บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัจจุบันการตรวจสอบโดยวิธีไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive testing) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมและอื่น ๆ คือการถ่ายภาพตรวจสอบโครงสร้างภายใน ซึ่งจะเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์และวัตถุต่าง ๆ ปราศจากข้อบกพร่องอันเกินขีดกำหนดตามมาตรฐาน และจะนำมาซึ่งการประหยัด ความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ทั้งยังเป็นการประกันคุณภาพอีกด้วย การตรวจสอบด้วยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสีที่แพร่หลายใช้กันอยู่ในประเทศไทยขณะนี้ คือ วิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ (x-ray) และรังสีแกมมา (gamma-ray) ซึ่งวิธีทั้งสองนี้ถ้านำไปใช้ในการตรวจสอบกับวัตถุบางชนิด เช่น ดินส่งกระสุน ชนวนจุดระเบิด สารประกอบที่มีส่วนผสมของพวกไฮโดรเจนมาก ๆ วัตถุที่มีรังสีในตัวเอง เช่น สารรังสี และแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้ว จะให้ผลในการตรวจสอบไม่ละเอียดพอยากแก่การที่จะชี้ให้เห็นถึงส่วนที่บกพร่องเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของวัตถุที่มีรังสีในตัวเอง แล้วไม่สามารถตรวจสอบได้เลยซึ่งจะเป็นอุปสรรคอย่างยิ่งในการประกันคุณภาพ

ดังนั้นความคิดในการที่จะใช้วิธีการอย่างอื่นมาตรวจสอบจึงเกิดขึ้น นั่นคือวิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เพราะวัตถุเหล่านี้ส่วนมากจะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (mass attenuation coefficient) ค่อนข้างสูงกับเทอร์มัลนิวตรอน และยังสามารถใช้เทคนิคการถ่ายภาพกับวัตถุที่มีรังสีในตัวเองได้อีกด้วย อีกทั้งยังมีเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอนที่ดี ปกติใช้ในการผลิตไอโซโทป งานวิจัยและอื่น ๆ อยู่แล้ว ดังนั้นถ้าได้มีการศึกษาหาเทคนิคและออกแบบอุปกรณ์ประกอบการทดลองให้เหมาะสมก็น่าจะใช้เครื่องปฏิกรณ์ฯ นี้ เป็นแหล่งกำเนิดนิวตรอนในการศึกษาถ่ายภาพด้วยนิวตรอนได้ ทั้งยังเป็นผลให้การใช้ประโยชน์จากเครื่องปฏิกรณ์มีคุณค่าเพิ่มขึ้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1.2.1 เพื่อเป็นการศึกษางานด้านการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เช่น วิธีออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อประกอบเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ในงานถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

1.2.2 ทำการถ่ายภาพของวัตถุบางชนิด และนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ ในงานด้านตรวจสอบวัตถุต่าง ๆ

1.2.3 ทำการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ด้วยวิธีโดยตรง และวิธีถ่ายทอด (transfer method)

1.3 วิธีดำเนินการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและค้นคว้าหาเอกสาร เพื่อหาวิธีการสร้างอุปกรณ์เพื่อใช้ในงานถ่ายภาพด้วยนิวตรอนที่เหมาะสมกับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1 ปรับปรุงครั้งที่ 1

1.3.2 ออกแบบสร้างอุปกรณ์หยุดนิวตรอน (beam stop) โดยศึกษาและคำนวณการกำบังนิวตรอน รังสีแกมมา ที่ออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ฯ ในขณะที่เครื่องปฏิกรณ์ฯ ทำงานอยู่ที่กำลัง 1000 กิโลวัตต์

1.3.3 ศึกษาหาค่า cadmium ratio เพื่อทดสอบหาค่าเทอร์มัลนิวตรอน และนิวตรอนเร็ว ทั้งนี้เพื่อดูว่าจะใช้เทอร์มัลนิวตรอนถ่ายภาพได้หรือไม่

1.3.4 ทำการหาความแรงของรังสีแกมมาโดยวิธีคำนวณ และนำมาเปรียบเทียบกับวิธีวัด

1.3.5 ศึกษาและจัดระบบตัวบีบลำนิวตรอน (beam collimator) เพื่อการถ่ายภาพนิวตรอนที่เหมาะสมโดยใช้กับแผ่นเพิ่มความเข้ม (intensifying screen) ต่าง ๆ เช่น แกโดลิเนียม อินเดียม และแคดเมียม เป็นต้น

1.3.6 นำผลที่ถ่ายด้วยเทอร์มัลนิวตรอน เปรียบเทียบกับการถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

1.4 การสำรวจ การวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เท่าที่สำรวจการวิจัยที่ทำในประเทศไทย ยังไม่มีผู้ใดให้รายงานการศึกษาและทำ

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

1.5 ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัยเรื่องนี้

1.5.1 เพื่อเป็นการริเริ่มงานทางด้านการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนในประเทศไทย

1.5.2 เพื่อเป็นการตรวจสอบทางด้านการประกันคุณภาพของวัตถุบางชนิด ซึ่งถ้าใช้ตรวจสอบด้วยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ หรือรังสีแกมมา จะให้รายละเอียดไม่แน่นอน

1.5.3 จะมีประโยชน์เป็นอย่างมากในการตรวจสอบหาความบกพร่องของดิน-ส่งกระสุน (ดินปืน) ชนวนจุดระเบิด เป็นต้น

1.5.4 สามารถนำมาถ่ายภาพวัสดุที่มีสารรังสีในตัวเอง เช่น แท่งเชื้อเพลิง-นิวเคลียร์และสารรังสี

ในปี ค.ศ. 1932 Chadwick นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้เป็นผู้ค้นพบอนุภาคนิวตรอน (neutron) ซึ่งมีน้ำหนัก 1.00867 หน่วยมวลอะตอม (atomic mass unit) หรือ 1.6744×10^{-24} กรัม มีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง

อนุภาคนิวตรอนมีค่าครึ่งชีวิต (half life) อยู่ในช่วงระยะเวลาประมาณ 12 นาที และไม่คงตัว แต่จะสลายตัวกลายเป็นอนุภาคโปรตอน อนุภาคอิเลคตรอน และอนุภาค-นิวตริโน เนื่องจากอนุภาคนิวตรอนมีประจุไฟฟ้าเป็นกลางจึงไม่อยู่ในอิทธิพลของสนามแม่เหล็ก-ไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง

ขณะที่รังสีแกมมาจะมีปฏิกิริยากับอนุภาคอิเลคตรอนที่หมุนอยู่รอบวงโคจรของนิวเคลียส ส่วนอนุภาคนิวตรอนนั้นจะวิ่งผ่านกลุ่มของอนุภาคอิเลคตรอนเหล่านี้แล้วเข้าไปทำปฏิกิริยากับนิว-เคลียสโดยตรง และเนื่องจากนิวตรอนมีคุณสมบัติเฉพาะ จึงใช้เป็นเครื่องตรวจสอบหาค่าอย่างละเอียดของค่ามาโครสคอปิค ครอสเซคชัน และไมโครสคอปิค ครอสเซคชัน ของวัตถุต่าง ๆ

โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่หน้าตัดขวาง (cross-section) ไมโครสคอปิค ครอสเซคชัน มีหน่วยเป็น (barn) 1 บาร์น มีค่าเท่ากับ 10^{-24} ตารางเซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดขวางทั้งหมด (total cross-section) มีค่าเท่ากับผลบวกของพื้นที่หน้าตัดขวางของการดูดกลืน (absorption cross-section) กับพื้นที่หน้าตัดขวาง

ของการกระเจิง (scattering cross-section) ซึ่งค่าเหล่านี้จะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละวัตถุและแต่ละพลังงานของนิวตรอน

ค่าพื้นที่หน้าตัดขวางจะไม่คงที่ แต่จะขึ้นอยู่กับพลังงานของอนุภาคนิวตรอนที่วิ่งมาชนและโครงสร้างของนิวเคลียสที่เป็นเป้า

ค่าพื้นที่หน้าตัดขวางของการดูดกลืนสำหรับนิวไคลด์บางชนิดจะเป็นสัดส่วนกลับกับความเร็วของอนุภาคนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำ

ค่าการดูดกลืนสูงสุด (absorption peak) อาจเกิดขึ้นที่ค่าของพลังงานค่าหนึ่งของอนุภาคนิวตรอน เรียกว่า เรสโซแนนส์ (resonance) เนื่องจากนิวเคลียสจะมีเอกไซเตดสเตท ต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการเกาะตัวของอนุภาคในนิวเคลียส ดังนั้นอนุภาคนิวตรอนกับนิวเคลียสจะมีโอกาสรวมตัวกันเพื่อเป็นคอมปาวน์นิวเคลียสได้มาก ถ้าพลังงานของอนุภาคนิวตรอนพอที่จะทำให้คอมปาวน์นิวเคลียสไปอยู่ที่เอกไซเตดสเตท ขั้นใดขั้นหนึ่งได้ ค่าพื้นที่หน้าตัดขวางจะปรากฏเป็น เรสโซแนนส์ขึ้น

อนุภาคนิวตรอนทำปฏิกิริยากับนิวเคลียสทำให้เกิดแบบของปฏิกิริยาที่สำคัญดังนี้ คือ

1. อิแลสติคสแคตเทอริง (elastic scattering) เมื่ออนุภาคนิวตรอนชนกับนิวเคลียสซึ่งอยู่ที่กราวน์สเตท (ground state) แล้วสะท้อนออกมาโดยที่นิวเคลียสนั้นก็ยังอยู่ที่กราวน์สเตท ปฏิกิริยาแบบนี้อยู่ในรูป (n,n)

2. อินอิแลสติคสแคตเทอริง (inelastic scattering) คล้ายข้อ 1 แต่หลังชนนิวเคลียสอยู่ที่เอกไซเตดสเตท (excited state) เป็นปฏิกิริยาแบบ เอนโดเทอมิค (endothermic) เพราะพลังงานส่วนหนึ่งจะอยู่ที่นิวเคลียส ซึ่งต่อมาจะคายออกมาในรูปของรังสีแกมมาที่เรียกว่า อินอิแลสติคแกมมา ปฏิกิริยาแบบนี้อยู่ในรูป (n,n')

3. เรดิเอทิฟ แคพเจอร์ (radiative capture) เกิดขึ้นได้เมื่ออนุภาคนิวตรอนถูกนิวเคลียสจับไว้ และจะปล่อยรังสีแกมมาออกมาภายหลัง ซึ่งเรียกว่า แคพเจอร์แกมมา เป็นปฏิกิริยา เอกโซเทอมิค ปฏิกิริยาแบบนี้อยู่ในรูป (n,γ)

4. ปฏิกิริยาที่ให้อนุภาคที่มีประจุ เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคนิวตรอนถูกจับไป และได้อนุภาคอื่นออกมา เช่นปฏิกิริยาแบบ (n,α), (n,P) ซึ่งอาจจะเป็น เอนโดเทอมิค หรือ เอกโซเทอมิค ก็ได้

5. ปฏิกิริยาที่ให้นิวตรอน จะเป็นปฏิกิริยาแบบ (n, 2n) และ (n, 3n) ซึ่งเป็นแบบ เอนโดเทอมิค เพราะต้องดึงอนุภาคนิวตรอนออกจากนิวเคลียส ปฏิกิริยาแบบ (n, 2n) จะพบมากในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่มี D_2O หรือ Be เพราะ D^2 และ Be^9 มีอนุภาคนิวตรอนเกาะอยู่อย่างหลวม ๆ หลุดออกได้ง่าย

6. ปฏิกิริยาแบบฟิชชัน (fission) เป็นปฏิกิริยาเมื่ออนุภาคนิวตรอนชนกับธาตุหนักแล้วแตกตัวเป็นธาตุที่เบากว่า 2 ตัว พร้อมทั้งให้พลังงานและรังสีนิวเคลียร์หลายประเภทออกมาด้วย ปฏิกิริยาแบบนี้เป็นต้นกำเนิดของพลังงานนิวเคลียร์

อนุภาคนิวตรอนสามารถแบ่งตามพลังงานได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การแบ่งอนุภาคนิวตรอนตามพลังงาน

นิวตรอนช้า (slow neutron)	0.00 eV - 10^3 eV
นิวตรอนเย็น (cold neutron)	$<$0.01 eV
เทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron)	0.01 eV - 0.3 eV
อิพิเทอร์มัลนิวตรอน (epithermal neutron)	0.3 eV - 10^4 eV
เรสโซแนนส์นิวตรอน	1 eV - 10^2 eV
นิวตรอนเร็ว (fast neutron)	10^3 eV - 20 MeV
รีเลทิวิสติคนิวตรอน (relativistic)	$>$20 MeV

แหล่งกำเนิดอนุภาคนิวตรอนสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน สามารถแบ่งเป็นแหล่งใหญ่ ๆ คือ

1. เครื่องเร่งอนุภาค (accelerator)

เครื่องเร่งอนุภาคใช้เร่งอนุภาคโปรตอน ดิวทีเรียม ทริเตียม หรืออนุภาคอัลฟา ให้มีพลังงานสูง แล้วใช้ยิงเป้า (target) จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้นิวตรอนออกมา เช่น ปฏิกิริยา

$$^{2}_{1}D + {}^{2}_{1}D \longrightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 3.28\ MeV$$

$$^{3}_{1}T + {}^{2}_{1}D \longrightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 17.6\ MeV$$

$$^{9}_{4}Be + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{9}_{5}B + {}^{1}_{0}n - 1.85\ MeV$$

$$^{9}_{4}Be + {}^{2}_{1}D \longrightarrow {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n + 4.35\ MeV$$

ในปัจจุบันนี้เครื่องเร่งอนุภาคสามารถให้ความเข้มของนิวตรอนได้ถึง 2×10^{9} นิวตรอน ต่อตารางเซนติเมตร ต่อวินาที โดยใช้น้ำเป็นตัวลดความเร็วนิวตรอน (moderator)

2. แหล่งกำเนิดนิวตรอนที่ได้จากสารกัมมันตรังสี

มีสารกัมมันตรังสีอยู่หลายชนิด ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ (α, n) หรือ (γ, n) ให้นิวตรอนพลังงานต่าง ๆ ออกมา แต่ความเข้มของนิวตรอนจะน้อยกว่าเครื่องเร่งอนุภาค หรือ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ แหล่งกำเนิดนิวตรอนสำหรับการถ่ายภาพด้วยเรดิโอกราฟนิวตรอนที่ใช้กันมากดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แหล่งกำเนิดนิวตรอนที่ได้จากสารกัมมันตรังสี

แหล่งกำเนิด	แบบของปฏิกิริยา	ครึ่งชีวิต	ข้อเสนอแนะ
^{124}Sb-Be	(γ, n)	60 วัน	ครึ่งชีวิตสั้น, รังสีแกมมาสูง แต่มีพลังงานของนิวตรอนต่ำง่ายที่จะทำเป็นเทอร์มัล-นิวตรอน, ราคาถูก
^{210}Po-Be	(α, n)	138 วัน	ครึ่งชีวิตสั้น รังสีแกมมาที่รบกวนน้อย และราคาถูก
^{241}Am-Be	(α, n)	458 ปี	ครึ่งชีวิตยาว, ราคาแพง แต่ง่ายในการที่จะป้องกันการรบกวนจากรังสีแกมมา
^{241}Am-^{242}Cm -Be	(α, n)	163 วัน	ครึ่งชีวิตสั้น, ราคาปานกลาง ความเข้มนิวตรอนสูง
^{252}Cf	Spontaneous fission	2.65 ปี	ครึ่งชีวิตยาว ความเข้มนิวตรอนสูง รูปร่างของแหล่งกำเนิดเล็กและให้พลังงานต่ำซึ่งเป็นสิ่งได้เปรียบในการทำให้เป็นเทอร์มัลนิวตรอน

3. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

เครื่องปฏิกรณ์ฯ สามารถผลิตนิวตรอนได้เป็นจำนวนมาก และเครื่องปฏิกรณ์ฯ ที่มีกำลังมากกว่า 1 กิโลวัตต์ ขึ้นไปถ้าได้มีการออกแบบอุปกรณ์เบนลำนิวตรอนให้เหมาะสมก็นำ

ไปเป็นแหล่งกำเนิดสำหรับการใช้ประโยชน์ในงานถ่ายภาพด้วยนิวตรอนได้ ถ้ากำลังของเครื่อง-ปฏิกรณ์ฯ ยิ่งสูง ก็จะทำให้ความเข้มของนิวตรอนสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะเป็นผลทำให้การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

เครื่องปฏิกรณ์ฯ วิจัย ใช้งานได้หลายทาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเครื่องอำนวยความสะดวกในการอาบรังสี โดยทั่ว ๆ ไป ความเข้มของนิวตรอนจะอยู่ในช่วง 10^{12} ถึง 5×10^{14} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตร ต่อวินาที และกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ อยู่ในช่วง 250 กิโลวัตต์ ถึง 50 เมกกะวัตต์