บทที่ 8 สรุปผลการวิจัย

8.1 **สรุปผลการวิจัย** 8-1
8.2 **ปัญหาและอุปสรรค** 8-4
8.3 **ข้อเสนอแนะ** 8-4

บทที่ 8
สรุปผลการวิจัย

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบวัดการกระจายขนาดของละอองฝุ่นกัมมันตรังสีขนาดนาโนเมตรของธาตุลูกหลานเรดอนและโทรอนในอุตสาหกรรมแร่ เพื่อประเมินอัตราการได้รับรังสี และได้นำระบบที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการเข้าสำรวจพื้นที่ภาคสนาม ที่บริษัท ไทยแลนด์สแมลติ้ง แอนด์รีไฟนิ่ง จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทเอกชนที่ให้การสนับสนุนงบประมาณส่วนหนึ่งในการวิจัย นอกจากนี้ยังได้รับการช่วยเหลือจาก National Institute of Radiological Science (NIRS) จากประเทศญี่ปุ่น ที่ให้การสนับสนุนผู้เชี่ยวชาญและเครื่องมือราคาสูงมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ด้วย โดยมีผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

8.1 สรุปผลการวิจัย

จากการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของเรดอนและโทรอน ณ พื้นที่ ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ นั้นได้ทำการตรวจวัด ด้วยเทคนิคต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยการตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนและโทรอนโดยตรงด้วยเครื่องวัดที่มีชื่อว่า RAD 7 นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดโดยทางอ้อมจากของธาตุลูกหลานด้วยเทคนิคต่างๆ อีก 4 เทคนิค คือ 1)เทคนิคการหาความเข้มข้นของโทรอนในหน่วยของ Equilibrium Equivalent Thoron Concentration, EETC 2) เทคนิคหาความเข้มข้นของ attached และ Unattached fraction ของธาตุลูกหลานเรดอนและโทรอน และ 3) เทคนิคการตรวจวัดการกระจายตัวของธาตุลูกหลานเรดอนและโทรอนที่เกาะติดอยู่กับฝุ่นในอากาศ โดยในการเข้าสำรวจครั้งแรกได้ทำการตรวจวัด 4 บริเวณ คือ ห้องทำงาน โรงเก็บแร่เดิม โรงชักตัวอย่าง และโรงเก็บแร่แทนทาลัม นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนและโทรอน ณ พื้นที่ ในช่วงระยะเวลายาว โดยการใช้เทคนิค SSNTD โดยการนำหัววัดชนิดฟิล์ม CR-39 แขวนในบริเวณต่าง ๆ ภายในโรงงาน 5 บริเวณ คือ ห้องทำงาน, โรงเก็บแร่ slag area (ระหว่าง bay 5-bay 6), โรงชักตัวอย่าง และโรงเก็บแร่แทนทาลัม นอกจากนี้ยังได้ติดตั้งไว้ที่บ้านพักเจ้าหน้าที่เพื่อเป็นตำแหน่งอ้างอิงด้วย ผลจากการตรวจวัดครั้งที่ 1 พบว่า ทุกบริเวณที่ทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคต่าง ๆ มีความเข้มข้นของเรดอน โทรอน และธาตุลูกหลานของเรดอนและโทรอนต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดมาก สำหรับเกณฑ์กำหนดค่าความเข้มข้นของเรดอนสำหรับที่อยู่อาศัย คือ ไม่ควรเกิน 148 Bq/m^3 โดยบริเวณที่มีความเข้มข้นของเรดอนสูงที่สุด คือ ห้องทำงาน โดยความเข้มข้นเรดอนสูงที่สุดที่ได้ทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง RAD 7 มีค่าเท่ากับ 34.6 $\pm$ 11.3 Bq/m^3 แต่ตำแหน่งที่มีความเข้มข้นของโทรอนสูงสุด คือ โรงชักตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 58.4 $\pm$ 47.4 Bq/m^3 ส่วนค่าความเข้มข้นของโทรอนนั้นปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์กำหนด แต่เมื่อตรวจวัดปริมาณของลูกหลานโทรอน พบว่า ตำแหน่งที่มีปริมาณลูกหลานโทรอนสูงที่สุด คือ ห้องทำงาน มีค่าเท่ากับ 0.43 ± 0.02 Bq/m^3 แต่ในการตรวจวัดครั้งนี้ไม่สามารถหาความเข้มข้นของ attached และ Unattached fraction ของธาตุลูกหลานเรดอนและโทรอน และ

ตรวจวัดการกระจายตัวของธาตุลูกหลานเรดอนและโทรอนที่เกาะติดอยู่กับฝุ่นในอากาศได้ เนื่องจากใช้วิธีการเก็บตัวอย่างไม่เหมาะสม จึงทำให้ไม่สามารถทำการประเมินปริมาณรังสีจากการตรวจวัดครั้งนี้ได้

การเข้าสำรวจครั้งที่ 2 โดยใช้เทคนิคเดียวกับเทคนิคการตรวจวัดที่ใช้ในการเข้าสำรวจครั้งแรก แต่ทำการตรวจวัดแค่ 3 บริเวณ คือ ห้องทำงาน โรงชักตัวอย่างแร่ และโรงเก็บแร่แทนทาลัม พบว่า การตรวจวัดโดยตรงด้วยเครื่องวัดที่มีชื่อว่า RAD 7 ได้ค่าความเข้มข้นของเรดอนและโทรอนสอดคล้องและใกล้เคียงกับการเข้าสำรวจในครั้งแรก โดยที่จุดที่มีความเข้มข้นของเรดอนสูงสุด คือ ห้องทำงาน แต่ความเข้มข้นของเรดอนในการเข้าสำรวจครั้งนี้ลดลงจากครั้งแรกประมาณครึ่งหนึ่งเนื่องด้วยแร่ที่นำมาถลุงมาจากคนละแหล่งและวัตถุดิบอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็น ingot โดยค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับ 22.11 ± 10.23 Bq/m^3 ส่วนบริเวณที่มีความเข้มข้นของโทรอนมากที่สุดคือ บริเวณโรงชักตัวอย่างเช่นเดิม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 53.4 ± 46.1 Bq/m^3 แต่การตรวจวัดด้วยเทคนิคการหาความเข้มข้นของโทรอนในหน่วยของ EETC นั้น มีเพียงตำแหน่งห้องทำงานเพียงตำแหน่งเดียวที่มีปริมาณลูกหลานของโทรอนใกล้เคียงกับการตรวจวัดในครั้งแรกเนื่องจากมีสิ่งแวดล้อมเหมือนเดิม ส่วนบริเวณโรงชักตัวอย่างจะมีปริมาณลูกหลานของโทรอนสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับบริเวณห้องทำงาน และบริเวณโรงเก็บแร่แทนทาลัมก็มีปริมาณลูกหลานของโทรอนสูงขึ้นเช่นกัน แต่เป็นบริเวณที่มีปริมาณของโทรอนต่ำสุด ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ attached และ Unattached fraction ของธาตุลูกหลานเรดอนและโทรอน พบว่า ทุกบริเวณที่ทำการตรวจวัดส่วนใหญ่จะเป็นธาตุลูกหลานของเรดอนโดยมีปริมาณ unattached ของลูกหลานเรดอนสูงสุดที่ ห้องทำงาน และจากการตรวจวัดด้วยเทคนิคการตรวจวัดการกระจายตัวของธาตุลูกหลานเรดอนและโทรอนที่เกาะติดอยู่กับฝุ่นในอากาศ พบว่า มีเพียงการกระจายตัวของธาตุลูกหลานของเรดอนที่ตรวจพบบริเวณห้องทำงานมีค่า AMAD เท่ากับ 340 nm ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าที่พบที่บริเวณโรงเก็บแร่แทนทาลัม ที่มีขนาด 468 nm ขนาดการกระจายตัวของธาตุลูกหลานของเรดอนและโทรอนที่ตรวจได้นี้ ทางคณะวิจัยได้นำค่าที่ได้ไปประเมินปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ

เมื่อพิจารณาผลการตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนและโทรอน ณ พื้นที่ ในช่วงระยะเวลายาว โดยการใช้เทคนิค SSNTD โดยการนำหัววัดชนิดฟิล์ม CR-39 ซึ่งได้ทำการตรวจวัดได้ในช่วงเวลา 9 เดือน พบว่าบริเวณที่มีปริมาณความเข้มข้นของเรดอนสูงที่สุด คือ ห้องทำงาน มีค่าเท่ากับ 42 Bq/m^3 ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจวัดในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่การตรวจวัดในระยะยาวตรวจวัดความเข้มข้นของเรดอนสูงกว่าการตรวจวัดในช่วงเวลาสั้น ๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลต่อการฟุ้งกระจายของเรดอน นั่นคือ อุณหภูมิ ความชื้น และความดันบรรยากาศ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทำให้การฟุ้งกระจายของเรดอนในอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถตรวจวัดด้วยเทคนิคการตรวจวัดในช่วงเวลายาว แต่อย่างไรก็ดีความเข้มข้นที่ตรวจวัดนี้แม้จะมีค่าสูงกว่าแต่ก็ยังเป็นค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดอยู่มาก ส่วนบริเวณที่มีปริมาณความเข้มข้นของโทรอนสูงสุด คือ slag area ระหว่าง bay 5-bay 6 มีค่าเท่ากับ 207 Bq/m^3 แต่ตำแหน่งนี้ไม่ได้ทำการตรวจวัดในช่วงเวลาสั้น ๆ และเมื่อพิจารณาเทียบกับจุดที่ได้ทำการตรวจวัดในช่วงเวลา

สั้น ๆ พบว่า บริเวณโรงเก็บแร่เดิมที่ได้ทำการตรวจวัดในครั้งแรกของการสำรวจมีความเข้มข้นโทรอนสูงที่สุดจากการตรวจวัดในระยะเวลายาว แต่ในการตรวจวัดในช่วงเวลาสั้น ๆ กลับมีความเข้มข้นโทรอนต่ำมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะได้มีการเปลี่ยนชนิดของแร่ที่มีการจัดเก็บจึงทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการฟุ้งกระจายของโทรอน ซึ่งอาจทำให้มีการฟุ้งกระจายของโทรอนมากในเวลาที่ไม่ได้ทำการตรวจวัดในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่อย่างไรก็ดีทางคณะวิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มข้นเรดอนและโทรอนในช่วงเวลายาวไว้ตลอด เลยทำให้ตรวจวัดได้ สำหรับในตำแหน่งอื่น ๆ ค่าที่ตรวจวัดได้มีความสอดคล้องกัน แต่มีค่าสูงกว่าการตรวจวัดในระยะเวลาสั้น ๆ ในทุกบริเวณ

การประเมินอัตราการได้รับอันตรายจากรังสีเนื่องจากก๊าซเรดอนและโทรอน ณ บริเวณที่ทำการตรวจวัด จะเห็นได้ว่า การประเมินอัตราการได้รับอันตรายจากรังสีเนื่องจากก๊าซเรดอนและโทรอนนั้นไม่ได้ขึ้นกับปริมาณของฝุ่น แต่จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่สุด คือ ความเข้มข้นของก๊าซเรดอนและโทรอน และขนาดของฝุ่นรังสีในบริเวณที่ทำการตรวจวัด โดยฝุ่นรังสีที่มีขนาดเล็กจะสามารถทำอันตรายได้มากกว่าฝุ่นรังสีที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นหากบริเวณที่ทำการตรวจวัดมีฝุ่นขนาดเล็กและเป็นบริเวณที่มีปริมาณก๊าซเรดอนและโทรอนสูงก็มีโอกาสที่ลูกหลานเรดอนและโทรอนจะเกาะติดกับฝุ่นเหล่านั้น และเมื่อเราหายใจเอาฝุ่นรังสีเหล่านั้นเข้าสู่ร่างกาย ฝุ่นรังสีที่มีขนาดเล็กก็จะเข้าไปในระบบทางเดินหายใจได้ลึกกว่าฝุ่นรังสีขนาดใหญ่ ดังนั้นเมื่อทราบขนาดของฝุ่นรังสีและปริมาณเรดอนและโทรอนแล้วก็จะสามารถทำการประเมินอัตราการได้รับรังสีจากก๊าซเรดอนและโทรอนได้ ซึ่งปริมาณรังสีรวมที่ประชาชนทั่วไปได้รับมีค่าประมาณ 2.4 mSv/y และประมาณ 50 % เป็นการได้รับรังสีเนื่องจากการหายใจเอาลูกหลานเรดอนและโทรอนเข้าสู่ร่างกาย (1.26 mSv/y)

จากการวิจัยนี้ได้ผลการประเมินอัตราการได้รับรังสีจากก๊าซเรดอน ณ พื้นที่ที่ทำการตรวจวัดซึ่งทางคณะวิจัยได้ทำการตรวจวัดได้เพียง 9 เดือน พบว่า บริเวณห้องทำงานเป็นบริเวณที่ประเมินอัตราการได้รับรังสีจากก๊าซเรดอนสูงสุด คือ 3.16 mSv/9 months หรือประมาณ 4.22 mSv/y, รองลงมา คือ บริเวณโรงเก็บแร่แทนทาลัมประเมินอัตราการได้รับรังสีจากก๊าซเรดอนเท่ากับ 1.31 mSv/9 months หรือประมาณ 1.76 mSv/y และบริเวณที่ประเมินอัตราการได้รับรังสีจากก๊าซเรดอนต่ำสุด คือ บริเวณโรงชักตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 0.59 mSv/9 months หรือประมาณ 0.78 mSv/y จะเห็นได้ว่า อัตราการปริมาณรังสีที่ได้รับจากก๊าซเรดอนจากบริเวณห้องทำงานสูงกว่าโรงเก็บแร่แทนทาลัม และทั้งสองแห่งมีค่าสูงกว่าค่าที่ประชาชนทั่วไปควรได้รับ เมื่อพิจารณาขนาดของฝุ่นจะพบว่า ในห้องทำงานมีขนาดเฉลี่ยของฝุ่นเล็กกว่าในโรงเก็บแทนทาลัม ดังนั้น จึงอาจส่งผลอันตรายต่อสุขภาพของบุคคลที่ทำงานอยู่ในบริเวณนั้น ๆ สูงกว่าบริเวณอื่น

8.2 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากในการทดสอบเบื้องต้นของงานวิจัยนี้ ในขั้นตอนการทดสอบการวัดขนาดของฝุ่นละอองที่มีโทรอนเกาะติดอยู่นั้น จะต้องทำการทดสอบโดยใช้โทรอนแชมเบอร์ที่มีขนาดเล็ก ทำให้ไม่สามารถใช้เครื่อง ELPI ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัดอนุภาคฝุ่น ที่ต้องใช้อัตราการดูดอากาศสูง (30 L/min) ดังนั้นในการทดลองเบื้องต้นจึงต้องใช้เครื่อง SMPS ซึ่งมีอัตราการดูดอากาศต่ำ (3 L/min) มาตรวจวัดขนาดอนุภาคฝุ่นที่ทำการผลิตขึ้นด้วยเครื่องผลิตอนุภาคฝุ่น โดยเครื่อง SMPS จะสามารถตรวจวัดขนาดอนุภาคฝุ่นได้ในช่วง 0.01–0.6 ไมโครเมตรเท่านั้น จึงทำให้การทดสอบเบื้องต้นสามารถทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีโทรอนเกาะติดอยู่ได้ในช่วงดังกล่าวเท่านั้น

8.3 ข้อเสนอแนะ

8.3.1. เนื่องด้วยระบบเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรังสีเพื่อคัดแยกขนาดที่ออกแบบนั้น สามารถคัดแยกขนาดอนุภาคของฝุ่นในช่วง 1-10 ไมโครเมตรเท่านั้น และจากการเข้าสำรวจในพื้นที่จริง พบว่าในพื้นที่ส่วนใหญ่ภายในโรงงาน ตัวอย่างฝุ่นส่วนใหญ่ที่ตรวจพบมีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ดังนั้นเพื่อให้การคัดแยกฝุ่นมีความละเอียดมากขึ้น จึงควรเพิ่มขนาดของการเก็บตัวอย่างในช่วง 0.5-0.1 ไมโครเมตร เพื่อให้การวิเคราะห์ขนาดฝุ่นมีความถูกต้องมากขึ้น

8.3.2. เนื่องด้วยในแต่ละพื้นที่มีปริมาณฝุ่นละอองรังสีมากน้อยแตกต่างกันไป ดังนั้นเพื่อให้ระบบเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรังสีเพื่อคัดแยกขนาดสามารถเก็บตัวอย่างให้ได้เพียงพอต่อการตรวจวัดในแต่ละพื้นที่ภายในระยะเวลาไม่นานนัก ระบบเก็บตัวอย่างจึงควรเก็บตัวอย่างที่อัตราการไหลของอากาศสูงกว่า 4 L/min. เพื่อให้ขีดจำกัดในการเก็บตัวอย่างต่ำสุด

8.3.3. ระบบวัดรังสีแอลฟาที่ใช้เป็นระบบวัดรังสีรวม ดังนั้นการตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณลูกหลานเรดอนและโทรอน จึงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการสลายตัวของลูกหลานเรดอนเป็นตัวกำหนด เนื่องจากลูกหลานเรดอนมีค่าครึ่งชีวิตสั้น ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมงจึงจะสลายตัวหมด หลังจากนั้นจึงจะทำการตรวจวัดลูกหลานโทรอนซึ่งมีค่าครึ่งชีวิตยาวกว่า ซึ่งต้องใช้เวลานานในการตรวจวัดแต่ละตัวอย่างในแต่ละครั้ง ดังนั้นเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการตรวจวัด จึงควรใช้ระบบวัดรังสีแบบแอลฟาสเปกโตรเมตรี เพราะสามารถตรวจวัดลูกหลานเรดอนและโทรอนได้พร้อมกัน เพราะระบบสามารถแยกแยะพลังของลูกหลานเรดอนและโทรอนได้

8.3.4. วิธีการประเมินปริมาณรังสีที่ได้รับจากลูกหลานเรดอนและโทรอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้นั้นเป็นแบบ dosimetric approach ซึ่งจะใช้โปรแกรม Human respiratory tract model ในการคำนวณอัตราปริมาณรังสีที่ได้รับ ซึ่งโปรแกรมการคำนวณนี้มีหลายปัจจัยที่สำคัญต่อการคำนวณ โดยที่ขนาดของลูกหลานเรดอนและโทรอนเป็นเพียงปัจจัยหลักที่สำคัญเพียงอย่างหนึ่งเท่านั้น ส่วนปัจจัยในการคำนวณอื่น ๆ นั้น ทางคณะผู้วิจัย ได้

ใช้ค่าที่แนะนำจาก International Commission on Radiological Protection Publication และจากการศึกษาจากนักวิจัยต่างประเทศที่มีการตีพิมพ์และใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นหลัก เช่นค่า equal weighting for the bronchial and pulmonary regions, The lung-to-blood absorption rate และขนาดของ unattached fraction เป็นต้น แต่สำหรับในประเทศไทยนั้นยังไม่มีการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและเหมาะสมในการคำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับสำหรับประเทศไทยแล้ว ปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณนั้นควรมีการศึกษา หรือทำการตรวจวัดให้ละเอียด เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ต่อไป