บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุปและวิจารณ์

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ ซึ่งใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนที่ผลิตจากวัสดุที่มีส่วนผสมของโบรอนหรือลิเทียม และบันทึกภาพด้วยฟิล์มพลาสติก เช่น ฟิล์มไนโตรเซลลูโลส เมื่อทำการถ่ายภาพ ฉากเมื่อได้รับนิวตรอนจะปลดปล่อยอนุภาคอัลฟาออกมา ทำให้เกิดรอยบนฟิล์มพลาสติก ซึ่งจะให้ภาพถ่ายปรากฏออกมาเมื่อนำฟิล์มไปล้างกัดรอย

การวิจัยเพื่อศึกษาและทดลองถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ ใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนชนิดบีอี-10 ซึ่งผลิตจากโบรอนคาร์ไบด์ที่มีความเข้มข้นของไอโซโทปโบรอน-10 (Enriched Boroncarbide, $^{10}B_4C$) ในธรรมชาติ 19.8% ให้เพิ่มขึ้นเป็น 93% ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยากับนิวตรอนสูงขึ้น 4.7 เท่า การบันทึกภาพใช้ฟิล์มไนโตรเซลลูโลสซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มใส ไม่มีสี เมื่อถ่ายภาพและล้างกัดรอยแล้วจึงให้ภาพถ่ายที่เป็นรอยขุ่นฝ้า

การศึกษากระบวนการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ ประกอบด้วย การทดสอบเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ อุณหภูมิของน้ำยาล้างกัดรอย และเวลาที่เหมาะสมในการล้างกัดรอย โดยสังเกตจากความเข้ม และความเปรียบต่างของฟิล์ม ได้ผลดัง ตารางที่ 5.1 ซึ่งการทดสอบเงื่อนไขในการถ่ายภาพใช้วัตถุตัวอย่างมาตรฐาน 3 ชิ้น ได้แก่ BPI, SI และ Test Strip B

ตารางที่ 5.1 สรุปเงื่อนไขในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์

อุณหภูมิของน้ำยาล้างกัดรอย	60 °C
เวลาในการถ่ายภาพ	30-60 นาที
เวลาในการล้างกัดรอย	13-18 นาที

การเลือกใช้เวลาในการถ่ายภาพและเวลาในการล้างกัดรอย ขึ้นกับขนาดของวัตถุตัวอย่างและชนิดของวัสดุภายในตัวอย่าง โดยวัตถุตัวอย่างที่มีความหนามาก หรือวัสดุที่มี

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนนิวตรอนได้สูง จำเป็นต้องใช้เวลาในการถ่ายภาพและเวลาในการล้างกัด รอยที่นานกว่าวัตถุขนาดเล็กหรือวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนนิวตรอนต่ำ

ภาพถ่ายบนฟิล์มไนโตรเซลลูโลส มีความเข้มและความเปรียบต่างต่ำ ไม่สะดวกในการสังเกตรายละเอียด การปรับเพิ่มความเข้มและความเปรียบต่างของภาพประกอบด้วย การสแกนเพื่อบันทึกภาพด้วยสแกนเนอร์โดยใช้แผ่นโครเมียมขัดเงาวางไว้ด้านหลังแผ่นฟิล์มเพื่อเพิ่มความเปรียบต่างของภาพ จากนั้นจึงปรับเพิ่มความเปรียบต่างของภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โฟโตชอป 4.0

การปรับเพิ่มความเปรียบต่างของภาพ ทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากขึ้น สามารถสังเกตได้สะดวก ภาพจากฟิล์มไนโตรเซลลูโลสมีรายละเอียดสูง เมื่อปรับความเปรียบต่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถสังเกตรายละเอียดได้หลายระดับ ตามความเข้มเดิมของวัสดุแต่ละชิ้น ภาพถ่ายแต่ละภาพที่ปรับความเปรียบต่างแล้ว สามารถเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์ และสามารถนำมาทบทวน หรือพิมพ์เป็นเอกสารรายงานได้สะดวกและรวดเร็ว

