บทที่ 6

สรุป วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อที่จะรวบรวมข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการนำวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนไปใช้ในการหาปริมาณความชื้นของแผ่นวัสดุก่อสร้าง ซึ่งได้แก่ การวัดระบบผลิตเอพิเทอร์มาลนิวตรอนและการวัดระบบวัดรังสีนิวตรอนช้าที่เหมาะสม การปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของแผ่นวัสดุก่อสร้างบางชนิด รวมทั้งการทดลองหาปริมาณความชื้นของแผ่นวัสดุที่ทำการสร้างกราฟปรับเทียบไว้ เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีมาตรฐาน ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

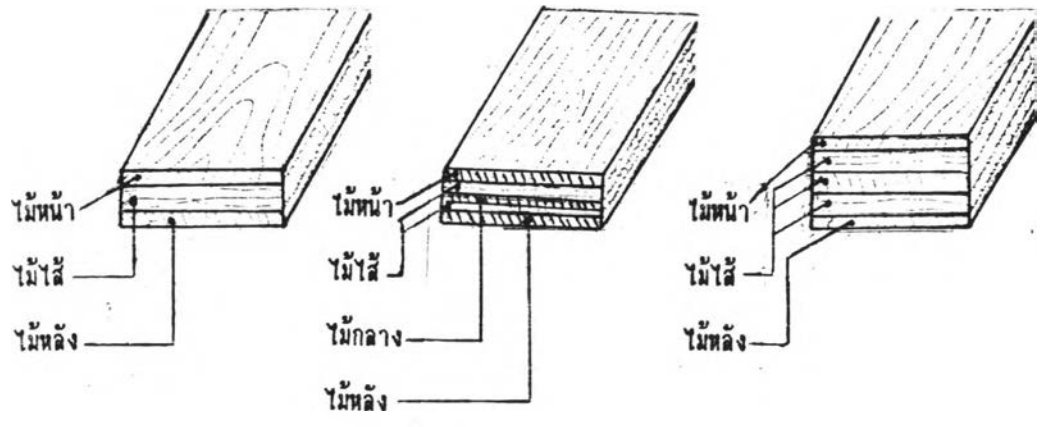
6.1.1 เมื่อทดลองวัดความเข้มของนิวตรอนช้าที่เกิดขึ้นจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านแผ่นไม้อัดหนา 8 มม. ที่มีความชื้นต่างๆกัน โดยเจาะหลุมเข้าไปในกล่องพาราฟิน 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 ซม. ลึก 10 ซม. และขนาด 6 ซม. X 20 ซม. X 10 ซม. เพื่อให้นิวตรอนช้าออกมาจากกล่องพาราฟินดันที่เก็บดันกำเนิดนิวตรอนพบว่าจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นของแผ่นไม้อัด และขนาดของหลุม และลดลงเมื่อดันกำเนิดรังสีอยู่ลึกลงไปในหลุม ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการวิจัยของ A.J. Cox และคณะ [1] และ N. Wada [2,3] ที่รายงานไว้ว่าได้ความเข้มรังสีนิวตรอนช้าสูงสุดเมื่อดันกำเนิดรังสีอยู่ที่บริเวณปากหลุม และได้ความเข้มรังสีสูงขึ้นตามขนาดของหลุม ในการวิจัยนี้เลือกใช้หลุมขนาด 6 ซม. X 20 ซม. X 10 ซม. เพื่อให้เหมาะสมกับขนาดของแผ่นวัสดุที่ใช้และความยาวของหัววัดรังสีนิวตรอน

6.1.2 ผลการเปรียบเทียบความไวในการวัดนิวตรอนช้า ทั้งนิวตรอนช้ารวม (total thermal neutron) และเอพิแคดเมียมนิวตรอน (epicadmium

neutron) ระหว่างหัววัดแบบบรรจุก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ที่ความดัน 700 มม. ของปรอท กับหัววัดแบบบรรจุก๊าซฮีเลียม -3 ผสมคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดัน 15200 มม. ของปรอท ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. ยาว 26.5 ซม. เท่ากัน พบว่าในการวัดนิวตรอนช้าที่เกิดจากการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนผ่านแผ่นไม้อัดหนา 10 มม. ที่มีความชื้นต่างๆกัน หัววัดฮีเลียม -3 มีความไวสูงกว่าประมาณ 10 เท่า และกว่า 20 เท่า สำหรับการวัดรังสีนิวตรอนช้ารวม (ไม่มีแผ่นแคดเมียมกั้นหน้าหัววัดนิวตรอน) และการวัดเอพิแคดเมียมนิวตรอน (เมื่อใช้แผ่นแคดเมียมหนา 0.5 มม. วางกั้นหน้าหัววัดนิวตรอน) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าความชื้นของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอน-ช้ากับปริมาณความชื้นมีค่าสูงสุด เมื่อวัดนิวตรอนช้าด้วยหัววัดฮีเลียม -3 โดยไม่มีแผ่นแคดเมียมกั้น

