติดตั้งแผงวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของระบบ
- เช็ครอยรั่วระหว่างรอยต่อของท่อโดยการทดสอบด้วยน้ำเปล่า
- หากมีรอยรั่วต้องซ่อมแซมให้เรียบร้อยก่อนเริ่มการใช้งานจริง

3.1.3.3 การออกแบบตัวแปร

ในการออกแบบตัวแปรเพื่อหาคำนวนหาประสิทธิภาพการคัดแยกเม็ดพลาสติก จะต้องชั่งน้ำหนักพลาสติกที่คัดแยกได้ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.1 โดยตัวแปรขาเข้าที่เลือกใช้มีทั้งหมด 3 ตัวแปร มีการรันผลทั้งหมด 27 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะรันผลซ้ำ 3 เพื่อหาค่าเฉลี่ยในภายหลัง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยในภายหลัง

- อัตราส่วนปริมาณเม็ดพลาสติก PP ต่อ HDPE (0:1 1:1 และ 1:0)
- มุมเอียงของ LARCODEMS (15 30 และ 45 องศา)
- ปริมาณเม็ดพลาสติกที่ป้อนเข้า (20 30 และ 40 กรัม)

ตารางที่ 3.1 การออกแบบตัวแปรในกระบวนการคัดแยกอนุภาคพลาสติกโดยใช้ LARCODEMS

Run	PP:HDPE ratio	Angle (degrees)	Solid loading (grams)
1	1:0	15	20
2	1:0	15	30
3	1:0	15	40
4	1:0	30	20
5	1:0	30	30
6	1:0	30	40
7	1:0	45	20
8	1:0	45	30
9	1:0	45	40
10	1:1	15	20
11	1:1	15	30
12	1:1	15	40
13	1:1	30	20
14	1:1	30	30
15	1:1	30	40
16	1:1	45	20

17	1:1	45	30
18	1:1	45	40
19	0:1	15	20
20	0:1	15	30
21	0:1	15	40
22	0:1	30	20
23	0:1	30	30
24	0:1	30	40
25	0:1	45	20
26	0:1	45	30
27	0:1	45	40

3.1.3.4 กระบวนการทดลอง

- เปิดสวิตช์แผงวงจรไฟฟ้าควบคุมระบบ และ ป้อนน้ำ
- เริ่มทำการทดลองครั้งแรก
- เปิดวาล์วที่ติดกับปั๊มเพื่อให้ น้ำไหลเข้ามาในระบบ และ ทำการปรับวาล์วให้ได้อัตราการไหลตามที่กำหนดไว้ โดยอัตราการไหลมีค่าเป็น 60 ลิตรต่อนาทีคงที่ทุกการทดลอง
- เมื่อกระแส น้ำไหลเข้าไปใน LARCODEMS อย่างสมบูรณ์แล้ว ให้ใส่เม็ดพลาสติก 2 ชนิดเข้าไปที่ปากทางเข้าอีกฝั่งตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้
- เมื่อระบบทำการทดลองเสร็จสิ้นแล้ว ให้เก็บเม็ดพลาสติกที่แยกได้จากทางออกของอนุภาคความหนาแน่นสูง และ ทางออกอนุภาคความหนาแน่นต่ำไปชั่งน้ำหนัก
- บันทึกน้ำหนักพลาสติกที่คัดแยกได้จากทางออกอนุภาคความหนาแน่นต่ำ เพื่อนำไปคำนวณประสิทธิภาพในการคัดแยกต่อไป
- ทำการทดลองครั้งถัดไปโดยเริ่มตั้งแต่ข้อ 3.3-3.6

3.1.3.5 ประสิทธิภาพการคัดแยก

$$\text{ร้อยละการคัดแยก} = \frac{\text{น้ำหนักพลาสติกที่แยกได้}}{\text{น้ำหนักพลาสติกป้อนเข้า}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.2 การศึกษาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลอน

การทดสอบไซโคลอนจะมีทั้งหมด 8 การทดลองตามตัวแปรที่กำหนด ซึ่งในแต่ละครั้งจะวิเคราะห์ผลค่าความดัน และ ค่าความเร็วทั้ง 3 ค่า (ความเร็วตามแนวแกน, ความเร็วตามแนวรัศมี และ ความเร็วตามแนวสัมผัส) ที่ 3 ระดับความสูงของไซโคลอน โดยมีทั้งหมด 3 ตัวแปรที่ใช้ คือ

- อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของทางเข้าพิด (1:2 และ 2:1)
- ขนาดของมุมเอียงของทางเข้าพิด (22.5 และ 45.0 องศา)
- มุมเงยและมุมกุดจากระนาบแนวนอน (ค่ามุมเป็น + และ -)

ตารางที่ 3.2 การออกแบบตัวแปรในการศึกษารูปแบบการไหลภายในไฮโดรไซโคลอน

Run	Orientation	Ratio	Angle
1	+	1:2	22.5
2	+	1:2	45.0
3	+	2:1	22.5
4	+	2:1	45.0
5	-	1:2	22.5
6	-	1:2	45.0
7	-	2:1	22.5
8	-	2:1	45.0

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- โปรแกรม ANSYS 2020 R2
- โปรแกรมการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองทางสถิติ

3.2.2 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาค่าความดัน และ ค่าความเร็วต่าง ๆ ภายในไฮโดรไซโคลอนจากโปรแกรม ANSYS 2020 R2

- สร้างแบบจำลองไฮโดรไซโคลอนโดยมีขนาดดังนี้

- ขนาดความสูง 51 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร
- ความสูงส่วนทรงกระบอก 2 มิลลิเมตร
- ความสูงของวอร์เท็กซ์ฟายเดอร์ 6 มิลลิเมตร
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวอร์เท็กซ์ฟายเดอร์ 2 มิลลิเมตร
- ตั้งค่าตัวแปรตามที่ได้ออกแบบไว้
- ดึงผลค่าความดันภายในไฮโดรไซโคลนในรูปแบบคอนทัวร์
- ดึงผลค่าความเร็ว ที่ความสูงทั้ง 3 ตำแหน่งของไฮโดรไซโคลน ดังนี้
 - ค่าความเร็วตามแนวแกน
 - ค่าความเร็วตามรัศมี
 - ค่าความเร็วตามแนวสัมผัส
- หาค่าเฉลี่ยความเร็วที่ความสูงทั้ง 3 ของความเร็วแต่ละประเภท

การวิเคราะห์ผลของตัวแปร โดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติ

- เลือกจำนวนตัวแปร และ ตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ
- นำผลของค่าความเร็วภายในไฮโดรไซโคลนแต่ละประเภทที่ได้จากโปรแกรม ANSYS 2020 R2 มาใส่ลงในโปรแกรม
- ทำการวิเคราะห์ผลเพื่อทราบถึงชนิดของตัวแปรป้อนเข้าที่ส่งผลต่อค่าความเร็วแต่ละประเภท
- สรุปผลตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเร็วต่าง ๆ ภายในไฮโดรไซโคลน

บทที่ 4: ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพการคัดแยกด้วยเครื่องแยกตัวกลางหนัก

4.1.1 ประสิทธิภาพการคัดแยก

ผลจากประสิทธิภาพการคัดแยกจากการทดลองที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลองจากสมการที่ 3.1 สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.1 โดยผลประสิทธิภาพการคัดแยกที่ได้นี้ จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์ผลเชิงสถิติต่อไป เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรขาเข้าที่มีต่อค่าประสิทธิภาพการคัดแยก โดยร้อยละประสิทธิภาพการคัดแยกจะมีค่าสูงสุดที่ 99.89 ในการทดลองที่ 8 และ จะมีค่าต่ำสุดที่ 94.51 ในการทดลองที่ 10

ตารางที่ 4.1 ร้อยละของประสิทธิภาพการคัดแยกจากการทดลองในแต่ละการทดลอง

Run	PP:HDPE ratio	Angle (degrees)	Solid loading (grams)	Separation efficiency (%)
1	1:0	15	20	99.14
2	1:0	15	30	97.54
3	1:0	15	40	95.46
4	1:0	30	20	99.61
5	1:0	30	30	99.66
6	1:0	30	40	99.76
7	1:0	45	20	99.52
8	1:0	45	30	99.89
9	1:0	45	40	99.54
10	1:1	15	20	94.51
11	1:1	15	30	99.14
12	1:1	15	40	98.51
13	1:1	30	20	99.46
14	1:1	30	30	99.65
15	1:1	30	40	99.68
16	1:1	45	20	99.54
17	1:1	45	30	99.54
18	1:1	45	40	99.31
19	0:1	15	20	97.97
20	0:1	15	30	95.39
21	0:1	15	40	95.18
22	0:1	30	20	99.01
23	0:1	30	30	99.78
24	0:1	30	40	99.74
25	0:1	45	20	98.85
26	0:1	45	30	96.08
27	0:1	45	40	97.88

4.1.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity) ของตัวแปร

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการคัดแยก และ ส่วนเบี่ยงเบนจากจุดอ้างอิงที่สามารถใช้เพื่อค้นหาตัวแปรขาเข้าที่มีผลต่อการตอบสนอง หรือ ประสิทธิภาพการคัดแยกมากที่สุด โดยตัวแปรขาเข้าที่มีความอ่อนไหวมากจะเป็นตัวที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการคัดแยก ซึ่งค่าความอ่อนไหวจะสามารถสังเกตได้จากเส้นกราฟ ถ้าหากมีความชันหรือความโค้งมากก็จะความอ่อนไหวมาก แต่ถ้าหากเส้นกราฟนั้นมีความชันน้อยก็จะสรุปได้ว่าไม่มี หรือ มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนั้น ๆ ที่น้อยกว่าเส้นกราฟของตัวแปรขาเข้าที่มีความชันมากกว่า ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ผลจะนำในส่วนของตัวเลขทางสถิติมาวิเคราะห์ร่วมด้วย

ในการวิเคราะห์ทางสถิติจะใช้แบบจำลองกำลังสอง (Quadratic model) เนื่องจากค่าประสิทธิภาพการคัดแยก หรือ ตัวแปรขาออก ไม่ได้มีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นตรงกับตัวแปรขาเข้า ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของตัวแปรขาเข้าที่มีต่อประสิทธิภาพการคัดแยกจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองกำลังสองมีต่อประสิทธิภาพการคัดแยก

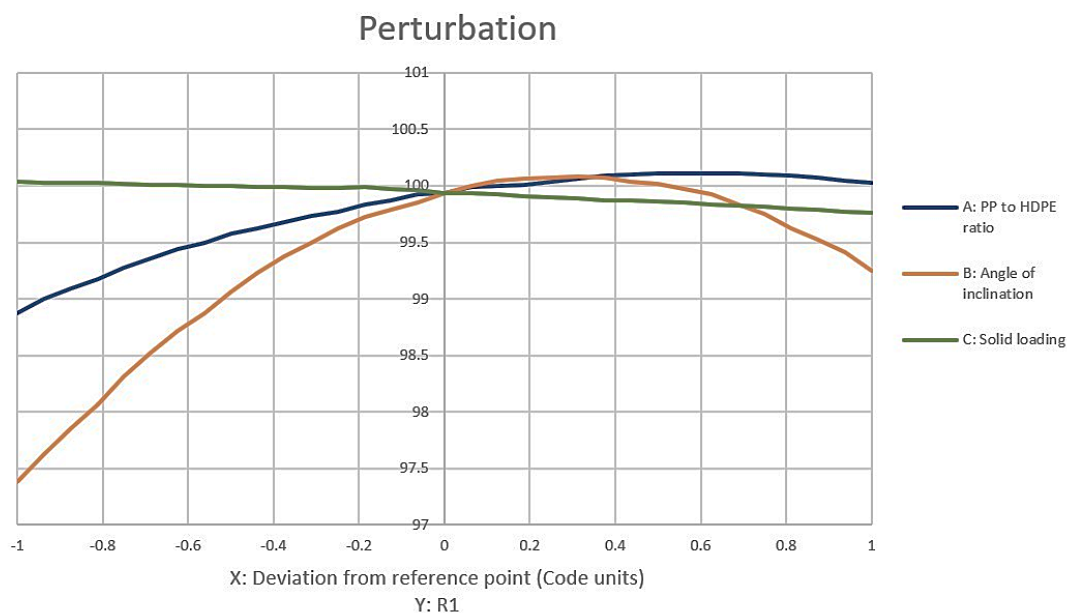
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
A-A	5.82	1	5.82	3.19	0.0922
B-B	16.67	1	16.67	9.12	0.0077
C-C	0.3630	1	0.3630	0.1986	0.6615
AB	0.5386	1	0.5386	0.2947	0.5943
AC	0.0190	1	0.0190	0.0104	0.9201
BC	0.1373	1	0.1373	0.0751	0.7873
A ²	1.39	1	1.39	0.7588	0.3959
B ²	16.36	1	16.36	8.95	0.0082
C ²	0.0083	1	0.0083	0.0046	0.9469
Residual	31.07	17	1.83		
Cor Total	72.37	26			

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่าง ๆ

	Intercept	A	B	C	AB	AC	BC	A ²	B ²	C ²
R1	99.9402	0.5687	0.962425	-0.142008	0.211857	-0.0397556	0.106965	-0.480761	-1.65108	-0.0372901
p-values		0.0922	0.0077	0.6615	0.5943	0.9201	0.7873	0.3959	0.0082	0.9469

เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็น (P-value) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงค่าโอกาสที่จะพบความแตกต่างจากสมมติฐาน เมื่อค่าความน่าจะเป็นมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ (Alpha level) โดยค่าที่กำหนดไว้มีค่าเป็น 0.05 จะยอมรับได้ว่าสมมติฐานทางเลือกเป็นจริง จากตารางที่ 4.3 พบว่ามีเพียงตัวแปร B และ B² เท่านั้นที่มีค่าความน่าจะเป็นน้อยกว่า 0.05 ดังนั้น ทั้ง 2 ตัวแปรนี้มีค่านัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถช่วยยืนยันร่วมกับการวิเคราะห์ความอ่อนไหวได้ว่าตัวแปร B หรือ มุมเอียงของ LARCODEMS นั้นเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพการคัดแยกโดยตรง

จากรูปภาพที่ 4.1 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการคัดแยกและส่วนเปียกเบนจากจุดอ้างอิง โดยทั้ง 3 ตัวแปรจะแสดงระดับตัวแปรเป็นสัญลักษณ์ตัวเลข มีค่าเป็น -1, 0 และ 1 สำหรับเส้นกราฟสี่เหลี่ยม คือ ตัวแปร B หรือ มุมเอียงของ LARCODEMS โดยระดับตัวแปร คือ ขนาดมุมเอียงที่ 15, 30 และ 45 ตามลำดับ โดยตัวแปรนี้จะมีความอ่อนไหวมากที่สุดเนื่องจากกราฟมีความชันมากกว่าตัวแปรอีก 2 ตัว ดังนั้นมุมเอียงจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการแยก และ สอดคล้องกับผลจากตารางที่ 4.3 ดังนั้น ตัวแปรนี้จะได้รับการพิจารณาโดยตรงในการวิเคราะห์ผลในลำดับถัดมา จากเส้นกราฟสีน้ำเงินจะแสดงตัวแปร A คือ อัตราส่วนพอลิโพรพิลีนต่อพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยระดับตัวแปรจะแสดงอัตราส่วนที่ 0:1, 1:1 และ 1:0 ตามลำดับ และ เส้นกราฟสีเขียวแสดงถึงตัวแปร C หรือ ปริมาณเม็ดพลาสติกที่ป้อนเข้า โดยระดับตัวแปรจะมีค่าเท่ากับ 20, 30 และ 40 ตามลำดับ

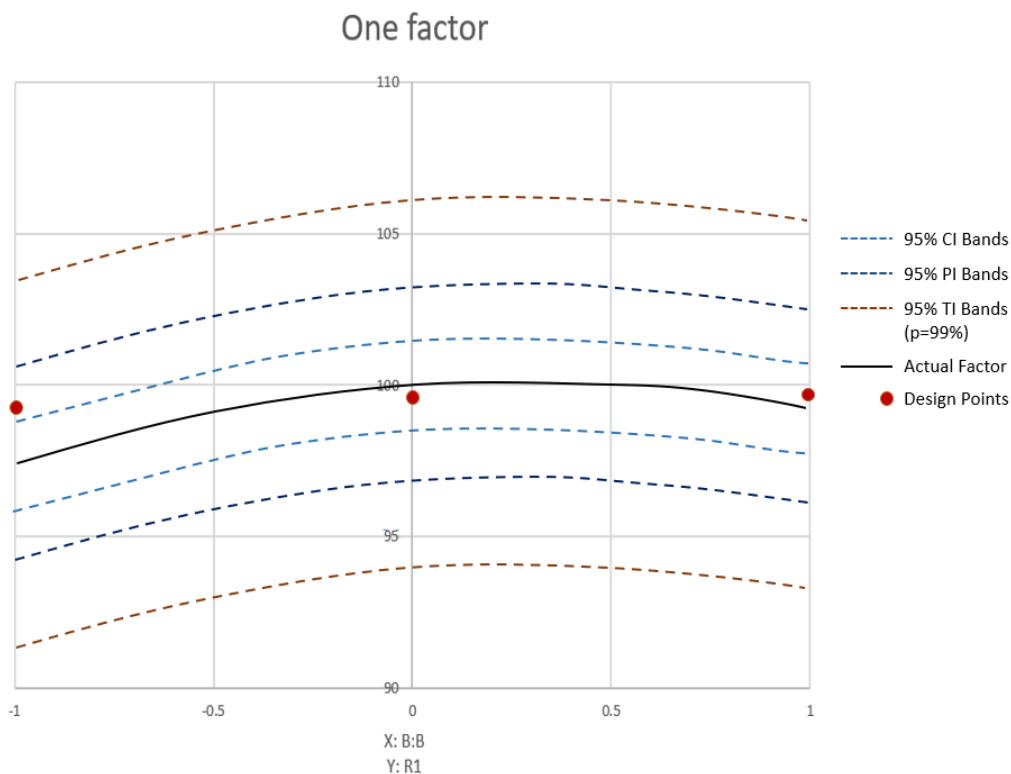


รูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการตัดแยกและส่วนเบี่ยงเบนจากจุดอ้างอิง

ตัวแปร B หรือ มุมเอียงของ LARCODEMS สามารถวิเคราะห์ผลโดยละเอียดจากสถิติอนุमान (ANOVA) ดังรูปภาพที่ 4.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการตัดแยกกับระดับตัวแปร โดยระดับตัวแปรจะแสดงสัญลักษณ์เป็นตัวเลข มีค่าเป็น -1, 0 และ 1 ซึ่งก็คือ ขนาดมุมเอียงที่ 15, 30 และ 45 ตามลำดับ โดยจะสามารถสรุปผลได้จากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการตัดแยกและค่ามุมเอียง เมื่อสังเกตเส้นกราฟสีดำพบว่า ที่มุมเอียงมีค่าเท่ากับ 30 องศา [22] จะเป็นค่าที่ทำให้ประสิทธิภาพในการตัดแยกมีค่าสูงที่สุดจากทั้ง 3 ระดับตัวแปร โดยจากการทดลองที่มุมเอียง 30 องศา แรงโน้มถ่วงของโลกที่ส่งผลให้กระแสน้ำเกิดเกลียวกระแสน้ำขึ้นมากกว่าการทดลองที่มุมเอียง 15 องศา และยังสามารถทำให้อนุภาคเม็ดพลาสติกมีระยะเวลาในการไหลวนในตัวกลางมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่มุมเอียง 45 องศา

ในการประมาณค่าทางสถิติแบบช่วง หรือ สถิติอนุमान จะมีทั้งหมด 3 แบบ คือ ช่วงความเชื่อมั่น (confident interval: CI) ช่วงการพยากรณ์ (prediction interval: PI) และ ช่วงของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ (tolerance interval: TI) สำหรับช่วงความเชื่อมั่น จะแสดงช่วงของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการตัดแยกที่ขนาดมุมเอียงค่าต่าง ๆ ในช่วงการพยากรณ์ จะเป็นการทำนายค่าประสิทธิภาพการตัดแยกที่ขนาดมุมเอียงค่าต่าง ๆ และ ช่วงของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ คือ ช่วงที่ครอบคลุมค่าสัดส่วนที่กำหนด

ของประชากร (P) ซึ่งแสดงการคาดการณ์ช่วงของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ตามข้อมูลตัวอย่าง โดยระดับความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$ จะมีค่าที่ร้อยละ 95 และมีค่าสัดส่วนที่กำหนดของประชากรที่ร้อยละ 99



รูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการตัดแยกและความมึนงงของ LARCODEMS

