สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
สารบัญรูปภาพ ซ
สารบัญตาราง ฐ
รายการสัญลักษณ์ ฒ

บทที่ 1 บทนำ **1**
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงงาน 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง **5**
2.1 ไซโคลน 5
2.1.1 หลักการทำงาน 5
2.1.2 ชนิดของไซโคลน 7
2.1.3 ขนาดและรูปร่างของไซโคลน 11
2.1.4 ประสิทธิภาพของไซโคลน 12
2.1.5 ผลของตัวแปรต่อสมรรถนะของไซโคลน 15
2.1.6 การตรวจสอบและการประเมินประสิทธิภาพของไซโคลน 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2 The RNG k-ε Model 17

2.2.1 Modeling the Effective Viscosity 17

2.2.2 RNG Swirl Modification 18

2.2.3 การคำนวณ Inverse Effective Prandtl Number 18

2.2.4 The R_ε Term in the ε Equation 19

2.2.5 Model constants 19

2.3 The Reynolds Stress Transport Equations 20

2.3.1 Modeling Turbulent Diffusive Transport 21

2.3.2 Modeling the Pressure-Strain Term 21

2.3.3 Low-Re Modifications to the Linear Pressure-Strain Model 22

2.3.4 Quadratic Pressure-Strain Model 23

2.3.5 Effects of Buoyancy on Turbulence 24

บทที่ 3 ทฤษฎีไซโคลนและการวิเคราะห์ CFD 25

3.1 แบบจำลองไซโคลน 25

3.2 ทฤษฎีค่าความดันตกคร่อม 26

3.3 ขั้นตอนพื้นฐานสำหรับการสร้างและ MESH รูปทรง โดยใช้โปรแกรม GAMBIT 27

3.4 การเคราะห์ CFD 28

3.4.1 ความหมายของ CFD 28

3.4.2 CFD และวิธีการ Finite Volume 29

3.4.3 สิ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ทาง CFD 30

3.4.4 ขั้นตอนพื้นฐานของการวิเคราะห์ CFD 30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลที่ได้และการวิเคราะห์ **36**

4.1 การคำนวณหาความดันตกคร่อมในไซโคลน 36

4.2 วิธีการคำนวณหาค่า Pressure Drop Coefficient 37

4.3 วิธีการหาค่าความหนาแน่นของอากาศและความเร็ว 38

4.4 วิธีการคำนวณหาค่าความดันตกคร่อม 38

4.5 การทำนายค่าความดันตกคร่อมภายใต้เงื่อนไขที่มีความเร็วแตกต่างกัน 42

4.6 การทำนายค่าความดันตกคร่อมภายใต้เงื่อนไขที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน 50

4.7 การคำนวณหาค่าความผิดพลาดของข้อมูล 60

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ **62**

5.1 สรุปผล 62

5.2 ข้อเสนอแนะ 63

บรรณานุกรม **64**

ภาคผนวก **66**

ภาคผนวก ก คู่มือการสร้างแบบจำลองไซโคลนโดยใช้โปรแกรม GAMBIT 67

ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งาน FLUENT 80

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	แสดงการเคลื่อนตัวของกระแสก๊าซในไซโคลน	6
รูปที่ 2.2	แสดงส่วนประกอบของไซโคลน	6
รูปที่ 2.3	แสดงไซโคลนชนิดไหลเข้าตามแนวสัมผัส (Tangential Entry Cyclone)	7
รูปที่ 2.4	แสดงไซโคลนชนิดไหลเข้าตามแนวแกน (Axial Entry cyclone)	8
รูปที่ 2.5	แสดงชนิดของท่อทางเข้า (Inlet) ของไซโคลน	8
รูปที่ 2.6	แสดงชนิดของวาล์วสำหรับระบายฝุ่น (Solids Discharge Valve)	9
รูปที่ 2.7	แสดงลักษณะท่อทางออก (Out Let) ของไซโคลน	10
รูปที่ 2.8	แสดงมัลติไซโคลน (Multi-cyclone)	10
รูปที่ 2.10	แสดงประสิทธิภาพของไซโคลนแยกตามขนาดของอนุภาค	11
รูปที่ 2.11	แสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของไซโคลนแยกตามขนาดของอนุภาคที่คำนวณได้จากทฤษฎีและจากการทดลอง	13
รูปที่ 2.12	แสดงประสิทธิภาพของไซโคลนกับอัตราส่วนของขนาดอนุภาค	14
รูปที่ 3.1	Tangential cyclone configuration	25
รูปที่ 3.2	แสดงความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์ CFD และ CAD	28
รูปที่ 3.3	ปริมาตรควบคุมหรือ Cells	29
รูปที่ 3.4	รูปแบบทั่วไปของ Conservation Equation	29
รูปที่ 3.5	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ของ CFD	30
รูปที่ 3.6	Cyclone Separator	31
รูปที่ 3.7	รูปร่างของ Grid แบบต่างๆ	32
รูปที่ 3.8	Mesh แบบ Quad/Hex	33
รูปที่ 3.9	Mesh แบบ Tri/Tet	33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1	Mesh ของพื้นผิว (A) Stairmand high efficiency และ (B) Bohnet cyclone	42
รูปที่ 4.2	Contours of Static Pressure (Geometry Bohnet, Velocity 5 m/s, Temperature 293 K at Inlet Cyclone)	43
รูปที่ 4.3	Contours of Velocity (Geometry Bohnet, Velocity 5 m/s, Temperature 293 K)	44
รูปที่ 4.4	Velocity Vector Colored by Velocity (Geometry Bohnet, Velocity 5 m/s, Temperature 293 K at Inlet Cyclone)	44
รูปที่ 4.5	Velocity Vector Colored by static Pressure (Geometry Bohnet, Velocity 5 m/s, Temperature 293 K at Inlet Cyclone)	45
รูปที่ 4.6	Contours of Velocity Magnitude (Geometry Stairmand High Efficiency, Velocity 10 m/s, Temperature 293 K at Inlet Cyclone)	46
รูปที่ 4.7	Contours of Static Pressure (Geometry Stairmand High Efficiency, Velocity 10 m/s, Temperature 293 K at Inlet Cyclone)	46
รูปที่ 4.8	Velocity Vector Colored by Static Pressure (Geometry Stairmand High Efficiency, Velocity 10 m/s, Temperature 293 K at Inlet Cyclone)	47
รูปที่ 4.9	Velocity Vector Colored by Velocity Magnitude (Geometry Stairmand High Efficiency, Velocity 10 m/s, Temperature 293 K at Inlet Cyclone)	47
รูปที่ 4.10	กราฟความดันตกคร่อมกับความเร็ว (T=293 K, geometry Stairmand High Efficiency)	48
รูปที่ 4.11	กราฟความดันตกคร่อมกับความเร็ว (T=293 K, Bohnet)	49
รูปที่ 4.12	กราฟความดันตกคร่อมกับความเร็ว (T=293 K, Stairmand High efficiency)	50
รูปที่ 4.13	กราฟความดันตกคร่อมกับความเร็ว(T=293 K, Bohnet)	51

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับอุณหภูมิ 53

รูปที่ 4.15 Contours of Static Pressure Bohnet, Velocity 15 m/s, Temperature 340 K) 54

รูปที่ 4.16 Contours of Velocity Magnitude Bohnet, Velocity 15 m/s, Temperature 340 K) 54

รูปที่ 4.17 Contours of Static Pressure Bohnet, Velocity 15 m/s, Temperature 460 K) 55

รูปที่ 4.18 Contours of Velocity Magnitude Bohnet, Velocity 15 m/s, Temperature 460 K) 55

รูปที่ 4.19 Contours of Static Pressure Bohnet, Velocity 15 m/s, Temperature 500 K) 56

รูปที่ 4.20 Contours of Velocity Magnitude Bohnet, Velocity 15 m/s, Temperature 500 K) 56

รูปที่ 4.21 Contours of Static Pressure Stairmand High Efficiency, Velocity 15 m/s, Temperature 340 K) 57

รูปที่ 4.22 Contours of Velocity Magnitude Stairmand High Efficiency, Velocity 15 m/s, Temperature 340 K) 57

