

การพัฒนาระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 โดยการวัดรังสีเบตา



นางสาวเข็มะจิตติ เขมะโยธิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4944-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A RADON-222 CONCENTRATION MEASURING SYSTEM
USING BETA COUNTER



Miss Khemachitti Khemayodhin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-17-4944-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 โดยการ
วัดรังสีเบตา

โดย

นางสาวเข็มะจิตติ เขมะโยธิน

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

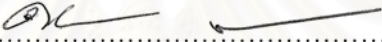
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์


อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว

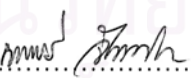
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

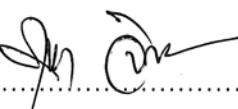

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทโรยธา)

เขมะจิตติ เขมะโยธิน : การพัฒนาระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 โดยการวัดรังสีเบตา (DEVELOPMENT OF A RADON-222 CONCENTRATION MEASURING SYSTEM USING BETA COUNTER) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. อรรถพร ภัทรสมันต์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว จำนวนหน้า 82 หน้า ISBN 974-17-4944-9.

ได้พัฒนาระบบวัดความเข้มข้นของก๊าซเรดอน-222 (^{222}Rn) โดยใช้วิธีวัดรังสีเบตา ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนวัดรังสีเบตาซึ่งประกอบด้วยหัววัดแบบไกเกอร์กับอุปกรณ์นับ/อุปกรณ์วัดอัตรารังสี และส่วนเก็บตัวอย่างอากาศซึ่งประกอบด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศกับจานเปลี่ยนกระดาษกรอง ได้ใช้กระดาษกรอง Whatman ชนิด GF/F ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. เก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 6 นาที แล้วนับรังสีเบตาจากธาตุลูกของเรดอน-222 เป็นเวลา 15 นาที การเก็บตัวอย่างอากาศและการนับรังสีเบตาถูกควบคุมแบบอัตโนมัติโดยไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งในที่สุดความเข้มข้นของเรดอน-222 จะถูกแสดงบนจอภาพ

ได้ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศในสถานที่ต่าง ๆ ของอาคารภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของเรดอน-222 ที่วัดได้เป็นที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดเรดอน RAD 7

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเทคโนโลยี.....ลายมือชื่อนิสิต..... *ณัฐพร ณัฐพร*
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมเทคโนโลยี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *ณัฐพร ณัฐพร*
 ปีการศึกษา.....2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... *ณัฐพร ณัฐพร*

4570234621 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: RADON-222/BETA COUNTER

KHEMACHITTI KHEMAYODHIN : DEVELOPMENT OF A RADON-222
CONCENTRATION MEASURING SYSTEM USING BETA COUNTER. THESIS
ADVISOR : ASST.PROF.ATTAPORN PATTARASUMUNT, THESIS
COADVISOR : ASSOC. PROF.NARES CHANKOW, 82 pp. ISBN 974-17-4944-9.

An air radon-222 (^{222}Rn) concentration measuring system based on beta counting was developed. The system consisted of 2 main parts i.e. the beta counting part equipped with a Geiger tube and a scaler/ratemeter; and the air sampling part equipped with an air sampler and a filter holder. Air sample was collected on a 25 mm diameter GF/F Whatman glass microfiber filter for 6 minutes then counted with the Geiger counter to obtain beta counts from ^{222}Rn progeny for 15 minutes. The air sampling and the beta counting cycles were automatically controlled by using a microcomputer. The ^{222}Rn concentration was finally displayed on the screen.

The developed system was tested in measuring ^{222}Rn concentration in the air at different places of the Nuclear Technology Department building. It was found that ^{222}Rn concentrations were found to be satisfactory in comparison with the values obtained from a RAD 7 radon detector.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Nuclear Technology... Student's signature.....*Mr. Somrit Somkiet*
Field of study.....Nuclear Technology....Advisor's signature.....*Attaporn Pattarasumunt*
Academic year.....2005.....Co-advisor's signature.....*Nares Chankow*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จลงได้หากปราศจากคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และการถ่ายทอดวิทยาการและความรู้จาก ผศ. อรรถพร ภัทรสุมันต์ และ รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว

ขอขอบคุณ รศ. ดร. สุพิชชา จันทโรยธา อาจารย์ จเด็จ เย็นใจและคุณบัญชา อุนพานิช ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณ ดร. ชินจิ โทโคนามิ (Shinji Tokonami) จาก Radon Research Group, Research Center for Radiation Safety ที่ได้คำแนะนำเกี่ยวกับเทคนิคการวัดเรดอนและวิธีการคำนวณ ขอขอบคุณคุณ ธีรณัฐชัย พิรุณพันธ์ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการคำนวณ ขอขอบคุณคุณชุตติมา กรานรอดและคุณอรวรรณ ตรรณากาที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์เป็นอย่างดี ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณพล.ร.ต. พจนา เพ็ญผ่อง ผู้บัญชาการโรงเรียนช่างฝีมือทหาร พ.อ. ณรงค์ สุคนธ์เคหา ผอ. กองการฝึกและศึกษา รร.ชท.ยศ.ทหาร พ.ท. สุนทร โภคะสุนทรางกูล หน.แผนกช่างโลหะ กฝศ.รร.ชท.ยศ.ทหาร ร.ต. ทะนง ภูกิ่งหิน ครูวิชาช่างแผนกช่างกลโลหะ กฝศ.รร.ชท.ยศ.ทหาร จ.ส.อ. พงศักดิ์ ชมจันทร์ ผู้ช่วยครูวิชาช่างแผนกช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ กฝศ.รร.ชท.ยศ.ทหาร จ.ส.ท. วรา ชนะพาล และ จ.อ. สัตนัฐิต สมัคย์ญกิจ ผู้ช่วยครูวิชาช่างแผนกช่างกลโลหะกฝศ.รร.ชท.ยศ.ทหารและนักเรียนช่างฝีมือทหารที่ให้ความรู้ด้านระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้ ขอขอบคุณคุณไพฑูรย์ วรรณพงษ์ กลุ่มฝ้าตรวจกัมมันตภาพรังสี คุณชนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ คุณอริษฏ์ สิรินันทวิทย์และคุณสกันธ์ รัตนบุษยาพร จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือวัดก๊าซเรดอนที่สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นิสิตในภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีทุกท่านที่มีส่วนเป็นอย่างมากในการให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกแก่ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์

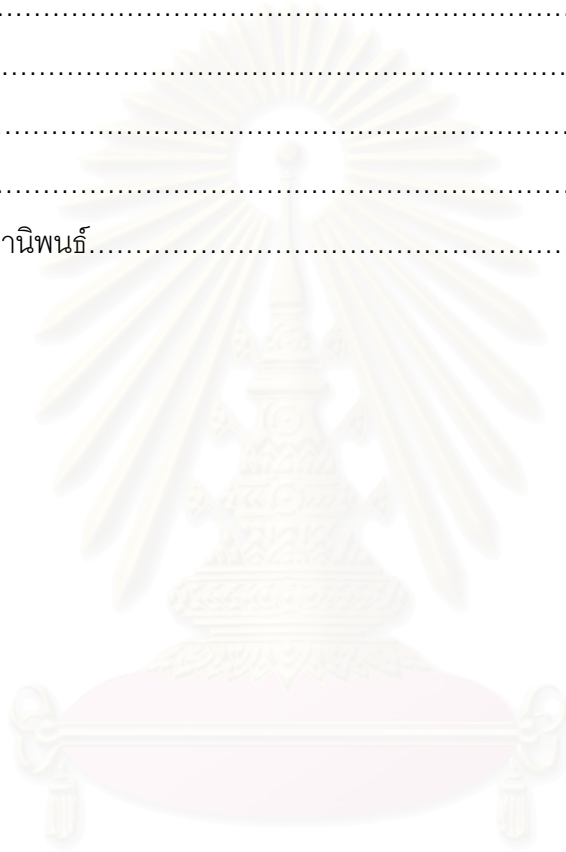
ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือ ความรู้ คำแนะนำ และการถ่ายทอดวิทยาการให้แก่ข้าพเจ้า ถ้าปราศจากบิดาแล้ว ข้าพเจ้าคงไม่สามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ ขอกราบขอบพระคุณมารดาที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน และได้ให้โอกาสทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้าตลอดมา จนถึงทุกวันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจจะศึกษา และทำการพัฒนาต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1.บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2. ทฤษฎี.....	7
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	7
3. ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้.....	22
3.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย.....	22
3.2 การทำงานของระบบโดยรวม.....	23
3.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตา.....	34
4.การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ.....	40
4.1 การทดสอบผลของการวัดจำนวนนับรังสีเบตาด้วย beta counter การวัดจำนวนรังสีแอลฟาด้วย Alpha spectrometerเปรียบเทียบกับ การวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ด้วย RAD 7.....	40
4.2 การทดสอบการทำงานของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตาที่ได้พัฒนาขึ้น.....	49
5. สรุปผลการวิจัย วิเคราะห์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57

	หน้า
รายการอ้างอิง.....	58
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก.....	61
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	66
ภาคผนวก ง.....	69
ภาคผนวก จ.....	72
ภาคผนวก ฉ.....	74
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	82



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1 แสดงระดับรังสีโดยเฉลี่ยที่มนุษย์ได้รับในรอบปี.....	4
4.1 ผลการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 จำนวนนับรังสีเบตาที่เวลาต่าง ๆ และจำนวน นับรังสีแอลฟาของ Po-218 ในบริเวณภาคศึกษานิเวศวิทย์เทคโนโลยี.....	45
4.2 ผลการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 และค่า EERC ในบริเวณภาคศึกษานิเวศวิทย์ เทคโนโลยี.....	46
4.3 ผลการวัดความเข้มข้นของเรดอน คุณภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	47
4.4 ผลของจำนวนนับรังสีเบตา ณ เวลาต่าง ๆ.....	50
4.5 แสดงผลของความเข้มข้นของเรดอนที่วัดโดย RAD 7 ความชื้นสัมพัทธ์ คุณภูมิและ จำนวนนับรังสีเบตา โดยทิ้งให้สลายตัว 1 นาที หลังดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง โดย ใช้ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ที่พัฒนาขึ้น แล้วนำกระดาษ กรองไปวัดโดยใช้ beta counter ของบริษัท Eberline	52
4.6 แสดงผลของความเข้มข้นของเรดอนที่วัดโดยใช้ RAD 7 ความชื้นสัมพัทธ์ คุณภูมิ และจำนวนนับรังสีเบตา โดยทิ้งให้สลายตัว 1 นาทีหลังดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้หัววัดไกเกอร์ ร่วม กับ scaler ratemeter	54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่

1.1 อนุกรมยูเรเนียม.....	2
1.2 เส้นทางที่ก๊าซเรดอนเข้ามาในห้อง.....	3
2.1 กราฟแสดงสมดุลกัมมันตรังสีแบบเซคูลาร์ (secular equilibrium).....	12
2.2 กราฟแสดงสมดุลกัมมันตรังสีแบบทรานเซียนต์ (transient equilibrium).....	13
2.3 กราฟแสดงกรณีของไม่มีสมดุลกัมมันตรังสี (no equilibrium).....	14
2.4 Model AB – 4 (A) portable radon monitor (Lucas cell).....	17
2.5 Ionization Chamber.....	18
2.6 หัววัดรังสีชนิดเปล่งแสงวับ (Scintillation counter).....	19
3.1 แผนผังการทำงานของระบบโดยรวม.....	23
3.2 จานเปลี่ยนกระดาษกรอง.....	24
3.3 โครงสำหรับติดตั้งระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อน ย้ายได้.....	25
3.4 ตะกั่วกำบังรังสี.....	26
3.5 Scaler ratemeter Model 2200 ของบริษัท Ludlum จำกัดและหัววัดไกเกอร์ขนาด 3 นิ้ว.....	26
3.6 วงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์, วงจรควบคุมการเคลื่อนของท่อดูดอากาศ, วงจรควบคุม ปั๊มสุญญากาศ(vacuum pump) และวงจรควบคุม optical sensor.....	27
3.7 ระบบดูดอากาศ.....	28
3.8 ปั๊มสุญญากาศของบริษัท Yamano.....	29
3.9 แผงวงจรควบคุมหลักและวงจรจ่ายไฟ.....	30
3.10 บอร์ดสำเร็จรูปจากบริษัทอีทีที จำกัด model CP-S8252 V1.0.....	31
3.11 ภาพด้านบนของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อน ย้ายได้.....	32
3.12 ภาพภายในของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อน ย้าย.....	32
3.13 ภาพด้านข้างของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อน ย้าย.....	33

รูปที่

3.14 ภาพระบบวัดความเข้มข้นของเรดอนที่ได้พัฒนาขึ้นโดยรวม.....	33
3.15 ผังไหลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบตรวจความเข้มข้นของเรดอนโดย การวัดรังสีเบตา	34
3.16 หน้าจอโปรแกรมตอนเริ่มต้น.....	37
3.17 หน้าจอโปรแกรมหลังการวัดรังสีเบตาเป็นเวลา 15 นาที.....	38
4.1 กระดาษกรอง GF/F ของบริษัท Whatman.....	41
4.2 ลักษณะของกระดาษกรอง GF/F ของบริษัท Whatman.....	41
4.3 บั้มสุญญากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	42
4.4 เครื่องมือวัดเรดอน RAD 7 (Radon detector) ของบริษัท Durridge.....	42
4.5 เครื่อง Alpha Spectrometer.....	43
4.6 เครื่อง beta counter ของบริษัท Eberline.....	43
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EERC กับจำนวนนับรังสีเบตา.....	48
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนกับค่า EERC.....	48
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนกับจำนวนนับรังสีเบตา.....	49
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนกับจำนวนนับรังสีเบตากับเวลา.....	51
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนที่วัดโดยใช้ RAD 7 กับจำนวนนับรังสี เบตาโดยใช้ beta counter ของบริษัท Eberline.....	53
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนวัดโดย RAD 7 กับจำนวนนับรังสีเบ ตาโดยใช้ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดไก เกอร์และ scaler ratemeter.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

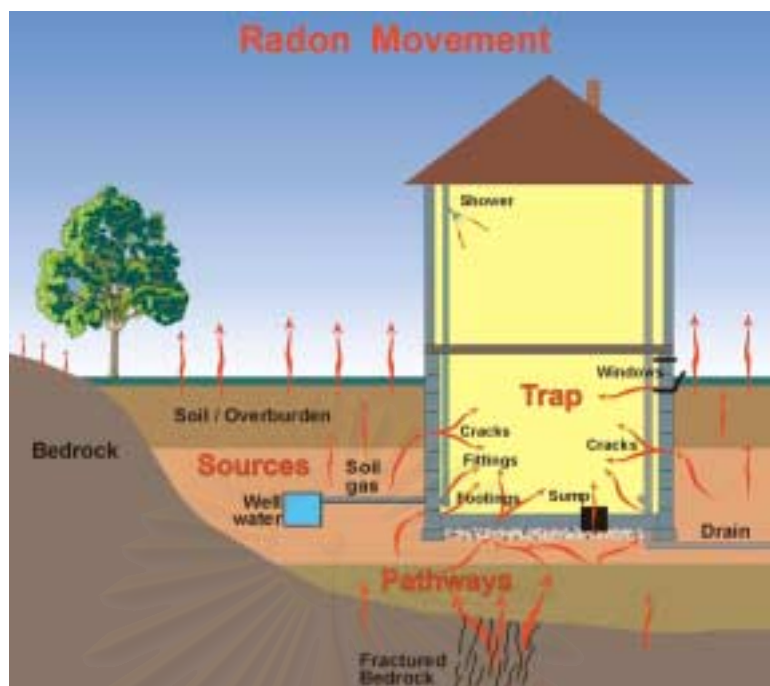
ก๊าซเรดอนเป็นก๊าซกัมมันตรังสีที่มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เรดอน-222 (Radon-222) เกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 (Radium-226) ที่เกิดจากการสลายตัวของยูเรเนียม-238 (Uranium-238) และสลายตัวต่อไปเป็นสารกัมมันตรังสีอื่น ๆ ได้อีก ซึ่งเมื่อสลายตัวแล้วจะให้รังสีแอลฟา รังสีเบตาและรังสีแกมมา ในปัจจุบันมีการพบว่าสาเหตุที่สำคัญของการเกิดมะเร็งปอดในมนุษย์ก็คือรังสีแอลฟา ถ้าสูดเข้าไปภายในร่างกายเป็นปริมาณมากจะก่อให้เกิดอันตราย เมื่อก๊าซเรดอนเข้าสู่ร่างกายจะปลดปล่อยรังสีแอลฟาออกมาและเกิดโปโลเนียม-218 (Polonium-218) ที่เป็นโลหะซึ่งจะยึดจับเยื่อปอดทางเดินหายใจแล้วแผ่รังสีแอลฟาออกมาทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อปอด ถ้าได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดมะเร็งที่ปอดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูบบุหรี่จะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งขึ้นอีกหลายเท่าตัว ก๊าซเรดอนจึงจัดเป็นก๊าซที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ การสลายตัวของเรดอนจะสิ้นสุด เมื่อกลายเป็นตะกั่ว-206 (Lead-206) ดังรูปที่ 1.1

เนื่องจากเรดอนส่วนมากจะเกิดขึ้นตามธรรมชาติ ดังนั้นเรดอนจึงสามารถซึมผ่านช่องว่างตามสถานที่ต่าง ๆ ได้จากดินและอากาศดังรูปที่ 1.2 ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนแปรตามความลึกในชั้นดิน ยิ่งลึกมากยิ่งมีความเข้มข้นสูง การป้องกันอันตรายจากก๊าซเรดอนทำได้โดยการไม่สูบบุหรี่ในบ้านหรือในห้องที่มีอากาศถ่ายเทน้อยและควรเปิดหน้าต่างให้มีการถ่ายเทระหว่างอากาศในบ้านกับอากาศนอกบ้านในทุกวัน ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการสรุปค่าความแรงรังสีโดยเฉลี่ยจากต้นกำเนิดรังสีต่างๆ ดังตารางที่ 1.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

92	U U^{238}, U_I (uranium I) 4.51×10^9 years		U^{234}, U_{II} (uranium II) 2.48×10^5 years				
91		α	β Pa^{234}, UX_2 (99.85%) 1.18 minutes β Pa^{234}, UZ 6.7 hours β LT. (0.15%) α				
90	Th^{234}, UX_1 (uranium X ₁) 24.1 days		Th^{230}, Io (ionium) 7.52×10^4 years				
89	Ac		α				
88	Ra		Ra^{226}, Ra (radium) 1622 years				
87	Fr		α				
86	Rn		Rn^{222}, Rn (radon) 3.825 days				
85	At		α	At ²¹⁸ 1.3 seconds			
84	Po		Po^{218}, RaA (radium A) 3.05 minutes	β (0.02%) α	Po^{214}, RaC (radium C) 1.6×10^{-4} second	Po^{210}, RaF (polonium) 138.4 days	
83	Bi	α (99.98%)	Bi^{214}, RaC (radium C) 19.7 minutes	β (99.96%) α	Bi^{210}, RaE (radium E) 5.01 days	α	
82	Pb		Pb^{214}, RaB (radium B) 26.8 minutes	β α (0.04%)	Pb^{210}, RaD (radium D) 22 years	β α ($5 \times 10^{-5}\%$)	Pb^{206}, RaG (stable lead isotope)
81	Tl		Tl^{210}, RaC' (radium C') 1.32 minutes	β α ($1.8 \times 10^{-6}\%$)	Tl^{206}, RaE' (radium E') 4.3 minutes	β	
80	Hg				Hg^{206} 8.5 minutes	β	

รูปที่ 1.1 อนุกรมยูเรเนียม



รูปที่ 1.2 เส้นทางที่ก๊าซเรดอนเข้ามาในห้อง [1]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1 ระดับรังสีโดยเฉลี่ยที่มนุษย์ได้รับในรอบปี

ต้นกำเนิดรังสี	ระดับรังสี (mSv / Yr)	เปอร์เซ็นต์
รังสีจากธรรมชาติ		
ก๊าซเรดอน	2.00	55
รังสีคอสมิก	0.27	8
รังสีจากผิวโลก	0.28	8
รังสีจากภายในร่างกาย	0.39	11
รวม	3.00	82
รังสีจากกิจกรรมมนุษย์		
การเอกซเรย์ทางการแพทย์	0.39	11
การใช้งานเวชศาสตร์นิวเคลียร์	0.14	4
ผลิตภัณฑ์ใช้ในชีวิตปกติ	0.10	3
สถานปฏิบัติงานทางรังสี	0.01	0.03
กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงฯ	0.01	0.03
ฝุ่นกัมมันตรังสี	0.01	0.03
อื่นๆ	0.01	0.03
รวมรังสีจากกิจกรรมมนุษย์	0.63	18
รวมรังสีที่มนุษย์ได้รับ	3.60	100

การวัดเรดอนโดยทั่วไป ที่นิยมใช้มีหลายวิธีด้วยกันได้แก่ การวัดรังสีแอลฟาด้วยเครื่องนับแอลฟา (Alpha Counter) ข้อดีคือใช้ระยะเวลาในการวัดน้อย ส่วนข้อเสียคือวิธีการค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากความสามารถในการทะลุทลวงของรังสีแอลฟาต่ำ เมื่อพลังงานและการดูดกลืนของแอลฟาตกลงจะทำให้ประสิทธิภาพการนับลดลงด้วย การวัดรังสีแกมมาด้วยแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ (Gamma - ray Spectrometer) ข้อดีคือสามารถวัดได้ง่ายเนื่องจากรังสีแกมมามีความสามารถในการทะลุทลวงสูง ข้อเสียคือประสิทธิภาพ (efficiency) ต่ำ จึงมีแบคกราวด์สูง อุปกรณ์ราคาแพง เทคนิคและการสอบเทียบยุ่งยาก และการวัดรังสีเบตาด้วยหัววัดเบตา (Beta Detector) ข้อดีคือวิธีการวัดง่ายและอุปกรณ์มีราคาถูก ซึ่งจากเหตุผลข้างต้นจึงเป็นสาเหตุที่นำเอาวิธีการวัดรังสีเบตามาพิจารณาเป็นระบบตรวจความเข้มข้นของเรดอนในอากาศ เพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศโดยการวัดรังสีเบตาที่เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 พัฒนาระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศโดยการวัดรังสีเบตาซึ่งประกอบด้วยระบบวัดรังสีเบตาที่ใช้หัววัดรังสีไกเกอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบได้แก่ ควบคุมการวัดรังสีในช่วงเวลาต่างๆ ควบคุมการเลื่อนตำแหน่งของกระดาศกรอง ควบคุมการทำงานของปั๊มดูดอากาศ

1.3.2 พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

1.3.3 ทดสอบการทำงานของระบบโดยการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 และ เปรียบเทียบผลของการวัดกับผลที่ได้จากวิธีอื่น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในงานด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบและสร้างระบบวัดรังสีเบตา และ ระบบควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.5.3 พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ และการประมวลผล

1.5.4 ทดสอบและปรับปรุงการทำงานของระบบ

1.5.5 เปรียบเทียบผลการวัดกับวิธีอื่น

1.5.6 สรุปผลและเขียนรายงาน

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี 1999 นายวิทิต ผึ้งกัน แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเทคนิคเพื่อหาปริมาณเรดอน-222 ในอาคารโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ [2] ได้พัฒนาเทคนิคสำหรับการหาความเข้มข้นของเรดอน - 222 ในอากาศ เทคนิคที่พัฒนาขึ้นมี 3 กระบวนการ คือ กระบวนการแรกเป็นการเก็บตัวอย่างอากาศและทำให้ เรดอน - 222 มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น โดยการดูดอากาศผ่านท่อทองแดงที่มีความยาว 3.75 เมตร ซึ่งแช่อยู่ในไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ก๊าซ เรดอนเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวพร้อมกับคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และอาร์กอน แต่ไนโตรเจนที่เป็นส่วนประกอบหลักของอากาศยังคงมีสถานะเป็นก๊าซจึงไหลผ่านออกไป กระบวนการที่สองเป็นการเปลี่ยนสถานะเรดอนกลับเป็นก๊าซ แล้วดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซึ่งเมื่อพบว่าเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ 100 กรัม บรรจุในภาชนะพลาสติก ได้ประสิทธิภาพการดูดก๊าซเรดอน - 222 ประมาณร้อยละ 85 กระบวนการที่สามเป็นการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 609 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จากบิสมัท-214 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 โดยใช้หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทาลเลียม) ขนาด 5 x 5 นิ้ว ได้พบว่าขีดจำกัดในการวัดปริมาณเรดอน-222 ที่ถูกดูดซับไว้ในถ่านกัมมันต์ 100 กรัม มีค่าเท่ากับ 0.04 นาโนคูรี จากการทดลองวัดปริมาณก๊าซเรดอนในห้อง จำนวน 6 ห้อง ของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีได้ค่าอยู่ระหว่าง 0.059 ± 0.046 ถึง 1.400 ± 0.218 พิโคคูรีต่อลิตร และจากการคำนวณได้ขีดจำกัดในการวัดเรดอน-222 ในอากาศประมาณ 0.1 พิโคคูรีต่อลิตร สำหรับการดูดอากาศปริมาตร 500 ลิตรและเวลานับรังสี 5000 วินาที

1.6.2 ปี 1984 F. Wolfs, H. Hofstede, R.J. De Meijer และ L.W. Put ได้เสนองานวิจัยเรื่อง *Measurement of Radon daughter Concentration in and Around Dwellings in the Northern Part of the Netherlands; a Search for the Influences of Building Materials, Construction and Ventilation* เป็นการวัดความเข้มข้นธาตุลูกของเรดอนภายในและบริเวณรอบๆ ที่อยู่อาศัยในตอนบนของประเทศเนเธอร์แลนด์ เพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุก่อสร้าง สิ่งก่อสร้างและที่ระบายอากาศ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอน ได้ทำการวัดภายในและบริเวณรอบๆ 80 บ้านที่อยู่ในบริเวณตอนบนของประเทศเนเธอร์แลนด์โดยใช้วิธีการ one-filter method ค่าเฉลี่ยที่วัดความเข้มข้นภายในและภายนอกมีค่า 2.0 mWL และ 0.4 mWL ตามลำดับ ความเข้มข้นภายนอกเฉลี่ยมีผลมาจากทิศทางลมระหว่างทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้มากกว่าทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ที่ค่าเฉลี่ยบ้านที่มีบานกระจกหน้าต่าง 2 บาน และ/หรือ พื้นห้องคอนกรีตจะมีความเข้มข้นเรดอนมากกว่าบ้านที่มีบานกระจกหน้าต่างบานเดียว และ/หรือ พื้นห้องไม้ สำหรับห้องนั่งเล่นของบ้านที่มีเพียงแค่ 18 บ้านได้ทำการวัดโดยข้อมูลสำหรับบ้านที่มีห้องนั่ง

เล่นได้ค่าเป็นกราฟเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นภายในและภายนอกมีความชัน 3.8 – 2 ค่าที่ออกมาไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ อาจเนื่องมาจากที่ระบายอากาศที่เชื่อมไปยัง crawl space

1.6.3 ปี 1983 W.A. Goldsmith, J.W. Poston, P.T. Perdue และ M.O. Gibson ได้เสนองานวิจัยเรื่อง *Radon-222 and Progeny Measurements in Typical East Tennessee Residences* เป็นการวัด Radon-222 และธาตุลูกในที่อยู่อาศัยบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือ การดัดแปลง Wrenn chamber สำหรับเครื่องมือวัดอย่างต่อเนื่องของ Radon-222 รวมทั้งการปรับปรุงและชุดเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ซึ่งคอมพิวเตอร์ช่วยในการทำงานซึ่งได้รับการพัฒนาที่สถาบันวิจัยแห่งชาติโอ๊คริดจ์ (Oak Ridge National Laboratory) การทดสอบของอุปกรณ์เหล่านี้ได้ทำการทดสอบโดยนำอุปกรณ์เหล่านี้ไปไว้ในบ้านของเจ้าหน้าที่ การทดสอบได้ทำการวัด 7 บ้าน เป็นเวลาดั้งแต่ 4–18 วัน ในระหว่างที่ทำการทดสอบ ความเข้มข้นของ Rn-222 ในบ้านเหล่านั้นได้ทำการวัดอย่างต่อเนื่อง ความเข้มข้นของ Rn-222 ในชั้นใต้ดินของ 3 ใน 7 บ้าน มีค่าเกิน 100 Bq/m³ ค่อนข้างคงที่ มีอยู่บ้านหลังหนึ่งที่มีความเข้มข้นมีค่าเกือบถึง 1000 Bq/m³ ตัวอย่างของดินและวัสดุก่อสร้างจากที่อยู่อาศัยมีค่าความเข้มข้น Ra-226 อยู่ในขอบเขตปกติ (40 Bq/Kg) การวัดธาตุลูกของเรดอนได้ทำการวัด 5 บ้าน ผลการทดลองมีค่าดังนี้ ชั้นใต้ดิน ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตมีค่า 0.016 mWL (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิตมีค่า 2.9) ชั้นบน ค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิตมีค่า 0.014 mWL (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิตมีค่า 2.9)

1.6.4 ปี 1981 Masahiro Kawaji, H. Lin Pai และ Collin R. Phillips ได้เสนองานวิจัยเรื่อง *Use of Gross Filter Activities in a Continuous Working Level Monitor* เป็นการนำ Gross filter Activities ในเครื่องมือวัด Working Level แบบต่อเนื่อง conversion factor สำหรับเครื่องมือวัด Working Level (WL) แบบต่อเนื่องได้มาจากทฤษฎีทำให้ค่าการนับของ gross alpha gross beta และ gross alpha plus beta เปลี่ยนแปลงเป็น WL โดยตรง ประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด WL แบบต่อเนื่องและความถูกต้องของ conversion factor ได้มีการประเมินค่าโดยมีการเปรียบเทียบ กับ grab sampling data จากเครื่องมือวัด Tsivoglou แบบอัตโนมัติ ผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ในงานวิจัยนี้จะทำการวัดรังสีเบตาที่เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาคุณสมบัติและข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคเบตาและเรดอน-222 เสียก่อน โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้ คุณสมบัติของอนุภาคเบตา อันตรกิริยาของอนุภาคเบตากับนิวเคลียส อันตรกิริyarังสีเบตากับอิเล็กทรอนิกส์ในวงโคจร การสลายตัวต่อเนื่องและการคำนวณ สมดุลย์กัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium) ลักษณะเฉพาะของเรดอน-222 (radon – 222) เทคนิคการวัดเรดอนในอากาศ เทคนิคการวัดไอโซโทปลูกของเรดอนในอากาศ EERC (equilibrium equivalent radon concentration) equilibrium factor (F) และ Working Level (WL)

2.1.1 คุณสมบัติของอนุภาคเบตา [3]

อนุภาคเบตานั้นคืออนุภาคอิเล็กทรอนิกส์ที่ปลดปล่อยออกมาจากนิวเคลียส โดยมีมวลนิ่ง $m_0 = 9.1 \times 10^{-28}$ gm และมีประจุ Q ขนาด 1.6×10^{-19} คูลอมบ์

ความเร็วของอนุภาคเบตาขึ้นอยู่กับขนาดพลังงาน โดยที่พิสัยของความเร็วมีค่าตั้งแต่ 0 ต่อเนื่องไปจนถึง 2.9×10^{10} cm/s หรือใกล้กับความเร็วแสงเพราะว่ามวลของอนุภาคเบตามีขนาดน้อยกว่ารังสีแอลฟามาก ดังนั้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากกว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคแอลฟาที่มีพลังงานเท่ากัน

2.1.2 อันตรกิริยาของอนุภาคเบตากับนิวเคลียส [3]

การชนของอนุภาคเบตากับนิวเคลียสของอะตอมจะเกี่ยวพันกับอันตรกิริยาคูลอมบ์ ซึ่งจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์เบี่ยงเบนไปจากเส้นทางเดิม ถ้าอันตรกิริยาเป็นแบบยืดหยุ่นกระบวนการนี้เรียกว่า การกระเจิงรutherford และพลังงานของอนุภาคเบตาที่กระเจิงออกมาก็จะยังคงมีพลังงานเท่าเดิมเทียบกับพลังงานก่อนการชน ซึ่งเนื่องมาจากความจริงที่ว่าพลังงานจลน์ทั้งหมดสำหรับระบบการชนยืดหยุ่น และเนื่องจากมวลของอะตอมนั้นมากกว่ามวลอิเล็กทรอนิกส์หลายพันเท่าค่าพลังงานถดถอยจะมีค่าน้อยมากจนตัดทิ้งได้ การกระเจิงรutherfordจะเป็นการกระเจิงแบบกระเจิงกลับส่วนใหญ่ของอนุภาคเบตา

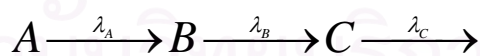
เมื่ออิเล็กตรอนถูกหน่วงพลังงานลงในสนามคูลอมบ์ของนิวเคลียสในอะตอม รั้งสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเบรมสตราลูงจะเกิดขึ้น รั้งสีนี้จะแสดงลักษณะเฉพาะตัวของเป้าและของพลังงานอนุภาคเบตาซึ่งจะเป็นแถบต่อเนื่องและจะมีพลังงานเพียง 1 % ของรั้งสีทั้งหมด จำนวนเปอร์เซ็นต์ของรั้งสีเบรมสตราลูงจะเพิ่มมากขึ้นถ้าชนเป้าที่มีเลขอะตอมมากขึ้น ดังนั้นการป้องกันรั้งสีเบตาจึงใช้วัสดุที่มีเลขอะตอมต่ำ เช่น พลาสติก เบรมสตราลูงจะถูกผลิตโดยอันตรกิริยาแบบไม่ยืดหยุ่นของรั้งสีเบตากับนิวเคลียสของวัสดุที่ใช้ทำเป็นเป้า ค่าพลังงานจลน์ทั้งหมดของระบบการชนจะน้อยกว่าจำนวนเริ่มต้นโดยปริมาณส่วนที่ลดลงนั้นจะเท่ากับพลังงานที่แผ่ออกมาในรูปเบรมสตราลูง

2.1.3 อันตรกิริยารั้งสีเบตากับอิเล็กตรอนในวงโคจร [3]

อนุภาคที่มีประจุจะผลัดกันซึ่งกันและกัน การผลัดทางคูลอมบ์ระหว่างอนุภาคเบตากับอิเล็กตรอนในวงโคจรในสารนั้นอาจจะทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรนั้นหลุดออกมาจากอะตอมเลยก็ได้ถ้าอนุภาคเบตานั้นมีพลังงานเพียงพอ อะตอมนั้นก็จะเป็นไอออนมีประจุบวก หลังจากกระบวนการแตกตัวเป็นไอออน พลังงานสุดท้ายของอิเล็กตรอนจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานตอนเริ่มต้นด้วยจำนวนเท่ากับผลรวมของพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนที่ถูกผลัดออกมาและพลังงานจลน์

2.1.4 การสลายตัวต่อเนื่องและความสัมพันธ์ของจำนวนอะตอมและเวลาที่ผ่านไป [4]

ปัญหามีพบบ่อยครั้งในการคำนวณความแรงรั้งสี หรือปริมาณของธาตุกัมมันตรั้งสีก็คือ ธาตุกัมมันตรั้งสีมีการสลายตัว ให้ธาตุกัมมันตรั้งสีอีกชนิดหนึ่งต่อเนื่องกันไป พิจารณาธาตุกัมมันตรั้งสีที่สลายตัวต่อเนื่องดังต่อไปนี้



$$\frac{dN_A(t)}{dt} = -\lambda_A N_A(t) \quad \dots (1)$$

$$\frac{dN_B(t)}{dt} = \lambda_A N_A(t) - \lambda_B N_B(t) \quad \dots (2)$$

จากสมการที่ 1 จะได้

$$N_A(t) = N_A^0 e^{-\lambda_A t} \quad \dots (3)$$

จากสมการที่ 2 จัดรูปใหม่เป็น

$$\frac{dN_B(t)}{dt} + \lambda_B N_B(t) = \lambda_A N_A^0 e^{-\lambda_A t} \quad \dots (4)$$

สมการที่ 4 $\times e^{-\lambda_B t}$ ได้:

$$\frac{dN_B(t)}{dt} e^{-\lambda_B t} + \lambda_B N_B(t) e^{-\lambda_B t} = \lambda_A N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} \quad \dots (5)$$

ดังนั้น

$$d(N_B e^{\lambda_B t}) = \lambda_A N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} dt \quad \dots (6)$$

$$= \frac{\lambda_A N_A^0 e^{(\lambda_B - \lambda_A)t}}{\lambda_B - \lambda_A} d(\lambda_B - \lambda_A)t$$

อินทิเกรต (integrate) สมการที่ 6 ได้

$$N_B e^{\lambda_B t} = \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} e^{(\lambda_B - \lambda_A)t} + C \quad \dots (7)$$

ถ้า $t = 0$, $N_B = N$ ดังนั้น $C = N_B^0 - \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A}$

แทนค่า C ในสมการที่ 7 จะได้

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) + N_B^0 e^{-\lambda_B t} \quad \dots (8)$$

สมการที่ 3 และ 8 ใช้ในการคำนวณจำนวนอะตอมของ A และ B ที่เวลาใดๆตามลำดับ ส่วนจำนวนอะตอมของ C ที่เวลาใดๆ $N_C(t)$ จะหาได้จาก

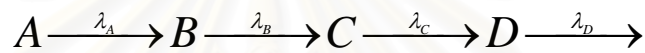
$$N_C(t) = N_A^0 - N_A(t) - N_B(t) \quad \dots (9)$$

ถ้าเวลา $t = 0$, $N_C(t) = N_A^0$ สมการที่ 7 จะเป็น

$$N_C(t) = N_A^0 - N_A(t) - N_B(t) + N_C^0 \quad \dots (10)$$

2.1.5 กรณีของการสลายตัวทางรังสีแบบต่อเนื่องหลายขั้นตอน (The case of many successive decays) [3]

นักวิทยาศาสตร์ชื่อ เฮช เบทแมน (H. Bateman) ได้พัฒนาหาคำตอบจากสมการทั่ว ๆ ไป กรณีของการสลายตัวแบบต่อเนื่องหลายขั้นตอนนั้นจะใช้อนุกรมการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีในรูปแบบทั่ว ๆ ไปได้ดังนี้



โดยเริ่มจากธาตุบริสุทธิ์ A เราสามารถหาจำนวนอะตอม N_n ของลูก ณ เวลา t ได้จาก

$$N_n = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + C_n e^{-\lambda_n t} \quad \dots(11)$$

โดยที่

$$C_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1)} N_1^0 \quad \dots(12)$$

และ

$$C_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2)} N_1^0 \quad \dots(13)$$

2.1.6 สมดุลย์กัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium) [5]

ในกรณีที่ธาตุกัมมันตรังสีมีการสลายตัวต่อเนื่องกัน ถ้านิวเคลียสแม่ (parent nucleus) มีครึ่งชีวิตยาวกว่า นิวเคลียสลูก (daughter nucleus) จะมีโอกาสที่จะเกิดสมดุลย์กัมมันตรังสีได้ 2 กรณีคือ

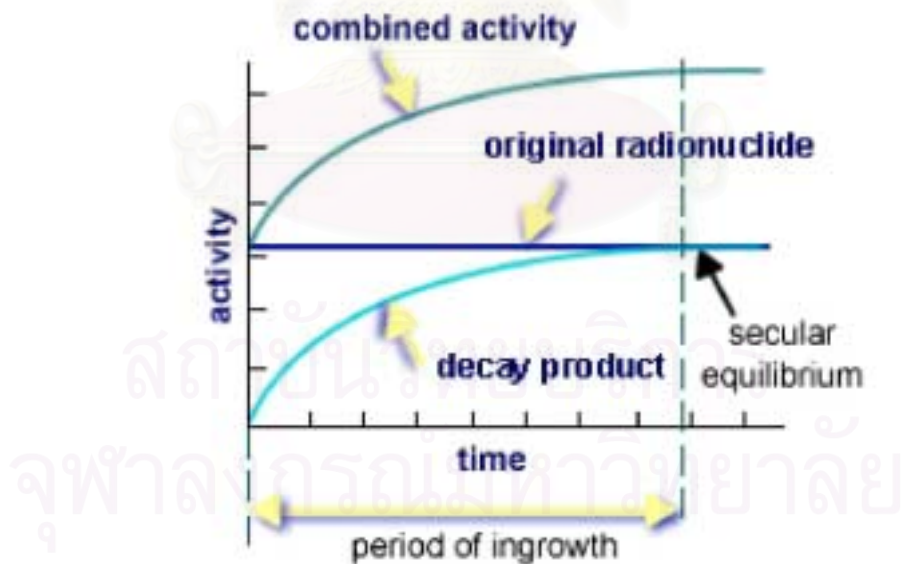
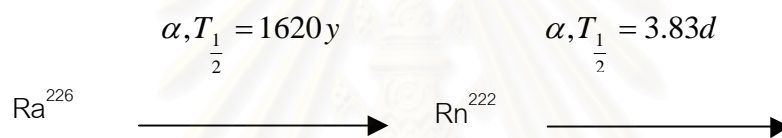
2.1.6.1 สมดุลย์แบบเซคูลาร์ (secular equilibrium)

เกิดขึ้นเมื่อนิวเคลียสแม่มีครึ่งชีวิตยาวกว่านิวเคลียสลูกมาก คือประมาณ 10^4 เท่าหรือมากกว่า จากสมการที่ (2) เมื่อเวลาเริ่มต้น $t = 0$, $N_B^0 = 0$ กรณีนี้ $T_{1/2}(A) \gg T_{1/2}(B)$ หรือ $\lambda_A \ll \lambda_B$ ดังนั้น $\lambda_B - \lambda_A \cong \lambda_B$ และเทอม $e^{-\lambda_B t}$ มีค่าน้อยมาก จะได้ว่า

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A^0 e^{-\lambda_A t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B} N_A(t)$$

$$\text{หรือ } \lambda_A N_A(t) = \lambda_B N_B(t) \quad \dots (14)$$

หมายความว่า กรณีการสมดุลย์แบบเซคูลาร์ (secular equilibrium) ความแรงรังสีที่จุดสมดุลย์ของนิวเคลียสแม่ กับนิวเคลียสลูก มีค่าเท่ากัน ตัวอย่างของสมดุลย์แบบนี้ ได้แก่ การสลายตัวของเรเดียม-226 ไปเป็นเรดอน-222 ตามสมการดังนี้



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงสมดุลย์กัมมันตรังสีแบบเซคูลาร์ (secular equilibrium) [5]

2.1.6.2 สมดุลย์แบบทรานเซียนต์ (transient equilibrium)

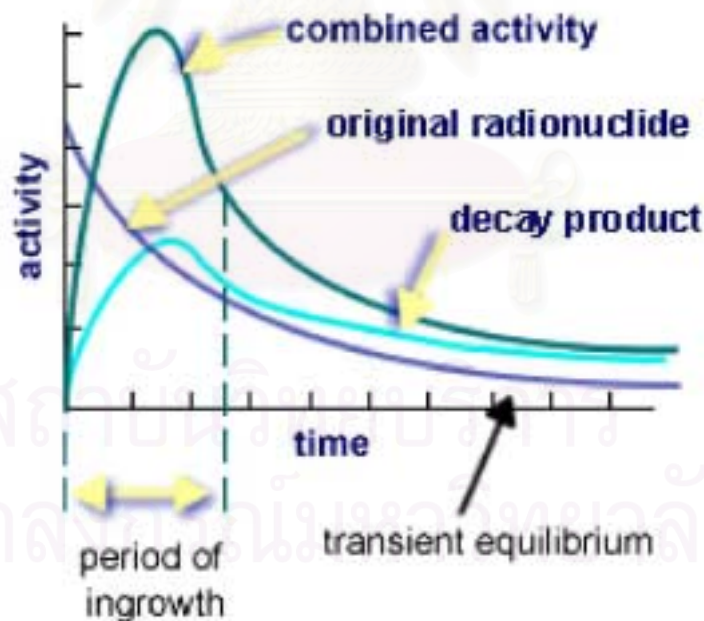
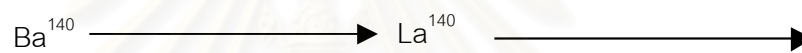
กรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อนิวเคลียสแม่ มีครึ่งชีวิตมากกว่านิวเคลียสลูก ประมาณ 10 เท่า นั่นคือ $\lambda_A < \lambda_B$ เมื่อ t มีค่ามากๆเทอม $e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t} \approx e^{-\lambda_A t}$ จากสมการที่ (8) และเมื่อที่ $t = 0, N_B(t) = 0$ จะได้ว่า

$$N_B(t) = \frac{\lambda_A N_A^0}{\lambda_B - \lambda_A} e^{-\lambda_A t} = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} N_A(t) \quad \dots (15)$$

ตัวอย่างของสมดุลทรานเซียนต์ ได้แก่ การสลายตัวของแบเรียม-140 ไปเป็น แลนทาแลม-140 ดังนี้คือ