4.1.3 สมการในรูปโค้ดแฟคเตอร์ (Coded factors)

สมการในรูปของระดับตัวแปรในตารางที่ 4.4 สามารถใช้ในการคาดการณ์ประสิทธิภาพการตัดแยกสำหรับระดับของแต่ละตัวแปรที่มีค่าตั้งแต่ -1, 0 และ 1 และ R1 คือ ค่าประสิทธิภาพการตัดแยก โดยจะแสดงสัมประสิทธิ์ของแต่ละระดับตัวแปรได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมการในรูปโค้ดแฟคเตอร์

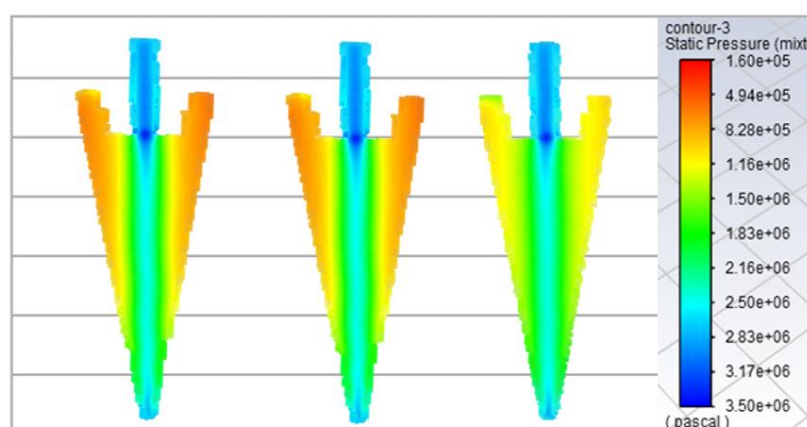
R1	+99.94	+0.5687	+0.9624	-0.1420	+0.2119	-0.0398	+0.1070	-0.4808	-1.65	-0.0373
=		A	B	C	AB	AC	BC	A ²	B ²	C ²

4.2 การศึกษาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลน

4.2.1 การศึกษารูปแบบการไหลภายในไฮโดรไซโคลนด้วยโปรแกรม ANSYS 2020 R2

ในการศึกษารูปแบบการไหลภายในไฮโดรไซโคลนนี้ จะทำการศึกษาใน 2 รูปแบบ คือ การศึกษาความดันในรูปแบบคอนทัวร์ และ การศึกษาความเร็วชนิดต่าง ๆ (ความเร็วตามแนวแกน ความเร็วแนวรัศมี และ ความเร็วแนวสัมผัส) ในรูปแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในไฮโดรไซโคลน โดยรูปแบบการไหลของแต่ละกรณีการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (ศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก) จึงขอแสดงตัวอย่างบางส่วนที่เกิดขึ้น โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

จากรูปภาพที่ 4.3 แสดงการกระจายความดันในรูปแบบคอนทัวร์ในหน่วยพาสคัลของตัวแปรขาเข้า คือ ขนาดของมุมเอียงต่าง ๆ ของทางเข้าพิดโดยให้ตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ โดยรูป (ก) แสดงค่ามุมที่ 0.0 องศา รูป (ข) แสดงค่ามุมที่ 22.5 องศา และ รูป (ค) แสดงค่ามุมที่ 45.0 องศา พบว่า ความดันสมบูรณ์มีค่าสูงสุดบริเวณที่มีความเร็วแนวสัมผัส โดยสามารถเปรียบเทียบจากแถบสีด้านขวาของคอนทัวร์ เนื่องจาก บริเวณนี้มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมากที่สุด ซึ่งแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะแปรผันตรงกับความดัน เมื่อแรงเหวี่ยงดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความดันเพิ่มขึ้นด้วย

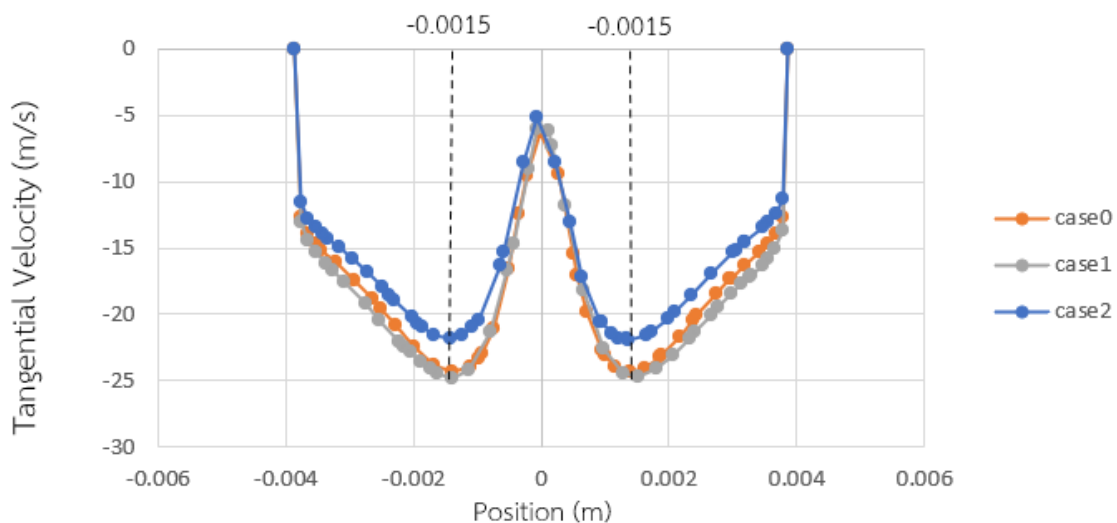


(ก) 0.0 องศา (ข) 22.5 องศา (ค) 45.0 องศา

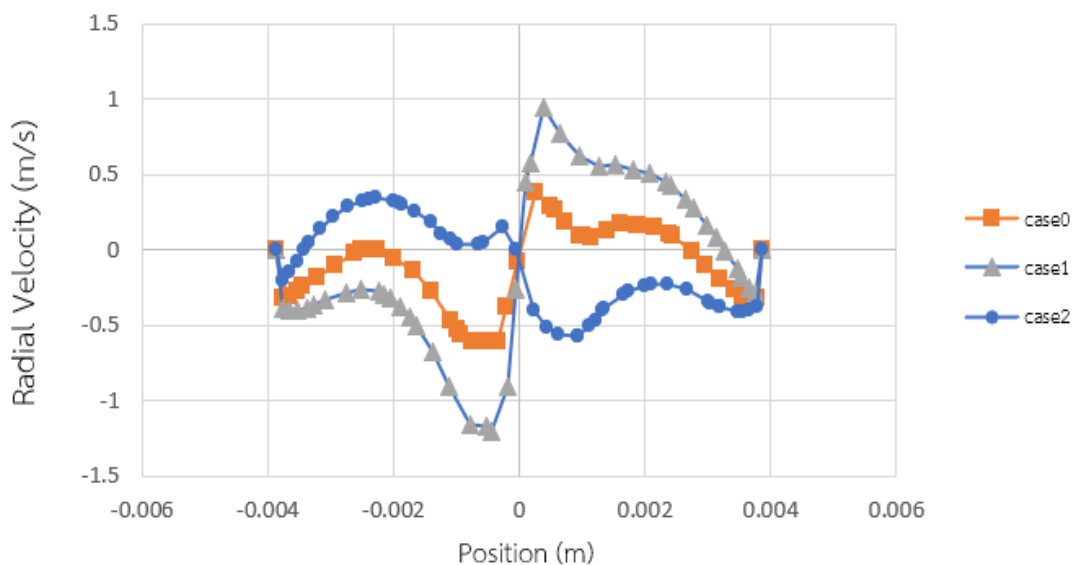
รูปภาพที่ 4.3 การกระจายความดันในรูปแบบคอนทัวร์ที่ขนาดของมุมเอียงค่าต่าง ๆ

จากรูปภาพที่ 4.4 - 4.6 จะแสดงการกระจายความเร็วจากกราฟความเร็วในแนวเส้นสัมผัส ความเร็วแนวรัศมี และ ความเร็วแนวแกน ในหน่วยเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในรูปแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในไฮโดรไซโคลนในหน่วยเป็นเมตร โดยมีค่ามุมที่ 0.0 องศา

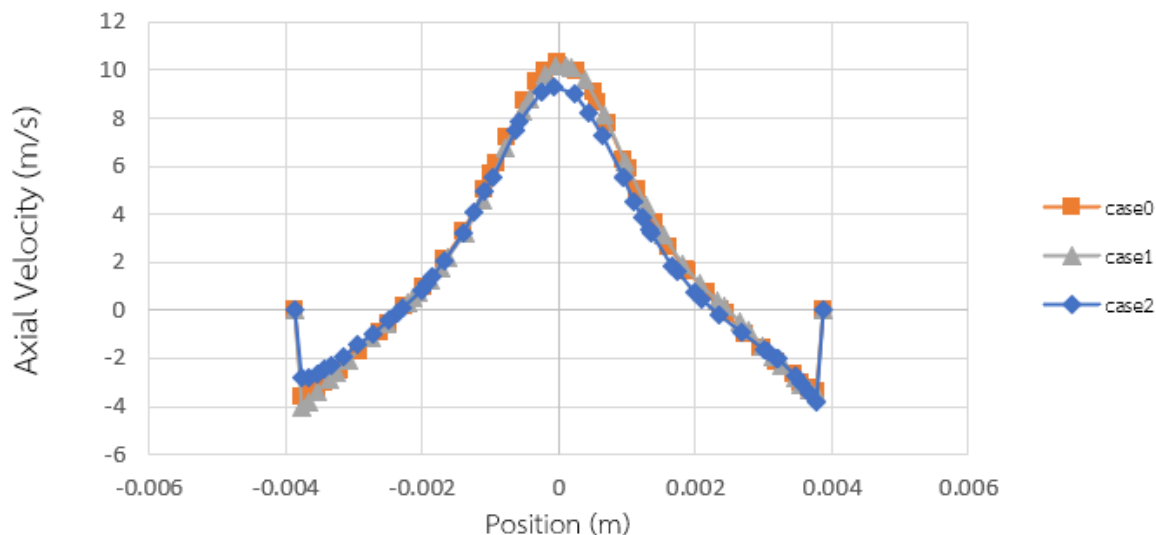
(กราฟเส้นสีส้ม) 22.5 องศา (กราฟเส้นสีเทา) และ 45.0 องศา (กราฟเส้นสีฟ้า) เช่นเดียวกันกับการศึกษาความดัน โดยจะมีการตั้งเงื่อนไขว่าค่าความเร็ว ณ บริเวณผนังของไซโคลนด้านในจะมีค่าเท่ากับศูนย์ (no-slip condition)



รูปภาพที่ 4.4 การกระจายความเร็วแนวสัมผัสที่ขนาดของมุมเอียงค่าต่าง ๆ



รูปภาพที่ 4.5 การกระจายความเร็วแนวรัศมีที่ขนาดของมุมเอียงค่าต่าง ๆ



รูปภาพที่ 4.6 การกระจายความเร็วแนวแกนที่ขนาดของมุมเอียงค่าต่าง ๆ

จากรูปภาพที่ 4.4 แสดงการกระจายความเร็วแนวสัมผัสที่ขนาดของมุมเอียงค่าต่าง ๆ จะพบว่าการไหลที่เกิดขึ้นในไซโคลนมีความใกล้เคียงความสมมาตรกันที่ตำแหน่งค่าลบและค่าบวกเท่ากัน หรือมีความใกล้เคียงความสมมาตรกันที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนเท่ากัน ในส่วนของค่าความเร็วในแนวเส้นสัมผัสสูงสุดโดยประมาณ คือ ที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลน 0.0015 เมตร โดยเกิดใกล้กับบริเวณของจุดศูนย์กลาง ในรูปภาพที่ 4.5 แสดงการกระจายความเร็วแนวรัศมีที่ขนาดของมุมเอียงค่าต่าง ๆ โดยพบว่าที่ตำแหน่งรัศมีเท่ากันจะมีแนวโน้มที่ค่าความเร็วจะเท่ากัน โดยค่าความเร็วจะมีทั้งค่าที่เป็นลบ และ บวก เนื่องจากการไหลวนตามแนวรัศมีในทิศสวนทางกัน ซึ่งที่ค่ามุมทั้ง 3 ค่าจะมีความเร็วแนวรัศมีที่ต่างกันอย่างชัดเจนต่างจากความเร็วแนวสัมผัส และ ความเร็วแนวแกน และจากรูปภาพที่ 4.6 แสดงการกระจายความเร็วแนวแกนที่ขนาดของมุมเอียงค่าต่าง ๆ พบว่าตรงตำแหน่งจุดศูนย์กลางของไฮโดรไซโคลนจะมีค่าความเร็วแนวแกนสูงที่สุด แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเข้าใกล้ตำแหน่งขอบด้านในของไฮโดรไซโคลน โดยค่าความเร็วแนวแกนที่เป็นค่าบวกจะแสดงถึงทิศขึ้น ซึ่งบริเวณนั้นจะเป็นบริเวณของการไหลวนรอบใน หรือ โอเวอร์โฟลว์ และค่าความเร็วแนวแกนที่เป็นค่าลบจะแสดงถึงทิศลง ซึ่งบริเวณนั้นจะเป็นบริเวณของการไหลวนรอบนอก หรือ อันเดอร์โฟลว์

4.2.2 การวิเคราะห์ผลตัวแปรป้อนเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรขาออก

จากผลวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS 2020 R2 ทำให้ทราบค่าของความดัน และ ความเร็วที่จุดต่างๆ ภายในไฮโดรไซโคลน ทั้งนี้ เพื่อระบุตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อประสิทธิภาพในการคัดแยกจึงนำผลที่ได้นี้ไปวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ และ จากโปรแกรมได้มีการใช้สัญลักษณ์ต่าง ๆ แทนตัวแปรแต่ละชนิดเพื่อการวิเคราะห์ในโปรแกรม โดยมีรายละเอียดตัวแปรป้อนเข้า และ ตัวแปรขาออก ดังต่อไปนี้

ตัวแปรขาออก

- R1 แทน ความเร็วในแนวแกน
- R2 แทน ความเร็วในรัศมี
- R3 แทน ความเร็วในแนวเส้นสัมผัส

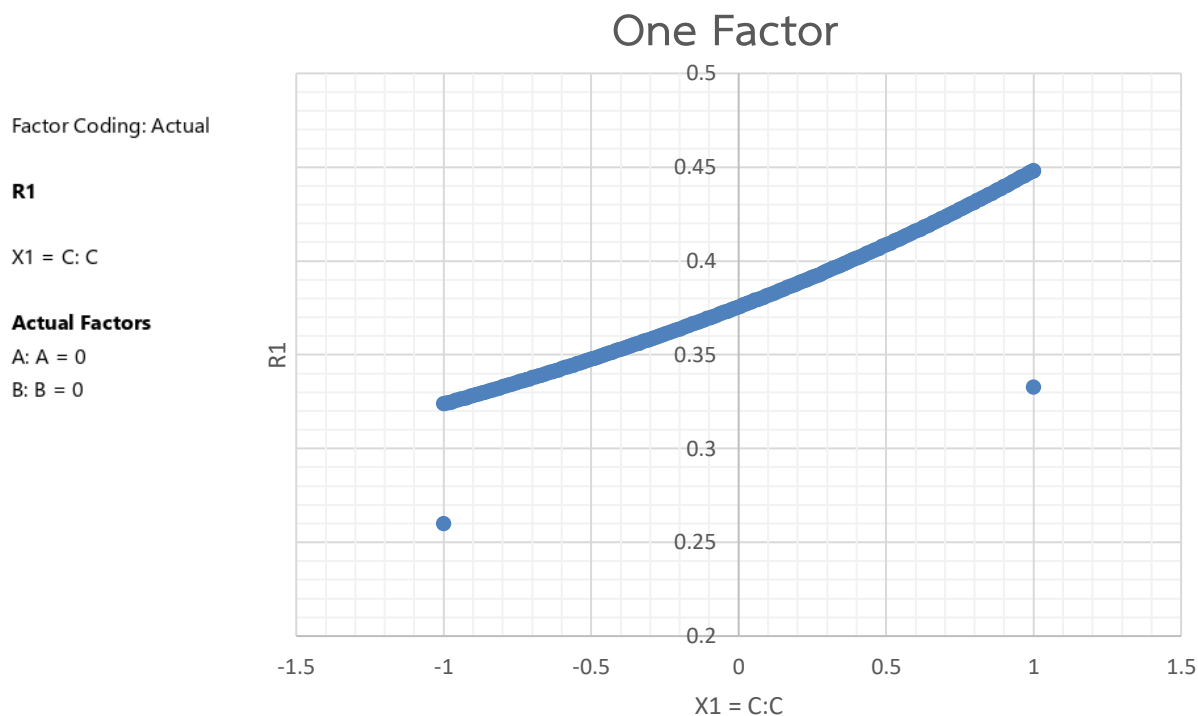
ตัวแปรป้อนเข้า

- A แทน มุมเงยและมุมกุดจากระนาบแนวนอน
- B แทน อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของทางเข้าสารป้อน
- C แทน ขนาดของมุมเอียงของทางเข้าสารป้อน

ในการวิเคราะห์ผลตัวแปรป้อนเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรขาออกจะแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.5-4.7 โดยตัวแปรป้อนเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรขาออกในแต่ละชนิดนั้น จะสามารถวิเคราะห์ได้จากค่าความน่าจะเป็น (p-value) จะต้องมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งตารางที่ 4.5-4.7 นี้ จะแสดงตัวแปรป้อนเข้าตัวที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรขาออกชนิดต่าง ๆ โดยจะสรุปผลได้ว่า ขนาดของมุมเอียงของทางเข้าสารป้อนจะมีอิทธิพลต่อความเร็วในแนวแกน มุมเงยและมุมกุดจากระนาบแนวนอนจะมีอิทธิพลต่อความเร็วในรัศมีและความเร็วในแนวเส้นสัมผัส

ตารางที่ 4.5 ผลจากตัวแปรป้อนเข้าที่ส่งผลต่อความเร็วในแนวแกน

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
A-A	1.32	1	1.32	2.36	0.1990
C-C	4.50	1	4.50	8.07	0.0468
AC	2.71	1	2.71	4.87	0.0920
Residual	2.23	4	0.5567		
Cor Total	10.75	7			



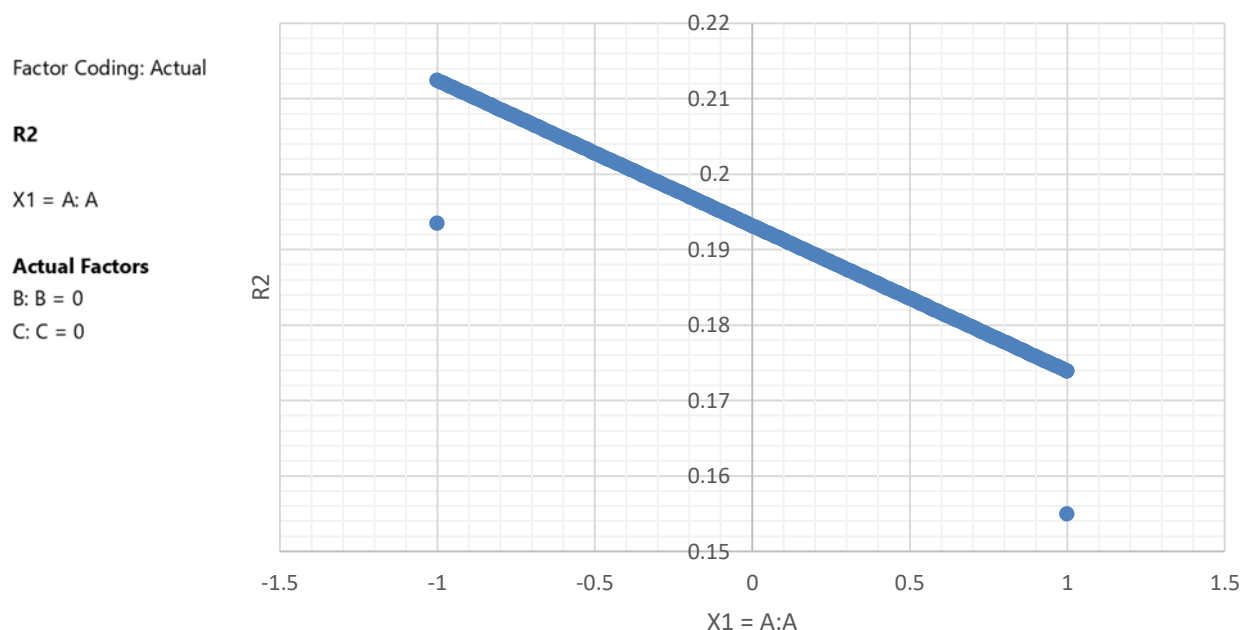
รูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมเอียงของทางเข้าสารป้อนที่มีต่อความเร็วในแนวแกน

จากตารางที่ 4.5 และ รูปภาพที่ 4.7 แสดงอิทธิพลของขนาดของมุมเอียงของทางเข้าสารป้อนที่มีผลต่อความเร็วในแนวแกน พบว่า ขนาดของศาดังกล่าวที่ใช้ในการตัดแยก จะมีผลเชิงบวกกับความเร็วในแนวแกน โดยเมื่อค่าองศาเพิ่มขึ้น ความเร็วแนวแกนก็จะมีค่าสูงขึ้น และ จะส่งผลให้ความสามารถในการตัดแยกมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย เนื่องจากยิ่งค่าความเร็วในแนวแกนมาก ก็จะมีผลให้ประสิทธิภาพการตัดแยกสูงขึ้น

ตารางที่ 4.6 ผลจากตัวแปรป้อนเข้าที่ส่งผลต่อความเร็วในแนวรัศมี

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
A-A	0.0030	1	0.0030	7.93	0.0480
AC	0.0009	1	0.0009	2.37	0.1987
BC	0.0006	1	0.0006	1.56	0.2801
Residual	0.0015	4	0.0004		
Cor Total	0.0059	7			

One Factor



รูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเงยและมุมกุดจากระนาบแนวนอนที่มีต่อความเร็วในแนวรัศมี

จากตารางที่ 4.6 และ รูปภาพที่ 4.8 แสดงอิทธิพลของมุมเงยและมุมกุดจากระนาบแนวนอนที่มีผลต่อความเร็วในรัศมี พบว่า ค่ามุมกุดและมุมเงยในการตัดแยกจะมีผลเชิงลบกับความเร็วในแนวรัศมี ดังนั้นการใช้มุมกุดที่มากขึ้น จะส่งผลให้ความเร็วแนวรัศมีมีค่าสูงขึ้น และ จะส่งผลให้ความสามารถในการตัดแยกมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย เนื่องจากยิ่งค่าความเร็วในแนวรัศมีมีค่ามาก ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการตัดแยกสูงขึ้น

ตารางที่ 4.7 ผลจากตัวแปรป้อนเข้าที่ส่งผลต่อความเร็วในแนวสัมผัส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
A-A	8.63	1	8.63	19.48	0.0477
C-C	2.95	1	2.95	6.67	0.1229
AC	5.55	1	5.55	12.54	0.0713
BC	1.78	1	1.78	4.03	0.1826
ABC	2.43	1	2.43	5.50	0.1437
Residual	0.8854	2	0.4427		
Cor Total	22.23	7			

One Factor

Factor Coding: Actual

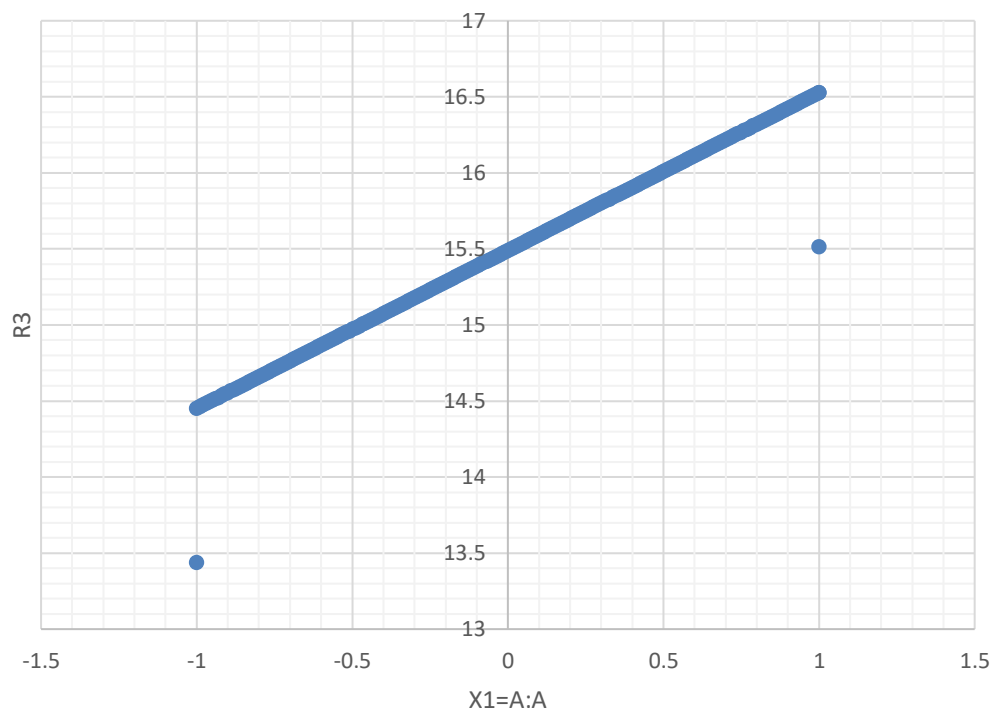
R3

X1 = A: A

Actual Factors

B: B = 0

C: C = 0



รูปภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเงยและมุมกดจากระนาบแนวนอนที่มีต่อความเร็วในแนวสัมผัส

จากตารางที่ 4.7 และ รูปภาพที่ 4.9 แสดงอิทธิพลของมุมเงยและมุมกดจากระนาบแนวนอนที่มีผลต่อความเร็วในแนวเส้นสัมผัส พบว่า เมื่อเพิ่มค่ามุมกดและมุมเงยในการตัดแยกจะมีผลเชิงบวกกับความเร็วในแนวเส้นสัมผัส จะส่งผลให้ความเร็วแนวรัศมีมีค่าสูงขึ้น และ จะส่งผลให้ความสามารถในการตัดแยกมีค่าสูงขึ้นอีกด้วย เนื่องจากยิ่งค่าความเร็วในแนวสัมผัสมีค่ามาก ก็จะมีผลให้ประสิทธิภาพการตัดแยกสูงขึ้น

บทที่ 5: สรุปผลการวิจัย

5.1 การศึกษาตัวแปรดำเนินการที่มีผลต่อประสิทธิภาพการตัดแยกด้วยเครื่องแยกตัวกลางหนัก

จากการนำผลประสิทธิภาพการตัดแยกที่คำนวณได้จากการทดลองด้วยแบบจำลอง LARCODEMS และการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ จะมีการกำหนดตัวแปรขาเข้าทั้ง 3 ชนิด ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการตัดแยก คือ อัตราส่วนปริมาณเม็ดพลาสติก PP ต่อ HDPE ที่อัตราส่วน 0:1 1:1 และ 1:0 มุมเอียงของ LARCODEMS ที่ 15 30 และ 45 องศา และ ปริมาณเม็ดพลาสติกที่ป้อนเข้าจำนวน 20 30 และ 40 กรัม และตัวแปรขาออก คือ ประสิทธิภาพการตัดแยก พบว่า มุมเอียงของ LARCODEMS จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการตัดแยกโดยตรง ซึ่งมุมเอียงที่ 30 องศาจะมีค่าประสิทธิภาพการตัดแยกที่สูงที่สุด

5.2 การศึกษาแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของไฮโดรไซโคลอน

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ANSYS 2020 R2 และ การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ โดยมีตัวแปรป้อนเข้า 3 ชนิด คือ อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของทางเข้าสารป้อนที่อัตราส่วน 1:2 และ 2:1 ขนาดของมุมเอียงของทางเข้าสารป้อนที่ 22.5 และ 45.0 องศา และ มุมเงยและมุมกดจากระนาบแนวนอนมีค่ามุมเป็นบวกและลบ จะพบว่าความเร็วที่ส่งผลต่อการตัดแยกได้ดีที่สุด คือ ความเร็วแนวสัมผัส เมื่อเปรียบเทียบจากความเร็วแนวแกน และ ความเร็วแนวรัศมี ดังนั้น มุมเงยและมุมกดจากระนาบแนวนอนจะเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตัดแยกมากที่สุด โดยมุมเงยจะทำให้ค่าความเร็วแนวสัมผัสมีค่าสูง ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการตัดแยกมีค่าสูงกว่าการใช้มุมกด สำหรับความเร็วแนวรัศมี ตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตัดแยก คือ มุมเงยและมุมกดจากระนาบแนวนอนเช่นเดียวกับกับความเร็วแนวสัมผัส แต่ต่างกันที่มุมกดจะมีความเร็วแนวรัศมีสูงกว่าความเร็วแนวสัมผัส และในส่วนของความเร็วแนวแกน ตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการตัดแยก คือ ขนาดของมุมเอียงของทางเข้าสารป้อน โดยที่ 45.0 องศาจะมีความเร็วแนวแกนสูงกว่าที่ 22.5 องศา

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2562). มลสารไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำเสียดิบ และระบบบำบัดน้ำเสีย. ค้นหามื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2563, จาก <http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6109/59>
- [2] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. (2558). Waste to Energy: ระบบพลังงานจากการฝังกลบขยะ (Landfill Gas). ค้นหามื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2563, จาก http://www.erd.cmu.ac.th/index_main.php/article/1320?category=14
- [3] David Michaud. (2015). Dense Media Separation (DMS). Retrieved February 17, 2020, from <https://www.911metallurgist.com/blog/dense-heavy-medium-separation-hms-dms>
- [4] Texas Mining and Reclamation Association (TMRA). (n.d.). Mining-benefits. Retrieved February 17, 2020, from <https://www.tmra.com/mining-benefits>
- [5] Malcolm, Gent., Mario, Menendez., Torano, Javier., Isidro, Diego., (2009). Recycling of plasticwaste by density separation: Prospects for optimization. Retrieved February 18, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/24041693_Recycling_of_plastic_waste_by_density_separation_Prospects_for_optimization
- [6] Cui, B., Zhang, C., Wei, D., Lu, S., Feng, Y., 2017. Effects of feed size distribution on separation performance of hydrocyclones with different vortex finder diameters. Powder Technology. 322, 114-123.
- [7] Fu, S., Hua, W., Yuan, H., Ling, J., Shi, Q., 2019. Study on the light medium separation of waste plastics with hydrocyclones. Waste Management. 91, 54–61.
- [8] Han, T., Liu, H., Xiao, H., Chen, A., Huang, Q., 2019. Experimental study of the effects of apex section internals and conical section length on the performance of solid–liquid hydrocyclone. Chemical Engineering Research and Design. 145, 12-18.
- [9] Salvador, F.F., Barrozo, M.A.S., Vieira, L.G.M., 2018. Filtering cylindrical–conical hydrocyclone. G Model. PARTIC-1222, 9.
- [10] plasticknights. (2562). พลาสติกคืออะไร. ค้นหามื่อ 12 มกราคม 2564, จาก <https://www.knightsplastic.com/content/5868/-%E0%B9E0%B8%A5E0%B8%B2E0%B8AA%>

E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3

[11] Bioplastic. พลาสติกย่อยสลายได้. ค้นหามือ 12 มกราคม 2564, จาก <https://www.mtec.or.th/bioplastic/what-is-plastic/plastic-usage.html>

[12] Freedom. (2555). Polypropylene. ค้นหามือ 12 มกราคม 2564, จาก <http://arceehechan-freedom.blogspot.com/2012/10/polypropylene.html>

[13] อภิธานศัพท์เคมี. พลาสติกชนิด HDPE. ค้นหามือ 12 มกราคม 2564, จาก http://www.rmutphysics.com/chemistry-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=1290&Itemid=108

[14] Google sites. High Density Polyethylene (HDPE). ค้นหามือ 12 มกราคม 2564, จาก <https://sites.google.com/site/plastic9911/high-density-polyethylene-hdpe>

[15] Siamsafety. (2562). ไมโครพลาสติก. ค้นหามือ 11 มกราคม 2564, จาก http://www.siamsafety.com/index.php?page=moral/moral_Microplastics

[16] ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้าOTOP. (2562). ไมโครพลาสติก. ค้นหามือ 11 มกราคม 2564, จาก <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/interesting-articles/273-microplastics>

[17] องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ. ภัยล่องหนจากไมโครพลาสติก. ค้นหามือ 11 มกราคม 2564, จาก <http://www.nsm.or.th/other-service/1757-online-science/knowledge-inventory/sci-article/science-article-nsm/2801-the-invisibility-of-micro-plastic.html>

[18] Bangkok Pathology. อันตรายของไมโครพลาสติก. ค้นหามือ 11 มกราคม 2564, จาก <https://www.bpl.co.th/pweb/index.php/academic-professional/academic-articles/318-microplastics.html>

[19] Thermopedia. (2554). Hydrocyclone. ค้นหามือ 13 มกราคม 2564, จาก <http://thermopedia.com/content/862/>

[20] Alvarez, M.M., de Cos Juez, F.J., Lasheras, F.S., Sierra, H.M., A Parametric Model of the LARCODEMS Heavy Media Separator by Means of Multivariate Adaptive Regression Splines. Material (Basel). 729. From <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5551772/>

[21] the balance. How air, water, and plastic pollution affect the economy. ค้นหามีื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://www.thebalance.com/pollution-facts-economic-effect-4161042>

[22] Gent, M.R., Menendez, M., Toraño J., Isidro, D., Torno, Susana., 2009. Cylinder cyclone (LARCODEMS) density media separation of plastic wastes. Waste Management 29, 1819–1827.

รูปภาพอ้างอิง

[1] DMS Specialchem. (2561). Polypropylene (PP) Plastic-complete guide. ค้นหามีื่อ 12 มกราคม 2564, จาก <https://medium.com/@dms.specialchem/polypropylene-pp-plastic-complete-guide-4dfa70a7fb66>

[2] MachineDesign. (2561). What’s the different between polypropylene types. ค้นหามีื่อ 12 มกราคม 2564, จาก <https://www.machinedesign.com/community/article/21837192/whats-the-difference-between-polypropylene-types>

[3] Providence Procurement. (2561). HDPE sheets-A complete guide. ค้นหามีื่อ 12 มกราคม 2564, จาก <https://provprocure.com/hdpe-sheet-a-complete-guide/>

[4] Sustainability Times. (2562). Microplastics ‘are everywhere’: in lakes, rivers and seas. ค้นหามีื่อ 11 มกราคม 2564, จาก <https://www.sustainability-times.com/environmental-protection/microplastics-are-absolutely-everywhere-in-lakes-rivers-and-seas/>

[5] ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้าOTOP. (2562). ไมโครพลาสติก. ค้นหามีื่อ 11 มกราคม 2564, จาก <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/interesting-articles/273-microplastics>

[6] Khan, M.F.Z., Raza, A., 2018. Microplastics in freshwater systems: A review on its accumulation and effects on fishes. Issue 4www.ijrar.org. Volume 5.

[7] Thermopedia. (2554). Hydrocyclone. ค้นหามีื่อ 13 มกราคม 2564, จาก <http://thermopedia.com/content/862/>

[8] สุธินี ปฎิรูปานนท์. (2559). อุปกรณ์ไฮโดรไซโคลนชนิด 3 เฟส เพื่อการแยกของแข็งแขวนลอยและนำกลับน้ำมันจากน้ำเสีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 30-32.

[9] Alvarez, M.M., de Cos Juez, F.J., Lasheras, F.S., Sierra, H.M., A Parametric Model of the LARCODEMS Heavy Media Separator by Means of Multivariate Adaptive Regression Splines. Material (Basel). 729. From <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5551772/>

ตารางอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยมหิดล คณะเภสัชศาสตร์. (2555). ผลิตภัณฑ์พลาสติกกับอาหาร. ค้นหาเมื่อ 12 มกราคม 2564, จาก <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/86/%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A0%E0%B8%B1%E0%B8%93%E0%B8%91%E0%B9%8C%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3/>

ภาคผนวก ก

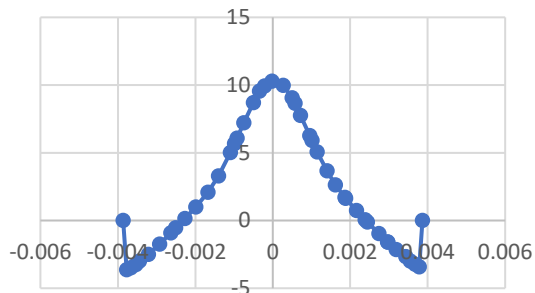
H1 = 0.01285 H2 = 0.0257 H3 = 0.03855	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ratio (W:H)</td> <td>1:2</td> <td>2:1</td> </tr> <tr> <td>Angle</td> <td>22.5</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>Orientation</td> <td>+</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Factor			Ratio (W:H)	1:2	2:1	Angle	22.5	45	Orientation	+	-
Factor															
Ratio (W:H)	1:2	2:1													
Angle	22.5	45													
Orientation	+	-													

Run	Orientation	Ratio	W	H	Angle	Axial (m/s)				Radial (m/s)				Tangential (m/s)			
						Vel-H1	Vel-H2	Vel-H3	Avg	Vel-H1	Vel-H2	Vel-H3	Avg	Vel-H1	Vel-H2	Vel-H3	Avg
0	0	1:2	1.414	2.828	0	2.15	0.71	-1.00	0.62	-0.11	-0.18	-0.16	-0.15	-17.51	-17.85	-17.12	-17.49
1	+	1:2	1.414	2.828	22.5	1.62	0.56	-0.85	0.44	-0.11	-0.21	-0.18	-0.17	-17.40	-18.38	-16.27	-17.35
2	+	1:2	1.414	2.828	45	1.52	0.50	-1.20	0.27	-0.12	-0.19	-0.15	-0.15	-16.20	-15.77	-15.30	-15.76
3	+	2:1	2.828	1.414	22.5	1.74	0.61	-1.03	0.44	-0.11	-0.28	-0.17	-0.19	-15.40	-15.41	-14.93	-15.25
4	+	2:1	2.828	1.414	45	2.14	0.80	-1.02	0.64	-0.08	-0.27	-0.21	-0.19	-18.01	-18.13	-17.10	-17.75
5	-	1:2	1.414	2.828	22.5	1.72	0.71	-0.93	0.50	-0.10	-0.25	-0.27	-0.21	-16.51	-16.62	-15.71	-16.28
6	-	1:2	1.414	2.828	45	1.41	0.50	-1.24	0.22	-0.14	-0.16	-0.34	-0.21	-13.90	-14.20	-12.57	-13.56
7	-	2:1	2.828	1.414	22.5	1.88	0.90	-1.13	0.55	-0.20	0.06	-0.41	-0.18	-15.69	-15.78	-15.03	-15.50
8	-	2:1	2.828	1.414	45	1.66	0.47	-1.49	0.21	-0.21	-0.07	-0.46	-0.25	-13.22	-12.33	-11.82	-12.46

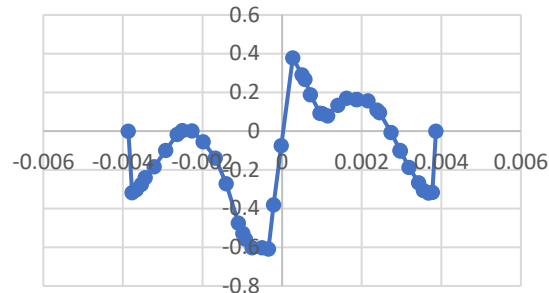
ตารางแสดงค่า Input-Output จาก โปรแกรม Ansys 2020 R2

Run	Orientation	Ratio	W	H	Angle	Axial (m/s)				Radial (m/s)				Tangential (m/s)			
						Vel-H1	Vel-H2	Vel-H3	Avg	Vel-H1	Vel-H2	Vel-H3	Avg	Vel-H1	Vel-H2	Vel-H3	Avg
0	0	-1	1.414	2.828	0	2.15	0.71	-1.00	0.62	-0.11	-0.18	-0.16	-0.15	-17.51	-17.85	-17.12	-17.49
1	1	-1	1.414	2.828	-1	1.62	0.56	-0.85	0.44	-0.11	-0.21	-0.18	-0.17	-17.40	-18.38	-16.27	-17.35
2	1	-1	1.414	2.828	1	1.52	0.50	-1.20	0.27	-0.12	-0.19	-0.15	-0.15	-16.20	-15.77	-15.30	-15.76
3	1	1	2.828	1.414	-1	1.74	0.61	-1.03	0.44	-0.11	-0.28	-0.17	-0.19	-15.40	-15.41	-14.93	-15.25
4	1	1	2.828	1.414	1	2.14	0.80	-1.02	0.64	-0.08	-0.27	-0.21	-0.19	-18.01	-18.13	-17.10	-17.75
5	-1	-1	1.414	2.828	-1	1.72	0.71	-0.93	0.50	-0.10	-0.25	-0.27	-0.21	-16.51	-16.62	-15.71	-16.28
6	-1	-1	1.414	2.828	1	1.41	0.50	-1.24	0.22	-0.14	-0.16	-0.34	-0.21	-13.90	-14.20	-12.57	-13.56
7	-1	1	2.828	1.414	-1	1.88	0.90	-1.13	0.55	-0.20	0.06	-0.41	-0.18	-15.69	-15.78	-15.03	-15.50
8	-1	1	2.828	1.414	1	1.66	0.47	-1.49	0.21	-0.21	-0.07	-0.46	-0.25	-13.22	-12.33	-11.82	-12.46

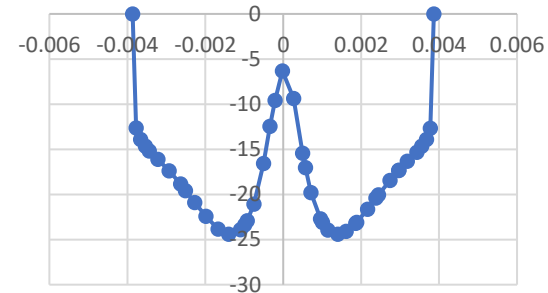
ตารางแสดงค่า Input-Output จาก Ansys 2020 R2 แบบ (+1, -1)



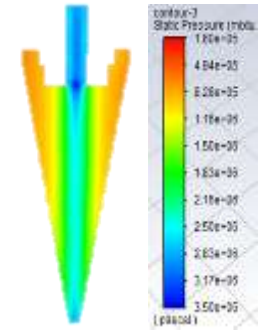
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

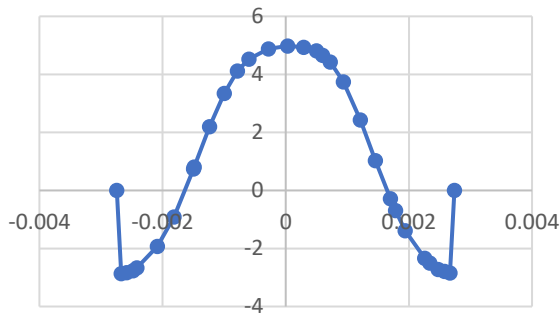


(ค) Tangential Velocity

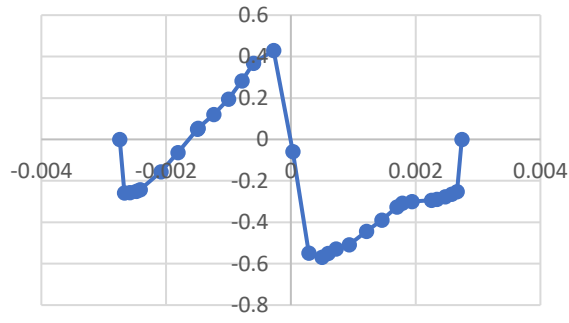


Pressure Contour Case 0

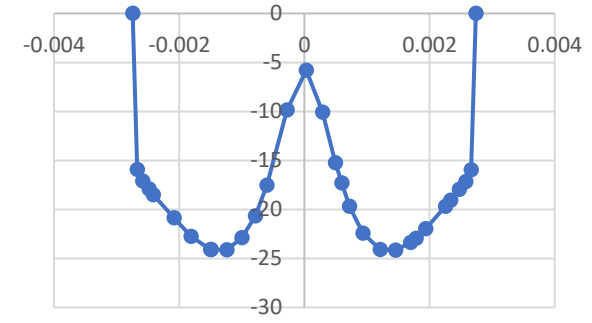
การกระจายความเร็วของกรณี 0 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

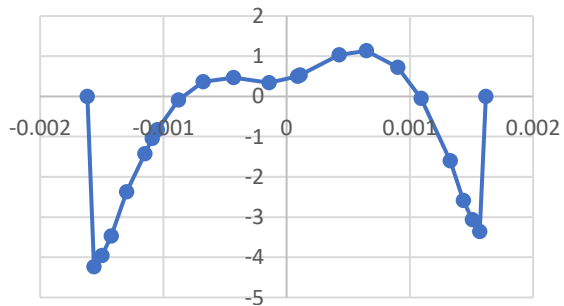


(ข) Radial Velocity

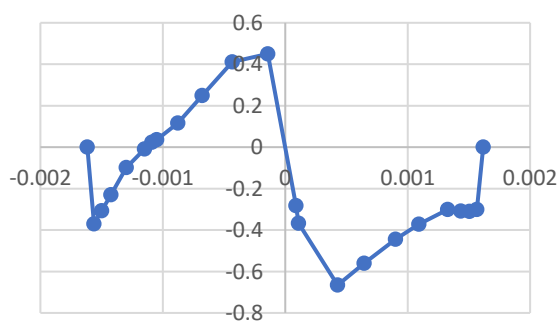


(ค) Tangential Velocity

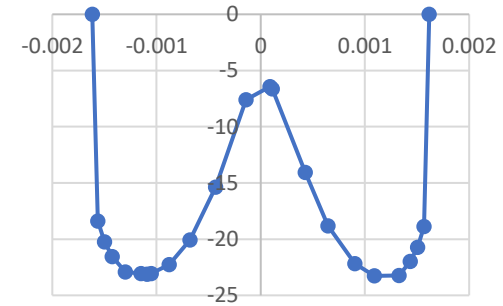
การกระจายความเร็วของกรณี 0 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

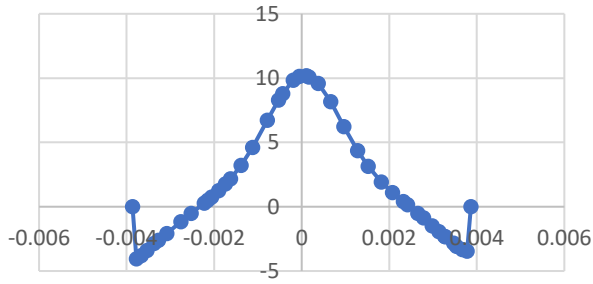


(ข) Radial Velocity

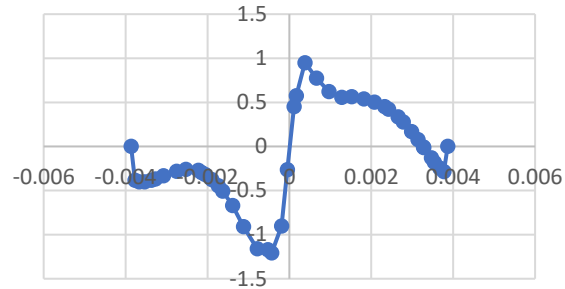


(ค) Tangential Velocity

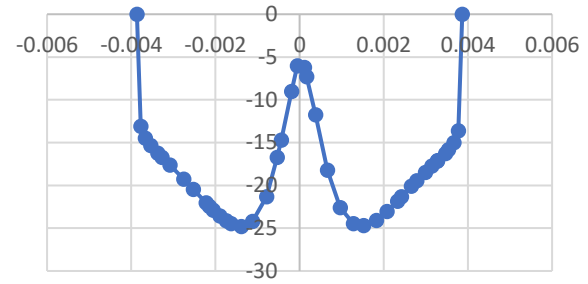
การกระจายความเร็วของกรณี 0 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



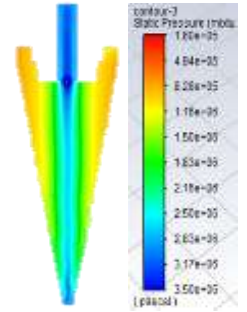
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

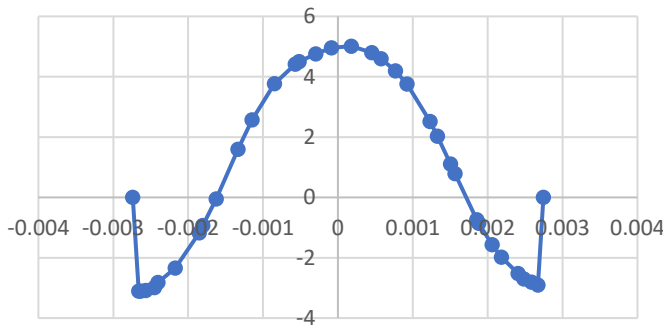


(ค) Tangential Velocity

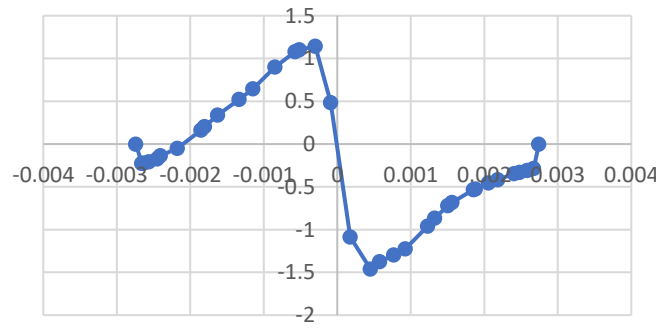


Pressure Contour Case 1

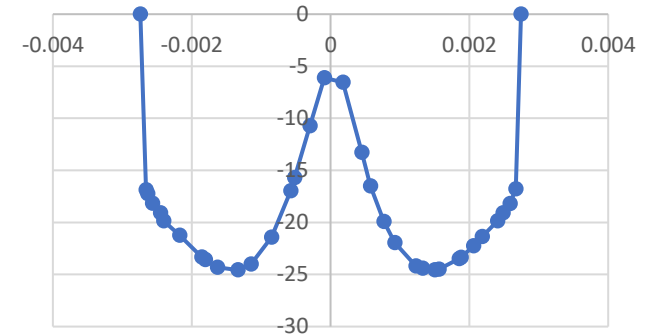
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 1 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



(ก) Axial Velocity

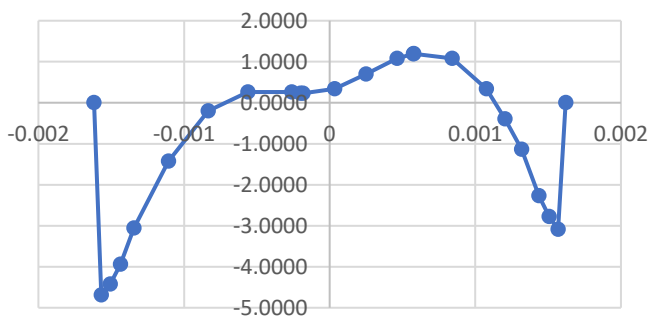


(ข) Radial Velocity

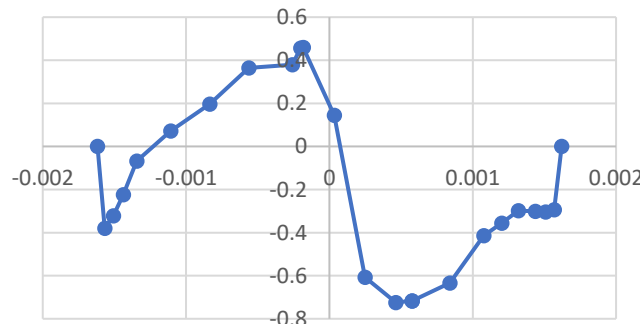


(ค) Tangential Velocity

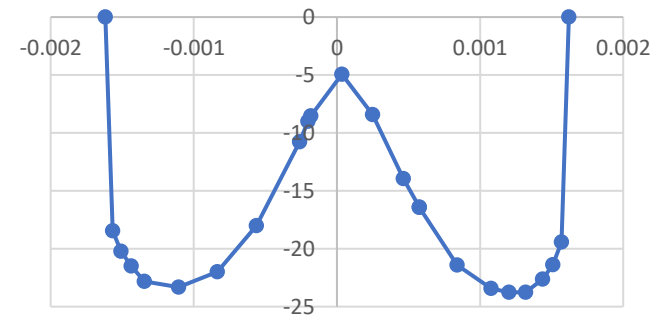
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 1 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

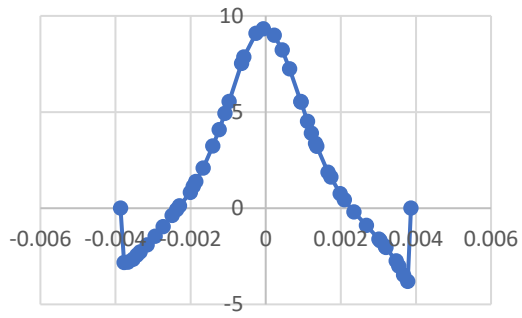


(ข) Radial Velocity

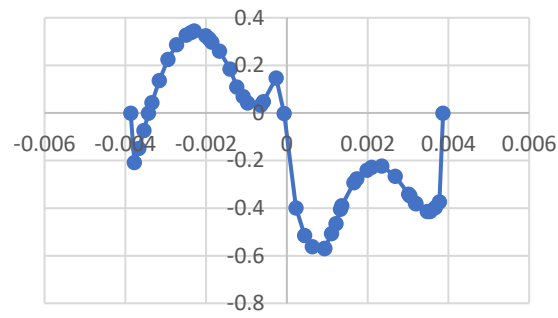


(ค) Tangential Velocity

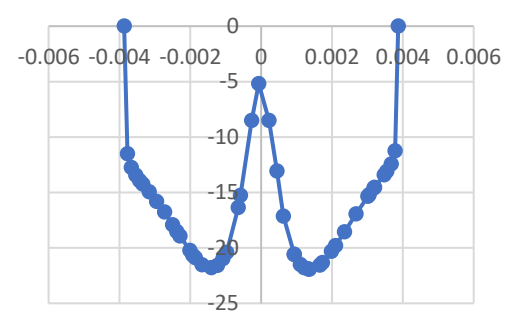
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 1 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



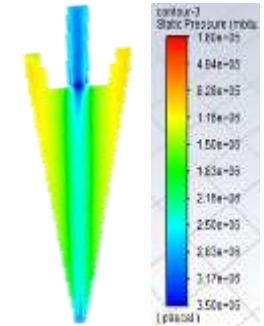
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

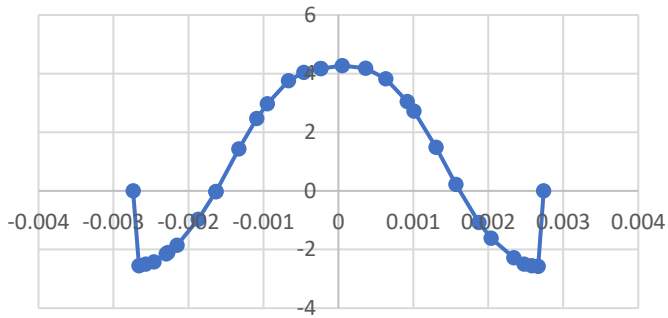


(ค) Tangential Velocity

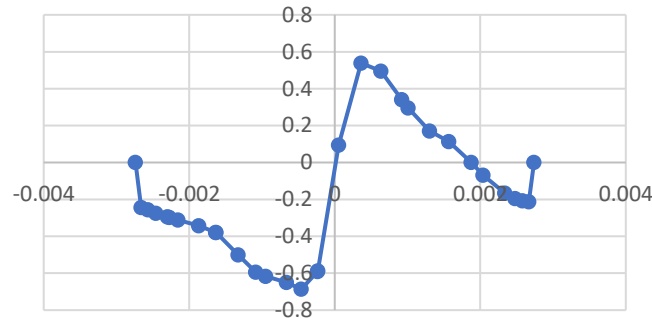


Pressure Contour Case 2

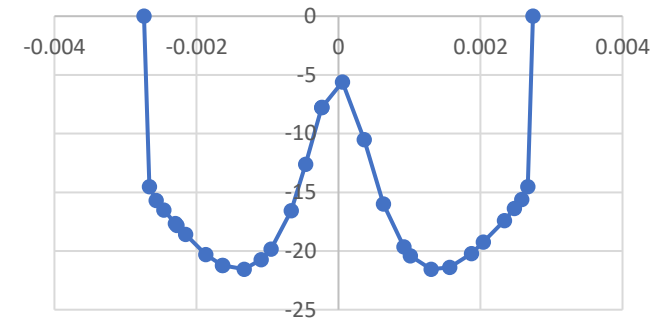
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



(ก) Axial Velocity

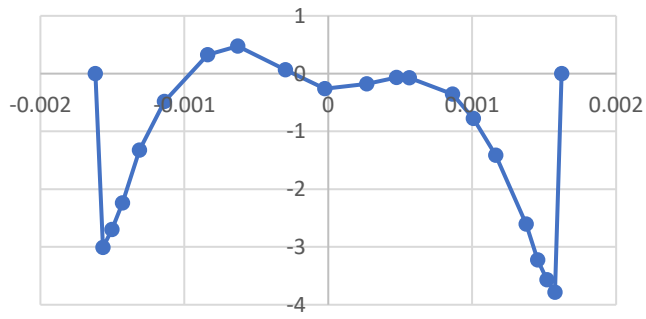


(ข) Radial Velocity

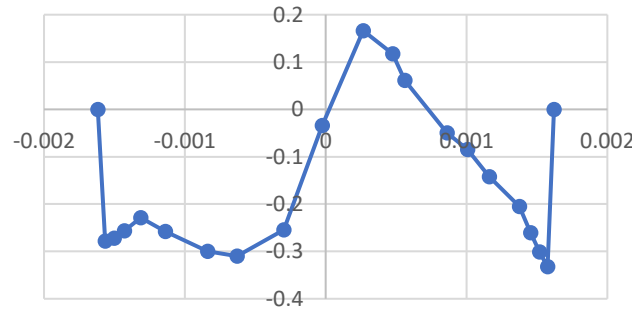


(ค) Tangential Velocity

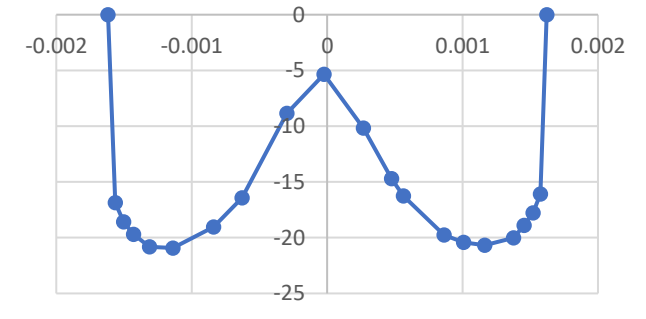
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

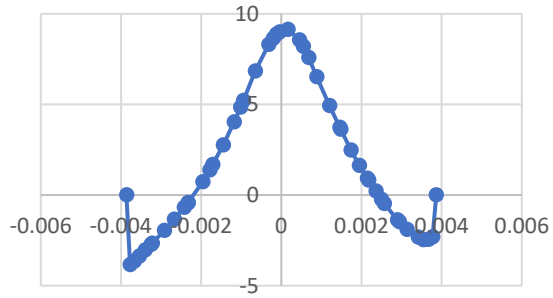


(ข) Radial Velocity

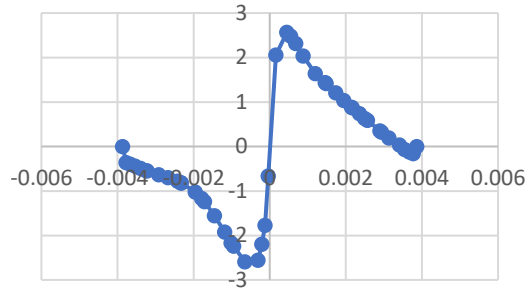


(ค) Tangential Velocity

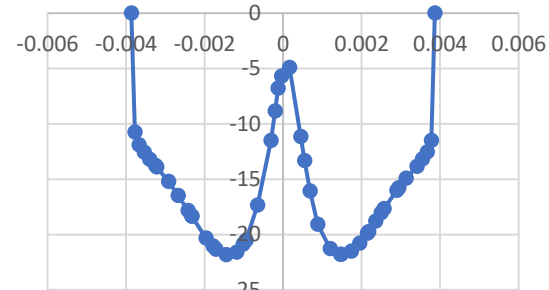
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



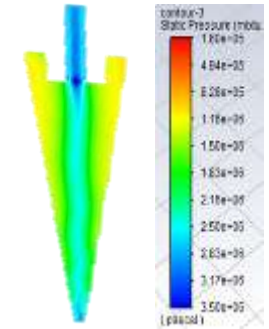
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

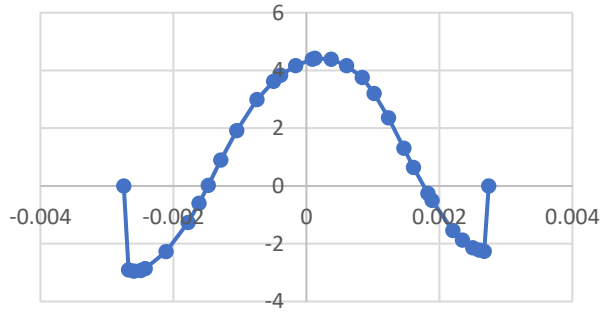


(ค) Tangential Velocity

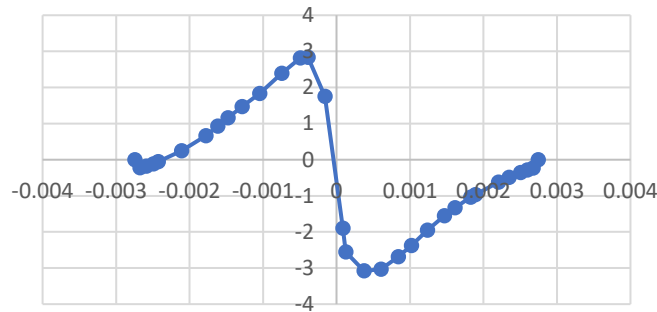


Pressure Contour Case 3

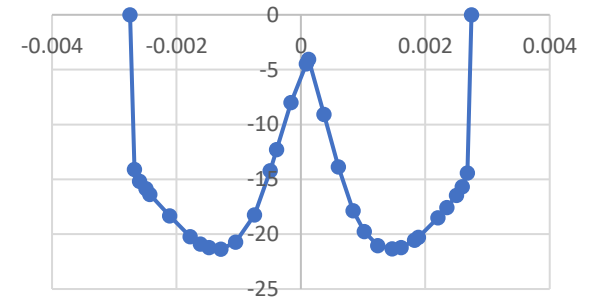
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 3 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

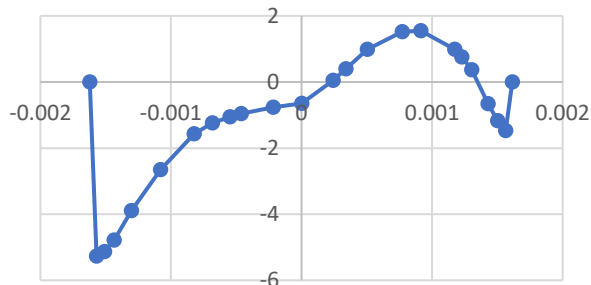


(ข) Radial Velocity

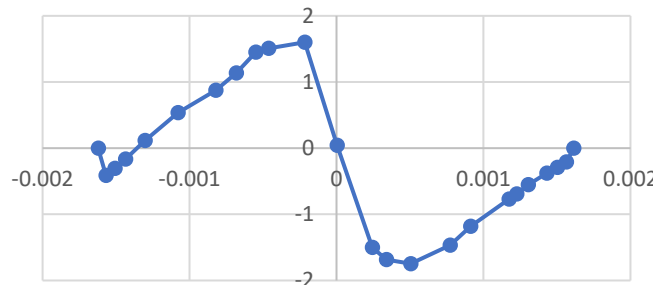


(ค) Tangential Velocity

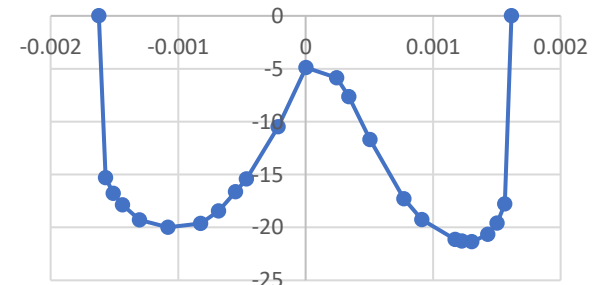
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 3 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

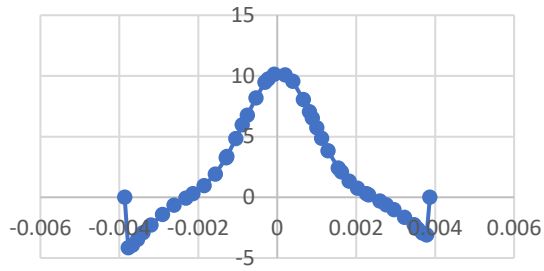


(ข) Radial Velocity

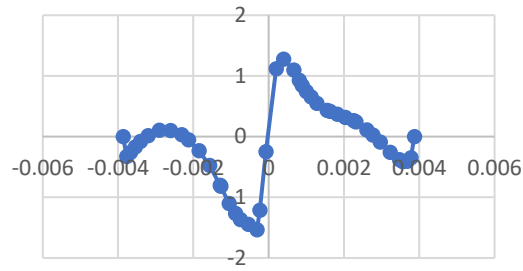


(ค) Tangential Velocity

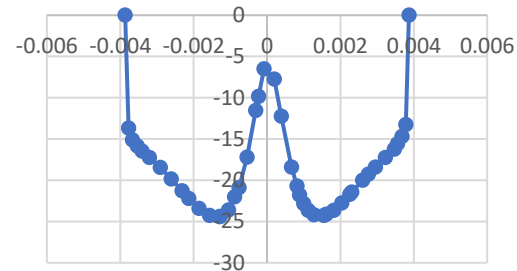
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 3 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



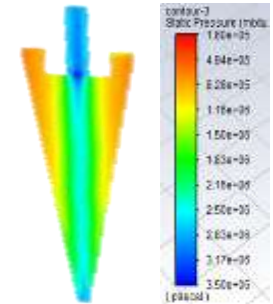
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

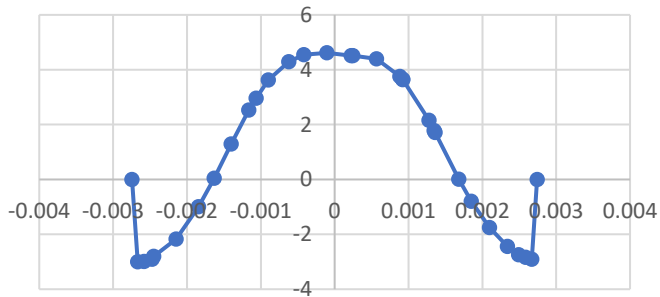


(ค) Tangential Velocity

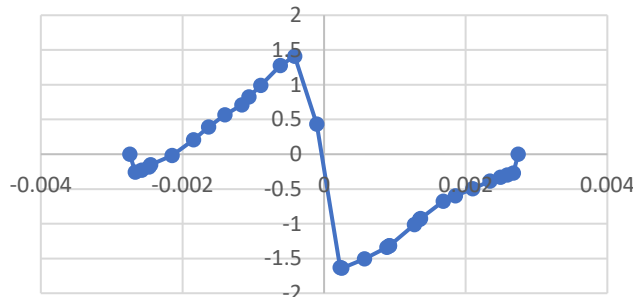


Pressure Contour Case 4

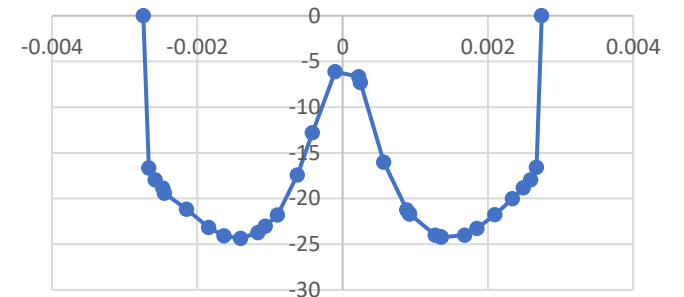
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 4 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

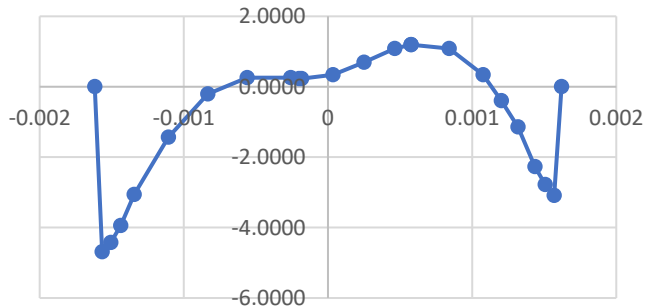


(ข) Radial Velocity

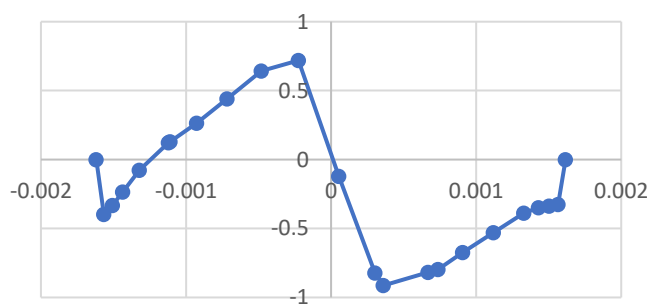


(ค) Tangential Velocity

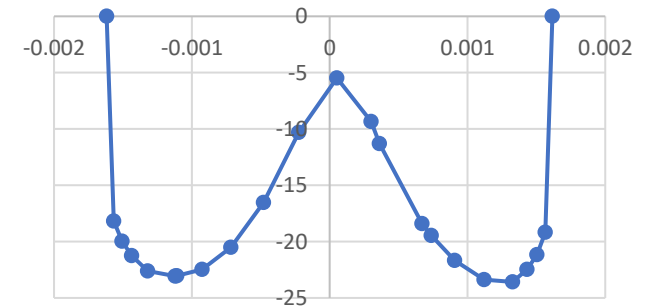
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 4 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

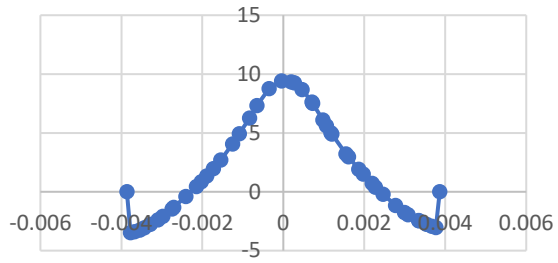


(ข) Radial Velocity

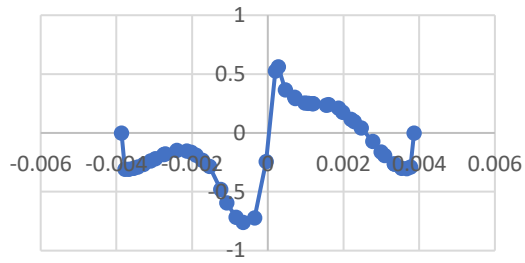


(ค) Tangential Velocity

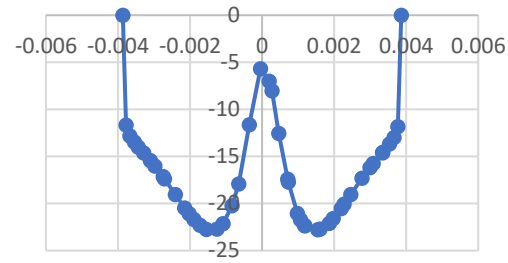
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 4 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



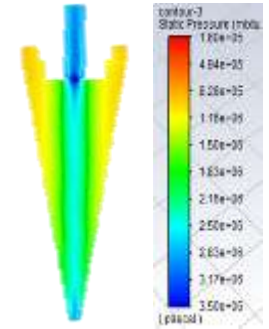
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

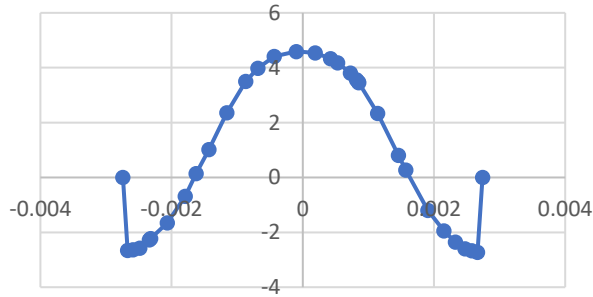


(ค) Tangential Velocity

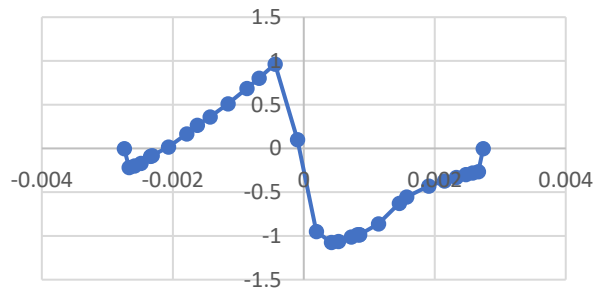


Pressure Contour Case 5

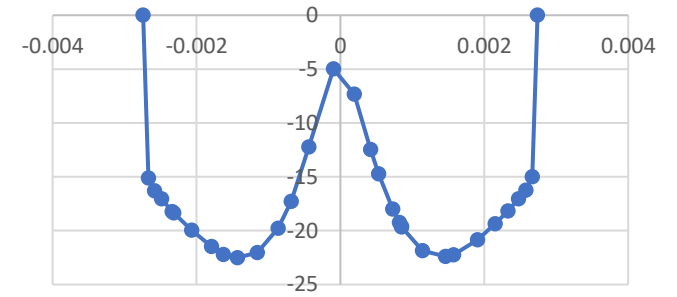
การกระจายความเร็วของกรณี 5 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

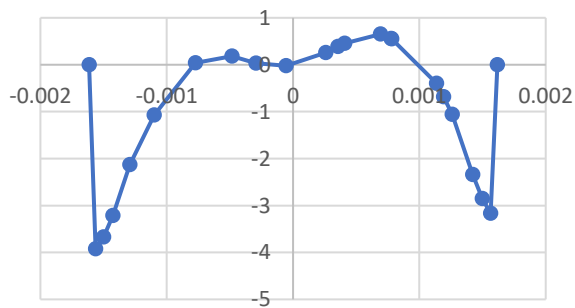


(ข) Radial Velocity

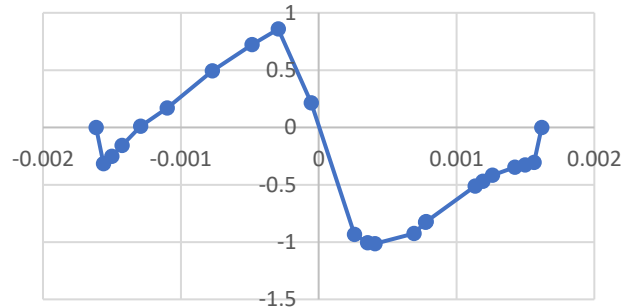


(ค) Tangential Velocity

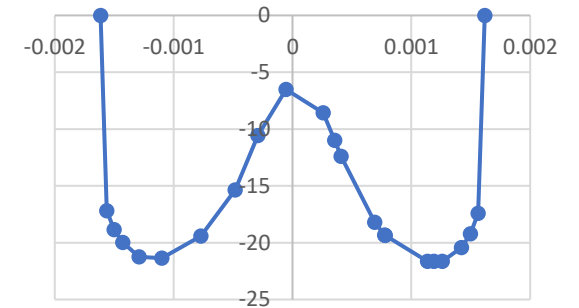
การกระจายความเร็วของกรณี 5 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

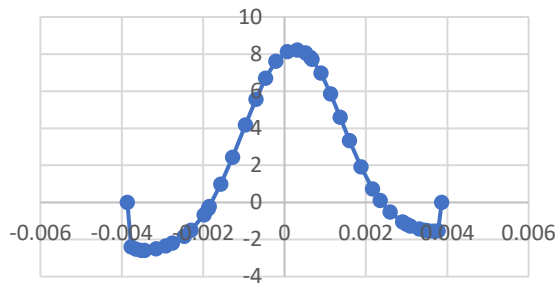


(ข) Radial Velocity

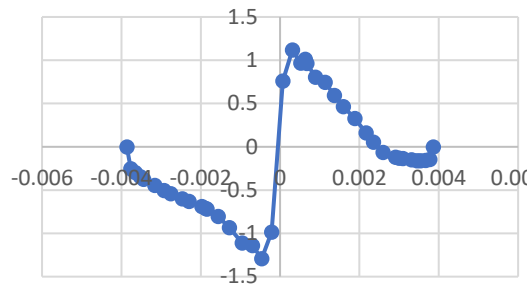


(ค) Tangential Velocity

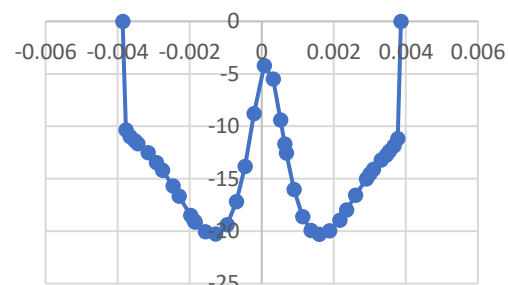
การกระจายความเร็วของกรณี 5 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



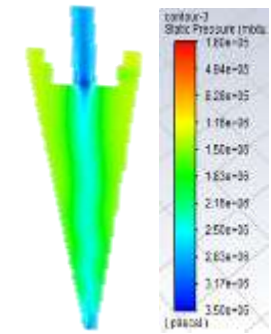
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

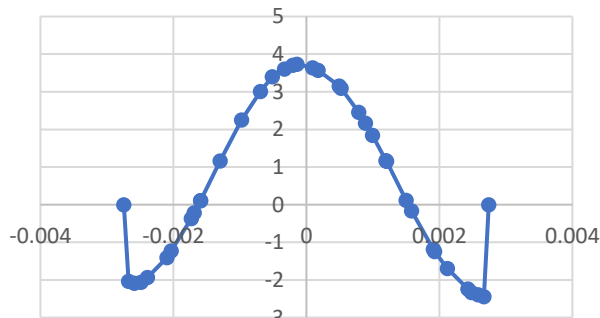


(ค) Tangential Velocity

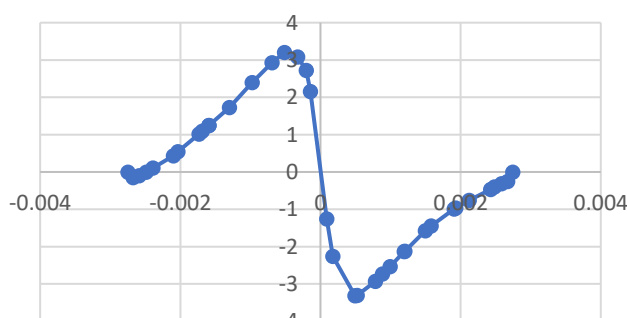


Pressure Contour Case 6

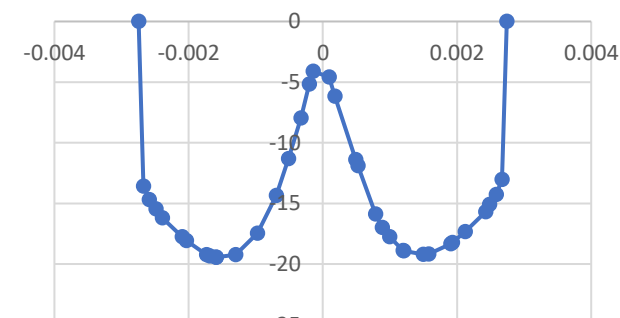
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 6 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

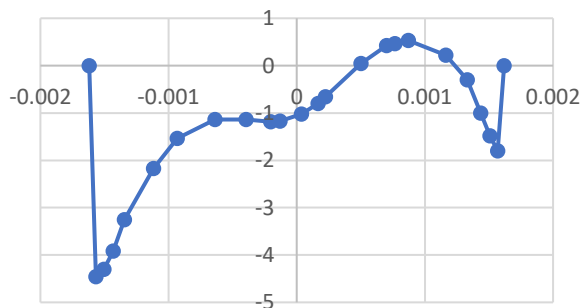


(ข) Radial Velocity

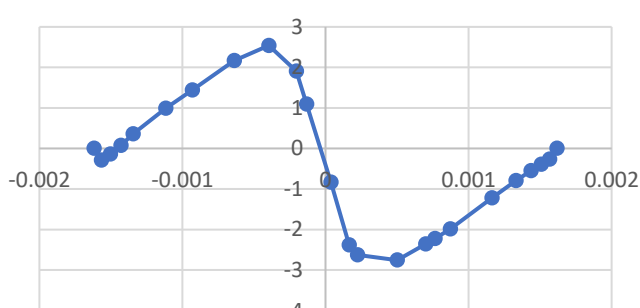


(ค) Tangential Velocity

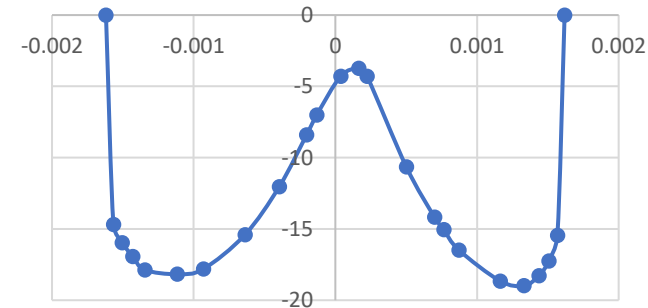
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 6 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