รูปที่ 4.23 Contours of Static Pressure Stairmand High Efficiency, Velocity 15 m/s, Temperature 460 K) 58

รูปที่ 4.24 Contours of Velocity Magnitude Stairmand High Efficiency, Velocity 15 m/s, Temperature 360 K) 58

รูปที่ 4.25 Contours of Static Pressure Stairmand High Efficiency, Velocity 15 m/s, Temperature 500 K) 59

รูปที่ 4.26 Contours of Velocity Magnitude Stairmand High Efficiency, Velocity 15 m/s, Temperature 500 K) 59

รูปที่ ก.1 แสดง GAMBIT graphical user interface (GUI) 68

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก.2 แสดงรูปทรงกระบอก 69
รูปที่ ก.3 แสดงภาพทรงกระบอกจาก GAMBIT 70
รูปที่ ก.4 แสดง Command Sequence ที่เปิดจาก MOVE/COPPY 70
รูปที่ ก.5 แสดงวิธีการเคลื่อนย้าย Volume 71
รูปที่ ก.6 แสดงการเคลื่อนย้ายของ Volume 71
รูปที่ ก.7 แสดงการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก 72
รูปที่ ก.8 แสดงการ Unite Volume 72
รูปที่ ก.9 แสดง Command sequence the Create Real Brick 73
รูปที่ ก.10 แสดงการสร้าง Brick 74
รูปที่ ก.11 แสดงการเคลื่อนย้าย Brick 74
รูปที่ ก.12 แสดงการ Unite Volume 75
รูปที่ ก.13 แสดง Command sequence 76
รูปที่ ก.14 แสดงรูปไซโคลนที่สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม GAMBIT 76
รูปที่ ก.15 แสดง Command sequence of Meshing 77
รูปที่ ก.16 แสดง Mesh the Volume 77
รูปที่ ก.17 แสดงการกำหนด Boundary Type 78
รูปที่ ก.18 แสดงขั้นตอนในการ Export Mesh 79
รูปที่ ข.1 Cyclone 81
รูปที่ ข.2 การเลือกไฟล์ 82
รูปที่ ข.3 Grid Check 83
รูปที่ ข.4 Grid Scale 84
รูปที่ ข.5 Grid Display 85
รูปที่ ข.6 Grid Show 85
รูปที่ ข.7 Solver 86
รูปที่ ข.8 Viscous Model 87
รูปที่ ข.9 Energy Panel 87

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ข.10 Materials panel 88
รูปที่ ข.11 Boundary conditions 89
รูปที่ ข.12 Fluid panel 90
รูปที่ ข.13 Velocity Inlet Panel 91
รูปที่ ข.14 Outflow panel outlet1 91
รูปที่ ข.14.1 Outflow panel outlet2 91
รูปที่ ข.15 Wall panel 92
รูปที่ ข.16 Solution Initialization 93
รูปที่ ข.17 Residual Monitors 94
รูปที่ ข.18 การบันทึก case ไฟล์ 94
รูปที่ ข.19 Iterate panel 95
รูปที่ ข.20 Residuals ของ 15000Iterations 95
รูปที่ ข.21 Residual Monitors 96
รูปที่ ข.22 Flux Reports 97
รูปที่ ข.23 การบันทึก Data ไฟล์ 98
รูปที่ ข.24 Contours Panel 99
รูปที่ ข.25 การทำนายการกระจายตัวของ Static Pressure 100
รูปที่ ข.26 Solution XY Plot 100
รูปที่ ข.27 Data plot Static Pressure ที่ทางเข้าและทางออกด้านบนของไซโคลน 101
รูปที่ ข.28 Solution XY Plot 102
รูปที่ ข.29 การบันทึก XY File 102

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 1 3

ตารางที่ 1.2 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน ภาคเรียนที่ 2 3

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของไซโคลน 12

ตารางที่ 2.2 ปัจจัยที่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของไซโคลน 15

ตารางที่ 2.3 แสดงการตรวจสอบและการประเมินประสิทธิภาพของไซโคลน 16

ตารางที่ 3.1 Cyclone geometry used in this simulation 26

ตารางที่ 4.1 ค่าความดันตกคร่อมในไซโคลนของทฤษฎีต่างๆ 40
กรณีรูปร่างของ Stairmand High Efficiency,
อุณหภูมิทางเข้าไซโคลนมีค่า 300 K

ตารางที่ 4.2 ค่าความดันตกคร่อมในไซโคลนของทฤษฎีต่างๆ 41
กรณีรูปร่างของ Stairmand High Efficiency,
ความเร็วทางเข้าไซโคลนมีค่า15 m/s

ตารางที่ 4.3 ค่าความดันตกคร่อมในไซโคลนของทฤษฎีต่างๆ 41
กรณีรูปร่างของ Bohnet, อุณหภูมิทางเข้าไซโคลนมีค่า 300 K

ตารางที่ 4.4 ค่าความดันตกคร่อมในไซโคลนของทฤษฎีต่างๆ 42
กรณีรูปร่างของ Bohnet, ความเร็วทางเข้าไซโคลนมีค่า15 m/s

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความดันตกคร่อม (Pa) ภายในไซโคลน 48
ทีได้จากการทำนายทาง CFD, แบบจำลองทั้ง 4 แบบจำลอง
และผลการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 293 K Stairmand High efficiency

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความดันตกคร่อม (Pa) ภายในไซโคลน 49
ทีได้จากการทำนายทาง CFD, แบบจำลองทั้ง 4 แบบจำลอง
และผลการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิ 293 K Bohnet

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความดันตกคร่อม (Pa) ภายในไซโคลน ที่ได้จากการทำนายทาง CFD, แบบจำลองทั้ง 4 แบบจำลอง และผลการทดลองที่ความเร็ว 15 m/s Stairmand High efficiency 50

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความดันตกคร่อม (Pa) ภายในไซโคลน ที่ได้จากการทำนายทาง CFD, แบบจำลองทั้ง 4 แบบจำลอง และผลการทดลองที่ความเร็ว 15 m/s Bohnet 51

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความเบี่ยงเบนของแต่ละ Model 61

รายการสัญลักษณ์

a	=	ความสูงที่ทางเข้าไซโคลน	[m]
b	=	ความกว้างที่ทางเข้าไซโคลน	[m]
B	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องฝุ่นที่ทางออกไซโคลน	[m]
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวไซโคลน	[m]
D_e	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องอากาศที่ทางออกไซโคลน	[m]
h	=	ความสูงของตัวไซโคลน	[m]
H	=	ความสูงของไซโคลน	[m]
P	=	ค่าความดันตกคร่อมของไซโคลน	[Pa]
S	=	ความสูงของท่ออากาศที่ทางออกไซโคลน	[m]
v_i	=	ความเร็วที่ทางเข้า	[m/s]
μ	=	ความหนืด	[Pa.s]
N_e	=	จำนวนรอบของการหมุนของก๊าซ (Effective Number of Turns) ปกติมีค่า 5 ถึง 10	
V_i	=	ความเร็วของก๊าซเข้าสู่ไซโคลน	[m/s]
ρ_p	=	ความหนาแน่นของอนุภาค	[kg/m^3]
ρ_g	=	ความหนาแน่นของก๊าซ	[kg/m]
W	=	ความกว้างของท่อเข้า	[m]
η	=	ประสิทธิภาพรวม	
η_I	=	ประสิทธิภาพในการจับอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด	
w_I	=	% โดยน้ำหนักของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด	
d_{pcut}	=	ขนาดหน้าตัดของอนุภาค	[µm]
d_{pj}	=	ขนาดของอนุภาค	[µm]
η_j	=	ประสิทธิภาพย่อยในช่วงขนาด d_{pj}	
η_i	=	ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นขนาดหนึ่ง	
c	=	Cyclone Dimension Factor	

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

ψ	=	Impaction Parameter	
n	=	Vortex Exponent	
d_p	=	ขนาดของอนุภาค	[cm]
ρ_p	=	ความหนาแน่นของอนุภาค	[g/cm^3]
v_g	=	ความเร็วของก๊าซเข้า	[cm/s]
μ	=	ความหนืดของก๊าซ	[g/cm.s]