6.1.3 จากการหาระยะสโลวิงดาวน์ในน้ำของเอพิเทอร์มาลนิวตรอนที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้ค่าประมาณ 7 ซม. ในขณะที่เมื่อใช้นิวตรอนเร็วโดยตรงจากต้นกำเนิดรังสีอเมริเซียม -241/เบริลเลียมได้ระยะสโลวิงดาวน์ เท่ากับ 10 ซม. ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าเอพิเทอร์มาลนิวตรอนต้องการจำนวนครั้งในการชนกับโมเลกุลของน้ำ เพื่อลดพลังงานลงมาเป็นนิวตรอนช้าน้อยกว่านิวตรอนเร็ว

6.1.4 การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้ากับปริมาณความชื้นของแผ่นวัสดุก่อสร้าง 6 ชนิด คือ แผ่นไม้อัดหนา 10, 15 และ 20 มม. กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ หนา 4 และ 6 มม. และแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์หนา 4 มม. ปรากฏผลว่าจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นตามปริมาณความชื้นของวัสดุทุกชนิด โดยที่วัสดุที่มีความหนามากกว่าให้จำนวนนับรังสีสุทธิและแบคกราวด์สูงสุด แต่เป็นที่น่าสังเกตุว่าแผ่นไม้อัดหนา 10 และ 15 มม. ให้จำนวนนับรังสีใกล้เคียงกัน แต่ต่ำกว่าแผ่นไม้อัดหนา 20 มม.มาก จากการตรวจสอบโครงสร้างของแผ่นไม้อัดทั้ง 3 ชนิดนี้พบว่าชนิดหนา 10 และ 20 มม. มีลักษณะเหมือนกัน แต่ชนิดหนา 15 มม. นั้น แตกต่างออกไป (ดังแสดงในรูปที่ 6.1) ซึ่งแสดงว่าการใช้วิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนในการหาความชื้นของวัสดุ จำเป็นต้องมีการปรับเทียบกับแผ่นวัสดุชนิดเดียวกันและมีความหนาเท่ากันจึงจะให้ผลได้ถูกต้อง



(ก) 10 มม. (ข) 15 มม. (ค) 20 มม.

รูปที่ 6.1 แสดงภาคตัดขวางของแผ่นไม้อัดหนา 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร [31]

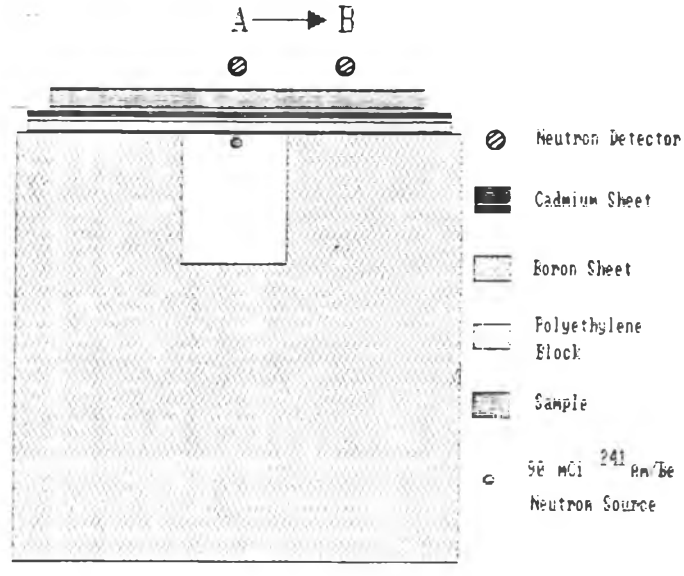
6.1.5 ผลการสุ่มตัวอย่างแผ่นวัสดุ 6 ชนิด ที่สร้างกราฟปรับเทียบไว้แล้ว มาทำการหาปริมาณความชื้นด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอน ปรากฏว่าส่วนใหญ่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือ ไม้อัด 10 มม. ช่วงความชื้น 7-15% ได้ผลแตกต่างจากวิธีมาตรฐานไม่เกิน 1.04% ไม้อัด 15 มม. ช่วงความชื้น 7-15% ได้ผลแตกต่างจากวิธีมาตรฐานไม่เกิน 1.26% ไม้อัด 20 มม. ช่วงความชื้น 1.30% กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ 4 มม. ช่วงความชื้น 4-10% ได้ผลแตกต่างจากวิธีมาตรฐานไม่เกิน 1.17% กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ 6 มม. ช่วงความชื้น 4-10% ได้ผลแตกต่างจากวิธีมาตรฐานไม่เกิน 1.23% แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ 4 มม. ช่วงความชื้น 9-15% ได้ผลแตกต่างจากวิธีมาตรฐานไม่เกิน 1.74%

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนเป็นวิธีวัดความชื้นของแผ่นวัสดุที่สามารถให้ผลได้รวดเร็วและถูกต้อง หากมีการจัดระบบผลิตเอพิเทอร์มาลนิวตรอน การจัดระบบวัดรังสีนิวตรอน และการปรับเทียบที่เหมาะสม การปรับปรุงให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นจะทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากประสบการณ์ของผู้วิจัยที่ได้รับจากการวิจัยนี้ ทำให้ผู้วิจัยพิจารณาเห็นจุดสำคัญบางจุดที่สามารถปรับปรุงให้วิธีวัดความชื้นด้วยวิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนสามารถนำไปใช้งานได้ถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว และกว้างขวางยิ่งขึ้น จึงสามารถกล่าวสรุปเป็นข้อๆได้ดังนี้

6.2.1 ค่าแบคกราวด์ที่วัดได้จากระบบส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนในการวิจัยนี้มีค่าค่อนข้างสูงเป็นผลให้ค่าสถิติในการนับรังสี (Counting statistics)ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากหัววัดรังสีนิวตรอนที่ใช้สามารถวัดได้ทั้งเทอร์มาลและเอพิเทอร์มาลนิวตรอนเอพิเทอร์มาลนิวตรอนพลังงานต่ำๆที่ทะลุผ่านแผ่นวัสดุตัวอย่างไปถึงแม้จะไม่ได้ชนกับโมเลกุลของน้ำเลย ก็จะถูกนับด้วย เพราะหัววัดรังสีนิวตรอนวางอยู่ในทิศทางที่เอพิเทอร์มาลนิวตรอนวิ่งไปยังตัวอย่าง การลดแบคกราวด์อาจทำได้โดยเปลี่ยนตำแหน่งหัววัดรังสีนิวตรอนให้อยู่นอกทิศทางที่เอพิเทอร์มาลนิวตรอนวิ่งออกมาดังแสดงในรูปที่ 6.2 นอกจากนี้การใช้แผ่นโลหะที่เป็นธาตุชนิดอื่นๆที่สามารถจัดนิวตรอนพลังงานสูงกว่า 0.5 อิเล็กตรอนโวลต์ ที่แคดเมียมสามารถดูดจับได้ เช่น อินเดียม (indium, In) ดิสโพรเซียม (dysprosium, Dy) และทองคำ (gold, Au)ช่วยดูดจับนิวตรอนก่อนผ่านไปยังแผ่นวัสดุตัวอย่าง อาจช่วยให้แบคกราวด์ลดลงได้ อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาทดลองถึงชนิดของธาตุและความหนาที่เหมาะสม เพราะมีผลต่อความไวในการวัดความชื้นด้วย



รูปที่ 6.2 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งของหัววัดนิวตรอนเพื่อลดแบคกราวด์ จากตำแหน่ง A ไปเป็น B

6.2.2 เนื่องจากการนับรังสีนิวตรอน ในบางช่วงของการวิจัยมีความแปรปรวนสูงผิดปกติ ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าเป็นการรบกวนจากสิ่งรบกวนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ถึงแม้จะใช้อุปกรณ์กรองสิ่งรบกวนจากสาย (line fitter) บางชนิดที่มีอยู่มาทดลองก็ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ จากการวิเคราะห์ปัญหาพบว่าเป็นสิ่งรบกวนที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์บางชนิดกำลังใช้งานอยู่ ได้แก่ เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (x-ray generator) และเตาเผาแบบเหนี่ยวนำ (induction furnace) เพื่อให้การนับรังสีนิวตรอนมีความเที่ยงตรง แม่นยำ จึงควรที่จะแก้ปัญหาที่แหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน และ/หรือ ออกแบบอุปกรณ์กรองสิ่งรบกวนที่สามารถคัดสัญญาณรบกวนลักษณะนี้ได้

6.2.3 ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนอเมริเซียม -241/เบริลเลียม ที่ใช้ในการวิจัยนี้มีความแรงเพียง 3.33 GBq หรือ 90 mCi ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยในต่างประเทศที่อาศัยหลักการเดียวกันนี้แล้วพบว่าส่วนใหญ่ใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงประมาณ

18.5 GBq หรือ 500 mCi การเพิ่มความแรงของต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนเป็นทางหนึ่งที่จะช่วยให้เวลานับรังสีน้อยลง โดยที่มีจำนวนนับรังสีเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้ความถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็วมากขึ้น

6.2.4 ควรมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีการส่งผ่านเอพิเทอร์มาลนิวตรอนในการหาปริมาณไฮโดรเจนในตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่น และในตัวอย่างที่มีปริมาตรน้อยบางชนิด ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ที่ต้องการวัดปริมาณไฮโดรเจน เพราะวิธีนี้สามารถให้ผลได้รวดเร็ว โดยไม่ทำลายตัวอย่าง

6.2.5 ควรมีการพัฒนาอุปกรณ์ขนาดเล็กที่ใช้เทคนิคการส่งผ่านเอพิเทอร์-มาลนิวตรอน สำหรับใช้ในการวัดความชื้น และปริมาณไฮโดรเจนในแผ่นวัสดุ หรือตัวอย่างขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ในอุตสาหกรรม