บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพอสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกัดรอยนิวตรอนเร็วบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรททั้งชนิด LR115 และชนิด CN85 โดยอาบนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดพลูโตเนียม–เบอริลเลียม และจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ และกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซนต์ เพื่อให้ได้ความหนาแน่นสูงสุด ปรากฏผลดังนี้

ฟิล์มชนิด	LR115	ที่ 55	องศาเซลเซียส	เวลาที่เหมาะสม	130 นาที
"	LR115	ที่ 60	"	"	80 นาที
"	LR115	ที่ 65	"	"	40 นาที
"	CN85	ที่ 55	"	"	90 นาที
"	CN85	ที่ 60	"	"	45 นาที
"	CN85	ที่ 65	"	"	25 นาที

จากการทดลองพบว่าเงื่อนไขในการกัดรอยนิวตรอนเร็วเมื่ออาบนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดพลูโตเนียม–เบอริลเลียม และจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ ให้ผลเหมือนกัน และเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นที่ได้จากการกัดรอยที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 องศาเซลเซียส พบว่าไม่มีความแตกต่างให้เห็น จึงเลือกใช้การกัดรอยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในการวิจัยต่อ ๆ ไป ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ไม่เหมาะสมในการใช้งาน เนื่องจากต้องใช้เวลาในการกัดรอยนาน และที่ 65 องศาเซลเซียส แม้จะใช้เวลาสั้น แต่ยากต่อการควบคุมความเข้มข้นของ

สารละลายให้คงที่ เนื่องจากการระเหยของน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้แล้วยังได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิอื่น ๆ เช่น 50 องศาเซลเซียส พบว่าต้องใช้เวลากัดรอยนานมาก และที่ 70 องศาเซลเซียส การกัดรอยเป็นไปอย่างรวดเร็ว และเกิดการระเหยของน้ำอย่างมากจึงไม่ทำการทดลองต่อ

ลักษณะของกราฟที่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของรอยนิวตรอนเร็วกับเวลาในการกัดรอยที่อุณหภูมิ 55, 60, 65 องศาเซลเซียส โดยนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดพลูโตเนียม–เบอริลเลียม และเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ บนฟิล์มทั้งชนิด LR115 และ CN85 จะมีลักษณะคล้ายกัน ดังรูปที่ 4.4, 4.5, 4.6, 4.9, 4.10, 4.11 กล่าวคือ ในช่วงเริ่มต้นเวลาการกัดน้อย ความหนาแน่นของรอยต่ำและลักษณะของรอยมีขนาดเล็ก เมื่อเพิ่มเวลากัดรอยมากขึ้นความหนาแน่นของรอยจะเพิ่มขึ้นไปจนถึงจุด ๆ หนึ่ง แล้วความหนาแน่นของรอยจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งอธิบายได้ว่า เนื่องจากรอยบนฟิล์มเกิดจากนิวตรอนเร็วเข้าทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับธาตุในฟิล์มนั้นแล้วให้อนุภาคมีประจุออกมา ซึ่งมักจะเป็นโปรตอน ทำให้เกิดรอยเป็นทางยาวขนาดเล็กขึ้นในเนื้อฟิล์ม และมีจุดเริ่มต้นของรอยได้ในทุก ๆ ชั้นของฟิล์ม แล้วแต่ปฏิกิริยานิวเคลียร์จะเกิดในที่ใด เมื่อนำฟิล์มไปกัดรอยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในตอนแรกใช้เวลาน้อย รอยจึงมีขนาดเล็กและปริมาณน้อย เนื่องจากรอยที่อยู่ลึกลงไปในเนื้อฟิล์มไม่ได้ถูกกัด เมื่อเพิ่มเวลาความหนาแน่นของรอยจึงเพิ่มขึ้น และรอยบนผิวจะถูกกัดให้เลือนไปเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับรอยที่ปรากฏใหม่ ความหนาแน่นจึงเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาต่อไปจนถึงจุดหนึ่งที่รอยที่ปรากฏใหม่มีค่าน้อยกว่ารอยที่ถูกลบเลือนไป ความหนาแน่นของรอยจึงลดลง

ผลสรุปของการวิจัยในขั้นนี้ สรุปได้ว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 เปอร์เซนต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท ชนิด LR115 จะใช้เวลากัด 80 นาที และ ฟิล์มชนิด CN85 ใช้เวลากัด 45 นาที

5.1.2 ค่าแบคกราวนด์ของฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทชนิด LR115 มีมากกว่าชนิด CN85 เนื่องจากฟิล์มชนิด LR115 ได้ทำการสั่งซื้อมาเป็นเวลานานกว่าชนิด CN85 ทำให้เกิดค่าแบคกราวนด์เนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น นิวตรอนเร็วจากรังสีคอสมิคในอากาศ นอกจากนี้เงื่อนไขในการกัดรอยของฟิล์ม LR115 ใช้เวลากัดรอยนานกว่าฟิล์ม CN85 ทำให้ค่าแบคกราวนด์เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วแบคกราวนด์ส่วนใหญ่จะเกิดในเนื้อฟิล์ม เนื่องจากกรรมวิธีในการผลิต

5.1.3 จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของรอยนิวตรอนเร็วบนฟิล์มทั้งสองชนิด กับเวลาในการอบฟิล์ม พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น ดังกราฟรูปที่ 4.17 และ 4.18 โดยพิจารณาจากค่า ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ร่วม (Correlation) โดยที่ได้ค่าใกล้เคียงกับค่า 1 แสดงว่ากราฟที่ได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดี ซึ่งเป็นการยืนยันว่าจำนวนรอยของนิวตรอนเร็ว จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของนิวตรอน ทำให้สามารถนำฟิล์มเซลลูโลสไนเตรททั้งสองชนิดไปวัดปริมาณนิวตรอนได้

5.1.4 จากการทดลองหาฟลักซ์ของนิวตรอนเร็ว เนื่องจากต้นกำเนิดพลูโตเนียม-เบอริลเลียม และจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์โดยใช้วิธีนิวตรอนแอคติเวชัน ได้ใช้ธาตุแมกนีเซียมและอลูมิเนียม เป็นตัววัด ได้ค่าฟลักซ์ของนิวตรอนเร็ว 2.257×10^{10} นิวตรอน/วินาที-ซม.^{2} ในการวัดฟลักซ์ของนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดพลูโตเนียม-เบอริลเลียม เนื่องจากมีค่าฟลักซ์ต่ำจึงใช้กำมะถันเป็นตัววัด ปรากฏผลฟลักซ์ของนิวตรอนเร็ว 1.039×10^5 นิวตรอน/วินาที-ซม.^{2}

5.1.5 การวิจัยเพื่อหาความไวในการบันทึกรอยของอนุภาคนิวตรอนเร็วบนฟิล์มเซลลูโลสไนเตรท ทั้งสองชนิดได้ผลดังนี้ คือ

ต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว	ฟลักซ์ของนิวตรอนเร็ว n/ซม.^{2}- วินาที	ความไว (ร่อย/นิวตรอน)	
		LR115	CN85
พลูโตเนียม-เบอริลเลียม	1.039×10^5	3.018×10^{-6}	3.929×10^{-6}
เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์	2.257×10^{10}	3.383×10^{-6}	4.058×10^{-6}

5.1.6 จากการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทกับหัววัดแบบอื่น ๆ พบว่า ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทมีความไวต่ออนุภาคนิวตรอนเร็วมากกว่าหัววัดแบบอื่น ๆ ฟิล์มเซลลูโลส-ไนเตรทสามารถนำมาตรวจวัดนิวตรอนเร็วฟลักซ์ต่ำได้ดี โดยเฉพาะนำมาตรวจวัดนิวตรอนเร็วที่ได้จากการยิงรังสีไปยังธาตุ (Radioactive source) เช่น ต้นกำเนิดพลูโตเนียม-เบอริล-เลียม ในกรณีของนิวตรอนฟลักซ์สูงมาก เช่น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ รอยที่เกิดมีปริมาณมาก จนยากต่อการตรวจนับ เซลลูโลไนเตรทจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาตรวจวัดนิวตรอนฟลักซ์สูง ในการตรวจวัดนิวตรอนเร็วฟลักซ์ต่ำมาก ก็สามารถทำได้โดยการอาบนิวตรอนเร็วให้นานขึ้น เพราะรอยที่ได้จะอยู่อย่างถาวร นอกจากนี้ฟิล์มเซลลูโลสไนเตรทยังสามารถใช้งานสะดวกกว่าหัววัดแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีขนาดเล็ก ราคาถูก และไม่เป็นสารกัมมันตรังสี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการที่ฟิล์มทั้งสองชนิด รอยแปรผันโดยตรงกับปริมาณของนิวตรอนเร็ว ทำให้สามารถนำมาใช้ตรวจปริมาณนิวตรอน โดยคำนวนจากจำนวนรอยที่เกิดขึ้นและความไวของฟิล์ม นอกจากนี้รอยที่เกิดขึ้นจะอยู่อย่างถาวรและฟิล์มมีความไวของนิวตรอนเร็วมาก ดังนั้นจึงสามารถตรวจวัดนิวตรอนเร็วที่มีค่าฟลักซ์ต่ำ โดยใช้เวลาอาบฟิล์มเพิ่มขึ้นได้

5.2.2 จากการเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มชนิด LR115 และชนิด CN85 พบว่า รอยของนิวตรอนเร็วบนฟิล์ม CN85 สามารถแยกตรวจนับได้ง่ายกว่าชนิด LR115 เนื่องจากฟิล์ม CN85 มีสีใสจุดดำ จึงเห็นชัดกว่า LR115 ซึ่งเป็นสีแดงเข้ม เงื่อนไขในการกัดรอยของฟิล์ม CN85 ใช้เวลาน้อยกว่า LR115 ค่าแบคกราวนด์ของ CN85 น้อยกว่า LR115 ดังนั้นฟิล์ม CN85 จึงมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่า

5.2.3 จากการสังเกตุขนาดของรอยนิวตรอนเร็ว พบว่าขนาดของรอยแปรผันตามพลังงานของนิวตรอนเร็ว ดังนั้นหากมีการศึกษาอย่างละเอียด อาจจะสามารถนำวิธีการนี้มาวัดพลังงานของนิวตรอนเร็วได้

5.2.4 ในการตรวจนับรอยที่เกิดขึ้น ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ขยายให้เห็นรอย และการตรวจนับต้องใช้เวลานาน ในขณะนี้ทางภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีได้พัฒนาเครื่องสปาร์คเคาน์เตอร์ตรวจนับรอยของอนุภาคอัลฟา ดังนั้นจึงน่าจะมีการพัฒนาเครื่องมือในการตรวจนับรอยเนื่องจากอนุภาคนิวตรอนเร็วได้

5.2.5 จากคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสไนเตรททั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถนำมาเป็นเครื่องวัดประจำบุคคล (Film badge) ดังนั้นน่าจะมีการพัฒนาฟิล์มมาใช้ประกอบร่วมในเครื่องวัดประจำบุคคล เพื่อความปลอดภัยของผู้ที่ทำงานอยู่ใกล้ชิดกับต้นกำเนิดนิวตรอนเร็ว โดยเฉพาะต้นกำเนิดนิวตรอนที่ได้จากการยิงรังสีไปยังธาตุ