บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

การตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย (non-destructive testing;NDT) ที่ใช้กันแพร่หลายได้แก่ การถ่ายภาพด้วยรังสี(รังสีเอกซ์และรังสีแกมมา) การใช้คลื่นเสียงความถี่สูง การใช้สารแทรกซึม เป็นต้น เทคนิคที่ยังใช้กันมากคือ การถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งมีจุดเด่นคือ การให้ภาพที่ใช้เป็นหลักฐานการตรวจสอบได้ ทำให้สามารถทบทวนการตรวจสอบได้ง่าย แต่เทคนิคอันนี้มีข้อจำกัดคือ ถ้าชิ้นงานที่จะตรวจสอบเป็นวัสดุธาตุเบา หรือมีส่วนประกอบของธาตุเบา เช่น ยาง ไม้ พลาสติก ดินปืน เป็นต้น การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน จะให้รายละเอียดที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบวัตถุที่มีรังสีได้ด้วย แต่วิธีการอันนี้ยังไม่แพร่หลายมากนัก เพราะจำเป็นต้องใช้ต้นกำเนิดนิวตรอน ที่มีความเข้มสูง ๆ ซึ่งผลิตได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็นส่วนใหญ่

การตรวจสอบวัสดุธาตุเบาและวัตถุมีรังสี โดยการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนที่ใช้กันทั่วไปมี 2 วิธีคือ วิธีถ่ายตรง (direct method) และวิธีถ่ายทอด (transfer method) ซึ่งอาศัยหลักการเกิดปฏิกริยา (n,γ) จากคอนเวอร์เตอร์สกรีนเป็นสำคัญ และในการเตรียมฟิล์มหรือล้างฟิล์ม ต้องใช้ห้องมืดเป็นที่ทำการ จึงเป็นการไม่สะดวกอย่างยิ่ง

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยอาศัยหลักการเกิดปฏิกริยา (n,α) นั่นคือเทคนิคแทร็ก-เอตช์ ซึ่งใช้วิธีการถ่ายภาพเหมือนกับที่กล่าวมาแล้ว แต่สามารถตรวจสอบวัสดุธาตุเบา และวัตถุมีรังสีได้โดยตรง และไม่ต้องใช้ห้องมืดในการทำงาน เนื่องจากฟิล์มที่ใช้ถ่ายภาพไม่เกิดปฏิกริยากับรังสีเอกซ์

แกมมาและแสงสว่าง จึงนับว่าเทคนิคแทร็ก-เอตช์นี้น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาวิธีการเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการตรวจสอบโดยไม่ทำลายต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ด้วยเทคนิคแทร็ก-เอตช์ (track-etch) โดยการใช้รังสีนิวตรอน จากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 (TRR-1/M1)

1.2.2 เพื่อทดลองตรวจสอบวัสดุและชิ้นงานบางชนิด ที่มีส่วนประกอบของธาตุเบาเช่น ลิเทียม (lithium) โบรอน (boron) คาร์บอน (carbon) และตรวจสอบวัตถุมีรังสี เป็นต้น

1.2.3 เพื่อปรับปรุงพัฒนาวิธีดูภาพถ่าย ให้สะดวกต่อการอ่านผล

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ จากตำรา และเอกสารการวิจัย ที่เกี่ยวกับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

1.3.2 จัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์และชิ้นงาน สำหรับถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจากต้นกำเนิดพลูโทเนียม-เบริลเลียม

1.3.3 ทดสอบลำนิวตรอนและถ่ายภาพชิ้นงาน ด้วยต้นกำเนิดนิวตรอนพลูโทเนียม-เบริลเลียม

1.3.4 ดัดแปลง เพิ่มเติมอุปกรณ์ และเตรียมชิ้นงาน เพื่อใช้ในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุงครั้งที่ 1 รวมทั้งการกำบังรังสี

1.3.5 ทดสอบลำนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1

1.3.6 ตรวจสอบลำนิวตรอนฟลักซ์ และหาอัตราส่วนแคดเมียม

1.3.7 หาเงื่อนไขการกัดขยายรอยอนุภาคบนฟิล์ม

1.3.8 ทดสอบเรดิซลูชัน

1.3.9 ถ่ายภาพชิ้นงานด้วยนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1

1.3.10 พัฒนาการอ่านผลจากฟิล์ม

1.3.11 ถ่ายภาพชิ้นงานเดิมด้วยรังสีเอกซ์

1.3.12 เปรียบเทียบผลการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนกับรังสีเอกซ์

1.3.13 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4 การสำรวจการวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ.2523 นายประสม สุขสว่าง ได้เป็นผู้ริเริ่มใช้นิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1 ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ทำการถ่ายภาพโดยวิธีตรงและวิธีถ่ายทอด ด้วยฟิล์มรีกดักแบบ AA ซึ่งเป็นฟิล์มที่ใช้กับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ชิ้นงานที่ตรวจสอบคือ สารรังสีอิริเดียม-192 และลูกปืนสั้นชนิดต่าง ๆ จำนวน 4 ลูก ผลปรากฏว่าภาพถ่ายที่ได้คมชัด และให้รายละเอียดดีมาก เพราะใช้แผ่นคอนเวอร์เตอร์สกรีน ได้แก่ แกโดลิเนียม (Gadolinium) แคดเมียม (Cadmium) อินเดียม (Indium) และดิสโปรเซียม (Dysprosium) ซึ่งอาศัยการเกิดปฏิกริยา (n,γ) ทำให้เกิดภาพ

ต่อมาในปี พ.ศ.2524 นายยุทธพงศ์ บุษมงคล ได้ทดลองถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ ฯ เช่นกัน โดยใช้ท่อ 2 นิ้วเป็นช่องปล่อยนิวตรอน ฟิล์มที่ใช้คือเซลลูโลสไนเตรท ชิ้นงานที่ตรวจสอบคือ ไฟแช็ค ลูกปืน และไอซี (integrated circuit) ผลของภาพถ่ายที่ได้ให้รายละเอียดของภาพบางส่วนดี แต่ความคมของภาพไม่ดี และคอนทรัสต์ต่ำ ซึ่งอาจจะเป็นเพราะความเข้มของนิวตรอน การบังคับลำนิวตรอน เวลาในการถ่ายภาพ หรือขบวนการกัดขยายรอยอนุภาค ยังไม่มีความสัมพันธ์กัน จึงทำให้ผลการถ่ายภาพยังไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังไม่ได้มีการพัฒนาวิธีดูภาพถ่าย ให้สะดวกต่อการอ่านผล

ดังนั้นจึงควรศึกษาวิธีการและอุปกรณ์สำคัญ ของการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนด้วยเทคนิคอันนี้โดยละเอียด และนำคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทมาใช้ตรวจ

สอบวัตถุมีรังสีอีกทางหนึ่ง ตลอดทั้งศึกษาวิธีการพัฒนาวิธีดูภาพถ่ายให้สะดวกชัดเจนยิ่งขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.5.1 ได้วิธีการตรวจสอบชิ้นงาน ที่รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาตรวจสอบได้ยาก

1.5.2 เป็นจุดเริ่มต้นของการนำเทคนิคแทร็ก-เอตช์ มาใช้ประโยชน์ในด้านการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

1.5.3 สามารถตรวจสอบวัตถุที่มีรังสีได้สะดวก ด้วยเทคนิคพิเศษนี้

1.5.4 เป็นแนวทางที่จะนำเทคนิคแทร็ก-เอตช์ มาใช้ตรวจสอบแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้งานแล้วในอวกาศต่อไป

1.6 วิวัฒนาการของการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

ในปี พ.ศ.2475 นายแชดวิด (Chadwick) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษก็ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญทางด้านวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ โดยพบว่าเมื่อนิวตรอนซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างจากรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา วิ่งผ่านวัตถุใด ๆ อันตรกริยาของนิวตรอน จะมีผลต่อนิวเคลียสมากกว่าอิเลคตรอนที่อยู่รอบ ๆ อะตอม ดังนั้นนิวตรอนจึงเป็นรังสี (หรืออนุภาค) อีกชนิดหนึ่งที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัว (ionization) หรือเกิดยากกว่ารังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