ภาพถ่ายแต่ละภาพปรับเพิ่มความเปรียบต่างเพื่อให้ได้ภาพที่คมชัดแตกต่างกัน ขึ้นกับความเปรียบต่างของฟิล์มไนโตรเซลลูโลส รายละเอียดบนฟิล์ม และตำแหน่งของภาพที่ต้องการสังเกต จากการทดลองพบว่า ภาพถ่ายที่ฟิล์มมีความเข้มสูงต้องปรับเพิ่มความเปรียบต่างมากกว่าฟิล์มที่มีความเข้มต่ำ

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ เป็นเทคนิคที่สนับสนุนการตรวจสอบโดยไม่ทำลายด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี การลดข้อจำกัดในเรื่องของความเข้มและความเปรียบต่างของภาพบนฟิล์มไนโตรเซลลูโลส รวมทั้งการมีลักษณะพิเศษที่สามารถปรับความเข้มของฟิล์มได้หลายระดับจากฟิล์มที่สามารถล้างกัดรอยซ้ำได้หลายครั้ง และความสะดวกในการปรับความเปรียบต่างของภาพได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จึงอาจเป็นแนวทางให้มีการประยุกต์และใช้ประโยชน์จากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ได้กว้างขวางยิ่งขึ้นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ ซึ่งลำดับขั้นตอนทั้งหมด ประกอบด้วย การถ่ายภาพ การล้างกัดรอย การใช้แผ่นโครเมียมขัดมันปรับความเปรียบต่างขณะสแกนภาพ และการปรับเพิ่มความเปรียบต่างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ละขั้นตอนมีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายแตกต่างกัน ซึ่งอาจปรับปรุงบางส่วนเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพดีขึ้น ดังนี้

(1) ขั้นตอนการถ่ายภาพ ความไม่คมชัดของภาพเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ ได้แก่ ความไม่คมชัดเนื่องจากลักษณะการจัดอุปกรณ์(Ug) และความไม่คมชัดเนื่องจากฟิล์มและฉากเปลี่ยนนิวตรอน(Ui)

จากสมการที่ (2.8) สำหรับระบบการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนแต่ละแห่ง ค่าที่สามารถปรับปรุงได้ ได้แก่ ระยะห่างระหว่างวัตถุตัวอย่างกับฟิล์มบันทึกภาพ (Lf) ซึ่งสามารถทำให้ลดลงได้ โดยการใช้คาสเซตต์อลูมิเนียมที่ใช้สำหรับบรรจุฉากเปลี่ยนนิวตรอนกับฟิล์มที่บางลง และการเลือกวัตถุตัวอย่างที่บางและจัดให้อยู่ชิดกับฟิล์มให้มากที่สุด

(2) กระบวนการล้างกัดรอย มีผลต่อความคมชัดของภาพถ่าย โดยทั่วไปการใช้เวลาล้างกัดรอยที่สั้นลง จะให้รอยที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะได้ภาพถ่ายที่แสดงรายละเอียดได้มาก แต่ภาพดังกล่าวจะมีความเข้มของฟิล์มและความเปรียบต่างของภาพต่ำ จากการทดลองปรับความเปรียบต่างของภาพ พบว่า ถ้าใช้เวลาในการล้างกัดรอยที่สั้นลง สามารถเพิ่มความเปรียบต่างให้ภาพที่สแกนไว้ได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

(3) การใช้แผ่นโครเมียมขัดเงาเพิ่มความเปรียบต่างขณะสแกนภาพ แผ่นโครเมียมทำหน้าที่เพิ่มการสะท้อนแสงของฟิล์มส่วนที่ใสให้แตกต่างมากขึ้นจากฟิล์มส่วนที่ขุ่น ดังนั้น ถ้าใช้วัสดุที่สะท้อนแสงได้ดีกว่าโครเมียมขัดเงา อาจทำให้ได้ภาพที่มีความเปรียบต่างสูงขึ้น

(4) การปรับความเปรียบต่างของภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถทำให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากขึ้น แต่การเพิ่มความเปรียบต่างที่สูงเกินไปจะทำให้รายละเอียดของภาพบางส่วนลดลงไปด้วย ค่าของความเปรียบต่างที่เหมาะสมที่จำเป็นต้องปรับเพิ่มขึ้น จึงขึ้นอยู่กับผู้ใช้หรือผู้สังเกต ว่าต้องการรายละเอียดในส่วนใดของภาพ

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีแทรคเอตช์ นอกจากการใช้ฟิล์มไนโตรเซลลูโลสเพื่อบันทึกภาพแล้ว ได้มีผู้ทดลองใช้ฟิล์มชนิดอื่น เช่น ฟิล์ม CR-39 หรือ ฟิล์ม Makrofol-E แต่ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากภาพถ่ายมีความเปรียบต่างต่ำกว่าภาพถ่ายจากฟิล์มไนโตรเซลลูโลส การปรับความเปรียบต่างของภาพให้สูงขึ้นได้ จึงเป็นทางเลือกในการใช้ฟิล์มบันทึกภาพที่สามารถหาได้สะดวกและราคาถูก

วัตถุตัวอย่าง มักประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกันทั้งชนิดและขนาด การถ่ายภาพเพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่มีความคมชัดและมีความเข้มของฟิล์มที่เหมาะสม จึงควรทราบเงื่อนไขเบื้องต้นเกี่ยวกับการดูดกลืนนิวตรอนของวัตถุตัวอย่าง การศึกษา วิจัยเกี่ยวกับวิธีการในวัดปริมาณนิวตรอนที่ผ่านตัวอย่างเข้าทำปฏิกิริยากับฟิล์มที่พอเหมาะ อาจทำให้การกำหนดเงื่อนไขการถ่ายภาพมีความสะดวกและถูกต้องมากขึ้น

สิ่งที่ต้องคำนึงถึง หากจะนำวิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนไปใช้ในงานอุตสาหกรรม ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพ การใช้เวลาในการถ่ายภาพที่สั้นลงจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งมีผลต่อราคาต่อหน่วยในการถ่ายภาพ รวมถึงเวลาที่ทราบผลการถ่ายภาพด้วย

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เป็นเทคนิคที่มีพัฒนาการที่ช้ากว่าการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาค่อนข้างมาก การประยุกต์ใช้ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่

(1) นิวตรอนเป็นอนุภาคที่ต้องใช้ระบบการตรวจวัดค่อนข้างซับซ้อน

(2) นิวตรอนที่มีพลังงานต่างกัน มีอันตรกิริยากับสสารแตกต่างกัน และมีรูปแบบที่ไม่คงที่ โดยมีค่าสูงในบางช่วงของพลังงาน การวิเคราะห์ผลจึงต้องตรวจสอบข้อมูลอย่างละเอียด

(3) การออกแบบระบบการควบคุมลำนิวตรอน มีความซับซ้อนกว่าการควบคุมรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา เนื่องจากต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างนิวตรอนกับวัสดุ ทั้งการดูดกลืนนิวตรอน การกระเจิงนิวตรอน การหน่วงนิวตรอน(Neutron Moderation) และการจับยึดนิวตรอน(Neutron Capture) โดยเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาที่ต้องการ

(4) การออกแบบระบบกำบังรังสี (Radiation Shielding) สำหรับนิวตรอน ต้องคัดเลือกวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนนิวตรอนสูง และต้องเพิ่มเติมวัสดุสำหรับป้องกันรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับอุปกรณ์บริเวณที่ทำการทดลอง

(5) ต้นกำเนิดนิวตรอน มีราคาสูงกว่าต้นกำเนิดรังเอกซ์ และต้นกำเนิดรังสีแกมมามาก โดยเฉพาะต้นกำเนิดนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงทั้งในการก่อสร้าง การติดตั้ง และการเดินเครื่อง

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจึงใช้งานอยู่ในวงจำกัด ในด้านการวิจัย และการถ่ายภาพวัสดุนิวเคลียร์ การพัฒนาเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม จึงจำเป็นต้องแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการถ่ายภาพ ความสะดวกในการใช้งาน ความสะดวกในการรับบริการ และการสนองตอบต่อความต้องการของผู้ใช้