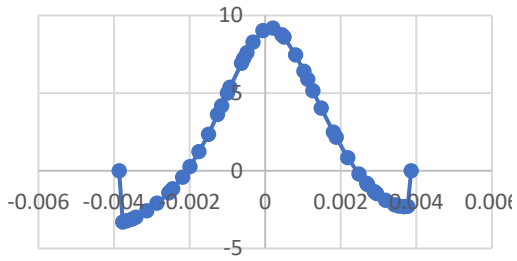


(ข) Radial Velocity

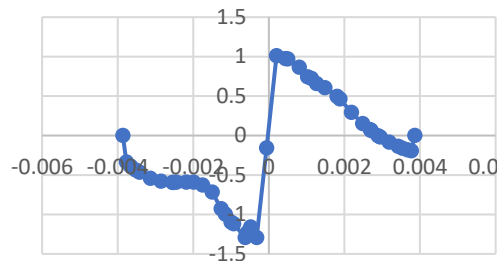


(ค) Tangential Velocity

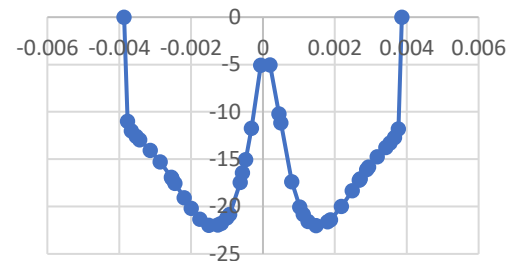
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 6 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



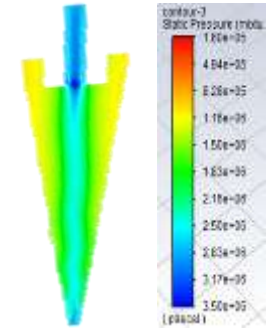
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

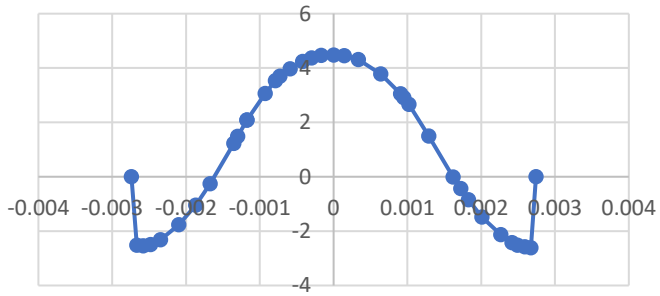


(ค) Tangential Velocity

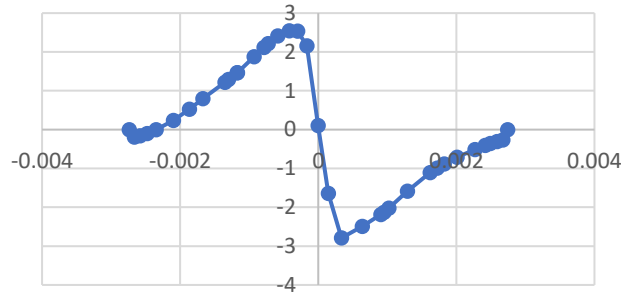


Pressure Contour Case 7

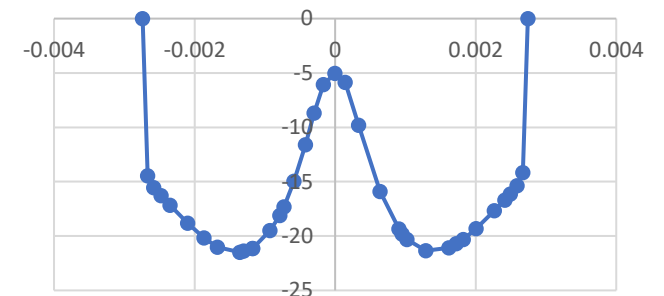
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 7 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

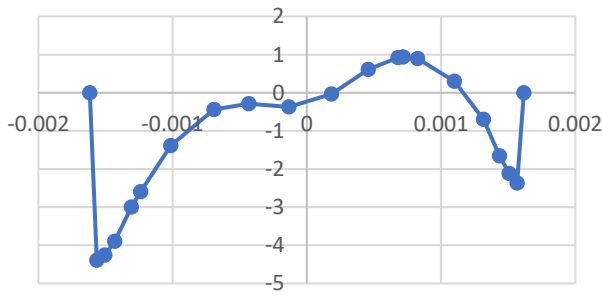


(ข) Radial Velocity

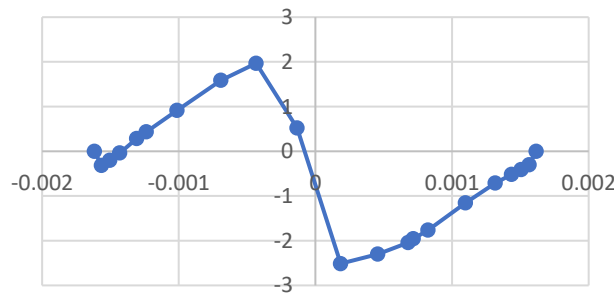


(ค) Tangential Velocity

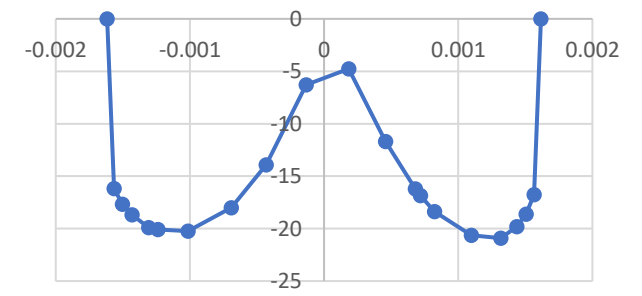
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 7 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

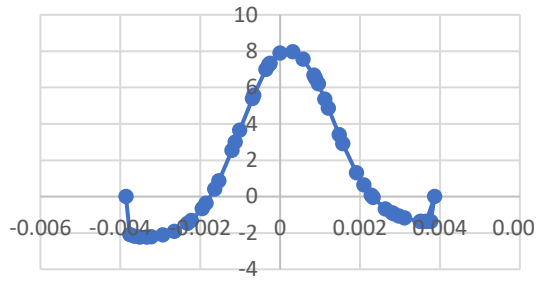


(ข) Radial Velocity

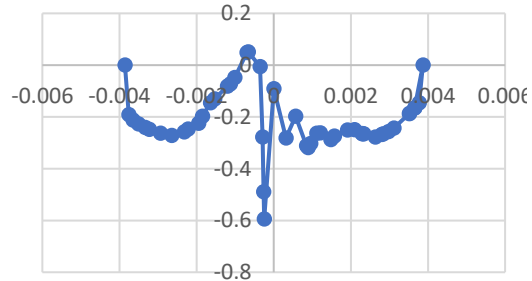


(ค) Tangential Velocity

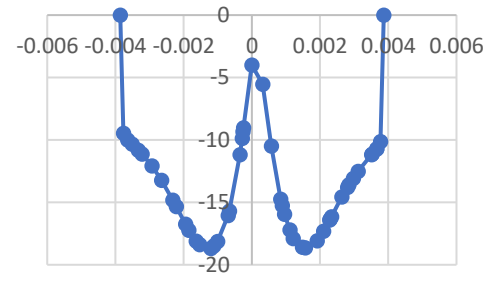
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 7 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



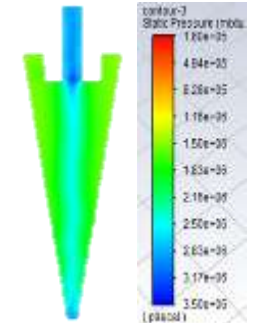
(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity

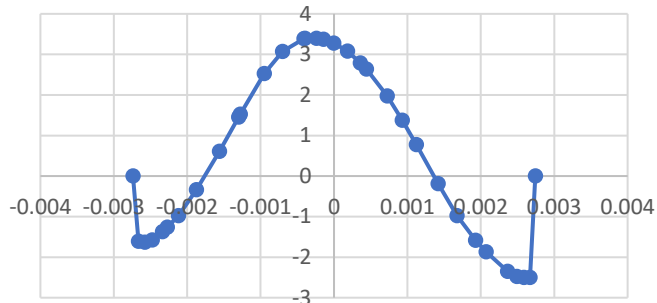


(ค) Tangential Velocity

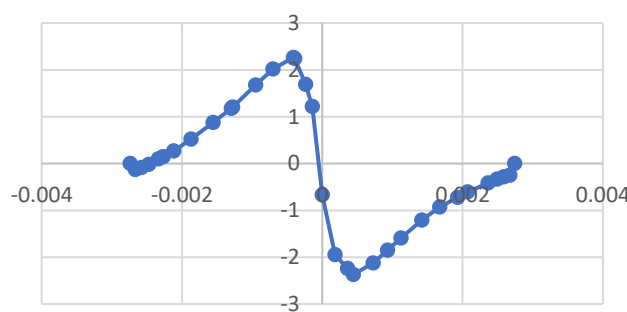


Pressure Contour Case 8

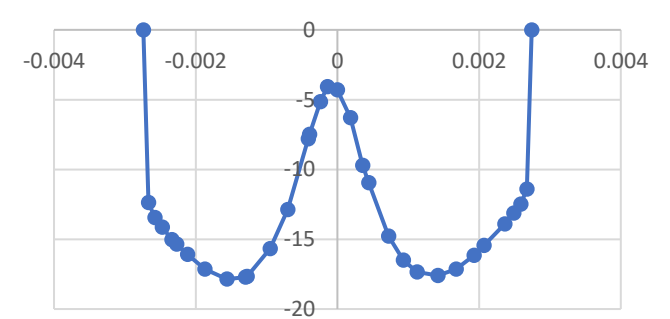
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 8 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

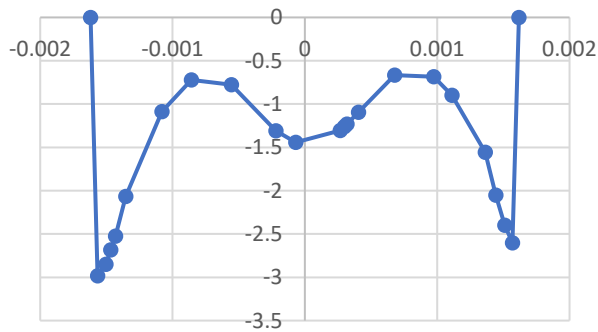


(ข) Radial Velocity

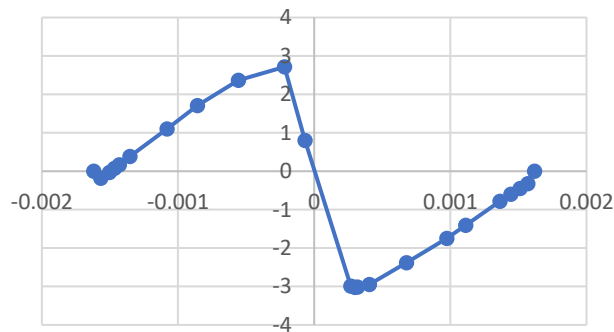


(ค) Tangential Velocity

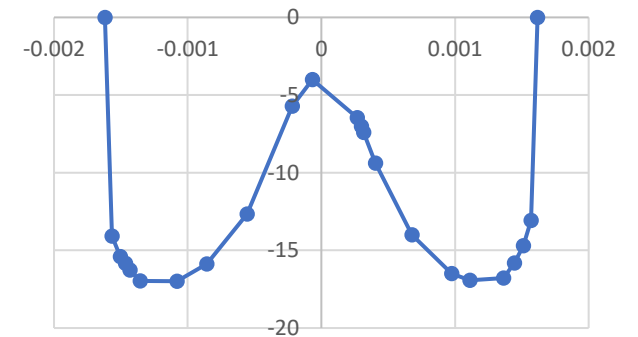
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 8 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



(ก) Axial Velocity



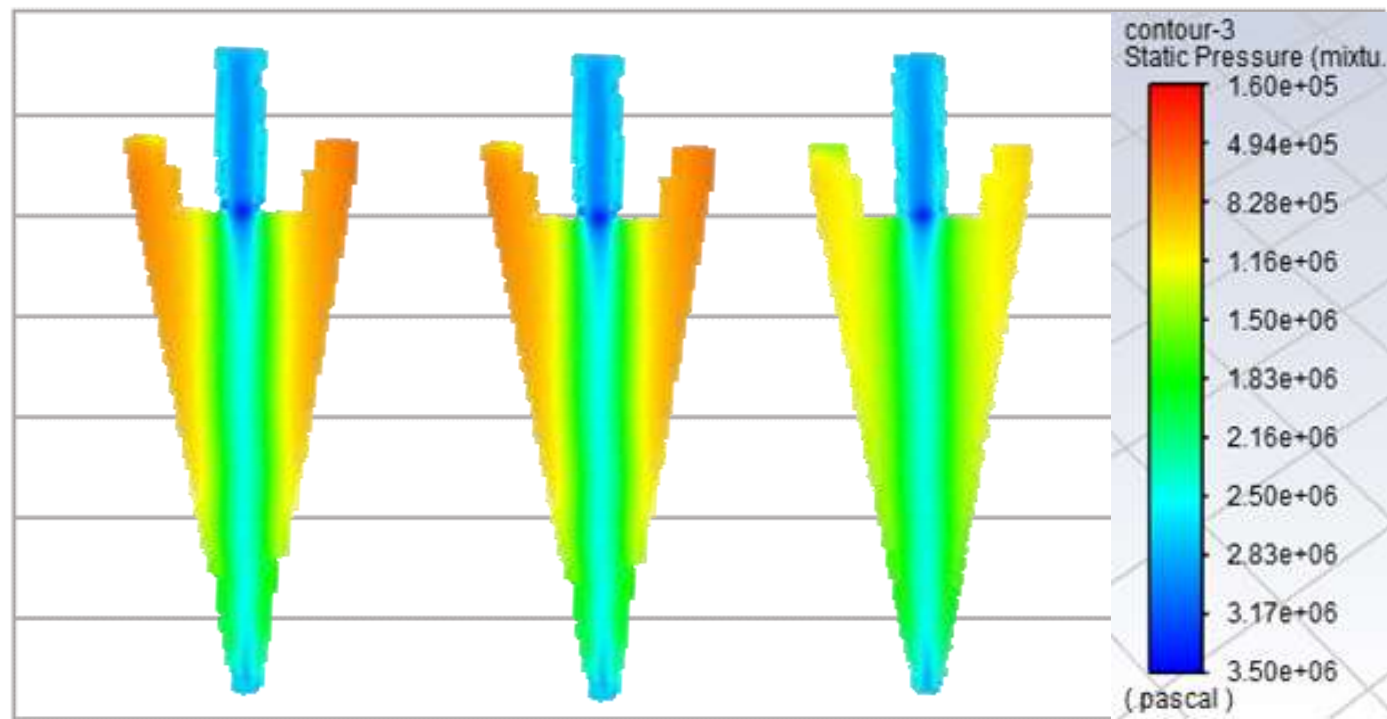
(ข) Radial Velocity



(ค) Tangential Velocity

การกระจายความเร็วของกรณีที่ 8 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential

Run	Angle
0	0
1	22.5
2	45

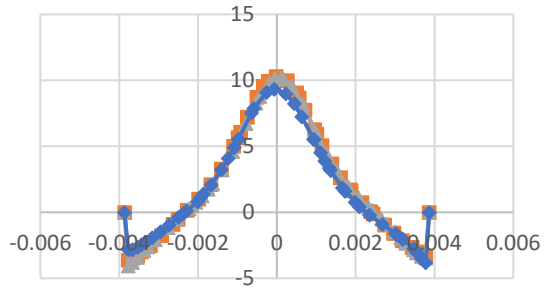


(ก) 0

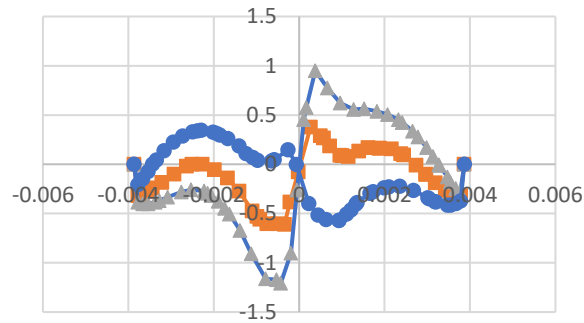
(ข) 1

(ค) 2

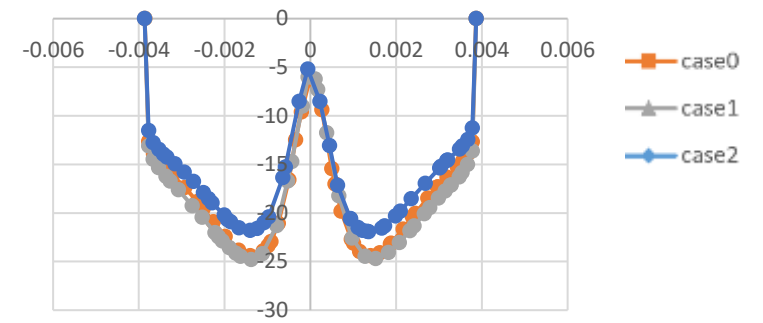
การกระจายความดัน ณ มุมของกรณีที่ (ก) 0 และ (ข) 1 และ



(ก) Axial Velocity



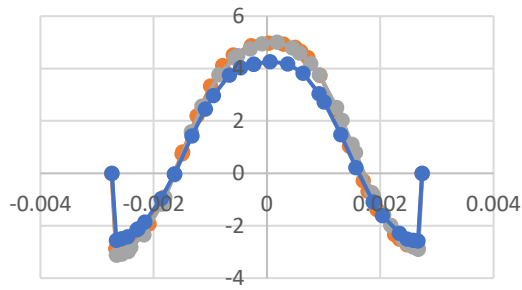
(ข) Radial Velocity



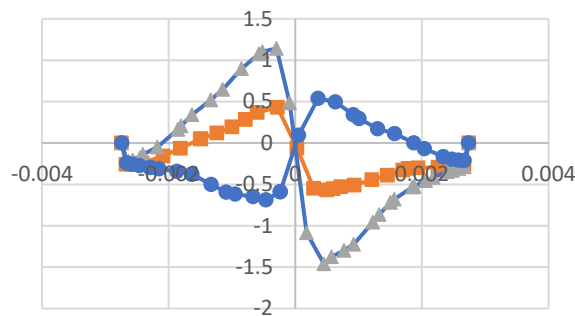
(ค) Tangential Velocity



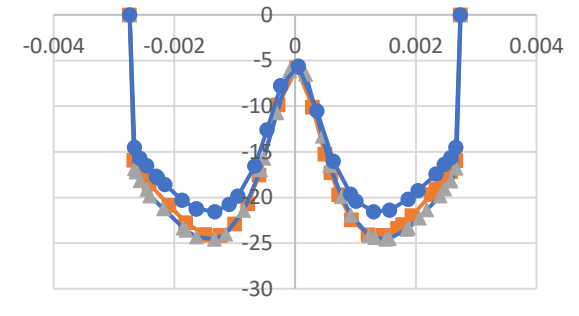
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 0 ถึง 2 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

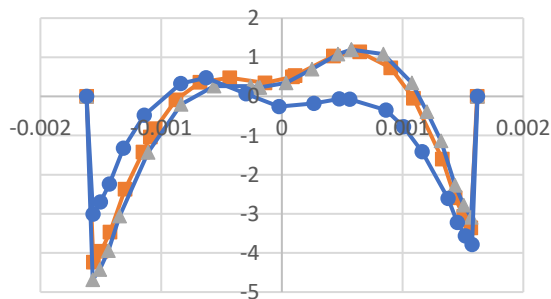


(ข) Radial Velocity

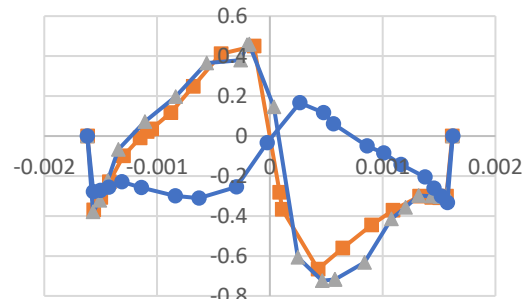


(ค) Tangential Velocity

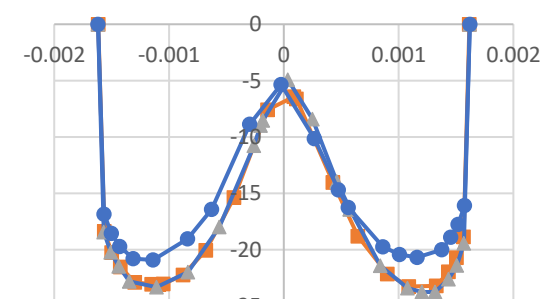
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 0 ถึง 2 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity



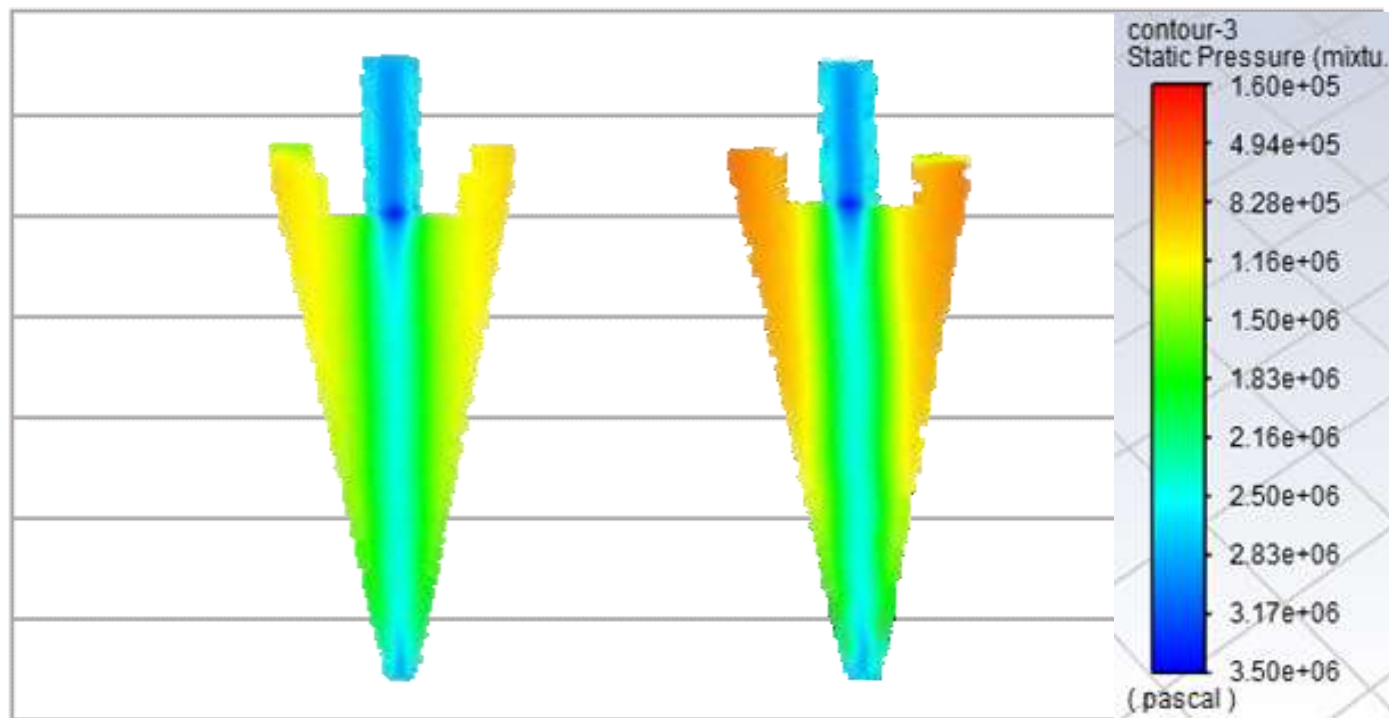
(ข) Radial Velocity



(ค) Tangential Velocity

การกระจายความเร็วของกรณีที่ 0 ถึง 2 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity

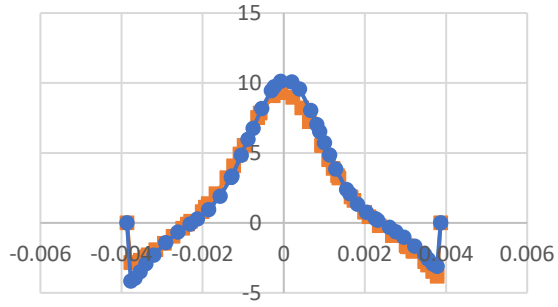
Run	Angle
2	1:2
4	2:1



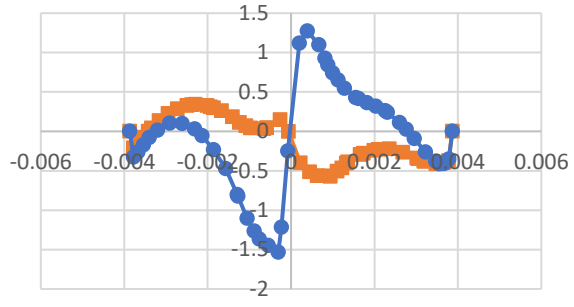
(ก) 2

(ข) 4

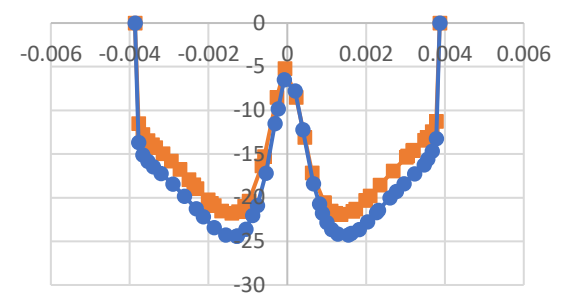
การกระจายความดัน ณ อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวของกรณี (ก) 2 และ (ข) 4



(ก) Axial Velocity



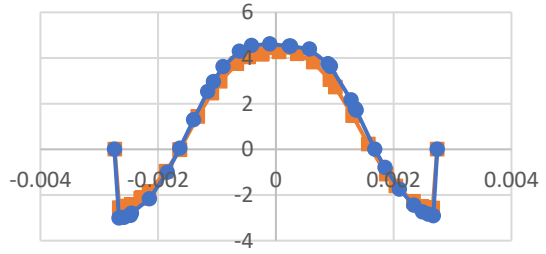
(ข) Radial Velocity



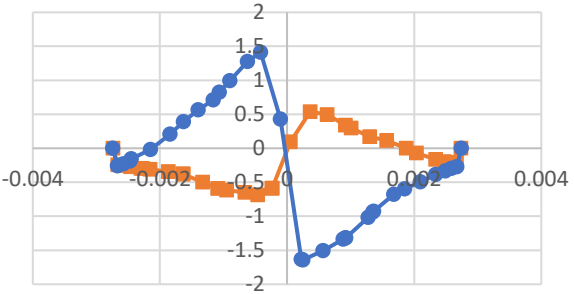
(ค) Tangential Velocity

—■— case2
—●— case4

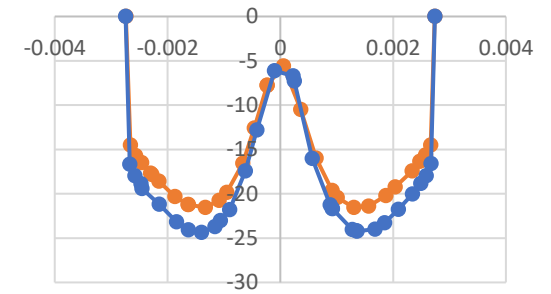
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 และ 4 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



(ก) Axial Velocity

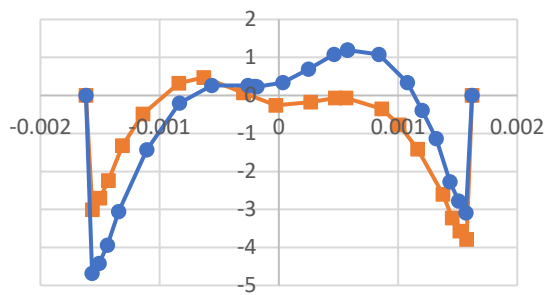


(ข) Radial Velocity

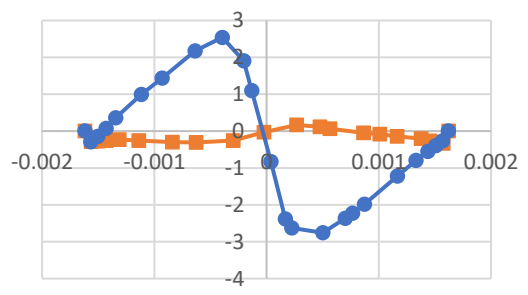


(ค) Tangential Velocity

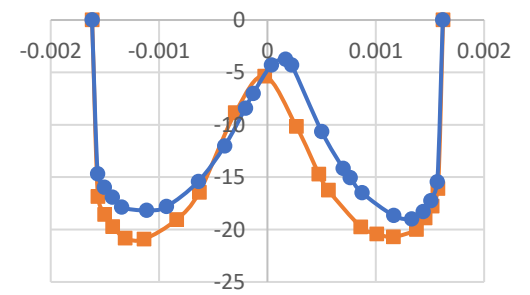
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 และ 4 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity



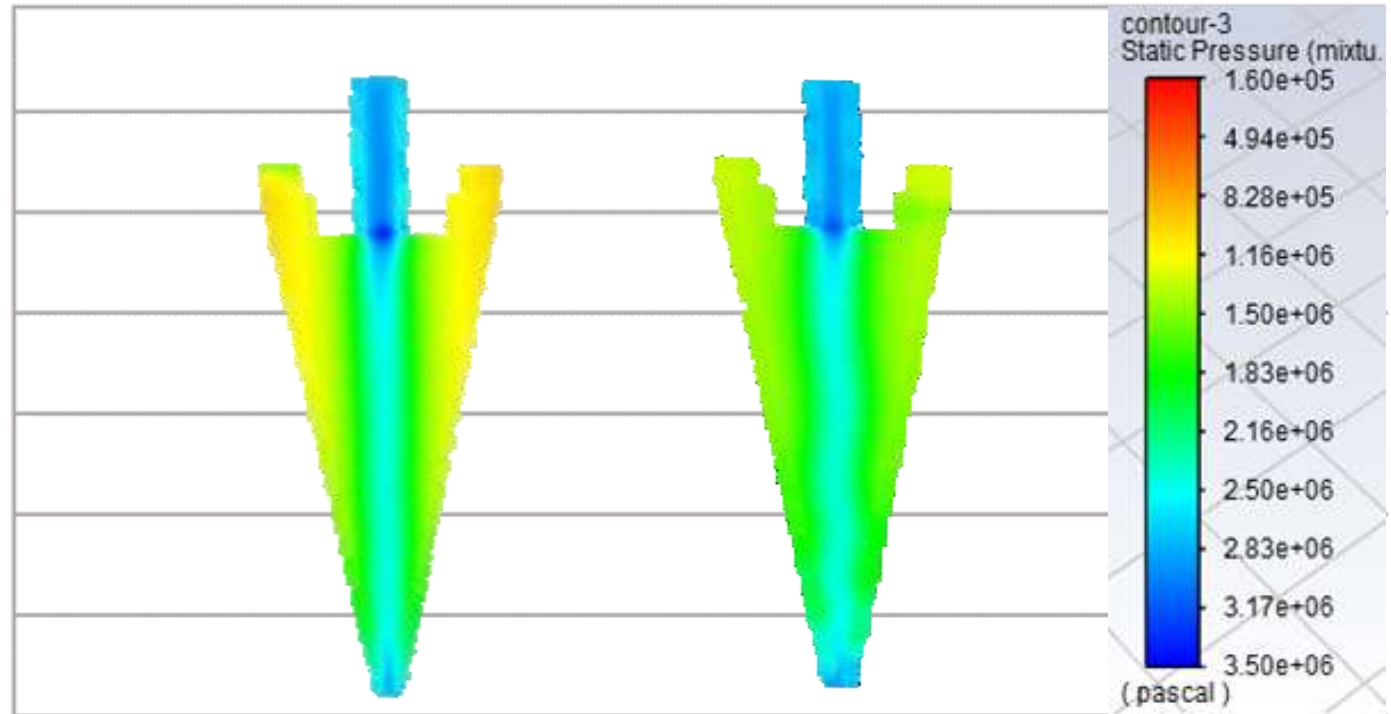
(ข) Radial Velocity



(ค) Tangential Velocity

การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 และ 4 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity

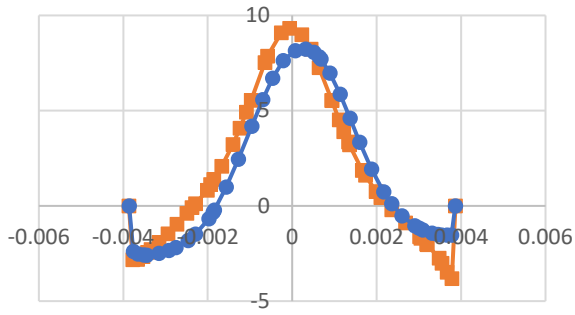
Run	Angle
2	+
6	-



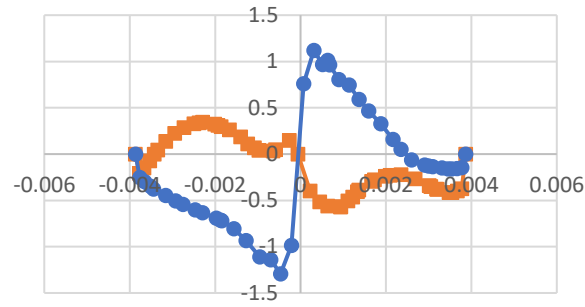
(ก) 2

(ข) 6

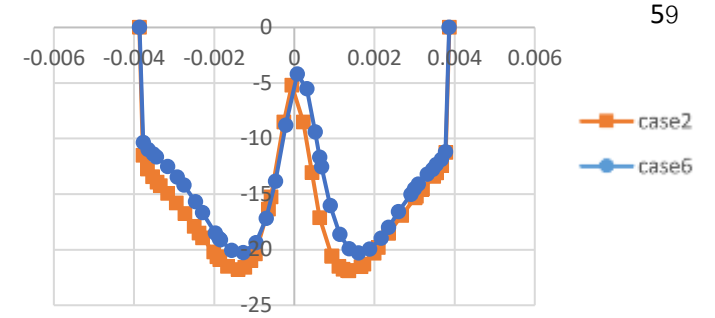
การกระจายความดัน ณ มุมกต-มุมเงยของกรณีสี่ (ก) 2 และ



(ก) Axial Velocity

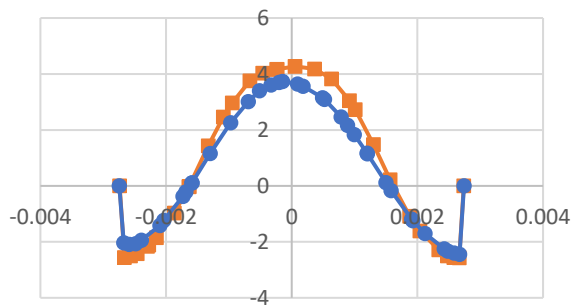


(ข) Radial Velocity

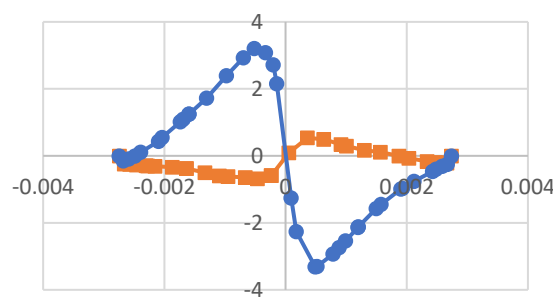


(ค) Tangential Velocity

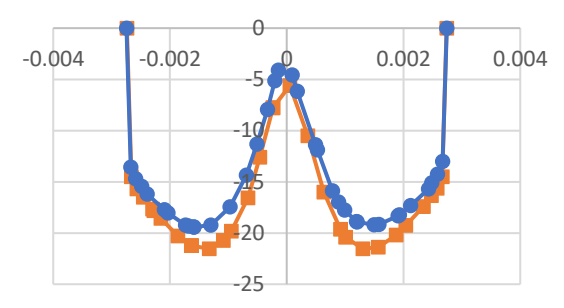
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 และ 6 ที่ความสูง 12.85 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity



(ก) Axial Velocity

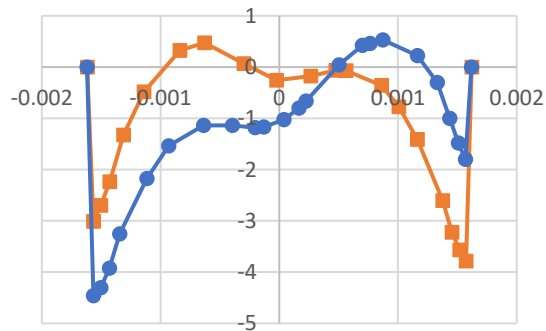


(ข) Radial Velocity

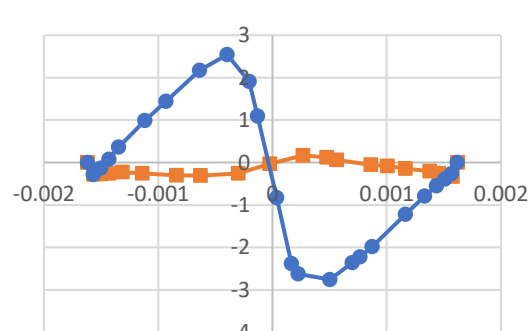


(ค) Tangential Velocity

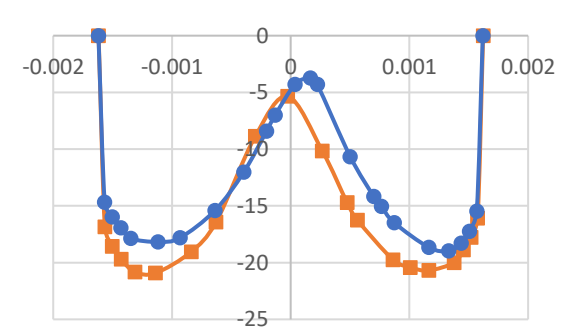
การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 และ 6 ที่ความสูง 25.7 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential



(ก) Axial Velocity



(ข) Radial Velocity



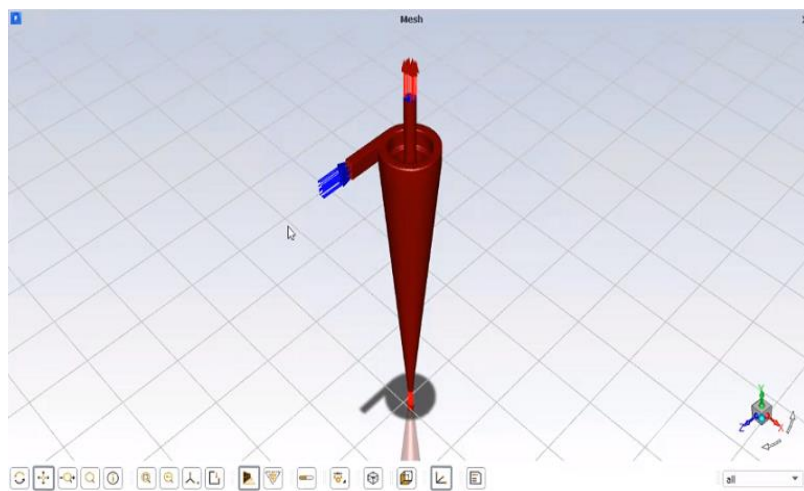
(ค) Tangential Velocity

การกระจายความเร็วของกรณีที่ 2 และ 6 ที่ความสูง 38.55 มิลลิเมตร เปรียบเทียบ (ก) Axial Velocity (ข) Radial Velocity (ค) Tangential Velocity

ภาคผนวก ข

วิธีใช้โปรแกรม ANSYS 2020 R2

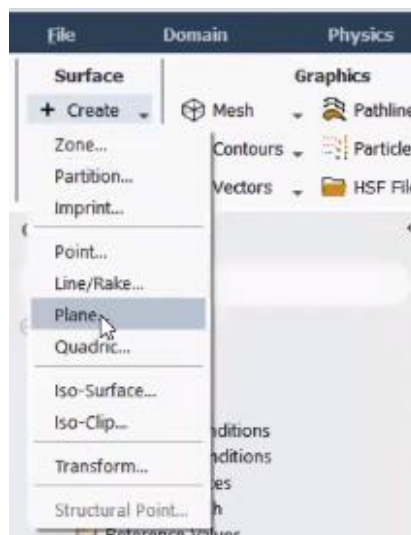
เปิดโปรแกรม และ ทำการรันผลโดยการใช้ไซโคลนขนาดความสูง 51 มิลลิเมตร



รูปภาพที่ 01 แบบจำลองไฮโดรไซโคลนที่สร้างขึ้น

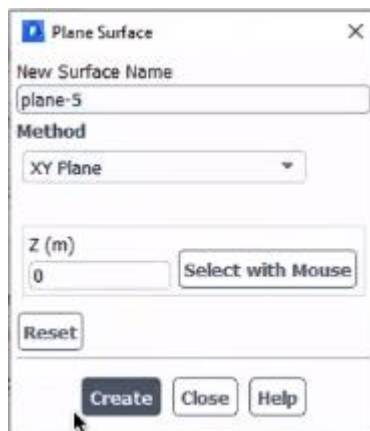
1. ค่าความดันภายในไซโคลนในรูปแบบ Contour

- 1.1 ไปที่แถบการใช้งานด้านบนแล้วเลือก Result จากนั้นเลือก Create ที่ช่อง Surface และ เลือก Plane เพื่อกำหนด Plane Surface



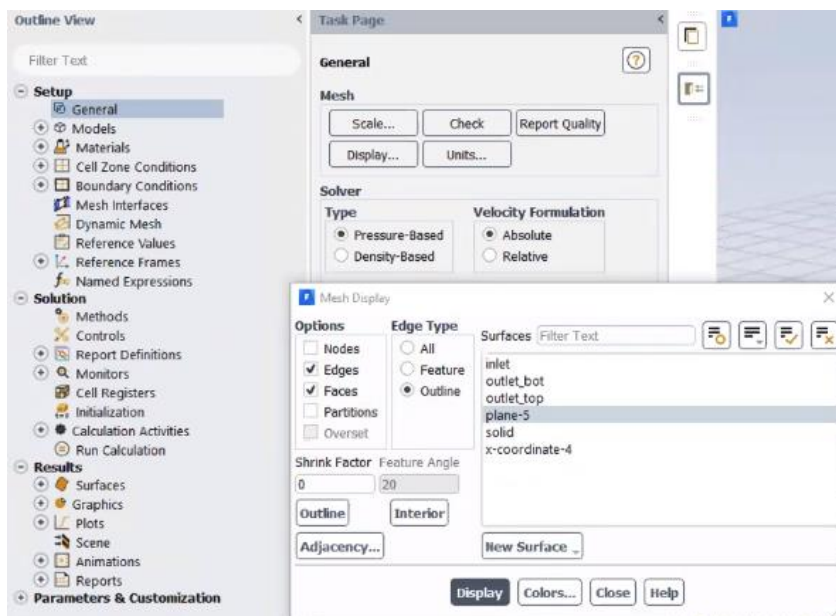
รูปภาพที่ 02 แถบเครื่องมือ Surface

1.2 ที่หน้าต่าง Plane Surface ให้ตั้งชื่อ Plane แล้วจึงกำหนดค่า Method เป็น XY Plane และ Z(m) มีค่าเป็นศูนย์ (ให้ผ่านระนาบตรงจุดกึ่งกลางของไซโคลนพอดี) แล้วกดปุ่ม Create และ กด Close



รูปภาพที่ 03 หน้าต่างการตั้งค่าข้อมูล Plane Surface

1.3 สร้างระนาบสำหรับการ Contour ไปที่ Set up ที่แถบเครื่องมือด้านซ้าย เข้าไปที่ General แล้วกด Display แล้วเลือก Surface แคชื่อ Plane ที่ได้ตั้งไว้แล้ว โดยการตั้งค่าดังนี้



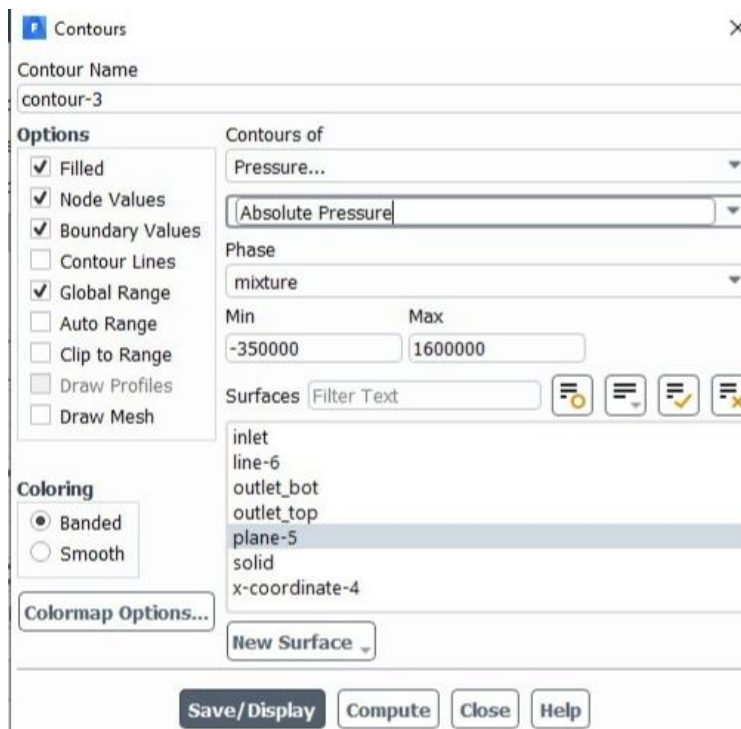
รูปภาพที่ 04 หน้าต่างการตั้งค่าข้อมูล Mesh Display

- 1.4 นำข้อมูลที่ต้องการรันผลเข้ามาในโปรแกรม โดยการเลือก File> Import> Data จากนั้นให้เลือกไฟล์ที่ต้องการใช้งาน เมื่อโปรแกรมโหลดข้อมูลเสร็จแล้ว จะขึ้นคำว่า Done ที่แถบ Console ด้านล่าง



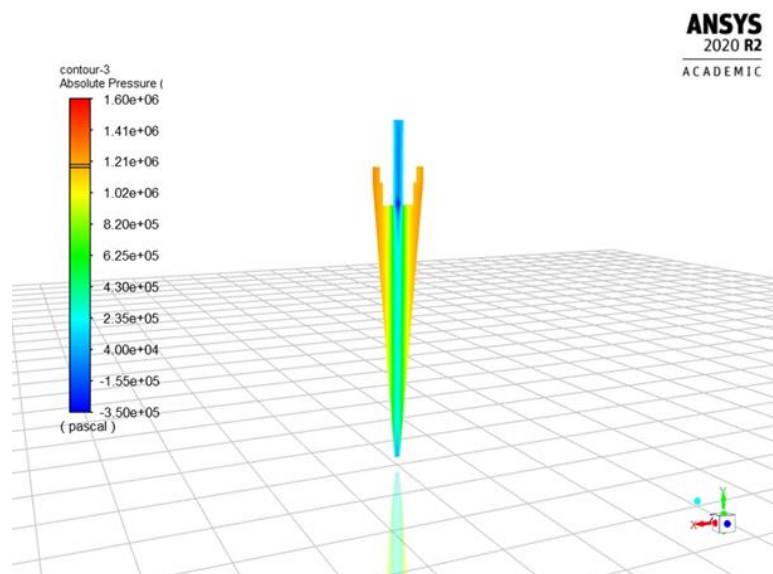
รูปภาพที่ 05 แถบเครื่องมือ File

- 1.5 ไปที่แถบ Results กดเข้าไปที่ Contours จากนั้นจึงตั้งค่าต่าง ๆ



รูปภาพที่ 06 หน้าต่างการตั้งค่าข้อมูล Contours

- 1.6 เมื่อตั้งค่าเสร็จแล้วให้กดปุ่ม Save/Display ตามรูปด้านบน จากนั้นโปรแกรม จะทำการรันผลออกมาเป็นรูปแบบ Contour ที่มีลักษณะดังนี้



รูปภาพที่ 07 ภาพแสดงค่าความดันภายในไฮดรอลิโคลนในรูปแบบ contour

- 1.7 ทำการ Save รูปภาพไว้เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับผลการรันผลในครั้งอื่น

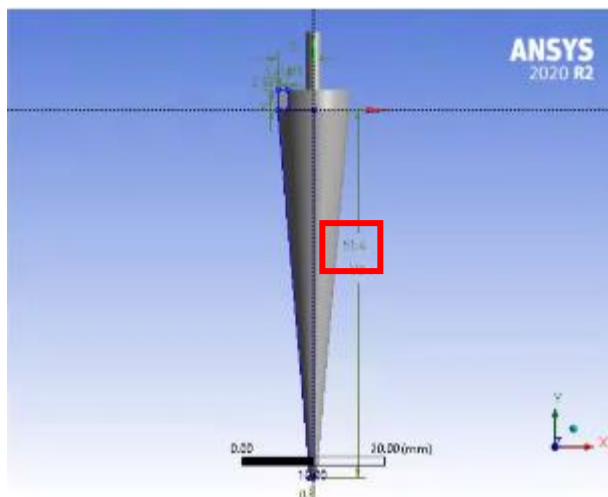
2. ค่าความเร็วที่ความสูงทั้ง 3 ตำแหน่งของไฮโคลน

- 2.1 ไปที่แถบการใช้งานด้านบนแล้วเลือก Result จากนั้นเลือก Create ที่ช่อง Surface และ เลือก Line/Rake

- 2.2 ไปที่ Set up> General> Scale เพื่อทราบข้อมูลแกน x, y และ z ที่ค่าสูงสุด และ ต่ำสุด ของไฮโคลนที่เราเลือกใช้

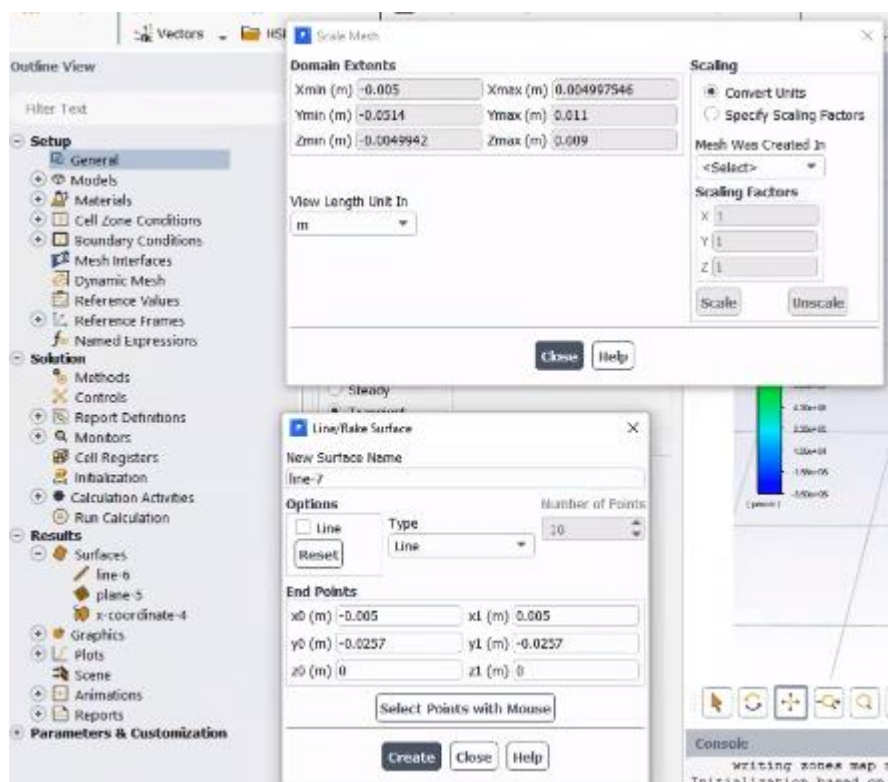
- 2.3 X0 ให้ตั้งค่าในช่วงที่ครอบคลุม ค่า Xmax และ Xmin

Y0 ให้ตั้งค่าตามตำแหน่งที่ต้องการหาค่าความเร็ว ซึ่งความสูงแรกที่ต้องการคือ จุดกึ่งกลางของความสูงไฮโคลน ส่วน Z0 ให้ตั้งค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด เมื่อตั้งค่า แล้วให้กด Create



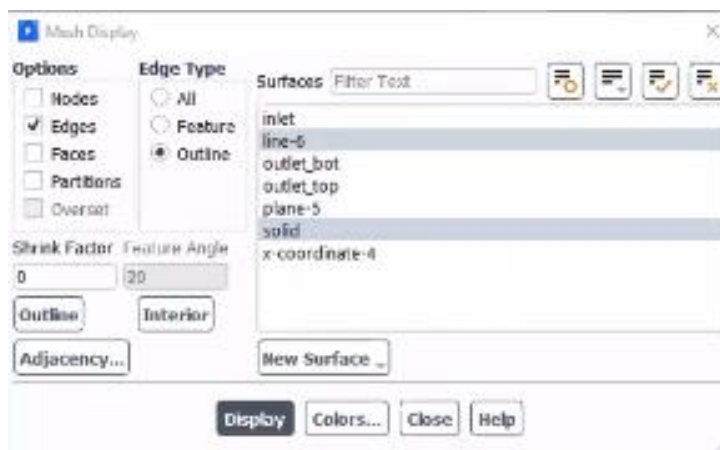
รูปภาพที่ 08 ภาพแสดงความสูงของไฮโดรโซโคลน

(ความสูงไฮโดรโซโคลนที่ใช้ คือ 51.4 มิลลิเมตร ดังนั้นที่ Y0 จะมีความสูง 25.7 มิลลิเมตร)



รูปภาพที่ 09 หน้าต่างการตั้งค่าข้อมูล Scale Mesh และ Line/Rake Surface

2.4 ไปที่ Set up> General> Display จากนั้นให้ตั้งค่าดังนี้



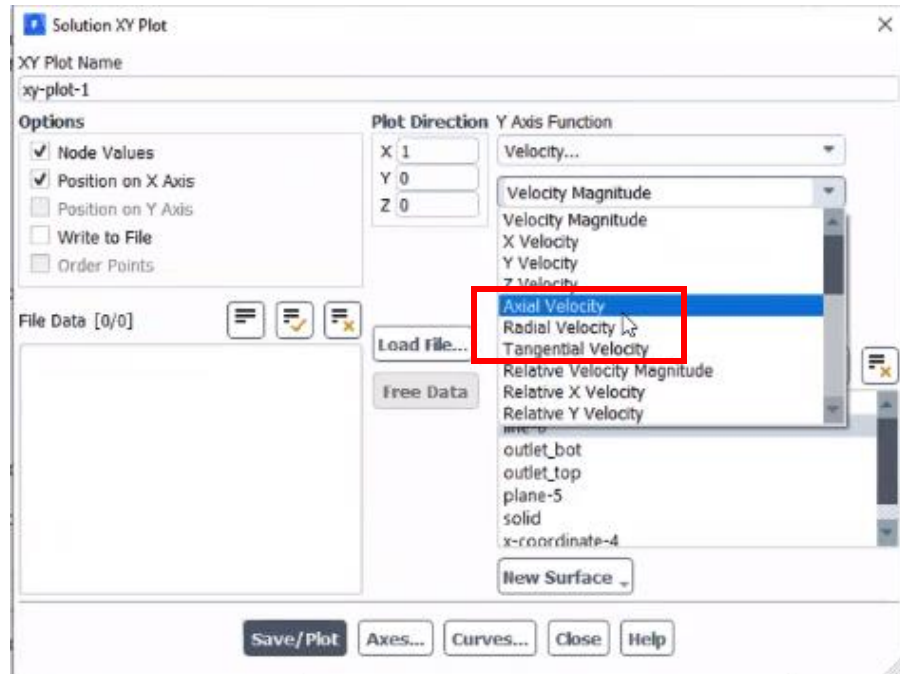
รูปภาพที่ 010 หน้าต่างการตั้งค่าข้อมูล Mesh Display

2.5 ไปที่ Setup> Fluid >กดเข้าไปที่ fluid แล้วตั้งค่าดังนี้

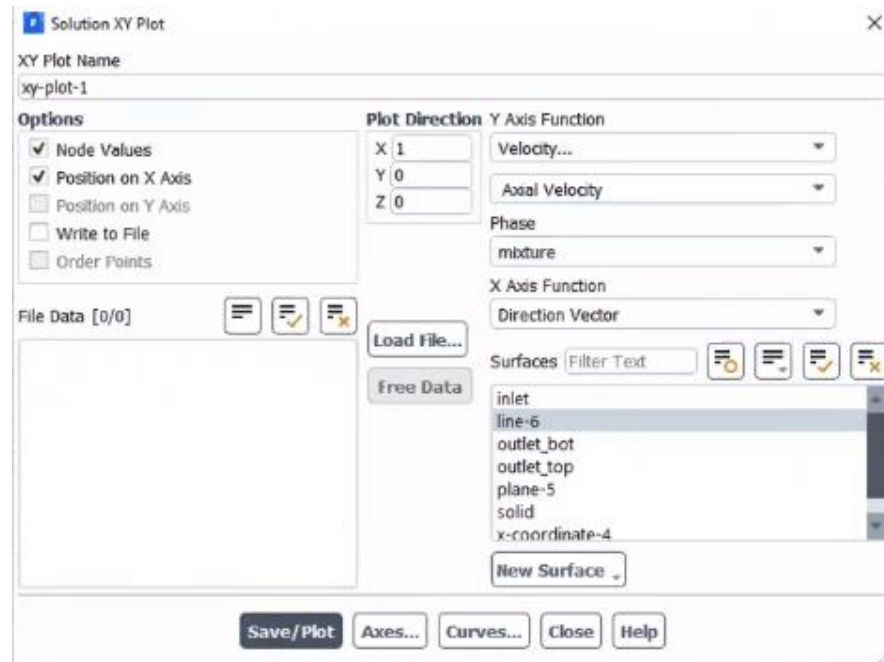


รูปภาพที่ 011 หน้าต่างการตั้งค่าข้อมูล Fluid

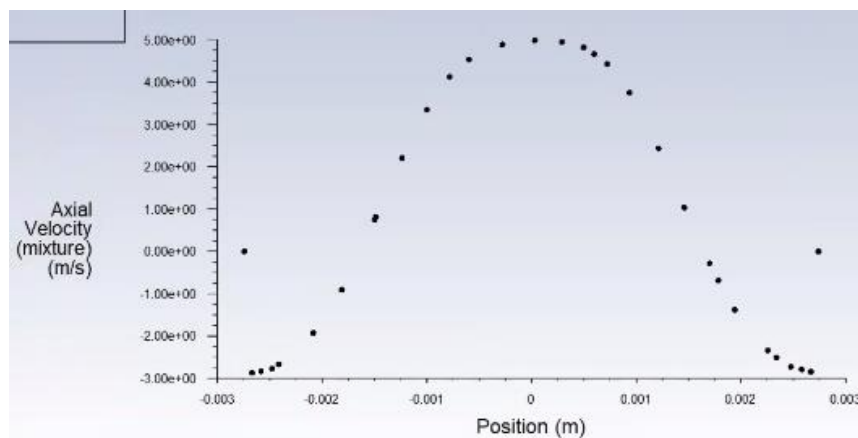
2.6 ทำการสร้างกราฟค่าความเร็ว โดยการเลือก Results> Plot> XY Plot เมื่อขึ้นหน้าต่างใหม่ให้เลือกค่าความเร็วที่ต้องการรันผลในแต่ละครั้ง จากนั้นกด Save/Plot และ โปรแกรมจะสร้างเป็นกราฟข้อมูลมาให้



รูปภาพที่ 012 ภาพแสดงการตั้งค่าข้อมูลเพื่อรันผลจากหน้าต่าง Solution XY Plot



รูปภาพที่ 013 ภาพแสดงการตั้งค่ารูปแบบการแสดงผลจากหน้าต่าง Solution XY Plot



รูปภาพที่ 014 ภาพแสดงการแจกแจงค่าความเร็วตามแนวแกนภายในไฮโดรไซโคลอน

2.7 บันทึกกราฟโดยการกด Write to File ที่หน้าต่าง Solution XY Plot แล้วกดปุ่ม Write จากนั้นให้ตั้งชื่อไฟล์เพื่อบันทึกกราฟ

2.8 รันผลค่าความเร็วอีก 2 ตำแหน่ง ทั้ง 3 ค่าความเร็ว โดยใช้วิธีการเดิม