บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอนความเข้มต่ำ มีประโยชน์ในการตรวจสอบวัสดุ ผลิตภัณฑ์ และเครื่องมือต่างๆ โดยไม่ทำลายตัวอย่าง และมีข้อได้เปรียบกว่าการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูหลายประการ เช่น ประหยัดค่าใช้จ่าย สะดวกในการเคลื่อนย้าย และปฏิบัติงาน แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความเข้มของนิวตรอน ทำให้ต้องใช้เวลาในการถ่ายภาพนาน และภาพถ่ายมีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอนความเข้มต่ำ เพื่อลดระยะเวลาในการถ่ายภาพและปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่าย จากงานวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 เทคนิคการถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอนความเข้มต่ำที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มี 4 เทคนิค ได้แก่ การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคพรี-เอกซ์โพเชอร์ การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูป และการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี การใช้เทคนิคทั้ง 4 เทคนิคดังกล่าว สามารถถ่ายภาพของตัวอย่างชิ้นงานแคดเมียมและอะคริลิกซึ่งเจาะรูขนาด 0.5 มิลลิเมตรได้

5.1.2 เมื่อเปรียบเทียบการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนระหว่างการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน (NE-426) แผ่นเดียวกับการใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน (NE-426) 2 แผ่น พบว่าการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนแผ่นเดียวให้ความดำของฟิล์มสูงกว่า และมีความเปรียบต่างดีกว่าภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอน 2 แผ่น ด้วยระยะเวลาการถ่ายภาพที่เท่ากัน

5.1.3 การวัดรีเลทีฟฟลักซ์และหาอัตราส่วนแคดเมียม โดยเปลี่ยนระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนและนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ในแนวแกน x และแนวแกน y พบว่า รีเลทีฟฟลักซ์ของนิวตรอนแปรผกผันกับระยะทาง และได้ทดลองใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์แบบต่างๆกัน พบว่าคอลลิเมเตอร์ที่มีส่วนของโพลีเอทีลีนยาว และมีอัตราส่วน L/D ต่ำจะให้รีเลทีฟฟลักซ์สูง ซึ่งในงานวิจัยนี้เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์ที่มีส่วนของโพลีเอทีลีนยาว 10 เซนติเมตร ระยะระหว่างต้น

กำเนิดนิวตรอนกับนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ในแนวแกน x เท่ากับ 2 เซนติเมตร ในแกน y เท่ากับ 0 เซนติเมตร จะให้รีเลทีฟฟลักซ์สูงที่สุด

ในการพิจารณาหาอัตราส่วนแคดเมียม พบว่าอัตราส่วนแคดเมียมสูงสุดเท่ากับ 13.18 เมื่อใช้นิวตรอนคอลลิเมเตอร์ที่มีส่วนของโพลีเอทีลีนยาว 10 เซนติเมตร อัตราส่วน L/D เท่ากับ 15 ระยะระหว่างต้นกำเนิดกับนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ในแกน x เท่ากับ 2 เซนติเมตร และในแกน y เท่ากับ 6 เซนติเมตร

5.1.4 การสร้างกราฟคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มเมื่อฉายด้วยรังสีเอกซ์ 100 kVp 3 มิลลิแอมแปร์ และเมื่อฉายด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพ เพื่อหาความดำที่เหมาะสมในการพรี-เอกซ์โพเซอร์ พบว่า กราฟคุณลักษณะเฉพาะของฟิล์มเมื่อฉายด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพมีช่วง toe ที่ชัดเจนกว่าการฉายด้วยรังสีเอกซ์ จึงเลือกทำการพรี-เอกซ์โพเซอร์ด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพ

5.1.5 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคพรี-เอกซ์โพเซอร์ด้วยแสงจากเครื่องขยายภาพที่เวลา 0.4 ถึง 1.0 วินาที ช่วยลดระยะเวลาในการถ่ายภาพได้ถึง 50 % ของเวลาในการถ่ายภาพด้วยเทคนิคปกติ แต่ความเปรียบต่างของภาพลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เทคนิคพรี-เอกซ์โพเซอร์จึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอนความเข้มต่ำ

5.1.6 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉาก ซึ่งใช้ไนโตรเจนเหลวในการหล่อเย็น เปรียบเทียบกับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป พบว่าภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคการหล่อเย็นฟิล์มและฉากให้ความดำของฟิล์มสูงกว่าเมื่อถ่ายภาพด้วยเวลาเท่ากัน ทำให้สามารถประหยัดเวลาในการถ่ายภาพด้วยเทอร์มัลนิวตรอนความเข้มต่ำ แต่มีความคมชัดน้อยกว่าภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

5.1.7 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูป ใช้ฟิล์มฟูจิ นีโอแพน 1600 โพรเฟสชันนัล ในการบันทึกภาพถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี 3 ชนิด ได้แก่ ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู และเครื่องเอกซเรย์ เมื่อใช้ไอโซโทปรังสีพลูโทเนียม-238/เบริลเลียม และอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน ให้เทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งถ่ายภาพ 1.22×10^2 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ถ่ายภาพตัวอย่างชิ้นงานด้วยกล้องถ่ายรูปเป็นเวลา 5 วัน พบว่าไม่เกิดภาพ จึงทดลองทำการถ่ายภาพด้วย

นิวตรอนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู เดินเครื่องที่กำลัง 150 กิโลวัตต์ นิวตรอนฟลักซ์ 8.81 x 10^4 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ใช้เวลาในการถ่ายภาพ 5 , 10 และ 15 นาที พบว่าไม่เกิดภาพ และที่กำลัง 700 กิโลวัตต์ นิวตรอนฟลักซ์เท่ากับ 7.85 x 10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ถ่ายภาพนาน 10, 20 และ 25 นาที พบว่าเกิดภาพถ่ายทั้ง 3 ภาพ การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ โดยใช้กล้องถ่ายรูป ที่เวลา 10 , 20 และ 30 วินาที ให้ภาพถ่ายที่ชัดเจน

ดังนั้นเทคนิคการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายรูปนี้ จึงเหมาะสำหรับต้นกำเนิดนิวตรอนที่มีความเข้มของนิวตรอนสูงในระดับ 10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีขึ้นไป

5.1.8 เทคนิคการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องถ่ายรูป สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการถ่ายภาพได้มากกว่าการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เนื่องจากฟิล์มฟูจิ นีโอแพน 1600 โพรเฟสชันนัล ที่ใช้บันทึกภาพสำหรับเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูปมีราคาถูกกว่า ฟิล์มรังสีเอกซ์ที่ใช้บันทึกภาพสำหรับเทคนิคปกติ ถึง 10 เท่า

นอกจากนี้ฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคใช้กล้องถ่ายรูป ยังสามารถนำไปล้างตามร้านถ่ายรูปทั่วไปได้ในราคาเพียงม้วนละ 40 บาท ทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการล้างฟิล์ม มีความสะดวกรวดเร็ว และไม่ยุ่งยากในการเตรียมน้ำยาล้างฟิล์ม จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับหน่วยงานที่ไม่มีห้องมืดหรืออุปกรณ์ในการล้างฟิล์ม และหน่วยงานที่ไม่มีงานถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นงานประจำ

5.1.9 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฟิล์มฟูจิ เอฟพี-3000 บี สามารถถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยนิวตรอน โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ ปรับปรุงครั้งที่ 1 เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน มีนิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ 7.85 x 10^5 ได้ในเวลาเพียง 1 วินาที และถ่ายภาพโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนพลูโทเนียม–238/เบริลเลียมและอะเมริเซียม-241/เบริลเลียม เทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ 1.22 x 10^2 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ได้ในเวลาเพียง 1 ชั่วโมง โดยใช้เวลาในการรูดน้ำยาสร้างภาพ 15 วินาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถลดระยะเวลาในการถ่ายภาพได้ถึง 20 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ภาพถ่ายที่ได้มีคุณภาพดีพอใช้สามารถมองเห็นรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตรได้อย่างชัดเจน จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบวัตถุตัวอย่างที่ต้องการทราบผลทันที และไม่ต้องการรายละเอียดของภาพสูงมากนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน มีลำดับขั้นตอนในการถ่ายภาพหลายขั้นตอน และมีปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายแตกต่างกัน ซึ่งอาจปรับปรุงบางส่วนเพื่อให้ภาพถ่ายที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น ดังนี้

(1) ความไม่คมชัดของภาพเนื่องจากการจัดอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ

จากสมการ $$U_g = \frac{D}{L_s} L_f$$

เมื่อ U_g คือ ความไม่คมชัดของภาพเนื่องจากการจัดอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ

D คือ ขนาดของต้นกำเนิดนิวตรอน

L_s คือ ระยะระหว่างต้นกำเนิดนิวตรอนกับวัตถุตัวอย่าง

L_f คือ ระยะระหว่างวัตถุตัวอย่างกับฟิล์มบันทึกภาพ

ดังนั้นถ้าต้องการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายให้ดีขึ้น ควรลดระยะห่างระหว่างวัตถุตัวอย่างกับฟิล์มบันทึกภาพ (L_f) ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ตลับอะลูมิเนียมสำหรับบรรจุฉากเปลี่ยนนิวตรอนกับฟิล์มที่บางลง และจัดให้วัตถุตัวอย่างอยู่ชิดกับฟิล์มให้มากที่สุด

(2) กระบวนการล้างฟิล์ม ถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของการควบคุมคุณภาพของภาพถ่าย เพราะคุณสมบัติของสารเคมีในน้ำยาล้างฟิล์มเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาจากความแปรปรวนเพียงเล็กน้อยของอุณหภูมิ หรือการสันดาปกับออกซิเจนในอากาศ เป็นต้น ดังนั้นกระบวนการล้างฟิล์มต้องกระทำที่อุณหภูมิที่คู่มือกำหนด และปฏิบัติตามขั้นตอนการล้างฟิล์มอย่างเคร่งครัด

(3) การเก็บรักษาฟิล์มให้มีคุณภาพและใช้งานได้นาน เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย ควรเก็บฟิล์มในที่เย็น ไม่มีความชื้น ไม่ควรเก็บใกล้ท่อน้ำประปา และแหล่งกำเนิดความร้อน ถ้าต้องการเก็บเพื่อใช้งานเป็นเวลา 1 ปี ควรเก็บที่อุณหภูมิ 50 องศาฟาเรนไฮท์[24] ควรเก็บฟิล์มในที่มืดไม่มีแสงสว่าง และไม่ถูกรังสีเพราะอาจทำให้ภาพมัว และเกิดภาพแปลกปลอม (Artifact) ได้

5.2.2 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคพรี-เอกซ์โพเชอร์ อาจทำการพรี-เอกซ์โพสฟิล์มด้วยแสงชนิดอื่น หรือต้นกำเนิดรังสีแกมมาได้ แต่ควรเป็นแสงหรือต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่มีความเข้มต่ำ เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับฟิล์มได้เล็กน้อย และให้ความดำของฟิล์มไม่เกินช่วง toe

5.2.3 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคหล่อเย็น ซึ่งใช้ไนโตรเจนเหลวบรรจุในกล่องสังกะสีที่ประกบอยู่กับตลับใส่ฟิล์มนั้น ยังพบปัญหาเรื่องความชื้น การควบคุมอุณหภูมิ และเกิดน้ำแข็งจับตัวบนตลับใส่ฟิล์ม จึงควรออกแบบระบบสุญญากาศเพื่อแก้ปัญหาการเกิดน้ำแข็งจับตัวบนตลับใส่ฟิล์มในการหล่อเย็น ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ และอาจเลือกใช้น้ำแข็งแห้ง (Dry ice) หรือสารให้ความเย็นอื่นที่มีราคาถูก และสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย

5.2.4 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนสำหรับเทอร์มัลนิวตรอนความเข้มต่ำ ควรเลือกใช้ฟิล์มบันทึกภาพที่มีความไวแสงสูง หรือพัฒนาเทคนิคในการเพิ่มความไวของฟิล์ม เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการถ่ายภาพ

5.2.5 วัตถุตัวอย่าง มักประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกันทั้งชนิดและขนาด การถ่ายภาพเพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่มีความคมชัดและมีความเข้มของฟิล์มที่เหมาะสม จึงควรทราบเงื่อนไขเบื้องต้นเกี่ยวกับการดูดกลืนนิวตรอนของวัตถุตัวอย่าง การศึกษา วิจัยเกี่ยวกับวิธีการในวัดปริมาณนิวตรอนที่ผ่านตัวอย่างเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มที่พอเหมาะ อาจทำให้การกำหนดเงื่อนไขการถ่ายภาพมีความสะดวกและถูกต้องมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย