งสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246675

การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันเซนเซอร์โดยตรงในด้านแบบจำลองของเอ็นดีโอรานิวคลีเอสบัคเตรีในพื้นที่ชนบท

นายประสิทธิ์ ฟื้นธรกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

b00251415

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246675

การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยแบบจำลองของเอ็ดดี้โควาเรียนและอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ป่าเขตร้อน

นายประดิพัทธ์ ตั้งนรกุล วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2554

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รศ. ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป) ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รศ. ดร. พจนีย์ ขุมมงคล) กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
(รศ. ดร. วินัย สมบูรณ์) กรรมการ

.....
(ผศ. ดร. สิริลักษณ์ เจียรากร) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยแบบจำลองของเอ็ดดี้โควาเรียนและอัตราส่วนโบเวนในพื้นที่ป่าเขตร้อน
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายประดิพัทธ์ ตั้งนรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. พจนีย์ ขุมมงคล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
สายวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

246675

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรทางจุลอุตุนิยมวิทยา ต่อค่าฟลักซ์ และค่าความเร็วของตกสะสมแบบแห้งของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยเทคนิคเอ็ดดี้โควาเรียน และอัตราส่วนโบเวน และเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างสองเทคนิคที่ใช้ประเมิน ตัวแปรที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความเร็วลมในแนวดิ่ง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ รังสีสุทธิ และความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ข้อมูลที่เก็บเป็นแบบต่อเนื่องทุกวัน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2552 ถึงเดือนเมษายน 2553 ผลการศึกษาพบว่าค่ารังสีสุทธิ ความเร็วลมในแนวดิ่ง และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศมีอิทธิพลสูงต่อค่าฟลักซ์ และความเร็วในการตกสะสมของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ค่าฟลักซ์มีแนวโน้มสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยงวันจากอิทธิพลของรังสีสุทธิ และความปั่นป่วนของลมในบรรยากาศ ซึ่งตัวแปรทั้งสองค่าจะสูงในเวลากลางวัน ในขณะที่ค่าฟลักซ์จะแปรผกผันกับค่าความชื้นสัมพัทธิ์ เนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะแปรรูปไปเป็นสารประกอบซัลเฟตในสภาวะความชื้นสูง เมื่อเปรียบเทียบค่า ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ระหว่างสองเทคนิคที่ใช้ศึกษาพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยเทคนิคเอ็ดดี้โควาเรียนให้ค่าอยู่ในช่วง 7.67 - 9.37 นาโนกรัม/ตารางเซนติเมตร/วินาที และเทคนิคอัตราส่วนโบเวนให้ค่าอยู่ในช่วง 6.70 - 10.01 นาโนกรัม/ตารางเซนติเมตร/วินาที เมื่อทราบค่าฟลักซ์ก็จะสามารถประมาณความเร็วของการตกสะสมของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ เทคนิคเอ็ดดี้โควาเรียนจะให้อัตราความเร็วของการตกสะสมอยู่ในช่วง 0.22 – 0.59 เซนติเมตร/วินาที และเทคนิคอัตราส่วนโบเวนให้ค่าอยู่ในช่วง 0.22 – 0.39 เซนติเมตร/วินาที ค่าที่สูงหรือต่ำขึ้นกับฤดูกาล ซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของตัวแปรทางจุลอุตุนิยมวิทยา

คำสำคัญ: เอ็ดดี้โควาเรียน/อัตราส่วนโบเวน/ซัลเฟอร์ไดออกไซด์/การตกสะสมแบบแห้ง/จุลอุตุนิยมวิทยา

Thesis Title	Model Comparison of Sulfur Dioxide Flux by Eddy Covariance and Bowen Ratio in the Tropical Forest
Thesis Credits	12
Candidate	Mr. Pradipat Tangnorakul
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Pojanie Khummongkol
Program	Master of Engineering
Field of Study	Environmental Technology
Department	Environmental Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
B.E.	2554

