

การศึกษาการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ในบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อนโดยใช้เทคนิค CFD



นางสาว รวีรัตน์ อิศระธรรมบุญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-152-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**STUDY OF SULFUR DIOXIDE CONCENTRATION DISTRIBUTION
IN COMPLEX TERRAIN USING CFD TECHNIQUE**

Miss Raweeratt Issarathumnoon

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering**

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

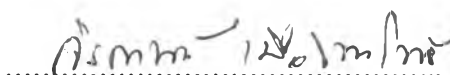
ISBN 974-332-152-7


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณ
ภูมิประเทศแบบซับซ้อน โดยใช้เทคนิค CFD
โดย นางสาว รวีรัตน์ อิศระธรรมบุญ
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบ


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เดชา นัตรศิริเวช)

รวิรัตน์ อิศระธรรมบุญ : การศึกษาการกระจายความเข้มข้นของก๊าซ ซัลเฟอร์ ไดออกไซด์
ในบริเวณภูมิประเทศแบบซับซ้อนโดยใช้เทคนิค CFD (STUDY OF SULFUR DIOXIDE
CONCENTRATION DISTRIBUTION IN COMPLEX TERRAIN USING CFD TECHNIQUE)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.สมประสงค์ ศรีชัย

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.วิจิตรา จงวิศาล

119 หน้า. ISBN 974-332-152-7

ในงานวิจัยนี้ ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ประเมินค่าการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณ
ภูมิประเทศแบบซับซ้อน ได้แก่ เทคนิค CFD (Computational Fluid Dynamics) และแบบจำลอง VALLEY โดยที่เทคนิค CFD ใช้หลักพื้นฐาน
กลศาสตร์การไหลของของไหล (Fundamental Fluid Dynamics) ซึ่งใช้ชุดสมการอนุรักษ์เบื้องต้น 3 สมการ ได้แก่ สมการความต่อเนื่อง
(Continuity equation) สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum equation) สมการอนุรักษ์พลังงาน (Equation of energy conservation) นอก
จากยังรวมถึงแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow model; k-ε) ใช้ในกรณีที่เป็นการไหลแบบปั่นป่วน เทคนิค CFD นี้ต้อง
กำหนดสภาวะเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial condition) และสภาวะเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition) ให้เหมาะสม นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้
นำแบบจำลอง VALLEY มาประเมินความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วย ซึ่งแบบจำลองนี้ใช้หลักการการแพร่กระจายของเกาส์
เซียน (Gaussian dispersion) โดยมีการปรับปรุงให้สามารถใช้ได้กับภูมิประเทศแบบซับซ้อน ข้อมูลที่สำคัญของแบบจำลอง VALLEY นี้
คือข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลทางภูมิประเทศ

การประเมินความเข้มข้นสูงสุดภายใน 24 ชั่วโมงของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบริเวณอำเภอแม่เมาะ เนื่องจากการระบายก๊าซซัล
เฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องโรงไฟฟ้า โดยใช้เทคนิค CFD และ VALLEY Model มาเปรียบเทียบกัน ในช่วงเวลาต่างกัน 2 จุด ได้แก่จุด
หนาว ช่วงวันที่ 1-14 พฤศจิกายน 2540 และฤดูร้อน ช่วงวันที่ 1-14 มีนาคม 2541 ที่ตำแหน่งเปรียบเทียบ 5 ตำแหน่งที่แตกต่างกัน ผลการ
เปรียบเทียบพบว่า ในฤดูหนาว จุดเปรียบเทียบที่ 1 ถึง 4 ความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่คำนวณจากแบบ
จำลอง VALLEY มีค่าในช่วง 1.14×10^{-1} ถึง 3.50×10^{-1} ส่วนในล้านส่วน มากกว่าความเข้มข้นที่คำนวณจากเทคนิค CFD ซึ่งมีค่าในช่วง
 1×10^{-4} ถึง 3.04×10^{-3} ส่วนในล้านส่วน ในฤดูร้อน จุดเปรียบเทียบที่ 1 ถึง 4 ความเข้มข้นสูงสุดใน 24 ชั่วโมงที่คำนวณจาก VALLEY มีค่าใน
ช่วง 2.61×10^{-4} ถึง 1.82×10^{-2} ส่วนในล้านส่วน มากกว่าความเข้มข้นสูงสุดใน 24 ชั่วโมงที่ได้จาก CFD ซึ่งมีค่าในช่วง 1×10^{-4} ถึง 7.65×10^{-3}
ส่วนในล้านส่วน และในจุดเปรียบเทียบที่ 5 ซึ่งอยู่ในแนวปล่อง ในฤดูหนาว ความเข้มข้นสูงสุดใน 24 ชั่วโมงที่ได้จาก CFD มีค่าในช่วง
 1.26×10^{-1} ถึง 2.71 ส่วนในล้านส่วน มากกว่าที่ได้จาก VALLEY ซึ่งมีค่า 6.33×10^{-2} ส่วนในล้านส่วน และในฤดูร้อนความเข้มข้นสูงสุดใน
24 ชั่วโมงที่คำนวณจาก VALLEY มีค่า 8.37×10^{-2} PPM น้อยกว่าความเข้มข้นสูงสุดใน 24 ชั่วโมง ที่คำนวณจาก CFD ซึ่งมีค่าในช่วง
 1.18×10^{-3} ถึง 2.82×10^{-1} ส่วนในล้านส่วน

เนื่องจากข้อจำกัดด้านข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีการบันทึก
ทุกๆ 3 ชั่วโมง และค่าที่บันทึกส่วนใหญ่เป็นค่าในช่วงความเร็วสงบ ดังนั้นความเข้มข้นที่คำนวณอาจจะมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็น
จริง นอกจากนี้ควรจะมีข้อมูลความเข้มข้นสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัดจริง เพื่อยืนยันผลการคำนวณและสรุปได้ว่าวิธีการใดที่จะให้ผลการ
คำนวณที่ใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดมากกว่ากัน

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต รวิรัตน์ อิศระธรรมบุญ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สมประสงค์ ศรีชัย
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.วิจิตรา จงวิศาล

#3971415121 MAJOR CMEICAL ENGINEERING

KEY WORD:

SIMULATION / COMPUTATIONAL FLUID DYNAMISS

RAWEERATT ISSARATHUMNOON : STUDY OF SULFUR DIOXIDE CONCENTRATION
DISTRIBUTION IN COMPLEX TERRAIN USING CFD TECHNIQUE

THESIS ADVISOR : SOMPRASONG SRICHAI, PH.D

THESIS CO-ADVISOR : VICHITRA CHONGVISAL, PH.D

119 PP. ISBN 974-332-152-7

In this study, CFD (Computational Fluid Dynamics) technique and VALLEY Model were used for determining the sulfur dioxide concentration distribution in complex terrain. CFD is based on Fundamental of Fluid Dynamics, consisting of 3 basic equations, namely, continuity equation, momentum equation and equation of energy conservation. Moreover, turbulent flow model is used in the case of turbulent flow. On the other hands, VALLEY Model is a screening model used by US.EPA for estimating the sulfur dioxide concentration in complex terrain. This model is derived from Gaussian dispersion equation and algorithm of the geometry of domain. The most important input data are the topographical data and the meteorological data.

The estimated sulfur dioxide ground-level concentration resulting from gaseous emission from the stack of Mae Moh Power Plant were estimated by the two methods in 2 seasons, i.e., in winter (1-14 November, 1997) and in summer (1-14 March, 1998) at various 5 stations. In winter, at stations 1 to 4, the maximum 24-hr concentration calculated by VALLEY were in the range of 1.14×10^{-2} to 3.50×10^{-1} PPM, higher than those calculated by CFD which were 1×10^{-4} to 3.04×10^{-3} PPM. In summer, at the station 1 to 4, the maximum 24-hr concentration calculated by VALLEY were about 2.61×10^{-3} to 1.82×10^{-2} PPM, higher than those calculated by CFD which were 1×10^{-4} to 7.65×10^{-5} PPM. At station 5 which were located downwind from the stack in both seasons, in winter, the concentration calculated by VALLEY was 6.33×10^{-2} PPM, lower than those calculated by CFD which was 1.26×10^{-1} to 2.71 PPM. On the other hands, in summer, the concentration estimated by VALLEY was about 8.37×10^{-2} PPM, lower that those estimated by CFD, which were 1.18×10^{-3} to 2.82×10^{-1} PPM.