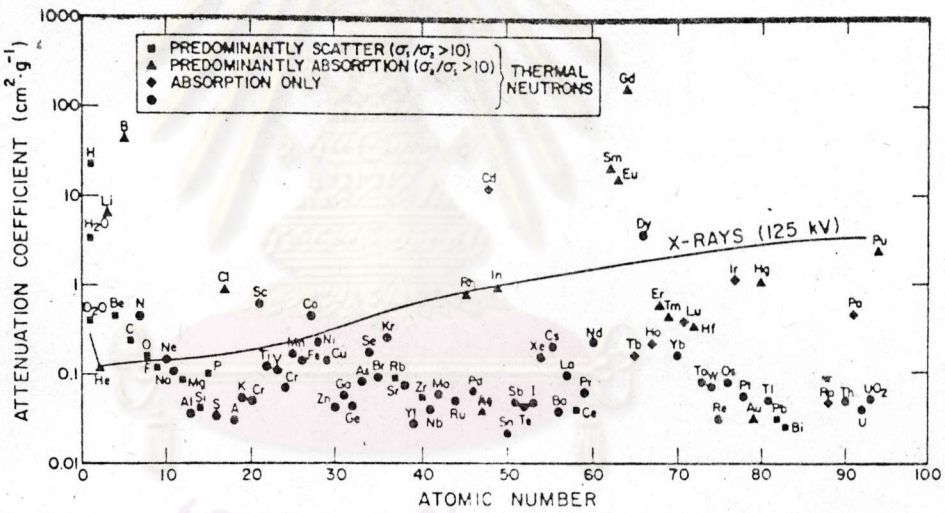
ประมาณปี พ.ศ.2478 นายคัลล์มานน์นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน เป็นคนแรกที่ศึกษาพื้นฐาน การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยเริ่มศึกษา "the potential value of the relative difference in attenuation between X-rays and slow neutrons" ซึ่งใช้เครื่องเร่งอนุภาคขนาดเล็กเป็นต้นกำเนิดนิวตรอน แต่เนื่องจากความเข้มของนิวตรอนที่ใช้ ยังไม่เพียงพอการศึกษาเรื่องนี้จึงได้หยุดชะงักไป

ต่อมานายปีเตอร์ (Peter) ได้ทดลองเรื่องนี้ต่อ โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาค ที่ให้นิวตรอนฟลักซ์สูงกว่าและผลของภาพถ่ายที่ได้ก็ดีกว่า ส่วนนายทิวลิสและนายเดอร์บิเชียร์ (Thewlis and Derbyshire) ชาวอังกฤษได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ดังนี้

1. ภาพถ่ายจากนิวตรอนที่คุณภาพดีที่สุด ต้องใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์เป็นต้นกำเนิดนิวตรอน

2. นิวตรอนสามารถใช้ถ่ายภาพวัสดุได้หลายชนิด ตั้งแต่วัสดุธาตุเบาที่อยู่ในธาตุหนัก จนถึงโลหะหนัก ๆ และชีววัตถุ (biological objects) เป็นต้น

3. ใช้หลักการคำนวณและกราฟ แสดงการเปรียบเทียบค่าแอทเทนูเอชัน (attenuation) ระหว่างรังสีเอกซ์และเทอร์มัลนิวตรอน ของธาตุต่าง ๆ



รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของธาตุต่าง ๆ สำหรับรังสีเอกซ์ (เส้นทึบ) และเทอร์มัลนิวตรอน

จากรูปที่ 1.1 แสดงความแตกต่างของแอทเทนูชันที่ธาตุเบาของเทอร์มัลนิวตรอนมีมากกว่ารังสีเอกซ์ ในทางตรงกันข้าม เทอร์มัลนิวตรอนสามารถวิ่งผ่านวัตถุธาตุหนัก ๆ ได้อย่างง่าย และจากคุณสมบัติดังกล่าวจึงเป็นจุดที่น่าสนใจ ในการใช้เทอร์มัลนิวตรอนถ่ายภาพตรวจสอบวัสดุประเภท พลาสติก กระดาษ วัสดุประสาน (adhesives) ชิ้นส่วนวัตถุระเบิด หรือไม้ในชิ้นส่วนของโลหะ

