ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

สรุปผลการการวิจัยและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบลำนิวตรอน และการถ่ายภาพชิ้นงาน S-1 ด้วยต้นกำเนิดพลูโทเนียม-เบริลเลียมเป็นเวลา 20 และ 30 วัน ตามลำดับ ผลคือเมื่อนำฟิล์มไปล้างกัดขยายรอยแล้ว ปรากฏเป็นรอยขาวลาง ๆ บนแผ่นฟิล์มเท่านั้น ไม่เกิดภาพให้มองเห็นได้อย่างชัดเจน ที่เป็นเช่นนี้เพราะความเข้มของนิวตรอนพลักซ์ ต่ำเกินไป จำนวนนิวตรอนที่วิ่งผ่านชิ้นงาน และตกกระทบแผ่นฟิล์มมีน้อย ไม่หนาแน่นพอ รอยอนุภาคที่เกิด เมื่อนำไปกัดขยายรอยแล้ว จึงขาดความต่อเนื่อง ทำให้เกิดภาพในลักษณะดังกล่าว สำหรับนิวตรอนฟลักซ์จากการคำนวณได้เท่ากับ 2.7×10^2 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที

การทดสอบเรโซลูชัน ซึ่งใช้แผ่นแคดเมียมเจาะรูขนาด 0.8 มิลลิเมตร จำนวน 11 รูทดสอบ (เนื่องจากเป็นขนาดรูที่สามารถหาได้) ผลคือสามารถหามองขอบของรูที่เจาะไว้ที่ระยะห่างต่าง ๆ กันได้ชัดเจน แสดงว่าเรโซลูชันของการทดลองครั้งนี้ดี นั่นคือประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์สกรีน ($Li_2B_4O_7$) ในการเปลี่ยนเทอร์มัลนิวตรอน ให้เป็นอนุภาคอัลฟาได้สูง (นิวตรอน 100 ตัว เปลี่ยนเป็นอนุภาคอัลฟาได้ประมาณ 5.92 ตัว ซึ่งได้จากการคำนวณและนับรอยอนุภาคต่อพื้นที่)

การถ่ายภาพชิ้นงาน S-1, โพลีเอทิลีน และอิริเดียม-192 ด้วยนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ ๆ นั้น สามารถแยกให้เห็นชนิดของวัสดุธาตุเบาต่าง ๆ ได้ดี แยกให้เห็นความแตกต่าง ของวัสดุชนิดเดียวกันแต่ส่วนผสมธาตุรองต่างกัน ได้ชัดเจน และสามารถตรวจสอบโครงสร้างของอิริเดียม-192 ได้ชัดเจนดีมาก ดังแสดงใน

ตารางที่ 4.1

สำหรับการถ่ายภาพชิ้นงาน S-1, โพลีเอทิลีนและอิริเดียม-192 ด้วยรังสีเอกซ์ แสดงให้เห็นขีดจำกัดในการใช้ตรวจสอบวัสดุธาตุเบาต่าง ๆ และวัตถุมีรังสี ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบกันแล้ว ยิ่งเห็นได้ชัดเจน (ซึ่งกล่าวมาแล้วในบทที่ 3) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

วิธีการพัฒนาการอ่านผลของฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท และฟิล์ม AA-5 ด้วยการอัดภาพลงบนกระดาษอัดภาพ ผลของการอัดภาพจากฟิล์ม (AA-5) ที่ใช้ถ่ายด้วยกล้องถ่ายรูปจากฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท และ AA-5 ปรากฏว่าให้ผลการอ่านสะดวกกว่าการอ่านจากฟิล์มโดยตรงมาก มีความชัดเจนดีพอสมควร และให้รายละเอียดของภาพดีมาก

4.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน ชนิดวัสดุกัมมันตรังสี (radioisotope) ถ่ายภาพนั้น เท่าที่ผ่านมานิยมใช้ แคลิฟอร์เนียม-252 (Cf-252) เพราะมีความเข้มของนิวตรอนสูง อัตราฟิชชันประมาณ 10^{12} นิวตรอนต่อวินาที ต่อน้ำหนัก 1 กรัม มีขนาดเล็ก ให้พลังงานต่ำ สามารถทำให้เป็นเทอร์มัลนิวตรอนได้ง่าย และมีค่าครึ่งชีวิต 2.65 ปี ซึ่งที่ระดับความเข้มนิวตรอนขนาดนี้ สามารถถ่ายภาพชิ้นงานได้เป็นอย่างดี (อัตราฟิชชันระดับ 10^9 นิวตรอนต่อวินาทีก็เพียงพอแล้ว)

เรดิซลูชันที่ทดสอบ ถ้าต้องการให้ได้มาตรฐานที่ถูกต้อง จะต้องใช้ IQI (Image Quality Indicator) สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้แสดงคุณภาพของภาพถ่ายโดยเฉพาะ IQI มีอยู่หลายมาตรฐาน เช่น ASTM เป็นต้น (แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการสั่งเข้ามาใช้ จึงจำเป็นต้องใช้แผ่นแคดเมียมเจาะรูทดสอบไปก่อน)

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคแทร็ก-เอตช์นี้ เป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถตรวจสอบวัสดุธาตุเบาและวัตถุมีรังสีได้ดี โดยเฉพาะแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้งานแล้ว เนื่องจากคุณสมบัติของฟิล์มที่ใช้ ไม่ทำปฏิกิริยากับรังสีเอกซ์ แกมมา และ

แสงสว่าง จึงไม่จำเป็นต้องใช้ห้องมืดในการเตรียมฟิล์มและล้างฟิล์ม ทำให้สะดวกกว่าการถ่ายภาพด้วยวิธีถ่ายตรงและวิธีถ่ายทอด ซึ่งอาศัยปฏิกริยา (n,γ) (จาก prompt gamma และ delayed gamma ตามลำดับ) และดังได้กล่าวมาแล้วว่าความเข้มของนิวตรอนฟลักซ์ เป็นปัจจัยสำคัญในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ดังนั้นท่อบังคับลำนิวตรอนขนาด 6 นิ้ว (ในเครื่องปฏิกรณ์ ฯ) จึงเหมาะสมกว่าท่อ 8 นิ้วที่ใช้ทำการทดลอง เพราะลักษณะท่อวางตรงแนวกลางแกนเครื่องปฏิกรณ์ ฯ มากกว่า (direct beam) ทำให้ได้ความเข้มของนิวตรอนฟลักซ์มากกว่าท่อ 8 นิ้ว ซึ่งเป็นลักษณะแนวสัมผัส (tangential beam)

ในด้านการพัฒนาการอ่านผลฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การเติมสารทึบแสงชนิดต่าง ๆ เช่น โลหะ,น้ำยาย้อม และหมึกเป็นต้น การเคลือบรอยอนุภาคด้วยแผ่นโลหะทึบแสง การใช้สารละลายของเงินแทรกตัว การใช้แสงสะท้อนรอยอนุภาค การใช้น้ำยาเรืองแสง แล้วมองด้วยแสงอุลตราไวโอเลต การใช้แสงที่มีการสั่นทางเดียวผ่านรอยอนุภาคแล้วดูการกระเจิงของแสง และการใช้ฟิล์มที่มีสีมองผ่านฟิลเตอร์ทึบแสงซึ่งความยาวคลื่นสามารถผ่านได้ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการถ่ายภาพชิ้นงานด้วยนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ ฯ

ชิ้นงาน	เวลาที่ใช้ (นาที)	ผลของการการถ่ายภาพ	ข้อดี	ข้อจำกัด
S-1	30	แยกรายละเอียดของวัสดุธาตุเบาต่างชนิดกันได้ดี	เหมาะกับการถ่ายภาพวัสดุธาตุเบาหรือมีส่วนประกอบของธาตุเบา	ความคมของภาพและคอนทรัสต์ต่ำ
โพลีเอทิลีนเอทิลีนผสมโบรอนร้อยละ 5 และร้อยละ 32	150	สามารถมองเห็นความแตกต่างของวัสดุธาตุเบาชนิดเดียวกันแต่ส่วนผสมต่างกันได้ดี	ทำให้ทราบว่าวัสดุมีโครง - สร้างของส่วนผสมที่แตกต่างกัน	ความคมของภาพและคอนทรัสต์ต่ำ
อิริเดียม-192 ความแรง 16 คูรี	60	สามารถถ่ายภาพวัตถุที่มีรังสีได้	ผลการถ่ายภาพดีกว่าการใช้แบบวิธีถ่ายทอด	ความคมของภาพและคอนทรัสต์ต่ำ

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการถ่ายภาพชิ้นงานด้วยรังสีเอกซ์

ชิ้นงาน	พลังงาน	มิลิแอมป์-นาที	ผลการถ่าย	ข้อเสนอแนะ
S-1	62*	12	ปลอกที่เป็นโลหะคมชัดดี คอนทรัสต์ดี แต่ไม่เห็นรายละเอียดของวัสดุธาตุเบา	การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ เหมาะกับการตรวจสอบวัสดุธาตุหนักหรือมีส่วนผสมของธาตุหนัก โดยไม่สนใจส่วนที่ประกอบด้วยธาตุเบา
โพลีเอทิลีน ฯ	62*	6	มองเห็นความเข้มที่แตกต่างกันได้เล็กน้อย	
อิริเดียม-192	120	3	ฟิล์มมีสีดำ ไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างของอิริเดียมได้	

* เป็นพลังงานต่ำที่สุดของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้

หมายเหตุ ระยะจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ถึงฟิล์ม (FFD) เท่ากับ 24 นิ้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย