

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอิทธิพลมุมของใบพัดที่มีผลต่ออัตราการไหลของพัดลมโดยโปรแกรม  
คำนวณพลศาสตร์

Study on the Effect of Propeller Pitch on Flow Rate of Fan by Computer  
Fluid Dynamics



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72205  
วัน,เดือน,ปี..... 12 ส.ย. 2550

b. 11๗๖๑๗๖๔  
i. ....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาอิทธิพลมุมของใบพัดที่มีผลต่ออัตราการไหลของพัดลมโดยโปรแกรม  
คำนวณพลศาสตร์

Study on the Effect of Propeller Pitch on Flow Rate of Fan by Computer  
Fluid Dynamics



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2549

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาอิทธิพลมุมของใบพัดที่มีผลต่ออัตราการไหลของพัดลมโดยโปรแกรม

คำนวณพลศาสตร์

Study on the Effect of Propeller Pitch on Flow Rate of Fan by Computer Fluid

Dynamics

ผู้จัดทำ

1. นายกันตภณ อุดมโชคปิติ รหัสประจำตัว 46010029
2. นายพงษ์พิทักษ์ สอแสง รหัสประจำตัว 46010483
3. นายพิพัฒน์ เป้าทอง รหัสประจำตัว 46010526

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาอิทธิพลของใบพัดที่มีผลต่ออัตราการไหลของพัดลมโดยโปรแกรม คำนวณพลศาสตร์

|                |             |                  |                 |
|----------------|-------------|------------------|-----------------|
| นายกันตภณ      | อุดมโชคปิติ | รหัสประจำตัว     | 46010029        |
| นายพงษ์พิทักษ์ | สอแสง       | รหัสประจำตัว     | 46010483        |
| นายพิพัฒน์     | เป้าทอง     | รหัสประจำตัว     | 46010526        |
| ผศ.ดร.จาร์วัตร | เจริญสุข    | อาจารย์ที่ปรึกษา | ปีการศึกษา 2549 |

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็น

1. การศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพัดลมเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการทำงาน โดยมุ่งเน้นที่อิทธิพลขององศาใบพัดลมแบบไหลตามแนวแกน (Axial flow fan) ที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ
2. การศึกษา และออกแบบชุดทดสอบพัดลมที่ได้มาตรฐาน ทำการสร้างชุดทดสอบ และทำการทดสอบใบพัดต้นแบบ
3. ทำการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD ที่องศาใบพัดต่างๆ เพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวล โดยโครงการวิจัยในครั้งนี้จะนำเสนอถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศที่มุมใบพัดต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Study on the Effect of Propeller Pitch on Flow Rate of Fan by Computer Fluid Dynamics

|                                      |              |          |
|--------------------------------------|--------------|----------|
| Kantapon                             | Udomchokpiti | 46010029 |
| Pongpitak                            | Sosaeng      | 46010483 |
| Pipat                                | Paothong     | 46010526 |
| Assist. Prof. Dr. Jaruwat Chareonsuk |              | Advisor  |

### ABSTRACT

In this project consists of

1. A theoretical study of fan specifically on effects of propeller pitch across the fan on mass flow rate
2. A study, design and construction of wind tunnel according to the JIS standard, including experimental trials on axial fan with different pitch values.
3. A simulate propeller with different pitch values by Star-CD

This project will present the relationship among pitch angle and mass flow rate.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีโดยมี ผศ. ดร. จารุวัตร เจริญสุข เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาได้ให้คำแนะนำ สั่งสอน และเสนอแนะแนวทางแก้ไขตลอดเวลาในการทำวิจัย ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตา กรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาคอมพิวเตอร์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่และคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการจำลองผลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยในโครงการนี้ ขอขอบคุณบริษัท Master Kool ที่ให้การสนับสนุนพัสดุซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยในโครงการนี้ ขอขอบคุณ ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้คู่มือโมเดลในการทดลอง และขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับความกรุณาของคุณนิวัฒน์ ภูเจริญ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการใช้โปรแกรม Star-CD เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำ

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง เป็นผู้ที่ทำให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังคอยให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ประโยชน์ทั้งหลายอันพึงมี พึงได้แก่บุคคลหนึ่ง บุคคลใดที่ได้จากการอ่านปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอขอบคุณความดีทั้งหลายทั้งปวงให้กับคณะบุคคลที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น

กันตภณ อุดมโชคปิติ  
พงษ์พิทักษ์ สอแสง  
พิพัฒน์ เป้าทอง

## สารบัญ

|                                                     | หน้า |
|-----------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                     | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                  | II   |
| กิตติกรรมประกาศ                                     | III  |
| สารบัญ                                              | IV   |
| สารบัญตาราง                                         | VIII |
| สารบัญภาพ                                           | IX   |
| บทที่ 1 บทนำ                                        | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มา                               | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                     | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย                           | 1    |
| 1.4 ขอบเขตของปัญหาในการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม Star-CD | 1    |
| 1.5 สมมุติฐานในการทดลองผลโดยโปรแกรม Star-CD         | 2    |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย        | 2    |
| 1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน                      | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน                                | 4    |
| 2.1 ลักษณะทั่วไปของพัดลม                            | 4    |
| 2.2 ประเภทของพัดลม                                  | 5    |
| 2.2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง                           | 5    |
| 2.2.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน                     | 7    |
| 2.3 ทฤษฎีของพัดลม                                   | 8    |
| 2.4 นิยามของค่าว่าของไหล                            | 9    |
| 2.5 สมมุติฐานและขอบเขตคุณสมบัติของของไหล            | 9    |
| 2.5.1 ของไหลจริง                                    | 9    |
| 2.5.2 ความหนืด                                      | 10   |
| 2.5.3 ของไหลที่กดอัดไม่ได้                          | 10   |
| 2.5.4 การไหลแบบปั่นป่วน                             | 10   |
| 2.5.5 การไหลแบบคงตัว                                | 10   |
| 2.5.6 การไหลแบบสม่ำเสมอ                             | 11   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                        | หน้า      |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.7 การไหลสองทิศทาง                                                  | 11        |
| 2.5.8 การไหลแบบไม่มีการหมุนวน                                          | 11        |
| 2.6 ทฤษฎีแอร์ฟอล์                                                      | 11        |
| 2.6.1 แรงยก                                                            | 11        |
| <b>บทที่ 3 การไหลแบบไม่สามารถอัดได้ และมีความหนืดภายในท่อ</b>          | <b>13</b> |
| 3.1 บทนำ                                                               | 13        |
| 3.2 การกระจายของความเค้นเฉือนใน fully developed ในการไหลในท่อ          | 14        |
| 3.3 Profile ของความเร็ว turbulent สำหรับ fully developed ในการไหลในท่อ | 16        |
| 3.4 การพิจารณาพลังงานในการไหลในท่อ                                     | 19        |
| 3.4.1 สัมประสิทธิ์พลังงานจลน์                                          | 19        |
| 3.4.2 Head loss                                                        | 20        |
| 3.5 การคำนวณ head loss                                                 | 21        |
| 3.5.1 การสูญเสียหลัก                                                   | 21        |
| 3.5.2 การสูญเสียรอง                                                    | 25        |
| 3.5.3 ท่อไม่กลม                                                        | 30        |
| <b>บทที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง</b>                                 | <b>31</b> |
| 4.1 อุโมงค์ลม                                                          | 31        |
| 4.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป                                                  | 31        |
| 4.1.2 การตรวจสอบความแม่นยำสำหรับอุโมงค์ลม                              | 32        |
| 4.2 ใบพัดลม                                                            | 32        |
| 4.3 ท่อทรงกระบอก                                                       | 33        |
| 4.4 สกรีน                                                              | 34        |
| 4.5 พิโทท ทีวีบ์                                                       | 34        |
| 4.6 มานอมิเตอร์                                                        | 36        |
| 4.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ                                              | 37        |
| <b>บทที่ 5 การคำนวณขนาดอุโมงค์ลม</b>                                   | <b>38</b> |
| 5.1 ขนาดของอุโมงค์ลม                                                   | 38        |
| 5.2 หลักในการคำนวณภายในอุโมงค์ลม                                       | 39        |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                   | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| 5.3 หลักการคำนวณในการทดลอง                                        | 44   |
| บทที่ 6 การดำเนินการทดลองและการดำเนินการจำลองผลโดยโปรแกรม         | 47   |
| 6.1 ขั้นตอนการเตรียมชุดทดสอบ                                      | 47   |
| 6.2 ขั้นตอนการทดลอง                                               | 47   |
| 6.3 ชุดทดสอบ                                                      | 48   |
| 6.4 ขั้นตอนการจำลองผลโดยโปรแกรม                                   | 48   |
| บทที่ 7 ผลการทดลองและผลการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD               | 90   |
| 7.1 การทดลองที่ความเร็วรอบ 1480 รอบ/นาที                          | 90   |
| 7.2 ผลการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD ในการคำนวณอัตราการผลิตเชิงมวล  | 94   |
| 7.3 เปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและผลการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD | 95   |
| 7.4 ผลการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD                                | 96   |
| 7.4.1 ผลการจำลองผลของใบพัดต้นแบบ                                  | 96   |
| 7.4.2 ผลการจำลองผลของใบพัด +1°                                    | 97   |
| 7.4.3 ผลการจำลองผลของใบพัด +2°                                    | 98   |
| 7.4.4 ผลการจำลองผลของใบพัด +3°                                    | 99   |
| 7.4.5 ผลการจำลองผลของใบพัด +4°                                    | 100  |
| 7.4.6 ผลการจำลองผลของใบพัด +5°                                    | 101  |
| 7.4.7 ผลการจำลองผลของใบพัด +6°                                    | 102  |
| 7.4.8 ผลการจำลองผลของใบพัด +7°                                    | 103  |
| 7.4.9 ผลการจำลองผลของใบพัด +8°                                    | 104  |
| 7.4.10 ผลการจำลองผลของใบพัด +9°                                   | 105  |
| 7.4.11 ผลการจำลองผลของใบพัด +10°                                  | 106  |
| 7.4.12 ผลการจำลองผลของใบพัด - 1°                                  | 107  |
| 7.4.13 ผลการจำลองผลของใบพัด - 2°                                  | 108  |
| 7.4.14 ผลการจำลองผลของใบพัด - 3°                                  | 109  |
| 7.4.15 ผลการจำลองผลของใบพัด - 4°                                  | 110  |
| 7.4.16 ผลการจำลองผลของใบพัด - 5°                                  | 111  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|                                         | หน้า       |
|-----------------------------------------|------------|
| 7.4.17 ผลการจำลองผลของใบพัด - 6°        | 112        |
| 7.4.18 ผลการจำลองผลของใบพัด - 7°        | 113        |
| 7.4.19 ผลการจำลองผลของใบพัด - 8°        | 114        |
| 7.4.20 ผลการจำลองผลของใบพัด - 9°        | 115        |
| 7.4.21 ผลการจำลองผลของใบพัด - 10°       | 116        |
| <b>บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง</b> | <b>117</b> |
| 8.1 สรุปผลการทดลอง                      | 117        |
| 8.2 ข้อวิจารณ์                          | 117        |
| 8.3 ข้อเสนอแนะ                          | 118        |
| <b>ภาคผนวก</b>                          | <b>119</b> |
| <b>บรรณานุกรม</b>                       | <b>140</b> |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                   | หน้า |
|------------------------------------------------------------|------|
| 3.1 สัมประสิทธิ์การสูญเสียรองสำหรับท่อที่มีทางเข้าต่างกัน  | 25   |
| 3.2 แสดงความยาวเทียบเท่าของวาล์ว และข้อต่อ                 | 29   |
| 5.1 แสดงการหาค่า K <sub>b</sub>                            | 40   |
| 5.2 การคำนวณ Loss ในส่วนทางเข้า                            | 42   |
| 5.3 แสดงการคำนวณ Loss ในส่วน Measuring duct & Test section | 43   |
| 7.1 ชุดข้อมูลดิบ                                           | 90   |
| 7.2 ชุดข้อมูลเฉลี่ย                                        | 91   |
| 7.3 อัตราการไหลเชิงมวล                                     | 93   |
| 7.4 อัตราการไหลเชิงมวลที่องศาใบพัดต่างๆ                    | 94   |
| 7.5 อัตราการไหลเชิงมวลที่องศาใบพัดต่างๆ                    | 94   |
| 7.6 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน                 | 95   |



## สารบัญรูป

| รูปที่                                                                                                    | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow or Radial Fans )                                                | 5    |
| 2.2 แสดงลักษณะการเอียงทำมุมของใบพัดแบบหมุนเหวี่ยงชนิดต่างๆ                                                | 7    |
| 2.3 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน ( Axial Flow Fans )                                                         | 7    |
| 2.4 แสดงแรงยกที่เกิดขึ้นด้านบนของแอร์โรโพลล์                                                              | 12   |
| 2.5 แสดงมุมปะทะของใบพัดลม                                                                                 | 12   |
| 3.1 แสดงการพัฒนากระบวนการไหลภายในท่อ                                                                      | 13   |
| 3.2 แสดง การกระจายของความเค้นเฉือนใน fully developed ในการไหลในท่อ                                        | 15   |
| 3.3 โพรไฟล์ของความเร็วจนในช่วงปั่นป่วนสำหรับ fully developed ในท่อเรียบ                                   | 17   |
| 3.4 โพรไฟล์ความเร็วจาก power-law สำหรับ fully developed สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อเรียบ                 | 17   |
| 3.5 แสดงโพรไฟล์ความเร็วสำหรับ fully developed ของการไหลในท่อ                                              | 18   |
| 3.6 แสดง friction factor และ relative roughness ของท่อชนิดต่างๆ                                           | 24   |
| 3.7ก สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss coefficient) สำหรับการไหลผ่านบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อย่างทันที | 26   |
| 3.7ข สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss coefficient) สำหรับการไหลผ่านบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อย่างทันที | 26   |
| 3.8 สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss coefficient) สำหรับ diffuser                                             | 27   |
| 3.9 แสดงความยาวเทียบเท่า ( $L_e / D$ ) สำหรับท่อโค้ง 90 องศา                                              | 28   |
| 4.1 อุโมงค์ลม                                                                                             | 32   |
| 4.2 ใบพัดลม                                                                                               | 33   |
| 4.3 ท่อทรงกระบอก                                                                                          | 33   |
| 4.4 สกรีนที่ทำขึ้นจากหลอด                                                                                 | 34   |
| 4.5 พิโทท ทิวบ์                                                                                           | 35   |
| 4.6 พิโทท ทิวบ์                                                                                           | 36   |
| 4.7 มานอมิเตอร์                                                                                           | 36   |
| 4.8 เครื่องวัดความเร็วรอบ                                                                                 | 37   |
| 5.1 อุโมงค์ทดสอบพัดลมญี่ปุ่นตามมาตรฐาน JIS                                                                | 38   |
| 5.2 การแบ่งพื้นที่หน้าตัดบริเวณ Test Section                                                              | 45   |
| 5.3 แสดงความเร็วเฉลี่ยในบริเวณ Test Section                                                               | 45   |
| 6.1 ชุดทดลองที่ได้ออกแบบไว้                                                                               | 47   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                   | หน้า |
|----------------------------------------------------------|------|
| 6.2 แสดงถึงแกนที่ใช้วัดความเร็ว                          | 48   |
| 6-1 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ชั้นตอนที่ 1  | 49   |
| 6-2 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ชั้นตอนที่ 2  | 49   |
| 6-3 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ชั้นตอนที่ 3  | 50   |
| 6-4 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ชั้นตอนที่ 4  | 50   |
| 6-5 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ชั้นตอนที่ 5  | 51   |
| 6-6 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ชั้นตอนที่ 6  | 51   |
| 6-7 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 1          | 52   |
| 6-8 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 2          | 52   |
| 6-9 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 3          | 53   |
| 6-10 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 4         | 53   |
| 6-11 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 5         | 54   |
| 6-12 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 6         | 54   |
| 6-13 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 7         | 55   |
| 6-14 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 8         | 55   |
| 6-15 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 9         | 56   |
| 6-16 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 10        | 56   |
| 6-17 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 11        | 57   |
| 6-18 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 12        | 57   |
| 6-19 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 13        | 58   |
| 6-20 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 14        | 58   |
| 6-21 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 15        | 59   |
| 6-22 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 16        | 59   |
| 6-23 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 17        | 60   |
| 6-24 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 18        | 60   |
| 6-25 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 19        | 61   |
| 6-26 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 20        | 61   |
| 6-27 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 21        | 62   |
| 6-28 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ชั้นตอนที่ 22        | 62   |
| 6-29 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 1 | 63   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                    | หน้า |
|-----------------------------------------------------------|------|
| 6-30 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 2  | 63   |
| 6-31 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 3  | 64   |
| 6-32 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 4  | 64   |
| 6-33 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 5  | 65   |
| 6-34 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 6  | 65   |
| 6-35 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 7  | 66   |
| 6-36 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 8  | 66   |
| 6-37 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 9  | 67   |
| 6-38 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 10 | 67   |
| 6-39 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 11 | 67   |
| 6-40 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 12 | 68   |
| 6-41 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 13 | 68   |
| 6-42 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 14 | 69   |
| 6-43 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 15 | 69   |
| 6-44 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 18 | 70   |
| 6-45 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 19 | 70   |
| 6-46 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 20 | 70   |
| 6-47 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 21 | 71   |
| 6-48 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 22 | 71   |
| 6-49 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 23 | 71   |
| 6-50 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 24 | 71   |
| 6-51 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 25 | 72   |
| 6-52 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 26 | 72   |
| 6-53 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 27 | 72   |
| 6-54 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 28 | 73   |
| 6-55 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ชั้นตอนที่ 29 | 73   |
| 6-56 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 1              | 74   |
| 6-57 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 2              | 74   |
| 6-58 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 3              | 75   |
| 6-59 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 4              | 75   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                      | หน้า |
|-------------------------------------------------------------|------|
| 6-60 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 5                | 76   |
| 6-61 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 6                | 76   |
| 6-62 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 7                | 77   |
| 6-63 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 8                | 77   |
| 6-64 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 9                | 78   |
| 6-65 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 10               | 78   |
| 6-66 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 11               | 79   |
| 6-67 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 12               | 79   |
| 6-68 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 13               | 80   |
| 6-69 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 14               | 80   |
| 6-70 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 15               | 81   |
| 6-71 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 16               | 81   |
| 6-72 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 17               | 82   |
| 6-73 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 18               | 82   |
| 6-74 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 19               | 83   |
| 6-75 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 20               | 83   |
| 6-76 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 21               | 84   |
| 6-77 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 22               | 84   |
| 6-78 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 23               | 85   |
| 6-79 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 24               | 85   |
| 6-80 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 25               | 86   |
| 6-81 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 26               | 86   |
| 6-82 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 27               | 87   |
| 6-83 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 28               | 87   |
| 6-84 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 29               | 88   |
| 6-85 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 30               | 88   |
| 6-86 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลชั้นตอนที่ 31               | 89   |
| 7.1 กราฟแสดงอัตราการไหลเชิงมวลต่อมุมของมุมไบพัดที่องศาต่างๆ | 95   |
| 7.2 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                     | 96   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

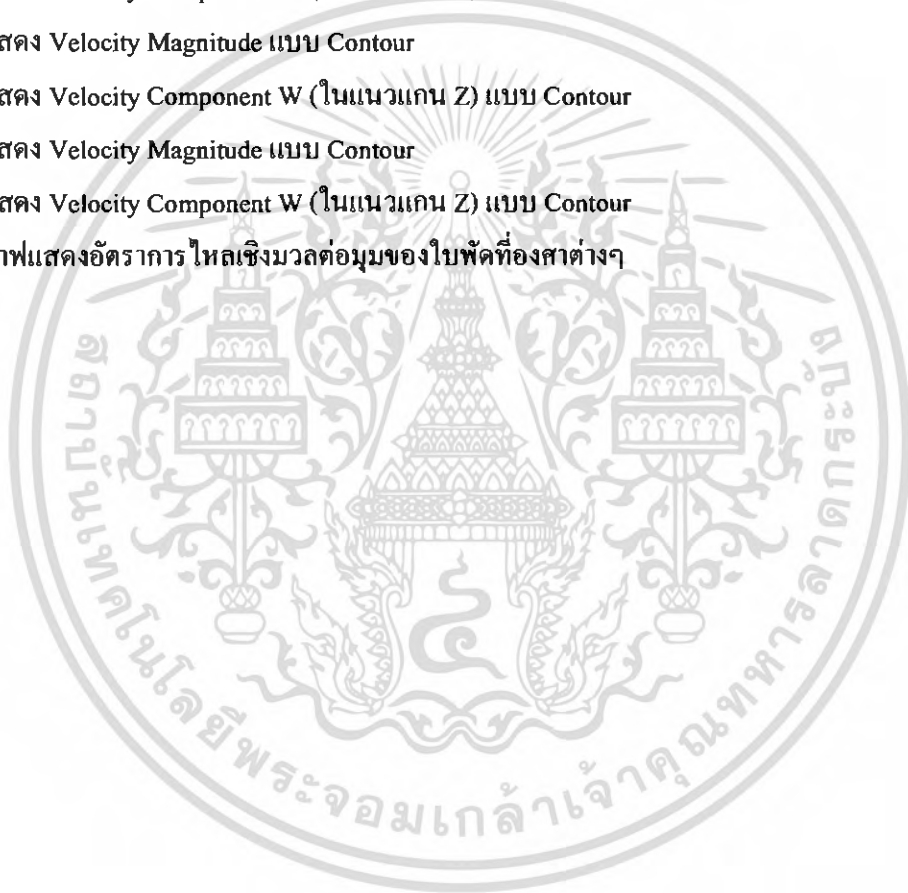
## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                  | หน้า |
|---------------------------------------------------------|------|
| 7.3 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 96   |
| 7.4 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                 | 97   |
| 7.5 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 97   |
| 7.6 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                 | 98   |
| 7.7 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 98   |
| 7.8 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                 | 99   |
| 7.9 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 99   |
| 7.10 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 100  |
| 7.11 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 100  |
| 7.12 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 101  |
| 7.13 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 101  |
| 7.14 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 102  |
| 7.15 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 102  |
| 7.16 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 103  |
| 7.17 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 103  |
| 7.18 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 104  |
| 7.19 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 104  |
| 7.20 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 105  |
| 7.21 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 105  |
| 7.22 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 106  |
| 7.23 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 106  |
| 7.24 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 107  |
| 7.25 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 107  |
| 7.26 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 108  |
| 7.27 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 108  |
| 7.28 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 109  |
| 7.29 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 109  |
| 7.30 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 110  |
| 7.31 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour | 110  |
| 7.32 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                | 111  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                   | หน้า |
|----------------------------------------------------------|------|
| 7.33 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 111  |
| 7.34 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                 | 112  |
| 7.35 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 112  |
| 7.36 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                 | 113  |
| 7.37 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 113  |
| 7.38 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                 | 114  |
| 7.39 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 114  |
| 7.40 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                 | 115  |
| 7.41 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 115  |
| 7.42 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour                 | 116  |
| 7.43 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour  | 116  |
| 8.1 กราฟแสดงอัตราการไหลเชิงมวลต่อมุมของใบพัดที่องศาต่างๆ | 117  |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆ จะต้องพบสภาวะอากาศที่ไม่เหมาะสมกับความสบายของร่างกายมนุษย์ จึงต้องมีการนำระบบปรับอากาศเข้ามาช่วย พัดลมมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งภาคอาคารและโรงงาน โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศ ดังนั้นการรู้จักพฤติกรรมของพัดลม ในลักษณะต่างๆ จะทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างเหมาะสม

พัดลมโดยทั่วไปได้แก่ พัดลมแบบเรเดียล (Radial fan) พัดลมแบบไหลตามแนวแกน (Axial flow fan) พัดลมแบบไหลผสม (Mix flow fan) และอื่นๆ โดยในที่นี้จะศึกษาพัดลมแบบไหลตามแนวแกน (Axial flow fan) เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ดี มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ต้นทุนในการดำเนินงานไม่สูงมากนัก ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบพัดลมที่ได้มาตรฐาน เพื่อทำการทดสอบพัดลม

การศึกษาและวิจัยในโครงการนี้มีขอบเขตการศึกษา คือ ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของใบพัด อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ความดันสถิตย์ (static pressure) ซึ่งจะได้อ้างอิงข้อมูลจากการทดลองและการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลมุมของใบพัดลมที่มีผลต่ออัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (mass flow rate)

1.2.2 ศึกษาและออกแบบชุดทดสอบพัดลมเพื่อให้สามารถตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของพัดลม เช่น อัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate) ความดันสถิตย์ (static pressure) และอุณหภูมิ

1.2.3 ทำนายอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (mass flow rate) ที่ได้จากการจำลองผลโดยโปรแกรมในองศาต่างๆ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและออกแบบชุดทดสอบพัดลม แล้วทำการสร้างชุดทดลอง

1.3.2 ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate) ของพัดลม

1.3.3 ทำการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD หาอัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมของใบพัดและ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศวิเคราะห์และสรุปผล

### 1.4 ขอบเขตของปัญหาในการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม Star-CD

1.4.1 เป็นกรไหลแบบมีการหมุนควง (Swirl Flow)

1.4.2 เป็นกรไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent)

1.4.3 พิจารณาโดเมนเป็นระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical Co-ordinate)

1.4.4 พิจารณาปัญหาเป็นแบบ 3 มิติ (Three Dimensions Problem)

### 1.5 สมมุติฐานในการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD

1.5.1 เป็นการไหลแบบสภาวะคงตัว (Steady State Flow)

1.5.2 เป็นการไหลแบบขุดตัวไม่ได้ (Incompressible Flow)

1.5.3 พิจารณาความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการเสียดรูป (Newtonian Fluid)

1.5.4 ความเร็วรอบคงที่ (Speed Constant)

1.5.5 ไม่คิดการถ่ายเทความร้อน (Energy Equation neglected)

1.5.6 ไม่คิดแรงโน้มถ่วงของโลกภายในก้อนของไหล (Gravity Force neglected)

1.5.7 ไม่คิดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ (Vibration neglect)

1.5.8 ไม่คิดผลกระทบเนื่องมาจากโครงสร้างรองรับ (Structure Support neglected)

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัย

1.6.1 สามารถทำนายอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ โดยใช้โปรแกรม Star-CD

1.6.2 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมของใบพัดและอัตราการไหลของอากาศเพื่อประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการนำความรู้ด้านนี้ไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้

1.6.3 สามารถใช้และเข้าใจการทำงานของโปรแกรม Unigraphics , Nastam และ Star-CD เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นได้

### 1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ทฤษฎีพื้นฐานของฟัดลม กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics) เทอร์โบแมชชีนเนอร์รี่ (Turbo machinery) และมาตรฐานการทดสอบฟัดลมอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS) รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis) ที่เน้นเรื่องวิธีปริมาตรสืบเนื่อง (Finite Volume Method) ซึ่งใช้ในโปรแกรมที่จะนำมาจำลองผลลัพธ์การทดลองด้วย จากนั้นนำความรู้ที่ได้ศึกษามาทั้งหมดออกแบบและพัฒนาชุดทดลองขึ้น จัดเตรียมอุปกรณ์ กำหนดตัวแปรต่างๆ ในขณะเดียวกันทำการศึกษาโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ Star-CD เพื่อใช้ในการวิจัย

ทำการสร้างชุดทดลองภายใต้ทฤษฎีและจุดประสงค์ของโครงการวิจัยทำการทดสอบความถูกต้องของชุดทดลองและปรับแต่งก่อนทำการทดสอบจริง ทำการทดลองเพื่อหาผลการทดลองตามจุดประสงค์ของโครงการวิจัยรวมทั้งทำการจำลองเพื่อหาผลการทดลองจากโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ Star-CD

นำผลการทดลองดิบมาคำนวณหาค่าตัวแปรที่ได้กำหนดไว้ตอนแรกซึ่งก็คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์ Star-CD โดย

เปรียบเทียบเฉพาะที่ความดัน 1 บรรยากาศเท่านั้น เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการทดลองกับการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม Star-CD

หาความสัมพันธ์ระหว่างองศาใบพัดที่เปลี่ยนไปกับอัตราการไหลเชิงมวลที่ได้จากการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD จากนั้นทำการวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐาน

#### 2.1 ลักษณะทั่วไปของพัดลม

พัดลมก็คือเครื่องสูบลมซึ่งใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน (Working Fluid) นั้นเอง โดยจะทำการขับเคลื่อนอากาศหรือแก๊สต่างๆให้เคลื่อนที่ด้วยค่าความดันต่างๆ พัดลมที่ใช้ในงานต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานวิศวกรรมส่วนใหญ่แล้วจะใช้งานเกี่ยวกับการอบแห้งวัสดุทางการเกษตร การระบายอากาศ การทำความเย็น การลำเลียงและการให้ความร้อน เป็นต้น

การกำหนดความหมายของพัดลม พัดลม เครื่องเป่าลม และเครื่องอัดอากาศ ส่วนใหญ่แล้วมักจะใช้กันอย่างสับสนกันอยู่เสมอๆ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนอากาศหรือแก๊สต่างๆให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นภายในระบบในลักษณะเดียวกัน จึงได้มีการจำแนกอุปกรณ์ดังกล่าวตามค่าความกดดันของอากาศหรือแก๊สที่เกิดขึ้นภายในระบบดังนี้

พัดลม (Fans) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนอากาศหรือแก๊สต่างๆ ที่ค่าความกดดันต่างๆ จนถึง 6.9 kPa (1 psi) ด้วยปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนต่อหน่วยเป็นจำนวนมากๆ

เครื่องเป่าลม (Blower) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนอากาศหรือแก๊สต่างๆ ที่ค่าความกดดันสูงถึง 241.3 kPa (35 psi) ด้วยปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนต่อหน่วยเป็นจำนวนน้อยกว่าปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนจากพัดลม

เครื่องอัดอากาศ (Air Compressors) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนอากาศหรือแก๊สอัดต่างๆ ที่ค่าความกดดันสูงมากๆ ในกรณีที่เป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบจะให้ค่าความกดดันของอากาศสูงถึง  $34.5 \times 10^3$  kPa (5000 psi) ด้วยปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนต่อหน่วย เป็นจำนวนน้อยกว่าปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนจากเครื่องเป่าลม

เราจะใช้พัดลมในการขับเคลื่อนอากาศในจำนวนปริมาตรน้อยๆ ที่ค่าความกดดันของอากาศสูงๆ หรือใช้ในการขับเคลื่อนอากาศในจำนวนปริมาตรมากๆ ที่ค่าความกดดันต่ำๆ ก็ได้ โดยทั่วไปแล้วพัดลมทุกประเภทจะสามารถทำงานภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่ก็มีปัจจัยต่างๆ ที่เป็นข้อจำกัดในการใช้งานของพัดลม อาทิ ความดังของเสียงในขณะที่ใช้งาน ค่าประสิทธิภาพของพัดลม เป็นต้น

## 2.2 ประเภทของพัดลม

เราอาจจำแนกพัดลมออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

- พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow or Radial Fans)
- พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fans)

### 2.2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow or Radial Fans)

พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง หรือพัดลมซึ่งมีการไหลของอากาศในแนวรัศมี จะประกอบไปด้วยชุดใบพัดซึ่งหมุนอยู่ภายในตัวเรือนของพัดลม (Fan Housing) ชุดใบพัดจะประกอบด้วยแผ่นใบขนาดเล็กหลายใบประกอบเข้าด้วยกันเป็นลักษณะวงล้อ ค่าความกดดันของอากาศจะถูกทำให้มีค่าสูงขึ้นภายในตัวเรือนของพัดลม เราสามารถเพิ่มค่าความกดดันให้มีค่าสูงขึ้นได้ ด้วยการเพิ่มขนาดความยาวใบพัด ซึ่งจะทำให้แรงเหวี่ยงในระบบมากยิ่งขึ้นนั่นเอง อากาศจะไหลผ่านเข้าไปในช่องทางเข้า โดยมีทิศทางขนานกับแกนของใบพัดและไหลออกในทิศทางตั้งฉากกับแกนของใบพัดในช่องทางออก พัดลมประเภทนี้เราอาจจำแนกตามลักษณะรูปร่างของ ใบพัดเป็น 3 แบบคือ

- แบบใบพัดตรง (Straight Blade หรือ Radial Fans)
- แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward Curved Blade Fans)
- แบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward Curved Blade Fans)



รูปที่ 2.1 พัดลมแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal Flow or Radial Fans)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แบบใบพัดตรง (Straight Blade หรือ Radial Fans)

พัดลมชนิดนี้จะมีใบพัดน้อยที่สุด คือจะมีจำนวนใบพัดประมาณ 6 ถึง 20 ใบ และใบพัดจะอยู่ในระนาบรัศมีจากเพลลาใบพัดหมุนด้วยความเร็วรอบต่ำประมาณ 500 – 3000 รอบ/นาที ดังนั้นจึงเหมาะกับงานที่ต้องการปริมาตรของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนจำนวนน้อยๆ ที่ค่าความกดดันของอากาศสูงๆ อาทิ จะใช้เป็นพัดลมระบายอากาศเสียออกไปสู่ภายนอกหรืองานลำเลียงขนถ่ายวัสดุซึ่งไหลผ่านตัวพัดลม เนื่องจากพัดลมชนิดนี้มีคุณสมบัติในการทำความสะดวกตัวเอง

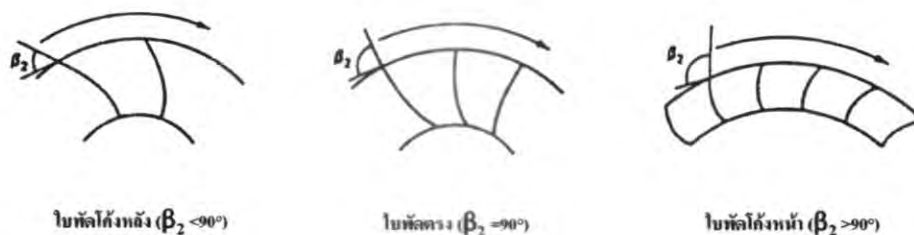
### แบบใบพัดโค้งไปข้างหน้า (Forward Curved Blade Fans)

พัดลมชนิดนี้จะมีใบพัดเอียงไปข้างหน้า ในทิศทางเดียวกับการหมุนของชุดใบพัด จะมีจำนวนแผ่นใบพัดประมาณ 20 -60 ใบ ชุดใบพัดจะมีลักษณะคล้ายกับกรงกระรอก เพลลาใบพัดจะมีขนาดเล็กหมุนด้วยความเร็วรอบสูงกว่าพัดลมชนิดใบพัดตรง การทำงานของพัดลมชนิดนี้จะมีเสียงเบาที่สุดเมื่อเทียบกับพัดลมชนิดอื่นๆ มีข้อเสียคือ จะมีลักษณะที่มอเตอร์ทำงานเกินกำลังและมีช่วงการทำงานที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและอากาศที่เคลื่อนผ่านต้องมีความสะอาดเพียงพอด้วย พัดลมชนิดนี้จะให้ค่าความกดดันลมและอัตราการไหลสูงที่สุด

### แบบใบพัดโค้งไปข้างหลัง (Backward Curved Blade Fans)

พัดลมชนิดนี้จะมีใบพัดเอียงไปด้านหลัง ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศการหมุนของชุดใบพัด จะมีจำนวนของแผ่นใบพัดประมาณ 10 – 50 ใบ และเป็นพัดลมที่มีรอบความเร็วสูงการทำงานของพัดลมไม่ก่อให้เกิดเสียงดังเกินควร ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์จะทำงานเกินกำลังและไม่มีช่วงการทำงานที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา พัดลมชนิดนี้จึงมีราคาสูงกว่าพัดลมชนิดอื่นๆ เมื่อเทียบกับขนาดที่เท่ากัน เหมาะที่จะใช้กับงานระบายอากาศและอากาศที่ใช้ต้องมีความสะอาดด้วย เนื่องจากเราสามารถที่จะทำการควบคุมความกดดันและปริมาณของลมได้ง่าย

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเอียงทำมุมของใบพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงชนิดต่างๆ โดยที่มุมใบพัด ( $\beta_2$ ) ของพัดลมหมุนเหวี่ยงชนิดใบพัดโค้งไปข้างหลังจะมีค่าน้อยกว่า 90 องศา ชนิดใบพัดตรงจะมีค่าเท่ากับ 90 องศา และชนิดใบพัดโค้งไปข้างหน้าจะมีค่ามากกว่า 90 องศา



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเอียงทำมุมของใบพัดแบบหมุนเหวี่ยงชนิดต่างๆ

### 2.2.2 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fans)

พัดลมแบบนี้อากาศจะไหลขนานกับแนวแกนของใบพัดและตั้งฉากกับระนาบการหมุนของใบพัด ชุดใบพัดจะถูกติดตั้งอยู่บนแกนเพลลาบับของมอเตอร์ต้นกำลัง ซึ่งอยู่ในตัวเรือนพัดลม ทำให้มอเตอร์สามารถระบายความร้อนออกไปพร้อมๆกับอากาศที่ถูกขับเคลื่อนพัดลมชนิดนี้จะมีราคาถูก ไม่มีลักษณะที่มอเตอร์ต้นกำลังจะทำงานเกินกำลัง แต่การทำงานของพัดลมจะมีเสียงดังเมื่อเปรียบเทียบกับพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงและมีช่วงการทำงานของพัดลมที่ไม่เสถียรภาพ พัดลมชนิดนี้จึงเหมาะสมกับงานที่ใช้เพื่อการระบายอากาศ การอบแห้งวัสดุทางการเกษตร โดยให้ค่าความกดดันในการใช้งานถึง 1000 Pa มีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายง่าย พัดลมชนิดนี้มีการสร้างอยู่ 2 ลักษณะคือ

- ลักษณะที่ลมพัดเป็นเกลียว (Tube Axial Fans)
- ลักษณะที่ลมพัดเป็นเส้นตรง (Vane Axial Fans)



รูปที่ 2.3 พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกน (Axial Flow Fans)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ลักษณะที่ลมพัดเป็นเกลียว (Tube Axial Fans)

พัดลมแบบอากาศไหลตามแกนชนิดนี้ จะมีโครงสร้างประกอบด้วยชุดใบพัด ซึ่งหมุนอยู่ภายในท่อรูปทรงกระบอก ลมที่ถูกขับเคลื่อนให้ผ่านชุดใบพัดจะหมุนเป็นเกลียว มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน พัดลมชนิดนี้จะให้ค่ากดดันของลมปานกลาง

### ลักษณะที่ลมพัดเป็นเส้นตรง (Vane Axial Fans)

พัดลมแบบอากาศไหลตามแนวแกนชนิดนี้ จะมีคิริบเพื่อใช้ในการบังคับการไหลของอากาศ (Air Guide Vane) ที่ถูกขับเคลื่อนติดตั้งอยู่ภายในตัวเรือนของพัดลมบริเวณท่อทางออกบริเวณด้านหลังของชุดใบพัด เพื่อช่วยให้การไหลของอากาศที่ถูกขับเคลื่อนมีการไหลเป็นเส้นตรงมากที่สุด ซึ่งจะช่วยให้การไหลของอากาศในลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนลดลงและลดพลังงานการสูญเสียซึ่งเป็นผลจากการไหลของอากาศแบบปั่นป่วนภายในระบบให้น้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานและราคาสูงกว่าพัดลมชนิด Tube Axial Fans

## 2.3 ทฤษฎีของพัดลม

ความกดคั้นลมที่เกิดขึ้นมาจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งปริมาตรของลมหรืออากาศจะถูกจับเหวี่ยงออกไปด้วยใบพัดและเกิดจากการที่ปลายใบพัดขับลมมาด้วยความเร็ว ทำให้พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไปเป็นค่าความกดคั้น

ความกดคั้นที่เกิดจากแรงเหวี่ยงดังกล่าวเรียกว่า ความดันสถิตย (Static Pressure) ความกดคั้นสถิตยี่จะเป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนระหว่างความเร็วลมที่เคลื่อนที่ขณะออกจากเส้นขอบใบพัดกับความเร็วกับความเร็วลมขณะเคลื่อนที่เข้าสู่ใบพัด ดังนั้นหากใบพัดข้งยาวความกดคั้นสถิตยจะข้งมาก

ค่าประสิทธิภาพของพัดลมนั้นจะมีค่าประมาณ 40 – 70 % ค่าความกดคั้นจริงของลมได้จากผลรวมของความกดคั้นสถิตยกับค่าเสดความเร็วของลมขณะเคลื่อนที่ออกจากใบพัด

$$\text{ประสิทธิภาพทางกล} = (\text{อัตราการไหลของอากาศ}) \times (\text{ความดันรูป}) / \text{KW}$$

$$\text{เมื่อ } \text{KW} = \text{กำลังงานที่ใช้ในการขับเพล}$$

$$\text{กำลังงานที่ใช้ในการขับลม } \text{KW}_{air} = \frac{Q(P_2 - P_1)}{1000}$$

$$\text{และ } \text{กำลังงานที่ใช้ในการขับเพล } \text{KW} = \frac{\text{KW}_{air}}{\eta}$$

$$\text{เมื่อ } Q = \text{ปริมาณลมวัดที่ความดันปกติ, m}^3 / \text{scc}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_1, P_2$  = ความดันลมทางเข้าและออกจากใบพัด ,  $N / m^2$

$\eta$  = ประสิทธิภาพทางกลของพัดลม

## 2.4 นิยามของคำว่าของไหล

การไหลในเชิงกลศาสตร์ หมายถึง การเคลื่อนที่ของสสาร โดยไม่คำนึงถึงแรงกระทำอันเป็นสาเหตุของการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ในที่นี้ประกอบด้วย การเปลี่ยนตำแหน่ง (Displacement) ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) การเคลื่อนที่ของของไหลถูกเรียกกันโดยทั่วไปว่าการไหล (Flow)

จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและหลักการอนุรักษ์ของมวลสารร่วมกับกฎของอุณหพลศาสตร์ กฎความหนืดของนิวตันและหลักการเกี่ยวกับขอบเขตของของไหล ของไหลที่ถือว่าเป็นพวกอัดตัวไม่ได้ นั่นได้แก่ของเหลวทุกชนิด สำหรับก๊าซถ้าหากความดันที่กระทำกับก๊าซนั้นมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความดันสัมบูรณ์แล้ว ก็อาจถือได้ว่าก๊าซนั้นเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาสถานะของของแข็งและของไหลในเชิงกลจากปฏิริยาพื้นฐานของสสารที่เกิดจากแรงต่างๆ เช่น แรงดึง (Tension) แรงอัด (Compression) และแรงเฉือน (Shear) จะพบว่าเมื่อของแข็งได้รับแรงเฉือนจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวร ส่วนใหญ่ของไหลจะไม่สามารถรับแรงเฉือนได้เลยไม่ว่าจะมีขนาดใดก็ตาม เพราะเมื่อได้รับแรงเฉือนแล้วของไหลจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างหรือเกิดการไหลทันที การที่กล่าวว่าการไหลไม่สามารถรับแรงดึงได้นั้นในทางของไหลสามารถรับแรงดึงได้บ้างเล็กน้อย เพราะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล แต่มีค่าต่ำมากจึงเสมือนว่าไหลไม่สามารถรับแรงดึงได้ ซึ่งเป็นสมมุติฐานของทางวิศวกรรมที่ใช้โดยทั่วไป

## 2.5 สมมุติฐานและขอบเขตคุณสมบัติของของไหล

ในเชิงวิชาการนั้นการกล่าวถึงการไหลที่ประกอบด้วยเงื่อนไขและคุณลักษณะในการพิจารณาการไหลในแต่ละกรณีนั้นมีความซับซ้อนและละเอียดอ่อนมาก ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้กำหนดขอบเขตสมมุติฐานของคุณสมบัติของของไหลดังต่อไปนี้

### 2.5.1 ของไหลจริง (Real Fluid or Practical Fluid)

ของไหลจริง (Real Fluid or Practical Fluid) หมายถึง ของไหลที่มีคุณสมบัติตามธรรมชาติและเกิดขึ้นจริงตามลักษณะการใช้งาน เช่น ความตึงผิวและความสามารถในการอัดตัวได้ สำหรับของไหลจริงไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ ถ้าหากมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นแล้วก็ต้องมีแรงตามแนวสัมผัสหรือแรงเฉือนเกิดขึ้นด้วยเนื่องจากแรงเหล่านี้จะมีทิศทางสวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงเสียดทานจากของไหลขึ้นแรงเสียดทานนี้เกิดจากคุณสมบัติอย่างหนึ่งของของไหลที่เรียกว่า ความหนืด

### 2.5.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของไหลเป็นค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหรือเป็นค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและแรงเสียดทานในของไหลที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นเป็นผลมาจากแรงเกาะกันระหว่างโมเลกุลและการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในระหว่างโมเลกุลของของไหลในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นนั้นความหนืดของของเหลวทุกชนิดจะลดน้อยลง ส่วนความหนืดของก๊าซทุกชนิดกลับเพิ่มขึ้นและไปทำให้ของไหลที่ช้ากว่านั้นเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ส่วน โมเลกุลจากชั้นที่ช้ากว่าก็จะย้ายไปอยู่ในชั้นที่เร็วกว่าและจะไปหน่วงชั้นที่เร็วกว่าให้เคลื่อนที่ช้าลง การแลกเปลี่ยนโมเลกุลเช่นนี้ทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้น ดังนั้นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซที่เพิ่มขึ้นมากขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงๆ จึงเป็นสาเหตุทำให้ก๊าซมีความหนืดสูงขึ้น ณ ที่นี้ของไหลที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นของไหลที่มีความหนืด

### 2.5.3 ของไหลที่กดอัดไม่ได้ (Incompressible Fluid)

ของไหลที่กดอัดไม่ได้ (Incompressible Fluid) หมายถึง ของไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรน้อยมากเมื่อมีความดันเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถที่จะไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรได้หรือกล่าวได้ว่าของของไหลที่กดอัดไม่ได้ คือ ของไหลที่มีความหนาแน่นคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีความดันเปลี่ยนแปลง

### 2.5.4 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) หมายถึง การไหลของของไหลชนิดที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ในทิศทางหรือลักษณะที่แน่นอน มีการเคลื่อนที่ช้าลงและมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมจากส่วนหนึ่งของของไหลไปยังส่วนอื่นๆ ลักษณะการไหลของของไหลทั่วไปเกือบ 95 % จะเป็นการไหลแบบนี้ เช่น การไหลของน้ำตามแม่น้ำลำคลอง การไหล ของอากาศในท่อลมเป็นต้น

### 2.5.5 การไหลแบบคงตัว (Steady Flow)

การไหลแบบคงตัว (Steady Flow) หมายถึงการไหลของของไหลชนิดที่ความเร็วของการไหล ณ จุดใดๆ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น เมื่อคำนึงถึงการไหลของของไหลที่ผ่านจุด A ไม่ว่าจะเป็นเวลาใดของการไหลที่ผ่านจุด A นั้นจะมีความเร็วคงที่เสมอและเมื่อพิจารณาที่จุด B ความเร็วของการไหลของของไหลที่ผ่านจุด B ก็คงที่ด้วยแต่ความเร็วที่จุด A และจุด B ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน เนื่องจากเหตุผลที่ว่า ของไหลไม่สามารถที่จะขาดช่วงได้เพราะจะทำให้ความเร็วของของไหล ณ จุดนั้นๆ เปลี่ยนแปลงทฤษฎีที่ใช้กับการไหลคงตัวเป็นทฤษฎีเบื้องต้นและการใช้งานวิศวกรรมส่วนใหญ่จัดว่าเป็นการไหลของของไหลเป็นแบบคงตัว

### 2.5.6 การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow)

การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) หมายถึง การไหลที่มีความเร็ว  $u$  ทุกๆจุดในสนามการไหลคงที่ทั้งขนาดและทิศทางที่เวลาใดเวลาหนึ่ง กล่าวคือ การไหลแบบสม่ำเสมอมีสภาพการไหลที่ไม่แปรเปลี่ยนตามระยะทาง

### 2.5.7 การไหลสองทิศทาง (Two Dimensional Flow)

การไหลสองทิศทาง (Two Dimensional Flow) หมายถึง การไหลชนิดที่สายธารการไหลเคลื่อนที่ไปบนระนาบเดียวกัน แต่มีการเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ด้วยตัวอย่างของการไหลสองทิศทาง เช่น การไหลของน้ำในเขื่อนหรือการไหลของอากาศปีกของเครื่องบิน เป็นต้นการไหลสองทิศทาง ความเร็ว ความดัน ฯลฯ เปลี่ยนแปลงไปตามจุดที่พิจารณา

### 2.5.8 การไหลแบบไม่มีการหมุนวน (Irrotational Flow)

การไหลแบบไม่มีการหมุนวน (Irrotational Flow) หมายถึง การเคลื่อนที่ของของไหลที่มีความเร็วเชิงมุมหมายความว่า ของไหลทั้งชิ้นเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยไม่มีการหมุน

ในโครงการวิจัยนี้จะศึกษาการไหลแบบไม่สามารถอัดได้ และมีความหนืดภายในท่อ (Internal Incompressible Viscous Flow) ซึ่งจะอธิบายในบทต่อไป

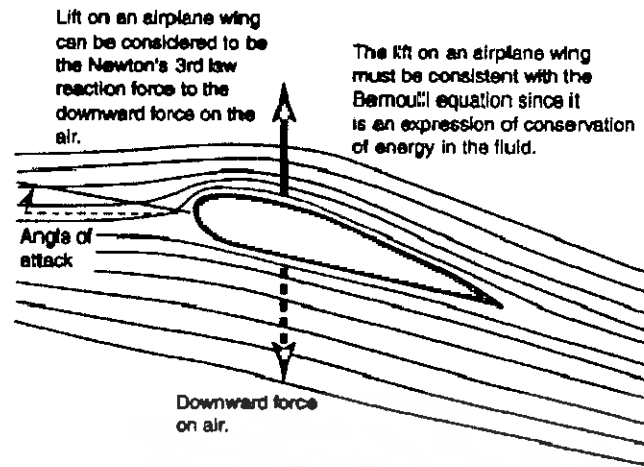
## 2.6 ทฤษฎีแอร์ฟอล์ย

### 2.6.1 แรงยก (Lift Force)

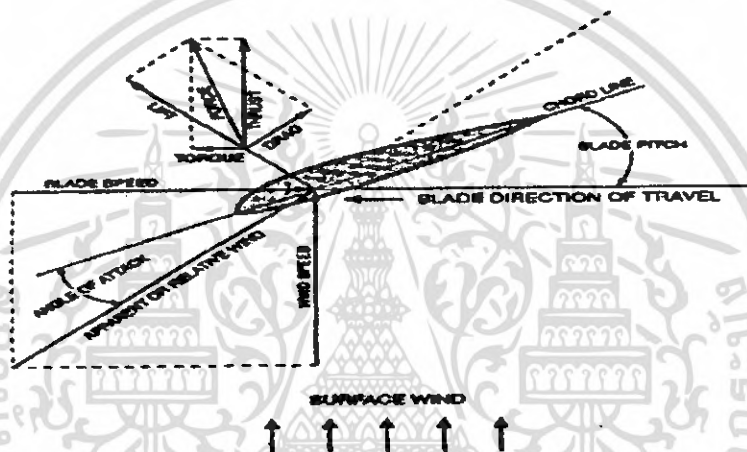
เกิดขึ้นโดย ความกดอากาศต่ำที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวด้านบนของแอร์โรฟอล์ย เมื่อเปรียบเทียบกับความกดอากาศที่พื้นผิวด้านล่างของแอร์โรฟอล์ย เนื่องจากความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านด้านบนของแอร์โรฟอล์ยนั้นเร็วกว่าด้านล่างของแอร์โรฟอล์ยหรือพูดอีกอย่างหนึ่งก็คือ แรงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวด้านบนของแอร์โรฟอล์ยน้อยกว่าแรงที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวด้านล่างของแอร์โรฟอล์ย ตามหลักของเบอร์นูลลีทำให้เกิดแรงยกขึ้นข้างบนของแอร์โรฟอล์ย

การเพิ่มแรงยกกระทำได้ 2 วิธีคือ

- 1) โดยการเพิ่มความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านผิวของแอร์โรฟอล์ย ให้มีความเร็วมากขึ้น
- 2) โดยการเพิ่มมุมปะทะ



รูปที่ 2.4 แสดงแรงยกที่เกิดขึ้นด้านบนของแอร์โรฟอร์ดล์



รูปที่ 2.5 แสดงมุมปะทะของใบพัดลม

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า มุมปะทะ (Angle attack) ในพัดลม ก็คือ มุมพิทช์ (Pitch angle) นั้นเอง ในโครงการนี้จะพิจารณาถึงการเพิ่มแรงยกโดยการเพิ่มมุมปะทะ โดยอาศัยการทดลองการปรับมุมของใบพัดซึ่งในเรื่องของพัดลม แรงยกจะมีทิศทางเดียวกับทิศการไหลของอากาศที่ออกจากใบพัด ส่งผลให้แรงยกเป็นแรงที่ช่วยส่งอากาศ คือ เมื่อแรงยกมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้อากาศไหลเร็วขึ้น ทำให้อัตราการไหลของอากาศเพิ่มมากขึ้น

โดยเราสามารถคิดคำนวณหาค่าแรงยกได้จาก

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 C_L S$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 (2\pi \sin \alpha) S$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การไหลแบบไม่สามารถอัดได้ และมีความหนืดภายในท่อ (Internal Incompressible Viscous Flow)

### 3.1 บทนำ (Introduction)

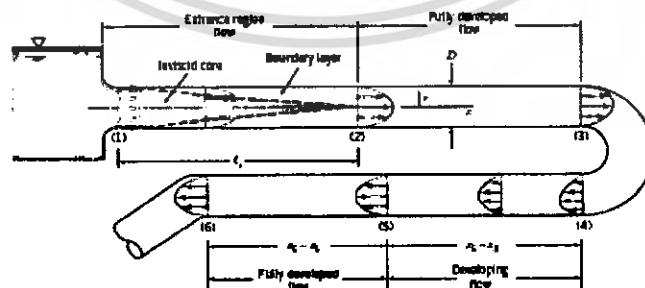
จากรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงการไหลแบบราบเรียบในท่อกลม ของไหลไหลด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ( $U_0$ ) ที่ทางเข้าของท่อ และความเร็วยังคงสม่ำเสมอของไหลที่ผนังจะมีค่าเป็นศูนย์ตลอดความยาวของท่อ ซึ่งชั้นขอบเขต (boundary layer) จะพัฒนาขึ้นผนังของท่อเนื่องจากผนังท่อจะมีแรงเฉือนที่ทำให้ของไหลชะลอการไหลลงเรื่อยๆ ตามความยาว ดังนั้น ความเร็วของไหล บริเวณที่ใกล้ผนังจะยิ่งลดลง สำหรับของไหลที่ไม่สามารถอัดได้ (Incompressible) ความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดๆ ตลอดภาคตัดขวางคือ

$$\bar{V} = \frac{1}{A_{area}} \int u \, dA$$

ซึ่งจะต้องเท่ากับ  $U_0$  (เนื่องจากการอนุรักษ์มวล)

$$\bar{V} = U_0 = \text{ค่าคงที่}$$

ณ ตำแหน่งใดๆ ที่ห่างจากทางเข้า เนื่องจากมีการพัฒนาขึ้นมาของ boundary layer ตลอดความยาวท่อ และทำให้ของไหลมีลักษณะการไหลเป็นแบบที่มีความหนืด (viscous) มากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลง โปรไฟล์ของความเร็ว ดังรูป 3.1 เมื่อโปรไฟล์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกแล้ว การไหลนั้นจะเป็นแบบ fully developed เรียกว่า entrance length



รูปที่ 3.1 แสดงการพัฒนากระบวนกรไหลภายในท่อ

ในการไหลแบบราบเรียบ (laminar) และมี entrance length ( $L$ ) ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันของ Reynolds number

$$\frac{L}{D} \approx 0.06 \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \approx 0.06 \text{Re} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $\bar{V}$  คือ ความเร็วเฉลี่ย

$\mu$  คือ ความหนืดของ ของไหล

$D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

เนื่องจากถ้าเป็นการไหลแบบราบเรียบ แล้ว  $\text{Re} \leq 2300$

ดังนั้น

$$L \approx 0.06 \text{Re} D \leq (0.06)(2300) = 138D$$

การไหลในท่อ และช่องทางเดิน

ในส่วนนี้ จะแสดงให้เห็นว่าความดันจะเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับ หรือการเปลี่ยนความเร็ว หรือเนื่องจากความเสียดทาน โดยเฉพาะความเสียดทานที่มักจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียความดัน (pressure loss) ซึ่งยังอาจจะแบ่งได้เป็น

1. การสูญเสียหลัก (major losses) : เนื่องจากความเสียดทานในระบบท่อที่มีพื้นที่คงที่
2. การสูญเสียรอง (minor losses) : เนื่องจากการไหลผ่านวาล์ว, ท่อโค้ง, ท่องอ, ข้อต่อ ฯลฯ

### 3.2 การกระจายของความเค้นเฉือนใน fully developed ในการไหลในท่อ (Shear Stress Distribution in Fully Developed Pipe Flow)

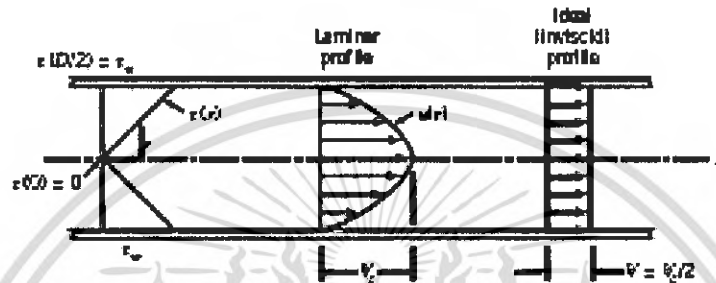
จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า สมการ โมเมนตัมในแกน  $x$  จะได้ว่า

$$F_{Sr} + F_{Br} = \frac{d}{dt} \int_{CV} u \rho dV + \int_{CS} u \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (3.2)$$

- ข้อกำหนด
- 1) ท่อวางอยู่ในแนวราบ ( $F_{Bx} = 0$ )
  - 2) การไหลคงที่
  - 3) ของไหลไม่สามารถอัดได้
  - 4) การไหล fully developed

ดังนั้น

$$F_{Sx} = 0$$



รูปที่ 3.2 แสดงการกระจายของความเค้นเฉือนใน fully developed ในการไหลในท่อ

$$\text{ได้ ; } F_{Sx} = \left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{2}\right) \pi r^2 - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{2}\right) \pi r^2 + \tau_{rx} 2\pi r dr = 0$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} dx \pi r^2 + \tau_{rx} 2\pi r dr = 0$$

$$\tau_{rx} = \frac{r}{2} \frac{\partial p}{\partial x}$$

(3.3)

จะเห็นได้ว่า ความเค้นเฉือนของของไหลจะมีการกระจายตามขวางของท่อในเชิงเส้น (เป็นศูนย์ที่ centerline และมากที่สุดที่ผนังท่อ)

ถ้าความเค้นเฉือนที่ผนังท่อคือ  $\tau_{rx}$  ดังนั้นสมการที่ 3.2 สำหรับความเค้นเฉือนที่ผนังท่อ คือ

$$\tau_{rx} = -[\tau_{rx}]_{r=R} = -\frac{R}{2} \frac{\partial p}{\partial x}$$

(3.4)

สมการที่ 3.3 ใช้ได้ในการไหล fully developed ทั้งการไหลแบบราบเรียบ และปั่นป่วนในท่อ

ในการไหลแบบปั่นป่วนนั้นความสัมพันธ์ระหว่างสนามความเค้นเฉือน และสนามความเค้นเฉือน จะซับซ้อนมาก โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = \mu \frac{d\bar{u}}{dy} - \rho \bar{u}'V' \quad (3.5)$$

ซึ่ง  $y$  คือ ระยะทางจากผนังท่อไปยังตำแหน่งใดๆ

$\bar{u}$  คือความเร็วเฉลี่ย

$\bar{u}'$  และ  $\bar{V}'$  คือ องค์ประกอบของความเร็วมืดในทิศทาง  $y$  และ  $x$  ตามลำดับ

$\bar{u}'V'$  คือ เวลาเฉลี่ยของการคูณ ของ  $\bar{u}'$  และ  $\bar{V}'$

และเทอม  $\rho \bar{u}'V'$  เรียกว่า 'Reynolds stress' ซึ่งถ้าหารตลอดสมการ 3.4 ด้วย  $\rho$  จะได้ว่า

เทอม  $\frac{\tau}{\rho}$  จะมีหน่วยเป็น ความเร็วกำลังสอง ดังนั้น  $\left(\frac{\tau_w}{\rho}\right)^{1/2}$  จึงถูกเรียกว่า 'friction velocity' และมี

สัญลักษณ์  $u_*$  ส่วน fully developed turbulent สำหรับการไหลในท่อ โดยกำหนด  $Re_u = \frac{UD}{\nu}$  ซึ่ง  $U$

คือ ความเร็วที่ตำแหน่ง centerline จะเห็นได้ว่า turbulent stress จะมีค่าเป็นศูนย์ที่ผนัง เนื่องจากที่ผนังของไหลจะไม่ไหล ดังนั้นเมื่ออ้างสมการที่ 3.4 ได้

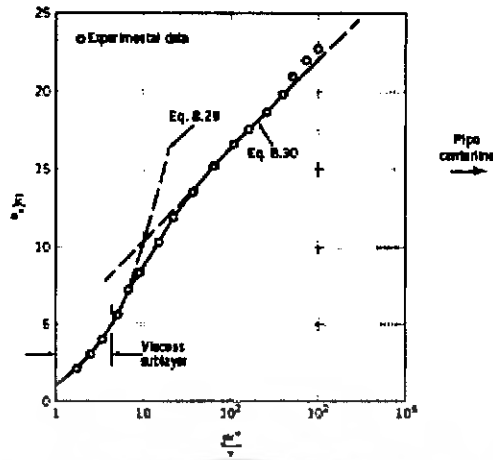
$$\tau_w = \mu \left( \frac{d\bar{u}}{dy} \right)_{y=0} \quad (3.6)$$

### 3.3 Profile ของความเร็ว turbulent สำหรับการไหลในท่อ (Turbulent Velocity Profiles in Fully Developed Pipe Flow)

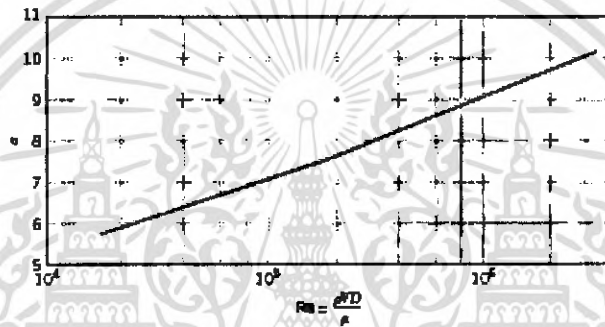
โพรไฟล์ของความเร็วสำหรับการไหล fully developed ในท่อที่เรียบ จะเป็นไปดังรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{\bar{u}}{u_*}$  กับ  $\log(yu_*/\nu)$  จะเห็นได้ว่า ณ บริเวณใกล้กับผนัง viscous shear จะแสดงอิทธิพลออกมามากกว่า และโพรไฟล์ของความเร็วสำหรับความหนืดเชิงเส้น (linear viscous) ก็คือ

$$u^+ = \frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{yu_0}{\nu} = y^+ \quad (3.7)$$

โดยที่  $y$  คือ ระยะทางจากตำแหน่งของผนัง ( $y = R - r$ ;  $R$  คือ รัศมีท่อ) และ  $\bar{u}$  คือ ความเร็วเฉลี่ย สมการที่ 3.6 จะใช้ได้ดีก็ต่อเมื่อ  $0 \leq y^+ \leq 5$  โดยบริเวณนี้จะเรียกว่า viscous sub layer



รูปที่ 3.3 โพรไฟล์ของความเร็วจนในช่วงปั่นป่วนสำหรับ fully developed ในท่อเรียบ



รูปที่ 3.4 โพรไฟล์ความเร็วจาก power-law สำหรับ fully developed สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อเรียบ

ในขณะที่บริเวณที่ซึ่ง มีความหนืด (viscous) และมีความปั่นป่วน (turbulent) แสดงออกมาทั้งคู่ ทำให้โพรไฟล์ของความเร็วจนเป็น

$$\frac{\bar{u}}{u_0} = 2.5 \ln \frac{yu_0}{\nu} + 5.0 \quad (3.8)$$

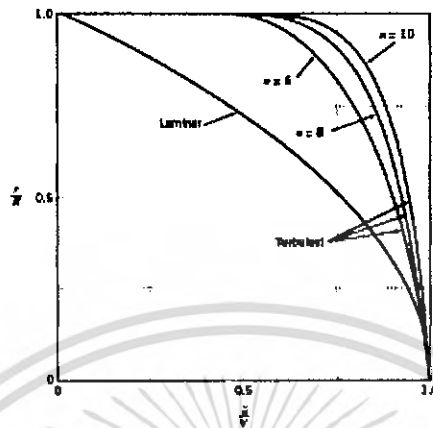
ส่วนบริเวณกึ่งกลาง (turbulent shear แสดงอิทธิพลมากที่สุด) สมการที่สอดคล้องกับข้อมูล คือ

$$\frac{U - \bar{u}}{u_0} = 2.5 \ln \frac{R}{y} \quad (3.9)$$

โดย  $U$  คือความเร็วของของไหล ณ ตำแหน่ง centerline

สำหรับโพรไฟล์ ของความเร็วสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อเรียบ อาจแสดงได้ในรูปของสมการ power-law

$$\frac{\bar{u}}{U} = \left(\frac{y}{R}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (3.10)$$



รูปที่ 3.5 แสดงโปรไฟล์ความเร็วสำหรับ fully developed ของการไหลในท่อ ซึ่งกำลัง ( $n$ ) จะแปรตาม Re ในรูปที่ 3.4 เป็นข้อมูลเมื่อกำหนด  $\ln \frac{y}{R}$  และ  $\ln \frac{\bar{u}}{U}$  และความชันของเส้นตรงจะเป็นตัวบอกค่าของ  $n$

อย่างไรก็ตาม power-law profile ไม่สามารถใช้ได้กับบริเวณที่ใกล้กับผนัง ( $\frac{y}{R} < 0.04$ )

เนื่องจากสมการนี้จะให้ค่าแกรเดียนของความเร็วมีค่าเป็นอนันต์ที่ผนังท่อ และความสัมพันธ์ระหว่าง  $n$  กับ Re ณ บริเวณ centerline แสดงในรูปที่ 3.1

เนื่องจากความเร็วเฉลี่ย  $\bar{v} = \frac{Q}{A}$  และ

$$Q = \int_A \bar{v} \cdot dA$$

อัตราส่วนของความเร็วเฉลี่ยต่อความเร็วที่ centerline ( $U$ ) อาจคำนวณได้จาก power-law

$$\frac{\bar{v}}{U} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (3.11)$$

สมการที่ (3.11) จะเห็นได้ว่า เมื่อ  $n$  จะเพิ่มขึ้น (เนื่องจากการเพิ่ม Reynolds number) จะทำให้อัตราส่วนของความเร็วข้างต้นก็จะเพิ่มขึ้น รูปที่ 3.5 แสดงถึง โปรไฟล์ของความเร็วสำหรับ fully developed ใน การไหลในท่อ

### 3.4 การพิจารณาพลังงานในการไหลในท่อ (Energy Considerations in Pipe Flow)

สมการพื้นฐาน

$$\dot{Q} - \dot{W}_s - \dot{W}_{shear} - \dot{W}_{other} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} e \rho dV + \int_{CS} (e + \rho V) \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (3.12)$$

และ

$$e = u + \frac{V^2}{2} + gz$$

สมมติฐาน 1)  $\dot{W}_s = 0, \dot{W}_{other} = 0$

2)  $\dot{W}_{shear} = 0$  (ถึงแม้ว่า ความเค้นเฉือนจะมีที่ผนังของท่อ โง นั้นคือความเร็ว จะเป็นศูนย์ที่ผนัง)

3) การไหลคงที่

4) ของไหล ไม่สามารถอัดได้

5) พลังงานภายใน และความดันสม่ำเสมอตลอดส่วนที่ 1 และ 2 ภายใต้ข้อกำหนดนี้

$$\dot{Q} = m(u_2 - u_1) + m \left( \frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho} \right) + m g(z_2 - z_1) + \int_{A_2} \frac{V_2^2}{2} \rho v_2 dA_2 - \int_{A_1} \frac{V_1^2}{2} \rho v_1 dA_1 \quad (3.13)$$

หมายเหตุ ในที่นี้ไม่อาจตั้งข้อกำหนดขึ้นมาได้ว่าความเร็วที่สม่ำเสมอที่ส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 2 เนื่องจากเป็นที่ทราบอยู่แล้วว่าความเร็วที่แต่ละส่วนใน viscous flow นั้นไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม อาจจะนำความเร็วเฉลี่ยมาใช้ในสมการที่ (3.12) เพื่อที่จะได้สามารถกำจัดเครื่องหมาย อินทิกรัลออกไปได้ และเพื่อที่จะทำเช่นนี้ได้จึงต้องนิยามเทอม ‘สัมประสิทธิ์พลังงานจลน์’ (kinematics energy coefficient) ขึ้นมา

#### 3.4.1 สัมประสิทธิ์พลังงานจลน์

โดยสัมประสิทธิ์พลังงานจลน์ มีนิยามดังนี้

$$\int_A \frac{V^2}{2} \rho V dA = \alpha \int_A \frac{\bar{V}^2}{2} \rho V dA = \alpha m \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (3.14a)$$

หรือ

$$\alpha = \frac{\int_A \rho V^3 dA}{m \bar{V}^2} \quad (3.14b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อนั้น (ซึ่งมี profile ของความเร็วเป็นดังสมการ 3.12)  $\alpha = 2.0$   
 สำหรับการไหลแบบปั่นป่วน (โพรไฟล์ของความเร็วค่อนข้างราบเรียบ ดังรูปที่ 3.12) จึงใช้สมการ  
 (3.14b) ร่วมกับสมการ (3.9) และ (3.10) สำหรับการหา  $\alpha$  จะได้ว่า

$$\alpha = \left[ \frac{U}{\bar{V}} \right]^3 \frac{2n}{(3+n)(3+2n)} \quad (3.15)$$

โดยที่  $n = 6$  แล้ว  $\alpha = 1.08$  และ  $n = 10$  แล้ว  $\alpha = 1.03$  รวมทั้งจะเห็นได้ว่า  $n$  เป็นฟังก์ชัน Reynolds number ดังนั้น ก็จะเป็นฟังก์ชันกับ Reynolds number ด้วย

### 3.4.2 Head loss

เมื่อกำหนดเทอม ที่กำหนดขึ้นมาก็ให้นำ ไปใช้ในสมการที่ (3.13) จะได้ว่า

$$Q = m(u_2 - u_1) + m \left( \frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho} \right) + m g(z_2 - z_1) + m \left( \frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2} - \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2} \right)$$

หารตลอดสมการนี้ด้วย อัตราการไหลโดยมวล ดังนั้น

$$\frac{\delta Q}{dm} = u_2 - u_1 + \left( \frac{p_2}{\rho} - \frac{p_1}{\rho} \right) + gz_2 - gz_1 + \frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2} - \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2}$$

จัดเทอมใหม่

$$\left( \frac{p_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2} + gz_1 \right) - \left( \frac{p_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2} + gz_2 \right) = (u_2 - u_1) - \frac{\delta Q}{dm} \quad (3.16)$$

ในสมการที่(4.27) นั้น เทอม  $\left( \frac{p}{\rho} + \frac{\alpha \bar{V}^2}{2} + gz \right)$  จะแสดงให้เห็นคือ พลังงานกลต่อหน่วยมวลที่ส่วน

ตัดขวางใดๆ เทอม  $u_2 - u_1 - \frac{\delta Q}{dm}$  จะเท่ากับ ผลต่างของพลังงานกลต่อหน่วยมวลระหว่างส่วนที่ 1 และ  
 ส่วนที่ 2 ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงพลังงานกลที่ 1 ไปเป็นพลังงานความร้อนที่ไม่ต้องการ  $(u_2 - u_1)$  และ

พลังงานที่สูญเสียไปก็เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อน  $\left[ \frac{\delta Q}{dm} \right]$  ดังนั้นจึงกำหนดกลุ่มของเทอมทั้งหมดนี้  
ว่าเป็น ‘total head loss’  $h_r$  ซึ่ง

$$\left( \frac{p_1}{\rho} + \frac{\alpha_1 \bar{V}_1^2}{2} + gz_1 \right) - \left( \frac{p_2}{\rho} + \frac{\alpha_2 \bar{V}_2^2}{2} + gz_2 \right) = h_r \quad (3.17)$$

### 3.5 การคำนวณ head loss (Calculation of Head Loss)

total head loss นั้นจะแบ่งออกเป็นองค์ประกอบสององค์ประกอบย่อยๆ คือ การสูญเสียหลัก (major loss,  $h_f$ ) ซึ่งเกิดเนื่องจากความเสียดทานในการไหลแบบ fully developed ในท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่ และการสูญเสียรอง (minor loss,  $h_{lm}$ ) เนื่องจากทางเข้าข้อต่อหรือการเปลี่ยนแปลงพื้นที่

#### 3.5.1 การสูญเสียหลัก ; friction factor

จากสมมูลพลังงานที่แสดงในสมการที่ (3.17) สามารถใช้ในการหาค่าการสูญเสียหลักได้ โดยเมื่อกำหนดการไหล fully developed ผ่านท่อที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางคงที่ และ  $h_{lm} = 0$  และ  $\alpha_1(V_1^2/2) = \alpha_2(V_2^2/2)$  สมการที่ (3.17) จะลดเหลือ

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = g(z_2 - z_1) + h_f \quad (3.18)$$

ถ้าท่อนี้วางในแนวราบ ดังนั้น

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = \frac{\Delta p}{\rho} = h_f \quad (3.19)$$

นั่นคือ การสูญเสียหลักสามารถเขียนได้ในรูปของ ความดัน สูญเสีย (pressure loss) สำหรับ fully developed ผ่านท่อที่มีพื้นที่ตัดขวางคงที่ และวางในแนวราบ และเนื่องจาก head loss เป็นการเปลี่ยนรูปของพลังงานอันเนื่องมาจาก อิทธิพลของความเสียดทานจากพลังงานกล ไปเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้น head loss สำหรับการไหล fully developed ในท่อที่มีพื้นที่คงที่จึงขึ้นกับรายละเอียดของการไหลในท่อเท่านั้น ไม่ขึ้นกับการจัดเรียงท่อเลย

ก. การไหลแบบราบเรียบ สำหรับการไหลแบบราบเรียบนั้น ความดันลดอาจคำนวณได้จากสมการ

$$\Delta p = \frac{128\mu L Q}{\pi D^4} = 32 \frac{L \mu \bar{V}}{D D}$$

เมื่อแทนลงในสมการ (3.19)

$$h_f = 32 \frac{L \mu \bar{V}}{D D} = \left( \frac{64}{\text{Re}} \right) \frac{L \bar{V}^2}{D 2} \quad (3.20)$$

ข. การไหลแบบปั่นป่วน ในการไหลแบบนี้ไม่อาจสร้างสูตรสำหรับคำนวณความดันลดได้เช่นเดียวกับกรณีการไหลแบบราบเรียบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยผลจากการทดลอง และใช้การวิเคราะห์มิติเพื่อสร้างสหสัมพันธ์ (correlate) สำหรับข้อมูลการทดลอง ซึ่งมีการพิจารณา ดังนี้

เนื่องจากความดันลด ( $\Delta p$ ) ขึ้นกับเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $D$ ) ของท่อ ความยาว ( $L$ ) ของท่อ ความขรุขระ ( $e$ ) ของท่อ ความเร็วเฉลี่ย ( $\bar{V}$ ) ในการไหล ความหนาแน่น ( $\rho$ ) ของท่อ และความหนืดของของไหล ( $\mu$ ) โดย

$$\Delta p = \Delta p(D, L, e, \bar{V}, \rho, \mu)$$

ซึ่งใช้การวิเคราะห์มิติ ในตัวอย่าง จะได้ว่า

$$\frac{\Delta p}{\rho \bar{V}^2} = f \left( \frac{\mu}{\rho \bar{V} D}, \frac{L}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

เนื่องจาก  $\frac{\mu}{\rho \bar{V} D} = \frac{1}{\text{Re}}$  ดังนั้น

$$\frac{\Delta p}{\rho \bar{V}^2} = \phi \left( \text{Re}, \frac{L}{D}, \frac{e}{D} \right)$$

แทนค่าลงในสมการที่ (3.18)  $\frac{h_f}{\bar{V}^2} = \phi \left( \text{Re}, \frac{L}{D}, \frac{e}{D} \right)$

ในการทดลองแสดงให้เห็นว่า head loss แปรผันตาม  $\frac{L}{D}$  ดังนั้น

$$\frac{h_f}{V^2} = \frac{L}{D} \phi \left( \text{Re}, \frac{e}{D} \right)$$

และฟังก์ชัน  $\phi$  นั้นยอมให้มีการนำค่าคงที่ที่เพิ่มในเทอมทางซ้ายของสมการได้ ในที่นี้จะนำ  $\frac{1}{2}$  มาเพิ่มในตัวของเทอมทางด้านซ้ายมือของสมการ เพื่อที่จะให้อยู่ในรูป

$$\frac{h_f}{\frac{1}{2} V^2} = \frac{L}{D} \phi \left( \text{Re}, \frac{e}{D} \right)$$

ฟังก์ชันที่ไม่ทราบค่า  $\left[ \frac{L}{D} \phi \left( \text{Re}, \frac{e}{D} \right) \right]$  จะถูกนิยามให้อยู่ในรูปของ friction factor ( $f$ ) นั่นคือ

$$f = \phi_2 \left( \text{Re}, \frac{e}{D} \right)$$

และ

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2} \quad (3.21)$$

ค่าของ  $f$  สามารถหาได้จากการทดลอง ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.6

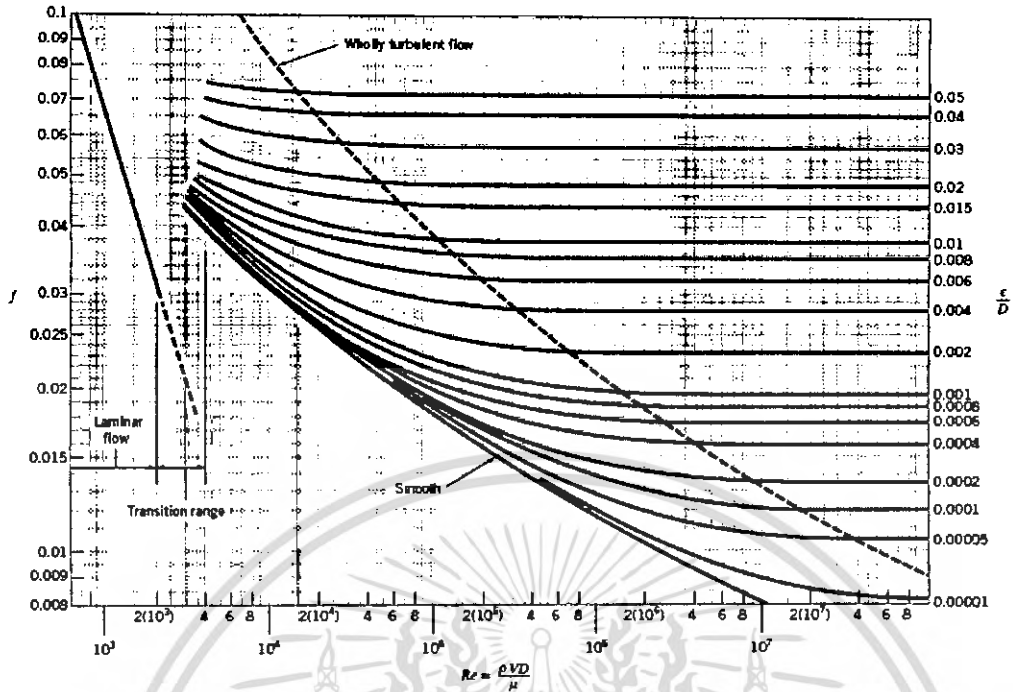
$$f_{\text{laminar}} = \frac{64}{\text{Re}} \quad (3.22)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่า สำหรับการไหลแบบราบเรียบนั้น friction factor จะขึ้นกับค่าของ Reynolds number เท่านั้น ไม่ขึ้นกับความขรุขระ (roughness) ของท่อเลย

ในการวิเคราะห์ ข้อมูลการไหลในท่อ จะเห็นได้ว่า friction factor ( $f$ ) อาจจะมีความสัมพันธ์กับค่า  $n$  สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อ โดยอาจจะประมาณได้ว่า

$$\frac{1}{n} = \sqrt{f} \quad (3.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดง friction factor และ relative roughness ของท่อชนิดต่างๆ

ยังมีการหาค่าของ  $f$  อีกหลายๆ แบบแล้วแต่สถานะที่จะใช้ในการพิจารณา เช่น Blasius correlation สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อราบเรียบ ซึ่ง  $Re \leq 10^5$

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \tag{3.24}$$

$$\tau_w = 0.03325 \rho \bar{V}^2 \left( \frac{V}{RV} \right)^{0.25} \tag{3.25}$$

นอกจากนี้ยังมีสมการของ Colebrook ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง

$$\frac{1}{f^{0.5}} = -2.01 \log \left( \frac{e/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re f^{0.5}} \right) \tag{3.26a}$$

หรือของ Miller

$$f_0 = 0.25 \left[ \log \left( \frac{e/D}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^{-2} \quad (3.26b)$$

### 3.5.2 การสูญเสียรอง (minor losses)

การสูญเสียรอง ( $h_{lm}$ ) เกิดเนื่องจากการไหลในระบบซึ่งอาจจะไหลผ่าน ข้อต่อ ท่อโค้ง หรือมีการเปลี่ยนแปลง พื้นที่แบบต่าง ๆ ซึ่งมึนนิยามดังนี้

$$(h_{lm}) = K \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (3.27a)$$

โดยที่  $K$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss coefficient) ซึ่งเกิดขึ้นกับการทดลองเป็นกรณีๆ ไปในบางครั้งการสูญเสียรองอาจจะหาได้จาก

$$(h_{lm}) = f \frac{L_e}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (3.27b)$$

โดยที่  $L_e$  คือความยาวเทียบเท่า (equivalent length) ของท่อตรง

ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์การสูญเสียรองสำหรับท่อที่มีทางเข้าต่างกัน

| Entrance Type | Minor Loss Coefficient, $K^a$ |      |      |             |
|---------------|-------------------------------|------|------|-------------|
| Reentrant     | 0.78                          |      |      |             |
| Square-edge   | 0.5                           |      |      |             |
| Rounded       | $r/D$                         | 0.02 | 0.06 | $\geq 0.15$ |
|               | $K$                           | 0.28 | 0.15 | 0.04        |

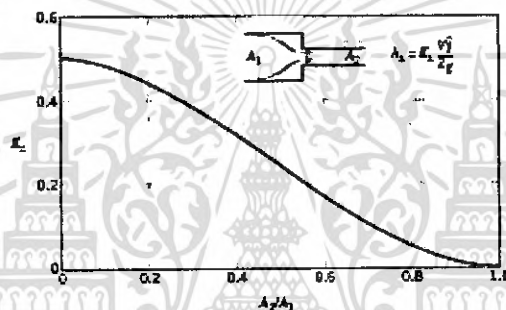
ก. inlets and outlets ถ้ามุมบริเวณ inlet ไม่โค้งมนจะเกิดการไหลที่บริเวณที่มุมนี้ แยกขึ้นมาจากการไหลปกติด้วย ซึ่งเรียกว่า vena contracta โดยที่ตำแหน่ง vena contracta นี้ของไหลจะมีความเร็วเฉพาะแต่ละจุดขึ้นมา เนื่องจากผ่านไปยังบริเวณที่มีพื้นที่สำหรับการไหลลดลง การสูญเสียพลังงานกล ณ บริเวณนี้เนื่องจากการไหลผสมกันอย่างไม่มีการควบคุม ซึ่งตาราง 3.1 แสดงตัวอย่าง ของ inlet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

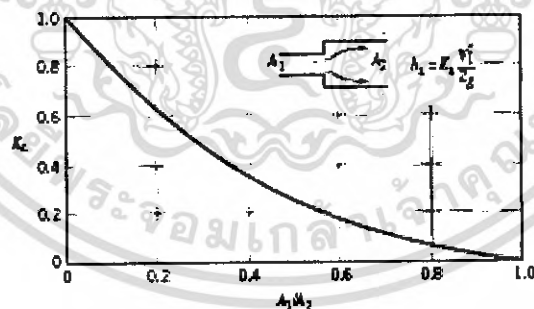
geometries อย่างง่าย ๆ ไว้ จะเห็นได้ว่า ถ้า well-round inlet  $\left(\frac{r}{D} \geq 0.15\right)$  ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย เนื่องจากทางเข้าของ ของไหลอาจจะตัดทิ้งไปได้

เทอม  $\frac{\alpha V^2}{2}$  ซึ่งถูกทำให้กระจายออกไปอย่างสมบูรณ์โดยการผสม เมื่อมีการไหลจากท่อไปยัง ถังขนาดใหญ่ ในสถานการณ์นี้ จะสอดคล้องกับการไหลผ่านท่อที่มีภาคตัดขวางใหญ่ขึ้น กล่าวคือ  $AR = 0$  ดังรูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8 แล้วสัมประสิทธิ์การสูญเสียรองจะเท่ากับ  $\alpha$

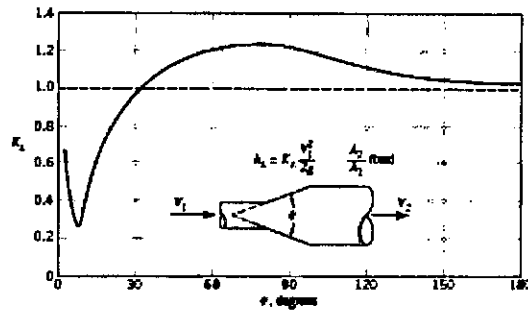
ข. Enlargements and Contractions สัมประสิทธิ์การสูญเสียรองสำหรับกรณีที่มีท่อกลมเพิ่ม หรือลดขนาดแบบทันทีทันใด ดังรูปที่ 4.16 การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่ลดลง อาทิ เช่น พวย (nozzle) เป็นต้น



รูปที่ 3.7ก สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss coefficient) สำหรับการไหลผ่านบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อย่างทันที



รูปที่ 3.7ข สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss coefficient) สำหรับการไหลผ่านบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่อย่างทันที



รูปที่ 3.8 สัมประสิทธิ์การสูญเสีย (loss coefficient) สำหรับ diffuser

การสูญเสียใน diffuser จะขึ้นกับจำนวนตัวแปร ของรูปทรงทางเรขาคณิต และการเปลี่ยนแปลง ในการไหล ซึ่งข้อมูลของ diffuser จะอยู่ในเทอมของ pressure recovery coefficient ( $C_p$ )

$$C_p = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho \bar{V}_1^2} \quad (3.28)$$

ข้อมูลสำหรับ diffuser ในกรณี fully developed turbulent สำหรับการไหลที่ inlet และแสดง ในรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นฟังก์ชันของรูปร่างทางเรขาคณิต

จากนิยามของ  $C_p$  (สมการ 3.28) เพื่อจะวัดให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์กับ head loss ได้โดย กำหนดว่าไม่คิดค่าความโน้มถ่วง และ อ้างอิงสมการ (3.17) โดย

$$\left[ \frac{p_1}{\rho} + \frac{\bar{V}_1^2}{2} \right] - \left[ \frac{p_2}{\rho} + \frac{\bar{V}_2^2}{2} \right] = h_{l_T} = h_{lm}$$

ดังนั้น

$$h_{lm} = \frac{V_1^2}{2} - \frac{V_2^2}{2} - \frac{p_1 - p_2}{\rho}$$

$$= \frac{\bar{V}_1^2}{2} \left[ \left( 1 - \frac{\bar{V}_2^2}{\bar{V}_1^2} \right) - \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho \bar{V}_1^2} \right] = \frac{\bar{V}_1^2}{2} \left[ \left( 1 - \frac{\bar{V}_2^2}{\bar{V}_1^2} \right) - C_o \right]$$

จากความต่อเนื่อง  $A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2$  ดังนั้น

$$h_{lm} = \frac{\bar{V}_1^2}{2} \left[ \left( 1 - \frac{1}{(AR)^2} \right) - C_p \right] \quad (3.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการไหลที่ไม่มีความเสียดทาน ( $h_{lm} = 0$ ) ดังนั้น

$$C_{pi} = 1 - \frac{1}{(AR)^2} \quad (3.30)$$

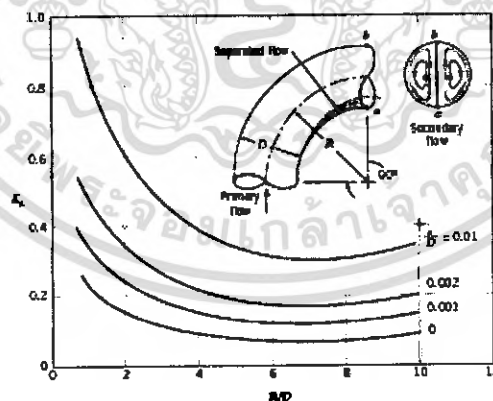
เมื่อ  $C_{pi} \equiv$  ideal pressure recovery coefficient

ดังนั้น head loss สำหรับการไหลผ่าน diffuser ที่ใช้งานจริงๆ คือ

$$h_{lm} = C_{pi} - C_p \frac{V_1^2}{2} \quad (3.31)$$

ก. ท่อโค้ง (pipe bend) head loss ของท่อโค้งจะแสดงอิทธิพลมากกว่า สำหรับ fully developed flow ผ่านท่อตรงที่มีความยาวเท่ากัน และการสูญเสียในท่อโค้งจะพิจารณาในลักษณะว่าจะเท่ากับการสูญเสียอันเนื่องมาจากของไหลผ่านท่อตรงที่มีความยาวค่าหนึ่ง และเรียกว่า ‘ความยาวเทียบเท่า’ (equivalent length) และแสดงดังรูปที่ 3.10

ง. วาล์ว และข้อต่อ การพิจารณาการสูญเสียสำหรับกรณีนี้ ก็จะใช้ความยาวเทียบเท่าในการพิจารณา ซึ่งมีข้อมูลนั้นกำหนดในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.9 แสดงความยาวเทียบเท่า ( $L_e / D$ ) สำหรับท่อโค้ง  $90^\circ$

ตารางที่ 3.2 แสดงความยาวเทียบเท่าของวาล์ว และข้อต่อ

| Fitting Type                    | Equivalent Length<br>(L <sub>e</sub> /D) |
|---------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Values (fully open)</b>      |                                          |
| Gate valve                      | 8                                        |
| Globe valve                     | 340                                      |
| Angle valve                     | 150                                      |
| Ball valve                      | 3                                        |
| Lift check valve : globe lift   | 600                                      |
| : angle lift                    | 55                                       |
| Standard elbow : 90°            | 30                                       |
| : 45°                           | 16                                       |
| Return bend, close pattern      | 50                                       |
| Standard tee : flow through run | 20                                       |
| : flow through branch           | 60                                       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 ท่อไม่กลม (noncircular ducts)

การหาสัมพัทธ์สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อ ซึ่งจะใช้สำหรับท่อที่มีรูปทรงที่ไม่กลม นั้น จะต้องเริ่มจากการนิยามเทอม เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (hydraulic diameter) ดังนี้

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (3.32)$$

ซึ่งจะใช้แทนเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $D$ ) สำหรับท่อตรง และจากสมการ 3.31  $P$  คือ เส้นรอบวงเปียก (wetted perimeter) และ

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4\left(\frac{\pi}{4}\right)D^2}{\pi D} = D \quad (3.33)$$

สำหรับท่อที่มีรูปร่างมุมฉากที่มีความกว้าง  $b$  และความสูง  $h$ ;  $A = bh$  และ  $P = 2(b+h)$  ดังนั้น

$$D_h = \frac{4bh}{2(b+h)} \quad (3.34)$$

## บทที่ 4

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 4.1 อุโมงค์ลม

เป็นอุโมงค์ลมของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

##### 4.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ตัวอุโมงค์เป็นอุโมงค์ลมแบบวงจรเปิด โครงสร้างส่วนใหญ่ทำจากอลูมิเนียม อากาศจะเข้าทางด้านทางเข้า ซึ่งมีรูปร่างเหมาะสมและมีตะแกรงป้องกัน บริเวณที่ทำการทดสอบสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนและสนับสนุนโมเดลต่างๆ สำหรับกระแสการไหลทางด้านบนที่บริเวณทดสอบนั้นสามารถติดตั้ง สเตติก แทปปิง (Static Tapping) และท่อโททัลเฮด (Total Head) หรือไม่ติดตั้งก็ได้ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ถึงจุดสูงสุดของบริเวณที่ทดสอบ ส่วนกระแสการไหลทางด้านล่างจะมีท่อ พิโทท์ สเตติก (Pitot-Static) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้เช่นกัน

ทางด้านหลังของบริเวณทดสอบจะมี ดิฟฟิวเซอร์ (Diffuser) ซึ่งเป็นช่องไปสู่พัดลมดูดอากาศ (Blower) แบบทิศทางขนานกับแกนหมุน (Axial Flow) และความเร็วของอากาศจะถูกกำหนดโดยวาล์วปีกผีเสื้อที่ติดตั้งอยู่ที่ทางออกของพัดลมดูดอากาศ ความเร็วสูงสุดของอากาศสามารถหาได้จากผลต่างของความดันที่ 300 มิลลิเมตรน้ำ และสามารถอ่านได้จากมานอมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้

อุโมงค์ลมประกอบด้วย

1. ท่อโททัลเฮด ใช้วัดความดันสมบูรณ์โดยค่าที่วัดได้จะถูกแสดงที่มานอมิเตอร์
2. ท่อพิโทท์ สเตติก
3. มานอมิเตอร์ 24 ท่อ ภายในบรรจุน้ำ ใช้แสดงค่าวัดความดันที่วัดได้มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
4. ท่อทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 64 มิลลิเมตร ประกอบด้วยเพรชเซอร์ แทปปิง (Pressure Tapping)

อุโมงค์ลมสามารถติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมได้ดังนี้:

|          |                                            |
|----------|--------------------------------------------|
| TE81E    | Three component balance                    |
| TE54DPS  | 20 way scanning valve                      |
| TE54LA   | Linear actuator & pilot traverse gear      |
| TRU300   | Single axis traverse mechanism             |
| TE54RA   | Rotary actuator for models                 |
| RE35     | Smoke generator & probe                    |
| COMPENDW | Computer control & data acquisition system |



รูปที่ 4.1 อุโมงค์ลม

#### 4.1.2 การตรวจสอบความแม่นยำสำหรับอุโมงค์ลม

การวัดอย่างคร่าวๆ ของอุโมงค์ลมที่วางแปลนรูปร่าง จะก่อให้เกิดการทดลองที่เหมาะสมและช่วยให้เข้าใจหลักการของ ความดันสถิต, ไดนามิก, รวม (Static, Dynamic, Total pressure) และเบาว์คาร์ลี เลเยอร์ ดีเวลอปเมนต์ (Boundary layer development) ในขั้นแรกจะต้องทำการตรวจสอบการกระจายของความเร็ว (Velocity Distribution) ตลอดความสูงของบริเวณทดสอบในระนาบ 1 โดยการใช้อุปกรณ์ สเตตติก และ สเตตติก เพรสเชอร์ เทปปีง (Static pressure tapping) และในระนาบ 3 ตรวจสอบโดยใช้ท่อปีโทท์ สเตตติก ซึ่งจะทำให้สามารถใช้อุโมงค์ลมที่ความเร็วลมสูงสุดและค่าความดันรวมที่ 20 มิลลิเมตร ตลอดความสูงของบริเวณทดสอบ และทำการวัดค่าที่บริเวณด้านล่างของเบาว์คาร์ลี เลเยอร์ (Boundary layer) เพื่อหาค่าการกระจายความเร็วใน เบาว์คาร์ลี เลเยอร์ (ซึ่งตามปกติความหนา เบาว์คาร์ลี เลเยอร์ น้อยมากประมาณ 5 มิลลิเมตร ในระนาบ 3 และน้อยมากในระนาบ 1) ความเร็ว (U) เกิดจากความหนาแน่นของก๊าซ ( $\rho$ ) เร่งอิสระภายใต้อิทธิพลของเพรสเชอร์ดิฟเฟอเรนซ์ (Pressure difference) (P) เมื่อ P มีค่าน้อย เมื่อไม่คิดความสามารถในการอัด (Compressibility)

#### 4.2 ใบพัดลม

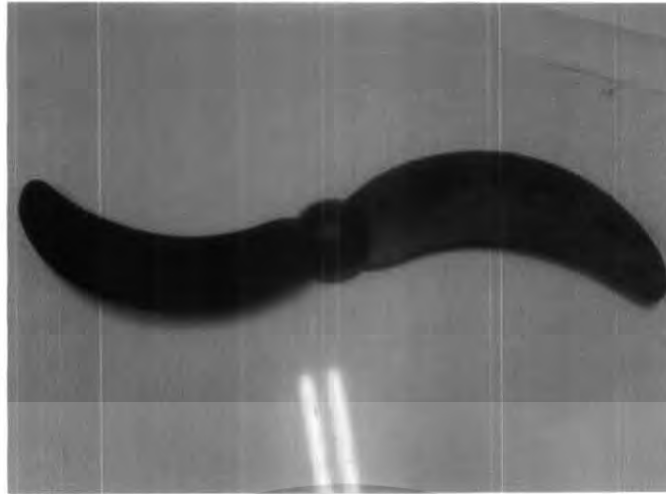
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อทดสอบและทำการศึกษาคือเป็น ใบพัดลมที่เป็น โมเดลที่ใช้จริง ทั้งชุดรวมทั้งมอเตอร์

ใบพัดลมจัดอยู่ในประเภทการทำงานแบบ ทิศทางขนานกับแกนหมุน (Axial Flow) หมายถึงลักษณะของการไหลของอากาศนั้นจะมีทิศทางไหลตั้งฉากกับใบพัด ซึ่งในการทำงานจริงนั้นอากาศจะเข้าทางด้านหลังใบพัดและออกทางด้านหน้า

รายละเอียดของใบพัดที่ใช้ทดสอบมีดังนี้

- ใบพัดที่ผลิตขึ้นเพื่อพัฒนาของ บริษัท Master Kool
- เป็นใบพัดชนิดมี เบลด (blade) 2 ใบ
- มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 เซนติเมตร
- มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง hub 8 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ใบพัดลม

#### 4.3 ท่อทรงกระบอก (Air Tank)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บังคับให้การไหลของอากาศไหลอยู่เฉพาะในท่อเพื่อที่จะสามารถวัดค่าการไหลและความดันของอากาศหน้าใบพัดได้ รายละเอียดของท่อที่ใช้ทดสอบมีดังนี้

- ใช้ท่อแบบ round duct หรือ ท่อทรงกระบอก
- ท่อที่ใช้เป็นท่อสังกะสี เบอร์ 26
- เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 100 เซนติเมตร เนื่องจากในที่นี้เราใช้ใบพัดขนาด 54 เซนติเมตร

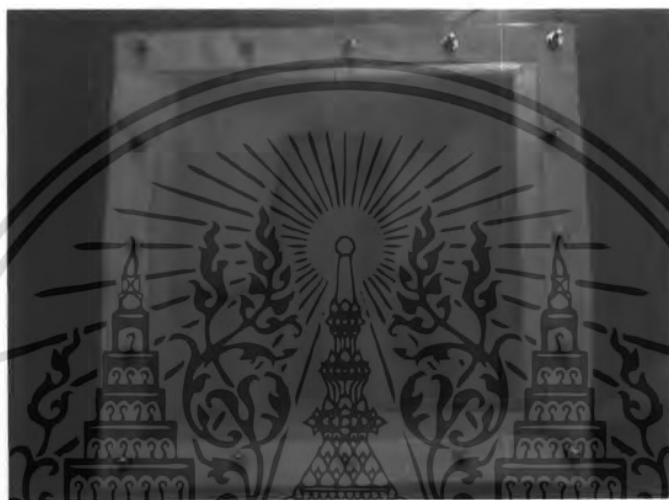


รูปที่ 4.3 ท่อทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 สกรีน (Screen)

เนื่องจากอากาศที่อยู่ด้านหลังใบพัดนั้นในสภาวะจริงจะเกิดการหมุนวนไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัดทำให้เป็นการยากต่อการที่จะวัดค่าความเร็วของอากาศได้ จึงจำเป็นต้องทำสกรีนเพื่อกรองหรือบังคับอากาศนั้นไหลไปในทิศทางเดียวกันและสม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัด จะทำให้การวัดค่าความเร็วของอากาศนั้นทำได้ง่ายและให้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น โดยที่สกรีนที่ใช้นั้นทำขึ้นจากหลอดคาแฟลสติกทั่วไปหลายๆหลอดมาอัดกันให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับท่อ



รูปที่ 4.4 สกรีนที่ทำขึ้นจากหลอด (Honeycomb)

#### 4.5 พิโทท์ ทิวป์ (Pitot Tube)

เป็นอุปกรณ์ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับการวัด ความดันสถิตที่ปลายด้านสัมผัสกับกระแสการไหลของอากาศ จะมีลักษณะงอและจะมีทิศทางขนานกับทิศทางการไหลส่วนปลายจะมีลักษณะเป็นกรวยลาดเอียง ที่ปลายสุดจะมีการเจาะรูเพื่อให้อากาศสามารถผ่านไปได้อย่างดี ลักษณะนี้เองทำให้แรงดันจากการปะทะน้อยมาก ส่วนด้านปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อไปยังมานอมิเตอร์ ในขณะที่มีรูที่ปลายแหลมก็จะสัมผัสกับกระแสการไหลเช่นกัน โดยจะมีทิศทางตั้งฉากกับการไหลในส่วนนี้จะเป็นการวัดค่าความดันรวมโดยที่ปลายอีกด้านหนึ่งต่อ ไปยังมานอมิเตอร์เพื่ออ่านค่าเช่นกัน

พิโทท์ ทิวป์ สามารถวัดความเร็วของการไหลโดยเปลี่ยนพลังงานจลน์ของการไหลไปเป็นพลังงานศักย์ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้กระทำที่จุด สมตักเนชัน (Stagnation point) ซึ่งอยู่ที่รูของปลายพิโทท์ ทิวป์ ซึ่งจะมีความดันมากกว่าความดัน ฟรี สตรีม (free-stream) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์เป็นพลังงานศักย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิโทท์ ทิวบ์ สามารถวัดความดันได้ซึ่งโดยทั่วไปจะอ่านค่าจากผลต่างของระดับน้ำในมานอ มิเตอร์ ถ้าต้องการหาความเร็วของไหลจะหาได้จากค่าของความดันที่คำนวณ โดยใช้ทฤษฎีการไหลแบบ อัดตัวได้ และการไหลแบบอัดตัวไม่ได้

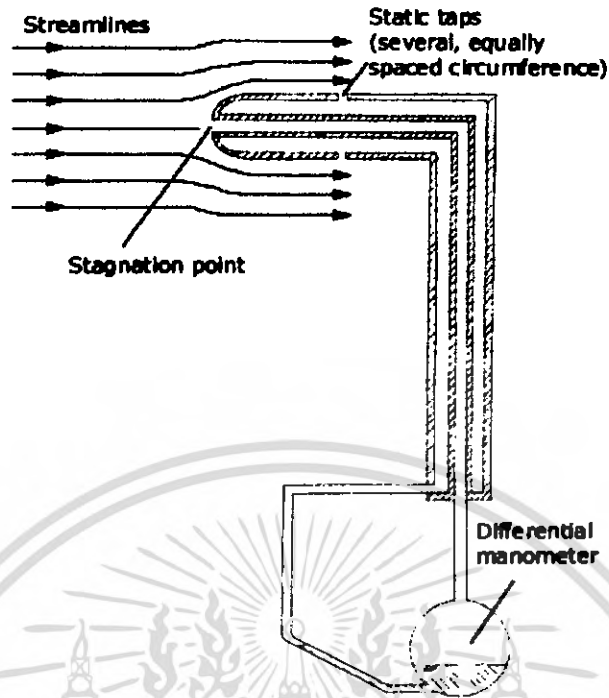
สิ่งที่ควรทราบ

- โครงสร้างไม่ซับซ้อน
- ราคาไม่สูงมาก
- ไม่จำเป็นต้องมีการ คาลิเบรต เพราะเป็นอุปกรณ์ทดลองที่อาศัยหลักกลศาสตร์
- เกิดความดันลด (Pressure drop) เนื่องจากอุปกรณ์เล็กน้อยขณะทำการวัด
- ต้องการรูทางเข้าสำหรับอุปกรณ์เล็กมากเพื่อทำการวัดไม่ควรเจาะรูให้ใหญ่มากนักจะมีผลกระทบต่อการวัดได้
- ความแม่นยำและความละเอียดของค่าที่ได้อาจไม่เพียงพอต่อการทดลองบางชนิด
- อุปกรณ์ช่วงที่เป็นหลอดควรอยู่ในแนวเดียวกับทิศทางการไหลเพื่อผลที่ถูกต้องหากเกิดการเอียงออกหรือเอียงเข้าต้องไม่เกิน  $\pm 5$  องศา



รูปที่ 4.5 พิโทท์ ทิวบ์

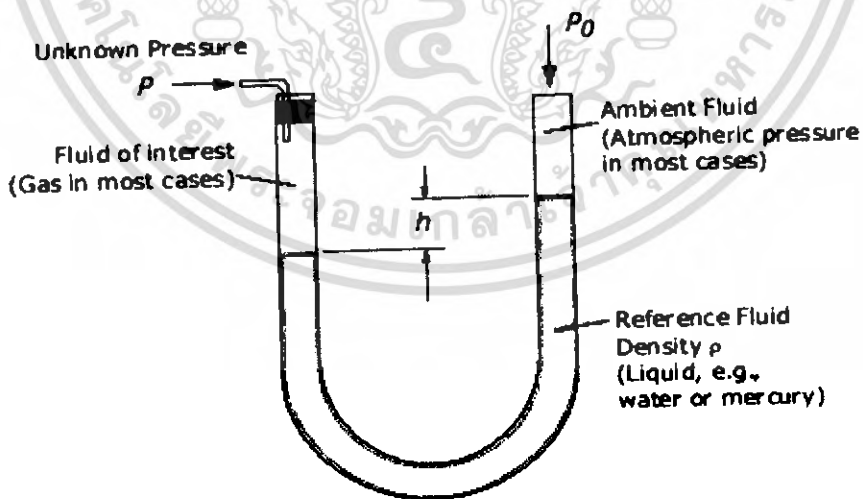
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 พิโทท ทิวป์

4.6 มานอมิเตอร์ (Manometer)

เป็นอุปกรณ์อ่านค่าความดัน โดยจะเชื่อมต่อมาจาก พิโทท ทิวป์ จะอ่านค่าจากระดับน้ำที่ขึ้นลง เนื่องจากความดัน โดยมีสเกลเทียบค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็น มิลลิเมตรน้ำ (mmH<sub>2</sub>O)



Gage Pressure  $\Delta P = P - P_0 = \rho gh$

รูปที่ 4.7 มานอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วรอบของใบพัด โดยในที่นี้ใช้วัดความเร็วรอบแบบใช้แสงแสดงผลแบบดิจิทัล มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที (RPM) ซึ่งเครื่องนี้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องได้รับการ калиเบรตอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.8 เครื่องวัดความเร็วรอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การคำนวณขนาดอุโมงค์ลม

#### 5.1 ขนาดของอุโมงค์ลม

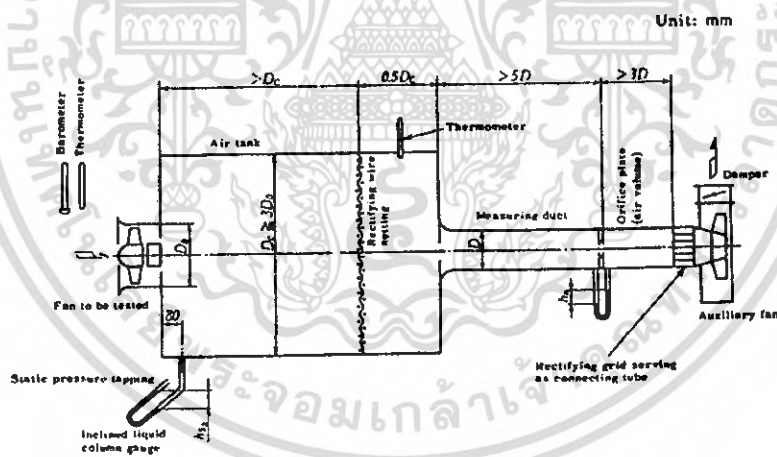
ขนาดของอุโมงค์ลมหาสัดส่วนได้จากมาจากมาตรฐานอุโมงค์ทดสอบพัดลมญี่ปุ่น Japanese Industrial Standard (JIS) โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของ Air tank หาได้จากอัตราส่วน;  $D_c \geq 3D_0$

โดยที่  $D_0$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องติดพัดลมทดสอบ โดยมีขนาด 66 cm.

ดังนั้นขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ Air tank นั้นมีค่า  $66 \times 3 = 198 \approx 200$  cm. และตำแหน่งของ Rectifying wire netting นั้นติดที่บริเวณ  $> D_c$

ดังนั้นตำแหน่งที่ติด Rectifying wire netting เท่ากับ 200 cm. ความยาวทั้งหมดของ Air tank นั้นเท่ากับ  $1.5 D_c$  หรือมากกว่าความยาวของ Air tank นั้นเท่ากับ  $1.5 \times 200 = 300$  cm.

ขนาดความยาวของ Measuring Duct มีค่าเท่ากับ  $5D$  โดยที่  $D$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางของ Measuring Duct โดยมีขนาดเท่ากับ  $30 \times 5 = 150$  cm.



รูปที่ 5.1 อุโมงค์ทดสอบพัดลมญี่ปุ่นตามมาตรฐาน JIS

ส่วนประกอบของอุโมงค์ลมนั้นประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. ปากแตรทางเข้า
2. Air tank มีหน้าที่จำลองสภาวะการใช้งานจริงของพัดลม โดยระหว่างการทดสอบจะกำหนดไว้ที่ 1 atm โดยความเร็วที่ใช้ในการทดสอบภายในบริเวณ Air Tank นั้นไม่ควรเกิน 2 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Rectifying wire netting มีหน้าที่ปรับให้อากาศที่ไหลผ่าน Air tank ไปมีความราบเรียบมากขึ้น โดย Rectifying wire netting ที่ใช้ทดสอบนั้นต้องมีค่า open-area ratio of the screen ระหว่าง 0.45 ถึง 0.60
4. Static pressure tapping มีหน้าที่ในการวัดความดันภายใน Air tank
5. Thermometer มีหน้าที่ในการวัดอุณหภูมิภายใน Air tank
6. Measuring duct เป็นท่อที่ต่อออกจาก Air tank เข้าสู่ Test section
7. Test section เป็นส่วนที่ใช้ในการวัด Flow rate
8. Diffuser เป็นส่วนที่ต่อออกจาก Test section และมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบที่หน้าแปลนจากรูปสี่เหลี่ยมไปเป็นวงกลม
9. Blower มีหน้าที่ชดเชย loss ที่เกิดขึ้นภายในอุโมงค์ลม เพื่อรักษาสภาวะภายใน Air tank ที่ 1 atm
10. Flow control มีหน้าที่ปรับอัตราการไหล

## 5.2 หลักในการคำนวณภายในอุโมงค์ลม

1. บริเวณทางเข้า Air tank นั้นคิดแบบการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดโดยฉับพลัน

$$K_a = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (5.1)$$

โดย  $K_a$  คือ สัมประสิทธิ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด

$A_1$  คือ พื้นที่หน้าตัดทางเข้า ( $m^2$ )

$A_2$  คือ พื้นที่หน้าตัดทางออก ( $m^2$ )

2. บริเวณภายใน Air tank จะคิดคำนวณแบบการสูญเสียภายในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่

$$K_l = f \frac{\ell}{D_h} \quad (5.2)$$

$$f = (2 \log_{10}(Re \sqrt{f}) - 0.8)^{-2} \quad (5.3)$$

โดย  $K_l$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียภายในท่อตรง

$\ell$  คือ ความยาวท่อ (m)

$D_h$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Air Tank (m)

Re คือ Reynold's Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3. ที่บริเวณ Rectifying wire netting

$$K' = \left( \frac{1-\beta}{\beta^2} \right) \quad (5.4)$$

$$\beta = \left( 1 - \frac{d}{l} \right)^2 \quad (5.5)$$

โดย  $K'$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียภายในสกรีน

$\beta$  คือ Open Area Ratio Of The Screen

$d$  คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด (m)

$l$  คือ ขนาดช่องของ Screen (m)

## 4. ที่บริเวณ Honeycomb

$$K_h = \lambda_h \left( \frac{L_h}{\beta_h} + 3 \right) \left( \frac{1}{\beta_h} \right)^2 + \left( \frac{1}{\beta_h} - 1 \right)^2 \quad (5.6)$$

$$\lambda_h = 0.214 \left( \frac{\Delta}{D_h} \right)^{0.4} \quad \text{for } Re_{\Delta} > 275 \quad (5.7)$$

โดย  $K_h$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียภายใน Honeycomb

$L_h$  คือ ความยาวของ Honeycomb (m)

$\beta_h$  คือ สัมประสิทธิ์ความพรุนของวัตถุ

$D_h$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

5. ที่บริเวณทางออกจาก Air tank นั้นคิดแบบการสูญเสียบริเวณทางออกจากถังเก็บโดยค่า  $K_b$  นั้นเปิดจากตารางค่า  $r/D$

|       |      |      |             |
|-------|------|------|-------------|
| $r/D$ | 0.02 | 0.06 | $\geq 0.15$ |
| $K_b$ | 0.28 | 0.15 | 0.04        |

6. บริเวณ Measuring duct และ Test section นั้นคิดแบบการสูญเสียภายในท่อที่มีหน้าตัดคงที่

7. บริเวณ Diffuser คิดแบบการสูญเสียภายในท่อแบบเพิ่มหน้าตัดค่อยเป็นค่อยไป

$$PC = (P_2 - P_1) / \frac{1}{2} \rho \bar{V}_1^2 \quad (5.8)$$

$$K_c = 1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - PC \quad (5.9)$$

โดย  $K_c$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียภายในบริเวณ Diffuser

$P_1$  คือ ความดันที่บริเวณทางเข้า (Pa)

$P_2$  คือ ความดันที่บริเวณทางออก (Pa)

โดยค่า  $K$  ของแต่ละส่วนนั้นจะนำมาคิด loss โดย

$$gh_{\text{loss}} = \frac{K\bar{V}^2}{2} \quad (5.10)$$

ซึ่งคำนวณ Loss ได้ดังนี้

ในส่วนทางเข้า;

จากสมการ 5.1 และ 5.10

$$\begin{aligned} gh_{\text{loss}} &= \frac{\bar{V}^2}{2} \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \\ &= \frac{5.64^2}{2} \left(1 - \frac{\pi \times 0.33^2}{\pi \times 0.5^2}\right)^2 \\ &= 5.0664 \text{ J/Kg} \end{aligned}$$

ในส่วน Air tank;

ความเร็วใน Air tank;

จากสมการความต่อเนื่อง

$$\begin{aligned} A_1 V_1 &= A_2 V_2 \\ \pi \times 0.33^2 \times 5.64 &= \pi \times 0.5^2 \times V_2 \\ V_2 &= 2.4567 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.176 \times 2.4567 \times 1}{1.791 \times 10^{-6}} \\ &= 1613109.548 \end{aligned}$$

หาค่า Friction Factor ได้จากสมการที่ 5.2

$$f = \left(2 \log_{10} (R_e \sqrt{f}) - 0.8\right)^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ 5.3 และ 5.10

$$\begin{aligned}
 K_f &= f \frac{l}{D_h} \\
 &= 0.01074 \times \frac{1.5}{1} \\
 &= 0.01611 \\
 gh_{loss} &= K_f \frac{\bar{V}^2}{2} \\
 &= 0.01611 \times \frac{2.4567^2}{2} \\
 &= 0.04861 \text{ J/Kg}
 \end{aligned}$$

|             |           |         |
|-------------|-----------|---------|
| Iteration 1 | = 1       | 0.00741 |
| Iteration 2 | = 0.00741 | 0.01111 |
| Iteration 3 | = 0.01111 | 0.01071 |
| Iteration 4 | = 0.01071 | 0.01074 |
| Iteration 5 | = 0.01074 | 0.01074 |

ตารางที่ 5.1 การคำนวณ Loss ในส่วนทางเข้า

ในส่วน Rectifying wire netting;

จากสมการที่ 5.4 และ 5.5

$$K' = \left( \frac{1 - \beta}{\beta^2} \right)$$

$$\beta = \left( 1 - \frac{d}{l} \right)^2$$

โดยค่า open-area ratio of the screen ระหว่าง 0.45 ถึง 0.60

ในส่วนปากทางเข้าท่อ;

|       |      |      |             |
|-------|------|------|-------------|
| $r/D$ | 0.02 | 0.06 | $\geq 0.15$ |
| $K_b$ | 0.28 | 0.15 | 0.04        |

ตารางที่ 5.2 แสดงการหาค่า  $K_b$

$$\begin{aligned}
 r/D &= \frac{0.15}{0.30} = 0.5 \\
 \therefore K_b &= 0.04
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการความต่อเนื่องและสมการที่ 5.10

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$(\pi \times 0.5^2) \times 2.4567 = 0.305^2 \times V_2$$

$$\therefore V_2 = 20.7416 \text{ m/s}$$

$$gh_{\text{loss}} = K_b \frac{\bar{V}^2}{2}$$

$$= 0.04 \times \frac{20.7416^2}{2}$$

$$= 8.60337 \text{ J/Kg}$$

ในส่วน Measuring duct & Test section;

จากสมการความต่อเนื่องและสมการเรย์โนลด์

$$f = (2 \log_{10} (R_e \sqrt{f}) - 0.8)^2$$

$$R_e = \frac{\rho V d}{\mu}$$

$$= \frac{1.176 \times 20.7416 \times 0.305}{1.791 \times 10^{-6}}$$

$$= 4154780.094$$

|             |                              |                            |
|-------------|------------------------------|----------------------------|
| Iteration 1 | = 1                          | 6.46490 x 10 <sup>-3</sup> |
| Iteration 2 | = 6.46490 x 10 <sup>-3</sup> | 9.52249 x 10 <sup>-3</sup> |
| Iteration 3 | = 9.52249 x 10 <sup>-3</sup> | 9.21745 x 10 <sup>-3</sup> |
| Iteration 4 | = 9.21745 x 10 <sup>-3</sup> | 9.24252 x 10 <sup>-3</sup> |
| Iteration 5 | = 9.24252 x 10 <sup>-3</sup> | 9.24043 x 10 <sup>-3</sup> |
| Iteration 6 | = 9.24043 x 10 <sup>-3</sup> | 9.24060 x 10 <sup>-3</sup> |
| Iteration 7 | = 9.24060 x 10 <sup>-3</sup> | 9.24060 x 10 <sup>-3</sup> |

ตารางที่ 5.3 แสดงการคำนวณ Loss ในส่วน Measuring duct & Test section

จากสมการที่ 5.3 และ 5.10

$$K_l = f \frac{l}{D_h}$$

$$= 9.24060 \times 10^{-3} \times \frac{0.900}{0.305}$$

$$= 0.02726$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 gh_{loss} &= K_f \frac{\bar{V}^2}{2} \\
 &= 0.02726 \times \frac{20.7416^2}{2} \\
 &= 5.8638 \text{ J/Kg}
 \end{aligned}$$

ในส่วน Diffuser;

จากสมการที่ 5.8 และ 5.9

$$\begin{aligned}
 PC &= (P_2 - P_1) / \frac{1}{2} \rho \bar{V}_1^2 \\
 &= 196.185 / \frac{1}{2} \rho \bar{V}_1^2 \\
 &= 0.77554
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_c &= 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - PC \\
 &= 0.52622 - 0.77554 \\
 &= -0.2493
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_s &= \sum gh_{loss} \\
 &= 5.0664 + 0.04861 + 8.6033 + 5.8638 \\
 &= 19.58211 \text{ J/Kg}
 \end{aligned}$$

จากสมการ Brake Horse Power

$$\begin{aligned}
 \text{brake kW} &= W_s \times \frac{\dot{m}}{\eta \times 1000} \\
 &= W_s \times \frac{\rho \bar{V} A}{\eta \times 1000} \\
 &= 19.58211 \times \frac{1.225 \times 5.64 \times \pi \times 0.33^2}{0.60 \times 1000} \\
 &= 0.07714 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

### 5.3 หลักการคำนวณในการทดลอง

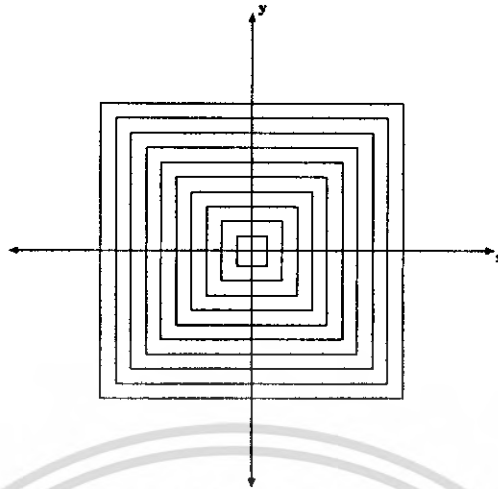
1. ทำการคำนวณความเร็วลมที่วัดได้ภายใน Test section โดยใช้ Pitot Static tube โดยใช้สูตร

$$V = C \sqrt{2 \left( \frac{\rho_m}{\rho} - 1 \right) g \Delta h_m}$$

2. คำนวณหาอัตราการไหลโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

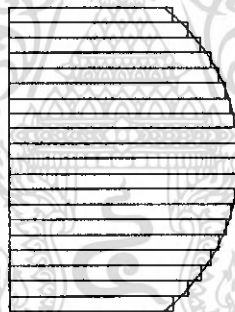
2.1 แบ่งพื้นที่หน้าตัดบริเวณ Test Section ออกเป็นส่วนๆ (segment) ให้มีลักษณะคล้ายดังรูป โดยให้ระยะห่างของในแต่ละส่วนๆ (segment) นั้นเท่ากัน แต่ในการทดสอบนั้นจะแบ่งให้ในแต่ละช่วงนั้นมีระยะห่างกัน 1 เซนติเมตร ซึ่งระยะห่างนั้นจะเท่ากับระยะการเปลี่ยนตำแหน่งของ Pitot Tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การแบ่งพื้นที่หน้าตัดบริเวณ Test Section

2.2 ในแต่ละส่วน (segment) นั้นจะมีค่าความเร็วอยู่ 2 ค่า นำค่าความเร็วที่วัดได้ในแต่ละส่วนนั้นมาเฉลี่ยกัน ก็จะได้การกระจายตัวของความเร็วดังรูป



รูปที่ 5.3 แสดงความเร็วเฉลี่ยในบริเวณ Test Section

2.3 นำค่าความเร็วที่ได้เฉลี่ยแล้วของในแต่ละส่วน (segment) มาคูณกับพื้นที่หน้าตัดของในแต่ละส่วน นั้นๆ ก็จะได้อัตราการไหลของแต่ละส่วน แล้วนำทั้งหมดมารวมกันก็จะได้อัตราการไหลรวม

### 3. ความดันสามารถหาได้ดังนี้

- ความดันสถิตย์ ( $P_s$ ) สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดตั้งฉากกับการไหล

- ความดันไดนามิก ( $P_d$ ); 
$$P_d = \frac{\rho V^2}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความดันรวม (P);  $P_t = P_s + P_d$
- ความดันรวมของพัคสม  $= P_{s2} - P_{s1}$   
 $= (P_{s2} + P_{d2}) - (P_{s1} + P_{d1})$   
 $= (P_{s2} - P_{s1}) + (P_{d2} - P_{d1})$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การดำเนินการทดลองและการดำเนินการจำลองผลโดยโปรแกรม (Simulation)

#### 6.1 ขั้นตอนการเตรียมชุดทดสอบ

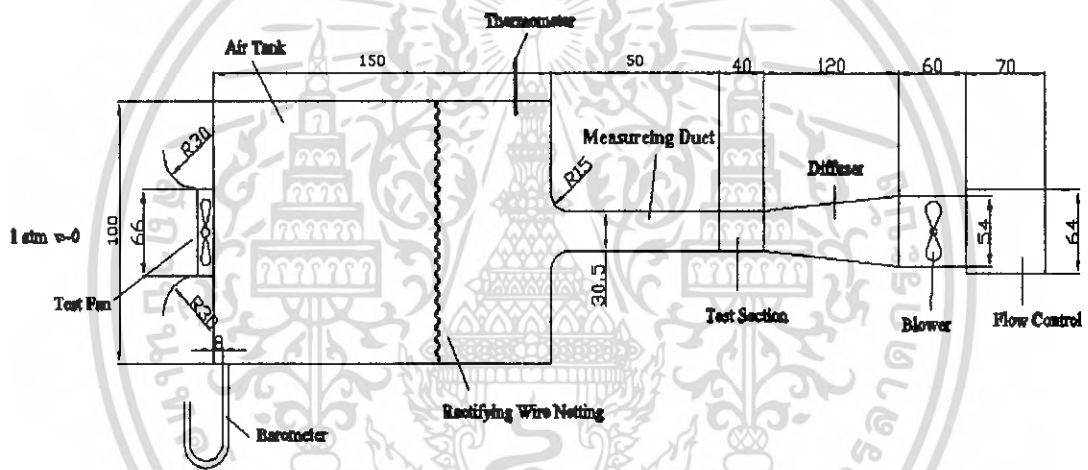
6.1.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะการทำงานจริงของใบพัดลม และมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบใบพัด

6.1.2 ทำการออกแบบชุดทดสอบและอุโมงค์ลม

6.1.3 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้อุโมงค์ลม

6.1.4 สร้างชุดทดสอบและอุโมงค์ลมที่ออกแบบได้

6.1.5 ทำการติดตั้งชุดทดสอบและอุโมงค์ลม



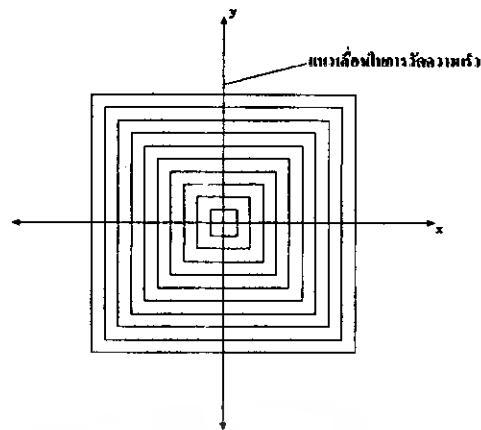
รูปที่ 6.1 ชุดทดลองที่ได้ออกแบบไว้

#### 6.2 ขั้นตอนการทดลอง

6.2.1 จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อหมุนใบพัดที่มีความเร็วรอบ 1480 รอบต่อนาที และทำการเปิดพัดลมอุโมงค์ลม

6.2.2 ทำการวัดความดันสถิตย์ (Static pressure) ด้านหน้าใบพัดและปรับความดันสถิตย์ ด้านหน้าใบพัดให้เท่ากับความดันบรรยากาศ โดยการปรับช่องระบายลมด้านหลังใบของอุโมงค์ลม

6.2.3 ทำการวัดความเร็วลมในบริเวณทดสอบ (Test section) ที่ระยะห่างต่างๆ ในแนวแกน Y คำนวณและบันทึกค่า



รูปที่ 6.2 แสดงถึงแกนที่ใช้วัดความเร็ว

#### 6.2.4 ทำการปรับช่องระบายลมให้ปิดสนิท แล้ววัดความดันสถิตย์ (Static pressure)

### 6.3 ชุดทดสอบ

รายละเอียดและข้อจำกัดในการสร้างชุดทดสอบ

6.3.1 การปรับความดันสถิตย์หน้าใบพัดให้เท่ากับความดันบรรยากาศนั้นเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบพัดลม

6.3.2 เนื่องจากลมที่ได้จากใบพัดมีลักษณะหมุนวนจึงไม่สามารถวัดความเร็วได้ จึงได้ติดตั้งรังผึ้ง (Honeycomb) เพื่อเป็นการปรับลักษณะการไหลของอากาศให้เป็นแบบคงที่ (Uniform flow) จึงสามารถวัดความเร็วลมได้

6.3.3 เนื่องจากขนาดของใบพัดที่ใช้ทดสอบนั้นมีขนาดใหญ่กว่าอุโมงค์ลมที่มีอยู่เดิม ทำให้ต้องต่อเติมอุโมงค์ลม โดยใช้มาตรฐานการทดสอบพัดลมอุตสาหกรรมญี่ปุ่น (JIS)

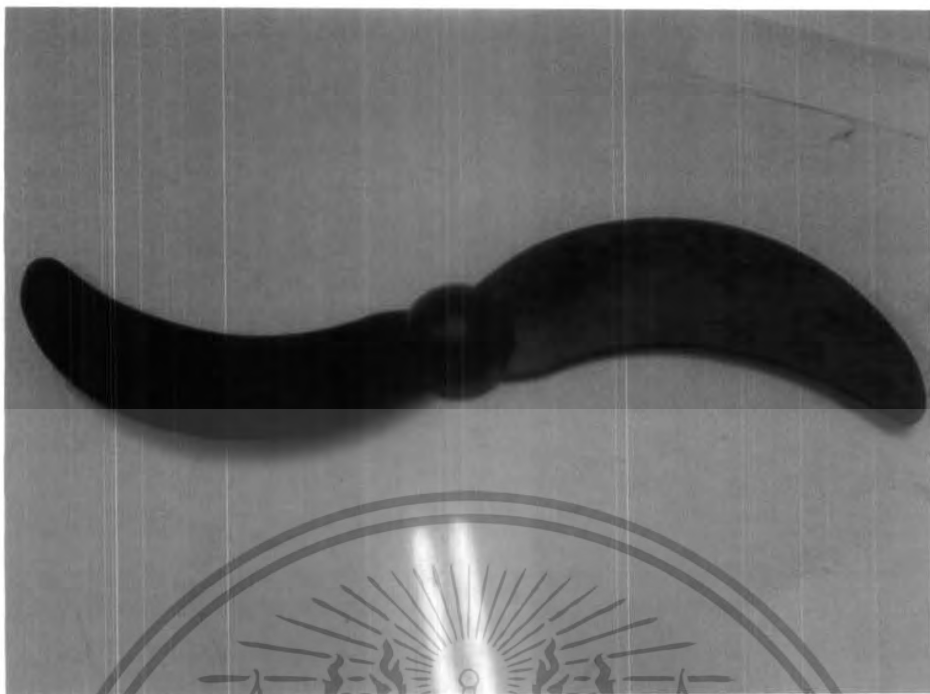
6.3.4 ระยะเวลาทำการติดตั้งรังผึ้ง (Honeycomb) และระยะเวลาทำการวัดความเร็วกำหนดโดยการทดลองติดตั้งในหลายๆตำแหน่ง แล้วดูว่าตำแหน่งใดที่ไม่ทำให้เกิดลมย้อนกลับจึงเลือกตำแหน่งนั้น

6.3.5 เครื่องมือสำหรับการวัดความเร็วลมมีความละเอียดไม่เพียงพอที่จะแยกความแตกต่างของความเร็วหน้าใบพัดในแต่ละค่าที่ทำการทดลองให้เห็นอย่างชัดเจน

### 6.4 ขั้นตอนการจำลองผลโดยโปรแกรม (Simulation)

6.4.1 ทำการศึกษาโปรแกรม Unigraphics , Nastam และ Star-CD

6.4.2 ทำการวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics พร้อมทั้งปรับองศาของใบพัด โดยมีขั้นตอนดังนี้

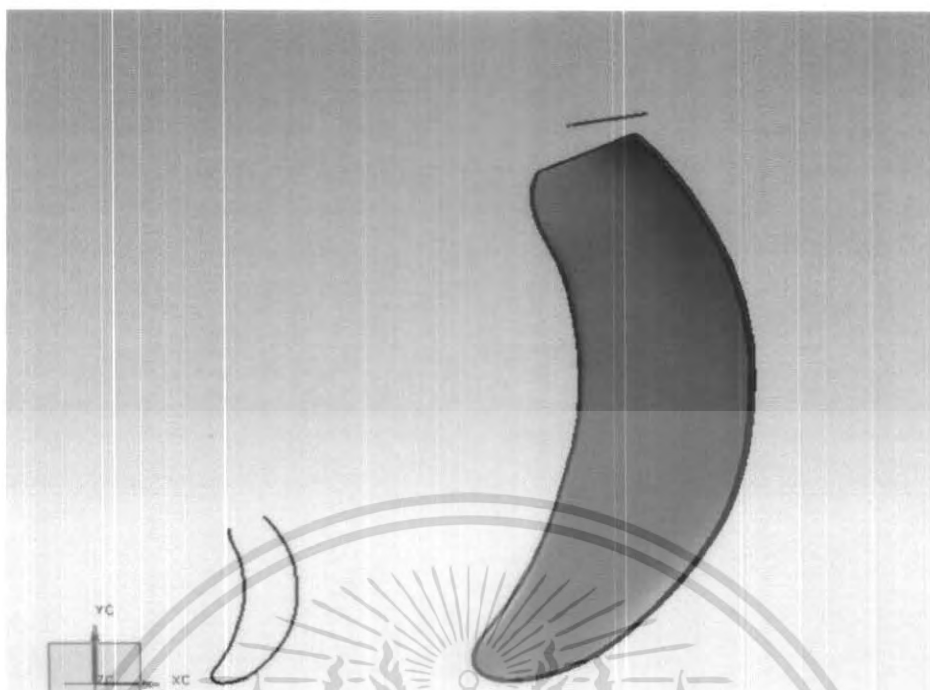


รูปที่6-1 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ขั้นตอนที่ 1  
ถ่ายภาพฉายของใบพัดในมุมสูง



รูปที่6-2 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ขั้นตอนที่ 2  
นำภาพมาพล็อตจุดในโปรแกรม UG สร้างเส้นขอบของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

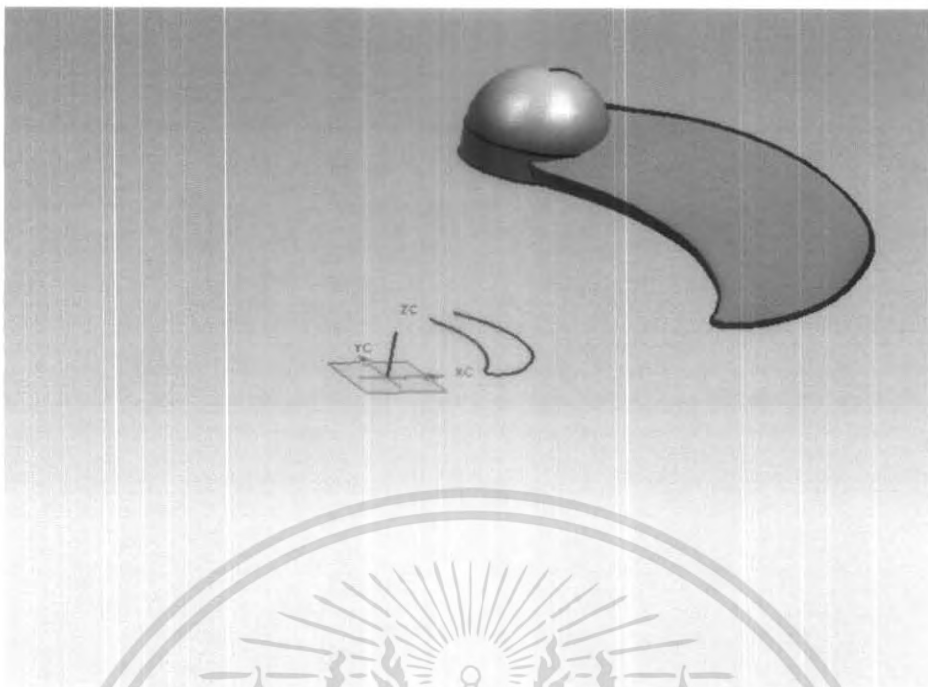


รูปที่6-3 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ขั้นตอนที่ 3  
สร้าง surface จากเส้นที่สร้างในข้อสอง



รูปที่6-4 การวาดใบพัดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ขั้นตอนที่ 4  
เย็บ surface ให้กลายเป็น solid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



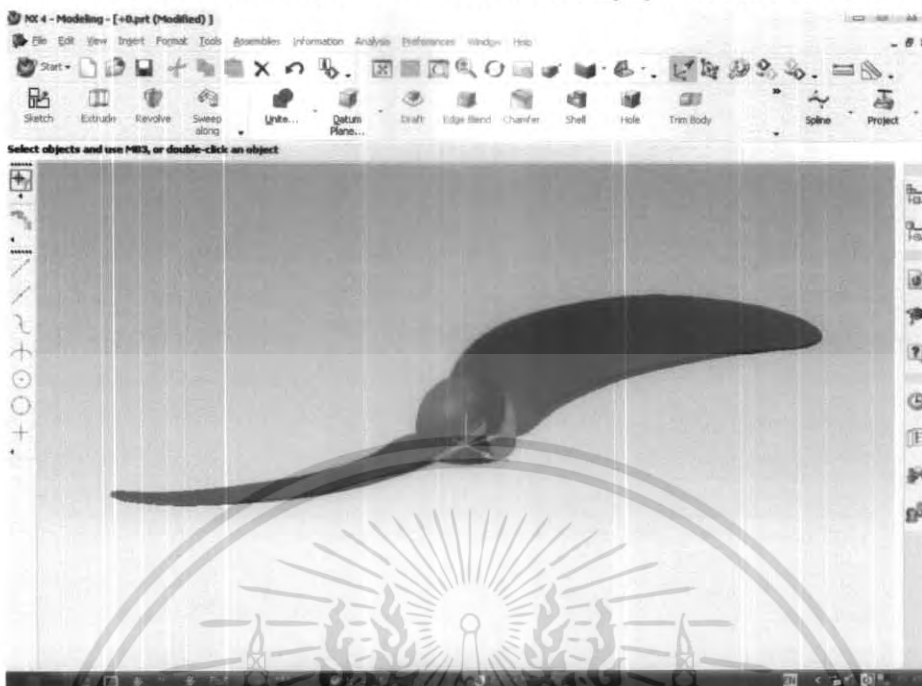
รูปที่6-5 การวาดใบพืดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ขั้นตอนที่ 5  
ทำการสร้างแกนใบพืดจากการ revolve



รูปที่6-6 การวาดใบพืดลมโดยใช้โปรแกรม Unigraphics ขั้นตอนที่ 6  
ทำซ้ำใบพืดให้หมุน 180 องศารอบแกนใบพืด แล้วทำการรวม solid ทั้งสามให้เป็นชิ้นเดียวกัน

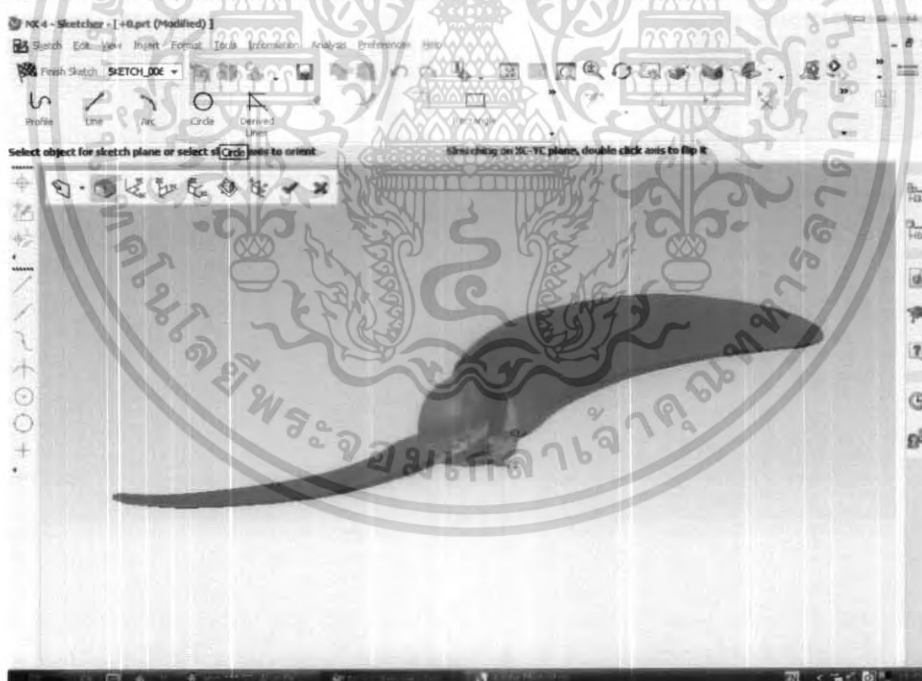
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.4.3 ทำการสร้างโดเมนของใบพัดโดยใช้โปรแกรม Unigraphics โดยมีขั้นตอนดังนี้



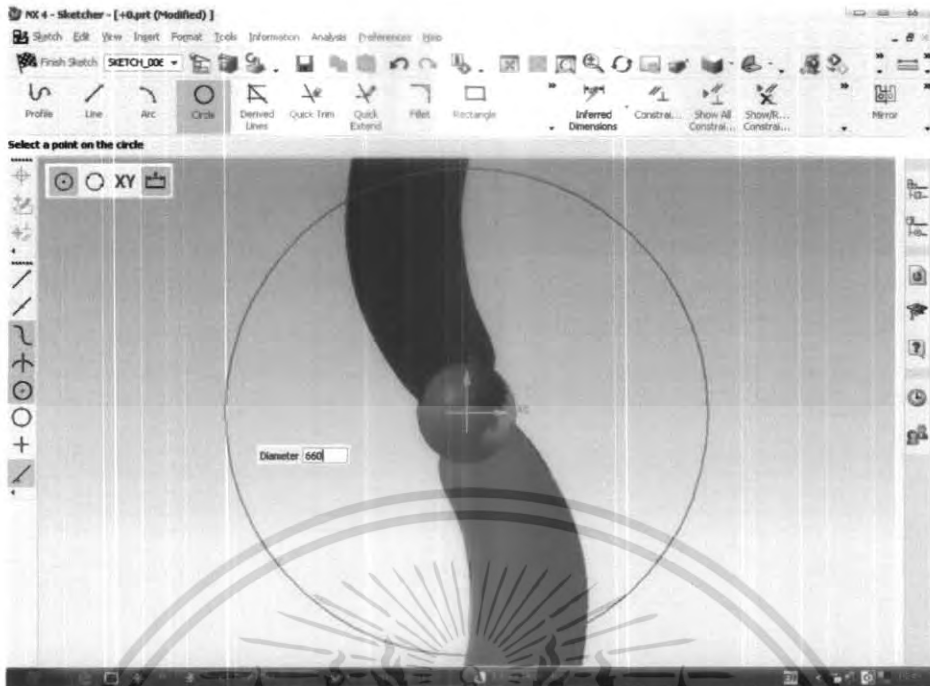
รูปที่ 6-7 การสร้างโมเดลใบพัดและอู โมงค์ลม ขั้นตอนที่ 1

เมื่อเราวาดใบพัดเสร็จแล้วให้เลือกไปที่คำสั่ง Sketch แล้วจะมีคำสั่งขึ้นมาเพิ่มให้เลือกว่าที่พิค (X,Y)



รูปที่ 6-8 การสร้างโมเดลใบพัดและอู โมงค์ลม ขั้นตอนที่ 2 เลือกคำสั่ง Circle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รูปที่ 6-9 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 3

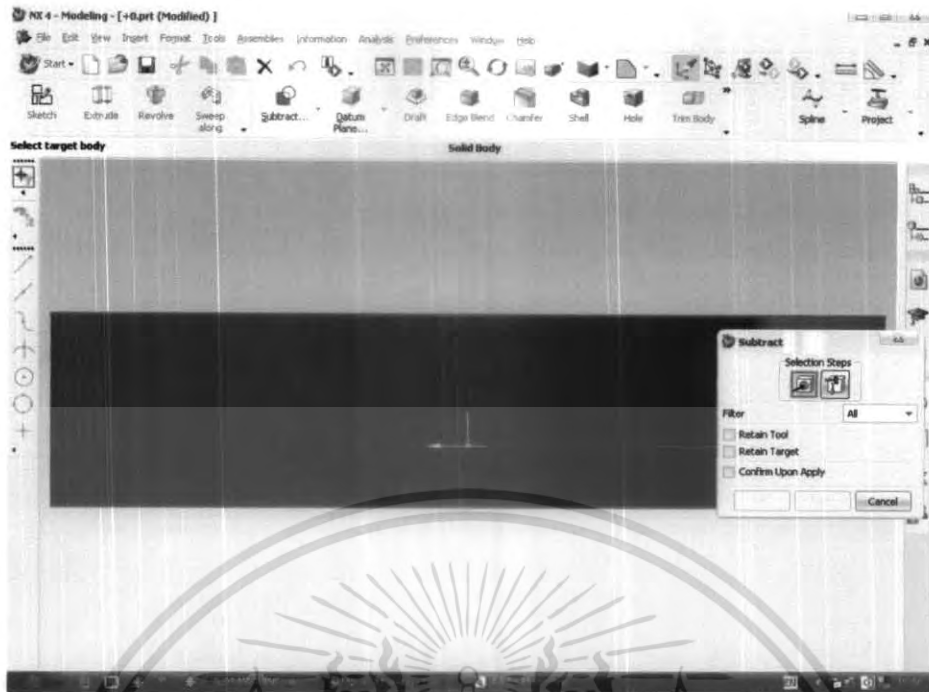
ใส่ค่าที่ของจุด Origin ของวงกลม ในพิกัด (X,Y) เท่ากับ (0,0) ค่า Diameter ของวงกลมเท่ากับ 660 มิลลิเมตร Enter แล้วกด Finish Sketch จะได้ดังรูป



### รูปที่ 6-10 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 4

ปรับมุมมองเป็น Side View เลือกคำสั่ง Extrude แล้วใส่ค่าที่ Start เท่ากับ 102.5 มิลลิเมตร แล้วใส่ค่าที่ End เท่ากับ -47.5 มิลลิเมตร OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-11 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 5

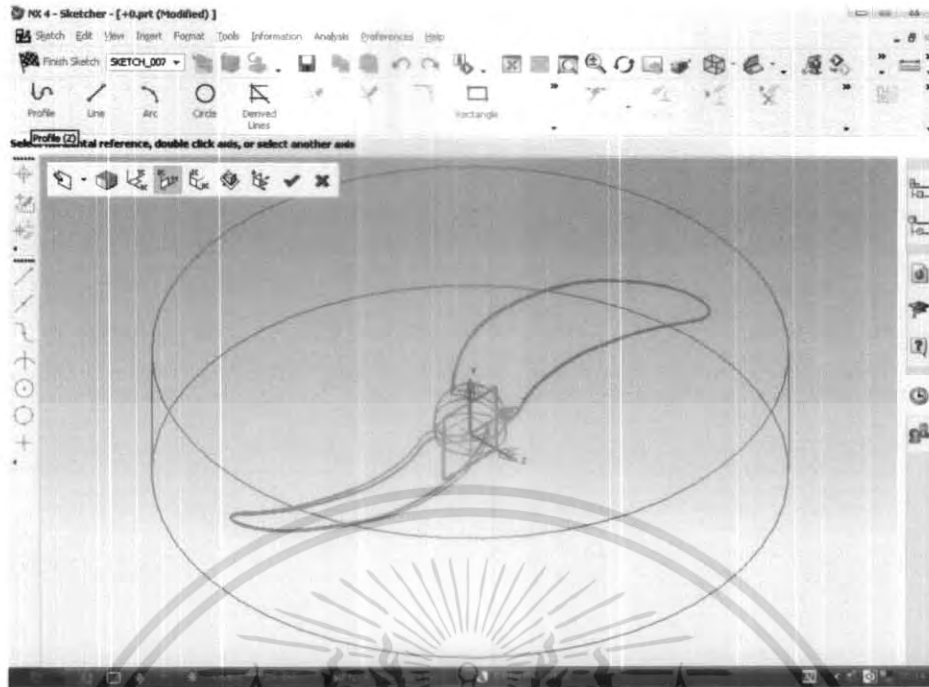
เมื่อได้รูปทรงกระบอกแล้วให้ไปเลือกคำสั่ง Subtract แล้วเลือกที่รูปทรงกระบอก เมื่อเลือกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีม่วง



รูปที่ 6-12 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 6

เมื่อเลือกทรงกระบอกแล้วเลือกตัวใบพัดบริเวณภายในทรงกระบอก เมื่อเลือกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงดังรูปแล้ว OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-13 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 7

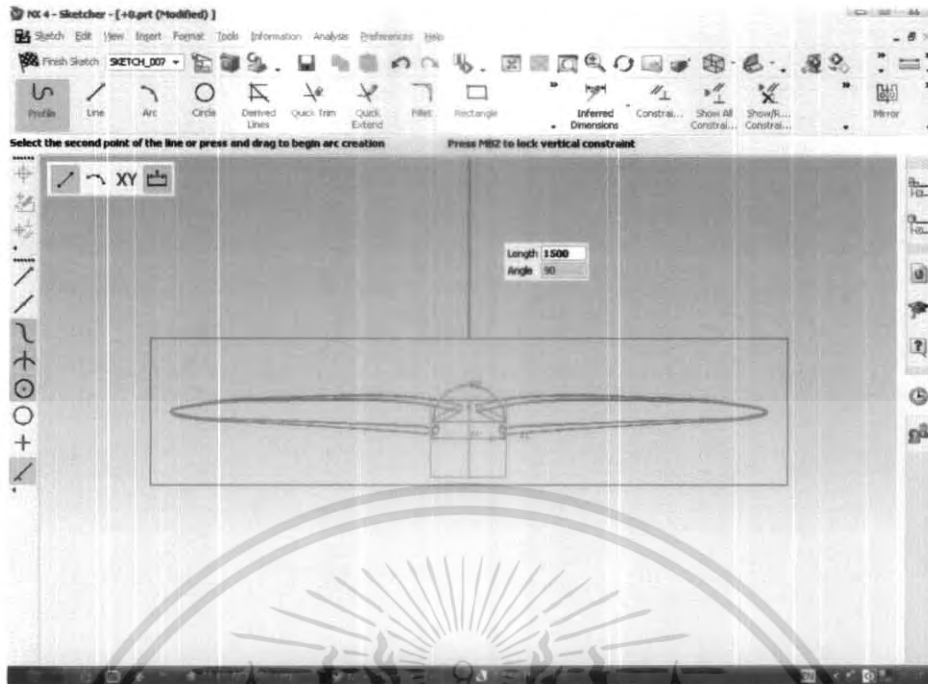
เลือกคำสั่ง Sketch เลือก Plane Y-Z จากนั้นเลือก Profile



รูปที่ 6-14 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 8

ใส่ค่า Origin (X,Y) เท่ากับ (0,102.5) มิลลิเมตร เพื่อที่จะวาดขอบเขตของบริเวณ Air Tank เพื่อที่จะนำไป Revolve ในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-15 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 9

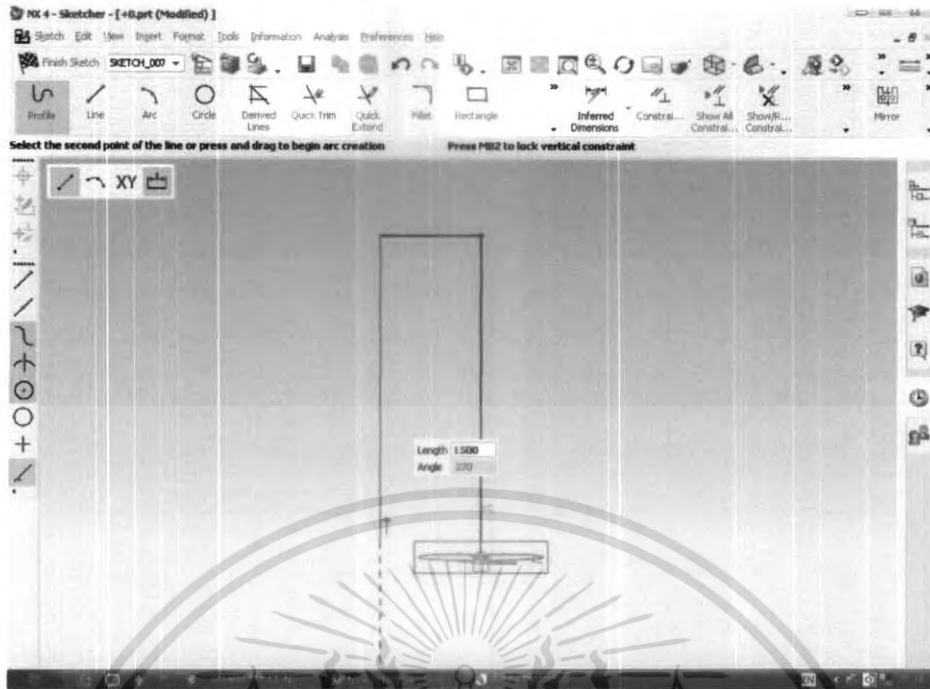
ใส่ค่า Length ของเส้นที่หนึ่งเท่ากับ 1500 มิลลิเมตร และค่า Angle เท่ากับ 90 องศา



รูปที่ 6-16 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 10

ใส่ค่า Length ของเส้นที่สองเท่ากับ 500 มิลลิเมตร และ ค่า Angle เท่ากับ 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-17 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 11

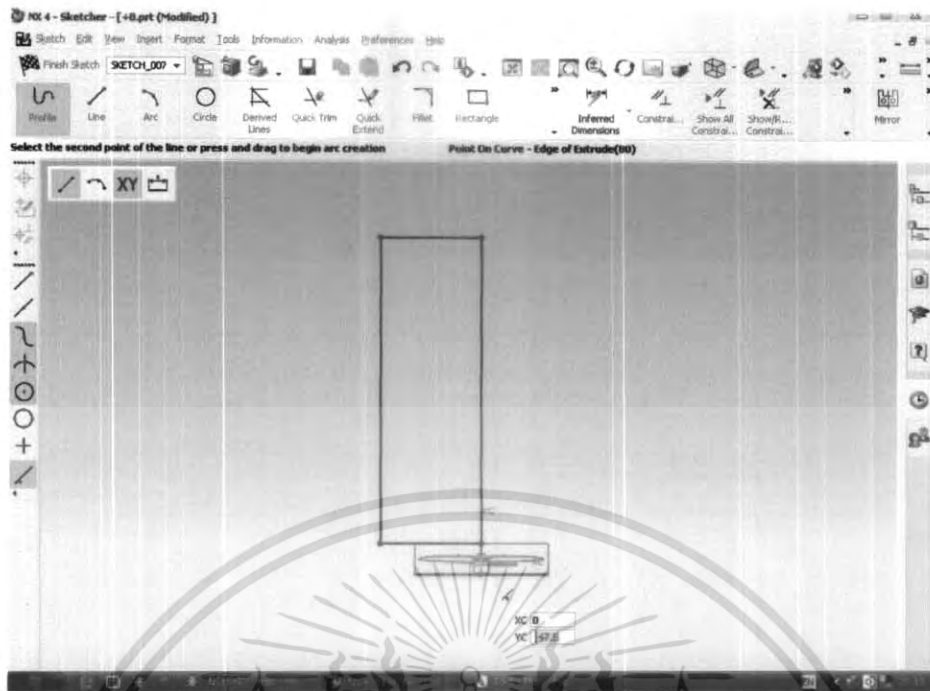
ใส่ค่า Length ของเส้นที่สามเท่ากับ 1500 มิลลิเมตร และค่า Angle เท่ากับ 270 องศา



รูปที่ 6-18 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 12

ใส่ค่า Length ของเส้นที่สี่เท่ากับ 500 มิลลิเมตร และ ค่า Angle เท่ากับ 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-19 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 13

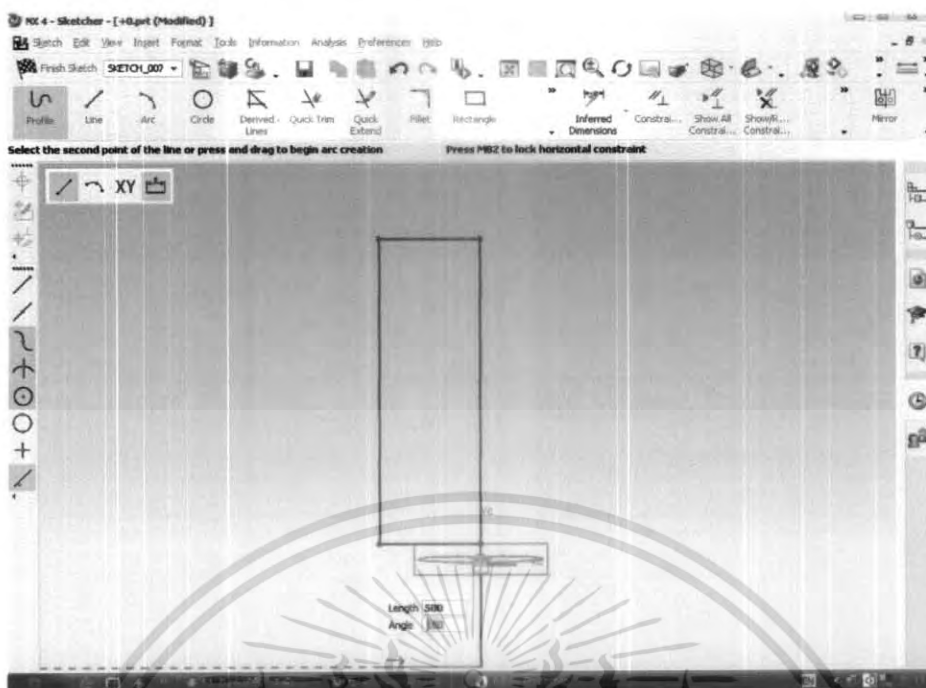
ใส่ค่า Origin (X,Y) เท่ากับ (0,47.5) มิลลิเมตร เพื่อที่จะวาดขอบเขตของบริเวณปากแตร เพื่อที่จะนำไป Revolve ในภายหลัง



รูปที่ 6-20 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 14

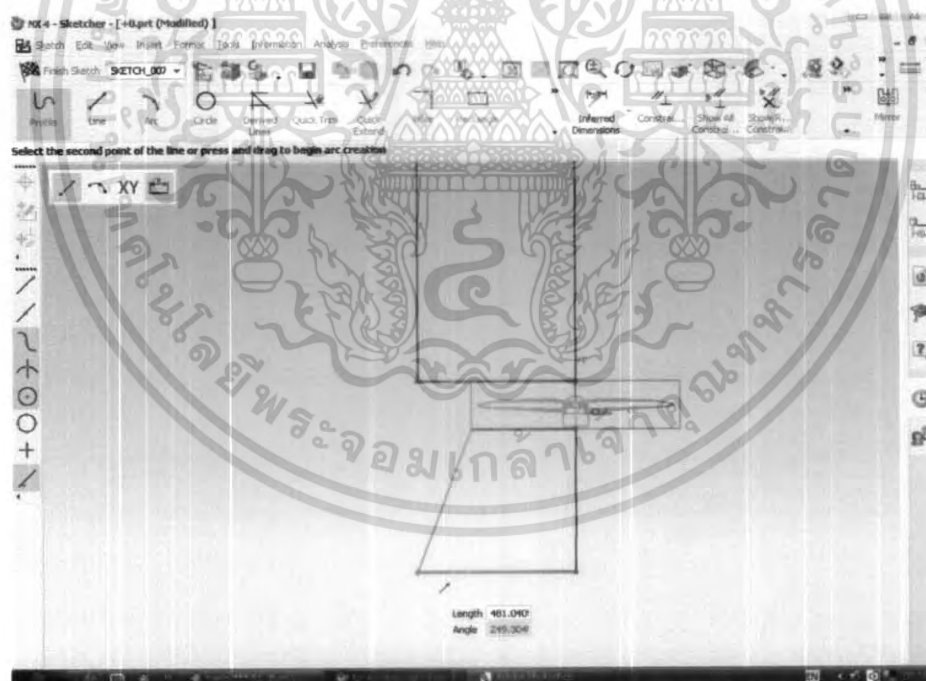
ใส่ค่า Length ของเส้นที่หนึ่งเท่ากับ 450 มิลลิเมตร และค่า Angle เท่ากับ 270 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-21 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 15

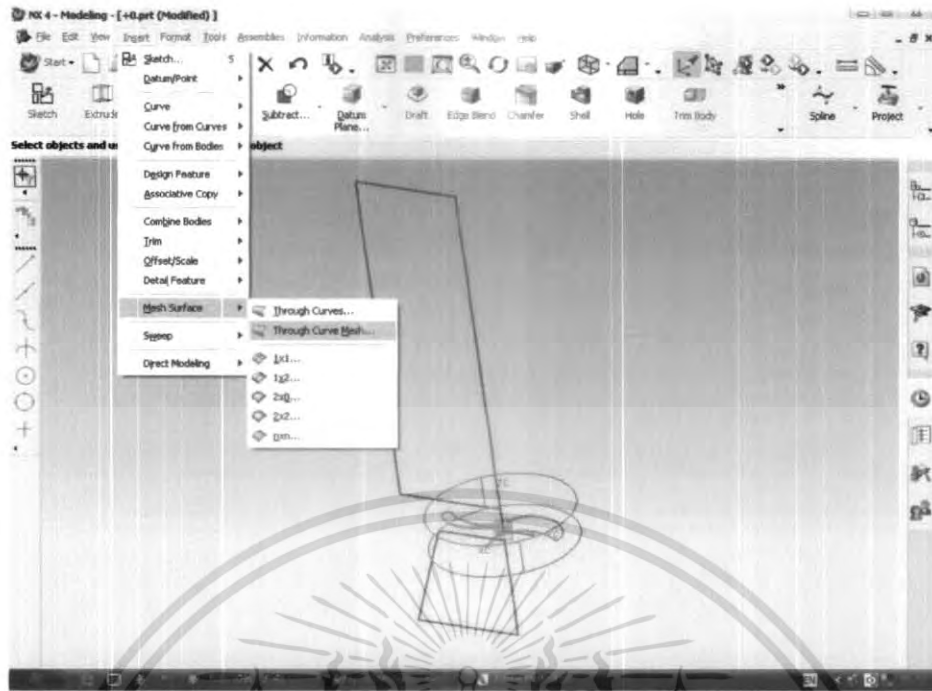
แล้วใส่ค่า Length ของเส้นที่สองเท่ากับ 500 มิลลิเมตร และค่า Angle เท่ากับ 180 องศา



รูปที่ 6-22 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 16

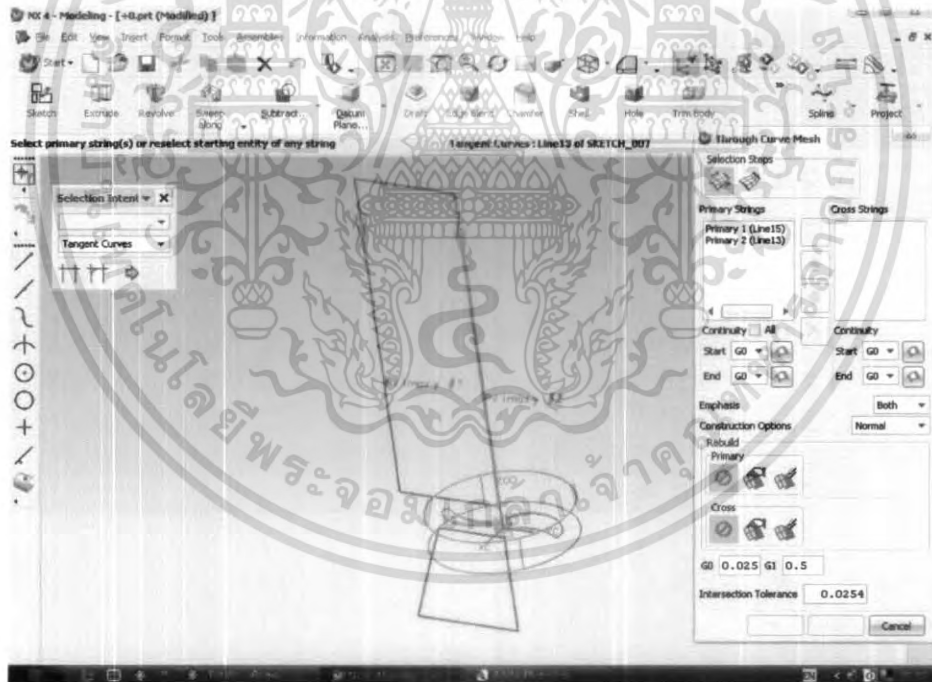
ใส่ค่า Origin (X,Y) เท่ากับ (0,47.5) มิลลิเมตร แล้วใส่ค่า Length ของเส้นที่สามเท่ากับ 330 มิลลิเมตร และค่า Angle เท่ากับ 180 องศา แล้วลากเส้นที่สี่ไปบรรจบยังปลายเส้นที่สองดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-23 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 17

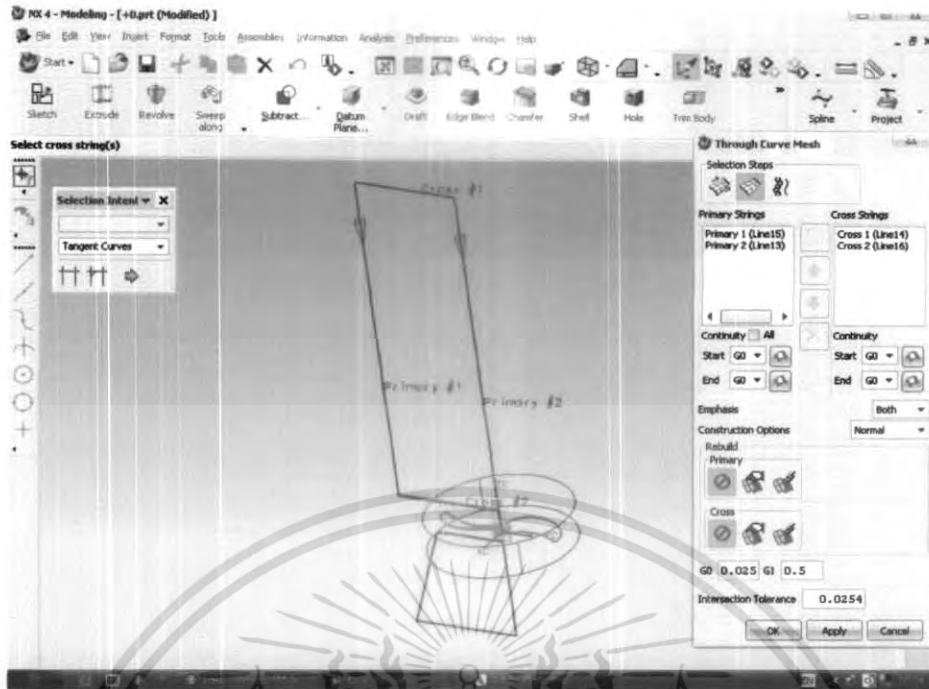
เลือกคำสั่ง Insert → Mesh Surface → Through Curve Mesh



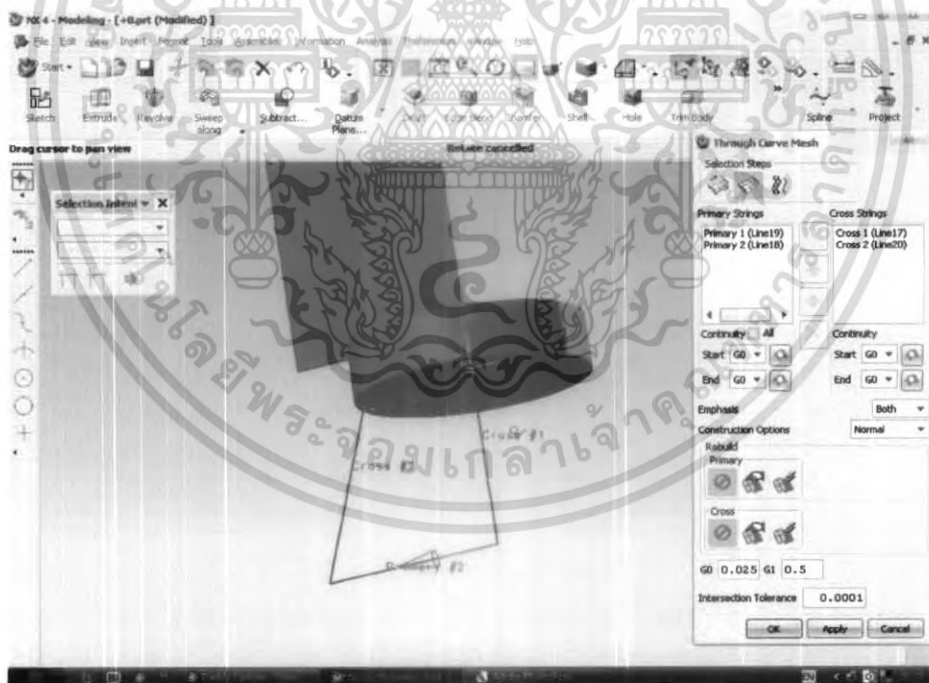
รูปที่ 6-24 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 18

เลือกเส้นด้านซ้ายแล้วคลิกปุ่ม Wheel ที่ Mouse จะมีลูกศรและคำว่า Primary ขึ้นมาบนเส้น แล้วเลือกเส้นที่สองแล้วทำเช่นเดียวกัน สังเกต ต้องให้ลูกศรทั้งสองเส้นทิศเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

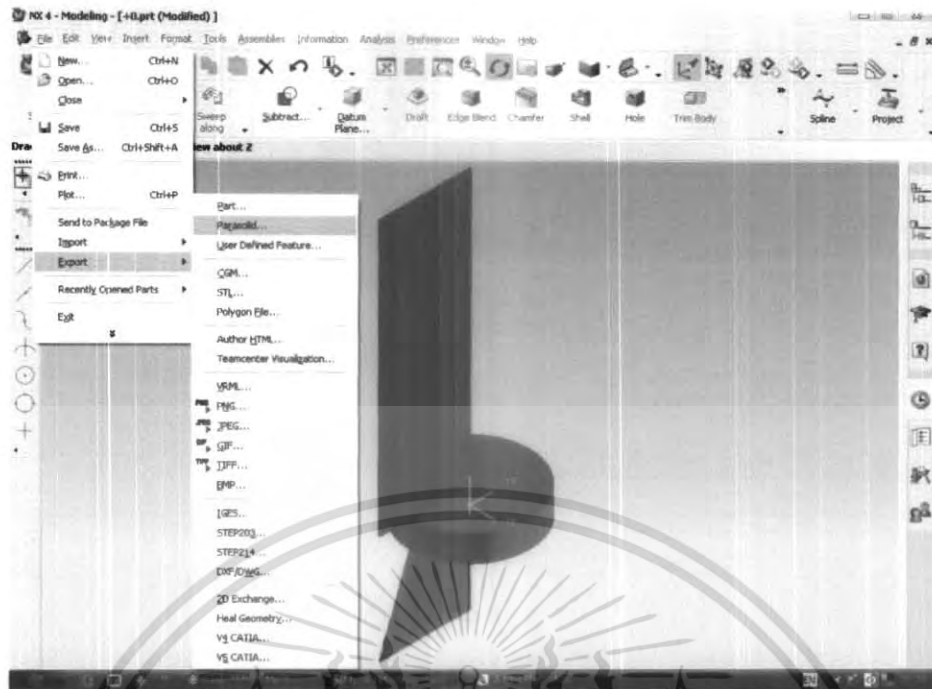


รูปที่ 6-25 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 19  
 หลังจากนั้นเลือกคำสั่ง Cross String หลังจากนั้นเลือกเส้นบนแล้วกดปุ่ม Wheel ที่ Mouse เมื่อเลือก  
 แล้วจะมีคำว่า Cross ขึ้นมา จากนั้นเลือกเส้นล่างแล้วทำเช่นเดียวกัน เมื่อเลือกเสร็จแล้วกด OK



รูปที่ 6-26 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 20  
 เมื่อกด OK แล้วก็จะได้ Surface ขึ้นมา จากนั้นทำวิธีเดียวกับเส้นด้านล่าง เมื่อเสร็จแล้วเราก็จะ  
 ได้ Surface ขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



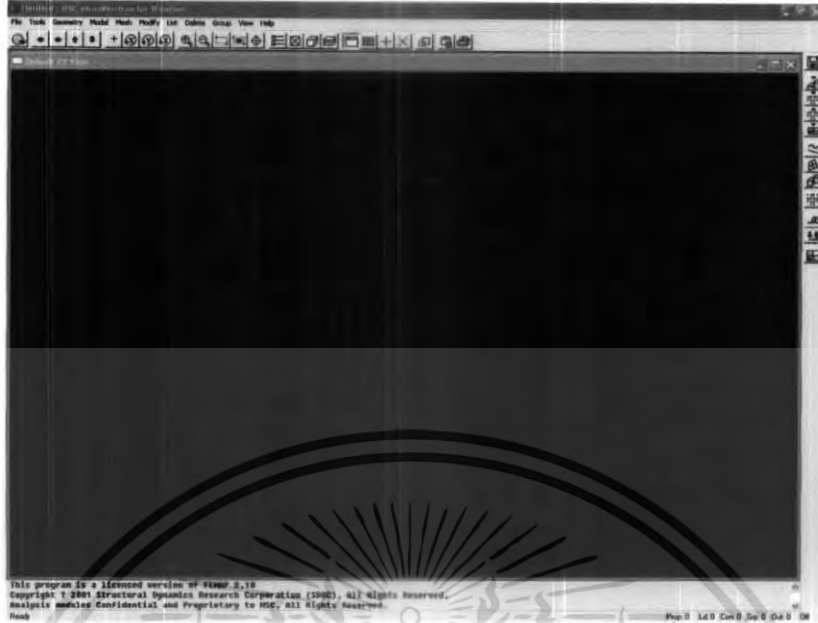
รูปที่ 6-27 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 21  
จากนั้นจะทำการ Export โดยเลือกไปที่คำสั่ง File → Export → Parasolid



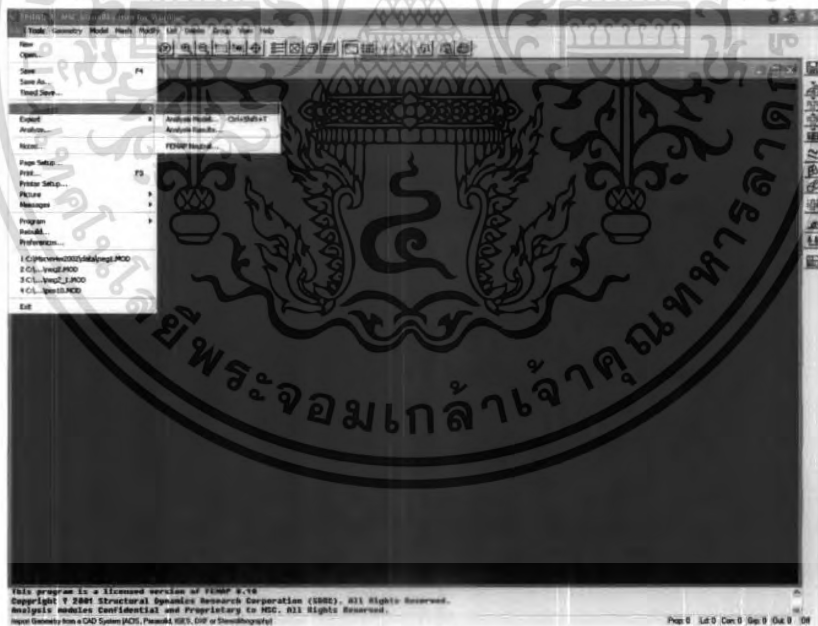
รูปที่ 6-28 การสร้างโมเดลใบพัดและอุโมงค์ลม ขั้นตอนที่ 22  
เลือกไปที่ P๑18.0 แล้วคลิกเลือกวัตถุทั้งหมด เมื่อเลือกแล้วจะเป็นสีส้มดังรูป หลังจากนั้นกด  
OK ก็จะได้ไฟล์ที่พร้อมจะ ไป Generate Mesh ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.4.4 ทำการ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastran โดยมีขั้นตอนดังนี้

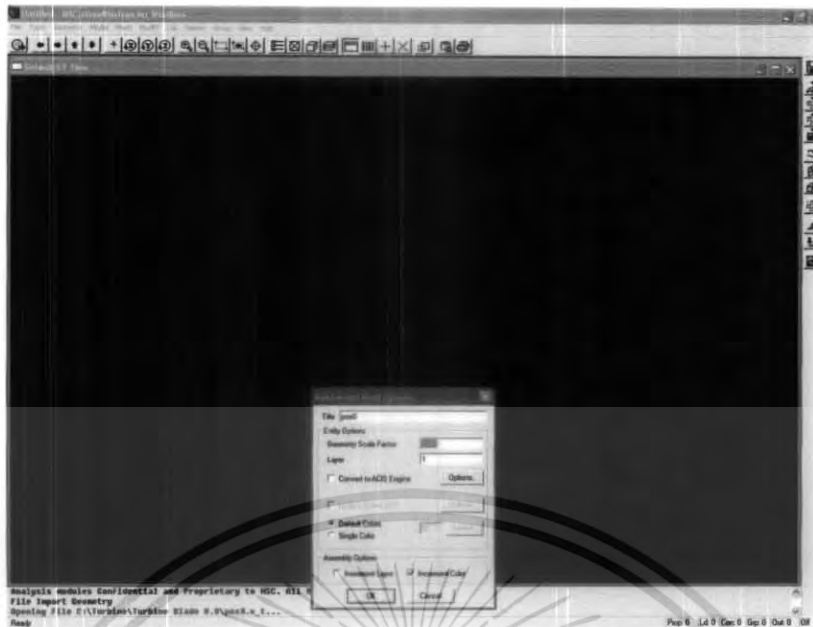


รูปที่ 6-29 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastran ขั้นตอนที่ 1  
จากรูปที่ 6-1 เมื่อเข้ามาภายในโปรแกรม Nastran จะพบกับหน้าต่างที่ถามว่าจะโหลดไฟล์ที่เคยบันทึกไว้ ถ้าจะเริ่มงานชิ้นใหม่ให้เลือก New Model



รูปที่ 6-30 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastran ขั้นตอนที่ 2  
เข้าที่คำสั่ง File → Import → Geometry..

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

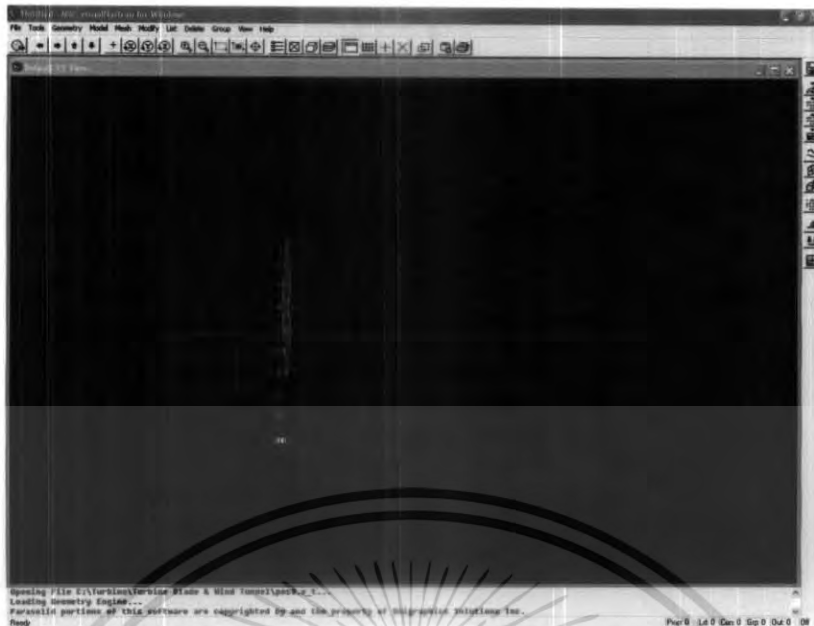


รูปที่ 6-31 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 3 เลือกไฟล์ที่นามสกุล .x\_t เพื่อที่จะ Import เข้ามา Generate Mesh เมื่อเลือกไฟล์แล้วจะมีหน้าต่างเล็กขึ้นมาให้ใส่ค่า Geometry Scale Factor ให้ใส่ค่าลง 1000 ซึ่งหมายถึง หน่วย มิลลิเมตร แล้วกด OK



รูปที่ 6-32 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 4 เมื่อ Import เข้ามาแล้วจะได้ดังในรูปที่ 6-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

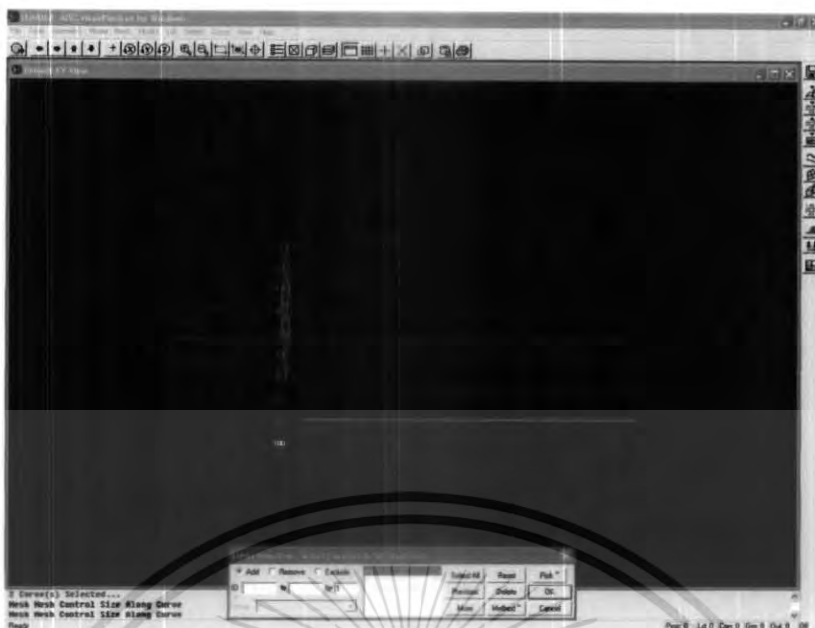


รูปที่ 6-33 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม NASTRAN ขั้นตอนที่ 5  
กดปุ่ม  จนกระทั่ง Model นั้นหมุนไป 90 องศา จนได้ดังรูปที่ 6-6

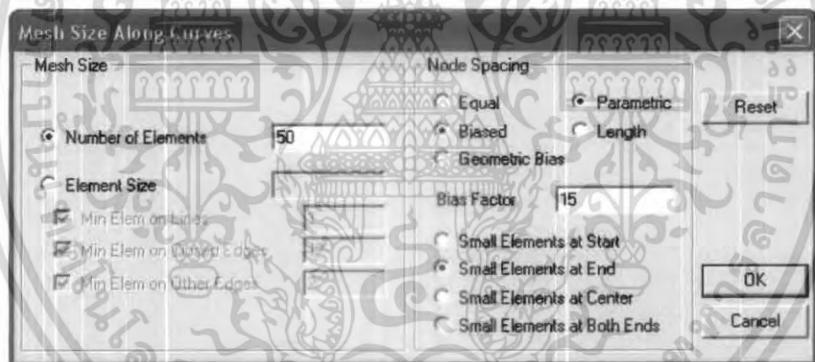


รูปที่ 6-34 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม NASTRAN ขั้นตอนที่ 6  
เลือกไปที่คำสั่ง Mesh → Mesh Control → Size Along Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

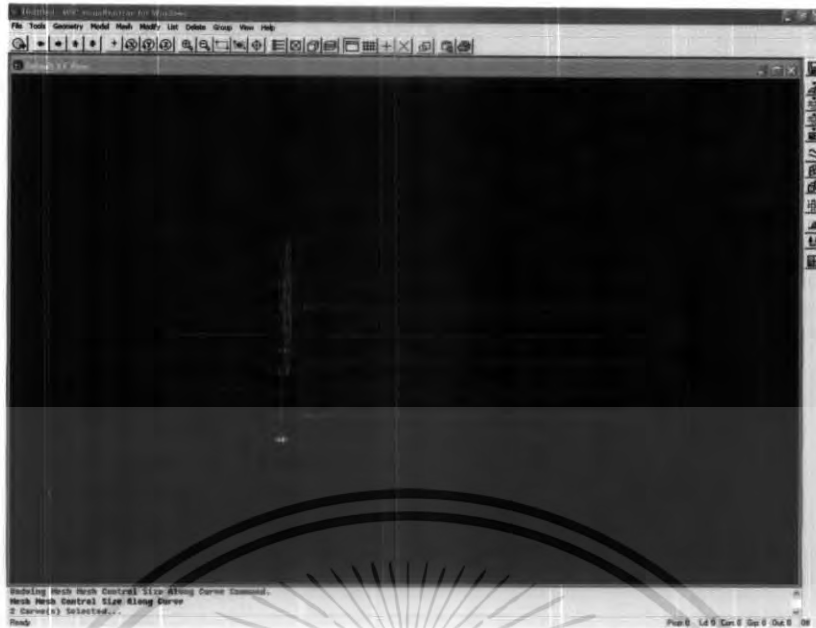


รูปที่ 6-35 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 7  
เมื่อเลือกคำสั่ง Side Along Curve แล้วจะเลือกเส้นที่ด้านบนและล่างของสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 6-36 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 8  
เมื่อกด OK แล้วค่าจำนวน Element ของเส้นเท่ากับ 50 และค่า Biased เท่ากับ 15 และเลือกการ  
แบ่ง Element แบบ Small Elements at End

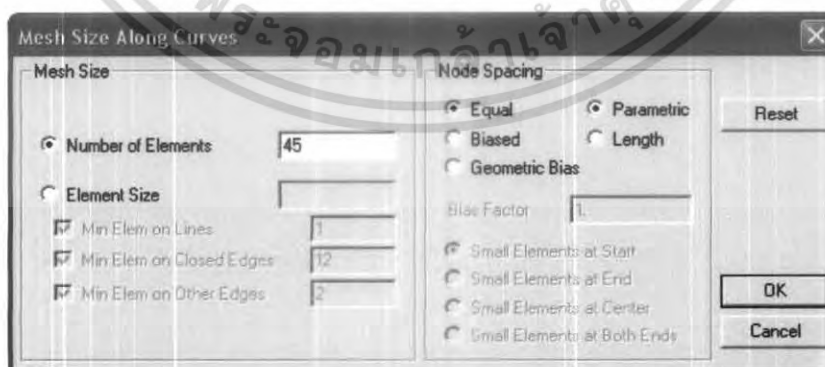
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-37 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม NASTRAN ขั้นตอนที่ 9  
เมื่อเลือกแล้วจะ ได้ดังรูปที่ 6-9

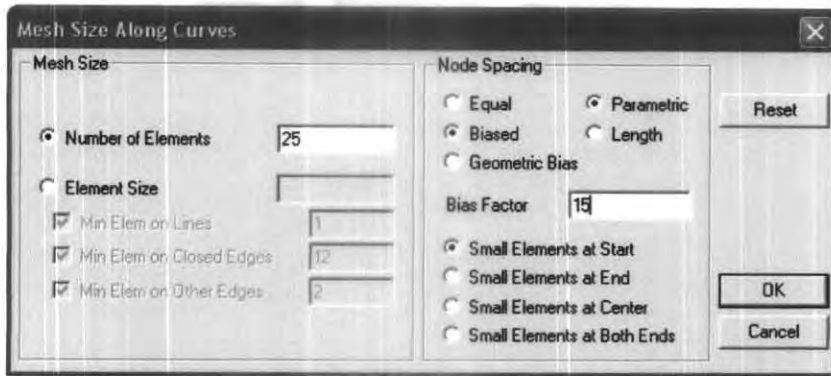


รูปที่ 6-38 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม NASTRAN ขั้นตอนที่ 10  
เลือกเส้นด้านซ้ายขวาของสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วใส่ค่า Element เท่ากับ 50 แล้วแบ่งแบบ Equal



รูปที่ 6-39 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม NASTRAN ขั้นตอนที่ 11  
เลือกเส้นซ้ายขวาของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แล้วใส่ค่า Element เท่ากับ 45 แล้วแบ่งแบบ Equal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

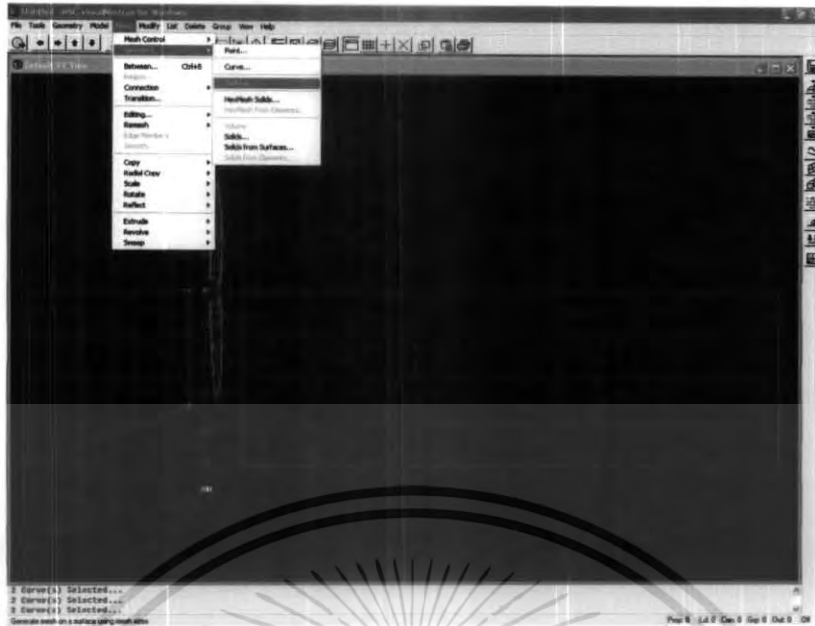


รูปที่ 6-40 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 12  
เลือกเส้นบนล่างของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แล้วใส่ค่า Element เท่ากับ 25 แล้วแบ่งแบบ Biased  
แบบ Small Elements at Start



รูปที่ 6-41 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 13  
เมื่อแบ่งหมดทุกเส้นจะได้ค่า Element ของทั้งสอง Surface ดังรูปที่ 6-13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

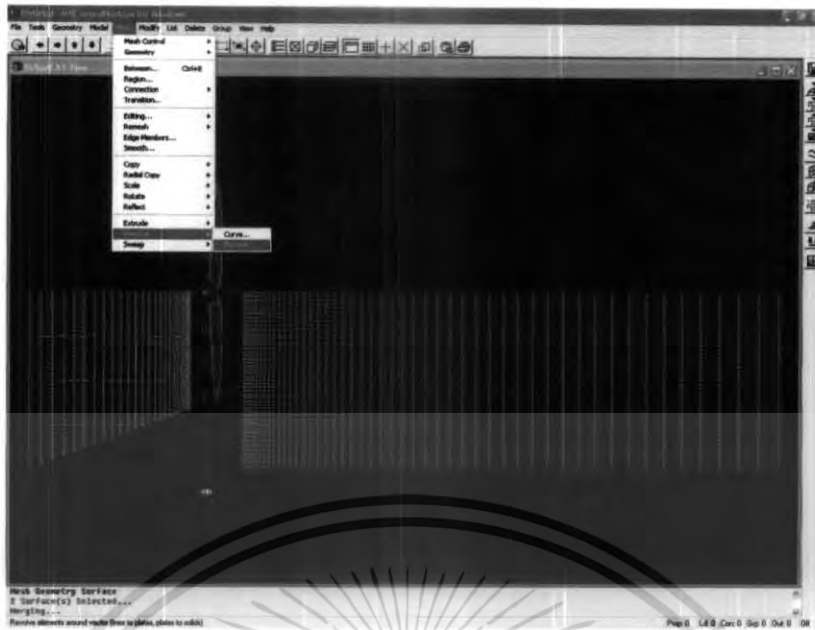


รูปที่ 6-42 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 14  
ทำการ Generate Mesh Surface โดยการเลือกคำสั่ง Mesh → Geometry → Surface



รูปที่ 6-43 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 15  
เลือกทั้งสอง Surface ดังรูปที่ 6-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-44 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม NASTRAN ขั้นตอนที่ 16  
ทำการ Revolve โดยเลือกคำสั่ง Mesh → Revolve → Element

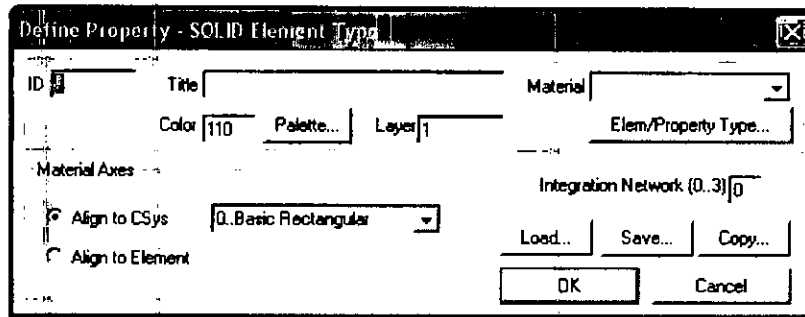


รูปที่ 6-45 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม NASTRAN ขั้นตอนที่ 17  
เลือกที่บริเวณ Element แล้วเลือก Select All แล้วกด OK

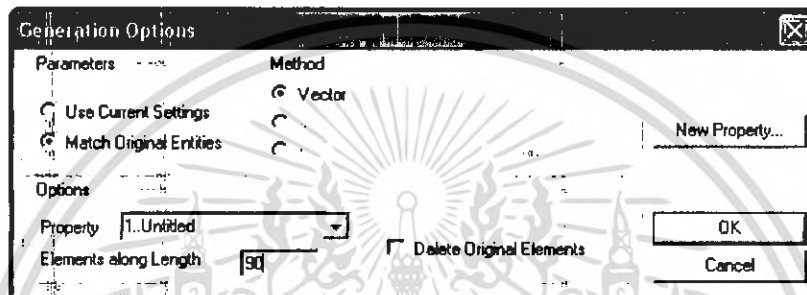


รูปที่ 6-46 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม NASTRAN ขั้นตอนที่ 18  
เลือก New Property → Elem/Property Type → Solid → OK

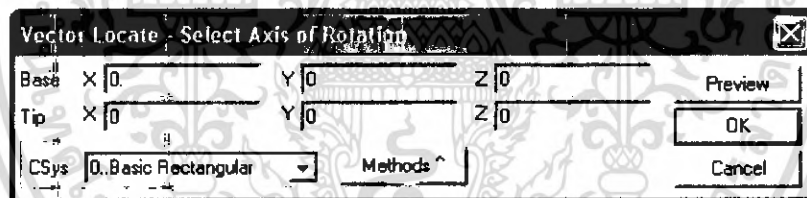
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



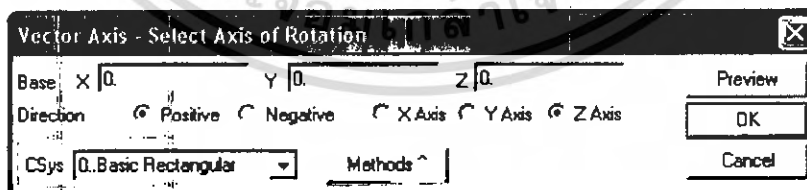
รูปที่ 6-47 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 19  
เลือก Align to CSys และ เลือก Basic Rectangular → OK → OK



รูปที่ 6-48 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 20  
เลือก Property ให้เป็น 1..Untitled แล้วใส่ค่า Elements along Length เท่ากับ 60 → OK

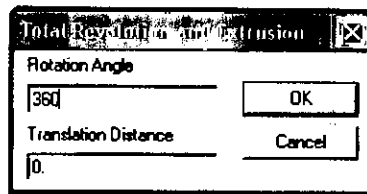


รูปที่ 6-49 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 21  
เลือกรูปแบบในการ Revolve โดยเลือก Method → Axis

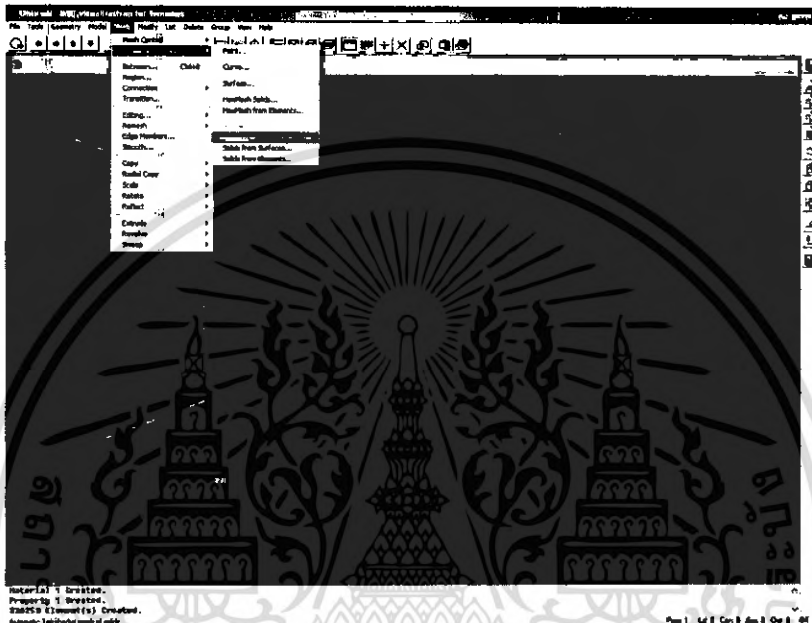


รูปที่ 6-50 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 22  
ใส่ค่าในทั้ง 3 แกน ให้เท่ากับศูนย์ แล้วเลือกทิศทาง Z

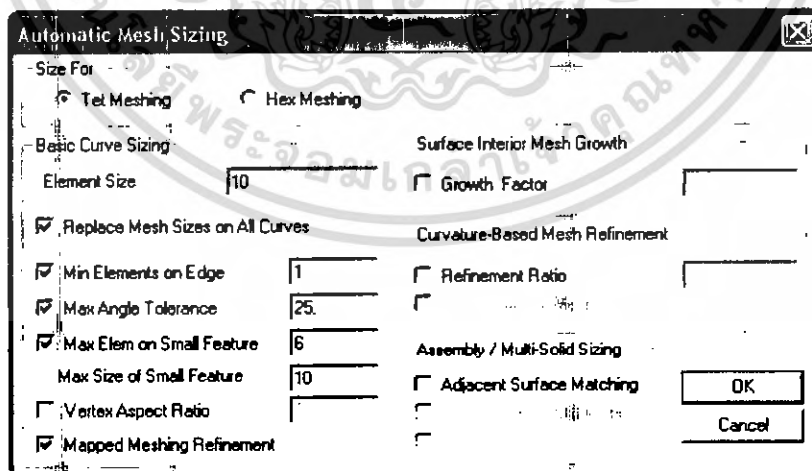
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-51 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 23  
ใส่ระยะทางในพิกัดเคลื่อนเท่ากับ 360 องศา

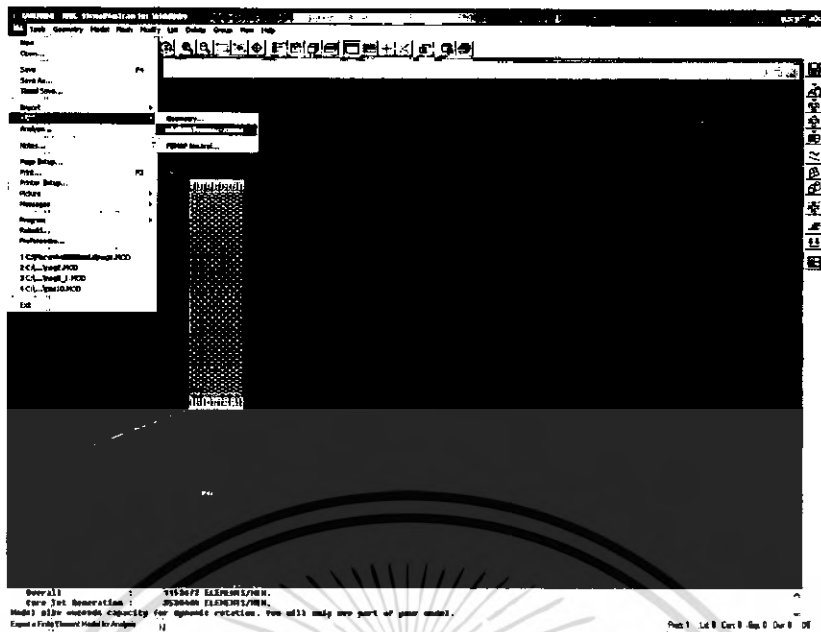


รูปที่ 6-52 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 24  
ทำการ Generate Mesh ไม้พืดโดย เลือกคำสั่ง Mesh → Geometry → Solids



รูปที่ 6-53 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 25  
เมื่อเลือกที่ไม้พืดแล้วใส่ค่าขนาดของ Element เท่ากับ 10 → OK → OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-54 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 26

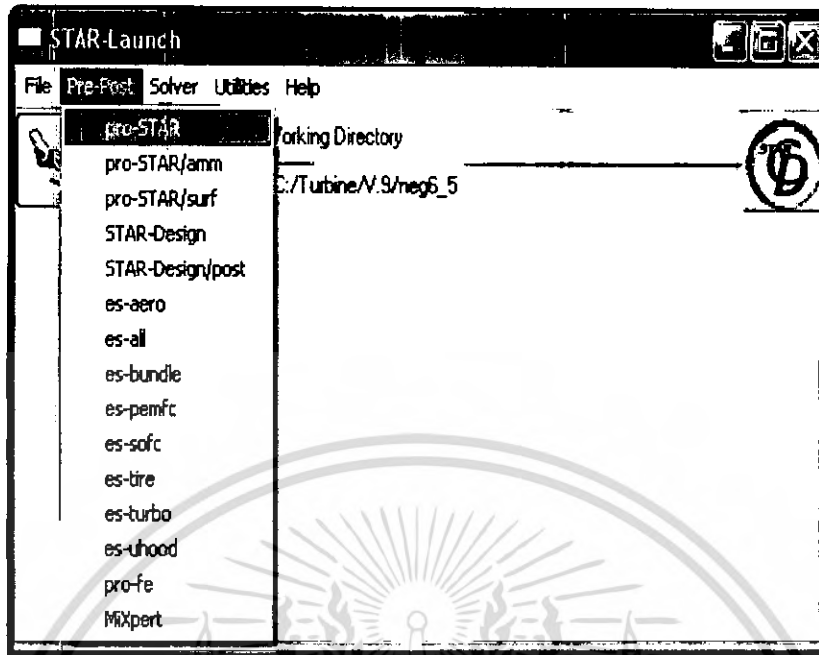
ทำการ Export ไฟล์โดยเลือกคำสั่ง File → Export → Analysis Model → Patran → OK



รูปที่ 6-55 การ Generate Mesh โดยใช้โปรแกรม Nastam ขั้นตอนที่ 27

เซฟไฟล์ในนามสกุล .pat ด้วยอักษรตัวเล็ก

#### 6.4.5 ทำการจำลองผลโดย Star-CD โดยมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 6-56 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 1

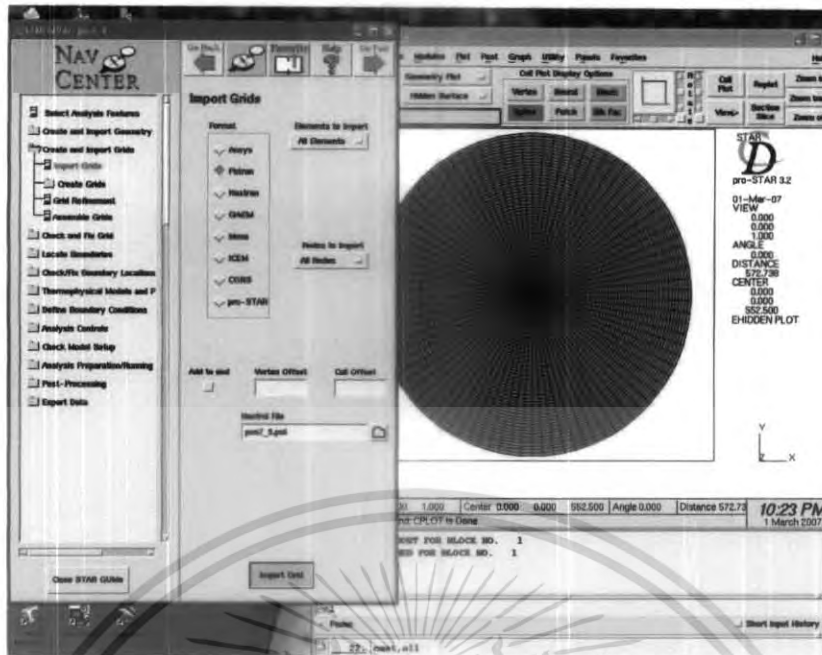
จากรูป 6-56 ขั้นตอนแรกของการใช้โปรแกรม Star-CD เข้าไปที่ Pro-STAR เพื่อนำไฟล์เข้าสู่โปรแกรม Star-CD โดยเข้าคำสั่งที่ Pre-Post → Pro-STAR



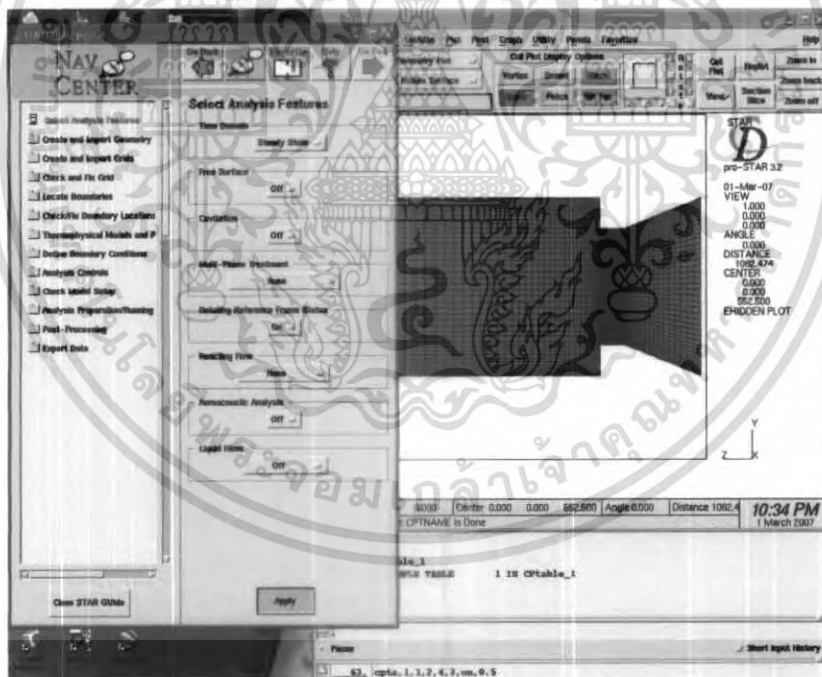
รูปที่ 6-57 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 2

จากรูป 6-57 คลิก Continue เพื่อเข้าสู่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

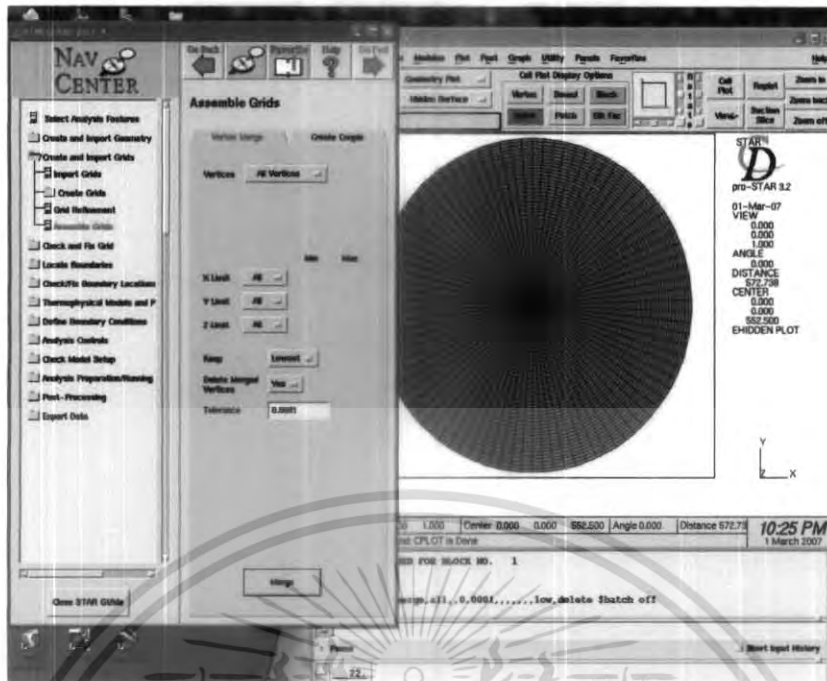


รูปที่ 6-58 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 3  
 จากรูป 6-58 การนำไฟล์รูปเข้าสู่โปรแกรม โดยเข้าที่คำสั่ง Create and Import Grids → Import Grids → Patran → Import Grid



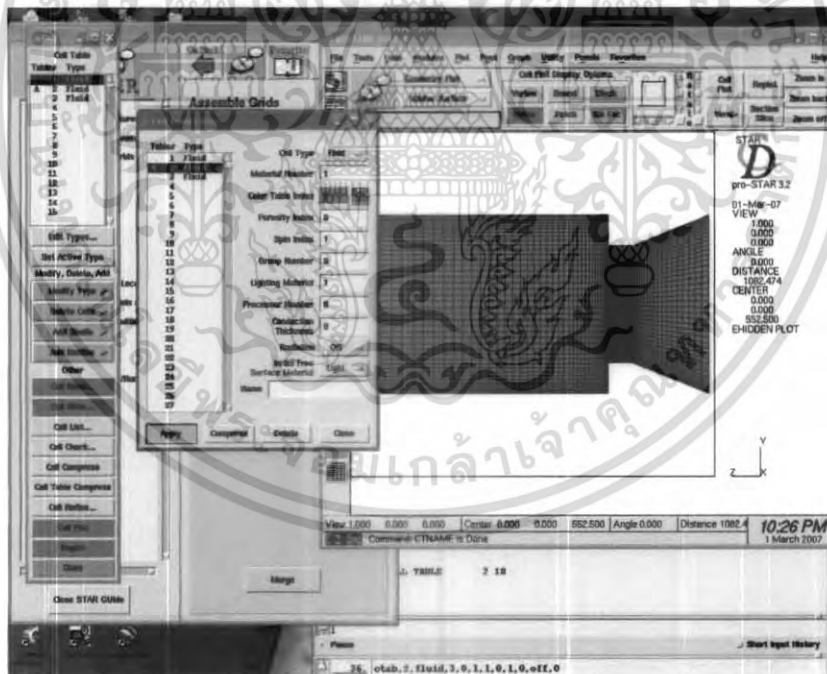
รูปที่ 6-59 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 4  
 จากรูปที่ 6-59 ทำการเปิด Rotating Reference Frame โดยเข้าที่คำสั่ง Select Analysis Features → Rotating Reference Frame → On → Apply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-60 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 5

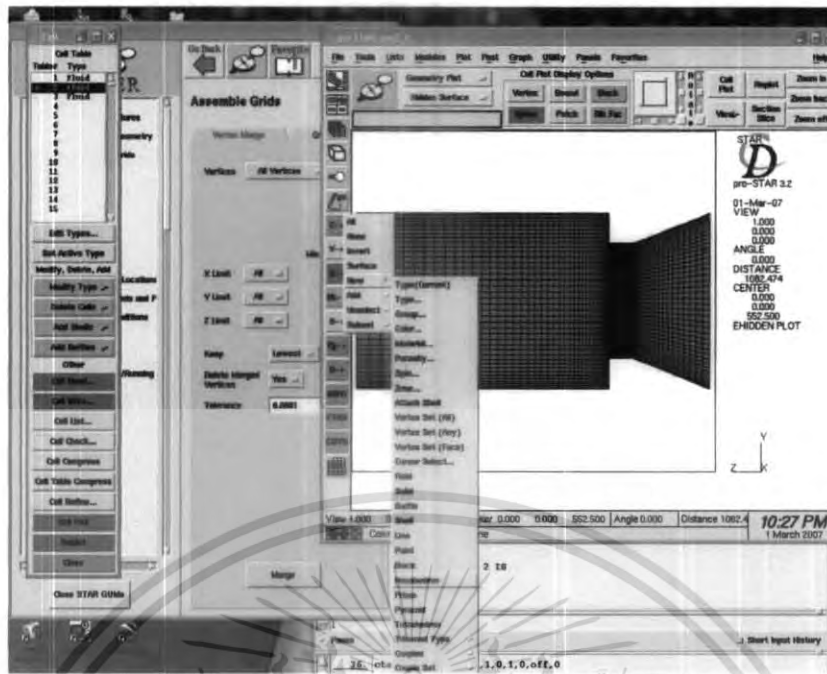
จากรูปที่ 6-60 ใช้คำสั่ง Assemble Grids ในการ Matching เซลล์ที่มีขนาดไม่เท่ากัน โดยเข้าที่คำสั่ง Create and Import Grids → Assemble Grids → Merge



รูปที่ 6-61 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 6

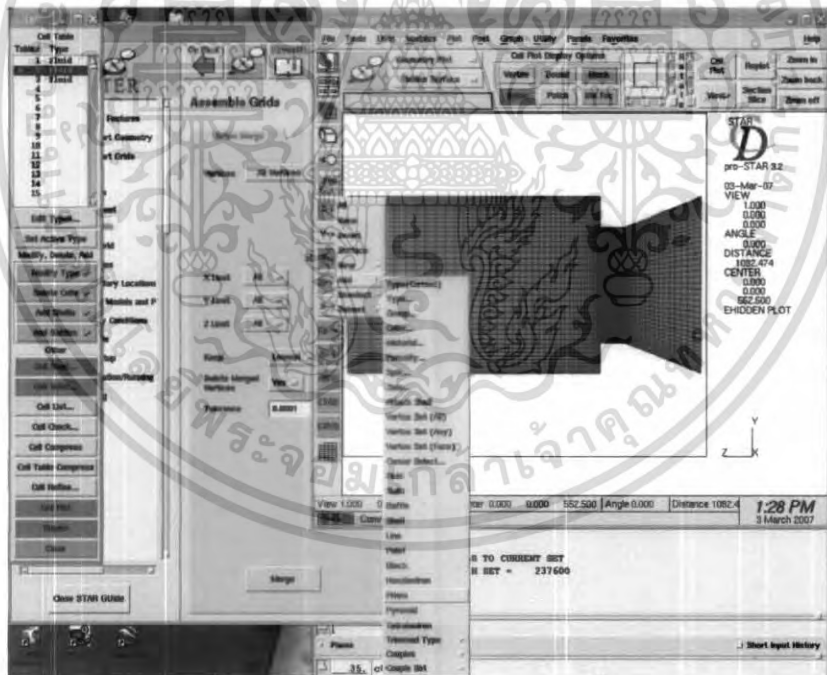
จากรูปที่ 6-61 ทำการเลือกเซลล์ที่เราต้องการแบ่งโดยเข้าที่คำสั่ง Tools → Cell Tool → Edit type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-62 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 7

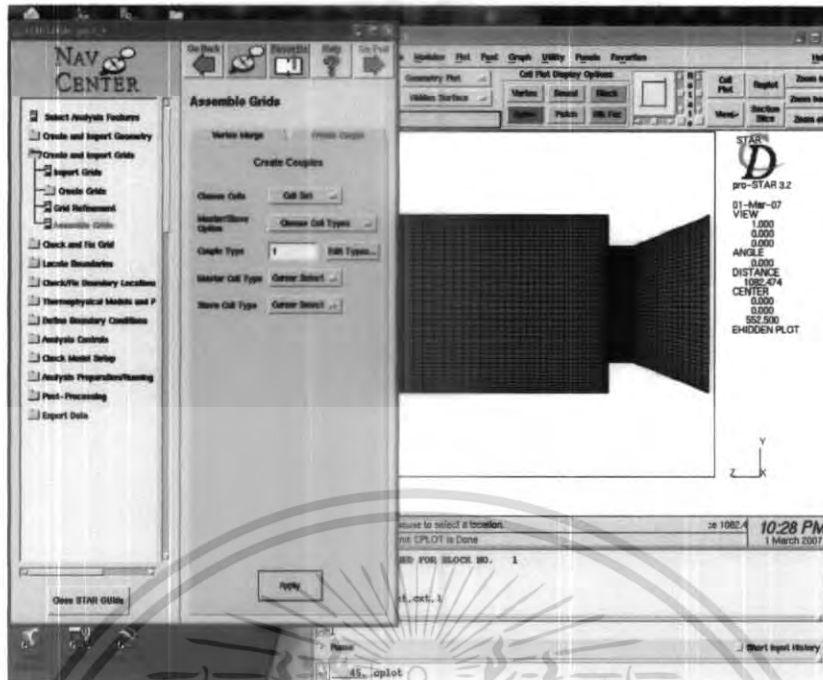
จากรูปที่ 6-62 ทำการ Couple Cell เพื่อเชื่อมผิวเซลล์ที่ขนาดไม่เท่ากัน โดยเข้าที่คำสั่ง C-> → New → Hexahedron



รูปที่ 6-63 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 8

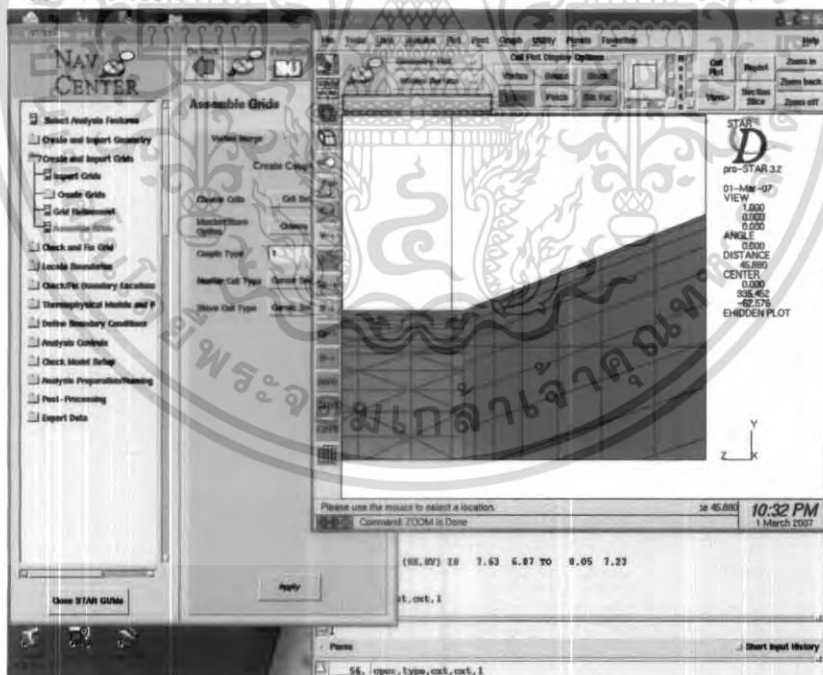
จากรูปที่ 6-63 ทำการ Couple Cell อีกครั้ง โดยการเข้าที่คำสั่ง C-> → Add → Prism

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-64 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 9

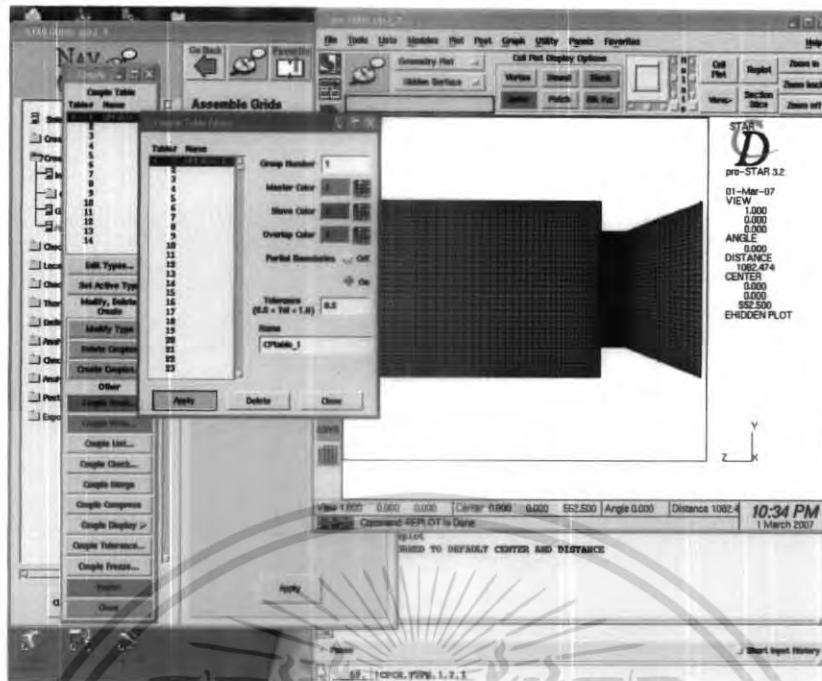
จากรูปที่ 6-64 ทำการเลือกเซลล์ที่ต้องการให้เป็น Master และ Slave โดยเข้าที่คำสั่ง Create and Import Grids → Assemble Grids → Create Couple → Master / Slave Option → Choose Cell Type → Apply



รูปที่ 6-65 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 10

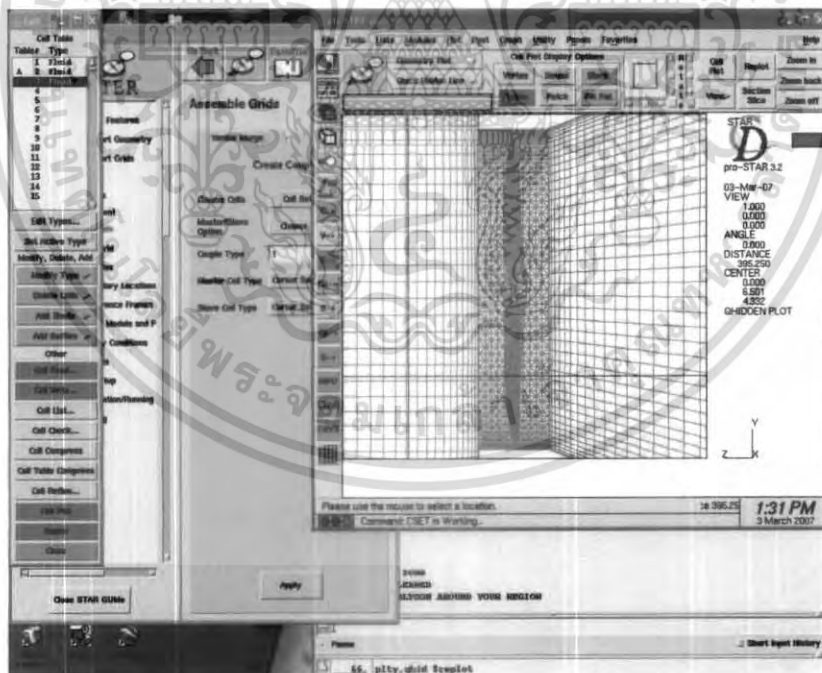
จากรูปที่ 6-65 ทำการเลือกเซลล์ Master และ Slave โดยเซลล์สีแดงเป็น Master และเซลล์สีเขียว เป็น Slave ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-66 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 11

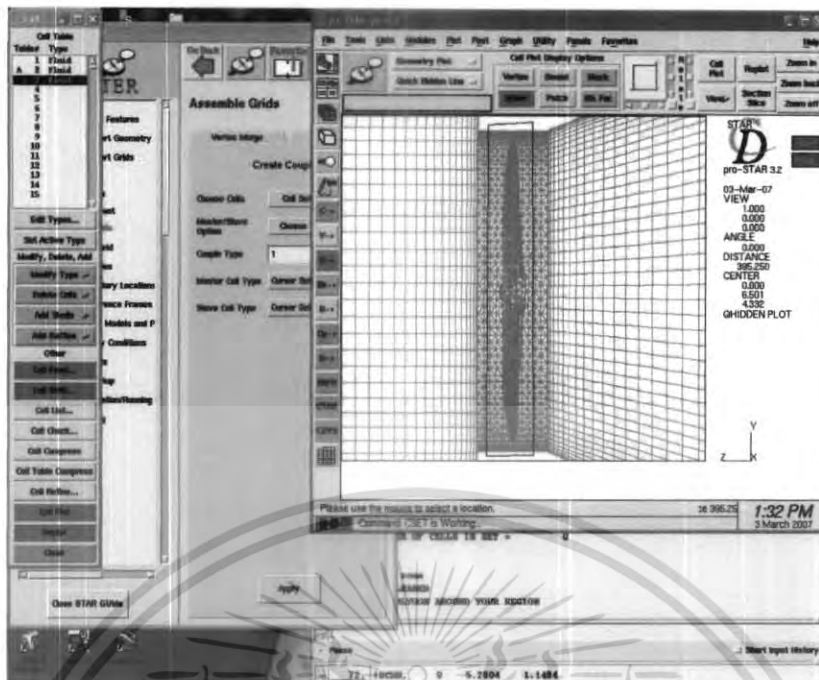
จากรูปที่ 6-66 ทำการ Set Tolerance ของ Cell ที่ทำการ Couple แล้วโดยเข้าที่คำสั่ง Tools → Couple Tool → Edit Types → Partial Boundaries → On → Apply



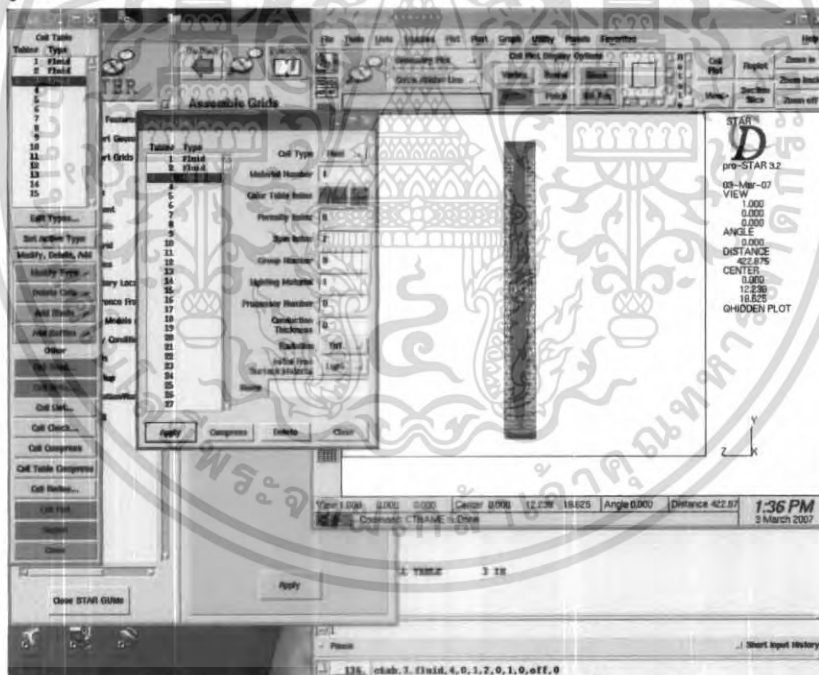
รูปที่ 6-67 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 12

จากรูปที่ 6-67 เลือก Zone ที่เราต้องการ โดยเข้าที่คำสั่ง C-> → New → Zone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

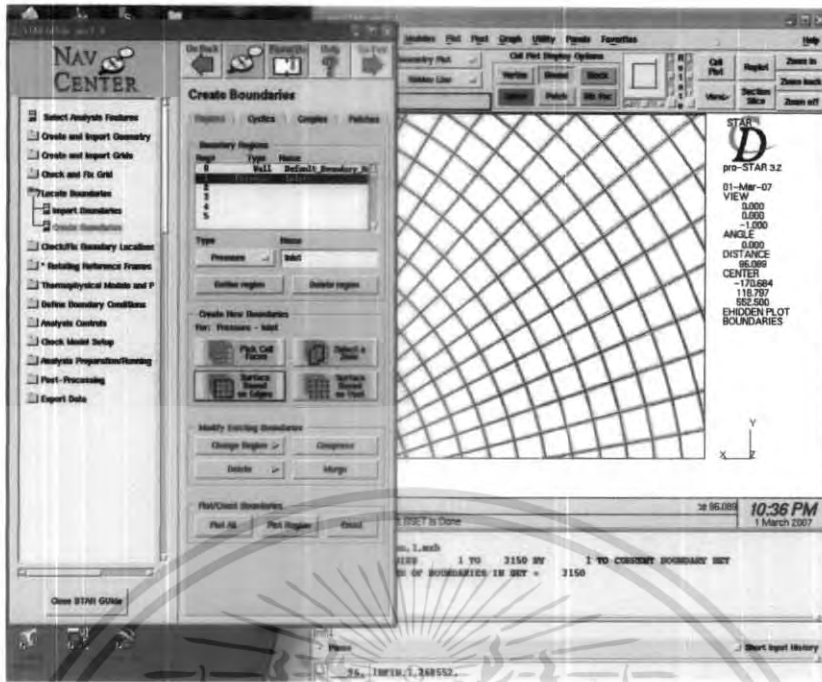


รูปที่ 6-68 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 13  
จากรูปที่ 6-68 ทำการเลือก Zone ที่เราต้องการ โดยการครอบเซลล์ที่เราต้องการ



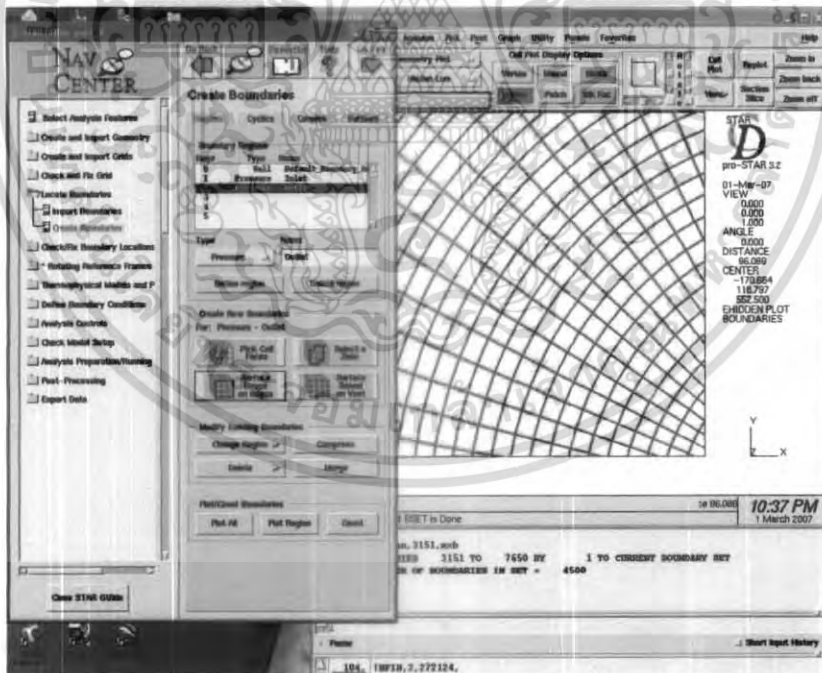
รูปที่ 6-69 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 14  
จากรูปที่ 6-69 ตรงใบพัดที่เราทำการแบ่งเป็นเซลล์อีกชนิดหนึ่ง ทำการเลือก Spin Index เป็น 2  
เพื่อที่จะให้ Spin Index เบอร์ 2 เป็นการหมุนที่มีความเร็วรอบที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-70 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 15

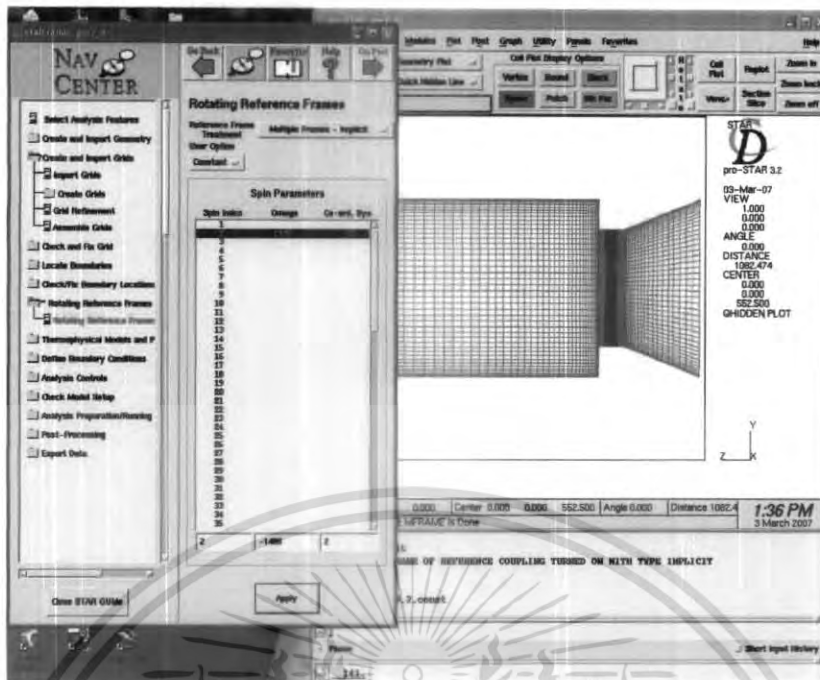
จากรูปที่ 6-70 ทำการกำหนด Boundary โดยเข้าที่คำสั่ง Locate Boundaries → Create Boundary ทำการเลือกทางเข้าของอากาศ โดยเลือกเป็น Pressure และทำการเลือกเซลล์ที่เป็นทางเข้าของอากาศโดยการเลือกเซลล์แบบ Surface Based On Edges



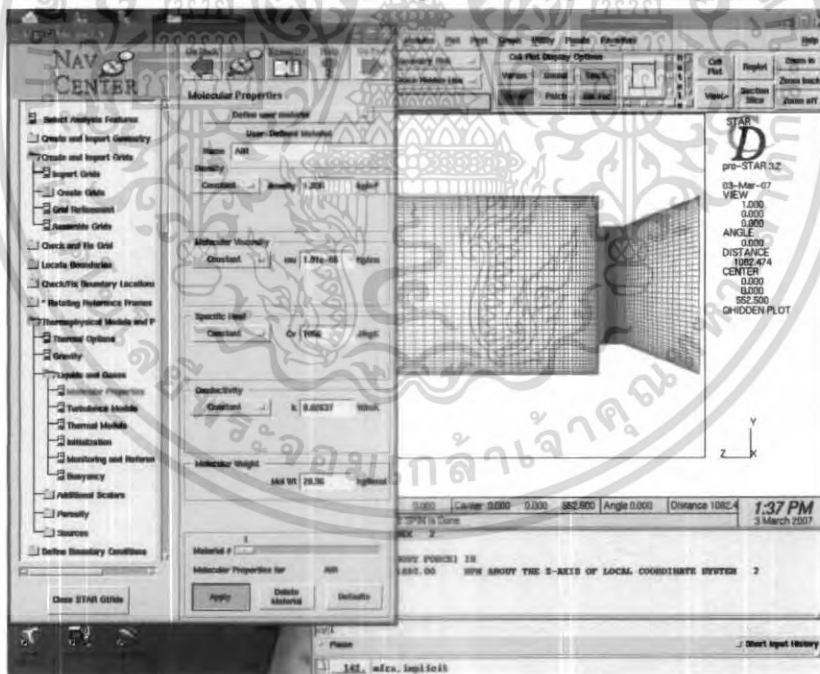
รูปที่ 6-71 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 16

จากรูปที่ 6-71 ทำการเลือกทางออกของอากาศ โดยเลือก Pressure และทำการเลือกเซลล์ที่เป็นทางออกของอากาศโดยการเลือกเซลล์แบบ Surface Based On Edges

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

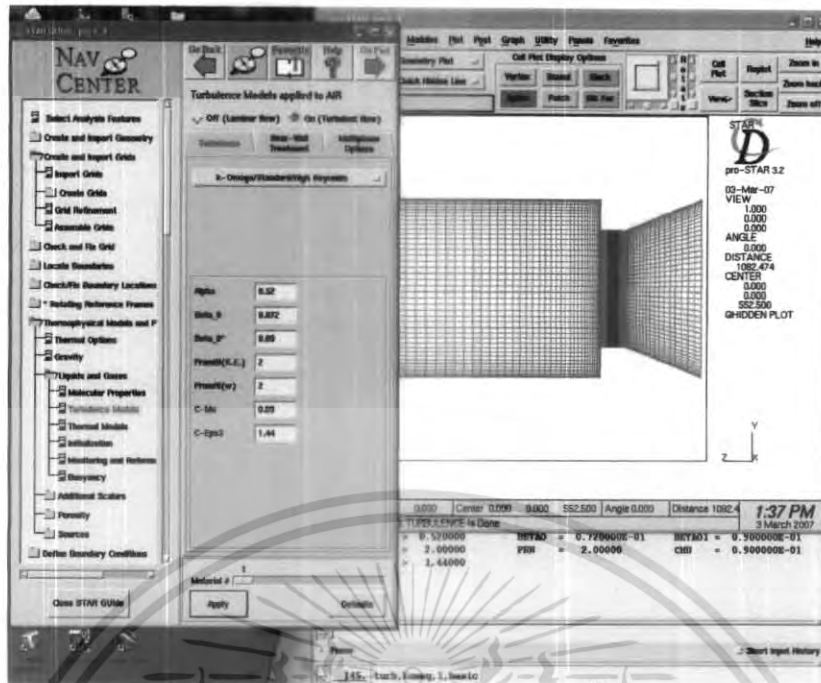


รูปที่ 6-72 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 17  
 จากรูปที่ 6-72 ทำการเลือกความเร็วรอบของใบพัดโดยเข้าที่คำสั่ง Rotating Reference Frame  
 → Reference Frame Treatment → Multiple Frame-Implicit → Apply

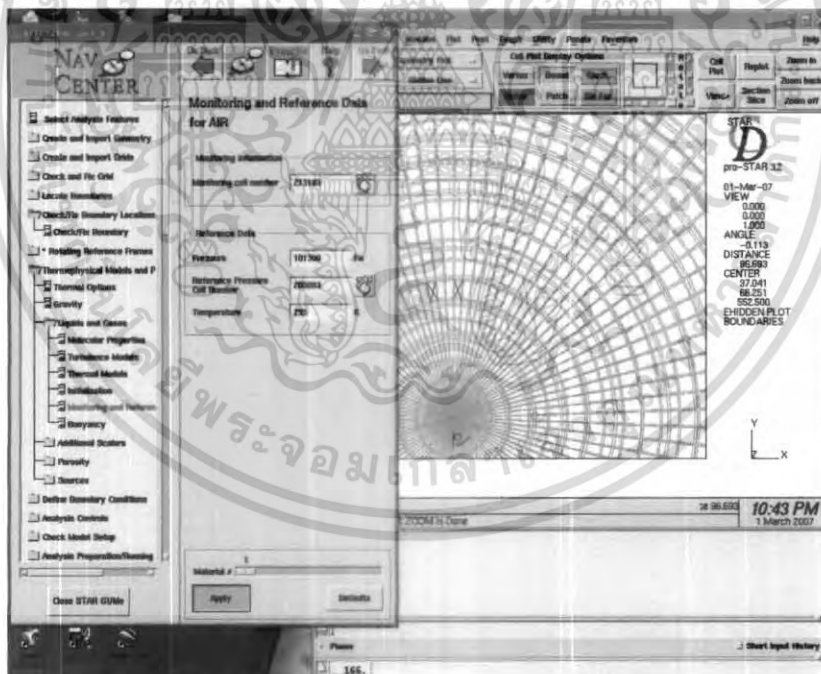


รูปที่ 6-73 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 18  
 จากรูปที่ 6-73 ทำการเลือกคุณสมบัติต่างๆของของไหล โดยเข้าที่คำสั่ง Thermophysical Models and Properties → Liquid and Gases → Molecular Properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-74 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 19  
จากรูปที่ 6-74 ทำการเลือก Turbulence Models โดยเข้าที่คำสั่ง Thermophysical Models and Properties → Turbulence Models

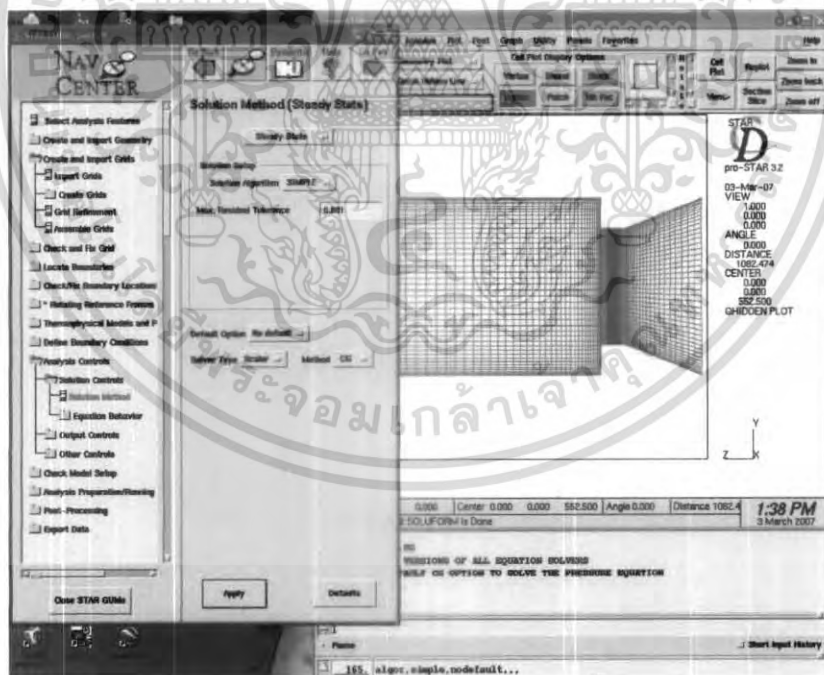


รูปที่ 6-75 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 20  
จากรูปที่ 6-75 ทำการเลือก Monitoring and Reference Data for Air โดยเข้าคำสั่งที่ Thermophysical Models and Properties → Monitoring and Reference Data for Air

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

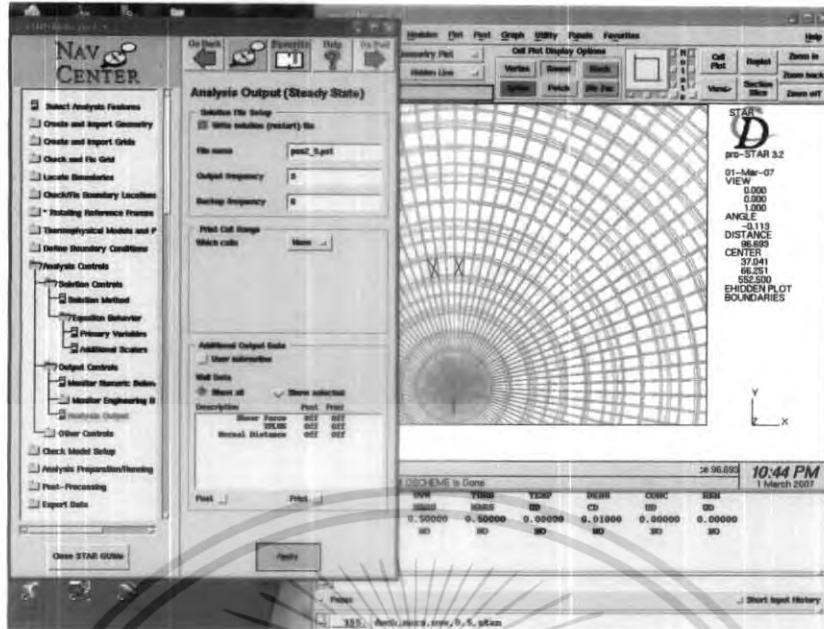


รูปที่ 6-76 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 21  
จากรูปที่ 6-76 ทำการกำหนดสถานะของ Boundary โดยเข้าไปคำสั่งที่ Define Boundary  
Conditions → Define Boundary Regions

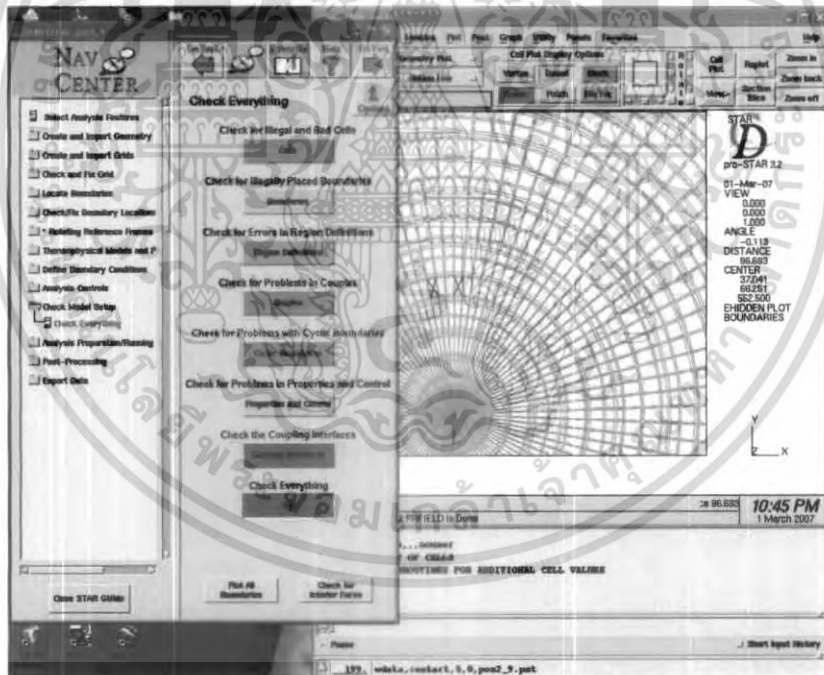


รูปที่ 6-77 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 22  
จากรูปที่ 6-77 วิธีแก้ไขปัญหา โดยเข้าคำสั่งที่ Analysis Control → Solution Method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

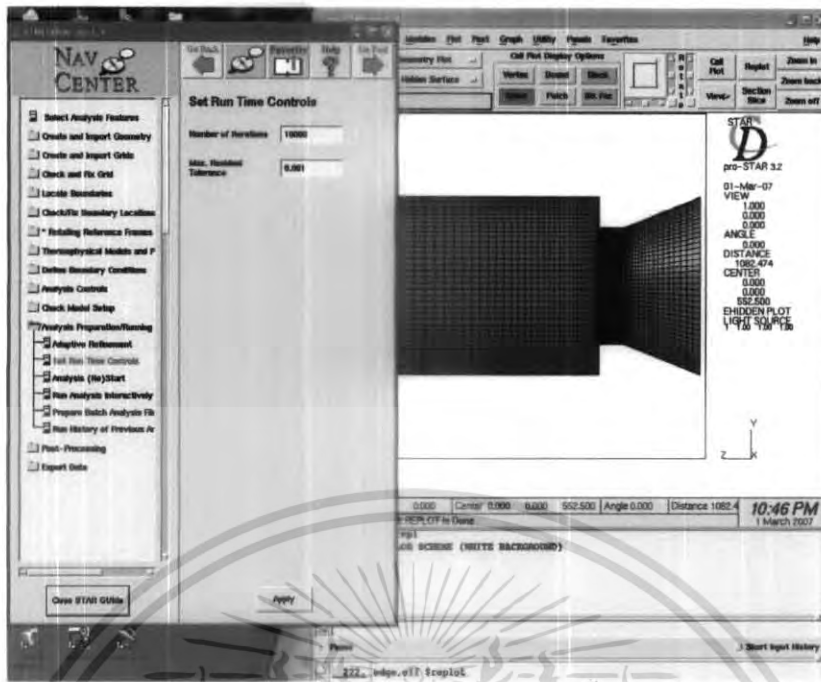


รูปที่ 6-78 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 23  
 จากรูปที่ 6-78 ทำการเลือกว่าจะให้เซฟเมื่อทำทุกๆ กี่ครั้ง และเซฟลงที่ใด โดยเข้าที่คำสั่ง  
 Output Controls → Analysis Output

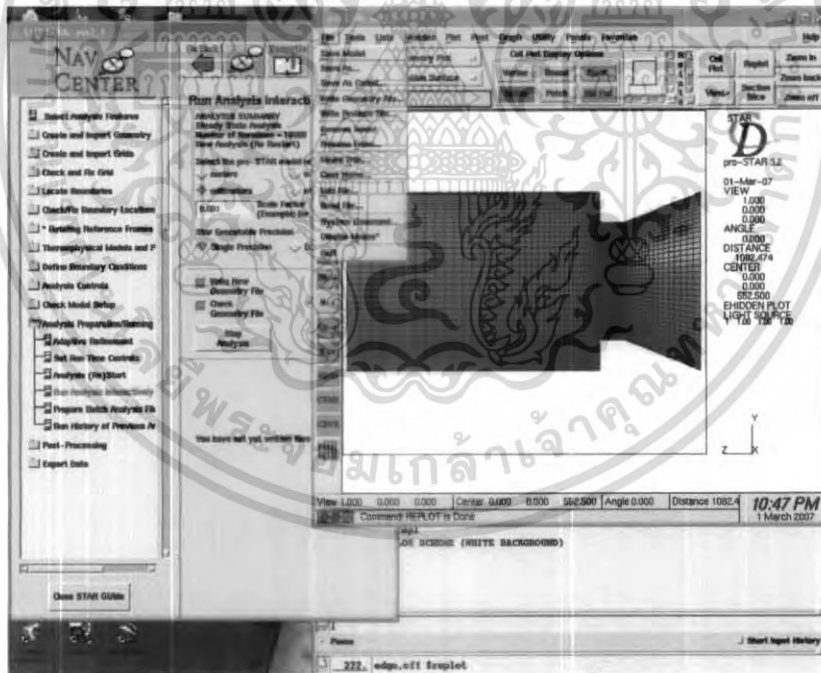


รูปที่ 6-79 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 24  
 จากรูปที่ 6-79 ทำการตรวจสอบว่ามี Error หรือไม่ โดยเข้าคำสั่งที่ Check Model Setup →  
 Check Everything

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

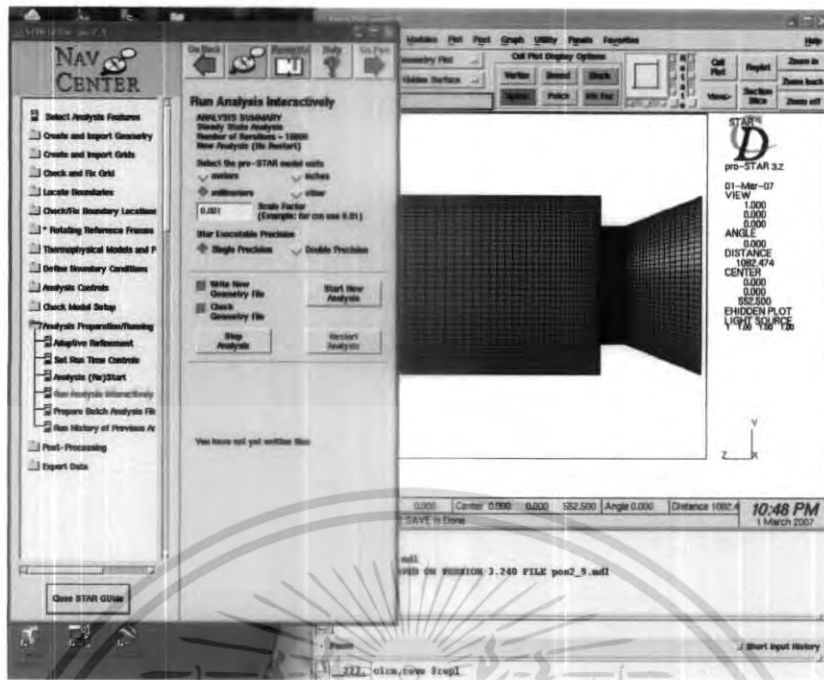


รูปที่ 6-80 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 25  
 จากรูปที่ 6-80 ทำการกำหนดค่าจะ ให้แก้ปัญหาที่ครั้ง โดยเข้าคำสั่งที่ Analysis Preparation /  
 Running → Set Run Time Controls



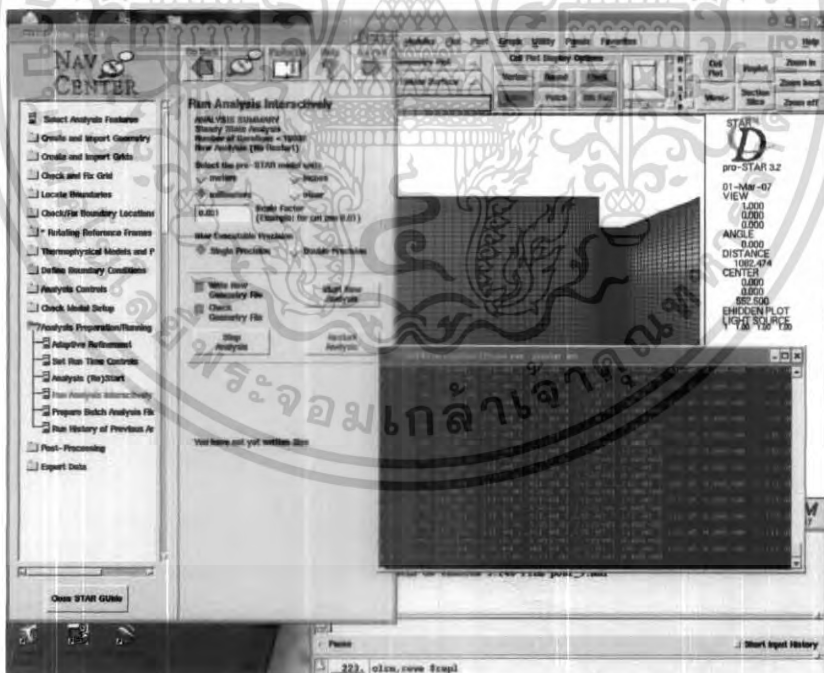
รูปที่ 6-81 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 26  
 จากรูปที่ 6-81 ทำการเซฟข้อมูลที่ ได้ใส่ลงไป โดยเข้าไปที่ File → Save model และดู Error  
 ต่างๆที่ เกิดขึ้น โดยเข้าคำสั่งที่ File → Write Geometry File → Write Problem File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-82 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 27

จากรูปที่ 6-82 ทำการเริ่มแก้ปัญหา โดยเลือกหน่วยว่าหน่วย Meters หรือ Millimeters โดยเข้าคำสั่งที่ Analysis Preparation / Running → Run Analysis Interactively

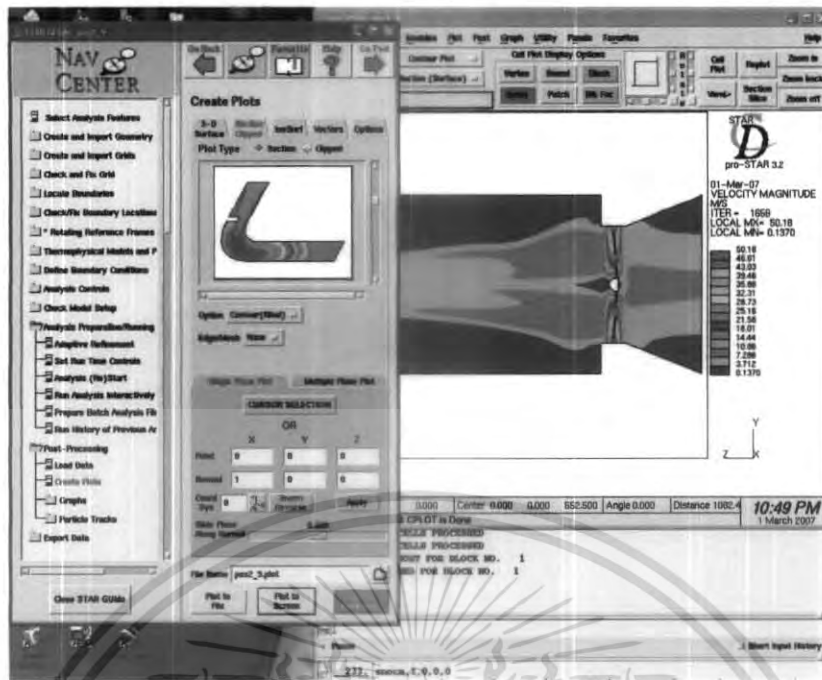


รูปที่ 6-83 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 28

จากรูปที่ 6-83 เริ่มทำการแก้ปัญหา โดยเข้าที่คำสั่ง Analysis Preparation / Running → Run Analysis Interactively → Start New Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 6-86 การใช้ Star-CD ในการจำลองผลขั้นตอนที่ 31  
จากรูปที่ 6-86 ทำการ Plots โดยเข้าที่คำสั่งที่ Post-Processing → Creates Plots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### ผลการทดลองและผลการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD

#### 7.1 การทดลองที่ความเร็วรอบ 1480 รอบ/นาที

| เบอร์ 1    | ครั้งที่ 1          | ครั้งที่ 2          | ครั้งที่ 3          | เฉลี่ย              |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ระยะ<br>cm | cm H <sub>2</sub> O | cm H <sub>2</sub> O | cm H <sub>2</sub> O | cm H <sub>2</sub> O |
| 0          | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |
| 1          | 5.8                 | 5.6                 | 5.9                 | 5.766667            |
| 2          | 6                   | 5.8                 | 5.9                 | 5.9                 |
| 3          | 6.2                 | 5.8                 | 5.9                 | 5.966667            |
| 4          | 6.2                 | 6                   | 6.1                 | 6.1                 |
| 5          | 6                   | 5.6                 | 5.9                 | 5.833333            |
| 6          | 6.2                 | 5.9                 | 5.9                 | 6                   |
| 7          | 6.4                 | 6                   | 6.1                 | 6.166667            |
| 8          | 6.4                 | 5.8                 | 6.1                 | 6.1                 |
| 9          | 6.4                 | 5.9                 | 6.1                 | 6.133333            |
| 10         | 6.4                 | 6                   | 6.2                 | 6.2                 |
| 11         | 6.4                 | 5.8                 | 6                   | 6.066667            |
| 12         | 6.6                 | 6.2                 | 6.4                 | 6.4                 |
| 13         | 6.4                 | 6                   | 6                   | 6.133333            |
| 14         | 6.4                 | 5.8                 | 6.1                 | 6.1                 |
| 15         | 6.4                 | 6                   | 6.2                 | 6.2                 |
| 15.5       | 6.4                 | 5.8                 | 6.2                 | 6.133333            |
| 16.5       | 6.2                 | 6.2                 | 6                   | 6.233333            |
| 17.5       | 6.4                 | 6.1                 | 6.2                 | 6.333333            |
| 18.5       | 6.6                 | 6.2                 | 6.2                 | 6.366667            |
| 19.5       | 6.6                 | 6.2                 | 6.3                 | 6.2                 |
| 20.5       | 6.4                 | 6                   | 6.2                 | 6.166667            |
| 21.5       | 6.4                 | 6                   | 6.1                 | 6.266667            |
| 22.5       | 6.4                 | 6.2                 | 6.2                 | 6.166667            |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| เบอร์ 1 | ครั้งที่ 1          | ครั้งที่ 2          | ครั้งที่ 3          | เฉลี่ย              |
|---------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| ระยะ    |                     |                     |                     |                     |
| cm      | cm H <sub>2</sub> O | cm H <sub>2</sub> O | cm H <sub>2</sub> O | cm H <sub>2</sub> O |
| 23.5    | 6.4                 | 6                   | 6.1                 | 6.033333            |
| 24.5    | 6.2                 | 5.9                 | 6                   | 5.966667            |
| 25.5    | 6.2                 | 5.8                 | 5.9                 | 5.866667            |
| 26.5    | 6                   | 5.8                 | 5.8                 | 5.8                 |
| 27.5    | 6                   | 5.6                 | 5.8                 | 5.633333            |
| 28.5    | 5.8                 | 5.4                 | 5.7                 | 5.6                 |
| 29.5    | 5.8                 | 5.4                 | 5.6                 | 5.6                 |
| 30.5    | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   |

ตารางที่ 7.1 ชุดข้อมูลดิบ

|    | ตำแหน่ง<br>ที่นำมา<br>เฉลี่ย | เฉลี่ย              | ความเร็ว |
|----|------------------------------|---------------------|----------|
|    |                              | cm H <sub>2</sub> O | m/s      |
| 1  | 0,1                          | 2.883333            | 21.4764  |
| 2  | 1,2                          | 5.833333            | 30.5473  |
| 3  | 2,3                          | 5.933333            | 30.808   |
| 4  | 3,4                          | 6.033333            | 31.0666  |
| 5  | 4,5                          | 5.966667            | 30.8943  |
| 6  | 5,6                          | 5.916667            | 30.7647  |
| 7  | 6,7                          | 6.083333            | 31.195   |
| 8  | 7,8                          | 6.133333            | 31.3229  |
| 9  | 8,9                          | 6.116667            | 31.2804  |
| 10 | 9,10                         | 6.166667            | 31.4078  |
| 11 | 10,11                        | 6.133333            | 31.323   |
| 12 | 11,12                        | 6.233333            | 31.5772  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|    | ตำแหน่ง<br>ที่นำมา<br>เฉลี่ย |                               |                 |
|----|------------------------------|-------------------------------|-----------------|
|    |                              | เฉลี่ย<br>cm H <sub>2</sub> O | ความเร็ว<br>m/s |
| 13 | 12,13                        | 6.266667                      | 31.6616         |
| 14 | 13,14                        | 6.116667                      | 31.2804         |
| 15 | 14,15                        | 6.15                          | 31.3655         |
| 16 | 15,15.5                      | 6.166667                      | 31.408          |
| 17 | 15.5,16.5                    | 6.183333                      | 31.4504         |
| 18 | 16.5,17.5                    | 6.283333                      | 31.7037         |
| 19 | 17.5,18.5                    | 6.35                          | 31.8714         |
| 20 | 18.5,19.5                    | 6.283333                      | 31.7036         |
| 21 | 19.5,20.5                    | 6.183333                      | 31.4504         |
| 22 | 20.5,21.5                    | 6.216667                      | 31.535          |
| 23 | 21.5,22.5                    | 6.216667                      | 31.535          |
| 24 | 22.5,23.5                    | 6.1                           | 31.2377         |
| 25 | 23.5,24.5                    | 6                             | 30.9806         |
| 26 | 24.5,25.5                    | 5.916667                      | 30.7647         |
| 27 | 25.5,26.5                    | 5.833333                      | 30.5472         |
| 28 | 26.5,27.5                    | 5.716667                      | 30.2401         |
| 29 | 27.5,28.5                    | 5.616667                      | 29.974          |
| 30 | 28.5,29.5                    | 5.6                           | 29.9301         |
| 31 | 29.5,30.5                    | 2.8                           | 21.1638         |

ตารางที่ 7.2 ชุดข้อมูลเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|       | ความเร็ว<br>เฉลี่ย | พ.ท หน้า<br>ตัด | อัตราการ<br>ไหล   |
|-------|--------------------|-----------------|-------------------|
|       | m/s                | m <sup>2</sup>  | m <sup>3</sup> /s |
| 1,31  | 21.3201            | 0.0118          | 0.25157718        |
| 2,30  | 30.2387            | 0.011           | 0.3326257         |
| 3,29  | 30.391             | 0.0102          | 0.3099882         |
| 4,28  | 30.65335           | 0.0094          | 0.28814149        |
| 5,27  | 30.72075           | 0.0086          | 0.26419845        |
| 6,26  | 30.7647            | 0.0078          | 0.23996466        |
| 7,25  | 31.0878            | 0.007           | 0.2176146         |
| 8,24  | 31.2803            | 0.0062          | 0.19393786        |
| 9,23  | 31.4077            | 0.0054          | 0.16960158        |
| 10,22 | 31.4714            | 0.0046          | 0.14476844        |
| 11,21 | 31.3867            | 0.0038          | 0.11926946        |
| 12,20 | 31.6404            | 0.003           | 0.0949212         |
| 13,19 | 31.7665            | 0.0022          | 0.0698863         |
| 14,18 | 31.49205           | 0.0014          | 0.04408887        |
| 15,17 | 31.40795           | 0.0006          | 0.01884477        |
| 16    | 31.408             | 0.000025        | 0.0007852         |
|       |                    | รวม             | 2.76021396        |

ตารางที่ 7.3 อัตราการไหลเชิงมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2 ผลการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD ในการคำนวณอัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)

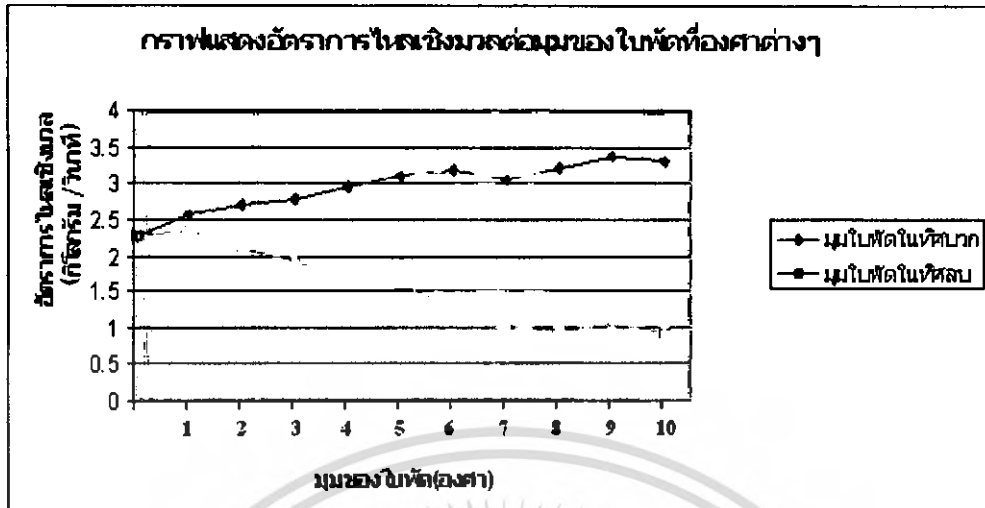
| ใบ        | อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s) | พื้นที่หน้าตัด (mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------------------|-----------------------------------|
| ต้นแบบ    | 2.26547                   | 784759                            |
| มุม + 1°  | 2.55837                   | 784759                            |
| มุม + 2°  | 2.69555                   | 784760                            |
| มุม + 3°  | 2.78336                   | 784759                            |
| มุม + 4°  | 2.96318                   | 784759                            |
| มุม + 5°  | 3.09124                   | 784759                            |
| มุม + 6°  | 3.18949                   | 784759                            |
| มุม + 7°  | 3.04785                   | 784759                            |
| มุม + 8°  | 3.22157                   | 784759                            |
| มุม + 9°  | 3.38253                   | 784759                            |
| มุม + 10° | 3.30718                   | 784759                            |

ตารางที่ 7.4 อัตราการไหลเชิงมวลที่องศาใบพัดต่างๆ

| ใบ        | อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s) | พื้นที่หน้าตัด (mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------------------|-----------------------------------|
| ต้นแบบ    | 2.26547                   | 784759                            |
| มุม - 1°  | 2.36553                   | 784759                            |
| มุม - 2°  | 2.11364                   | 789745                            |
| มุม - 3°  | 1.92145                   | 791007                            |
| มุม - 4°  | 1.61967                   | 784347                            |
| มุม - 5°  | 1.57598                   | 784347                            |
| มุม - 6°  | 1.26324                   | 784347                            |
| มุม - 7°  | 1.01107                   | 784347                            |
| มุม - 8°  | 0.948743                  | 784347                            |
| มุม - 9°  | 1.03248                   | 791077                            |
| มุม - 10° | 0.917881                  | 788834                            |

ตารางที่ 7.5 อัตราการไหลเชิงมวลที่องศาใบพัดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 กราฟแสดงอัตราการไหลเชิงมวลต่อมวลของมุม ใบพัดที่องศาต่างๆ

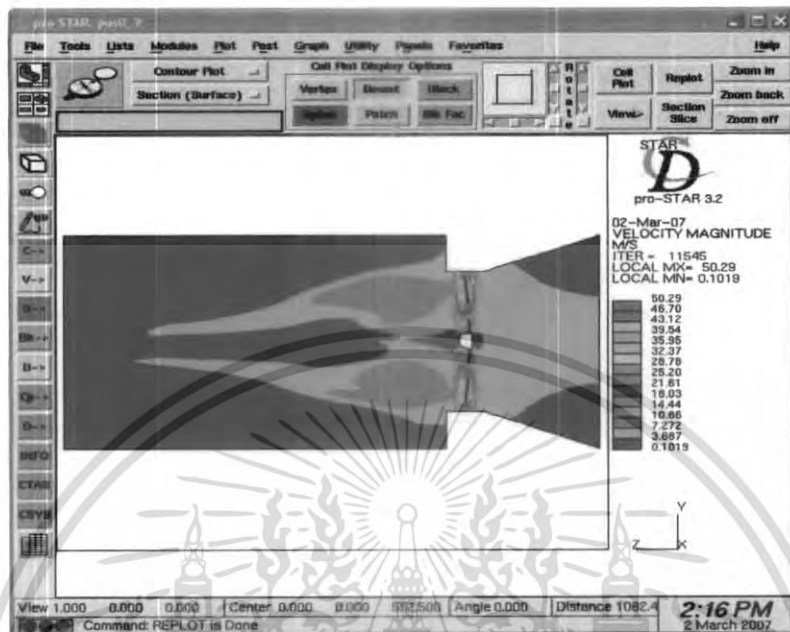
### 7.3 เปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและผลการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD ของใบพัดต้นแบบ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

| อัตราการไหลเชิงมวล ที่ได้จากการทดลอง (kg/s) | อัตราการไหลเชิงมวล ที่ได้จากการจำลองผล (kg/s) | ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| 2.76021                                     | 2.26547                                       | 17.92400                      |

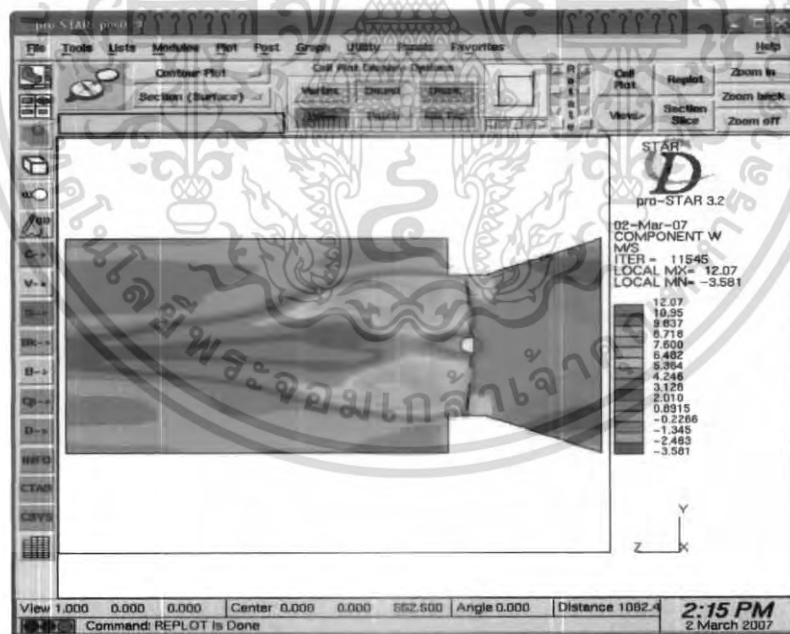
ตารางที่ 7.6 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

## 7.4 ผลการจำลองผลโดยโปรแกรม Star-CD

### 7.4.1 ผลการจำลองผลของใบพัดต้นแบบ



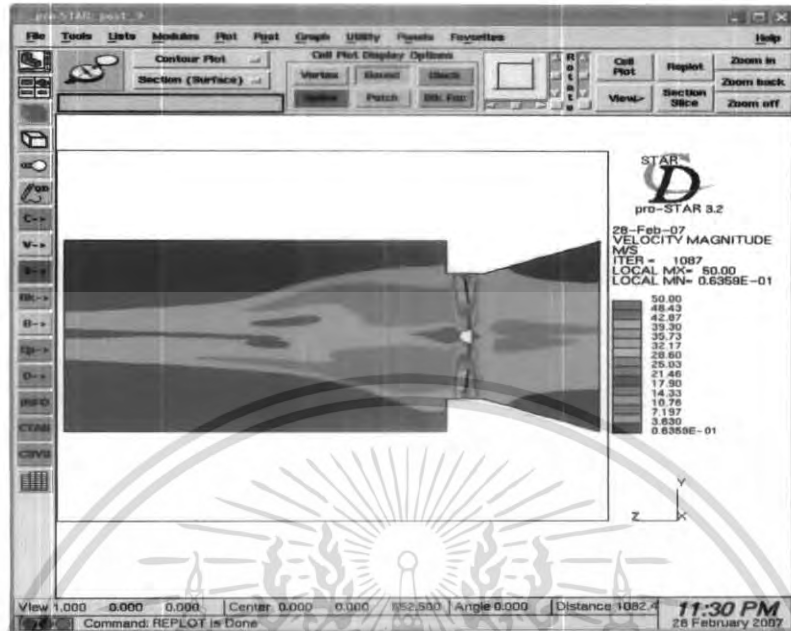
รูปที่ 7.2 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



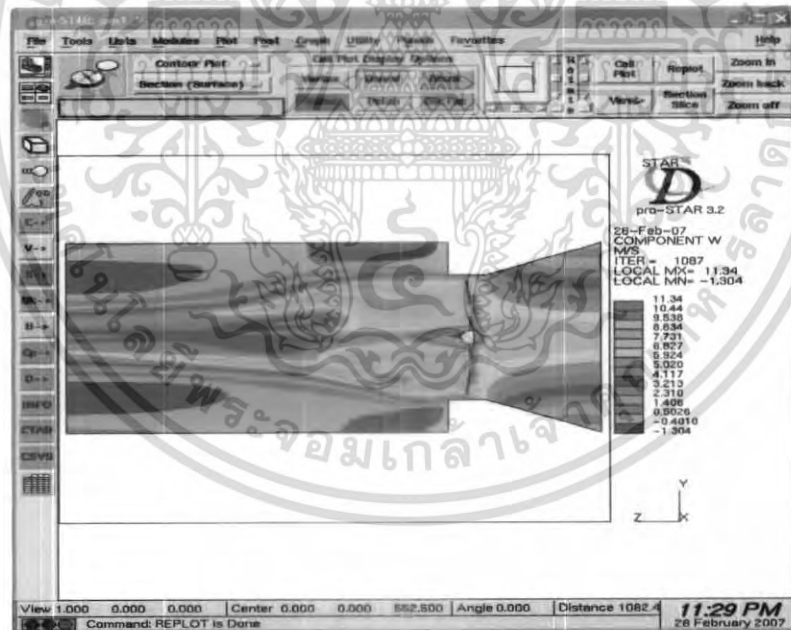
รูปที่ 7.3 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.2 ผลการจำลองผลของใบพัด +1°



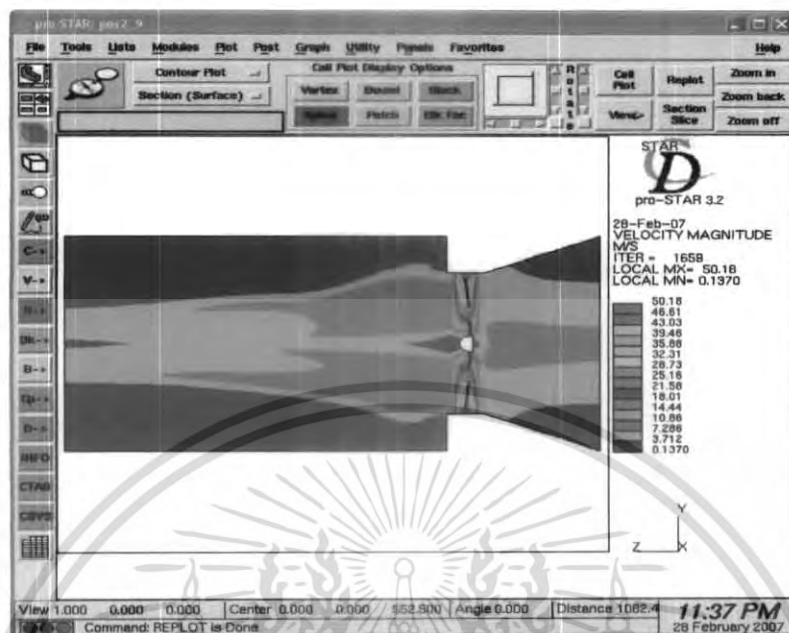
รูปที่ 7.4 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



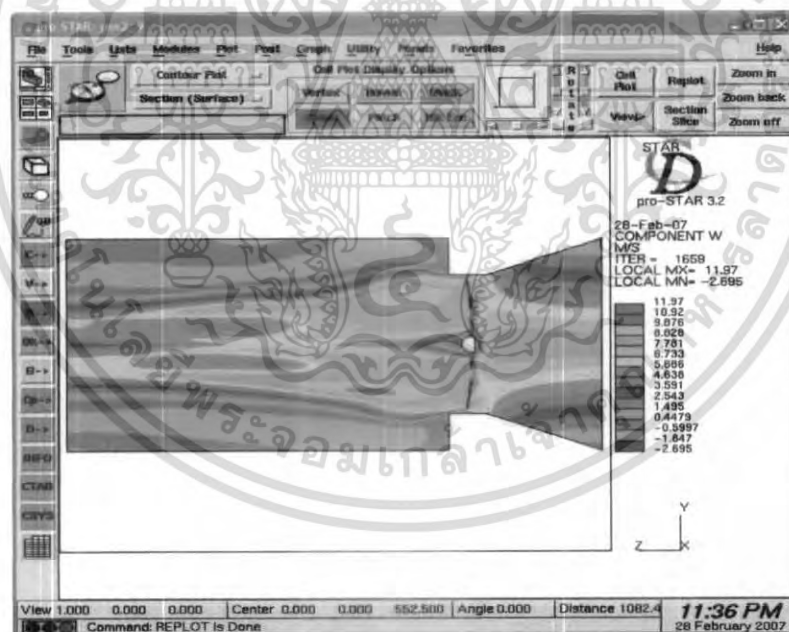
รูปที่ 7.5 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.3 ผลการจำลองผลของใบพัด +2°



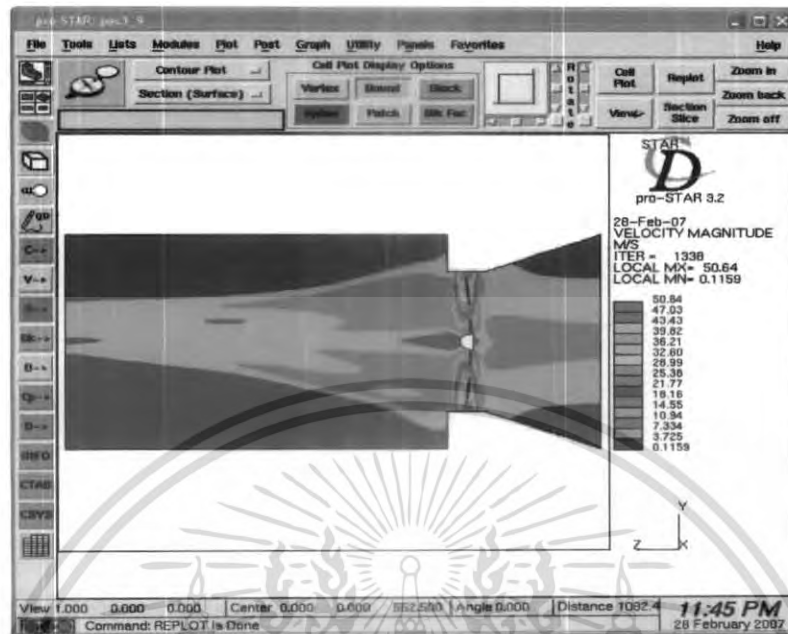
รูปที่ 7.6 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



รูปที่ 7.7 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 7.4.4 ผลการจำลองผลของใบพัด +3°



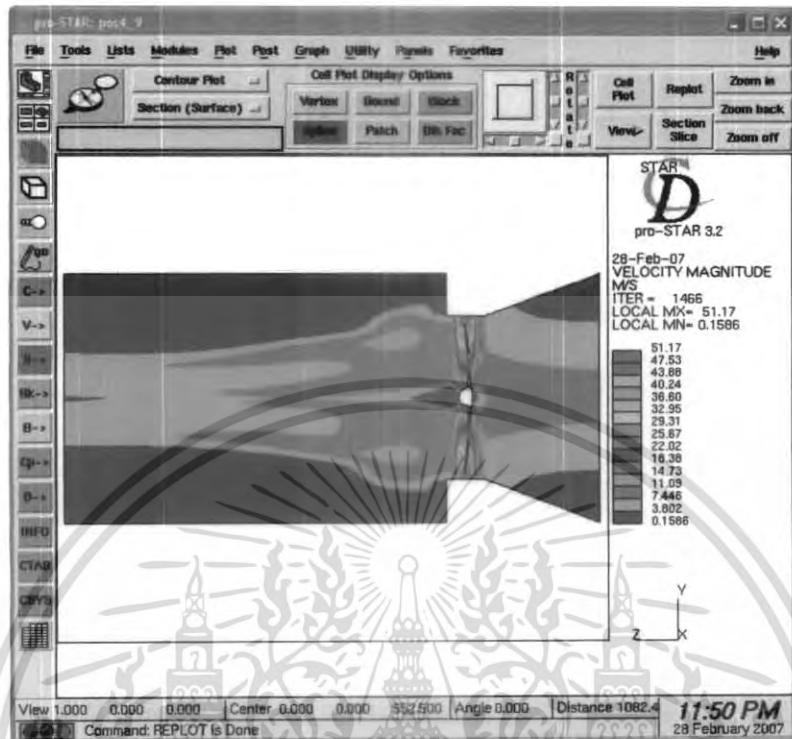
รูปที่ 7.8 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



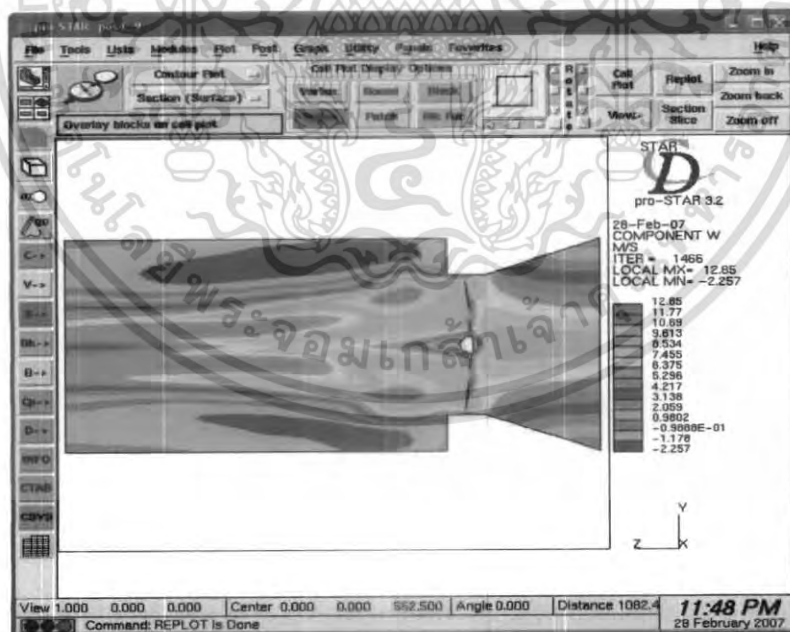
รูปที่ 7.9 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.4.5 ผลการจำลองผลของใบพัด +4°



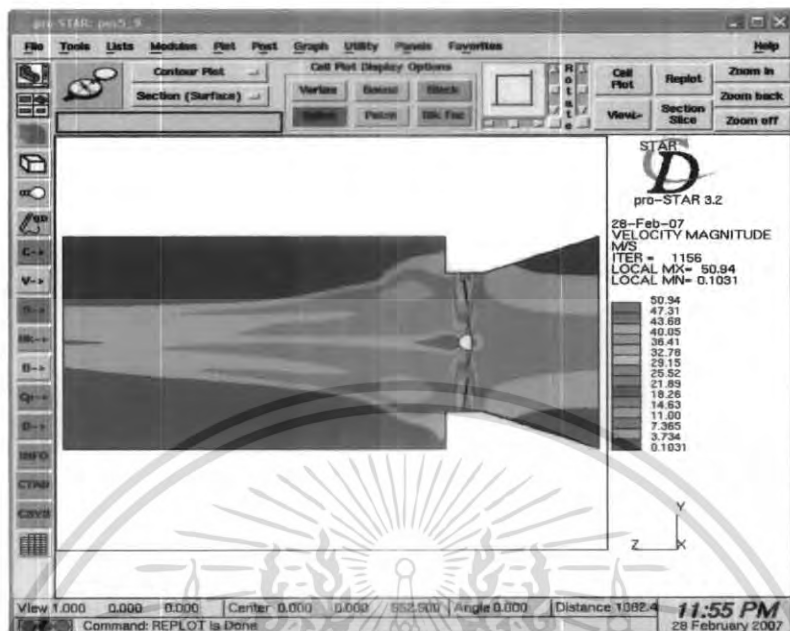
รูปที่ 7.10 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



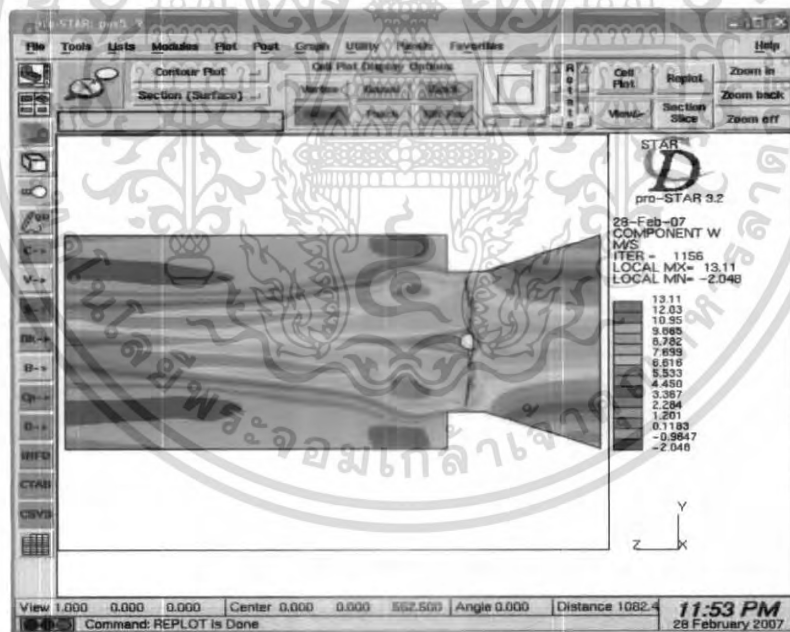
รูปที่ 7.11 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.6 ผลการจำลองผลของใบพัด +5°



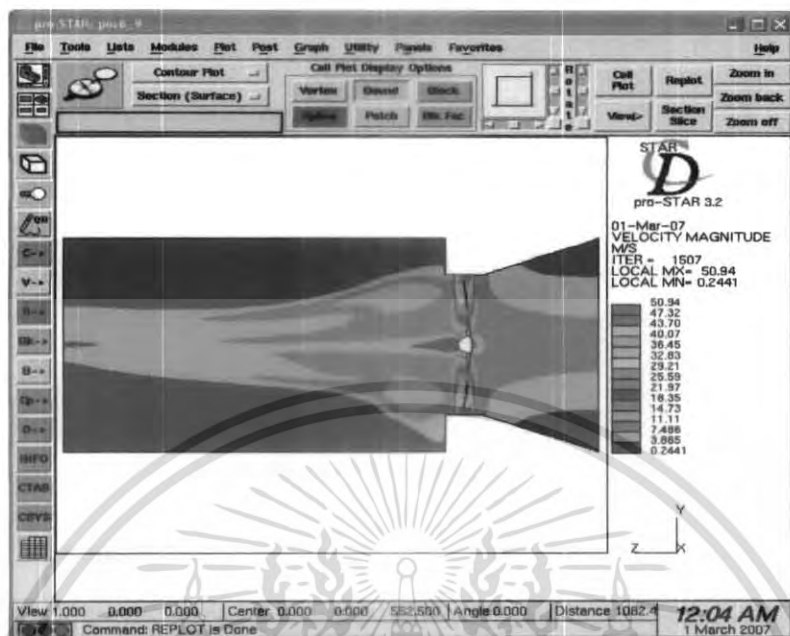
รูปที่ 7.12 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



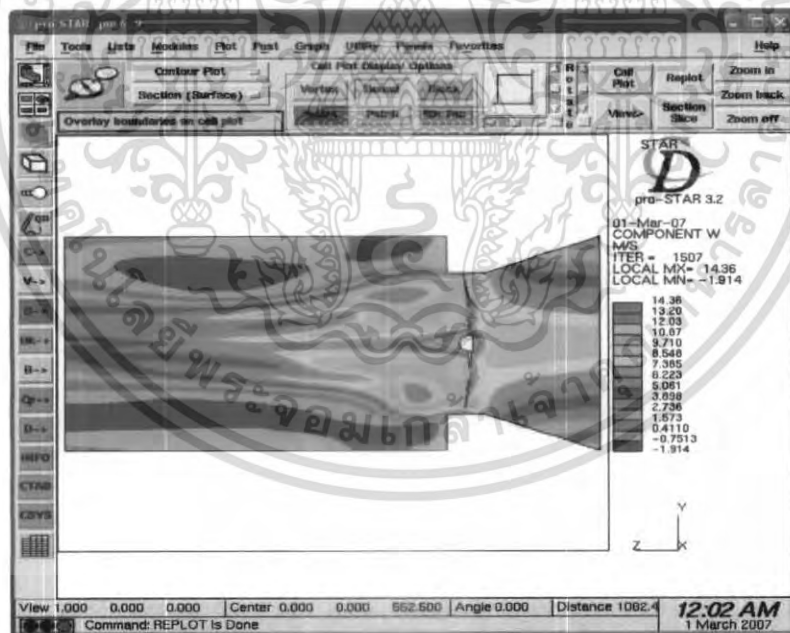
รูปที่ 7.13 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.7 ผลการจำลองผลของใบพัด +6°



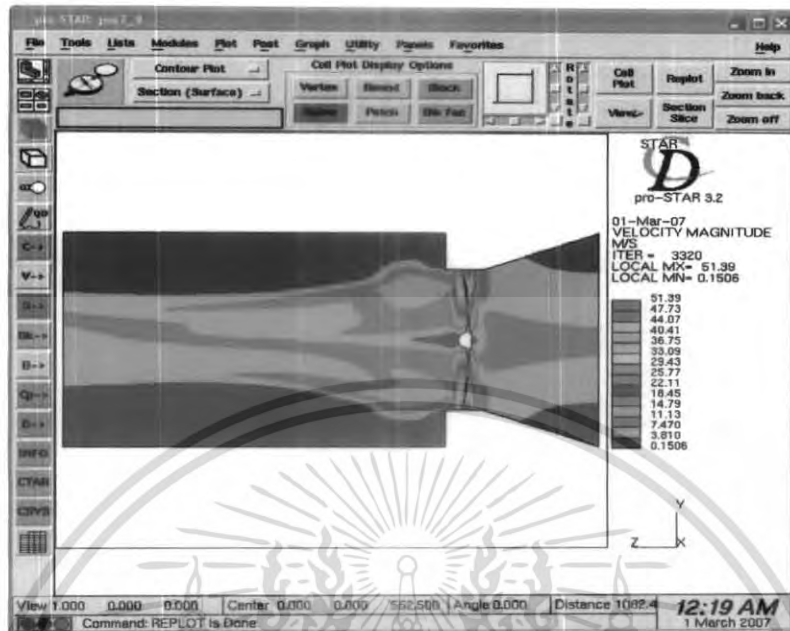
รูปที่ 7.14 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



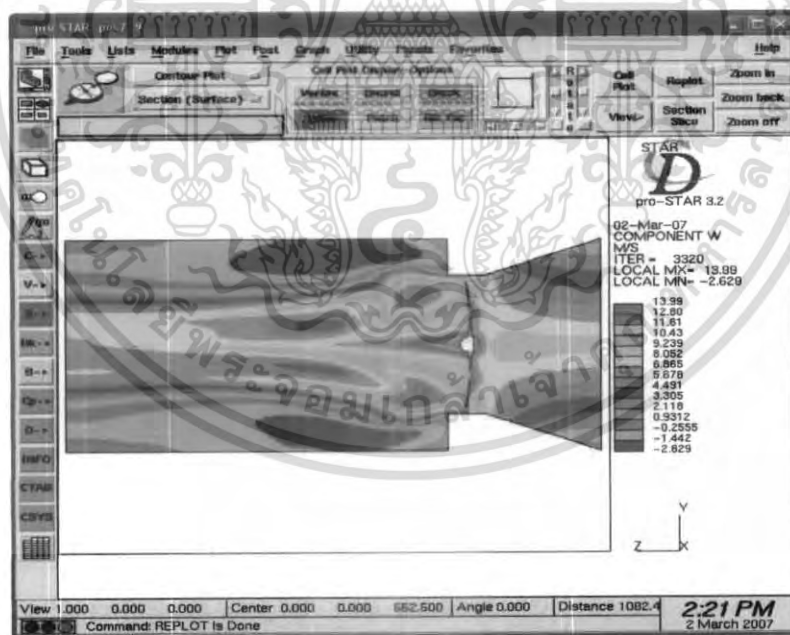
รูปที่ 7.15 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.8 ผลการจำลองผลของใบพัด +7°



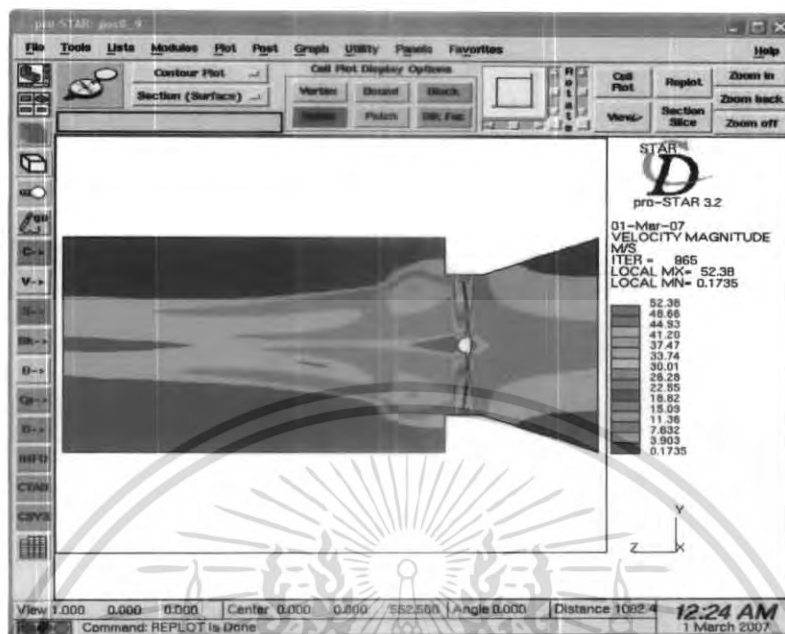
รูปที่ 7.16 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



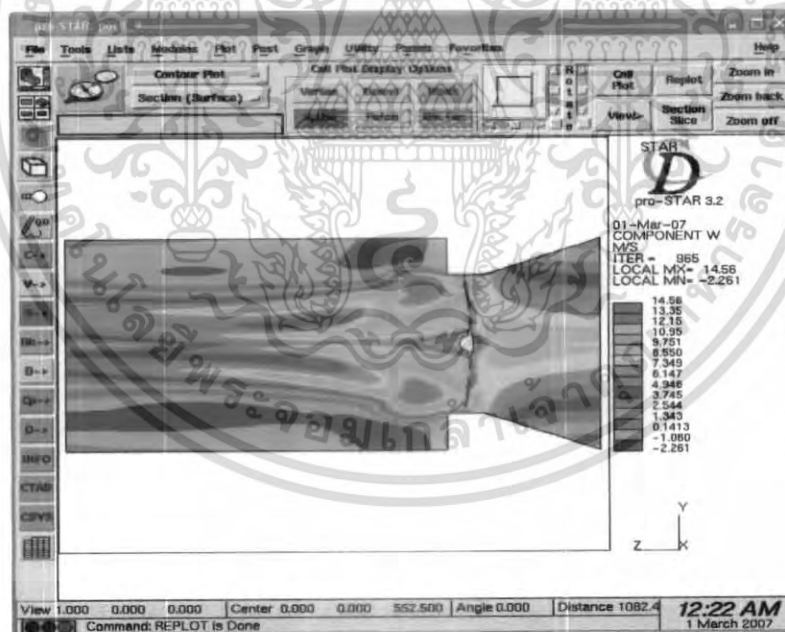
รูปที่ 7.17 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.9 ผลการจำลองผลของใบพัด +8°



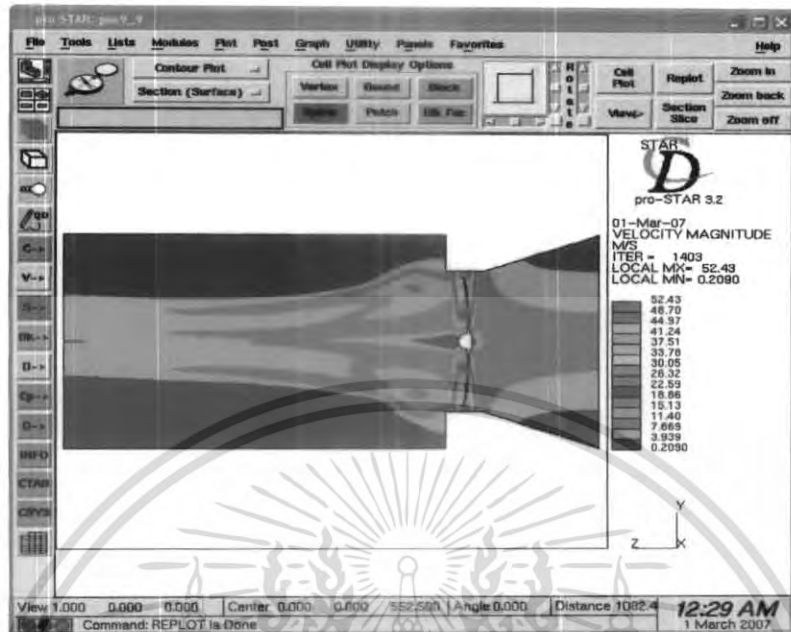
รูปที่ 7.18 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



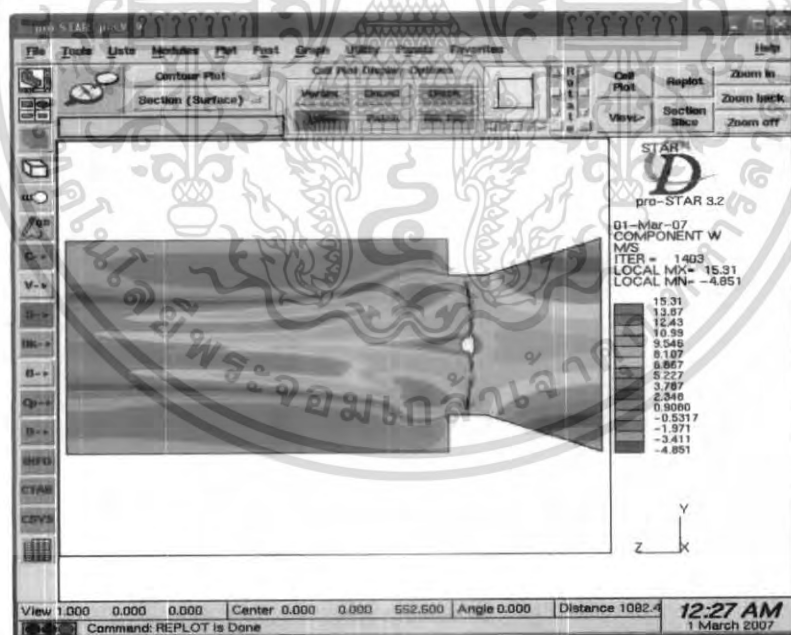
รูปที่ 7.19 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.10 ผลการจำลองผลของใบพัด +9°



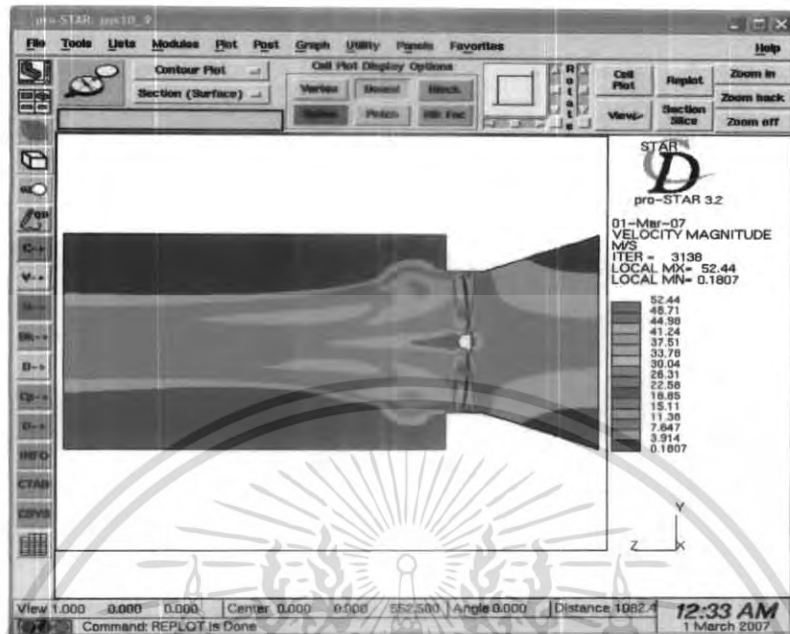
รูปที่ 7.20 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



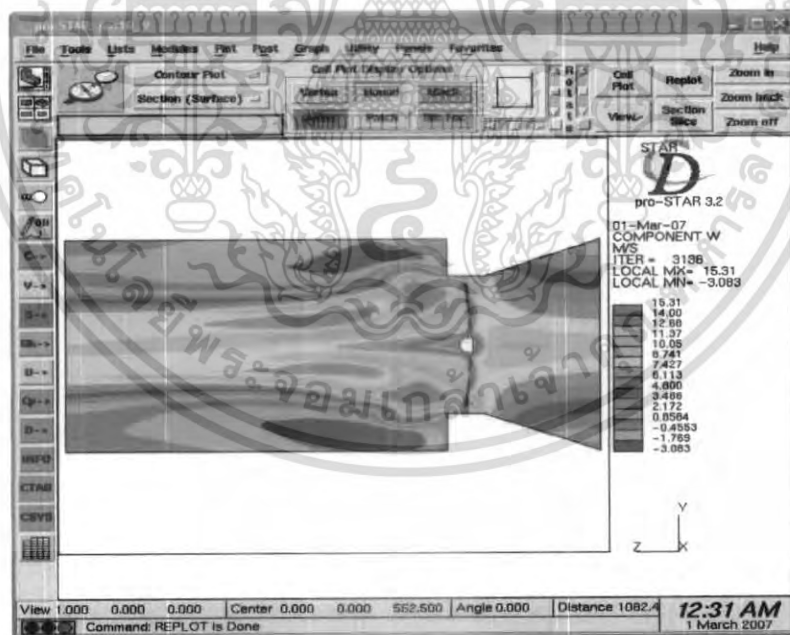
รูปที่ 7.21 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.11 ผลการจำลองผลของไบพัด +10°



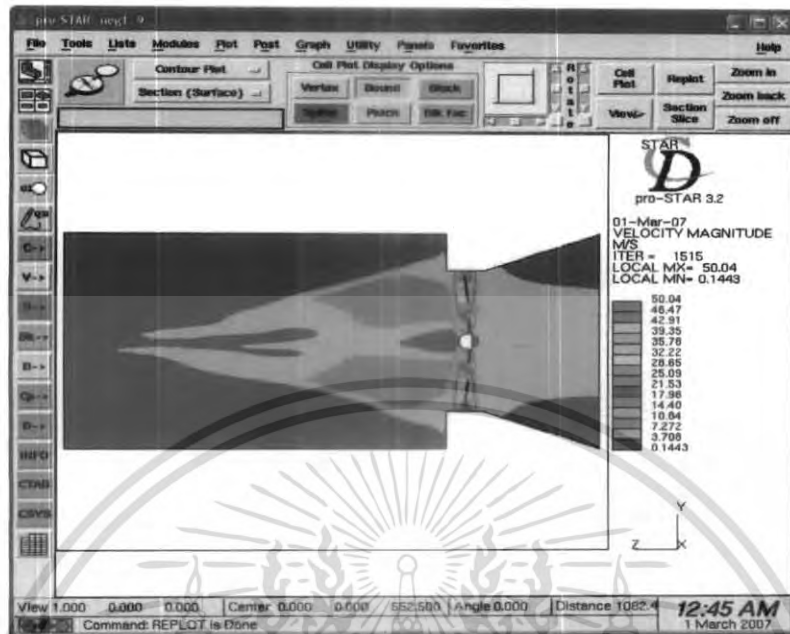
รูปที่ 7.22 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



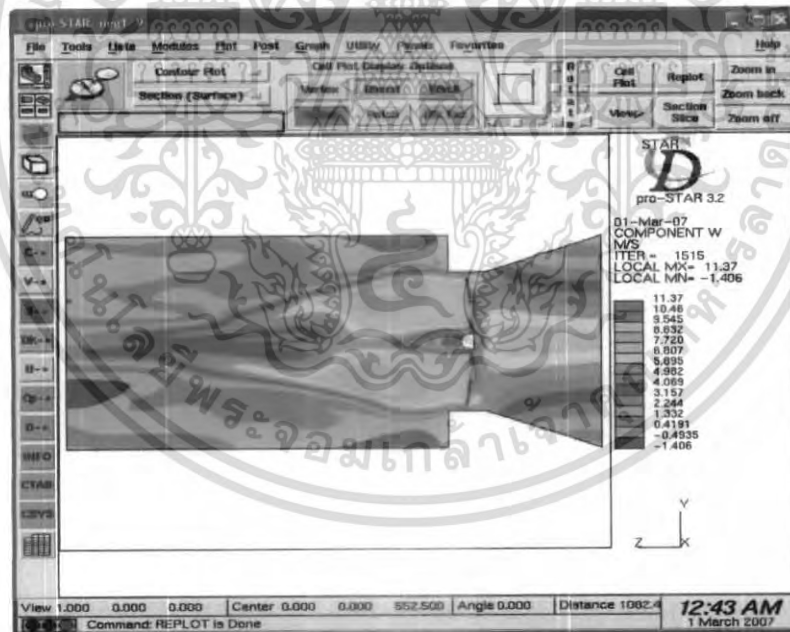
รูปที่ 7.23 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.12 ผลการจำลองผลของใบพัด - 1°



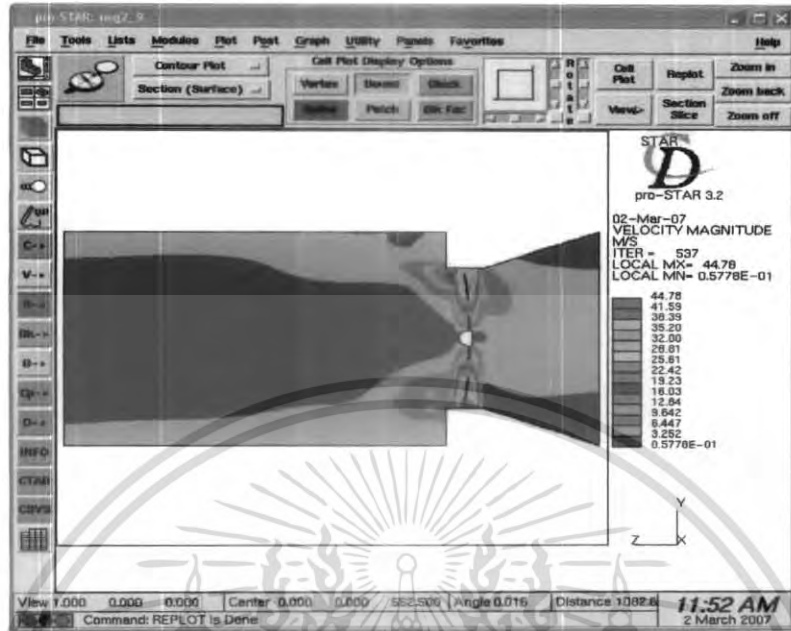
รูปที่ 7.24 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



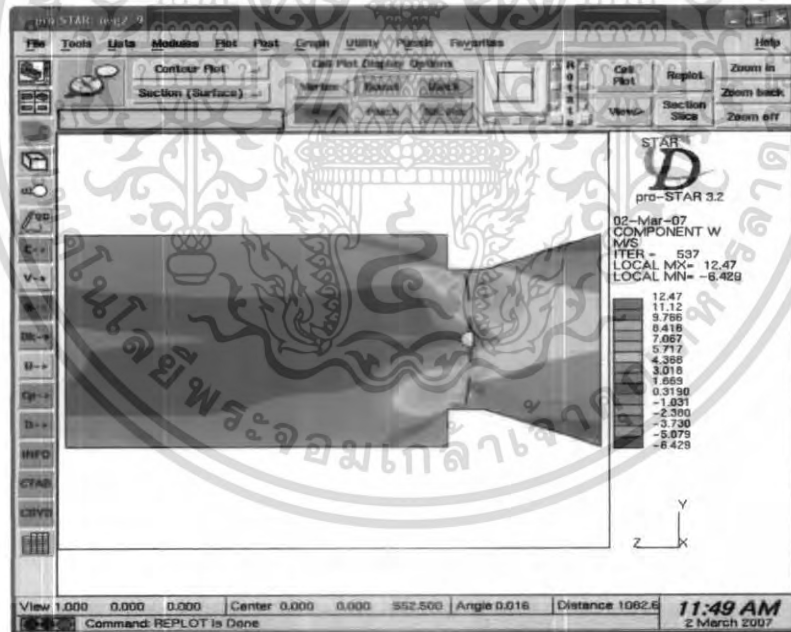
รูปที่ 7.25 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.4.13 ผลการจำลองผลของใบพัด - 2°



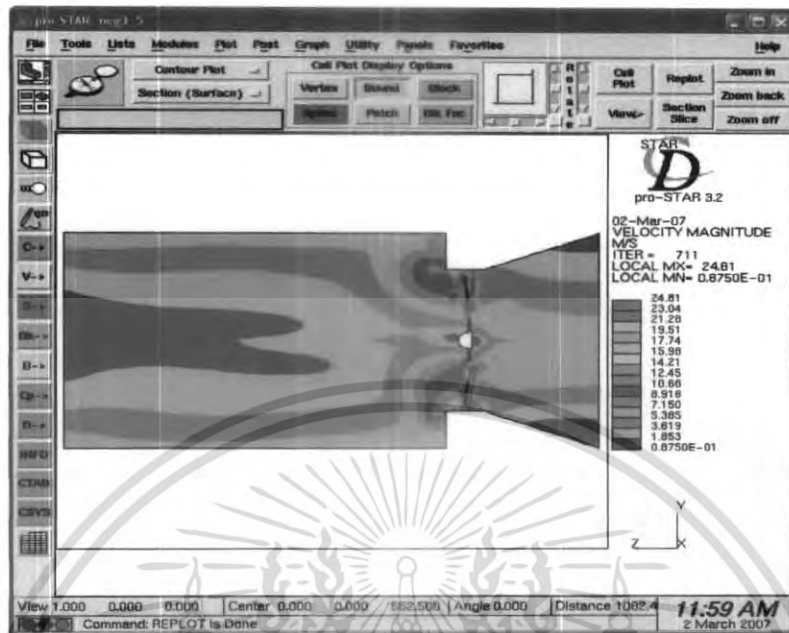
รูปที่ 7.26 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



รูปที่ 7.27 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.14 ผลการจำลองผลของใบพัด - 3°



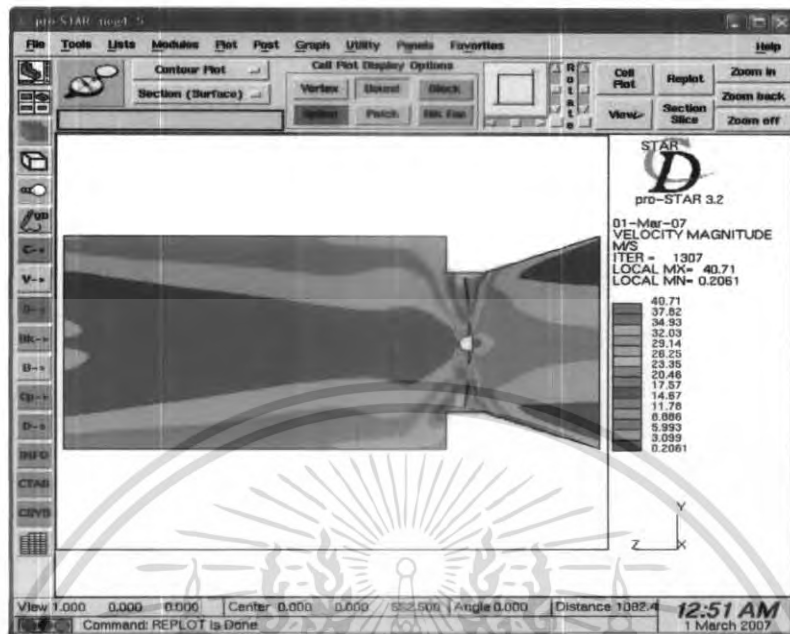
รูปที่ 7.28 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



รูปที่ 7.29 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.15 ผลการจำลองผลของใบพัด - 4°



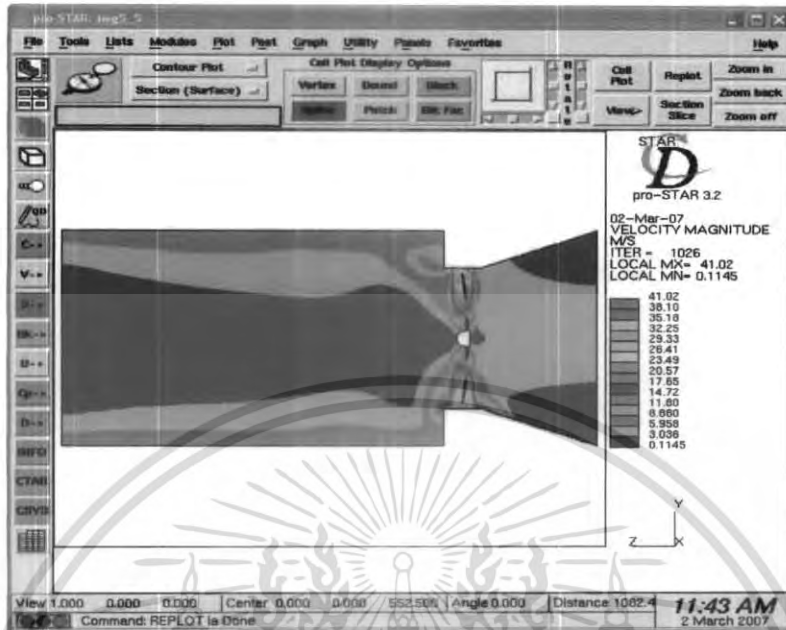
รูปที่ 7.30 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



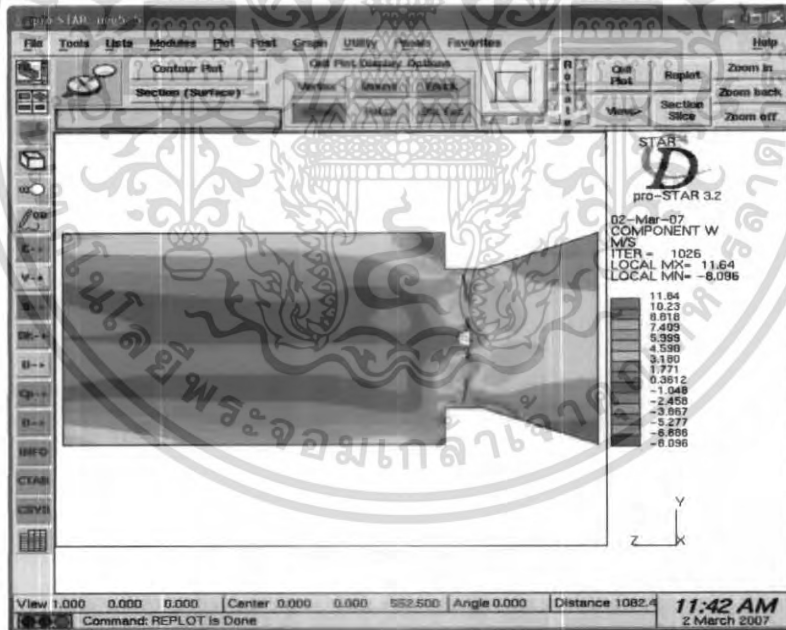
รูปที่ 7.31 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.16 ผลการจำลองผลของใบพัด - 5°



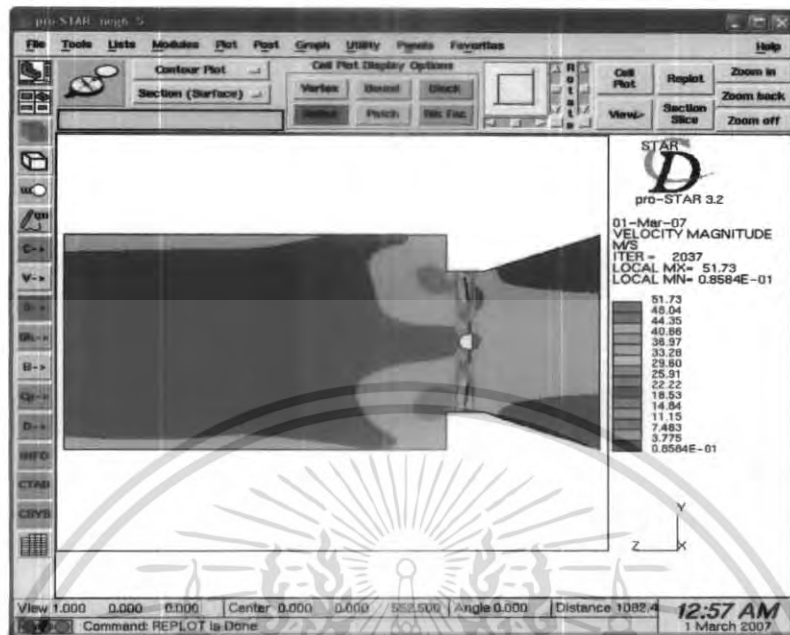
รูปที่ 7.32 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



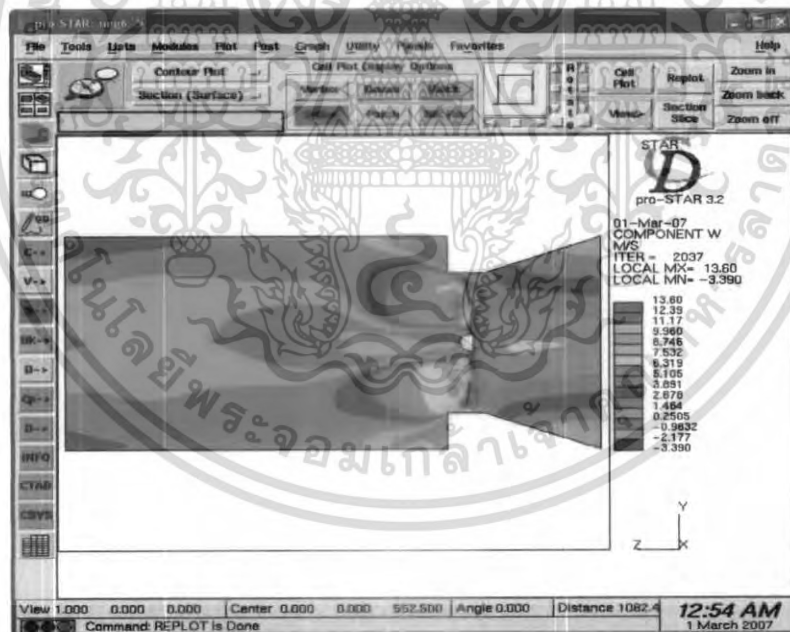
รูปที่ 7.33 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.17 ผลการจำลองผลของใบพัด - 6°



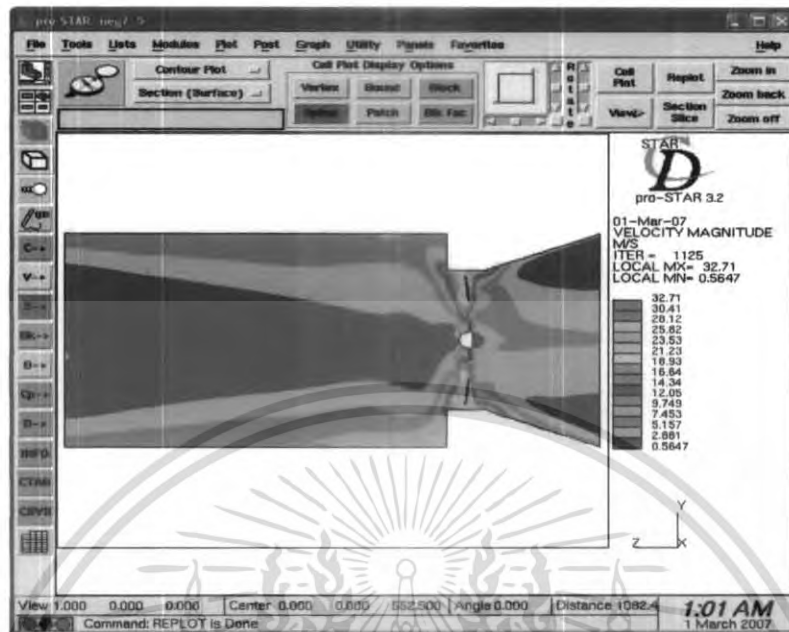
รูปที่ 7.34 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



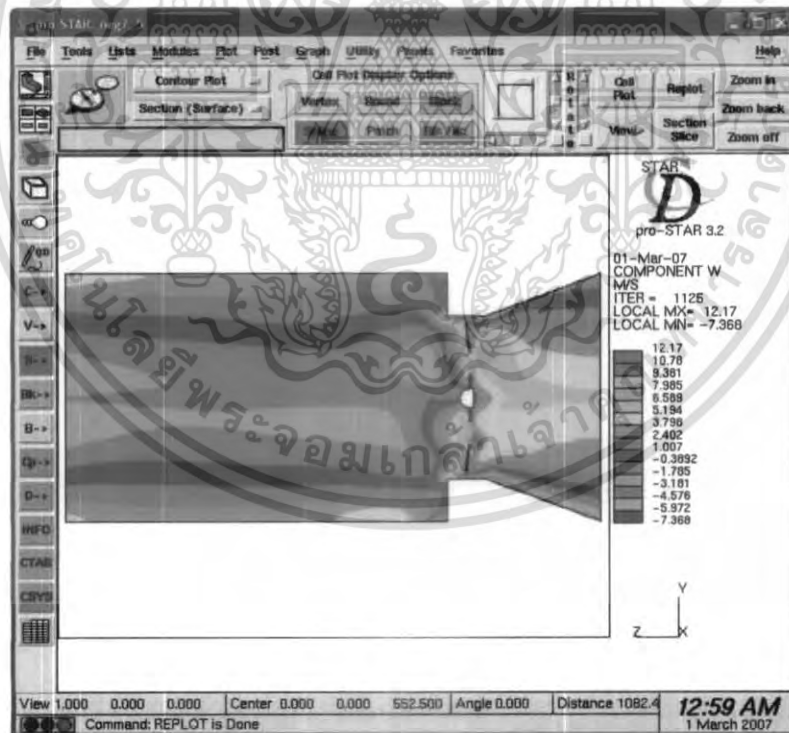
รูปที่ 7.35 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.18 ผลการจำลองผลของใบพัด - 7°



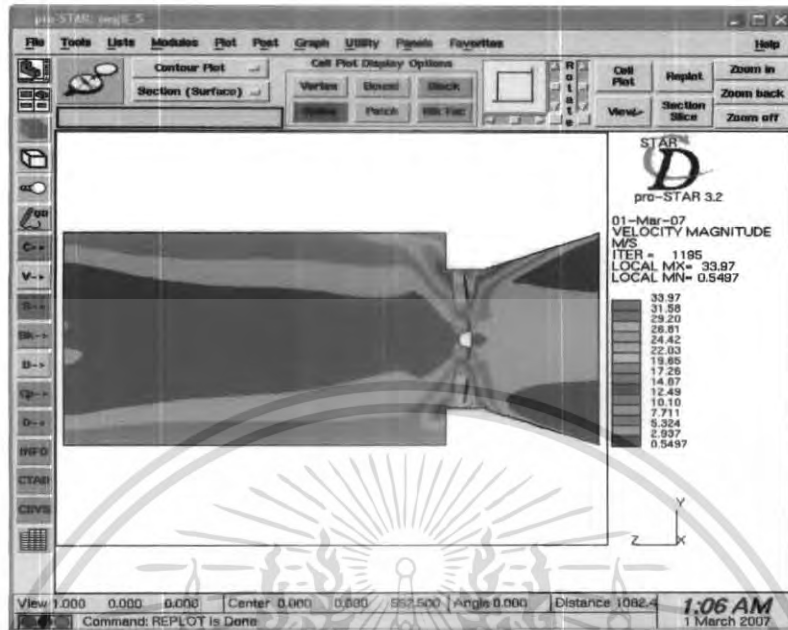
รูปที่ 7.36 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



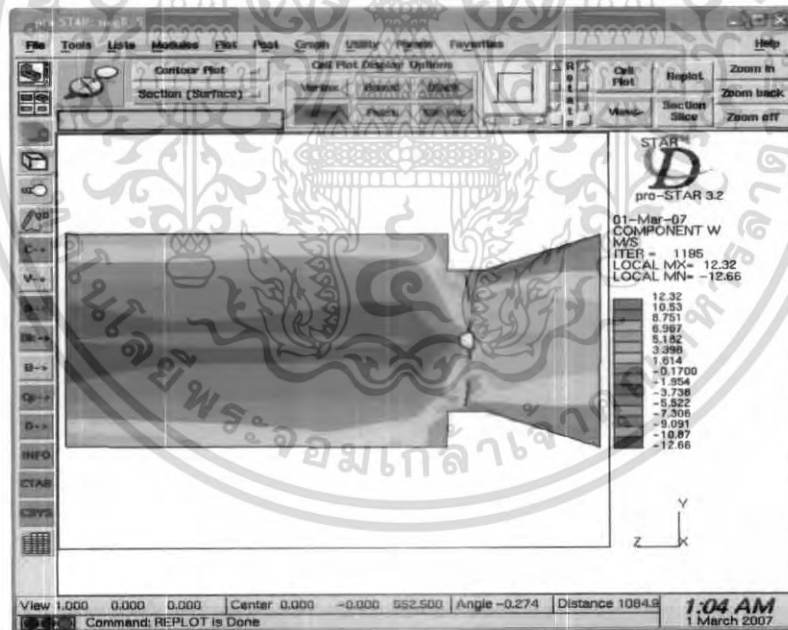
รูปที่ 7.37 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.19 ผลการจำลองผลของใบพัด - 8°



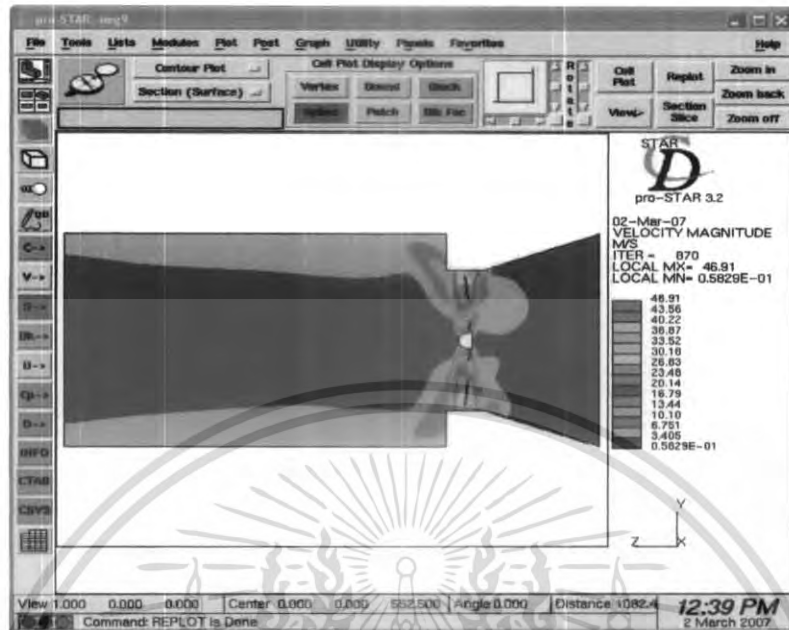
รูปที่ 7.38 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



รูปที่ 7.39 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.20 ผลการจำลองผลของใบพัด - 9°



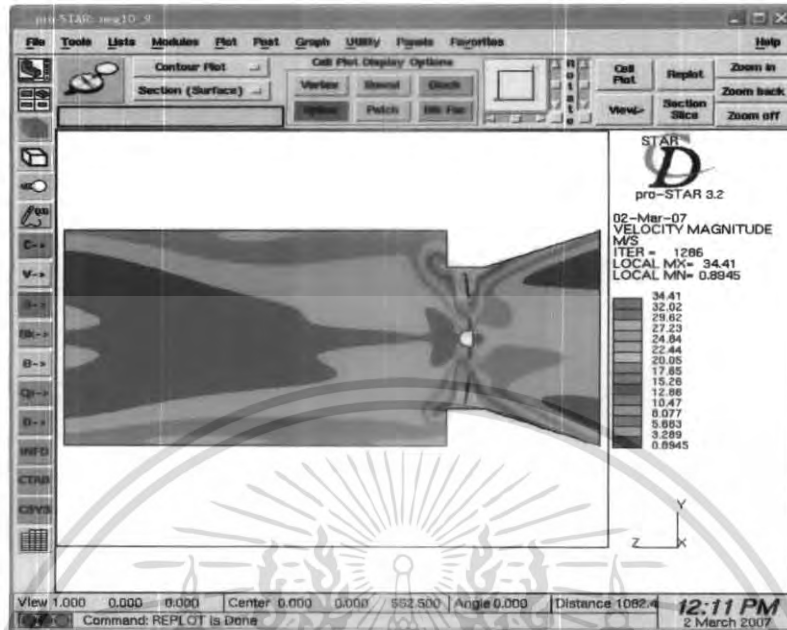
รูปที่ 7.40 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



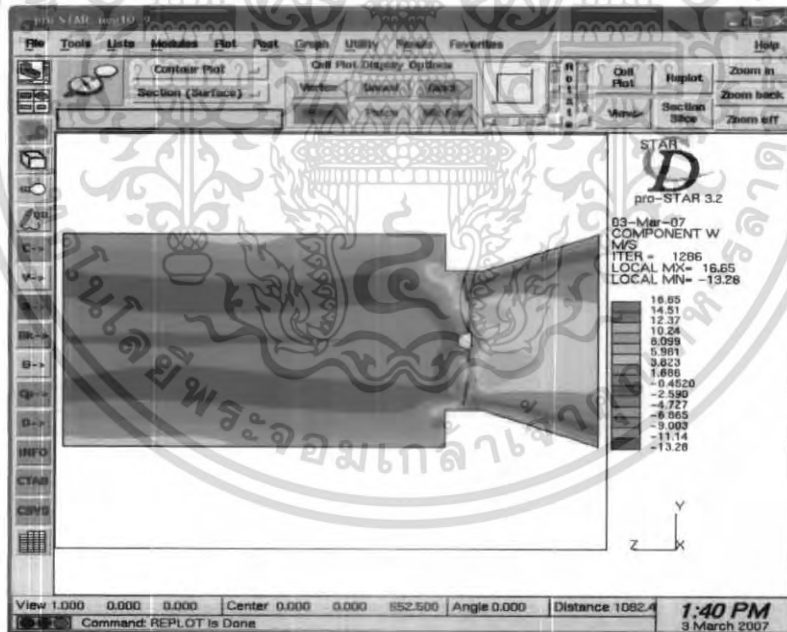
รูปที่ 7.41 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.4.21 ผลการจำลองผลของใบพัด - 10°



รูปที่ 7.42 แสดง Velocity Magnitude แบบ Contour



รูปที่ 7.43 แสดง Velocity Component W (ในแนวแกน Z) แบบ Contour

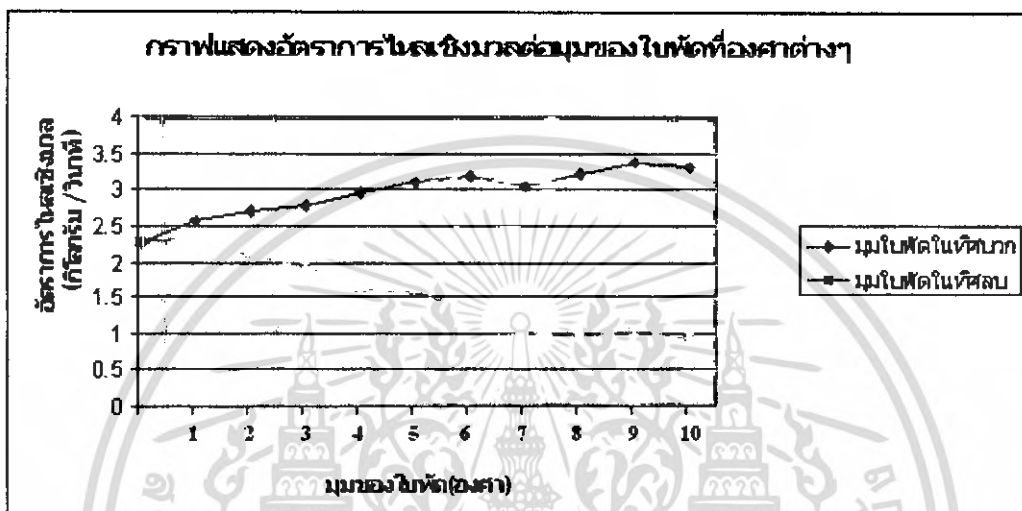
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 8.1 สรุปผลการทดลอง

8.1.1 จากการคำนวณทางคอมพิวเตอร์นั้น ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของใบพัดกับอัตราการไหล



รูปที่ 8.1 กราฟแสดงอัตราการไหลเชิงมวลต่อมุมของใบพัดที่องศาต่างๆ

แนวโน้มของกราฟอัตราการไหลนั้นเป็นไปตามที่ได้คาดหวังไว้ว่า เมื่อมุมที่ใบพัดมากขึ้นอัตราการไหลที่ได้ก็จะมากขึ้น และเมื่อมุมที่ใบพัดลดลงอัตราการไหลที่ได้ก็จะลดลง

8.1.2 จากผลการทดสอบและผลจากการคำนวณทางคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกัน พบว่าผลการคำนวณทางคอมพิวเตอร์นั้นให้อัตราการไหลต่ำกว่าการทดลอง 17.924% เนื่องจากว่าในสภาวะความเป็นจริงนั้น การกวาดอากาศของใบพัดนั้นมีลักษณะเป็นอิมพัลส์เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา แต่ในการคำนวณทางคอมพิวเตอร์นั้นเป็นการมองที่ใบพัดในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น

#### 8.2 ข้อวิจารณ์

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้นั้นมีข้อจำกัดในหลายๆด้าน เช่น อุโมงค์ลมเนื่องจากว่าในการทดสอบจริงนั้นต้องใช้อุโมงค์ลมตามมาตรฐาน JIS แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดทางงบประมาณและสถานที่ทดลอง ทำให้ต้องลดขนาดของอุโมงค์ลม และเครื่องมือวัดบางชิ้นนั้นมีความละเอียดไม่เพียงพอทำให้ผลที่ได้นั้นอาจจะมีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง หรือแม้แต่สภาพแวดล้อมรอบๆขณะการทดลองถึงแม้ว่าผู้ทดลองจะพยายามให้ได้ใกล้เคียงกันทุกการทดลอง แต่ก็ได้เพียงใกล้เคียงที่สุดเท่านั้น รวมถึงตัวผู้ทดลองเองที่มี

ประสบการณ์น้อยในการทำการทดลองซึ่งอาจจะเป็นผลให้ได้ผลที่ตลาดเคลื่อนไปได้ ในส่วนการคำนวณทางคอมพิวเตอร์นั้น ได้ทำการคำนวณแบบ Steady State ซึ่งเป็นการคำนวณ ใบบัดที่จุดใดจุดหนึ่งโดยที่ใบบัดนั้นหมุนไม่ครบรอบ ซึ่งอาจทำให้ผลการจำลองผลตลาดเคลื่อน

### 8.3 ข้อเสนอแนะ

8.3.1 ควรจะต้องมีอุปกรณ์ที่มีความละเอียดในการวัดรวมอีกทั้งการพัฒนาชุดทดลองให้มีมาตรฐานมากขึ้น และวิจัยในส่วนที่ความเร็วรอบอื่นๆของใบบัด

8.3.2 ควรจะจำลองผล โดยการแก้ไขปัญหาแบบ Transient



## บรรณานุกรม

- [1] ตำราหลักสูตรการอนุรักษ์พลังงานภาคปฏิบัติ. [ม.ป.ป.]. [ม.ป.ท.: ม.ป.ท.]
- [2] มนตรี พิรุณเกษตร. (2547). **กลศาสตร์ของไทย**. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์
- [3] **User Guide Star-CD Version 3.24**. [n.d.]. [n.p.: n.p.].
- [4] Barlow, J.B., Rae, W.H., JR, & Pope, A. (1999). **Low-speed wind tunnel testing**.  
New York: Wiley-Interscience.
- [5] Computation Mechanics Group. (2003). **Star-CD Training for Fan Simulation**  
(Version 3150\_Fan). (Unpublished).
- [6] Dixon, S.L. (1998). **Fluid Mechanics and Thermodynamics of turbo machinery**.  
Boston: Butterworth Heinemann.
- [7] **Japanese Industrial Standard: Testing methods for turbo-fans and blowers**. [n.d.].  
[n.p.]: Japanese Standard Association.
- [8] McCormick, B.W. [n.d.]. **Aerodynamics, Aeronautics and flight Mechanics**. [n.p.: n.p.].
- [9] Munson, B.R., young, D.F., & Okiishi, T.H. (1994). **Fundamentals of Fluid Mechanics**.  
[ม.ป.ท.]: John Wiley & Sons.
- [10] Pimpin, A., & Bunyajitradulya, A. [ม.ป.ป.]. **The design and development of the FMRL**  
**60 x 18 cm<sup>2</sup> Wind-Angle Screened-diffuser Blower Tunnel**. Department of Mechanical  
Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.
- [11] Versteeg, H.K. & Malasekera, W. (1995). **An Introduction to Computer Fluid Dynamics:**  
**The Finite Volume Method**. [n.p.]: Longman Scientific & Technical.

## ภาคผนวก

### โปรแกรม Unigraphics

โปรแกรม Unigraphics เป็นโปรแกรมทางด้าน CAD,CAM,CAE ซึ่งผู้ทำปริญญาโทสามารถใช้โปรแกรมตัวนี้ในการทำ CAD และในที่นี้จะอธิบายการใช้โปรแกรมนี้ให้การวาด CAD ชั้นเบื้องต้นที่ควรทราบ

1 พื้นฐานความเข้าใจของระบบ 3D ใน CAD โดยทั่วไปโปรแกรม CAD จะมีการแสดงภาพในระบบ 2 มิติและ 3 มิติ ซึ่งจะมีข้อแตกต่างกันก็คือ การสร้างภาพ 2 มิติ จะกำหนดจุดโคออร์ดิเนทไว้ในเฉพาะในแนวแกน X และ Y (ค่าแกน Z คงที่หรือมีค่าเท่ากับ 0) ส่วนการสร้างภาพ 3 มิติ จะกำหนดจุดโคออร์ดิเนทไว้ในแนวแกน X , Y และ Z(จะมีความสัมพันธ์ทั้ง 3 แกน) ดังนั้น จึงมีเทคนิคการสร้างภาพ 3 มิติจากระบบแกน ตามโปรแกรม CAD ได้ 3 รูปแบบ คือ

1.1 3D Wireframe Model เป็นเทคนิคพื้นฐานที่ง่ายที่สุด จะมีลักษณะที่ต้องอาศัยการเชื่อมต่อของเส้นหลายๆ เส้นประกอบเข้าด้วยกันจนเป็นโครงข่าย 3 มิติ ซึ่งจะมีข้อคือคือ จะไม่มีผิวหน้า (Face) จะไม่สามารถให้สีและเงา (Shaded) หรือไม่สามารถใส่ลวดลาย (Texture) บนผิวได้เลย ทำให้การแสดงลักษณะของภาพที่ปรากฏนั้นตีความหายได้ยาก ถ้าไม่มีความสามารถที่จะลบเส้นที่ถูกบังแล้วยังแยกความหมายของภาพได้ยาก วิธีการสร้างจะใช้วิธีกำหนดโคออร์ดิเนทแล้วใช้เส้นตรงหรือเส้นโค้งเชื่อมต่อจุดโคออร์ดิเนทเหล่านี้จนกลายเป็นรูปเลขาคณิต

1.2 3D Surface Model การแสดงผลในลักษณะ Surface Model นอกจากจะมีข้อมูลโคออร์ดิเนทไว้ควบคุมลักษณะของรูปทรงแล้ว ยังมีส่วนผิวภายนอก (Face) ของชิ้นงานที่เข้ามาประกอบกันมองคล้ายกับผิวดาข่าย (Grid) ห่อหุ้มจนเป็นรูปทรง 3 มิติ ขึ้นมาบนจอภาพจะมีวิธีการสร้างผิวตามจุดประสงค์ที่ใช้ได้ดังนี้

1.2.1 Through Points เป็นการสร้างผิวจากกลุ่มของจุด (Point) ซึ่งจุดเหล่านี้จะมีค่าโคออร์ดิเนท เป็นแบบ 3 มิติ โปรแกรมจะให้เราเลือกกลุ่มของจุดแล้วจะสร้างผิวให้วิ่งผ่านจุดเหล่านี้ทุกจุด (ไม่ใช้การประมาณ ) แล้วโปรแกรมจะสร้างผิวที่เหลี่ยมเล็กๆ จากจุดเหล่านี้เชื่อมต่อกันจนเป็นผิวรวม

1.2.2 Pole จะใช้จุดที่บังคับให้เป็นจุดขอด (Pole) แล้วให้ผิวของ Surface วิ่งผ่าน โดยจุด Pole เป็นจุดบังคับ วิธีนี้จะคล้ายกันวิธีการ Through Points แต่ผิวที่ได้ไม่จำเป็นต้องวิ่งผ่านจุด Pole ทุกจุด

1.2.3 Point Cloud จะใช้วิธีการอาศัยค่าเฉลี่ยจากกลุ่มของจุด โดยจะตัดค่าที่ผิดแผกจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มทิ้งไป แล้วสร้างผิวจากค่าเฉลี่ยที่ได้วิธีนี้จะอาศัยให้ผิวผ่านกลุ่มของจุดให้มากที่สุด

1.2.4 Through Curve จะเป็นการสร้างผิวจากเส้น Curve 2 เส้นขึ้นไป ซึ่งจะแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ แบบ Parameter ผิวจะมีลักษณะตั้งฉากกับเส้นและ Curve กับแบบ ArcLength อาศัยความโค้งเข้าควบคุม

1.2.5 Through curve Mesh จะคล้ายๆกับวิธี Through Curve (ข้อแตกต่างของ Through curve Mesh คือสามารถควบคุมรูปร่างได้ดีกว่า Through Curve)

1.2.6 Swept เป็นการสร้างผิวที่คล้ายกับกระดุกที่มีทางเดิน (Path) ไว้กำหนดทิศทางที่วิ่งไป และจะมีแกน (Section String) ควบคุมพื้นที่หน้าตัดของผิวขณะที่วิ่งไปตามทางเดิน (Path) จนได้รูปที่ต้องการ

1.2.7 Extension Sheet Bodies จะเป็นการสร้างผิวให้ยื่นต่อจากผิวต่อเดิมไปในทิศทางที่เรา กำหนดคล้ายกับการขยายของผิวออกมาตามทิศทางของเวกเตอร์

1.2.8 Section จะอาศัยกำหนดเส้น String และเส้น Spline เพื่อกำหนดผิวทั้งสองวิ่งเข้าหากัน โดยเส้นที่กำหนดเป็นจุดกำเนิด ซึ่งจะคล้ายกับการอาศัยการตัดของสตรึงจนได้ผิวที่ต้องการ

1.2.9 Boundary Planes เมื่อกำหนดขอบเขต (Boundary) เป็นวงปิดบนระนาบแล้ว โปรแกรมจะสร้างผิวขึ้นมาอย่างอัตโนมัติ แต่เส้นขอบเขตรอบวงปิดที่อยู่ภายในจะถูกยกเว้น เช่น รูหรือช่องว่าง

1.2.10 Offset จะเป็นวิธีการสร้างผิวใหม่จากเดิมในทิศทางที่ขนานออกมา ซึ่งจะควบคุม โดย Direction Vector โดยจะมีทั้งแบบคงที่และแบบปรับขนาดตาม

1.2.11 Bridge จะอาศัยการสร้างผิวเพื่อข้ามระหว่าง 2 ผิว คล้ายกับการสร้างสะพานเชื่อม โดยจะมีการปรับขนาดตามและเส้นขอบให้มีลักษณะสัมผัสซึ่งกันและกัน

1.2.12 Face Blend จะเป็นการสร้างผิว 2 ผิว ที่มี Tangency String เป็นตัวควบคุม คล้ายกับการกริบด้วยส่วนโค้งของผิวที่เป็นทรงกลมสมมุติที่เกิดจากเส้นควบคุม

1.2.13 Soft Blend จะคล้ายกับ Face Blend แต่ความโค้งของผิวจะสวยงามกว่าโดยใช้วิธีการเส้นสัมผัสผิวแทนทรงกลมสมมุติ และจะต้องกำหนดเส้น Spilne String ไว้อ้างอิงเสมอ

1.2.14 Quilt จะอาศัยการสร้างผิวใหม่ทดแทนกลุ่มของผิวเดิมหลายๆผิวผนวกให้กลายเป็นเพียง 1 ผิว แต่ผิวที่ได้จะเป็นค่าประมาณ จะนิยมใช้ในกรณีที่ต้องการสร้างผิวเสมือนขึ้นมา

1.3 3D Solid Model การสร้างภาพ 3 มิติ แบบ Solid จะอาศัยหลักการที่สร้างวัตถุขึ้นมาในลักษณะวัตถุทรงตัน ที่จะให้ข้อมูลและความเหมือนจริงได้มากกว่า เมื่อเทียบกับการสร้าง 3 มิติทั้งแบบ Wireframe และ Surface Model การสร้างภาพ 3 มิติ แบบ Solid Model ที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1.3.1 Constructive Representation Type (C-Rep) เป็นเทคนิคในการสร้างภาพโดยอาศัยตัวต้นแบบ (Modeling Primitives) ที่มีรูปทรงเรขาคณิต เช่น ทรงกลม, ทรงกระบอก, กรวย, พีระมิต ฯลฯ ซึ่งแล้วแต่เป็น Solid ที่สามารถนำมารวมกันได้ โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Boolean operation หรือ

พีชคณิตของทฤษฎีเซต อันประกอบด้วย Union, Substract และ Intersect 1. สร้าง C-Rep ด้วยทฤษฎีพีชคณิตทางเซต (Boolean operation) เป็นวิธีพื้นฐานที่จะประกอบไปด้วยการนำเอาก้อนของวัตถุทรงตันมาทำการกระทำทางทฤษฎีพีชคณิตทางเซต โดยการ (1) รวมกัน (Union) เป็นการหลอมรวมเนื้อเข้าด้วยกัน (2) ลบออก (Substract) เป็นการลบออกด้วยก้อนเนื้อที่ที่ล้าเข้าไป ซึ่งอาจจะเป็น A-B หรือ B-A ก็ได้ จะขึ้นอยู่กับว่าชิ้นงานใดเป็นตัวหลัก (3) รวมกัน (Intersection) เป็นส่วนที่เหลือที่เหลือไว้เฉพาะที่เป็นเนื้อที่ร่วมกัน 2. สร้าง C-Rep ด้วยการ Extrude Body จะเป็นวิธีการหนึ่งที่น่าเอาเส้นขอบปิดที่เป็นวงปิด (Loop) มาสร้างให้เกิดความหนาขึ้นไปลักษณะแบนราบ (Planar) โดยจะมีแกน (Section String) เป็นตัวควบคุมทิศทางและรูปร่าง คล้ายกับสร้างความหนาให้กับชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานที่ได้ยังสามารถกระทำ (Solid operation) กับ Solid รูปร่างๆ ได้อีกเรื่อยๆ 3. สร้าง C-Rep ด้วยการ Revolution จะเป็นการสร้าง Solid จากการเส้นโค้งหรือแกน (Section String) หมุนรอบแกนที่กำหนด เมื่อเส้นโค้งผ่านสเปซ แล้วจะเกิดเป็น Solid ตามลักษณะเส้นโค้งที่กวาดไป งานในลักษณะนี้จะเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีความสมมาตรรอบแกน สามารถจะหมุนได้ตั้งแต่ 0-360 องศา และจะปิดหัวท้าย (Cap) เมื่อหมุนได้ 360 องศาได้ 4. สร้าง C-Rep แบบ Sweep คำสั่งนี้เป็นการสร้าง Solid จากการนำเส้นโค้งหรือแกน (Section String) ที่เปรียบเสมือนกับเป็นกระดูกงูและจะใช้เส้น Guide Line เป็นตัวควบคุมพื้นที่หน้าตัด โดยขณะที่วิ่งไปตามกระดูกงูจะกวาดผ่านสเปซจนเกิด Solid ขึ้น

1.3.2 Boundary Representation Type (B-Rep) เป็นเทคนิคการสร้าง Solid แบบใหม่ โดยทางผู้ขึ้นรูปจะทำการเขียน โครงสร้างภายนอกชิ้นงานบนจอภาพก่อน โดยใช้ดิจิติไลเซอร์ (Digitizer) โดยจะเป็นการเขียนในลักษณะภาพต่างๆ ของชิ้นงานแต่ละด้าน เช่น ภาพด้านหน้า ด้านบน ด้านข้างและด้านล่าง จากนั้นก็จะสร้างความสัมพันธ์ในแต่ละจุดอ้างอิงเข้าด้วยกัน โปรแกรมก็จะรับรู้ถึงความสัมพันธ์เหล่านั้นและจะนำไปประมวลผลเพื่อสร้างเป็นชิ้นงาน 3 มิติ ขึ้นมา

2 ระบบแกนในระบบ CAD ในโปรแกรม UG ในส่วนโมเดลลิ่ง จะแบ่งระบบแกนออกได้เป็น 5 ชนิด คือ

2.1 Absolute Coordinate System (Absolute) จะเป็นระบบพิกัดค่าโคออร์ดิเนตแบบสมบูรณ์ที่เราจะไม่สามารถปรับเปลี่ยนย้ายตำแหน่ง แต่ยังคงสามารถหมุนแกนได้ ซึ่งตำแหน่งจะคงที่ตลอดเวลา ซึ่งเราจะใช้ Absolute ในกรณีที่ต้องการอ้างอิงจากจุดคงที่ในระบบแกน 3 มิติ

2.2 Work Coordinate System (WCS) จะเป็นระบบพิกัดค่าโคออร์ดิเนตแบบใช้งานจริง ที่เราสามารถจะปรับเปลี่ยนโยกย้าย หมุนแกน หรือวางแนวแกน X,Y,Z ไปตามลักษณะผิวที่ต้องการได้

2.3 Existing Coordinate System (CSYS) จะเป็นระบบแกน WCS อีกรูปแบบหนึ่งที่ถูกร่างสร้างไว้เกี่ยวกับตำแหน่งขณะนั้นไว้ จุดประสงค์เพื่อต้องการเรียกตำแหน่งกลับมาใช้อีก

2.4 Sketch Coordinate System (SCS) เป็นระบบแกน 3 มิติ จะปรากฏในโหมดสเกตช์เท่านั้น ในระบบนี้จะกำหนดระบบแกน X,Y,Z ขึ้นมาใหม่โดยไม่ได้ขึ้นกับแกน WCS ในขณะนั้น

2.5 Feature Coordinate System (FCS) จะเป็นระบบแกน 3 มิติ พิเศษไว้ในกรณีสร้างพีตเซอร์เพื่อวางตำแหน่ง หรือในขณะที่เข้าไปแก้ไขตำแหน่งพีตเซอร์ และถูกเก็บไว้ในพีตเซอร์แต่ละชนิด ซึ่งโดยปกติจะไม่ปรากฏให้เห็นจนกว่าจะเข้าแก้พีตเซอร์จะปรากฏให้เห็นในช่วงเวลาสั้นๆ

3 Primitive Feature Primitive จะเป็นพื้นฐานเริ่มต้นที่จะไปสู่การสร้างพาร์ตที่ซับซ้อน ซึ่งพาร์ตชิ้นหนึ่งอาจประกอบไปด้วยพีตเซอร์หลายๆ ตัวประกอบกัน โดยในขณะที่สร้างพาร์ตโปรแกรมจะจดจำและบันทึกถึงโครงสร้าง (Tree) ต่างๆที่เข้ามากระทำ หลังจากที่ได้เป็นรูปทรง 3 มิติที่ต้องการแล้ว เราสามารถย้ายหรือเปลี่ยนแปลงลำดับการสร้างอย่างไรก็ได้ Primitive Feature จะประกอบไปด้วย

### 3.1 Block : รูปทรงสี่เหลี่ยม จะมีการสร้างได้ 3 วิธี

- วิธีที่ 1 : กำหนดความสูงและขนาดของ Block ไปตามระยะแกน X,Y,Z เลือกที่จุดทแยงมุมล่างเป็นจุดแรก

- วิธีที่ 2 : กำหนดความสูงของ Block กำหนดจุดทแยงมุมในระนาบเดียวกัน 2 จุด

- วิธีที่ 3 : กำหนดจุดทแยงมุม 2 จุด

### 3.2 Cylinder : ทรงกระบอกจะมีวิธีสร้างได้ 2 วิธี

- วิธีที่ 1 : กำหนดทิศทางเวกเตอร์ กำหนดความสูงและขนาดของรัศมี จุดกำเนิด

- วิธีที่ 2 : กำหนดความสูง เลือกที่เส้นโค้ง กำหนดทิศทางเวกเตอร์เองแบบอัตโนมัติ

### 3.3 Cone : รูปทรงกรวย จะมีวิธีสร้างได้ 5 วิธี

- วิธีที่ 1 : กำหนดทิศทางเวกเตอร์ กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางบนล่างและความสูงกำหนดจุดกำเนิดสร้างแบบปกติ

- วิธีที่ 2 : กำหนดทิศทางเวกเตอร์ กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางบนล่างและครึ่งมุม กำหนดจุดกำเนิดสร้างแบบปกติ

- วิธีที่ 3 : กำหนดทิศทางเวกเตอร์ กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางบนล่างและครึ่งมุม กำหนดจุดกำเนิดสร้างจาก Base Diameter

- วิธีที่ 4 : กำหนดทิศทางเวกเตอร์ กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางบนล่างและครึ่งมุม กำหนดจุดกำเนิดสร้างจาก Top Diameter

- วิธีที่ 5 : เลือกจากเส้นโค้งเส้นแรก เลือกจากเส้นโค้งเส้นที่สอง

### 3.4 Sphere : รูปทรงกลม จะมีวิธีสร้างได้ 2 วิธี

- วิธีที่ 1 : กำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง กำหนดจุดกำเนิด

- วิธีที่ 2 : เลือกที่เส้นโค้งใดๆ ที่มีรัศมี R

## 4 การแก้ไข Primitive Feature (Edit Primitive Feature)

4.1 Edit Feature Parameters : แก้ไขค่าพารามิเตอร์ของพีตเซอร์ต่างๆ

4.2 Edit Positioning : แก้ไขตำแหน่งและการวางตัวของพีตเซอร์

4.3 Move Feature : ย้ายตำแหน่งของพีตเซอร์ไปยังที่ใหม่

4.4 Recorder Feature : จัดลำดับการกระทำว่าจะให้เกิดขึ้นก่อนหรือหลัง

4.5 Delete Feature : ลบฟีดเซอร์ออกจากชิ้นงาน

4.6 Replace Feature : แทนด้วยฟีดเซอร์ตัวใหม่

4.7 Suppress Feature : ยกเลิกฟีดเซอร์ที่เลือกไว้ชั่วคราว

4.8 Unsuppress Feature : กลับมาใช้ฟีดเซอร์ที่เคยยกเลิกไปแล้ว

4.9 Remove Parameters : ยกเลิกการใช้พารามิเตอร์

4.10 Edit Solid Density : แก้ไขความหนาแน่นของ Solid

4.11 Delayed Update On Edit : ยังไม่ต้องคำนวณจนกว่าจะแก้ไขเสร็จ

4.12 Update : ให้อัปเดทตามข้อมูลปัจจุบัน

4.13 Feature Playback : ย้อนกลับไปสู่การสร้างฟีดเซอร์ก่อนหน้า

5 Swept Feature การสร้างชิ้นงานฟีดเซอร์ในรูปแบบ Swept จะเป็นการสร้างชิ้นงานฟีดเซอร์จากเช็กซ์นสตริง (Section String) ที่เปรียบเสมือนแกนที่กางออกแล้ววิ่งไปตามลักษณะเส้นทางหรือเส้นที่กำหนด โดยขณะที่แกนกวาดไปนั้นก็จะมีการสร้างฟีดเซอร์ 3 มิติขึ้น ตามลักษณะของแกนที่กวาดไป ซึ่งลักษณะการสร้างชิ้นงานฟีดเซอร์ในรูปแบบ swept นี้แบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

5.1 Extruded Body : จะคล้ายกับการยืดขยายของ Sheet ให้เกิดความหนาในทิศทางที่กำหนด โดยส่วนที่ขีดยจะต้องเป็นระนาบที่มีเช็กซ์นสตริงล้อมรอบ ซึ่งอาจจะเป็นวงรอบเปิดหรือปิดก็ได้ และในการสร้างด้วย Extrude จะมีกฎควบคุมดังนี้

- กรณีวงรอบปิดเพียงวงเดียวจะสร้างฟีดเซอร์เป็นพื้นที่ตัดเต็ม
- กรณีวงรอบปิดแต่มีจำนวนวงรอบปิดมากกว่า 1 จะสร้างฟีดเซอร์จากแนวรอบก่อน โดยจะเว้นเป็นรูปหรือช่องจากวงรอบที่เหลือ

- กรณีวงรอบไม่ปิดจะกลายเป็นแผ่นบางหรือ Sheet Body แทน

5.2 Revolution : จะเกิดจากแกนที่เป็นเช็กซ์นสตริงกวาดรอบแกนคงที่ที่กำหนดจะควบคุมองศาการกวาดตั้งแต่ 0-360 องศา โดยมีกฎควบคุมดังนี้

- เราสามารถสร้างฟีดเซอร์จากเช็กซ์นสตริงแบบเปิดซึ่งโปรแกรมจะปิด (Cap) ส่วนบนและส่วนล่างเมื่อมีการหมุนเป็น 360 องศาเท่านั้น (กำหนดแบบ Solid)

- หากการหมุนไม่ครบ 360 องศา จะสามารถเป็นไปได้ทั้ง Solid และ Sheet Body ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดในเมนู

- การหมุนแกนจะเป็นบวกหรือเป็นลบรวมไปถึงทิศทางหมุนให้พิจารณาจากกฎมือขวา (Right-Hand Rule)

5.3 Sweep Along Guide : จะเป็นการสร้างฟีดเซอร์จากสตริงให้วิ่งไปตามเส้นทาง(Path) ที่กำหนดซึ่งจะเป็นไปตามกฎควบคุมดังนี้

- เช่นเดียวกับ Swept Feature คำอื่นๆ ที่จะเป็นวงรอบสตรึงแบบเปิดหรือแบบปิดก็ได้ ซึ่งก็ได้ Solid หรือ Sheet Body ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ใน Preferences
- เราสามารถเลือกเส้นหรือสตรึงหรือ โกดสตรึงได้เพียงครั้งละ 1 เส้น
- ในกรณีที่เป็นสตรึงแบบเปิด ผู้ใช้สามารถสร้างเป็นแบบ Solid ได้ด้วยวิธีการออฟเซต โดยการสร้างความหนาให้กับ Sheet Body แทน

6 Face & Edge Operation ขอบ (Edge) จะทำหน้าที่เป็นขอบเขตแบบปิดโดยจะห้อมล้อมผิว (Face) ไว้ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีตัดแปลงขอบและผิวให้เป็นไปตามวิธีการออกแบบ อาทิเช่น การขริบโค้ง การคว้าน ฯลฯ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำหรับการทำงานขั้นสูงต่อไป

6.1 Edge Operation โปรแกรม UG จะกำหนดวิธีการกระทำเพื่อตัดแปลงขอบ (Edge) ในฟีตเชอร์ได้ 2 วิธี คือ

6.1.1 Edge Blend (การขริบโค้ง) เป็นตัวเลือกที่จะช่วยให้เกิดผิวโค้งแทนขอบเดิมของฟีตเชอร์ ซึ่งจะเป็นการสร้างผิวโค้งมาสัมผัส (Face) ของทั้ง 2 ระนาบที่ตัดกัน ซึ่งจะมีทั้งขริบส่วนเนื้อของ Solid ทั้ง (Round) หรือเพิ่มเนื้อของ Solid ทั้ง (Round) หรือเพิ่มเนื้อที่ของ Solid (Fillet) โดยจะขึ้นอยู่กับรูปร่างและรูปทรงของขอบ (edge) โดยมีเทคนิคและรูปแบบการขริบโค้งดังนี้

- Add Tangent Edge
- Overflow Blends
- Smooth Overflow & Cliff Edge Overflow
- Cliff Edge Overflow & Notch Overflow
- Variable radius Blend

6.1.2 Edge Chamfer (การขริบเหลี่ยม) คำสั่งที่ใช้สำหรับการขริบเหลี่ยมของขอบ (Edge) จะมีการควบคุมขนาดของระยะหรือมุมเอียงที่จะขริบ เปรียบเสมือนมีระนาบสมมุติตัดบริเวณขอบที่ต้องการออกไป การใช้คำสั่ง Chamfer จะมีตัวเลือกที่อำนวยความสะดวกให้ง่ายต่อการเลือกมากขึ้นอยู่ 4 ลักษณะคือ

- All in Face (ทุกขอบบนผิวที่เลือก)
- All in Solid (ทุกขอบที่อยู่บน Solid)
- Edge Chaining (ทุกขอบที่อยู่ติดกันต่อเนื่องเป็นลูกโซ่)

โดยมีเทคนิคและรูปแบบการขริบเหลี่ยมดังนี้

- Single Offset จะเป็นการขริบที่มีระยะการ Offset ของแกนที่ 1 และ แกนที่ 2 จะเท่ากันการกำหนดแกนที่ 1 และแกนที่ 2 นอกจากนี้การทำแบบ Single offset ยังจะสามารถกระทำได้ด้วยผิวโค้งก็ได้เช่นเดียวกัน

- Double Offset Angle ตัวเลือกนี้จะกำหนดระยะจาก Offset จากแกนที่ 1 ก่อน (แกนที่ 1 หรือ แกนที่ 2 จะขึ้นอยู่กับทางเลือก) จากนั้นจึงมากำหนดค่ามุมซึ่งค่ามุมจะวัดจากแกนที่ 2 จาก แนวตั้งเท่านั้น

6.2 Face Operation การกระทำที่ผิวสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ

6.2.1 Hollow ตัวเลือกนี้จะสามารถสร้างได้ทั้ง Hollow ที่เป็น Solid หรือแบบแผ่นเปลือก (Shell) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาของผิวที่เรากำหนด การใช้คำสั่งจะต้องกำหนดผิวที่จะคว้าน (Pierce) ให้เหมาะสม จึงจะเกิดขึ้นได้ โดยมีลำดับการทำงานดังนี้

- ป้อนค่าความหนา (Thickness)
- เลือกผิวที่จะคว้าน (Select face to pierces)

ในการใช้งานการป้อนค่าของคำสั่งจะสามารถป้อนค่าได้ทั้งบวกและลบ จะมีลักษณะการใช้งานแตกต่างกันดังนี้

- ถ้าความหนาของผนังเป็นบวกจะคว้านผิวบนพีตเซอร์ที่ถูกเลือกโดยความหนาจะวัดเข้าจาก จุดกำเนิด (จะคว้านอยู่ในพีตเซอร์และจะไม่ขยายขนาดตัวเอง)
- ถ้าความหนาของผนังเป็นลบจะคว้านผิวบนพีตเซอร์ที่ถูกเลือกโดยความหนาจะวัดออกจาก จุดกำเนิด (จะขยายขนาดออกไปเท่ากับความหนาของผิว)

6.2.2 Taper ตัวเลือกคำสั่ง Taper จะทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนผิวซึ่งอาจเป็น 1 ผิว หรือมากกว่ามี การปรับเอียงตามค่าองศาที่กำหนด โดยจะมีการปรับตามลักษณะที่ถูกเลือกได้ 4 ชนิดคือ

- Taper Face
- Taper Edge
- Taper Tangent to Faces
- Split-Line Taper

ลำดับขั้นตอนของการใช้คำสั่ง Taper ดังนี้

- เลือกที่ผิวหรือพีตเซอร์ที่ต้องการจะ Taper
- กำหนดจุดที่จะ Taper เพื่อการอ้างอิง
- กำหนดวิธีการที่จะ Taper
- กำหนดค่ามุมของการ Taper
- กำหนดทิศทางของเวกเตอร์ที่จะ Taper

7. Creating & Positioning Form Feature Array ในกรณีที่ต้องการเพิ่มรายละเอียดให้กับชิ้นงานใน ลักษณะซับซ้อนขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการทำ Hole , Slot , Boss , Pocket , Pad , Groove จะเป็นการทุ่นเวลา ในการทำชิ้นงานในลักษณะรูปแบบเฉพาะมากขึ้น ถึงแม้ว่าเราอาจจะกระทำได้ในลักษณะเดียวกันด้วย หลายๆ คำสั่ง เช่น คำสั่ง Hole ซึ่งเราอาจจะใช้ทรงกระบอก (Cylinder) คว้านออกจากชิ้นงานด้วยคำสั่ง

Subtract ก็ได้ นอกจากนี้ในกลุ่มยังมีตัวเลือกย่อยประกอบอื่นๆ เข้ามาช่วยสามารถใช้ได้อย่างสะดวก หลากหลาย

7.1 ลักษณะต่างๆ ของวิธีการควบคุมฟอรม์พีตเซอร์ ในการใช้คำสั่งของฟอรม์พีตเซอร์จะ เกี่ยวข้องกับวิธีการต่างๆ ดังนี้

- Feature Coordinate System จะเกิดขึ้นเฉพาะคำสั่งนั้นๆ จะมีลักษณะเป็นแกน WCS 3 มิติ อีกรูปแบบหนึ่งจะปรากฏในช่วงสั้นๆ มีประโยชน์ในกรณีอ้างอิงตำแหน่งชั่วคราว เพื่อการวางตำแหน่ง และการกำหนดขนาดบนผิว (Face) ได้ง่ายขึ้นและจะแสดงอีกครั้งเมื่อเรากลับมาแก้ไข

- Placement Face จะต้องเป็นระนาบของผิวที่สนใจและทุกคำสั่งจะต้องلامถึงเสมอ (ยกเว้น คำสั่ง Groove จะใช้กับ Solid ที่ต้องเป็นทรงกระบอก) ตั้งที่เป็น Placement Face จะต้องมีลักษณะเป็น ผิวเรียบหรือเป็นผิวสมมุติค่าตั้ง (Datum planes) เท่านั้น โดยจะแสดงเส้นตั้งฉากเพื่อบ่งบอกทิศทางให้ เราทราบ

- Thru Faces จะหมายถึงด้านของผิวที่เราต้องการเจาะทะลุ หมายถึงด้านข้างของคำสั่ง Slot ที่ จะเจาะ

- Horizontal Reference เราสามารถใช้ขอบระนาบผิวของแกนค่าตั้ง หรือระนาบค่าตั้งเพื่อ กำหนดเป็นแกน X หรือแกนอนเพื่ออำนวยความสะดวกในการกำหนดค่าของตัวแปร ในขณะกระทำต่อชิ้นงาน

- Feature Parameter Value เราสามารถสร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบตัวแปร เช่น ขนาดรูเจาะ เป็นที่เท่าของความกว้าง ซึ่งเมื่อมีการปรับเปลี่ยนความกว้าง ขนาดของรูเจาะก็จะปรับเปลี่ยนตามไปด้วย

- Positioning Form Feature จะทำหน้าที่ในการอ้างอิงเพื่อวางตำแหน่งของฟอรม์พีตเซอร์ ต่างๆ ซึ่งโปรแกรมจะเก็บไว้ในรูปแบบเป็นตัวแปรซึ่งเราสามารถย้อนกลับมาแก้ไขต่างๆ ได้

7.2 Hole Feature ตัวเลือกในคำสั่งนี้จะทำหน้าที่ในการเจาะรู ซึ่งจะมีแบบทะลุและแบบไม่ ทะลุ ซึ่งจะมีตัวเลือก Thru Hole ควบคุมอยู่ ในตัวเลือกการเจาะรูมีด้วยกัน 3 ลักษณะ

- Simple เป็นการเจาะรูแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งสามารถเจาะทะลุได้หลายผิว ไปจนกว่าจะถึงผิวที่ ต้องการ โดยโปรแกรมจะให้เราเลือกว่า จะกำหนดค่าความลึกของรูที่เจาะหรือผิวที่เจาะลง ไปขึ้นกับการ เลือกของเรา

- Counter Bore

- Counter Sink

ค่าของ Tip Angle จะต้องอยู่ระหว่าง 0 และ 180 องศา และทุกค่าจะต้องมีค่าเป็นบวก การวาง ตำแหน่งของการเจาะรูมีหลายแบบด้วยกันดังนี้

- Positioning แบบ Parallel เป็นการกำหนดด้วยระยะแบบขนานจากจุดอ้างอิง

- Positioning แบบ Perpendicular จะพิจารณาแบบตั้งฉากกับแกน

- Positioning แบบ Angular จะพิจารณาจากค่าของมุมองจุดอ้างอิง

- Positioning แบบ Point onto Line จะนำจุดไปวางไว้ที่ขอบ

- Positioning แบบ Line onto Line จะนำขอบไปวางยังขอบใหม่ที่สนใจ

การกำหนดตำแหน่งการเจาะ Slot สามารถใช้ระนาบ Datum เพื่อการกำหนดขอบเขตการเจาะ ดังนั้นเราสามารถเลือกเจาะที่ใดๆก็ได้ บนด้านของขอบไม่จำเป็นที่จะต้องเจาะจากผิวหนึ่งไปทะลุยังอีกผิวหนึ่ง

7.3 Slot Feature ตัวเลือกนี้เราจะสร้างแถบที่เป็นร่องบนผิวของชิ้นงาน ซึ่งเราสามารถเลือกได้ว่าจะจะเป็นแถบที่เป็นร่องแบบยาวทะลุ (Thru Slot) ที่วิ่งจากผิวด้านหนึ่งไปทะลุผิวที่อยู่ตรงกันข้าม ร่องดังกล่าวนี้จะคล้ายกับร่องที่เกิดจากลักษณะของเครื่องมือที่เป็น ใบมีดของการตัด (Tools) วิ่งกัดตั้งฉากกับผิวของชิ้นงาน ในตัวเลือกคำสั่ง Slot จะมีวิธีการต่างๆในการทำ Slot ได้ 4 วิธี คือ

- Rectangular
- Ball-End
- U&T-Slot
- Dove-Tail

ในการพิจารณาว่าส่วนใดจะเป็นส่วนกว้าง (Width) และส่วนยาว (Length) จะพิจารณาได้ดังนี้

- Width จะเป็นส่วนที่ขยายตัวออกตั้งฉากกับแกนที่เป็นแกนนอน (Horizontal) จะเปรียบได้กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกระบอกที่วิ่งผ่านเข้าไปในเนื้อ
- Length จะเป็นระยะของแนวยาวที่ใบมีดวิ่งผ่านเข้าไปในเนื้อที่จะนานกับแกนนอน และมีทิศตั้งฉากกับ Width

7.4 Groove Feature จะเป็นการกัดชิ้นงาน Solid ที่คล้ายกับว่า ชิ้นงานมีการหมุนรอบแกนสมมุติแล้ววิ่งไปที่กัด ลักษณะของการกัดจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือ (Tool) ที่เข้ามามากกว่า จะเป็นปลายใบมีดรูปทรงใด โดยจะแบ่งออกดังนี้

- Rectangular
- Ball-End
- U-Groove

การใช้คำสั่งนี้จะใช้กับพีดเซอร์ที่เป็นทรงกระบอก (Cylinder) หรือผิวแบบโคนิก (Conical faces) เท่านั้น ซึ่งจะต้องมีการเลือกผิวและแกนที่จะให้เกิดการหมุนประกอบ

7.5 Pocket Feature ตัวเลือกนี้ยอมให้เราสร้างการเจาะ (Cavity) ลงในชิ้นงาน Solid คล้ายกับการใช้ใบมีดของเครื่องมือคว้านลงไปตรงๆ จะแตกต่างจากคำสั่ง Slot ตรงที่ Slot จะมีแนวใบมีดไปตามทิศทางของแกนนอน (Horizontal) แล้วจะเป็นไปตามทิศของผิวที่เลือกเท่านั้น ในตัวเลือกของ Pocket จะมีตัวเลือกที่สำคัญสรุปได้ดังนี้

- Cylinder Pocket มีลักษณะการเจาะเป็นวงกลมพร้อมกำหนดความลึก (Depth) แต่มีความสามารถที่จะขริบโค้ง (Blend) ตรงที่ปลายที่จะเจาะ โดยกำหนดค่ารัศมี (R) หรือกำหนดมุมเอียง (Taper)

- Rectangular Pocket เป็นการกำหนดการคว้านรูสี่เหลี่ยมโดยกำหนดความลึก (Z length) ขนาดความกว้าง (Y length) ขนาดความยาว (X length) มุมโค้ง (Corner Radius) มุม โค้งของพื้น (Floor Radius) และยังคงควบคุมมุมเอียง (Taper) ได้ด้วย

- General Pocket

7.6 Boss Feature เป็นการสร้างรูปทรง Solid ที่คล้ายทรงกระบอก (Boss) โดยการกำหนดความสูง

(Height) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) และขนาดมุมเอียง (Taper)

7.7 pad Feature เป็นการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมสร้างอยู่บนผิวของ Solid แต่จะสามารถควบคุมมุมเอียง (Taper) รัศมี (Corner Radius) จะมีตัวเลือกย่อยคือ

- Rectangular Pad

- General

7.8 Thread เป็นการให้รายละเอียดการทำเกลียวของผิวที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเช่น Cylinder, Hole, Bosses, Sweep ที่เป็นผิวทรงกระบอก ฯลฯ ซึ่งจะสามารถให้รายละเอียดเป็นเกลียวเป็นแบบตัวผู้หรือตัวเมีย ขึ้นกับลักษณะเวกเตอร์ที่ชี้ตั้งฉากเข้าออก การทำเกลียวจะสามารถให้วงวนซ้ายหรือขวาได้ตามแต่จุดประสงค์ และยังมีส่วนประกอบข้อมูลการทำเกลียวคือ เส้นผ่านศูนย์กลางของรัศมีหลัก (Major) และรัศมีช่วงเขี้ยว (Pitch) ระยะมุมเอียง (Angle) ระยะช่วงความยาวการทำเกลียว (Length) ในทางปฏิบัติโปรแกรมแสดงลักษณะการทำ Thread ในวิ Symbolic ซึ่งจะเป็นการแสดงแบบง่ายโดยไม่มีรายละเอียด (Detailed) เป็นการลดการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งเราจะควบคุมการแสดงเปิด/ปิด โดยการเลือกที่ปุ่ม Thread Type

8. Duplication & Reference Feature ในโปรแกรม UG เรายังจะสามารถทำซ้ำเป็นชุด (Array) จากฟีดเชอร์ที่เราสร้างไว้แล้ว ถึงแม้ว่าจะมีคำสั่ง Copy ในคำสั่ง Transformation แต่ในคำสั่งนี้จะมีตัวเลือกไว้อำนวยความสะดวกมากขึ้น สามารถกำหนดด้วยตัวแปรเพียงตัวเดียว แต่จะมีผลเชื่อมโยงไปถึงฟีดเชอร์ตัวอื่นๆ ที่ทำซ้ำเป็นชุดอีกด้วย การทำซ้ำ (Duplication) จะมีอยู่ด้วยกัน 5 วิธี คือ

8.1 Rectangular Array เราสามารถสร้างอาร์เรย์ชุดของฟีดเชอร์ไปยังทิศทาง XC และ YC ได้พร้อมกัน โดยจะสร้างระนาบที่ขนานไปกับ XC-YC ซึ่งเราจะต้องกำหนด WCS ให้เหมาะสมกับระนาบหรือผิวที่ต้องการ หลังจากที่เรารสร้างฟีดเชอร์ด้วยอาร์เรย์แล้ว เมื่อมีการแก้ไขไม่ว่าจะเป็น Blend, Tapers, Hollows, Datums ของชิ้นงานต้นแบบ ชุดอาร์เรย์ทั้งหมดที่เราสร้างไปแล้วแก้ไขตามอย่างอัตโนมัติ (แต่การอาร์เรย์จะไม่นำสิ่งเหล่านั้นไปด้วย แต่จะแก้ไขตามต้นแบบเท่านั้น) เมื่อเราใช้คำสั่ง Rectangle โปรแกรมจะมีการป้อนข้อมูลตามลำดับดังนี้

- Number Along XC (จำนวนของอาร์เรย์ตามแนวแกน X ซึ่งจะรวมต้นแบบด้วย)
- XC Offset (ขนาดของระยะห่างระหว่างอาร์เรย์ตามแกน Y)
- Number Along YC (จำนวนของอาร์เรย์ตามแนวแกน Y ซึ่งจะรวมต้นแบบด้วย)
- YC Offset (ขนาดของระยะห่างระหว่างอาร์เรย์ตามแกน Y)

8.2 Circular Array จะเป็นการสร้างอาร์เรย์รูปแบบวงกลมรอบแกนสมมุติ (Rotation Axis) ที่ตั้งฉากกับระนาบของการอาร์เรย์ ซึ่งเป็นระนาบที่อ้างอิงตาม WCS ของ XC-YC เมื่อเราใช้ตัวเลือกนี้ โปรแกรมจะมีการกำหนดค่าตัวแปรดังนี้

- Number (จำนวนอาร์เรย์รอบวงกลมที่รวมเอาต้นแบบด้วย)
- Angle (มุมที่เพิ่มระหว่างแต่ละพีตเซอร์วีครอบแกนหมุนสมมุติ)

8.3 Mirror Body เป็นคำสั่งที่สร้างพีตเซอร์ในลักษณะเช่นเดียวกับภาพในกระจกที่มีการสลับจากซ้ายเป็นขวา แต่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ การกระทำ Mirror จะกระทำรอบระนาบคาตัมสมมุติ ซึ่ง โปรแกรมจะสร้าง Separate Feature ใหม่ที่มีชื่อว่า Mirror ขึ้นมาอีก 1 ชุด เราสามารถใช้คำสั่งในเมนู Information ที่ตัวเลือก Feature เพื่อแสดง ข้อมูลพื้นฐานของวัตถุให้ทราบถึงชนิดและจำนวนของพีตเซอร์ได้ เช่นเดียวกับคำสั่งอาร์เรย์อื่นๆเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงใดๆบนตัวต้นแบบ (Master) จะมีส่งผลต่อพีตเซอร์ของตัวลูกที่ถูกสร้างขึ้นมา และหากมีการเปลี่ยนแปลงระนาบคาตัมสมมุติ อาทิเช่น การย้าย การลบ การหมุน การแก้ไข ฯลฯ จะส่งผลถึงตัวลูกเช่นกัน

8.4 Mirror Feature ในตัวเลือกนี้จะคล้ายกับ Mirror Body แต่จะสามารถเลือกส่วนที่ประกอบย่อยที่เป็นพีตเซอร์ได้แทนที่จะเลือกทั้งชิ้นดังคำสั่งที่ผ่านมา แต่ถ้าเป็นชิ้นงานที่มีความสัมพันธ์กัน โปรแกรมจะอ้างอิงพีตเซอร์เป็นกลุ่ม ในคำสั่งนี้จะใช้หลักการเดียวกับคำสั่ง Mirror Body แต่ต้องเลือกที่ Step ตามลำดับ คือ ต้องเลือกที่พีตเซอร์เป็นอันดับแรกและต้องเลือกที่ Selection Steps ต่อไปเพื่อเลือกระนาบคาตัมอีกครั้ง การใช้คำสั่งนี้จะต้องใช้กับวัตถุชิ้นงานที่มีพีตเซอร์ที่มีความสัมพันธ์กันเท่านั้น

8.5 Pattern Face ในตัวเลือกนี้จะมีอยู่ในเวอร์ชัน 18 เป็นต้นไป คำสั่งนี้จะช่วยให้เราทำการคัดลอก (Copy) กลุ่มของผิวที่ต้องการ ไปเป็นกลุ่ม โดยไม่จำเป็นต้องมีพีตเซอร์ทำให้คำสั่งนี้ใช้งานได้ง่ายกว่าคำสั่งอื่นวิธีการ ใช้คำสั่งนี้จะมีอยู่ด้วยกัน 5 ขั้นตอนดังนี้

- เลือกที่ผิวที่ต้องการ (Seed) เพื่อเป็นวัตถุเป้าหมาย
- เลือกผิวที่ต้องการเป็นขอบเขต (Boundary)
- เลือกเส้นขอบที่กำหนดเป็นแกน X ของ pattern
- เลือกเส้นขอบที่กำหนดเป็นแกน Y ของ pattern
- เลือกระนาบที่เป็นระนาบอ้างอิง อาจเป็นคาตัมหรือระนาบผิว

ในการทำเป็นชุดแบบ Rectangular และ Circular จะมีการกระทำเป็นชุดแบบพิเศษที่แบ่งย่อยได้อีก 3 ลักษณะ เพื่อให้การทำเป็นชุดอาร์เรย์ทั้งสองแบบ มีการควบคุมได้ง่ายขึ้นดังนี้

- General จะเป็นแบบปกติที่มีการกระทำทางพีชคณิต (Boolean) ระหว่างฟีดเซอร์ที่อาร์เรย์ กับผิวชิ้นงานที่สัมพันธ์ จะสามารถสร้างได้แม้บริเวณขอบ (Edge)

- Simple จะคล้ายกับ General แต่จะไม่เกินขอบของผิวชิ้นงาน ซึ่งถ้าหากสร้างเกินขอบ โปรแกรมจะแจ้งค่าผิดพลาด (error) ให้ทราบ

- Identical จะเป็นการกระทำได้เร็วที่สุดและจะไม่มีการกระทำใดๆ ทางพีชคณิตเลย คล้ายกับการ Copy แบบธรรมดา จะเหมาะสำหรับ Copy จำนวนมากๆ ซึ่งจะเหมือนกับต้นฉบับทุกประการ

9 Reference Feature โปรแกรม UG จะมีเครื่องมือที่เรียกว่าคาตัม ซึ่งจะมีลักษณะเป็นระนาบแผ่นบางที่ไม่มีควมหนา ถือว่าเป็นระนาบสมมุติที่สามารถขยายตัวได้ตามขนาดขอบเขตของวัตถุได้ อย่างไรก็ตามไม่มีที่สิ้นสุด มีประโยชน์เพื่อสามารถใช้อ้างอิง (Reference) กรณีที่วางตำแหน่งของชิ้นงานเพื่อความสะดวกและแม่นยำขึ้น คาตัมเราจะถือว่าเป็นฟีดเซอร์อย่างหนึ่งที่เราสามารถลบและแก้ไขได้ เช่นเดียวกับฟีดเซอร์อื่นๆ ได้เช่นกัน เรามักนิยมใช้ระนาบคาตัมในกรณีการวางตัวของฟีดเซอร์ไม่ได้ขนานกับแกนระนาบทั้งสามของแกน X, Y, Z หรือกรณีที่วัตถุมีช่วงความยาวบางส่วนอยู่ในชิ้นงานซึ่งจะทำให้การวางตำแหน่งลำบากมากขึ้น เรานิยมใช้ระนาบคาตัมเป็นแนววางตำแหน่งและกำหนดช่วงของวัตถุระนาบคาตัมจะมีอยู่ 3 ชนิดคือ

9.1 Datum Plane จะเป็นระนาบที่สร้างขึ้นจากตำแหน่งที่แน่นอน เช่น อาจสร้างจากจุดกึ่งกลางของขอบกับจุดปลายของชิ้นงาน จะมีประโยชน์อย่างมากต่อการสร้างฟีดเซอร์บนวัตถุที่ผิวไม่ชัดเจน เช่น บนทรงกระบอก ทรงกรวย หรือ Solid ได้เลย Datum Plane จะสร้างได้จาก 2 ลักษณะคือ จาก Relative และ Fixed เราสามารถจะสร้างระนาบคาตัมในลักษณะสัมพันธ์เชิงบังคับ (Constrained) กับวัตถุฟีดเซอร์ต่างๆที่เรากำหนด โดยจะเป็นลักษณะที่สามารถใช้ร่วมกัน (Combination) คือเมื่อเราสร้างระนาบคาตัมขึ้นมาแล้ว ถ้าหากมีการปรับเปลี่ยนขนาดของฟีดเซอร์ เช่น ความกว้าง สูงขึ้น การย้ายตำแหน่ง ระนาบของคาตัมก็จะปรับรูปไปตามการเปลี่ยนแปลงของฟีดเซอร์นั้นทันที ซึ่งข้อมูลของความสัมพันธ์ดังกล่าว จะแสดงให้เราทราบได้โดยการใช้นุ่ม Constraint Information การเลือกรูปแบบของ Constraint จะมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

-Single Constraint จะสร้างระนาบหรือผิวที่มีอยู่แล้ว จะเลือกได้ 3 วิธี

1. Offset From Plane (เลือกจากสิ่งที่มีอยู่แล้วด้วยแต่เดิม)
2. Center Plane (เลือกจาก 2 ผิวหรือระนาบที่ขนานกัน)
3. Trough Face Axis (เลือกผิวโค้งของทรงกระบอก, ทรงกรวย)

- Dual Constraint จะสร้างความสัมพันธ์คู่ใดคู่หนึ่ง

- Triple Constraint จะสร้างจากจุด 3 จุดจากชิ้นงาน Solid เดียวกัน จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ Solid ก่อนนี้ ซึ่งจะเลือกได้เฉพาะจุดปลาย (Endpoint) จุดกึ่งกลาง (Midpoint) บนขอบต่างๆที่สามารถเลือกได้

9.2 Datum Axis ในตัวเลือกนี้จะเป็นการสร้างแกนสมมติไว้เพื่ออ้างอิง ซึ่งแกนคาดัม (Datum Axis) จะแตกต่างจาก WCS ตรงที่ว่าคาดัมจะมีความสามารถทางด้านความสัมพันธ์เชิงบังคับ (Constraint) คือ สามารถปรับเปลี่ยนของวัตถุซึ่งกันและกัน (เมื่อวัตถุเปลี่ยนรูปทรง ระนาบคาดัมก็จะเปลี่ยนตามอัตโนมัติ) แกนคาดัมจะมีประโยชน์ในการอ้างอิงในกรณีที่ชิ้นงานมีรูปทรงผิวโค้งหรือรูปทรงที่ไม่มีขอบและผิวที่ชัดเจนซึ่งจะทำให้วางตำแหน่งฟีดเซอร์ได้ง่ายขึ้น สรุปประโยชน์ได้ดังนี้

- เป็นแกนของการหมุนแบบ Revolved Feature
- เป็นแกนของการสร้างระนาบคาดัม
- เป็นทิศสำหรับการวาง
- เป็นการให้เส้นบอกขนาดการอ้างอิงสำหรับการวางตำแหน่งได้

9.3 Datum CSYS สำหรับระนาบคาดัมแบบ CSYS จะมีลักษณะคล้ายกับ CSYS ของ WCS กล่าวคือ เป็นกลุ่มของระนาบคาดัมที่สร้างไว้หลายๆจุดบนชิ้นงาน เมื่อเราต้องการจะใช้ก็เพียงคลิกเรียกกลับมาได้อีกตลอดเวลา และเมื่อเราต้องการจะลบทิ้งก็สามารถลบทิ้งได้โดยคำสั่ง Delete เช่นเดียวกับวัตถุธรรมดา Datum CSYS จะเป็นเพียงระนาบเล็กๆที่ไม่เหมือนกับ Datum Plane ซึ่งเมื่อถูกสร้างมาบนชิ้นงาน จะมีได้หลายๆตำแหน่งต่างกัน และการใช้งานของ Datum CSYS จะค่อนข้างง่าย

10 Edit Feature ในโปรแกรม UG ได้เปิดโอกาสให้เราสามารถเข้าไปแก้ไขตัวแปร (พารามิเตอร์) ต่างๆที่คุมฟีดเซอร์ โดยผ่านคำสั่ง Edit Feature ซึ่งหลังจากการแก้ไขฟีดเซอร์ต่างๆแล้วข้อมูลของส่วนประกอบอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากโอเปอเรชัน เช่น Unite, Intersection ฯลฯ ก็จะคำนวณปรับรูปทรงตามข้อมูลใหม่อย่างอัตโนมัติ และคงยังมีความสัมพันธ์กันอยู่เช่นเดิม (ยกเว้นกรณีที่ไม่สามารถกระทำได้ โปรแกรมจะให้เราเลือกว่าจะย้อนคืนสภาพเดิมหรือจะไปข้างหน้าเป็น Step

10.1 Move Feature ตัวเลือกนี้จะใช้ในการย้ายฟีดเซอร์ไปสู่ตำแหน่งใหม่ หลังจากที่ได้โอเปอเรชันเรียบร้อยแล้ว ในคำสั่งนี้จะใช้ได้กับทุกฟีดเซอร์ที่เป็น Solid ที่สร้างขึ้นมาจากการ Extruded และ Revolved แต่จะใช้ไม่ได้กับฟีดเซอร์ที่เกิดขึ้นภายใต้ Constraint ซึ่งจะต้องใช้คำสั่ง Edit Positioning Dimension แทน

10.2 Delete Feature ตัวเลือกนี้จะใช้สำหรับลบฟีดเซอร์ที่ไม่ต้องการทิ้งไป ซึ่งฟีดเซอร์ที่จะลบจะต้องไม่มีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง (อาทิเช่นเราเจาะรูด้วยการอ้างอิงจากระนาบคาดัม รูที่เจาะก็จะถูกลบตามไปด้วย) ถึงแม้จะมีการลบด้วยความไม่ตั้งใจ เราสามารถใช้คำสั่ง Undo ย้อนคืนสภาพเดิมได้ แต่ต้องการไม่มีการจัดเก็บ (Save) ก่อนหน้านี้

10.3 Edit Feature Parameters จะใช้ในการแก้ไขค่าตัวแปรที่เป็นพารามิเตอร์ต่างๆของฟีดเซอร์ ซึ่งแต่ละชนิดจะไม่เหมือนกันจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟีดเซอร์และรูปแบบการสร้าง เช่น ในกลุ่มที่สร้างจาก Instance ฟีดเซอร์ก็จะเป็นหน้าต่างของ Instance หรือถ้าเป็น Itole ก็จะเป็นหน้าต่างของ Itole แต่ถ้าจะเป็นฟีดเซอร์อื่นๆ ก็จะแก้ไขในส่วนตัวแปรพื้นฐานที่นำไปสร้างฟีดเซอร์นั้นๆ

10.4 Edit Positioning ตัวเลือกนี้จะแก้ไขได้เฉพาะ Form Feature เท่านั้น เช่น Boss, Hole, Slot ฯลฯ จะไม่สามารถแก้ไขได้ทุกฟิเจอร์และจะนิยมใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งโดยยังยึดถือเงื่อนไขเดิมอยู่ใน ตัวเลือกนี้จะมีตัวเลือกอยู่ 3 ตัวคือ

- Add Dimension จะใช้ในกรณีที่เราวางตำแหน่งฟิเจอร์ (โดยใช้เมาส์) โดยไม่ได้มีการกำหนดขนาดควบคุมระยะใดๆ เช่น การวางโดยตรงโดยใช้เมาส์วางแต่จะข้ามขั้นตอนให้โดยป้อนโดเมนชั้นลงไป (ไม่ได้พิมพ์ข้อมูลทับ) จึงจะใช้ตัวเลือกนี้ได้

- Edit Dimension จะใช้ตัวเลือกนี้แก้ไขโดเมนชั้นจากที่เรากำหนดไว้แล้วในขณะวางตำแหน่งใน ครั้งแรก (พิมพ์ทับข้อมูล) อาศัยการคลิกเลือกโคจรตรงที่เส้นบอกขนาดแล้วพิมพ์ข้อมูลใหม่ทับลงไป

- Delete Dimension จะใช้ในกรณีที่ลบโดเมนชั้นที่เกิดจากการวางตำแหน่งของ ฟิเจอร์โดย เลือกที่เส้นบอกขนาดได้โดยตรง

10.5 Reorder Feature เราจะใช้ตัวเลือกนี้ เพื่อทำงานสลับตำแหน่งการกระทำของฟิเจอร์ต่างๆ ใน ลักษณะให้เกิดก่อนให้เกิดหลัง อาทิเช่น เดิมเราเจาะรูสามารถใช้คำสั่ง Reorder นี้เข้าช่วย ซึ่งบางครั้ง รูปทรงอาจเปลี่ยนไปไม่เหมือนเดิม ดังนั้นจึงควร ใช้อย่างระมัดระวัง แต่เรายังสามารถ Undo คืนสภาพเดิม ได้เสมอ

10.6 Reattach Feature ตัวเลือกนี้จะซ่อนอยู่ในคำสั่ง Edit Feature Parameters จะปรากฏตัวเลือกนี้เมื่อคลิกคำสั่งแก้ไขฟิเจอร์ที่มีส่วนประกอบใดๆ ที่สามารถสลับตำแหน่งได้โปรแกรมจะ แสดงตัวเลือก Hole, Pocket, Grooves, Pads, Slots, Bosses เท่านั้น

10.7 Edit Feature by Model Navigator การแก้ไขฟิเจอร์บางครั้งเราสามารถ ใช้ Model Navigator ในการแก้ไขฟิเจอร์ต่างๆ ได้อย่างเดียวกันหลังจากที่เรียกคำสั่งนี้ขึ้นมาทำงานให้คลิกเลือกที่ ฟิเจอร์ใดๆ พร้อมคลิกเมาส์ปุ่มขวาก็จะเกิดเมนูสำหรับการแก้ไขขึ้นมาเพื่อแก้ไขฟิเจอร์ต่างๆ อาทิ เช่น ลบ(Delete), แก้ไข(Edit), ย้ายลำดับ (Recorder) เป็นต้น

11 Expression จะเป็นสมการทางพีชคณิตและทางเรขาคณิต ที่เราจะนิยมใช้สำหรับควบคุม รูปทรง ขนาดส่วนต่างๆ ของชิ้นงานได้ง่ายขึ้น โคนเราสามารถสร้างสมการเชิงสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับ ตัวแปรต่างๆ ของฟิเจอร์ เช่น ความสูง ความกว้าง ความยาว ขนาดรู ฯลฯ แล้วนำมาสร้างสมการ ให้ เปลี่ยนผัน เพื่อควบคุมความถูกต้องได้อย่างแม่นยำที่สำคัญก็คือ ง่ายต่อการแก้ไขรูปในคราวเดียวกัน ยกตัวอย่าง เมื่อความกว้างมีการเปลี่ยนแปลง ความยาว และขนาดของรูก็จะสามารถปรับเปลี่ยนตาม สมการแปรผันได้อย่างอัตโนมัติ

12 การสร้างเส้น โครงร่างสเกตช์ด้วยคอนสเตรนต การสเกตช์ในลักษณะแบบคอน สเตรนต (Constraint) จะคล้ายกับว่าเป็นการสร้างรูปทรงจากเส้นตรงและเส้นโค้งในลักษณะเชิงบังคับ (บังคับให้ขนานกัน บังคับให้สัมผัสกัน บังคับในแนวแกนต่างๆ) เส้นทุกเส้นที่ถูกสร้างขึ้นมาจะมี ความสัมพันธ์เชื่อมโยงต่อกัน มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันและยกตัวอย่าง เช่น ถ้าหากเรามีการแก้ไข เส้นใดเส้นหนึ่งเส้นอื่นๆก็จะถูกปรับตามอย่างอัตโนมัติ โดยที่จะรักษาความสัมพันธ์ต่างๆ เหมือนเดิม

การสเกตช์จะเหมาะสมกับรูปทรง 2 มิติ ที่จะนำไปขึ้นรูป 3 มิติ ไม่ว่าจะเป็นการ Swept Feature ที่ต้องอาศัยรูปทรงอ้างอิงหรือสร้างเป็นรูปทรงหน้าตัดในการขึ้นรูป ในรูปทรงอื่นๆ เช่น Free Form , Revolution เป็นต้นและการสเกตช์เองจะมีเครื่องมือต่างๆ ที่สามารถควบคุมความละเอียดแม่นยำได้สูงกว่า และแก้ไขง่ายกว่าวิธีการสร้างเส้น Curve แบบธรรมดา

12.1 ความสามารถในการเคลื่อนย้าย (Degree of Freedom) หมายถึงความสามารถในการที่จะเคลื่อนย้ายชิ้นงาน จะมีลักษณะเป็นตัวลูกศรชี้ในบริเวณที่เป็นสเกตช์พอยน์ (Sketch Point) ถ้ามีลูกศรชี้ทั้งแนวนอนและแนวตั้งหมายถึง ความสามารถเคลื่อนย้ายทั้ง 2 แนว คือ ขึ้นหรือลง (แนวตั้ง) และซ้ายหรือขวา (แนวนอน) Sketch Point จะช่วยให้เรานั้นสามารถรู้ตำแหน่งของวัตถุเพื่อวางได้แม่นยำ ส่วน Degree of Freedom จะช่วยให้เราได้ทราบว่าจุดควบคุมของแต่ละเส้น มีความอิสระได้มากน้อยเพียงใด เพื่อกำหนด Constraint ในแต่ละเส้น Curve

### 12.2 หลักการ ในการสร้างการสเกตช์

- ตัดสินใจว่าส่วนไหนต้องการสเกตช์ขึ้นมา ซึ่งควรจะเป็นส่วนใดส่วนหนึ่งที่สามารถเป็นตัวแทนของชิ้นงานที่จะขึ้นรูปมากที่สุด
- เลือกเลย์เออร์ที่ต้องการจะวางรูปสเกตช์ ควรจะแจกแจงรูปสเกตช์ไว้ในเลย์เออร์ใหม่ ไม่ควรจะไปปนกับอ็อบเจกต์อื่นๆ เพื่อง่ายต่อการทำงาน
- ตั้งชื่อให้เหมาะสมกับลักษณะงาน ควรจะจัดกลุ่มแล้วกำหนดชื่อให้มีความหมายสื่อถึงลักษณะงานหรือรูปร่างชิ้นงาน
- กำหนดระนาบที่ต้องการจะสเกตช์ให้เหมาะสม ควรจะกำหนดระนาบที่ง่ายและสัมพันธ์กับผิวของชิ้นงานที่จะขึ้นรูปมากที่สุด เพราะการสเกตช์จะเป็นการสร้างรูปทรงใน 2 มิติ ที่ต้องอ้างอิงระนาบในการสร้าง

12.3 หน้าต่างของการสเกตช์ หน้าต่างของเครื่องมือสำหรับการทำงาน โหมดสเกตช์ โดยจะแบ่งกลุ่มได้ดังนี้

#### 12.3.1 กลุ่มการสร้าง Curve มีส่วนประกอบดังนี้

- สร้างเส้นจากพื้นฐาน เช่น เส้นตรง วงกลม การขยับ การตัดแก้ไขต่างๆ
- การวางตำแหน่งของจุด (Point) เช่น ที่จุดปลาย, จุดควบคุมเส้น, จุดสัมผัส, จุดตัด
- การวางตำแหน่งของจุด (Point) แบบเป็นแบบกลุ่มจะมีตัวเลือกที่วางบนผิว วางบน SCYS
- สร้างเส้นสี่เหลี่ยมจากจุดที่ต้องการ 2 จุด
- การขยับ โคน เฉพาะเส้นที่ได้จากการสเกตช์ โดยการกำหนดครีสมิ หรือไม่กำหนดครีสมิ

- สร้างจากวงรีจากกำหนดจุดกึ่งกลาง และตัวควบคุมเส้นหลักกับเส้น

รอง

- สร้างเส้นโค้ง Spine เช่น จากตำแหน่ง Pole ผ่านจุดปรับให้พอดี ตั้ง

ฉากกับระนาบ

- สร้างเส้นโค้งแบบ Conic เช่น จุดยอดกรวย และระนาบก็จะได้เส้น

โค้งออกมา

- แก้ไขเส้นโค้ง เช่น มุมขลิบ จุดขลิบ ตัดแบ่งเส้น รัศมีขลิบ การยืด

ความยาวโค้ง

12.3.2 กลุ่มตัวเลือกการสเก็ตช์ (Sketch Option) มีส่วนประกอบดังนี้

- สร้างระนาบใหม่สำหรับการสเก็ตช์โดยการกำหนดชื่อและเลือกร

ระนาบที่ต้องการ

- สร้างระนาบใหม่สำหรับการสเก็ตช์โดยการให้ระนาบแบบโดเมนชั้น

แต่จะต้องอยู่ในวัตถุเท่านั้น

- ปรับย้ายแบบสลับด้านใหม่ สำหรับสิ่งที่ได้กำหนดไว้แล้ว เช่น สลับ

พลิก ทิศทาง สลับด้าน

12.3.3 กลุ่มตัวเลือกการจัดการ Constraint (Constraint Management) มี

ส่วนประกอบดังนี้

- ควบคุมการสร้างรูปทรงด้วยเส้นบอกขนาดและการกำหนดด้วย

Constraint

- สร้างรูปเหมือนในลักษณะกระจก (Mirror) ที่กลับจากซ้ายไปขวา

- กำหนดการแก้ไขที่ละครั้งสลับกันไป ใช้ในกรณีที่ต้องการแก้ไข

รูปทรงที่ยากๆ

- การลาก (Drag) โดยการปรับเปลี่ยนค่าของขนาดของตัวเอง ซึ่งจะ

กำหนดขนาดของการเพิ่มลด ได้สะดวกกว่า

- แสดงและลบลักษณะ Constraint ที่เชื่อมโยงกันในรูปทรงกระบอก

ของการสเก็ตช์เพื่อการแก้ไข

- การแสดงการเคลื่อนไหว (Animate) โดยการกำหนดช่วง และ

กำหนดลำดับการเปลี่ยนแปลง

- สร้างเส้น Curve ด้วยการสกัดแยกจากผิวในลักษณะ Offset

12.3.4 กลุ่มการจัดการสเก็ตช์ (Sketch Manager) มีส่วนประกอบดังนี้

- เพิ่มวัตถุที่สนใจเข้าสู่เส้นสเก็ตช์ โดยจะเลือกจากวัตถุที่อยู่ในโหมด

Model Space

- เปลี่ยนไปและกลับจากเส้น Curve ที่เป็น Referent (ในลักษณะ 2 ทาง)

- วางเส้นสเกทช์ด้วยการสกดเส้นจาก Model Space เข้าสู่เส้น Curve ในสเกทช์

### 12.3.5 การแก้ไขตัวควบคุม String ของเส้น Curve

12.4 Control Point ตัวเลือกนี้เป็นปุ่มที่ช่วยให้เราสะดวกในการวางตำแหน่งของเส้นต่างๆ ได้แม่นยำจะคล้ายกับการกระโดด (Snap) เข้าหาตำแหน่งที่ต้องการ เช่น จุดศูนย์กลาง จุดตัด จุดปลาย เป็นต้น และหน้าต่าง Point Method จะมีตัวเลือกในการวางตำแหน่งดังนี้

- Inferred Point จะเป็นแบบอัตโนมัติ โปรแกรมจะคำนวณให้ตำแหน่งแก่เรา
- Cursor Location จะเป็นการวางตำแหน่งโดยผู้ใช้กำหนดเองด้วยเคอร์เซอร์
- Existing Point วางตำแหน่งบนจุดที่สร้างไว้
- End Point วางตำแหน่งที่จุดควบคุมเส้น
- Intersection Point วางตำแหน่งที่จุดตัดของเส้น
- Arc/Ellipse/Sphere Center วางตำแหน่งที่จุดกึ่งกลางเส้น โค้ง วงรี และทรงกลม
- Quadrant Point วางตำแหน่งที่จุดหนึ่งในสี่ของวงกลม
- Select Point เลือกตรงส่วนของผิวของ Solid
- Point Construction สร้างตำแหน่งของจุดบนชิ้นงานโดยผู้ใช้กำหนดเอง

12.5 การให้ Constraint ด้วย Geometric การให้ Constraint ในรูปแบบ Geometric คือ การกำหนดให้เส้น Curve แต่ละคู่หรือแต่ละจุด มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงบังคับ คือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเส้นใดเส้นหนึ่ง เส้นที่มีความสัมพันธ์นั้นก็จะปรับตามอย่างอัตโนมัติ เช่น การให้ขนาดเท่ากัน การใช้เส้นผ่านศูนย์กลางร่วมกัน ให้ขนานกัน ให้สัมผัสกัน ให้ตั้งฉากกัน เป็นต้น การกำหนดลักษณะ Constraint ในรูปแบบ Geometric จะสามารถสรุปได้ดังนี้

- Coincident กำหนดจุดให้เป็นที่เดียวกัน
- Collinear กำหนดให้เส้นวางแนวเดียวกัน และทิศเดียวกัน
- Concentric กำหนดให้จุดศูนย์กลางร่วมกัน
- Constant Angle ล็อกให้องศาคงที่
- Constant Length ล็อกให้ความยาวคงที่
- Equal Length กำหนดให้ความยาวต้องเท่ากัน
- Fix กำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- Horizontal บังคับให้เป็นแนวนอน
- Midpoint to กำหนดให้จุด อยู่บนกึ่งกลางของเส้น Curve

- Mirror กำหนดให้วัตถุทั้งสองขึ้น กลับด้านซ้ายขวา
- Tangent กำหนดให้สัมผัสกันซึ่งกันและกัน
- Parallel กำหนดให้เส้นตรงที่เลือกขนานกัน
- Perpendicular กำหนดให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน
- Point on Curve ข้ายจุดไปอยู่บนเส้น Curve
- Vertical บังคับให้เป็นแนวตรง

12.6 การขริบโค้ง Sketch Fillet ในคำสั่ง Sketch ตัวเลือกของ Curve Construction และ Basic Curve จะมีคำสั่งทำหน้าที่ในการขริบโค้งระหว่างเส้นตรง 2 เส้นที่เข้าบรรจบทำมุมกันตามค่ารัศมี R ซึ่งจะมีวิธีการขริบได้ 2 วิธีคือ

- Simple Fillet
- Curve Fillet

12.7 การสร้างระนาบ Sketch บนผิวระนาบ การสร้างแบบของการสเกตช์นอกจากระนาบแกนทั้ง 3 ของ WCS แล้วเรายังสามารถที่จะสร้างระนาบขึ้นจากผิว (Face) ใดๆของชิ้นงานแต่ถ้าเป็นผิวที่ Free Form หรือผิวโค้งอาจจะต้องอาศัยการสร้างระนาบค้ำเข้าช่วย ซึ่งตัวโปรแกรมจะเป็นตัวกรองสำหรับให้เลือกว่าเป็นแบบใด

12.8 การทำ Mirror Sketch การทำ Mirror ของการสเกตช์จะเป็นลักษณะการคัดลอกวัตถุในรูปแบบกลับซ้ายเป็นขวา คล้ายวัตถุที่มองในกระจก การ Mirror ของสเกตช์จะสามารถเลือกได้จากวัตถุระนาบที่ทำงาน (Active) ได้เพียงระนาบเดียวเท่านั้น การทำ Mirror โปรแกรมจะให้เราทำงานตามขั้นตอนดังนี้

- เลือกเส้น 1 เส้น ที่ต้องการจะทำการเป็นแกนของกระจก (Select Mirror Centerline)
- เลือกกลุ่มของเส้นที่ต้องการจะคัดลอก (Select Mirror Geometry)

12.9 การ Drag Sketch โปรแกรมจะมีตัวเลือกที่ช่วยในการขยับรูป ปรับขนาดของระยะต่างๆ ในลักษณะลากแล้วปล่อย (Drag and Drop) เพราะการสเกตช์นี้ถือว่าการขึ้นรูปในลักษณะรวดเร็ว เพื่อให้ได้รูปทรงที่ใกล้เคียง คำสั่งนี้จึงเป็นการช่วยให้เราทำงานได้คล่องตัวขึ้นการปรับแก้ของคำสั่ง Drag จะทำได้ 2 ลักษณะ คือ ถ้ามีคลิกที่เส้น Curve โดยตรงก็จะลากแล้วปล่อยอย่างอิสระ ถ้าคลิกที่เส้นบอกขนาดจะสามารถใช้ตัวควบคุมในหน้าต่าง Drag ปรับค่าที่เส้นบอกขนาด การทำ Drag โปรแกรมจะให้เราทำงานตามขั้นตอนดังนี้

- เลือกกลุ่มเส้น Curve โดยตรง แล้วคลิกที่ปุ่ม Done Selecting จะลากแล้วปล่อยอย่างอิสระ
- เลือกที่เส้นบอกขนาดให้กำหนดขนาดการเพิ่มค่า แล้วใช้ปุ่มลูกศรซ้ายขวาคคลิกเพื่อปรับขนาดเพิ่มลด

12.10 การแก้ไขสเกตช์ด้วยการ Edit Curve จะใช้ในกรณีที่เราต้องการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดต่างๆ เช่น คำรัศมี, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, ขนาดความยาว, จุดศูนย์กลางวงกลม, ค่ามุมยก เป็นต้น แต่จะไม่สามารถเปลี่ยนค่าพิกัดของเส้นตรงหรือเส้นโค้งได้ การแก้ไข Edit Curve โปรแกรมจะให้ทำงานตามขั้นตอนดังนี้

- คลิกเลือกเส้น Curve โดยตรง แล้วกดปุ่ม TAB จะเกิด High Light กระโดดไปตามช่องไอคอนลือคบาร์

- เมื่อถึงช่องที่ต้องการแก้ไขก็ให้พิมพ์ข้อมูลใหม่ลงไป พร้อมคลิกปุ่ม

Apply

## โปรแกรม Star-CD

โปรแกรมนี้ไว้สำหรับการแก้ไขปัญหาทางด้าน Thermo fluid โดยใช้ Computational Fluid Dynamics โดยปกติกระบวนการของ Computational Fluid Dynamics นั้นความถูกต้องของโปรแกรมไม่เพียงขึ้นอยู่กับความสามารถของ โปรแกรมแต่ยังเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่นำเข้าต่างๆ คือ

- Domain ของการไหล
- คุณสมบัติของการไหล
- เงื่อนไขขอบเขต
- วิธีการแก้ไขปัญหา

1. กระบวนการของ Computational Fluid Dynamics กระบวนการของ Computational Fluid Dynamics สามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะเวลาต่างๆดังต่อไปนี้

1.1 การออกแบบจำลอง การออกแบบจำลองนั้นเราต้องเข้าใจลักษณะทางกายภาพของวัตถุ คุณสมบัติพื้นฐานของการไหล และหลักการทางฟิสิกส์ของการไหลนั้นๆ สามารถ จำแนกได้ดังนี้

- การกำหนด Mesh (จำนวน Mesh ขนาดและรูปร่างของ Mesh ฯลฯ)
- การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ทางกายภาพที่เหมาะสม (ความ

หนาแน่น ค่าความหนืดและความร้อนจำเพาะ ฯลฯ)

- การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมมากที่สุด (การใช้ Turbulence

Model การใช้สมการเผาไหม้ ฯลฯ)

1.2 การสร้างแบบจำลองของการไหล เราสามารถจำแนกได้ดังนี้

- การสร้าง Mesh ที่ใช้ในโมเดลการไหล
- คุณสมบัติทาง Thermodynamic ของของเหลว
- การเลือกตัวแปรในการแก้ปัญห

- ข้อมูลที่นำออก
- เงื่อนไขขอบเขต
- ข้อมูลต่างๆที่ใส่เข้าไป

### 1.3 การวิเคราะห์การไหลโดยใช้ Star-Cd สามารถจำแนกได้ดังนี้

- ข้อมูลต่างๆที่อ่านโดย Prostar โดยถ้าเราต้องการเริ่มต้นทำการ

วิเคราะห์จะต้องมีผลลัพธ์เท่าที่เกิดจากโปรแกรม

1.4 การตรวจสอบผลลัพธ์โดยใช้ Prostar การตัดสินใจความถูกต้องของโปรแกรมโดย การวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่แสดงและแก้ปัญหาโดย Star-Cd

2. Solution Domain การแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม Star-Cd นั้นสามารถแก้ปัญหาต่างๆได้ดังนี้

- 2.1 ของเหลวหรือความร้อนไหลผ่านบริเวณเปิด
- 2.2 ของเหลวหรือความร้อนที่ไหลผ่านรูพรุน
- 2.3 ความร้อนที่ไหลผ่านของแข็ง

โดยการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นสิ่งที่สำคัญ คือ เราต้องกำหนดขอบเขตของปัญหาอย่างระมัดระวังและแบ่งขอบเขตได้ถูกต้อง โดยขอบเขตของโปรแกรม Star-Cd สามารถเลือกได้ 4 ชนิดดังนี้

- Physical Boundaries
- Symmetry Boundaries
- Cyclic Boundaries
- Notional Boundaries

3. Flow characterization and material property definition มีความจำเป็นมากที่เราต้องกำหนดเงื่อนไขการไหลทางกายภาพและคุณสมบัติของวัสดุเพื่อการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง โดยต้องเข้าใจหลักสำคัญต่อไปนี้

3.1 ธรรมชาติของการไหล (ความสม่ำเสมอ, ความไม่สม่ำเสมอ, Laminar, Turbulent, Incompressible, Compressible)

3.2 คุณสมบัติ Thermo physical (ความหนาแน่น, ความหนืด, ความร้อนจำเพาะ)

3.3 แรงภายนอก (แรงโน้มถ่วง, แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง)

3.4 เงื่อนไขเริ่มต้นของการไหล

4. Boundary Conditions สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

4.1 Prescribed Flow

4.2 Outlet

4.3 Prescribed Pressure

4.4 Stagnation Conditions

4.5 Cyclic Boundaries

4.6 Plane Of Symmetry

4.7 Free-Stream Transmissive Boundaries

4.8 Transient Wave Transmissive Boundaries

5. Numerical solution control การแก้ปัญหาของไหลสามารถแบ่งแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ

5.1 Transient สามารถแก้ได้โดย

- PISO

5.2 Steady-State สามารถแก้ได้โดย

- PISO

- SIMPLE

- SIMPISO



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้