The estimated values by VALLEY seemed to be always higher than those predicted by CFD technique because of the different basic equations and the methods of calculation. Unfortunately, the measured concentration of sulfur dioxide in the study area is not available for comparing with the predicted values to determine the accuracy of the calculating results from the two approaches.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... รวีรัตน์ อิศรางกูร

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... สพร. ส. ๗๕๕

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาอื่น..... ส. อ.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร. สมประสงค์ ศรีชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา จงวิศาล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ยิ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้มา โดยตลอด รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ ซึ่งเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์และอาจารย์ ดร. เฉชา ฉัตรศิริเวช ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่อนุเคราะห์ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ผู้ที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจเสมอมา และขอบคุณเพื่อนๆ รวมทั้งพี่ๆ น้องๆ ในห้องวิจัย Fluid Dynamics และห้อง PSE ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ค
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ปัจจัยในการกระจายตัวของสารมลพิษ.....	2
1.1.1 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและสภาพอากาศ.....	2
- ความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ (Meteorology).....	2
- สภาพคงตัวของบรรยากาศ (Stability).....	2
- ความสูงในการผสม (Mixing height).....	3
1.1.2 ปัจจัยทางภูมิประเทศ.....	3
1.1.3 ปัจจัยจากแหล่งกำเนิด.....	6
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	7
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
2. งานวิจัยที่ผ่านมา.....	9
3. แบบจำลองและสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้.....	19
3.1 การประมาณการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดย CFD.....	19
3.2 การประมาณการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดย VALLEY	
3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง VALLEY.....	27
3.2.2 รายละเอียดของทางเทคนิคของแบบจำลอง VALLEY.....	28
4. การจำลองการกระจายตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	31
4.1 ข้อมูลเบื้องต้น.....	31
4.1.1 ข้อมูลภูมิประเทศในบริเวณที่ทำการศึกษา.....	31

สารบัญ (ต่อ)

4.1.2	ข้อมูลทางอุณหภูมิมวล.....	31
4.2	ข้อมูลที่ใช้ในเทคนิค CFD.....	32
4.2.1	สภาวะขอบเขต (Boundary condition).....	33
4.2.2	สภาวะเริ่มต้น (Initial condition).....	33
4.2.3	ผลการคำนวณการกระจายความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	34
4.3	ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง VALLEY.....	38
4.3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ.....	38
4.3.2	ผลการคำนวณ.....	40
4.4	การเปรียบเทียบผลการคำนวณความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากเทคนิค CFD และแบบจำลอง VALLEY.....	41
5.	สรุปและเสนอแนะ	
5.1	สรุป.....	86
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	88
	รายการอ้างอิง.....	89
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวกที่1 ตารางแสดงความเข้มข้นของ SO ₂ ที่คำนวณโดย CFD.....	92
	ภาคผนวกที่2 ตัวอย่างโปรแกรม PHOENICS.....	103
	ภาคผนวกที่3 ลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหาโดยเทคนิค CFD.....	114
	ภาคผนวกที่4 ตัวอย่างผังลม.....	117
	ประวัติผู้เขียน.....	119

สารบัญรูปภาพ

รูปที่

1.1 แสดงกระแสการไหลของอากาศผ่านอาคารสี่เหลี่ยม.....4

1.2 แสดงการเคลื่อนที่ของก๊าซมลพิษที่ถูกปล่อยจากปล่อง.....5

1.3 แสดงการกระจายของสารมลพิษที่ถูกปล่อยจากปล่องที่มีความสูงต่างกัน.....6

2.1 แสดงผลการวัดและการคำนวณความเข้มข้นของก๊าซมลพิษบริเวณ Sudbury.....10

2.2 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม HY-SPLIT และที่ได้จากการคำนวณ.....11

2.3 แสดงความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และความสูงของภูมิประเทศที่คำนวณ โดยแบบจำลอง REWIMET.....12

2.4 แสดงความเร็วของก๊าซที่แพร่กระจายในบริเวณต่างๆ.....15

2.5 แสดงลักษณะภูมิประเทศและความเข้มข้นของ ไนโตรเจนออกไซด์ที่ Sundvall.....17

4.1 แสดงภูมิประเทศที่ทำการศึกษาระดับอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง.....44

4.2(a) แสดงโดเมนจำลองโดยใช้บล็อกแทนความสูงของภูเขาในระนาบตั้งฉากกับแกน Y.....45

4.2(b) แสดงโดเมนจำลองโดยใช้บล็อกแทนความสูงของภูเขาในระนาบตั้งฉากกับแกน X.....45

4.2(d) แสดงตำแหน่งที่ทำการศึกษาในฤดูหนาว.....47

4.2(e) แสดงตำแหน่งที่ทำการศึกษาในฤดูร้อน.....47

4.3 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=17.....48

4.4 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=27.....48

4.5 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=37.....49

4.6 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Y=6.....49

4.7 แสดงเวกเตอร์อากาศชายในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=27.....50

4.8 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 2 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=17.....50

4.9 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 2 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=27.....51

4.10 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 2 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=37.....51

4.11 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 2 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Y=6.....52

4.12 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ Z=17.....52

4.13 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ Z=27.....53

4.14 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ Z=37.....53

4.15 แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ Y=6.....54

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	
4.16	แสดงเวกเตอร์อากาศชายในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ Z=27.....54
4.17	แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 16.00-18.00 ณ ระนาบ Z=17.....55
4.18	แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 16.00-18.00 ณ ระนาบ Z=27.....55
4.19	แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 16.00-18.00 ณ ระนาบ Z=37.....56
4.20	แสดงเวกเตอร์อากาศในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 16.00-18.00 ณ ระนาบ Y=6.....56
4.21	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=27.....57
4.22	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ X=27.....57
4.23	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ X=35.....58
4.24	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ X=40.....58
4.25	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 2 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ Z=27.....59
4.26	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 2 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ X=27.....59
4.27	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 2 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ X=35.....60
4.28	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 2 พฤศจิกายน 1997 ณ ระนาบ X=40.....60
4.29	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ Z=27.....61
4.30	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ X=27.....61
4.31	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ X=20.....62
4.32	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 1.00-15.00 ณ ระนาบ X=15.....62
4.33	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 16.00-18.00 ณ ระนาบ Z=27.....63
4.34	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 16.00-18.00 ณ ระนาบ X=27.....63
4.35	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 16.00-18.00 ณ ระนาบ X=20.....64

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		
4.36	แสดงการกระจายความเข้มข้นของ SO ₂ ในวันที่ 1 มีนาคม 1998 เวลา 16.00-18.00 ณ ระนาบ X=15.....	64
4.37	แสดงการกระจายอุณหภูมิจนในฤดูหนาว วันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ที่ระนาบ X=27.....	65
4.38	แสดงการกระจายอุณหภูมิจนในฤดูหนาว วันที่ 1 พฤศจิกายน 1997 ที่ระนาบ Z=28.....	65
4.39	แสดงการกระจายอุณหภูมิจนในฤดูหนาว วันที่ 1 มีนาคม 1998 ที่ระนาบ X=27.....	66
4.40	แสดงการกระจายอุณหภูมิจนในฤดูหนาว วันที่ 1 มีนาคม 1998 ที่ระนาบ Z=28.....	66
4.41	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่1 ในฤดูหนาว.....	67
4.42	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่2 ในฤดูหนาว.....	67
4.43	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่3 ในฤดูหนาว.....	68
4.44	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่4 ในฤดูหนาว.....	68
4.45	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่5 ในฤดูหนาว.....	69
4.46	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่1 ในฤดูร้อน.....	69
4.47	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่2 ในฤดูร้อน.....	70
4.48	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่3 ในฤดูร้อน.....	70
4.49	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่4 ในฤดูร้อน.....	71
4.50	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นสูงสุดในแต่ละวันของ SO ₂ ที่คำนวณจาก CFD และ VALLEY ณ จุดเปรียบเทียบที่5 ในฤดูร้อน.....	71

คำอธิบายสัญลักษณ์

C_p	ความจุความร้อนจำเพาะ (heat capacity)
C_{μ}, C_1, C_2	สัมประสิทธิ์ในการไหลแบบปั่นป่วน
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก
k	ค่าการนำความร้อน (thermal conductivity)
k	พลังงานจลน์ของการไหลแบบปั่นป่วน
r	สัดส่วนโดยปริมาตรของสาร (volume fraction)
t	เวลา
T	อุณหภูมิ
v_x, v_y, v_z	องค์ประกอบของความเร็วในทิศทางตามแกน X, Y, Z
$\bar{v}_x, \bar{v}_y, \bar{v}_z$	ความเร็วเฉลี่ยในแกน X, Y, Z ตามลำดับ
v'_x, v'_y, v'_z	ความเร็วที่เบี่ยงเบนไปจากความเร็วเฉลี่ยตามแกน X, Y, Z ตามลำดับ
ε	อัตราการกระจายพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วน (Energy dissipation)
ρ	ความหนาแน่น
μ	ความหนืด
μ_t	ความหนืดของการหมุนวน (Eddy viscosity)
σ_1, σ_2	ค่าความปั่นป่วนของ Prandtl ของค่า k, ε ตามลำดับ