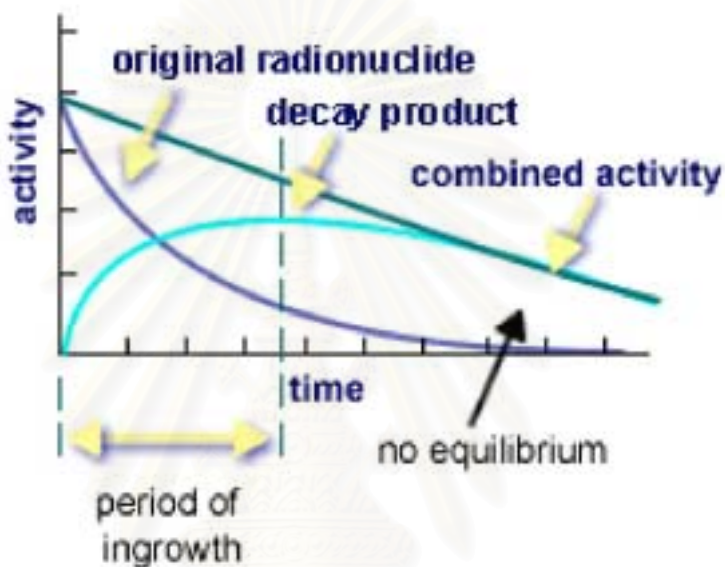
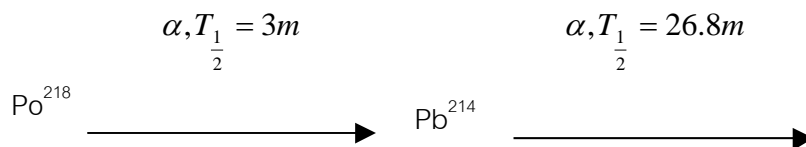
$$\beta^-, T_{\frac{1}{2}} = 12.8d$$

$$\beta^-, T_{\frac{1}{2}} = 40h$$



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงสมดุลกัมมันตรังสีแบบทรานเซียนต์ (transient equilibrium) [5]

ถ้าหากว่านิวเคลียสมีครึ่งชีวิตสั้นกว่านิวเคลียสลูก ($\lambda_B > \lambda_A$) สมดุลย์กัมมันตรังสีก็ไม่อาจเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น การสลายตัวของโปโลเนียม-218 ไปเป็นตะกั่ว-214 ดังสมการคือ



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงกรณีของไม่มีสมดุลย์กัมมันตรังสี (no equilibrium) [5]

2.1.7 ลักษณะเฉพาะของเรดอน-222 (radon-222) [6]

2.1.7.1 การค้นพบ

ในปี ค.ศ. 1899 R. Owens ได้สังเกตเห็นว่ากัมมันตภาพรังสีที่เกิดจากสารประกอบของทอเรียมถูกทำให้ลดลงได้โดยอากาศปริมาณมาก ๆ ต่อมา S. Rutherford ได้ทำการศึกษาปรากฏการณ์นี้และพบว่าแท้จริงแล้ว ทอเรียมสลายตัวปล่อยไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เป็นก๊าซออกมาตลอดเวลา และปะปนไปกับลมหรืออากาศ โดยเรียกก๊าซนี้ว่า "Thorium Emanation"

ในปี ค.ศ. 1900 F.E. Dorn แสดงให้เห็นว่าเรเดียมสลายตัวปล่อยไอโซโทปกัมมันตรังสีซึ่งเป็นก๊าซเช่นเดียวกัน เรียกว่า "Radium Emanation" ต่อมาในปีค.ศ.1900 A. Debierne และปีค.ศ.1903 F.O. Giesel พบธาตุเดียวกันนี้จากการสลายของแอกทิเนียม (Ac) ซึ่งเรียกว่า "Actinium Emanation"

ในปี ค.ศ. 1923 ได้มีการตั้งชื่อธาตุชนิดนี้ว่า "Radon" ซึ่งมาจาก "Radium" และได้ยกเลิกชื่ออื่น ๆ ที่ใช้เรียกธาตุนี้มาก่อน

2.1.7.2 การเกิดของเรดอน

- เกิดจากการสลายตัวของเรเดียม-226 (radium-226) ซึ่งมีครึ่งชีวิต 1620 ปี
- เรเดียม-226 (radium-226) เกิดจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม-238 (uranium-238)
- ยูเรเนียม-238 (uranium-238) ซึ่งมีครึ่งชีวิต 4.51 พันล้านปี มีค่าเท่ากับ 4 ppm ของเปลือกโลก
- เรดอน-222 (radon – 222) มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อย

2.1.7.3 ลักษณะโดยธรรมชาติของเรดอน

- มีสถานะเป็นก๊าซปะปนอยู่ในอากาศ ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี และไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า
- มีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อย และ ไม่มีปฏิกิริยากับสารอื่น
- เป็นก๊าซที่มีมวลมาก มีความหนาแน่น 9.72 กรัมต่อลิตร ที่ 0°C มีจุดหลอมเหลว (-71°C) และ จุดเดือดสูง (-61.8°C)
- สามารถละลายได้ดีในสารละลายที่ไม่มีประจุ
- สามารถละลายได้ปานกลางในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ
- มีการดูดซับในหิน และ ดิน

- เกิดการสลายตัวให้รังสีแอลฟา ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 3.8 วัน

2.1.7.4 ไอโซโทปที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอน

- ไอโซโทปที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอนซึ่งมีสถานะเป็นของแข็ง เรียกว่า ไอโซโทปลูก (daughter or progeny)
- สัดส่วนของไอโซโทปลูก และ ความเข้มข้นของเรดอนมีค่าประมาณ 0.2 – 0.8 (ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.4)
- ไอโซโทปลูกของเรดอน (radon progeny nuclide) จะมีครึ่งชีวิตสั้นมีค่าประมาณ 0.2 มิลลิวินาที – 26.8 นาที
- เรดอนมีการสลายตัว 7 ครั้งถึงเป็นไอโซโทปที่เสถียร คือ ตะกั่ว-206 (Lead-206)
- ไอโซโทปลูกที่ที่ประจุสามารถเกาะไปบนอนุภาคหรือฝุ่นในอากาศได้
- ไอโซโทปลูกของเรดอน คือ โพลonium-218 (Polonium-218), โพลonium-214 (Polonium-214) และ โพลonium-210 (Polonium-210) เกิดการสลายตัวให้รังสีแอลฟา

2.1.8 เทคนิคการวัดเรดอน [6]

เทคนิคการวัดเรดอนแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ grab sampling, continuous sampling และ integrative sampling ซึ่งแต่ละประเภทก็จะมีราคา ระยะเวลาในการวัด และ ค่าความถูกต้องในการวัดแตกต่างกันไป

2.1.8.1 Grab sampling

เป็นการวัดความเข้มข้นของเรดอนหรือไอโซโทปลูกของเรดอนในอากาศเทียบกับเวลา โดยมีระยะเวลาในการวัดสั้น (หน่วยเป็นนาที) ตัวอย่างอากาศจะถูกเก็บในภาชนะแล้วนำไปทำการตรวจวิเคราะห์ ประเภทของภาชนะอาจเป็นถุงพลาสติก กระจกเหล็ก หรือภาชนะที่ทำจากแก้ว ปริมาตรของภาชนะควรอยู่ระหว่าง 5 ลิตรถึง 20 ลิตร

2.1.8.2 Continuous sampling

เป็นการวัดแบบอัตโนมัติโดยมีระยะเวลาในการวัดนาน ผลที่ได้คือ ความเข้มข้นของเรดอนหรือไอโซโทปลูกของเรดอนในช่วงเวลาต่าง ๆ

2.1.8.3 Integrative sampling

จะทำการวัดปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นโดยมีระยะเวลาในการวัดค่อนข้างนาน (หน่วยเป็นวันหรือเดือน) ผลที่ได้คือ ความเข้มข้นของเรดอนหรือไอโซโทปของเรดอนเฉลี่ยในช่วงเวลาต่าง ๆ

2.1.9 เทคนิคการวัดเรดอนในอากาศ [6]

2.1.9.1 Alpha – particle scintillation (Lucas cell)

เป็นการวัดความเข้มข้นของเรดอนในอากาศโดยใช้หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน (Scintillation cell) ส่วนใหญ่จะใช้วิธี grab sample เรียกว่า Lucas cell ในเทคนิคนี้ก๊าซเรดอนจะถูกดูดเข้าสู่หัววัดรังสี ซึ่งภายในผนังของหัววัดรังสีจะมีการเคลือบด้วย ZnS (Zinc sulfide) จะมีเพียงด้านของหน้าต่างที่เชื่อมกับหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube) ที่ไม่มี ZnS เมื่อรังสีแอลฟาชนผนังของหัววัดรังสีที่เคลือบด้วย ZnS จะเกิดการเปล่งแสงออกมา หลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube) จะทำหน้าที่ในการทวีคูณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยประสิทธิภาพของหัววัดรังสีชนิดนี้มีค่าประมาณ 70 – 80 % และมีค่าแบคกราวด์ต่ำประมาณ 0.1 – 0.2 cpm



รูปที่ 2.4 แสดง model AB – 4 (A) portable radon monitor (Lucas cell)

2.1.9.2 Internal ionization chamber counters

Ionization chamber จะทำการวัดรังสีแอลฟาจากการสลายตัวของเรดอน และ ไอโซโทปของเรดอน โดย Ionization chamber สามารถวัดได้ทั้งสัญญาณแบบ

พัลส์ที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอน และ ไอโซโทปของเรดอนแต่ละตัว หรือวัดสัญญาณไฟฟ้าจากผลรวมของการสลายตัวทั้งหมด โดยทั่วไปแล้ว Ionization chamber ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้เท่า Lucas cell เนื่องจากมีราคาค่อนข้างแพงกว่า และ ในการวัดเรดอนด้วย Lucas cell จะมีประสิทธิภาพในการวัดสูงกว่า



รูปที่ 2.5 แสดง Ionization Chamber [7]

2.1.9.3 Two – filter methods

เป็นการวัดทั้งความเข้มข้นของเรดอน และ ไอโซโทปของเรดอน โดยการดูดอากาศผ่านกระดาศกรองที่วางซ้อนกันสองแผ่น ซึ่งไอโซโทปของเรดอนจะเกาะอยู่บนกระดาศกรองแผ่นแรก เมื่อเวลาผ่านไปเรดอนจะเกิดและสลายตัวไป จากนั้นไอโซโทปของเรดอนจะถูกระดาศกรองแผ่นที่สอง กระดาศกรองแผ่นแรกจะใช้วัดความเข้มข้นของเรดอน ส่วนกระดาศกรองแผ่นที่สองจะใช้ในการวัดไอโซโทปของเรดอน เทคนิคนี้สามารถใช้ในการวัดได้ทั้งแบบ grab sample และ continuous sample

2.1.10 เทคนิคการวัดไอโซโทปของเรดอนในอากาศ [6]

ไอโซโทปของเรดอนจะเกาะอยู่บนฝุ่น หรือพื้นผิวอื่น ๆ อากาศจะถูกดูดผ่านกระดาศกรองโดยมีไอโซโทปของเรดอนถูกสะสมอยู่ เทคนิคนี้จะใช้เวลาในการวัดสั้นเนื่องจากไอโซโทปของเรดอนมีครึ่งชีวิตสั้น (เวลาที่นานที่สุดเพียง 27 นาที) การวัดความเข้มข้นของไอโซโทปของเรดอนจะอยู่ในหน่วย Working Level (WL) ซึ่งจะสามารถทราบค่าความเข้มข้นของ RaA (โปโลเนียม-218), RaB (ตะกั่ว-214) และ RaC (บิสมัท-214) ส่วนความเข้มข้นของ RaC' (โปโลเนียม-214) จะไม่มีความสำคัญ เพราะครึ่งชีวิตสั้นมาก มีค่าน้อยกว่า 0.0002 วินาที

2.1.10.1 Alpha particle scintillation counting:single time period

หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน (Scintillation counter) ด้วย ZnS phosphor จะทำการวัดรังสีแอลฟาที่ถูกสะสมบนกระดาษกรอง กระดาษกรองที่มีไอโซโทปของเรดอนจะถูกกั้นด้วย ZnS phosphor ที่เป็นแผ่นบาง และวัดด้วยหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube) หรือ ZnS phosphor จะติดอยู่กับหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube)



รูปที่ 2.6 แสดงหัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน (Scintillation counter) [8]

2.1.10.2 Alpha particle scintillation counting:several time periods

สามารถหาความเข้มข้นของไอโซโทปของเรดอนทั้งสามตัว นั่นคือ Po-218 (โปโลเนียม-218) Pb-214 (ตะกั่ว-214) และ Bi-214 (บิสมัท-214) ถ้าทำการวัดใน 3 ช่วงเวลา หรือมากกว่านั้น เนื่องมาจากครึ่งชีวิตของไอโซโทปของเรดอนมีค่าต่างกัน จำนวนนับในช่วงการนับทั้งสามสามารถหาความเข้มข้นเริ่มต้นแต่ละตัวได้

2.1.10.3 Alpha particle spectroscopy

เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการวัดในสามช่วงเวลาหรือมากกว่านั้นโดยสามารถหาความเข้มข้นของไอโซโทปของเรดอน โดยจะทำการวัดระหว่างรังสีแอลฟาที่มีพลังงาน 6 MeV จาก Po-218 (โปโลเนียม-218) และ รังสีแอลฟาที่มีพลังงาน 7.69 MeV จาก Po-214 (โปโลเนียม-214) และทำการวัดทั้งสองตัว ในสองช่วงเวลา

2.1.10.4 Combined alpha – particle and beta – particle spectroscopy

การวัดรังสีเบตาจาก Pb-214 (ตะกั่ว-214) และ Bi-214 (บิสมัท-214) ในหัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชันพลาสติก (Plastic scintillator) พร้อมทำการวัดด้วย alpha-particle

spectroscopy กับ หัววัดรังสีแบบเซอร์เฟซ-แบริเออร์ (surface-barrier detector) จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอโซโทปของเรดอนในช่วงการวัดเพียงครั้งเดียว ข้อดีคือ ระยะเวลาในการวัดสั้นมาก แต่ค่อนข้างยุ่งยากในด้านการวัด

2.1.11 EERC (equilibrium equivalent radon concentration) [9]

ความเข้มข้นของเรดอน (Bq/m^3) ที่ไอโซโทปของเรดอนมีสมดุลงัมมันตรังสีกับเรดอนจะมีค่า Potential alpha energy concentration (PAEC) เท่ากับไอโซโทปของเรดอนทั้งหมดที่อยู่ในอากาศ

$$EERC = 0.106C_{Po-218} + 0.513C_{Pb-214} + 0.381C_{Bi-214} \quad \dots (13)$$

เมื่อ C_{Po-218} คือ ความเข้มข้นของ Po-218 (โปโลเนียม-218) หน่วย Bq/m^3

C_{Pb-214} คือ ความเข้มข้นของ Pb-214 (ตะกั่ว-214) หน่วย Bq/m^3

C_{Bi-214} คือ ความเข้มข้นของ Bi-214 (บิสมัท-214) หน่วย Bq/m^3

2.1.12 Equilibrium factor (F) [9]

สัดส่วนของ Potential alpha energy concentration (PAEC) ของการสลายตัวของไอโซโทปของเรดอนที่มีครึ่งชีวิตสั้นที่เข้าสู่สมดุลงัมมันตรังสีแบบเซคูลาร์ (secular equilibrium)

$$F = \frac{EERC}{C_{Rn-222}} \quad \dots(14)$$

เมื่อ C_{Rn-222} คือ ความเข้มข้นของ Rn-222 (Radon-222) หน่วย Bq/m^3

equilibrium factor (F) สำหรับ indoor จะขึ้นกับอัตราการถ่ายเทของอากาศ โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 0.4 ส่วน outdoor จะขึ้นกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี และ ความเร็วลม โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 0.8 ซึ่งโดยปกติ F จะมีค่าตั้งแต่ 0.2-0.8

2.1.13 Working Level (WL) [10]

ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนทั่วไปจะวัดอยู่ในหน่วย pCi/L ในอากาศ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซเรดอนมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งที่ปอดก็เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องมาจากผลกระทบทางสุขภาพขึ้นกับการสลายตัวของธาตุของก๊าซเรดอน ไม่ใช่มาจากก๊าซเรดอนโดยตรง หน่วยที่ใช้วัดความเข้มข้นของธาตุที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอนในอากาศเรียกว่า **Working Level (WL)** ยิ่ง WL มากยิ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพมากขึ้น

ค่านิยามของ 1 WL คือผลรวมของโปโลเนียม-218, ตะกั่ว-214, บิสมัท-214 และโปโลเนียม-214 (ธาตุลูกที่เกิดจากการสลายตัวของเรดอนที่มีครึ่งชีวิตสั้น) ต่อ 1 ลิตรในอากาศ ภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ จะปล่อยพลังงานของอนุภาคแอลฟาที่มีค่า 1.3×10^5 MeV ต่อลิตรในอากาศ ซึ่งในหน่วย SI จะมีค่าเท่ากับ 2.1×10^{-5} J.m⁻³ ซึ่งเป็นจำนวนของพลังงานที่ปล่อยออกมาทั้งหมดในคาบเวลาที่ยาวโดยธาตุลูกที่มีครึ่งชีวิตสั้นจะ equilibrium ที่ 100 pCi ของเรดอน ดังนั้นการเปลี่ยนหน่วยจาก pCi/l เป็น WL ถ้าสมมุติให้ equilibrium 100% ในสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่จะไม่เกิด equilibrium 100% ทาง *EPA (Environmental Protection Agency)* ได้สมมุติให้ธาตุลูก equilibrium 50% ดังนั้นความเข้มข้น 4 pCi/L จะมีค่าเท่ากับ 0.02 WL

$$WL = \frac{F \times C_{Rn}}{100} \quad \dots (15)$$

เมื่อ C_{Rn-222} , C_{Po-218} , C_{Pb-214} และ C_{Bi-214} ต้องใช้หน่วยเป็น pCi/l

$$150 \text{ Bq} / \text{m}^3 = 4 \text{ pCi} / \text{l} = 0.02 \text{ WL}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

3.1.1 หัววัดไกเกอร์ขนาด 3 นิ้ว

3.1.2 เครื่อง Scaler ratemeter model 2200 ของบริษัท Ludlum

3.1.3 ปัมป์สูญญากาศ model AP-10 (Electromagnetic Air Pump) ที่มีอัตรา 30 ลิตรต่อ
นาที ของบริษัท Yamano

3.1.4 ปัมป์สูญญากาศที่สามารถปรับอัตราได้ตั้งแต่ 0-100 ลิตรต่อนาที

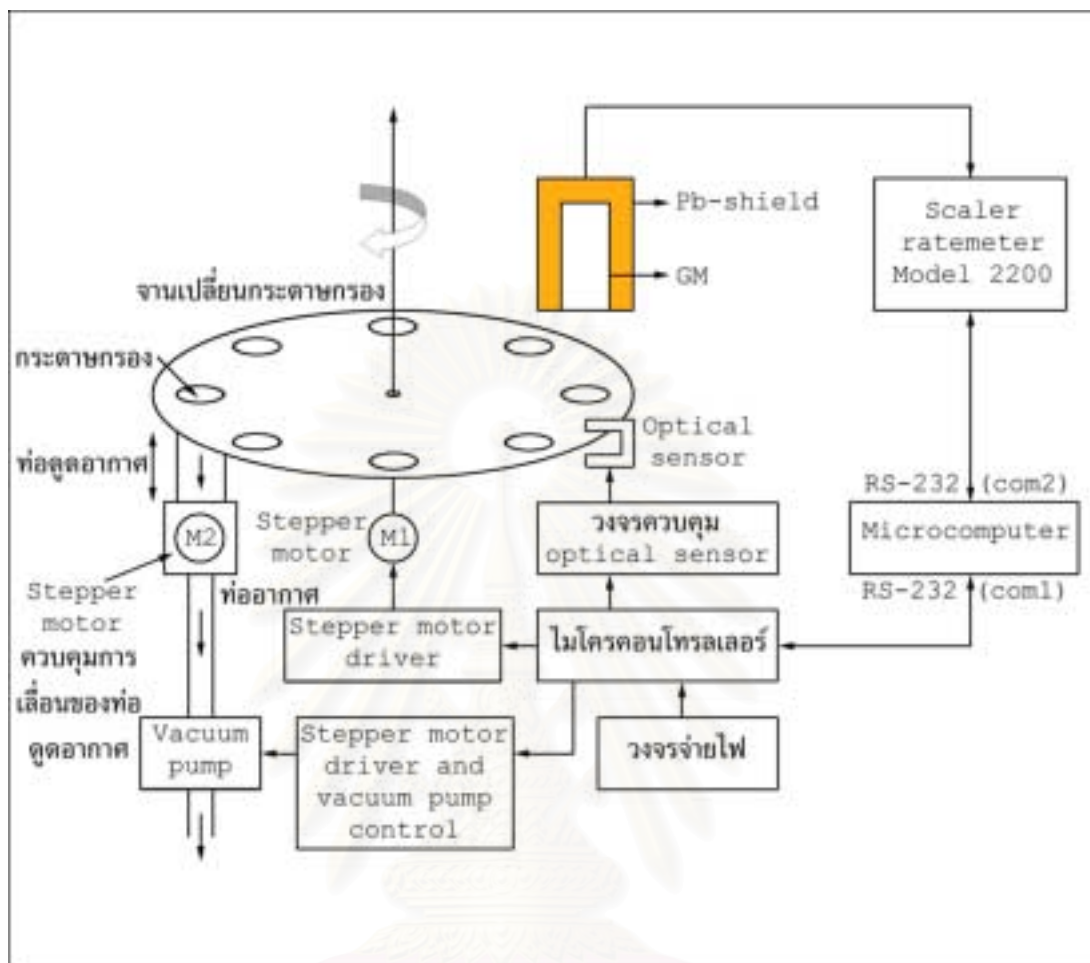
3.1.5 เครื่อง Alpha Spectrometer model 7401 ของบริษัท Canberra

3.1.6 เครื่องมือวัดเรดอน Rad 7 (Radon detector) ของบริษัท Durridge ที่สอบเทียบกับ
ion chamber ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

3.1.7 เครื่อง Beta counter ของบริษัท Eberline

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การทำงานของระบบโดยรวม



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของระบบโดยรวม

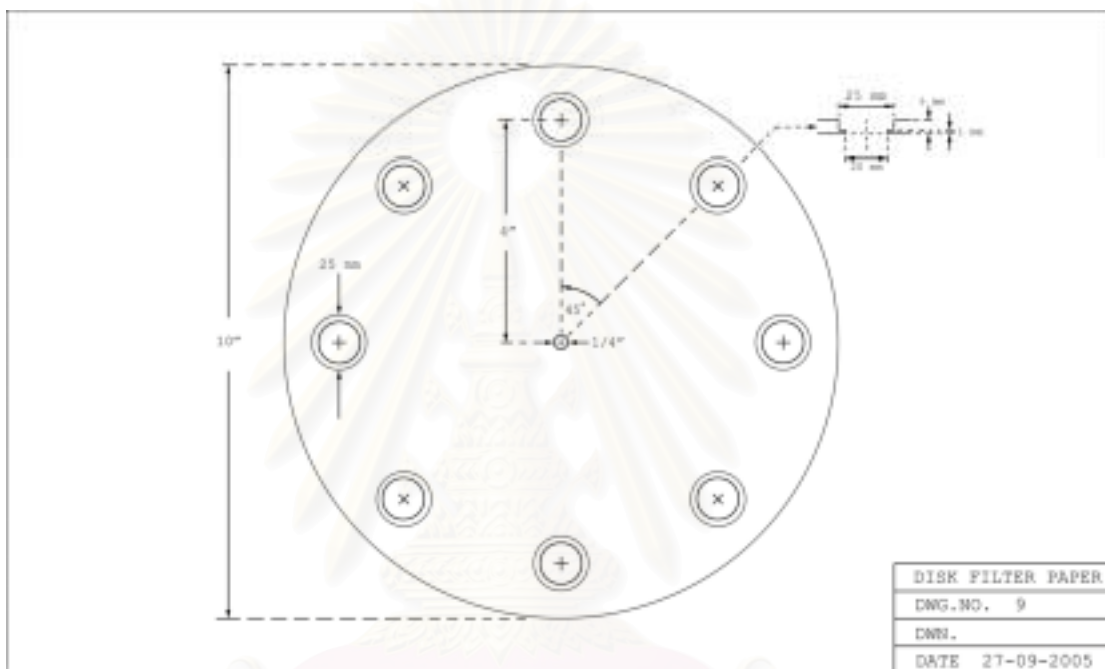
ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้ที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงานโดยย่อดังนี้

หัววัดไกเกอร์จะทำการวัดแบบคร่าวๆในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นจานเปลี่ยนกระดาษกรองจะทำการหมุนกระดาษกรองมายังตำแหน่งที่ตรงกับท่อดูดอากาศโดย optical sensor จะทำหน้าที่ในการตรวจสอบตำแหน่งของกระดาษกรองเพื่อให้หยุดในตำแหน่งที่ต้องการ โดยท่อดูดอากาศจะเลื่อนขึ้นไปยังตำแหน่งของกระดาษกรองโดยการทำงานของสเตปเปอร์มอเตอร์และปั๊มดูดอากาศจะทำการดูดอากาศผ่านกระดาษกรองด้วยอัตรา 20 ลิตรต่ออนาที จากนั้นท่อดูดอากาศจะเลื่อนลงและสเตปเปอร์มอเตอร์ที่ควบคุมการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 (Com1) และแผงวงจรควบคุมหลัก จะทำการหมุนกระดาษกรองนั้นมายังตำแหน่งที่ตรงกับหัววัดไกเกอร์

จากนั้นไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณควบคุมไปยัง scaler ratemeter เพื่อให้ทำการวัดรังสีเบตาในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ แล้วทำการประมวลผลและแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.1.1 งานเปลี่ยนกระดาษกรอง

งานเปลี่ยนกระดาษกรองทำจากแผ่นอะคริลิก หนา 5 มม. โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 นิ้ว มีการเจาะร่องเป็นวงกลมจำนวน 8 รู โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกขนาด 25 มม. ลึก 4 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาด 20 มม. ลึก 1 มม.

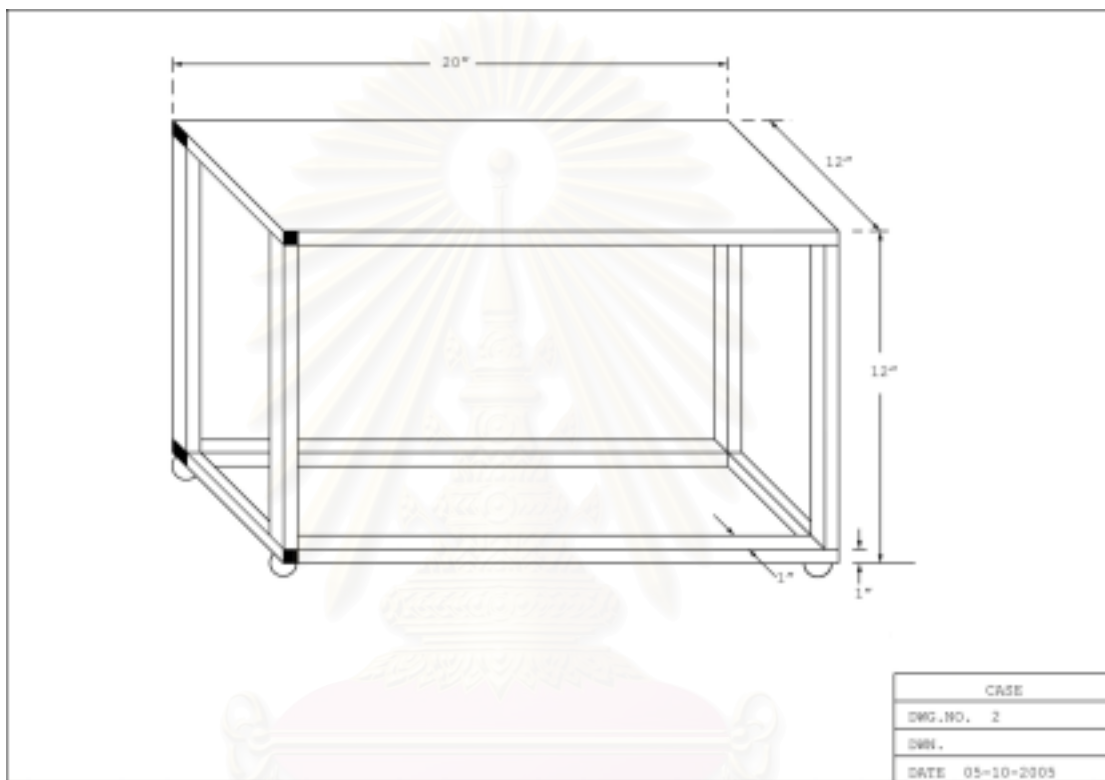


รูปที่ 3.2 แบบงานเปลี่ยนกระดาษกรอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 โครงสำหรับติดตั้งระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้

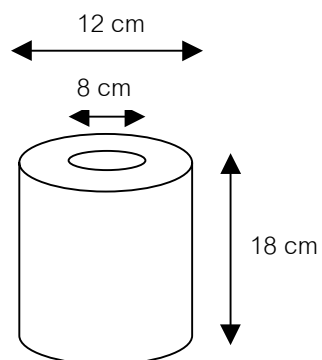
โครงสำหรับติดตั้งระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้ทำมาจากแผ่นอลูมิเนียม มีความหนา $\frac{1}{16}$ นิ้วและเหล็กฉากขนาด $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2} \times 2$ มม. มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 12 นิ้ว ยาว 20 นิ้วและสูง 12 นิ้ว เคลื่อนย้ายได้ด้วยล้ออย่าง 4 ล้อ



รูปที่ 3.3 แบบโครงสำหรับติดตั้งระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้

3.1.3 ตะกั่วกำบังรังสี

ตะกั่วกำบังรังสีมีลักษณะเป็นทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 12 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 8 ซม. มีความหนา 2 ซม. และสูง 18 ซม.



รูปที่ 3.4 ตะกั่วกำบังรังสี

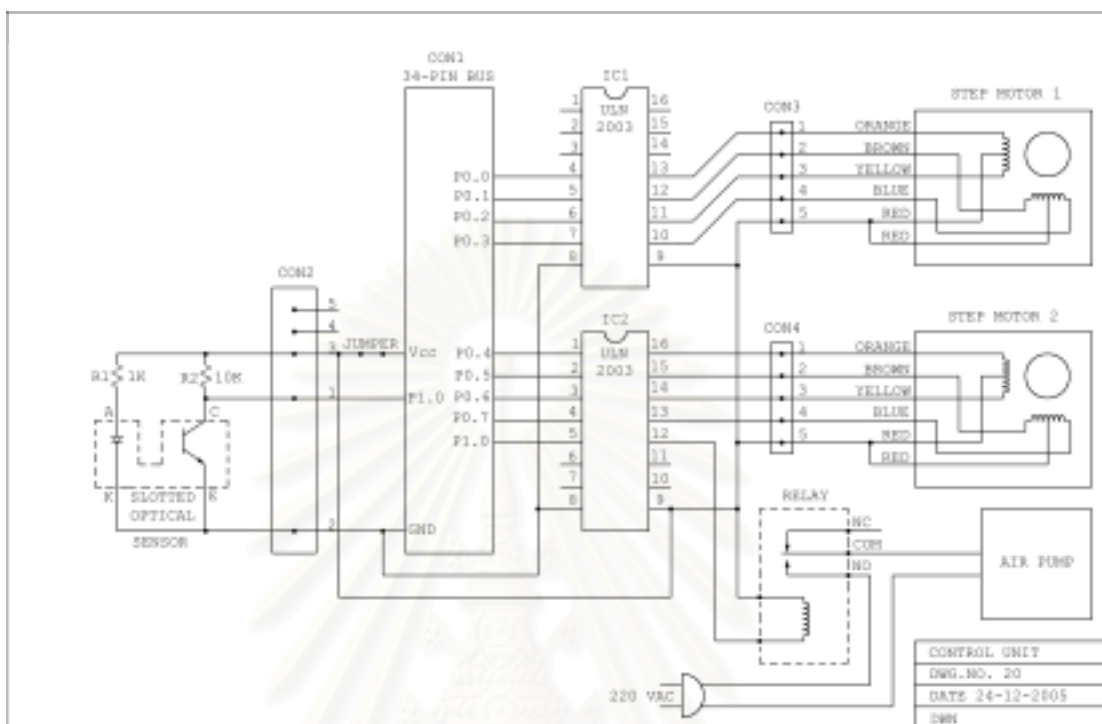
3.1.4 ระบบวัดรังสี

ระบบวัดรังสีประกอบด้วย Scaler ratemeter model 2200 ของบริษัท Ludlum และหัววัดไกเกอร์ขนาด 3 นิ้ว



รูปที่ 3.5 Scaler ratemeter model 2200 ของบริษัท Ludlum จำกััดและหัววัดไกเกอร์ขนาด 3 นิ้ว

3.1.5 วงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์ วงจรควบคุมระบบดูดอากาศ วงจรควบคุมปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) และวงจรควบคุม optical sensor



รูปที่ 3.6 วงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์, วงจรควบคุมการเลื่อนของท่อดูดอากาศ, วงจรควบคุมปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) และวงจรควบคุม optical sensor

3.1.5.1 วงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์

ขดลวดทั้ง 4 เฟสของสเตปเปอร์มอเตอร์ (step motor1) จะถูกควบคุมการจ่ายกำลังโดยพอร์ท 0.0-0.3 ของ Con1 (34-pin bus) และ IC1 (ULN2003) ในวงจร LED จะทำการติดดับขดลวดของมอเตอร์ที่ถูกกระตุ้น สำหรับในโครงการนี้ใช้การควบคุมแบบ 2 เฟส

ในวงจรขับสเตปเปอร์มอเตอร์จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- ตัวขยายกระแส (driver:IC1) ULN2003 1 ตัว
- สเตปเปอร์มอเตอร์ (step motor1) 1 ตัว

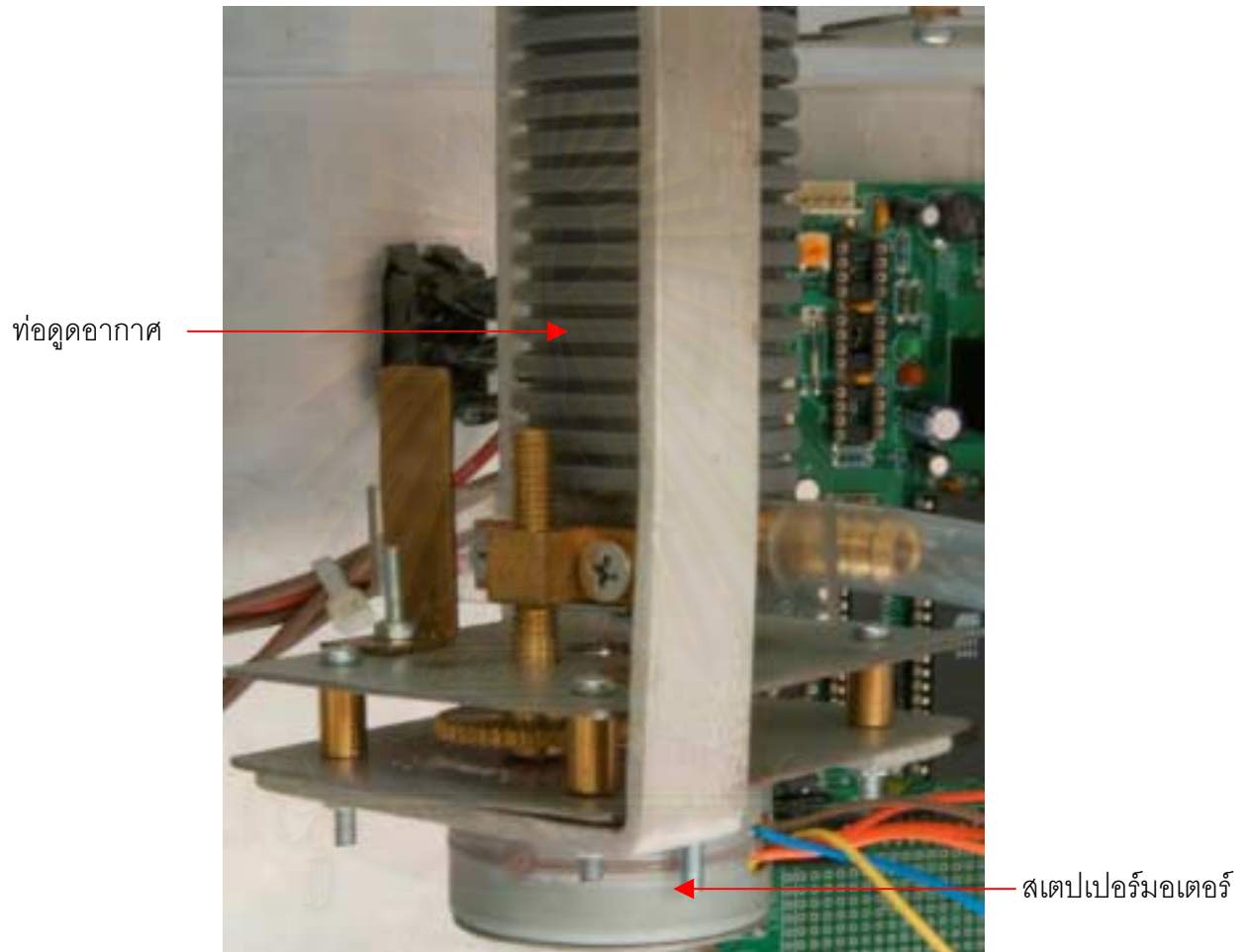
3.1.5.2 วงจรควบคุมการเลื่อนของท่อดูดอากาศ

ขดลวดทั้ง 4 เฟสของสเตปเปอร์มอเตอร์ (step motor2) จะถูกควบคุมการจ่ายกำลังโดยพอร์ท 0.4-0.7 ของ Con1 (34-pin bus) และ IC2 (ULN2003) โดยจะทำการเลื่อนท่อดูดอากาศขึ้นและลง

ๆ ดังนี้

ในวงจรควบคุมการเลื่อนของท่อดูดอากาศจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง

- ตัวขยายกระแส (driver:IC1) ULN2003 1 ตัว
- สเตปเปอร์มอเตอร์ (step motor2) 1 ตัว



รูปที่ 3.7 ระบบดูดอากาศ

3.1.5.3 วงจรควบคุมปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump control)

ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) จะถูกควบคุมการจ่ายกำลังโดยพอร์ท 1.0 ของ Con1 (34-pin bus) IC1/IC2 (ULN2003) และรีเลย์ (Relay) มีแรงดันคงที่ 220 V โดยจะทำการปิดและเปิดปั๊ม

ในวงจรควบคุมปั๊มสูญญากาศจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

250 V

- รีเลย์ขดลวดจ่ายแรงดันคงที่ 12 V ส่วนสวิทช์ ทนแรงดันได้ถึง
- ตัวขยายกระแส (driver:IC1/IC2) ULN2003 2 ตัว



รูปที่ 3.8 ปั๊มสูญญากาศของบริษัท Yamano

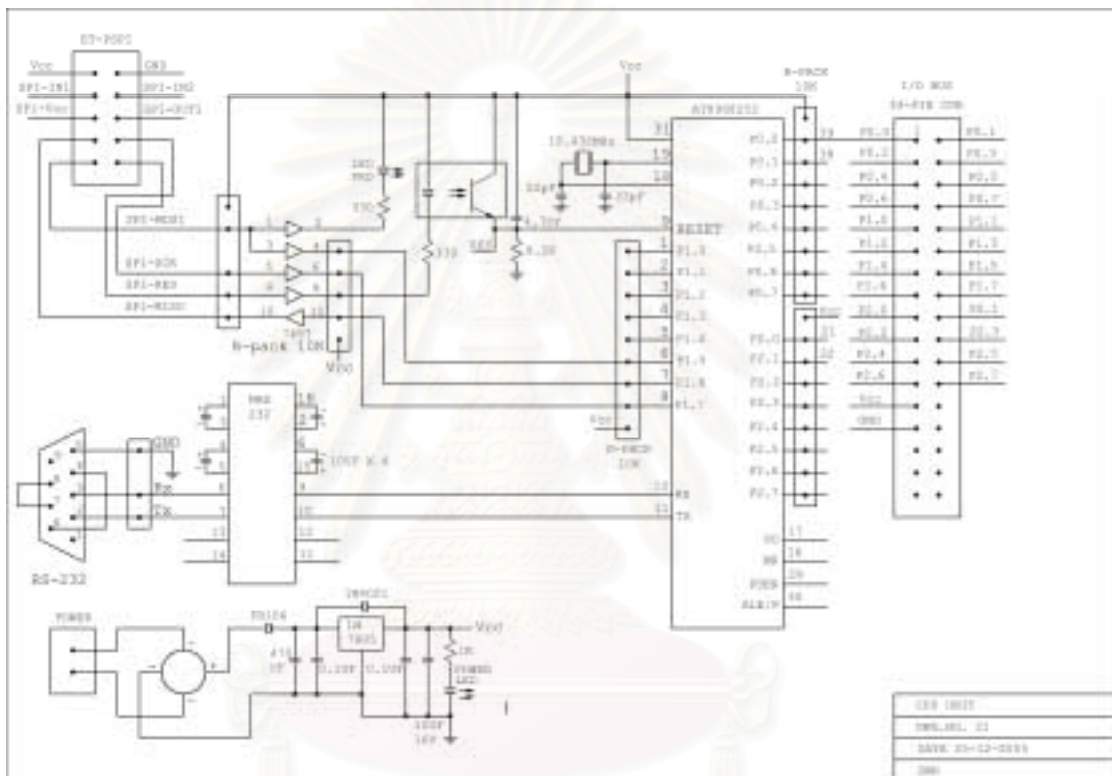
3.1.5.4 วงจรควบคุม optical sensor

Slotted optical sensor จะถูกควบคุมการจ่ายกำลังโดยพอร์ท 1.1 ของ Con1 (34-pin bus) และ IC1/IC2 (ULN2003) โดยงานเปลี่ยนกระดาษกรองจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อแผ่นอลูมิเนียมตัดผ่าน

ในวงจรควบคุม optical sensor จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- ตัวต้านทาน 1 k และ 10 k อย่างละ 1 ตัว
- ทรานซิสเตอร์ 1 ตัว
- LED 1 ตัว

3.1.6 แผงวงจรควบคุมหลักและวงจรถ่ายไฟ



รูปที่ 3.9 แผงวงจรควบคุมหลักและวงจรถ่ายไฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.6.1 แผงวงจรควบคุมหลัก

แผงวงจรควบคุมหลักเป็นบอร์ดสำเร็จรูปจากบริษัท อีทีที จำกัด model CP-S8252 V1.0 ใช้ MCS-51 (AT89S8252) รายละเอียดติดตั้งแสดงในภาคผนวก จ



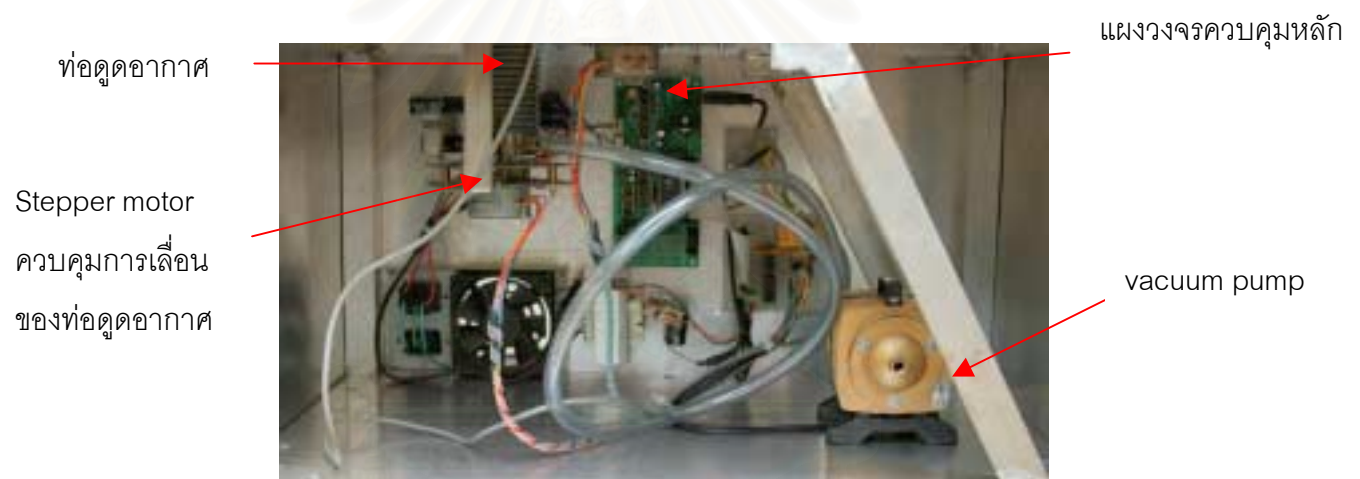
รูปที่ 3.10 บอร์ดสำเร็จรูปจากบริษัท อีทีที จำกัด model CP-S8252 V1.0 [11]

3.1.6.2 วงจรจ่ายไฟ

ใช้วงจร voltage regulator สำเร็จรูป คือ 7805 หรือสามารถจ่ายกระแสได้ต่อเนื่อง สำหรับจ่ายแรงดันคงที่ +5 V เพื่อจ่ายให้ CPU และ แรงดันคงที่ + 12 V สำหรับสเตปเปอร์มอเตอร์ วงจรควบคุมระบบดูดอากาศ วงจรควบคุมปั๊มสุญญากาศและวงจรควบคุม optical sensor



รูปที่ 3.11 ภาพด้านบนของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้าย
ได้

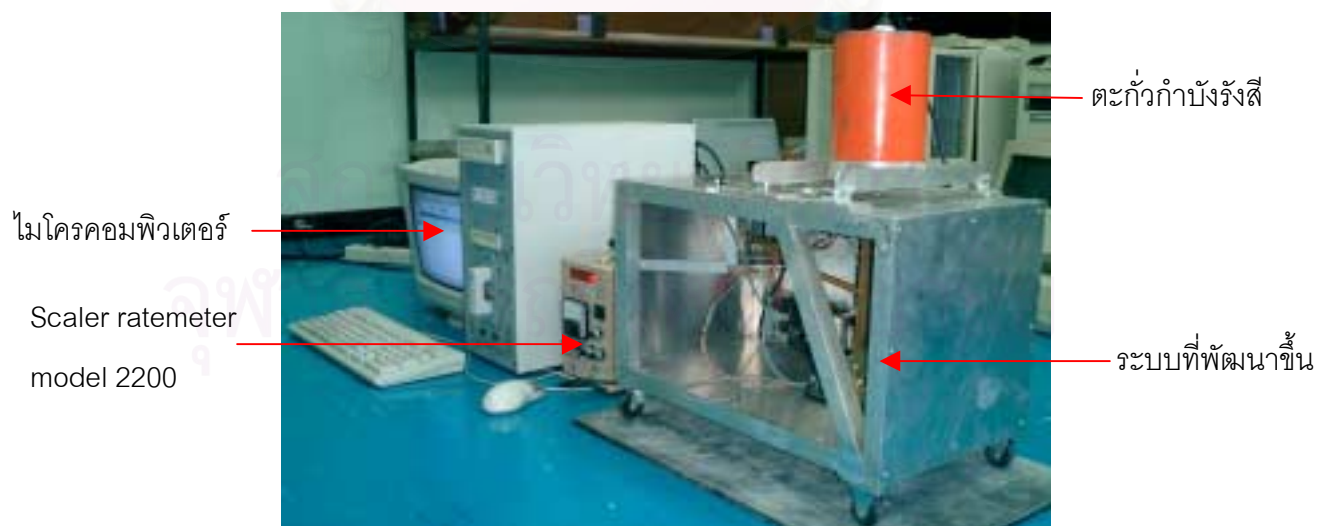


รูปที่ 3.12 ภาพภายในของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้าย
ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 ภาพด้านข้างของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้าย
ได้



รูปที่ 3.14 ภาพระบบวัดความเข้มข้นของเรดอนที่ได้พัฒนาขึ้นโดยรวม

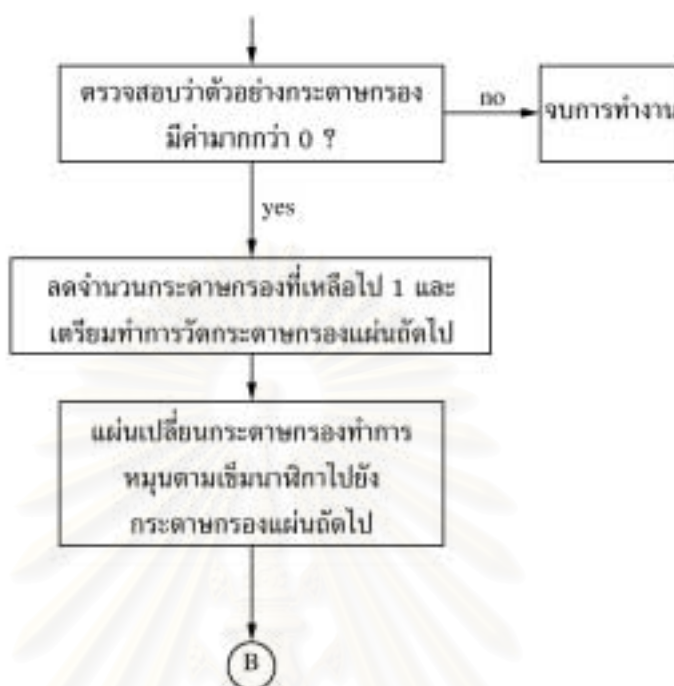
3.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบตรวจความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตา เป็นดังนี้



รูปที่ 3.15ผังไหลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบตรวจความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตา



รูปที่ 3.15ผังไหลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบตรวจความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตา (ต่อ)

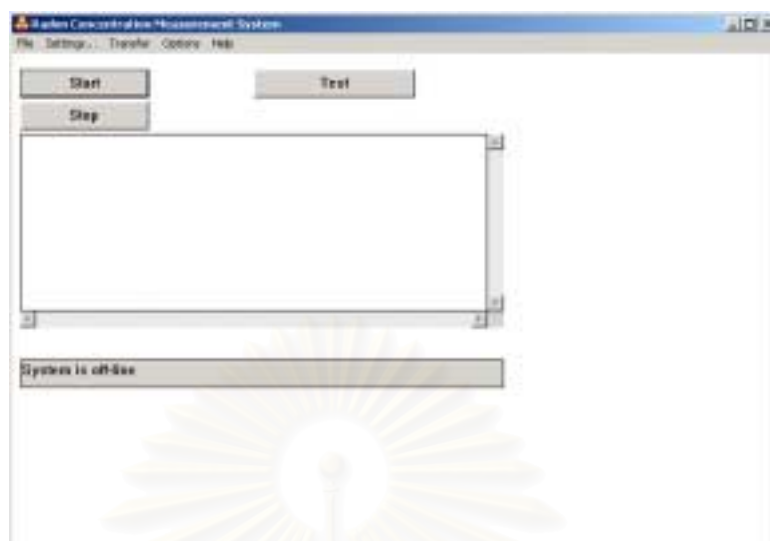


รูปที่ 3.15ผังไหลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบตรวจความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตา (ต่อ)

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

3.2.1 ทำการเลือกจำนวนกระดาษกรองโดยสามารถเลือกได้ตั้งแต่ 1-8 ถ้าไม่ได้เลือก จะกำหนดค่าปริยาย (default) เป็น 8 จากนั้นจะให้ผู้ใช้กดปุ่ม start เพื่อเริ่มการทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.16 หน้าจอโปรแกรมตอนเริ่มต้น

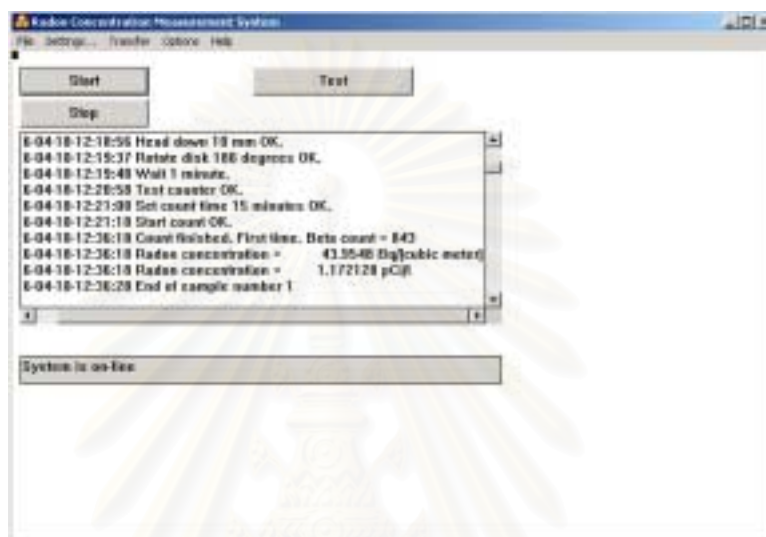
3.2.2 ทำการตรวจสอบว่าระบบว่าได้ต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 ที่ Com1 หรือไม่ ถ้าต่ออยู่จนเปลี่ยนกระดาษกรองจะหมุนตามเข็มนาฬิกาไปเป็นมุม 24 องศาเพื่อให้ตรงกับตำแหน่งของหัววัดรังสีไกเกอร์ ถ้าไม่ได้ต่อก็จะหยุดการทำงาน จากนั้นจะมีการตรวจสอบว่าเครื่องวัด scaler ratemeter ต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 ที่ Com2 หรือไม่ ถ้าไม่ได้ต่อก็จะหยุดการทำงาน

3.2.3 ระบบจะทำการวัดแบคกราวด์เป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจะแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

3.2.4 ระบบจะหมุนจานเปลี่ยนกระดาษกรองตามเข็มนาฬิกาไปเป็นมุม 180 องศา เพื่อให้ตรงกับตำแหน่งของระบบดูดอากาศ

3.2.5 ท่อดูดอากาศจะเลื่อนขึ้นไป 10 มิลลิเมตรเพื่อให้สัมผัสสนิทกับจานเปลี่ยนกระดาษกรองและเปิดปั๊มสุญญากาศเพื่อดูดอากาศเป็นเวลา 6 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ท่อดูดอากาศจะเลื่อนลง 10 มิลลิเมตร

3.2.6 หมุนจานเปลี่ยนกระดาษกรองตามเข็มนาฬิกาไปเป็นมุม 180 องศา เพื่อให้ตรงกับตำแหน่งของหัววัดรังสีไอเกอร์และหยุดรอเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นจะทำการตรวจสอบว่าเครื่อง scaler ratemeter ต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 ที่ Com2 หรือไม่ ถ้าต่ออยู่ก็จะตั้งเวลาและทำการวัดรังสีเบตาเป็นเวลา 15 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจะมีการแสดงค่าจำนวนนับและความเข้มข้นของเรดอน-222 ออกมาเป็นตัวเลขบนหน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.17 หน้าจอโปรแกรมหลังการวัดรังสีเบตาเป็นเวลา 15 นาที

3.2.7 จากนั้นจะทำการตรวจสอบว่าตัวอย่างกระดาษกรองมีค่ามากกว่า 0 หรือไม่ ถ้าน้อยกว่า 0 ก็จะหยุดการทำงาน ถ้ามมากกว่า 0 ก็จะทำการวัดตัวอย่างกระดาษกรองแผ่นถัดไปเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบผลของการวัดจำนวนนับรังสีเบตาด้วย beta counter การวัดจำนวนรังสีแอลฟาด้วย Alpha spectrometer เปรียบเทียบกับการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ด้วย RAD7

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศโดยการวัดรังสีเบตาที่เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 โดยขั้นแรกต้องทำการทดลองเพื่อหาวิธีการวัดรังสีเบตาที่เกิดจากการสลายตัวของนิวไคลด์ลูกของเรดอน-222 โดยใช้หัววัดรังสีไอเกอร์ เนื่องจากใช้งานง่าย และ ให้สัญญาณที่มีขนาดใหญ่ จนไม่จำเป็นต้องใช้ภาคขยายสัญญาณส่วนหน้า

ได้ทำการทดลองและหาค่าเดดไทม์ (dead time) ของหัววัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้พบว่ามีความเท่ากับ $395.4 \mu s$

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ Glass Microfiber GF Series Grade GF/F เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. ของบริษัท Whatman ซึ่งเป็นกระดาษกรองที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถกักอนุภาคที่ละเอียดถึง $0.7 \mu m$ เมื่อเปรียบเทียบกับ membrane filter จะมี flow rate สูง และมีประสิทธิภาพสูงกว่า



รูปที่ 4.1 กระดาษกรอง GF/F ของบริษัท Whatman



รูปที่ 4.2 ลักษณะของกระดาษกรอง GF/F ของบริษัท Whatman

สำหรับ อัตราการไหล (flow rate) ที่ใช้กับปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) มีค่าเท่ากับ 20 ลิตรต่อนาที เนื่องมาจากว่าในการวัดเรดอนควรใช้อัตราการไหลประมาณ 10 – 20 ลิตรต่อนาที เพราะถ้าอัตราการไหลสูงเกินไป นิวไคลด์ลูกของเรดอนก็จะผ่านไปโดยไม่เกาะบนกระดาษกรอง แต่ถ้าอัตราการไหลมีค่าต่ำเกินไป ค่าจำนวนนับที่วัดได้จะมีค่าน้อย

ขั้นตอนในการทดลองเป็นดังนี้

- ทำการดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง GF/F โดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีอัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที ในสถานที่ที่ต้องวัดเรดอนเป็นเวลา 6 นาที และ ใช้ RAD7 วัดค่าความเข้มข้นของเรดอน (Bq/m^3) ไปพร้อมกัน

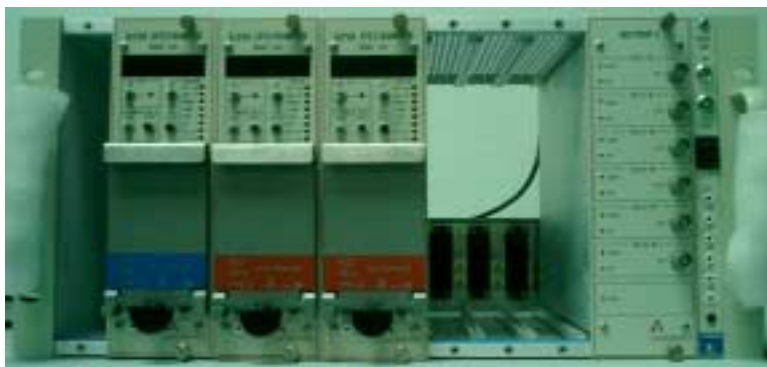


รูปที่ 4.3 บั้มสูญญากาศที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.4 เครื่องมือวัดเรดอน Rad 7 (Radon detector) ของบริษัท DurrIDGE

- เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำกระดาดากรอง GF/F ไปวัดโดยใช้เครื่อง Alpha Spectrometer ซึ่งใช้ในการวัดรังสีแอลฟาที่เกิดจาก Po-218, Po-214 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกของเรดอน และ Po-212 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกของโธรอน (Rn-220) มีพลังงานเท่ากับ 6.115, 7.833 และ 8.954 MeV ตามลำดับ ณ นาทีที่ 3 หลังการดูดอากาศเสร็จสิ้น จะทำการวัดรังสีแอลฟาเป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 4.5 เครื่อง Alpha Spectrometer

- ณ นาทีที่ 16 หลังการดูดอากาศเสร็จจึ้น จะนำกระดาษกรองแผ่นเดียวกันนี้ไปวัดรังสีเบตาโดยใช้เครื่อง beta counter เป็นเวลา 10 นาที



รูปที่ 4.6 เครื่อง beta counter ของบริษัท Eberline

- ณ นาทีที่ 33 หลังการดูดอากาศเสร็จจึ้น จะนำกระดาษกรองแผ่นเดียวกันนี้ไปวัดรังสีแอลฟาโดยใช้เครื่อง Alpha Spectrometer เป็นเวลา 10 นาที
เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว จึงนำไปคำนวณหา Peak area ของ Po-218 ที่แท้จริง รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ก
จากนั้นทำการหาความแรงรังสีของ Po-218 Pb-214 และ Bi-214 เมื่อทราบค่าความแรงรังสีแล้วนำไปคำนวณค่า EERC รายละเอียดการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ข

ได้ทดลองเก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของเรดอนและจำนวนนับรังสีเบตาตามสถานที่ต่าง ๆ ในบริเวณภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 และรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 จำนวนนับรังสีเบตาที่เวลาต่าง ๆ และ จำนวนนับรังสีแอลฟาของ Po-218 ในบริเวณภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

Location	Rn. Conc. From RAD7 (Bq/m ³)	beta counts per 10 min (from t=16 min to t=26 min)	Counts of Po-218 from Alpha spectrometer
neutron generator room (underground)	58.3	2857	159
	51	3221	187
	51	2750	200
	37.7	775	82
	29.1	4172	250
	19.4	3220	202
	17	3182	215
room 203	7.55	414	33
	7.28	924	81
	2.43	421	38
room 306	17	100	1
	9.73	82	3
	7.55	155	14
	4.86	320	28
room 105	26.3	664	56
	17.6	1769	131
	5.47	283	24
	2.43	97	8
outdoor	4.85	244	5
neutron room	34	1176	57
	30.1	1199	69
	26.7	1554	91
	7.28	1073	83

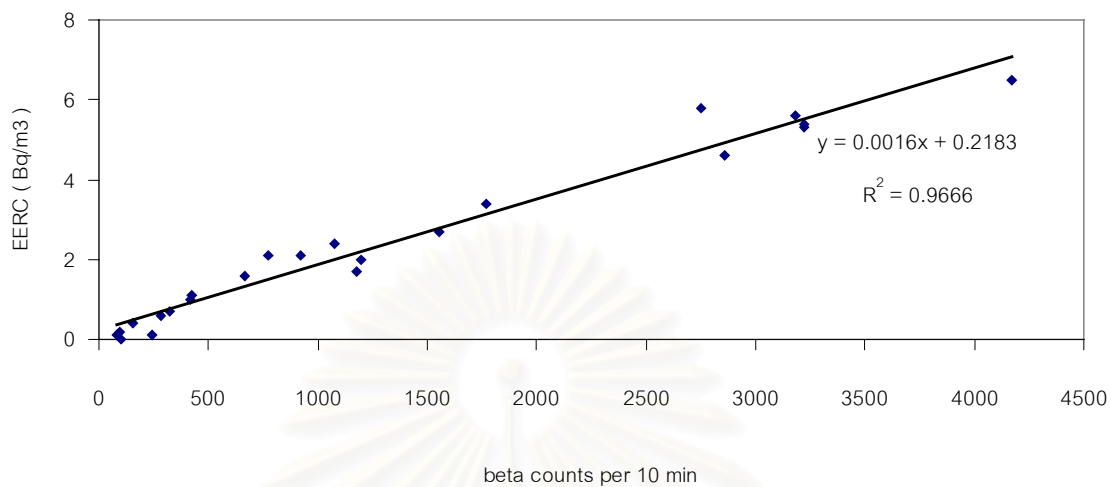
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 และค่า EERC ในบริเวณภาควิชา
นิวเคลียร์เทคโนโลยี

Location	Rn. Conc. From RAD7 (Bq/m ³)	S.D.	EERC (Bq/m ³)
neutron generator room (underground)	58.3	11.2	4.6
	51	19	5.4
	51	11.2	5.8
	37.7	26.2	2.1
	29.1	22.4	6.5
	19.4	19.2	5.3
	17	15.2	5.6
room 203	7.55	8.7	1
	7.28	3.6	2.1
	2.43	1.2	1.1
room 306	17	8.5	0
	9.73	4.9	0.1
	7.55	8.7	0.4
	4.86	2.8	0.7
room 105	26.3	7.5	1.6
	17.6	13.5	3.4
	5.47	2.3	0.6
	2.43	1.2	0.2
outdoor	4.85	2.4	0.1
neutron room	34	10.8	1.7
	30.1	0.16	2
	26.7	15.8	2.7
	7.28	8	2.4

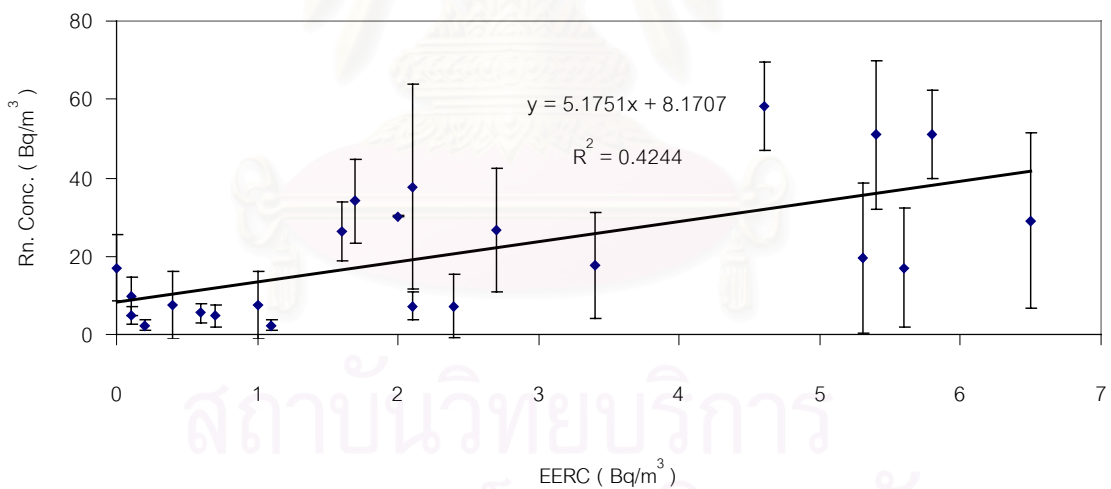
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวัดความเข้มข้นของเรดอน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

Location	Rn. Conc. From RAD7 (Bq/m ³)	temp (°C)	Relative humidity (%)
Neutron generator room (underground)	58.3	30.4	75
	51	28	75
	51	28	74
	37.7	30	75
	29.1	28.3	74
	19.4	30.7	75
Room 203	17	30.7	75
	7.55	28.1	71
	7.28	27.4	73
	2.43	32.8	73
room 306	17	26.4	70
	9.73	26.4	69
	7.55	24.8	67
	4.86	24.6	68
room 105	26.3	27.5	72
	17.6	27.7	73
	5.47	26.4	72
	2.43	28.9	72
outdoor	4.85	26.4	72
neutron room	34	27.7	76
	30.1	28.1	77
	26.7	31.9	75
	7.28	30.7	77

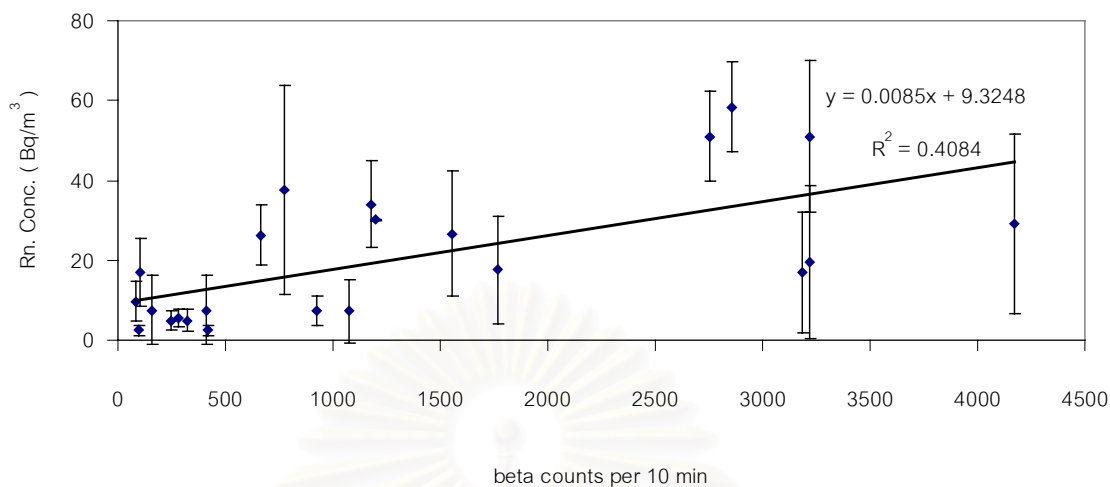
จากตารางที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ได้นำมาพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.5 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า EERC กับจำนวนนับรังสีเบตา



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนกับค่า EERC



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนกับจำนวนนับรังสีเบตา

จากรูปที่ 4.7 พบว่าค่า EERC แปรผันกับจำนวนนับรังสีเบตา ส่วนรูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของเรดอนแปรผันกับ EERC และรูปที่ 4.9 พบว่าความเข้มข้นของเรดอนแปรผันกับจำนวนนับรังสีเบตาที่วัดในเวลา 10 นาที

4.2 การทดสอบการทำงานของระบบตรวจความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตาที่ได้พัฒนาขึ้น

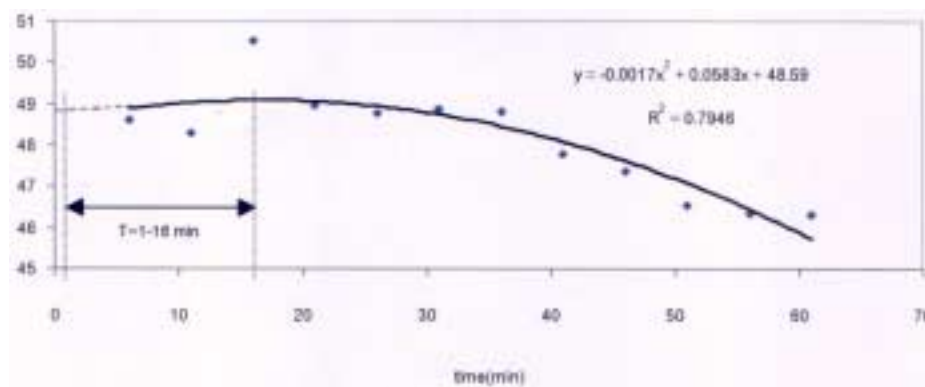
จากการทดสอบผลของการวัดจำนวนนับรังสีเบตาด้วย beta counter การวัดจำนวนรังสีแอลฟาด้วย Alpha spectrometer เปรียบเทียบกับการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ด้วย RAD 7 พบว่าความเข้มข้นของเรดอนจะแปรผันกับจำนวนนับรังสีเบตาจึงสามารถที่จะหาความเข้มข้นของเรดอนได้โดยตรงเมื่อทราบค่าจำนวนนับรังสีเบตา จึงได้ทำการทดลองหาเวลาที่เหมาะสมในการวัดจำนวนนับรังสีเบตาให้มีค่ามากที่สุดโดยใช้หัววัดไกเกอร์ และ scaler ratemeter แสดงดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของจำนวนนับรังสีเบตา ณ เวลาต่างๆ

time(min)	c/5min	cpm
6	243	48.6
11	240	48.3
16	275	50.5
21	221	48.9
26	240	48.8
31	247	48.9
36	242	48.8
41	203	47.8
46	220	47.3
51	196	46.5
56	221	46.3
61	230	46.3

จากตารางที่ 4.4 ได้นำมาพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.10 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีเบตา กับเวลา

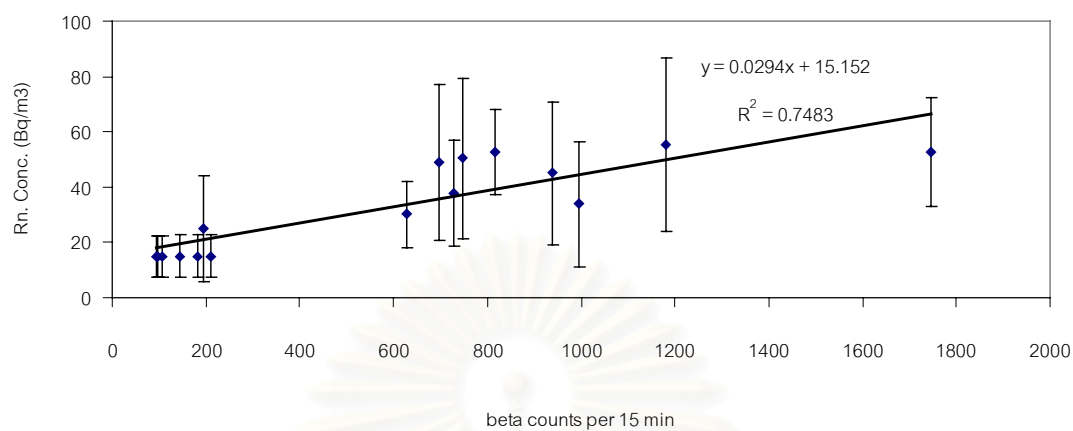
จากรูปที่ 4.10 จากการดูดอากาศผ่านกระดาษกรองเป็นเวลา 6 นาที จากนั้นทิ้งให้สลายตัวเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำไปวัดรังสีเบตาต่อ 5 นาที ที่เวลาต่าง ๆ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป จำนวนนับรังสีเบตาจะมีค่าลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเลือกเวลาในการวัดรังสีเบตาเท่ากับ 15 นาที โดยจะเริ่มวัด หลังจากดูดอากาศเสร็จแล้วเป็นเวลา 1 นาที

ได้ทดลองเก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของเรดอนและจำนวนนับรังสีเบตาตามสถานที่ต่าง ๆ ในบริเวณภาควิทยานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 และรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของความเข้มข้นของเรดอนที่วัดโดย RAD 7 ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและจำนวนนับรังสีเบตา โดยทิ้งให้สลายตัว 1 นาที หลังดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ที่พัฒนาขึ้น แล้วนำกระดาษกรองไปวัดโดยใช้ beta counter ของบริษัท Eberline

Location	m.conc .from RAD7 (Bq/m ³)	S.D.	Relative humidity (%)	temp (°C)	beta counts per 15 min (from t=1 min to t= 16 min)
room203	25.1	19	71	29.1	195
	15.1	7.55	73	29.9	209.5
	15.1	7.55	73	28.7	181.5
	15.1	7.55	73	29.3	143.5
	15	7.52	73	29.9	98.5
	15	7.52	71	28.9	95.5
	14.9	7.47	73	28.4	107.5
neutron room	55.2	31.5	75	28.7	1179.15
	52.8	19.6	76	28.4	1746.15
	50.3	28.9	77	28.7	748.65
neutron generator room (underground)	52.7	15.2	75	29.5	817.5
	48.8	28.1	75	29.6	698.5
	45.2	25.8	74	29.6	937.5
	37.6	19.2	75	29.3	728.5
	33.9	22.7	75	28.7	994.5
	30.1	12.1	74	29.3	626.5

จากตารางที่ 4.5 ได้นำผลการทดลองมาพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.11 ดังนี้



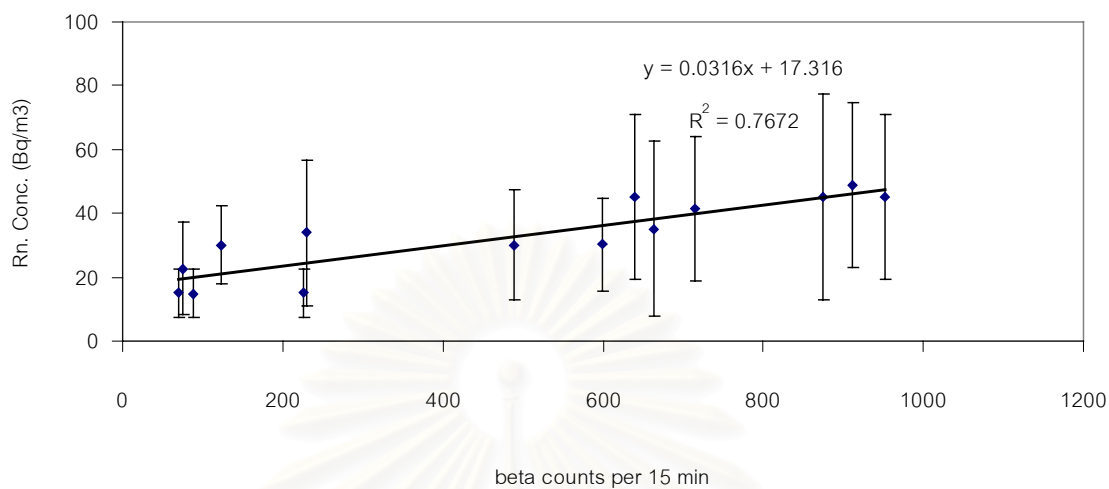
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนที่วัดโดยใช้ RAD 7 กับจำนวนนับรังสีเบตา โดยใช้ beta counter ของบริษัท Eberline

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของความเข้มข้นของเรดอนที่วัดโดยใช้ RAD 7 ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และจำนวนนับรังสีเบตา โดยทิ้งให้สลายตัว 1 นาทีหลังดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง โดยใช้ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้หัววัดไกเกอร์ ร่วมกับ scaler ratemeter

Location	Rn.Con c.from RAD7 (Bq/m ³)	S.D.	Relative humidity (%)	temp(°C)	beta counts per 15 min (from t=1 min to t= 16 min)
room203	22.6	14.5	73	29.9	74.5
	15.1	7.55	73	29.2	225.5
	15.1	7.55	71	30.2	70.5
	14.9	7.47	73	29.6	87.5
neutron room	45.2	25.8	77	29.3	952.5
	41.4	22.7	77	30	714.5
	35.2	27.3	77	29	662.5
	30.2	14.5	76	29.6	598.5
	30	17.3	75	28.4	488.5
neutron generator room (underground)	49	25.8	74	30.2	911.9
	45.2	25.8	76	29.3	639.9
	45.1	32.4	75	29	874.9
	33.9	22.7	75	28.3	228.9
	30.1	12.1	75	28.9	123.9

จากตารางที่ 4.6 ได้นำมาพล็อตกราฟแสดงดังรูปที่ 4.12 ดังนี้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเรดอนที่วัดโดยใช้ RAD 7 กับจำนวนนับรังสีเบตา โดยใช้ระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ที่พัฒนาขึ้นร่วมกับหัววัดไกเกอร์ และ scaler ratemeter

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าความเข้มข้นของเรดอนจะมีค่าแปรผันตามจำนวนนับรังสีเบตาในเวลา 15 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย วิจัยการวัดผล การวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจัยการวัดผล การวิจัย

จากระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้โดยการวัดรังสีเบตาที่ได้พัฒนาขึ้น และจากผลการทดสอบการทำงานต่าง ๆ ของระบบ ทำให้สามารถสรุปและวิจัยลักษณะต่าง ๆ และขีดความสามารถของระบบได้ดังนี้

5.1.1 การทดสอบผลของการวัดจำนวนนับรังสีเบตาด้วย beta counter การวัดจำนวนรังสีแอลฟาด้วย Alpha spectrometer เปรียบเทียบกับการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ด้วย RAD7

จากรูปที่ 4.7 พบว่า ค่า EERC จะแปรผันตามจำนวนนับรังสีเบตา โดยสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้น (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9666

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ความเข้มข้นของเรดอนจะแปรผันตามค่า EERC โดยสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้น (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.4244

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ความเข้มข้นของเรดอนจะแปรผันตามจำนวนนับรังสีเบตาที่วัดในเวลา 10 นาที โดยสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้น (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.4084

5.1.2 การทดสอบการทำงานของระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตาที่ได้พัฒนาขึ้น

จากรูปที่ 4.10 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป จำนวนนับรังสีเบตาจะมีค่าลดลง จึงเลือกเวลาในการนับจำนวนรังสีเบตา 15 นาที โดยทิ้งให้สลายตัวเป็นเวลา 1 นาที หลังดูดอากาศผ่านกระดาษกรอง

จากรูปที่ 4.11 พบว่า ความเข้มข้นของเรดอนจะแปรผันตามจำนวนนับรังสีเบตาโดยสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้น (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.7483

จากรูปที่ 4.12 พบว่า ความเข้มข้นของเรดอนจะแปรผันตามจำนวนนับรังสีเบตาในเวลา 15 นาที โดยสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้น (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.7672

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 ในอากาศชนิดเคลื่อนย้ายได้ พบว่าความเข้มข้นของเรดอน-222 จะมีค่าแปรผันตามจำนวนนับรังสีเบตาในเวลา 15 นาที โดยมีค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ขณะทำการทดลองอยู่ในช่วง 25.8–32.8 °C และ 64-77 % ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.12 ในการทดลองหาค่า detection limit โดยใช้

ค่าแบบควadratที่มีค่าต่ำที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 517.5 ± 22.7 พบว่าค่า detection limit มีค่าเท่ากับ 35.8 Bq/m^3 โดยค่า detection limit นี้จะขึ้นอยู่กับค่าแบบควadrat ถ้าแบบควadratมีค่าสูงขึ้น detection limit ก็จะมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

จากสมการเชิงเส้นในรูปที่ 4.12 คือ $y = 0.0316x + 17.316$ เมื่อ y คือความเข้มข้นของเรดอน-222 และ x คือจำนวนนับรังสีเบตา ได้นำความสัมพันธ์นี้มาใช้ในโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบตรวจความเข้มข้นของเรดอนโดยการวัดรังสีเบตาที่พัฒนาขึ้น ภายใต้เงื่อนไขการนับรังสีเบตาในเวลา 15 นาที โดยใช้หัววัดไกเกอร์ ซึ่งวางกระดาดษกรองห่างจากหัววัดเท่ากับ 5 มม. และใช้ scaler ratemeter ของบริษัท Ludlum เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของเรดอน-222 ในหน่วย Bq/m^3 และ pCi/l และแสดงผลบนหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไป

เนื่องจากการวัดความเข้มข้นของเรดอน-222 โดยวิธีวัดรังสีเบตานั้นจะเหมาะกับเรดอน-222 ที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง เพราะเมื่อเรดอน-222 มีค่าต่ำ จำนวนนับรังสีเบตาก็จะมีค่าต่ำไปด้วย อาจจะมีค่าใกล้เคียงกับแบบควadrat จะทำให้ค่าความเข้มข้นที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มขนาดของกระดาดษกรองให้มีพื้นที่หน้าตัดมากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับเรดอนให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้จำนวนนับรังสีเบตาที่ได้มีค่ามากขึ้นด้วย

ตะกั่วกำบังรังสีควรอยู่ใกล้กับกระดาดษกรองให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดค่าแบบควadratลงให้เหลือน้อยที่สุด

ปัญหาที่เกิดจากฝุ่นที่อาจเป็นไอโซโทปรังสีที่ถูกดูดเข้ามาติดบนกระดาดษกรองก็อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดได้มาก วิธีนี้จึงอาจไม่เหมาะสมสำหรับบริเวณที่มีฝุ่นมาก

ในการวัดรังสีเบตาควรเลือกใช้หัววัดที่มีหน้าต่า่างบาง ๆ และมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของหน้าต่า่างมาก ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดให้มากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Radon. <http://gsc.nrcan.gc.ca/>
2. วิฑิต ฝั่งกัน. การพัฒนาเทคนิคเพื่อหาปริมาณเรดอน – 222 ในอาคารโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
3. ธวัช ชิตตระการ. การตรวจและการวัดรังสี. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541
4. John F. Lamarsh, Introduction to nuclear engineering. 2nd.ed. USA : Addison-Wesley Company, Inc. 1983.
5. Secular equilibrium. <http://www.epa.gov/>
6. Radon-222 measurement techniques. <http://www1.umn.edu/>
7. Ionization chamber. <http://betarem.net/>
8. Scintillation counter. <http://www.spectrumtechniques.com/>
9. William W. Nazaroff, Radon and Its Decay Products in Indoor Air. USA : John Wiley & Sons, Inc. 1988.
10. David Bodansky, Indoor Radon and Its Hazard. 2nd.ed. USA : the University of Washington Press, 1989.
11. MCS-51. <http://www.ett.co.th/>
12. ULN2003. <http://www.xdesignlabs.com/>

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- ศรินทร สุวรรณพงศ์. การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซเรดอนและทอรอนโดยใช้เซ็นที่ดี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532
- ฐิติกร เห็นทรัพย์ไพบุลย์. การพัฒนาระบบสแกนด้วยการส่งผ่านรังสีแกมมาเพื่อแสดงภาพสองมิติของคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
- วัชรพงษ์ ปถมพานิชย์. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เส้นใยนำแสงเคลือบปลายด้วยซินทิลเลเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
- นารายณ์ รัตน์ไพโรจน์ขจี. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
- ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. บริษัท แชนไฟร์ พรินติ้ง จำกัด, 2541

ภาษาอังกฤษ

- Z. Papp and S. Daroczy, Health Physics 1997 April;72 (4) : 601 – 610. Isotope Laboratory, Kossuth University, Debrecen, Hungary



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาค่า Overlapping ratio และการหา Peak area ของ Po-218

โดยในขั้นแรกต้องทำการหาค่า Overlapping ratio ของ Bi-212 ซึ่งเป็นนิวไคลด์ลูกโทรอนที่ค่าพลังงานของรังสีแอลฟาเท่ากับ 6.207 MeV ที่มีค่าใกล้เคียงกับ Po-218 จึงทำให้เกิดการซ้อนทับกัน ดังนั้น Peak area ของ Po-218 จึงมีค่ามากเกินความเป็นจริง โดยได้ทำการทดลองคือ ทำการดูดอากาศผ่านกระดาษกรองเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมงถัดไปเพื่อนำไปคำนวณหา Peak area ของ Po-218 ที่แท้จริง (เนื่องมาจากต้องการให้ Po-218 และ Po-214 สลายตัวไปหมดก่อนจนเหลือเพียง Bi-212 และ Po-212) จึงทำการวัดรังสีแอลฟาที่เครื่อง Alpha Spectrometer เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ค่า Overlapping ratio เท่ากับ 0.538

ได้ทำการทดลองหาค่า Overlapping ratio 2 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยได้ผลดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ครั้งที่ 1} \quad \text{Overlapping ratio} &= \frac{\text{Peak area of Bi-212}}{\text{Peak area of Po-212}} \\ &= \frac{45186}{84762} \\ &= 0.533\end{aligned}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} \quad \text{Overlapping ratio} = \frac{\text{Peak area of Bi-212}}{\text{Peak area of Po-212}}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{53641}{98878} \\ &= 0.542\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าเฉลี่ย} &= \frac{0.533 + 0.542}{2} \\ &= 0.538\end{aligned}$$

ตารางที่ ก.1แสดงการคำนวณ:neutron generator room (underground)

Counts	RaA ch(Po-218)	RaC' ch(Po-214)	ThC' ch(Po-212)
1st measurement period	339	1942	166
2nd measurement period	123	1446	183

$$\begin{aligned} \text{Peak area ของ Po-218 ที่แท้จริง} &= 339 - (166 \cdot 0.538) \\ &= 250 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่า Counts of Po-218 from Alpha spectrometer ที่แท้จริงมีค่าเท่ากับ 250 โดยมีความเข้มข้นของเรดอนเท่ากับ 29.1 Bq/m^3



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การคำนวณความแรงรังสีของ Po-218 Pb-214 และ Bi-214 ค่า EERC และค่า F: neutron generator room (underground)

จากนั้นทำการหาค่าความแรงรังสีของ Po-218, Pb-214 และ Bi-214 ตามลำดับ ดังนี้

Po-218 $A = A_0 e^{-\lambda t}$ (ข.1)

$$A_0 = \frac{\text{Counts}}{\varepsilon} \left(\frac{\lambda}{e^{-\lambda t_0} - e^{-\lambda t_1}} \right)$$

เมื่อ Counts คือ Peak area ของ Po-218 ที่แก้ค่า Overlapping ratio = 250

ε คือ ประสิทธิภาพของ Alpha spectrometer = 0.301

λ คือ $\frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}(Po-218)}} = \frac{0.693}{3.05} = 0.00379 \text{ s}^{-1}$

$T_{\frac{1}{2}(Po-218)}$ คือ ครึ่งชีวิตของ Po-218 = 3.05 นาที

t_0 คือ เวลาเริ่มต้นในการวัด (ณ นาทีที่ 3) = 180 วินาที

t_1 คือ เวลาสิ้นสุดในการวัด (ณ นาทีที่ 13) = 780 วินาที

$$A_{0(Po-218)} = \frac{250}{0.301} \left(\frac{\left(\frac{0.693}{3.05 \times 60} \right)}{e^{-0.00379 \times 180} - e^{-0.00379 \times 780}} \right)$$

$$= \frac{6.943}{20 \times 6 \times 10^{-3}}$$

$$= 57.858 \text{ Bq/m}^3$$

เมื่อ $A_{0(Po-218)}$ คือค่าความแรงรังสีของ Po-218 ณ นาทีที่ 3-13 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.943 Bq หรือ 57.858 Bq/m³

จากสมการที่ (ข.1) จะคำนวณหาค่าความแรงรังสีของ Po-218 ณ นาทีที่ 3 ซึ่งเป็นเวลาเริ่มต้นในการวัดแสดงดังนี้

$$A_{3(Po-218)} = 6.943e^{0.00379 \times 180}$$

$$= 13.733 \quad \text{Bq}$$

$$= 114.442 \quad \text{Bq/m}^3$$

จากสมการที่ (ข.1) จะคำนวณหาค่าความแรงรังสีของ Po-218 ณ นาทีที่ 13 ซึ่งเป็นเวลาสั้นสุดในการวัดโดย $A_0 = 13.733 \text{ Bq}$ แสดงดังนี้

$$A_{13(Po-218)} = 13.733e^{-0.00379 \times 780}$$

$$= 0.714 \quad \text{Bq}$$

$$= 5.95 \quad \text{Bq/m}^3$$

$$\text{Pb-214} \quad A_{Pb-214} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{3(Po-218)} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$\text{เมื่อ } \lambda_1 \quad \text{คือ } \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}(Po-218)}} = \frac{0.693}{3.05} = 0.00379 \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda_2 \quad \text{คือ } \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}(Pb-214)}} = \frac{0.693}{26.8} = 0.000431 \text{ s}^{-1}$$

$$T_{\frac{1}{2}(Pb-214)} \quad \text{คือ ครึ่งชีวิตของ Pb-214} = 26.8 \text{ นาที}$$

$$t \quad \text{คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการวัด (10 นาที)} = 600 \text{ วินาที}$$

$$A_{Pb-214} = \frac{0.00379}{\left(\frac{0.693}{26.8 \times 60}\right) - 0.00379} \left(\frac{13.733}{0.00379}\right) (e^{-0.00379 \times 600} - e^{-0.000431 \times 600})$$

$$= 1.178 \quad \text{Bq}$$

$$= 9.817 \quad \text{Bq/m}^3$$

Bi-214

$$A_{Bi-214} = \lambda_1 \lambda_2 A_{3(Po-218)} \left(\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \right)$$

$$\text{เมื่อ } \lambda_3 \quad \text{คือ } \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}(Bi-214)}} = \frac{0.693}{19.9} = 0.00058s^{-1}$$

$$T_{\frac{1}{2}(Bi-214)} \quad \text{คือ ครึ่งชีวิตของ Bi-214} = 19.9 \text{ นาที}$$

$$A_{Bi-214} = (0.00379 \times 0.000431)(3623.483) \left(\frac{0.103}{(-0.00336) \left(\frac{0.693}{19.9 \times 60} - 0.00379 \right)} \right)$$

$$+ \frac{0.772}{(0.00379 - 0.000431)(0.00058 - 0.000431)} + \frac{e^{-0.00058 \times 600}}{(0.00379 - 0.00058)(0.000431 - 0.00058)}$$

$$= 0.26 \quad \text{Bq}$$

$$= 2.167 \quad \text{Bq/m}^3$$

เมื่อได้ค่าความแรงรังสีของ Po-218, Pb-214 และ Bi-214 แล้วนำไปแทนในสมการที่ 13 เพื่อหาค่า EERC

$$EERC = 0.106(5.95) + 0.513(9.817) + 0.381(2.167)$$

$$= 6.493 \quad \text{Bq/m}^3$$

เมื่อทราบค่าความแรงรังสีของ Po-218, Po-214 และ Po-212 แล้ว ก็สามารถหาค่า EERC ได้

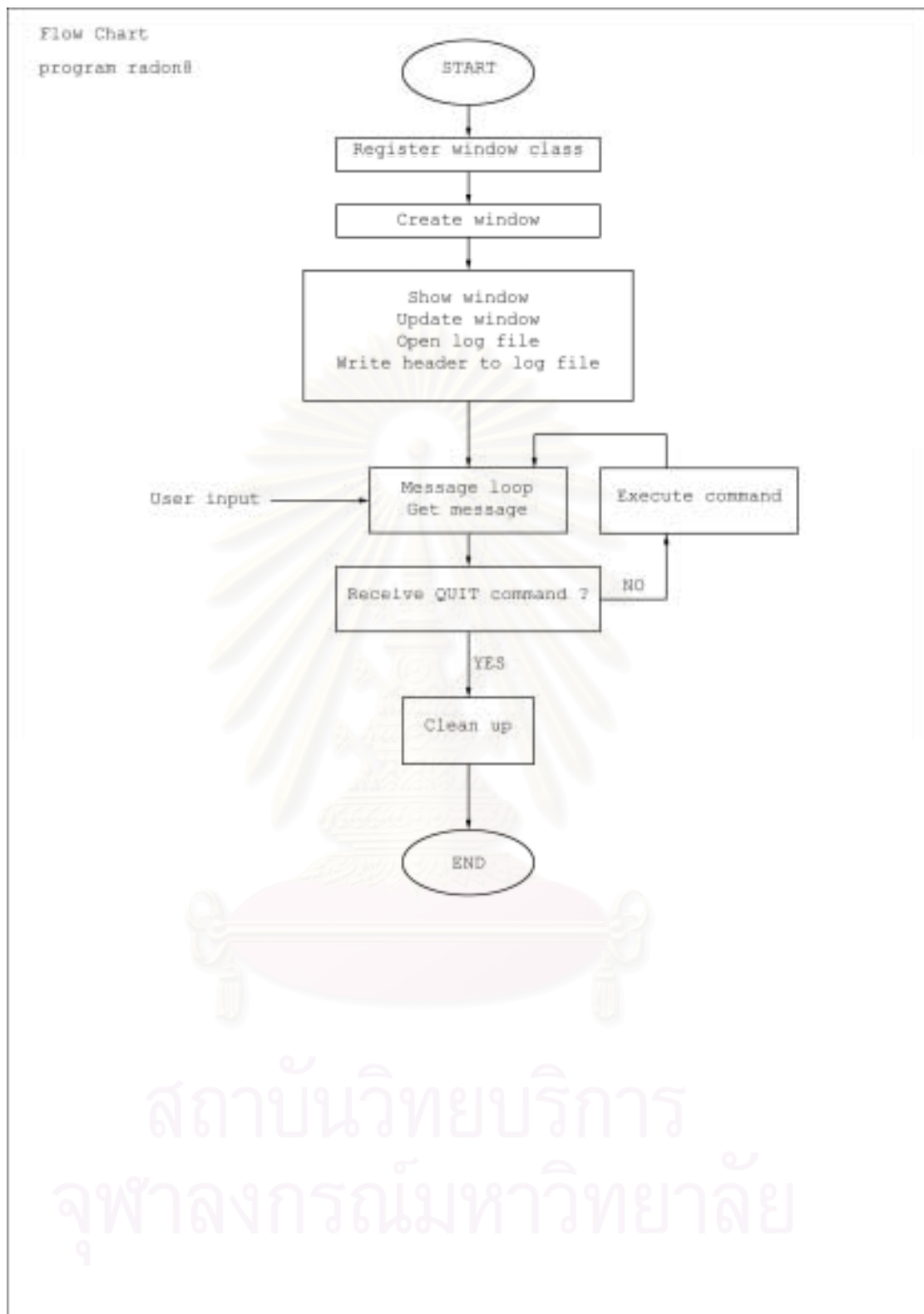


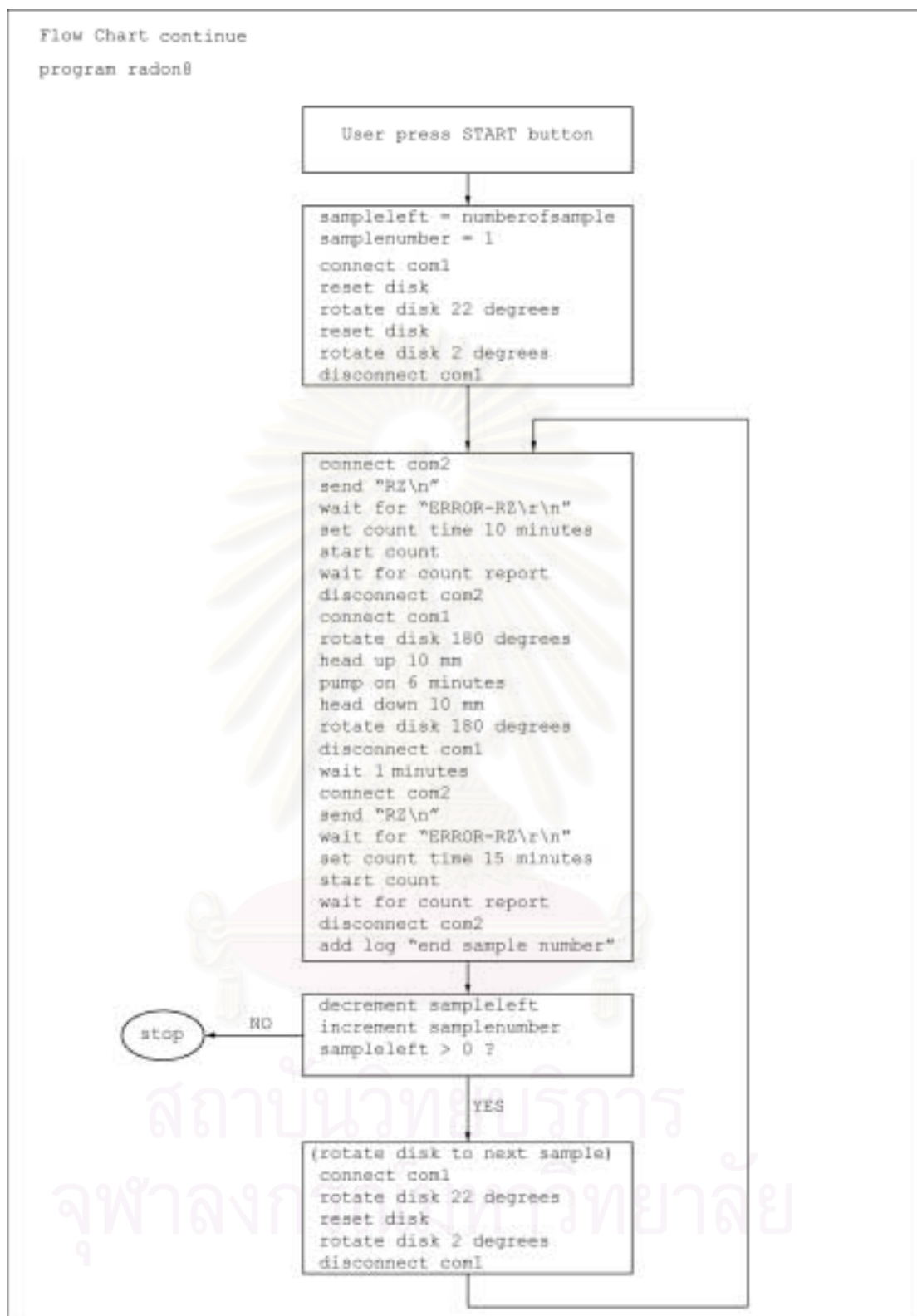
ภาคผนวก ค

ผังไหลของโปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอมพิวเตอร์

ใช้ code บางส่วนจากโปรแกรมตัวอย่าง Serial sample : Communication demonstration ที่มากับโปรแกรม Microsoft visual C++ 6.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





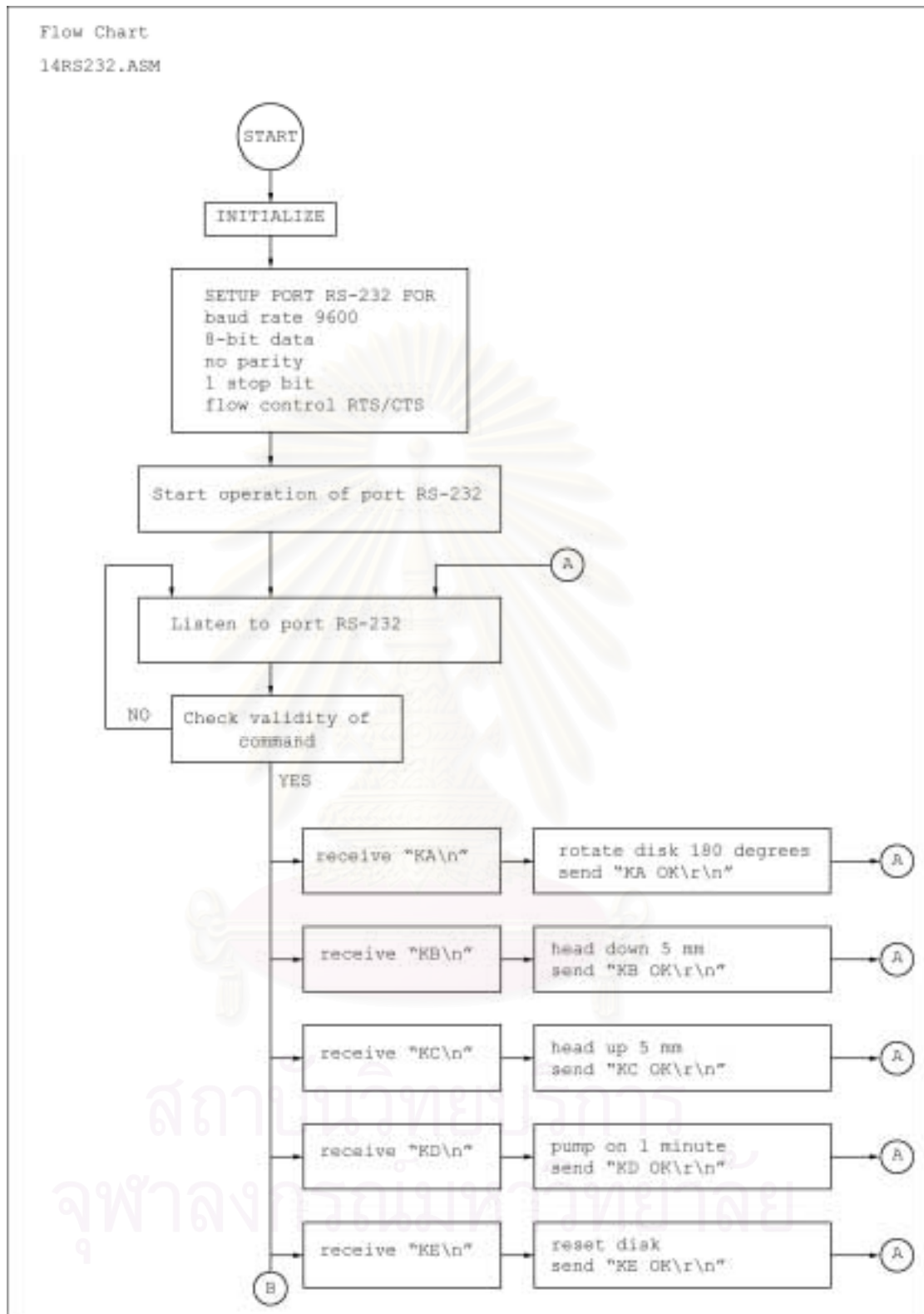


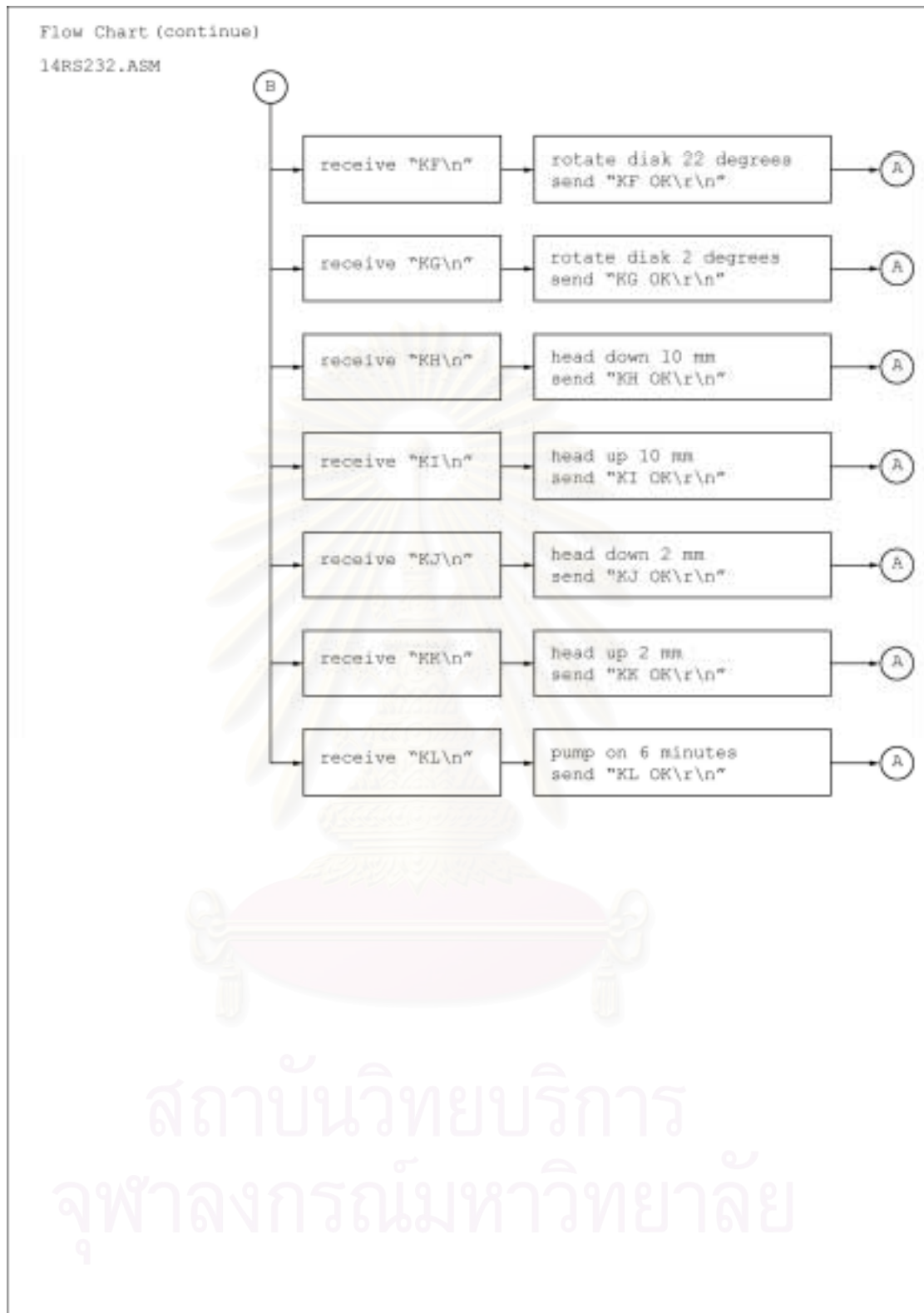
ภาคผนวก ง

ผังไหลของโปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้ code บางส่วนจากโปรแกรม RS-232 ที่มากับชุดคิท ET-CP-S8252 ของบริษัทที่
จำกัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก จ [11]

คุณสมบัติของแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัททีที รุ่น CP-S8252 V1.0



รูปที่ จ. 1 แผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัททีที รุ่น CP-S8252 V1.0


CP-S8252 V1.0 เป็นบอร์ดแบบ In-Circuit DOWNLOAD ไม่ต้องจัดหาอุปกรณ์ เครื่อง COPY CPU หรือ บอร์ด In-Circuit PROGRAM อื่น ๆ มาต่อเพิ่มเข้ากับตัวบอร์ด CP-S8252 สามารถเขียนและพัฒนาได้ด้วยตัวเอง บอร์ดเดียวจบในการพัฒนาจนนำไปใช้งานจริง ตัวบอร์ดใช้ CPU ในตระกูล MCS-51 โดยใช้เบอร์ AT89S8252 เป็น CPU ประจำบอร์ด

- CPU AT89S8252 40 PIN DIP TYPE, RUN 18.432 MHZ
- 8 KBYTE PROGRAM MEMORY FLASH IN CPU AT89S8252
- 2 K BYTE EEPROM DATA IN CPU AT89S8252
- 32 BIT I/O PORT CPU AT89S8252 I/O 34 PIN ET BUS
- A/D 12 BIT 2 CH LTC 1298 (OPTION)
- REAL TIME CLOCK RTC DS1307 (OPTION)
- 32 KBYTE EEPROM 24LC256 (OPTION)
- 20 PIN BUS CPU 89C2051/1051/4051 DIP TYPE ... ใช้พัฒนา CPU ใน แบบ 20 PIN (AT89C1051/2051/4051) ได้ด้วย
- 14 PIN LCD PORT (CHARACTER TYPE)

- RS232 PORT MAX232 ON BOARD ... สามารถขยายเปลี่ยนเป็น RS422 หรือ RS485 โดยเพิ่ม IC 75176 (OPTION)
- 7805 POWER SUPPLY ON BOARD
- LOAD ข้อมูล ด้วยความเร็วสูง 8 KBYTE ใช้เวลาเพียง 25 วินาที
- PCB SIZE 14.5 X 6 CM



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ [12]

คุณสมบัติของ integrated circuit เบอร์ ULN2003

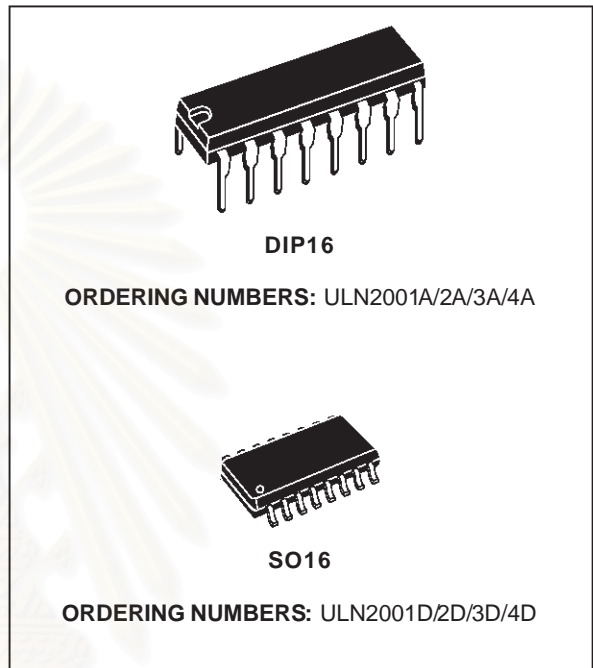
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ULN2001A-ULN2002A ULN2003A-ULN2004A

SEVEN DARLINGTON ARRAYS

- SEVEN DARLINGTONS PER PACKAGE
- OUTPUT CURRENT 500mA PER DRIVER (600mA PEAK)
- OUTPUT VOLTAGE 50V
- INTEGRATED SUPPRESSION DIODES FOR INDUCTIVE LOADS
- OUTPUTS CAN BE PARALLELED FOR HIGHER CURRENT
- TTL/CMOS/PMOS/DTL COMPATIBLE INPUTS
- INPUTS PINNED OPPOSITE OUTPUTS TO SIMPLIFY LAYOUT



DESCRIPTION

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003 and ULN2004A are high voltage, high current darlington arrays each containing seven open collector darlington pairs with common emitters. Each channel rated at 500mA and can withstand peak currents of 600mA. Suppression diodes are included for inductive load driving and the inputs are pinned opposite the outputs to simplify board layout.

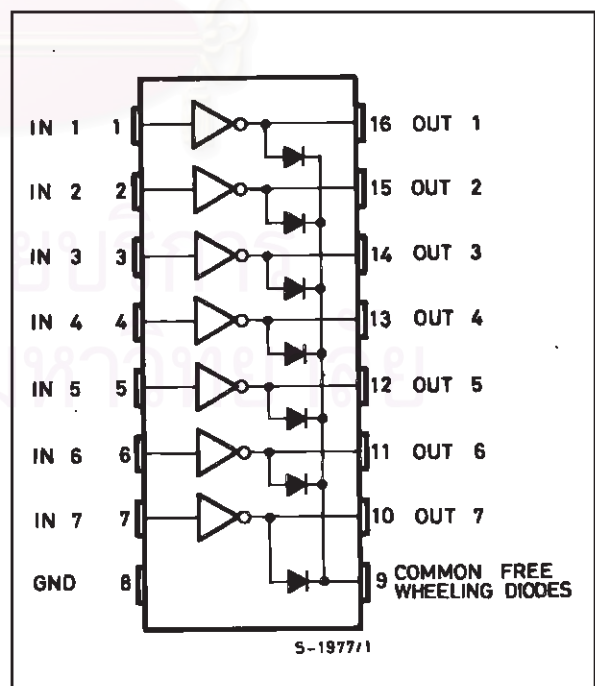
The four versions interface to all common logic families :

ULN2001A	General Purpose, DTL, TTL, PMOS, CMOS
ULN2002A	14-25V PMOS
ULN2003A	5V TTL, CMOS
ULN2004A	6-15V CMOS, PMOS

These versatile devices are useful for driving a wide range of loads including solenoids, relays DC motors, LED displays filament lamps, thermal print-heads and high power buffers.

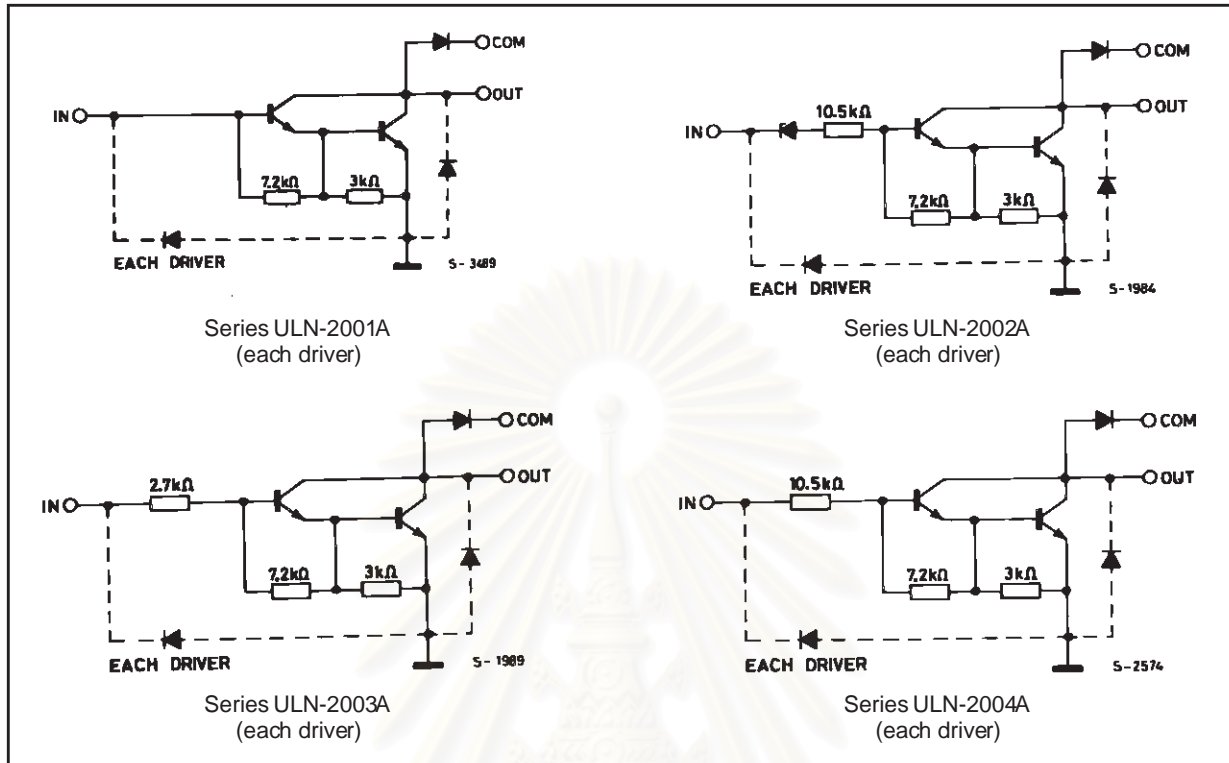
The ULN2001A/2002A/2003A and 2004A are supplied in 16 pin plastic DIP packages with a copper leadframe to reduce thermal resistance. They are available also in small outline package (SO-16) as ULN2001D/2002D/2003D/2004D.

PIN CONNECTION



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_o	Output Voltage	50	V
V_{in}	Input Voltage (for ULN2002A/D - 2003A/D - 2004A/D)	30	V
I_c	Continuous Collector Current	500	mA
I_b	Continuous Base Current	25	mA
T_{amb}	Operating Ambient Temperature Range	- 20 to 85	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	- 55 to 150	°C
T_j	Junction Temperature	150	°C

THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP16	SO16	Unit
$R_{th\ j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	70	100	°C/W

ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	Fig.
I_{CEX}	Output Leakage Current	$V_{CE} = 50\text{V}$ $T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, V_{CE} = 50\text{V}$			50 100	μA μA	1a 1a
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}$ for ULN2002A $V_{CE} = 50\text{V}, V_i = 6\text{V}$			500	μA	1b
		for ULN2004A $V_{CE} = 50\text{V}, V_i = 1\text{V}$			500	μA	1b
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter Saturation Voltage	$I_C = 100\text{mA}, I_B = 250\mu\text{A}$		0.9	1.1	V	2
		$I_C = 200\text{mA}, I_B = 350\mu\text{A}$		1.1	1.3	V	2
		$I_C = 350\text{mA}, I_B = 500\mu\text{A}$		1.3	1.6	V	2
$I_{i(on)}$	Input Current	for ULN2002A, $V_i = 17\text{V}$		0.82	1.25	mA	3
		for ULN2003A, $V_i = 3.85\text{V}$		0.93	1.35	mA	3
		for ULN2004A, $V_i = 5\text{V}$		0.35	0.5	mA	3
		$V_i = 12\text{V}$		1	1.45	mA	3
$I_{i(off)}$	Input Current	$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, I_C = 500\mu\text{A}$	50	65		μA	4
$V_{i(on)}$	Input Voltage	$V_{CE} = 2\text{V}$ for ULN2002A $I_C = 300\text{mA}$			13	V	5
		for ULN2003A $I_C = 200\text{mA}$			2.4		
		$I_C = 250\text{mA}$			2.7		
		$I_C = 300\text{mA}$			3		
		for ULN2004A $I_C = 125\text{mA}$			5		
		$I_C = 200\text{mA}$			6		
		$I_C = 275\text{mA}$			7		
		$I_C = 350\text{mA}$			8		
h_{FE}	DC Forward Current Gain	for ULN2001A $V_{CE} = 2\text{V}, I_C = 350\text{mA}$	1000				2
C_i	Input Capacitance			15	25	pF	
t_{PLH}	Turn-on Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	μs	
t_{PHL}	Turn-off Delay Time	$0.5 V_i$ to $0.5 V_o$		0.25	1	μs	
I_R	Clamp Diode Leakage Current	$V_R = 50\text{V}$			50	μA	6
		$T_{amb} = 70^{\circ}\text{C}, V_R = 50\text{V}$			100	μA	6
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	$I_F = 350\text{mA}$		1.7	2	V	7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TEST CIRCUITS

Figure 1a.

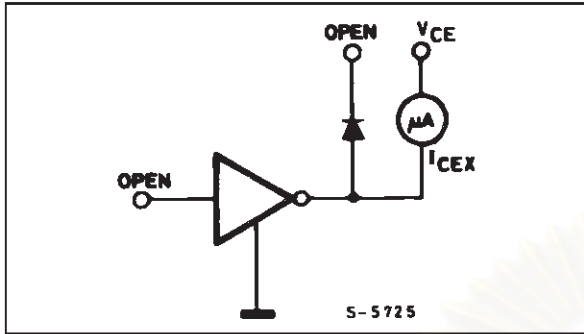


Figure 1b.

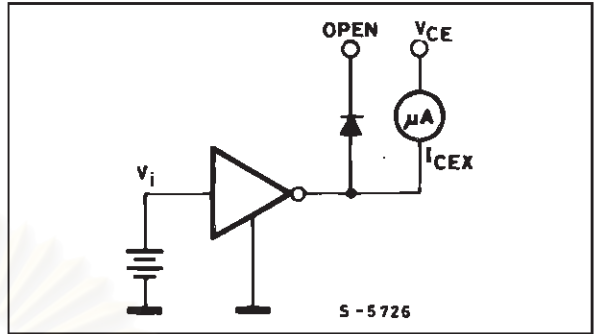


Figure 2.

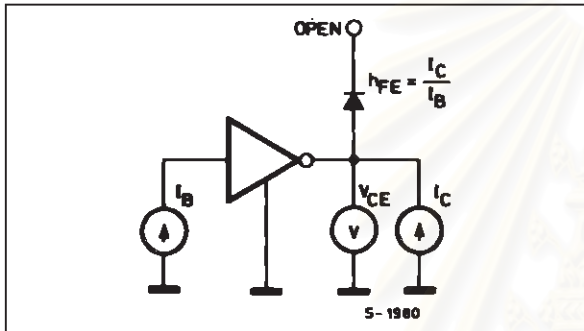


Figure 3.

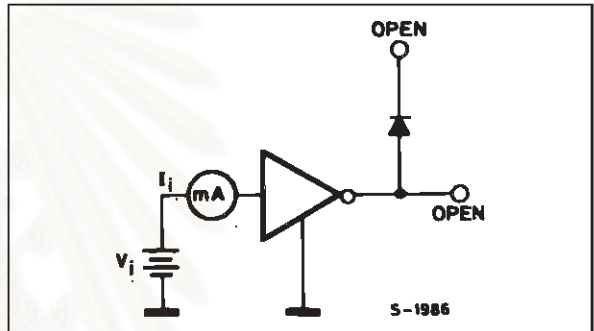


Figure 4.

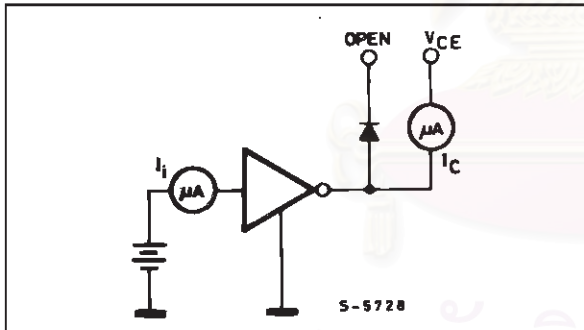


Figure 5.

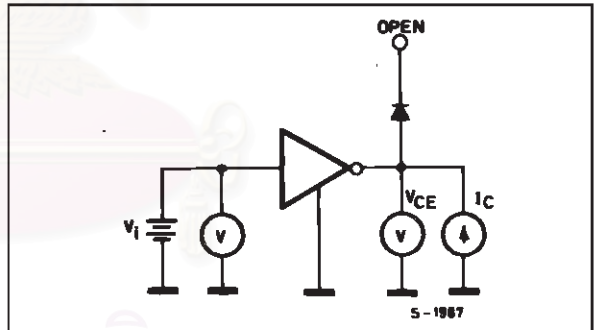


Figure 6.

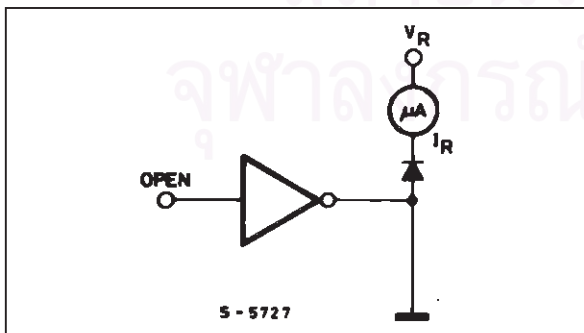


Figure 7.

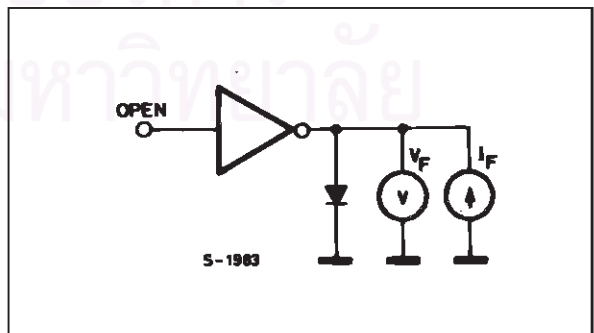


Figure 8: Collector Current versus Input Current

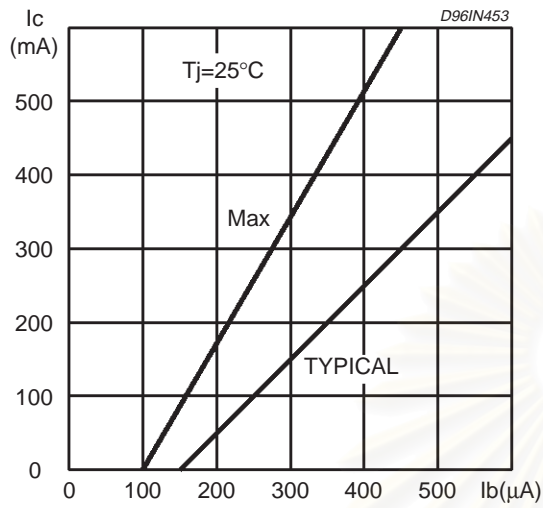


Figure 9: Collector Current versus Saturation Voltage

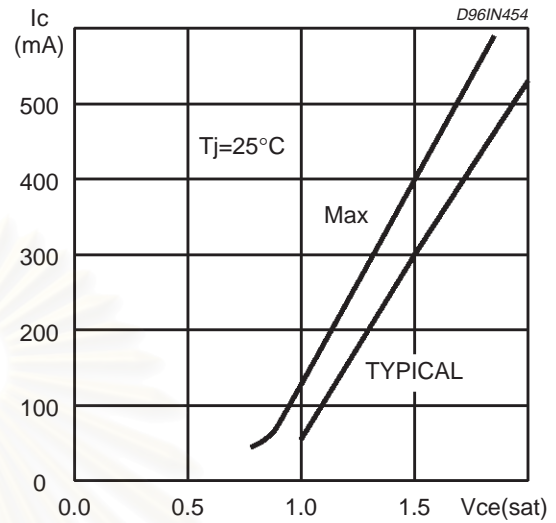


Figure 10: Peak Collector Current versus Duty Cycle

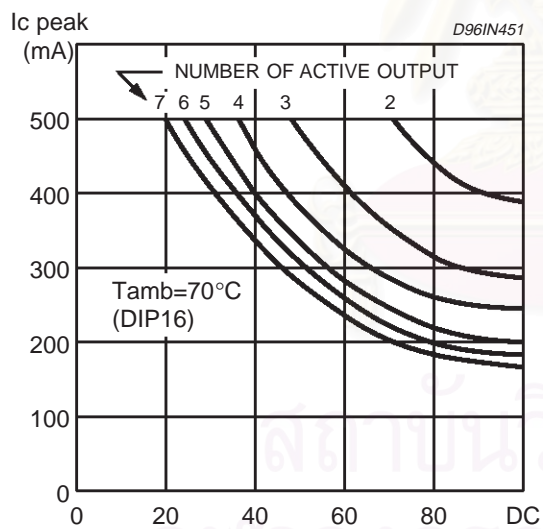
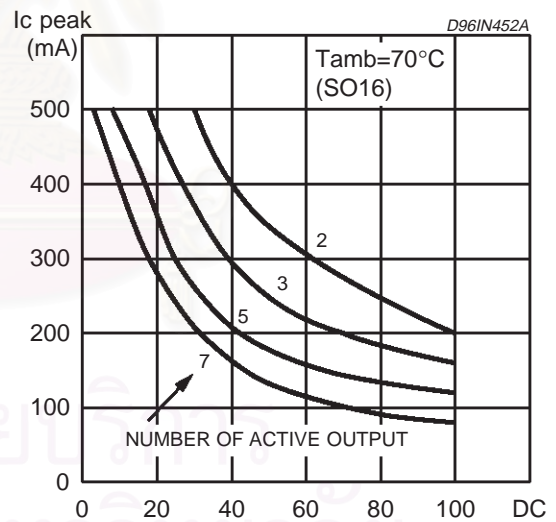


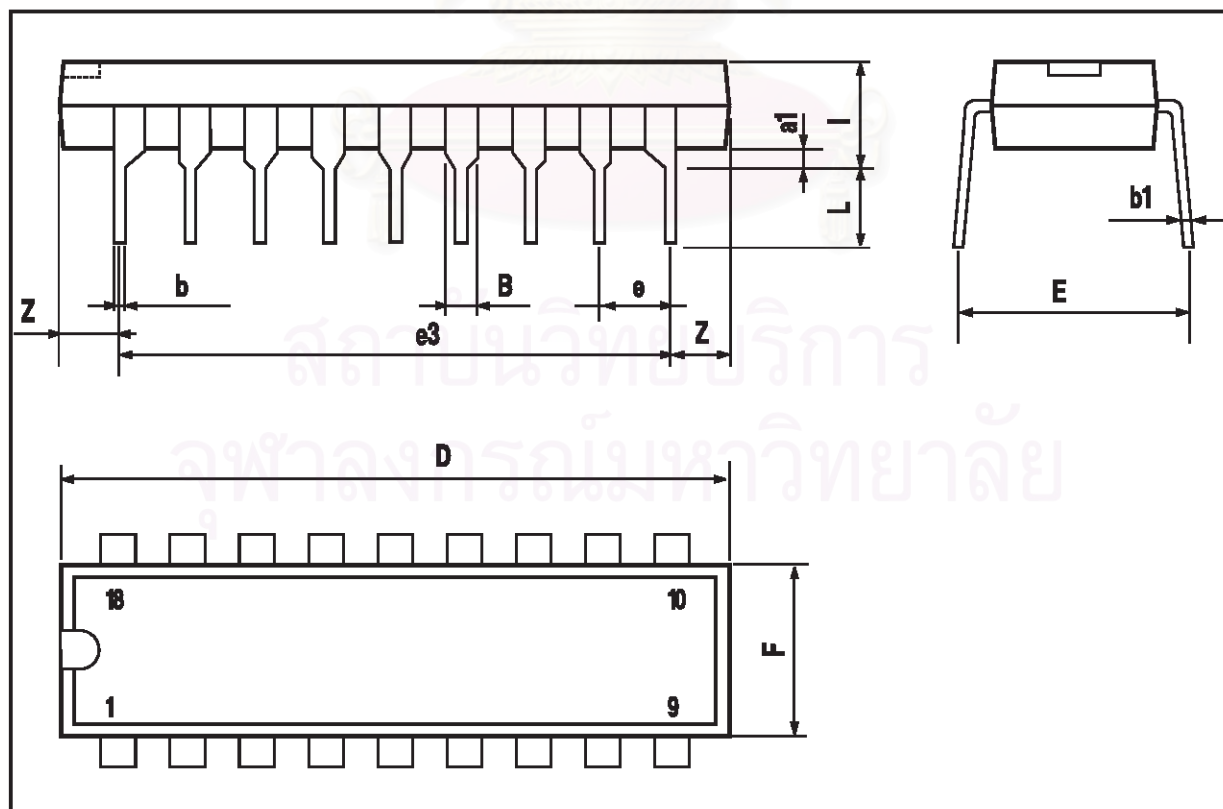
Figure 11: Peak Collector Current versus Duty Cycle



ULN2001A - ULN2002A - ULN2003A - ULN2004A

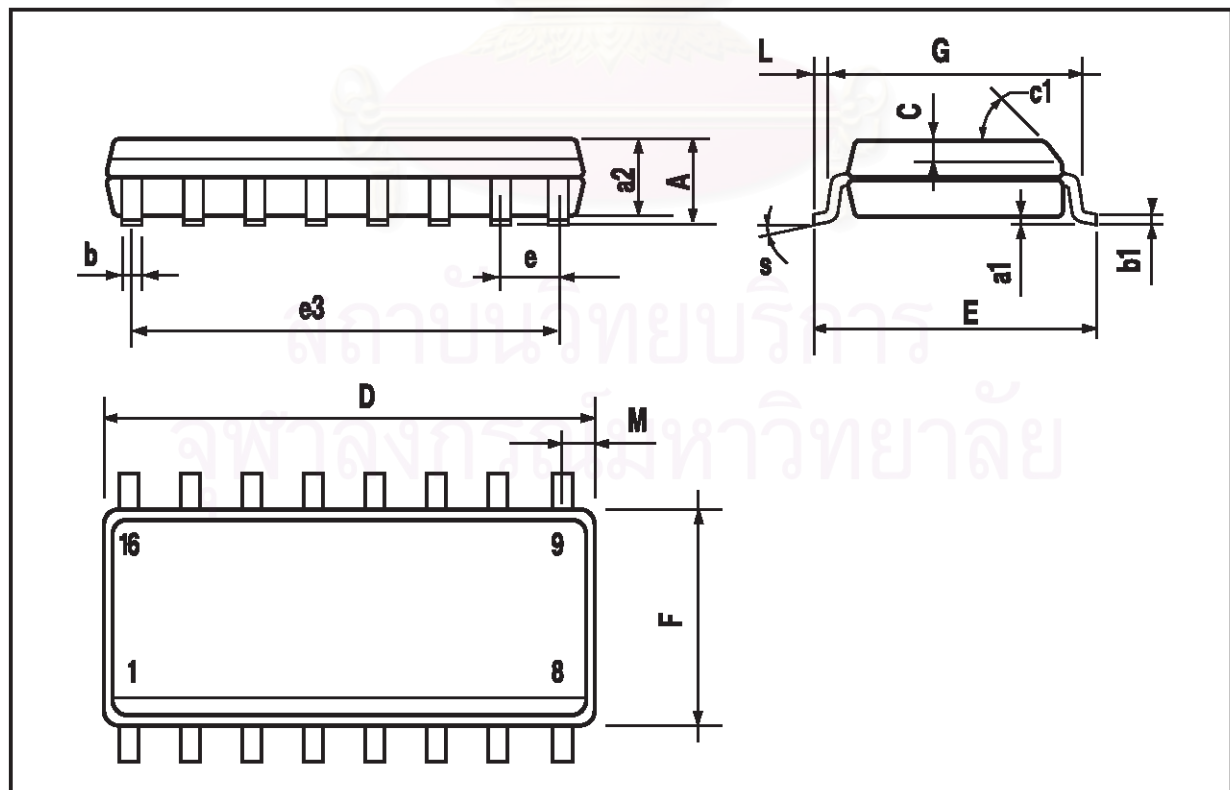
DIP16 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
l			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050



SO16 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.009
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1	45 (typ.)					
D	9.8		10	0.386		0.394
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.62			0.024
S	8 (max.)					





สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics
© 1998 STMicroelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Mexico - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเขมะจิตติ เขมะโยธิน เกิดเมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2522 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2544 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่ ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย