

## บทที่ 4

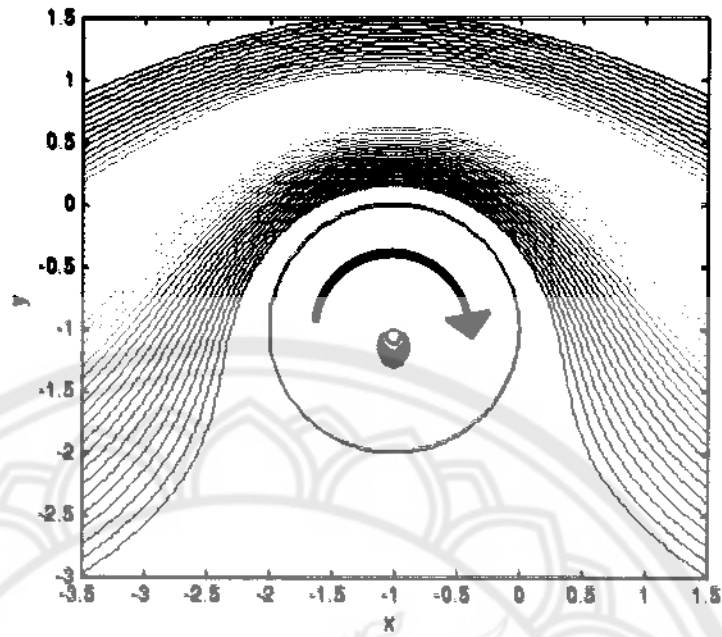
### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เกี่ยวกับการไหลของของไหลผ่านวัตถุทรงกระบอกและวัตถุทรงกลม โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ในส่วนแรกเป็นผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองการไหลแบบศักย์ (Potential Flow) ผ่านทรงกระบอกที่กำลังหมุนซึ่งศึกษาโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในส่วนที่สองเป็นผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองการไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลมซึ่งประกอบด้วยรอยนูนที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ศึกษาโดยใช้โปรแกรม COMSOL

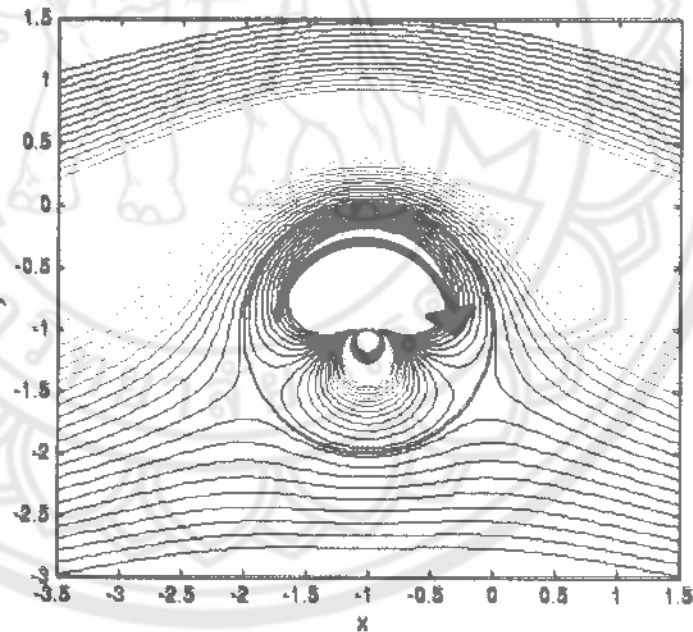
#### 4.1 การศึกษาการไหลแบบศักย์ (Potential Flow) ผ่านทรงกระบอกที่กำลังหมุน

การศึกษาการไหลแบบศักย์ (Potential Flow) ผ่านทรงกระบอกที่กำลังหมุนโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการประมวลผลโดยเปลี่ยนความเร็วต่างๆ ได้แก่ -10, -5, 0, 5 และ 10 รอบต่อวินาที จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ทิศทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก

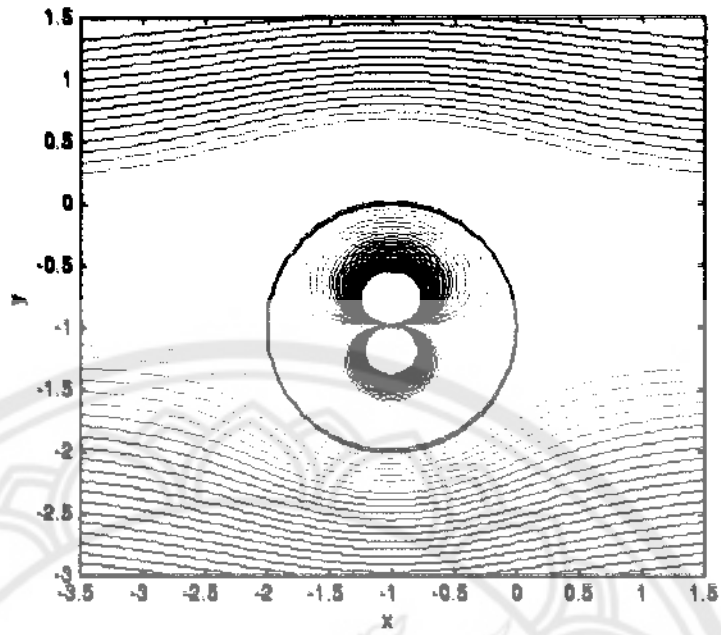
ผลการทดลองการไหลแบบศักย์ (Potential Flow) ผ่านทรงกระบอกที่กำลังหมุน จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วรอบของทรงกระบอกมีค่าเป็นบวก พบว่าเส้นการไหลจะไหลผ่านด้านล่างของทรงกระบอกมากกว่าด้านบน แต่ถ้าความเร็วรอบของทรงกระบอกมีค่าเป็นลบจะได้ผลตรงกันข้ามกันคือเส้นการไหลจะไหลผ่านด้านล่างของทรงกระบอกมากกว่าด้านบน ส่วนความเร็วรอบของทรงกระบอกมีค่าเท่ากับศูนย์ (ทรงกระบอกไม่มีการหมุน) จะเห็นได้ว่าเส้นการไหลจะไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform flow)



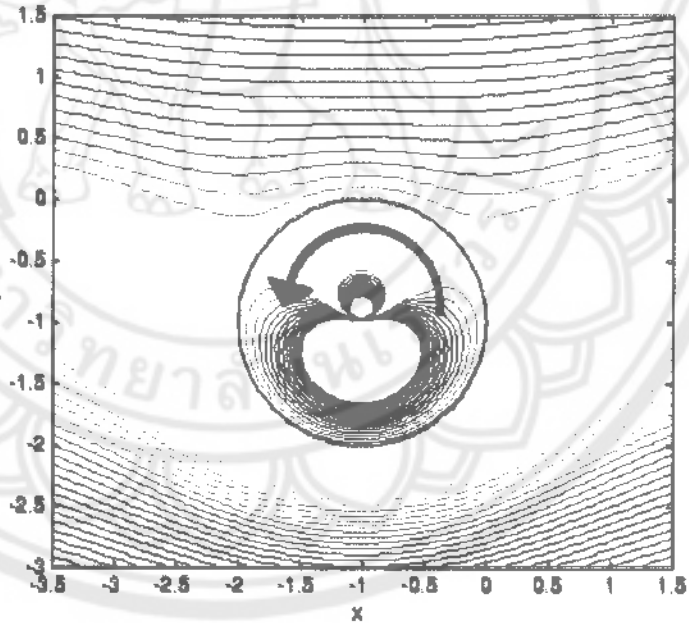
รูปที่ 4.1 การไหลแบบศักย์ผ่านทรงกระบอกที่กำลังหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาโดยมี  
ความเร็วรอบ 10 รอบต่อวินาที



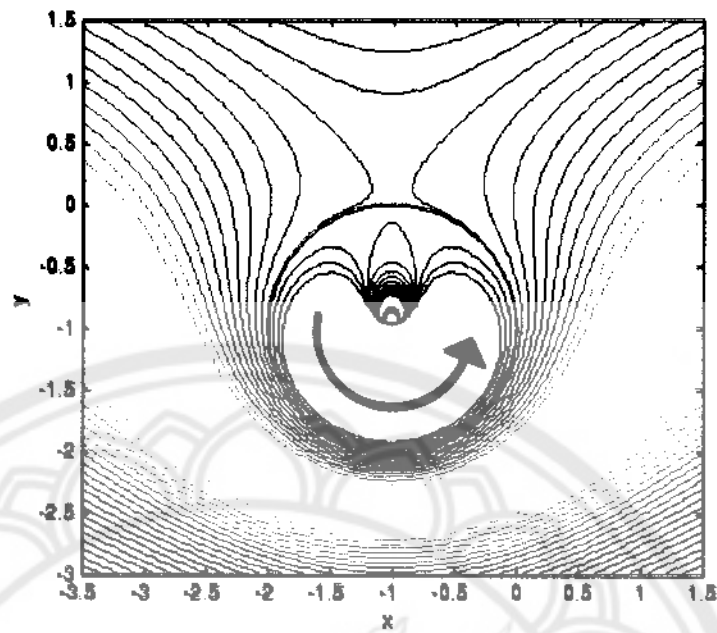
รูปที่ 4.2 การไหลแบบศักย์ผ่านทรงกระบอกที่กำลังหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาโดยมี  
ความเร็วรอบ 5 รอบต่อวินาที



รูปที่ 4.3 การไหลแบบศักย์ผ่านทรงกระบอกที่ไม่มีการหมุน

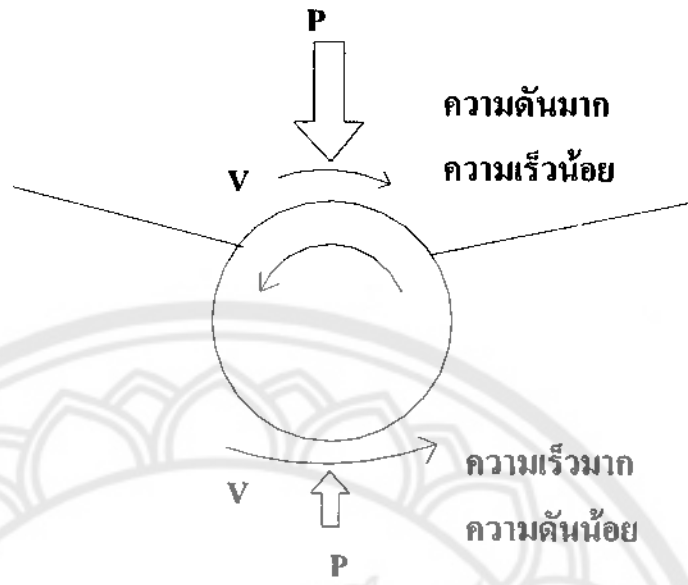


รูปที่ 4.4 การไหลแบบศักย์ผ่านทรงกระบอกที่กำลังหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาโดยมี  
ความเร็วรอบ 5 รอบต่อวินาที

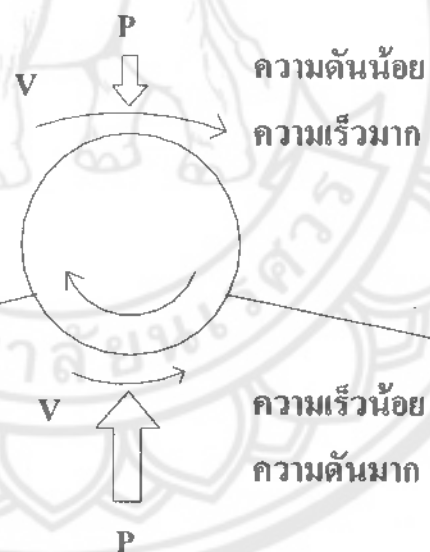


รูปที่ 4.5 การไหลแบบศักย์ผ่านทรงกระบอกที่กำลังหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาโดยมี  
ความเร็วรอบ 10 รอบต่อวินาที

จากรูปที่ 4.6 ทรงกระบอกหมุนทวนเข็มนาฬิกาเนื่องจากความเร็วรอบทรงกระบอกมีค่าเป็นบวกจะพบว่า การไหลจะไหลผ่านด้านล่างของทรงกระบอกมากกว่าด้านบน ดังนั้นความเร็วของการไหลด้านล่างมากกว่าด้านบนของทรงกระบอก โดยด้านบนของทรงกระบอกจะเกิดจุดตกกระทบ (stagnation) ซึ่งความเร็ว ณ จุดตกกระทบ (stagnation) นี้มีค่าเท่ากับศูนย์ ทำให้ด้านบนของทรงกระบอกมีความดันมากกว่าด้านล่างเป็นผลทำให้เกิดแรงกระทำกับด้านบนของทรงกระบอกในทิศทางลง แต่ถ้าความเร็วรอบมีค่าเป็นลบดังรูปที่ 4.7 การไหลจะไหลในทิศตรงกันข้ามเป็นผลทำให้เกิดแรงกระทำกับด้านล่างของทรงกระบอกมีทิศทางขึ้น ซึ่งแรงนี้เรียกว่า แรงยก (Lift) ผลของการเกิดแรงดังกล่าวเป็นผลตามทฤษฎีของ Kutta-Joukowski



รูปที่ 4.6 การหมุนเวียนและการยกตัวจากการไหลรอบวัตถุทรงกระบอก เมื่อทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 4.7 การหมุนเวียนและการยกตัวจากการไหลรอบวัตถุทรงกระบอก เมื่อทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกา

ซึ่งเราสามารถหาแรงยก (Lift) ได้โดย  $F_L = \rho B U \Gamma$

เมื่อ  $F_L \equiv$  แรงยก

$B \equiv$  ความยาวของวัตถุรูปทรงกระบอก

$\Gamma \equiv 2\pi K$

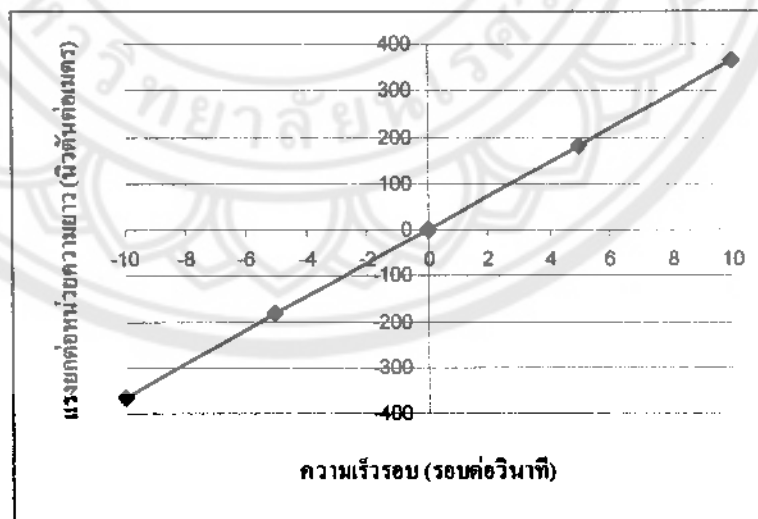
กำหนดให้  $U \equiv$  ความเร็วของอากาศ = 5 m/s

$\rho \equiv$  ความหนาแน่นของอากาศ = 1.1614 kg/m<sup>3</sup>

ตาราง 4.1 แรงยกจากรูป 4.1 ถึง 4.5

K (รอบต่อวินาที)	$F_L / B$ (นิวตัน/ความยาวของทรงกระบอก)
-10	-365
-5	-183
0	0
5	183
10	365

จากรูปที่ 4.8 เมื่อความเร็วรอบมีค่าเพิ่มขึ้นแรงยกก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเครื่องหมายบวกและลบแสดงทิศทางของแรงยก ซึ่งแรงยกที่มีค่าเป็นลบจะมีทิศทางขึ้น ส่วนแรงยกที่มีค่าเป็นบวกจะมีทิศทางลง เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นการไหลจะไหลผ่านด้านล่างของทรงกระบอกมากขึ้น



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว (รอบ/วินาที) และแรงยก

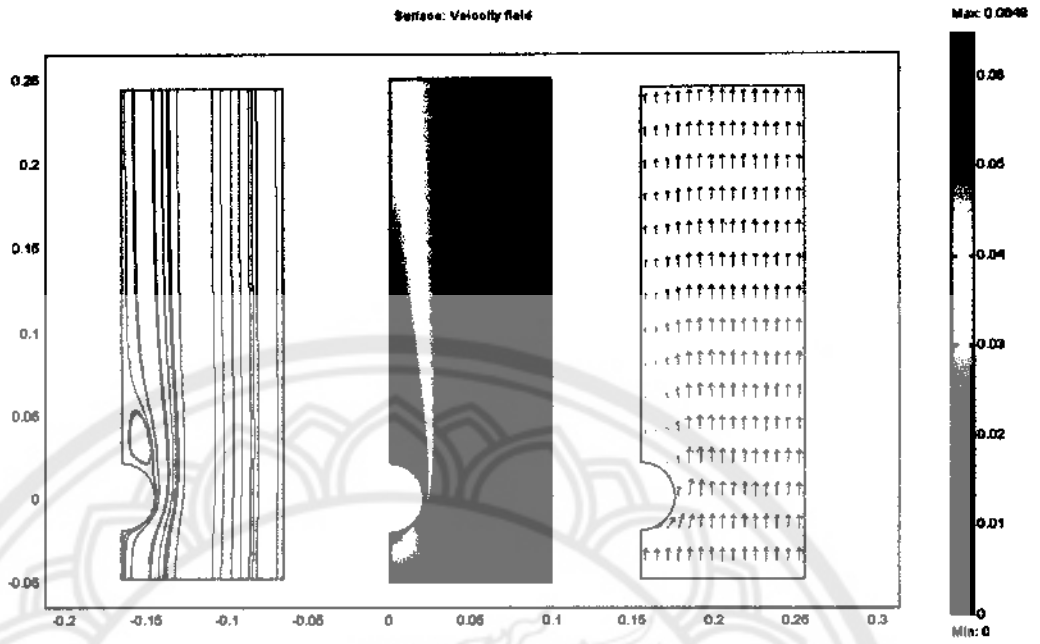
## 4.2 การใช้สมการนาเวียร์ - สโตกส์ในการวิเคราะห์การไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลม

การศึกษานี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เกี่ยวกับการไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลม โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเป็นการศึกษาการไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลมผิวเรียบสมมาตร 2 มิติ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาการไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลมที่มีผิวเรียบและมีรอยบุ๋มที่ตำแหน่งต่าง ๆ

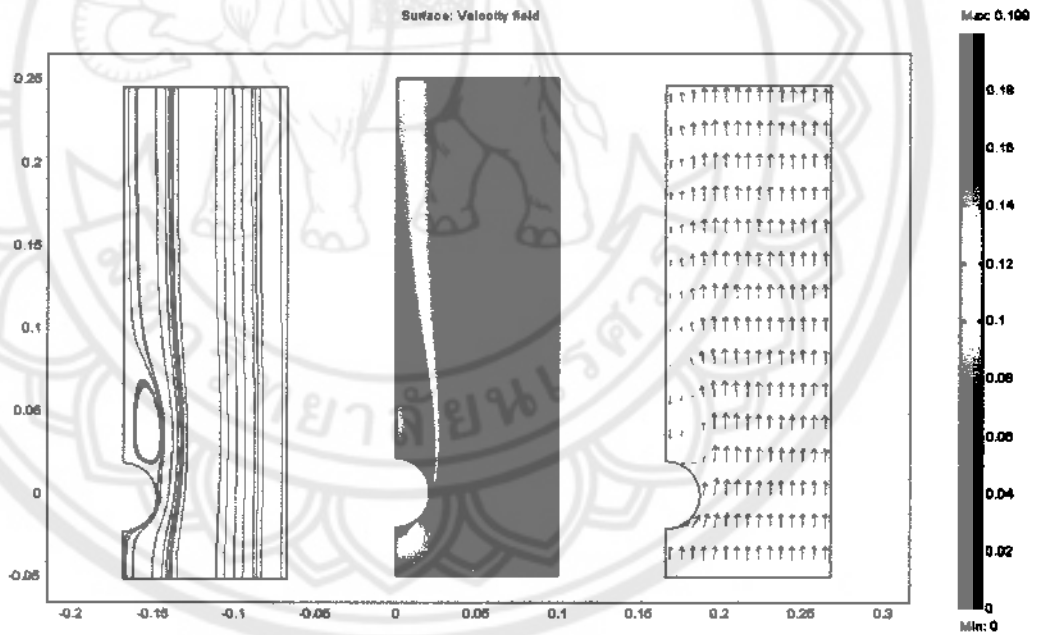
### 4.2.1 การไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลมผิวเรียบสมมาตรตามแกน 2 มิติ

การศึกษาการไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลมผิวเรียบสมมาตร 2 มิติโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) ในการประมวลผล โดยเปลี่ยนความเร็วของอากาศเป็น 0.05, 0.15 และ 0.83 เมตรต่อวินาที โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.11 ตามลำดับ

ผลการทดลองการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ผ่านทรงกลม พิจารณารูปที่ 4.9 ถึง 4.11 โดยมีทิศทางการไหลของอากาศจากล่างไปบน รูปด้านซ้ายของแต่ละรูปแสดงเส้นการไหลของอากาศ รูปกลางแสดงความเร็วอากาศ ส่วนรูปด้านขวาแสดงทิศทางการไหลของอากาศ พบว่าเมื่อให้ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.05 เมตรต่อวินาที ผ่านทรงกลมจะเกิดเส้นการหมุนวนด้านหลังทรงกลม โดยความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านด้านหลังทรงกลมน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ และทิศทางการไหลของอากาศด้านหลังทรงกลมจะไหลตามทิศทางการไหลที่กำหนดน้อยกว่าบริเวณอื่นๆ ดังรูปที่ 4.9 เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศเป็น 0.15 และ 0.83 เมตรต่อวินาที เส้นการไหลหมุนวนด้านหลังของทรงกลมจะมีขนาดเพิ่มขึ้น โดยความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านด้านหลังทรงกลมจะมีค่ามากกว่าการไหลที่ความเร็วของอากาศเท่ากับ 0.05 เมตรต่อวินาที และทิศทางการไหลของอากาศด้านหลังทรงกลมจะไหลย้อนกลับทิศทางที่กำหนด โดยทิศทางการไหลย้อนกลับของอากาศแปรผันตามความเร็วของอากาศทางเข้า ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ

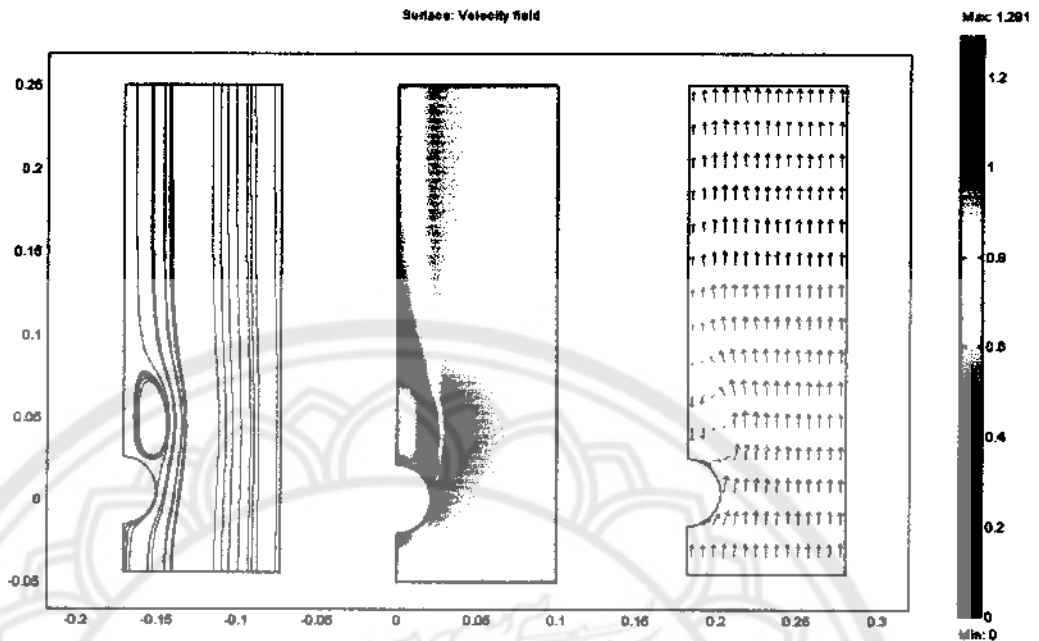


รูปที่ 4.9 การไหลของอากาศที่มีความเร็วเท่ากับ 0.05 เมตรต่อวินาทีผ่านทรงกลมผิวเรียบ



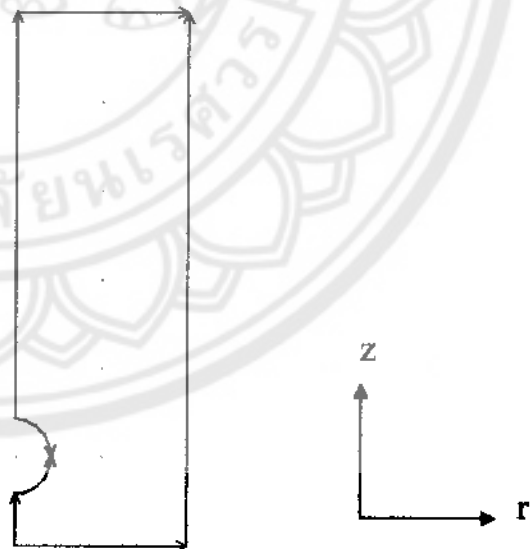
รูปที่ 4.10 การไหลของอากาศที่มีความเร็วเท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาทีผ่านทรงกลมผิวเรียบ





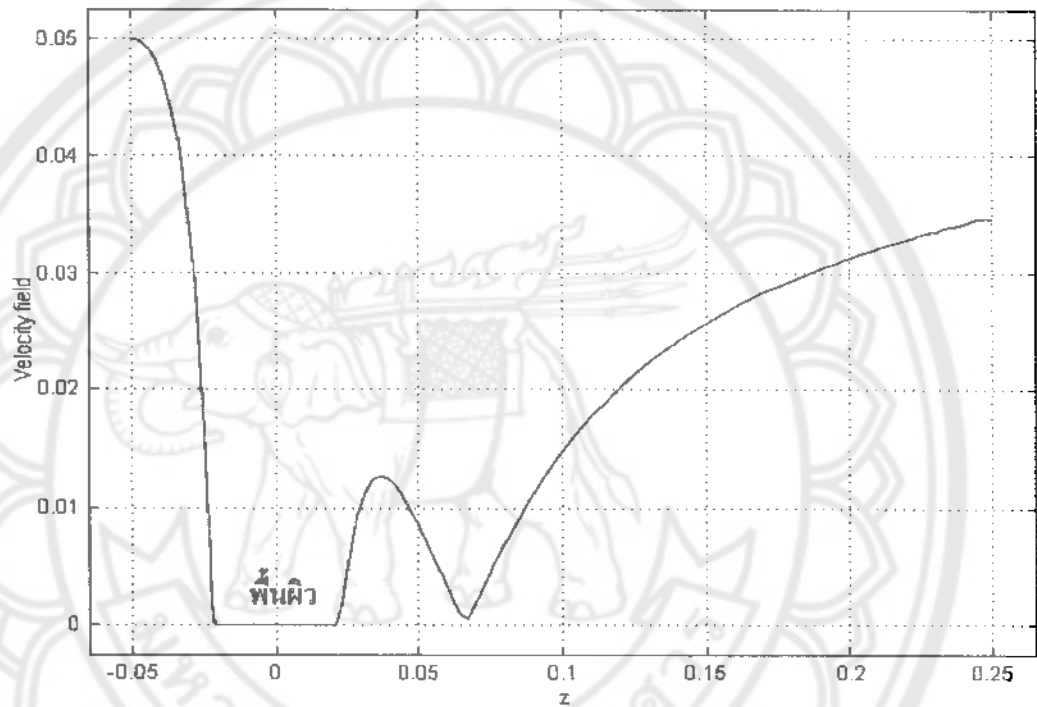
รูปที่ 4.11 การไหลของอากาศที่มีความเร็วเท่ากับ 0.83 เมตรต่อวินาทีผ่านทรงกลมผิวเรียบ

จากรูปที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศกับระยะแกน  $z$  ซึ่งการพล็อตระยะแกน  $z$  จะพิจารณาที่แกนสมมาตรและผิวของทรงกลม โดยทำการพล็อตกราฟตามขอบเขตดังรูปที่ 4.12



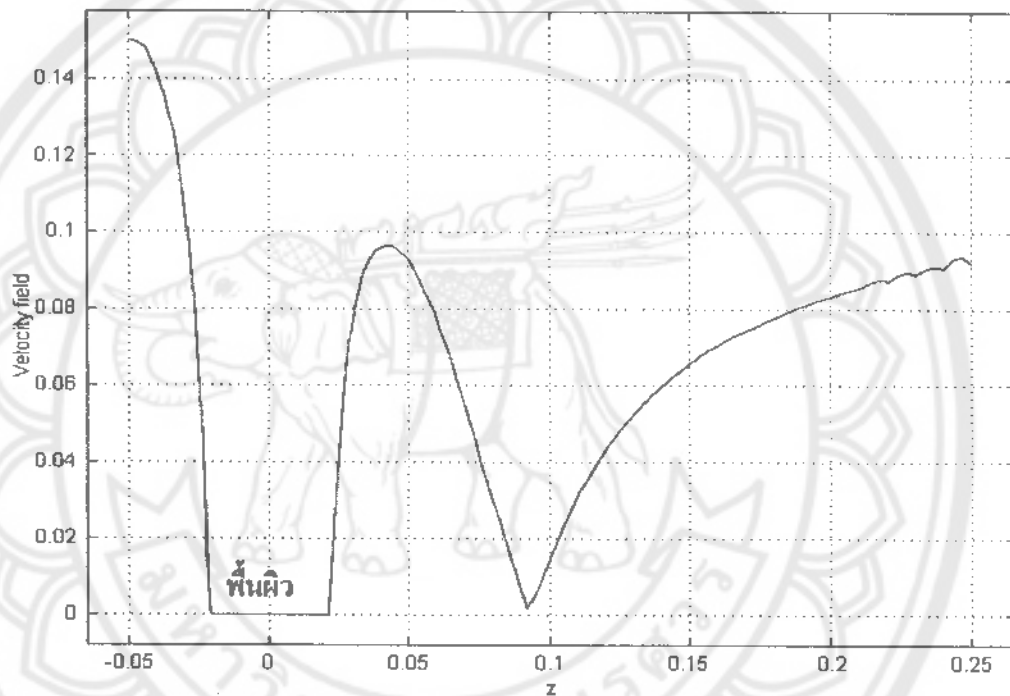
รูปที่ 4.12 ขอบเขตที่ใช้ในการพล็อตกราฟระหว่างความเร็วของอากาศกับระยะแกน  $Z$

จากรูปที่ 4.13 เมื่อความเร็วของอากาศทางเข้ามีความเร็วเท่ากับ 0.05 เมตรต่อวินาที โดยความเร็วทางเข้าจะมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ผิวของทรงกลม โดยมีระยะที่ความเร็วของอากาศเท่ากับศูนย์จาก  $z = -0.021$  เมตร ถึง  $z = 0.021$  เมตร เนื่องจากขอบเขตผิวทรงกลมกำหนดให้ไม่ลื่นไถล (No slip) หลังจากนั้นความเร็วด้านหลังทรงกลมจะมีค่าหกผันเนื่องจากเกิดการหมุนวนของอากาศด้านหลังของทรงกลมที่ระยะ  $z$  มากกว่า 0.021 เมตร ถึง 0.07 เมตร หลังจากนั้นการหมุนวนจะลดลงเนื่องจากอิทธิพลของความหนืดของอากาศ



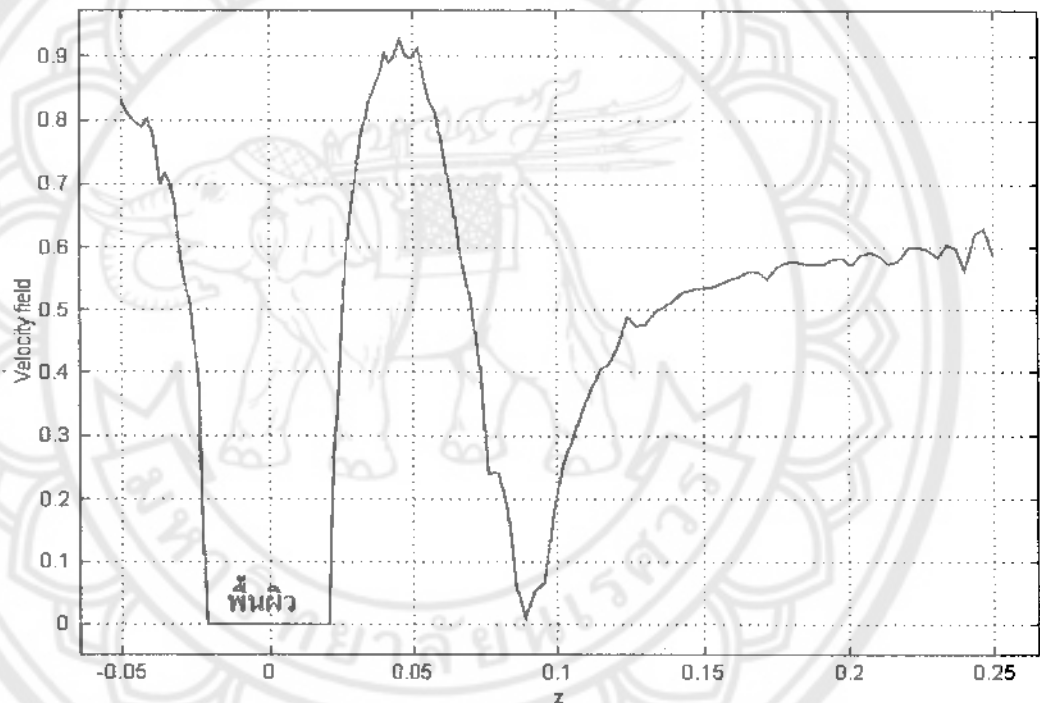
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศทางเข้า 0.05 เมตรต่อวินาทีกับระยะแกน  $z$

จากรูปที่ 4.14 เมื่อความเร็วของอากาศทางเข้ามีความเร็วเท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที โดยความเร็วทางเข้าจะมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ผิวของทรงกลม โดยมีระยะที่ความเร็วของอากาศเท่ากับศูนย์จาก  $z = -0.021$  เมตร ถึง  $z = 0.021$  เมตร เนื่องจากขอบเขตผิวทรงกลมกำหนดให้ไม่ลื่นไถล (No slip) หลังจากนั้นความเร็วด้านหลังทรงกลมจะมีค่าผกผันเนื่องจากเกิดการหมุนวนของอากาศด้านหลังของทรงกลมที่ระยะ  $z$  มากกว่า 0.021 เมตร ถึง 0.095 เมตร โดยความเร็วที่ผกผันมากกว่าการไหลที่ความเร็ว 0.05 เมตรต่อวินาที หลังจากนั้นการหมุนวนจะลดลงเนื่องจากอิทธิพลของความหนืดของอากาศ



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศทางเข้า 0.15 เมตรต่อวินาที กับระยะแกน  $z$

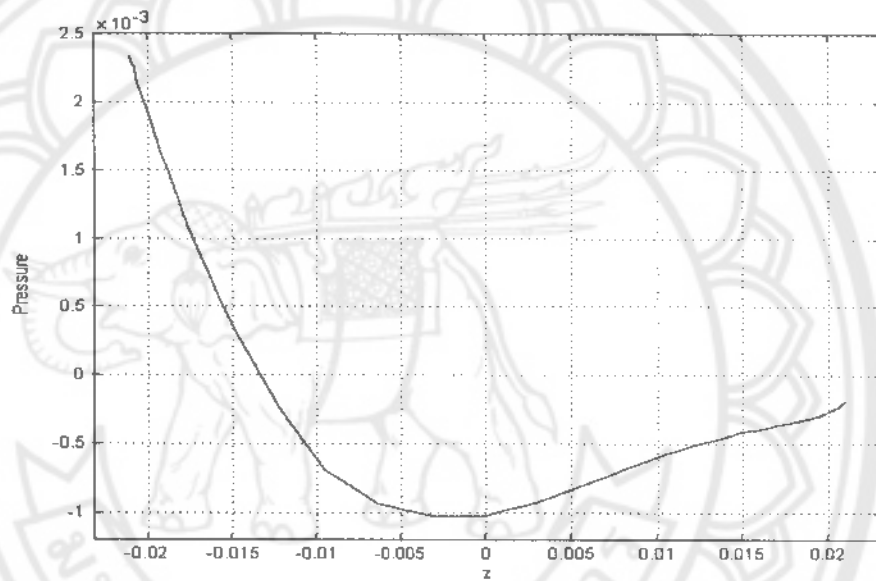
จากรูปที่ 4.15 เมื่อความเร็วของอากาศทางเข้ามีความเร็วเท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที โดยความเร็วทางเข้าจะมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ที่ผิวของทรงกลม โดยมีระยะที่ความเร็วของอากาศเท่ากับศูนย์จาก  $z = -0.021$  เมตร ถึง  $z = 0.021$  เมตร เนื่องจากขอบเขตผิวทรงกลมกำหนดให้ไม่ลื่นไถล (No slip) หลังจากนั้นความเร็วด้านหลังทรงกลมจะมีค่าผกผันเนื่องจากเกิดการหมุนวนของอากาศด้านหลังของทรงกลมที่ระยะ  $z$  มากกว่า 0.021 เมตร ถึง 0.089 เมตร โดยความเร็วที่ผกผันมากกว่าการไหลที่ความเร็ว 0.05 และ 0.15 เมตรต่อวินาที โดยช่วงที่เกิดการหมุนวนจะมีความเร็วอากาศสูงถึง 0.91 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่มากกว่าความเร็วของอากาศทางเข้า หลังจากนั้นการหมุนวนจะลดลงเนื่องจากอิทธิพลของความหนืดของอากาศ โดยกราฟความเร็วที่ได้จะไม่ราบเรียบ (No smooth)



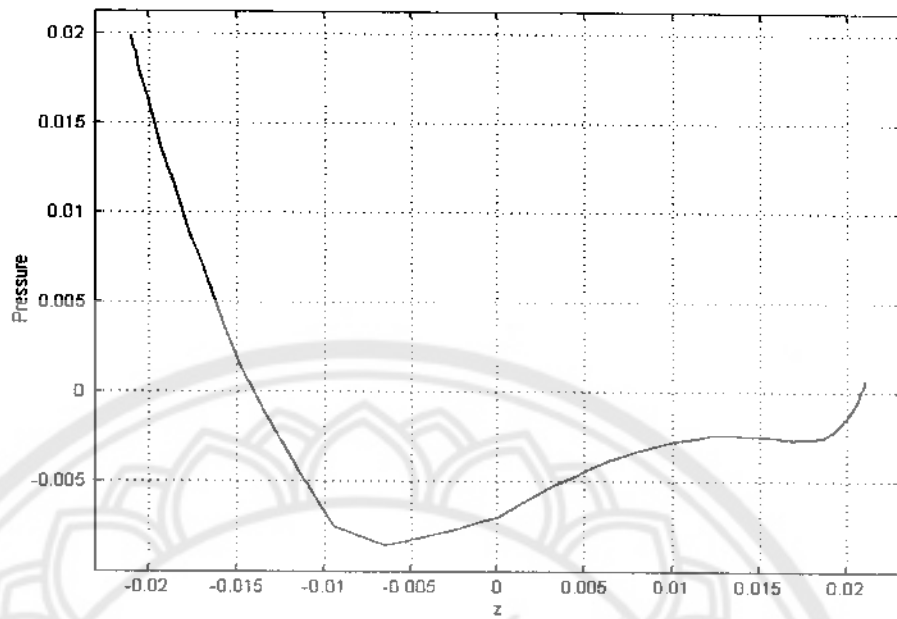
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศทางเข้า 0.83 เมตรต่อวินาที กับระยะแกน  $z$

เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศทางเข้าจะทำให้ระยะการหมุนวนและการผกผันของความเร็วอากาศในช่วงที่มีการหมุนวนด้านหลังทรงกลมเพิ่มขึ้น รวมทั้งทำให้ความเร็วของอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น

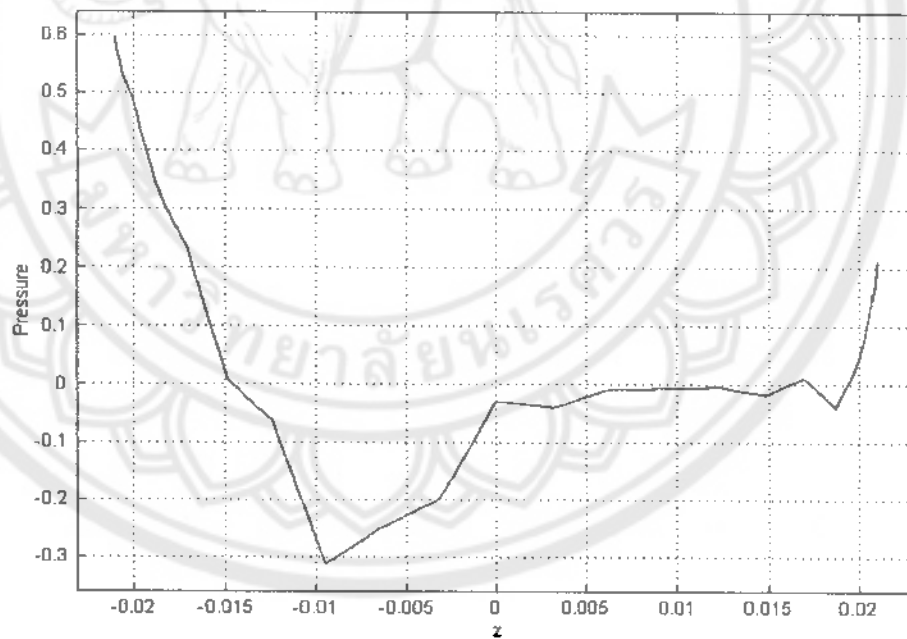
จากรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศกับระยะแกน  $z$  โดยทำการพล็อตกราฟตามผิวของทรงกลม จะเห็นได้ว่าความดันจะมีค่าลดลงแบบ Exponential จนกระทั่งความชันของกราฟเป็นศูนย์ที่ระยะ  $z$  เท่ากับ 0, -0.006 และ -0.009 เมตรตามลำดับ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เริ่มเกิดปรากฏการณ์แยกตัว (Separation Point) หลังจากจุดแยกการไหลพบว่า จะเกิดการไหลย้อนกลับเนื่องจากความดันที่ต้นทางของการไหลมีค่าน้อยกว่าค่าความดันที่ปลายทางของการไหลโดยแสดงดังรูปที่ 4.19 เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศทางเข้าจะพบว่าจุดแยกตัวของการไหลจากทรงกลม (ความชันของกราฟเป็นศูนย์) จะเกิดเร็วขึ้น



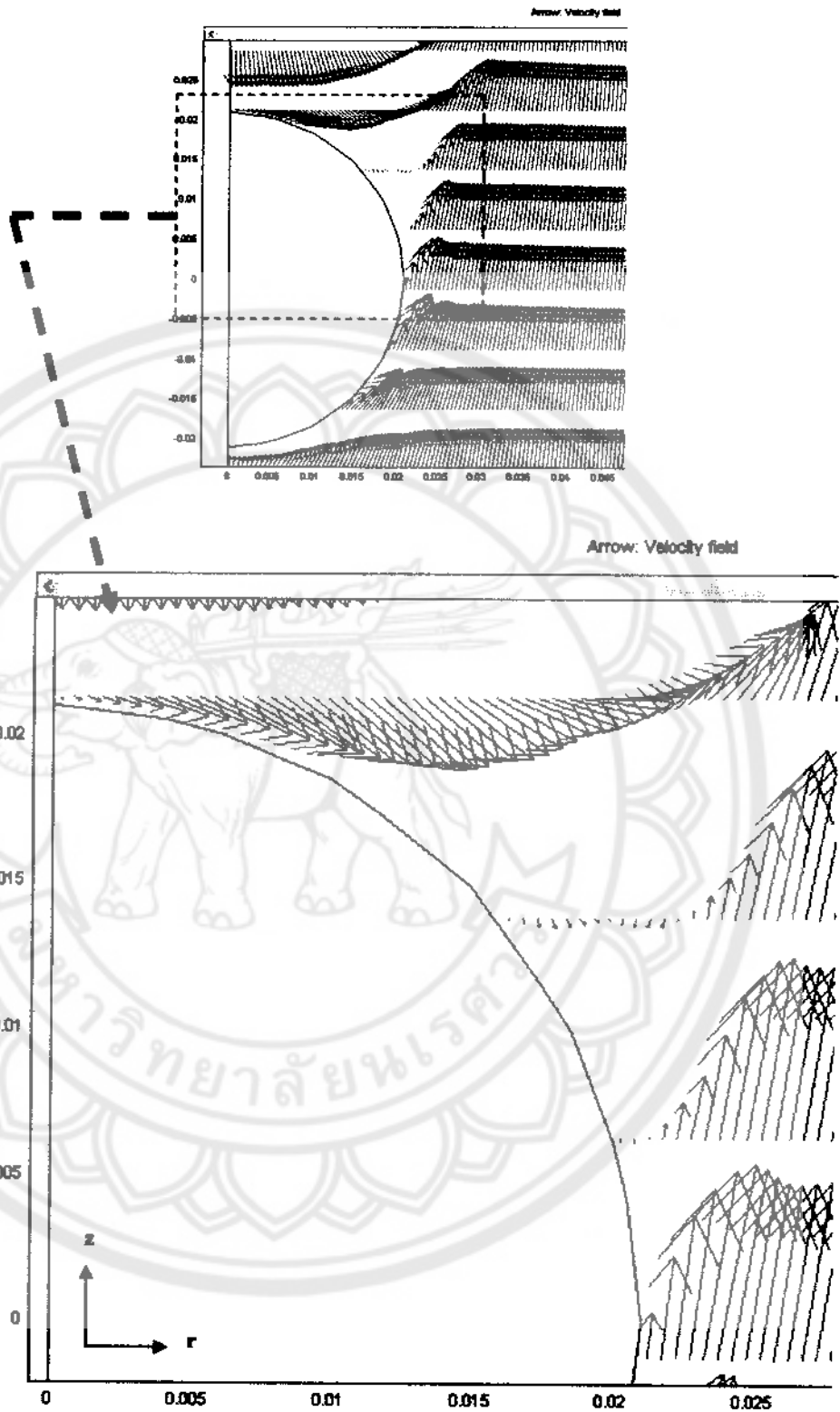
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของอากาศที่มีความเร็วทางเข้าเท่ากับ 0.05 เมตรต่อวินาทีกับระยะที่ผิวของทรงกลม



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของอากาศที่มีความเร็วทางเข้าเท่ากับ 0.15 เมตรต่อวินาที  
กับระยะที่ผิวของทรงกลม



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันของอากาศที่มีความเร็วทางเข้าเท่ากับ 0.83 เมตรต่อวินาที  
กับระยะที่ผิวของทรงกลม

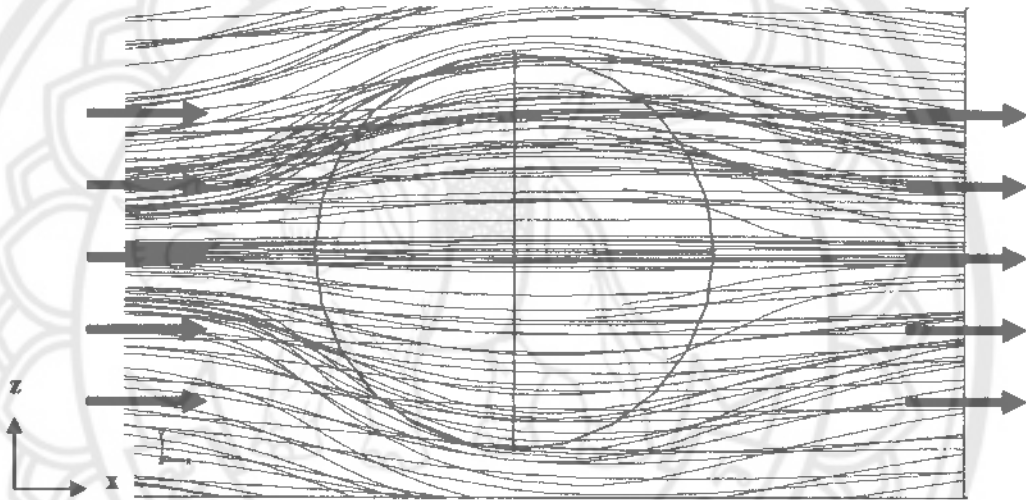


รูปที่ 4.19 การแยกตัวของอากาศผ่านทรงกลม

#### 4.2.2 การไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลม 3 มิติ

การศึกษาการไหลแบบราบเรียบผ่านทรงกลมที่มีผิวเรียบและทรงกลมที่มีรอยขรุขระ โดยจัดวางรอยขรุขระที่ตำแหน่งต่างๆ และกำหนดให้ของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ (Incompressible Flow) และมีคุณสมบัติต่างๆ คงที่ และการไหลเป็นแบบสถานะคงตัว (Steady State) ผลการทดลองแสดงดังรูป 4.20 ถึง 4.25 ตามลำดับ โดยการไหลมีทิศทางจากซ้ายไปขวา

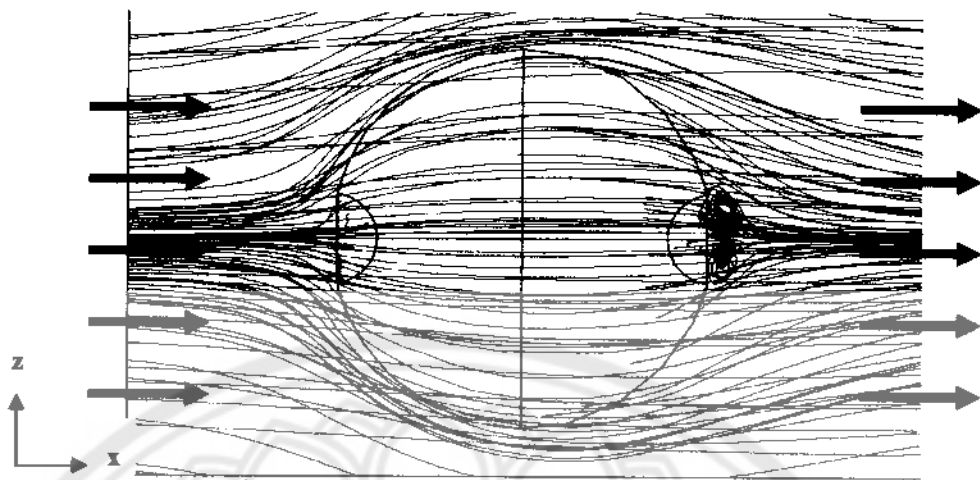
จากรูปที่ 4.20 จะพบว่า การไหลของอากาศที่ไหลผ่านทรงกลมผิวเรียบจะมีลักษณะการไหลที่สม่ำเสมอ โดยลักษณะการไหลของอากาศมีแนวโน้มไหลสัมผัสผิวด้านหน้าของทรงกลมมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การไหลของอากาศด้านหลังของทรงกลม



รูปที่ 4.20 การไหลผ่านทรงกลมผิวเรียบ

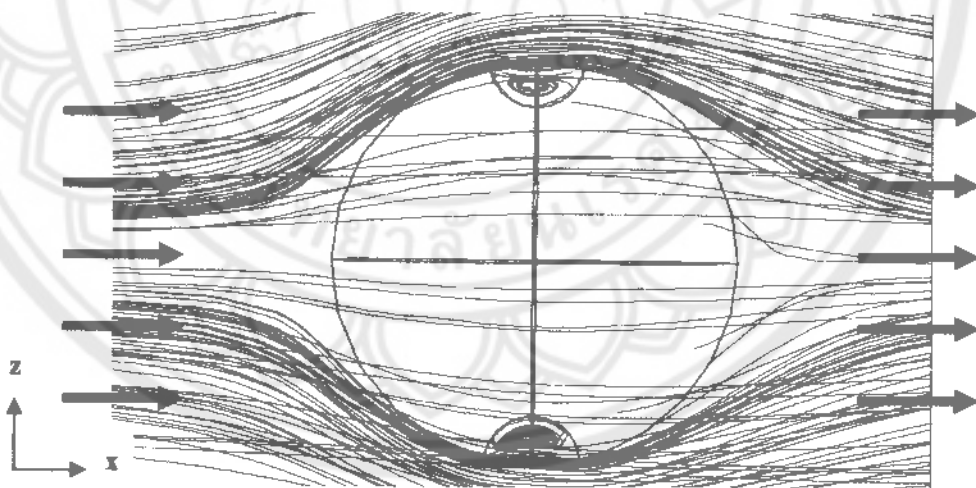
จากรูปที่ 4.21 จะพบว่า การไหลของอากาศที่ไหลผ่านทรงกลมที่มี 2 รอยขรุขระ (หน้า-หลัง) จะมีแนวโน้มการไหลที่สัมผัสด้านหน้าทรงกลมมากกว่าทรงกลมผิวเรียบ เมื่อสังเกตรอยขรุขระด้านหลังพบว่าการไหลแบบหมุนวนเป็นวงกลม ด้านบนและด้านล่างของทรงกลมมีการไหลที่ใกล้เคียงผิวมากกว่าทรงกลมผิวเรียบ





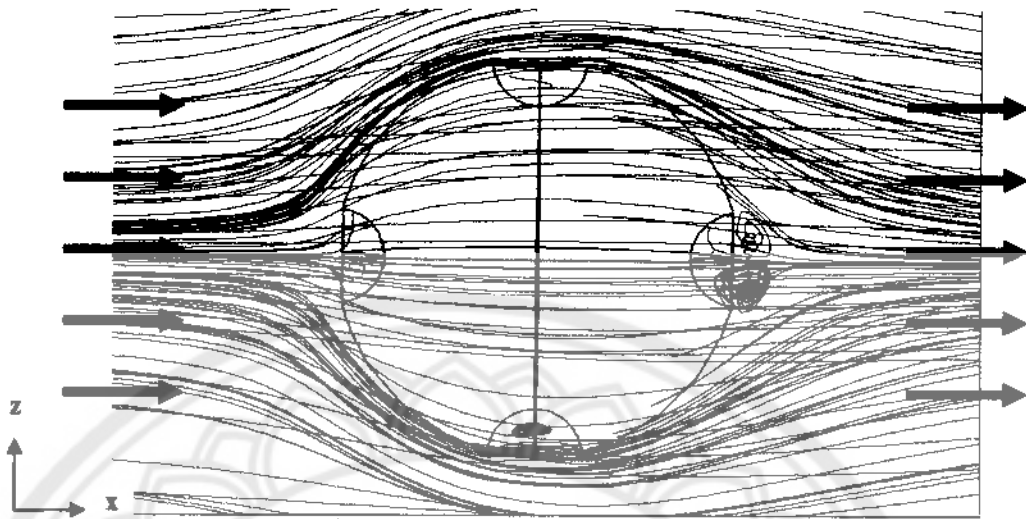
รูปที่ 4.21 การไหลผ่านทรงกลมที่มี 2 รอยป่วน (หน้า-หลัง)

จากรูปที่ 4.22 จะพบว่า การไหลของอากาศจะมีแนวโน้มไหลสัมผัสกับผิวด้านบนและด้านล่างของทรงกลมมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ที่ไม่มีรอยป่วน โดยการไหลของอากาศจะหมุนวนที่รอยป่วนด้านล่างมากกว่ารอยป่วนด้านบนของทรงกลม ซึ่งการไหลของอากาศที่ผิวด้านหน้าจะไม่แนบติดกับผิวทรงกลมเมื่อเปรียบเทียบกับ การไหลผ่านทรงกลมที่มี 2 รอยป่วน (หน้า-หลัง) โดยการไหลจะข้อมไปยังด้านบนและด้านล่าง ส่วนการไหลด้านหลังจะไม่แนบติดกับผิวทรงกลม นอกจากนี้ การไหลยังไหลสมมาตรกัน



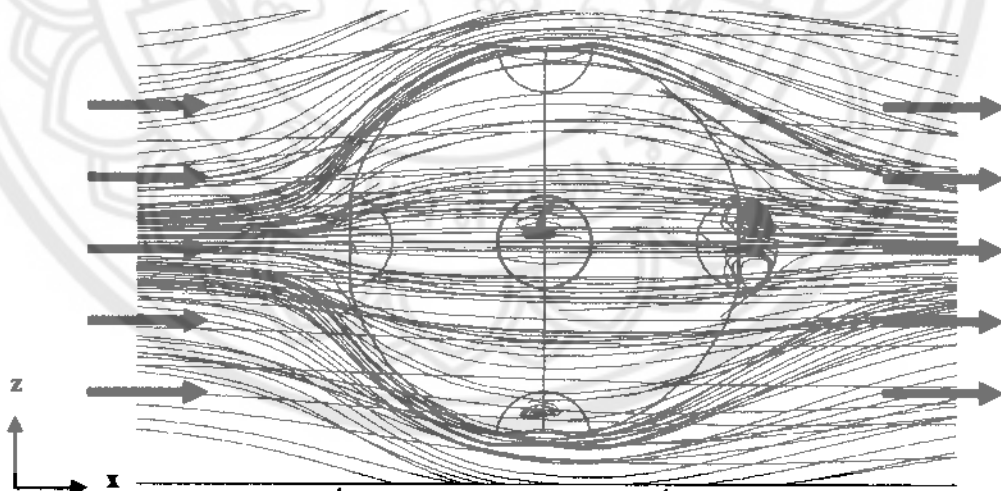
รูปที่ 4.22 การไหลผ่านทรงกลมที่มี 2 รอยป่วน (บน-ล่าง)

รูปที่ 4.23 จะพบว่า การไหลของอากาศแนบติดกับบริเวณที่มีรอยป่วนมากกว่าบริเวณที่ไม่มีรอยป่วนคือ การไหลของอากาศจะไหลผ่านด้านบนและด้านล่างของทรงกลมมากกว่าด้านข้างของทรงกลม โดยเกิดการไหลหมุนวนที่รอยป่วนด้านล่างมากกว่าด้านบน และรอยป่วนด้านหลังจะเกิดการหมุนวนแยกเป็น 2 ส่วน ซึ่งการหมุนวนส่วนล่างจะมีการหมุนวนมากกว่าการหมุนวนส่วนบน

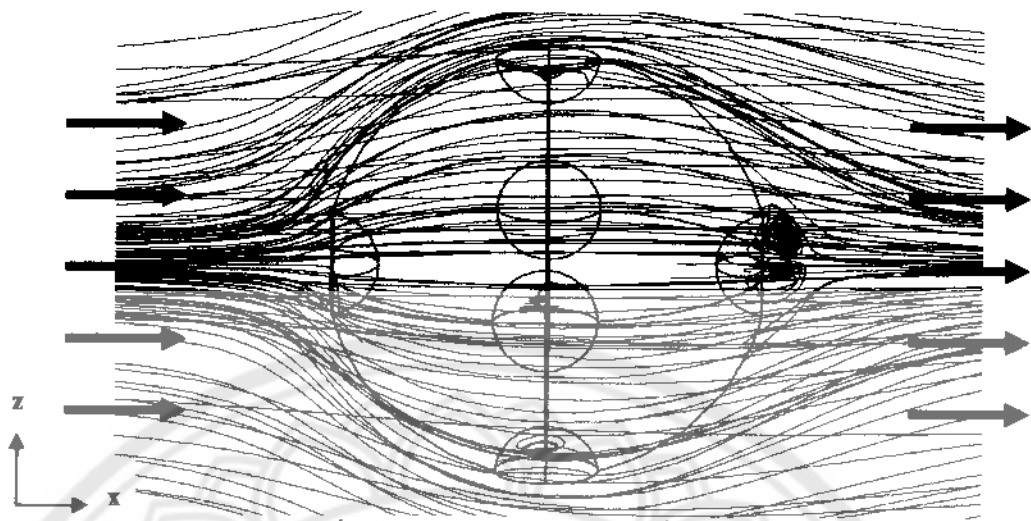


รูปที่ 4.23 การไหลผ่านทรงกลมที่มี 4 รอยขุ่น

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงการไหลของอากาศผ่านทรงกลมที่มี 6 รอยขุ่น จะพบว่าการไหลของอากาศจะมีแนวโน้มการไหลสัมผัสกับผิวทรงกลมมากกว่าทรงกลมผิวเรียบ โดยที่การไหลของอากาศจะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอผ่านทรงกลมและการไหลของอากาศจะหมุนวนที่รอยขุ่นด้านล่างมากกว่ารอยขุ่นด้านบนของทรงกลม ส่วนรอยขุ่นด้านหลังจะเกิดการหมุนวนแยกเป็น 2 ส่วน ซึ่งการหมุนวนส่วนบนจะมีการหมุนวนมากกว่าการหมุนวนส่วนล่าง

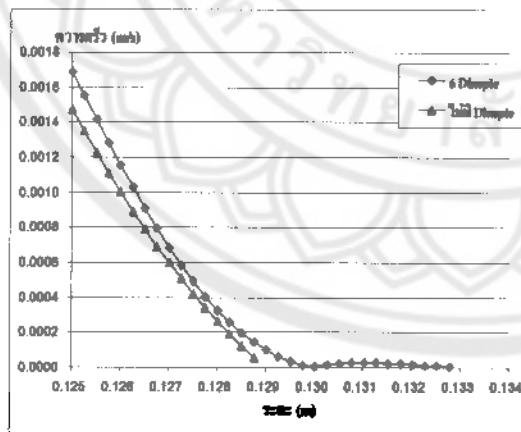


รูปที่ 4.24 การไหลผ่านทรงกลมที่มี 6 รอยขุ่น

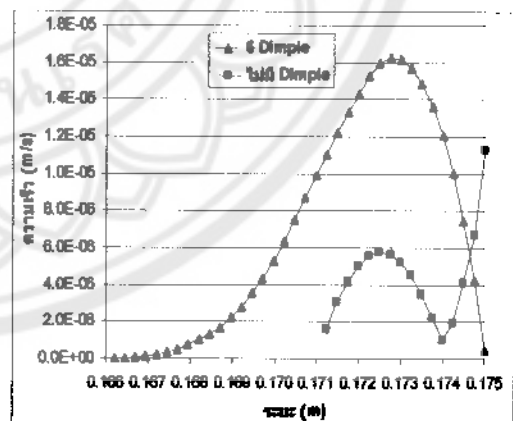


รูปที่ 4.25 การไหลผ่านทรงกลมที่มี 6 รอยบุ๋ม  
(แสดงให้เห็นรอยบุ๋มด้านข้างของทรงกลม)

จากรูปที่ 4.26 ถึง 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกน X, Y และ Z รอบทรงกลมผิวเรียบและทรงกลมที่มี 6 รอยบุ๋ม ตามลำดับ จะพบว่าความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านทรงกลมที่มีรอยบุ๋มมากกว่าทรงกลมผิวเรียบทั้ง 3 แกน นอกจากนั้นทรงกลมที่มีรอยบุ๋มจะมีความเร็วภายในรอยบุ๋มด้วย โดยความเร็วทั้ง 3 แกนจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งกลายเป็นศูนย์เมื่อสัมผัสกับผิวทรงกลมเนื่องจากกำหนดให้ผิวของทรงกลมไม่มีการลื่นไถล (No slip) ส่วนความเร็วด้านหลังทรงกลม (แกน x) จะมีค่าแปรปรวน

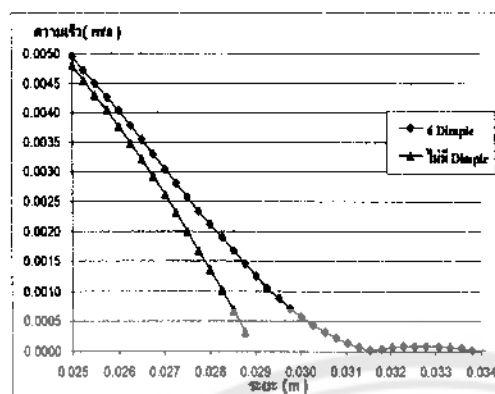


(ก)

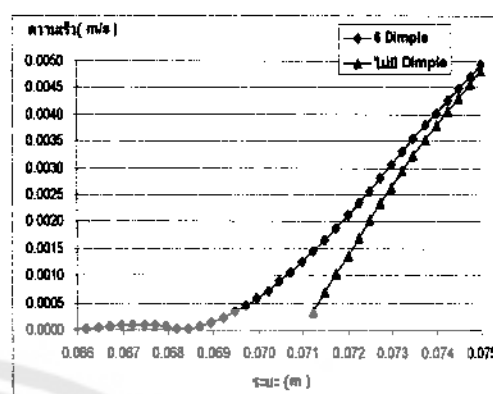


(ข)

รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกน X รอบทรงกลมผิวเรียบกับทรงกลมที่มี 6 รอยบุ๋ม  
(ก) ด้านหน้าทรงกลม (ข) ด้านหลังทรงกลม



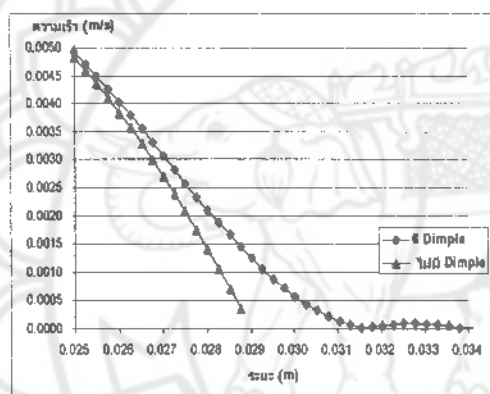
(ก)



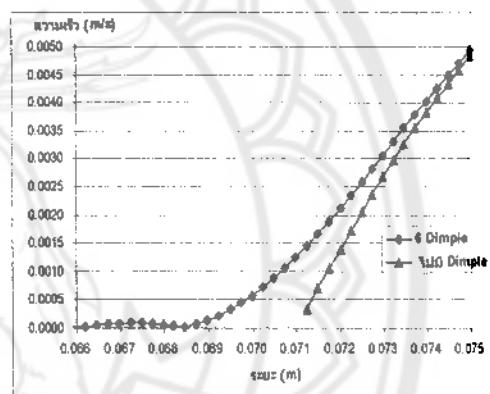
(ข)

รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกน Y รอบทรงกลมผิวเรียบกับทรงกลมที่มี 6 รอยบุ๋ม

(ก) ด้านบนทรงกลม (ข) ด้านล่างทรงกลม



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วแกน Z รอบทรงกลมผิวเรียบกับทรงกลมที่มี 6 รอยบุ๋ม

(ก) ด้านข้างทรงกลม (ซ้าย) (ข) ด้านข้างทรงกลม (ขวา)

การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ผ่านทรงกลมผิวเรียบและทรงกลมที่มีรอยบุ๋ม เมื่อกำหนดให้ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.01 เมตรต่อวินาที โดยทรงกลมผิวเรียบจะมีเส้นการไหลที่สม่ำเสมอ ส่วนทรงกลมที่มีรอยบุ๋มจะมีเส้นการไหลของอากาศผ่านบริเวณที่มีรอยบุ๋มมากกว่าบริเวณที่ไม่มีรอยบุ๋ม โดยเส้นการไหลของทรงกลมที่มีรอยบุ๋มจะสัมผัสแนบติดกับผิวมากกว่าทรงกลมผิวเรียบ โดยรอยบุ๋มจะทำให้เกิดการไหลหมุนวนไปรอบๆ ชั้นการไหล (Boundary layer) จนชั้นการไหลถูกทำลายและก่อให้เกิดการสร้างชั้นขอบเขตการไหลใหม่ไปเรื่อยๆ ดังนั้นการไหลผ่านทรงกลมที่มีรอยบุ๋มจะเกิดการแยกตัวจากผิวทรงกลมช้ากว่าการไหลผ่านทรงกลมผิวเรียบ ทำให้ทรงกลมที่มีรอยบุ๋มเคลื่อนที่ไปได้ไกลกว่าทรงกลมผิวเรียบ