บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิจัย พอสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากการศึกษาการอัดตัวอย่างยูเรเนียม พบว่าการอัดตัวอย่างโดยใช้วงแหวนอะลูมิเนียมเป็นกรอบ เหมาะสมกว่าเพราะทำให้เม็ดยูเรเนียมรักษารูปทรงได้ดี มีผิวหน้าเรียบ และสามารถหลีกเลี่ยงการเปรอะเปื้อนในขณะการอัดเม็ดได้ง่าย

5.1.2 จากการหาเงื่อนไขที่เหมาะสม ในการกัดขยายรอยของนิชชันแฟรกเมนต์บนแผ่นไมลาร์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เวลาที่ใช้ในการกัดขยายรอยที่ให้ค่าความหนาแน่นรอยสูงสุด เป็นดังนี้

5.1.2.1 เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10%

อุณหภูมิ (อาศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ (นาที)
65	90
70	65
75	45
80	30

5.1.2.2 เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25%

อุณหภูมิ (อาศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ (นาที)
50	100
55	65
60	40
65	25

ในการวิจัยเลือกใช้ที่อุณหภูมิ 60 °ซ เวลากัดขยายรอย 40 นาที และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% เพราะใช้เวลาไม่นานนัก และอุณหภูมิไม่สูงจนทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับการระเหยของสารละลายมากนัก ส่วนกรณีที่ใช้ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10% ต้องให้อุณหภูมิถึง 80 °ซ การควบคุมอุณหภูมิสูง ๆ ให้คงที่ตลอดนั้นยากกว่า และขณะเดียวกันก็ทำให้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ระเหยเร็ว มีผลทำให้ความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

จากลักษณะกราฟที่ได้ เมื่อเพิ่มเวลากัดขยายรอย ความหนาแน่นรอยเพิ่มขึ้น เมื่อถึงจุด ๆ หนึ่ง กลับลดลง อธิบายได้ว่า พิชชันแฟรกเมนต์ที่ทำให้เกิดรอย เกิดจากขบวนการแตกตัว ที่มีพลังงานต่าง ๆ กัน และ พิชชันแฟรกเมนต์ ที่ออกจากเม็ดยูเรเนียม มีทิศทางวิ่งเข้าชนแผ่นไมลาร์ได้หลายมุม ดังนั้นรอยที่เกิดบนแผ่นไมลาร์ จึงมีลักษณะและขนาด ต่าง ๆ เมื่อเริ่มกัดขยายรอย รอยจะค่อย ๆ ถูกขยายให้เห็นได้เพิ่มขึ้น ส่วนรอยที่อยู่ลึกกว่าก็ยังไม่ถูกกัดขยายให้เห็นได้ เมื่อใช้เวลากัดขยายรอยเพิ่ม รอยที่อยู่ลึกก็จะปรากฏให้เห็นเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อถึงเวลาจุดหนึ่งจำนวนรอยจะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจาก จำนวนรอยที่เกิดใหม่น้อยกว่ารอยที่ถูกกัดหายไปจากผิวหน้าของแผ่นบันทึกรอย

สรุปได้ว่า การกัดขยายรอยพิชชันแฟรกเมนต์บนแผ่นไมลาร์ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25% หรือ 6.25 นอร์มาล ที่อุณหภูมิ 60 °ซ เวลาในการกัดขยายรอย 40 นาที มีความเหมาะสมสำหรับการวิจัยนี้

5.1.3 การตรวจสอบความคงที่ของความหนาแน่นรอย ซึ่งเกิดขึ้นจากตัวอย่างชนิดเดียวกัน (ในที่นี้ได้ใช้สารประกอบแอมโมเนียมไดยูเรเนตผสมกับกรดสเทียริก ในอัตราส่วน 9 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก) เนื่องจากในกระบวนการนี้ มีโอกาสเกิดความแปรปรวนได้ทุกขั้นตอน ซึ่งจะทำให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดไปจากความเป็นจริงได้

ความแปรปรวนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จาก ขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

5.1.3.1 การเตรียมตัวอย่าง ตั้งแต่การชั่งน้ำหนัก การผสม การอัดเม็ด ตลอดจนการประกบตัวอย่างเข้ากับแผ่นบันทึกรอย

5.1.3.2 การอาบรังสีนิวตรอน เนื่องจากความเข้มของนิวตรอนในแต่ละตำแหน่งที่อาบรังสีอาจแตกต่างกันมาก ดังนั้นหากตำแหน่งในการอาบรังสีคลาดเคลื่อนไปจากเดิมก็จะมีผลกระทบต่อความหนาแน่นรอยที่เกิดขึ้น

5.1.3.3 การกัดขยายรอย การควบคุมความเข้มข้น

และอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ ตลอดจนระยะเวลาที่ใช้ในการกัดขยายรอยนั้น นับว่ามีความสำคัญยิ่ง

5.1.3.4 การนับรอย การนับรอยก็เป็นขั้นตอนที่อาจทำให้ข้อมูลผิดพลาด หรือมีความแปรปรวนได้มากเช่นกัน การนับรอยจำนวนมากครั้งจะช่วยลดความแปรปรวนลงได้ ทั้งนี้ขึ้นกับจำนวนรอยด้วยว่ามีมากหรือน้อยเกินไปหรือไม่

จากผลการทดลองดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 หรือ รูปที่ 4.14 พบว่าค่าความหนาแน่นรอยแตกต่างกันไม่เกิน 10% อย่างไรก็ตามในขั้นตอนต่อ ๆ ไป จึงได้ใช้ลวดอินเดียม เป็นตัวตรวจสอบและเปรียบเทียบความเข้มของนิวตรอนเพื่อใช้ในการ normalize ไปหาค่าเดียวกัน

สำหรับ ความหนาแน่นรอยซึ่งมิได้แปรผันตามน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมดนั้น อธิบายได้ว่าความหนาของตัวอย่าง มีค่ามากกว่าความหนาวิกฤต (critical thickness) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงพิสัย (range) ของฟิชชันแฟรกเมนต์แล้วนับว่าถูกต้องเพราะพิสัยของฟิชชันแฟรกเมนต์มีค่าน้อยมาก ส่วนความหนาของตัวอย่างที่ใช้ต่ำสุด มีความหนามากกว่า 1 มิลลิเมตร

5.1.4 จากกราฟปรับเทียบ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นรอยจริงกับปริมาณยูเรเนียม-235 มีลักษณะเป็นเส้นเอกซ์โพเนนเชียล นั่นคือเป็นเส้นตรงในกราฟเซมิ-ลอก แสดงว่าที่บริเวณปริมาณยูเรเนียม-235 ต่ำ เส้นกราฟมีความชันน้อย และความชันของเส้นกราฟจะมากขึ้นที่บริเวณปริมาณยูเรเนียม-235 สูง

การเปรียบเทียบผลการหาปริมาณยูเรเนียม-235 ในสารประกอบยูเรเนียมที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235 ต่ำกว่าธรรมชาติ ที่หาได้จากสมการของกราฟปรับเทียบ กับค่าที่ถูกต้อง เป็นดังนี้

	ความเข้มข้นของยูเรเนียม-235		เปอร์เซ็นต์แตกต่าง
	จากผลการทดลอง	ค่าที่ถูกต้อง	
ตัวอย่าง-1	0.515%	0.34%	51.47%
ตัวอย่าง-2	0.415%	0.27%	53.70%
ตัวอย่าง-3	0.291%	0.17%	71.18%

ปริมาณยูเรเนียม-235 ที่มีอยู่ในตัวอย่างสูง สามารถหาได้ใกล้เคียงกว่าตัวอย่างที่มีปริมาณยูเรเนียม-235 ต่ำ ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเป็นเพราะความหนาแน่นรอยของตัวอย่างที่มียูเรเนียมความเข้มข้นต่ำ มีค่าน้อยกว่าทำให้

มีความแปรปรวนทางสถิติมากกว่า

ในกรณีหุ้มแคดเมียม พบว่าความหนาแน่นรอยของสารตัวอย่างซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 ต่ำกว่าธรรมชาติ คือ 0.4% ของยูเรเนียมทั้งหมด มีค่าสูงกว่าความหนาแน่นรอยที่ได้จากสารมาตรฐานซึ่งมีความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 ตามธรรมชาติ คือมีอยู่ 0.72% ของยูเรเนียมทั้งหมด ทั้งนี้เพราะ ปริมาณยูเรเนียม-238 ในสารตัวอย่างมีความเข้มข้นมากกว่าในสารมาตรฐาน จึงทำให้มีรอยที่เกิดจากปฏิกิริยาแตกตัวของยูเรเนียม-238 กับนิวตรอนเร็วมีมากกว่า

ขั้นตอนการอาบรังสีนิวตรอน ตำแหน่งและระยะห่างจากต้นกำเนิดนิวตรอนไม่สำคัญมากนัก เพราะได้ใช้ลวดอินเดียม ตรวจสอบค่าฟลักซ์ของนิวตรอน ตรงตำแหน่งที่วางเม็ดยูเรเนียม และได้ค่าอัตราส่วนของฟลักซ์ของนิวตรอน เพื่อแก้ค่าความหนาแน่นรอย ให้เป็นค่าที่เทียบจากระดับเดียวกัน

5.1.5 การหาปริมาณยูเรเนียม จากแร่ยูเรเนียมตัวอย่างโดยใช้ผลที่ได้จากขั้นตอนของการหากราฟปรับเทียบ และใช้สมการ (4.3) คำนวณ

ผลจากการหาปริมาณยูเรเนียมในแร่ยูเรเนียมตัวอย่าง และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการหาปริมาณยูเรเนียมด้วยวิธี แกมมา สเปคโตรมิตรี ได้ปริมาณยูเรเนียมในแร่ตัวอย่าง ดังนี้

	วิธีแทรค-เอทช์	วิธีแกมมา สเปคโตรมิตรี
แร่ยูเรเนียม-1	5.15%	2.53%
แร่ยูเรเนียม-2	11.93%	6.29%

ปริมาณยูเรเนียมที่หาได้จากวิธีแทรค-เอทช์ ค่อนข้างสูงจากค่าที่ควรจะเป็น ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลเดียวกันกับ การหาปริมาณยูเรเนียม-235 จากสารประกอบยูเรเนียมที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235ต่ำกว่าธรรมชาติ คือ ค่าความหนาแน่นรอยที่ได้ เป็นค่าที่มีพิชชันแฟรกเมนต์ที่เกิดจากการปฏิกิริยาแตกตัวกับนิวตรอนเร็วรบกวน และต้องเทียบความหนาแน่นรอยของแร่ตัวอย่างซึ่งมีค่าน้อยไป กับความหนาแน่นรอยของสารมาตรฐานที่มีค่าสูง และสารมาตรฐานมีปริมาณยูเรเนียมสูงกว่ามาก ประกอบกับความสัมพันธ์ของกราฟปรับเทียบที่ได้ ไม่เป็นเส้นตรง (รูปที่ 4.17) แต่จากการหาปริมาณยูเรเนียมจากแร่ตัวอย่าง โดยใช้สมการ (4.3) ซึ่งเป็นการเทียบบัญญัติไตรยางค์ แบบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งไม่ถูกต้อง

เป็นที่น่าสังเกตุว่า ผลการวิเคราะห์โดยวิธีแทรค-เอทช์นั้น มีค่าสูง

กว่าค่าที่ถูกต้องเสมอ ที่เป็นเช่นนี้พอสรุปได้ว่า สาเหตุที่สำคัญคือ แผ่นไมลาร์มีแบคกราวน์ดค่อนข้างสูง อาจทำให้กิดความสับสนในการนับรอยได้มาก แผ่นไมลาร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นแผ่นไมลาร์ที่มิได้ผลิตขึ้นมาใช้งานสำหรับการศึกษาวิจัยทางด้านแทรค-เอทช์โดยเฉพาะ จึงมีปัญหาดังกล่าวนี้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากปัญหาในเรื่องของแบคกราวน์ดบนแผ่นไมลาร์ ที่มีมากจนเป็นผลทำให้การนับรอยผิดพลาดได้นั้น การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรก ต้องคัดเลือกแผ่นไมลาร์ที่หาซื้อมาได้ เพื่อให้ได้ชนิดที่มีแบคกราวน์ดต่ำ มาใช้ในการวิจัย วิธีที่สอง คือ เลือกซื้อแผ่นวัสดุบันทึกรอยที่ผลิตมาสำหรับใช้ในการศึกษาวิจัย ทางด้านแทรค-เอทช์ โดยเฉพาะ เช่น พลาสติกเลกซาน (lexan) เป็นต้น

5.2.2 ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่พบในการวิจัยนี้ คือ การขาดสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 ต่าง ๆ กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ที่เป็นสารประกอบยูเรเนียมที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235 สูงกว่าธรรมชาติ (enriched uranium) รวมทั้งที่เป็นสารประกอบยูเรเนียมที่มีความเข้มข้นยูเรเนียม-235 ต่ำกว่าธรรมชาติ (depleted uranium) ดังนั้นหากมีสารมาตรฐานดังกล่าวแล้ว ย่อมจะทำให้การปรับเทียบมีความแน่นอนมากยิ่งขึ้น

5.2.3 ในกรณีที่ต้องการหาปริมาณยูเรเนียมในแร่ยูเรเนียม สารประกอบยูเรเนียมซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐาน ควรมีปริมาณยูเรเนียมใกล้เคียงกับปริมาณยูเรเนียมในแร่ยูเรเนียม ทั้งนี้ก็เพราะว่าเมื่อเทียบปริมาณยูเรเนียมที่แตกต่างกันเล็กน้อย กับความหนาแน่นรอย จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งสอดคล้องกับสมการ (4.3) ที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณยูเรเนียม

5.2.4 เทคนิคการวิเคราะห์ยูเรเนียม โดยการบันทึกรอยของนิชชันแฟรกเมนต์ เป็นวิธีที่สามารถใช้วิเคราะห์ยูเรเนียมในปริมาณต่ำ มาก ๆ ได้ถึงส่วนในพันล้านส่วน (part per billion) หรือต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ยูเรเนียมปริมาณน้อย เช่นนี้ต้องใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนความเข้มสูงจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เพื่อเป็นการประหยัดเวลา และเพื่อให้มีความหนาแน่นรอยมากซึ่งจะทำให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องมากยิ่งขึ้น การวิเคราะห์ยูเรเนียมปริมาณต่ำโดยวิธีนี้เป็นเรื่องที่น่าศึกษาวิจัยเพราะเป็นวิธีที่ประหยัด ไม่ยุ่งยาก การเตรียมตัวอย่างวิเคราะห์ที่เป็นของเหลว สามารถใช้วิธีระเหยตัวอย่างให้แห้งบนแผ่นบันทึกรอย