การทดสอบสมรรถนะห้องทดลองเพื่อใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ

นายสการ พิพัฒศุภมงคล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6738-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE TEST OF CHAMBER FOR AIR POLLUTANT MEASUREMENT

Mr. Sakarn Phiphatsupamongkol

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004
ISBN 974-17-6738-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบสมรรถนะห้องทดลองเพื่อใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ
โดย	นายสการ พิพัฒศุภมงคล
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก   ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการสอบ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา   ขาวเธียร)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์   ลิมปเสนีย์)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย   ชรินพาณิชกุล)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย สกาว พิพัฒศุภมงคล : การทดสอบสมรรถนะห้องทดลองเพื่อใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ. (PERFORMANCE TEST OF CHAMBER FOR AIR POLLUTANT MEASUREMENT) อ.ที่ปรึกษา : รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 142 หน้า. ISBN 974-17-6738-2

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างและทดสอบสมรรถนะของห้องทดลอง ในการจำลองภาวะมลพิษอากาศและสภาพแวดล้อม เพื่อใช้ในการตรวจวัดหาสารมลพิษอากาศได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง โดยห้องทดลองที่ออกแบบไว้สามารถนำไปประยุกต์ และทดสอบใช้กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบต่างๆเช่น passive sampler หรือ gas detector tube ให้สามารถเก็บตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง ตามสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนั้นยังนำไปใช้ประยุกต์สร้างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบใหม่เพื่อใช้ตรวจวัดมลพิษอากาศต่างๆต่อไปได้

ในการวิจัยได้ออกแบบห้องทดลองขนาด 110 ลิตร ทำด้วยสแตนเลส ภายในมีอุปกรณ์สำหรับบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ขดลวดทำความร้อน ขดลวดทำความเย็น พัดลมขนาดเล็ก และแผงติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ 4 จุด ห้องทดลองนี้ สามารถใช้เจือจางความเข้มข้นมลพิษอากาศได้ต่ำถึง 2,000 เท่าจากถังก๊าซมาตรฐาน (จาก 200 ส่วนในล้านส่วนเป็น 0.1 ส่วนในล้านส่วน)

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนได้แก่ การทดสอบการกระจายตัวของก๊าซในห้องทดลองโดยใช้ควัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซ ซึ่งจะคำนวณออกมาในรูปความเร็วที่ก๊าซไหลเข้าสู่ห้องทดลองกับระยะเวลาที่ก๊าซกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงภายในห้องทดลองที่ออกแบบ ขั้นที่ 2 เป็นการทดสอบสมรรถนะของห้องทดลอง ให้มีค่าอุณหภูมิเป็นไปตามที่กำหนดไว้ ขั้นที่ 3 เป็นการสร้างความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องทดลองโดยปรับความเข้มข้นจาก 200 ส่วนในล้านส่วนจากถังก๊าซมาตรฐาน ให้ได้ความเข้มข้นภายในห้องทดลองเป็น 32, 24, 16, 8, 4, 2, 1 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ โดยใช้เครื่อง CO Analyzer ในการตรวจวัด และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการนำเอาห้องทดลองไปประยุกต์ใช้ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ

การศึกษาพบว่าการกระจายตัวของก๊าซเป็นไปอย่างทั่วถึง และสม่ำเสมอตลอดทั้งห้องทดลอง และไม่มีการรั่วซึมออกภายนอกตามรอยต่อต่างๆ สำหรับผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 15, 20, 25, 30, 35, 40 องศาเซลเซียสจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัด เป็น ±0.008, ±0.014, ±0.011, ±0.008, ±0.006 และ ±0.008 องศาเซลเซียสตามลำดับ ส่วนการจำลองค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องทดลองตามสภาวะและความเข้มข้นที่กำหนดพบว่า เมื่อกำหนดอุณหภูมิภายในห้องทดลองอยู่ที่ 15, 20, 25, 30, 35, 40 องศาเซลเซียส และใช้การทดสอบค่าที (t-test) พบว่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่กำหนดไว้ และความเข้มข้นที่วัดได้จริงไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพโดยใช้ห้องทดลองที่ออกแบบไว้ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยเฉลี่ย สำหรับอุปกรณ์พาสสีพชนิดนี้อยู่ที่ 1.88×10^{-5} ตารางเมตรต่อวินาที และเมื่อใช้การทดสอบค่าที พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่กำหนดไว้ และความเข้มข้นที่วัดได้จริงไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต..................................

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..................

ปีการศึกษา 2547

4470573221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : EXPERIMENTAL CHAMBER / PASSIVE SAMPLER / NITROGEN DIOXIDE.

SAKARN PHIPHATSUPAMONGKOL : PERFORMANCE TEST OF CHAMBER FOR AIR POLLUTANT MEASUREMENT. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WONGPUN LIMPASENI, 142 pp. ISBN 974-17-6738-2.

The objectives of this research were to design, construct and test performance of an air pollutant measurement chamber under varied environmental conditions accurately and exactly . The chamber was designed to be used for development of air samplers such as passive sampler or gas detector tube. Furthermore, it can be used for instrument calibration and testing of monitoring instruments.

The chamber was designed and constructed with stainless steel, having interior volume of 110 liters. Data logger, condenser, evaporator, small fans and passive sampler holder are contained inside it. This chamber can be used to dilute pollutant level about 2000 times from high concentration standard gas (i.e. from 200 ppm to 0.1 ppm).

The experiments had four steps, the first one was to test dispersion of gas in the chamber and determine degree of dispersion in relation to air flow rates and time. The second experiment was to control temperatures at a predetermined level between 15 °c and 40 °c. The third, was to dilute carbon monoxide standard gas at level of 200 ppm concentration to 32, 24, 16, 8, 4, 2, 1 ppm using CO analyzer to measure final concentration. In the final step, the chamber was utilized to determine diffusion coefficient of nitrogen dioxide passive sampler.

The study revealed that the gas dispersion was uniform in all parts of the chamber and no leak occurred. The results of temperature control test at 15, 20, 25, 30, 35, 40 °c had standard error of measurement of ±0.008, ±0.014, ±0.011, ±0.008, ±0.006 and ±0.008 °c, respectively. In dilution of carbon monoxide concentration, the measured concentration compared with target CO concentration had no statistically significant difference at 99% confidence level. The chamber yielded diffusion coefficient of NO_2 passive sampler at 1.88×10^{-5} m^2/s. Using the derived coefficient to determine NO_2 concentration it was found that the measured concentration and the target concentration had no statistically significant difference at 99% confidence level.

Department Environmental Engineering　　Student's signature........................

Field of study Environmental Engineering　　Advisor's signature........................

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ต้องกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ความรัก ความเอาใจใส่และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนถ่ายทอดความรู้จนงานวิจัยได้สำเร็จออกมา รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล ซึ่งเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำสั่งสอนในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ ที่ช่วยอนุเคราะห์อุปกรณ์และสารเคมีบางอย่างที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการทดลองพร้อมทั้งให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณคุณกิจชัย กาญจนประภากุล ที่ช่วยทำและติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดลอง ทำให้งานทดลองดำเนินไปอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณครูอนันต์ วีระณรงค์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ช่วยจัดหาสถานที่และอุปกรณ์รวมทั้งสารเคมี ทำให้งานวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆรุ่นพี่ รุ่นน้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในยามจำเป็นตลอดมาจนกระทั่งผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญภาพ .... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ศัพท์และความหมาย 4

2.2 การออกแบบห้องทดลอง 7

2.2.1 ข้อกำหนดการออกแบบห้องทดลอง 7

2.2.2 ขนาดของห้องทดลองแบบต่างๆ 9

2.2.3 ความสัมพันธ์ของกลศาสตร์ของไหลกับการออกแบบห้องทดลอง ... 12

2.3 หลักการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดลอง 18

2.4 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์...21

2.4.1 การตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศ....... 22

2.4.2 ผลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อมนุษย์.................................. 23

2.4.3 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยรายปีในกรุงเทพมหานคร.................. 24

2.5 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 24

2.5.1 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์.. 25

2.5.2 ผลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อมนุษย์ 26

2.5.3 มาตรฐานก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วไป.................. 27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 การใช้ Passive Sampler ตรวจวัดความเข้มข้นมลพิษอากาศ.................... 28

2.7 การใช้ห้องทดลองในงานวิจัยที่ผ่านมา 31

3 วิธีดำเนินการวิจัย 32

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 32

3.2 ส่วนประกอบและการออกแบบห้องทดลอง 34

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 36

3.4 พารามิเตอร์ควบคุมในห้องทดลอง 41

3.5 ตำแหน่งและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ...................... 42

3.6 การนำห้องทดลองไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ...........43

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 46

3.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 49

4 ผลการทดลอง 51

4.1 การกระจายตัวของก๊าซในห้องทดลอง 51

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะห้องทดลองที่สภาวะต่างๆ 54

4.3 ผลการจำลองความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องทดลอง .. 62

4.4 ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารจากอุปกรณ์พาสสีพ................... 65

4.5 ความเข้มข้นของ NO_2 จากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จากห้องทดลอง 70

5 วิจารณ์ สรุปผล และข้อเสนอแนะ 75

5.1 ข้อวิจารณ์ผลการทดลอง 75

5.2 สรุปผลการวิจัย 76

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย 77

รายการอ้างอิง 78

ภาคผนวก 81

ภาคผนวก ก รายละเอียดของห้องทดลองเพื่อใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ 82

ภาคผนวก ข ข้อมูลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์............ 94

ภาคผนวก ค ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลอง......... 109

ภาคผนวก ง การใช้งานเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์....................... 128

ภาคผนวก จ สถิติอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของประเทศไทยในรอบ 52 ปี 139

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 142

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ไอน้ำอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ 4

2.2 ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียของปากท่อ 15

2.3 ช่วงของค่า Capture Velocity หรือความเร็วในการพา 16

2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ทางเข้าปากท่อแต่ละประเภท 16

2.5 อาการสนองตอบของมนุษย์ต่อระดับคาร์บอกซีฮีโมโกลบินอิ่มตัวในเลือด 23

2.6 การวิเคราะห์ไนโตรเจนไดออกไซด์ 26

2.7 ผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อคน 27

2.8 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป 28

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย 33

3.2 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 41

3.3 การเตรียมสารละลายไนไตรต์มาตรฐาน 45

3.4 ค่าวิกฤติของการทดสอบค่า t 48

3.5 แผนการดำเนินงานวิจัยและระยะเวลาการทดลอง 50

4.1 การทดลองการกระจายตัวของมลพิษอากาศภายในห้องทดลอง 51

4.2 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดลอง 55

4.3 การวิเคราะห์ค่าของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง 60

4.4 การวิเคราะห์ผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง 61

4.5 การทดสอบค่า t จากการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ CO ภายในห้องทดลอง 63

4.6 ค่า Absorbance ที่ได้จากความเข้มข้นมาตรฐานต่างๆเพื่อใช้ตรวจวัดก๊าซ NO_2.......... 66

4.7 การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพโดยใช้ห้องทดลอง 67

4.8 การหาค่าความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 จากแบลงค์อุปกรณ์พาสสีพ 70

4.9 ความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 คำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ เท่ากับ 1.88×10^{-5} ตร.ม./วินาที 71

4.10 การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงในการทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 ภายในห้องทดลอง จากการทดลองซ้ำโดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน 72

4.11 การหาค่า t จากการทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 คำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพเท่ากับ 1.88×10^{-5} ตร.ม./วินาที 74

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 อุณหภูมิคงที่ ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้น………………..... 5

2.2 ปริมาณไอน้ำในอากาศคงที่ ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอุณหภูมิ.... 5

2.3 Schematic diagram ของห้องทดลองที่ Statewide Air Pollution Research Center มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย…………………………………………………………….. 8

2.4 ห้องทดลองเพื่อใช้ในการพัฒนาและทดสอบสารกัมมันตภาพรังสีเรดอน…………….. 10

2.5 ห้องทดลองขนาดกลางใช้ทดสอบแสงสว่างจากหลอด Fluorescent…………………. 10

2.6 ห้องทดลองที่ใช้ทดสอบความเร่งของเครื่องยนต์ที่มีผลต่อการกัดกร่อน………………. 11

2.7 ห้องทดสอบด้านยานยนต์ขนาดใหญ่ของรัฐเนวาดา………………………………….. 12

2.8 ความสัมพันธ์ของความดันจลน์และความเร็วก๊าซ…………………………………….. 14

2.9 อากาศที่มีการหมุนวนที่ปากท่อ……………………………………………………….. 14

2.10 การไหลของก๊าซกรณีมีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น…………………………….. 17

2.11 การเพิ่มหน้าตัดที่ถูกต้อง…………………………………………………………….. 18

2.12 แผนผังการทำงานของระบบทำความร้อน…………………………………………….. 19

2.13 แผนผังการทำงานของระบบทำความเย็น…………………………………………..... 21

2.14 ไดอะแกรมของเครื่องติดตามตรวจวัด CO วิธี NDIR…………………………………. 22

2.15 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย 1 ชั่วโมงบริเวณริมถนนและพื้นที่ทั่วไปใน กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2535-2545 ……………………………………………………. 24

2.16 ไดอะแกรมการวิเคราะห์ NO_2 วิธี Chemiluminescence…………………………… 25

2.17 ส่วนประกอบของอุปกรณ์พาสสีพ…………………………………………………….. 30

2.18 การเปรียบเทียบค่าไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดด้วยอุปกรณ์พาสสีพกับวิธีมาตรฐาน…. 31

3.1 ส่วนทางเข้าก๊าซที่ออกแบบก่อนเข้าสู่ส่วนทำการทดลอง……………………………. 34

3.2 ขนาดของห้องทดลองที่ออกแบบ ……………………………………………………. 34

3.3 อุปกรณ์การทดลองในการหาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์……………. 35

3.4 อุปกรณ์การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ …..……………. 36

3.5 ส่วนประกอบต่างๆของห้องทดลอง…………………………………………………… 37

3.6 อุปกรณ์การทดลองเพื่อใช้ทดสอบหาความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์………… 38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.7 อุปกรณ์การทดลองเพื่อใช้ทดสอบหาความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์........... 39

3.8 อุปกรณ์พาสสีพที่ใช้ในงานวิจัย.. 40

3.9 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในการทดลองหาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ... 42

3.10 ตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์พาสสีพในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ 43

3.11 การเตรียมสารเคลือบกระดาษกรองของอุปกรณ์พาสสีพ................................ 43

3.12 การสกัดไนไตรต์ออกจากกระดาษกรอง.. 44

3.13 สารละลายไนไตรต์มาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ.. 45

4.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 15 ºC............. 57

4.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 20 ºC............. 57

4.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 25 ºC............. 58

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 30 ºC............. 58

4.5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 35 ºC............. 59

4.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 40 ºC............. 59

4.7 ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิที่กำหนดกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้........... 60

4.8 ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิที่กำหนดกับความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ย...... 61

4.9 ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆในห้องทดลอง 65

4.10 กราฟมาตรฐานเพื่อใช้ตรวจวัดก๊าซ NO_2 ของอุปกรณ์พาสสีพที่ใช้ในงานวิจัยนี้.......... 66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันกรุงเทพมหานครได้มีการขยายตัวของเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ประกอบกับการเพิ่มจำนวนของยานพาหนะและประชากร ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศตามมา มลพิษทางอากาศหลายชนิดมีผลร้ายต่อสุขภาพมนุษย์ พืชและสัตว์ และยังทำลายสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ มลพิษที่ก่อปัญหาในพื้นที่อย่างกว้างขวางได้แก่ ควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งมีส่วนประกอบมีพิษเช่น SO_x, NO_x, CO เป็นต้น ดังนั้นการจัดการคุณภาพอากาศให้เหมาะสมต่อการดำรงชีพของมนุษย์ จำเป็นต้องมีเครื่องมือในการเฝ้าระวัง ติดตามตรวจสอบ สารมลพิษหลักในบรรยากาศทั่วไป และจำเป็นต้องมีข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายสู่สาธารณะชน

การตรวจวัดมลพิษในปัจจุบัน กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบหลัก ได้ดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในประเทศไทย เป็นประจำอย่างต่อเนื่อง โดยทำการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศได้แก่ ฝุ่นละออง ก๊าซโอโซน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ทั้งนี้ในส่วนของกรุงเทพมหานครมีการตั้งสถานีตรวจวัดทั้งแบบถาวรและแบบกึ่งถาวรบริเวณริมถนน สามารถวัดสารมลพิษได้แบบต่อเนื่อง แต่มีข้อจำกัดคือต้องใช้แหล่งพลังงาน สถานที่กว้าง และค่าดำเนินการสูง และในขณะเดียวกันการขยายตัวของเมืองตามสภาวะเศรษฐกิจและสังคมเป็นไปอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดการสะสมตัวของสารมลพิษในสภาพแวดล้อมเฉพาะบริเวณ (micro environment) ทำให้ข้อมูลของสารมลพิษจากสถานีตรวจอากาศทั่วไปอาจไม่เหมาะสม สำหรับกรณีเช่นนี้ จึงมีผู้คิดค้นอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างแบบพาสสีพซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด ง่ายต่อการพกพา(นำไปใช้) และไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในการทำงาน ขึ้นมาใช้ร่วมกับการตรวจวัดแบบแอคตีพ (Active samplers) อย่างไรก็ตาม การพัฒนาตัวอย่างแบบพาสสีพนี้ จะต้องทำการทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ในห้องจำลองสภาวะมลพิษ ที่สามารถจำลองสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันได้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จึงได้ทำการออกแบบห้องทดลอง (chamber) ให้มีความสามารถในการจำลองสภาวะตามที่กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการตรวจวัดสารมลพิษอากาศจากการเก็บตัวอย่างในแบบต่างๆ โดยทำการปรับค่าอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม (อัตราการไหลของก๊าซ) ในสภาพต่างๆ ให้อยู่ในช่วงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย และสามารถนำห้องทดลองที่ได้นี้ไปประยุกต์หรือ

พัฒนาใช้กับอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ ตรวจวัดสารมลพิษอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นตัวอย่างในการศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาห้องทดลองในการจำลองภาวะมลพิษอากาศและสภาพแวดล้อม

1.2.2 เพื่อประเมินสมรรถนะของห้องทดลองในการตรวจวัดสารมลพิษอากาศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบห้องทดลอง (Chamber) ให้มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดหาสารมลพิษอากาศ ได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง โดยห้องทดลองจะต้องมีขนาดที่เหมาะสม สามารถจะบรรจุอุปกรณ์ในการสร้างสภาวะแวดล้อม และอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศได้ เช่นพัดลมที่ให้แรงลมสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาที่ใช้งาน เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ขดลวดทำความร้อนและความเย็น แผงติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ เป็นต้น สำหรับตัวอย่างก๊าซที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มาตรฐานเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งต้องเจือจางให้ได้ความเข้มข้นภายในห้องทดลองเป็น 32, 24, 16, 8, 4, 2, 1 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มาตรฐานเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งต้องทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นภายในห้องทดลองเป็น 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ ส่วนวัสดุที่เลือกใช้ทำห้องทดลองเป็นสแตนเลส ซึ่งมีความทนทานและไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ใช้ทดลองทั้งสองชนิด

1.3.2 การทดลองจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการทดสอบการกระจายตัวของก๊าซในห้องทดลองโดยใช้ควัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซ ซึ่งจะคำนวณออกมาในรูปความเร็วที่ก๊าซไหลเข้าสู่ห้องทดลอง กับระยะเวลาที่ก๊าซกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงภายในห้องทดลองที่ออกแบบ

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดสอบสมรรถนะของห้องทดลอง ให้มีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 15 ถึง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นไปตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย และทำการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดลองโดยเครื่อง data logger ซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการทดลองตั้งอุณหภูมิแต่ละค่าประมาณ 8 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องโดยมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเป็นที่ยอมรับได้

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการทดสอบจำลองค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยการตรวจวัดด้วยเครื่อง CO Analyzer จากตำแหน่งต่างๆในห้องทดลองจำนวน 9 จุด

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการนำเอาห้องทดลองไปประยุกต์ใช้ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ โดยใช้วัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

1.3.3 นำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์และวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อให้ทราบว่าห้องทดลองที่ออกแบบไว้ สามารถจำลองได้ใกล้เคียงกับสภาวะที่กำหนดขึ้น เช่น การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำในการทดลองจากการการทำซ้ำ เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ห้องทดลองที่ออกแบบไว้สามารถนำไปประยุกต์และใช้ทดสอบกับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบต่างๆที่มีอยู่ ไม่ว่าจะเป็น Passive sampler หรือ Gas detector tube รวมทั้งเพื่อพัฒนาอุปกรณ์แบบใหม่ ให้สามารถเก็บตัวอย่างได้อย่างถูกต้องตามสภาวะอากาศที่เกิดขึ้นจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ศัพท์และความหมาย

คำศัพท์ในงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะด้านมลพิษอากาศมีมากมาย แต่สำหรับงานวิจัยนี้ศัพท์ที่เกี่ยวข้องจะมีไม่มากและเป็นที่เข้าใจง่าย อย่างไรก็ตามต้องมีการอธิบายให้เกิดความเข้าใจในความหมายของศัพท์ให้ตรงกัน ก่อนที่จะทำการศึกษาต่อไป โดยความหมายของศัพท์ต่างๆเป็นดังนี้

ห้องทดลอง (Experimental Chamber) เป็นห้องที่มีการจำลองสภาวการณ์ที่ต้องใช้ในงานทดลองให้มีสภาพตามความเป็นจริง โดยจะจำลองสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับสิ่งที่ต้องการจะศึกษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมเป็นต้น ซึ่งห้องทดลองจะมีหลายขนาดตามความเหมาะสมของงานทดลองนั้นๆ โดยมักจะนำมาใช้ในงานวิจัยและพัฒนา ใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ ทดสอบความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ก่อนที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

ความชื้น (Humidity) หมายถึงปริมาณของไอน้ำในอากาศ ส่วนอากาศอิ่มตัวหมายความว่ามวลอากาศก้อนนั้นบรรจุไอน้ำได้เต็มที่ ณ อุณหภูมิและความกดดันนั้นไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มได้อีก แต่ถ้ามีการเปลี่ยนอุณหภูมิหรือความกดก็จะทำให้จุดอิ่มตัวเปลี่ยนแปลงด้วย อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อากาศสามารถรับไอน้ำได้มากขึ้นตามตารางที่ 2.1 ดังนั้นอากาศอุ่นจึงสามารถรับไอน้ำมากกว่าอากาศเย็น (วิไลลักษณ์, 2540)

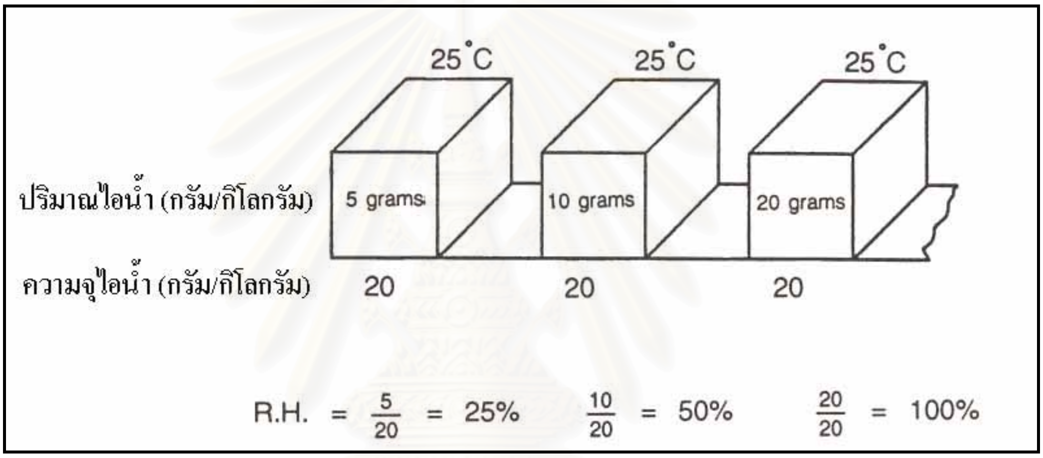
ตารางที่ 2.1 ไอน้ำอากาศสามารถรับได้ที่อุณหภูมิต่างๆ (วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ, 2540: 47)

อุณหภูมิ (°C)	กรัม/กิโลกรัม
-10	2
0	3.5
5	5
10	7
15	10
20	14
25	20
30	26.5
35	35
40	47

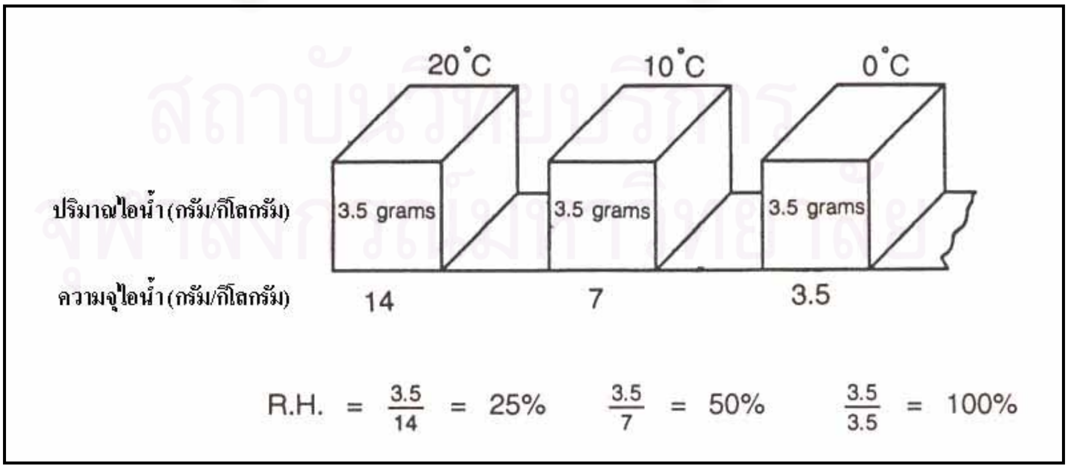
ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่มีได้เมื่ออากาศนั้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน คูณด้วย 100 เพื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ปริมาณไอน้ำในอากาศ}}{\text{ความจุไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน}} \times 100$$

ความชื้นสัมพัทธ์เป็นค่าที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำที่ระเหยเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น หรืออุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิลดลงความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้นดังรูปที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 2.1 เมื่ออุณหภูมิคงที่ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไอน้ำที่เพิ่มขึ้นในอากาศ (วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ, 2540: 48)



รูปที่ 2.2 เมื่อปริมาณไอน้ำในอากาศคงที่ความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอุณหภูมิ (วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ, 2540: 48)

อุณหภูมิคือระดับความร้อนที่บอกค่าได้เป็นตัวเลขที่แน่นอน มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส เขียนย่อเป็น °C หรือหน่วยองศาฟาเรนไฮต์ เขียนย่อเป็น °F มีสูตรที่ใช้แปลงค่าอุณหภูมิคือ $\frac{F - 32}{9} = \frac{C}{5}$ ในการวัดอุณหภูมิของอากาศเครื่องมือที่ใช้คือเทอร์โมมิเตอร์ ตรวจวัดอุณหภูมิโดยอาศัยสมบัติทางฟิสิกส์ของสสารที่ว่า สสารซึ่งจะเป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊สเมื่อได้รับความร้อนอุณหภูมิจะสูงขึ้น สสารมีการขยายตัวมากขึ้น เทอร์โมมิเตอร์ธรรมดาใช้วัดอุณหภูมิโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นแท่งแก้วยาว ตรงปลายเป็นกระเปาะบรรจุปรอท ซึ่งสามารถไหลขึ้นลงตามท่อเล็กๆในแท่งแก้วยาวได้ ระดับปรอทจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงและลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง บนแท่งแก้วจะมีสเกลบอกค่าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียสและฟาเรนไฮต์ สิ่งที่ทำให้อุณหภูมิของอากาศในแต่ละสถานที่แตกต่างกัน มีพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นสาเหตุหลัก นอกจากนี้ก็มีปัจจัยอื่นๆได้แก่ ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ระดับความสูงของพื้นที่ เป็นต้น

เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Data Logger) เป็นอุปกรณ์จัดเก็บรวบรวมข้อมูลจากปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ เช่นอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น โดยผ่านทางหัววัด (Sensor) แล้วสามารถถ่ายโอนข้อมูลดังกล่าวมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการต่อเชื่อมอุปกรณ์นี้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างเป็นฐานข้อมูล(Database)โดยอัตโนมัติ แล้วสามารถประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองดังกล่าว พร้อมทั้งนำเสนอข้อมูลในรูปของกราฟ หรือสั่งพิมพ์เป็นรายงานตามความต้องการออกทางเครื่องพิมพ์ได้ สำหรับเครื่องที่ใช้ในการทดลองนี้มีขนาดประมาณ 195 x101x35 มิลลิเมตร และน้ำหนักประมาณ 350 กรัม จึงมีความคล่องตัวสูงในการนำไปใช้ในการทดลองภาคสนามนอกห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี และหัววัด (Sensor) นี้ก็มีหลายแบบให้เลือกใช้งานในการวัดและเก็บข้อมูล

อุปกรณ์พาสสีพ (Passive Sampler) เป็นอุปกรณ์เก็บตัวอย่างมลพิษในอากาศโดยอาศัยหลักการแพร่ของโมเลกุลที่ศึกษาผ่านสิ่งกีดขวางได้โดยอิสระ ไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานในการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ยังมีขนาดเล็กใช้งานได้ง่าย ราคาถูก และสามารถวางเก็บได้ทั้งบริเวณพื้นที่กว้าง และจำนวนมาก มลพิษที่แพร่เข้าในอุปกรณ์พาสสีพจะถูกจับไว้โดยสารเคมีที่มีความจำเพาะกับมลพิษ และเหมาะสำหรับวิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ความเข้มข้นของมลพิษที่วิเคราะห์ได้ นำมาหาความสัมพันธ์กับความเข้มข้นเฉลี่ยในบรรยากาศ ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างโดยใช้กฎการแพร่ของฟิค

2.2 การออกแบบห้องทดลอง (Barbara and James, 1986)

ห้องทดลองถูกใช้อย่างกว้างขวางในการศึกษาเกี่ยวกับเคมีของบรรยากาศ เพื่อทำนายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปล่อยมลพิษและคุณภาพของอากาศ ซึ่งเป็นเป้าหมายสูงสุดของการทดลอง ในห้องทดลองจะมีการจำลองสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับสิ่งที่ต้องการจะศึกษาเช่นการฉายแสงจากหลอดไฟที่อาจจะแทนแสงจากดวงอาทิตย์ได้ ข้อกำหนดการออกแบบห้องทดลองนี้จะจำลองมาจากสภาพความเป็นจริงพื้นฐานที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ ซึ่งรวมถึงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) เช่นค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และมลพิษต่างๆที่เพิ่มเข้ามาอย่างไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งค่าเหล่านี้มีความหมายและมีความซับซ้อนต่อตัวอย่างที่จะทำการศึกษาในบรรยากาศ

2.2.1 ข้อกำหนดการออกแบบห้องทดลอง (Barbara and James, 1986)

ถึงแม้ว่าจุดประสงค์โดยทั่วไปของการศึกษาออกแบบห้องทดลองนี้จะคล้ายๆกันคือศึกษาถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในบรรยากาศภายใต้สภาวะที่อยู่ในการควบคุม แต่การออกแบบห้องทดลองตามความสามารถที่จะนำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆนั้น มีได้มากมายหลายรูปแบบ ดังนั้นห้องทดลองจึงมีลักษณะจำเพาะ (Characteristics) แตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.2.1.1 ขนาดและรูปร่าง ขึ้นอยู่กับลักษณะของอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ในงานทดลองซึ่งอย่างน้อยที่สุดต้องสามารถบรรจุเข้าไปในห้องทดลองได้อย่างเหมาะสม

2.2.1.2 วัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวของห้องทดลอง ที่จะต้องรับสัมผัสกับสารมลพิษตัวอย่างกล่าวคือสำหรับวัสดุที่ใช้เป็นพื้นผิวของห้องทดลองจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับตัวอย่างก๊าซที่ใช้ทดลอง ปฏิกิริยาสำคัญที่มักเกิดขึ้นบนพื้นผิวของห้องทดลองคือการการเกิด HONO ดังนี้

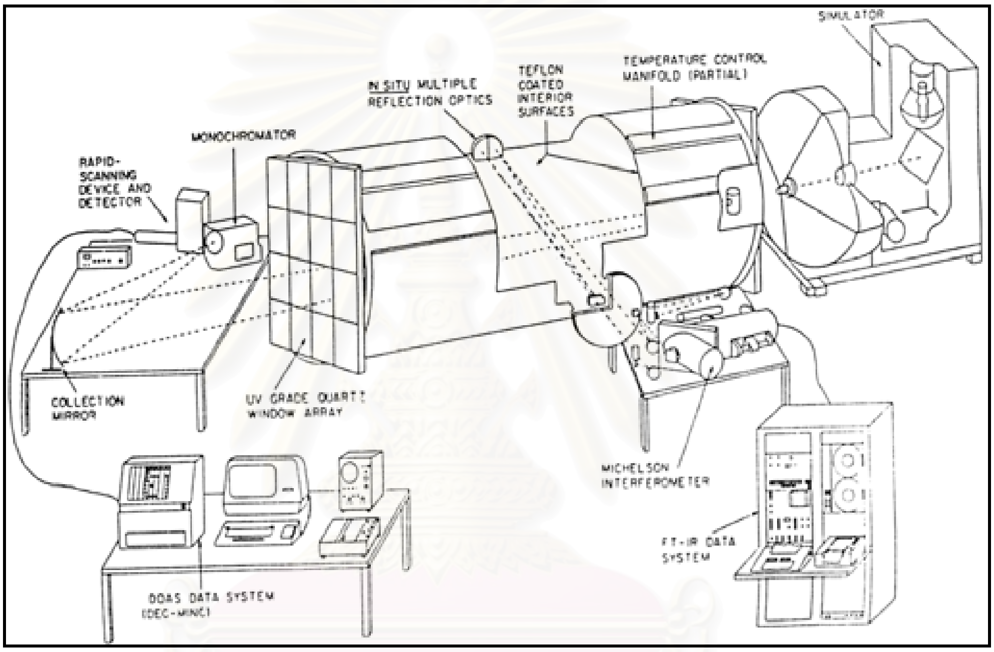
$$2NO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{surface}} HONO + HNO_3$$

ปฏิกิริยานี้จะเกิดช้ามากในบรรยากาศที่มีสารละลายที่เกิดจากน้ำเป็นส่วนสำคัญแต่จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วบนพื้นผิวของห้องทดลองที่ศึกษาอยู่ นอกจากนั้นอาจเกิดกรดไนตริกขึ้นด้วยซึ่งอาจจะทำให้วัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวเกิดการกัดกร่อนได้ ดังนั้นถ้าพบว่าในห้องทดลองจะต้องเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นจะต้องเลือกวัสดุที่นำมาใช้ให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามห้องทดลองที่มีอัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตร (S/V ratios) น้อยหรือห้องทดลองที่มีขนาดใหญ่ผลกระทบที่เกิดจากปฏิกิริยานี้จะมีค่าน้อย

2.2.1.3 ช่วงของความดันและอุณหภูมิที่ครอบคลุมสำหรับการทดลองแบบต่าง ๆ

ห้องทดลองสามารถที่จะทำการปรับเปลี่ยนค่าความดันและอุณหภูมิ เพื่อที่จะจำลองสภาพทางภูมิศาสตร์ ฤดูกาล ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา ให้เป็นไปตามสภาวะที่ใช้ทดลอง และใน

บางกรณีที่ห้องทดลองเกิดการปนเปื้อนหลังจากถูกนำไปใช้ อาจทำให้เกิดสารประกอบไนโตรเจนและไฮโดรคาร์บอนบางตัว ยังคงซึมซับอยู่ตามผนังของห้องทดลองซึ่งอาจจะปล่อยออกมาในภายหลังเช่น HCHO ซึ่งสามารถที่จะแตกสลายไปได้ในห้องทดลองที่มีความดันต่ำ ดังนั้นห้องทดลองที่ใช้ระบบปั๊มความดันต่ำ จึงมีประโยชน์ในการลดผลกระทบที่จะเกิดการปนเปื้อนในห้องทดลองได้ด้วย ตัวอย่างของห้องทดลองที่ออกแบบเพื่อที่จะควบคุมทั้งอุณหภูมิและความดันแสดงดังรูปที่ 2.3 ผนังที่ใช้ก่อสร้างทำมาจาก aluminum alloy ปิดทับด้วย TEP Teflon และมีระบบปั๊มเพื่อถ่ายสารไฮโดรคาร์บอนอิสระออกจากห้องทดลองด้วย



รูปที่ 2.3 Schematic diagram ของห้องทดลองที่ Statewide Air Pollution Research Center มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (Barbara and James, 1986: 385)

2.2.1.4 วิธีการเตรียมสารที่เข้าทำปฏิกิริยารวมถึงอากาศสะอาด (clean air) ในแต่ละการทดลองจะใช้แหล่งกำเนิดหรือมีวิธีการเตรียมสารที่เข้าทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน สารประกอบบางอย่างสามารถหาซื้อได้ แต่ต้องนำมาทดสอบให้แน่ใจว่าไม่มีสิ่งปนเปื้อนซึ่งอาจจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ถ้าพบต้องกำจัดโดยการทำให้บริสุทธิ์ก่อนนำไปใช้ ส่วนประกอบที่มีมากที่สุดในห้องทดลองที่ศึกษาคืออากาศซึ่งเป็นสิ่งที่เลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นอากาศที่นำมาใช้ในการเจือจางตัวอย่างก๊าซเข้มข้น เพื่อให้ได้ระดับความเข้มข้นที่ต้องการจึงต้องสะอาดเพียงพอ

2.2.1.5 การจัดสภาพภายใต้การทดลอง เช่นการให้อากาศผ่านเข้าไปเป็นบางช่วงหรือให้ไหลผ่านตลอดเวลาเป็นต้น

2.2.1.6 **ลักษณะสเปกตรัมของแสงที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิด** เช่นในงานทดลองที่ต้องใช้แสงอาทิตย์ ห้องทดลองจะต้องออกแบบให้มีช่องเปิดในการรับแสงจากดวงอาทิตย์อย่างเหมาะสม ซึ่งภายใต้สภาวะการทดลองแบบนี้ การควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลองเป็นไปค่อนข้างยาก เนื่องจากความเข้มของแสงจะเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ โดยอาจเกิดจากการบังของเมฆเป็นต้น ดังนั้นในงานทดลองส่วนใหญ่จะใช้แสงที่จำลองจากดวงอาทิตย์ได้แก่ Black fluorescent lamps (ให้ความยาวคลื่นประมาณ 290-340 นาโนเมตร) และ Xenon lamps (ให้ความยาวคลื่นประมาณ 290-700 นาโนเมตร) เป็นต้น

2.2.2 ขนาดของห้องทดลองแบบต่าง ๆ

ห้องทดลองมักจะนำมาใช้ทดสอบในงานด้านต่างๆเสมอเช่น งานวิจัยและพัฒนา ใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์ ทดสอบความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ใช้วิเคราะห์ความล้มเหลว (Failure analysis) และสามารถใช้เป็นแบบจำลอง เพื่อประยุกต์กับงานอื่นๆได้อีกมากมาย เช่นในภาคอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ ไฟฟ้าและการสื่อสาร การขนส่งด้านอวกาศ การแพทย์ และอุตสาหกรรมที่จำเป็น ต้องทดสอบก่อนการใช้งานจริงเป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งตามขนาดได้ดังนี้

2.2.2.1 Small-scale Chamber

ขนาดของห้องทดลองแบบนี้มักมีปริมาตรอยู่ในช่วง 1-10 ลูกบาศก์เมตร พื้นผิวภายในส่วนใหญ่ทำจากสแตนเลส (Stainless steel) ซึ่งเป็นวัตถุดิบสังเคราะห์ที่มีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยได้ (VOCs) ในปริมาณต่ำ ติดตั้งระบบระบายอากาศทางเดียว บางแบบมีตัวกรองใช้ดักพวกฝุ่น สารอินทรีย์ระเหยได้และโอโซน

อากาศจะแพร่ผ่านเข้ามาในห้องทดลอง ไหลตามขอบผนังตรงตำแหน่งสูงๆของห้องทดลองและไหลลงต่ำออกทางช่องทางออกที่อยู่ตรงข้ามกับช่องทางเข้า อุณหภูมิในห้องทดลองสามารถเปลี่ยนไปตามสภาวะที่กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำ แต่ก็อาจคลาดเคลื่อนได้ประมาณ ±1 °C ในช่วง 1 สัปดาห์ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ก็สามารถปรับเปลี่ยนได้ ความเร็วของอากาศในห้องทดลอง สามารถตรวจสอบได้ในห้องทดลองระหว่างทำการทดลอง ตัวอย่างของห้องทดลองแบบนี้เช่น ห้องทดลองที่ใช้ทดสอบสารกัมมันตรังสี (Radon) ในบรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยขนาดภายในห้องทดลองจะมีปริมาตรประมาณ 4 ลูกบาศก์เมตรทำจาก stainless อุณหภูมิตั้งอยู่ระหว่าง 5°C ถึง 40 °C (±1°C) ส่วนความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ในช่วง 5% - 100% (±2% RH) และความเข้มข้นของตัวอย่างก๊าซจะถูกบันทึกโดยอัตโนมัติในห้องทดลอง ความเข้มข้นของเรดอนที่ใช้มีมากกว่า 5000 Bq/m^3 และมีอัตราการสูญเสียของก๊าซ (Air leakage rate) อยู่ในช่วง 26-39 ลิตรต่อนาที

รูปที่ 2.4 ห้องทดลองเพื่อการพัฒนาและทดสอบสารกัมมันตภาพรังสีเรดอน (Cavallo, 2003)

2.2.2.2 Intermediate-scale Chamber

ใช้ทดสอบกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าห้องทดลองขนาดเล็ก แต่ไม่ใหญ่เท่ากับห้องทำงานในตึกอาคารเป็นต้น ขนาดของห้องทดลองแบบนี้มักมีปริมาตรอยู่ในช่วง 10-20 ลูกบาศก์เมตร ตัวอย่างห้องทดลองแบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 ห้องทดลองขนาดกลางใช้ทดสอบแสงสว่างจากหลอด Fluorescent ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Johnson, 2002)

2.2.2.3 Large-scale Chamber

ห้องทดลองแบบนี้สร้างขึ้นโดยจำลองคล้ายกับห้องประชุมขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นแบบปิด ซึ่งอาจตั้งอยู่ในอาคารหรือแยกอยู่ต่างหากก็ได้ และมีการควบคุมสภาพแวดล้อมภายนอกด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้น สามารถจะเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะสมกับการทดลองต่างๆได้ ส่วนวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นผนัง เพดานและพื้น สามารถที่จะนำเอาวัตถุดิบชนิดอื่นที่จำเป็นต่อการทดลองนั้นๆมาแทนที่ได้ นอกจากนี้ผนังของห้องทดลอง ยังถูกดัดแปลงเพื่อที่จะเปิดออกสู่ภายนอกอาคารจริงในกรณีที่ต้องใช้สารมลพิษจากภายนอกเข้ามายังห้องทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองต้องอาศัยเครื่องมือและข้อมูลฐานคอมพิวเตอร์ ที่ใช้อย่างกว้างขวางมาช่วยควบคุมการทดลอง เช่นการสร้างให้อากาศไหลผ่านเข้าตัวกรอง เพื่อจะกำจัดพวกอนุภาคฝุ่นเป็นต้น ตัวอย่างของห้องทดลองแบบนี้ได้แก่ การทดสอบความเร่งที่มีผลต่อการกัดกร่อนของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ห้องทดลองจะมีขนาดกว้าง 20 ฟุตยาว 40 ฟุตและสูง 20 ฟุตใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 165 °F ความชื้นที่ 120 °F สูงถึง 100% ประตูของห้องทดลองมีขนาด 15x15 ตารางฟุต

รูปที่ 2.6 ห้องทดลองที่ใช้ทดสอบความเร่งของเครื่องยนต์ที่มีผลต่อการกัดกร่อน (Aberdeen Test Center [ATC], 2002)

ส่วนในรูปที่ 2.7 เป็นตัวอย่างของห้องทดลองขนาดใหญ่ที่ใช้ทดสอบยานยนต์ ทั้งในด้านการทหารและการพาณิชย์ในรัฐเนวาดา โดยมี 2 ห้องเรียงต่อกัน ทำงานแยกกันอย่างอิสระมีความยาวทั้งหมด 88 ฟุต ใช้สำหรับทดสอบประเมินการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ ให้มีความเหมาะสมกับสภาพบรรยากาศ เพื่อให้แน่ใจว่ายานยนต์ที่สร้างเสร็จแล้วนั้นอยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งาน

รูปที่ 2.7 ห้องทดสอบด้านยานยนต์ขนาดใหญ่ของรัฐเนวาดา
(Nevada Automotive Test Center [NATC], 2000)

2.2.3 ความสัมพันธ์ของกลศาสตร์ของไหลกับการออกแบบห้องทดลอง

การออกแบบห้องทดลองเพื่อที่จะสามารถปล่อยสารมลพิษเข้าไปได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด จำเป็นจะต้องคำนึงถึงหลักของกลศาสตร์ของไหลด้วย เพราะมลพิษหรือสารเคมีทั้งหลายที่เป็นก๊าซ เช่นไอระเหยของทินเนอร์ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (น้อยกว่า 20 ไมครอน) ซึ่งจะแขวนลอยอยู่ในอากาศ หรือแม้แต่ฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีแรงโน้มถ่วงมาเกี่ยวข้องด้วยจะต้องออกแบบให้สามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงนั้นได้ และในกรณีที่มีมลพิษถูกปล่อยออกมาพร้อมความร้อน เช่นจากหม้อต้ม การออกแบบก็ต้องคำนึงด้วยเช่นกันว่า จะต้องใช้ความเร็วเท่าใดในการดึงมลพิษนั้นหรือควรครอบคลุมพื้นที่แค่ไหนเป็นต้น

หลักการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ จำเป็นต้องทราบถึงทฤษฎีพื้นฐานก่อนที่จะถึงขั้นตอนการเลือกขนาดท่อหรือพิจารณารูปร่างของปากท่อ อากาศเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นจึงเป็นเรื่องยากที่สังเกตการไหลหรือทิศทางการเคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามควรออกแบบให้เป็นไปตามความสัมพันธ์ของกฎ “กลศาสตร์ของไหล” สาเหตุที่การคำนวณออกแบบมีความยุ่งยาก เพราะความต้องการปริมาณอากาศในแต่ละจุดไม่เท่ากัน เนื่องจากในแต่ละตำแหน่งมีลักษณะไม่เหมือนกัน จึงทำให้ความเร็วในการเข้าสู่ระบบมีขนาดไม่เท่ากัน ห้องทดลองจะถูกออกแบบให้ความต้องการอากาศของระบบเท่ากับปริมาณการถ่ายเท หรืออัตราการไหลที่ระบบต้นกำลังสามารถทำได้

การทำงานของระบบจะเริ่มจากการปล่อยอากาศที่ปนเปื้อนสารมลพิษเข้าทางปากท่อ จึงทำให้ปากท่อเป็นชิ้นส่วนสำคัญของระบบ การออกแบบจะต้องอาศัยทั้งหลักทฤษฎีพร้อมกับการทดลองสร้างในงานจริง ความแตกต่างของปากท่อจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานว่ามีความต้องการอัตราการไหลของอากาศในปริมาณเท่าใด และยังมีเรื่องของความเร็วอากาศที่เหมาะสมที่ทำให้สารมลพิษสามารถไหลไปพร้อมกับอากาศได้ รูปร่างของปากท่อจะขึ้นกับแหล่งกำเนิดมลพิษ อัตราการไหลของก๊าซจะถูกกำหนดด้วยชนิดและปริมาณของสิ่งปนเปื้อน ข้อมูลดังกล่าวจะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อได้

อากาศจะเคลื่อนที่ได้เพราะเกิดความแตกต่างของความดันของจุดสองจุด จึงได้เกิดการถ่ายเทอากาศปนเปื้อนจากบริเวณความดันสูงไปสู่บริเวณความดันต่ำ บริเวณความดันต่ำจะถูกสร้างขึ้นด้วยพัดลม พัดลมจะต้องสามารถสร้างความดันที่ต่ำเพียงพอ จนทำให้อากาศไหลเข้าปากท่อตามความต้องการและไหลผ่านตลอดห้องทดลองจนออกจากระบบไป สาเหตุที่ทำให้พัดลมมีประสิทธิภาพลดลง คือปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านไม่ถูกต้อง ช่องทางเข้าหรือทางออกของพัดลมมีสิ่งกีดขวางหรือไม่ถูกตามหลักการเช่น พัดลมเป่าออกตามเข็มนาฬิกาแต่ท่อออกกลับโค้งทวนเข็มนาฬิกา ทำให้อากาศปั่นป่วนและเสียประสิทธิภาพ

ความดันสูญเสียในระบบจะเริ่มจากอากาศที่ไหลเข้าที่ปากท่อ แล้วความดันก็จะสูญเสียตามทางเดินตามลำดับ ไม่ว่าจะเป็นทางตรง ข้องอ จุดเชื่อมต่อเป็นต้น ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

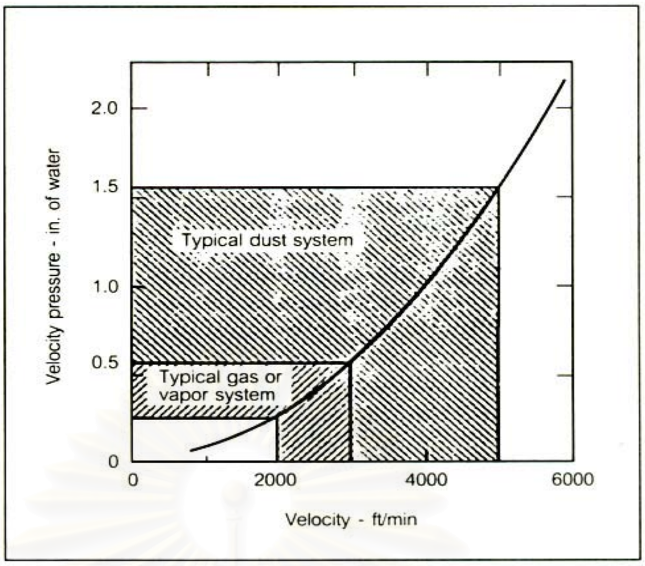
2.2.3.1 **การสูญเสียจากความเร่ง** (Acceleration loss) อากาศที่อยู่รอบบริเวณทำงานจะอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง หรือกล่าวได้ว่าพลังงานจลน์มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นการที่จะทำให้อากาศมีความเร็วได้ก็จะต้องใช้พลังงาน ซึ่งขนาดของพลังงานจะขึ้นอยู่กับความเร็วที่สามารถหาได้จากสมการ 2.1

$$VP = \left(\frac{V}{4005}\right)^2 \qquad (2.1)$$

โดยที่ VP = ความดันจลน์, นิ้วน้ำ

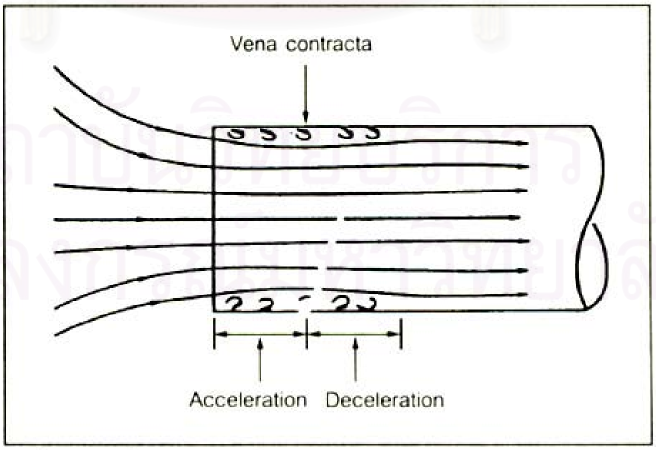
V = ความเร็วอากาศ, ฟุต/นาที

และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับความดันสูญเสียในรูปของความดันจลน์ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8 จากการวิเคราะห์จะเห็นว่า กรณีของแก๊สและไอน้ำจะต้องการความเร็วอยู่ในช่วง 2000 ถึง 3000 ฟุต/นาที แต่ถ้าเป็นอากาศที่ปนเปื้อนฝุ่น จะใช้ความเร็วประมาณ 3000 ถึง 5000 ฟุต/นาที



รูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ของความดันจลน์และความเร็วก๊าซ
(American National Standard, 1972)

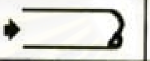
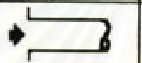
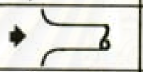
2.2.3.2 **การสูญเสียที่ปากท่อ (Entry Loss)** การสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ เนื่องจากอากาศที่ถูกดูดเข้าไปในท่อจะเกิดการหมุนวน จึงเกิดการรบกวนการไหลของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ทำให้มีอากาศไหลได้เพียง 88 เปอร์เซ็นต์ของขนาดหน้าตัดบริเวณปากท่อ ซึ่งการออกแบบปากท่อจะมีรูปแบบหลายรูปแบบที่จะทำให้การใช้หน้าตัดของท่อเป็นไปอย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยปลายท่ออาจจะทำเป็นท่อกรวย เพื่อให้มีพื้นที่ให้อากาศหมุนวนได้



รูปที่ 2.9 อากาศที่มีการหมุนวนที่ปากท่อ
(ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี, 2546: 156)

2.2.3.3 **ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียที่ปากท่อ** (Entry Loss Factor) การสูญเสียความดันสามารถที่จะคำนวณได้ โดยการพิจารณารูปแบบของปากท่อแต่ละประเภท และสามารถกำหนดเป็นค่าแฟกเตอร์ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าแฟกเตอร์ความสูญเสียของปากท่อ (ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี, 2546: 157)

Type	Shape	Entry Loss factor fraction	Typical entry loss, in. of water	
			Dust system	Vapor system
Unflanged		0.90	0.5-1.4	0.2-0.5
Flanged		0.50	0.3-0.8	0.1-0.3
Rounded		0.03	0-0.1	Negligible
45° taper		0.10	0.1-0.2	0-0.1
Slot		1.78 of slot VP	0.5-2.0	0.5-2.0

2.2.3.4 **ความเร็วอากาศในท่อ** การกำหนดความเร็วอากาศที่เหมาะสม จะทำให้ก๊าซสามารถเคลื่อนตัวไปในระบบได้ การออกแบบความเร็วจะต้องให้ความเร็วลมที่จุดตำแหน่งของมลพิษ มีความเร็วเพียงพอที่จะพามลพิษ รวมทั้งอากาศที่มีมลพิษปนเปื้อนอยู่ไหลเข้ามาได้ สำหรับความเร็วในการพามลพิษที่เพียงพอนั้น ขึ้นกับลักษณะการแพร่ของมลพิษ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยค่าตัวเลขในช่วงค่าเริ่มต้น ซึ่งมีค่าน้อยใช้สำหรับกรณีที่ไม่มีกระแสลมภายนอกหรือมีบ้างเล็กน้อย แต่ถ้าแหล่งกำเนิดมลพิษอยู่นอกห้องทดลองแล้วดึงอากาศเข้าไป พบว่าความเร็วในการพามลพิษลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อระยะทางห่างจากปากท่อเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการคำนวณให้ความเร็วเพียงพอจะสำคัญมาก เพราะหากเพิ่มระยะห่างของมลพิษจากปากท่อเป็น 2 เท่าของระยะทางเดิม ความเร็วลมจะเปลี่ยนไปมาก ทำให้ปริมาณอากาศที่ต้องปล่อยเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า เพื่อให้ความเร็วลมเท่ากับค่าที่กำหนดไว้เดิม

ตารางที่ 2.3 ช่วงของค่า Capture Velocity หรือความเร็วในการพา (นพภาพร พานิชและคณะ, 2547: 4-24)

ลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษอากาศ	Capture Velocity (เมตร/วินาที)
การปล่อยมลพิษอากาศโดยปราศจากความเร็วเข้าไปในอากาศที่นิ่ง	0.254-0.508
การปล่อยมลพิษอากาศด้วยความเร็วต่ำเข้าไปในอากาศที่นิ่งพอสมควร	0.508-1.016
การกำเนิดมลพิษทางอากาศโดยปล่อยให้เข้าไปในบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวของอากาศอย่างรวดเร็ว	1.016-2.540
การปล่อยมลพิษอากาศด้วยความเร็วเริ่มต้นสูงเข้าไปในบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวของอากาศอย่างรวดเร็วมาก	2.540-10.16

2.2.3.5 **สัมประสิทธิ์ทางเข้าของปากท่อ** (Coeficient of Entry) คืออัตราส่วนอากาศไหลแท้จริงต่อปริมาณการไหลอากาศทางทฤษฎี สัมประสิทธิ์ทางเข้าจะเป็นตัวชี้ถึงประสิทธิภาพของปากท่อ จากการพิจารณาอัตราไหลอากาศในระบบจริง ในรูปของความดันสถิตจะง่ายต่อการวัดผลการทดลอง และได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของปากท่อแต่ละประเภท อากาศที่ไหลภายในจะเกิดแรงต้านทานเนื่องจากความเสียดทานของผิว หรือเกิดแรงต้านจากการหมุนวนของอากาศ การออกแบบจึงต้องพยายามทำให้พลังงานสูญเสียน้อยที่สุด เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด เท่าที่จะเป็นไปได้

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ทางเข้าปากท่อแต่ละประเภท (ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี, 2546: 158)

ชนิดของปากดูด	สัมประสิทธิ์ทางเข้าของปากท่อดูด
ปากท่อไม่มีแผ่นกั้น	0.72
ปากท่อมีแผ่นกั้น	0.82
ปากท่อกรวยบาน	0.98
ปากท่อกรวย 45 องศา	0.92
ปากช่อง (Slot)	0.60

2.2.3.6 **ความดันสูญเสียจากความเสียดทาน** มาจากความเร็วของก๊าซที่ไหลผ่านผนัง แบ่งออกเป็น 2 ประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1. ความสูญเสียจากความเสียดทานกรณีการไหลแบบราบเรียบ อากาศที่เคลื่อนที่ภายในจะเกิดความเสียดทาน อันเนื่องจากผิวสัมผัสภายในกับอากาศ ความเร็วก๊าซที่นำมาคำนวณจะเป็นความเร็วก๊าซเฉลี่ย ค่าความดันสูญเสียภายในท่อขึ้นอยู่กับตัวแปรด้านความยาว กำลังสอง

ของความเร็ว ความหยาบของผิวผนัง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องอากาศ ความดันสูญเสียจากความเสียดทานสามารถหาได้จากกราฟซึ่งเขียนจากสมการ Fanning-D’Arcy ดังนี้

$$F_f = f\frac{LV^2}{D2g} \qquad (2.2)$$

F_f = ความดันสูญเสียจากความเสียดทาน, ฟุตของของไหล

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, ไม่มีหน่วย

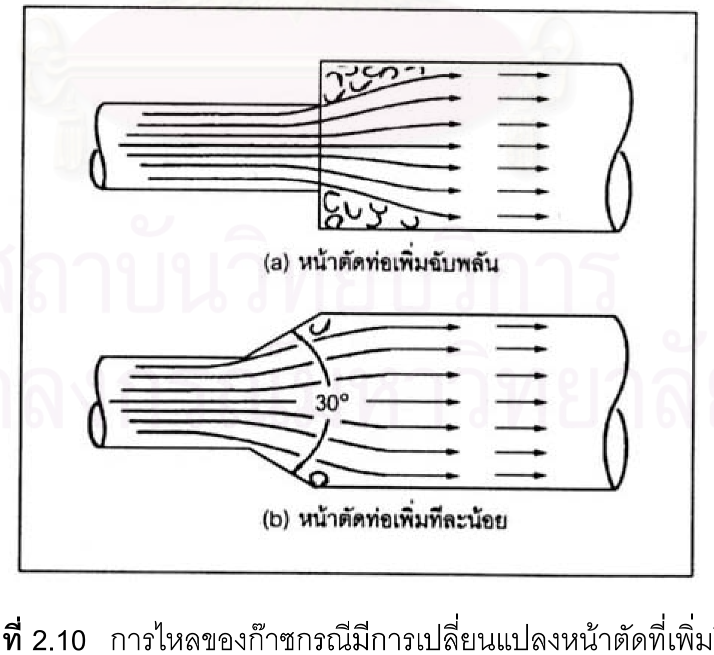
L = ความยาวของช่องอากาศ, ฟุต

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องอากาศ, ฟุต

V = ความเร็วของอากาศ, ฟุต/นาที

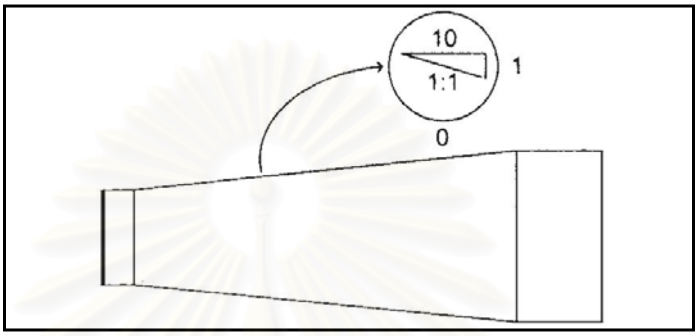
g = ความเร่งของโลก 32.2 ฟุต/วินาที^{2}

2. ความสูญเสียจากความเสียดทานกรณีการไหลแบบหมุนวน เมื่อการไหลของอากาศเป็นแบบหมุนวน ก็จะเกิดความดันสูญเสียจากความต้านทาน โดยอากาศจะไหลผ่านข้อต่อในลักษณะต่างๆเช่น ปากท่อ ท่องอ ท่อขยาย ท่อแยก ความดันสูญเสียเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนตามขนาดและรูปร่าง ในกรณีการออกแบบห้องทดลองขนาดเล็กที่มีการปล่อยก๊าซเข้าสู่ระบบ เมื่อหน้าตัดเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจะเกิดการหมุนวนของอากาศ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น เนื่องจากการไหลอากาศไม่ต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยค่าความดันสุญเสียจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความกว้างของทั้งสองส่วน



รูปที่ 2.10 การไหลของก๊าซกรณีมีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดที่เพิ่มขึ้น
(ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี, 2546: 159)

การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดเป็นสาเหตุหลักที่จะทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศ ในรูปที่ 2.10b เห็นว่าการหมุนวนของอากาศจะเกิดขึ้นน้อยกว่า ดังนั้นผู้ออกแบบจึงควรออกแบบให้เพิ่มหน้าตัดเป็นแบบต่อเนื่องในลักษณะดังกล่าว โดยมาตรฐานจะกำหนดให้ทุกๆการเพิ่มขนาดความกว้างหน้าตัด 1 หน่วยให้ทำทางยาวไม่น้อยกว่า 10 หน่วยหรืออัตราความลาดชันเป็น 1:10 ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเพิ่มหน้าตัดที่ถูกต้อง (ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี, 2546: 160)

2.3 หลักการควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลอง

2.3.1 หลักการทำความร้อน (ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2544: 160)

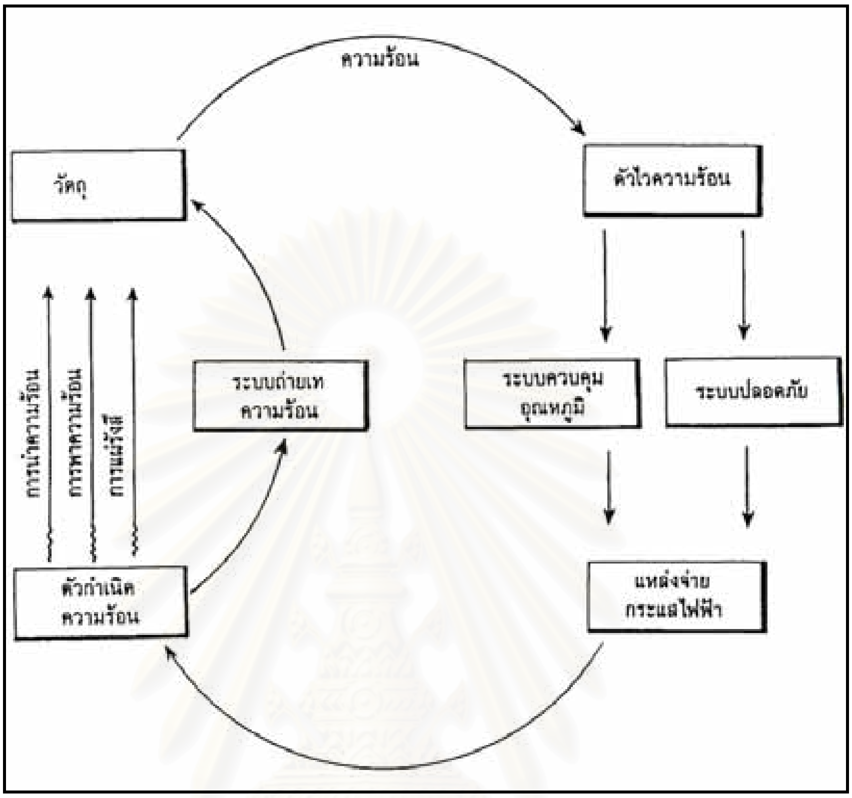
ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนถูกถ่ายเทให้วัตถุ โดยกระบวนการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ความร้อนที่ถูกควบคุมอย่างเหมาะสมด้วยตัวไวความร้อนและระบบควบคุมอุณหภูมิ ทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว จากของเหลวเป็นไอ หรือจากของแข็งเป็นไอดังรูปที่ 2.12

สำหรับการทำความร้อนในห้องทดลองจะมีองค์ประกอบหลักที่คล้ายกันแต่จะแตกต่างกันในส่วนของการออกแบบและวัสดุที่ใช้ทำดังนี้

2.3.1.1 ผนังห้องทดลอง โดยทั่วไปจะออกแบบให้มีการกระจายความร้อนภายในได้ดี และป้องกันการสูญเสียความร้อนจากภายในสู่ภายนอก วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นโลหะที่ไม่เป็นสนิม และไม่เปลี่ยนรูปร่าง ผนังห้องทดลองอาจมี 2-3 ชั้นและมีฉนวนหนา 1-2.5 นิ้วอยู่ระหว่างกลาง ฉนวนกันความร้อนที่ใช้ควรมีความคงทนต่อความร้อน ไม่ดูดความชื้น และนำความร้อนไม่ดี

2.3.1.2 ตัวกำเนิดความร้อน การสร้างความร้อนไม่เกิน 1,000 องศาเซลเซียสนิยมใช้แท่งความร้อนหรือลวดความต้านทานที่ทำจากโลหะผสมระหว่างนิเกิลกับโครเมียมเนื่องจากมีความทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารเคมีหลายๆชนิด แต่ถ้าต้องการอุณหภูมิสูงกว่านี้ต้องใช้ตัวกำเนิดความร้อนที่ทำจาก silicon carbide, molybdenum disilicate หรือ Iron-chromium-aluminum การติดตั้งตัวกำเนิดความร้อนอาจพบได้ 2 แบบคือแบบฝังในผนัง กับแบบไม่ฝังในผนังซึ่งแบบนี้มี

ข้อดีในด้านการลดการสูญเสียความร้อนให้กับผนังห้องทดลอง ทำให้สามารถใช้ตัวกำเนิดความร้อนกำลังวัตต์ต่ำ ซึ่งช่วยประหยัดกระแสไฟฟ้าและยืดอายุการใช้งานของตัวกำเนิดความร้อนได้



รูปที่ 2.12 แผนผังการทำงานของระบบทำความร้อน

(ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2544: 161)

2.3.1.3 ระบบถ่ายเทความร้อน มีอยู่ 2 แบบคือ

2.3.1.3.1 การพาความร้อนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักอากาศที่ร้อนและเย็น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนอย่างช้าๆ ช่องให้อากาศเย็นไหลเข้ามักจะอยู่ส่วนล่างของห้องทดลอง อากาศร้อนบางส่วนไหลออกทางช่องระบายอากาศด้านบน ทำให้ระบบนี้มีผลเสียคือ อุณหภูมิภายในพื้นที่ใช้งานเปลี่ยนแปลงง่ายและเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ตรงกลางของพื้นที่ใช้งานจะแตกต่างกันมากเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนไม่ดี

2.3.1.3.2 การพาความร้อนโดยใช้พัดลม นิยมใช้มอเตอร์หมุนพัดลมชนิดเหนี่ยวนำ ซึ่งไม่ต้องการการดูแลมากเพราะไม่ได้ใช้แปลงถ่าน การใช้พัดลมทำให้เกิดผลดีคือการทำอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะใช้ระยะเวลาสั้น เนื่องจากอากาศที่เข้ามาภายในห้องจะผ่านตัวกำเนิดความร้อนโดยตรงและอุณหภูมิทุกๆจุดภายในห้องจะสม่ำเสมอ เนื่องจากพัดลมช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดี

2.3.1.4 เทอร์โมคับเปิล (thermocouple) เป็นตัวไวความร้อนชนิดหนึ่งมีหน้าที่ป้อนสัญญาณให้วงจรหรือระบบควบคุมอุณหภูมิ หรือป้อนสัญญาณให้ระบบอ่านค่าอุณหภูมิ ซึ่งเป็นที่นิยมเพราะมีช่วงอุณหภูมิใช้งานกว้าง มีราคาถูก และมีรูปร่างหลายแบบสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเครื่องมือประเภทต่างๆได้เป็นอย่างดี

2.3.1.5 ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) แบ่งเป็น 2 แบบคือแบบกลที่อาศัยการเคลื่อนที่ของกลไก และแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.3.1.5.1 แบบกล ทำงานโดยการตัด (off) หรือต่อ (on) กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวกำเนิดความร้อน โดยการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสของสวิทช์ไฟฟ้า ซึ่งถูกควบคุมโดยตัวไวความร้อน แบบกลส่วนใหญ่มีความไวในการควบคุมอุณหภูมิต่ำ จึงเหมาะสำหรับควบคุมอุณหภูมิในเครื่องมือที่ไม่ต้องการความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิมากนัก

2.3.1.5.2 แบบอิเล็กทรอนิกส์ นิยมใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความไวสูง และตอบสนองต่อการควบคุมอุณหภูมิได้เร็ว ตัวกำเนิดความร้อนได้รับกระแสไฟฟ้าอย่างเต็มที่หลังจากเปิดวงจรจ่ายกระแสไฟฟ้า แต่เมื่อถึงช่วงต่างแคบๆ (ปรับได้ด้วยปุ่มปรับอัตราการขยาย) ระหว่างอุณหภูมิจริงและอุณหภูมิที่กำหนดไว้ กระแสไฟฟ้าจะถูกตัด และถูกควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นช่วงๆของเวลา ซึ่งเป็นเวลามากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของช่วงอุณหภูมิดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ ณ อุณหภูมิที่กำหนดไว้

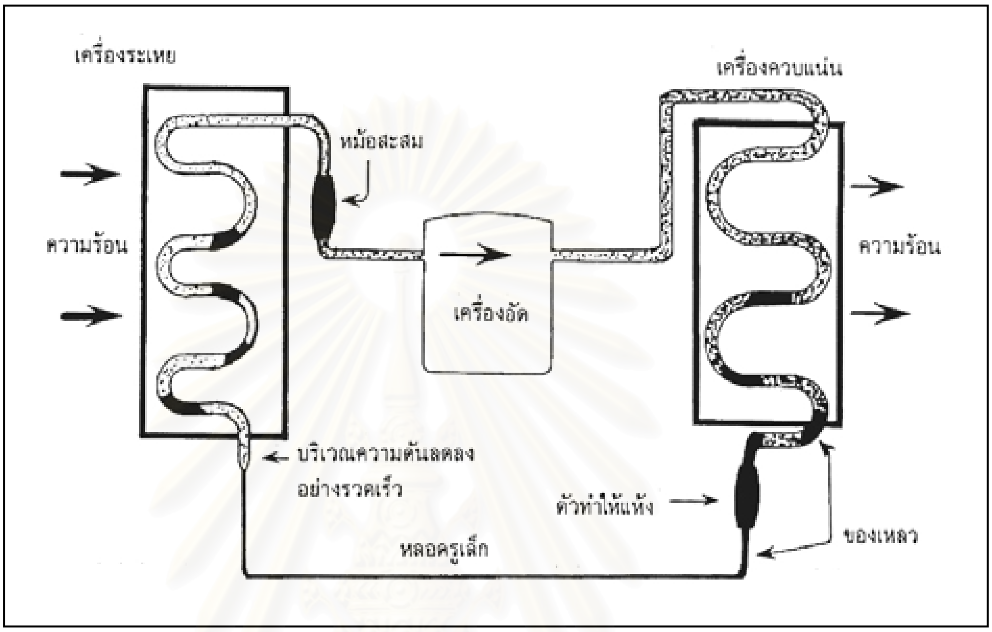
2.3.1.6 สวิทช์ตัดการทำงานเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน (Overheating cut-off switch) มีความจำเป็นมากเนื่องจากเป็นระบบปลอดภัยเพื่อป้องกันการเกิดอัคคีภัย เพราะระบบควบคุมอุณหภูมิอาจเสียที่เวลาใดเวลาหนึ่งได้เสมอ ปกติจะปรับไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิใช้งาน 5-20 องศาเซลเซียส

2.3.1.7 อุปกรณ์หมุนเวียนอากาศภายใน (stirring device) เป็นพัดลมหมุนเวียนอากาศภายในห้องทดลองโดยไม่ได้ดูดเอาอากาศภายนอกเข้ามาร่วมหมุนเวียนด้วย พบเฉพาะในห้องทดลองที่มีขนาดใหญ่มากเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของห้องทดลอง

2.3.2 หลักการทำความเย็น (ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2544: 177)

การทำความเย็นไม่ใช่เป็นการสร้างความเย็นขึ้นมาหักล้างความร้อนที่มีอยู่ แต่เป็นการทำให้ความร้อนที่มีอยู่ถูกถ่ายเทออกไป เป็นผลให้เกิดความเย็นขึ้นมาแทนที่ เครื่องอัด(compressor) ทำหน้าที่อัดแก๊สของสารทำความเย็น (refrigerant) ให้เป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์ (condenser) หรือคอยล์ร้อน และส่งผ่านหลอดรูเล็กไปยังท่อที่โตกว่าในเครื่องระเหย (evaporator) หรือคอยล์เย็น ทำให้ความดันของของเหลวลดลงจนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำความเย็นได้รับมาจากวัตถุต่างๆที่อยู่ใกล้เครื่อง

ระเหย โดยวิธีการนำความร้อน การพาความร้อนหรือการแผ่รังสีความร้อน หลังจากนั้นแก๊สความดันต่ำของสารทำความเย็นจะถูกดูดโดยเครื่องอัดและอัดออกไปยังเครื่องควบแน่น เพื่อให้ความร้อนที่ได้รับมาถูกถ่ายเทออกไปหลังจากนั้นสารทำความเย็นจะเข้าไปรับความร้อนที่เครื่องระเหยใหม่อีกเป็นวงรอบการทำงานดังนี้เรื่อยๆไปดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แผนผังการทำงานของระบบทำความเย็น
(ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์, 2544: 178)

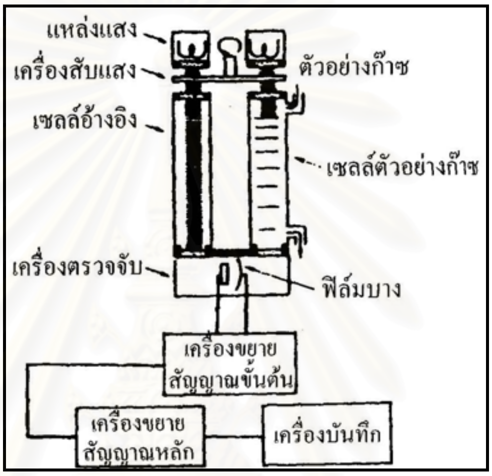
2.4 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและรส เกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน เบากว่าอากาศเพียงเล็กน้อยและละลายน้ำได้บ้าง ก๊าซนี้ดูดซึมรังสีอิเล็กโทรแมกแนติกในระยะของรังสีอินฟราเรด โดยมีจุดศูนย์กลางการดูดซึมที่ความยาวคลื่น 4.67 ไมครอน จึงยกคุณสมบัติข้อนี้มาใช้ในหลักการตรวจวัด

คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซเฉื่อยในสภาพอุณหภูมิและความกดดันอากาศปกติ แต่ไวต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง และเป็นตัวลดออกซิเจนได้อย่างดีหากมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะ เช่น พาลาเดียมกับซิลิกาเจล หรือส่วนผสมของแมงกานีสและออกไซด์ของทองแดง จะเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจนให้ก๊าซนี้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เร็วขึ้น

2.4.1 การตรวจวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศ (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์และคณะ, 2544: 73)

วิธีดูดกลืนแสงอินฟราเรดแบบ Non-Dispersive Infra-Red Absorption Method เป็นวิธีที่ใช้กว้างขวางที่สุดในการตรวจวัด CO ในบรรยากาศ เครื่องวิเคราะห์อินฟราเรดแบบนี้ได้รับการออกแบบให้ตรวจวัดองค์ประกอบ CO ในตัวอย่างก๊าซที่มีหลายองค์ประกอบโดยใช้องค์ประกอบที่จะวัดเป็นตัวกรอง (Filter) สำหรับแยกแบนด์ดูดกลืน (Absorption Bands) ซึ่งเป็นคุณสมบัติขององค์ประกอบนั้น



รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมของเครื่องติดตามตรวจวัด CO วิธี NDIR (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์และคณะ, 2544: 74)

รูปที่ 2.14 แสดงไดอะแกรมของเครื่องตรวจวัด CO อย่างต่อเนื่องแบบ NDIR แสงอินฟราเรดที่ปล่อยออกจากแหล่งแสง จะถูกเปลี่ยนให้เป็นแสงขาดช่วง (Intermittent Light) โดยเครื่องสับแสง (Light Chopper) และถูกส่งผ่านเซลล์ก๊าซตัวอย่างและเซลล์อ้างอิง ไปยังเครื่องตรวจจับแต่ละตัวซึ่งจะใส่ก๊าซที่มีองค์ประกอบตัวเดียวกับที่จะตรวจวัด (ในที่นี้คือ CO) เครื่องตรวจจับจะเลือกดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่เข้ามา เฉพาะภายในช่วงความยาวคลื่นที่องค์ประกอบนั้นดูดกลืน แสงอินฟราเรดที่ผ่านเซลล์ก๊าซตัวอย่างจะถูกดูดกลืนในระดับที่เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการตรวจวัด ส่วนแสงอินฟราเรดที่ผ่านเซลล์อ้างอิงซึ่งบรรจุก๊าซที่เฉื่อยต่อแสงอินฟราเรดจะไม่ถูกดูดกลืน ดังนั้นปริมาณของแสงอินฟราเรดที่ออกจากเซลล์ทั้งสองเข้าเครื่องตรวจจับจะไม่เท่ากัน และก๊าซที่บรรจุในเครื่องตรวจจับจะดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ในปริมาณที่ต่างกันและมีอุณหภูมิสูงขึ้นต่างกัน ผลคือความดันของก๊าซในเครื่องตรวจจับจะต่างกันและทำให้เกิดการกระจัดของแผ่นไดอะแฟรมที่กั้นระหว่างก๊าซทั้งสอง เนื่องจากการทำงานเป็นแบบกายภาพล้วนๆ ดังนั้นเครื่องวิเคราะห์แบบนี้จึงไม่ต้องใช้สารเคมีเป็นรีเอเยนต์ นอกจากนี้ยังมี

การตอบสนองค่าที่เร็วและมีการเลือกตรวจวัดเฉพาะองค์ประกอบได้ดี อย่างไรก็ตามอากาศแวดล้อมจะมี CO_2 และ H_2O ในปริมาณที่มากกว่า CO ซึ่งมีความเข้มข้นน้อยกว่า 1 ส่วนในล้านส่วน ในย่านที่พักอาศัยและ 10 – 20 ส่วนในล้านส่วน ที่สี่แยกที่มีการจราจรหนาแน่นมาก เนื่องจากสารเหล่านี้มีช่วงของการดูดกลืนแสงที่ส่วนหนึ่งซ้อนทับกับของ CO ดังนั้นมีความจำเป็นต้องพยายามลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการซ้อนทับนี้ เครื่องวิเคราะห์แบบนี้จึงใช้ตัวกรองแสงที่เป็นของแข็ง ซึ่งมีคุณสมบัติในการตัดแสงได้ และปล่อยให้แสงอินฟราเรดเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการผ่าน

2.4.2 ผลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อมนุษย์ (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์และคณะ, 2540: 18)

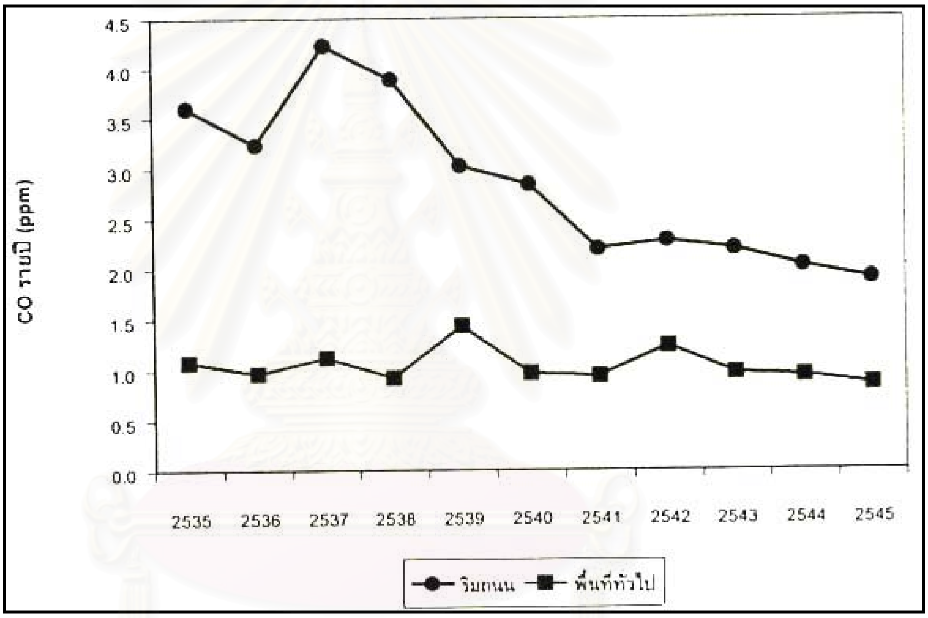
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าสู่ปอดเมื่อหายใจเข้าและฟุ้งผ่านเยื่อในปอดด้วยวิธีการเดียวกับออกซิเจน ดังนั้นแม้แต่เมื่อร่างกายได้รับก๊าซนี้ที่ระดับต่ำก็มีผลต่อระบบประสาทรวมอย่างรวดเร็ว ในการเปรียบเทียบระดับของมลพิษนี้ที่มีผลต่อร่างกายใช้ค่า HbCO เป็นตัวบ่งชี้ได้ดีกว่าการใช้ระดับของมลพิษในบรรยากาศ ซึ่งอาการตอบสนองของมนุษย์ที่มีต่อระดับคาร์บอกซีฮีโมโกลบินอิ่มตัวในเลือดแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 อาการสนองตอบของมนุษย์ต่อระดับคาร์บอกซีฮีโมโกลบินอิ่มตัวในเลือด (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์และคณะ, 2540: 25)

เปอร์เซ็นต์ COHb อิ่มตัวในเลือด	อาการสนองตอบของผู้ใหญ่ซึ่งมีสุขภาพดี	อาการสนองตอบของผู้ป่วยเป็นโรคหัวใจอย่างแรง
0.3 – 0.7	ยังไม่ปรากฏอาการใดๆ	
1 – 5	กระตุ้นให้ปริมาณโลหิตที่ส่งไปยังอวัยวะสำคัญบางส่วนเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยการที่โลหิตลดความสามารถในการนำออกซิเจน	ไม่มีความสามารถที่จะสูบฉีดโลหิตเพื่อชดเชย
2.5– 3	-	ผู้ป่วยด้วยโรค angina pectoris หรือ intermittent claudication ไม่อาจออกกำลังกายได้ตามปกติ
4 – 5	ตำรวจจราจรปวดศีรษะ เพลีย	
5 – 9	ต้องใช้แสงมากขึ้นเพื่อให้เห็นได้ชัดเจน (light threshold)	การออกกำลังเล็กน้อยก็จะทำให้เกิดอาการเจ็บหน้าอก
16 – 20	ปวดศีรษะ การมองเห็นผิดปกติ	คนไข้โรคหัวใจอย่างรุนแรงอาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิต
20 – 30	ปวดศีรษะหนึบๆ คลื่นเหียน ลดความสามารถในการทำงานประณีต	

2.4.3 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยรายปีในกรุงเทพมหานคร (นพภาพร พานิชและคณะ, 2547: 1-44)

คุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานครโดยการเปรียบเทียบผลการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา พบว่าคุณภาพอากาศโดยรวมดีขึ้น โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เริ่มมีปริมาณลดลงตั้งแต่ปี 2536 เนื่องจากการบังคับใช้อุปกรณ์ขจัดมลพิษในระบบไอเสียรถยนต์ประเภท Catalytic Converter ในรถยนต์ใหม่ซึ่งช่วยให้เครื่องยนต์เผาไหม้สมบูรณ์ ทำให้ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง จนกระทั่งในปัจจุบัน (พ.ศ. 2547) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย 1 ชั่วโมงบริเวณริมถนนและพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2535 – 2545 (กรมควบคุมมลพิษ, 2546: 19)

2.5 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

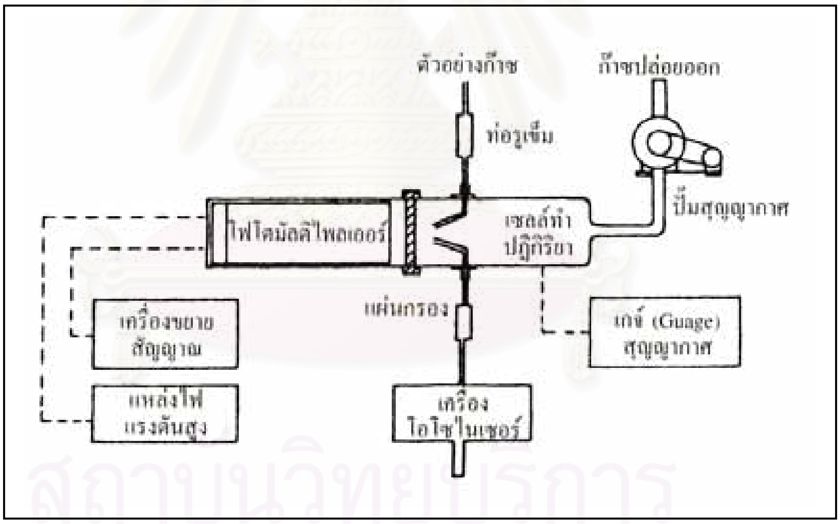
ไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นมลพิษอากาศที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในการคมนาคมและอุตสาหกรรม ต้องมีการตรวจวัดและเฝ้าระวัง จัดว่าเป็นหนึ่งในสารมลพิษที่ต้องตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไปตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 10

ไนโตรเจนไดออกไซด์มีสภาพเป็นก๊าซที่อุณหภูมิปกติ การใช้เชื้อเพลิงของมนุษย์เป็นส่วนสำคัญซึ่งทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์และมีไนตริกออกไซด์เป็นส่วนประกอบถึง 90-95% โดยปริมาตร และเมื่อทำปฏิกิริยากับโอโซนในบรรยากาศเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และ

ออกซิเจน ในทางตรงกันข้ามแสงแดดทำให้ไนโตรเจนไดออกไซด์แตกตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับดังนี้ $NO + O_3 \Leftrightarrow NO_2 + O_2$

2.5.1 การตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์และคณะ, 2544: 73)

หลักการของการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานคือวิธี Chemiluminescence ดังแสดงในรูป 2.16 เครื่องวิเคราะห์นี้ประกอบด้วยส่วนตรวจวัดและส่วนระบบไฟฟ้า อัตราการไหลของตัวอย่างก๊าซซึ่งดูดเข้าโดยปั๊มเก็บตัวอย่างจะถูกควบคุมโดยท่อรูเข็ม (Capillary) ก๊าซนี้จะไหลเข้าเซลล์ทำปฏิกิริยา (Reaction cell) ในเวลาเดียวกัน ออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์เป็นโอโซนในเครื่องโอโซไนเซอร์แล้วไหลเข้าเซลล์ทำปฏิกิริยา เพื่อทำปฏิกิริยากับ NO และ NO_2 ปั๊มสุญญากาศจะรักษาความดันภายในเซลล์ แสงสว่างที่เกิดขึ้นจะตรวจจับโดยเครื่องโฟโต้มัลติไพลเออร์ (Photomultiplier) สัญญาณที่ออกจากเครื่องตรวจจับจะถูกส่งผ่านเครื่องขยายสัญญาณและแสดงค่าออกเป็นแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 ไดอะแกรมการวิเคราะห์ NO_2 วิธี Chemiluminescence
(ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์และคณะ, 2544: 73)

การวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ยังมีอีกหลายวิธีเช่นการดูดกลืน NO_2 ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้ววิเคราะห์โดยการวัดอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เกิดสีขึ้น หรือใช้หลอดตรวจจับ (Detector tube) และวัดความยาวของชั้นที่เกิดสีขึ้นเป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ไนโตรเจนออกไซด์ (ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์และคณะ, 2544: 83)

ประเภท	ขอบข่าย	หลักการวิเคราะห์	สิ่งรบกวน
Naphthyl Ethylene Diamine (NO_2)	ประมาณ 5 – 500 ส่วนในล้านส่วน (ถ้าความเข้มข้นเกิน 500 ส่วนในล้านส่วน ควรทำการทดสอบ โดยเจือจางของเหลวตัวอย่างด้วยปริมาณที่เหมาะสมของน้ำ)	ดูดกลืน NO_2 ในก๊าซตัวอย่างลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้ววิเคราะห์ปริมาณ NO_2 ในก๊าซตัวอย่าง โดยการวัดอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เกิดขึ้น	
เครื่องวิเคราะห์ NO_2 อย่างต่อเนื่อง	0–10 ส่วนในล้านส่วน, 0-100 ส่วนในล้านส่วน, 0-500 ส่วนในล้านส่วน หรือ 0-1,000 ส่วนในล้านส่วน (ขึ้นกับอัตราส่วนของปริมาณของเหลวดูดกลืนกับปริมาณก๊าซตัวอย่าง)	ปล่อยให้ก๊าซตัวอย่างไหลผ่านของเหลวดูดกลืนในอัตราที่คงที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง ทำการวิเคราะห์ปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์อย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติ โดยวิธีอัตราส่วนการดูดกลืนแสงของสารละลายที่เกิดขึ้น	
หลอดตรวจจับ (Detector Tube (NO_2))	วิธีวัดที่ง่ายและสะดวกสำหรับการตรวจจับความเข้มข้น 1 ถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วน อย่างหยาบๆ	ปล่อยให้ก๊าซตัวอย่างไหลผ่านหลอดตรวจจับไนโตรเจนไดออกไซด์ และวัดความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยวัดความยาวของชั้นที่เกิดสีขึ้น	ฮาโลเจนหรือไนโตรเจนมอนนอกไซด์ ในก๊าซตัวอย่างจะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนด้านบวก

2.5.2 ผลของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อมนุษย์ (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์และคณะ, 2540: 37)

มนุษย์จะเริ่มได้กลิ่นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ระดับ 0.12 ส่วนในล้านส่วน (230 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) หากมีความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดกลิ่นเร็วขึ้น แต่ผู้ที่สูดหายใจก๊าซนี้ที่ระดับ 0.07 ส่วนในล้านส่วน จะสามารถปรับสายตาให้เข้ากับความมืดได้ไม่ดีเท่าเดิม ผู้ป่วยด้วยโรคหอบหืดอาจมีอาการหอบหืดเร็วขึ้นหากได้รับก๊าซนี้ที่ระดับ 0.10 ส่วนในล้านส่วน ร่วมกับสารกระตุ้นให้หลอดลมตีบ แต่บรรดาแม่บ้านชาวอเมริกันซึ่งใช้เตาอบก๊าซและดูดหายใจก๊าซนี้ที่ระดับ 0.5 ส่วนในล้านส่วน กลับไม่ปรากฏมีผลร้ายต่อระบบทางเดินหายใจแต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม ความผิดปกติของระบบหายใจในคนทั่วไปเริ่มต้นเมื่อร่างกายรับก๊าซที่ 0.70-2.00 ส่วนในล้านส่วน และที่ระดับ 0.70 -1.00 ส่วนในล้านส่วน ผู้รับก๊าซยังสามารถออกกำลังกายได้ดังเดิม ผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อร่างกายมนุษย์แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อคน (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์และคณะ, 2540: 38)

ความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)	**ระยะเวลาที่รับก๊าซ**	**ผลที่เกิดขึ้น**
0.1	1 ชั่วโมงต่อวัน	เพิ่มความต้านทานของทางเดินอากาศและเพิ่มอาการตีบตันของทางเดินหายใจของผู้ป่วยเป็นหืด
0.5	1 ชั่วโมง	ไม่ปรากฏว่าเกิดโรคทางเดินหายใจอย่างเฉียบพลันต่อแม่บ้านซึ่งประกอบอาหารด้วยเตาอบก๊าซเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ใช้เตาอบไฟฟ้า
0.7-2.0	10 นาที	เพิ่มความต้านทานของทางเดินอากาศทั้งการหายใจเข้าและออก
27-75	$\leq$1 ชั่วโมง	เป็นโรคหลอดลมอักเสบ (bronchitis) ซึ่งอาจฟื้นตัวเป็นปกติได้
300-500	-	เป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตด้วยโรคน้ำค้างเนื้อในปอดหรือสลบเนื่องจากขาดอากาศหายใจ

NO_2 เป็นก๊าซมีสีแดง กลิ่นฉุนแสบจมูก NO อาจรวมกับ NO_2 และ H_2O กลายเป็นกรดไนตรัสและ NO_2 ที่มีปริมาณมากจะรวมกับไอน้ำกลายเป็นกรดไนตริก ดังนี้

$$NO + NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_2$$

$$4NO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3$$

2.5.3 มาตรฐานก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั่วไป (นพภาพร พานิชและคณะ, 2547: 2-25)

เนื่องจากปัญหามลพิษอากาศมีความสำคัญมาก ซึ่งก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ก็เป็นหนึ่งในมลพิษต่างๆเหล่านั้น จึงมีหน่วยงานที่ทำหน้าที่ดูแลควบคุมปัญหามลพิษอากาศกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปขึ้น เพื่อใช้เป็นเป้าหมายในการกำหนดระดับคุณภาพอากาศที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน เนื่องจากสารมลพิษแต่ละชนิดจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนได้มากหรือน้อย จะขึ้นกับความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส จากข้อมูลผลการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอันตรายที่เกิดขึ้นนั้นจะขึ้นกับชนิดของสารมลพิษ ความเข้มข้นและระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส สารมลพิษบางตัวอาจจะทำให้เกิดผลกระทบในระยะสั้น บางตัวเกิดผลระยะยาว ในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศจึงได้มีการกำหนดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ได้รับแตกต่างกันไปตามช่วงเวลาที่ได้รับสัมผัสด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.8 กล่าวคือต้องมีค่าไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยรายชั่วโมง น้อยกว่า 0.17 ส่วนในล้านส่วนหรือ 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้วิธีการตรวจวัดแบบเคมิลูมิเนสเซนต์ (Chemiluminescence) เนื่องจากเป็นสารที่สามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษ ระคายเคืองต่อผู้ที่ได้รับสัมผัส เป็นสารที่ก่อให้เกิดปัญหาฝนกรด และยังเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา

เคมีด้วยแสงกับสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งก่อให้เกิดโอโซน และสารออกซิไดซ์อื่นๆเป็นหมอกควันพิษได้

ตารางที่ 2.8 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป[1]

สารมลพิษ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา		ค่ามาตรฐาน		วิธีการตรวจวัด
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	1	ชั่วโมง	ไม่เกิน 30 ppm	34.2 mg/m^3	Non-Dispersive Infrared Detection
	8	ชั่วโมง	ไม่เกิน 9 ppm	10.26 mg/m^3	
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	1	ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.17 ppm	0.32 mg/m^3	Chemiluminescence
ก๊าซโอโซน (O_3)	1	ชั่วโมง	0.10 ppm	0.20 mg/m3	- Chemiluminescence - UV Absoption Photometry
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	1	ปี	ไม่เกิน 0.04 ppm	0.10 mg/m^3	UV-Fluorescence Pararosanilne
	24	ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.12 ppm	0.30 mg/m^3	
	1	ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.3 ppm	0.78 mg/m^3	
ตะกั่ว (Pb)	1	เดือน	ไม่เกิน 1.5 ไมโครกรัม/ลบ.ม.		Atomic Absorption Spectrometer
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน10 ไมครอน (PM10)	24	ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.12 มก./ลบ.ม.		- Gravimetric - High Volume
	1	ปี	ไม่เกิน 0.05 มก./ลบ.ม.		- Dichotomous - Tapered Element Oscillating
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน100 ไมครอน	24	ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.33 มก./ลบ.ม.		Gravimetric-High Volume
	1	ปี	ไม่เกิน 0.10 มก./ลบ.ม.		

หมายเหตุ 1: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 112 ตอนที่ 42ง ลงวันที่ 25 พฤษภาคม 2538

2.6 การใช้ Passive Sampler ตรวจวัดความเข้มข้นมลพิษอากาศ (Panther and Hooper, 2001)

การเก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพในช่วงแรกๆใช้กับการเฝ้าระวังมลพิษในสถานที่ทำงาน ต่อมามีการศึกษาและประยุกต์การใช้อย่างกว้างขวางในบรรยากาศทั่วไป และสามารถนำมาใช้ตรวจวัดกับมลพิษอากาศได้มากมายหลายชนิด เช่นไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และโอโซน เป็นต้น โดยมีความถูกต้องเมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐาน และใช้เป็นทางเลือกตัวหนึ่งในการทำข้อมูลและจัดการคุณภาพอากาศด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ต้องการ

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพ อาศัยหลักการแพร่ผ่านเมมเบรน (Permeation of membrane) ของมลพิษที่สนใจศึกษา บนเมมเบรนมีสารเคมีเคลือบอยู่เพื่อดูดซับหรือเกิดปฏิกิริยากับมลพิษนั้นๆ การซึมผ่านของมลพิษที่ศึกษาเป็นการแพร่ของโมเลกุลอย่างอิสระ (Free molecular diffusion) ที่เกิดจากความเข้มข้นที่ต่างกันของมลพิษในอากาศกับมลพิษบน

เมมเบรน ฟลักซ์ของมวลสาร (The mass flux, $g/cm^2.s$) สามารถใช้ Fick's First Law of Diffusion อธิบายได้ว่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของความเข้มข้นของมลพิษดังสมการ

$$F = \frac{-D\,dc}{dL} \qquad (2.3)$$

โดยที่ F = ฟลักซ์ของมวลสาร ($g/cm^2.s$)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร (Diffusion coefficient)

dC = ความเข้มข้นของมลพิษที่ต่างกันระหว่างในอากาศกับเมมเบรน

dL = ระยะความยาวของการแพร่ (Effective path length)

สำหรับมลพิษที่ดูดซับอยู่บนเมมเบรนสามารถหาได้จากสมการ 2.4

$$M = F*A*T \qquad (2.4)$$

โดยที่ M = มวลของสารบนเมมเบรน (กรัม)

A = พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรน

T = ระยะเวลาที่รับสัมผัส (Exposure time, s)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สามารถหาค่าได้จากการทดลองใน Experimental Chamber โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ เช่นรูปทรงเรขาคณิตของอุปกรณ์พาสสีพ คุณลักษณะทางกายภาพของก๊าซ (เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น) โดยควบคุมไม่ให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศ (Turbulence flow) และระยะเวลาที่รับสัมผัสมลพิษ จากนั้นนำมาหาความเข้มข้นของมลพิษในบรรยากาศได้ดังสมการ 2.5 ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยที่แปรผันขณะที่ทำการเก็บในภาคสนามซึ่งจำเป็นซึ่งจำเป็นต้องมีการพิสูจน์ (validation) ความสัมพันธ์ด้วย นอกจากนั้นการใช้อุปกรณ์พาสสีพมีขีดจำกัดคือความเข้มข้นที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยตามเวลาที่รับสัมผัส ไม่สามารถรายงานผลได้ทันทีและไม่สามารถรายงานค่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาสั้นได้ ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมลพิษ ระยะเวลาที่รับสัมผัส และขีดจำกัดของเครื่องมือวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

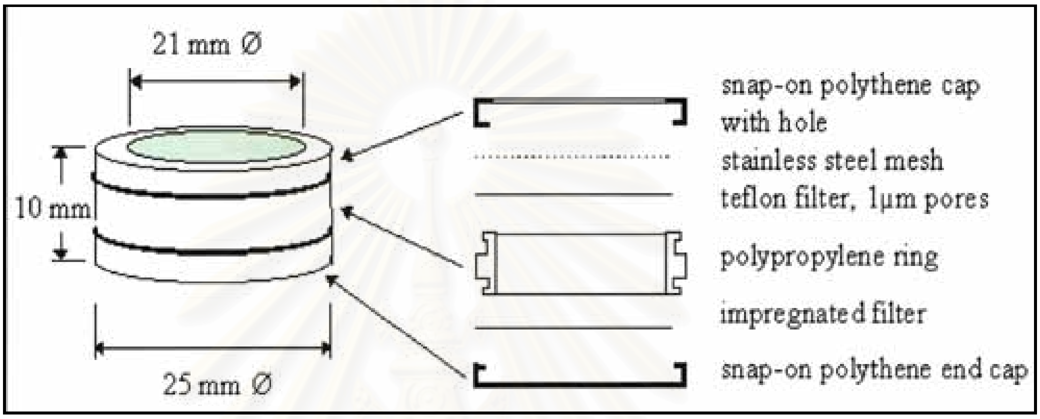
$$C_{air} = \frac{M*L}{D*A*T} \qquad (2.5)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นของมลพิษในอากาศ หน่วยโมลต่อลบ.ม.

M = ปริมาณของสารบนเมมเบรน หน่วยโมล

รูปทรงอุปกรณ์แบบพาสสีพมีทั้งแบบแผ่น (Badge, Cassette type) และแบบหลอด (Tube type) ปัจจุบันมีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ในต่างประเทศ เช่นอุปกรณ์พาสสีพสำหรับไอระเหยง่ายของยี่ห้อ SKC มีลักษณะเป็นแผ่นเมมเบรนเคลือบด้วยสารดูดซับ แบบหลอดบรรจุสาร

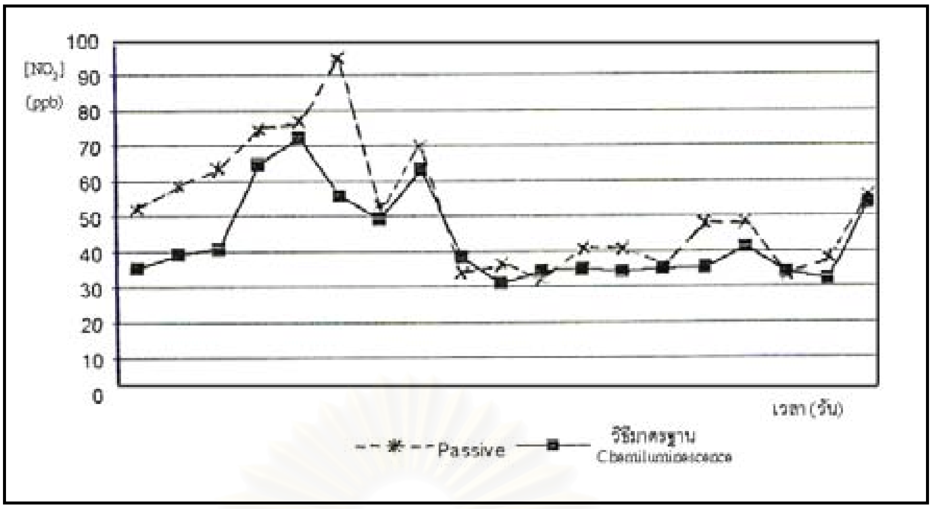
ดูดซับไอสารอินทรีย์ของยี่ห้อ Perkin Elmer แบบ Cassette สำหรับเก็บโอโซน ไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ของยี่ห้อ Ogawa และที่ผลิตโดย CSIRO ประเทศออสเตรเลีย ในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์พาสสีพตามที่มีการวิจัยและพัฒนาโดย Ayers,G.et al. และปรับปรุงโดย The Gippsland Centre for Environmental Science, Monash University, Australia สำหรับรูปทรงอุปกรณ์พาสสีพตามรูปที่ 2.17 ไนโตรเจนไดออกไซด์มีอัตราการเก็บตัวอย่างที่สัมพันธ์กับรูปทรง เท่ากับ 41.2 เมตรต่อตารางเมตร (กรองแก้ว, 2546)



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของอุปกรณ์พาสสีพ (Panther and Hooper, 2001)

จากผลงานการวิจัยการเก็บรักษาอุปกรณ์พาสสีพไนโตรเจนไดออกไซด์พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไอโอไดด์ สามารถเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบไนไตรต์ได้เมื่อสัมผัสกับอากาศ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 4 สัปดาห์ ทำให้เกิดไนไตรต์ได้สูง ทำให้ค่าไนโตรเจนไดออกไซด์ที่คำนวณได้มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น (8 ^{0}C) การเกิดไนไตรต์จะน้อยกว่า 3 เท่า

กรองแก้วได้ทำการทดลองนำแบลงค์อุปกรณ์พาสสีพจากภาคสนาม (นำไปวางในภาคสนามเหมือนการเก็บตัวอย่าง แต่ไม่เปิดถุงให้สัมผัสอากาศอื่นๆภายนอก) มาตรวจวัดหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.68 ส่วนในพันล้านส่วน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.68 ส่วนในพันล้านส่วน ในช่วงการเก็บตัวอย่างนาน 24 ชั่วโมง และขีดจำกัดต่ำสุดของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่สามารถตรวจวัดได้เท่ากับ 5 ส่วนในพันล้านส่วน โดยประเมินค่าขีดจำกัดต่ำสุดจาก 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์พาสสีพที่เป็นแบลงค์ นอกจากนั้น Panther ได้ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์พาสสีพไนโตรเจนไดออกไซด์กับวิธีมาตรฐานเคมิลูมิเนสเซนต์ของการเก็บตัวอย่างที่ดินแดงแสดงดังรูปที่ 2.18 โดยคิดจากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของไนโตรเจนไดออกไซด์นำมาหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตในแต่ละวัน พบว่าการตรวจวัดทั้งสองวิธี มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 2.18 การเปรียบเทียบค่าไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดด้วยอุปกรณ์พาสสีพ และวิธีมาตรฐานที่ดินแดง (Panther and Hooper, 2001)

2.7 การใช้ห้องทดลองประเมินภาวะมลพิษอากาศในงานวิจัยที่ผ่านมา

Yanagisawa และ Nishimaru (1997) ได้ทำการศึกษาใช้ห้องทดลอง (Chamber) ที่สามารถควบคุมความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เก็บตัวอย่างโอโซนด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบ passive sampler โดยโอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารดักจับบนกระดาษกรองของอุปกรณ์พาสสีพทำให้เกิดไอโอไดด์ไอออนซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าโอโซนได้

ผลการทดลองพบว่าที่ความชื้นอยู่ในระดับต่ำ (12%) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่มากับตัวอย่างอากาศที่เก็บ จะเป็นตัวลดการสร้างไอโอดีน ทำให้ผลการตรวจวัดโอโซนลดลงกว่าความเป็นจริง ถึงแม้ว่าจะมีการจำกัดอิทธิพลต่างๆ โดยการเพิ่มตัวกรองเพื่อที่จะดูดซับก๊าซทั้งสองชนิดนี้ แต่ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จะยังคงหลงเหลืออยู่ ดังนั้น passive sampler ที่ใช้เก็บเฉพาะโอโซนจึงต้องแยกประเภทสารที่ใช้ดักจับให้มีความเหมาะสม

Carter (2001) ได้ทำการวิจัยออกแบบห้องทดลอง เพื่อใช้หากลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีและประเมินค่าของสารอินทรีย์ระเหยได้ (VOC) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโอโซน รวมถึงการศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อรูปแบบของการเกิดมลพิษระยะที่สอง (Secondary pollutant formation) และปฏิกิริยาของ VOC ผลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากห้องทดลองอีกอันหนึ่งที่ตั้งอยู่ภายนอก เพื่อประเมินช่วงของข้อมูลที่เหมาะสมและสอดคล้องกัน ผลการทดลองบ่งชี้ว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีผลให้ความเข้มข้นของ VOC เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะของห้องทดลอง (Chamber) เพื่อใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ โดยตัวอย่างก๊าซที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ นอกจากนั้นยังได้ผลิตอุปกรณ์พาสสีพ สำหรับเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ เพื่อหาความเข้มข้นของตัวอย่างก๊าซในห้องทดลองด้วย ซึ่งการวิจัยจะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 3.1 มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบและสร้างห้องทดลอง ให้มีขนาดที่เหมาะสมและสามารถใช้จำลองสภาวะอากาศได้อย่างถูกต้อง กล่าวคือห้องทดลองที่ออกแบบไว้ ต้องสามารถทำการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความเข้มข้นของตัวอย่างก๊าซที่เข้าสู่ห้องทดลอง ให้มีค่าตามที่กำหนดไว้ โดยการควบคุมอัตราการไหลของก๊าซเข้าสู่ห้องทดลอง ภายในห้องทดลองจะมีการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ (Data Logger) ตัวเซนเซอร์อุณหภูมิ ขดลวดทำความร้อนและเย็น แผงติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างพาสสีพ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบสมรรถนะของห้องทดลอง (Test performance of chamber) โดยแบ่งเป็นการทดสอบการกระจายตัวของก๊าซโดยใช้ควัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซกับระยะเวลาที่ก๊าซกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงภายในห้องทดลองที่ออกแบบ และทดสอบการตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลอง โดยให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 15 – 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการทดลองอุณหภูมิแต่ละค่าประมาณ 8 ชั่วโมงจำนวน 3 ครั้ง โดยให้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเป็นที่ยอมรับได้

ขั้นตอนที่ 3 จำลองความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องทดลอง ด้วยการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วนจากถังก๊าซมาตรฐาน ให้ได้ความเข้มข้นภายในห้องทดลองเป็น 32, 24, 16, 8, 4, 2, 1 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ โดยใช้เครื่อง CO Analyzer ในการตรวจวัดตามตำแหน่งที่มีอยู่ 9 จุดภายในห้องทดลอง ซึ่งแต่ละจุดจะทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง ณ อุณหภูมิต่างๆตามที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการประยุกต์ใช้ห้องทดลองในการพัฒนาอุปกรณ์พาสสีพสำหรับเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ จากการปล่อยก๊าซ

ไนโตรเจนออกไซด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วนจากถังก๊าซมาตรฐาน ให้ได้ความเข้มข้นภายในห้องทดลองเป็น 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ อุปกรณ์พาสสีพที่ใช้จะมีโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไอโอไดด์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 9 ละลายในเมธานอล เป็นสารเคมีดักจับ เคลือบบนกระดาษกรอง ทำการเก็บตัวอย่างมลพิษนาน 4 ชั่วโมงจำนวน 2 ครั้ง วิเคราะห์หาปริมาณไนไตรต์ที่เกิดขึ้น และคำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซจากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพที่หาได้จากห้องทดลอง

ขั้นตอนที่ 5 นำผลการทดลองที่ได้ไปทดสอบหาค่าทางสถิติเช่น ค่าความถูกต้องและแม่นยำในการทดลองจากการทำซ้ำ (Reproducibility) และใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ เป็นต้น

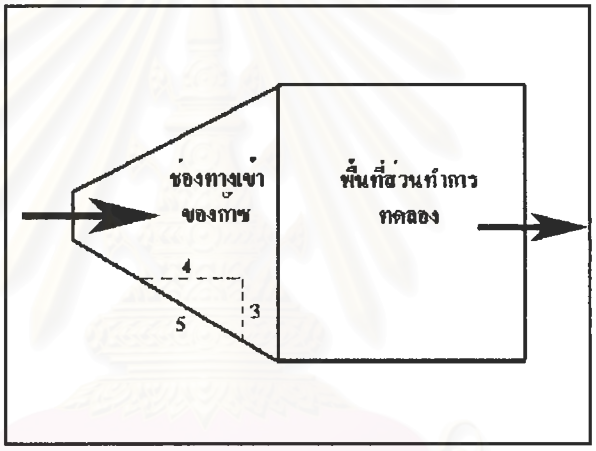
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการทดลอง	วิธีดำเนินการ
1. ออกแบบและสร้างห้องทดลอง	ออกแบบห้องทดลองให้เป็นไปตามหลักกลศาสตร์ของไหลและมีขนาดที่เหมาะสมเพื่อสามารถติดตั้งอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำอุณหภูมิให้เป็นไปตามที่กำหนดและแผงติดตั้งอุปกรณ์พาสสีพอีก 4 จุดด้วย
2. ทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง	1. ทดลองการกระจายตัวของก๊าซโดยใช้ควัน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของก๊าซกับระยะเวลาที่ก๊าซกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง 2. ในห้องทดลองจะต้องมีอุณหภูมิ อยู่ในสภาวะคงที่ตลอดการทดลอง โดยให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±1 องศาเซลเซียสจากเวลาทั้งหมดที่ใช้ทดลองแต่ละครั้ง
3. ทดสอบความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	ปรับความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ให้เป็นตามที่กำหนด และใช้เครื่อง CO Analyzer วัดตามตำแหน่งเก็บตัวอย่างจำนวน 9 จุดภายในห้องทดลองจำนวน 3 ครั้ง ณ อุณหภูมิต่างๆ
4. ใช้ห้องทดลองในการพัฒนาอุปกรณ์พาสสีพ	หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพโดยใช้ห้องทดลองที่ออกแบบ และคำนวณความเข้มข้นของ NO_2 จากค่าสัมประสิทธิ์ที่หาได้เทียบกับความเข้มข้นที่กำหนด
5. วิเคราะห์หาค่าทางสถิติ	หาค่าความถูกต้องและแม่นยำในการทดลอง โดยการทำซ้ำและใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นก๊าซที่ได้จากการทดลองแต่ละครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

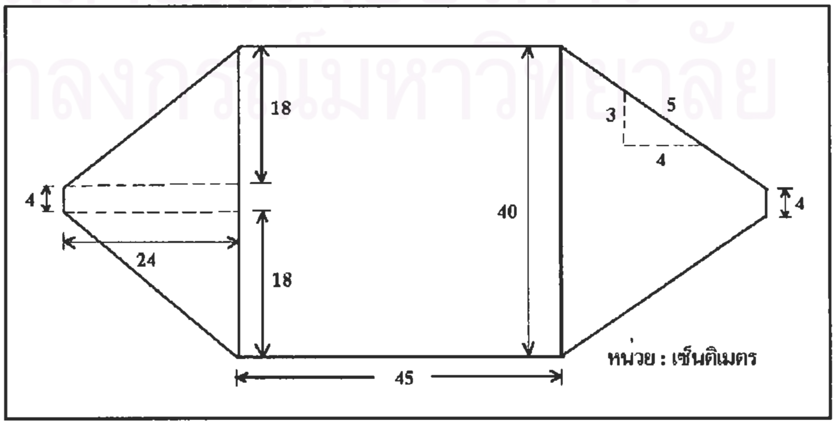
3.2 ส่วนประกอบและการออกแบบห้องทดลอง

ห้องทดลอง (Chamber) ที่ทำการออกแบบจะใช้วัสดุที่ทำมาจากสแตนเลสให้มีขนาดปริมาตรภายในประมาณ 110 ลิตร ซึ่งจัดเป็นห้องทดลองขนาดเล็ก ภายในจะติดตั้งอุปกรณ์ทำความร้อน (ขดลวดทำความร้อน) และเย็น (ขดลวดทำความเย็น) อุปกรณ์สำหรับบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Data Logger) พัดลม 4 ตัวซึ่งจะให้แรงลมที่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาที่ใช้งาน โดยจะออกแบบให้มีลักษณะทางเข้าและออกของก๊าซเป็นรูป ปิระมิดฐานสี่เหลี่ยม อยู่ตรงข้ามกัน อีกทั้งยังมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat) ซึ่งเมื่อมีอุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่าที่กำหนดไว้ อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ตัดไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดความร้อน จนความร้อนลดลงอยู่ในระดับที่ต้องการจึงกลับมาทำงานอีกครั้งหนึ่ง การออกแบบปากทางเข้าของก๊าซจะอัตราความลาดชันเป็น 3:4 ดังแสดงในรูป 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนทางเข้าก๊าซที่ออกแบบก่อนเข้าสู่ส่วนทำการทดลอง

เมื่อกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดส่วนทำการทดลองมีขนาดกว้าง เท่ากับ40 ซม.ปากท่อทางเข้ากว้าง 4 ซม. จะได้ความยาวของช่วงทางเข้าก๊าซก่อนเข้าสู่พื้นที่ส่วนทำการทดลองเป็น 24 ซม.

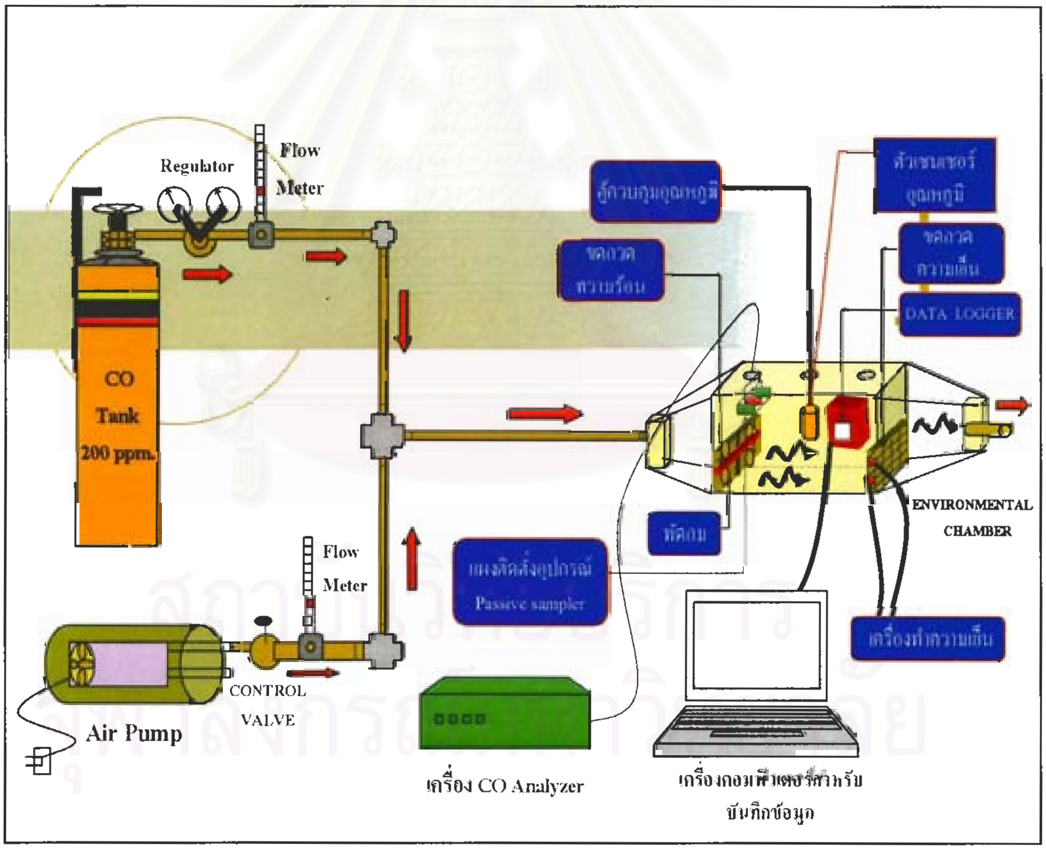


รูปที่ 3.2 ขนาดของห้องทดลองที่ออกแบบ

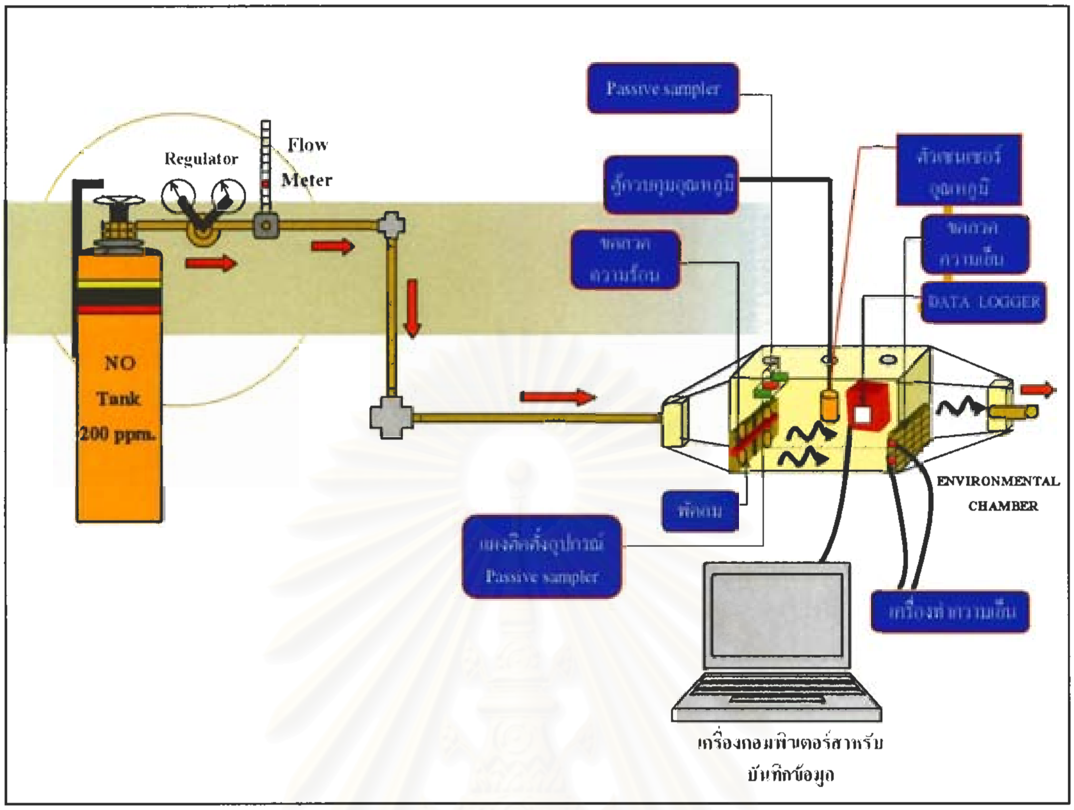
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังรูป 3.2 ส่วนด้านทางออกของก๊าซก็ออกแบบในลักษณะเดียวกัน ทำให้โดยรวมแล้วห้องทดลองจะมีความยาวxความกว้างxสูง เท่ากับ 45 x 40 x 40 เซนติเมตร คิดเป็นปริมาตร 0.11 ลบ.ม.หรือ 110 ลิตร สำหรับแบบแสดงรายละเอียดของห้องทดลองที่ออกแบบแสดงในภาคผนวก ก.

ในการทดลองหาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ทำโดยปล่อยก๊าซจากถัง CO เข้มข้น 200 สนล.ผสมกับอากาศภายนอกตามอัตราการไหลที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ ก.1 ไหลผ่านเข้าสู่ห้องทดลองอย่างต่อเนื่องและทำการวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง CO Analyzer ซึ่งแผนผังการทดลอง แสดงดังรูปที่ 3.3 ส่วนการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ ทำโดยปล่อยก๊าซจากถัง NO มาตรฐานเข้มข้น 200 สนล.ตามอัตราการไหลที่กำหนดในตารางที่ ก.2 และให้ก๊าซทำปฏิกิริยากับอากาศภายในห้องทดลองเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้มีเวลาพอที่จะเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์อย่างสมบูรณ์ที่สุด ทำการวัดความเข้มข้นด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสสีพ ซึ่งแผนผังการทดลองจะแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์การทดลองในการหาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนที่สำคัญที่สุดในงานวิจัยนี้ก็คือห้องทดลอง ซึ่งภายในประกอบไปด้วย ขดลวดทำความร้อน ขดลวดทำความเย็นพัดลมจำนวน 4 ตัว อุปกรณ์สำหรับบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ตัวเซนเซอร์อุณหภูมิ แผงติดตั้งอุปกรณ์พาสสีพ 4 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และจากการทดลองหาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จะมีอุปกรณ์ต่างๆแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งได้แก่

3.3.1 ถังก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน

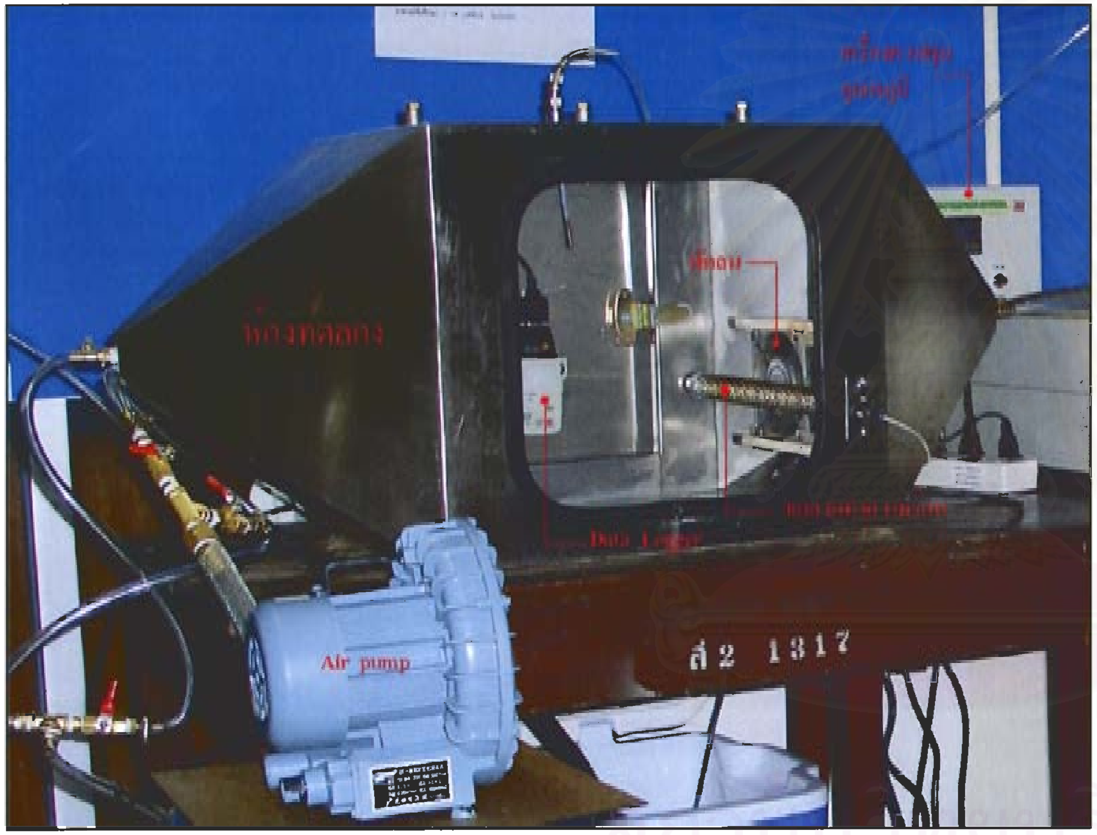
3.3.2 ปั๊มอากาศ

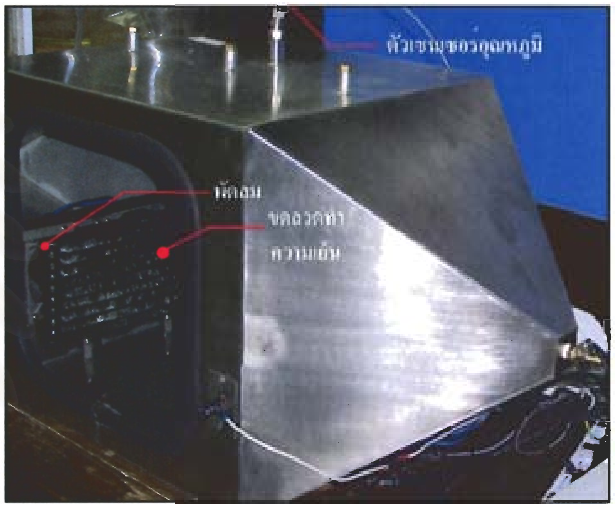
3.3.3 เครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซในช่วง 60-600, 200-2000 ลบ.ซม./นาที และ 6-50 ลิตรต่อนาที

3.3.4 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

3.3.5 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล

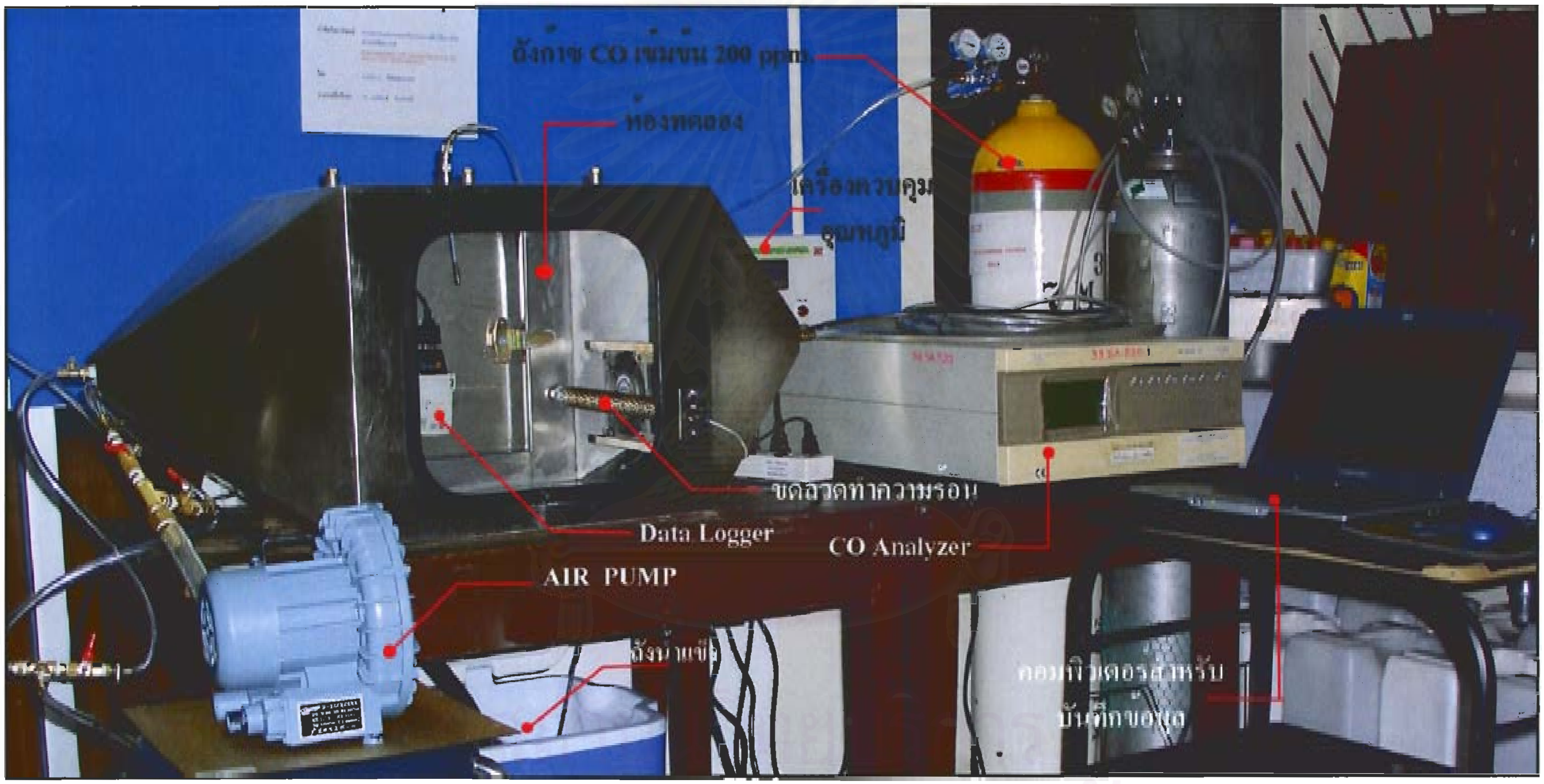
3.3.6 เครื่อง CO Analyzer



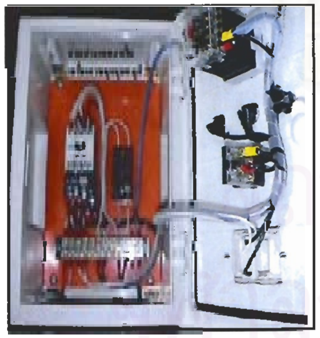
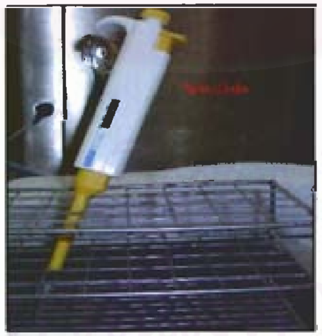


รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบต่างๆของห้องทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



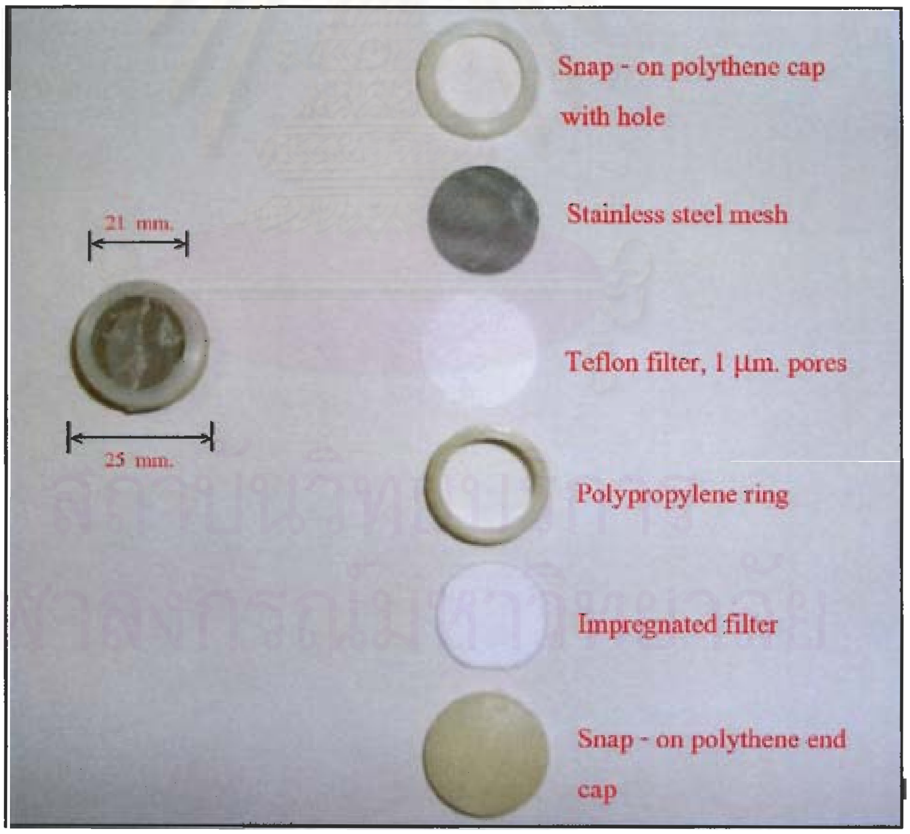
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์การทดลองเพื่อใช้ทดสอบหาความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์การทดลองเพื่อใช้ทดสอบหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ในส่วนของสารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์พาสสีพ สำหรับตรวจวัดไนโตรเจนไดออกไซด์มีดังนี้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไอโอไดด์ เมธานอล กรดซัลฟานิลิค N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride กรดฟอสฟอริค โซเดียมไนไตรต์ ไมโครปิเปตขนาดต่างๆ เครื่อง UV/Visible Spectrophotometer วัด ณ ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.7

ในงานวิจัยนี้อุปกรณ์พาสสีพจะใช้ตามที่มีการวิจัยและพัฒนาโดย Ayers, G. et al. และปรับปรุงโดย The Gippsland Centre for Environmental Science, Monash University, Australia สำหรับรูปทรงจะมีลักษณะตามรูปที่ 3.8 ซึ่งประกอบด้วย เมมเบรนฟิลเตอร์ ยี่ห้อ Alltech#2056 ขนาด 25 มิลลิเมตร กระดาษกรองยี่ห้อ Whatman no.40 ขนาด 24 มิลลิเมตรมีไว้เพื่อป้องกันละอองในอากาศที่จะมีผลกระทบต่อตัวกลางดูดซับ นอกจากนั้นยังใช้ป้องกันความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศภายในตัวอุปกรณ์ แผ่นตะแกรงสแตนเลสจะใช้ป้องกันพวกแมลงต่างๆ และฝาปิดหัว-ท้าย ทำจาก polythene



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์พาสสีพที่ใช้ในงานวิจัย

3.4 พารามิเตอร์ควบคุมในห้องทดลอง

ในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้ก๊าซที่นำมาทดลองอยู่ 2 ชนิดคือก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยที่การหาค่าความเข้มข้นของก๊าซทั้งสองภายในห้องทดลอง จะแตกต่างกันกล่าวคือในการหาค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ จะให้ก๊าซไหลอย่างต่อเนื่อง (continuous flow) ผ่านห้องทดลองและวัดความเข้มข้นโดยใช้เครื่อง CO Analyzer ซึ่งมีตัวแปรในการทดลองคือ ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ระดับต่างๆ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.2 ส่วนการหาค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์ทำโดยการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เข้มข้นเข้าสู่ห้องทดลอง ทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง (Batch) เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับอากาศภายในห้องทดลอง และให้มีระยะเวลารับสัมผัสกับอุปกรณ์พาสสีพที่ติดตั้งอยู่ภายใน โดยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทดลองให้อยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส

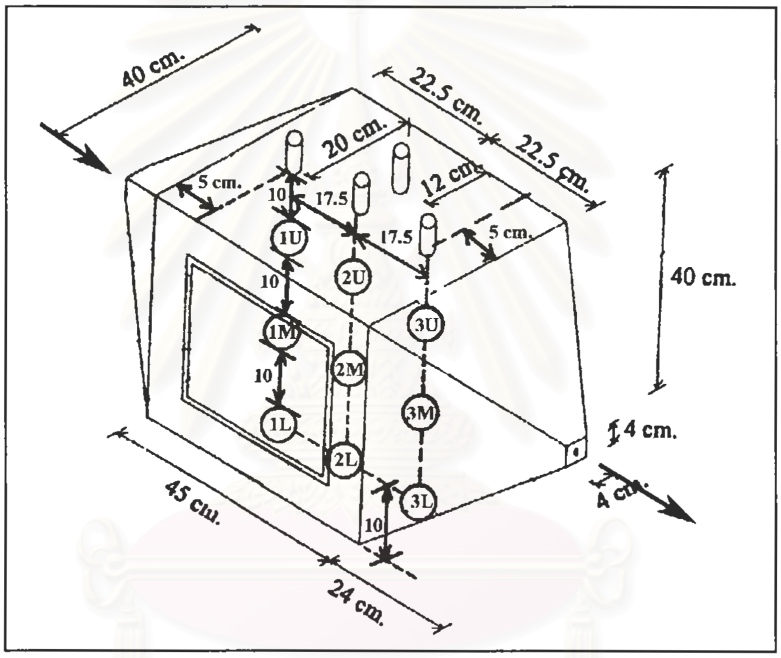
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง	ระดับความเข้มข้นของก๊าซที่กำหนด (ส่วนในล้านส่วน)		อุณหภูมิภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งในการตรวจวัด
	CO	NO_2			
1. ทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง	–	–	15 - 40	8	3
2. ทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO	1.0	–	15 - 40	1	3
	2.0		15 - 40	1	3
	4.0		15 - 40	1	3
	8.0		15 - 40	1	3
	16.0		15 - 40	1	3
	24.0		15 - 40	1	3
	32.0		15 - 40	1	3
3. ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ	-	0.10	30	4	2
		0.15	30	4	2
		0.20	30	4	2
		0.25	30	4	2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

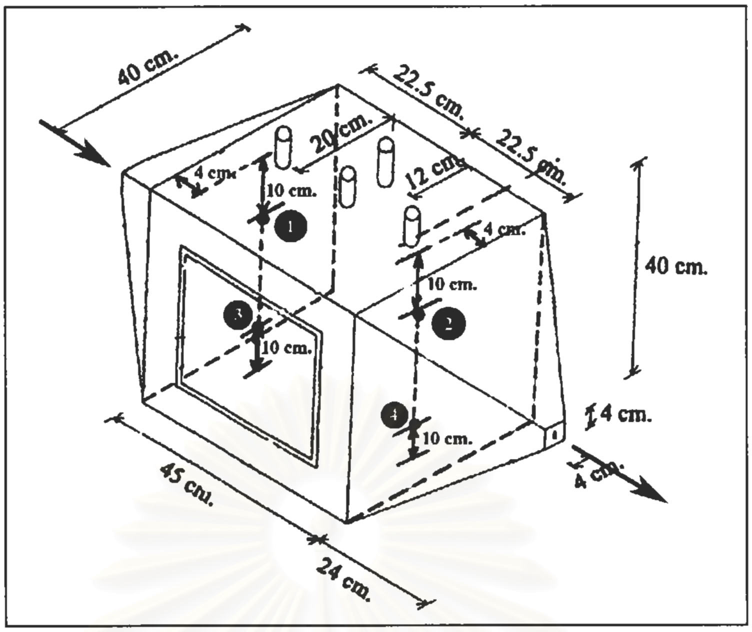
3.5 ตำแหน่งและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ

การทดสอบหาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ จะทำการตรวจวัดจำนวน 9 จุด ภายในห้องทดลอง โดยตำแหน่งที่ 1 และ 3 จะอยู่ห่างจากขอบของพื้นที่ส่วนทำการทดลองในแต่ละด้านประมาณ 5 เซนติเมตร ส่วนตำแหน่งที่ 2 จะอยู่ตรงกลางห้องทดลอง และแต่ละตำแหน่งจะทำการวัด 3 จุดคือ ตำแหน่ง U จะอยู่ห่างจากผนังของห้องทดลองด้านบนประมาณ 10 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ M จะอยู่ตรงกลางห้องทดลอง และตำแหน่งที่ L จะห่างจากผนังห้องทดลองด้านล่างประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในการทดลองหาความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ ซึ่งใช้ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในการทดลอง จะเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุดภายในห้องทดลอง โดยตำแหน่งที่ 1 จะอยู่ห่างจากทางเข้าก๊าซประมาณ 28 เซนติเมตร และห่างจากด้านบนห้องทดลองประมาณ 10 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ 1 จะอยู่ห่างจากตำแหน่งที่ 2 ประมาณ 37 เซนติเมตร ส่วนตำแหน่งที่ 3 และ 4 อยู่ห่างจากด้านล่างห้องทดลองประมาณ 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์พาสสีพในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ

3.6 การนำห้องทดลองไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ

อุปกรณ์พาสสีพสำหรับเก็บตัวอย่างไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ผลิตใช้ในงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาและปรับปรุงโดย The Gippsland Centre for Environmental Science, Monash University, Australia มีอัตราการเก็บตัวอย่างที่สัมพันธ์กับรูปทรงเท่ากับ 41.2 เมตรต่อตารางเมตร โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไอโอไดด์ อัตราส่วน 1 ต่อ 9 ละลายในเมธานอล ใช้ไมโครปิเปตขนาด 50 ไมโครลิตรดูดสารละลายนี้นำไปเคลือบบนกระดาษกรองเป็นสารดักจับดังแสดงในรูปที่ 3.11 ทิ้งให้แห้งแล้วจึงประกอบอุปกรณ์พาสสีพ

รูปที่ 3.11 การเตรียมสารเคลือบกระดาษกรองของอุปกรณ์พาสสีพ

อุปกรณ์พาสสีพที่เคลือบสารเรียบร้อยแล้วให้บรรจุลงในถุงพลาสติกที่มีซิบล็อคโดยไล่ให้มีอากาศเหลือน้อยที่สุด ซ้อนถุง 2 ชั้นเพื่อป้องกันอากาศภายนอกเข้าไปสัมผัสก่อนการใช้งาน เก็บไว้ภายในเดซิเคเตอร์ที่บรรจุอากาศบริสุทธิ์และเก็บไว้ในตู้เย็น

การวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรต์ที่เกิดขึ้นทำโดยแยกส่วนประกอบของอุปกรณ์พาสสีพออก ให้ระยะเวลาสัมผัสอากาศน้อยที่สุด นำเฉพาะส่วนที่เป็นกระดาษชุบสารเคมีใส่ขวดเก็บตัวอย่าง จากนั้นปิเปตน้ำที่ปราศจากไนไตรต์จำนวน 5 มิลลิลิตรปิดฝาให้เรียบร้อย ทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้การสกัดออกจากกระดาษกรองสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 การสกัดไนไตรต์ออกจากกระดาษกรอง

สารละลายที่ได้จากการสกัดจะถูกนำไปทำให้เกิดสีกับสารละลายของกรดซัลฟานิลิค N-(1-Naphthyl)-Ethylenediamine Dihydrochloride และกรดฟอสฟอริค จากนั้นนำไปวัดค่าแอบซอร์บแบนซ์ของสีที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง UV/Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยทำสารละลายไนไตรต์มาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ ตามรูปที่ 3.13 เพื่อใช้เป็นกราฟมาตรฐานด้วยวิธีเดียวกันกับสารละลายตัวอย่างที่สกัดออกมาได้ ซึ่งการเตรียมสารละลาย NaI สำหรับใช้เจือจางสารมาตรฐานทำได้โดยละลาย NaI 0.79 กรัมในน้ำ demineralised 1 ลิตรและการเตรียม Stock Standard Sodium Nitrite (0.1 M $NaNO_2$) สำหรับใช้ทำ Working Standard (100 μM $NaNO_2$) ทำได้โดย ละลาย $NaNO_2$ 0.69 กรัมในน้ำ demineralised 100 มิลลิลิตร ส่วนการเตรียมสารละลายไนไตรต์มาตรฐาน 6 ชุดสามารถทำได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การเตรียมสารละลายไนไตรต์มาตรฐาน

Final Concentration (µM)	Volume Working Standard (mL)	Volume NaI (mL)	Final Volume (mL)
75	1.50	0.50	2.00
50	1.00	1.00	2.00
20	0.40	1.60	2.00
5	0.10	1.90	2.00
0	_	2.00	2.00

ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จะใช้สูตรที่ 3.1 ซึ่ง Keywood และคณะพัฒนามาจากกฎของฟิคคือ

$$[NO_2] = \frac{LV[NO_2^-]}{TD} \qquad (3.1)$$

โดยที่ $[NO_2]$ = ความเข้มข้นไนโตรเจนไดออกไซด์หน่วย นาโนโมลต่อลูกบาศก์เมตร

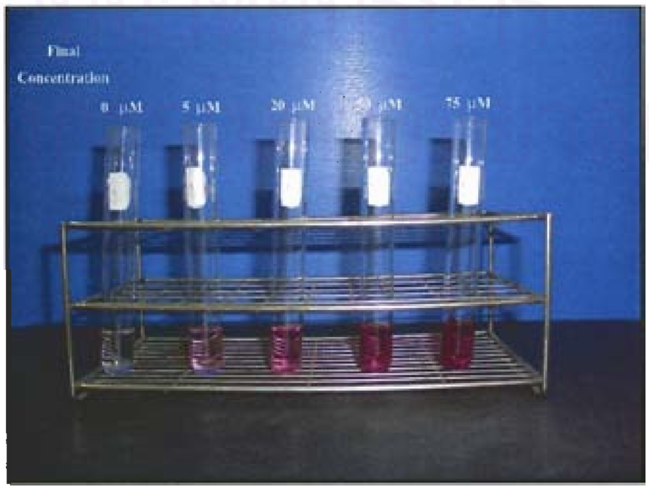
L = อัตราการเก็บตัวอย่างที่สัมพันธ์กับรูปทรงเท่ากับ 41.2 หน่วยเมตร$^{-1}$

V = ปริมาตรของสารที่นำมาสกัดหน่วยมิลลิลิตร

$[NO_2^-]$ = ความเข้มข้นของไนไตรต์ในตัวอย่างสารหน่วยไมโครโมลาร์ (µM)

T = ระยะเวลาที่รับสัมผัสหน่วย วินาที

D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารซึ่งหาได้จากห้องทดลองหน่วยตารางเมตรต่อวินาที (m^2/s)



รูปที่ 3.13 สารละลายไนไตรต์มาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ทางด้านความเที่ยงหรือความน่าเชื่อถือของเครื่องมือวิจัยในที่นี้ก็คือห้องทดลอง เครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการวิจัยที่มีความน่าเชื่อถือสูงนั้นไม่ว่าจะนำไปวัดค่าอย่างเดียวกันกี่ครั้ง ผลการวัดจะตรงกันหรือใกล้เคียงกันเสมอ การพิจารณาว่าเครื่องมือใดมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใดนั้น จะใช้สัมประสิทธิ์เป็นดรรชนีของมาตรวัด ถ้าสัมประสิทธิ์ของแบบวัดมีค่าสูง แสดงว่าเครื่องมือชุดนั้นมีความน่าเชื่อถือสูง และถ้าสัมประสิทธิ์ของแบบวัดมีค่าต่ำ ก็แสดงว่าเครื่องมือชุดนั้นมีความน่าเชื่อถือต่ำ ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือวิจัย ซึ่งรายละเอียดของการวิเคราะห์เป็นดังนี้

3.7.1 ในขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง ซึ่งกำหนดค่าอุณหภูมิคือ 15, 20, 25, 30, 35, 40 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์จะหาค่าความถูกต้องและแม่นยำของการทดลองในแต่ละอุณหภูมิครั้งละ 8 ชั่วโมงจำนวน 3 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สร้างกราฟค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิที่กำหนดกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น (r^2) จากนั้นนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัด (standard error of measurement, SEM) โดยใช้สูตร

$$SEM = S\sqrt{1-r^2} \qquad (3.2)$$

เมื่อ SEM = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัด

S = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

r^2 = ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น

สำหรับข้อมูลชุดใดก็ตาม ถ้า S มีค่าต่ำแสดงว่า ข้อมูลชุดนั้นมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดต่ำ และถ้า S = 0 แสดงว่าแบบวัดชุดนั้นไม่มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดเลย และเมื่อพิจารณาจาก r^2 ถ้า r^2 มีค่าสูงแสดงว่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดมีค่าต่ำ ในการทดลองนี้จะกำหนดให้ค่าอุณหภูมิที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±0.5 °C จึงจะยอมรับได้

3.7.2 ในขั้นตอนการหาค่าความเข้มข้นของ CO ภายในห้องทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ การวิเคราะห์จะใช้การทดสอบค่าที (t-test) ช่วยในการตัดสินใจเพื่อสรุปผลว่าสิ่งที่นำมาเปรียบเทียบกันนั้นแตกต่างกันจริงหรือไม่ สำหรับการทดลองนี้จะเทียบค่าระหว่างความเข้มข้นของ CO ที่วัดได้ภายในห้องทดลองกับค่าความเข้มข้นของ CO ตามที่กำหนดไว้ก่อนเข้าสู่ห้องทดลอง โดยหลังจากเก็บข้อมูลจากการทดลอง ก็จะนำข้อมูลนั้นมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ว่าเป็นจริงหรือไม่ จะต้องมีการตัดสินใจว่าสมมติฐานไร้นัยสำคัญ(H_0) ที่ตั้งไว้ถูกหรือผิด ถ้าผลการทดสอบได้ปฏิเสธ H_0 ทั้งๆที่ H_0 เป็นจริง เรียกว่าเกิด

ความคลาดเคลื่อน ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนจะแทนด้วยอัลฟา (α) ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าระดับนัยสำคัญ (Level of significance) ถ้าเป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยเฉพาะอย่างยิ่งทดลองกับกลุ่มเล็กๆ ควรใช้ α เท่ากับ 0.01 หรือ 0.001 ในงานวิจัยที่เป็นการวิจัยภาคสนามและการวิจัยเชิงสำรวจนิยมใช้ α เท่ากับ 0.05 (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2546: 137)

ถ้าให้ $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$ คือค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ S_1^2 ,S_2^2 เป็นค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ตามลำดับและ n_1, n_2 คือจำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับโดยที่ μ_1, μ_2 คือค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากรกลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับจะได้สูตร

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \tag{3.3}$$

โดยมี $df = n_1 + n_2 - 2$

โค้งที่ได้จากการแจกแจงจะมีรูปร่างต่างๆกันไปขึ้นอยู่กับค่าของชั้นแห่งความเป็นอิสระ (df = Degree of freedom) ค่า df นี้จะมีผลต่อรูปร่างของการแจกแจงเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก ถ้ากลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ การแจกแจงแบบทีและการแจกแจงแบบปกติจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

3.7.2.1 ตั้ง H_0 และ H_1 กล่าวคือ $H_0 : \mu = \mu_0$

$H_1 : \mu \neq \mu_0$

3.7.2.2 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α)

3.7.2.3 คำนวณค่า t จากสูตร 3.3

3.7.2.4 หาค่า t จากตารางที่ 3.4 ซึ่งต้องใช้ α และ df ประกอบ

3.7.2.5 เปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้กับค่า t ที่ได้จากตาราง

3.7.2.6 สรุปผลการทดสอบ กล่าวคือ กรณีที่ t คำนวณเป็นบวกให้เปรียบเทียบ t คำนวณกับ t ตารางที่เป็นบวก ถ้า t คำนวณมากกว่า t ตาราง แสดงว่า t คำนวณตกอยู่ใน critical region สรุปผลการทดสอบได้ว่า ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แต่ถ้า t คำนวณน้อยกว่า t ตาราง แสดงว่า t คำนวณอยู่ใน Acceptance region สรุปผลการทดสอบได้ว่ายอมรับ H_0 กรณีที่ t คำนวณเป็นลบให้เปรียบเทียบ t คำนวณกับ t ตารางที่ได้ใส่เครื่องหมายลบแล้ว ถ้า t คำนวณน้อยกว่า t ตาราง แสดงว่า t คำนวณตกอยู่ใน critical region สรุปผลการทดสอบได้ว่า ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แต่ถ้า t คำนวณมากกว่า t ตาราง แสดงว่า t คำนวณอยู่ใน Acceptance region สรุปผลการทดสอบได้ว่ายอมรับ H_0

ถ้าผลการทดลองสรุปว่ายอมรับ H_0 แสดงว่าผลการทดสอบไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความหมายได้ว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง ($\bar{x}$) เป็นค่าเดียวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร (μ) จริง แต่ถ้าผลการทดสอบสรุปว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 แสดงว่าผลการทดสอบมีนัยสำคัญทางสถิติ แปลความหมายได้ว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นค่าเดียวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร

ตารางที่ 3.4 ค่าวิกฤติของการทดสอบค่า t (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2546: 360)

	LEVEL OF SIGNIFICANCE FOR ONE-TAILED TEST					
	0.10	*0.05*	*0.025*	*0.01*	*0.005*	*0.0005*
	LEVEL OF SIGNIFICANCE FOR TWO-TAILED TEST					
df	*0.20*	*0.10*	*0.05*	*0.02*	*0.01*	*0.001*
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

3.7.3 สำหรับการนำห้องทดลองไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพ จะวิเคราะห์ 2 แบบคือแบบที่ 1 จะใช้วิธีการทดสอบซ้ำซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการทดลองแบบเดียวกัน 2 ครั้งในเวลาที่ต่างกัน แล้วนำผลการทดลองทั้ง 2 ครั้งมาคำนวณความเที่ยงหรือความถูกต้องแม่นยำในการทดลอง โดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันดังสมการที่ 3.4

$$r_{XY} = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \qquad (3.4)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่ $r^2 = (r_{xy})^2$ = สัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือหรือความเที่ยงของการทดลอง

r_{xy} = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง X, Y

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

X, Y = ผลการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ΣXY = ผลรวมของผลคูณของการทดลองทั้ง 2

$\Sigma X, \Sigma Y$ = ผลรวมของผลการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$\Sigma X^2, \Sigma Y^2$ = ผลรวมกำลังสองของผลการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ ผลการทดลองที่ได้ในครั้งแรกมีค่ามาก ครั้งหลังก็จะได้ค่ามากตามไปด้วย และถ้าผลครั้งแรกมีค่าน้อย ครั้งหลังก็จะได้น้อยตามไปด้วย ส่วนค่า r^2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของการทดลอง ซึ่งเป็นความผันแปรร่วมระหว่างผลการทดลองทั้ง 2 ครั้ง แปลความได้ว่าหากทำการทดลองลักษณะเดียวกันนี้ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ผลที่ได้จะมีค่าเหมือนเดิมตามเปอร์เซ็นต์ที่คำนวณออกมาได้

สำหรับการวิเคราะห์อีกแบบหนึ่งจะใช้จะใช้การทดสอบค่าที (t-test) เพื่อเทียบค่าระหว่างความเข้มข้นของ NO_2 ที่วัดได้ภายในห้องทดลอง กับค่าความเข้มข้นของ NO_2 ตามที่กำหนดไว้ก่อนเข้าสู่ห้องทดลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่หาได้ เปรียบเทียบว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดนี้มาจากกลุ่มที่เป็นพื้นฐานสองกลุ่มเดียวกันที่มีค่าเฉลี่ยเดียวกันหรือไม่

3.8 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัยและระยะเวลาในการทดลองเป็นไปดังตารางที่ 3.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 แผนการดำเนินงานวิจัยและระยะเวลาการทดลอง

แผนการดำเนินงานวิจัย	ช่วงเวลา													
	พ.ศ. 2547												พ.ศ. 2548	
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์
1. ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	→												
2. ออกแบบห้องทดลองที่ใช้ในงานวิจัย			←	→										
3. จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี					←	→								
4. ทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง							←	→						
5. ทดลองหาค่าความเข้มข้นของก๊าซ									←	—	→			
6. รวบรวม วิเคราะห์และสรุปผล											←	→		
7. จัดพิมพ์วิทยานิพนธ์													↔	
8. สอบวิทยานิพนธ์														↔

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

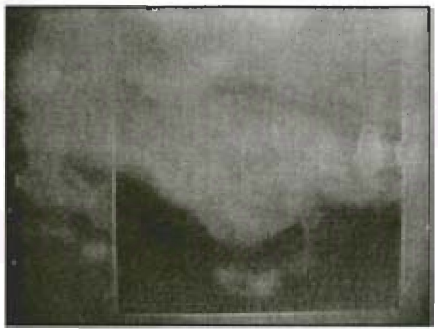
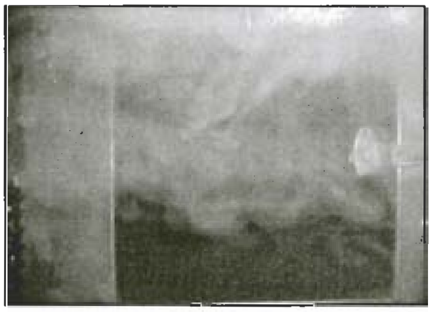
บทที่ 4

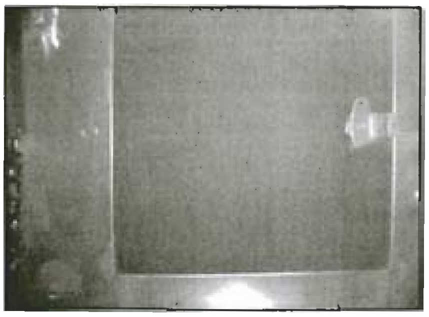
ผลการทดลอง

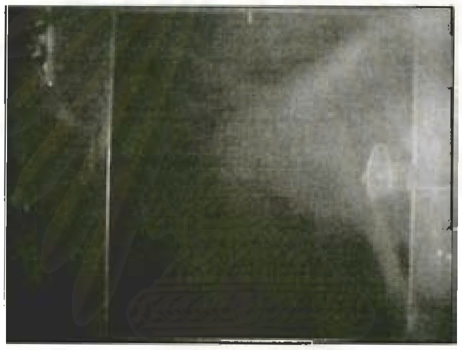
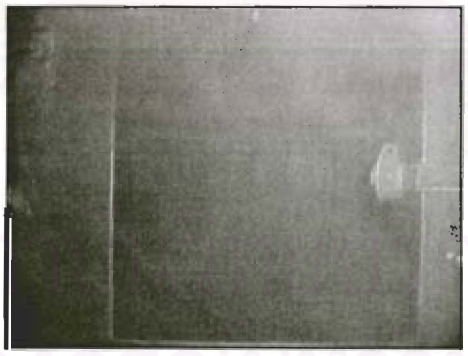
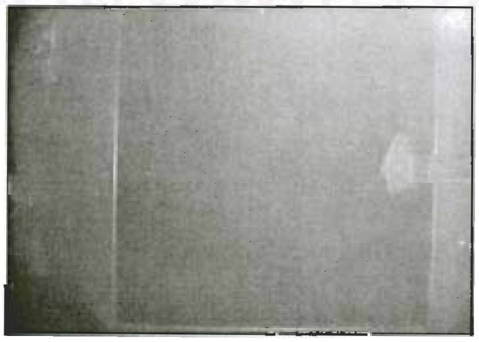
4.1 การกระจายตัวของก๊าซในห้องทดลอง

ในการทดลองการกระจายตัวของก๊าซจะใช้วิธีการปล่อยควันธูปร้อน โดยกำหนดให้จุดกำเนิดของมลพิษ (จุดที่ทำการปล่อยควัน) อยู่ตรงตำแหน่งปากท่อทางเข้าก๊าซสู่ห้องทดลอง และทดลองปล่อยมลพิษ ที่ค่าความเร็วต่างๆกัน ตามอัตราการไหลเข้าของก๊าซจากต่ำสุดไปสูงสุด ซึ่งลักษณะการกระจายตัวของมลพิษในห้องทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

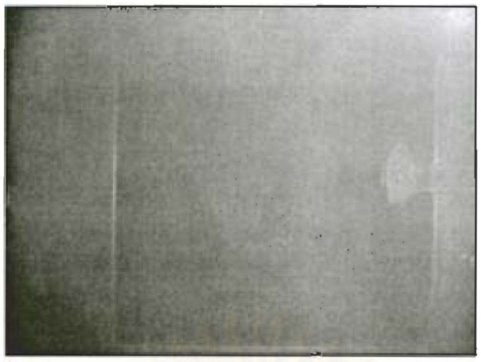
ตารางที่ 4.1 การทดลองการกระจายตัวของมลพิษอากาศภายในห้องทดลอง

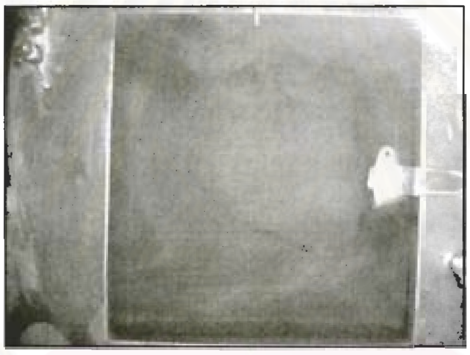
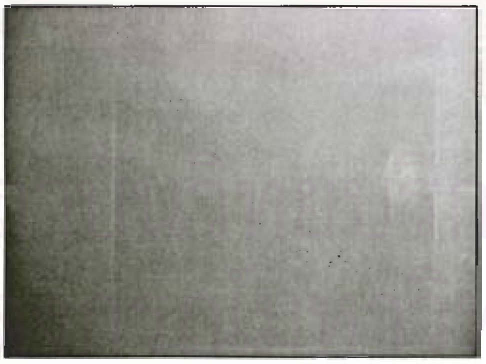
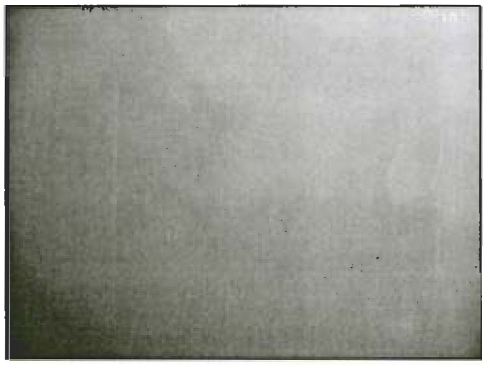
1. การปล่อยมลพิษอากาศโดยใช้ความเร็วประมาณ 0.001 เมตรต่อวินาทีเข้าไปในห้องทดลอง		
เวลา (วินาทีที่)	ภาพการกระจายตัวของก๊าซภายในห้องทดลอง	ลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษอากาศ
5.0		ช่วงเริ่มต้นการกระจายของมลพิษอากาศจะเคลื่อนตัวลอยอยู่ทางด้านบนของห้องทดลอง
10.0		มลพิษอากาศค่อยๆเคลื่อนตัวลงมาสู่ส่วนล่างภายในห้องทดลอง
15.0		การกระจายตัวของมลพิษจะเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะหนาแน่นที่สุดบริเวณส่วนบน

30.0		เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง การกระจายตัวจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งห้องซึ่งมลพิษอากาศบางส่วนจะไหลออกบริเวณส่วนทางออกของห้องทดลองไป

2. การปล่อยมลพิษอากาศด้วยความเร็วพอสมควรเข้าไปในห้องทดลอง (ความเร็วประมาณ 0.0016 เมตรต่อวินาที)		
เวลา (วินาทีที่)	ภาพการกระจายตัวของก๊าซภายในห้องทดลอง	ลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษอากาศ
5.0		ในช่วงเริ่มต้นการกระจายของมลพิษอากาศจะเคลื่อนตัววนเวียนอยู่ทั่วทั้งห้องทดลองโดยความหนาแน่นในแต่ละจุดยังไม่สม่ำเสมอ
10.0		ความหนาแน่นของมลพิษอากาศค่อยๆกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอภายในห้องทดลอง
15.0		ความหนาแน่นของมลพิษจะเพิ่มมากขึ้นทั่วทั้งห้องทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

30.0		เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง การกระจายตัวจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งห้องซึ่งมลพิษอากาศบางส่วนจะไหลออกบริเวณส่วนทางออกของห้องทดลองไป

3. การปล่อยมลพิษอากาศด้วยความเร็วเริ่มต้นสูงเข้าไปในห้องทดลอง (ความเร็วประมาณ 0.002 เมตรต่อวินาที)		
เวลา (วินาทีที่)	ภาพการกระจายตัวของก๊าซภายในห้องทดลอง	ลักษณะการแพร่กระจายของมลพิษอากาศ
5.0		ช่วงเริ่มต้นซึ่งมีการปล่อยอากาศ จากภายนอกเข้าไปในอัตราการไหลที่ค่อนข้างสูง ทำให้เกิดการกระจายของมลพิษอากาศตลอดทั่วทั้งห้องทดลองเป็นไปอย่างรวดเร็ว
10.0		การกระจายตัวของมลพิษอากาศจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งห้องทดลองในระยะเวลาอันรวดเร็ว
15.0		เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง การกระจายตัวจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งห้องรวมทั้งความหนาแน่นของมลพิษจะเพิ่มมากขึ้นทั่วทั้งห้องทดลอง

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะห้องทดลองที่สภาวะต่าง ๆ

เป็นการจำลองสภาวะอากาศภายในห้องทดลองให้มีค่าอุณหภูมิตามที่กำหนดคือ 15, 20, 25, 30, 35, 40 องศาเซลเซียสโดยบันทึกค่าทั้งอุณหภูมิภายนอกและภายในห้องทดลองทุกชั่วโมงเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งแต่ละอุณหภูมิจะทำการทดลอง 3 ครั้ง

รายละเอียดของผลการทดสอบวัดค่าอุณหภูมิแสดงดังตารางที่ 4.2 และการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับภายในห้องทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 – 4.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตลอดทั้ง 8 ชั่วโมงที่ทำการทดลอง อุณหภูมิที่ตั้งไว้จะมีค่าคงที่เมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนไปตามสภาพอากาศ อย่างไรก็ตามการตั้งค่าอุณหภูมิที่ 20 และ 25 องศาเซลเซียสเส้นกราฟที่ได้ จะมีความโน้มเอียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากอุปกรณ์การทำอุณหภูมิต้องสลับหน้าที่กันทำงานระหว่างความร้อนและความเย็น ทำให้ช่วงการวัดไม่คงที่เหมือนกับอุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่งทำงานเพียงอย่างเดียว ส่วนข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Data Logger) แสดงในภาคผนวก ค

สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการวัด โดยใช้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากการหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิที่กำหนดกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ดังรูปที่ 4.7 พบว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสจะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ ±0.014 และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ ±0.006 ส่วนที่อุณหภูมิ 15, 25, 30, 40 จะมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดดังนี้ ±0.008, ±0.011, ±0.008 และ ±0.008 องศาเซลเซียสตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

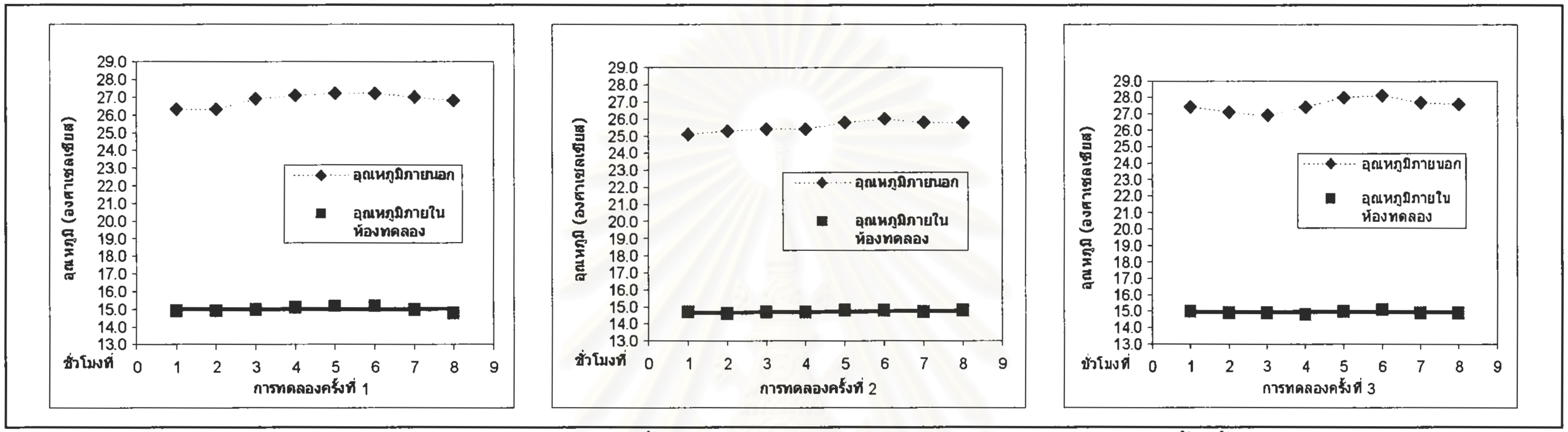
เนื่องจากการทดลองในงานวิจัยนี้ไม่ได้ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดลองเพราะต้องการดูว่าอุณหภูมิที่กำหนดในแต่ละค่านั้นจะให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดลองคงที่หรือเปลี่ยนแปลงอย่างไร ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพียงอย่างเดียว กล่าวคือการทดลองที่อุณหภูมิใดๆก็ตามถ้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำแสดงว่า การทดลองชุดนั้นจะมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำหรือค่อนข้างจะคงที่ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อกำหนดอุณหภูมิภายในห้องทดลองเท่ากับ 35 องศาเซลเซียสค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จะมีค่ามากที่สุดคือ 3.82 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อกำหนดอุณหภูมิภายในห้องทดลองเท่ากับ 40 องศาเซลเซียสค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้จะมีค่าน้อยที่สุดคือ 2.11 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิที่กำหนดกับค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยจะแสดงดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดลอง

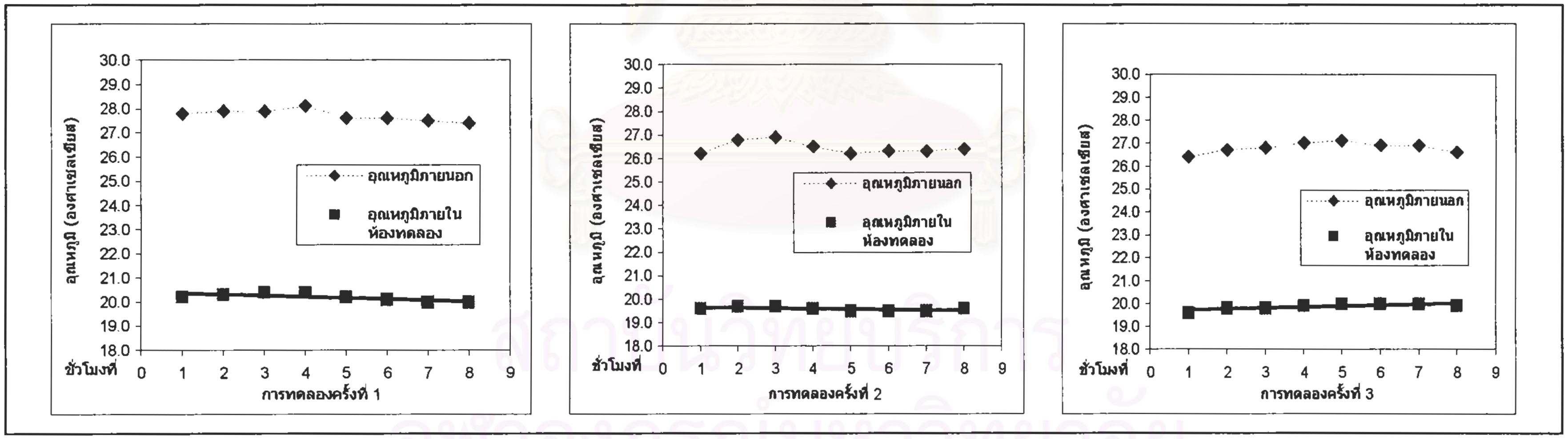
อุณหภูมิที่กำหนดภายในห้องทดลอง (°C)	การทดลองครั้งที่ 1					การทดลองครั้งที่ 2					การทดลองครั้งที่ 3				
	วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง		วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง		วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง	
				อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)				อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)				อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
15	9/8/2004	1	26.30	14.90	49.20	10/8/2004	1	25.10	14.70	51.90	16/8/2004	1	27.40	15.00	47.20
		2	26.30	14.90	49.60		2	25.30	14.60	51.00		2	27.10	14.90	49.10
		3	26.90	15.00	48.70		3	25.40	14.70	52.50		3	26.90	14.90	46.50
		4	27.10	15.10	49.30		4	25.40	14.70	48.50		4	27.40	14.80	46.90
		5	27.20	15.20	49.50		5	25.80	14.80	49.10		5	28.00	15.00	48.00
		6	27.20	15.20	50.10		6	26.00	14.80	50.30		6	28.10	15.10	48.00
		7	27.00	15.00	51.00		7	25.80	14.70	52.70		7	27.70	14.90	50.30
		8	26.80	14.80	55.80		8	25.80	14.80	59.40		8	27.60	14.90	52.50
		ค่าเฉลี่ย	26.85	15.01	50.40		ค่าเฉลี่ย	25.57	14.72	51.92		ค่าเฉลี่ย	27.52	14.94	48.56
20	26/8/2004	1	27.80	20.20	37.10	27/8/2004	1	26.20	19.60	39.20	1/9/2004	1	26.40	19.60	41.10
		2	27.90	20.30	37.60		2	26.80	19.70	42.20		2	26.70	19.80	39.30
		3	27.90	20.40	35.20		3	26.90	19.70	38.60		3	26.80	19.80	41.80
		4	28.10	20.40	37.40		4	26.50	19.60	36.90		4	27.00	19.90	37.70
		5	27.60	20.20	40.60		5	26.20	19.50	38.60		5	27.10	20.00	39.10
		6	27.60	20.10	38.80		6	26.30	19.50	38.20		6	26.90	20.00	37.70
		7	27.50	20.00	39.70		7	26.30	19.50	41.90		7	26.90	20.00	39.40
		8	27.40	20.00	47.70		8	26.40	19.60	40.50		8	26.60	19.90	40.30
		ค่าเฉลี่ย	27.72	20.20	39.26		ค่าเฉลี่ย	26.45	19.60	39.51		ค่าเฉลี่ย	26.80	19.87	39.55
25	6/9/2004	1	25.20	24.80	37.10	7/9/2004	1	23.90	24.80	36.50	8/9/2004	1	27.00	25.30	33.40
		2	25.60	25.10	36.10		2	24.20	25.10	35.10		2	26.90	25.20	35.10
		3	25.70	25.10	36.00		3	24.70	25.30	33.60		3	27.30	25.30	40.10
		4	26.00	25.30	37.40		4	24.90	25.40	35.80		4	27.20	25.10	36.40
		5	26.10	25.30	35.20		5	25.10	25.40	35.90		5	27.20	24.90	37.60
		6	26.00	25.30	36.60		6	25.00	25.40	34.40		6	27.00	24.90	39.90
		7	25.80	25.30	37.30		7	24.90	25.40	38.30		7	26.80	24.80	44.20
		8	25.60	25.20	42.50		8	24.80	25.20	37.50		8	26.70	24.70	46.80
		ค่าเฉลี่ย	25.75	25.17	37.28		ค่าเฉลี่ย	24.69	25.25	35.89		ค่าเฉลี่ย	27.01	25.02	39.18

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดลอง

อุณหภูมิที่กำหนดภายในห้องทดลอง (°C)	การทดลองครั้งที่ 1			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง		การทดลองครั้งที่ 2			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง		การทดลองครั้งที่ 3			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง	
	วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)	วัน/เดือน/ปี	ชั่วโมงที่	อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์)
		1	26.00	30.20	28.80		1	26.30	30.10	32.30		1	25.70	30.00	33.40
		2	26.20	30.20	30.70		2	26.10	30.00	39.00		2	25.90	30.00	35.10
		3	26.40	30.20	30.50		3	26.50	30.20	32.00		3	26.30	30.20	33.30
		4	27.10	30.60	25.80		4	26.80	30.20	34.00		4	26.50	30.10	32.00
30	13/9/2004	5	26.80	30.20	28.30	14/9/2004	5	27.10	30.10	37.10	15/9/2004	5	26.80	30.10	34.40
		6	26.80	30.30	29.40		6	27.00	30.20	34.00		6	26.20	30.00	38.90
		7	27.00	30.50	28.00		7	26.70	30.00	37.00		7	26.00	30.20	32.70
		8	26.60	30.40	28.30		8	26.40	30.00	40.20		8	26.10	30.20	33.90
		ค่าเฉลี่ย	26.61	30.33	28.73		ค่าเฉลี่ย	26.61	30.10	35.70		ค่าเฉลี่ย	26.19	30.10	34.21
		1	25.80	34.70	30.80		1	26.10	34.90	43.70		1	24.40	34.90	36.00
		2	25.90	34.70	33.20		2	26.50	35.00	38.90		2	24.80	34.90	32.50
		3	26.10	34.70	34.10		3	26.90	35.00	35.60		3	24.80	34.90	33.50
		4	26.50	34.70	32.00		4	27.10	35.00	40.60		4	25.00	34.90	35.10
35	17/9/2004	5	26.40	34.90	31.40	20/9/2004	5	27.00	35.00	39.90	21/9/2004	5	25.10	34.90	34.30
		6	26.30	34.80	31.50		6	26.80	35.00	40.00		6	24.80	34.90	32.80
		7	26.10	34.70	38.70		7	26.90	35.10	40.40		7	24.70	34.90	32.10
		8	26.20	34.80	39.40		8	26.80	35.10	40.60		8	24.60	34.90	39.50
		ค่าเฉลี่ย	26.16	34.75	33.89		ค่าเฉลี่ย	26.76	35.01	39.96		ค่าเฉลี่ย	24.78	34.90	34.48
		1	31.30	40.20	33.50		1	28.80	40.10	30.80		1	27.70	40.10	32.20
		2	31.00	40.10	33.40		2	28.20	40.00	29.90		2	27.50	40.00	31.90
		3	31.50	40.30	31.50		3	27.80	39.90	31.50		3	28.00	40.30	29.90
		4	31.50	40.30	31.50		4	27.90	39.80	32.40		4	28.10	40.40	28.30
40	19/7/2004	5	31.00	39.90	34.90	21/7/2004	5	27.80	39.90	32.30	22/7/2004	5	27.90	40.30	29.00
		6	31.00	40.00	36.00		6	27.50	40.00	32.10		6	27.70	40.20	28.70
		7	30.80	40.00	34.90		7	27.10	39.90	31.30		7	27.70	40.20	29.00
		8	30.30	40.10	34.80		8	27.00	40.00	29.90		8	27.20	39.90	31.00
		ค่าเฉลี่ย	31.05	40.11	33.81		ค่าเฉลี่ย	27.76	39.95	31.27		ค่าเฉลี่ย	27.72	40.17	30.00

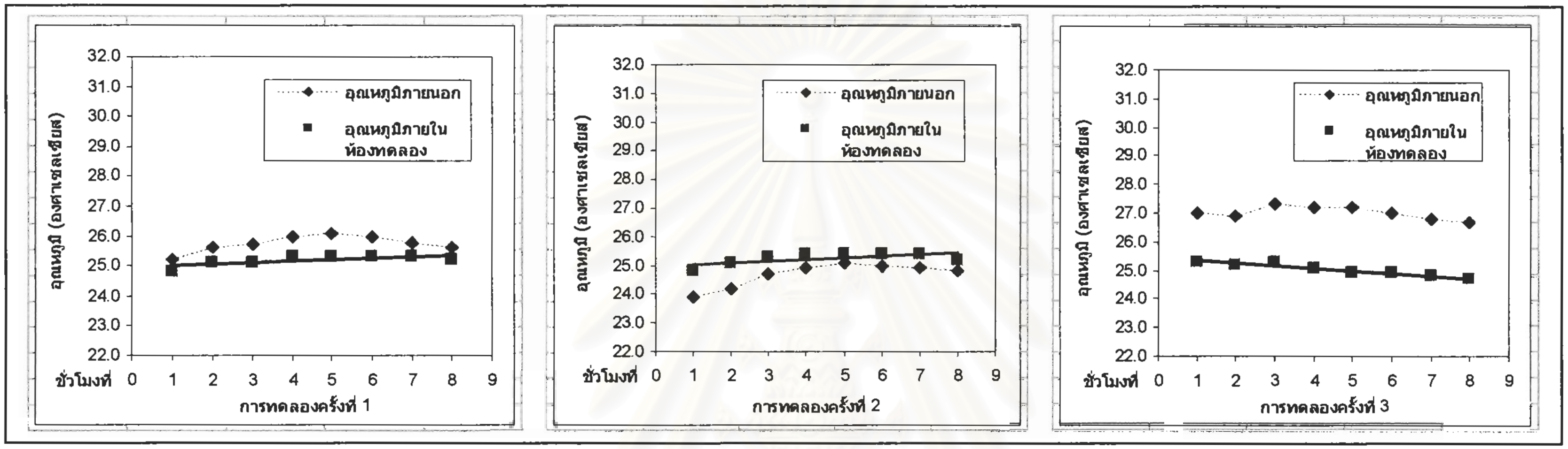


รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 15 °C จำนวน 3 ครั้งครั้งละ 8 ชั่วโมง

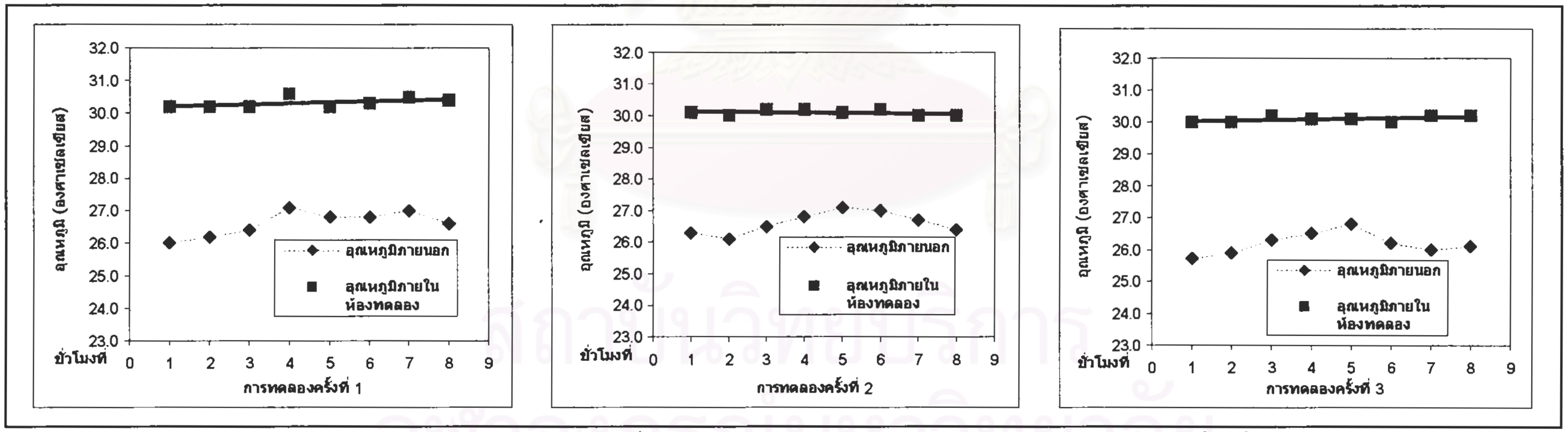


รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 20 °C จำนวน 3 ครั้งครั้งละ 8 ชั่วโมง

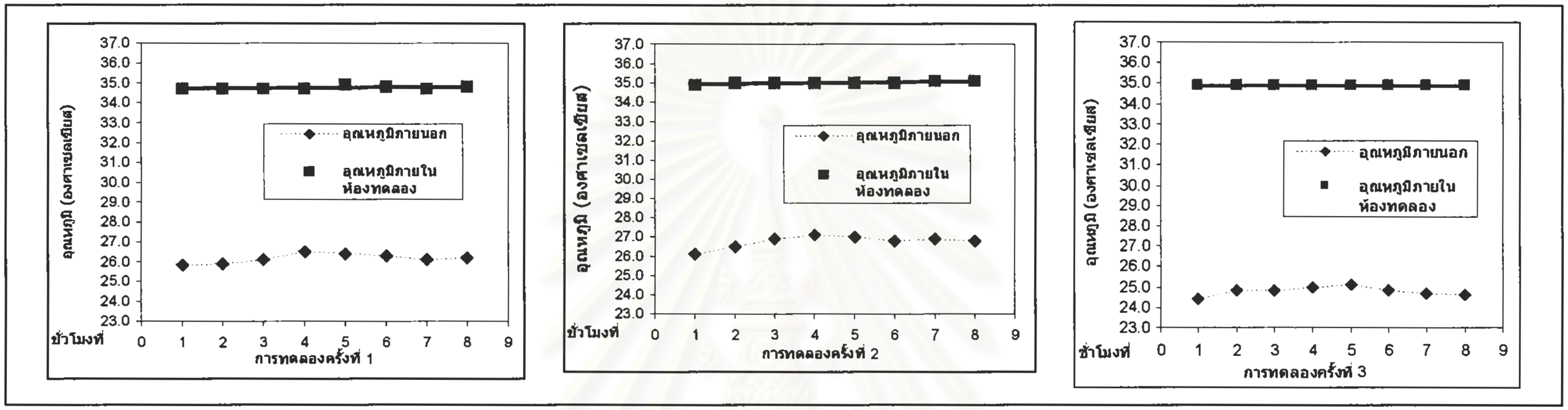
สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



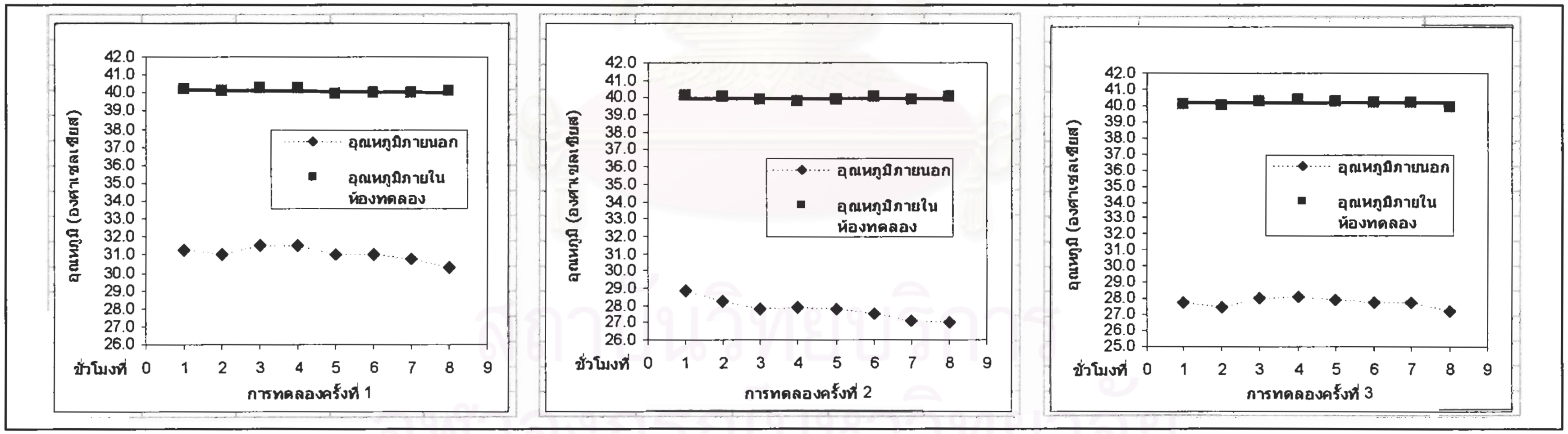
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 25 °C จำนวน 3 ครั้งครั้งละ 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 30 °C จำนวน 3 ครั้งครั้งละ 8 ชั่วโมง



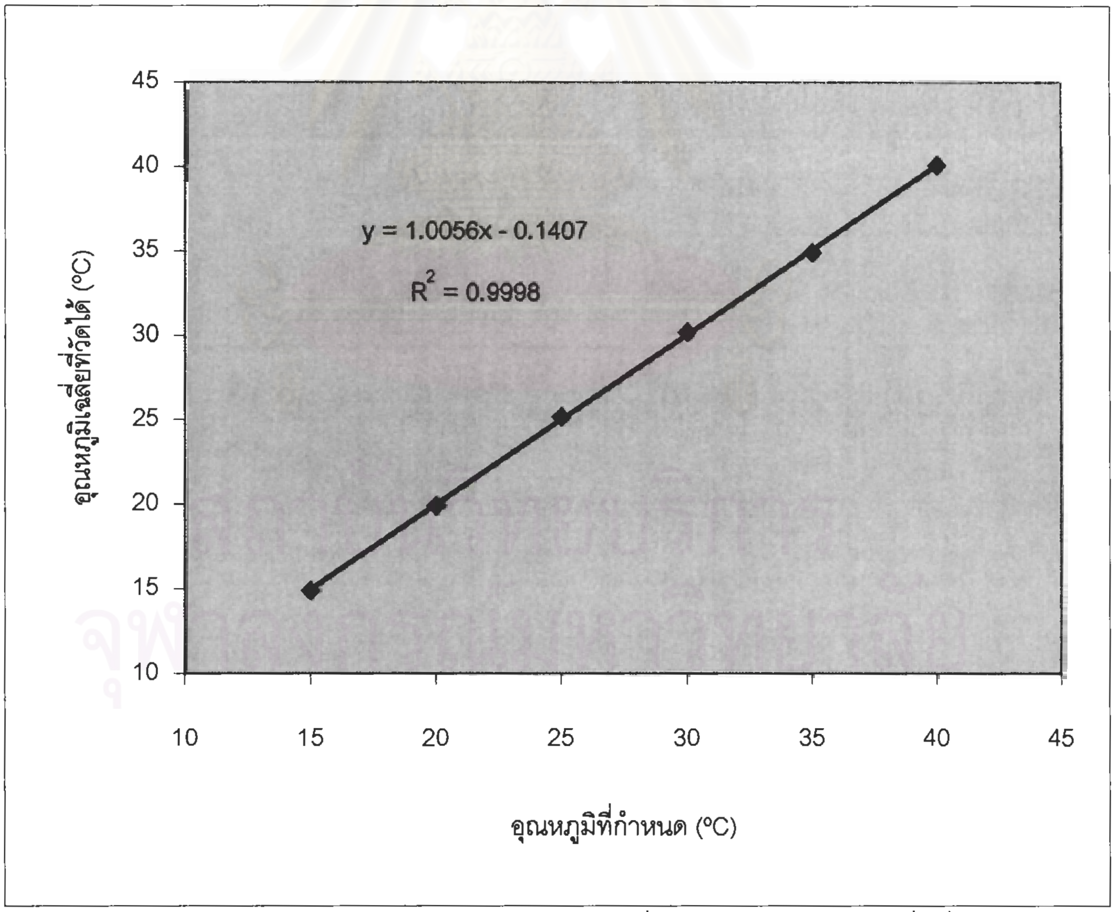
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 35 °C จำนวน 3 ครั้งครั้งละ 8 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 40 °C จำนวน 3 ครั้งครั้งละ 8 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่าของอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง

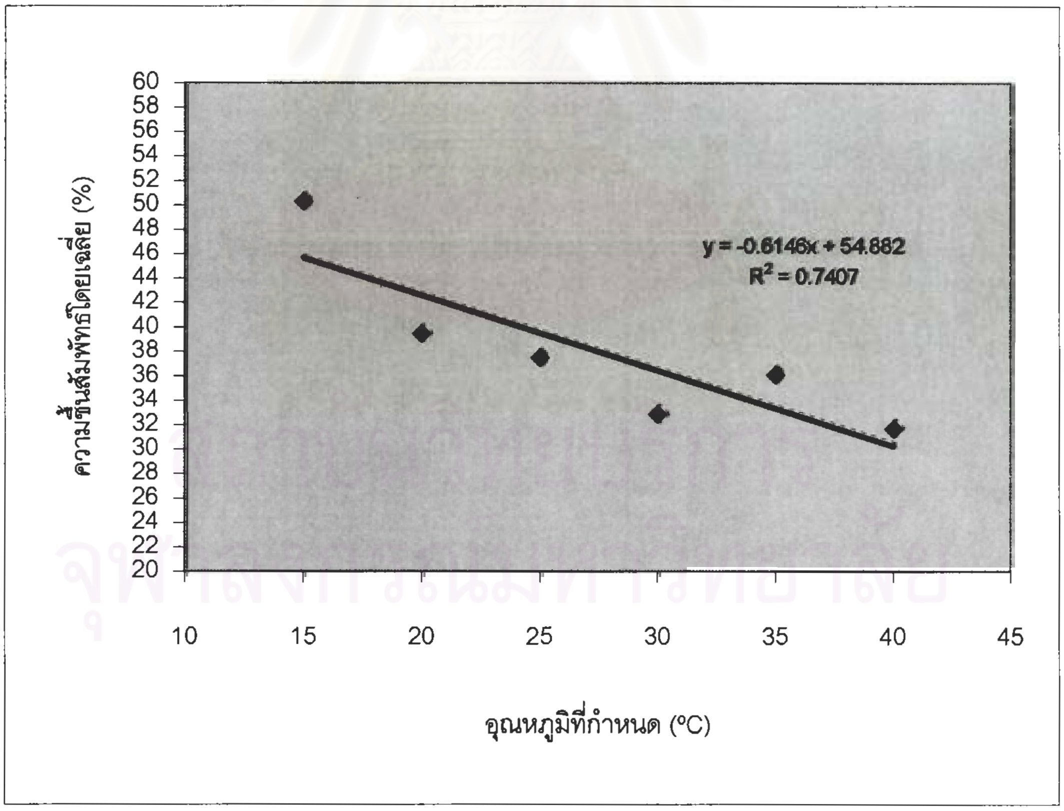
อุณหภูมิที่กำหนดภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)	ช่วงอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (องศาเซลเซียส)	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัด (องศาเซลเซียส)
15	14.60 - 15.20	14.89	0.16	± 0.008
20	19.50 - 20.40	19.89	0.28	± 0.014
25	24.70 - 25.40	25.15	0.22	± 0.011
30	30.00 - 30.60	30.18	0.16	± 0.008
35	34.70 - 35.10	34.89	0.12	± 0.006
40	39.80 - 40.40	40.08	0.16	± 0.008



รูปที่ 4.7 ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิที่กำหนดกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง

อุณหภูมิที่กำหนดภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)	ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง (เปอร์เซนต์)	ความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ย (เปอร์เซนต์)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์)
15	46.50 - 59.40	50.30	2.88
20	35.20 - 47.70	39.44	2.47
25	33.40 - 46.80	37.45	3.24
30	25.80 - 39.00	32.88	3.79
35	30.80 - 43.70	36.11	3.82
40	28.30 - 36.00	31.70	2.11



รูปที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิที่กำหนดกับค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ย

4.3 ผลการจำลองความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องทดลอง

ในการจำลองค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO จะกำหนดที่ระดับตั้งแต่ 1 ถึง 32 ส่วนในล้านส่วน (ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของก๊าซ CO กำหนดว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา 1 ชั่วโมงต้องมีค่าไม่เกิน 30 ส่วนในล้านส่วน และในเวลา 8 ชั่วโมง ต้องมีค่าไม่เกิน 9 ส่วนในล้านส่วน) ภายในห้องทดลองที่ควบคุมสภาวะอุณหภูมิตั้งแต่ 15 ถึง 40 องศาเซลเซียส ซึ่งแต่ละอุณหภูมิที่กำหนด จะใช้การทดสอบค่าที (t-test) เพื่อเทียบค่าระหว่างความเข้มข้นของ CO ที่วัดได้ภายในห้องทดลองกับค่าความเข้มข้นของ CO ตามที่กำหนดไว้ก่อนเข้าสู่ห้องทดลอง ว่ามีค่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยนำผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากจุดเก็บตัวอย่างภายในห้องทดลองทั้ง 9 จุดที่แสดงในภาคผนวก ข มาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุณหภูมิ จากนั้นคำนวณหาค่า t จากสูตรที่ 3.3 ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า กรณีที่ค่า t ที่คำนวณได้เป็นบวกในที่นี้คือ 0.0007 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า t ในตารางที่ 3.4 (ที่ $\propto = 0.01$, df = 12 ค่า t จากตารางจะได้เท่ากับ 3.055) จึงยอมรับว่าผลการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่อุณหภูมิภายในห้องทดลองเป็น 15 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่กำหนดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ในทำนองเดียวกัน กรณีที่ค่า t ที่คำนวณได้ติดเครื่องหมายลบ ซึ่งได้แก่การทดลองที่อุณหภูมิ 20, 25, 30, 35 , 40 องศาเซลเซียส และค่า t จากตารางมีค่า -3.055 (ค่า t ในตารางใส่เครื่องหมายลบเพราะ t ที่คำนวณได้ติดเครื่องหมายลบ) จะได้ว่าค่า t ที่คำนวณได้ทุกตัว มีค่ามากกว่า t จากตารางจึงสรุปได้ว่าผลการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่อุณหภูมิภายในห้องทดลองเป็น 20, 25, 30, 35, 40 องศาเซลเซียสและความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่กำหนดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ได้เช่นเดียวกัน การแปลความหมายดังกล่าวเป็นการแปลความหมายโดยใช้ภาษาทางสถิติ ถ้าแปลเพื่อให้คนทั่วไปอ่านเข้าใจจะแปลว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้ภายในห้องทดลองและความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่กำหนดไว้มีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้จะใช้คำว่า ใกล้เคียงกัน พอกัน หรือไม่แตกต่างกันก็ได้ (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2546: 175) นอกจากนี้ระดับนัยสำคัญอาจมองในแง่ของระดับความเชื่อมั่น โดยเอาค่าระดับนัยสำคัญลบออกจาก 1.00 ในที่นี้ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงคิดเป็นระดับความเชื่อมั่น 0.99 หรือ 99 เปอร์เซ็นต์

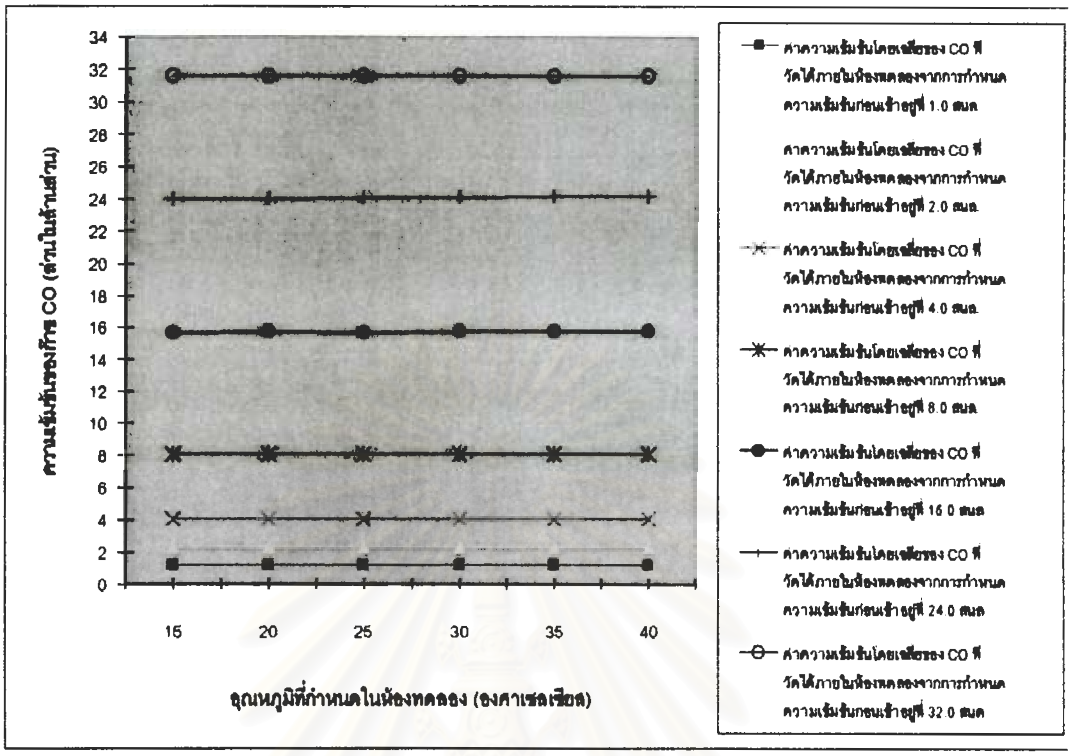
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่า t จากการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ CO ภายในห้องทดลอง

อุณหภูมิที่กำหนดภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (ส่วนในล้านส่วน)	ช่วงความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่วัดได้ภายในห้องทดลอง (ส่วนในล้านส่วน)	ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ส่วนในล้านส่วน)	ค่า t
15	1.0	1.19 - 1.24	1.22	0.0007
	2.0	2.20 - 2.25	2.23	
	4.0	4.10 - 4.14	4.13	
	8.0	8.12 - 8.15	8.13	
	16.0	15.69 - 15.74	15.72	
	24.0	23.92 - 23.98	23.95	
	32.0	31.54 - 31.70	31.59	
ค่าเฉลี่ย	12.429	-	12.424	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.970		11.745	
20	1.0	1.21 - 1.24	1.23	-0.0016
	2.0	2.23 - 2.25	2.24	
	4.0	4.09 - 4.14	4.12	
	8.0	8.12 - 8.15	8.13	
	16.0	15.72 - 15.76	15.75	
	24.0	23.95 - 24.04	24.00	
	32.0	31.54 - 31.77	31.60	
ค่าเฉลี่ย	12.429	-	12.439	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.970		11.756	
25	1.0	1.22 - 1.25	1.24	-0.0025
	2.0	2.22 - 2.25	2.24	
	4.0	4.08 - 4.12	4.11	
	8.0	8.11 - 8.15	8.14	
	16.0	15.70 - 15.75	15.74	
	24.0	24.01 - 24.07	24.05	
	32.0	31.49 - 31.82	31.59	
ค่าเฉลี่ย	12.429	-	12.444	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.970		11.760	
30	1.0	1.22 - 1.24	1.23	-0.0036
	2.0	2.23 - 2.25	2.24	
	4.0	4.08 - 4.11	4.1	
	8.0	8.10 - 8.16	8.14	
	16.0	15.71 - 15.77	15.75	
	24.0	24.06 - 24.12	24.09	
	32.0	31.55 - 31.65	31.61	
ค่าเฉลี่ย	12.429	-	12.451	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.970		11.775	

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) ผลการทดสอบค่า t จากการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ CO ภายในห้องทดลอง

อุณหภูมิที่กำหนดภายในห้องทดลอง (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (ส่วนในล้านส่วน)	ช่วงความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่วัดได้ภายในห้องทดลอง (ส่วนในล้านส่วน)	ค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่วัดได้โดยเฉลี่ย (ส่วนในล้านส่วน)	ค่า t
35	1.0	1.23 - 1.25	1.24	-0.0027
	2.0	2.23 - 2.25	2.24	
	4.0	4.06 - 4.12	4.09	
	8.0	8.08 - 8.14	8.12	
	16.0	15.73 - 15.77	15.76	
	24.0	24.10 - 24.14	24.12	
	32.0	31.48 - 31.60	31.55	
ค่าเฉลี่ย **ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	12.429 11.970	-	12.446 11.765	
40	1.0	1.23 - 1.25	1.24	-0.0043
	2.0	2.23 - 2.26	2.25	
	4.0	4.10 - 4.14	4.12	
	8.0	8.05 - 8.15	8.12	
	16.0	15.69 - 15.77	15.75	
	24.0	24.12 - 24.17	24.15	
	32.0	31.49 - 31.64	31.56	
ค่าเฉลี่ย **ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	12.429 11.970	-	12.456 11.767	

นอกจากนั้น ในการจำลองสภาวะห้องทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งจะเห็นได้จากการที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ค่าความเข้มข้นที่วัดได้จะมีค่าคงที่เสมอ ไม่ว่าจะทดลองโดยกำหนดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ระดับใดก็ตาม



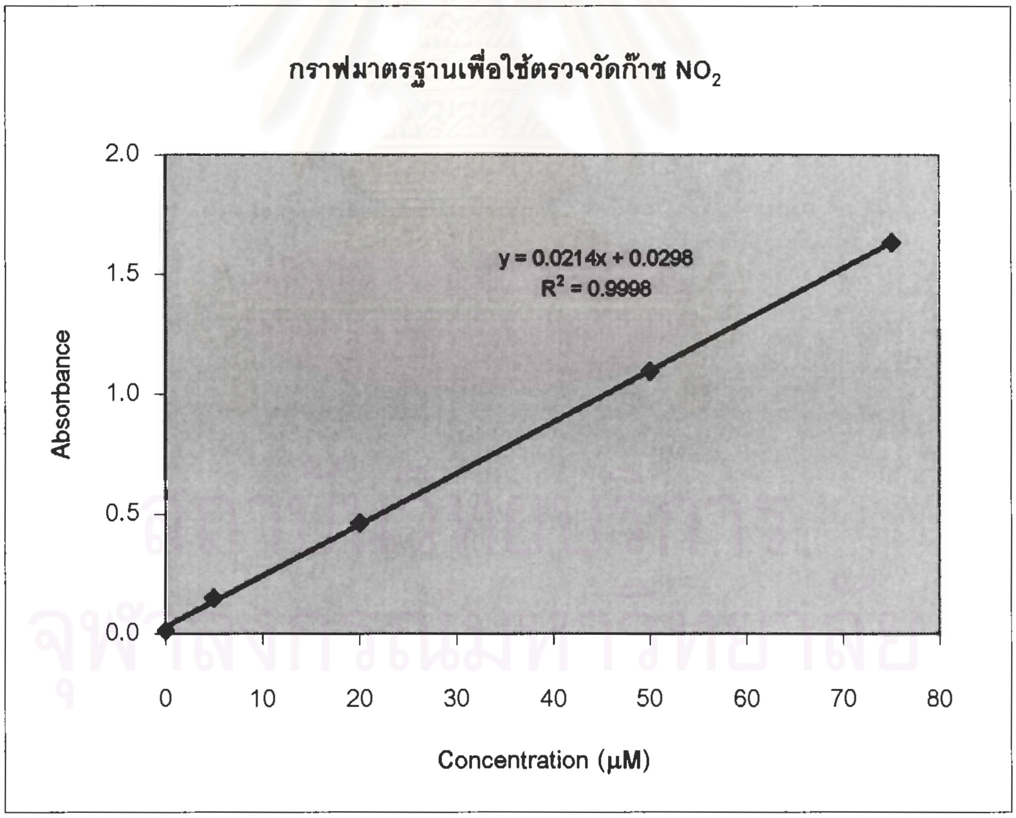
รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่อุณหภูมิต่างๆ ภายในห้องทดลอง

4.4 ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารจากอุปกรณ์พาสสีพ

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสสีพหาได้จากการกำหนดค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในห้องทดลองตั้งแต่ 0.10 ถึง 0.25 ส่วนในล้านส่วน และนำอุปกรณ์พาสสีพมาวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรต์ โดยวัดค่าแอบซอร์บแบนซ์ของสีที่เกิดขึ้น เทียบกับค่าแอบซอร์บแบนซ์ที่ได้จากความเข้มข้นมาตรฐานตามตารางที่ 4.6 และใช้สมการ $y = 0.0214X + 0.0298$ ที่ได้จากกราฟสารละลายไนไตรต์มาตรฐานตามรูปที่ 4.10 ในการคำนวณหาความเข้มข้นของปริมาณไนไตรต์ ซึ่งผลที่ได้จากการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพโดยใช้ห้องทดลองนี้แสดงดังตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารที่หาได้จากการทดลองในแต่ละความเข้มข้น มาหาค่าเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับ 1.88×10^{-5} ตร.ม./วินาที ซึ่งค่านี้จะใช้เป็นตัวแทนของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารทั้งหมดที่ได้จากอุปกรณ์พาสสีพที่ผลิตขึ้นมาใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.6 ค่า Absorbance ที่ได้จากความเข้มข้นมาตรฐานต่างๆเพื่อใช้ตรวจวัดก๊าซ NO_2 ภายในห้องทดลองโดยใช้อุปกรณ์พาสสีพ

ความเข้มข้นมาตรฐาน (ไมโครโมลาร์)	Absorbance
0	0.014
5	0.149
20	0.465
50	1.097
75	1.634



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานเพื่อใช้ตรวจวัดก๊าซ NO_2 ของอุปกรณ์พาสสีพที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.7 การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพโดยใช้ห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนด		ก๊าซ NO ที่เข้าสู่ห้องทดลอง		การทดลองครั้งที่	ตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์พาสสีพในห้องทดลอง	ระยะเวลาสัมผัสก๊าซ (ชั่วโมง)	ผลการทดลอง		
	หน่วยส่วนในล้านส่วน	หน่วยนาโนโมลต่อลูกบาศก์เมตร	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	ระยะเวลาการปล่อยก๊าซ (วินาที)				ค่า Absorbance	ความเข้มข้นของ NO_2^- ในตัวอย่าง (ไมโครโมลลาร์)	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ($\times 10^{-5}$ ตร.ม./วินาที)
17/12/47	0.10	4087	110	30	1	1	4	0.146	5.430	1.90
						2	4	0.142	5.243	1.84
						3	4	0.145	5.383	1.88
						4	4	0.139	5.103	1.79
					2	1	4	0.148	5.523	1.93
						2	4	0.143	5.290	1.85
						3	4	0.145	5.383	1.88
						4	4	0.140	5.150	1.80
21/12/47	0.15	6130	110	45	1	1	4	0.204	8.140	1.90
						2	4	0.203	8.093	1.89
						3	4	0.205	8.187	1.91
						4	4	0.201	8.000	1.87

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพโดยใช้ห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนด		ก๊าซ NO ที่เข้าสู่ห้องทดลอง		การทดลองครั้งที่	ตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์พาสสีพในห้องทดลอง	ระยะเวลาสัมผัสก๊าซ (ชั่วโมง)	ผลการทดลอง		
	หน่วยส่วนในล้านส่วน	หน่วยนาโนโมลต่อลูกบาศก์เมตร	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	ระยะเวลาการปล่อยก๊าซ (วินาที)				ค่า Absorbance	ความเข้มข้นของ NO_2^- ในตัวอย่าง (ไมโครโมลาร์)	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ($x10^{-5}$ ตร.ม./วินาที)
22/12/47	0.15	6130	110	45	2	1	4	0.203	8.093	1.89
						2	4	0.199	7.907	1.85
						3	4	0.203	8.093	1.89
						4	4	0.197	7.813	1.82
23/12/47	0.20	8174	110	60	1	1	4	0.266	11.037	1.93
						2	4	0.259	10.710	1.87
						3	4	0.262	10.850	1.90
						4	4	0.260	10.757	1.88
					2	1	4	0.267	11.084	1.94
						2	4	0.261	10.804	1.89
						3	4	0.265	10.991	1.92
						4	4	0.259	10.710	1.87

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพโดยใช้ห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนด		ก๊าซ NO ที่เข้าสู่ห้องทดลอง		การทดลองครั้งที่	ตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์พาสสีพในห้องทดลอง	ระยะเวลาสัมผัสก๊าซ (ชั่วโมง)	ผลการทดลอง		
	หน่วยส่วนในล้านส่วน	หน่วยนาโนโมลต่อลูกบาศก์เมตร	อัตราการไหล (ลบ.ซม./นาที)	ระยะเวลาการปล่อยก๊าซ (วินาที)				ค่า Absorbance	ความเข้มข้นของ NO_2^- ในตัวอย่าง (ไมโครโมลาร์)	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร ($x10^{-5}$ ตร.ม./วินาที)
27/12/47	0.25	10217	110	75	1	1	4	0.322	13.654	1.91
						2	4	0.317	13.421	1.88
						3	4	0.320	13.561	1.90
						4	4	0.319	13.514	1.89
					2	1	4	0.323	13.701	1.92
						2	4	0.319	13.514	1.89
						3	4	0.321	13.607	1.91
						4	4	0.317	13.421	1.88
								สัมประสิทธิการแพร่ของสารโดยเฉลี่ย ($x10^{-5}$ ตร.ม./วินาที)		1.88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ความเข้มข้นของไนโตรเจนไดออกไซด์จากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ได้จากห้องทดลอง

ในการหาค่าความเข้มข้นของ NO_2 ภายในห้องทดลอง จะต้องคำนวณหาค่าความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 จากแบลงค์อุปกรณ์พาสสีพก่อน (โดยใช้อุปกรณ์พาสสีพชุดที่จะทำการทดลองในวันนั้น แต่ไม่เปิดถุงให้สัมผัสกับอากาศภายนอก) ซึ่งพบว่าจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.003 ส่วนในล้านส่วน ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพโดยเฉลี่ยที่หาได้จากห้องทดลอง มาคำนวณหาความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยใช้สูตรที่ 3.1 ซึ่งจะได้ตามตารางที่ 4.9 และเมื่อนำผลความเข้มข้นไปใช้วิเคราะห์ต่อ จะต้องนำค่าที่คำนวณได้ไปลบกับความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 จากแบลงค์อุปกรณ์พาสสีพก่อน เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เป็นจริงจากภายในห้องทดลอง จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความเที่ยงตรงในการทดสอบจากการทดลองซ้ำ โดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนดก่อนเข้าสู่ห้องทดลองเป็น 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 ส่วนในล้านส่วน ความน่าเชื่อถือของการทดลองจะเป็น 92.19, 90.00, 86.01, 81.40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.8 การหาค่าความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 จากแบลงค์อุปกรณ์พาสสีพ

วัน/เดือน/ปี	การทดลองครั้งที่	ระยะเวลาสัมผัสก๊าซ (ชั่วโมง)	ผลที่ได้จากการวัดความเข้มข้น			
			ค่า Absorbance	ความเข้มข้นของ NO_2^- ในตัวอย่าง (ไมโครโมลาร์)	ความเข้มข้นของ NO_2 (นาโนโมล/ลบ.ม.)	ความเข้มข้นของ NO_2 (สนล.)
17/12/47	1	4	0.032	0.103	95.498	0.002
20/12/47	2	4	0.033	0.150	138.906	0.003
21/12/47	3	4	0.034	0.196	182.314	0.004
22/12/47	4	4	0.032	0.103	95.498	0.002
23/12/47	5	4	0.033	0.150	138.906	0.003
24/12/47	6	4	0.032	0.103	95.498	0.002
27/12/47	7	4	0.033	0.150	138.906	0.003
28/12/47	8	4	0.035	0.243	225.722	0.006
					ค่าเฉลี่ย	0.003

ตารางที่ 4.9 การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพเท่ากับ 1.88 x 10^{-5} ตร.ม./วินาที

ความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนด (ส่วนในล้านส่วน)	การทดลองครั้งที่	ตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์พาสสีพในห้องทดลอง	ผลการทดลอง			
			ค่า Absorbance	ความเข้มข้นของ NO_2^- ในตัวอย่าง (ไมโครโมลาร์)	ความเข้มข้นของ NO_2 (นาโนโมล/ลบ.ม.)	ความเข้มข้นของ NO_2 (ส่วนในล้านส่วน)
0.10	1	1	0.146	5.430	4176.227	0.102
		2	0.142	5.243	4032.467	0.099
		3	0.145	5.383	4140.287	0.101
		4	0.139	5.103	3924.647	0.096
	2	1	0.148	5.523	4248.107	0.104
		2	0.143	5.290	4068.407	0.100
		3	0.145	5.383	4140.287	0.101
		4	0.140	5.150	3960.587	0.097
0.15	1	1	0.204	8.140	6260.747	0.153
		2	0.203	8.093	6224.807	0.152
		3	0.205	8.187	6296.687	0.154
		4	0.201	8.000	6152.927	0.151
	2	1	0.203	8.093	6224.807	0.152
		2	0.199	7.907	6081.047	0.149
		3	0.203	8.093	6224.807	0.152
		4	0.197	7.813	6009.167	0.147
0.20	1	1	0.266	11.037	8489.027	0.208
		2	0.259	10.710	8237.447	0.202
		3	0.262	10.850	8345.267	0.204
		4	0.260	10.757	8273.387	0.202
	2	1	0.267	11.084	8524.967	0.209
		2	0.261	10.804	8309.327	0.203
		3	0.265	10.991	8453.087	0.207
		4	0.259	10.710	8237.447	0.202
0.25	1	1	0.322	13.654	10501.666	0.257
		2	0.317	13.421	10321.967	0.253
		3	0.320	13.561	10429.787	0.255
		4	0.319	13.514	10393.847	0.254
	2	1	0.323	13.701	10537.606	0.258
		2	0.319	13.514	10393.847	0.254
		3	0.321	13.607	10465.727	0.256
		4	0.317	13.421	10321.967	0.253

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงในการทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 ภายในห้องทดลองจากการทดลองซ้ำ (Retest Method) โดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

ความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนดก่อนเข้าสู่ห้องทดลอง (ส่วนในล้านส่วน)	ตำแหน่งที่วาง Passive sampler ภายในห้องทดลอง	ความเข้มข้นของ NO_2 จากการทดลอง (ส่วนในล้านส่วน)		XY	X^2	Y^2	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง XY (r_{xy})	ความน่าเชื่อถือของการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1 (X)	ครั้งที่ 2 (Y)					
0.10	1	0.099	0.101	0.010	0.010	0.010	0.960	92.19
	2	0.096	0.097	0.009	0.009	0.009		
	3	0.098	0.098	0.010	0.010	0.010		
	4	0.093	0.094	0.009	0.009	0.009		
	รวม	0.386	0.390	0.038	0.037	0.038		
0.15	1	0.150	0.149	0.022	0.023	0.022	0.949	90.00
	2	0.149	0.146	0.022	0.022	0.021		
	3	0.151	0.149	0.022	0.023	0.022		
	4	0.148	0.144	0.021	0.022	0.021		
	รวม	0.598	0.588	0.088	0.089	0.086		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงในการทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 ภายในห้องทดลองจากการทดลองซ้ำ (Retest Method) โดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

ความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนดก่อนเข้าสู่ห้องทดลอง (ส่วนในล้านส่วน)	ตำแหน่งที่วาง Passive sampler ภายในห้องทดลอง	ความเข้มข้นของ NO_2 จากการทดลอง (ส่วนในล้านส่วน)		XY	X^2	Y^2	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง XY (r_{xy})	ความน่าเชื่อถือของการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)
		ครั้งที่ 1 (X)	ครั้งที่ 2 (Y)					
0.20	1	0.205	0.206	0.042	0.042	0.042	0.927	86.01
	2	0.199	0.200	0.040	0.040	0.040		
	3	0.201	0.204	0.041	0.040	0.042		
	4	0.199	0.199	0.040	0.040	0.040		
	รวม	0.804	0.809	0.163	0.162	0.164		
0.25	1	0.254	0.255	0.065	0.065	0.065	0.902	81.40
	2	0.250	0.251	0.063	0.063	0.063		
	3	0.252	0.253	0.064	0.064	0.064		
	4	0.251	0.250	0.063	0.063	0.063		
	รวม	1.007	1.009	0.254	0.254	0.255		

ในกรณีที่ต้องการทราบว่าค่าความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนดก่อนเข้าสู่ห้องทดลองเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ NO_2 ที่วัดได้ภายในห้องทดลองได้ผลแตกต่างกันหรือไม่ จะใช้การทดสอบค่า t ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งแสดงได้ในตารางที่ 4.11 จะเห็นว่าค่า t ที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวกคือ 0.006 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า t ในตารางที่ 3.4 (ที่ $\alpha = 0.01$, df = 6 ค่า t จากตารางจะได้เท่ากับ 3.707) จึงยอมรับว่าผลการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 และความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 ที่กำหนดก่อนเข้าสู่ห้องทดลองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

ตารางที่ 4.11 การหาค่า t จากการทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 ภายในห้องทดลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพเท่ากับ 1.88×10^{-5} ตร.ม./วินาที

ความเข้มข้นของ NO_2 ที่กำหนดก่อนเข้าสู่ห้องทดลอง (สนล.)	ตำแหน่งที่วาง Passive sampler ภายในห้องทดลอง	ความเข้มข้นของ NO_2 จากการทดลอง (สนล.)		ความเข้มข้นของ NO_2 โดยเฉลี่ย (สนล.)	การทดสอบค่า t
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2		
0.10	1	0.099	0.101	0.097	0.0060
	2	0.096	0.097		
	3	0.098	0.098		
	4	0.093	0.094		
0.15	1	0.150	0.149	0.148	
	2	0.149	0.146		
	3	0.151	0.149		
	4	0.148	0.144		
0.20	1	0.205	0.206	0.202	
	2	0.199	0.200		
	3	0.201	0.204		
	4	0.199	0.199		
0.25	1	0.254	0.255	0.252	
	2	0.250	0.251		
	3	0.252	0.253		
	4	0.251	0.250		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยเรื่องการทดสอบสมรรถนะห้องทดลองเพื่อใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศนี้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบห้องทดลอง ให้เป็นไปตามหลักกลศาสตร์ของไหล เพื่อที่จะให้ก๊าซไหลผ่านเข้าสู่ห้องทดลองได้อย่างทั่วถึงตลอดทั้งห้อง โดยวัสดุที่ใช้ทำเป็นสแตนเลส ที่มีความทนทานและไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซที่ใช้ทดลอง บริเวณด้านหน้าห้องทดลองได้ติดตั้งกระจกเพื่อให้เห็นการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างชัดเจน และมีการตรวจสอบเป็นอย่างดีว่าไม่เกิดรอยรั่วตรงข้อต่อตามจุดต่างๆ สำหรับขั้นตอนการทดลองผู้วิจัยให้ข้อสังเกตดังนี้

5.1.1 ในการทดลองการกระจายตัวของก๊าซจะใช้ควันธูป ซึ่งมีลักษณะเป็นควันร้อน ดังนั้นตอนเริ่มต้นปล่อยควันเข้าสู่ห้องทดลอง ควันจึงลอยขึ้นสู่ส่วนบนของห้องทดลองก่อนกระจายจนทั่วห้องทดลอง ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของก๊าซ โดยใช้เวลามากที่สุดเพียง 30 วินาที ในการที่ก๊าซจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งห้องทดลอง และจากการทดลองครั้งนี้ไม่พบว่ามีควันรั่วออกตามจุดรอยต่อของห้องทดลอง

5.1.2 การตั้งค่าอุณหภูมิในขั้นตอนทดสอบสมรรถนะห้องทดลอง ซึ่งใช้ระยะเวลาในการทดสอบที่อุณหภูมิแต่ละค่าประมาณ 8 ชั่วโมงจำนวน 3 ครั้ง ผลที่ได้จะมีค่าคงที่ตลอดการทดลอง และเนื่องจากการทดลองในงานวิจัยนี้ ไม่ได้ควบคุมความชื้นภายในห้องทดลอง เพราะต้องการดูว่าอุณหภูมิที่กำหนดในแต่ละค่านั้น จะให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องทดลองคงที่หรือเปลี่ยนแปลงอย่างไร ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยเมื่อกำหนดอุณหภูมิภายในห้องทดลองเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามากที่สุดคือ 3.82 เปอร์เซ็นต์ และจากความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง อุณหภูมิที่กำหนดกับความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยที่วัดได้ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มจะลดลง เพราะความชื้นสัมพัทธ์คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่มีได้เมื่ออากาศนั้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความชื้นอิ่มตัวในอากาศมีมากขึ้น ในขณะที่ความชื้นจริงมีค่าคงที่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศการลดลง

5.1.3 ห้องทดลองที่ออกแบบมานี้ทำจากสแตนเลส ซึ่งถ้าใช้ระยะเวลาในการทดลองนานกว่านี้ อาจต้องใช้แผ่นยางติดคลุมโดยรอบห้องทดลอง เพื่อใช้เป็นฉนวนช่วยในการควบคุมอุณหภูมิ อีกทั้งเมื่อนำห้องทดลองไปทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิต่ำ เช่นที่ 15 หรือ 20 องศาเซลเซียส ทำให้มีไอน้ำเกาะบริเวณโดยรอบห้องทดลอง เมื่อทดลองเป็นระยะเวลานานๆ ไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ทำให้ช่วงท้ายของการทดลองค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นการออกแบบห้องทดลองในครั้งต่อไป ควรให้พื้นห้องทดลองเอียงลงด้านใดด้านหนึ่งเล็กน้อย และเจาะรูทำฝาสำหรับปิดเปิด เพื่อให้น้ำสามารถไหลออกไปได้

5.1.4 เนื่องจากอุปกรณ์พาสสีพยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์นี้จึงต้องทดลองขึ้นเอง โดยใช้ห้องทดลองที่ออกแบบไว้ เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้คำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อได้ ซึ่งจากการทดลองจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยเฉลี่ยสำหรับอุปกรณ์พาสสีพชนิดนี้อยู่ที่ 1.88×10^{-5} ตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในอุปกรณ์พาสสีพแบบเดียวกันที่เคยมีผู้ทดลองไว้ (ที่ 1.54×10^{-5} ตารางเมตรต่อวินาที) พบว่ามีค่าต่างกันประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับ ลักษณะของแบบห้องทดลอง และระยะเวลารับสัมผัสมลพิษของอุปกรณ์พาสสีพที่ต่างกัน เป็นต้น

5.2 สรุปผลการวิจัย

ในด้านการทดสอบสมรรถนะของห้องทดลองที่ออกแบบ ได้แบ่งการทดสอบออกเป็นหลายขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีข้อสรุปผลการวิเคราะห์ดังนี้

5.2.1 การกระจายตัวของก๊าซเป็นไปอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอตลอดทั้งห้องทดลองและไม่มีการรั่วซึมออกภายนอกตามรอยต่อต่างๆ ทั้งนี้พบว่าถ้าเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซที่ปล่อยเข้าสู่ห้องทดลองจะทำให้ก๊าซเกิดการกระจายได้เร็วยิ่งขึ้น

5.2.2 อุณหภูมิภายในห้องทดลองที่กำหนดตั้งแต่ 15 – 40 องศาเซลเซียส(ตามสภาวะภูมิอากาศของประเทศไทย) ได้ค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงในการทดลองแต่ละครั้ง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการวัดต่ำสุดที่ ±0.006 องศาเซลเซียสและสูงสุดที่ ±0.014 องศาเซลเซียส ค่าที่ได้ยังอยู่ในช่วงที่กำหนด (±0.5 ^{0}C) ดังนั้นจึงเป็นที่ยอมรับได้

5.2.3 การจำลองความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ภายในห้องทดลอง ตามสภาวะและความเข้มข้นที่กำหนด พบว่าเมื่อกำหนดอุณหภูมิภายในห้องทดลองอยู่ที่ 15, 20, 25, 30, 35, 40 องศาเซลเซียส และใช้การทดสอบค่าที (t-test) เพื่อเทียบค่าระหว่างความเข้มข้นของ CO ที่วัดได้

ภายในห้องทดลองกับค่าความเข้มข้นของ CO ตามที่กำหนดไว้ก่อนเข้าสู่ห้องทดลอง จะได้ว่าผลการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO และความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่กำหนดไว้นั้น แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งหมายความว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่วัดได้ภายในห้องทดลอง และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่กำหนดไว้มีค่าไม่แตกต่างกัน

สำหรับการนำเอาห้องทดลองไปพัฒนาใช้ หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าห้องทดลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยเฉลี่ย สำหรับอุปกรณ์พาสสีพชนิดนี้อยู่ที่ 1.88×10^{-5} ตารางเมตรต่อวินาที เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ ไปทำการหาค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของการทดลอง จากการทดลองซ้ำโดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน พบว่าหากทำการทดลองซ้ำอีกครั้งผลที่ได้จะให้ค่าเหมือนเดิมมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของค่าที่วัดได้จากการทดลองทั้งหมด และเมื่อใช้การทดสอบค่าที (t-test) เพื่อเทียบค่าระหว่างความเข้มข้นของ NO_2 ที่วัดได้ภายในห้องทดลองกับค่าความเข้มข้นของ NO_2 ตามที่กำหนดไว้ก่อนเข้าสู่ห้องทดลอง พบว่าผลการทดลองวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 และความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 ที่กำหนดก่อนเข้าสู่ห้องทดลองนั้น แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งหมายความว่า ค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่วัดได้ภายในห้องทดลอง และความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่กำหนดไว้มีค่าไม่แตกต่างกัน

5.3 **ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย** มีดังนี้

5.3.1 ห้องทดลองในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศที่สำคัญอื่นๆได้อีกมากมาย ซึ่งอาจต้องประยุกต์หรือดัดแปลงอีกเล็กน้อย เพื่อให้เหมาะสมกับอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างชนิดนั้นๆ

5.3.2 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศที่สร้างขึ้นใหม่ สามารถนำมาเทียบเพื่อบอกถึงความถูกต้องแม่นยำ กับความเข้มข้นของสารมลพิษ ที่กำหนดขึ้นภายใต้สภาวะต่างๆ ในห้องทดลองนี้ได้

5.3.3 ห้องทดลองในงานวิจัยนี้ไม่ได้ควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์ไว้ ดังนั้นถ้าต้องการที่จะดูผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการทดลอง ต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และวงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์. เอกสารการประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปีครั้งที่ 15. (กรกฎาคม 2546): 3-5.

ควบคุมมลพิษ, กรม. รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี 2545. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ, 2546.

ชูชาติ อารีจิตรานุสรณ์. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, 2544.

ชูศรี วงศ์รัตนะ. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร: เทพเนรมิตการพิมพ์, 2546.

นพภาพร พานิช, แสงสันติ์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

วัฒนา สุนทรธัย. เรียนสถิติด้วย SPSS ภาคการวิเคราะห์เครื่องมือวิจัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: วิทยพัฒน์, 2547.

วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ. อุตุนิยมวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: อักษราพิพัฒน์, 2540.

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, ชิคาโอะ คานาโอกะ และ จุฑามาศ เกตุทัต. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. การออกแบบระบบขนถ่ายวัสดุ . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2546.

อุตุนิยมวิทยา, กรม. สถิติอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของประเทศไทยในรอบ 52 ปี (พ.ศ.2514–2543), 2547.

ภาษาอังกฤษ

Aberdeen Test Center [ATC]. Environmental Chamber High Temperature High Humidity[online]. Available from: http://www.atc.army.mil/fac_guide/facilities/environchamhigh.htm[2002, Dec 9]

American National Standard. Fundamental Governing the Design and Operation of Local Exhaust Systems. American National Standard, New York: 1972.

Barbara, J. and James, N. Environmental Chamber. Atmospheric Chemistry 6 (1986): 380-400.

Carter, William P.L. Next Generation Environmental Chamber Facility for Chemical Mechanism and VOC Reactivity Evaluation. Environmental Research and Technology 17 (June 2001): 22-28.

Cavallo, Al. Environmental Chamber [online]. Available from: http://www.eml.doe.gov[2003, Jan 13]

Fresenius, J. Comparison of Passive and Active Sampling Method for the Determination of Nitrogen Dioxide in Urban Air. Anal Chemistry. 360 (1998): 69-73.

Johnson, S. Environmental Test Chamber [online]. Available from: http://www.cszinc.com/environmental-test-chamber.htm [2002, Jan 13]

Keywood, M.D.; Beer, T.; Ayers, G.P.; Gillett, R.W.; Powell, J.; and Manins, P.C. The Use of Passive Gas Samplers to Monitor Personal Exposure to Environmental Pollutants. Clean Air Journal (Australia and New Zealand) 32 (August 1998): 32-36.

Lodge, James P. Jr. Methods of Air Sampling and Analysis. 3 rd ed. Michigan: Lewis Publishers, 1991.

Nevada Automotive Test Center [NATC]. Environmental Chamber Test [online]. 2002. Available from: http://www.natc-ht.com/Header.phtml?Page= Chamber.htm[2003, January 13]

Panther, B.C. and Hooper, M.A. Methods for Analysis of Nitrogen Dioxide, Sulphur Dioxide and Ozone in Air Using Passive Samplers in National Workshop. Innovative Air Quality Monitoring Tools for Gaseous and Odors 12 (June 2001): 14-22.

Yanagisawa,Y. and Nishimaru, H. A Personal Sampler for Measurement of Nitrogen Dioxide in Ambient Air. J. Japan Society of Air Pollution 15 (1980): 8-12.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

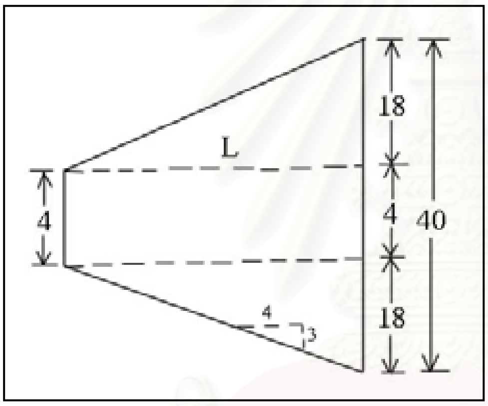
รายละเอียดของห้องทดลองเพื่อใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดของห้องทดลองเพื่อใช้
ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ

ตัวอย่างการคำนวณออกแบบห้องทดลองและอัตราการไหลของก๊าซที่เข้าสู่ห้องทดลอง

ห้องทดลอง (Chamber) จะออกแบบให้มีลักษณะทางเข้าและออกของก๊าซ เป็นรูปปิระมิดฐานสี่เหลี่ยม โดยภายในห้องทดลองจะมีขนาดพอที่จะใส่ชุดอุปกรณ์ทดลองได้แก่ พัดลมขนาดเล็ก 4 ตัว ลวดทำความร้อน ลวดทำความเย็น เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นเป็นต้น การออกแบบปากทางเข้าของก๊าซจะกำหนดให้อัตราความลาดชันเป็น 3:4 และกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดส่วนทำการทดลองมีขนาดกว้าง เท่ากับ 40 ซม. ปากท่อทางเข้ากว้าง 4 ซม. และให้ความยาวของช่วงทางเข้าก๊าซก่อนเข้าสู่พื้นที่ส่วนทำการทดลองเป็น L



จากการเทียบอัตราส่วนจะได้

$$\frac{L}{18} = \frac{4}{3}$$

$$L = \frac{4}{3} \times 18$$

$$L = 24cm.$$

ดังนั้นความยาวของช่องทางเข้าก๊าซ จะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 24 ซม.

รูปที่ ก.1 ขนาดส่วนทางเข้าก๊าซของห้องทดลอง

ด้านทางออกของก๊าซก็ออกแบบในลักษณะเดียวกัน ทำให้โดยรวมแล้วห้องทดลองจะมีความยาว x ความกว้าง x สูง เท่ากับ 45 x 40 x 40 ซม. คิดเป็นปริมาตร 0.11 ลบ.ม. หรือ 110 ลิตร สำหรับแบบแสดงรายละเอียดของห้องทดลองที่ออกแบบแสดงในรูปที่ ก.5 – ก.10 ตามลำดับ

ตัวอย่างวิธีคำนวณเพื่อทดสอบค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

หาอัตราการไหลของอากาศที่ต้องนำมาใช้ในการเจือจางก๊าซ CO เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน โดยกำหนดให้

- ความเข้มข้นของ CO ที่ต้องการภายในห้องทดลองเท่ากับ 1.0 ส่วนในล้านส่วน
- อากาศภายนอกที่จะนำมาเจือจางมีความเข้มข้นของ CO เท่ากับ ส่วนในล้านส่วน
- อัตราการไหลจากถังก๊าซเท่ากับ 0.1 ลิตรต่อนาที (100 ลบ.ซม./นาที)

ดังนั้นจะได้

$$\frac{(200\,\text{ppm} \times 0.1\ \text{l/min}) + (0\,\text{ppm} \times X\ \text{l/min})}{(X + 0.1)\ \text{l/min}} = 1.0\ \text{ppm.}$$

$$\frac{20}{x + 0.1} = 1.0$$

$$20 = 1.0X + 0.1$$

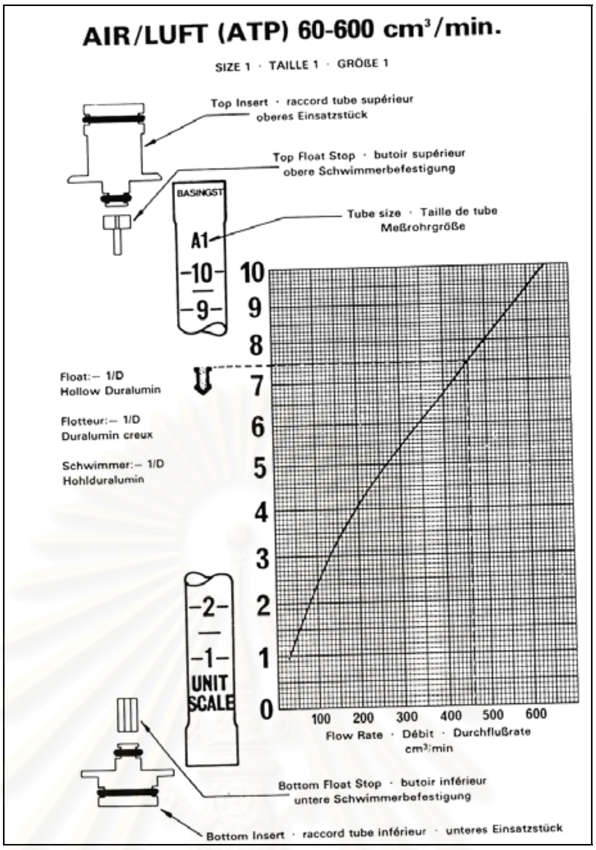
$$X = \frac{19.9}{1.0} = 19.9 \approx 20\ \text{l/min}$$

ในงานวิจัยนี้จะทดลองวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในห้องทดลอง โดยใช้ระดับความเข้มข้นของก๊าซต่ำสุดคือ 1.0 ส่วนในล้านส่วน และเพิ่มขึ้นจนถึง 32.0 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งจากการคำนวณจะต้องให้อัตราการไหลของก๊าซจากถังก๊าซ CO เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน อยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-1.6 ลิตรต่อนาทีและอัตราการไหลของอากาศภายนอกอยู่ในช่วง 10-20 ลิตรต่อนาที นำมาผสมเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าสู่ห้องทดลองตามที่ต้องการ ดังแสดงในตารางที่ ก.1 สำหรับเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมี 3 ช่วง ตามการใช้งานคือ 60-600, 200-2000 ลบ.ซม./นาทีและ 6-50 ลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ ก.2-ก.4

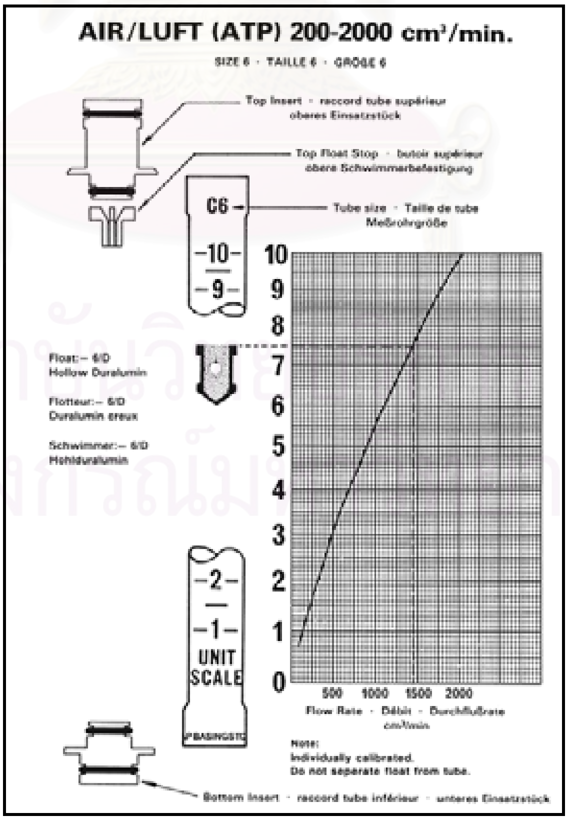
ตารางที่ ก.1 อัตราการไหลของก๊าซที่ความเข้มข้นต่างๆภายในห้องทดลอง

ระดับความเข้มข้น (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราการไหลของก๊าซจากถัง CO เข้มข้น (ลบ.ซม./นาที)	อัตราการไหลของอากาศภายนอก (ลิตรต่อนาที)	หมายเหตุ
1.0	100	20	ถังก๊าซ CO มาตรฐาน เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน
2.0	200	20	
4.0	300	15	
8.0	400	10	
16.0	900	10	
24.0	1200	10	
32.0	1600	10	

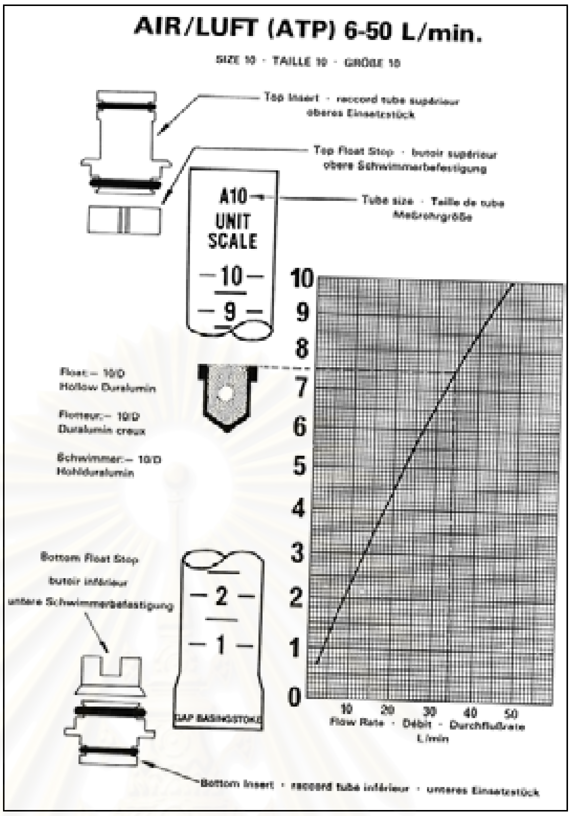
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.2 การเทียบเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซ CO ในช่วง 60-600 ลบ.ซม./นาที



รูปที่ ก.3 การเทียบเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซ CO ในช่วง 200-2000 ลบ.ซม./นาที



รูปที่ ก.4 การเทียบเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซ CO ในช่วง 6-50 ลิตรต่อนาที

ตัวอย่างวิธีคำนวณเพื่อทดสอบค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

จากการปล่อย NO เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน เข้าสู่ห้องทดลอง โดยให้มีความเข้มข้นของ NO_2 ภายในห้องทดลองขนาด 110 ลิตรเท่ากับ 0.1 ส่วนในล้านส่วน จะหาระยะเวลาในการปล่อยก๊าซเข้าสู่ห้องทดลอง

โดยใช้สูตร $N_1V_1 = N_2V_2$

$$(200 \text{ ส่วนในล้านส่วน})(V_1) = (0.1 \text{ ส่วนในล้านส่วน})(110 \text{ ลิตร})$$

$$V_1 = 0.055 \text{ ลิตร} = 55 \text{ ลบ.ซม.}$$

จาก
$$t = \frac{V}{Q} = \frac{55 \text{ ลบ.ซม.}}{110 \text{ ลบ.ซม./นาที}}$$

$$t = 0.5 \text{ นาที หรือ } 30 \text{ วินาที}$$

ซึ่งทำให้ได้ระยะเวลาการปล่อยก๊าซที่ความเข้มข้นต่างๆตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ระยะเวลาการปล่อยก๊าซสำหรับการทดลองหาความเข้มข้นของก๊าซ NO_2

ความเข้มข้นของ NO_2 (สนล.)	อัตราการไหลเข้าของก๊าซ NO_2 เข้มข้น 200 สนล. (ลบ.ซม./นาที)	ระยะเวลาการปล่อยก๊าซเข้าสู่ห้องทดลอง (วินาที)
0.10	110	30
0.15	110	45
0.20	110	60
0.25	110	75

จากตัวอย่าง ถ้ากำหนดให้ความเข้มข้นของ NO_2 เท่ากับ 0.10 ส่วนในล้านส่วน
วัดค่า Absorbance ของสารที่สกัดในตำแหน่งที่ 1 ของห้องทดลองได้ 0.146
และจากสมการของ Standard curve คือ y = 0.0214X + 0.0298
จะได้ค่าความเข้มข้นของ NO_2^- เท่ากับ 5.430 ไมโครโมลาร์
จากสูตร

$$[NO_2] = \frac{LV[NO_2^-]}{TD}$$

โดยที่ L = อัตราการเก็บตัวอย่างที่สัมพันธ์กับรูปทรงเท่ากับ 41.2 ต่อเมตร
V = ปริมาตรของสารที่นำมาสกัดหน่วยมิลลิลิตร
$[NO_2^-]$ = ความเข้มข้นของไนไตรต์ในตัวอย่างสารหน่วยไมโครโมลาร์
T = ระยะเวลาที่รับสัมผัสหน่วยวินาที
D = สัมประสิทธิ์การแพร่ของอุปกรณ์พาสสีพที่หาได้จากห้องทดลอง
= เท่ากับ 1.88×10^{-5} ตารางเมตรต่อวินาที

แทนค่าในสมการจะได้

$$= \frac{41.2\,m^{-1} \times 5\,ml \times 5.430\,\mu M}{14400\,s \times 1.88 \times 10^{-5}\,m^2/s}$$

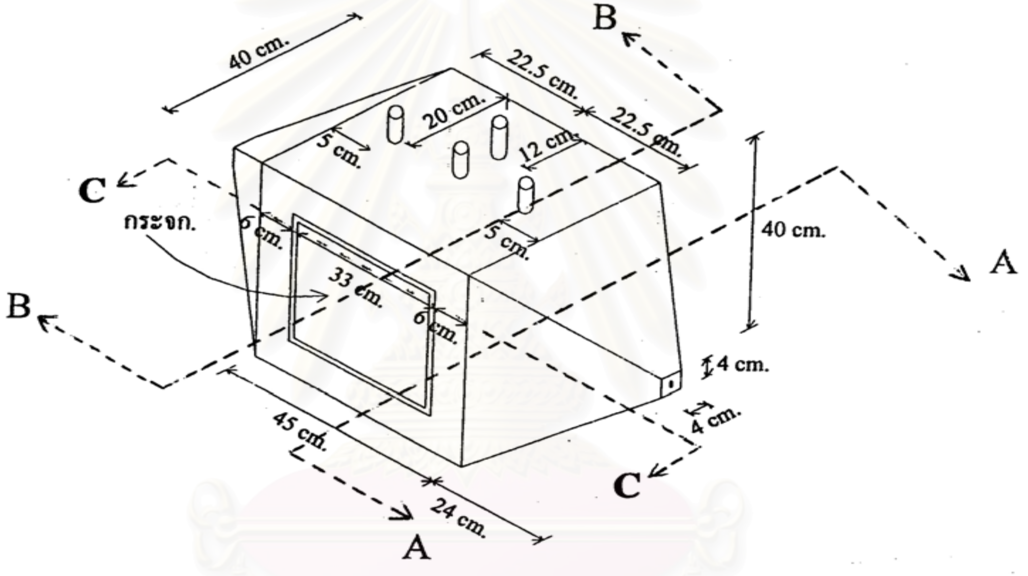
$$= 4176.227\ nmol/m^3$$

ทำการเปลี่ยนหน่วยจาก $nmol/m^3$ เป็น ppm จาก NO_2 1 ppm. = 1880 $\mu g/m^3$ กล่าวคือ

$$[NO_2]_{หน่วย\,ppm} = [NO_2] \times 10^{-9}\ mol/m^3 \times MW_{NO_2}\ (g/mol) \times 10^6\ (\mu g/g) \times \frac{1\ ppm.NO_2}{1880\ \mu g/m^3}$$

แทนค่าจะได้

$$= 4176.227 \times 10^{-9}\ mol/m^3 \times 46\,(g/mol) \times 10^6\ (\mu g/g) \times \frac{1\ ppm.}{1880\ \mu g/m^3} = 0.102\ ppm.$$



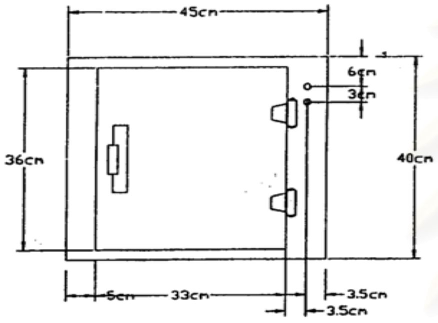
รูปที่ ก.5

ขนาดและรายละเอียดของห้องทดลอง

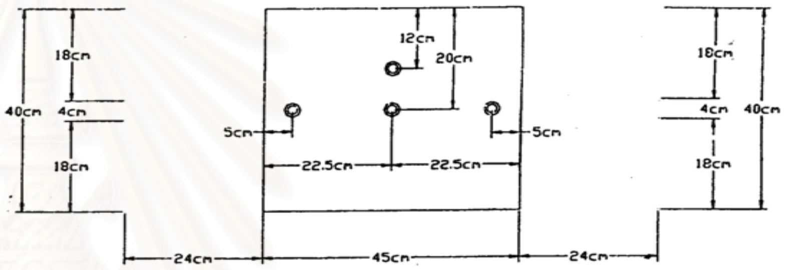
เพื่อใช้ตรวจวัดสารมลพิษอากาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				
Designed by สการ พิพัฒสุกมงคล	Checked by รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์	File name Sakara.dwg	Date 25/07/47	Scale 1:10
2107811 THESIS		CHAMBER		
		หน่วย : เซนติเมตร	Sheet 1/6	

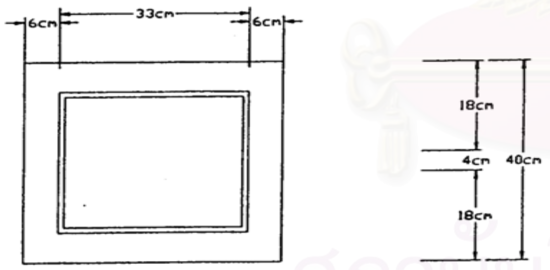
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ELEVATION 2



PLAN

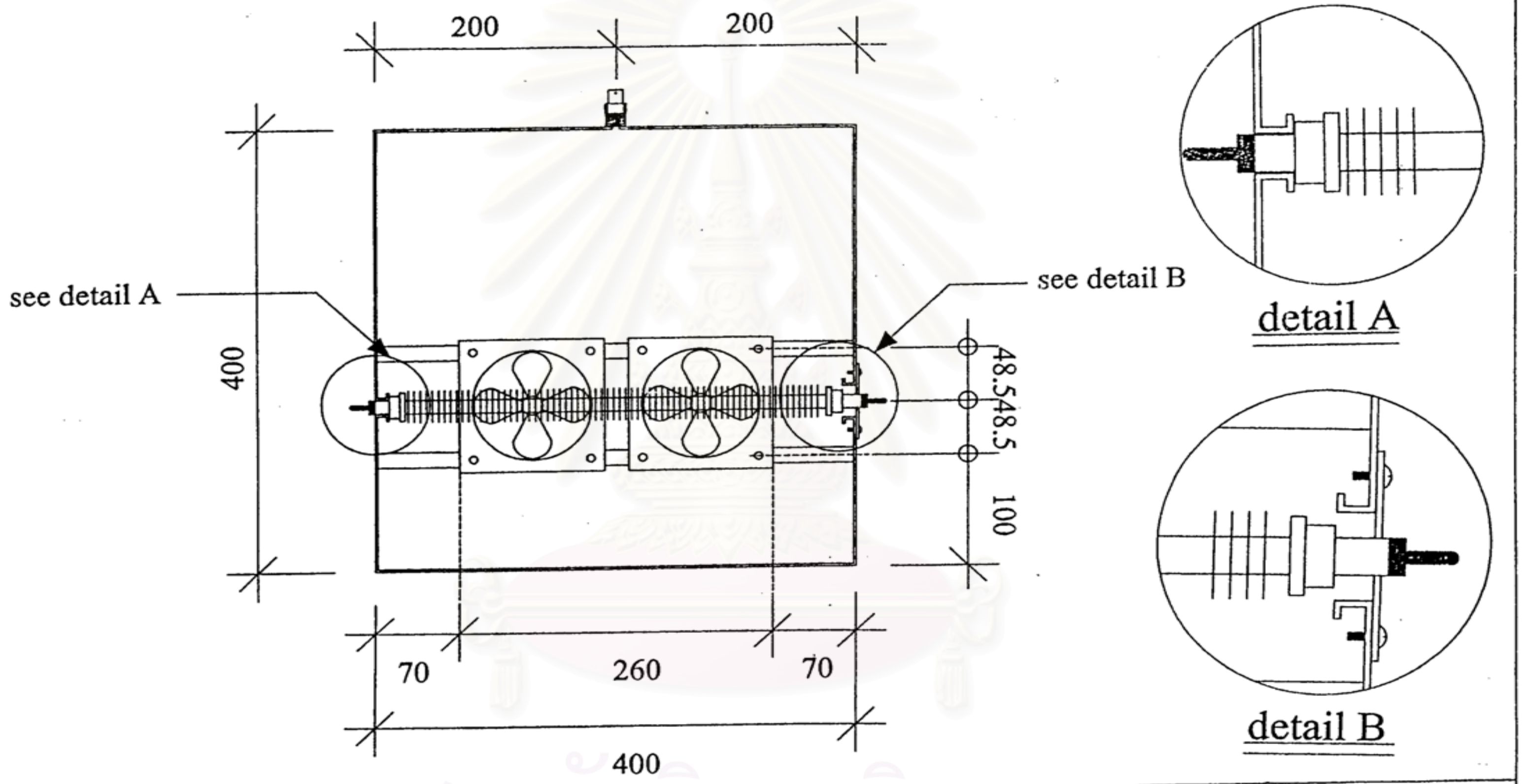


ELEVATION 1

รูปที่ ก.6 ส่วนประกอบในแต่ละด้านของห้องทดลอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				
Designed by สการ ทิพัฒสุภมงคล	Checked by รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์	File name Sakarn.dwg	Date 25/07/47	Scale 1:10
2107811 THESIS		CHAMBER		
		หน่วย : เซนติเมตร	Sheet	2/6

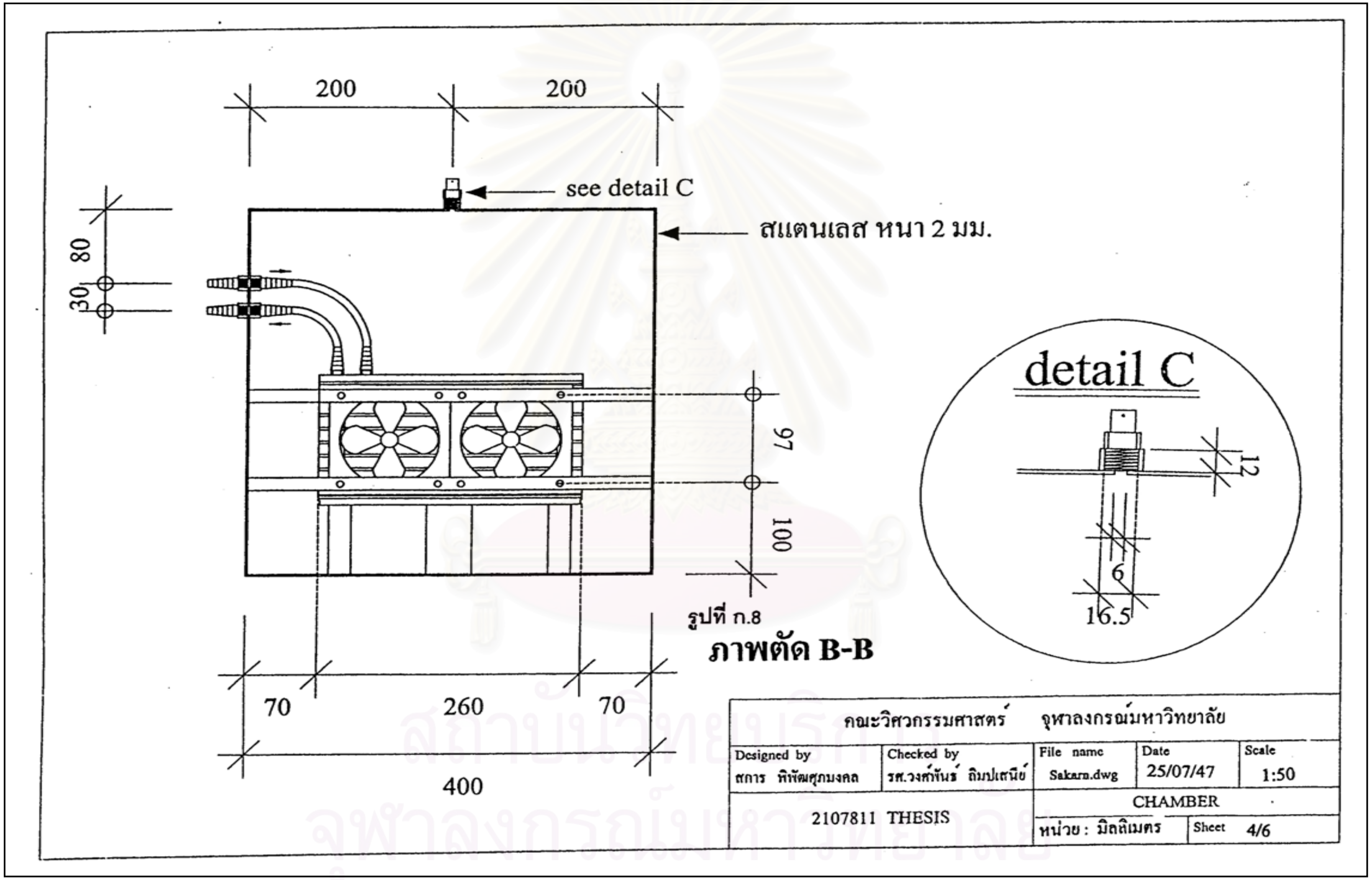
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.7 **ภาพตัด A-A**

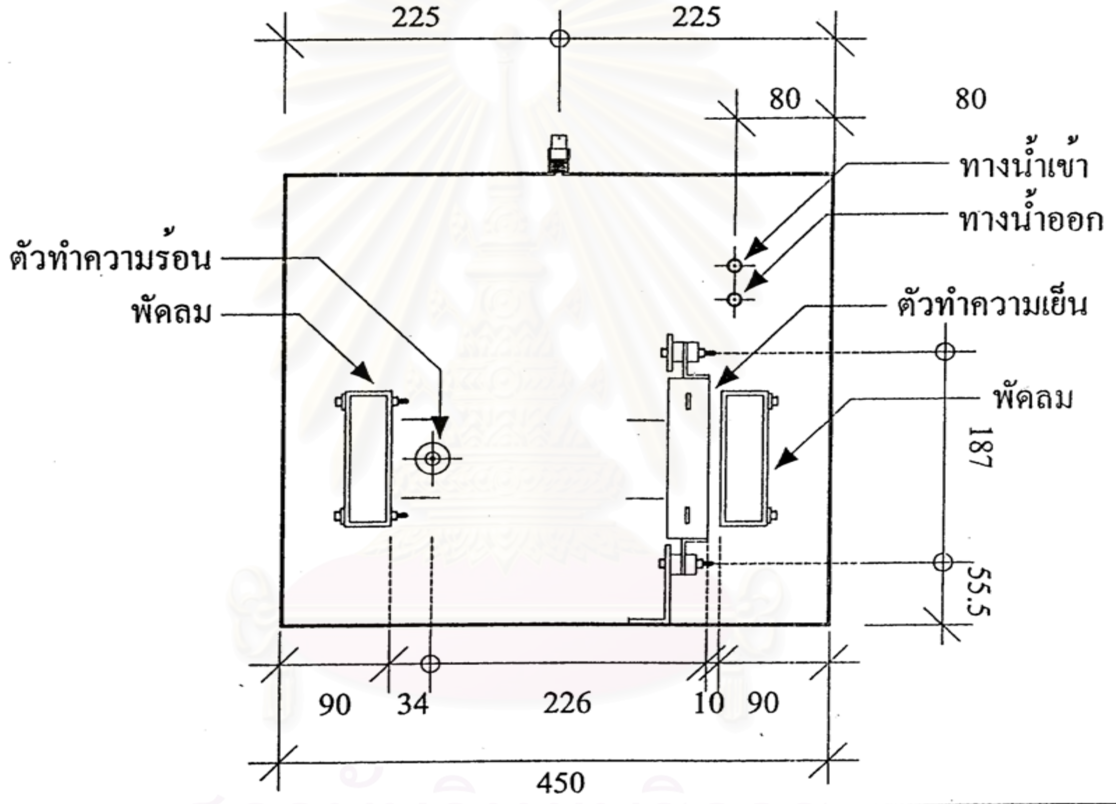
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				
Designed by สการ พิพัฒศุภมงคล	Checked by รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์	File name Sakarn.dwg	Date 25/07/47	Scale 1:50
2107811 THESIS		CHAMBER		
		หน่วย : มิลลิเมตร	Sheet 3/6	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.8
ภาพตัด B-B

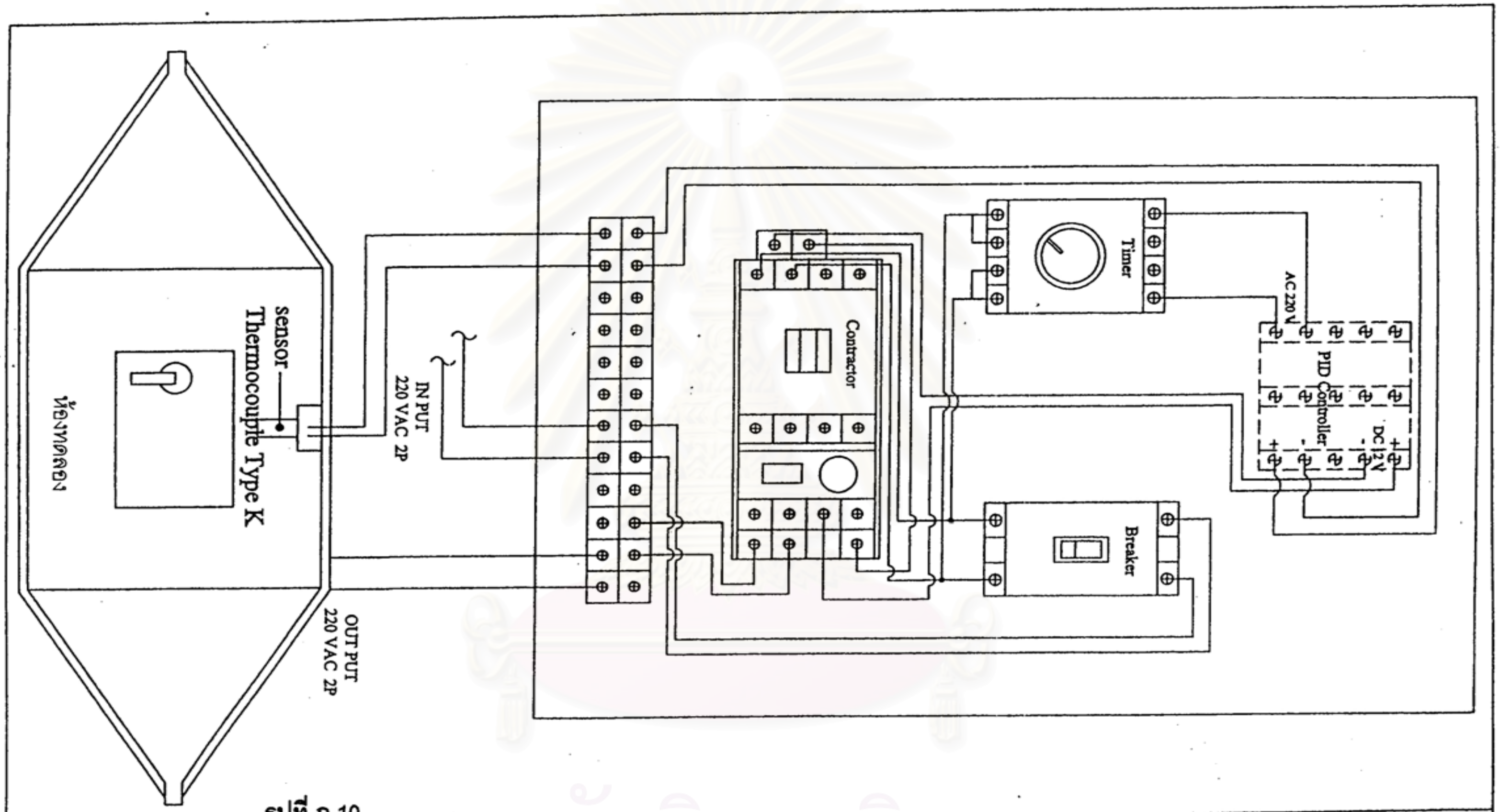
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.9 **ภาพตัด C-C**

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				
Designed by สการ พิพัฒศุภมงคล	Checked by รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์	File name Sakarn.dwg	Date 25/07/47	Scale 1:50
2107811 THESIS		CHAMBER		
		หน่วย : มิลลิเมตร	Sheet 5/6	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.10

**แผนผังวงจรไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ
ภายในห้องทดลอง**

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย				
Designed by สกาว พิพัฒศุภมงคล	Checked by รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์	File name Sakarn.dwg	Date 25/07/47	Scale 1:50
2107811 THESIS		CHAMBER		
		หน่วย : มิลลิเมตร	Sheet 6/6	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
									เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
8/10/47	1.0	100	20	24.7	15	49.8	0.125	1U	40	1.21	58	1.22	76	1.23
								1M	42	1.20	60	1.22	78	1.23
								1L	44	1.19	62	1.21	80	1.22
								2U	46	1.21	64	1.23	82	1.24
								2M	48	1.21	66	1.23	84	1.24
								2L	50	1.20	68	1.22	86	1.23
								3U	52	1.20	70	1.22	88	1.23
								3M	54	1.20	72	1.22	90	1.23
								3L	56	1.19	74	1.22	92	1.22
8/10/47	1.0	100	20	24.9	20	40.7	0.125	1U	40	1.22	58	1.23	76	1.24
								1M	42	1.21	60	1.23	78	1.24
								1L	44	1.21	62	1.22	80	1.23
								2U	46	1.23	64	1.24	82	1.24
								2M	48	1.23	66	1.24	84	1.24
								2L	50	1.22	68	1.23	86	1.24
								3U	52	1.21	70	1.22	88	1.23
								3M	54	1.22	72	1.23	90	1.24
								3L	56	1.22	74	1.22	92	1.23
8/10/47	1.0	100	20	24.6	25	35.2	0.125	1U	40	1.23	58	1.23	76	1.25
								1M	42	1.24	60	1.24	78	1.25
								1L	44	1.22	62	1.23	80	1.24
								2U	46	1.24	64	1.24	82	1.25
								2M	48	1.24	66	1.25	84	1.25
								2L	50	1.23	68	1.24	86	1.24
								3U	52	1.22	70	1.23	88	1.24
								3M	54	1.23	72	1.24	90	1.25
								3L	56	1.23	74	1.23	92	1.24

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ครั้งที่ 1 ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	ครั้งที่ 2 เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ครั้งที่ 2 ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	ครั้งที่ 3 เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ครั้งที่ 3 ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
7/10/47	1.0	100	20	25.3	30	34.6	0.125	1U	40	1.22	58	1.23	76	1.23
								1M	42	1.23	60	1.23	78	1.24
								1L	44	1.22	62	1.22	80	1.23
								2U	46	1.23	64	1.24	82	1.24
								2M	48	1.23	66	1.24	84	1.24
								2L	50	1.23	68	1.23	86	1.24
								3U	52	1.22	70	1.23	88	1.23
								3M	54	1.22	72	1.23	90	1.23
								3L	56	1.22	74	1.22	92	1.23
7/10/47	1.0	100	20	24.9	35	30.1	0.125	1U	40	1.24	58	1.24	76	1.24
								1M	42	1.24	60	1.24	78	1.24
								1L	44	1.23	62	1.24	80	1.25
								2U	46	1.24	64	1.25	82	1.24
								2M	48	1.25	66	1.25	84	1.25
								2L	50	1.24	68	1.24	86	1.24
								3U	52	1.23	70	1.24	88	1.25
								3M	54	1.24	72	1.24	90	1.25
								3L	56	1.23	74	1.24	92	1.24
7/10/47	1.0	100	20	24.7	40	29.5	0.125	1U	40	1.23	58	1.24	76	1.25
								1M	42	1.24	60	1.25	78	1.25
								1L	44	1.23	62	1.24	80	1.24
								2U	46	1.25	64	1.25	82	1.25
								2M	48	1.25	66	1.25	84	1.25
								2L	50	1.24	68	1.24	86	1.24
								3U	52	1.23	70	1.23	88	1.24
								3M	54	1.24	72	1.24	90	1.24
								3L	56	1.24	74	1.24	92	1.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
								ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)		เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
11/10/47	2.0	200	20	25.3	15	36.8	0.125	1U	40	2.21	58	2.22	76	2.24
								1M	42	2.22	60	2.23	78	2.24
								1L	44	2.20	62	2.23	80	2.23
								2U	46	2.22	64	2.24	82	2.25
								2M	48	2.23	66	2.24	84	2.24
								2L	50	2.21	68	2.23	86	2.24
								3U	52	2.21	70	2.23	88	2.24
								3M	54	2.22	72	2.24	90	2.23
								3L	56	2.22	74	2.23	92	2.23
11/10/47	2.0	200	20	25.2	20	31.2	0.125	1U	40	2.23	58	2.24	76	2.24
								1M	42	2.24	60	2.25	78	2.25
								1L	44	2.23	62	2.24	80	2.25
								2U	46	2.24	64	2.25	82	2.25
								2M	48	2.24	66	2.25	84	2.25
								2L	50	2.23	68	2.24	86	2.24
								3U	52	2.23	70	2.24	88	2.24
								3M	54	2.24	72	2.24	90	2.24
								3L	56	2.23	74	2.23	92	2.24
11/10/47	2.0	200	20	24.9	25	29.3	0.125	1U	40	2.22	58	2.23	76	2.24
								1M	42	2.23	60	2.24	78	2.25
								1L	44	2.22	62	2.24	80	2.25
								2U	46	2.23	64	2.24	82	2.25
								2M	48	2.23	66	2.25	84	2.25
								2L	50	2.23	68	2.24	86	2.25
								3U	52	2.22	70	2.24	88	2.24
								3M	54	2.23	72	2.23	90	2.23
								3L	56	2.22	74	2.23	92	2.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
									ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
11/10/47	2.0	200	20	24.8	30	36.8	0.125	1U	40	2.24	58	2.24	76	2.25
								1M	42	2.25	60	2.24	78	2.25
								1L	44	2.25	62	2.24	80	2.24
								2U	46	2.25	64	2.25	82	2.25
								2M	48	2.25	66	2.25	84	2.25
								2L	50	2.24	68	2.25	86	2.24
								3U	52	2.23	70	2.24	88	2.24
								3M	54	2.23	72	2.24	90	2.25
								3L	56	2.23	74	2.24	92	2.24
11/10/47	2.0	200	20	24.9	35	31.2	0.125	1U	40	2.23	58	2.22	76	2.23
								1M	42	2.24	60	2.23	78	2.23
								1L	44	2.23	62	2.23	80	2.24
								2U	46	2.25	64	2.24	82	2.24
								2M	48	2.25	66	2.24	84	2.24
								2L	50	2.24	68	2.24	86	2.25
								3U	52	2.24	70	2.25	88	2.24
								3M	54	2.23	72	2.24	90	2.24
								3L	56	2.23	74	2.24	92	2.24
11/10/47	2.0	200	20	24.9	40	29.3	0.125	1U	40	2.24	58	2.25	76	2.25
								1M	42	2.25	60	2.25	78	2.25
								1L	44	2.25	62	2.25	80	2.25
								2U	46	2.25	64	2.25	82	2.26
								2M	48	2.25	66	2.26	84	2.26
								2L	50	2.24	68	2.25	86	2.25
								3U	52	2.23	70	2.25	88	2.24
								3M	54	2.24	72	2.24	90	2.24
								3L	56	2.24	74	2.24	92	2.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
									ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
12/10/47	4.0	300	15	25.1	15	51.8	0.094	1U	40	4.11	58	4.13	76	4.13
								1M	42	4.12	60	4.13	78	4.14
								1L	44	4.10	62	4.12	80	4.13
								2U	46	4.13	64	4.14	82	4.14
								2M	48	4.13	66	4.14	84	4.14
								2L	50	4.12	68	4.13	86	4.14
								3U	52	4.12	70	4.13	88	4.14
								3M	54	4.11	72	4.13	90	4.13
								3L	56	4.11	74	4.13	92	4.13
12/10/47	4.0	300	15	24.8	20	39.7	0.094	1U	40	4.09	58	4.12	76	4.13
								1M	42	4.10	60	4.12	78	4.14
								1L	44	4.10	62	4.12	80	4.14
								2U	46	4.11	64	4.13	82	4.14
								2M	48	4.12	66	4.13	84	4.15
								2L	50	4.12	68	4.12	86	4.14
								3U	52	4.11	70	4.12	88	4.14
								3M	54	4.11	72	4.12	90	4.14
								3L	56	4.11	74	4.12	92	4.14
12/10/47	4.0	300	15	24.5	25	36.2	0.094	1U	40	4.10	58	4.10	76	4.11
								1M	42	4.10	60	4.11	78	4.12
								1L	44	4.10	62	4.11	80	4.11
								2U	46	4.11	64	4.12	82	4.12
								2M	48	4.11	66	4.12	84	4.12
								2L	50	4.10	68	4.11	86	4.12
								3U	52	4.09	70	4.10	88	4.11
								3M	54	4.09	72	4.09	90	4.11
								3L	56	4.08	74	4.09	92	4.10

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
									ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
12/10/47	4.0	300	15	24.6	30	51.8	0.094	1U	40	4.08	58	4.09	76	4.10
								1M	42	4.09	60	4.10	78	4.11
								1L	44	4.09	62	4.09	80	4.10
								2U	46	4.10	64	4.10	82	4.11
								2M	48	4.09	66	4.11	84	4.11
								2L	50	4.08	68	4.10	86	4.10
								3U	52	4.09	70	4.10	88	4.10
								3M	54	4.08	72	4.09	90	4.10
								3L	56	4.08	74	4.09	92	4.10
12/10/47	4.0	300	15	24.4	35	39.7	0.094	1U	40	4.06	58	4.08	76	4.09
								1M	42	4.06	60	4.09	78	4.10
								1L	44	4.06	62	4.08	80	4.10
								2U	46	4.07	64	4.09	82	4.11
								2M	48	4.07	66	4.10	84	4.12
								2L	50	4.06	68	4.10	86	4.11
								3U	52	4.07	70	4.10	88	4.10
								3M	54	4.06	72	4.09	90	4.10
								3L	56	4.06	74	4.09	92	4.09
12/10/47	4.0	300	15	24.7	40	36.2	0.094	1U	40	4.10	58	4.11	76	4.13
								1M	42	4.11	60	4.12	78	4.14
								1L	44	4.11	62	4.12	80	4.13
								2U	46	4.12	64	4.12	82	4.14
								2M	48	4.12	66	4.13	84	4.14
								2L	50	4.11	68	4.12	86	4.13
								3U	52	4.11	70	4.12	88	4.13
								3M	54	4.10	72	4.12	90	4.12
								3L	56	4.10	74	4.11	92	4.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
									ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
14/10/47	8.0	400	10	23.5	15	50.3	0.065	1U	40	8.12	58	8.13	76	8.14
								1M	42	8.12	60	8.14	78	8.14
								1L	44	8.12	62	8.14	80	8.14
								2U	46	8.13	64	8.15	82	8.15
								2M	48	8.13	66	8.15	84	8.15
								2L	50	8.12	68	8.14	86	8.14
								3U	52	8.13	70	8.13	88	8.14
								3M	54	8.12	72	8.13	90	8.14
								3L	56	8.12	74	8.12	92	8.14
14/10/47	8.0	400	10	23.1	20	42.2	0.065	1U	40	8.13	58	8.14	76	8.13
								1M	42	8.14	60	8.14	78	8.14
								1L	44	8.13	62	8.14	80	8.14
								2U	46	8.14	64	8.14	82	8.15
								2M	48	8.13	66	8.14	84	8.14
								2L	50	8.13	68	8.13	86	8.14
								3U	52	8.12	70	8.14	88	8.14
								3M	54	8.12	72	8.13	90	8.13
								3L	56	8.12	74	8.13	92	8.13
14/10/47	8.0	400	10	22.9	25	38.3	0.065	1U	40	8.11	58	8.13	76	8.14
								1M	42	8.12	60	8.15	78	8.14
								1L	44	8.11	62	8.14	80	8.14
								2U	46	8.13	64	8.15	82	8.15
								2M	48	8.14	66	8.16	84	8.15
								2L	50	8.13	68	8.15	86	8.14
								3U	52	8.14	70	8.15	88	8.15
								3M	54	8.15	72	8.14	90	8.14
								3L	56	8.14	74	8.14	92	8.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
									ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
14/10/47	8.0	400	10	23.0	30	34.1	0.065	1U	40	8.10	58	8.13	76	8.14
								1M	42	8.12	60	8.15	78	8.15
								1L	44	8.11	62	8.14	80	8.15
								2U	46	8.13	64	8.15	82	8.16
								2M	48	8.13	66	8.15	84	8.15
								2L	50	8.13	68	8.14	86	8.15
								3U	52	8.12	70	8.14	88	8.15
								3M	54	8.12	72	8.14	90	8.14
								3L	56	8.12	74	8.13	92	8.14
14/10/47	8.0	400	10	22.9	35	31.5	0.065	1U	40	8.08	58	8.10	76	8.12
								1M	42	8.10	60	8.12	78	8.13
								1L	44	8.09	62	8.12	80	8.13
								2U	46	8.10	64	8.13	82	8.14
								2M	48	8.11	66	8.13	84	8.14
								2L	50	8.11	68	8.12	86	8.13
								3U	52	8.11	70	8.13	88	8.13
								3M	54	8.10	72	8.13	90	8.14
								3L	56	8.10	74	8.13	92	8.13
14/10/47	8.0	400	10	22.8	40	31.3	0.065	1U	40	8.05	58	8.10	76	8.13
								1M	42	8.08	60	8.11	78	8.14
								1L	44	8.07	62	8.11	80	8.14
								2U	46	8.10	64	8.12	82	8.15
								2M	48	8.10	66	8.12	84	8.15
								2L	50	8.09	68	8.12	86	8.15
								3U	52	8.09	70	8.13	88	8.14
								3M	54	8.09	72	8.13	90	8.15
								3L	56	8.09	74	8.13	92	8.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
									ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
15/10/47	16.0	900	10	24.2	15	50.1	0.081	1U	40	15.69	58	15.71	76	15.73
								1M	42	15.70	60	15.72	78	15.74
								1L	44	15.70	62	15.72	80	15.74
								2U	46	15.71	64	15.73	82	15.74
								2M	48	15.72	66	15.74	84	15.75
								2L	50	15.71	68	15.73	86	15.74
								3U	52	15.72	70	15.73	88	15.74
								3M	54	15.72	72	15.73	90	15.74
								3L	56	15.72	74	15.72	92	15.73
15/10/47	16.0	900	10	23.8	20	41.8	0.081	1U	40	15.72	58	15.74	76	15.75
								1M	42	15.73	60	15.75	78	15.75
								1L	44	15.74	62	15.75	80	15.75
								2U	46	15.74	64	15.76	82	15.76
								2M	48	15.75	66	15.76	84	15.76
								2L	50	15.75	68	15.75	86	15.75
								3U	52	15.74	70	15.75	88	15.75
								3M	54	15.74	72	15.74	90	15.75
								3L	56	15.74	74	15.74	92	15.75
15/10/47	16.0	900	10	23.6	25	39.6	0.081	1U	40	15.70	58	15.72	76	15.73
								1M	42	15.72	60	15.73	78	15.74
								1L	44	15.72	62	15.74	80	15.74
								2U	46	15.73	64	15.75	82	15.75
								2M	48	15.74	66	15.75	84	15.75
								2L	50	15.74	68	15.75	86	15.75
								3U	52	15.73	70	15.74	88	15.75
								3M	54	15.72	72	15.75	90	15.75
								3L	56	15.72	74	15.74	92	15.75

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
									ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
15/10/47	16.0	900	10	23.5	30	33.9	0.081	1U	40	15.71	58	15.74	76	15.75
								1M	42	15.72	60	15.75	78	15.75
								1L	44	15.72	62	15.75	80	15.75
								2U	46	15.73	64	15.76	82	15.76
								2M	48	15.74	66	15.77	84	15.76
								2L	50	15.74	68	15.76	86	15.77
								3U	52	15.74	70	15.75	88	15.75
								3M	54	15.74	72	15.75	90	15.76
								3L	56	15.74	74	15.75	92	15.76
15/10/47	16.0	900	10	23.5	35	34.5	0.081	1U	40	15.73	58	15.75	76	15.75
								1M	42	15.74	60	15.75	78	15.77
								1L	44	15.75	62	15.75	80	15.76
								2U	46	15.75	64	15.76	82	15.76
								2M	48	15.75	66	15.76	84	15.76
								2L	50	15.75	68	15.77	86	15.76
								3U	52	15.75	70	15.76	88	15.75
								3M	54	15.76	72	15.77	90	15.76
								3L	56	15.76	74	15.77	92	15.76
15/10/47	16.0	900	10	23.6	40	31.2	0.081	1U	40	15.69	58	15.73	76	15.75
								1M	42	15.71	60	15.75	78	15.76
								1L	44	15.72	62	15.74	80	15.76
								2U	46	15.74	64	15.75	82	15.76
								2M	48	15.74	66	15.76	84	15.77
								2L	50	15.74	68	15.76	86	15.77
								3U	52	15.74	70	15.74	88	15.76
								3M	54	15.75	72	15.75	90	15.76
								3L	56	15.75	74	15.75	92	15.76

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
									เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
18/10/47	24.0	1200	10	26.1	15	52.7	0.070	1U	40	23.92	58	23.94	76	23.96
								1M	42	23.93	60	23.95	78	23.97
								1L	44	23.93	62	23.95	80	23.97
								2U	46	23.94	64	23.96	82	23.97
								2M	48	23.95	66	23.96	84	23.98
								2L	50	23.95	68	23.96	86	23.98
								3U	52	23.94	70	23.96	88	23.97
								3M	54	23.94	72	23.95	90	23.98
								3L	56	23.94	74	23.95	92	23.97
18/10/47	24.0	1200	10	25.7	20	47.7	0.070	1U	40	23.95	58	23.98	76	24.01
								1M	42	23.96	60	23.99	78	24.03
								1L	44	23.96	62	24.00	80	24.03
								2U	46	23.97	64	24.01	82	24.03
								2M	48	23.98	66	24.02	84	24.04
								2L	50	23.98	68	24.02	86	24.04
								3U	52	23.98	70	24.02	88	24.03
								3M	54	23.98	72	24.03	90	24.04
								3L	56	23.98	74	24.03	92	24.04
18/10/47	24.0	1200	10	25.4	25	40.1	0.070	1U	40	24.01	58	24.05	76	24.06
								1M	42	24.02	60	24.06	78	24.06
								1L	44	24.02	62	24.06	80	24.07
								2U	46	24.03	64	24.06	82	24.07
								2M	48	24.04	66	24.06	84	24.07
								2L	50	24.04	68	24.06	86	24.06
								3U	52	24.05	70	24.05	88	24.06
								3M	54	24.05	72	24.06	90	24.07
								3L	56	24.04	74	24.05	92	24.07

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที) ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที) อากาศเจือจาง (l/min)	อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (ºC)	สภาวะภายในห้องทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ย (ºC)	สภาวะภายในห้องทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	สภาวะภายในห้องทดลอง ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ครั้งที่ 1 ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	ครั้งที่ 2 เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ครั้งที่ 2 ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	ครั้งที่ 3 เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ครั้งที่ 3 ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
18/10/47	24.0	1200	10	25.1	30	39.0	0.070	1U	40	24.06	58	24.08	76	24.10
								1M	42	24.06	60	24.09	78	24.11
								1L	44	24.06	62	24.09	80	24.10
								2U	46	24.07	64	24.10	82	24.11
								2M	48	24.08	66	24.11	84	24.12
								2L	50	24.07	68	24.10	86	24.11
								3U	52	24.07	70	24.10	88	24.10
								3M	54	24.08	72	24.10	90	24.11
								3L	56	24.08	74	24.09	92	24.11
18/10/47	24.0	1200	10	24.8	35	33.5	0.070	1U	40	24.10	58	24.12	76	24.13
								1M	42	24.11	60	24.13	78	24.13
								1L	44	24.11	62	24.12	80	24.12
								2U	46	24.11	64	24.13	82	24.13
								2M	48	24.12	66	24.13	84	24.14
								2L	50	24.12	68	24.13	86	24.13
								3U	52	24.11	70	24.12	88	24.13
								3M	54	24.11	72	24.12	90	24.14
								3L	56	24.11	74	24.12	92	24.13
18/10/47	24.0	1200	10	24.5	40	32.4	0.070	1U	40	24.12	58	24.15	76	24.16
								1M	42	24.14	60	24.16	78	24.16
								1L	44	24.14	62	24.15	80	24.16
								2U	46	24.14	64	24.16	82	24.17
								2M	48	24.15	66	24.16	84	24.17
								2L	50	24.14	68	24.15	86	24.16
								3U	52	24.14	70	24.16	88	24.16
								3M	54	24.15	72	24.16	90	24.17
								3L	56	24.15	74	24.16	92	24.16

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
									ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
26/10/47	32.0	1600	10	25.1	15	47.5	0.072	1U	40	31.71	58	31.61	76	31.55
								1M	42	31.69	60	31.59	78	31.54
								1L	44	31.67	62	31.55	80	31.54
								2U	46	31.73	64	31.54	82	31.56
								2M	48	31.70	66	31.54	84	31.56
								2L	50	31.63	68	31.55	86	31.55
								3U	52	31.69	70	31.55	88	31.56
								3M	54	31.63	72	31.54	90	31.57
								3L	56	31.59	74	31.54	92	31.56
26/10/47	32.0	1600	10	24.8	20	40.7	0.072	1U	40	31.77	58	31.63	76	31.60
								1M	42	31.72	60	31.61	78	31.58
								1L	44	31.70	62	31.60	80	31.55
								2U	46	31.68	64	31.59	82	31.57
								2M	48	31.67	66	31.57	84	31.55
								2L	50	31.64	68	31.54	86	31.55
								3U	52	31.61	70	31.59	88	31.58
								3M	54	31.60	72	31.58	90	31.57
								3L	56	31.58	74	31.56	92	31.54
26/10/47	32.0	1600	10	24.7	25	38.2	0.072	1U	40	31.82	58	31.62	76	31.56
								1M	42	31.79	60	31.61	78	31.56
								1L	44	31.77	62	31.59	80	31.54
								2U	46	31.69	64	31.57	82	31.53
								2M	48	31.67	66	31.57	84	31.54
								2L	50	31.66	68	31.54	86	31.54
								3U	52	31.62	70	31.52	88	31.53
								3M	54	31.60	72	31.50	90	31.51
								3L	56	31.59	74	31.49	92	31.50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) การทดสอบความเข้มข้นของก๊าซ CO ในห้องทดลอง

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ CO ที่กำหนด (สนล.)	อัตราการไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)		อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง (°C)	สภาวะภายในห้องทดลอง			ค่าที่วัดได้จากห้องทดลอง						
		ถังก๊าซ CO เข้มข้น (cc/min)	อากาศเจือจาง (l/min)		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วของก๊าซ (m/s)	ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
									เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)	เวลานับจากการเดินระบบ (นาทีที่)	ระดับความเข้มข้นของ CO (สนล.)
27/10/47	32.0	1600	10	25.7	30	35.1	0.072	1U	40	31.55	58	31.60	76	31.62
								1M	42	31.62	60	31.62	78	31.64
								1L	44	31.60	62	31.63	80	31.61
								2U	46	31.62	64	31.64	82	31.64
								2M	48	31.62	66	31.65	84	31.65
								2L	50	31.63	68	31.63	86	31.63
								3U	52	31.63	70	31.61	88	31.61
								3M	54	31.61	72	31.60	90	31.59
								3L	56	31.59	74	31.58	92	31.57
27/10/47	32.0	1600	10	25.2	35	32.0	0.072	1U	40	31.48	58	31.56	76	31.55
								1M	42	31.50	60	31.58	78	31.53
								1L	44	31.51	62	31.57	80	31.52
								2U	46	31.53	64	31.54	82	31.55
								2M	48	31.56	66	31.54	84	31.54
								2L	50	31.59	68	31.55	86	31.53
								3U	52	31.60	70	31.56	88	31.53
								3M	54	31.59	72	31.55	90	31.53
								3L	56	31.58	74	31.55	92	31.52
27/10/47	32.0	1600	10	24.8	40	29.5	0.072	1U	40	31.64	58	31.59	76	31.60
								1M	42	31.62	60	31.57	78	31.59
								1L	44	31.63	62	31.56	80	31.58
								2U	46	31.60	64	31.53	82	31.56
								2M	48	31.58	66	31.52	84	31.55
								2L	50	31.58	68	31.50	86	31.55
								3U	52	31.59	70	31.53	88	31.51
								3M	54	31.57	72	31.53	90	31.50
								3L	56	31.56	74	31.53	92	31.49

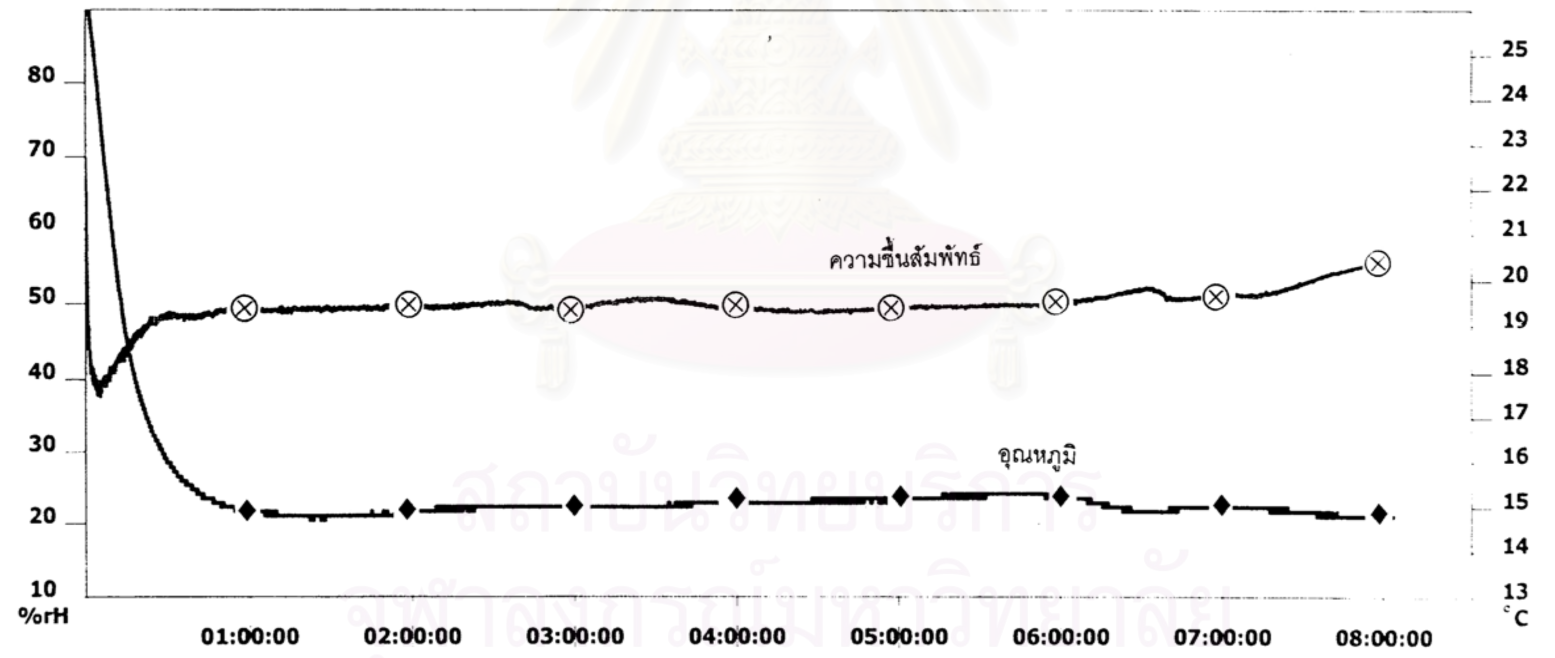
ภาคผนวก ค

ข้อมูลการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
ในห้องทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions	12/1/2548		Page 1/1
Starting time:09.08.2004 09:51:46		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:09.08.2004 17:55:25	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	37.50	69.70	49.83
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ ——◆——	14.70	26.30	15.33
Values:14511				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

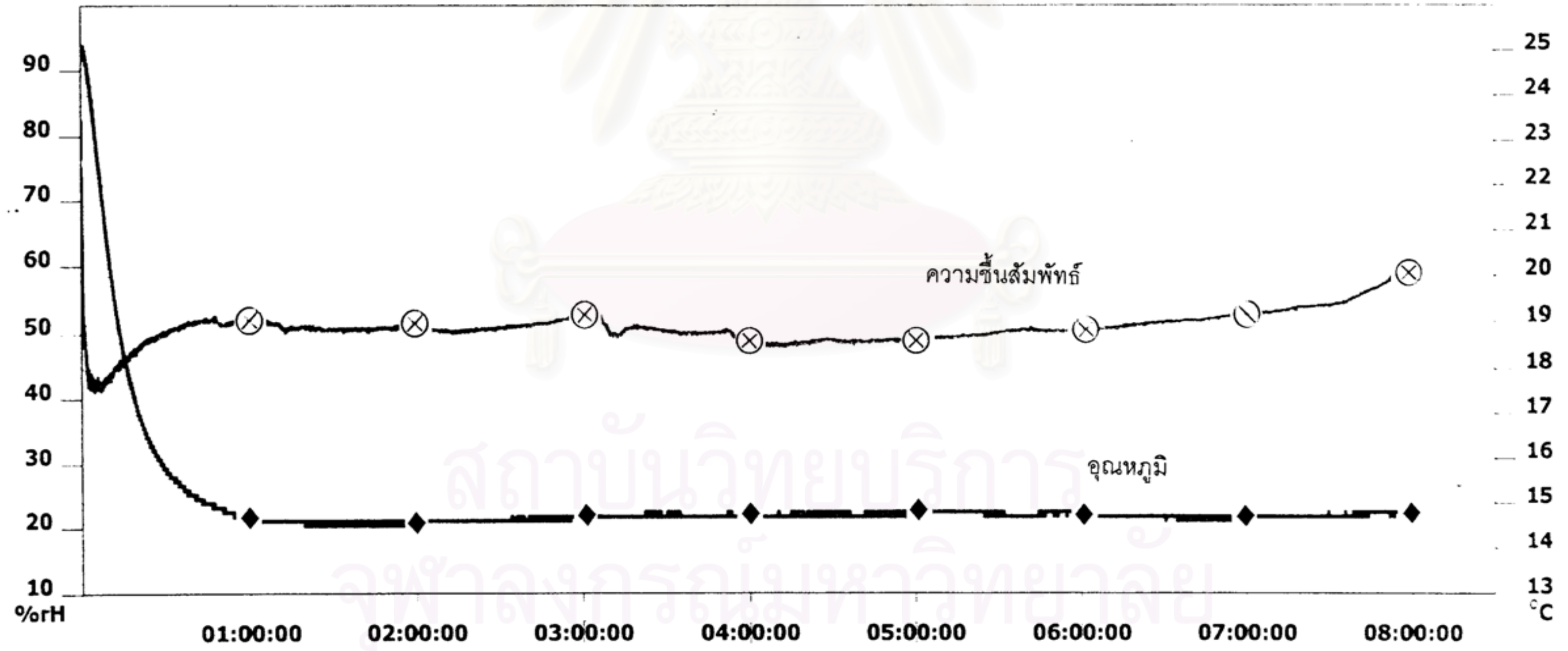
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 15 องศาเซลเซียสครั้งที่ 1 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions	12/1/2548		Page 1/1
Starting time:10.08.2004 08:52:12		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:10.08.2004 16:52:28	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	41.20	82.40	50.82
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	14.50	25.10	15.00
Values:14409				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

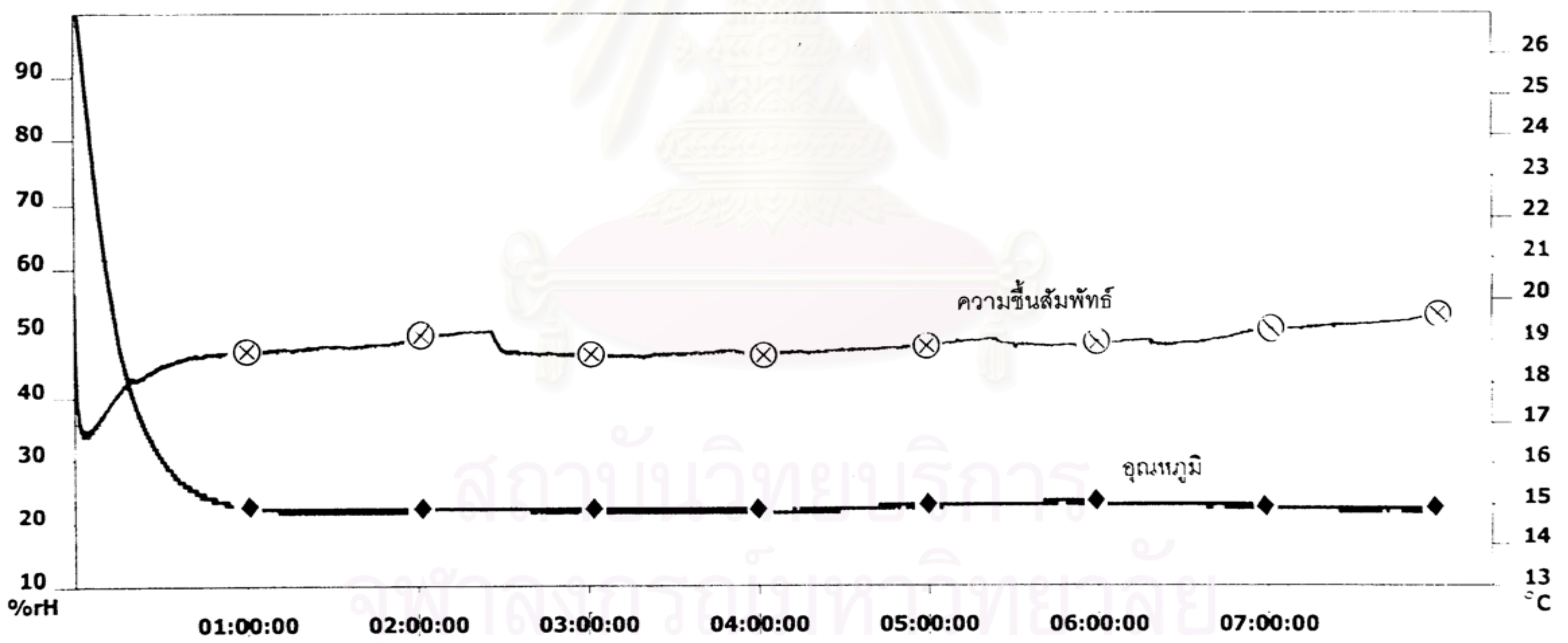
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 15 องศาเซลเซียสครั้งที่ 2 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions		12/1/2548	Page 1/1
Starting time:16.08.2004 10:06:42		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:16.08.2004 18:07:22	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	33.70	55.80	47.69
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	14.80	27.40	15.27
Values:14421				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

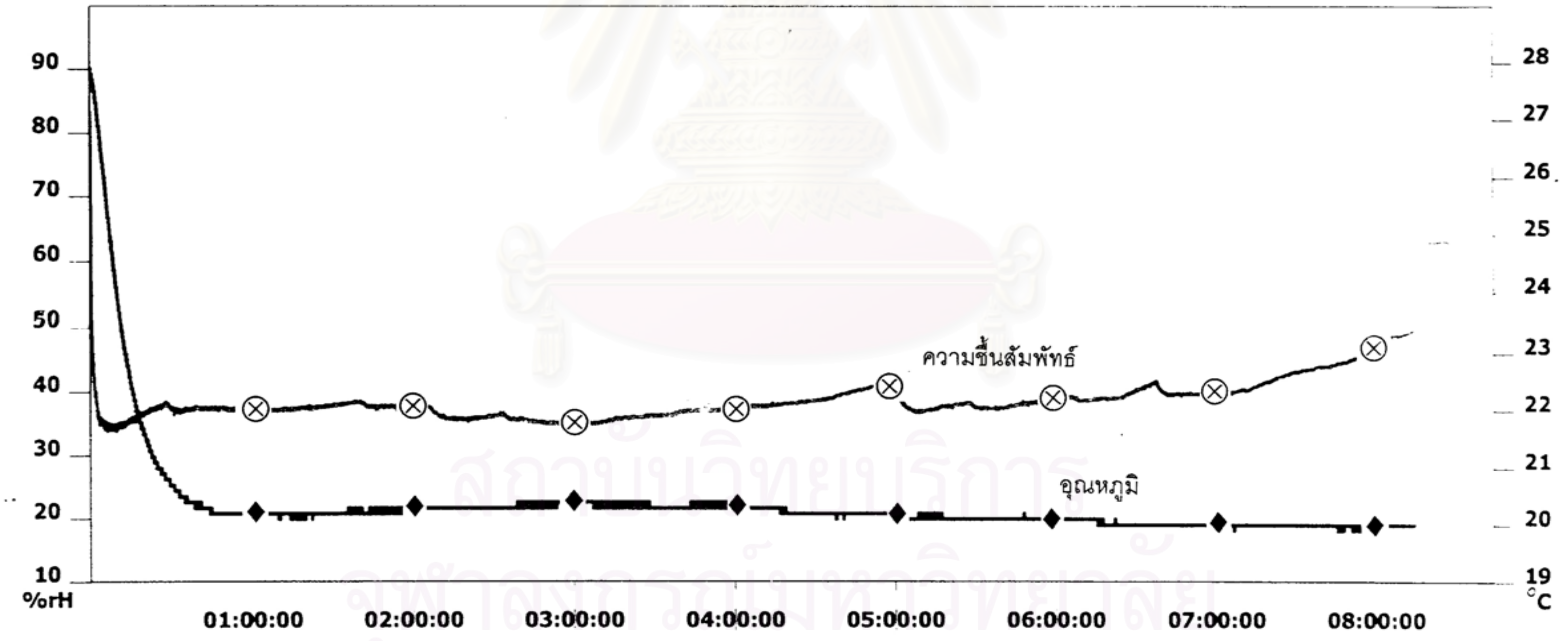
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 15 องศาเซลเซียสครั้งที่ 3 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions		12/1/2548		Page 1/1
Starting time:26.08.2004 10:10:25		Min:		Max:	Mean:
Finishing time:26.08.2004 18:24:37	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	33.90		83.20	38.60
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ ——◆——	19.90		27.90	20.37
Values:14827					
C1: SN 20021111 / 311					
Accuracy					

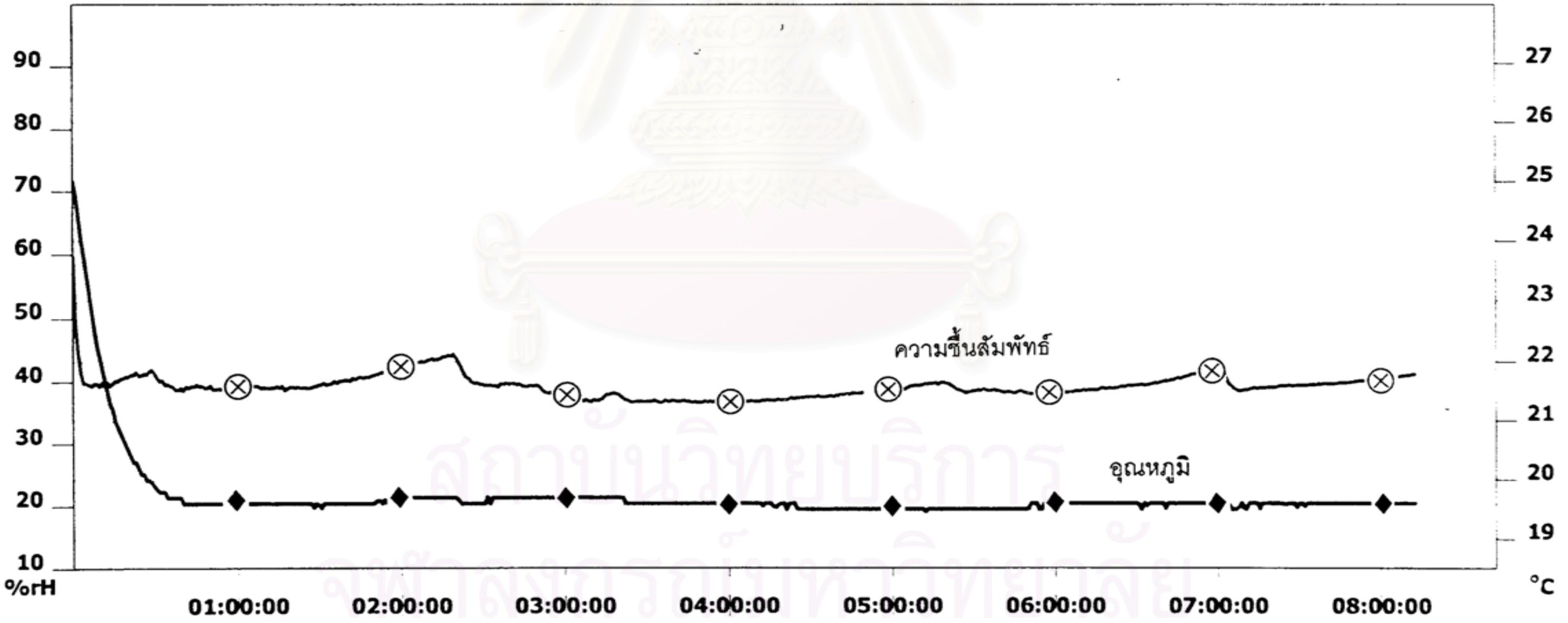
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 20 องศาเซลเซียสครั้งที่ 1 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions	12/1/2548		Page 1/1
Starting time:27.08.2004 09:48:06		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:27.08.2004 18:00:49	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	36.30	59.60	39.25
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	19.40	25.00	19.72
Values:14783				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

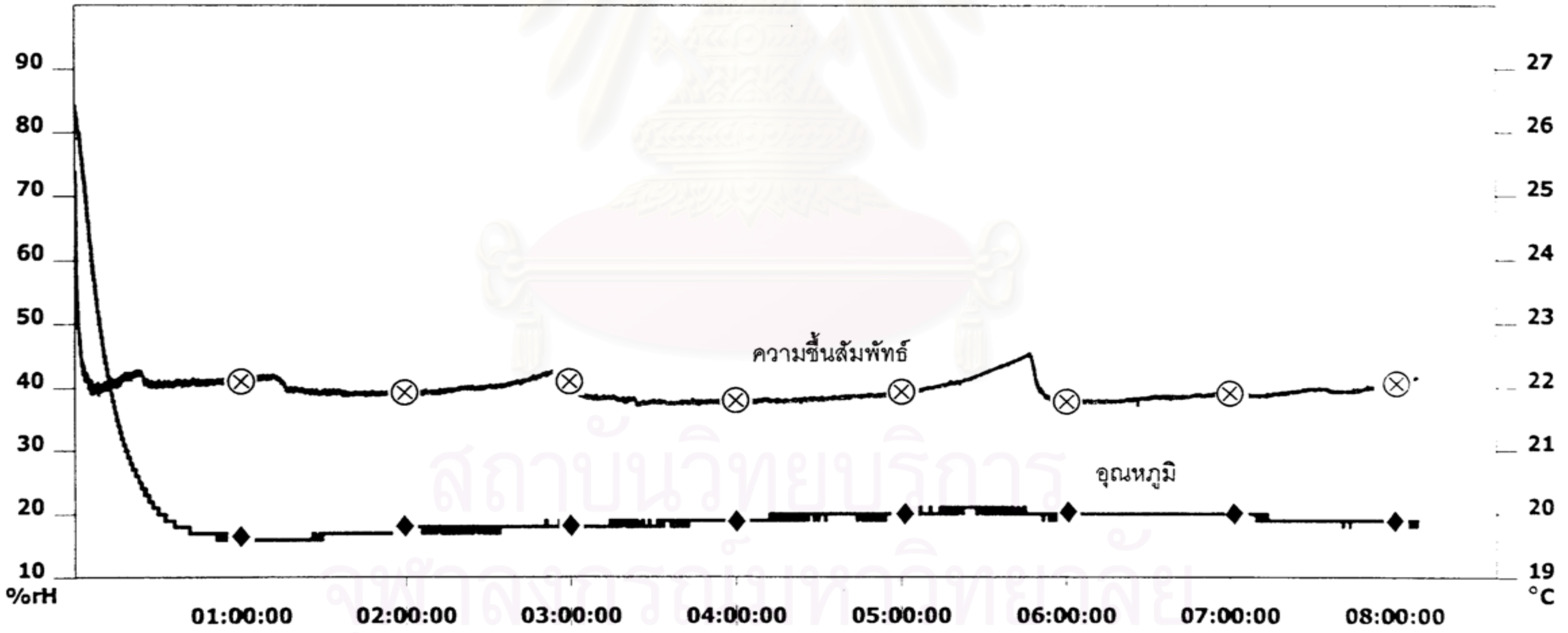
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 20 องศาเซลเซียสครั้งที่ 2 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions	12/1/2548		Page 1/1
Starting time:01.09.2004 09:14:49		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:01.09.2004 17:23:14	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	37.30	73.80	39.66
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	19.60	26.40	20.02
Values:14649				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

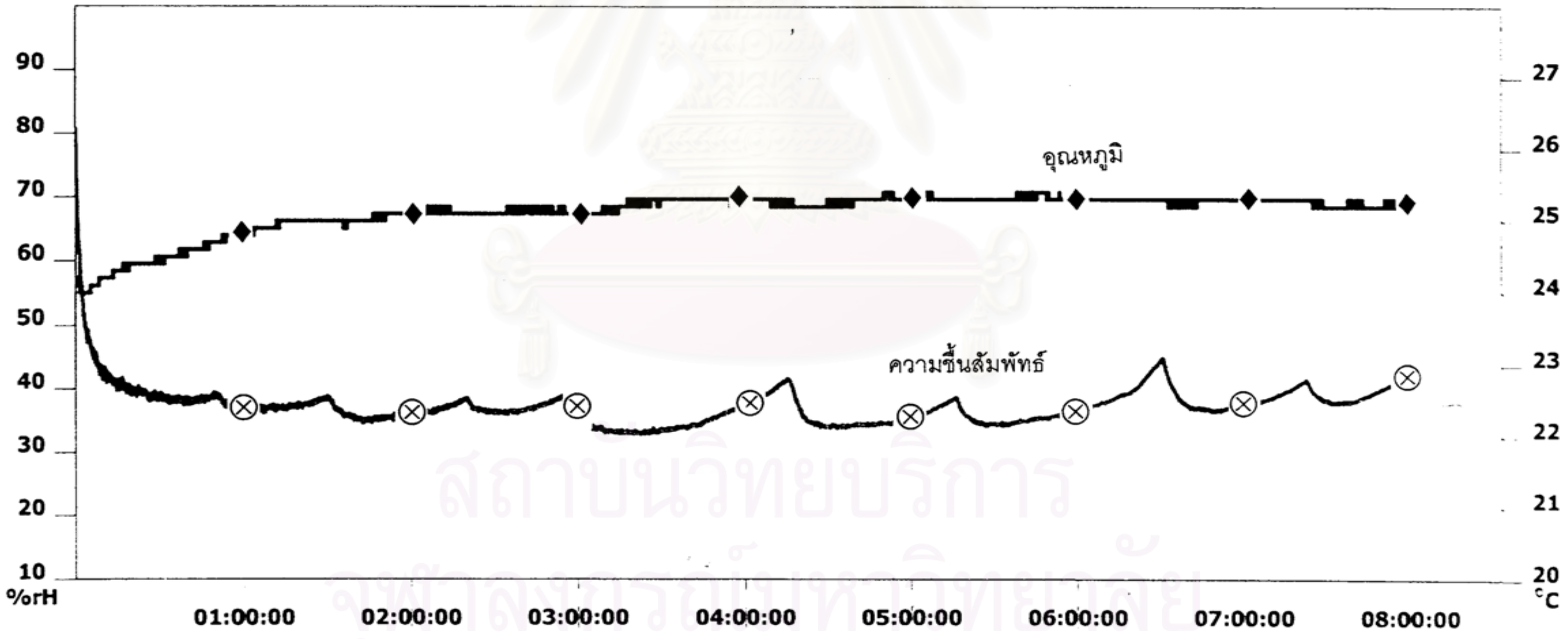
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 20 องศาเซลเซียสครั้งที่ 3 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions	12/1/2548		Page 1/1
Starting time:06.09.2004 09:46:06		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:06.09.2004 17:49:36	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	32.90	80.60	37.38
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	24.00	25.40	25.12
Values:14503				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

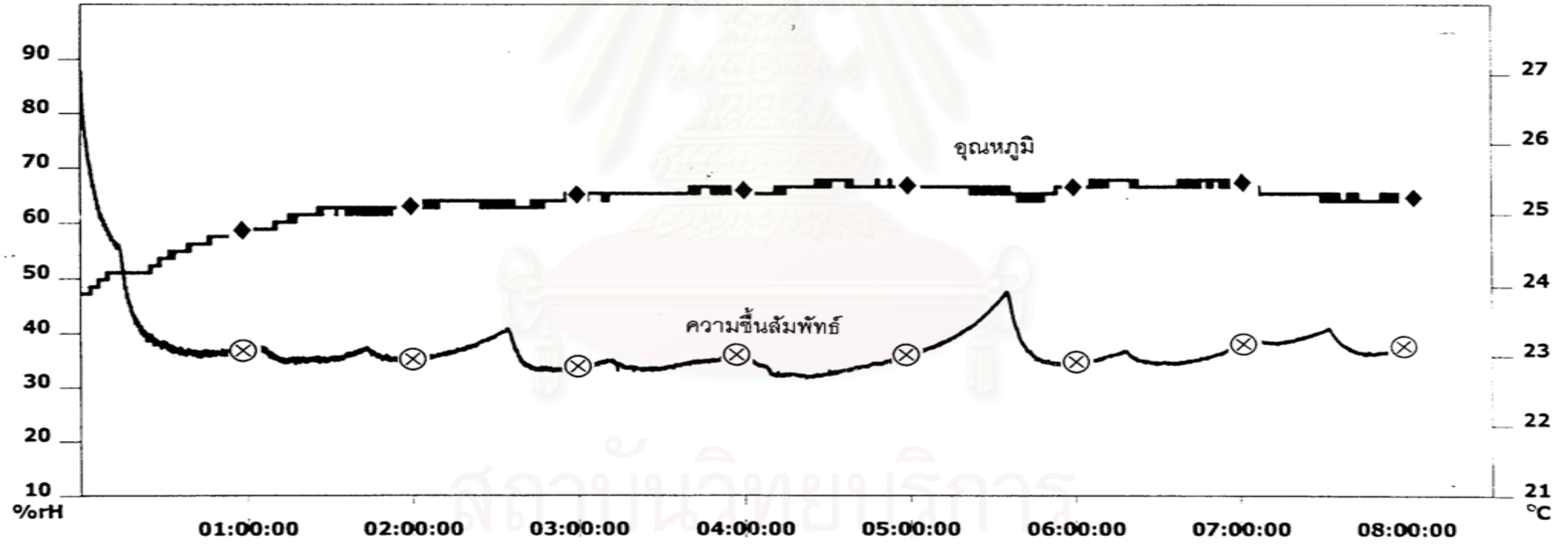
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสครั้งที่ 1 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions		12/1/2548	Page 1/1
Starting time:07.09.2004 09:28:26		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:07.09.2004 17:30:53	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์	31.70	87.70	37.05
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ	23.90	25.50	25.17
Values:14468				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

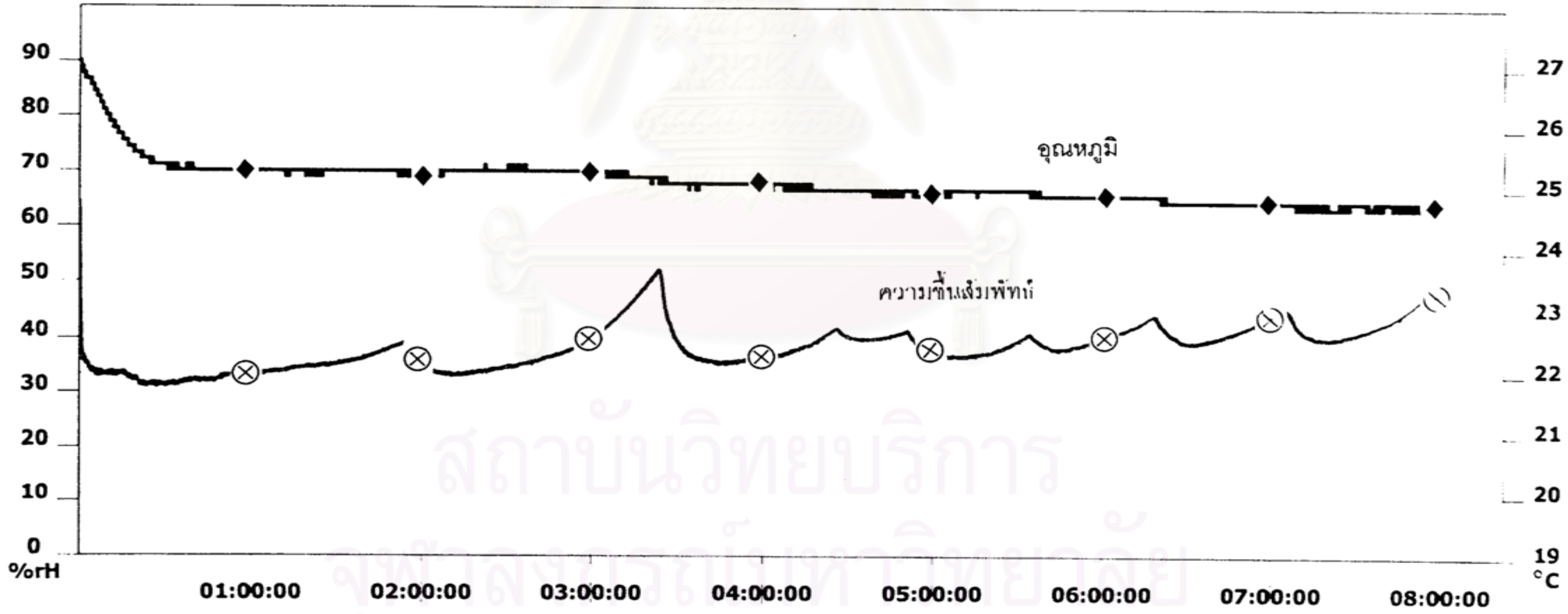
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสครั้งที่ 2 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions		12/1/2548		Page 1/1
Starting time:08.09.2004 12:22:32			Min:	Max:	Mean:
Finishing time:08.09.2004 20:14:56	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์	—⊗—	31.00	64.20	38.19
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ	—◆—	24.70	27.10	25.12
Values:14167					
C1: SN 20021111 / 311					
Accuracy					

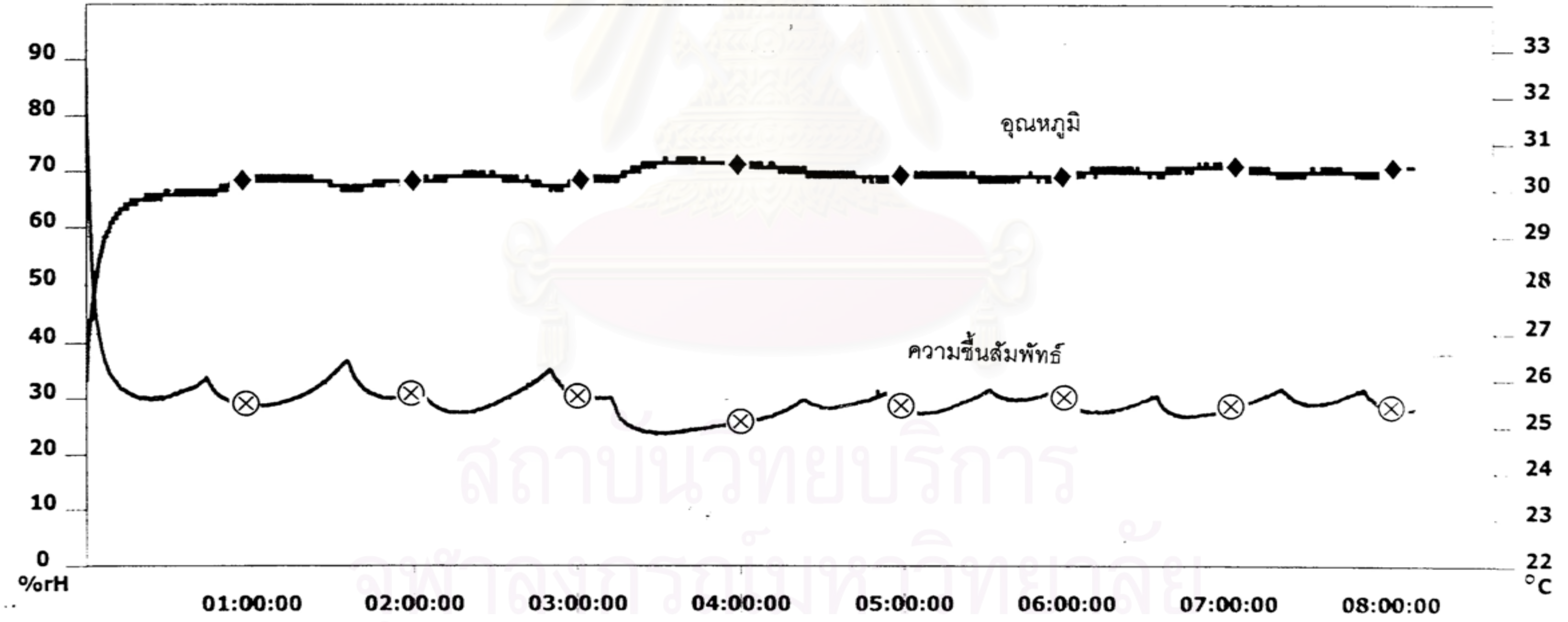
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสครั้งที่ 3 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

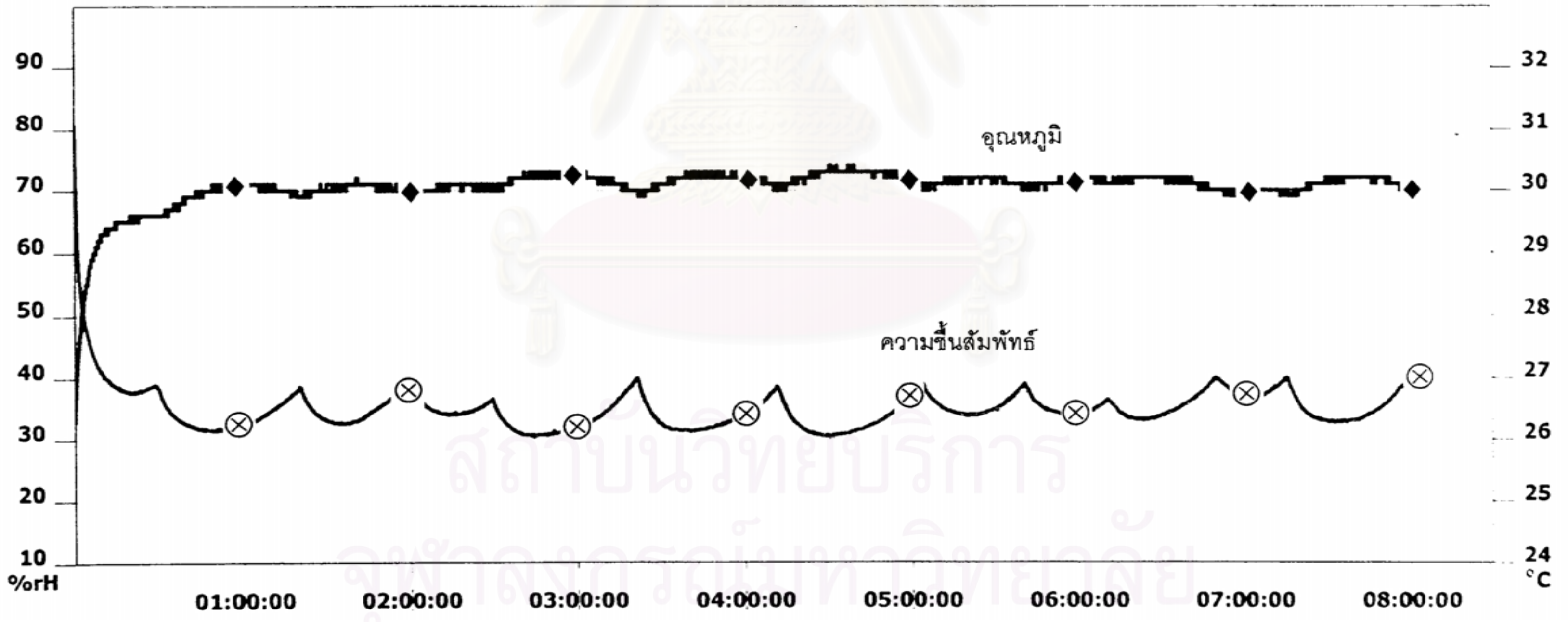
testo175-177	Conditions		12/1/2548	Page 1/1
Starting time:13.09.2004 09:45:44		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:13.09.2004 17:54:37	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	23.60	88.30	29.60
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	26.00	30.70	30.26
Values:14665				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 30 องศาเซลเซียสครั้งที่ 1 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



testo175-177	Conditions	12/1/2548	Page 1/1	
Starting time:14.09.2004 08:53:33		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:14.09.2004 16:53:13	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	30.40	80.60	34.93
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	26.30	30.40	30.05
Values:14389				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 30 องศาเซลเซียสครั้งที่ 2 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง

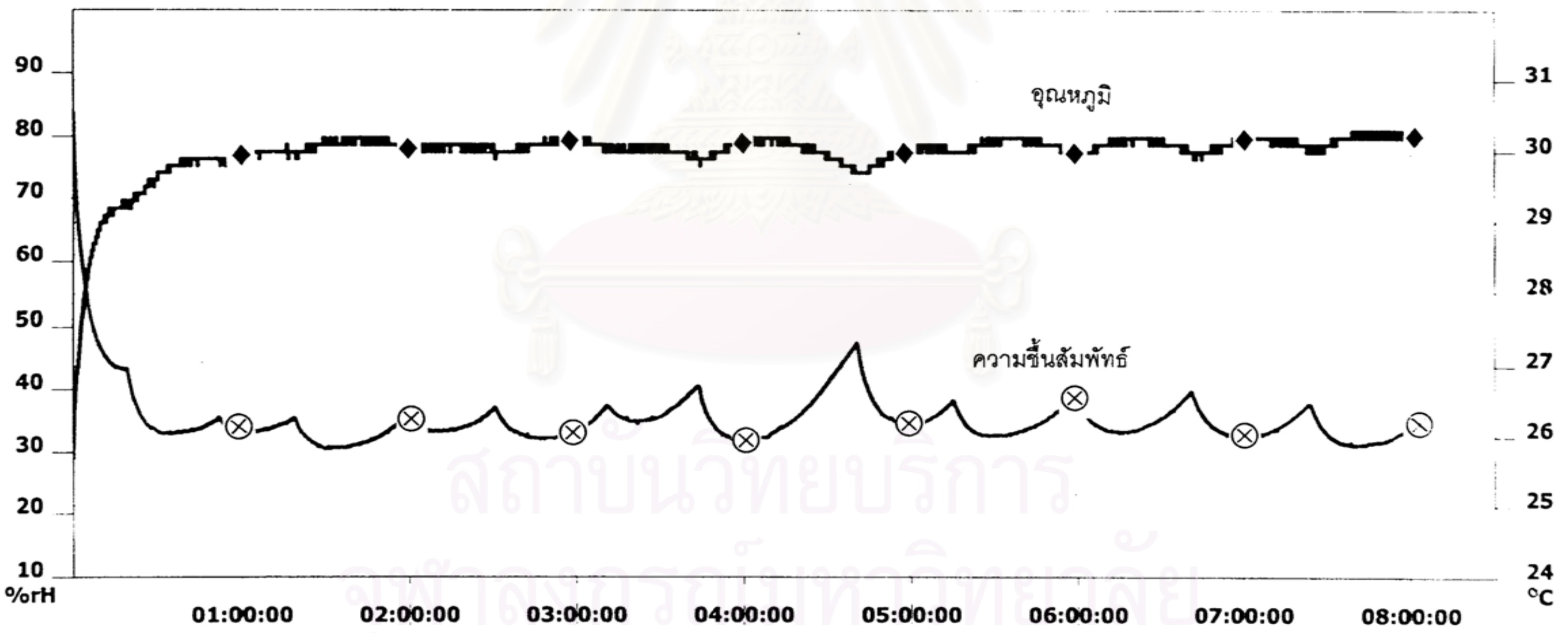


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions		12/1/2548	Page 1/1
Starting time:15.09.2004 09:02:50		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:15.09.2004 17:04:36	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	30.60	83.70	35.27
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ ——◆——	25.70	30.30	29.99
Values:14447				
C1: SN 20021111 / 311				

Accuracy

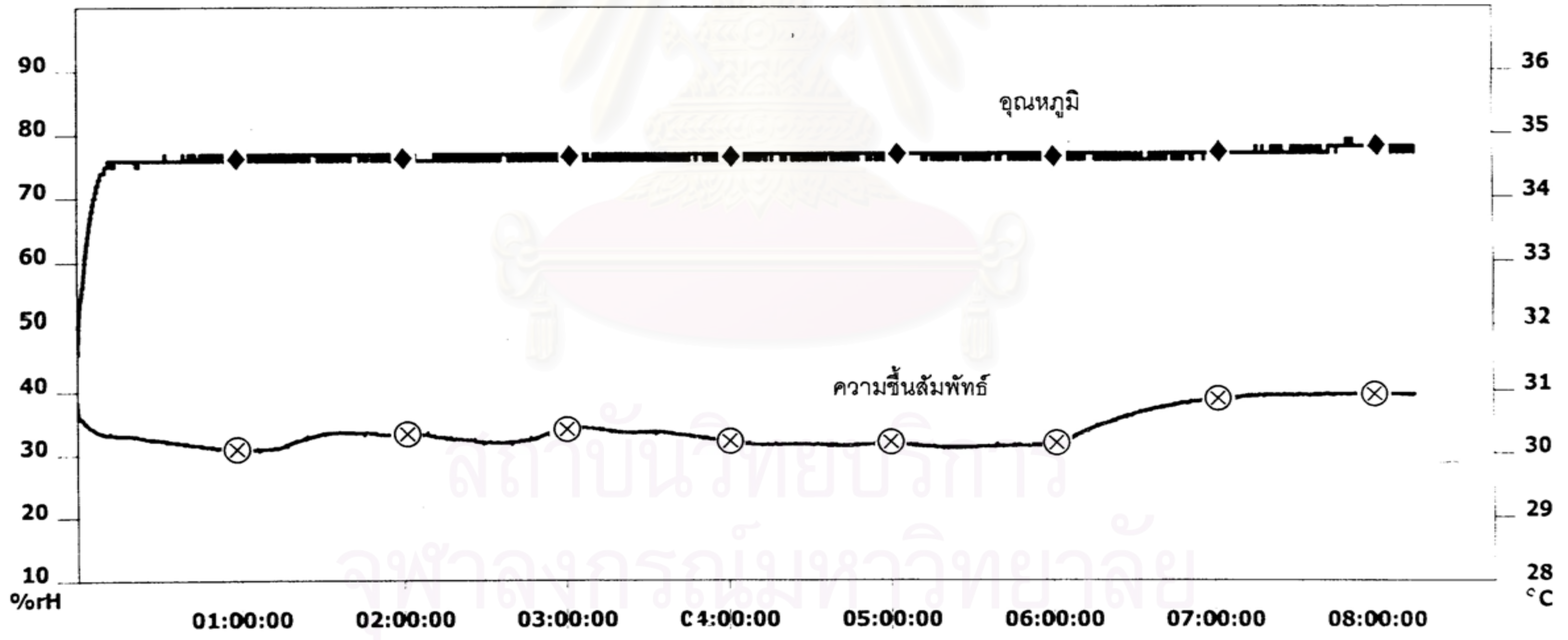
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 30 องศาเซลเซียสครั้งที่ 3 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions	12/1/2548		Page 1/1
Starting time:17.09.2004 09:45:30		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:17.09.2004 18:00:04	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	30.60	39.50	33.74
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	31.60	34.90	34.65
Values:14835				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 35 องศาเซลเซียสครั้งที่ 1 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง

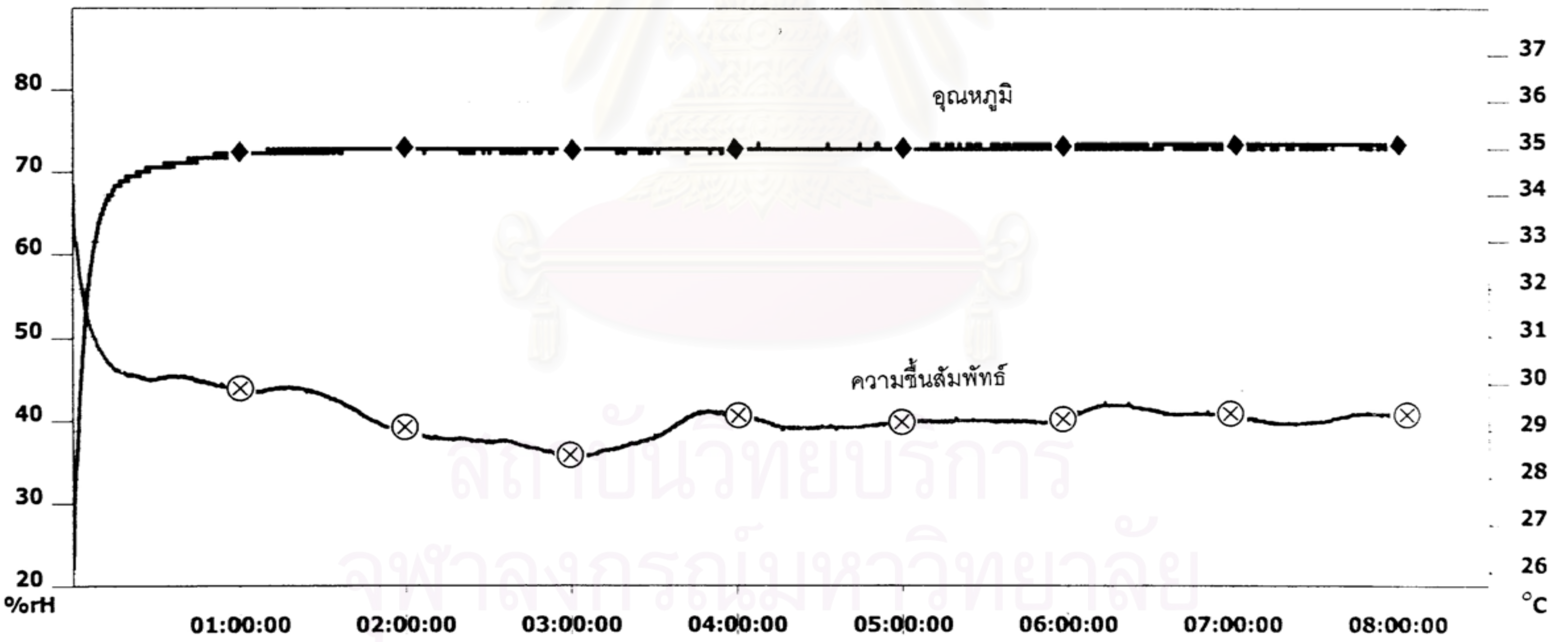


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions		12/1/2548	Page 1/1	
Starting time:20.09.2004 09:45:32			Min:	Max:	Mean:
Finishing time:20.09.2004 17:49:16	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์	—⊗—	35.50	68.40	40.66
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ	—◆—	26.10	35.10	34.89
Values:14507					
C1: SN 20021111 / 311					

Accuracy

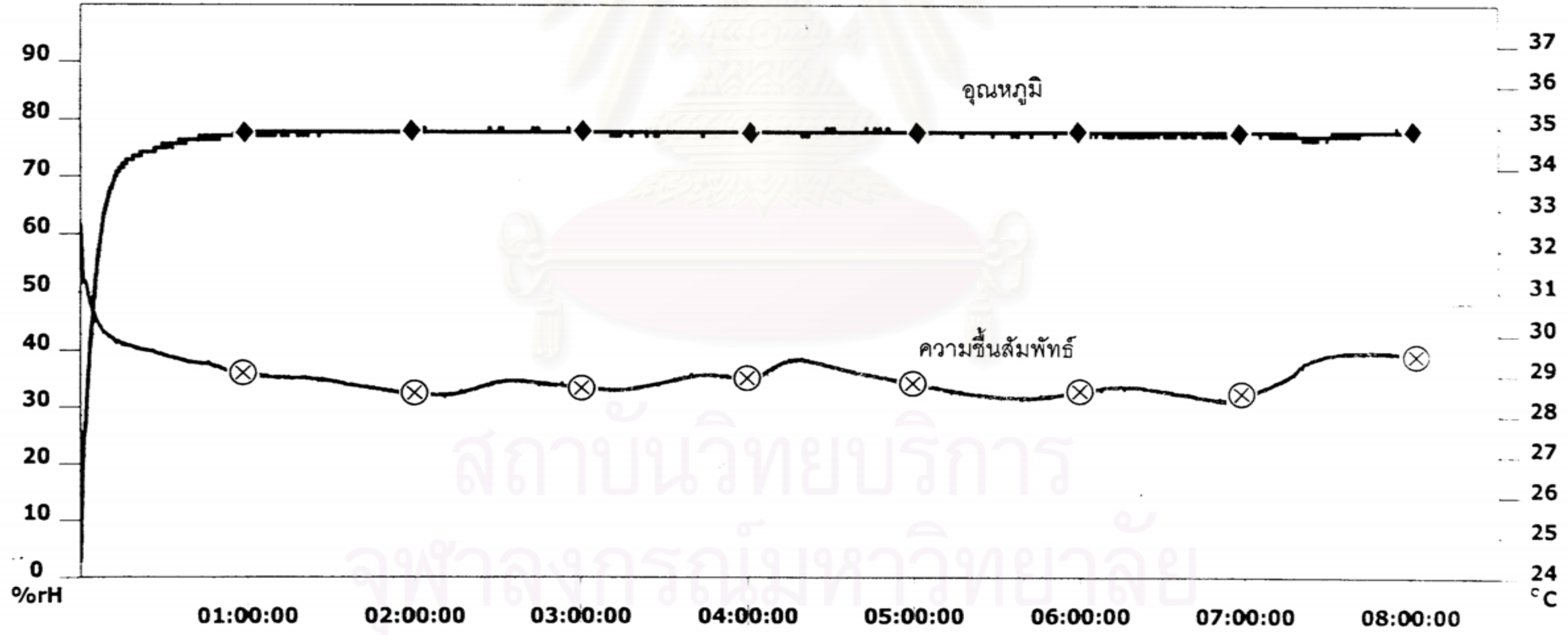
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 35 องศาเซลเซียสครั้งที่ 2 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions		12/1/2548	Page 1/1
Starting time:21.09.2004 09:31:45		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:21.09.2004 17:35:01	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	31.20	61.60	35.26
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	24.40	35.00	34.76
Values:14489				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

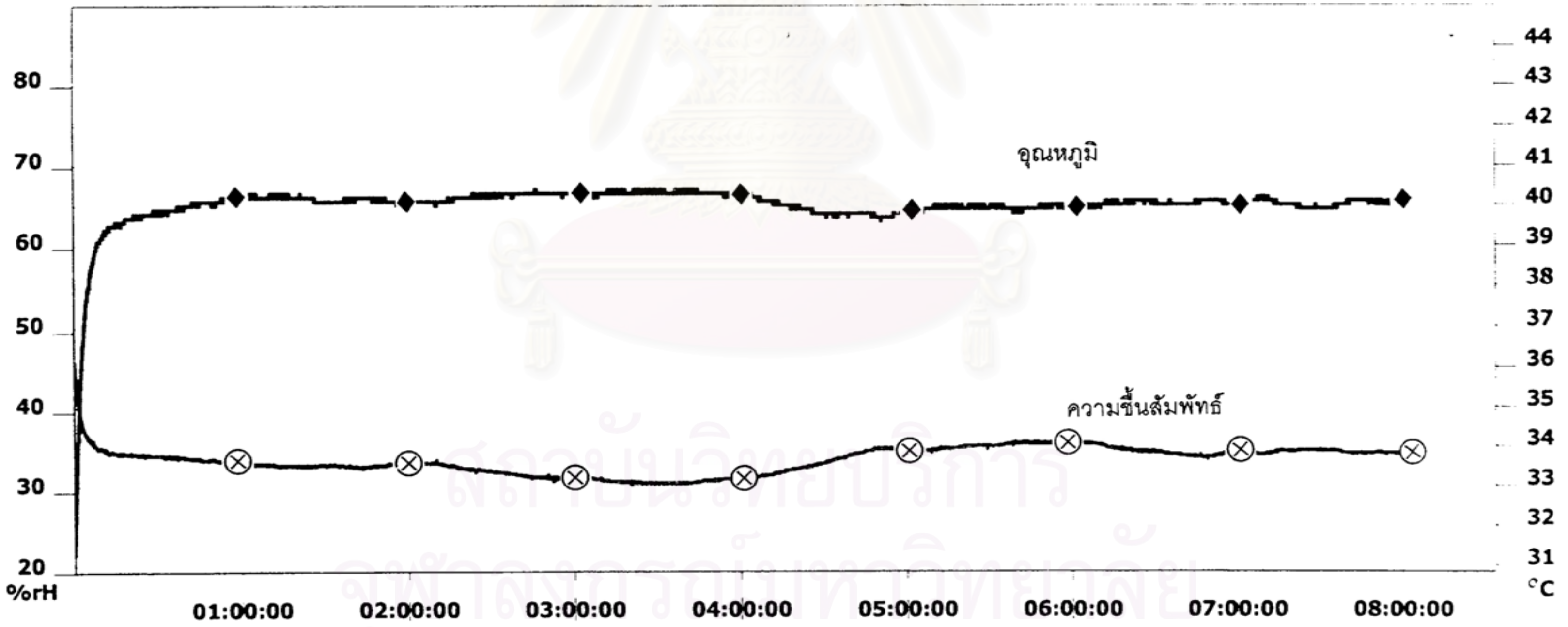
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 35 องศาเซลเซียสครั้งที่ 3 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions:		12/1/2548	Page 1/1
Starting time:19.07.2004 09:52:20		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:19.07.2004 17:56:13	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์	30.80	46.20	33.88
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ	31.30	40.40	40.00
Values:14517				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

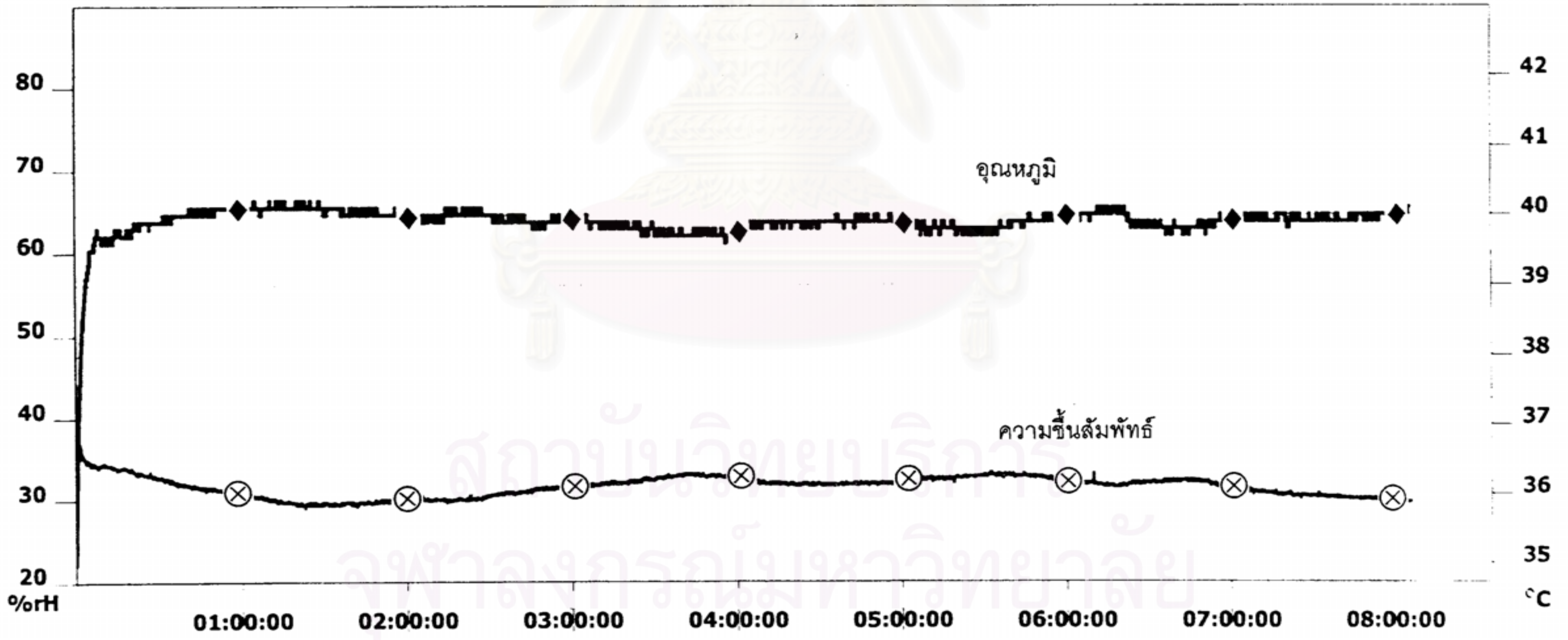
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 40 องศาครั้งที่ 1ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions :		12/1/2548	Page 1/1
Starting time:21.07.2004 10:51:33		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:21.07.2004 18:57:15	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	29.00	42.30	31.54
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	35.00	40.20	39.89
Values:14572				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

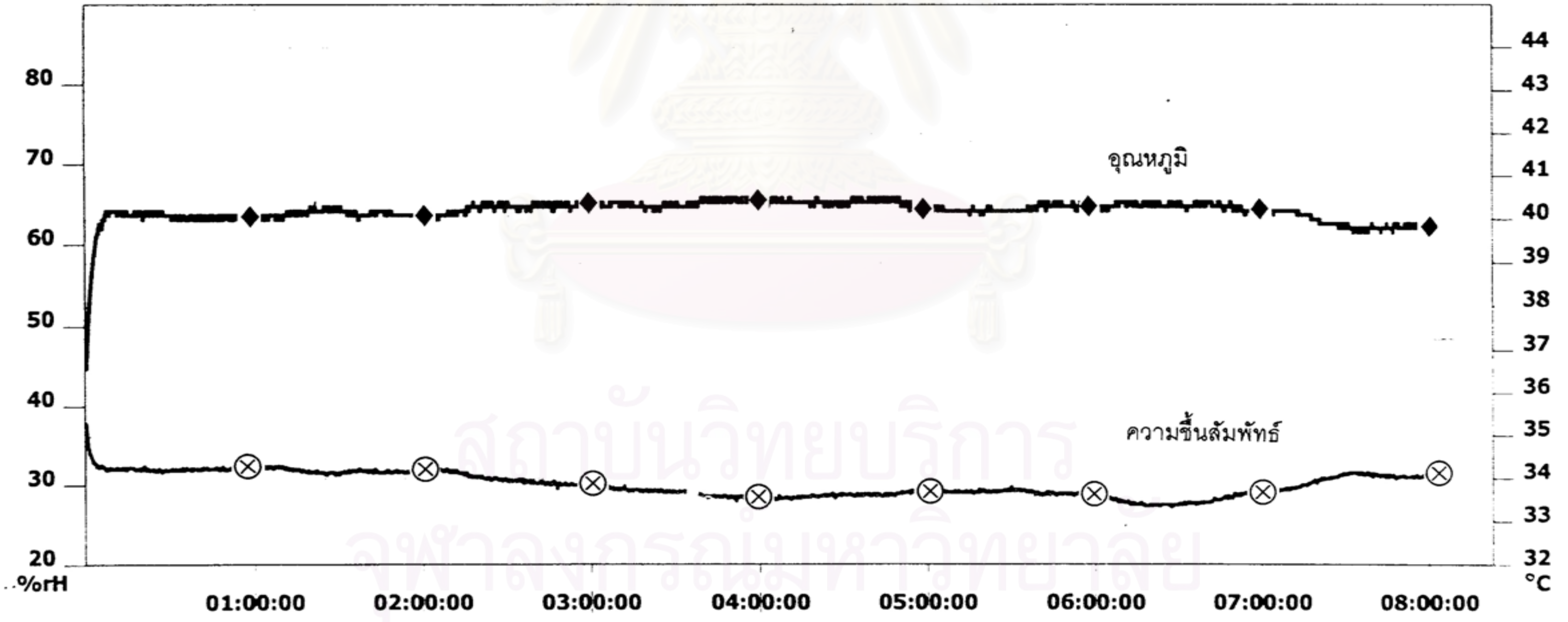
กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 40 องศาครั้งที่ 2 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

testo175-177	Conditions		12/1/2548	Page 1/1
Starting time:22.07.2004 09:30:52		Min:	Max:	Mean:
Finishing time:22.07.2004 17:30:36	C:1 [%rH] ความชื้นสัมพัทธ์ —⊗—	27.20	37.80	29.99
Channels:2 (2)	C:2 [°C] อุณหภูมิ —◆—	36.60	40.50	40.20
Values:14393				
C1: SN 20021111 / 311				
Accuracy				

กราฟแสดงผลการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องทดลองที่ 40 องศาเซลเซียสครั้งที่ 3 ระยะเวลา 8 ชั่วโมง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การใช้งานเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้งานเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีคุณสมบัติในการดูดซับแสงในช่วงอินฟาเรด (IR) ที่ความยาวคลื่นประมาณ 4.7 ไมครอน โดยเครื่องตรวจวัดจะผลิตแสง IR ขึ้น เมื่ออากาศที่มีก๊าซ CO ผ่านเข้าสู่เครื่อง ก๊าซ CO จะดูดซับแสง IR ซึ่งค่าการดูดซับนี้จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มข้น กล่าวคือ เมื่อปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่เข้าสู่เครื่องมีค่ามากก็จะถูกดูดซับมาก

เครื่องตรวจวัด CO ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้นำเข้าโดยบริษัท สิทธิพรแอสโซซิเอส จำกัด รุ่น ML9800 เป็นเครื่องมือวัดที่มีความทันสมัย หน้าจอแสดงผลเป็นแบบดิจิตอลสามารถอ่านค่าได้ทันทีและต่อเนื่อง ภายในตัวเครื่องจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า gas filter ซึ่งมีหน้าที่ขจัดการรบกวนต่างๆเพื่อให้มั่นใจว่า ค่าการดูดซับแสง IR ที่ได้เป็นค่าที่เกิดจากผลของก๊าซ CO ในตัวอย่างอากาศเท่านั้น นอกจากนั้นจะมีส่วนประกอบที่เรียกว่า catalytic zero air scrubber ซึ่งทำหน้าที่ผลิต CO-free air ให้กับ analyzer ซึ่งจะควบคุมโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำการปรับศูนย์เมื่อเครื่อง analyzer ดึงตัวอย่างอากาศผ่าน converter

รายละเอียดอุปกรณ์

เครื่องวัดนี้ออกแบบโดยใช้ Power/Microprocessor Module ร่วมกับ Sensor Module ซึ่งประกอบด้วย ส่วนให้พลังงาน (Power Supply) และส่วนที่ใช้ตรวจวัดปริมาณก๊าซมลพิษ สำหรับหน้าที่ของแต่ละส่วน และตำแหน่งหลักของส่วนประกอบที่สำคัญดูจากรูปที ง.1 และ ง.2 ตามลำดับ ซึ่งได้แก่

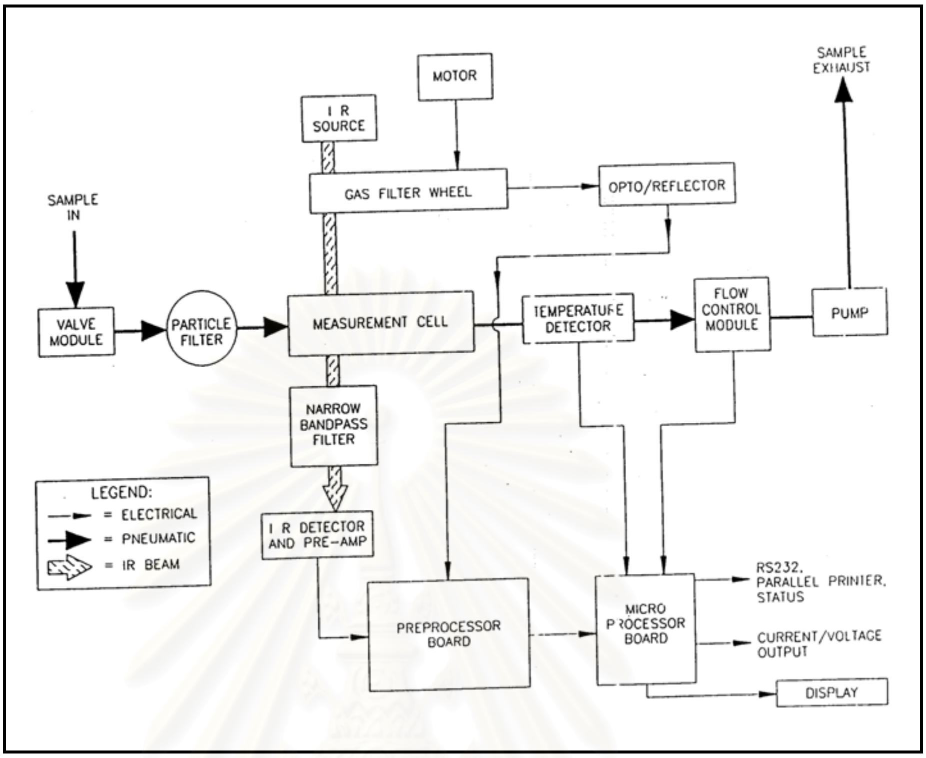
1. Power/Microprocessor Module ประกอบด้วย ส่วนให้พลังงาน (Power Supply) ตัวปรับโวลท์เทจ (Voltage Regulator) และโปรแกรมในตัว Processor

1.1 **ส่วนให้พลังงาน** (Power Supply)

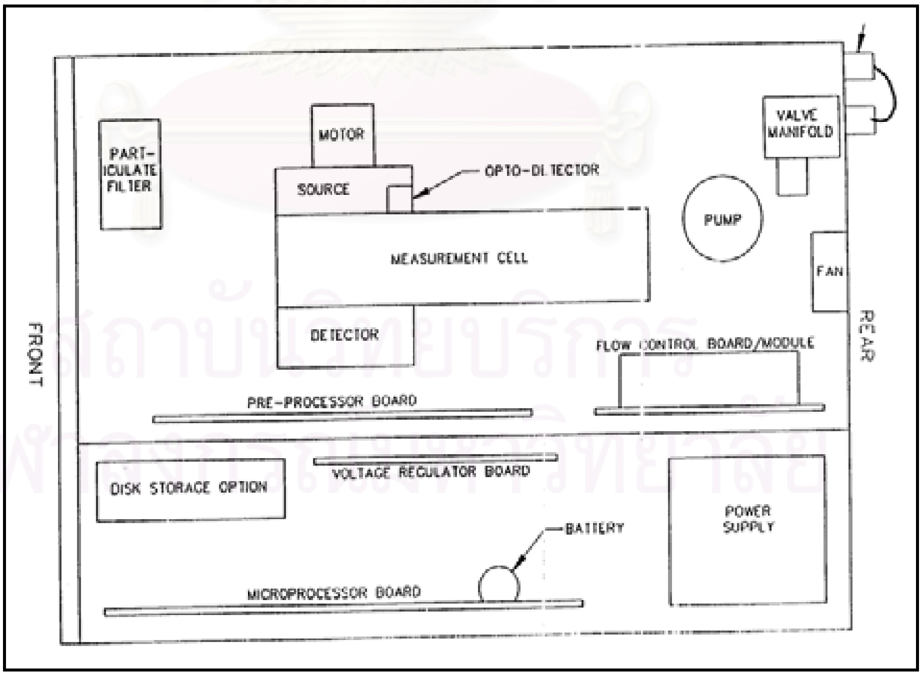
ส่วนนี้มีโครงสร้างห่อหุ้มด้วยเหล็ก ภายในจะมีตัวทำหน้าที่เปลี่ยนโวลท์เทจจาก 99 ถึง 264 Vac ไปเป็น 12 Vdc เพื่อส่งจ่ายและใช้ในเครื่องวิเคราะห์นี้ จะเห็นได้ว่าโวลท์เทจและความถี่จะต่ำลง และเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน

1.2 **ตัวปรับโวลท์เทจ** (Voltage Regulator)

เป็นส่วนประกอบในการปรับแต่งและส่งจ่ายโวลท์เทจ ซึ่งที่ใช้กันในระบบคือ 12 Vdc ± 5Vdc (แบบดิจิตัล) และ 12 Vdc ± 10Vdc (แบบอนาล็อก) นอกจากนี้ยังใช้เป็นพลังงานสำรองในการเก็บข้อมูลกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินอีกด้วย



รูปที่ ง.1 System Block Diagram



รูปที่ ง.2 Major Components (Top View)

1.3 Microprocessor

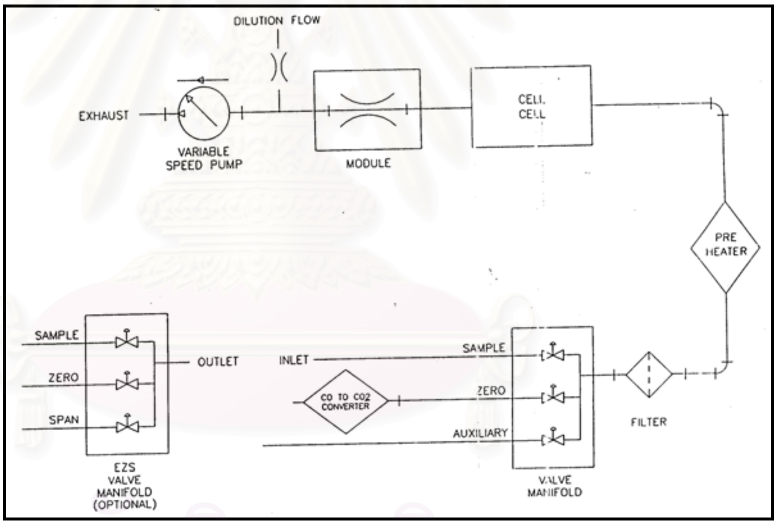
กระดานไมโครโปรเซสเซอร์บรรจุไมโครโปรเซสเซอร์ 16-bit (80C188) ทำงานที่ 16 MHz เป็นศูนย์กลางควบคุมระบบของเครื่อง มีการสนับสนุนของวงจรสำหรับผลึกของแข็งรวมทั้งกำลังที่ต้องการคือ 20 โวลต์ การปรับเครื่องวัดความต่างศักย์ และระดับของ backlight สัญญาณทั้งหมดจะแสดงเป็นตัวเลขโดยส่งสัญญาณเป็นตัวเลข (A/D) แบบสวนทาง ลักษณะของไมโครโปรเซสเซอร์ จะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีหน่วยความจำถูกโปรแกรมได้

2. เกณฑ์วัดด้วยแสง

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ วัดอากาศ การมองเห็น และกระแสไฟฟ้า

2.1 การวัดอากาศ

ระบบลมจ่ายอากาศตัวอย่างที่ไม่มีฝุ่นละอองปนเปื้อนอย่างต่อเนื่องไปสู่เซลล์วัดแสงในอัตราที่สามารถตรวจวัดก่อนก๊าซออกจากเครื่องวิเคราะห์ได้ ซึ่งระบบส่งลมแสดงได้ดังรูปที่ ง.3



รูปที่ ง.3 ML9830 Pneumatic Diagram

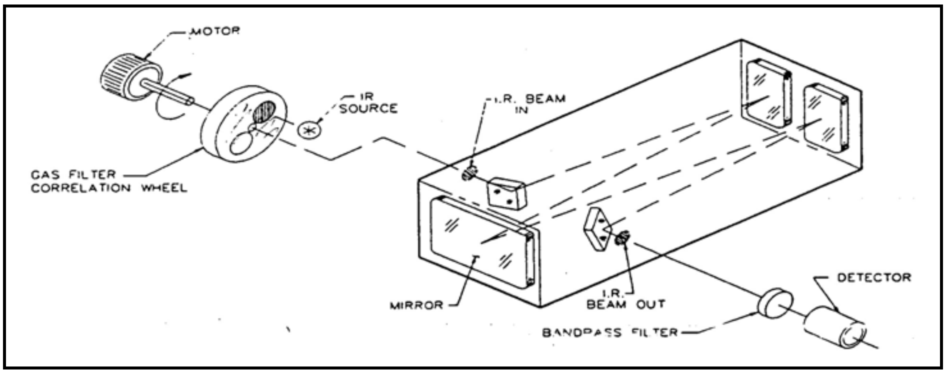
2.2 ออปติกส์

ออปติกส์ของเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ CO รุ่น ML9830 มีส่วนประกอบดังรูปที่ ง.4 และมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 IR Source เป็นแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด สามารถต้านทานความร้อนได้สูง

2.2.2 Gas Filter Correlation Wheel รวมถึงห้อง Gas Sapphire และพื้นที่ด้านบน ในขณะที่ล้อหมุน ลำแสงอินฟราเรดจะผ่านอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

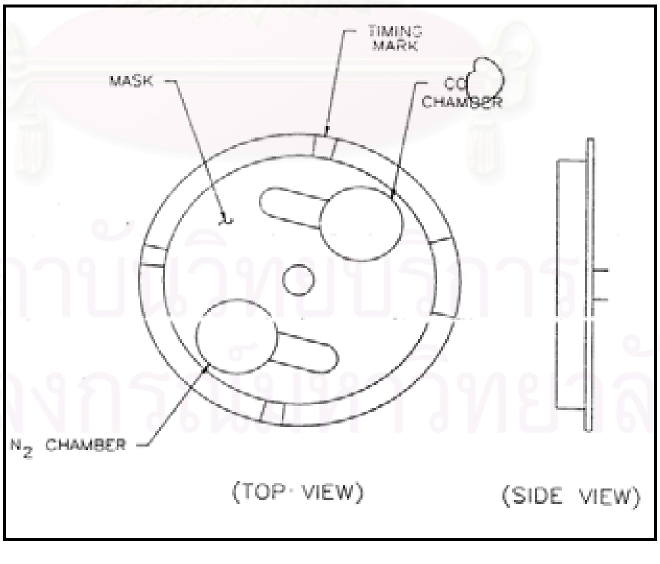


รูปที่ ง.4 Illustrated Optical Path

2.2.2.1 Reference Chamber ซึ่งจะเต็มไปด้วย CO เป็นการกำจัด CO ที่ไวต่อแสงอินฟราเรดความยาวคลื่น 4.7 ไมโครเมตรและให้ CO ที่ไม่ไวต่อแสงอินฟราเรดความยาวคลื่นนี้ผ่านได้

2.2.2.2 Measurement Chamber เต็มไปด้วย N_2 และ CO ที่ไวต่อแสงอินฟราเรดความยาวคลื่น 4.7 ไมโครเมตร

2.2.2.3 พื้นที่ด้านหน้า ซึ่งจะปิดกั้นลำแสง เมื่อผิวหน้าปิดกั้นการแพร่กระจายผ่านของแสงอินฟราเรด ซึ่งตัวจับแสงจะปรับค่าอ้างอิงเป็นศูนย์ จะได้ค่าสัญญาณ 2 ค่าซึ่งความต่างของค่าทั้งสองจะนำไปใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้นของ CO ดังรูปที่ ง.5



รูปที่ ง.5 Gas Filter Correlation Wheel

2.2.3 Opto-Detector เป็นแสงสะท้อนที่ตัวดักจับจะทำปฏิกิริยาที่บริเวณด้านหน้าของล้อหมุนและจะให้สัญญาณเพื่อให้ลำแสงวิ่งเข้าหา

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.4 Measurement Cell ลำแสงอินฟราเรดผ่านมาที่ Measurement cell จะเดินทางโดยมีกระดานเป็นตัวสะท้อน ให้ได้ระยะทางในการส่องผ่านตัวอย่าง 5 เมตร

2.2.5 Cell-Housing เป็นตัวบอกค่าอุณหภูมิซึ่งจะแสดงผลบนจอภาพ อุณหภูมินี้จะเป็นตัวปรับแก้ค่าความถูกต้องของอุณหภูมิตาม gas law

2.2.6 Narrow-Band-Pass Filter การแพร่รังสีของแถบช่วงกว้างจากแหล่งกำเนิดอินฟราเรดซึ่งผ่านไปยัง gas filter wheel และ measurement cell จะถูกกรองอีกครั้งหนึ่งโดย Narrow-Band-Pass Filter เพียงแต่สัดส่วนความไวของ CO เฉพาะที่ความยาวคลื่น 4.7 ไมโครเมตรจะผ่านตลอดไปยังแผ่นกรอง

2.2.7 IR Detector เป็นตัวจับแสงอินฟราเรดชนิดตะกั่วเซเลไนด์ ซึ่งถูกเก็บไว้ที่ความเย็น -20 องศาเซลเซียส เมื่อแสงอินฟราเรดส่องผ่านไปยังตัวดักจับที่ความยาวคลื่น 4.7 ไมโครเมตรทำให้เกิดการเปลี่ยนอัตราการไหลของแสงที่ส่องผ่าน

2.3 Electronics

2.3.1 Preamplifier Board ซึ่ง Preamplifier จะเปลี่ยนกระแสจากตัวดักจับแสงอินฟราเรดไปเป็นแรงทางไฟฟ้าและจะ Amplify ให้อยู่ในรูปของคลื่นที่ประกอบด้วยจุดยอดของโวลต์อ้างอิง จุดยอดของโวลต์ที่ใช้วัด และโวลต์ที่บริเวณสัมผัสด้านหน้า

2.3.2 Preprocessor ประกอบด้วยวงจรที่ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่าง amplitude ของตัวอ้างอิงและแรงผลักที่ใช้วัด ตัวควบคุมเพื่อเก็บรักษาแหล่งแสงอินฟราเรดที่ความเข้มคงที่ ตัวควบคุมความร้อน 2 ตัว วงจรไฟฟ้า 1 ตัวใช้ควบคุมตัวแปลง CO เป็น CO2 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ในขณะที่ตัวควบคุมความร้อนอีก 1 ตัวจะควบคุมให้แผ่นกระจกที่สามารถปรับได้ใน measurement cell ให้อยู่ในช่วง 50 องศาเซลเซียส

2.3.3 Optodecoder Circuit จะแยกตัวกำหนดสัญญาณที่ตั้งเวลาไว้บน Gas Filter Correlation Wheel ไปเป็นสัญญาณ logic สำหรับการเปรียบเทียบ amplitude ไปเป็นไฟกระแสตรงเพื่อให้เกิดความสมดุลของสัญญาณไฟกระแสตรง 2 สาย และเพื่อขยายสัญญาณผลลัพธ์กับตัว amplifier ที่ตั้งโปรแกรมได้ การปรับกระแสไฟฟ้าทุกอย่าง ถูกกระทำผ่านไมโครโปรเซสเซอร์ที่ควบคุม potentiometers

หลักการทำงาน

เครื่องดูดอากาศจะดูดอากาศด้วยอัตราที่ต่ำ เพื่อส่งอากาศตัวอย่างเข้าสู่ท่อเก็บตัวอย่างและส่งผ่านไปยังแผ่นกรองฝุ่นละอองขนาด 5 ไมครอน มีเครื่องให้ความร้อนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของตัวอย่างอากาศทีเก็บมาก่อนที่จะไหลผ่านเซลล์วัดความเข้มแสง หลังจากนั้นตัวอย่างอากาศจะไหลผ่านส่วนวัดความดัน ส่วนวัดอัตราการไหลซึ่งส่วนนี้จะถูกปรับค่าอัตราการไหลของตัวอย่างให้เป็นหน่วยมาตรฐานคือ ลิตรต่อนาที (lpm)

ส่วนกรองฝุ่นละออง แผ่นกรองฝุ่นถูกออกแบบมาเพื่อให้กำจัดฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และเพื่อหาค่าของตัวอย่าง วัสดุของอุปกรณ์จะต้องเป็นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาเท่านั้น เช่น Kynar, Teflon และ Viton โดยที่ใช้จะเป็นแผ่นกรองขนาด 5 ไมครอนเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 มม.ตัวแผ่นกรองทำมาจาก Teflon ซึ่งตัวกรองจะมี Viton O-ring อยู่และรองรับด้วยแผ่น Teflon

ส่วนเปลี่ยน CO/CO_2 การเปลี่ยน CO/CO_2 จะใช้วิธีคะตะไลติกใช้แพลทตินัมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นตัวเร่งในการแปลง การให้ความร้อนกับตัวเร่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ 0-200 ppm CO ไปเป็น CO น้อยกว่า 0.1 ppm.เมื่อมีน้ำอยู่ 2%

ส่วนควบคุมอัตราการไหล จะติดตามและควบคุมอัตราการไหลของตัวอย่าง ซึ่งจะติดตามค่าความดันและควบคุมความเร็วของช่องท่อพัดลมหลัง ความดันของตัวอย่างนี้จะถูกใช้เพื่อปรับแก้กับความเข้มข้นที่อ่านได้ อัตราการไหลของตัวอย่างจะถูกติดตามโดยการวัดความดันลดระหว่างการควบคุมอัตราการไหลที่วัด แรงดันเหนือลมของตัวควบคุมนี้เป็นแรงดันของเซลล์ตัวอย่าง มวลอากาศที่ไหลผ่านตัวควบคุมจะถูกคำนวณจากแรงดันเหนือลมและแรงดันใต้ลม เนื่องจากตัววัดแรงดันที่ใช้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ อุปกรณ์เหล่านี้จึงรวมอยู่ในกล่องควบคุมอุณหภูมิ

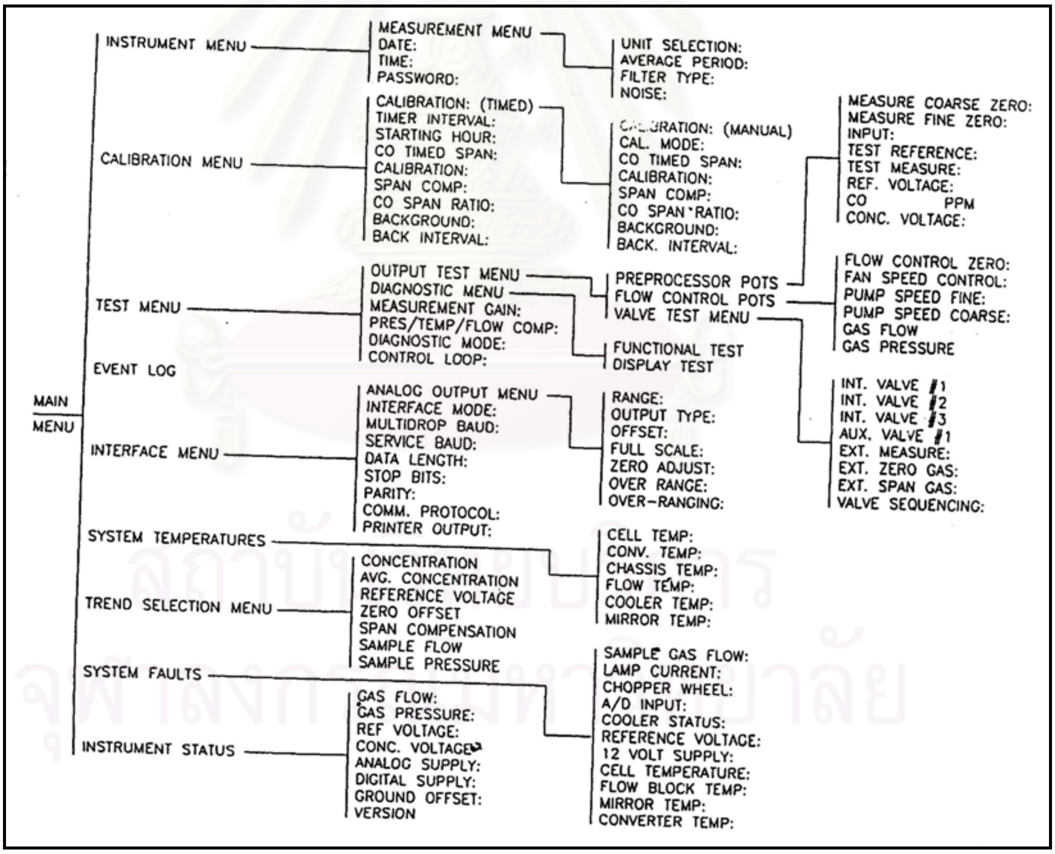
ความเร็วปั๊มถูกควบคุมโดยไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้แรงดันไฟฟ้าโดยได้มาจากเครื่องโพเทนทิโอมิเตอร์ชนิด 2 หลักภายใต้การควบคุมการทำงานของตัวไมโครโปรเซสเซอร์ ความเร็วปั๊มถูกปรับเพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการไหลในการเก็บตัวอย่างที่ต้องการ

ความเร็วพัดลมถูกควบคุมโดยโวลต์ที่ใส่เข้าไปซึ่งปรับค่าได้ โดยได้โวลต์มาจากเครื่องโพเทนทิโอมิเตอร์ชนิด 1 หลักซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของไมโครโปรเซสเซอร์ ความเร็วของพัดลมถูกควบคุมเมื่อเริ่มการดำเนินงาน ที่อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส และจะเพิ่มความเร็วในเชิงเส้นตรงจนกระทั่งถึงอัตราเร็วในการทำงานเต็มที่ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ปั๊มชนิดใบพัดแวนแบบหมุนจะถูกให้ค่ากำลังงานจากมอเตอร์กระแสตรง เนื่องจากปั๊มที่รับโหลดน้อยๆจะหมุนช้า เพราะตัว Boring มีขนาดเล็กมาก ปั๊มจะมีอายุการทำงานสูงถึง 5 ปี

เครื่องวิเคราะห์ ML9830 ถูกตั้งโปรแกรมการทำงานด้วย กลุ่มของรายการที่จะทำการแสดงรายการต่างๆโดยระบบ Microprocessor หรือการตอบรับตัวเลขต่างๆในการจัดการหรือการเลือกจากข้อมูลบนหน้าจอแสดงผล ในการตอบรับ ส่วนหน้าจอสามารถทำได้ 2 แบบคือ

1. การเลือกจากรายการข้อมูลต่างๆบนหน้าจอ โดยการกดปุ่มตอบรับ (Enter) เมื่อรายละเอียดที่เลือกปรากฏบนหน้าจอ
2. การเลือกเติมข้อมูลในส่วนช่องว่าง โดยการกดปุ่มเลือก (select) เพื่อเลือกรายการที่ต้องการเปลี่ยนข้อมูล จากนั้นให้ใช้ลูกศรชี้ขึ้นหรือลูกศรชี้ลงเพื่อกำหนดตัวเลือกซึ่งจะแสดงให้เห็นบนหน้าจอ เลื่อนไปสู่ช่องข้อมูลที่ต้องการเติมต่อไป

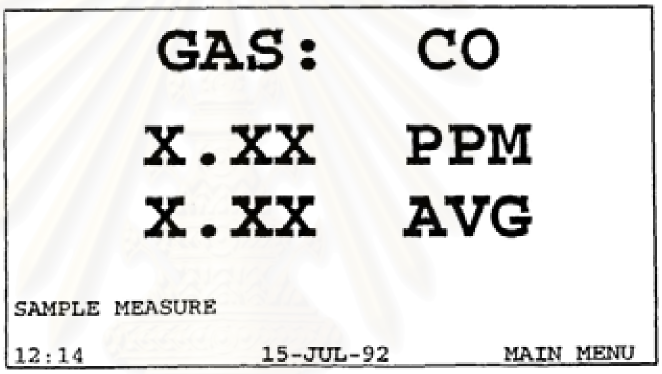
ในส่วนของรายการและหน้าจอสำหรับเครื่องวิเคราะห์รุ่น 9830 โครงสร้างการตอบรับรายการจะแสดงให้เห็นในรูปที่ ง.6 (หมายเหตุ: ข้อมูลที่แสดงเป็นตัวอย่างเท่านั้น หน้าจอจะแสดงการตอบรับจากการเลือกของท่าน)



รูปที่ ง.6 ML9830 Analyzer Menu Structure

เมื่อเปิดเครื่องหน้าจอจะแสดงสัญลักษณ์ “Main Menu” ปรากฏขึ้นที่มุมขวาด้านล่างของหน้าจอหลังจากช่วงเวลาที่เครื่องทำการ Warm-up ที่ด้านซ้ายของหน้าจอจะแสดงการทำงานของเครื่องและชื่อก๊าซที่ต้องการวิเคราะห์จะปรากฏบนหน้าจอ ดังรูปที่ ง.6 เมื่อเครื่องวิเคราะห์เกิดการบกพร่อง จะรายงานการบกพร่องบนหน้าจอด้านล่างของรายการก๊าซที่วิเคราะห์ เงื่อนไขเมื่อเกิดการบกพร่อง

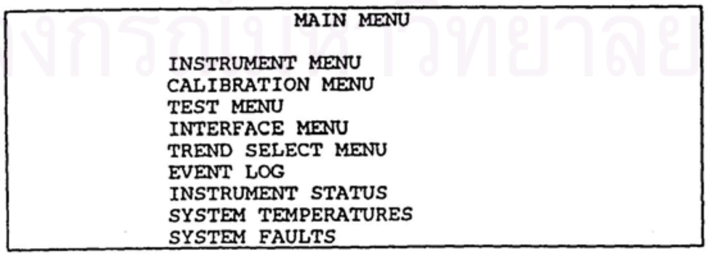
- ถ้าไม่มีการบกพร่อง บรรทัดที่แสดงสถานะจะว่าง
- ถ้าเกิดการบกพร่องอย่างเดียว การรายงานจะแสดงบนบรรทัดแสดงสถานะ และจะหายไปเมื่อแก้ไขข้อบกพร่องได้แล้ว
- ถ้าเกิดการบกพร่องหลายอย่างพร้อมกัน ข้อบกพร่องอันดับแรกของรายการการบกพร่องจะแสดงก่อน เมื่อแก้ไขข้อบกพร่องได้แล้ว ข้อบกพร่องข้อต่อไปของรายการก็จะแสดงต่อ



รูปที่ ง.7 Primary Screen

เมื่อหน้าจอหลักปรากฏขึ้นหลังจากเปิดเครื่อง คำว่า “MAIN MENU” จะกระพริบอยู่ กดปุ่มเลือก (Select) หรือตอบรับ (Enter) เพื่อเข้าไปสู่รายการหลัก การเริ่มทำงานของเครื่อง การแสดงสถานะ การเทียบมาตรฐาน จะถูกควบคุมด้วยระบบรายการเมื่อหน้าจอแรกปรากฏให้กดเลือกเพื่อเข้าสู่รายการหลัก ดังรูปที่ ง.8 ซึ่งประกอบด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง.8 Main menu

รายการเครื่อง (Instrument Menu) จะแสดงสถานการณ์ทำงานของเครื่องในปัจจุบัน

```
INSTRUMENT MENU

MEASUREMENT MENU
DATE:  15-JUL-93
TIME:  18:57
PASSWORD:
ERASE MEMORY: NO
```

รูปที่ ง.9 Instrument Menu

ใน Measurement Menu ประกอบด้วย 3 รายการเบื้องต้นในการใช้งาน

```
MEASUREMENT MENU

UNIT SELECTION    : PPM
AVERAGE PERIOD    : 1 MINUTE
FILTER TYPE       : KALMAN
NOISE             : 24.234 PPB
```

รูปที่ ง.10 Measurement Menu

- Unit Selection : เป็นการเลือกหน่วยในการวัดเป็น ppm. หรือ mg/m^3
- Average Period : เป็นการตั้งเวลาในการเฉลี่ยข้อมูลในแต่ละครั้งเป็นชั่วโมง (1, 4, 8, 12 หรือ 24) หรือ นาที (1, 3, 5, 10, 15 หรือ 30)
- Filter Type : เป็นการตั้ง Time Constant ให้กับ Digital Filter โดยเลือก: No. Filter 90, 60, 30, 10 Seconds, Kalman
- Noise : เป็นค่ามาตรฐานความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มข้น

รายการเทียบมาตรฐาน (Calibration Menu) ในการทำงานการเทียบมาตรฐานเครื่องสามารถเลือก Timed (เทียบแบบอัตโนมัติ) หรือ Manual Timed (เทียบโดยผู้ใช้เครื่อง)

```
CALIBRATION MENU

CALIBRATION       : TIMED
TIMER INTERVAL    : 24
STARTING HOUR     : 0
CO TIMED SPAN     : 10.000 PPM
CALIBRATION       : INTERNAL
SPAN COMP         : DISABLED
CO SPAN RATIO     : 1.0000
BACKGROUND        : START
BACK. INTERVAL    : 24 HOURS
```

รูปที่ ง.11 Timed Calibration Menu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Calibration : Timed เป็นการเลือกช่วงเวลาในการทำ Zero/Span แบบอัตโนมัติ
- Timer Interval : เป็นช่วงเวลาในการเลือกทำ Zero/Span
- Starting Hour : เป็นการตั้งเวลาในการเริ่มทำ Zero/Span
- CO Timed Span : เป็นการตั้งค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการเทียบมาตรฐาน
- Calibration : เป็นการเลือก Interval หรือ External ในการทำ Zero/Span
- Span Comp : เป็นการเลือก Enabled หรือ Disabled
- CO Span Ratio : เป็นค่าที่ระบบ Microprocessor สร้างขึ้นเพื่อให้การเทียบมาตรฐานเป็นไปอย่างถูกต้อง
- Background : เป็นการเลือก Start หรือ Disabled ถ้าเลือก Start เมื่อกด Enter เครื่องจะทำ Auto-Zero ให้แต่ถ้าเลือก Disabled เครื่องจะไม่ทำ Auto-zero แบบปกติ (US.EPA.)
- Back Internal : 24 Hrs. เป็นการตั้งช่วงเวลาการทำ Auto-zero

EVENT LOG เป็นส่วนควบคุมด้วยระบบ Microprocessor จะแสดงส่วนการทำงานของข้อมูลต่างๆซึ่งรายการต่างๆนั้นจะใช้ในการหาข้อบกพร่องของระบบ

INSTRUMENT STATUS และ SYSTEM TEMPERATURE จะแสดงข้อมูลของสถานการณ์ทำงานของเครื่องมือ

SYSTEM FAULT จะแสดง PASS/FAIL เพื่อแสดงสถานะของข้อมูลรายการต่างๆในการทำงานซึ่งเครื่องสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อแต่ละข้อมูลแสดงคำว่า PASS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

สถิติอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของประเทศไทย ในรอบ 52 ปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถิติอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของประเทศไทย
ในรอบ 52 ปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2547)

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน สภาวะอากาศโดยทั่วไปจึงร้อนอบอ้าวเกือบตลอดปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทยมีค่าประมาณ 27 ˚C อย่างไรก็ตามอุณหภูมิจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาล พื้นที่ที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินบริเวณตั้งแต่ภาคกลาง และภาคตะวันออกตอนบนขึ้นไปจนถึงภาคเหนือจะมีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ระหว่างฤดูร้อนกับฤดูหนาว และระหว่างกลางวันกับกลางคืน โดยในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิสูงสุดในตอนบ่าย ปกติจะสูงถึงเกือบ 40 ˚C หรือมากกว่านั้นในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม โดยเฉพาะเดือนเมษายนจะเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบปี ส่วนฤดูหนาวอุณหภูมิต่ำสุดในตอนเช้ามืดจะลดลงอยู่ในเกณฑ์หนาวถึงหนาวจัด โดยเฉพาะเดือนธันวาคมถึงมกราคมเป็นช่วงที่มีอากาศหนาวมากที่สุดในรอบปี ซึ่งในช่วงดังกล่าวอุณหภูมิอาจลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งได้ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณพื้นที่ซึ่งเป็นเทือกเขาหรือบนยอดเขาสูง สำหรับพื้นที่ซึ่งอยู่ติดทะเลได้แก่ภาคตะวันออกตอนล่าง และภาคใต้ความผันแปรของอุณหภูมิในช่วงวันและฤดูกาลจะน้อยกว่า โดยฤดูร้อนอากาศไม่ร้อนจัดและฤดูหนาวอากาศไม่หนาวจัดเท่าพื้นที่ซึ่งอยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน

สถิติอุณหภูมิ ('ซ.) ของประเทศไทยในฤดูกาลต่าง ๆ

อุณหภูมิ	ภาค	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
เฉลี่ย	เหนือ	23.1	28.0	27.3
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	23.9	28.5	27.7
	กลาง	26.1	29.6	28.3
	ตะวันออก	26.4	28.9	28.1
	ใต้			
	- ฝั่งตะวันออก	26.3	28.1	27.7
	- ฝั่งตะวันตก	26.8	28.3	27.4
สูงสุดเฉลี่ย	เหนือ	30.8	35.8	32.2
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	30.3	35.0	32.3
	กลาง	31.7	35.5	32.8
	ตะวันออก	31.7	33.9	32.1
	ใต้			
	- ฝั่งตะวันออก	29.9	32.8	32.1
	- ฝั่งตะวันตก	31.9	34.0	31.4
ต่ำสุดเฉลี่ย	เหนือ	17.1	21.4	23.7
	ตะวันออกเฉียงเหนือ	18.3	23.0	24.2
	กลาง	21.1	24.6	24.8
	ตะวันออก	21.8	25.0	25.0
	ใต้			
	- ฝั่งตะวันออก	22.0	23.2	23.7
	- ฝั่งตะวันตก	22.9	23.7	24.1
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514 -2543)				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถิติอุณหภูมิต่ำที่สุด ('ซ.) ของประเทศไทยในช่วงฤดูหนาว

ภาค	อุณหภูมิต่ำที่สุด	วันที่	เดือน	พ.ศ.	จังหวัด
เหนือ	0.8	27	ธ.ค.	2542	ตาก (อ.อุ้มผาง)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	-1.4	2	ม.ค.	2517	สกลนคร (สกลนคร)
กลาง	5.2	27	ม.ค.	2536	กาญจนบุรี (อ.ทองผาภูมิ)
ตะวันออก	7.6	16	ม.ค.	2506	สระแก้ว (อ.อรัญประเทศ)
ใต้					
- ฝั่งตะวันออก	6.4	26	ธ.ค.	2542	ประจวบคีรีขันธ์(อ.หัวหิน)
- ฝั่งตะวันตก	13.7	21	ม.ค.	2499	ระนอง

หมายเหตุ : ข้อมูลในรอบ 52 ปี (พ.ศ.2494 - 2546)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสการ พิพัฒศุภมงคล เกิดวันที่ 12 เมษายน พ.ศ.2519 ที่จังหวัดเชียงใหม่ จบการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี พ.ศ.2543 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ.2544 จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และได้เข้าทำงานในตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อม ส่วนสารอันตราย สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในปี พ.ศ. 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย