

การพัฒนาเรดอนและโทรอนแชนเบอร์สำหรับการเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัด แก๊สเรดอนและโทรอนแบบติดตั้งอยู่กับที่

ชุตินา กรานรอด¹ สุพิชชา จันทโรยา¹ นเรศร์ จันทน์ขาว¹ นภาพาน สุวรรณคต¹

*พงษ์ยุทธ ศรีพลอย¹ อทฤษฎี โชริมามิ² และชินจิ โตโกนามิ³

¹ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์ 0 2218 6784 โทรสาร 0 2218 6780 E-mail: ckranrod@gmail.com

²Research Center for Radiation Protection, National Institute of Radiological Sciences, Chiba, 263-8555, Japan

โทรศัพท์ +81 4320 63104 โทรสาร +81 4320 64098

³Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University, Aomori, 036-8564, Japan

โทรศัพท์ +81 1723 95404 E-mail: tokonami@cc.hirosaki-u.ac.jp

บทคัดย่อ

ถังเรดอนแชนเบอร์และโทรอนแชนเบอร์ที่ได้ทำการออกแบบ และทำขึ้นใหม่นี้ ตัวถังมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ทำด้วยแผ่นโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม สำหรับถังเรดอนแชนเบอร์จะมีปริมาตร 100 ลิตร ส่วนถังโทรอนแชนเบอร์มีปริมาตร 50 ลิตร จุดประสงค์ของการออกแบบ เพื่อให้ได้สภาพที่ใกล้เคียงกับสภาพของสิ่งแวดล้อมจริง ในการเปรียบเทียบค่าของอุปกรณ์ตรวจวัด โดยตัวถังสามารถปรับอุณหภูมิ ควบคุมความชื้น และ จัดระดับตำแหน่ง ความสูงของอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊สเรดอนและแก๊สโทรอนที่ติดตั้งอยู่ในถังได้ ภายในถังประกอบด้วยพัดลมสองตัว ปรับความเร็วได้ ติดตั้งเอาไว้สองฝั่งตรงข้ามกัน ที่ระดับความสูง 1/3 จากก้นถัง เพื่อรักษาระดับความสม่ำเสมอของแก๊สเรดอนและแก๊สโทรอนภายในถัง ถึงปรับเปลี่ยนนี้สามารถใช้ในการศึกษาและวิจัยพฤติกรรมของแก๊สเรดอนและโทรอนได้ นอกเหนือจากการใช้เปรียบเทียบเครื่องมือตรวจวัดแก๊สเรดอน และ โทรน และ วัสดุที่เกิดจากการสลายกัมมันตรังสี แบบติดตั้งอยู่กับที่ โดยใช้ผงเรเดียม-226 (ต้นกำเนิดสารรังสีแบบมาตรฐานของบริษัท Pylon) และอุปกรณ์ใส่ตะเกียง เป็นวัสดุต้นกำเนิดของแก๊สเรดอนและแก๊สโทรอนตามลำดับ

คำสำคัญ : เรดอนแชนเบอร์ โทรนแชนเบอร์ การเปรียบเทียบ

Development of Simplified Reference Radon/Thoron Chambers for

Calibration of Passive Detectors

Chutima Kranrod¹, Supitcha Chanyotha¹, Nares Chankow¹, Napakan Suwankot¹,

*Phongyut Sriploy¹ and Atsuyuki Sorimachi², Shinji Tokonami³

¹Department of Nuclear Technology, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

Phone: 0 2218 6784, Fax: 0 2218 6780, E-mail: ckranrod@gmail.com

²Research Center for Radiation Protection, National Institute of Radiological Sciences, Chiba, 263-8555, Japan

Phone: +81 4320 63104, Fax: +81 4320 64098

³Institute of Radiation Emergency Medicine, Hirosaki University, Aomori, 036-8564, Japan

Abstract

Radon and thoron chambers have been designed, constructed, and tested. The chambers are cylindrical shape made of stainless steel with approx. volume of 100 L for radon and 50 L for thoron. The aim was for calibrate passive detector in simulated environmental conditions. The designed chamber was adjusted on temperature, control humidity and could equip the passive radon and thoron detectors at various level positions. There were two fans with variable speeds fitted in two opposite angles at height around 1/3 from the bottom to maintain the uniformity of radon/thoron gas inside the chamber. These calibration chambers can be used to perform researches and studies on radon/thoron behaviors, besides calibrating different types of passive detectors which are used for measuring radon, thoron and its daughters. The source materials for radon and thoron chambers were dry powder of radium-226 (standard source of Pylon Company) and the lantern mantles, respectively.

Keywords: radon chamber, thoron chamber, calibration

1. บทนำ

การพัฒนาแบบปรับเทียบแก๊สเรดอน และโทรอน เพื่อนำไปใช้ในการวิจัยการวัดแก๊สเรดอนในดินและในอากาศ เรดอนและโทรอนเป็นแก๊สกัมมันตรังสีที่มีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่จากเปลือกโลก¹ โดยเฉพาะชั้นหิน หรือดินที่ประกอบด้วยแร่ยูเรเนียม ทอเรียม หรือเรเดียม

เรดอนและโทรอนเป็นธาตุกัมมันตรังสีในธรรมชาติที่สลายต่อจากเรเดียม (Ra-226 และ Ra-228) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอนุกรมยูเรเนียม และทอเรียม² ตามลำดับ และโดยทั่วไปอุตสาหกรรมแร่หินและแร่หนักจะใช้วัตถุดิบจากเปลือกโลกในกระบวนการผลิตปริมาณสูง จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะพบธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในกระบวนการผลิต จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แร่หินของบางบริษัทมีองค์ประกอบของธาตุทอเรียมในปริมาณที่สูง³ ดังนั้น จึงตรวจพบแก๊สโทรอนสูงอย่างมีนัยสำคัญในกระบวนการผลิต ซึ่งต่างจากบางบริษัทที่พบเรดอนสูงกว่าโทรอน ดังนั้น ในการปรับเทียบห้ววัดจึงควรทำการปรับเทียบห้ววัดเรดอนและโทรอนในระบบปรับเทียบมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นคณะวิจัยจึงมีความสนใจอย่างยิ่งที่จะจัดสร้าง และพัฒนาระบบปรับเทียบแบบ exposure chamber มาตรฐานที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูง ทดเทียบกับระบบปรับเทียบแก๊สเรดอน และโทรอนมาตรฐานในต่างประเทศ จึงเป็นที่มาของโครงการนี้

สำหรับการตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอน, โทรน และธาตุกัมมันตภาพรังสีลูกหลานนั้น มีอยู่ด้วยกันหลายเทคนิค แต่ที่นิยมและเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางทั่วโลก คือ เทคนิคการตรวจวัดแบบ passive method โดยใช้ solid state nuclear track detector (SSNTD) เป็นตัวบันทึกรอยของ

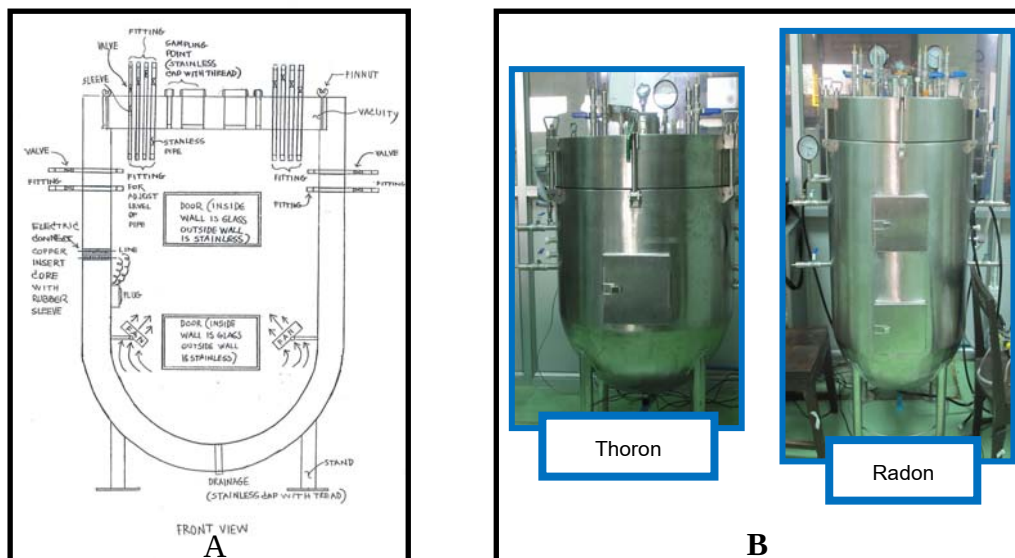
อนุภาคแอลฟา จากแก๊สเรดอน โทรอนและธาตุกุกหลาน จากนั้นก็จะเปลี่ยนเป็นปริมาณความเข้มข้น โดยใช้ค่าคงตัว ที่ได้จากการปรับเทียบ (calibration factor) ซึ่งความน่าเชื่อถือในการตรวจวัดด้วยเทคนิคนี้ขึ้นอยู่กับความแม่นยำ และความถูกต้องเที่ยงตรงของระบบที่ใช้ในการปรับเทียบ ดังนั้นถ้าในพื้นที่ศึกษาตรวจพบทั้งแก๊สเรดอนและโทรอน SSNTD ควรจะถูกปรับเทียบในระบบปิดที่ทราบปริมาณความเข้มข้นของเรดอนและโทรอน นอกจากนี้ เพื่อให้การตรวจวัดแก๊สเรดอนและโทรอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องแม่นยำ exposure chamber ควรออกแบบเพื่อให้สามารถศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมีผลกับประสิทธิภาพในการตรวจวัดแก๊สเรดอน โทรอน และธาตุกุกหลาน โดยตรง เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และการกระจายตัวของอนุภาคกุกหลาน

2. การออกแบบ และจัดสร้างระบบปรับเทียบแก๊สเรดอนและโทรอน

ระบบปรับเทียบแก๊สเรดอนและโทรอน ที่ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา เป็นระบบปรับเทียบแบบ exposure chamber โดยได้ทำการออกแบบ จัดสร้าง และปรับแก้ระบบต่าง ๆ ภายใน 챔เบอร์ ให้มีความสะดวกในการใช้งาน โดยได้ทำการจัดสร้างและติดตั้ง 챔เบอร์ขึ้นจำนวน 2 챔เบอร์ ที่มีลักษณะเหมือนกัน จะต่างกันเพียงขนาดของ 챔เบอร์ คือ 챔เบอร์ขนาด 70 ลิตร สำหรับการปรับเทียบแก๊สโทรอน และ 챔เบอร์ขนาด 150 ลิตร ใช้ในการปรับเทียบแก๊สเรดอน ภายใน 챔เบอร์ทั้งสองนี้จะมีระบบควบคุมอุณหภูมิ และระบบหมุนเวียนอากาศ โดยระบบควบคุมอุณหภูมิจะมีฮีตเตอร์ (heater) และคูลเลอร์ (cooler) ทำหน้าที่ควบคุมและปรับอุณหภูมิภายใน 챔เบอร์ให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ ส่วนระบบหมุนเวียนอากาศ จะติดตั้งพัดลมภายใน 챔เบอร์จำนวน 2 ตัว โดยพัดลมนี้จะเป็นตัวช่วยในการผสมแก๊สเรดอนและแก๊สโทรอนภายใน 챔เบอร์ให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

สำหรับการศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตรวจวัดแก๊สเรดอนและโทรอน เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ความดัน และปริมาณของ unattached progeny นั้น คณะผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีระบบควบคุมอุณหภูมิอยู่ภายใน 챔เบอร์ สำหรับระบบควบคุมความชื้นนั้นจะติดตั้งอยู่ด้านนอก 챔เบอร์ และเชื่อมต่อเข้าวาล์วที่ติดตั้งไว้กับตัว 챔เบอร์ โดยรอบ ๆ 챔เบอร์ได้ติดตั้งวาล์วไว้หลายจุด เพราะจะต้องทำการเชื่อมต่อระบบอื่น ๆ เข้ากับ 챔เบอร์ด้วย เช่น ระบบของแหล่งกำเนิดเรดอน และแหล่งกำเนิดโทรอน และระบบตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สเรดอน และแก๊สโทรอน

รูปโครงสร้างของ 챔เบอร์ที่ออกแบบมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1A และสำหรับลักษณะของ 챔เบอร์ที่จัดสร้าง และติดตั้งแล้วเสร็จนั้น ดังแสดงดังรูปที่ 1B



รูปที่ 1 แคมเบอร์ของระบบปรับเทียบแบบ exposure chamber

3. การทดสอบระบบปรับเทียบแก๊สเรดอนและโทรอน

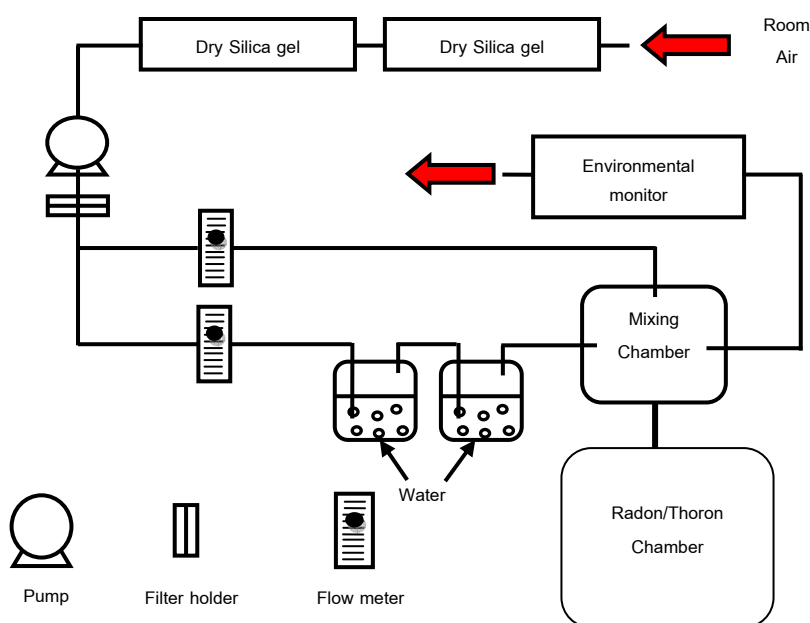
เมื่อได้ทำการจัดสร้างตัวถังเรดอน/โทรอน (แคมเบอร์) และติดตั้งระบบปรับเทียบเรียบร้อยแล้ว ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบการทำงานต่าง ๆ ของตัวแคมเบอร์ เพื่อตรวจสอบว่าระบบที่จัดสร้างขึ้นสามารถใช้งานได้จริง นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบหาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการปรับเทียบ โดยมีรายละเอียดของการทดสอบคือ

3.1 การทดสอบการรั่วของแคมเบอร์

สำหรับการทดสอบการรั่วของแคมเบอร์ในระบบปิด โดยใช้แก๊สเรดอนนั้น จะทำการปล่อยแก๊สเรดอนเข้าสู่แคมเบอร์เป็นเวลา 5 นาที โดยเริ่มทำการตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนภายในถึงแคมเบอร์ไปพร้อม ๆ กับการปล่อยแก๊สเรดอน ด้วยเครื่อง RAD 7 และเมื่อครบกำหนดเวลาการปล่อยแก๊สเรดอนเข้าสู่แคมเบอร์แล้วก็จะปิดวาล์วเพื่อนำแก๊สเรดอนแล้วเอาแหล่งกำเนิดเรดอนออก สำหรับการตรวจวัดแก๊สเรดอนนั้น เครื่องจะทำการตรวจวัดและรายงานผลทุก ๆ หนึ่งชั่วโมง โดยจะทำการตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สเรดอนภายในถึงติดต่อกันเป็นเวลาประมาณ 5 วัน จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนกราฟความเข้มข้นเรดอนที่ตรวจวัดได้เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแก๊สเรดอนที่ได้จากการสลายของเรดอนตามทฤษฎี ซึ่งโดยปกติแล้วความเข้มข้นของแก๊สเรดอนภายในแคมเบอร์ที่วัดได้จะลดลง ตามกฎการสลายของแก๊สเรดอน ดังนั้นหากกราฟความเข้มข้นของแก๊สเรดอนที่ตรวจวัดได้มีค่าลดลงมากกว่าค่าที่คำนวณได้จากการสลายตามทฤษฎีในช่วงเวลาทำการทดลองแล้ว แสดงว่าตัวแคมเบอร์มีการรั่วของอากาศภายในแคมเบอร์เกิดขึ้น และในทางตรงกันข้ามหากแคมเบอร์ไม่มีการรั่วของอากาศแล้ว กราฟความเข้มข้นของเรดอนที่ตรวจวัดได้จะเป็นไปตามทฤษฎี

3.2 การทดสอบระบบควบคุมความชื้น

เนื่องจากความชื้นมีผลต่อความเข้มข้นของแก๊สภายในแอมเบอรฺเป็นอย่างมาก หากความชื้นภายในแอมเบอรฺไม่คงที่ จะทำให้ความเข้มข้นของแก๊สเรดอนและโทรอนภายในแอมเบอรฺไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้ความชื้นภายในแอมเบอรฺคงที่ ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ทำการต่อระบบควบคุมความชื้นเข้ากับแอมเบอรฺ (ดังแสดงในรูปที่ 2) เพื่อควบคุมความชื้นภายในแอมเบอรฺ และได้ทำการตรวจวัดความชื้นภายในแอมเบอรฺอย่างต่อเนื่องทุก ๆ 1 ชั่วโมง โดยทำการวัดติดต่อกันเป็นเวลา 3-5 วัน จากนั้นจึงนำค่าความชื้นภายในแอมเบอรฺที่ตรวจวัดได้มาหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ความชื้นภายในแอมเบอรฺคงที่ ซึ่งเวลาที่ได้นี้คือระยะเวลาที่เหมาะสมก่อนทำการทดสอบเรื่องอื่น ๆ และก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบ



รูปที่ 2 แผนผังการจัดระบบควบคุมความชื้น

3.3 การทดสอบหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการปล่อยแก๊สเรดอน/โทรอน

การทดสอบเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการปล่อยแก๊สเรดอน/โทรอน เข้าสู่แอมเบอรฺนี้ คณะผู้วิจัยได้เลือกทดสอบการปล่อยแก๊สเรดอน/โทรอน เข้าสู่แอมเบอรฺไว้ 3 ตำแหน่ง คือ 1) ปล่อยจากก้นถึง 2) ปล่อยจากกลางถึง และ 3) ปล่อยจากปากถึง โดยในการทดสอบแต่ละครั้งได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สเรดอน/โทรอน อุณหภูมิ และความชื้นภายในแอมเบอรฺ ไปพร้อม ๆ กัน ด้วย โดยทำการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ซึ่งก่อนทำการทดสอบสำหรับตำแหน่งการปล่อยแก๊สตำแหน่งใหม่จะต้องหยุดระบบควบคุมความชื้น และหยุดปล่อยแก๊สเข้าสู่แอมเบอรฺ พร้อมทั้งดูดเอาแก๊สที่มีอยู่เดิมออกจากแอมเบอรฺก่อนทุกครั้ง

3.4 การทดสอบการกระจายตัวของแก๊สเรดอน/โทรอนภายในแฮมเบอร์

ภายในแฮมเบอร์มีการติดตั้งพัดลมจำนวน 2 ตัว เพื่อช่วยให้แก๊สเรดอน/โทรอนที่เข้าสู่ภายในแฮมเบอร์ได้มีการผสมและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบเพื่อหาทิศทางและความเร็วของพัดลมที่ทำให้แก๊สมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในทุกตำแหน่ง โดยทำการปรับระดับและทิศทางของพัดลมในลักษณะต่าง ๆ และทำการตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สเรดอน/โทรอน ความเร็วลม ความชื้น และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในแฮมเบอร์ นำผลที่ได้จากการทดสอบมาพิจารณาเลือกทิศทางและความเร็วของพัดลม ที่ทำให้ได้ความเข้มข้นของแก๊สเรดอน/โทรอน ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้น ที่ใกล้เคียงกันในทุกตำแหน่งภายในแฮมเบอร์ เพื่อนำไปจัดระบบให้เหมาะสมสำหรับใช้ในการทำการเปรียบเทียบ

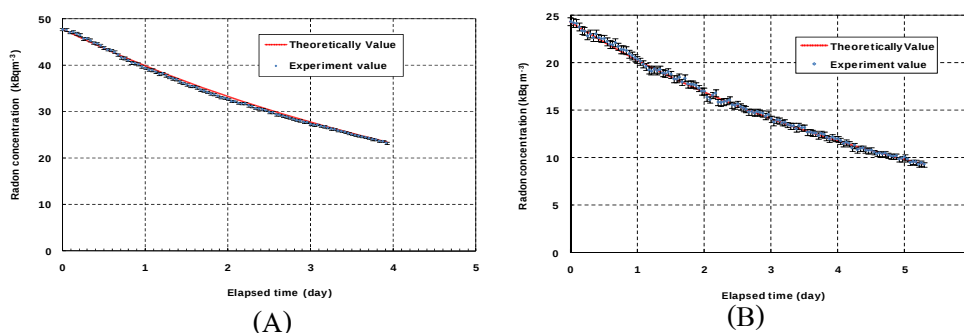
3.5 การทดสอบทำการเปรียบเทียบก่อนทำการเปรียบเทียบจริง

การทดสอบนี้ได้จัดระบบให้เหมาะสมที่สุดสำหรับการเปรียบเทียบ โดยเลือกจัดระบบจากผลที่ได้จากการทดสอบระบบในข้อ 3.1-3.4 โดยเริ่มจากการปรับความชื้นภายในแฮมเบอร์ให้คงที่ หลังจากนั้นก่อนเริ่มทำการทดสอบการเปรียบเทียบจะต้องทำการปิดระบบควบคุมความชื้น และหยุดปล่อยแก๊สเรดอน/โทรอน เพื่อนำหัววัดแบบ SSNTD วางในแฮมเบอร์ แต่ในการทดสอบนี้จะยังไม่ได้ นำหัววัดมาใช้ในการเปรียบเทียบ เป็นเพียงการจำลองระบบเสมือนได้มีการทำการเปรียบเทียบจริง ๆ เท่านั้น จากนั้นปิดแฮมเบอร์ให้สนิท แล้วเปิดระบบควบคุมความชื้นเป็นเวลา 30 นาที ก่อนปล่อยแก๊สเรดอน/โทรอนเข้าสู่แฮมเบอร์ ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของแก๊สเรดอน/โทรอนทุก ๆ 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ

4. ผลการทดลอง

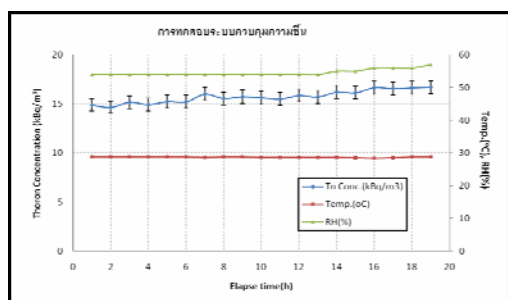
4.1 ผลการทดสอบเรดอน/โทรอนแฮมเบอร์

4.1.1 ผลการทดสอบการรั่วของเรดอน/โทรอนแฮมเบอร์ด้วยแก๊สเรดอน ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าความเข้มข้นของแก๊สเรดอนภายในแฮมเบอร์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากคำนวณทางทฤษฎี จึงสรุปได้ว่าแฮมเบอร์ที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้ไม่มีการรั่วของแก๊สเรดอน

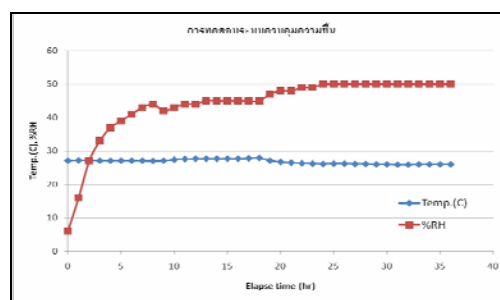


รูปที่ 3 ผลการทดสอบการรั่วของแฮมเบอร์ (A) โทรอนแฮมเบอร์ (B) เรดอนแฮมเบอร์

4.1.2 ผลการทดสอบระบบควบคุมความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าในส่วนของโทรอนแฮมเบอร์จะใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง ความชื้นภายในแฮมเบอร์จึงเริ่มคงที่ สำหรับในกรณีของเรดอนแฮมเบอร์จะใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ความชื้นภายในจึงเริ่มคงที่ ดังนั้นก่อนทำการทดลองต้องปรับความชื้นภายในแฮมเบอร์ให้คงที่ก่อน