ข้อดีอื่น ๆ ของการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ได้แก่

1. สามารถแยกให้เห็นความแตกต่างของไอโซโทปบางธาตุได้ ตัวอย่างเช่น แคดเมียม-113 เป็นต้น

2. ใช้ในการตรวจสอบวัตถุที่มีรังสีได้ เพราะมีเทคนิคที่ทำให้วัสดุบันทึกภาพไม่เกิดปฏิกริยากับรังสีแกมมาได้

3. สามารถใช้ตรวจสอบวัตถุมีรังสีได้สะดวกเช่น แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว (spent fuels) เพราะใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ ๆ ได้เลย

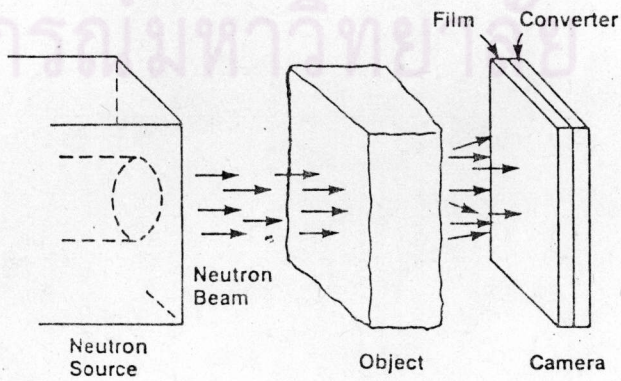
ประมาณปี พ.ศ.2490-2500 ได้มีการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ที่ฮาร์เวลล์ (Harwell) ประเทศอังกฤษ และที่สถาบันวิจัยอาร์กอนน์ (Argonne National Lab.) ประเทศสหรัฐอเมริกา จึงได้รื้อฟื้นการศึกษาวิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนอีกครั้ง

ในปี พ.ศ.2506 เป็นปีแรกที่เริ่มมีการใช้นิวตรอนถ่ายภาพวัสดุเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่มีรังสี ส่วนชิ้นงานอื่น ๆ ได้แก่ วัตถุระเบิดขนาดเล็ก ชิ้นส่วนยานอวกาศ เป็นต้น

1.7 วิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 แบบ (3) คือ

1. การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายตรง (direct method)



รูปที่ 1.2 อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

ในรูปที่ 1.2 แสดงระบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สำคัญในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ซึ่งชิ้นงานเป็นวัตถุที่ไม่มีรังสี วิธีการนี้เรียกว่า "วิธีถ่ายตรง" ลำนิวตรอนที่ใช้ส่วนมาก จะได้จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบแตกตัว (fission) ซึ่งมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือ

- ความเข้มของนิวตรอน (neutron intensity)
- สเปคตรัมของพลังงานนิวตรอน (spectrum of neutron energy)
- การบังคับลำนิวตรอน (neutron collimation)

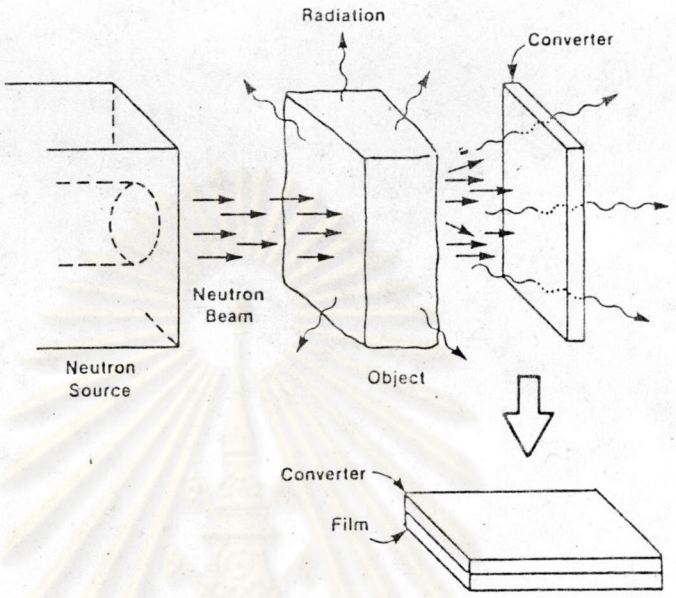
หลักการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เมื่อนิวตรอนวิ่งผ่านวัตถุใด ๆ ก็อาศัยการอันตรกริยาของนิวตรอนที่มีต่อนิวคลีไอ (nucliei) ซึ่งจะเกิดการดูดกลืนและการกระเจิง (absorption and scattering) จากคุณสมบัติเหล่านี้ จะสามารถบันทึกภาพวัตถุไว้ได้

เพราะว่านิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัว (ionization) จึงไม่ทำปฏิกริยากับฟิล์มโดยตรง จึงต้องใช้ คอนเวอร์เตอร์สกรีน (converter screen) เป็นตัวจับนิวตรอนแล้วปล่อยรังสีที่เหมาะสมออกมา คอนเวอร์เตอร์สกรีนที่ใช้ มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะบาง ๆ ซึ่งสามารถทำให้เกิดอิเลคตรอน อนุภาคอัลฟา รังสีแกมมาหรือแสงได้ ฟิล์มที่ใช้ต้องเลือกให้ถูกต้องกับชนิดของคอนเวอร์เตอร์สกรีน ส่วนมากที่นิยมใช้ได้แก่ ฟิล์มสำหรับรังสีเอกซ์ และฟิล์มแทร็ก-เอตช์ ภาพถ่ายที่ได้จะมีคุณภาพสูง เมื่อมีการจัดวางฟิล์มกับคอนเวอร์เตอร์สกรีน ให้ชิดกันที่สุดเท่าที่จะทำได้ และถ้าเป็นไปได้ควรใช้ตลับฟิล์มที่เป็นสูญญากาศ (vacuum cassette)

2. การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายทอด (transfer method)

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนวิธีนี้ เหมาะสำหรับใช้ถ่ายภาพวัสดุกัมมันตรังสี (ที่มีความแรงรังสีเพียงพอที่จะทำให้เกิดภาพ) เหตุที่การถ่ายภาพวัสดุกัมมันตรังสีจะต้องใช้วิธีนี้ก็เพราะว่าถ้าใช้วิธีถ่ายตรงแล้ว ฟิล์มบันทึกภาพจะกลายเป็นสีดำไปเสียก่อน เนื่องจากผลของรังสีแกมมา ดังนั้นจึงต้องใช้คอนเวอร์เตอร์สกรีนที่มีคุณลักษณะในการดูดจับนิวตรอนได้ดี แล้วให้รังสีชนิดอื่นออกมา จากนั้นนำคอนเวอร์เตอร์สกรีน

ดังกล่าว ไปประกบติดกับแผ่นฟิล์มที่จะทำบันทึกภาพ เพื่อให้เกิดภาพอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งในขบวนการขั้นสุดท้ายนี้ เรียกว่า "ออริตเรดิริอกราฟี" (autoradiography)



รูปที่ 1.3 การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยวิธีถ่ายทอด

จากสองวิธีที่กล่าวมาแล้วสามารถกล่าวได้ว่า การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนมีความเหมาะสมกับการถ่ายภาพชิ้นงาน 2 กลุ่มคือ

ก. กลุ่มวัตถุกัมมันตรังสี ซึ่งปกติแล้วจะทำให้ฟิล์มเป็นสีดำ และชิ้นงานที่ไม่สามารถถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมาได้

ข. กลุ่มชิ้นงานสำคัญ ที่สลับซับซ้อน ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ (parameter) ของนิวตรอนแอทเทนูเอชันเป็นตัวกำหนด ได้แก่

1. วัสดุธาตุเบา (เลขอะตอมต่ำ)

2. การทะลุทะลวงผ่านวัสดุ ที่มีความหนาแน่นสูง

3. การผันแปรของไอโซโทปต่าง ๆ (distinguish isotope variation)