Abstract

246675

This research aims to determine the micrometeorological effects on dry flux and deposition velocity of sulfur dioxide using Eddy covariance and Bowen ratio techniques. The application results of the two techniques are compared. The micrometeorological parameters consist of a vertical wind speed, relative humidity, temperature, net radiation and sulfur dioxide concentration. All parameters were collected in real time from August 2009 to April 2010. The study results show that the net radiation, the vertical wind speed and the relative humidity assert substantial influences on diurnal fluxes and the deposition velocity of sulfur dioxide. The maximum flux tends to occur around the noon time because of influences causing by the net radiation and the atmospheric wind turbulence. The two meteorological parameters have high values during the day time. The sulfur dioxide fluxes also found inversely proportional to the relative humidity. In high humidity, sulfur dioxide has tendency to transform to sulfate compound. The Eddy covariance and the Bowen ratio techniques that determine the monthly average values of sulfur dioxide fluxes also show close proximity between the two techniques. The monthly average fluxes of sulfur dioxide using the Eddy covariance were calculated to be in a range of 7.67 – 9.37 ng/cm^2/s and the Bowen ratio found to be in a range of 6.70 – 10.01 ng/cm^2/s. Once the flux is known, the deposition velocities of SO_2 can be determined. The deposition velocities of sulfur dioxide by Eddy covariance were calculated to be in a range of 0.22 – 0.59 cm/s and the Bowen ratio were calculated to be in a range of 0.22 – 0.39 cm/s. The high or low values that obtained depend on seasonal variation which in turn under the influences of the micrometeorological parameters.

Keywords: Eddy covariance/Bowen ratio/SO_2/Dry deposition/Micrometeorological

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้ทำงานวิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. พจนีย์ ขุมมงคล อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. วินัย สมบูรณ์ ผศ. ดร. สิริลักษณ์ เจียรากร รศ. ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป ที่กรุณาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะนำในการจัดทำ และดำเนินงานวิจัยอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยนี้ รศ. ดร. อำนาจ ชิดไธสง ที่กรุณาอนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่ในการเก็บข้อมูล คุณอรชร ฉิมจารย์ และคุณกาญจน์ คุ้มทรัพย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ รวมถึงคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย กราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงพี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือ ทำให้งานทุกอย่างสำเร็จด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ซ
รายการสัญลักษณ์	ญ
รายการประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ฎ
1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานโดยสังเขป	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 ความหมายและความรู้พื้นฐานของฝนกรด	4
2.2 แหล่งกำเนิดและสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดการตกสะสมของกรดในบรรยากาศ	4
2.3 แหล่งกำเนิดของการตกสะสมของสารกรด	5
2.4 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)	6
2.5 ออกไซด์ของกำมะถัน (SO_x)	7
2.6 การตกสะสมของกรด (Acid Deposition)	8
2.7 จุลอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorology)	10
2.8 ฟลักซ์ของการตกสะสมของกรด	15
2.9 เทคนิคการศึกษาการตกสะสมของสารกรดในบรรยากาศ	19
2.10 ผลกระทบการตกสะสมของสารกรด	24
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28

หน้า

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 31

3.1 การศึกษาพื้นที่ป่าไม้เขตร้อน 32

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา 32

3.3 การหาค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 34

3.4 การคำนวณค่าฟลักซ์ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธี Bowen Ratio 35

3.5 การคำนวณค่าฟลักซ์ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธี Eddy Covariance 36

3.6 ความเร็วในการตกสะสมของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (V_d) 37

3.7 รายงานวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบข้อมูล 38

4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 39

4.1 ค่าความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ 39

4.2 ค่าฟลักซ์และความเร็วในการตกสะสมของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธี Bowen Ratio 40

4.3 ค่าฟลักซ์และความเร็วในการตกสะสมของก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยวิธี Eddy Covariance 46

4.4 การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์และความเร็วในการตกสะสมแบบแห้ง 49

4.5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ ความเร็วในการตกสะสมแบบแห้ง รังสีสุทธิ และความชื้นสัมพัทธ์ 51

4.6 การเปรียบเทียบค่า V_d กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง 53

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 55

5.1 สรุปและวิจารณ์ผล 55

5.2 ข้อเสนอแนะ 56

เอกสารอ้างอิง 57

ภาคผนวก 63

ก. ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ 63

ข. ค่าความเข้มข้น ฟลักซ์ และความเร็วในการตกสะสมของก๊าซ SO_2 65

ค. ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด 71

ประวัติผู้วิจัย 77

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ปัจจัยที่มีอิทธิพลการตกสะสมและการกำจัดของสารกรด	15
2.2	ความไวของดิน (Soil Sensitivity) ต่อฝนกรด	25
4.1	ตารางเปรียบเทียบ V_d กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	53
ก-1	ค่าความหนาแน่นของอากาศ	64
ก-2	ค่า Sensibility of Heat	64
ข-1	ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	66
ข-2	ค่าฟลักซ์ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยเทคนิค Bowen Ratio	67
ข-3	ค่าฟลักซ์ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยเทคนิค Eddy Covariance	68
ข-4	ค่าความเร็วในการตกสะสมของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยเทคนิค Bowen Ratio	69
ข-5	ค่าความเร็วในการตกสะสมของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ด้วยเทคนิค Eddy Covariance	70
ค-1	ค่ารังสีสุทธิเฉลี่ย	72
ค-2	ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	73
ค-3	อุณหภูมิเฉลี่ย	74
ค-4	Soil Heat Flux เฉลี่ย	75
ค-5	ความเร็วลมในแนวดิ่งเฉลี่ย	76

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ระบบของมลภาวะทางอากาศและแหล่งกำเนิดของสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดสารกรดในบรรยากาศ	5
2.2	การตกสะสมสารกรดแบบเปียกและแบบแห้ง	8
2.3	ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมทั้งแนวตั้งและแนวนอน (3 Dimensions)	14
2.4	การเก็บตัวอย่างบนพื้นผิวธรรมชาติ	17
2.5	แบบจำลองความต้านทาน (Resistance Model)	22
2.6	เสียหายของรูปปั้นหินในประเทศเยอรมันที่เกิดจากการกัดเซาะของฝนกรด	26
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยสังเขป	31
4.1	ความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศเดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึง เมษายน 2553	40
4.2	ค่าเฉลี่ยของ Net Radiation เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึง เมษายน 2553	41
4.3	ค่าเฉลี่ยของ Soil Heat Flux เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึง เมษายน 2553	42
4.4	ค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึง เมษายน 2553	43
4.5	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิบรรยากาศ เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึง เมษายน 2553	44
4.6	ค่าฟลักซ์เทคนิค Bowen Ratio เฉลี่ย เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึง เมษายน 2553	45
4.7	ค่าความเร็วในการตกสะสมเทคนิค Bowen Ratio เฉลี่ย เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม ถึง เมษายน 2553	46
4.8	ค่าความเร็วลมในแนวดิ่งเฉลี่ย เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึง เมษายน 2553	47
4.9	ค่าฟลักซ์เทคนิค Eddy Covariance เฉลี่ย เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึงเมษายน 2553	48
4.10	ค่าความเร็วในการตกสะสมเทคนิค Eddy Covariance เฉลี่ย เดือนสิงหาคม 2552 ถึง มกราคม 2553 และมีนาคม 2553 ถึง เมษายน 2553	49

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.11 ค่าฟลักซ์เฉลี่ย 3 ฤดูกาล 50

4.12 ค่าความเร็วในการตกสะสมของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ย 3 ฤดูกาล 51

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ และรังสีสุทธิ เฉลี่ย 3 ฤดูกาล 52

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วการตกสะสม และรังสีสุทธิ เฉลี่ย 3 ฤดูกาล 52

4.15 เปรียบเทียบ V_d ระหว่างพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ 54

รายการสัญลักษณ์

B	=	Bowen ratio	-
c_p	=	heat capacity of air	cal/g/°C
D_{2-1}	=	gaseous turbulent transfer coefficient	cm/s
Rn	=	net radiation flux	W/m^2
G	=	soil heat flux	W/m^2
ρ_a	=	density of dry air	g/cm^3
λ	=	latent heat of vaporization	cal/g
P	=	atmospheric pressure	kPa
e_1, e_2	=	partial pressure of vapor at two different heights	kPa
C_p	=	heat capacity of air = 0.24	cal/g/°C
T_{d1}, T_{d2}	=	temperature of air at two different heights	°C
P	=	atmospheric pressure	mmHg
M	=	molecular weight of dry air	g/mol
T	=	temperature of dry air	°C
e	=	vapour pressure	mmHg
λ	=	latent heat of vaporization of water	cal/g
EC	=	Eddy covariance	-
F	=	ฟลักซ์	$ng/cm^2/s$
c'	=	ค่าความเข้มข้นที่มีการเปลี่ยนแปลงในเวลาสั้น	ng/cm^3
w'	=	ค่าความเร็วลมในแนวดิ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงในเวลาสั้น	cm/s
C	=	ค่าความเข้มข้นของก๊าซ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง	ng/cm^3
$\bar{C}$	=	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซ	ng/cm^3
W	=	ค่าความเร็วของลม ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง	cm/s
$\bar{W}$	=	ค่าความเร็วของลมเฉลี่ย	cm/s
V_d	=	deposition velocity	cm/s

รายการประมวลคำศัพท์และคำย่อ

atm	=	atmosphere
°C	=	degree Celsius
cm^2/s	=	square meter per second
kPa	=	kilo pascal
mb	=	milli bar
m/s	=	meter per second
ppb	=	part per billion
W/m^2	=	Watt per square meter