(A) โทรอนแฮมเบอร์



(B) เรดอนแฮมเบอร์

รูปที่ 4 ผลการทดสอบความชื้น และอุณหภูมิ ภายในแฮมเบอร์

4.1.3 ผลการทดสอบหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการปล่อยแก๊สเรดอน/โทรอน ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นของเรดอน/โทรอน อุณหภูมิ และความชื้นที่ตรวจวัดได้มีค่าไม่แตกต่างกัน ในแต่ละตำแหน่งของการปล่อยแก๊สเข้าสู่แฮมเบอร์

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของแก๊สโทรอน (Tn) เรดอน (Rn) อุณหภูมิ (Temp) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH)

Position	Tn Conc. $\pm$ error (kBq/m ³)	Rn Conc. $\pm$ error (kBq/m ³)	Temp. (°C)		RH (%)	
			Tn	Rn	Tn	Rn
Bottom	12.88 $\pm$ 0.86	73.60 $\pm$ 2.47	26.3	28.8	53	5.3
Center	12.24 $\pm$ 0.83	303.34 $\pm$ 5.11	26.4	27.3	49	6.3
Top	13.64 $\pm$ 0.88	313.30 $\pm$ 3.97	26.3	28.1	53	6.7

4.1.4 การทดสอบการกระจายตัวของแก๊สเรดอน/โทรอนภายในแฮมเบอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 พบว่า การกระจายตัวของแก๊สเรดอน/โทรอน อุณหภูมิ และความชื้น ภายในแฮมเบอร์ ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละตำแหน่ง โดยการปรับทิศทางของพัดลมที่เหมาะสม สำหรับความสม่ำเสมอของแก๊สโทรอนภายในโทรอนแฮมเบอร์ คือ ปรับพัดลมให้ก้มลงเป็นมุม 45 องศา กับแนวระนาบ 1 ตัว และก็ปรับให้เงยขึ้นเป็นมุม 45 องศา กับแนวระนาบอีก 1 ตัว สำหรับความสม่ำเสมอของแก๊สเรดอนภายในเรดอนแฮมเบอร์ พบว่า การปรับทิศทางของพัดลมที่เหมาะสม คือ เปิดพัดลมตัวเดียวและปรับพัดลมให้เงยขึ้นเป็นมุม 90 องศา กับแนวระนาบ เนื่องจากการปรับพัดลมให้มีทิศทางดังกล่าวจะช่วยทำให้อากาศภายในแฮมเบอร์ผสมกันได้ดีที่สุด

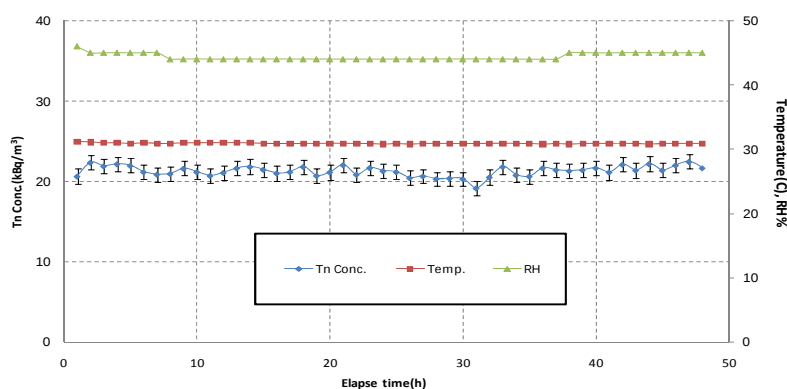
ตารางที่ 2 ความสม่ำเสมอของแก๊สโทรอนภายในโทรอนแฮมเบอร์

Vertical Distance (cm)	wind speed (m/s)	Tn Conc.± S.D. (kBq/m ³)	Temp. (°C)	RH. (%)
0	0.59	18.04±1.21	28	57.3
10	0.28	18.37±1.35	29.1	53.7
20	0.42	17.28±0.31	29.7	51.7
30	0.34	18.42±0.59	30.3	49.7
40	0.39	18.22±0.49	30.4	49.3
50	0.29	16.93±0.98	30.4	49.0

ตารางที่ 3 ความสม่ำเสมอของแก๊สเรดอนภายในเรดอนแฮมเบอร์

Vertical Distance (cm)	wind speed (m/s)	Rn Conc.± S.D. (kBq/m ³)	Temp. (°C)	RH. (%)
0	0.32	364.72±7.24	28.1	6.3
20	0.41	365.25±5.96	28.3	6
40	0.64	367.46±5.99	28.4	7
60	0.73	368.34±6.00	28.6	6
80	0.38	368.33±6.00	28.9	6

4.1.5 ผลการทดสอบทำการปรับเทียบก่อนทำการปรับเทียบจริง ที่ระดับความเข้มข้นรวมประมาณ 1000 kBq m⁻³ h สำหรับการปรับเทียบแก๊สโทรอน ผลการทดสอบดังแสดงในรูป 5 พบว่าความเข้มข้นของแก๊สโทรอน อุณหภูมิ และความชื้นภายในแฮมเบอร์ ก่อนข้างกึ่งที่ตลอดระยะเวลาทำการปรับเทียบ ซึ่งเหมาะสมที่จะทำการปรับเทียบจริงด้วยหัววัดแบบ SSNTD ต่อไปได้



รูปที่ 5 ผลทดสอบ
การปรับเทียบที่
ความเข้มข้น
รวมของแก๊สโท
รอนประมาณ
1000 kBq/m³

หมายเหตุ สำหรับการทดสอบการปรับเทียบก่อนการปรับเทียบจริงของเรดอนแชนเบอร์นั้น
ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการดำเนินการในห้องปฏิบัติการ

5. สรุป

การพัฒนาเรดอนและโทรอนแชนเบอร์สำหรับการปรับเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดแก๊สเรดอนและ
โทรอนแบบติดตั้งอยู่กับที่ ขณะนี้ได้ดำเนินการวิจัยมาถึงขั้นตอนการออกแบบ จัดสร้างระบบ ทดสอบ
ระบบต่าง ๆ และได้ทำการทดสอบระบบปรับเทียบแก๊สเรดอน/โทรอนแชนเบอร์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว
และผลการทดสอบที่ได้ เป็นที่น่าพอใจ สามารถใช้เป็นแชนเบอร์มาตรฐาน สำหรับการปรับเทียบแก๊ส
เรดอน/โทรอนได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีขอขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อสถาบัน National Institute for
Radiological Science (NIRS) ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่
สำคัญต่องานวิจัยนี้ นอกจากนี้ทางสถาบัน National Institute for Radiological Science (NIRS) ยังได้
ส่งนักวิจัยมาให้ความช่วยเหลือในการทดสอบระบบปรับเทียบแก๊สเรดอนและโทรอน ภายใต
โครงการ “Construction of Natural Radiation Exposure Study Network” อีกด้วย

7. เอกสารอ้างอิง (References)

1. Bruzzi, L., Maruizio, B., Mazzotti, G., Mele, R., Righi, S., 2000. Radioactivity in raw materials and end products in the Italian ceramics industry. Journal of Environmental Radioactivity 47, 171-181.
2. Browne, E., Firestone, R.B., Shirley, V.S., 1986. Table of Radioactive Isotopes. John Wiley & Sons, New York, p.222.
3. หน่วยปฏิบัติการวิจัยนิวเคลียร์เทคโนโลยีประยุกต์, 2550. รายงานฉบับสมบูรณ์ การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์พลอยได้ และกากจากอุตสาหกรรมแร่เชื้อเพลิง แร่หินอุตสาหกรรม แร่หนัก และกากจากการบำบัดน้ำประปา, งานวิจัยภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์, 352 หน้า