

การลดชิ้นงานปนเปื้อนอนุภาคโลหะในกระบวนการผลิต HGA  
ด้วยวิธีการตรวจจับอนุภาคปนเปื้อน  
METAL-CONTAMINATED WORK MINIMIZATION IN HGA  
MANUFACTURING PROCESS BY USING PARTICLE CONTAMINANT  
DETECTION



รายงานสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต  
วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การลดชิ้นงานปนเปื้อนอนุภาคโลหะในกระบวนการผลิต HGA

ด้วยวิธีการตรวจจับอนุภาคปนเปื้อน

METAL-CONTAMINATED WORK MINIMIZATION IN HGA

MANUFACTURING PROCESS BY USING PARTICLE CONTAMINANT

DETECTION



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **147901**  
วันเดือนปี **16 ต.ค. 2560**

b. 10862538  
i. ....

รายงานสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

METAL-CONTAMINATED WORK MINIMIZATION  
IN HGA MANUFACTURING PROCESS BY USING PARTICLE  
CONTAMINANT DETECTION



A CO-OPERATIVE REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MANUFACTURING SYSTEM ENGINEERING  
COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 สิงหาคม 2559

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมระบบการผลิต (ดร.วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรร)

ตามที่ข้าพเจ้า นางสาว วรรณพร สุขสุกาญจน นักศึกษาภาควิชา วิศวกรรมระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ไป ปฏิบัติงานสหกิจศึกษา (12026603) ระหว่างวันที่ 9 สิงหาคม 2559 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน 2559 ในตำแหน่งนักศึกษาฝึกงาน ณ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และได้รับมอบหมาย จากพนักงานที่ปรึกษา (Job Supervisor) ให้นักศึกษาทำรายงาน เรื่อง การลดชิ้นงานปนเปื้อน อนุภาคโลหะในกระบวนการผลิต HGA ด้วยวิธีการตรวจจับอนุภาคปนเปื้อน (Metal-Contaminated Work Minimization in HGA Manufacturing Process By Using Particle Contaminant Detection)

บัดนี้ การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดลงแล้ว ข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมนี้ จำนวน 1 เล่ม เพื่อขอรับคำปรึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

(นางสาว วรรณพร สุขสุกาญจน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา

การลดชิ้นงานปนเปื้อนอนุภาคโลหะในกระบวนการผลิต HGA  
ด้วยวิธีการตรวจจับอนุภาคปนเปื้อน  
Metal-Contaminated Work Minimization In HGA  
Manufacturing Process By Using Particle  
Contaminant Detection

นักศึกษา

นางสาววรรณพร สุขสุกาญจน

รหัสนักศึกษา

56120030

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมระบบการผลิต

พ.ศ.

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรรค์

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้สหกิจศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ประจำปี  
การศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรรค์	วิไล
ผศ.ดร. จตุพร ทองศรี	จตุพร
ดร.สันหัตถ์ ชูวงศ์อินทร์	Santhana
นางสาว ศิริภรณ์ เทพารักษ์	ศิริภรณ์
นาย กิตติภักดิ์ ลิขิตวานิช	กิตติภักดิ์ ลิขิตวานิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การลดชิ้นงานปนเปื้อนอนุภาคโลหะในกระบวนการผลิต HGA ด้วยวิธีการตรวจจับอนุภาคปนเปื้อน
นักศึกษา	นางสาววรรณพร สุขสุกาญจน
รหัสนักศึกษา	56120030
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบการผลิต
พ.ศ.	2559
อาจารย์นิเทศ	ดร.วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรร
ผู้นิเทศงาน	นางสาวศิริภรณ์ เทพารักษ์, นายกิตติภูมิ ลิขิตวานิช
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

### บทคัดย่อ

บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัท ที่ประกอบธุรกิจผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และพัฒนาทางเลือกสำหรับการจัดเก็บข้อมูลในแบบอื่นๆ จากการเข้าปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษาที่บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และได้ทำการศึกษากระบวนการผลิต HGA พบว่า ในกระบวนการผลิต HGA มีปัญหาด้านการปนเปื้อนเศษโลหะบนชิ้นงาน จึงมีการคิดค้นวิธีการเพื่อตรวจจับสิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเพื่อลดการเกิดชิ้นงานปนเปื้อนขึ้น โดยการปฏิบัติงานในครั้งนี้นำออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนที่ 1 คือการออกแบบและการจำลองการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรโดยอาศัยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณภายใต้เงื่อนไขจริงของกระบวนการผลิต เพื่อที่จะศึกษาผลกระทบของการไหลเวียนของอากาศภายในเครื่องจักรที่มีต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคปนเปื้อน ภายหลังทราบรูปแบบและทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคปนเปื้อนจากผลการจำลองแล้ว จะนำไปสู่การศึกษาในส่วนที่ 2 คือ การติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคปนเปื้อนในตำแหน่งที่เหมาะสมที่ได้จากผลการจำลองในส่วนที่ 1 โดยก่อนทำการติดตั้งจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของความเร็วอากาศจากการจำลองเปรียบเทียบกับค่าความเร็วอากาศที่สามารถวัดได้จริงขณะเครื่องจักรทำงานในกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการตรวจสอบและยืนยันผลความถูกต้องของผลการจำลอง จากการศึกษาและการปฏิบัติการดังกล่าวข้างต้นสามารถนำผลที่ได้จากรายงานวิจัยนี้ไปพัฒนาเป็นระบบการแจ้งเตือนหรือระบบสั่งหยุดการทำงานแบบอัตโนมัติเมื่อเกิดอนุภาคปนเปื้อนขึ้นภายในเครื่องจักร เพื่อช่วยลดการเกิดปริมาณชิ้นงานที่ปนเปื้อนได้

**คำสำคัญ :** การจำลอง ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

<b>Thesis Title</b>	Metal-Contaminated Work Minimization in HGA Manufacturing Process By Using Particle Contaminant Detection
<b>Student</b>	Miss Warnnaphorn Suksuganjana
<b>Student ID</b>	56120030
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Manufacturing System Engineering
<b>Year</b>	2016
<b>Advisor</b>	Dr. Vilailuck Siriwongrungson
<b>Mentor</b>	Miss Siriporn Teparak, Mr. Kittipat Likitvanit
<b>Company</b>	Seagate Technology (Thailand) Ltd.

## ABSTRACT

Seagate Technology (Thailand) Ltd. is the global leader in data storage solutions. Regarding Co-operative Education Program, the study found that the metal-contamination is the major defect in HGA manufacturing process. Thus this issue had become the main interest of this study. The purpose of this study is to minimize the amount of metal-contaminated works by using metal contaminant detection approach. The operation was divided into two parts, the first part is to design and generate simulation of air flow inside the machine by using Computational Fluid Dynamics (CFD) under the actual condition of the production process to study the effects of air flow to the track of particles inside the machine. In order to validate the result and verify the accuracy before the implementation in second part, the simulated result of air-velocity will be compared to measured result of air-velocity in actual state of machine working. The second part of the study, a particle detector will be installed inside the machine after being informed the right position and direction where particle detector can effectively detect the metal contaminant from the simulation model. The result of this study will provide beneficial information for fast triggering system or auto-shutdown system development to minimize metal-contaminated work in the future.

**Keywords :** Simulation , Particle tracking , Computational Fluid Dynamics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ||้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การที่ข้าพเจ้าได้มาปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ณ บริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ตั้งแต่วันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559 ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ที่มีค่ามากมาย สำหรับรายงานวิชาสหกิจศึกษาฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1. คุณศิริภรณ์    | เทพารักษ์         |
| 2. คุณกิตติภักดิ์ | ลิขิตวานิช        |
| 3. คุณบริพัตร     | นาคนวล            |
| 4. คุณธีรวิทย์    | โพธิ์รังสียากรณ์  |
| 5. คุณรพีภัทร์    | วีระชาติพิทักษ์ชน |
| 6. คุณเอกพจน์     | สุเมธิรกุล        |
| 7. คุณสุขสันต์    | พั่วพันเกษม       |
| 8. คุณสุรศักดิ์   | ฟ้าเพิ่มพร        |
| 9. คุณนิรชน       | เงินทอง           |
| 10. คุณวิไลลักษณ์ | ศิริวงศ์รังสรร    |

และบุคลากรท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วม ในการให้ข้อมูลเป็นที่ปรึกษา ในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแล และให้ความเข้าใจเกี่ยวกับชีวิตของการทำงานจริง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

วรรณพร สุขสุภาภรณ์

ผู้จัดทำรายงาน

30 พฤศจิกายน 2559

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 รายละเอียดสถานประกอบการ	1
1.2 ความรู้ที่จำเป็นต่อการดำเนินงาน	2
1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินงาน	5
1.4 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน	5
1.5 ขอบเขตของการดำเนินงาน	5
1.6 ตารางเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.8 โครงสร้างของรายงานสหกิจ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 การจำลอง (Simulation)	9
2.2 Computational Fluid Dynamics	9
2.3 Finite Element Method	10
2.4 Finite Volume Method	10
2.5 พื้นฐานกลศาสตร์ของไหล	11
2.6 สมการที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหล	12
2.7 วิธีการเมช (Meshing Methods)	14
2.8 การตั้งค่าการเมช (Mesh Controls)	17
2.9 การตั้งค่าตัวคำนวณปัญหา (Solver Setting)	24
2.10 Discrete Phase Model (DPM)	24
2.11 ความคลาดเคลื่อน (Error)	33
2.12 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	35
3.1 ศึกษากระบวนการผลิตและการเกิดการปนเปื้อนในกระบวนการผลิต	35
3.2 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต	36
3.3 การออกแบบวิธีการแก้ไข้ปัญหา	36
3.4 การศึกษาแนวทางการแก้ไข้ปัญหา	37
3.5 การสร้างแบบจำลองปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร	38
3.6 การดำเนินการการจำลองปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร	40
3.7 การจำลองการเกิดอนุภาคปนเปื้อนในเครื่องจักร	45
3.8 การเปลี่ยนเงื่อนไขแบบจำลองปัญหาเพื่อศึกษาถึงผลกระทบเพิ่มเติม	46
3.9 การติดตั้งอุปกรณ์จริงในเครื่องจักรตามผลที่ได้จากการจำลองปัญหา	47
3.10 การตรวจสอบสมมติฐานภายหลังการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคในเครื่องจักร	49
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	50
4.1 ผลลัพธ์จากการจำลองปัญหา	50
4.2 ผลลัพธ์จากการดำเนินการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคภายในเครื่องจักร	61
4.3 ผลการยืนยันสมมติฐาน	62
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	64
5.1 สรุปผลการวิจัย	64
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	65
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	66
<b>บรรณานุกรม</b>	67

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงจำนวนอนุภาคในคลาสต่างๆของห้องสะอาด	3
1.2 ตารางแสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน	6
2.1 แสดงค่า Orthogonal Quality	22
2.2 แสดงค่า Skewness	23
3.1 แสดงตารางเปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าที่วัดได้จริง	45
4.1 แสดงค่าจำนวนความสามารถในการกำจัดอนุภาคที่ความเร็วต่างกัน	59
4.2 แสดงค่าจำนวนอนุภาคที่ความเร็ว 5400 รอบต่อนาที	59
4.3 แสดงค่าจำนวนอนุภาคที่ความเร็ว 7200 รอบต่อนาที	60
4.4 แสดงค่าจำนวนอนุภาคที่ความเร็ว 10500 รอบต่อนาที	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **VI** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงป้ายบริษัท	1
1.2 แสดงภายในบริษัทซีเกท	1
1.3 แสดง สไลเดอร์	2
1.4 แสดง ABS	2
1.5 แสดงตัวอย่างการเกิดสิ่งปนเปื้อนทั่วไปบนหน้า ABS	4
1.6 แสดงตัวอย่างการเกิดสิ่งปนเปื้อนชนิดโลหะบนหน้า ABS	4
2.1 แสดงระเบียบวิธีการทางไฟไนต์โวลุ่ม	11
2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนและอัตราการเสียรูปของของไหลนิวโตเนียน	11
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนและอัตราการเสียรูปของของไหลนอนนิวโตเนียน	11
2.4 แสดงความต่อเนื่องของการไหลทั้งสามประเภท	12
2.5 แสดงรูปแบบการเมฆแบบต่างๆ	14
2.6 แสดงรูปแบบการเมฆที่แตกต่างกัน	14
2.7 แสดงการเมฆแบบ Patch Conforming และ Patch Independent	15
2.8 แสดงการเปรียบเทียบการเมฆทั้งแบบ ทรงสี่หน้า และแบบ ทรงหกหน้า	16
2.9 แสดงตัวอย่างการเมฆแบบSweep	16
2.10 แสดงแบบจำลองที่สามารถเมฆแบบSweepได้	16
2.11 แสดงการเมฆแบบ Multizone	17
2.12 แสดงการเมฆแบบทั่วไปในสองมิติ	17
2.13 แสดงการเมฆแบบการใช้ ASF Curvature	18
2.14 แสดงการเมฆแบบการใช้ ASF Proximity	18
2.15 แสดงค่า Min Size Max Face Size Max Size	19
2.16 แสดง Growth Rate 1.1	19
2.17 แสดง Growth Rate 1.2	19
2.18 แสดง Growth Rate 1.3	19
2.19 แสดงการเปรียบเทียบผลของการเมฆระหว่าง transition แบบ slow และ fast	20
2.20 แสดง Coarse ตั้งแต่ 91° ถึง 60°	20
2.21 แสดง Medium ตั้งแต่ 75° ถึง 24°	20
2.22 แสดง Fine ตั้งแต่ 36° ถึง 12°	21
2.23 แสดงการเมฆด้วยขนาดขององค์ประกอบขนาด 60 มิลลิเมตร	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.24 แสดงการเมซด้วยจำนวนขององค์ประกอบจำนวนเท่ากับ 10	21
2.25 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแบบ Soft และแบบ Hard	22
2.26 แสดงประกอบคำอธิบายการหาค่า Orthogonal Quality	23
2.27 ภาพประกอบคำอธิบายทฤษฎีส่วนเบี่ยงเบนมุมปกติ	24
2.28 แสดงแผนผังแสดงตัวคำนวณปัญหา	25
2.29 แสดงกราฟเปรียบเทียบการแก้ปัญหาแบบ Simple และ Coupled	26
2.30 แสดงกระบวนการเริ่มต้นแบบ Hybrid initialization	27
2.31 แสดงกระบวนการเริ่มต้นแบบ FMG initialization	28
2.32 แสดงกระบวนการเริ่มต้นแบบ Standard initialization	28
2.33 แสดงกราฟตัวอย่างการลู่เข้าสู่ค่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้	29
2.34 แสดงกราฟตัวอย่างผลการคำนวณที่ไม่ลู่เข้าสู่ค่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้	29
2.35 แสดงการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนในกรอบสามมิติ	32
2.36 แสดงระดับความต่างของความเร็วที่กระทำต่ออนุภาค	32
3.1 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรแบบเต็มเครื่อง	38
3.2 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรแบบเฉพาะส่วน	39
3.3 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรก่อนและภายหลังการปรับลดความซับซ้อน	39
3.4 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องจักร	39
3.5 แสดงลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องจักร	40
3.1 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรแบบเต็มเครื่อง	38
3.2 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรแบบเฉพาะส่วน	39
3.3 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรก่อนและภายหลังการปรับลดความซับซ้อน	39
3.4 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องจักร	39
3.5 แสดงลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องจักร	40
3.6 แสดงการเมซของแบบจำลอง	41
3.7 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างการทำงานของเครื่องจักร	42
3.8 ขณะปฏิบัติการวัดความเร็วของอากาศขณะเครื่องจักรทำงาน	43
3.9 แสดงระนาบการวัดความเร็วของอากาศ	44
3.10 แสดงตำแหน่งการตรวจสอบผลของความเร็วของอากาศ	44
3.11 กราฟแสดงค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากผลการคำนวณ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.12 แสดงเครื่องวัดอนุภาคปนเปื้อน	46
3.13 แสดงภาพมุมมองแสดงตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาค	47
3.14 แสดงโพรบ	48
3.15 แสดงท่อที่ใช้ต่อกับโพรบ	48
3.16 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในเครื่องจักร	48
3.17 แสดงตำแหน่งของเครื่องตรวจจับอนุภาคนอกเครื่องจักร	49
4.1 แสดงเส้นกระแสรadiation ที่ตามเข็มนาฬิกาในมุมมองด้านหน้าของเครื่องจักร	50
4.2 แสดงเส้นกระแสรadiation ที่ทวนเข็มนาฬิกาในมุมมองด้านหน้าของเครื่องจักร	50
4.3 แสดงเส้นกระแสรadiation ที่ตามเข็มนาฬิกาในมุมมองด้านข้างของเครื่องจักร	51
4.4 แสดงเส้นกระแสรadiation ที่ทวนเข็มนาฬิกาในมุมมองด้านข้างของเครื่องจักร	51
4.5 แสดงความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของล้อบันทึกรadiation ที่ตามเข็มนาฬิกา	51
4.6 แสดงความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของล้อบันทึกรadiation ที่ทวนเข็มนาฬิกา	52
4.7 แสดงความเร็วที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆของล้อบันทึกรadiation ที่หมุนด้วยความเร็ว 7200 รอบต่อนาที	53
4.8 แสดงความเร็วที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆของล้อบันทึกรadiation ที่หมุนด้วยความเร็ว 5400 รอบต่อนาที	53
4.9 แสดงความเร็วที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆของล้อบันทึกรadiation ที่หมุนด้วยความเร็ว 10500 รอบต่อนาที	54
4.10 แสดงเวกเตอร์radiation ที่ตามเข็มนาฬิกา	54
4.11 แสดงเวกเตอร์ความเร็วการหมุนที่ทวนเข็มนาฬิกา	54
4.12 แสดงความเร็วบริเวณทางออกของอากาศกรณีสล้อบันทึกรadiation ที่ตามเข็มนาฬิกา	55
4.13 แสดงความเร็วบริเวณทางออกของอากาศกรณีสล้อบันทึกรadiation ที่ทวนเข็มนาฬิกา	55
4.14 แสดงความเร็วบริเวณทางออกของอากาศกรณีสล้อบันทึกรadiation ที่ตามเข็มนาฬิกา	55
4.15 แสดงความเร็วบริเวณทางออกของอากาศกรณีสล้อบันทึกรadiation ที่ทวนเข็มนาฬิกา	55
4.16 แสดงความเร็วบริเวณช่องว่างระหว่างฝาครอบและล้อบันทึกรadiation	56
4.17 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคปนเปื้อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสล้อบันทึกรadiation ที่ตามเข็มนาฬิกา	56
4.18 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคปนเปื้อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสล้อบันทึกรadiation ที่ทวนเข็มนาฬิกา	56
4.19 แสดงการเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคปนเปื้อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสล้อบันทึกรadiation ที่ตามเข็มนาฬิกา	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IX ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.20 แสดงการเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคบนเบื่อนอยู่ในเครื่องจักร กรณีสื่อบันทึกหมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา	57
4.21 แสดงการจำลองเวลาที่อนุภาคบนเบื่อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสื่อบันทึกหมุนทิศตามเข็ม	57
4.22 แสดงการจำลองเวลาที่อนุภาคบนเบื่อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสื่อบันทึกหมุนทิศทวนเข็ม	57
4.23 แสดงพื้นที่บริเวณฝาครอบสื่อบันทึก	58
4.24 รูปแสดงพื้นที่บริเวณใต้ฐานมอเตอร์แกนหมุน	58
4.25 แสดงการพื้นที่ใต้ฐานรองใหญ่	58
4.26 แสดงพื้นที่ส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่ HGA	58
4.27 แสดงพื้นที่ฐานรองส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่ HGA	59
4.28 กราฟแสดงปริมาณของอนุภาคบนเบื่อนที่เคลื่อนที่ไปตามบริเวณต่างๆในเครื่องจักร	60
4.29 แสดงจำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้นขณะเครื่องจักรไม่เกิดอนุภาคบนเบื่อน	61
4.30 แสดงจำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้นขณะเครื่องจักรเกิดอนุภาคบนเบื่อน	61
4.31 แสดงสื่อบันทึกที่ใช้ในช่วงเวลาที่ไม่เกิดอนุภาคบนเบื่อนขึ้น	62
4.32 แสดงสื่อบันทึกที่ใช้ในช่วงเวลาที่เกิดอนุภาคบนเบื่อนขึ้น	63

# บทที่ 1

## บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง รายละเอียดของสถานประกอบการ ความรู้ที่จำเป็นต่อการดำเนินงาน ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินงาน วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน ขอบเขตของการดำเนินงาน ตารางระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และโครงสร้างของสหกิจศึกษา

### 1.1 รายละเอียดของสถานประกอบการ

บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด เป็นผู้นำตลาดโลกในด้านเทคโนโลยี การออกแบบผลิตภัณฑ์ และด้านกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และทางเลือกสำหรับการจัดเก็บข้อมูลในแบบอื่นๆ ซึ่งมีความเหมาะสมกับเครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบปฏิบัติการต่างๆ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ รวมถึงเป็นศูนย์ข้อมูลซึ่งทำหน้าที่จัดเก็บและจัดส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายภายในองค์กรต่างๆ

#### 1.1.1 ประวัติของสถานประกอบการ

บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ก่อตั้งขึ้นเพื่อทำการผลิตและส่งออก ส่วนประกอบชิ้นต้นและชิ้นสุดท้ายของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยมี สำนักงานดำเนินการบริหารและการผลิตที่อาคารต่างๆ ใน ทั้งนี้ โรงงานผลิตในประเทศไทยมี 2 แห่ง คือ โรงงานสาขาเทพารักษ์ จ. สมุทรปราการ ก่อตั้งเมื่อเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2532 บนเนื้อที่ 45 ไร่ เป็น โรงงานผลิตชิ้นส่วนบางขั้นตอนที่เกี่ยวกับหัวบันทึกและอ่านข้อมูลเป็นหลัก จะผลิตเฉพาะ HGA (Head Gimbal Assembly) โรงงานสาขาโคราช จ.นครราชสีมา ก่อตั้งเมื่อเดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2539 เป็นโรงงาน ประกอบฮาร์ดดิสก์ และเป็นโรงงานเดียวในอุตสาหกรรมนี้ที่มีกระบวนการผลิตตั้งแต่ชิ้นต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้าย



ภาพที่ 1.1 แสดงป้ายบริษัท



ภาพที่ 1.2 แสดงภายในบริษัทซีเกท

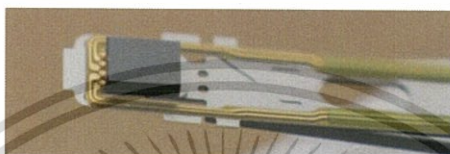
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความรู้ที่จำเป็นต่อการดำเนินงาน

ความรู้ที่จำเป็นต่อการดำเนินงาน มีดังต่อไปนี้

### 1.2.1 สไลเดอร์ (Slider)

ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ อลูมินา (Alumina) และ ซับสเตรต (Substrate) โดยนำส่วนอลูมินาไปประกอบให้อยู่บนซับสเตรตจะได้เป็นสไลเดอร์ซึ่งบนสไลเดอร์จะมีหัวอ่านและหัวเขียนทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูลอยู่ด้วย



ภาพที่ 1.3 แสดง สไลเดอร์

### 1.2.2 ABS (Air Bearing Surface)

เป็นส่วนประกอบที่อยู่บนหน้า สไลเดอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวพยุงสไลเดอร์เพื่อให้หัวอ่านและหัวเขียนสามารถบันทึกข้อมูลหรืออ่านข้อมูลบนสื่อบันทึก (Media) ได้



ภาพที่ 1.4 แสดง ABS

### 1.2.3 TGA (Trace Gimbal Assembly)

หมายถึง ส่วนที่ทำหน้าที่รองรับสไลเดอร์และเชื่อมต่อกับเส้นไฟเล็กๆ ผลิตมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) โดยรับมาจากผู้ผลิต TGA อีกทีโดยชนิดของ TGA ที่ใช้จะมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์

### 1.2.4 HGA (Head Gimbal Assembly)

หมายถึงการนำสไลเดอร์ที่ประกอบด้วยหัวอ่านและหัวเขียนซึ่งทำหน้าที่อ่านและบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กับ TGA มาประกอบรวมกัน จะได้เป็น HGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.5 HSA (Head Stack Assembly)

คือการนำ HGA มาประกอบเข้ากับลวดสายไฟและซ้อนกันให้เป็นชั้นๆขึ้นไปจะได้ HSA โดยที่ลวดสายไฟนั้นจะต่อเข้ากับมอเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้ HSA ไปยังตำแหน่งที่จะบันทึกข้อมูลในสื่อบันทึก

### 1.2.6 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive)

คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทหนึ่ง ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆของคอมพิวเตอร์ โดยประกอบด้วย HSA และ สื่อบันทึกที่ทำหน้าที่บันทึกข้อมูล

### 1.2.7 ห้องสะอาด (Cleanroom)

คือ ห้องที่มีระบบอากาศแบบพิเศษ เพื่อควบคุมปริมาณฝุ่นในอากาศไม่ให้มีขนาดเกินมาตรฐานที่กำหนดโดยจะมีการกำหนดคลาส (Class) โดยดูจากเกณฑ์ของฝุ่นที่มีขนาด 0.5 ไมครอนขึ้นไป ในอากาศปริมาตร 1 ลูกบาศก์ฟุต โดยแบ่งระดับความสะอาดของห้องตามคลาสได้เป็น คลาส 1000, คลาส 100 และ คลาส 10

CLASS	MEASURED PARTICLE SIZE (MICROMETERS)				
	0.1	0.2	0.3	0.5	5.0
1	35	7.5	3	1	NA
10	350	75	30	10	NA
100	NA	750	300	100	NA
1,000	NA	NA	NA	1,000	7
10,000	NA	NA	NA	10,000	70
100,000	NA	NA	NA	100,000	700

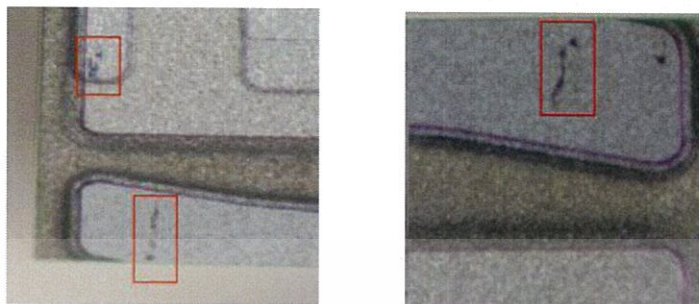
ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนอนุภาคในคลาสต่างๆของห้องสะอาด

### 1.2.8 การปนเปื้อน (Contamination)

เกิดได้จาก อนุภาค หรือ โมเลกุลต่างๆ ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อมในห้องสะอาด โดยก่อให้เกิดผลเสียต่อการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องจักรซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในห้องสะอาด โดยการปนเปื้อนนี้นั้นมีหลายประเภท อาจแบ่งได้ตามลักษณะของการปนเปื้อนนั้นหรือตามลักษณะการเกิดของการปนเปื้อน โดยในส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการปนเปื้อน ที่เกี่ยวข้องกับรายงานสหกิจนี้ ซึ่งประกอบด้วย

### 1.2.8.1 สิ่งปนเปื้อนทั่วไปบนหน้า ABS

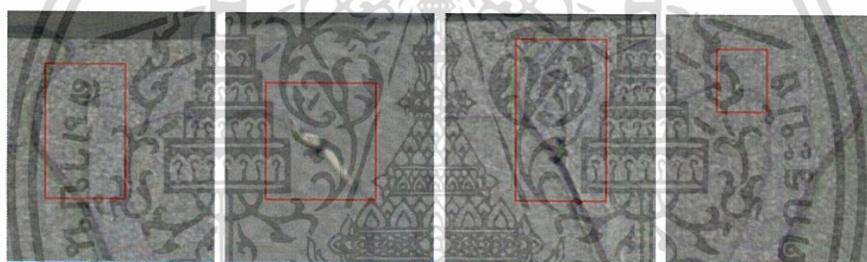
เป็นสิ่งปนเปื้อนในลักษณะของกลุ่มฝุ่นละอองหรืออนุภาคขนาดเล็กทั่วไปที่พบได้ในห้องสะอาด



ภาพที่ 1.5 แสดงตัวอย่างการเกิดสิ่งปนเปื้อนทั่วไปบนหน้า ABS

### 1.2.8.2 สิ่งปนเปื้อนชนิดโลหะ (Metal) บนหน้า ABS

เป็นสิ่งปนเปื้อนที่มีลักษณะเป็นเศษเสี้ยวจากโลหะ มีหลายขนาด มีลักษณะมันวาวและสะท้อนแสง



ภาพที่ 1.6 แสดงตัวอย่างการเกิดสิ่งปนเปื้อนชนิดโลหะบนหน้า ABS

### 1.2.9 การจำลอง (Simulation)

คือ การจำลองสถานการณ์ เป็นการรวบรวมวิธีการต่างๆ ที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่างๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เข้ามาช่วยเพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยมีการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต เนื่องจากการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้จนกว่าจะมองเห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับ ในปัจจุบันนี้การจำลองเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้การจำลองสถานการณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิ เช่น อุตสาหกรรมในโรงงาน การขนส่ง การกระจายสินค้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินงาน

จากการศึกษาข้อมูลการผลิต HGA พบว่าปัญหาการปนเปื้อนของ HGA บนบริเวณหน้า ABS นั้นเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และสิ่งปนเปื้อนที่สามารถตรวจพบได้มากที่สุด พบว่าเป็นสิ่งปนเปื้อนชนิดโลหะ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเกิดมาจากเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งในระหว่างกระบวนการผลิต HGA ในสายการผลิต นอกจากนี้ในรายงานข้อมูลการผลิตยังบ่งบอกอีกว่าปัญหาดังกล่าว ส่งผลต่อค่าของประสิทธิภาพการผลิตและคุณภาพในการผลิต จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการคิดค้นหาวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต HGA โดยการตรวจจับอนุภาคโลหะที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนบนหน้า ABS ในระหว่างกระบวนการผลิต HGA เมื่อสามารถตรวจจับอนุภาคปนเปื้อนดังกล่าวในระหว่างกระบวนการผลิตได้แล้ว จึงสามารถนำผลการวิจัยที่ได้เพื่อมาหาแนวทางการพัฒนาเพื่อลดการเกิดขึ้นงานปนเปื้อนต่อไป

### 1.4 วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน

1.4.1 ลดจำนวนงานเสียที่เกิดจากอนุภาคปนเปื้อนในกระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต HGA ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.4.2 เพื่อทำการศึกษาผลกระทบจากการไหลของอากาศในเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่อทิศทางการไหลของอนุภาคที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม ANSYS 17.0 ในการจำลอง

1.4.3 เพื่อตอบสนองความต้องการขององค์กรในการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

### 1.5 ขอบเขตของการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาผลกระทบของการไหลของอากาศภายในเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่อทิศทางการไหลของอนุภาคปนเปื้อนขนาด 0.5 ไมครอน เนื่องจากเป็นขนาดของอนุภาคที่ใช้ในการกำหนดคลาสของห้องสะอาด

1.5.2 หาดำแหน่งที่เหมาะสมที่เครื่องตรวจจับอนุภาคจะสามารถตรวจจับอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3 สามารถระบุความแตกต่างของจำนวนอนุภาคที่เครื่องตรวจจับสามารถตรวจจับอนุภาคได้ขณะเกิดและไม่เกิดการปนเปื้อนขึ้นในกระบวนการผลิตเพื่อนำข้อมูลไปพัฒนาเป็นระบบการแจ้งเตือนแบบอัตโนมัติหรือระบบสั่งหยุดการทำงานอัตโนมัติ เมื่อเครื่องตรวจจับอนุภาคสามารถตรวจจับอนุภาคปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตได้

## 1.6 ตารางระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน

ลำดับ	ขั้นตอนในการดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินงาน			
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1	ศึกษากระบวนการผลิต HGA พร้อมระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต				
2	วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ พร้อมออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา				
3	ศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาและสร้างแบบจำลองปัญหาที่เกิดขึ้น				
4	ดำเนินการจำลองปัญหา				
5	ศึกษาผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหา				
6	การตรวจสอบความถูกต้องของการจำลอง				
7	ติดตั้งอุปกรณ์ในเครื่องจักรตามผลที่ได้จากการจำลอง				
8	ติดตามผลการดำเนินงาน				
9	สรุปผลการดำเนินงาน				

ตารางที่ 1.2 ตารางแสดงขั้นตอนในการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ได้เรียนรู้ขั้นตอนการทำงานและกระบวนการผลิต HGA
- 1.7.2 ได้ฝึกฝนกระบวนการคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ
- 1.7.3 ได้เรียนรู้วิธีการออกแบบการจากการใช้โปรแกรม Solidworks, Spaceclaim และได้ความรู้จากการใช้โปรแกรม ANSYS 17.0 เพื่อจำลองการทิศทางการไหลของอนุภาค
- 1.7.4 ความรู้และผลงานที่ได้จากการทำรายงานสหกิจในครั้งนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กรและตัวบุคคลได้
- 1.7.5 สามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการทำรายงานสหกิจไปพัฒนาหรือประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่นๆได้

## 1.8 โครงสร้างของรายงานสหกิจ

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึง รายละเอียดของสถานประกอบการ ความรู้ที่จำเป็นต่อการดำเนินงาน ความเป็นมาและความสำคัญของการดำเนินงาน วัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน ขอบเขตของการดำเนินงาน ตารางระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และโครงสร้างของรายงานสหกิจ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรายงานวิจัยนี้ โดยจะนำเสนอในรูปแบบหลักการและทฤษฎีของเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการทำรายงานวิจัยนี้

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ ในบทนี้จะกล่าวถึง ส่วนประกอบของรายงานวิจัยดังต่อไปนี้ กระบวนการผลิตและการเกิดการปนเปื้อนการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา การศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหา การสร้างแบบจำลองแบบเสมือนของปัญหา การดำเนินการจำลองแบบเสมือนของปัญหาเพื่อเก็บข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการ การติดตั้งอุปกรณ์ในเครื่องจักรตามการจำลองปัญหา และการตรวจสอบข้อมูล

บทที่ 4 ผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวถึง การติดตามผลการดำเนินงาน ผลการทดลอง ภายหลังจากจำลองแบบเสมือนของทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ในบทนี้จะกล่าวสรุปผลการทดลองต่างๆ ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างทำการวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดของงานวิจัย

ภาคผนวก ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยแต่ ไม่ได้อธิบายในบทก่อนหน้านี้ เช่นรายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ รายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยจะนำเสนอทฤษฎีและหลัก การที่เกี่ยวข้องกับการทำรายงานวิจัย โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

#### 2.1 การจำลอง (Simulation)

การจำลอง เป็นการรวบรวมวิธีการต่างๆ ที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่างๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เข้ามาช่วยเพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยมีการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต เนื่องจากการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้จนกว่าจะมองเห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับ อาทิเช่น การขจัดปัญหาที่อยู่นอกเหนือความคาดหมายที่เกิดขึ้น ทำให้กระบวนการผลิตช้าลง ดังนั้นการจำลองจึงช่วยให้สามารถวิเคราะห์สภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของระบบ และช่วยหาแนวทางหรือทางเลือกที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้กับสถานการณ์หรือการปฏิบัติงานจริง ซึ่งจะช่วยให้ลดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาดหรือความล้มเหลวได้นอกจากนี้ยังช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาได้อีกทางด้วย

ในปัจจุบันนี้การจำลองเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้การจำลองสถานการณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับหลากหลายอุตสาหกรรม อาทิเช่น อุตสาหกรรมในโรงงาน การขนส่ง เป็นต้น สิ่งสำคัญหรือข้อดีของการจำลองคือต้องมีความสมเหตุสมผล และสามารถพิสูจน์ได้ภายใต้ปัจจัยการนำเข้าและนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ระบบประมวลออกมา

#### 2.2 Computational Fluid Dynamics

พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) คือ สาขาหนึ่งในกลศาสตร์ของไหลที่ใช้กระบวนการเชิงตัวเลขและขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการไหลของของไหล โดยจะใช้คอมพิวเตอร์มาทำการคำนวณนับล้านๆครั้ง ก่อนที่จะสร้างแบบจำลองการทำปฏิกิริยาของของไหลและก๊าซต่อขอบผิวซึ่งกำหนดโดยสภาวะของขอบเขต ผลลัพธ์ที่ได้นั้นเป็นเพียงการประมาณที่ได้จากในหลายๆกรณี และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาความแม่นยำและความเร็วในการคำนวณสถานการณ์ที่ซับซ้อนของโปรแกรมให้ดีขึ้น เช่นการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งแต่เดิมถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

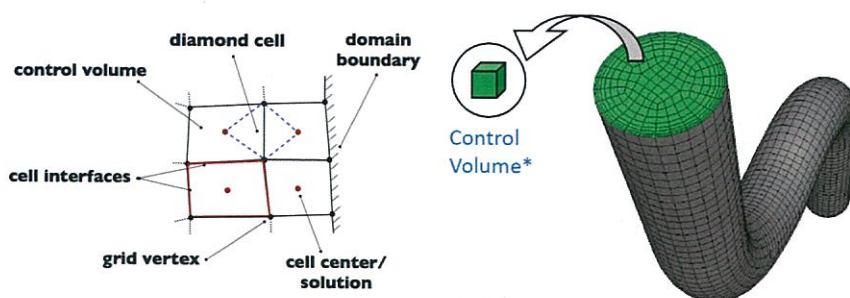
นำมาใช้กับการจำลองกังหันลม แต่ปัจจุบันถูกนำมาใช้ในการทดสอบการบินและการทดสอบอื่นๆ โดยพื้นฐานของ CFD คือ ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์โวลุ่ม ซึ่งกล่าวถึงรูปแบบการไหลของอากาศโดยหาได้จาก การแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ของสมการอนุรักษ์ (Conservation Equations) และสมการความปั่นป่วน (Turbulence Equations) ซึ่งรูปแบบสมการเชิงอนุพันธ์นั้นสามารถระบุค่าได้จากการแก้ระบบสมการเชิงพีชคณิต และระบบสมการเชิงพีชคณิตทั้งหมดจะสามารถระบุได้จากการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขเพื่อคำนวณหาคำตอบของปัญหา

### 2.3 Finite Element Method

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method : FEM) คือระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อมกับสมการปริพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากทั้งการกำจัดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์ สำหรับปัญหาที่อยู่ในสถานะคงที่ หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์ เช่น Euler Method และ Runge–Kutta Method ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้น ปัญหาพื้นฐานคือการสร้างสมการที่สามารถประมาณค่าความแน่นอนทางตัวเลขได้ FEM เป็นทางเลือกที่ดี ทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในขอบเขตที่มีความซับซ้อน เช่นในรถยนต์หรือท่อส่งน้ำมัน เมื่อขอบเขตมีการเปลี่ยนแปลง เช่นในช่วงปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันที่ขอบเขตมีการเคลื่อนที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดตามขอบเขตนั้นๆ

### 2.4 Finite Volume Method

ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์โวลุ่ม (Finite Volume Method: FVM) เป็นวิธีการในการลดรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยให้อยู่ในรูปของพีชคณิตเพื่อให้สามารถหาค่าอย่างง่าย การสร้างสมการมีลักษณะคล้ายกับระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ หรือระเบียบวิธีการผลต่าง (Finite Difference Method: FDM) ไฟไนต์โวลุ่มจะอ้างอิงถึงพื้นที่ผิวที่อยู่รอบๆ จุดต่อ (Node point) แสดงได้ดังภาพที่ 2.1 การคำนวณจะเป็นการปริพันธ์สมการอนุพันธ์ที่ประกอบไปด้วยค่าเวกเตอร์ของสมการพื้นผิวแต่ละพื้นผิว ข้อดีของระเบียบวิธีการนี้คือสามารถใช้ได้ดีในแบบจำลองที่มีการแบ่งเอลิเมนต์ที่ไม่เป็นระเบียบ (Unstructured Meshes)



ภาพที่ 2.1 แสดงระเบียบวิธีการทางไฟไนต์วอลุ่ม

## 2.5 พื้นฐานของกลศาสตร์ของไหล

### 2.5.1 ความหมายของของไหล

ของไหล คือสสารที่สามารถรับความเค้นในแนวตั้งฉากหรือก็คือความดันได้ และจะเสียรูปอย่างต่อเนื่องหรือไหลเมื่อถูกความเค้นเฉือนมากกว่า ในกรณีที่ของไหลมีอัตราการเสียรูปเชิงมุมแปรผันตรงกับค่าความเค้นเฉือนที่กระทำ จะเรียกว่าของไหลนิวโตเนียนและในกรณีที่ของไหลไม่ได้แปรผันตรงกับค่าความเค้นเฉือนที่กระทำจะเรียกว่า ของไหลนอนนิวโตเนียน ดังภาพที่ 2.2 และ 2.3



ภาพที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนและอัตราการเสียรูปของของไหลนิวโตเนียน

ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนและอัตราการเสียรูปของของไหลนอนนิวโตเนียน

ส่วนของเหลวและก๊าซในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ ส่วนของเหลวนั้นไม่สามารถอัดตัวได้ ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้างแต่ต้องใช้ความดันสูงมาก จึงพิจารณาว่าของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ส่วนของไหลที่อัดตัวได้ คือของไหลที่มีความหนาแน่นไม่คงที่ขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรหลายตัว เช่น ก๊าซอยู่ในภาชนะปิดสนิทเมื่อได้รับความร้อน ความหนาแน่นของก๊าซก็จะเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามถ้าสูญเสียความร้อน ความหนาแน่นก็จะลดลง

## 2.5.2 สถานะของการไหลของของไหล

สถานะการไหลของของไหลสามารถจำแนกได้ 3 ประเภทคือ

### 1. การไหลแบบสภาวะราบเรียบ (Laminar Flow)

การไหลที่มีลักษณะราบเรียบและเรียงตัวเป็นชั้น ๆ อย่างเป็นระเบียบ ไม่เกิดการปั่นป่วน

### 2. การไหลแบบสภาวะช่วงต่อ (Transitional Flow)

ลักษณะการไหลระหว่างการไหลสภาวะราบเรียบกับสภาวะการไหลสภาวะปั่นป่วน

### 3. การไหลแบบสภาวะปั่นป่วน (Turbulent Flow)

การไหลที่มีลักษณะปั่นป่วนไม่มีรูปแบบที่แน่นอนและตายตัวเรียกอีกชื่อว่าการไหลแบบสภาวะสุ่ม

สถานะการไหลทั้ง 3 ประเภทสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงความต่อเนื่องของการไหลทั้งสามประเภท

## 2.6 สมการที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหล

รูปแบบการไหลของอากาศสามารถคำนวณหาได้จากการแก้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ของระบบสมการดังต่อไปนี้

### 2.6.1 สมการอนุรักษ์ (Conservation Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(pk) + \frac{\partial}{\partial x_i}(pku_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6.2 สมการความปั่นป่วน (Turbulence Equation)

รูปแบบของสมการปั่นป่วนนั้นมีหลายรูปแบบแต่จะอธิบายเฉพาะรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับรายงานสหกิจศึกษา นี้ คือ รูปแบบความปั่นป่วนแบบ Shear Stress Transport : (SST) ซึ่งมีรูปแบบสมการเชิงอนุพันธ์ ดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\omega) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\omega u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega$$

โดยที่  $G_k$  และ  $G_\omega$  แทนผลของความปั่นป่วนจากพลังงานจลน์

$\Gamma_k$  และ  $\Gamma_\omega$  แทนสภาพการแพร่โมเมนตัม

$Y_k$  และ  $Y_\omega$  แทนการกระจายตัวเนื่องจากความปั่นป่วน

$D_\omega$  แทน Cross-diffusion

$S_k$  และ  $S_\omega$  แทนผลจากแหล่งกำเนิดอนุภาคที่เรากำหนดขึ้น

## 2.6.3 สมการสมดุลแรงอนุภาค (Particle Force Balance Equation)

ผลจากแหล่งกำเนิดอนุภาคที่กำหนดขึ้น ในของส่วนเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค สามารถคำนวณได้จากสมการสมดุลแรงอนุภาค ซึ่งเขียนได้ดังสมการ

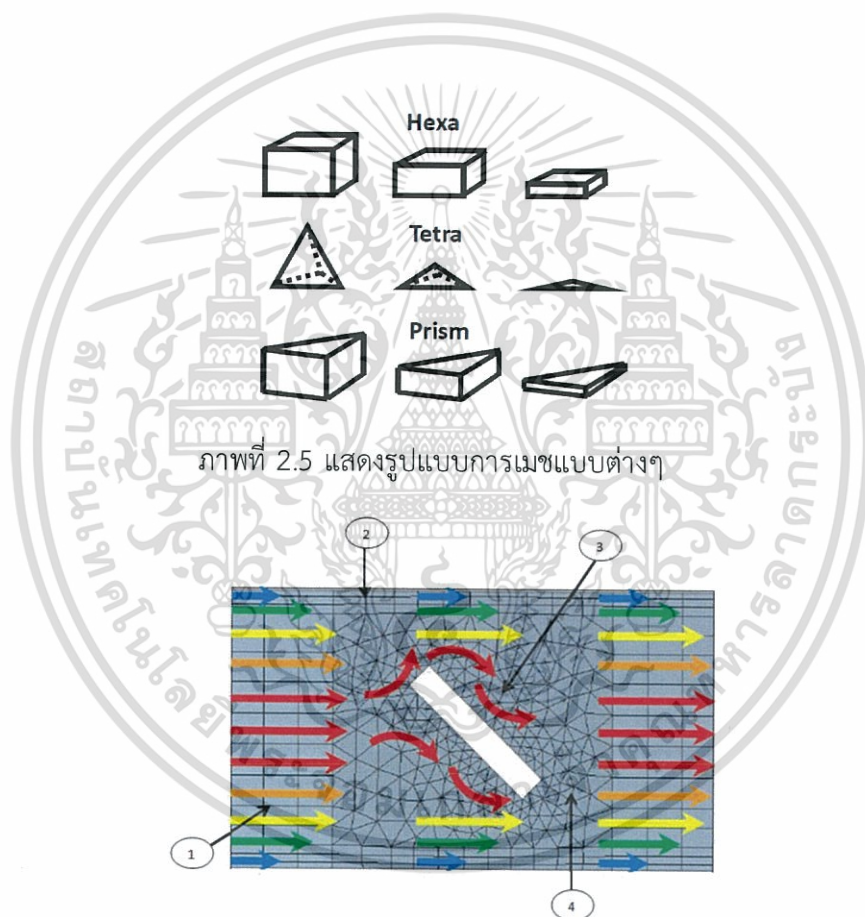
$$\frac{dU_p}{dt} = F_D(U_G - U_p) + g \frac{(\rho_p - \rho_G)}{\rho_p} + F_S$$

เมื่อ  $\rho$  คือความหนาแน่น  $U$  แทนความเร็วของอนุภาค  $F_D$  คือแรงลาก (Drag Force) สัญลักษณ์ตัวห้อย  $p$  แทนอนุภาค และ  $g$  แทนของเหลว  $F_S$  คือแรงอื่นๆที่มากระทำกับอนุภาคเช่น แรงมวลเสมือน (Virtual Mass Force) แรงยก (Lift Force) แรงดึงดูดระหว่างอนุภาค แต่แรงเหล่านี้ไม่มีผลกับอนุภาคขนาดเล็กที่พิจารณาในงานวิจัยนี้เนื่องจาก  $\rho_p \gg \rho_g$  และเมื่อได้สมการทั้งหมดแล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณโดยอาศัยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณตามรูปแบบที่ได้กำหนด

## 2.7 วิธีการเมช (Meshing Methods)

หลักการเลือกวิธีการเมชนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆของแบบจำลอง เช่น รูปร่าง เงื่อนไขทางกลศาสตร์ และชนิดของแบบจำลองนั้น โดยในการเมชนั้นสามารถใช้การเมชแบบต่างๆรวมกันได้หรือจะใช้การเมชเฉพาะชนิดนั้นชนิดเดียวได้

โดยวิธีการเมชนั้นจะมีหลายวิธีและหลายแบบ ทั้งแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) แบบทรงปริซึม (Prism) ทรงหกหน้า (Hexahedron) ซึ่งมีรูปร่างหน้าตาของเซลล์เมชในแต่ละเมชดังแสดงได้ดังภาพที่ 2.5 โดยในแบบจำลองสามารถผสมรูปแบบการเมชหลายแบบไว้ในแบบจำลองเดียวกันได้



ภาพที่ 2.5 แสดงรูปแบบการเมชแบบต่างๆ

ภาพที่ 2.6 แสดงรูปแบบการเมชที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าที่เงื่อนไขขอบเขตบริเวณต่างกันั้นจะมีการเมชที่แตกต่างกันไปตามเงื่อนไขของบริเวณนั้นๆโดยบริเวณหมายเลข 1 นั้น การเมชเซลล์บริเวณนั้นจะเป็นแบบพื้นที่ทั่วไป ส่วนหมายเลข 2 นั้น การเมชจะมีอัตราส่วนที่เล็กลงเพื่อเมชเซลล์ให้ละเอียดขึ้นเนื่องจากเป็นพื้นที่บริเวณขอบ ส่วนบริเวณหมายเลข 3 นั้น การเมชจะเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับเซลล์ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง ส่วนบริเวณหมายเลข 4 นั้น จะเป็นการเมชในพื้นที่บริเวณที่มีความซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

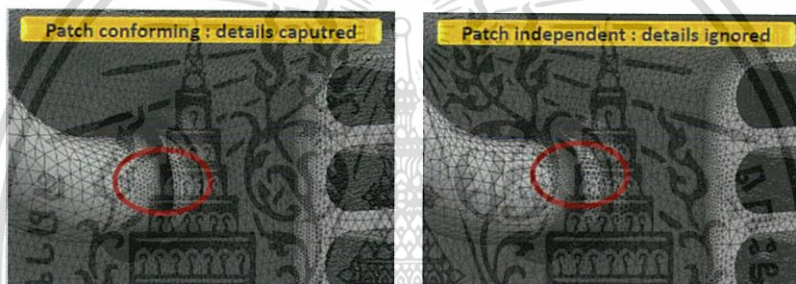
## 2.7.1 Tetrahedral Meshing

### 2.7.1.1 Patch Conforming

ให้การเมชบริเวณพื้นผิวที่มีความถูกต้องแม่นยำกว่า ด้วยวิธีการเมชจาก ขอบไปยังพื้นผิวหน้า และเข้าไปยังภายใน เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับงานที่มีคุณภาพสูง สามารถกำหนดขนาดการเมชเฉพาะ บริเวณที่เข้าถึงได้

### 2.7.1.2 Patch Independent

การเมชจะเกิดบริเวณขอบและพื้นผิวหน้า รายละเอียดวิธีการเมชนั้นไม่ละเอียดเท่ากับ แบบ Patch Conforming ทำให้คุณภาพในการเมชนั้นออกมาไม่ดีจึงไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียด

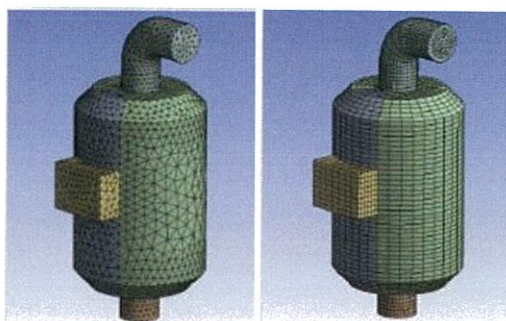


ภาพที่ 2.7 แสดงการเมชแบบ Patch Conforming และ Patch Independent

จากภาพที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบของการเมชที่แตกต่างกันทั้งสองแบบ แสดงให้เห็นว่าการเมชแบบ Patch Conforming นั้นมีความเรียบและสม่ำเสมอกับพื้นผิวที่เล็ก ๆ และมีความซับซ้อนของพื้นที่ได้ดีกว่าโดยที่แบบ Patch Independent นั้นความเรียบและความสม่ำเสมอจะอยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น

## 2.7.2 Hex Meshing

ลักษณะเด่นของการเมชประเภทนี้ คือ จำนวนเซลล์และองค์ประกอบในการเมชลดลงซึ่งช่วยลดเวลาในการคำนวณผล และองค์ประกอบในแต่ละเซลล์สอดคล้องไปในทิศทางของการไหลซึ่งมีข้อดีคือทำให้ข้อผิดพลาดเชิงตัวเลขมีค่าลดลง

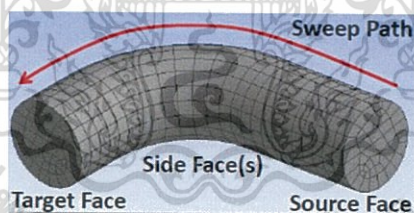


ภาพที่ 2.8 แสดงการเปรียบเทียบการเมชแบบ ทรงสี่หน้า และแบบ ทรงหกหน้า

จากภาพที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าการเมชในสองลักษณะให้ผลที่ต่างกันโดยภาพทางด้านซ้ายเป็นการเมชแบบทรงสี่หน้า จำนวนขององค์ประกอบใน มีจำนวน 48000 เซลล์ จะให้จำนวนองค์ประกอบที่มากกว่าภาพทางด้านขวาที่เป็นการเมชแบบทรงหกหน้าซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบ 19000 เซลล์

#### 2.7.2.1 Sweep

เป็นการเมชในลักษณะที่เลือกพื้นผิวเริ่มต้นที่จะทำการเมชแล้วเลือกให้เมชไปตามเส้นทางการเมชที่จะต้องทำการระบุให้ชัดเจนเพื่อไปยังพื้นผิวเป้าหมายโดยที่มีข้อจำกัดว่าในระหว่างพื้นผิวเริ่มต้นและพื้นผิวเป้าหมายงานจะต้องเป็นชั้นเดียวกัน เป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกัน



ภาพที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการเมชแบบ Sweep

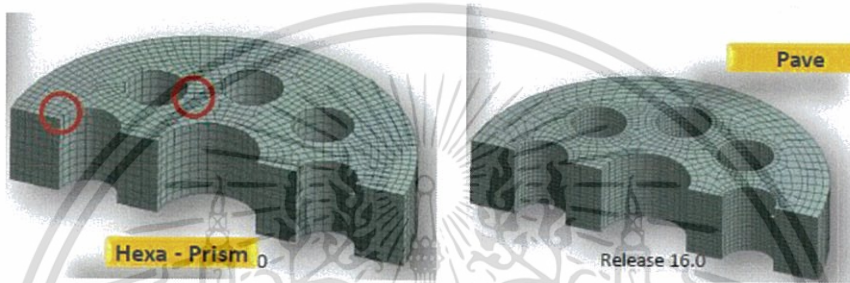


ภาพที่ 2.10 แสดงแบบจำลองที่สามารถเมชแบบSweepได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.2 Multizone

เป็นการเมชในลักษณะที่มีการเมชหลายชนิดรวมกันอยู่ในแบบจำลองเดียวกันโดยการเมชจะขึ้นอยู่กับกับความเหมาะสมในแต่ละพื้นผิว และในแต่ละขอบเขตต่างกันไป ตามความละเอียดและจุดประสงค์ในการใช้งาน โดยดังภาพที่ 2.11 มีการเมชการ ทรงหกหน้า และทรงปริซึม รวมกันอยู่ในแบบจำลองเดียวกัน และอีกลักษณะหนึ่งคือในช่องวงกลมจะใช้การเมชขนาดเล็กและละเอียดกว่าพื้นผิวที่อยู่ภายนอก

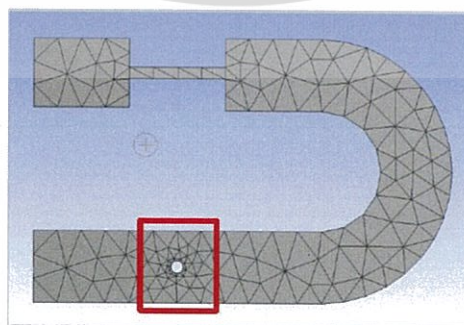


ภาพที่ 2.11 แสดงการเมชแบบ Multizone

2.8 การตั้งค่าการเมช (Mesh Control)

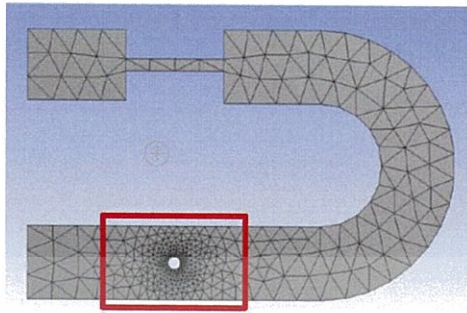
2.8.1 Advanced Sizing Function

Advanced Sizing Function (ASF) เพื่อควบคุมการกระจายตัวและการก่อตัวของเมชและที่บริเวณที่มีความโค้งสูงและบริเวณช่องแคบเล็กๆ ที่ต้องใช้เงื่อนไขการเมชแบบพิเศษ

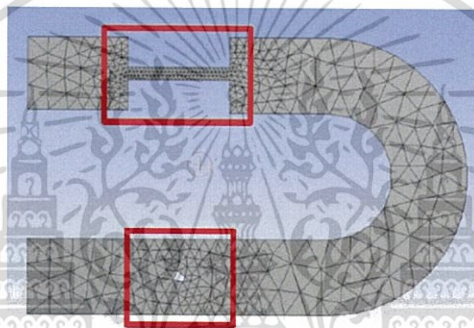


ภาพที่ 2.12 แสดงการเมชแบบทั่วไปในสองมิติ

จาก ภาพที่ 2.12 แสดงให้เห็นลักษณะการเมฆแบบปกติแบบไม่ใช้ ASF ทัวทั้งแบบจำลอง และกรอบสี่แดงแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเมฆบริเวณรูเล็กๆในแบบจำลอง



ภาพที่ 2.13 แสดงการเมฆแบบการใช้ ASF Curvature



ภาพที่ 2.14 แสดงการเมฆแบบการใช้ ASF Proximity

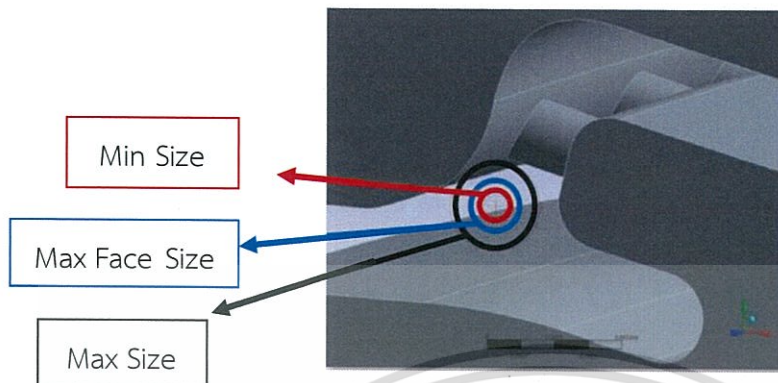
จากภาพที่ 2.13 และ 2.14 แสดงการเปรียบเทียบการเมฆที่ใช้ ASF ในแบบ Curvature และ Proximity นั้นแสดงให้เห็นว่าการเมฆที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแบบจำลองมีความแตกต่างกันในบริเวณกรอบสี่แดงเมื่อเปลี่ยนลักษณะการเมฆซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกรเมฆแบบทั่วไปแล้วจะสังเกตได้ว่าการเมฆที่เกิดขึ้นบริเวณรูเล็กนั้นถ้าใช้การเมฆแบบ ASF Curvature จะได้กรเมฆบนพื้นผิวที่ละเอียดขึ้นกว่าแบบทั่วไป ส่วนในบริเวณส่วนเชื่อมต่อขนาดเล็กที่อยู่ด้านบนแบบจำลองหากใช้การเมฆแบบ ASF Proximity ก็จะได้การเมฆที่พื้นผิวบริเวณส่วนเชื่อมต่อขนาดเล็กที่ละเอียดขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนรูปแบบการเมฆมีส่วนช่วยให้การจำลองแบบเสมือนนั้นมีความละเอียดและมีค่าที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

### 2.8.2 ค่าขนาดที่เล็กที่สุด (Min Size) และ ค่าขนาดที่ใหญ่ที่สุด (Max Size)

ค่าขนาดที่เล็กที่สุด คือ ค่าขนาดขององค์ประกอบที่เล็กที่สุดที่จะสามารถทำให้เกิดการเมฆได้ โดยที่ค่าขนาดขององค์ประกอบบางองค์ประกอบนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าค่าขนาดที่เล็กที่สุด ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของขอบเขตพื้นที่ของแบบจำลองส่วนค่าขนาดผิวสัมผัสที่ใหญ่ที่สุด คือ ค่าขนาดของผิวสัมผัสที่ใหญ่ที่สุดที่จะสามารถทำให้เกิดการเมฆได้และค่าขนาดที่ใหญ่ที่สุด คือ ค่าขนาดขององค์ประกอบที่ใหญ่ที่สุดที่จะสามารถทำให้เกิดการเมฆที่อยู่ภายในปริมาตรของแบบจำลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าขนาดเล็กที่สุด ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ค่าขนาดผิวสัมผัสที่ใหญ่ที่สุดซึ่งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าขนาดใหญ่ที่สุด ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 แสดงค่า Min Size Max Face Size Max Size

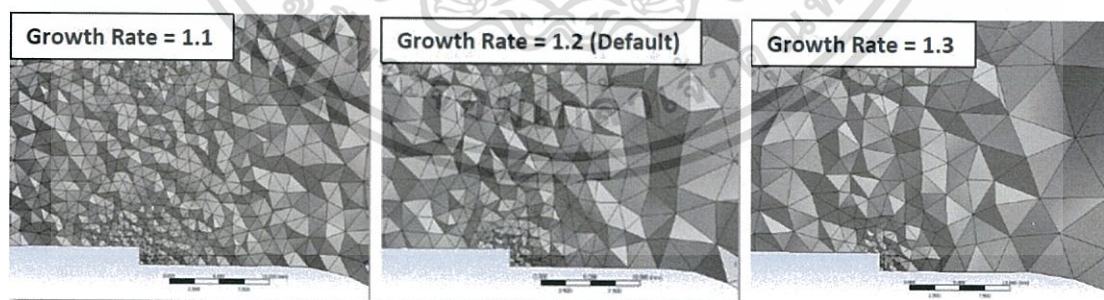
### 2.8.3 Growth Rate

เป็นค่าที่กำหนดอัตราส่วนของขนาดของเซลล์แต่ละเซลล์ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกัน โดยจะเป็นค่าที่กำหนดบนพื้นผิวสัมผัสและปริมาตรภายในของแบบจำลอง โดยที่ขนาดของเมชมีความสัมพันธ์กับขนาดของเซลล์ดังนี้

Growth Rate 1.1 จะมีจำนวนเซลล์ 1,263,297 เซลล์

Growth Rate 1.2 จะมีจำนวนเซลล์ 587,026 เซลล์

Growth Rate 1.3 จะมีจำนวนเซลล์ 392,061 เซลล์



ภาพที่ 2.16 แสดงการเมชที่

Growth Rate 1.1

ภาพที่ 2.17 แสดงการเมชที่

Growth Rate 1.2

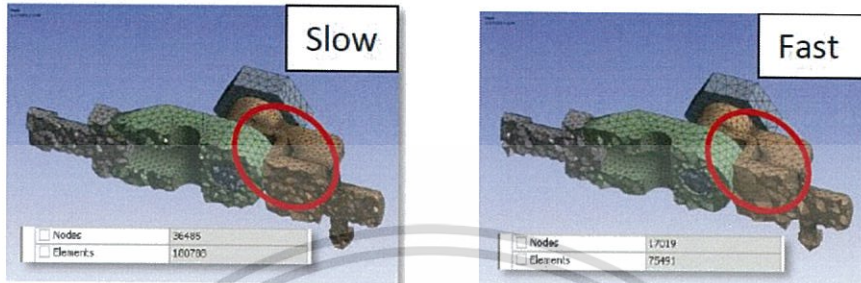
ภาพที่ 2.18 แสดงการเมชที่

Growth Rate 1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.4 Transition

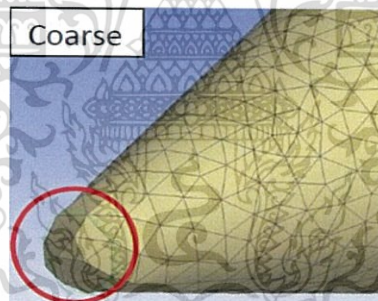
เป็นค่าการควบคุมการก่อเกิดขององค์ประกอบโดยมี 2 ระดับคือแบบช้า (Slow) เป็นค่าปกติในโหมดการใช้งานด้าน CFD , Explicit จะได้การเมชที่ราบเรียบ และ แบบเร็ว (Fast) เป็นค่าปกติในโหมดการใช้งานด้าน เครื่องกล, ด้านแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ว่าจะได้ผลการเมชที่ไม่ราบเรียบ ไม่ติดต่อกัน



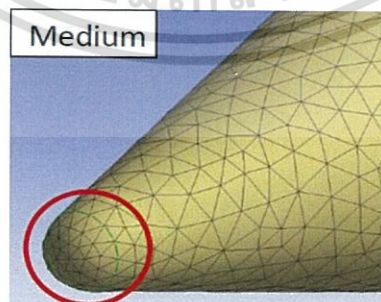
ภาพที่ 2.19 แสดงการเปรียบเทียบผลของการเมชระหว่าง transition แบบ slow และ fast

### 2.8.5 Span Angle Center

ควบคุมการปรับแต่งความโค้งของบริเวณขอบ โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามการแบ่งค่าของมุมเป็นช่วงๆ ดังต่อไปนี้

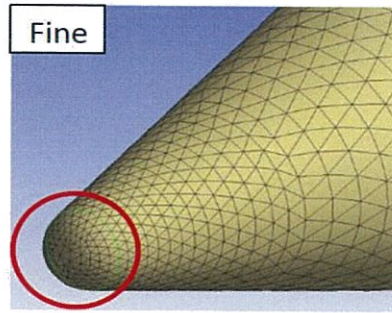


ภาพที่ 2.20 แสดง Coarse ตั้งแต่  $91^{\circ}$  ถึง  $60^{\circ}$



ภาพที่ 2.21 แสดง Medium ตั้งแต่  $75^{\circ}$  ถึง  $24^{\circ}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

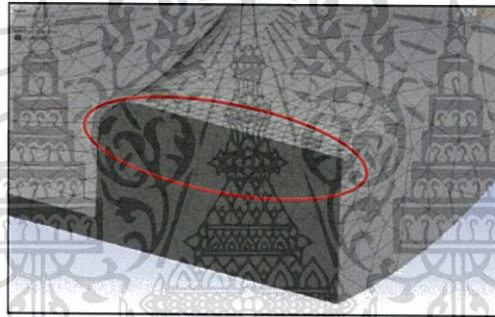


ภาพที่ 2.22 แสดง Fine ตั้งแต่  $36^\circ$  ถึง  $12^\circ$

## 2.8.6 Sizing

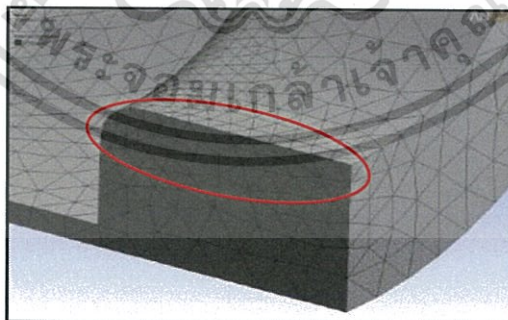
การกำหนดขนาดและเงื่อนไขต่างๆในการเมช แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ

### 2.8.6.1 การกำหนดจากขนาดขององค์ประกอบ (Element Size)



ภาพที่ 2.23 แสดงการเมชด้วยขนาดขององค์ประกอบขนาด 60 มิลลิเมตร

### 2.8.6.2 กำหนดจากจำนวนขององค์ประกอบ (Number of Divisions)



ภาพที่ 2.24 แสดงการเมชด้วยจำนวนขององค์ประกอบจำนวนเท่ากับ 10

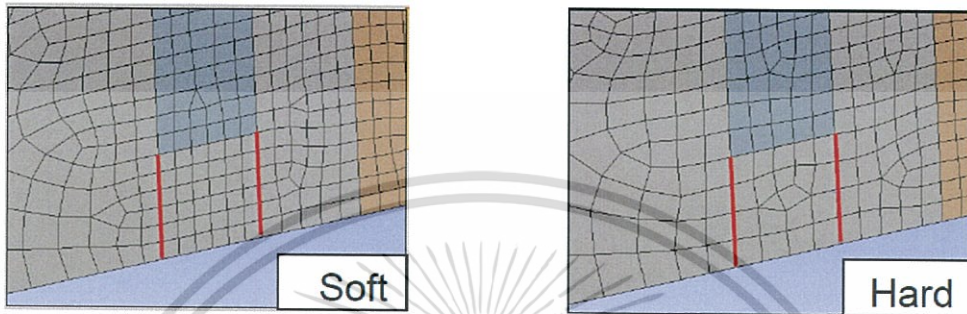
จากภาพที่ 2.23 และ 2.24 ส่วนที่วงกลมสีแดงไว้จะเห็นได้ว่าลักษณะและรูปแบบของเมชแตกต่างกัน ภาพที่ 2.23 กำหนดจากขนาดขององค์ประกอบให้มีขนาด 60 มิลลิเมตรโดยไม่สนใจจำนวนองค์ประกอบว่าจะมีจำนวนเท่าไรแต่ถ้ากำหนดด้วยจำนวนดังภาพที่ 2.24 โดยไม่สนใจขนาดขององค์ประกอบแต่จะมีองค์ประกอบเมชจำนวนสิบเมช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากกำหนดจากลักษณะของการเมฆที่เกิดขึ้นจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Soft การกำหนดเงื่อนไขนั้นเป็นไปตามการกำหนดขนาดการเมฆเบื้องต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับ การเมฆที่กำหนดในบริเวณช่องว่าง บริเวณที่โค้งหรือบริเวณมุมแคบ

2. Hard การกำหนดเงื่อนไขไม่เป็นไปตามการกำหนดขนาดการเมฆเบื้องต้น



ภาพที่ 2.25 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างแบบ Soft และแบบ Hard

## 2.8.7 เกณฑ์การวัดคุณภาพการเมฆ

### 2.8.7.1 Orthogonal Quality

การเมฆที่มีคุณภาพสามารถวัดได้จาก Orthogonal Quality นั้นมีค่าอยู่ในช่วงที่ถูกต้อง โดยทั่วไปการเมฆที่มีคุณภาพที่ดีจะมี Orthogonal Quality ที่มีค่าในช่วงต่อไปนี้

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Orthogonal Quality

โดยการหาค่า Orthogonal Quality หาได้จากค่าที่น้อยที่สุดที่คำนวณได้จากสูตรในแต่ละพื้นผิว

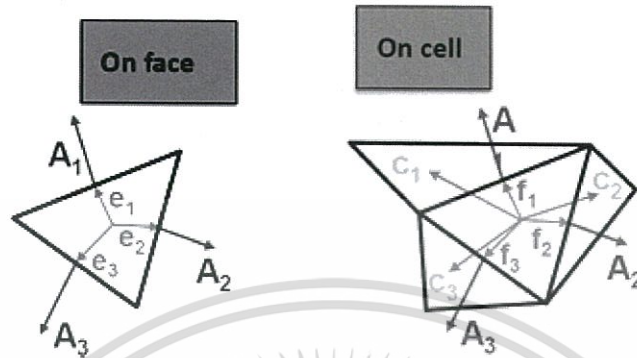
$$\frac{A_i \cdot e_i}{|\vec{A}_i| |\vec{e}_i|}$$

และสูตรสำหรับในแต่ละเซลล์

$$\frac{A_i \cdot f_i}{|\vec{A}_i| |\vec{f}_i|} \quad \frac{A_i \cdot c_i}{|\vec{A}_i| |\vec{c}_i|}$$

โดยที่  $A_i$  คือ เวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับระนาบ  $f_i$  คือ เวกเตอร์จากจุดเซนทรอยด์ของเซลล์ไปยังจุดเซนทรอยด์ของพื้นผิวนั้นๆ และ  $c_i$  คือ เวกเตอร์จากจุดเซนทรอยด์ของเซลล์ไปยังจุดเซนทรอยด์ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ใกล้เคียง และ  $e_i$  คือ เวกเตอร์จากจุดเซนทรอยด์ของพื้นผิวไปยังเซนทรอยด์ของขอบเขต โดยที่  $i$  คือ จำนวนพื้นผิวในแต่ละพื้นผิว บริเวณขอบเขตและภายในขอบเขต จะไม่นำผลจากเวกเตอร์  $c_i$  มาคำนวณด้วย



ภาพที่ 2.26 แสดงประกอบคำอธิบายการหาค่า Orthogonal Quality

### 2.8.7.2 Skewness

การเมชที่มีคุณภาพที่ดีสามารถดูได้จากค่า Skewness ได้เช่นกัน โดยจะต้องมีค่าอยู่ในช่วงต่อไปนี้

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า Skewness

มีทฤษฎีการตรวจสอบค่า Skewness ได้ 2 ทฤษฎี คือ

1. ทฤษฎีส่วนเบี่ยงเบนปริมาณสามเหลี่ยมด้านเท่า (Equilateral Volume Deviation)

$$\text{Skewness} = \frac{\text{optimal cell size} - \text{cell size}}{\text{optimal cell size}}$$

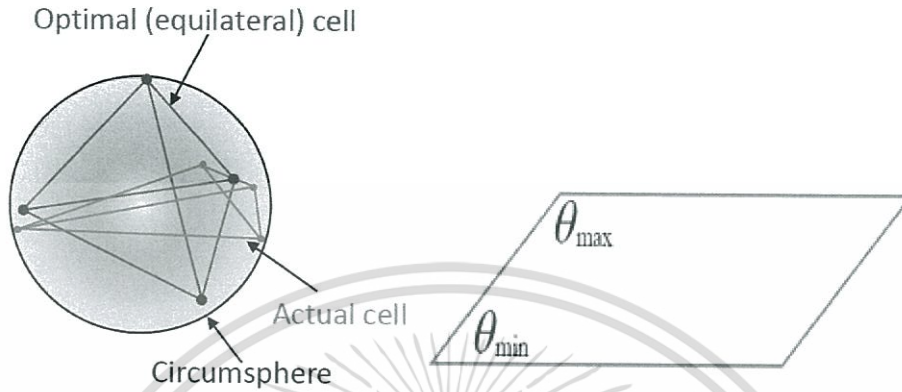
สำหรับการเมชแบบ สามเหลี่ยม (Triangle) และแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) เท่านั้น

2. ทฤษฎีส่วนเบี่ยงเบนมุมปกติ (Normalized Angle Deviation)

$$\text{Skewness} = \max \left[ \frac{\theta_{\max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{\min}}{\theta_e} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $\theta_c$  คือมุมที่เท่ากันในทุกผิวหน้าต่อหนึ่งเซลล์ (สำหรับแบบสามเหลี่ยมและทรงสี่หน้า จะมีมุมเท่ากับ  $60^\circ$  และทรงหกหน้าจะมีมุมเท่ากับ  $90^\circ$ ) เหมาะสำหรับการเมชแบบ ทรงหกหน้า ปริซึม และพีระมิด



ภาพที่ 2.27 ภาพประกอบคำอธิบายทฤษฎีส่วนเบี่ยงเบนมุมปกติ

การเมชที่ไม่ได้คุณภาพอาจส่งผลกระทบต่อผลความถูกต้องของการคำนวณก่อให้เกิดค่าความผิดพลาดและค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพการเมชจึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่ไม่สามารถละเลยได้

## 2.9 การตั้งค่าตัวคำนวณปัญหา (Solver Settings)

### 2.9.1 ตัวคำนวณปัญหา (Solver)

ใน CFD มีตัวคำนวณปัญหาได้ 2 ประเภทดังนี้

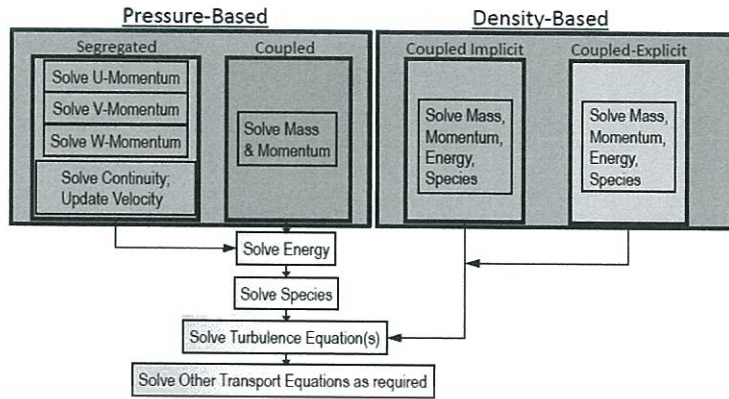
#### 2.9.1.1 Pressure-based Solver

เป็นตัวคำนวณปัญหาแบบ ที่นิยมใช้ในกรณีปัญหาทั่วไป ส่วนใหญ่จะใช้แก้ปัญหามีเลขมัดไม่สูงมาก โดยจะอยู่ในช่วง 0-3

#### 2.9.1.2 Density-Based Solver

เป็นตัวคำนวณปัญหาโดยที่ปัญหาส่วนใหญ่มีเลขมัดที่มีค่ามากกว่า 3 หรือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีคลื่นกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.28 แสดงแผนผังแสดงตัวคำนวณปัญหา

## 2.9.2 Pressure-Velocity Coupling

### 2.9.2.1 Simple

โดยทั่วไป แบบ Simple จะให้ผลออกมาดี สำหรับการใช้งานเกี่ยวกับปัญหาการไหลแบบอัดไม่ได้ และการไหลแบบทั่วไป

### 2.9.2.2 Coupled

เหมาะสำหรับการใช้งานในการแก้ไขปัญหาการไหลแบบอัดได้ (Compressible Flow) หรือสามารถใช้งานกับการแก้ไขปัญหาการไหลแบบอัดไม่ได้ (Incompressible Flow) แต่มีผลของแรงลอยตัว (Buoyancy) และการหมุน (Rotation) เข้ามาเกี่ยวข้องอยู่ได้

### 2.9.2.3 Simplex

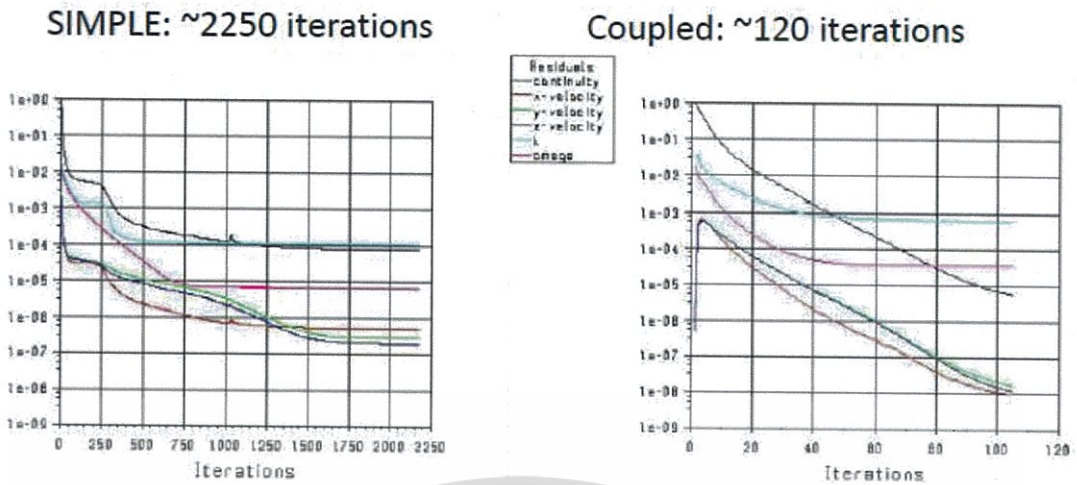
เป็นรูปแบบที่มีการใช้งานในการแก้ปัญหาเฉพาะเจาะจง โดยส่วนใหญ่ใช้กับการพิสูจน์ทฤษฎีทางวิชาการและการศึกษา ไม่เหมาะสมกับการใช้งานจริงในอุตสาหกรรม

### 2.9.2.4 PISO

เป็นรูปแบบที่มีการใช้งานในการแก้ปัญหาเฉพาะเจาะจงเช่นเดียวกับ Simplex แต่โดยทั่วไปจะใช้ในการแก้ปัญหาแบบโดยการคำนวณแบบชั่วขณะ (Transient Calculations)

จากภาพที่ 2.29 แสดงการเปรียบเทียบการแก้ปัญหาแบบ Simple และ Coupled เมื่อแก้ปัญหาที่มีการหมุนมาเกี่ยวข้องพบว่า แบบ Simple นั้นต้องใช้จำนวนรอบในการคำนวณมากกว่า ซึ่งใช้เวลา 3.5 ชั่วโมง ในขณะที่แบบ Coupled ใช้จำนวนรอบน้อยกว่าและใช้เวลา 13 นาที ในการเข้าสู่ของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.29 แสดงกราฟเปรียบเทียบการแก้ปัญหาแบบ Simple และ Coupled

### 2.9.3 Interpolation Methods for Pressure

กระบวนการ Interpolation เป็นกระบวนการที่จำเป็นในการคำนวณ ความดันในทุกๆ หน้าตัดของพื้นผิว (Cell-face Pressures) เพื่อคำนวณหาแรงกดดันทางลาด (Pressure gradient) โดยโปรแกรมจะต้องทำการคำนวณแรงกดดันทางลาด (Pressure gradient) ตามทฤษฎีของเกาส์ (Gauss method) โดยประกอบด้วย

Standard เป็นรูปแบบเริ่มต้น โดยลดความถูกต้องของแรงกดดันทางลาด (Pressure gradient) บนพื้นผิวปกติที่มีขนาดใหญ่อยู่ใกล้กับขอบเขต ไม่ควรใช้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันสูงมากๆ ในการไหล ซึ่งควรใช้แบบ PRESTO! แทน

PRESTO! ใช้สำหรับการไหลที่มีกระแสการหมุนสูงกระแสนี้เกี่ยวข้องกับแรงดันทางลาดสูงหรือแบบ มีรูพรุน แบบใบพัด หรือในโดเมนที่มีความโค้งมาก

Linear ใช้เมื่อทางเลือกอื่นๆ ที่ส่งผลให้ค่าตอบของผลการคำนวณเกิดความยากลำบากในการลู่อู่เข้าของกราฟ

Second-Order ใช้สำหรับการไหลที่กระแสนี้ตัวไม่ได้ จะไม่ใช้กับปัญหาที่มีรูพรุน, ใบพัด

Body Force Weighted ใช้เมื่อแรงเนื่องจากน้ำหนักของของไหล (Body Force) มีขนาดใหญ่เช่นหรือการพาความร้อน และกระแสการหมุนสูง

### 2.9.4 Courant number

โดยทั่วไปแล้วผลคำนวณที่ได้จากการแก้ปัญหา กราฟที่ออกมาผลควรจะเป็นค่าลู่อู่เข้า

โดยตัวเลขที่มีผลต่อการลู่อู่เข้าคือ Courant number โดยปกติถ้าเลือกการแก้ไขปัญหาแบบ Coupled เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณเห็นข้อผิดพลาดในการคำนวณไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

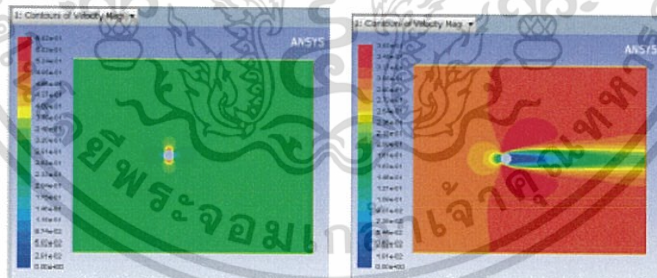
แล้วนั้น ค่า Courant number จะมีค่าปกติที่ 200 แต่สามารถลดลงหรือเพิ่มขึ้นได้ 10-50 ในกรณีปัญหาที่ผลคำตอบลู่เข้ายาก เช่นกรณี มัลติเฟส และ คอมบัสชั่น โดยปกติค่า Courant number นั้นควรจะมีความต่ำเพื่อทำให้การแก้ปัญหาเสถียรภาพที่ดียิ่งขึ้น และถ้าค่า Courant number มีค่าสูงนั้น จะช่วยให้กราฟของผลคำตอบมีค่าลู่เข้า ได้เร็วขึ้นแต่ถ้าค่า Courant number มีค่าสูงเกินไปจะส่งผลให้ กราฟของผลคำตอบนั้นมีความลู่ออก

## 2.9.5 Initialization Methods

ในการปฏิบัติของ CFD นั้น กระบวนการ นั้นถือว่าสำคัญมากเพราะจำเป็นต้องทำก่อนการเริ่มการคำนวณ โดยทั่วไปในทุกๆเซลล์ในเมชจะต้องถูกกำหนดค่าตัวแปรในการแก้ปัญหาโดยจะทำหน้าที่เป็นการเริ่มต้น (Initialization) สำหรับการแก้ปัญหา การเริ่มต้นที่ตรงกับความเป็นจริงจะช่วยปรับปรุงเสถียรภาพและเร่งแก้ปัญหาให้ผลของคำตอบลู่เข้าได้ดีขึ้น ในบางกรณีที่มีการเริ่มต้นที่ไม่ดีอาจทำให้เกิดการแก้มลวนในช่วงการคำนวณรอบแรกๆ โดยประกอบด้วย 5 วิธีดังนี้

### 2.9.5.1 Hybrid initialization

เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด วิธีนี้จะมีการประมาณอย่างรวดเร็วของ บริเวณที่มีการไหลโดยวิธีการเก็บรวบรวม โดยการแก้สมการลาปลาซ เพื่อตรวจสอบความเร็วและความดันบริเวณขอบเขตและทุกตัวแปรอื่น ๆ เช่นอุณหภูมิ, ความปั่นป่วน , เศษส่วนมวล, เศษส่วนปริมาตร จะได้รับการคำนวณแบบเฉลี่ยโดยอัตโนมัติในโดเมนหรือ วิธีการ Interpolation



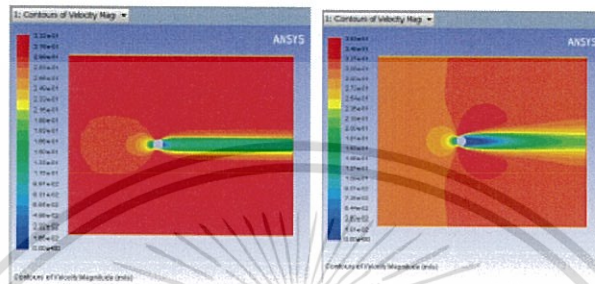
ภาพที่ 2.30 แสดงกระบวนการเริ่มต้นแบบ Hybrid initialization

จากภาพที่ 2.30 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเริ่มต้น แบบ Hybrid initialization จะให้ผลที่ได้ไม่ได้มีค่าสม่ำเสมอเท่ากันทุกพื้นที่ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปทางด้านขวาซึ่งเป็นผลที่ได้เมื่อคำนวณเสร็จสมบูรณ์ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จะค่อนข้างใกล้เคียงกับความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.5.2 FMG initialization

ช่วยให้กระบวนการเริ่มต้นใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น แต่กระบวนการเริ่มต้นนั้นจะใช้เวลา นานกว่าวิธีการอื่นๆ แต่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการคำนวณแบบการไหลที่กระแสน้ำสามารถอัดได้, เครื่องจักรที่กำลังหมุน และการไหลที่ซับซ้อนโดยเกี่ยวข้องกับปัญหาที่มีความดันสูงและความเร็วสูง

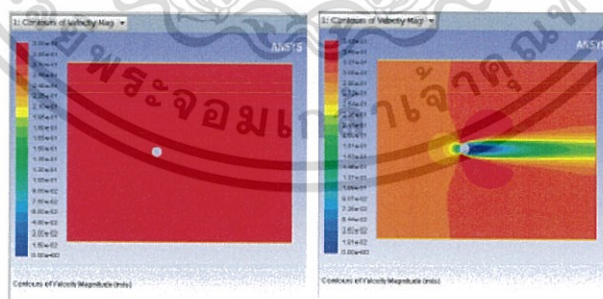


ภาพที่ 2.31 แสดงกระบวนการเริ่มต้นแบบ FMG initialization

จากรูปแสดงให้เห็นว่ากระบวนการเริ่มต้น แบบ FMG initialization จะให้ผลที่มีความไม่สม่ำเสมอในแต่ละพื้นที่มากกว่าค่าใกล้เคียงตรงกับความเป็จริงที่สุดเมื่อเทียบกับรูปที่ได้จากการคำนวณเสร็จแล้วจากทางด้านขวา แต่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณนานที่สุด

### 2.9.5.3 Standard initialization

โดยทั่วไปใช้ควบคู่กับการเลือกขอบเขตอินพุทเพื่อเจาะจงการคำนวณที่ขอบเขตนั้นๆ



ภาพที่ 2.32 แสดงกระบวนการเริ่มต้นแบบ Standard initialization

จาก ภาพที่ 2.32 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการแบบ Standard initialization จะให้ผลที่สม่ำเสมอในทุกพื้นที่ซึ่งแตกต่างกับรูปที่ได้จากการคำนวณเสร็จแล้วจากทางด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.9.5.4 Patch values

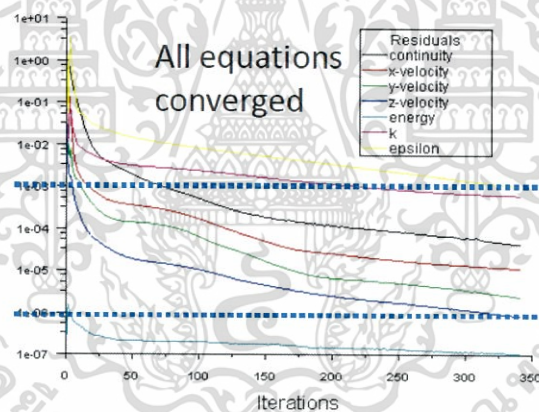
เหมาะกับการระบวนการแก้ปัญหาประเภทการไหลของของไหลบนเครื่องบินเจ็ทด้วยความเร็วสูง ปัญหาการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง และปัญหาจากมลพิษ

#### 2.9.5.5 Starting from a previous solution

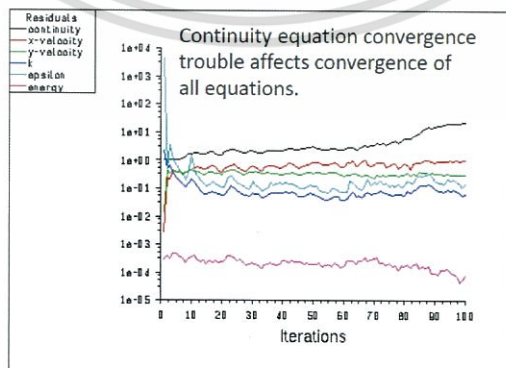
เป็นการใช้ผลของการคำนวณครั้งก่อนหน้ามาตั้งเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นของการคำนวณหรือมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรและพารามิเตอร์บางค่า สามารถอ้างอิงจากผลของการคำนวณครั้งก่อนหน้ามาเป็นตัวตั้งต้นแล้วปรับแก้ไขในบางตัวแปรได้

#### 2.9.6 การลู่เข้า (Convergence)

ความน่าเชื่อถือของผลการคำนวณนั้นสามารถพิจารณาได้จาก การลู่เข้าของผลคำตอบโดยค่าที่ผลคำตอบจะลู่เข้าไปนั้นคือ ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Tolerance) โดยผลการคำนวณจากทุกพารามิเตอร์ควรลู่เข้าสู่ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ในทุกๆพารามิเตอร์



ภาพที่ 2.33 แสดงกราฟตัวอย่างการลู่เข้าสู่ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้



ภาพที่ 2.34 แสดงกราฟตัวอย่างผลการคำนวณ ที่ไม่ลู่เข้าสู่ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ผลการคำนวณที่ไม่ลู่เข้าสู่ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ อาจเนื่องมาจากคุณภาพของการเมชที่ไม่มีคุณภาพ การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตผิด การกำหนดสมการไม่เหมาะสมหรือข้อผิดพลาดจากแบบจำลองในตอนเริ่มต้น

## 2.10 Discrete Phase Model (DPM)

การใช้ Discrete Phase Model (DPM) ในการคำนวณของไหลจะใช้วิธีการของลากรางจ์ โดยที่เฟสของเหลวจะถือว่าต่อเนื่องจากการแก๊สโมเลกุล ในขณะที่ขั้นตอนการกระจายตัวจะคำนวณจากการติดตามอนุภาคจำนวนมากที่ไหลผ่านขอบเขตการคำนวณ ในขณะที่เกิดการกระจายตัวนั้น อาจเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลง โมเมนตัมมวลและพลังงานกับเฟสของเหลว ในการใช้ Discrete Phase Model (DPM) ประกอบด้วยชุดสมการ 2 สมการ คือ

1. สมการความเร็วของอนุภาค (Particle Velocity equation)

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(p_p - p)}{\rho_p} + F_x$$

2. สมการวิถีการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Particle Trajectory equation)

$$\frac{dx}{dt} = u_p$$

โดยที่  $F_D$  คือแรงต้านอากาศ (Drag force) หมายถึงปริมาณแรงที่คงเหลืออยู่บนพื้นผิวของแผ่นราบเนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ของของไหลบนพื้นผิวและมีทิศทางเดียวกับความเร็วสัมพัทธ์ของไหลการลดปริมาณแรงต้านอากาศมีความสำคัญมากในการเคลื่อนที่ของอากาศยานรบทุกและเครื่องบินต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีแหล่งกำลังที่สามารถเอาชนะแรงลากนี้

$$F_D = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2 24}$$

$C_D$  คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศมีผลจากรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างเช่น ทรงกลมกลวงผ่าครึ่งของเครื่องบินความเร็วลมแบบถั่ว ถ้าหันด้านเว้าให้ลมค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ 1.42 แต่ถ้าหันด้านโค้งให้ลมค่าจะลดลงเหลือ 0.38 รถยนต์สมัยใหม่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศอยู่ระหว่าง 0.27-0.45 เครื่องบินหรือใบพัดกังหันลมมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศน้อยมากประมาณ 0.04 ตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากแรงต้านอากาศ เช่น เครื่องวัด

ความเร็วลมแบบถั่วย กังหันลมแบบซาโวเนียส (Savonius) โดยแรงลมจะผลักใบพัดของกังหันลมทำให้เกิดแรงต้านอากาศขึ้นกับใบกังหันลมทั้งสองด้านที่แตกต่างกัน ทำให้โรเตอร์ของกังหันลมหมุน

ส่วน  $F_x$  คือแรงเพิ่มเติมอาจเป็นได้ทั้งแรงจากการเคลื่อนที่แบบเทอร์โมโฟริซิส (Thermophoresis Force), แรงจากการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian force) และแรงยก (Lift force)

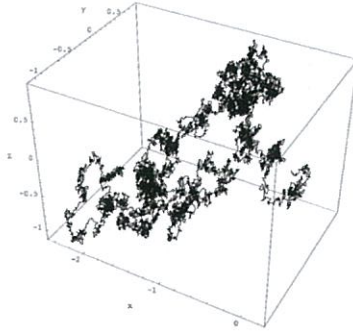
### 2.10.1 การเคลื่อนที่แบบเทอร์โมโฟริซิส (Thermophoresis Motion)

Thermophoresis หรือ Thermomigration, Thermodiffusion ผล Soret หรือ Ludwig-Soret effect เป็นปรากฏการณ์ที่อนุภาคที่ผสมกันของอนุภาคต่างชนิดกันที่เคลื่อนที่ได้แสดงการตอบสนองต่อระดับอุณหภูมิที่ต่างกันออกมาแตกต่างกัน ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้ในระดับหนึ่ง มิลลิเมตรหรือน้อยกว่า ตัวอย่างที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า คือเมื่อแกนทำความร้อนของเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าถูกล้อมรอบไปด้วยควันทูบหรือ ควันจะหายออกไปจากบริเวณใกล้เคียงแกนทำความร้อน เมื่ออนุภาคขนาดเล็กของอากาศที่ใกล้แกนทำความร้อนที่สุดได้รับความร้อน ควันเหล่านั้นจะหายออกไปเนื่องจากได้รับพลังงานจลน์ที่สูงขึ้นกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น เมื่ออนุภาคควันเหล่านั้นชนเข้ากับอนุภาคขนาดใหญ่ที่เคลื่อนไหวช้า ควันที่รับพลังงานจลน์สูงจะผลักควันที่เคลื่อนที่ช้าให้ออกห่างจากแกนทำความร้อน การเคลื่อนที่ดังกล่าวจะมีค่าบวก เมื่ออนุภาคเคลื่อนย้ายจากพื้นที่ที่ร้อนไปยังพื้นที่ที่เย็นและ มีค่าเป็นลบ เมื่อกลับกัน โดยทั่วไปอนุภาคขนาดใหญ่จะแสดงพฤติกรรม แบบค่าบวก ในขณะที่อนุภาคที่มีน้ำหนักจะแสดงพฤติกรรมแบบค่าเป็นลบ นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคชนิดต่างๆและอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ, การนำความร้อนและการดูดซึมความร้อนของอนุภาคก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่

### 2.10.2 การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion)

การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน หมายถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคในของไหล เช่นของเหลว หรือ ก๊าซ ที่เชื่อว่าเป็นไปโดยสุ่ม หรือแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่แบบสุ่มดังกล่าว มักเรียกกันว่า ทฤษฎีอนุภาค มีการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนไปประยุกต์ใช้ในความเป็นจริงมากมาย การเคลื่อนที่แบบบราวเนียนเป็นหนึ่งใน กระบวนการ สโตคาสติก หรือความน่าจะเป็น แบบเวลาต่อเนื่องที่ง่ายที่สุดแบบหนึ่ง ทั้งเป็นขีดจำกัดของกระบวนการทำนายที่ทั้งง่ายกว่าและซับซ้อนกว่า ความเป็นสากลเช่นนี้คล้ายคลึงกับความเป็นสากลของการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสำหรับทั้งสองกรณีนี้ การนำไปใช้งานเน้นที่ความสะดวกในการใช้งานเชิงคณิตศาสตร์มากกว่าเรื่องของความแม่นยำของแบบจำลอง ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของบราวเนียน ซึ่งอนุพันธ์เวลาเป็นอนันต์เสมอ เป็นการประมาณการอุดมคติสำหรับกระบวนการทางกายภาพแบบสุ่มที่เกิดขึ้นจริงที่กรอบเวลามักจำกัดอยู่ที่ค่าหนึ่งเสมอ

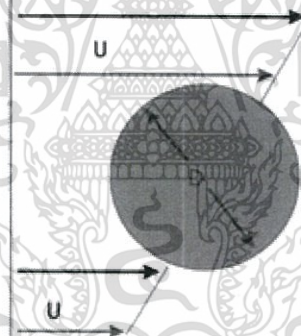
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.35 แสดงการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนในกรอบสามมิติ

### 2.10.3 แบบจำลองแรงยกของแซฟแมน (Saffman lift force)

แรงยกในอนุภาคเป็นผลมาจากการหมุนของอนุภาค โดยการหมุนนี้อาจเกิดจากระดับความแตกต่างของความเร็วหรืออาจมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่นการกระทบกันที่พื้นผิวของอนุภาคแล้วอนุภาคเกิดการกระเด็นกลับ แบบจำลองแรงยกของแซฟแมน นั้นเกิดเนื่องมาจากการระดับความต่างของความเร็วก่อให้เกิดการหมุนของอนุภาคทำให้เกิดการกระจายตัวของแรงดันบนอนุภาค ภาพที่ 2.36



ภาพที่ 2.36 แสดงระดับความต่างของความเร็วที่กระทำต่ออนุภาค

โดยความเร็วที่สูงมากบริเวณส่วนบนสุดของพื้นผิวอนุภาคก่อให้เกิดแรงดันที่ต่ำ และแรงดันที่สูงที่เกิดจากความเร็วที่ต่ำก่อให้เกิดแรงยกขึ้น Saffman จึงได้ทำการวิเคราะห์แรงดังกล่าวแสดงได้ดังสมการ

$$F_{Saff} = 1.61\mu_c D |\mathbf{u} - \mathbf{v}| \sqrt{Re_G}$$

โดยที่  $Re_G$  คือ ตัวเลขเรย์โนลด์ของแรงเฉือน มีค่า

$$Re_G = \frac{D^2 du}{\nu_c dy}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนสมการของแรงยกในรูปของความต่างระหว่างความเร็วและที่พื้นผิวบนสุดและพื้นผิวใต้สุดของอนุภาคได้ จึงทำการแปลงสมการจากที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ได้ดังนี้

$$F_{Saff} = 1.61D^2(\mu_c\rho_c)^{\frac{1}{2}} |\omega_c|^{-\frac{1}{2}} [(\mathbf{u} - \mathbf{v}) \times \omega_c]$$

โดยที่  $\omega_c = \nabla \times \mathbf{u}$

แรงยก Saffman เป็นแรงที่เกิดขึ้นตามแนวรัศมี รูปแบบของแรงยกนี้มีไว้สำหรับอนุภาคที่มีตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำ นอกจากนี้ความแตกต่างความเร็วอนุภาคของของไหลจะต้องมีขนาดเล็กกว่ารากที่สองของตัวเลขเรย์โนลด์ของแรงเฉือน โดยนิยมใช้กับอนุภาคระดับที่เล็กกว่าไมครอน

## 2.11 ความคลาดเคลื่อน (Error)

ความคลาดเคลื่อนสถิติ คือ ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง โดยทั่วไปแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ ถ้าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากแสดงว่าการวัดนั้นต้องมีทั้งมีความแม่นยำและความถูกต้องสูง โดยการวัดทุกครั้งมักมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การเข้าใจถึงสาเหตุจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงได้ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่แน่นอน (Uncertainty) ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นจากสาเหตุ ดังนี้

### 2.11.1 ความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคล (Personal Error)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความบกพร่องของผู้วัดหรือผู้ทดลอง ซึ่งสามารถลดความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ได้ถ้าผู้ทดลองใช้ความระมัดระวังในการอ่านข้อมูลจากเครื่องมือวัดพร้อมทั้งระมัดระวังหน่วยของปริมาณที่วัด นอกจากนั้นต้องบันทึกข้อมูลให้มีระเบียบแบบแผน มีรายละเอียดที่สามารถสื่อความหมายของข้อมูลดิบ จนสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์หรือคำนวณหาค่าตอบได้โดยไม่ผิดพลาด การแก้ไขได้โดยพัฒนานิสัยผู้วัดให้มีลักษณะนิสัยมีความละเอียด สุขุม รอบคอบ

### 2.11.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error)

เป็นความคลาดเคลื่อนเกิดจากเครื่องมือที่ใช้ทดลอง สามารถลดให้น้อยลงได้โดยใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดขึ้นเสมอไม่ขึ้นกับผู้ทดลอง ผู้ทดลองจึงต้องเลือกอุปกรณ์หรือเครื่องมือทดลองให้เหมาะสม โดยมีสิ่งควรคำนึงถึงดังนี้ ความแม่นยำหมายถึงเครื่องมือที่วัดได้ค่าเดิมแม้ว่าจะวัดหลายครั้ง ความถูกต้อง หมายถึงเครื่องมือที่วัดได้ค่าเท่ากับค่ามาตรฐานหรือใกล้เคียง กับค่ามาตรฐาน ความไว หมายถึงเครื่องมือที่สามารถวัดค่าได้ แม้ว่าสิ่งนั้นหรือ ปริมาณฟิสิกส์ปริมาณนั้นจะมีค่าน้อยมาก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.11.3 ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Errors)

เรียกอีกอย่างว่า ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) เป็นความคลาดเคลื่อนในลักษณะที่ข้อมูลหรือตัวเลขที่วัดได้ มีค่าต่างๆ กันกระจายออกไปจากค่าตัวเลขที่เป็นไปได้มากที่สุดค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวเลขนั้น ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่เราไม่สามารถกำหนดหรือคาดคะเนได้แม้จะพยายามและระมัดระวังอย่างดีที่สุดแล้วก็ตาม เช่น การอ่านข้อมูลตัวเลขจากเครื่องมือวัดที่ต้องอาศัยการประมาณค่าในหลักสุดท้ายของสเกลจะมีขนาดไม่เท่ากัน และมีการกระจายแบบสุ่ม (Random Distribution) หมายความว่า แม้ว่าจะพยายามวัดหลายๆ ครั้ง จะพบว่าตัวเลขการวัดแต่ละครั้งจะไม่เท่ากัน แต่ตัวเลขที่วัดได้มีแนวโน้มจะเท่าหรือใกล้เคียงค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งค่าๆ นี้เราหาได้โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis) ยังมีความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติอีกแบบหนึ่งซึ่งเป็นธรรมชาติของปรากฏการณ์นั้นๆ ซึ่งมี สาเหตุจากสภาวะของตัวแปรภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความดัน ฯลฯ หรือตัวแปรภายในที่ไม่สามารถ ควบคุมได้ ความคลาดเคลื่อนแบบนี้มีลักษณะสุ่มเหมือนการเคลื่อนที่แบบแรก เช่น การสลายตัวของ สารกัมมันตรังสี อัตราการสลายตัว หรือปริมาณรังสีที่แผ่ออกมาต่อหน่วยเวลาจะมีค่าไม่เท่ากัน แม้จะวัดในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันก็ตาม ความแตกต่างที่วัดได้จะมีลักษณะสุ่มซึ่งเป็นธรรมชาติของการ สลายตัวของสารกัมมันตรังสี การหาค่าที่แท้จริงต้องวัดหลายๆ ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยหรือใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติ

## 2.12 การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด

### 2.12.1 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Error)

คือ ค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการวัดสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Absolute Error} = |E - S|$$

### 2.12.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error)

สามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Relative error} = \frac{|E - S|}{S} \times 100\%$$

โดยที่ E คือ ค่าที่ได้จากการวัด (Measure Value)

S คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง (True Value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึง กระบวนการผลิต ขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิด การปนเปื้อน การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา การศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหา การสร้างแบบจำลองของปัญหาที่เกิดขึ้น การดำเนินการจำลอง สถานการณ์ที่เป็นปัญหา การติดตั้งอุปกรณ์ในเครื่องจักรตามแบบการจำลอง การเก็บรวบรวมข้อมูล จากการติดตั้งจริงเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง การติดตามผลการดำเนินงาน การประเมินสาเหตุ และการปรับปรุง

#### 3.1 ศึกษากระบวนการผลิตและการเกิดการปนเปื้อนในกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต HGA นั้นประกอบด้วยสายการผลิตย่อย 2 สายการผลิตซึ่งประกอบด้วย สายการผลิต คือสายการผลิตที่ทำหน้าที่ประกอบ และ สายการผลิตที่ทำหน้าที่ทดสอบ HGA

##### 3.1.1 สายการผลิตที่ทำหน้าที่ประกอบ

สายการผลิตที่ทำหน้าที่ประกอบ HGA ประกอบด้วยกระบวนการนำ TGA เข้าสู่สายการผลิต และนำไปประกอบเข้ากับสไลเดอร์ เป็น HGA ไปจนถึงกระบวนการนำ HGA ที่ประกอบเสร็จแล้วออก จากสายการผลิตก่อนนำไปเข้าสู่กระบวนการล้างทำความสะอาด HGA

##### 3.1.2 สายการผลิตที่ทำหน้าที่ทดสอบ

สายการผลิตที่ทำหน้าที่ทดสอบการทำงานของ HGA เป็นสายการผลิตที่รับหน้าที่ต่อจาก สายการผลิตที่ทำหน้าที่ประกอบ HGA ภายหลังจากจบกระบวนการล้างทำความสะอาด HGA โดยจะ นำ HGA มาเพื่อจัดเรียงประจุแม่เหล็กไฟฟ้าและทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของ หัวอ่าน จากนั้นจะคัดแยก HGA ตามคุณสมบัติทางกลโดยจะจัด HGA ที่มีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียง กันไว้ด้วยกัน จากนั้นจะนำ HGA เข้ามาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ ด้วยกำลังขยาย 10X-30X เพื่อตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนทั่วไป และกำลังขยาย 100X เพื่อตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนบนหน้า ABS เมื่อพบ ชิ้นงานที่ปนเปื้อน พนักงานจะทำหน้าที่แยกชิ้นงานที่ดีหรือกล่าวได้อีกอย่างคือชิ้นงานที่ไม่มีการ ปนเปื้อน และชิ้นงานที่เสียหรือชิ้นงานที่เกิดการปนเปื้อนออกจากกัน ก่อนจะเข้าสู่การตรวจสอบและ รับรองคุณภาพของสินค้าก่อนส่งขาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกระบวนการที่กล่าวไปข้างต้นนั้น ขั้นตอนการผลิตทั้งหมดที่เกิดขึ้นในโรงงานทำการผลิต ภายได้มาตรฐานห้องสะอาดคลาส 1000

### 3.2 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

จากกระบวนการผลิตที่ได้กล่าวไปข้างต้นนั้น แสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนการตรวจสอบการปนเปื้อนของงานนั้นอยู่ในกระบวนการสุดท้ายของสายการผลิต อาจกล่าวได้ว่า สิ่งปนเปื้อนที่เกิดขึ้น ในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้ในระหว่างกระบวนการผลิต โดยจะทราบใน ขั้นตอนสุดท้ายที่คัดแยกงานดีและงานเสียเท่านั้น ในกระบวนการผลิตเมื่อตรวจสอบพบอนุภาคโลหะ บนชิ้นงาน ก็จะทำให้การคัดแยกงานนั้นออกทันทีโดยถือว่าเป็นงานเสีย และจากการตรวจสอบข้อมูลพบว่าองค์ประกอบของสิ่งปนเปื้อนโลหะบนชิ้นงาน นั้นเป็นองค์ประกอบชนิดเดียวกับองค์ประกอบของสื่อบันทึก จึงอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการที่มีส่วนก่อให้เกิดการปนเปื้อนอนุภาคโลหะนั้น คือ กระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า เนื่องจากกระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า จะนำ HGA ไปทดสอบโดยบินใส่สื่อบันทึก ที่กำลังหมุน ที่มีระยะช่องว่างของการบินอยู่ห่างในระดับนาโน เมตร ถ้าหากสื่อบันทึก นั้นไม่เรียบหรือมีรอยขรุขระแม้เพียงเล็กน้อย อาจทำให้สื่อบันทึกที่กำลังหมุน นั้นไปเสียดสีกับหน้าสไลเดอร์ของ HGA ทำให้อนุภาคโลหะที่หลุดออกจากสื่อบันทึกในระหว่างการ เกิดการเสียดสี เกิดเป็นอนุภาคโลหะปนเปื้อนขึ้นในกระบวนการ และเมื่อเกิดการเสียดสีกันระหว่าง สไลเดอร์และสื่อบันทึกแล้วนั้น จะส่งผลให้ HGA ตัวต่อไปที่จะเข้ามาทำการทดสอบคุณสมบัติทาง ไฟฟ้าที่เครื่องจักรเกิดการปนเปื้อนตามไปด้วย และจะเกิดการปนเปื้อนไปจนกระทั่งเครื่องจักรจะ สามารถกำจัดอนุภาคโลหะปนเปื้อนนั้นออกไปได้หมดซึ่งใช้ระยะเวลาานพอสมควร ส่งผลให้จำนวน HGA ที่ปนเปื้อนนั้นมีจำนวนมากต่อการเกิดการเสียดสีกันในหนึ่งครั้ง ดังนั้นหากสามารถตรวจจับ อนุภาคโลหะปนเปื้อนที่เกิดขึ้นได้ตั้งแต่กระบวนการนี้ จะสามารถลดโอกาสในการเกิดงานที่ปนเปื้อน ได้หรืออีกนัยหนึ่งคือสามารถลดปริมาณการเกิดงานเสียจากการปนเปื้อนได้ โดยที่ไม่ต้องปล่อยให้งาน เสียหลุดไปจนถึงกระบวนการสุดท้าย

### 3.3 การออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา

เป็นขั้นตอนการออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหภายหลังจากการวิเคราะห์สภาพปัญหา ซึ่งจากการ วิเคราะห์ปัญหาพบว่า มีอนุภาคปนเปื้อน ชนิดโลหะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยเกิดขึ้นใน ระหว่าง กระบวนการ การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ HGA ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสิ่งปนเปื้อนขึ้นบน HGA และยังไม่มียกเลิกใดที่สามารถมาตรวจจับการเกิดขึ้นของอนุภาคปนเปื้อนชนิดโลหะนี้ได้ ซึ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบจะเกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตเท่านั้น จึงได้คิดค้นวิธีการที่จะตรวจจับการเกิดการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นให้ได้ก่อนการตรวจในขั้นสุดท้าย เพื่อป้องกันการเกิดงานเสียขึ้น โดยจะทำการตรวจจับการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นขณะที่ HGA กำลังทดสอบทางไฟฟ้าในเครื่องจักรโดยทันทีให้ได้ จึงได้ใช้วิธีในการที่จะติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาค เพื่อนำมาทำหน้าที่ตรวจจับอนุภาคสิ่งปนเปื้อน แต่เนื่องจากไม่ทราบตำแหน่งที่แน่นอนว่า ตำแหน่งใดในเครื่องจักรที่จะสามารถตรวจจับอนุภาคได้จึงต้องทำการทดลองติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในเครื่องจักร เพื่อที่จะดูว่าตำแหน่งใดที่อนุภาคจะถูกตรวจจับได้ แต่เนื่องจากการทดลองโดยตรงกับเครื่องจักรในสายการผลิตจริงเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก และไม่สามารถทำได้บ่อยครั้งเท่าที่ต้องการ เนื่องจากเครื่องจักรต้องทำงานตลอดเวลา เพื่อรักษาสมดุลและเสถียรภาพของสายการผลิต และเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบจากการหยุดทำงานของเครื่องจักร ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถจะทำให้การทดลองเป็นไปได้ตามความต้องการ คือ การจำลองการเกิดอนุภาคขึ้นภายในเครื่องจักร เพื่อให้ทราบทิศทางและตำแหน่งที่แน่นอนที่อนุภาคปนเปื้อนเคลื่อนที่ไปตก ซึ่งเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการจำลองรูปแบบของปัญหาออกมาในโปรแกรมก่อนการทดลองจริงกับเครื่องจักรในสายการผลิต และสามารถแก้ไขปรับปรุงเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับการทดลองที่ออกแบบไว้ได้ตามความต้องการ จนกระทั่งผลการทดลองได้รับการพิสูจน์และยืนยันแล้วว่าถูกต้องและเหมาะสม ก่อนการนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรจริง ดังนั้นการจำลองปัญหาจึงมีประโยชน์เนื่องจากสามารถลดเวลาที่เครื่องจักรจะต้องสูญเสียในการทำงานในสายการผลิตเพื่อมาทำการทดลอง และประหยัดค่าใช้จ่ายที่จะต้องสูญเสียในแต่ละครั้งที่ทำการทดลองอีกด้วย

### 3.4 การศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหา

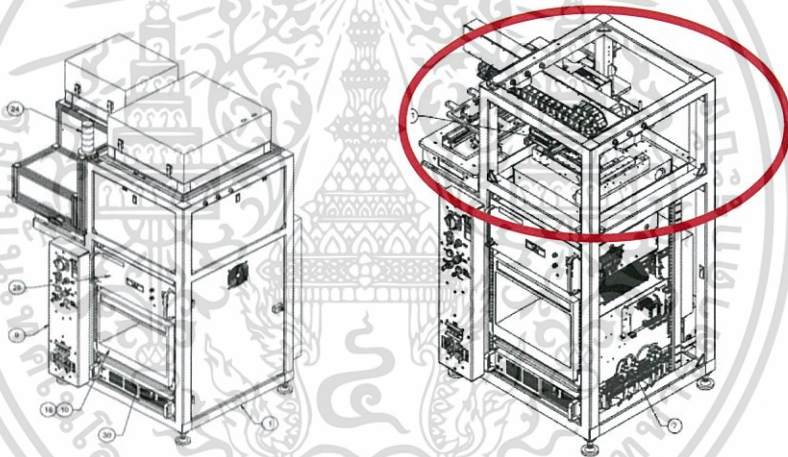
จากการออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหานั้นจำเป็นต้องอาศัยการจำลองปัญหาขึ้นซึ่งก็คือ ต้องจำลองการเกิดอนุภาคขึ้นภายในเครื่องจักร ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของเครื่องจักรนั้นจึงมีความเกี่ยวข้องกับพลศาสตร์ของไหล และหลักการการเคลื่อนที่ของอนุภาค เนื่องจากจำเป็นต้องศึกษาถึงผลกระทบของการไหลของอากาศที่อยู่ภายในเครื่องจักรที่ส่งผลต่อทิศทางและรูปแบบการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยก่อนที่จะทำการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคจึงจำเป็นต้องทำการจำลองรูปแบบการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรให้ถูกต้องก่อน จึงจะสามารถจำลองการเกิดขึ้นของอนุภาค เพื่อที่ทิศทางและการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะได้ผลออกมามีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีความเหมาะสมว่าควรใช้ โปรแกรม ANSYS 17.0 ซึ่งผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมนี้จะสามารถนำมาทำการศึกษาถึงผลกระทบจากการไหลของอากาศที่มีผลต่อทิศทางและการเคลื่อนที่ของอนุภาคขณะเครื่องจักรทำงานได้ โดยอาศัยการคำนวณพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยเลือกโหมดการคำนวณเป็นแบบ Fluent เนื่องจากมีความสอดคล้องกับ

รูปแบบของปัญหาซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพลศาสตร์ของไหล มาเป็นตัวช่วยในการคำนวณแบบจำลองของปัญหาและการคำนวณในโหมดนี้ยังสามารถเลือก แบบจำลองการคำนวณเป็นแบบ Discrete phase model ซึ่งเหมาะสำหรับการศึกษาการจำลองการเกิดของอนุภาค ลักษณะการเกิดอนุภาค รูปแบบและทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคว่าเคลื่อนที่ไปที่ตำแหน่งใด

### 3.5 การสร้างแบบจำลองปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร

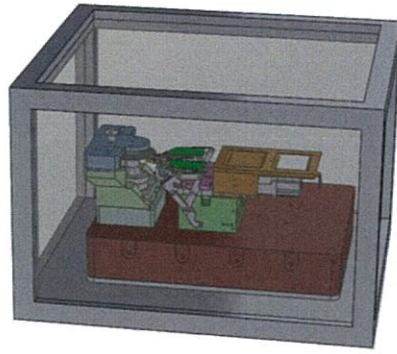
ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างแบบจำลองสภาพของปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรโดยอาศัยโปรแกรม ANSYS 17.0 เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลองขึ้นมา ซึ่งสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนการดำเนินการได้ดังต่อไปนี้

#### 3.5.1 แบบจำลองของเครื่องจักร



ภาพที่ 3.1 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรแบบเต็มเครื่อง

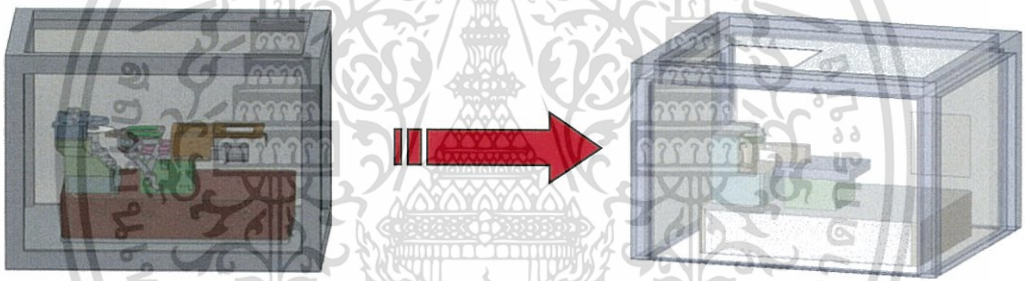
จาก ภาพที่ 3.1 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรแบบเต็มเครื่องทั้งด้านหน้าและด้านหลังแต่ส่วนที่สนใจศึกษาและเกี่ยวข้องกับรายงานวิจัยฉบับนี้จะสนใจเฉพาะส่วนที่ทำหน้าที่ในการทดสอบ HGA ซึ่งคือส่วนที่อยู่ในกรอบวงกลมเท่านั้น ดังภาพที่ 3.2 จะแสดงถึงแบบจำลองส่วนที่สนใจศึกษาและจะอธิบายรายละเอียดในเครื่องจักรส่วนที่สนใจศึกษาวิจัยได้ในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 3.2 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรแบบเฉพาะส่วน

### 3.5.2 การปรับลดความซับซ้อนของแบบจำลอง เครื่องจักร

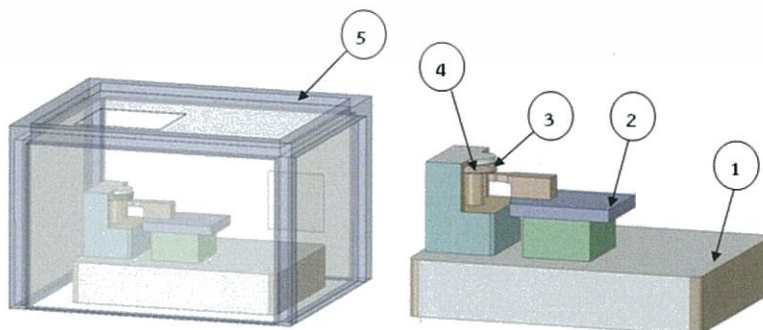
จากภาพที่ 3.3 แสดงแบบจำลองเครื่องจักรเดิมและแบบจำลองเครื่องจักรภายหลังการปรับลดความซับซ้อนของแบบจำลองให้ง่ายขึ้นแล้ว เพื่อให้มีความเหมาะสมในการเข้าโปรแกรมเพื่อดำเนินการการจำลองปัญหา



ภาพที่ 3.3 แสดงแบบจำลองของเครื่องจักรก่อนและภายหลังการปรับลดความซับซ้อน

### 3.5.3 ส่วนประกอบของแบบจำลองเครื่องจักร

ภายหลังการปรับลดความซับซ้อน (Simplify) ของเครื่องจักรเพื่อให้มีความเหมาะสมและง่ายต่อการเข้าโปรแกรมเพื่อทำการจำลองปัญหาที่เกิดขึ้น ในเครื่องจักรจะมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่องจักร

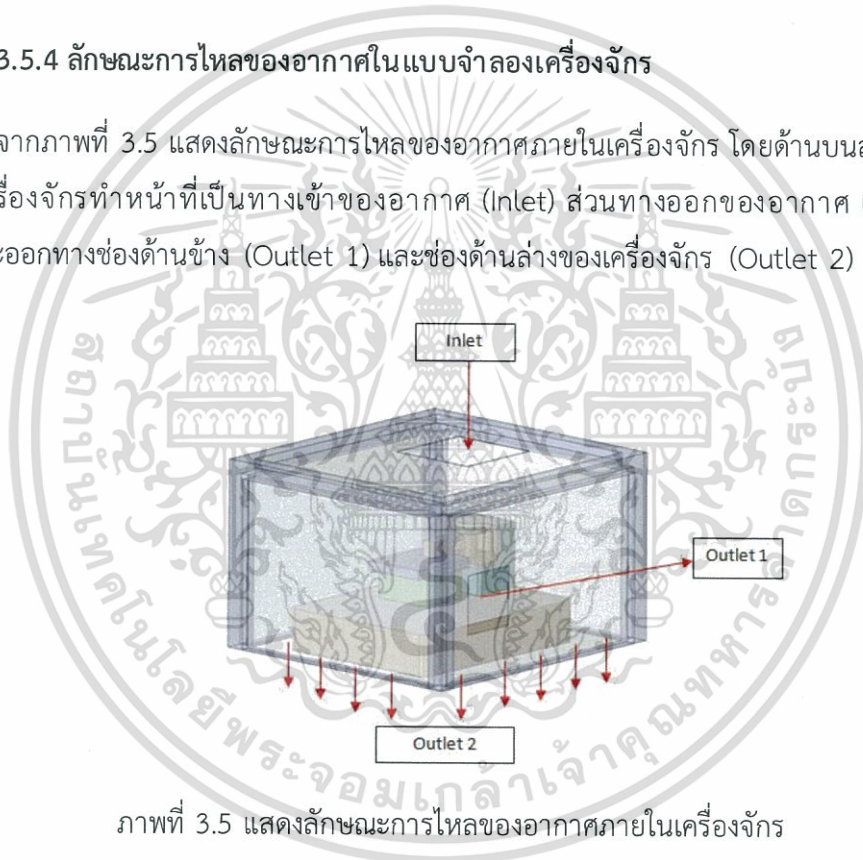
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.4 แสดงรูปแบบดั้งเดิมของเครื่องจักรโดยจะประกอบไปด้วยส่วนหลัก 5 ส่วน คือ

1. Spindle Base คือ ฐานรองรับ แกนหมุน (Spindle) ซึ่งทำหน้าที่ในการหมุนสื่อบันทึก
2. HGA Base และ HGA คือ ฐานรองรับ HGA ที่จะนำไปทดสอบใส่สื่อบันทึก
3. Media Cover คือ ตัวครอบสื่อบันทึก
4. Media คือ สื่อบันทึกที่มีรูปร่างเป็นแผ่นกลม ลักษณะเรียบ ที่หมุนอยู่บนแกนหมุน
5. Case คือ กล่องครอบเครื่องจักรทั้งหมด โดยมีช่องว่างเป็นทางเข้าและทางออกของอากาศ

#### 3.5.4 ลักษณะการไหลของอากาศในแบบจำลองเครื่องจักร

จากภาพที่ 3.5 แสดงลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องจักร โดยด้านบนสุดของ กล่องครอบเครื่องจักรทำหน้าที่เป็นทางเข้าของอากาศ (Inlet) ส่วนทางออกของอากาศ (Outlet) นั้น อากาศจะออกทางช่องด้านข้าง (Outlet 1) และช่องด้านล่างของเครื่องจักร (Outlet 2)



ภาพที่ 3.5 แสดงลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องจักร

### 3.6 การดำเนินการจำลองปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร

#### 3.6.1 การวิเคราะห์แบบจำลองของอากาศในการจำลองปัญหา

จากภาพที่ 3.5 ที่แสดงทิศทางการไหลของอากาศพบว่า มีทางเข้าของอากาศหนึ่งทางและทางออกของอากาศอีกสองทางโดยเงื่อนไขความเร็วอากาศที่บริเวณทางเข้าของอากาศ (Inlet) นั้นมีค่า 1.06 เมตรต่อวินาที และการออกของอากาศตรงบริเวณทางออกของอากาศด้านล่างสุด (Outlet 2) ของเครื่องจักรจะเป็นการออกแบบอิสระ ส่วนทางออกด้านหลังของเครื่องจักร (Outlet 1) จะมีพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อยู่ให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลมดูดอากาศที่ทำหน้าที่ดูดเอาอากาศออกจากเครื่องจักร เพื่อกำจัดอนุภาคที่อยู่ภายในเครื่องจักรให้ออกไปจากเครื่องจักร การไหลของอากาศภายในเครื่องจักรนั้นจะไม่ใช่เป็นการไหลแบบราบเรียบเนื่องจากมีผลกระทบจากความเร็วของอากาศจากทางเข้าของอากาศและภายในเครื่องจักรนั้นมีการหมุนของสื่อบันทึกที่อยู่ภายในเครื่องจักรซึ่งทำหน้าที่ทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ HGA ด้วยความเร็วรอบสูงมาก ซึ่งความเร็วรอบที่หมุนด้วยค่าที่สูงนี้ส่งผลต่อการไหลของอากาศภายในเครื่องจักร ทำให้การไหลไม่เป็นไปแบบราบเรียบโดยที่ลักษณะการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรนั้นจะเป็นการไหลแบบช่วงต่อ และ การไหลแบบปั่นป่วน จากผลของลักษณะการไหลของอากาศดังกล่าวไปข้างต้นเมื่อทำการจำลองการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรได้ตามเงื่อนไขก็จะสามารถทราบทิศทางการที่อนุภาคเคลื่อนที่ไป

### 3.6.2 แบบจำลองของการเมช (Meshing)

จุดมุ่งหมายคือต้องการศึกษาการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรและผลกระทบของการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรที่มีต่ออนุภาคที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการ เพื่อศึกษาทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค ดังนั้น แบบจำลองของการเมชนั้นจึงเป็นไปดังภาพที่ 3.6

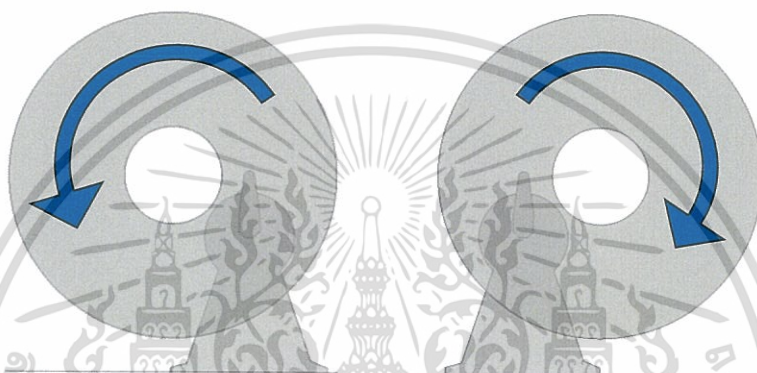


ภาพที่ 3.6 แสดงการเมชของแบบจำลอง

แบบจำลองการเมชนี้จะประกอบด้วย เมชทรงสี่หน้าโดยที่ขนาดเมช มีขนาด 5 มิลลิเมตร และมีการกำหนดการเมชบริเวณเฉพาะที่ บริเวณขอบเขตของทางเข้าของอากาศ, ทางออกของอากาศ และบริเวณสื่อบันทึกให้มีขนาดการเมชที่ 1 มิลลิเมตร โดยรวมแล้วมีการเมชทั้งหมด 2.35 ล้านเอลิเมนต์ (Element) และมี 4.5 แสนโหนด (Node) ซึ่งเมื่อตรวจสอบคุณภาพการเมชด้วย Orthogonal Quality แล้วนั้นพบว่ามีความอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

### 3.6.3 การกำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่องจักรในการจำลองปัญหา

จากการสังเกตการทำงานของเครื่องจักรที่นำมาทำเป็นแบบจำลองในการจำลองปัญหา พบว่าเครื่องจักรมีหน้าที่ในการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสไลเตอร์บน HGA มีลักษณะการทำงานคือสื่อบันทึกจะทำหน้าที่หมุนอยู่บน โดยเครื่องจักรที่ทำการวิจัยนั้นทำการหมุนทดสอบที่ความเร็ว 7200 รอบต่อนาที โดยทิศทางการหมุนของสื่อบันทึก นั้นมี 2 ทิศทาง คือ หมุนแบบตามเข็มนาฬิกา (Clockwise) และหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา (Counter Clockwise) และตำแหน่งของ HGA ที่ใช้ในการทดสอบเป็นไปดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างการทำงานของเครื่องจักร

จากภาพที่ 3.7 แสดงตำแหน่งของ HGA ที่ตำแหน่งต่างกันเมื่อ สื่อบันทึกหมุนที่เงื่อนไขทิศทางการหมุนต่างทิศกัน ถ้าสื่อบันทึกหมุนที่ทิศทวนเข็มนาฬิกา ตำแหน่งของ HGA จะอยู่ทางด้านขวา ถ้าสื่อบันทึกหมุนตามเข็มนาฬิกา ตำแหน่งของ HGA จะอยู่ทางด้านซ้าย แต่ทั้งสองเงื่อนไขการทำงานนั้นทำงานอยู่ในเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน โดยการหมุนนั้นจะมีการสลับทิศทางการหมุนของสื่อบันทึกไปตามลักษณะของ HGA ที่เข้ามาทำการทดสอบที่เครื่องจักรนั้นๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับแผนการผลิต HGA ดังนั้นในการจำลองปัญหาจึงต้องทำการจำลองปัญหาออกมาทั้งสองเงื่อนไขการทำงานของเครื่องจักร

### 3.6.4 การกำหนดเงื่อนไขสภาพแวดล้อมในการจำลองปัญหา

การกำหนดเงื่อนไขสภาพแวดล้อมในการจำลองปัญหา (Ambient Condition) กำหนดจากเงื่อนไขจริงที่วัดได้จากสายการผลิตแสดงได้ดังภาพที่ 3.8 ขณะเครื่องจักรทำการปฏิบัติการ

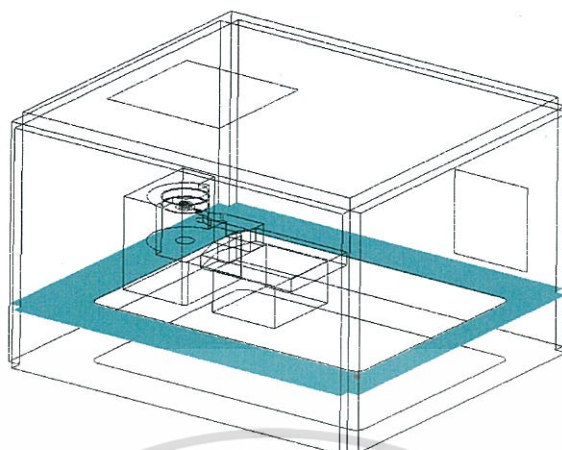


ภาพที่ 3.8 ขณะปฏิบัติการวัดความเร็วของอากาศขณะเครื่องจักรทำงาน

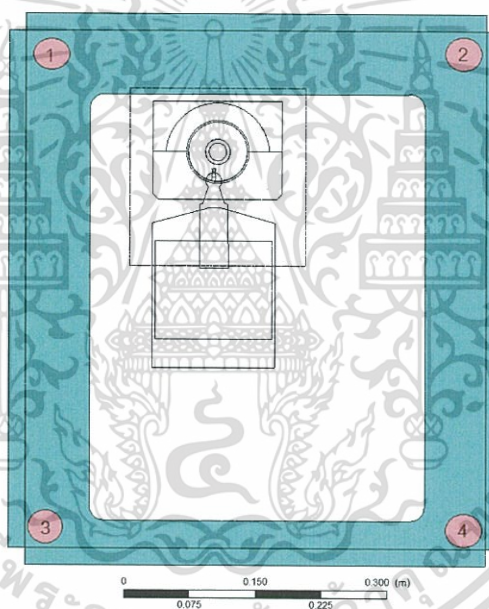
จากการปฏิบัติการวัดค่าสภาพแวดล้อมต่างๆซึ่งได้แก่ การวัดความเร็วของอากาศด้วยเครื่องวัดความเร็วอากาศ ซึ่งเครื่องดังกล่าวสามารถวัด อุณหภูมิได้เช่นกัน ผลที่ได้จากเครื่องวัดความเร็วอากาศ ในแต่ละขอบเขตเป็นดังนี้ ที่บริเวณทางเข้าของอากาศนั้น วัดได้ค่า 1.06 เมตรต่อวินาที ให้เป็นเงื่อนไขความเร็วอากาศขาเข้า (Velocity Inlet) ที่ความดัน 105300 ปาสคาล อุณหภูมิ 22.5°C ส่วน Pressure Gauge 0 ปาสคาล ถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขของความดันขาออก (Pressure Outlet) ของบริเวณทางออกของอากาศทั้งสองทาง ส่วนค่าอื่นๆนั้นให้โปรแกรมกำหนดเอง (Default Value) โดยใช้การคำนวณแบบสภาวะคงที่ (Steady State) จนกระทั่งค่าตอบลู่เข้า

### 3.6.5 ความถูกต้องของผลการจำลองปัญหา

ภายหลังเสร็จสิ้นกระบวนการการจำลองสภาพปัญหาแล้วนั้น ในส่วนของผลการคำนวณด้วยโปรแกรม ANSYS FLUENT 17 จากแบบจำลองการเมช ภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมจริงของสายการผลิต จะแสดงผลที่ได้จากการคำนวณไว้บนที่ 4 โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการต่อมาหลังจากการจำลองปัญหาเสร็จสิ้น คือการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองปัญหา โดยจะนำผลของความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองของปัญหาจากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับผลความเร็วของอากาศที่วัดได้จากสภาพแวดล้อมเงื่อนไขจริงที่เครื่องจักรทำงานอยู่มาทำการเปรียบเทียบกัน โดยตำแหน่งที่เลือกมาทำการวัดความเร็วของอากาศ คือระนาบที่อยู่ระดับเดียวกับความสูงของฐานรองรับและจะทำการวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดความเร็วลม ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แสดงระนาบการวัดความเร็วของอากาศ



ภาพที่ 3.10 แสดงตำแหน่งการตรวจสอบผลของความเร็วของอากาศ

ที่ระนาบความสูงของฐานรองรับ เมื่อทำการวัดความเร็วของอากาศที่ตำแหน่งมุมของเครื่องจักรทั้ง 4 มุม แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยความเร็วลมที่วัดได้ที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อแสดงเป็นผลการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศที่ตำแหน่งต่างๆที่วัดได้จริงกับผลที่ได้จากคำนวณโดยโปรแกรม ดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ความเร็ว (เมตร/วินาที)		%ความคลาดเคลื่อน
	ค่าที่ได้จากการจำลอง	ค่าที่วัดได้จริง	
1	0.378	0.434	13%
2	0.147	0.193	24%
3	0.128	0.161	20.50%
4	0.19	0.226	16%
	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย		18.40%

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบผลการคำนวณกับค่าที่วัดได้จริง

จากผลการเปรียบเทียบพบว่าที่ตำแหน่งต่างๆมีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงต่างกัน โดยตำแหน่งที่ 1 มีค่าคลาดเคลื่อนไป 13% ตำแหน่งที่ 2 มีค่าคลาดเคลื่อนไป 24% ตำแหน่งที่ 3 มีค่าคลาดเคลื่อนไป 20.5% ตำแหน่งที่ 4 มีค่าคลาดเคลื่อนไป 16% มี และจากการหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมทั้ง 4 มุมแล้วพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวม เท่ากับ 18.4% จากภาพที่ 3.11 แสดงกราฟการเปรียบเทียบผลจากค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการคำนวณ พบว่ามีแนวโน้มไปทางเดียวกันหรืออาจกล่าวได้ว่ามีค่าสอดคล้องกันแต่มีค่าความคลาดเคลื่อนทำให้เส้นกราฟไม่ทับเป็นเส้นเดียวกัน ดังนั้นผลการคำนวณที่ได้จึงมีความน่าเชื่อถือประมาณ 81%



ภาพที่ 3.11 กราฟแสดงค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการคำนวณ

จากกราฟแสดงค่าที่วัดได้จริงและค่าที่ได้จากการคำนวณพบว่ามีแนวโน้มไปทางเดียวกันหรืออาจกล่าวได้ว่ามีค่าสอดคล้องกันแต่มีค่าความคลาดเคลื่อนทำให้เส้นกราฟไม่ทับเป็นเส้นเดียวกัน ดังนั้นผลการคำนวณที่ได้จึงมีความน่าเชื่อถือประมาณ 81%

### 3.7 การจำลองการเกิดอนุภาคปนเปื้อนในเครื่องจักร

เพื่อตรวจสอบว่าผลกระทบจากการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วนของอากาศภายในเครื่องจักร อันเนื่องมาจากอิทธิพลของความเร็วของอากาศที่บริเวณทางเข้าของอากาศและการหมุนของเอกซานนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สื่อบันทึกที่เกิดขึ้นในเครื่องจักร ส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เกิดขึ้นภายในเครื่องจักร ขณะเกิดอนุภาคโลหะปนเปื้อนอย่างไร จึงใช้การคำนวณแบบ Discrete Phase Model (DPM) จากโปรแกรม ANSYS 17.0 เพื่อทดสอบปล่อยอนุภาคปนเปื้อนโดยแหล่งกำเนิดอนุภาคสิ่งปนเปื้อน (Particle source) นั้นมาจาก สื่อบันทึกแล้วสังเกตผลของอิทธิพลของการไหลของอากาศภายในเครื่องจักรที่มีต่ออนุภาคปนเปื้อนที่ปล่อยออกมา ว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค หรือการกระจายตัวของอนุภาคที่บริเวณใดมีความหนาแน่นมากที่สุด ที่เหมาะสมกับการติดตั้ง เครื่องตรวจจับอนุภาค (Particle Detector) มากที่สุด โดยผลที่ได้จากการจำลองปัญหาจะแสดงไว้ในบทที่ 4 ว่าด้วยผลของการวิจัย



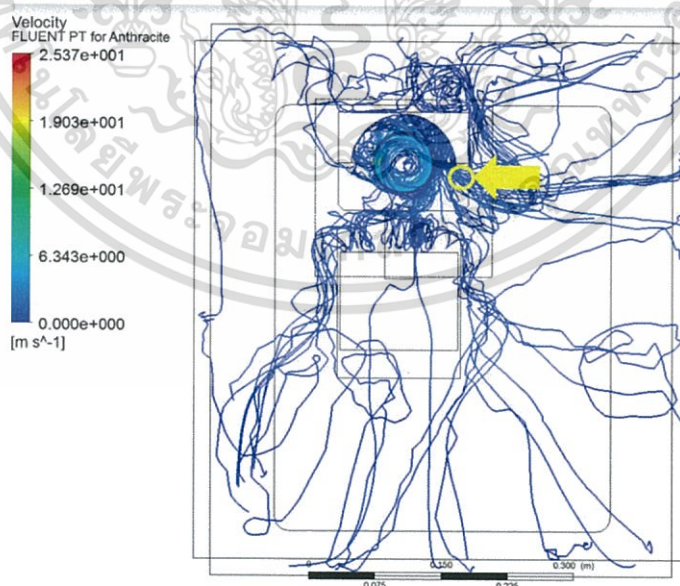
ภาพที่ 3.12 แสดงเครื่องวัดอนุภาคปนเปื้อน

### 3.8 การเปลี่ยนเงื่อนไขแบบจำลองปัญหาเพื่อศึกษาถึงผลกระทบเพิ่มเติม

จากการดำเนินการจำลองปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรดังที่ได้อธิบายในรายงานวิจัยนี้ โดยที่เครื่องจักรมีเงื่อนไขการทำงานโดยที่สื่อบันทึก หมุนที่ความเร็ว 7200 รอบต่อนาทีไปแล้วนั้น ต่อมาได้ทำการทดลองจำลองปัญหาของเครื่องจักรภายใต้การทำงานในเงื่อนไขอื่นๆ เนื่องจากภายในโรงงานมีเครื่องจักรหลายเครื่องที่ทำงานภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน เช่น การเปลี่ยนความเร็วในการหมุนของสื่อบันทึก เป็น 5400 รอบต่อนาที และ 10500 รอบต่อนาที เพื่อที่จะหาว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค และนอกจากนี้ได้ทำการเปลี่ยนความเร็วของอากาศที่บริเวณขอบเขตทางเข้าของอากาศให้มีค่าเป็นสองเท่าของความเร็วเดิมที่ใช้ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน และนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกัน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการนำไปใช้งานจริง และการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต โดยผลที่ได้จากการทดลองเพิ่มเติมนี้จะแสดงไว้ในบทที่ 4 ว่าด้วยผลของการวิจัย

### 3.9 การติดตั้งอุปกรณ์จริงในเครื่องจักรตามผลที่ได้จากการจำลองปัญหา

ภายหลังการจำลองการปล่อยอนุภาคในเครื่องจักร ทำให้ทราบทิศทางการเคลื่อนที่ที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปตกแล้วนั้น ส่วนขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองจากโปรแกรมเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทำงานของเครื่องจักรจริง พบว่าแบบจำลองที่ได้ทำการจำลองปัญหานั้นมีความน่าเชื่อถือประมาณ 81% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ จึงนำมาสู่กระบวนการการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคในเครื่องจักรโดยอ้างอิงตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคจากทิศทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปตกหนาแน่นที่สุด จากผลการจำลองการปล่อยอนุภาคที่ได้ทำไปในขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งขั้นตอนนี้ได้ทำการปรึกษากับช่างเทคนิค (Technician) เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ว่าตำแหน่งที่สามารถตรวจจับอนุภาคได้มากที่สุดจะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรขณะดำเนินการ ภายหลังการทำการทดสอบและตรวจสอบแน่ชัดแล้วว่าตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคดังกล่าวนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรจึงจะสามารถนำเครื่องตรวจจับอนุภาคเข้าไปติดตั้งได้จากรูปแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจากผลที่ได้จากการจำลองการปล่อยอนุภาคจากสี่บันทีก โดยเครื่องจักรที่จะไปทำการติดตั้งมีเงื่อนไขการทำงานดังนี้ สี่บันทีกหมุนที่ความเร็ว 7200 รอบต่อนาที และทิศทางการหมุนเป็นแบบตามเข็มนาฬิกา หากสังเกตจากรูปจะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะมีความหนาแน่นที่สุดในบริเวณที่ได้วงกลมเอาไว้ดังนั้นก็จะเป็นบริเวณที่เหมาะสมที่จะทำการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคเนื่องจากมีความไวที่จะตรวจจับอนุภาคได้ดีที่สุด



ภาพที่ 3.13 แสดงภาพมุมมองแสดงตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9.1 ขั้นตอนในการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคนั้นสามารถ

3.9.1.1 ทำการติดตั้งโพรบ (Probe) ณ ตำแหน่งที่วงกลมในรูปภาพเพื่อทำหน้าที่ในการดูอากาศให้เข้าไป



ภาพที่ 3.14 แสดงโพรบ

3.9.1.2 ทำการต่อท่อดังภาพที่ 3.15 ออกมาจากโพรบเพื่อต่อกับเครื่องตรวจจับอนุภาค



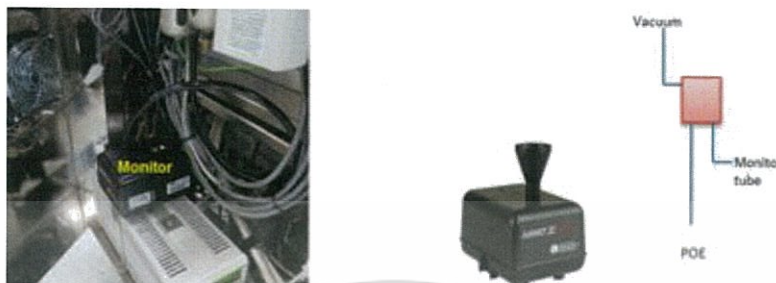
ภาพที่ 3.15 แสดงท่อที่ใช้ต่อกับโพรบ



ภาพที่ 3.16 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.1.3 เมื่อโพรบทำหน้าที่ดูดอากาศเข้ามาอนุภาคปนเปื้อนที่ลอยอยู่ในอากาศในเครื่องจักรก็จะถูกดูดเข้ามาด้วยที่เครื่องตรวจจับที่ติดตั้งไว้บริเวณใต้เครื่องจักรจะทำหน้าที่อ่านค่าจำนวนอนุภาคที่ดูดเข้ามาได้



ภาพที่ 3.17 แสดงตำแหน่งของเครื่องตรวจจับอนุภาคนอกเครื่องจักร

### 3.10 การตรวจสอบสมมติฐานภายหลังการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคในเครื่องจักร

เป็นขั้นตอนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายเพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ว่า อนุภาคที่เครื่องตรวจจับอนุภาคสามารถตรวจจับได้นั้นเป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการเสียดสีกันของ HGA และ สื่อบันทึกจริง เนื่องจากเครื่องตรวจจับอนุภาคนั้นจะตรวจได้แค่จำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้น ไม่สามารถระบุชนิดและลักษณะของอนุภาคนั้นๆได้ ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนการตรวจสอบเพื่อพิสูจน์ว่าอนุภาคที่เครื่องตรวจจับอนุภาคสามารถตรวจจับได้นั้นเป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการเสียดสีกันของ HGA และ สื่อบันทึก โดยจะทำการเก็บสื่อบันทึกที่ใช้เสร็จแล้วภายในช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลจำนวนอนุภาค ไปตรวจสอบโดยการสแกนพื้นผิวสื่อบันทึกด้วยเครื่อง Candela เพื่อตรวจสอบว่า สื่อบันทึกนั้นมีรอยที่เกิดจากการเสียดสีกันเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้าหากสื่อบันทึกนั้นมีรอยเกิดขึ้นนั้นแสดงว่าเกิดการเสียดสีกันเกิดขึ้นและจำนวนอนุภาคที่เพิ่มขึ้นที่เครื่องตรวจจับอนุภาคสามารถตรวจจับได้นั้น เป็นอนุภาคโลหะจากสื่อบันทึกที่หลุดออกมาในระหว่างการเสียดสีกัน

## บทที่ 4

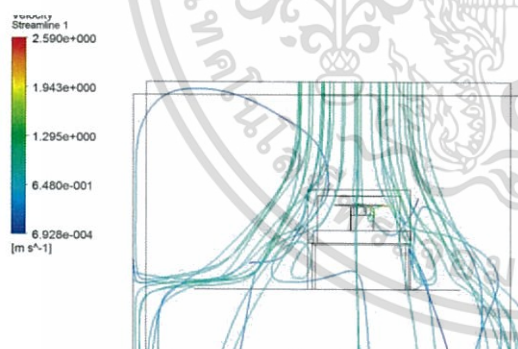
### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้จะกล่าวถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองปัญหาภายหลังจากการดำเนินการจำลอง ปัญหาจากโปรแกรม ANSYS 17.0 ทั้งในส่วนของความเร็วที่เกิดขึ้นในขอบเขตต่างๆของเครื่องจักร และในส่วนของ การจำลองการเกิดอนุภาคขึ้นภายในเครื่องจักร ดังที่ได้กล่าวไปในบทก่อนหน้า และผลลัพธ์จากการดำเนินการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคภายในเครื่องจักร และผลการตรวจสอบผล การติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคภายในเครื่องจักร

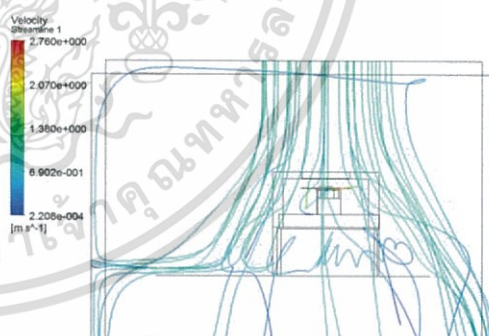
#### 4.1 ผลลัพธ์จากการจำลองปัญหา

ผลลัพธ์จากการจำลองนั้นสามารถแบ่งได้จากเงื่อนไขการหมุนของสื่อบันทึกซึ่งสามารถแบ่ง ได้ 2 กรณีคือการทำงานของสื่อบันทึกหมุนทิศตามเข็มนาฬิกา และหมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา ผล จากการจำลองในต่อไปนี้จะแสดงการเปรียบเทียบ ทั้ง 2 กรณีดังกล่าวว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร

##### 4.1.1 เส้นกระแสแสดงการไหลของอากาศ

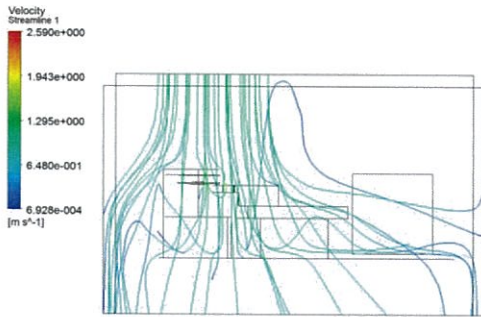


ภาพที่ 4.1 แสดงเส้นกระแสกรณีหมุนทิศตาม เข็มนาฬิกาในมุมมองด้านหน้าของ เครื่องจักร

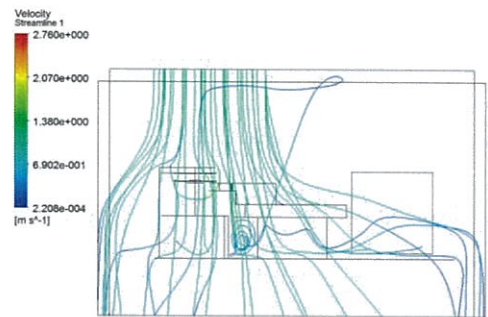


ภาพที่ 4.2 แสดงเส้นกระแสกรณีหมุนทิศทวน เข็มนาฬิกาในมุมมองด้านหน้าของ เครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



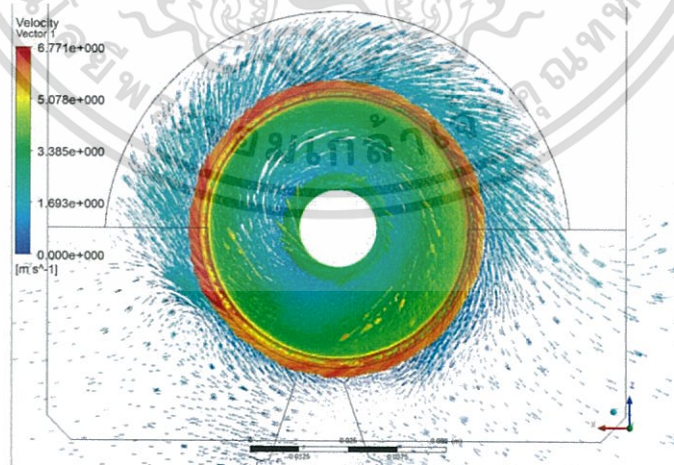
ภาพที่ 4.3 แสดงเส้นกระแสกรณีหมุนทิศตาม  
เข็มนาฬิกาในมุมมองด้านข้าง  
ของเครื่องจักร



ภาพที่ 4.4 แสดงเส้นกระแสกรณีหมุนทิศทวน  
เข็มนาฬิกาในมุมมองด้านข้าง  
ของเครื่องจักร

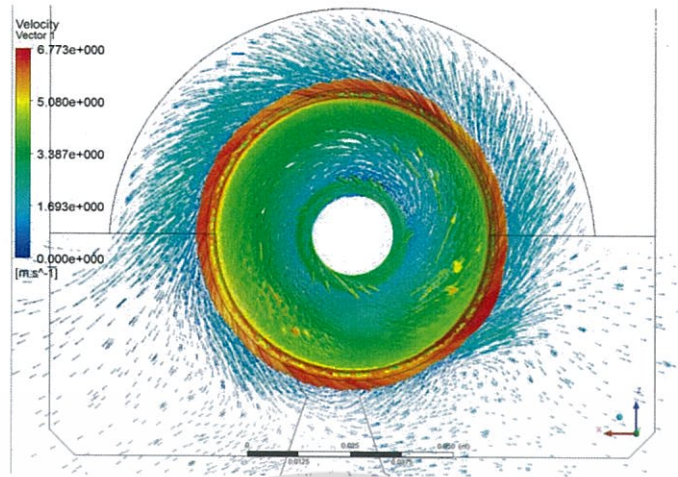
จากรูปแสดงเส้นกระแสการไหลของอากาศจากบริเวณทางเข้าที่อยู่ด้านบนสุด ของเครื่องจักรทั้งจากมุมมองด้านหน้าและมุมมองด้านข้างแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าอากาศที่ไหลเข้ามาเริ่มแรก จะมีความเร็วประมาณ 1 เมตรต่อวินาที แต่เมื่อเคลื่อนที่เข้ามาในเครื่องจักรแล้วนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศจะมีค่าลดลงไปเรื่อยๆ จากการเปรียบเทียบทั้งจากเงื่อนไขทั้งสองแบบนี้ พบว่าเส้นกระแสของทั้งสองเงื่อนไขมีความแตกต่างกันเป็นผลมาจากอิทธิพลของความปั่นป่วนของอากาศภายในเครื่องจักร โดยที่กรณีที่สื่อบันทึกหมุนทวนเข็มนาฬิกานั้นจะเกิดความปั่นป่วนขึ้นภายในมากกว่าแบบกรณีตามเข็มนาฬิกา

#### 4.1.2 ความปั่นป่วน



ภาพที่ 4.5 แสดงความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสื่อบันทึกในทิศตามเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

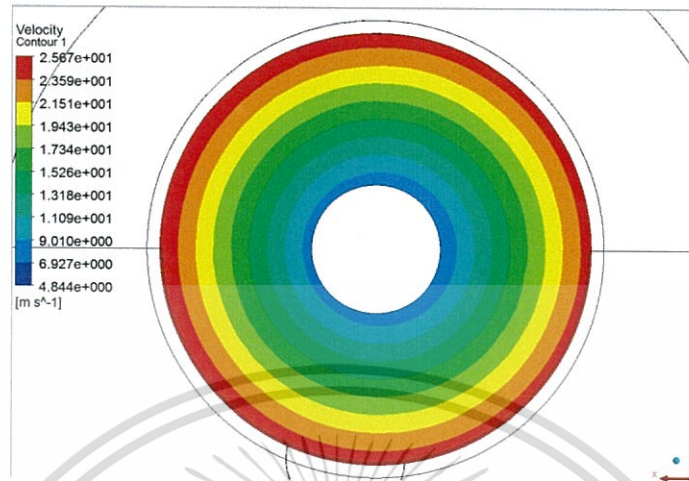


ภาพที่ 4.6 แสดงความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสื่อบันทึกในทิศทวนเข็มนาฬิกา

ความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรนั้นเกิดมาจากการที่ความเร็วของอากาศที่ไหลเข้าไปในเครื่องจักรที่ขอบเขตทางเข้าของเครื่องจักรแล้วไปปะทะกับความเร็วของอากาศที่เกิดจากการหมุนของ สื่อบันทึกทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้น เวกเตอร์ความเร็วของอากาศเมื่อเกิดการปะทะกับความเร็วของอากาศที่เกิดจากการหมุนของสื่อบันทึกจะเห็นได้ว่าการเกิดความปั่นป่วนในสองรูปแบบนั้นแตกต่างกันเป็นผลเนื่องมาจากการหมุนของสื่อบันทึกที่มีทิศทางต่างกัน หากสังเกตจากภาพที่ 4.5 และ 4.6 เวกเตอร์ความเร็วจากกรณีที่หมุนตามเข็มนาฬิกาจะส่งผลให้อากาศนั้นมีแนวโน้มที่จะออกไปทางออกด้านหลังได้มากกว่าเนื่องจากสื่อบันทึกหมุนและพัดพาอากาศไปตามทิศทางการดูดอากาศออกของพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งอยู่ด้านหลังเครื่องจักร ส่วนในกรณีสื่อบันทึกหมุนทวนเข็มนาฬิกาดังภาพที่ 4.6 หากสังเกตจากทิศทางของเวกเตอร์จะเห็นได้ว่าจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาซึ่งเป็นผลมาจากการหมุนของสื่อบันทึกที่มีทิศทางด้านการดูดอากาศออกของพัดลมดูดอากาศด้านหลังเครื่องจักร โดยที่อากาศจะถูกพัดไปตามทิศทางการหมุนของสื่อบันทึก

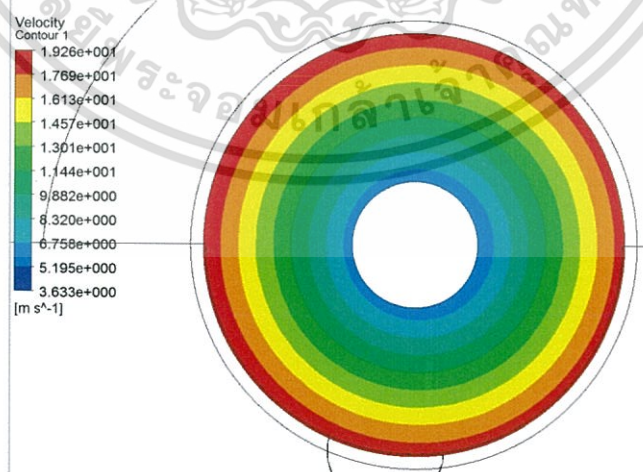
จากความแตกต่างกันในด้านทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศซึ่งเป็นผลมาจากการหมุนของสื่อบันทึกที่มีทิศทางต่างกันส่งผลให้ความปั่นป่วนของอากาศที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังส่งผลให้ความเร็วของอากาศบริเวณทางออก ทั้งด้านหลังเครื่องจักรและด้านล่างเครื่องจักร แตกต่างกันอย่าง

#### 4.1.3 ผลของความเร็วในการหมุนบนสื่อบันทึก



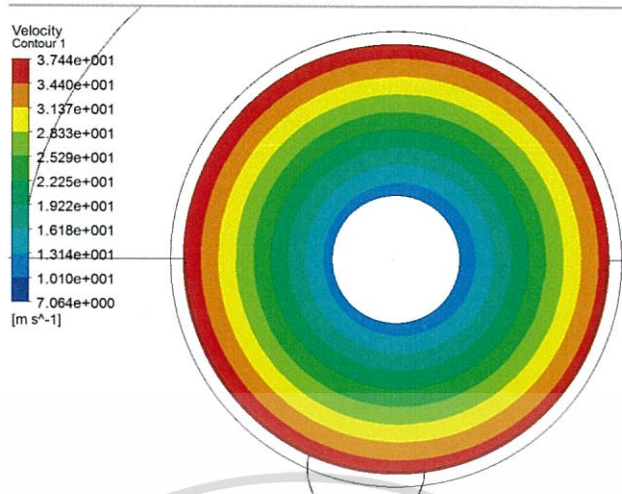
ภาพที่ 4.7 แสดงความเร็วที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆของสื่อบันทึกที่หมุนด้วยความเร็ว 7200 รอบต่อนาที

จากรูปแสดงความเร็วที่เกิดขึ้นที่บริเวณต่างๆซึ่งเป็นผลมาจากการหมุนของสื่อบันทึกที่ความเร็ว 7200 รอบต่อนาที จากภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ความเร็วสูงสุดที่เกิดจากการหมุนสื่อบันทึกนั้นเกิดที่บริเวณขอบนอกสื่อบันทึกซึ่งมีความเร็วประมาณ 26 เมตรต่อวินาที และความเร็วในการหมุนจะลดลงไปตามรัศมีของสื่อบันทึก นอกจากนี้ยังได้แสดงความเร็วที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆจากการหมุนของสื่อบันทึกที่ความเร็ว 5400 รอบต่อนาที สื่อบันทึกจะมีความเร็วสูงสุดที่ ประมาณ 19 เมตรต่อวินาที และ 10500 รอบต่อนาที จะมีความเร็วสูงสุดที่ 38 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 แสดงความเร็วที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆของสื่อบันทึกที่หมุนด้วยความเร็ว 5400 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

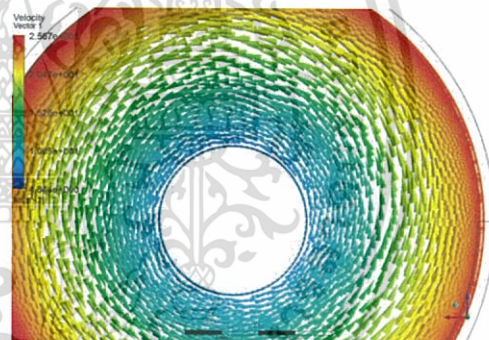


ภาพที่ 4.9 แสดงความเร็วที่เกิดขึ้นบริเวณต่างๆของสื่อบันทึกที่หมุนด้วยความเร็ว 10500 รอบต่อนาที

#### 4.1.4 เวกเตอร์ความเร็ว



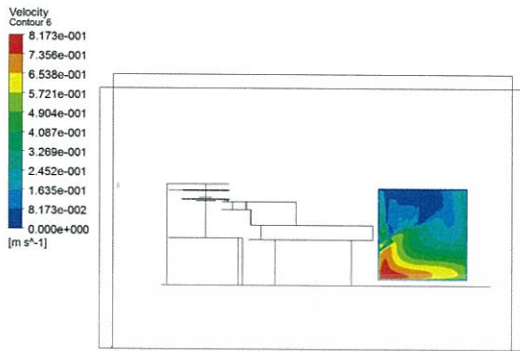
ภาพที่ 4.10 แสดงเวกเตอร์ความเร็วหมุน  
ทิศตามเข็มนาฬิกา



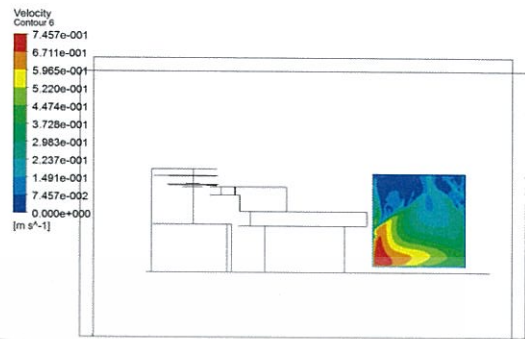
ภาพที่ 4.11 แสดงเวกเตอร์ความเร็วหมุน  
ทิศทวนเข็มนาฬิกา

จากภาพที่ 4.10 และ ภาพที่ 4.11 แสดงเวกเตอร์ความเร็วของการหมุนของสื่อบันทึกซึ่งในรูปจะแสดงให้เห็นว่าเวกเตอร์มีทิศทางแตกต่างกันในกรณีที่หมุนตามเข็มนาฬิกาทิศทางของเวกเตอร์จะหมุนไปตามเข็มนาฬิกาส่วนในกรณีที่หมุนทวนเข็มนาฬิกาทิศทางของเวกเตอร์จะหมุนไปในทิศทวนเข็มนาฬิกา

#### 4.1.5 ความเร็วบริเวณขอบเขตทางออกของอากาศด้านข้างเครื่องจักร

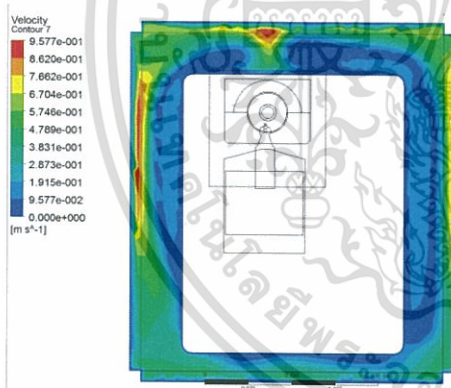


ภาพที่ 4.12 แสดงความเร็วบริเวณทางออกของอากาศกรณีสี่บันทึกลมหมุนทิศตามเข็มนาฬิกา

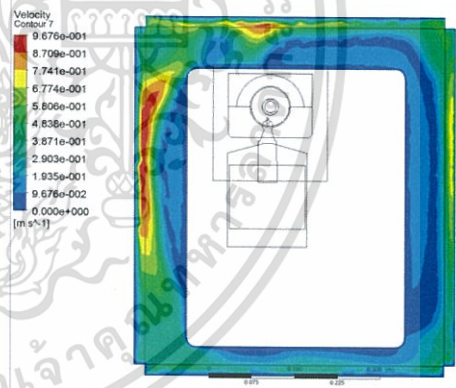


ภาพที่ 4.13 แสดงความเร็วบริเวณทางออกของอากาศกรณีสี่บันทึกลมหมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา

#### 4.1.6 ความเร็วบริเวณขอบเขตทางออกของอากาศด้านล่างเครื่องจักร



ภาพที่ 4.14 แสดงความเร็วบริเวณทางออกของอากาศกรณีสี่บันทึกลมหมุนทิศตามเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 4.15 แสดงความเร็วบริเวณทางออกของอากาศกรณีสี่บันทึกลมหมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา

จากรูปแสดงความเร็วขอบเขตทางออกของอากาศด้านหลังเครื่องจักร และขอบเขตทางออกของอากาศด้านล่างเครื่องจักร จากรูปที่แสดงการเปรียบเทียบจากทั้ง 2 กรณี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเร็วที่บริเวณทางออกของอากาศด้านหลังเครื่องจักรที่สูงสุดกรณีสี่บันทึกลมหมุนทิศตามเข็มนาฬิกาจะมีความเร็วที่ประมาณ 8.1 เมตรต่อวินาทีซึ่งมากกว่ากรณีสี่บันทึกลมหมุนทวนเข็มนาฬิกาที่มีค่า 7.4 เมตรต่อวินาที เนื่องมาจากการหมุนของสี่บันทึกที่เป็นแบบทิศตามเข็มนาฬิกาเป็นการหมุนที่ช่วยพาอากาศไปตกที่บริเวณด้านหลังเครื่องจักรทำให้ความเร็วของอากาศระหว่างการปะทะสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วไปน้อยกว่า ในทางกลับกัน การหมุนของสื่อบันทึกแบบทิศทวนเข็มนาฬิกาจะเป็นการหมุนแบบต้านอากาศดังนั้นอากาศจึงมีการสูญเสียความเร็วไปในระหว่างการเกิดความปั่นป่วนนั้น แต่ความเร็วที่บริเวณทางออกของอากาศด้านล่างเครื่องจักรที่สูงสุดของกรณีที่สื่อบันทึกหมุนตามเข็มนาฬิกาจะมีค่า 9.57 เมตรต่อวินาที ในขณะที่กรณีที่สื่อบันทึกหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะมีค่า 9.67 เมตรต่อวินาทีจึงแสดงเห็นว่าการหมุนของสื่อบันทึกแบบทวนเข็มนาฬิกาจะช่วยพาอากาศออกไปทางด้านล่างได้ดีกว่า

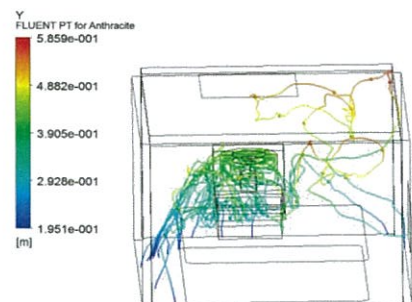
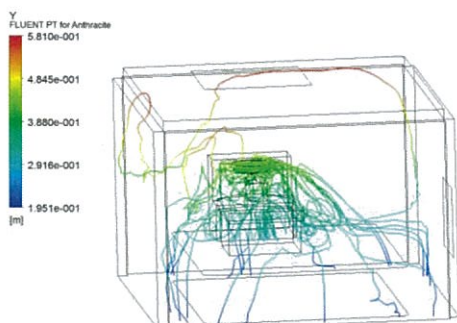
#### 4.1.7 ความเร็วบริเวณช่องว่างระหว่างฝาครอบและสื่อบันทึก



ภาพที่ 4.16 แสดงความเร็วบริเวณช่องว่างระหว่างฝาครอบและสื่อบันทึก

จากส่วนประกอบของแบบจำลองของเครื่องจักรที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เครื่องจักรมีส่วนประกอบที่ประกอบด้วยฝาครอบสื่อบันทึก และมีระยะห่างระหว่างฝาครอบสื่อบันทึกและสื่อบันทึกอยู่ ซึ่งบริเวณนั้นจะเป็นบริเวณที่เกิดความปั่นป่วนขึ้นภายในเครื่องจักร ดังรูปแสดงความเร็วของอากาศที่เกิดขึ้นที่พื้นที่ต่างๆ บริเวณรอบฝาครอบสื่อบันทึกขณะกำลังหมุน.

#### 4.1.8 การปล่อยอนุภาคภายในเครื่องจักร



ภาพที่ 4.17 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของ

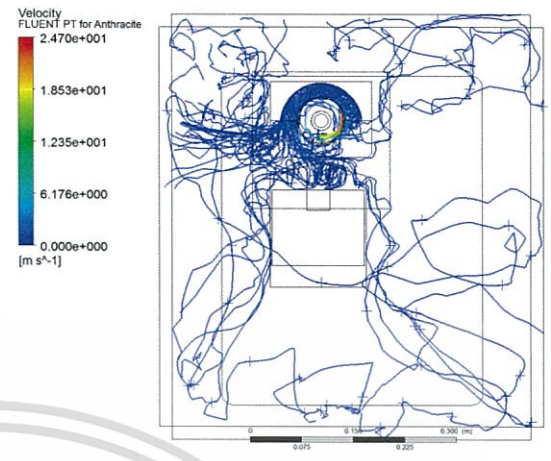
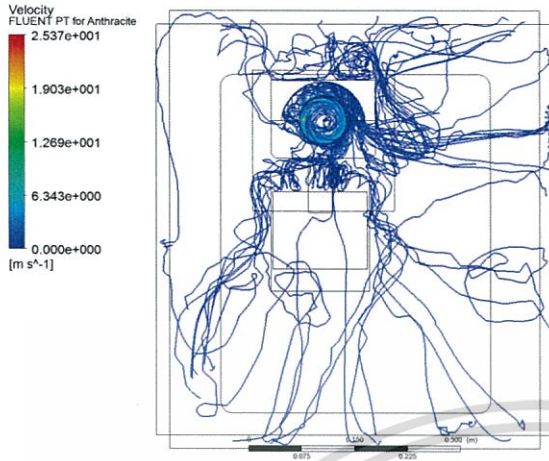
ภาพที่ 4.18 แสดงการจำลองการเคลื่อนที่ของ

อนุภาคปนเปื้อนในเครื่องจักรกรณี

สื่อบันทึกหมุนทิศตามเข็มนาฬิกา

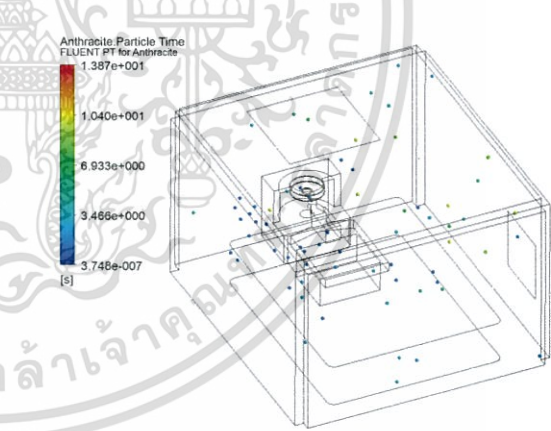
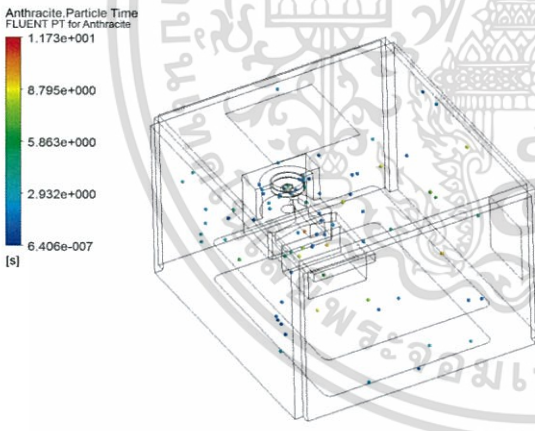
สื่อบันทึกหมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่ศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยี่สิบเก้ากุมภาพันธ์ปี ๒๕๖๕  
ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีรูปถ่ายไปใช้



ภาพที่ 4.19 แสดงการเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคปนเปื้อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสี่บันทึทกหมุนทิศตามเข็มนาฬิกา

ภาพที่ 4.20 แสดงการเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคปนเปื้อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสี่บันทึทกหมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 4.21 แสดงการจำลองเวลาที่อนุภาคปนเปื้อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสี่บันทึทกหมุนทิศตามเข็มนาฬิกา

ภาพที่ 4.22 แสดงการจำลองเวลาที่อนุภาคปนเปื้อนอยู่ในเครื่องจักรกรณีสี่บันทึทกหมุนทิศทวนเข็มนาฬิกา

จากปัญหาที่กล่าวมาพบว่าอนุภาคโลหะปนเปื้อนนั้นเกิดมาจากการเสียดสีกันของ HGA และสี่บันทึทกดังนั้นสี่บันทึทกจะทำหน้าที่เป็นตัวก่อกำเนิดอนุภาคปนเปื้อน ในการจำลองปัญหาพบว่าการอนุภาคโลหะปนเปื้อนจะเคลื่อนที่ไปตามอากาศที่เกิดจากการพัดพาของการหมุนของสี่บันทึทกทำให้กรณีสี่บันทึทกหมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกานั้นผลออกมาแตกต่างกันจะเห็นได้ว่าทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาคนั้นจะเป็นไปตามทิศทางหมุนของสี่บันทึทก

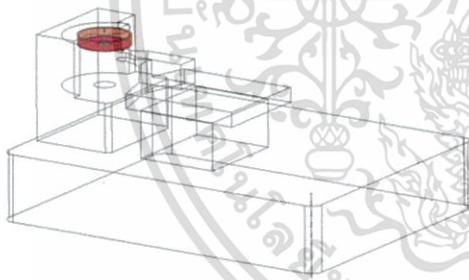
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญ่ให้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเวลาที่อนุภาคปนเปื้อนอยู่ในเครื่องจักร จนกระทั่งถูกกำจัดออกมา ในกรณีที่สื่อบันทึกหมุนตามเข็มนาฬิกาจะใช้เวลา 11 วินาที ซึ่งน้อยกว่ากรณีสื่อบันทึกหมุนทวนเข็มนาฬิกาที่ใช้เวลา 14 วินาที ต่อการเกิดอนุภาคปนเปื้อนในหนึ่งครั้ง เนื่องมาจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นและผลการต้านอากาศโดยรวมของการหมุนแบบทิศทวนเข็มนาฬิกานั้นมีมากกว่าทำให้อนุภาคเกิดการค้างในเครื่อง เนื่องจากเคลื่อนที่ออกไปจากเครื่องช้ากว่า

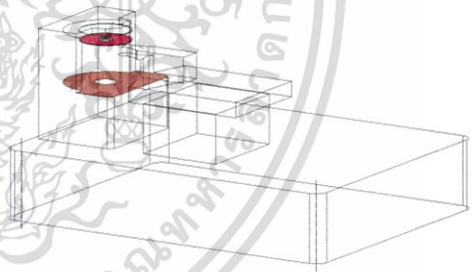
#### 4.1.9 ผลจากการจำลองปัญหาโดยการเพิ่มเงื่อนไขให้กับแบบจำลอง

จากการจำลองปัญหาที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้จะเป็นผลที่ได้จากการจำลองภายใต้เงื่อนไข สื่อบันทึกหมุนด้วยความเร็ว 7200 รอบต่อนาที แต่ในสายการผลิตนั้นยังมีเครื่องจักรที่สื่อบันทึกนั้นหมุนด้วยความเร็ว 5400 รอบต่อนาทีและ 10500 รอบต่อนาที ด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองปัญหาเพิ่มเติม เพื่อวัดความสามารถในการกำจัดอนุภาคของเครื่องจักรที่เงื่อนไขต่างกันและเพื่อดูว่าอนุภาคที่ตกค้างอยู่ในเครื่องจักรนั้นตกค้างอยู่ที่บริเวณใดมากที่สุด โดยเปรียบเทียบกับทั้ง 3 ความเร็วในการหมุนและ 2 ทิศทางการหมุนของสื่อบันทึก ได้ดังต่อไปนี้

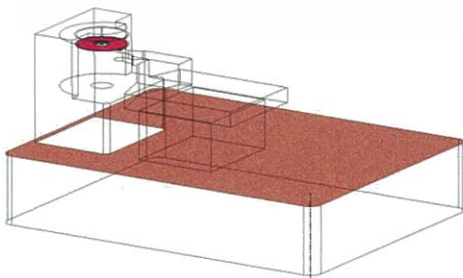
ผลของการปล่อยอนุภาคเพื่อดูว่าอนุภาคติดค้างที่ใดบ้างโดยมีตำแหน่งต่างๆดังนี้



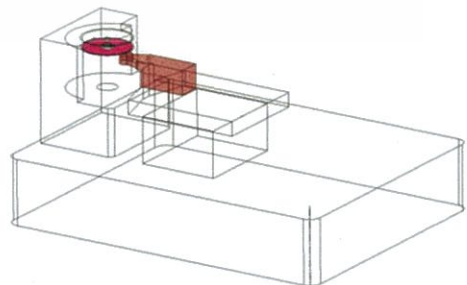
ภาพที่ 4.23 แสดงพื้นที่บริเวณฝาคกรอบ สื่อบันทึก



ภาพที่ 4.24 รูปแสดงพื้นที่บริเวณใต้ฐานมอเตอร์แกนหมุน

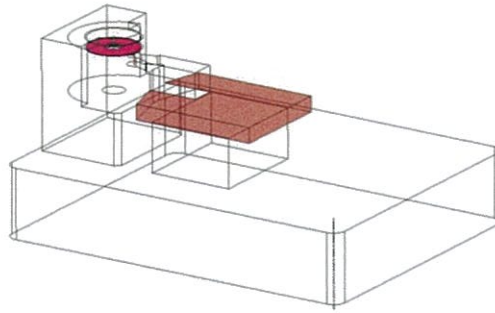


ภาพที่ 4.25 แสดงการพื้นที่ใต้ฐานรองใหญ่



ภาพที่ 4.26 แสดงพื้นที่ส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่HGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.27 แสดงพื้นที่ฐานรองส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่ HGA

โดยกำหนดให้

- S1 แทนพื้นที่บริเวณฝาครอบสื่อบันทึก ดังภาพที่ 4.23
- S2 แทนพื้นที่บริเวณใต้ฐานสปินเดิลมอเตอร์ ดังภาพที่ 4.24
- S3 แทนพื้นที่ใต้ฐานรองใหญ่ ดังภาพที่ 4.25
- S4 แทนพื้นที่ส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่HGA ดังภาพที่ 4.26
- S5 แทนพื้นที่ฐานรองส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่ HGA ดังภาพที่ 4.27

ได้ผลการจำลองปัญหาดังนี้

	5400 รอบต่อนาที		7200 รอบต่อนาที		10500 รอบต่อนาที	
	ทวนเข็ม	ตามเข็ม	ทวนเข็ม	ตามเข็ม	ทวนเข็ม	ตามเข็ม
%จำนวนอนุภาคที่ออกจากเครื่องจักร	28%	47%	37%	51%	38%	64%
%จำนวนอนุภาคที่ติดค้างอยู่ในเครื่องจักร	72%	53%	63%	49%	62%	36%

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าจำนวนความสามารถในการกำจัดอนุภาคที่ความเร็วต่างกัน

	ทวนเข็มนาฬิกา					ตามเข็มนาฬิกา				
	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5
จำนวนอนุภาคที่ปล่อย	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716
จำนวนอนุภาคที่ออกจากเครื่องจักร	305	474	468	474	480	544	774	778	810	812
จำนวนอนุภาคที่ตกอยู่	204	6	13	7	0	322	38	34	2	0
จำนวนอนุภาคที่ติดค้างอยู่ในเครื่องจักร	1207	1236	1235	1235	1236	850	904	904	904	904

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าจำนวนอนุภาคที่ความเร็ว 5400 รอบต่อนาที

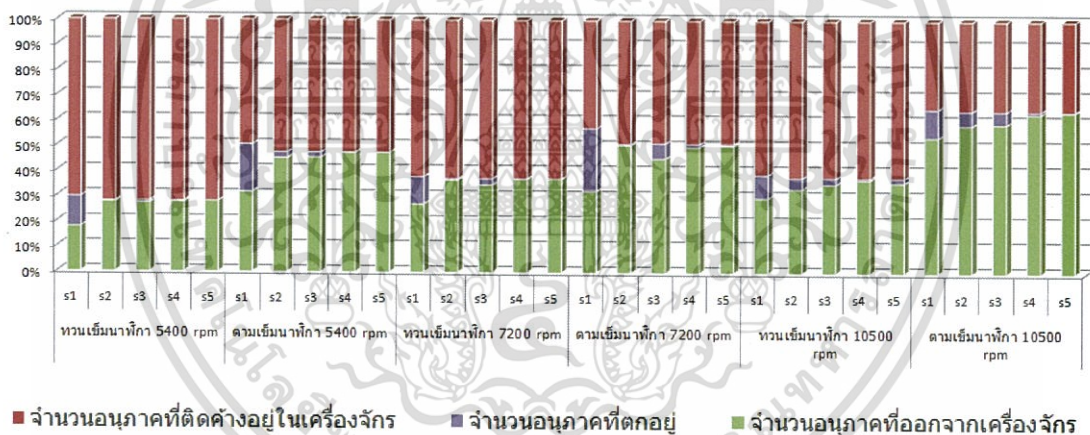
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ทวนเข็มนาฬิกา					ตามเข็มนาฬิกา				
	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5
จำนวนอนุภาคที่ปล่อย	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716
จำนวนอนุภาคที่ออกจากเครื่องจักร	464	627	595	634	636	553	866	776	854	864
จำนวนอนุภาคที่ตกอยู่	184	9	41	2	0	427	9	104	21	11
จำนวนอนุภาคที่ติดค้างอยู่ในเครื่องจักร	1068	1080	1080	1080	1080	736	841	836	841	841

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าจำนวนอนุภาคที่ความเร็ว 7200 รอบต่อนาที

	ทวนเข็มนาฬิกา					ตามเข็มนาฬิกา				
	s1	s2	s3	s4	s5	s1	s2	s3	s4	s5
จำนวนอนุภาคที่ปล่อย	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716	1716
จำนวนอนุภาคที่ออกจากเครื่องจักร	508	569	604	633	614	922	1006	1014	1083	1096
จำนวนอนุภาคที่ตกอยู่	158	77	42	12	31	194	98	88	18	5
จำนวนอนุภาคที่ติดค้างอยู่ในเครื่องจักร	1050	1070	1070	1071	1071	600	612	614	615	615

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าจำนวนอนุภาคที่ความเร็ว 10500 รอบต่อนาที



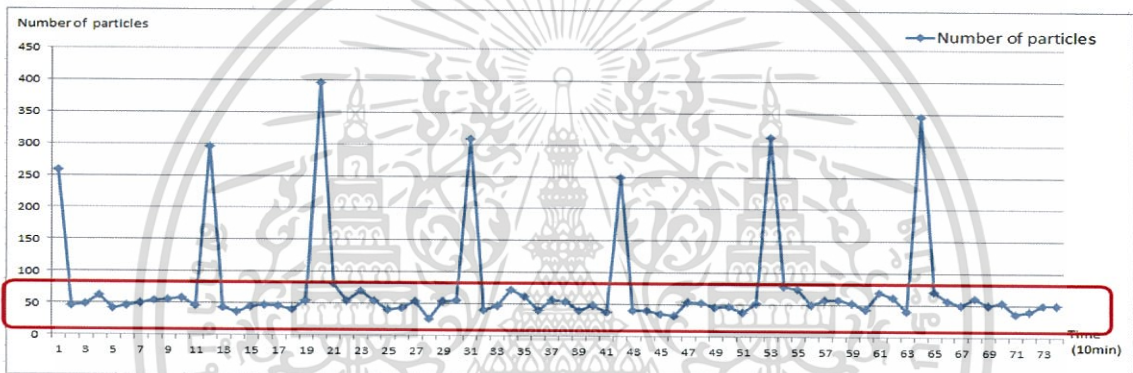
ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงปริมาณของอนุภาคบนแป้นที่เคลื่อนที่ไปตกตามบริเวณต่างๆในเครื่องจักร

จากการผลการทดลองการจำลองปัญหาดังกล่าวที่ความเร็วต่างกันพบว่า เครื่องจักรที่สื่อบันท์ที่หมุนที่ความเร็ว 5400 รอบต่อนาที นั้นกำจัดอนุภาคออกไปได้น้อยกว่า ที่ความเร็ว 7200 รอบต่อนาที และที่ความเร็ว 10500 รอบต่อนาทีสามารถกำจัดอนุภาคบนแป้นที่เกิดขึ้นภายในเครื่องออกไปได้มากที่สุด และจากการจำลองการเกิดอนุภาคขึ้นและปล่อยเพื่อดูว่าอนุภาคบนแป้นไปติดค้างอยู่ที่ตำแหน่งใดในเครื่องจักรมากที่สุดพบว่า ตำแหน่ง S1 ซึ่งแทนพื้นที่บริเวณฝาครอบสื่อบันท์กั้นมีอนุภาคไปติดค้างอยู่มากที่สุด ในทั้งสามความเร็วในการหมุน โดยที่ลักษณะการหมุนแบบตามเข็มนาฬิกาจะส่งผลให้อนุภาคบนแป้นถูกกำจัดออกไปจากเครื่องจักรได้มากกว่าแบบทวนเข็มนาฬิกา ทั้งนี้เป็นผลมาจากการต้านอากาศโดยรวมของการหมุนแบบทิศทวนเข็มนาฬิกานั้นมีมากกว่าทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคเกิดการค้างในเครื่องเนื่องจากเคลื่อนที่ออกไปจากเครื่องช้ากว่าที่ตั้งได้กล่าวไปข้างต้นและเมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนของสื่อบันทึกให้เร็วขึ้นจึงเสมือนว่าไปเสริมความเร็วของอากาศในการพัดพาอนุภาคออกไปจึงทำให้อนุภาคถูกกำจัดออกไปได้เร็วขึ้นตาม

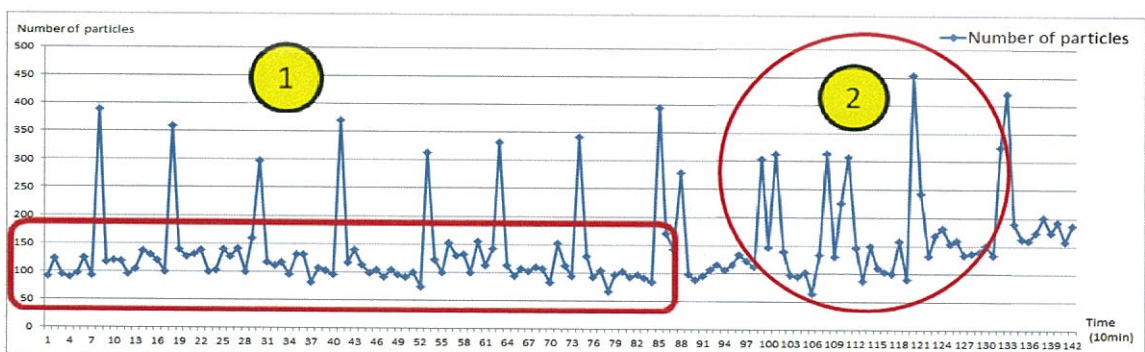
#### 4.2 ผลลัพธ์จากการดำเนินการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคภายในเครื่องจักร

ผลจากการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคภายในเครื่องจักร เพื่อตรวจจับอนุภาคโลหะปนเปื้อน ข้อมูลที่ได้จากเครื่องตรวจจับอนุภาคจะเชื่อมต่อเข้ากับฐานข้อมูลและจะทำการบันทึกข้อมูลจำนวนอนุภาคในทุกๆ 10 นาที เพื่อให้สามารถติดตามผลการตรวจจับอนุภาค โดยได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 4.29 แสดงจำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้นขณะเครื่องจักรไม่เกิดอนุภาคปนเปื้อน

จากกราฟแสดงผลจำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้นขณะเครื่องจักรไม่เกิดอนุภาคปนเปื้อนโดยจะมีค่าเฉลี่ยจำนวนอนุภาคอยู่ที่ 50 อนุภาคและการที่กราฟโอเวอร์ชูทขึ้นสูงนั้นเกิดมาจากการที่พนักงานเปิดเครื่องจักรแล้วเปลี่ยนแผ่น สื่อบันทึกทำให้อนุภาคจากภายนอกเข้าไปก่อให้เกิดจำนวนอนุภาคมากขึ้นซึ่งเกิดขึ้นทุกๆ 2 ชั่วโมงโดยประมาณ



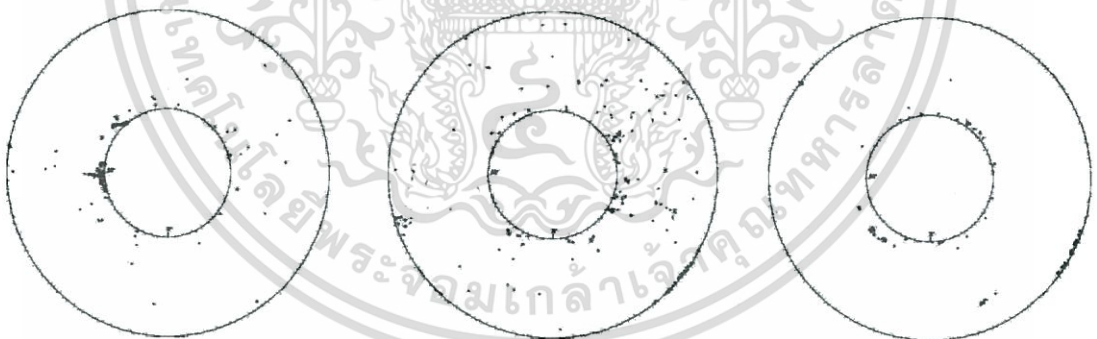
ภาพที่ 4.30 แสดงจำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้นขณะเครื่องจักรเกิดอนุภาคปนเปื้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงจำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้นขณะเครื่องจักรเกิดอนุภาคปนเปื้อน พบว่ากราฟมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปโดยแบ่งได้ 2 กรณี คือ ค่าจำนวนอนุภาคที่เครื่องตรวจจับสามารถตรวจจับได้นั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมจากที่มีจำนวนอนุภาคอยู่ประมาณ 50 อนุภาค แต่เมื่อเกิดอนุภาคปนเปื้อนขึ้นในเครื่องจักรเครื่องตรวจจับอนุภาคจึงตรวจจับอนุภาคที่เกิดขึ้นมาได้เป็นจำนวนประมาณ 100 อนุภาค ดังแสดงได้ในหมายเลข 1 นอกเหนือจากนี้ จากการที่พนักงานต้องทำการเปลี่ยนสื่อบันทึกทุกๆ 2 ชั่วโมง เมื่อเปลี่ยนสื่อบันทึกแล้วค่าจำนวนอนุภาคควรจะลดกลับมาเท่าปกติ แต่ถ้าหากเกิดการโอเวอร์ชูตขึ้นซ้ำอีกครั้งแสดงถึงว่า มีการเกิดอนุภาคปนเปื้อนขึ้นด้วยเช่นกันซึ่งอาจเกิดมาจากอนุภาคโลหะปนเปื้อนจากสื่อบันทึก ดังแสดงได้ในหมายเลข 2

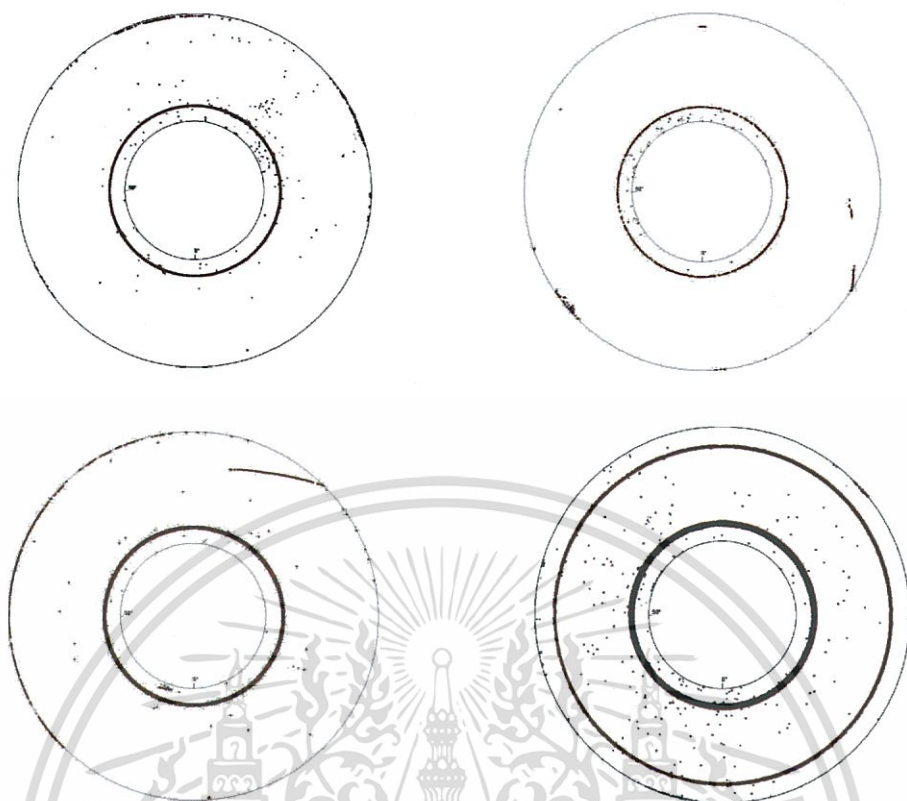
### 4.3 ผลการยืนยันสมมติฐาน

หลังจากกระบวนการติดตั้งเครื่องตรวจจับและสังเกตผลข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานแล้ว เราจึงได้สมมติฐานขึ้นมาว่า อนุภาคที่เครื่องตรวจจับอนุภาคสามารถตรวจจับได้นั้นเป็นอนุภาคโลหะที่เกิดจากการเสียดสีกันของ HGA และ สื่อบันทึก ดังนั้นจึงได้ทำการตรวจสอบสื่อบันทึกที่ใช้ในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลด้วยเครื่อง Candela เพื่อตรวจสอบรอยขีดข่วน บนสื่อบันทึก ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 4.31 แสดงสื่อบันทึกที่ใช้ในช่วงเวลาที่ไม่เกิดอนุภาคปนเปื้อนขึ้น

จากรูปแสดงผลที่ได้จากการแสกนสื่อบันทึกเพื่อหารอยขีดข่วนบนสื่อบันทึกโดยพบว่าไม่มีรอยขีดข่วนเกิดขึ้นบนสื่อบันทึกโดยพบเพียงอนุภาคบนสื่อบันทึกเท่านั้น



ภาพที่ 4.32 แสดงสื่อบันทึกที่ใช้ในช่วงเวลาที่เกิดอนุภาคป็นเป็นขึ้น

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสื่อบันทึกที่ใช้ในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลว่ามีอนุภาคป็นเป็นเกิดขึ้นในเครื่องจักรนั้นมีรอยขีดข่วนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงสามารถยืนยันได้ว่า อนุภาคที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นมาจากเดิมนี้เป็นอนุภาคป็นเป็นโลหะที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีกันของสื่อบันทึกกับ HGA จริง ดังนั้นจึงสามารถพิสูจน์ได้ว่าสมมติฐานถูกต้อง

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ จะกล่าวสรุปผลจากการจำลองปัญหา และการดำเนินงาน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทำรายงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดของโครงการวิจัยนี้ได้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการทั้งหมดไปในบทก่อนหน้านี้จึงขอสรุปผลการวิจัยและการดำเนินงานโดยจะแบ่งส่วนไว้ทั้งหมด 3 ส่วนด้วยกัน ซึ่งประกอบด้วย

##### 5.1.1 การออกแบบและการดำเนินการการจำลองสภาพปัญหา

โดยในส่วนนี้จะดำเนินการภายหลังจากการวิเคราะห์ถึงสภาพปัญหาเกี่ยวกับการปนเปื้อนอนุภาคโลหะในเครื่องจักรได้แล้วจึงได้ทำการเก็บข้อมูลและสร้างแบบจำลองเครื่องจักรขึ้นและทำการจำลองสภาพปัญหาดังกล่าวพร้อมทำการตรวจวัดผลความถูกต้องของการจำลองสภาพปัญหาพบว่าแบบจำลองนั้นมีความน่าเชื่อถือประมาณ 81% และผลที่ได้จากการจำลองสภาพปัญหาที่สี่บันทึกหมุนด้วยความเร็ว 7200 รอบต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองกรณีคือที่กรณีความเร็ว 5400 รอบต่อนาที และที่ความเร็ว 10500 รอบต่อนาที ทั้งกรณีหมุนทวนเข็มนาฬิกา และหมุนตามเข็มนาฬิกา พบว่าความเร็วที่สี่บันทึกหมุนนั้นมีผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุภาคปนเปื้อนออกจากเครื่องจักร ถ้าความเร็วที่สี่บันทึกหมุนยิ่งมีความเร็วมากก็จะส่งผลให้เครื่องจักรสามารถกำจัดอนุภาคออกไปได้ดียิ่งขึ้น และทิศทางการหมุนของสี่บันทึกก็ส่งผลต่อความสามารถในการกำจัดอนุภาคออกด้วยเช่นกัน ถ้าสี่บันทึกหมุนทิศตามเข็มนาฬิกาจะส่งผลให้เครื่องจักรสามารถกำจัดอนุภาคได้ดีกว่าการที่สี่บันทึกหมุนด้วยทิศทวนเข็มนาฬิกา

##### 5.1.2 ผลการดำเนินการการติดตั้งอุปกรณ์

ในส่วนนี้จะเป็ผลมาจากการดำเนินการในส่วนที่ 1 คือ การจำลองสภาพปัญหา และทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคปนเปื้อน ว่าอนุภาคเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งใดในเครื่องจักรจากผลการจำลองปัญหา เพื่อต้องการทราบว่าตำแหน่งใดเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคมากที่สุด และเมื่อดำเนินการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคแล้วนั้น ขั้นตอนต่อมาคือการทำกรติดตามผลจากการตรวจจับจากเครื่องตรวจจับอนุภาค โดยจะเก็บค่าผลของจำนวนอนุภาคที่เครื่องตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถตรวจจับได้ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนอนุภาคที่เครื่องสามารถตรวจจับได้ในขณะเครื่องจักรทำงานปกติ และเครื่องจักรเกิดอนุภาคปนเปื้อนโลหะขึ้นภายในเครื่องจักร โดยที่ข้อมูลจำนวนอนุภาคจากเครื่องตรวจจับอนุภาคนั้นจะถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลโดยจะทำการบันทึกไว้ในทุกๆ 10 นาที ภายหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า จำนวนอนุภาคที่เครื่องสามารถตรวจจับได้ในขณะที่ไม่มีอนุภาคปนเปื้อนเกิดขึ้นในเครื่องจักรจะมีค่าประมาณ 50 อนุภาค แต่เมื่อเกิดอนุภาคปนเปื้อนขึ้นภายในนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ 2 กรณี คือ จำนวนอนุภาคที่เครื่องตรวจจับสามารถตรวจจับได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นมาเป็นจำนวนประมาณ 100 อนุภาค และจากการที่พนักงานต้องทำการต้องทำการเปิดฝาเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนสื่อบันทึกในทุกๆ 2 ชั่วโมง ทำให้ค่าจำนวนอนุภาคที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมากกว่าปกติ แต่จะลดลงมากกลับสู่ค่าเดิมเมื่อปิดฝาเครื่องจักร แต่ถ้าหากเกิดอนุภาคปนเปื้อนขึ้นค่าจำนวนอนุภาคที่ตรวจจับได้จะมีค่าสูงมากกว่าปกติ ในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกันซึ่งผิดปกติไปจากระยะห่างของเวลาที่เปลี่ยนสื่อบันทึก

ภายหลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องตรวจจับอนุภาคแล้วจึงทำการทดสอบเพื่อพิสูจน์ว่าสมมติฐานที่ว่าจำนวนอนุภาคที่เพิ่มขึ้นที่เครื่องตรวจจับได้นั้นเป็นผลมาจากการเกิดอนุภาคปนเปื้อนโลหะเนื่องมาจากการเสียดสีกันของสื่อบันทึกและ HGA จึงได้นำสื่อบันทึกที่ใช้ในช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลมาแลกเปลี่ยนพื้นผิวเพื่อหารอยขีดข่วนปรากฏว่า สื่อบันทึกมีรอยขีดข่วนที่เกิดจากการเสียดสีขึ้นจริง จึงสามารถยืนยันได้ว่าเกิดอนุภาคโลหะปนเปื้อนขึ้นจึงทำให้จำนวนอนุภาคที่เครื่องตรวจจับได้มีค่าเพิ่มขึ้น

### 5.1.3 การพัฒนาระบบแจ้งเตือนและระบบหยุดอัตโนมัติ

จากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้สามารถบ่งบอกความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องจักรเกิดอนุภาคโลหะปนเปื้อนและไม่เกิดอนุภาคปนเปื้อนได้แล้ว ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นสัญญาณเพื่อใช้ในการสั่งหยุดการทำงานของเครื่องจักรเมื่อเกิดการปนเปื้อนขึ้น เพื่อป้องกันการเกิดขึ้นงานปนเปื้อนได้ต่อไปในอนาคต

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 กระบวนการการผลิตมีความซับซ้อนและต้องอาศัยความรู้เฉพาะทาง จึงใช้ระยะเวลาในการทำการศึกษานานถึงจะสามารถวิเคราะห์สภาพปัญหาได้ตรงจุดและถูกต้อง

5.2.2 การจำลองสภาพปัญหาในลักษณะนี้ใช้ระยะเวลาต่อการจำลองใน 1 ครั้งนานมาก และยังต้องทำการจำลองซ้ำๆ กันหลายครั้งเพื่อให้ได้ผลการจำลองที่ถูกต้องและตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 เนื่องจากต้องทำการจำลองภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมจริง จึงทำให้ต้องทำการวัดค่าสภาพแวดล้อมต่างๆในสายการผลิต ซึ่งการวัดในแต่ละครั้งค่าที่ได้มีความเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากไม่ใกล้เคียงกันจึงจำเป็นต้องลงไปในสายการผลิตอยู่บ่อยครั้งเพื่อวัดค่าเงื่อนไขสภาพแวดล้อม

5.2.4 การทำงานวิจัยต้องอาศัยการประสานงานจากหลายๆฝ่าย จึงทำให้ต้องรอเวลาในการดำเนินการในระหว่างขั้นตอนต่างๆเป็นระยะเวลานาน

5.2.5 การจำลองสภาพปัญหาในลักษณะนี้ จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงมากทำให้คอมพิวเตอร์พกพาที่ใช้อยู่ไม่สามารถทำได้ จึงจำเป็นต้องหาเครื่องที่มีประสิทธิภาพพอที่จะสามารถจำลองปัญหาในลักษณะนี้ได้

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

5.3.1 ควรทำการติดตั้งเครื่องตรวจจับอนุภาคไว้ที่เครื่องที่ทำงานด้วยความเร็วในการหมุนของสื่อบันทึกที่ต่ำกว่าและทิศทางที่หมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา ก่อนก่อนเป็นอันดับแรก หรือเพิ่มความเร็วพัดลมดูดอากาศที่ด้านบนของเครื่องหรือหลังเครื่องจักร เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคปนเปื้อนในเครื่องจักรให้ออกไปจากเครื่องได้ดียิ่งขึ้น

5.3.2 จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปพัฒนาเป็นระบบแจ้งเตือนและระบบสั่งหยุดอัตโนมัติ ควรนำค่าจำนวนอนุภาคที่ตรวจจับได้น้อยที่สุดเมื่อเกิดอนุภาคปนเปื้อนไปทำการแจ้งเตือนเป็นสัญญาณเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

## บรรณานุกรม

- [1] S. Zhang and D. B. Bogy, “Motion of particles in a slider and disk interface including lift force and wall effect”, IEEE Trans. Magn., vol. 33, pp. 3166-3168, 1997.
- [2] ANSYS Fluent 17.0, “ANSYS 17.0 User’s guide”, February 26, 2016.
- [3] CFD Team, Enrico Da Riva, Gennaro Bozza, “Fluent switchover: The research for a correct setting”, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://indico.cern.ch/event/179441/sessions/127761/attachments>, ค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2559.
- [4] ไม่ระบุผู้แต่ง, “Energy and Thermal Fluid System Design”, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://fmectt.lecturer.eng.chula.ac.th/2103361/Chapter3.pdf>, ค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2559.
- [5] Fluent Inc, “Discrete Phase Models”, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.afs.enea.it/fluent/Public/Fluent-Doc/PDF/chp19.pdf>, ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2559.
- [6] อนุสรณ์ ผ่องประภา และ อุดมเกียรติ นนทแก้ว, “การใช้ CFD ช่วยในการออกแบบเครื่องสูบน้ำบาดาลแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางชนิด 3 ชั้น”, ศูนย์วิจัยวิศวกรรมคำนวณขั้นสูง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- [7] รุ่งโรจน์ วัฒนจิราพันธ์ และ สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์, “การจำลองเชิงตัวเลขของเจ็ตสองมิติในกระแสน้ำโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

# ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล

นางสาววรรณพร สุขสุกาญจน

วัน เดือน ปีเกิด

9 พฤศจิกายน 2537

ที่อยู่

88/87 ซ.เพชรเกษม 48 แยก 51 ถ.เพชรเกษม  
แขวงบางแวก เขตภาษีเจริญ 10160

ประวัติการศึกษา

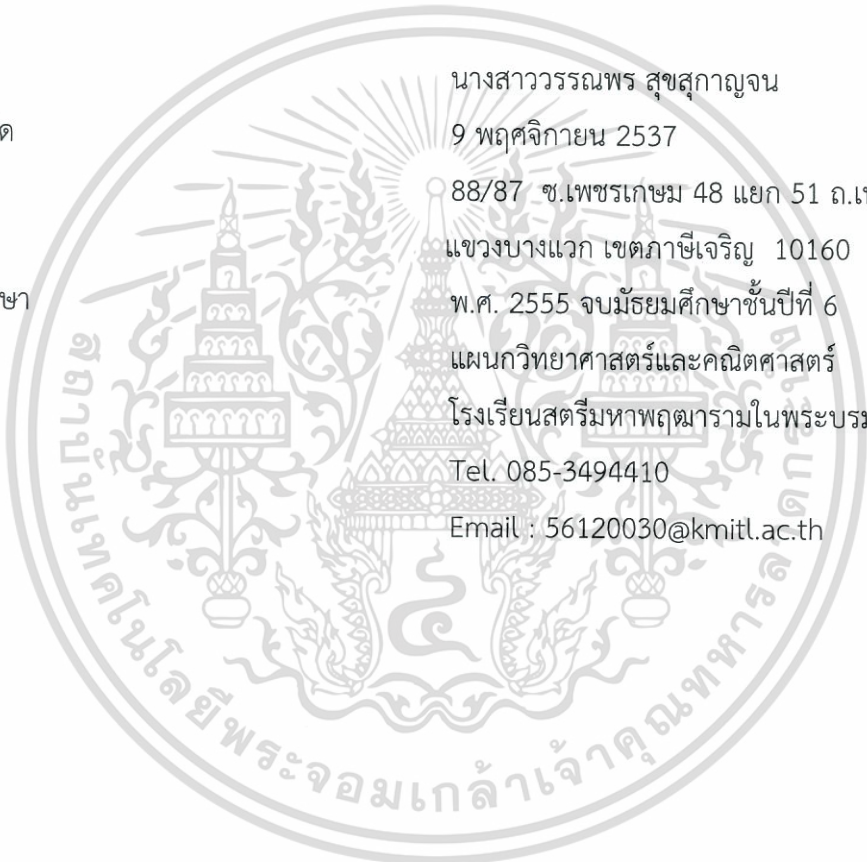
พ.ศ. 2555 จบมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6

แผนกวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

โรงเรียนสตรีมหาพฤฒารามในพระบรมราชินูปถัมภ์

Tel. 085-3494410

Email : 56120030@kmitl.ac.th



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้