บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสร้างฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) มีประโยชน์ในการพัฒนาการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนในประเทศไทย เนื่องจากในปัจจุบันการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนยังต้องสั่งซื้ออุปกรณ์สำคัญ คือ ฉากเปลี่ยนรังสีนิวตรอนจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูงมาก จึงได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) เพื่อลดต้นทุนการตรวจสอบโดยไม่ทำลายด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน จากงานวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 สารประกอบที่นำมาสร้างฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)

ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย

5.1.1.1 ลิเทียมเมตาบอเรต ($LiBO_2$) ปริมาณ 10 ส่วน ทำหน้าที่ดูดกลืนนิวตรอนแล้วให้รังสีอัลฟา

5.1.1.2 สังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ปริมาณ 15 ส่วน เป็นสารเรืองแสง ทำหน้าที่ รับพลังงานจากรังสีอัลฟาแล้วปล่อยแสงออกมาในช่วงความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

5.1.1.3 กาวดูโรชนิด household cement ปริมาณ 6 ส่วน ทำหน้าที่เป็นตัวยึดเหนี่ยว

5.1.1.4 ทินเนอร์ ผสมลงเล็กน้อยเพื่อเป็นตัวทำละลายกาวทำให้ของผสมมีความหนืดลดลงง่ายต่อการฉีดพ่นด้วยปืนฉีดพ่น

5.1.2 คุณสมบัติของฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ที่พัฒนาขึ้น

5.1.2.1 ความไวในการเกิดภาพ เมื่อนำฉากไปทดลองถ่ายภาพด้วยนิวตรอน เป็นเวลา 10 นาที โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ ปปว-1/1 มีนิวตรอนฟลักซ์ $1.5x10^5$ นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ให้ความดำบนแผ่น

ฟิล์มอิลฟอร์ด เอชพี5 พลัส อยู่ที่ค่า 2.0 ซึ่งสูงกว่าฉากโลหะแกโดลิเนียม และต่ำกว่าฉาก NE-426 กับ $Gd_2O_2S(Tb)$ ส่งผลให้ความไวในการเกิดภาพของฉากมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน

5.1.2.2 รีโซลูชัน(resolution)ของภาพ เมื่อใช้ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ที่พัฒนาขึ้นเป็นฉากเปลี่ยนนิวตรอนสำหรับถ่ายภาพ และนำภาพที่ได้ไปทดสอบรีโซลูชัน โดยอุปกรณ์ IQIs strip B พบว่า ฉากโลหะแกโดลิเนียม ฉาก NE-426 และฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ให้รีโซลูชันของภาพเท่ากับ 250 ไมครอน ส่วนฉาก $Gd_2O_2S(Tb)$ ให้รีโซลูชันของภาพเท่ากับ 500 ไมครอน แต่คอนทรัสต์ของภาพ จะพิจารณาจากตัวเลขในกลุ่ม F และ G ถ้าค่ายิ่งน้อยหมายความว่าภาพนั้นให้รายละเอียดมากกว่า แสดงว่ามีคอนทรัสต์สูงกว่า ดังนั้น ฉากที่ให้คอนทรัสต์สูงสุดคือฉากโลหะแกโดลิเนียม และฉาก NE-426 ถัดมาได้แก่ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ที่พัฒนาขึ้น ฉากที่ให้คอนทรัสต์ต่ำสุดคือฉาก $Gd_2O_2S(Tb)$

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความไวในการเกิดภาพและค่ารีโซลูชันของภาพจากฉากต่างๆ

ฉาก	ความไวในการเกิดภาพ ($1/n/cm^2$)	ค่ารีโซลูชัน (μm)
ฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)	$2.13x10^{-8}$	250
Gd	$1.64x10^{-8}$	250
NE-426	$3.04x10^{-8}$	250
$Gd_2O_2S(Tb)$	$2.96x10^{-8}$	500

5.1.2.3 ความหนาที่ต่างกันของฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่พัฒนาขึ้น เป็นผลให้ ค่าความดำบนฟิล์มและความไวในการเกิดภาพต่างกัน ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาของฉาก จากการทดลอง ความหนาของฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) มีค่าตั้งแต่ 0.1276 - 0.737 มิลลิเมตร ทำให้ความดำของฟิล์มมีค่าตั้งแต่ 1.78 - 1.98 และความไวในการเกิดภาพมีค่า $1.95x10^{-8}$ ถึง $2.2x10^{-8}$ ต่อนิวตรอนต่อตารางเซนติเมตร ให้ค่ารีโซลูชันของภาพในระดับเดียวกันคือ 250 ไมครอน จะเห็นว่าความหนาของฉากเปลี่ยนไป 0.6954 มิลลิเมตร มีผลให้ความดำของฟิล์มเปลี่ยนไปเพียง 0.2 และความไวในการเกิดภาพ

เปลี่ยนไป $2.5x10^{-8}$ ต่อนิวตรอนต่อตารางเซนติเมตร จึงไม่จำเป็นต้องใช้ความหนาของฉากมากๆ เป็นการสิ้นเปลืองสารเคมี จึงสร้างฉากที่มีความหนาประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งเพียงพอที่จะนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.2.3 เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) กับราคาฉากมาตรฐานจากต่างประเทศ พบว่าฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ที่พัฒนาขึ้น มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่ามาก เนื่องจากสารประกอบสังกะสีซัลไฟด์(เงิน) ราคา 2,500 บาทต่อหนึ่งกิโลกรัม สารประกอบลิเทียมเมตาบอเรตราคา 4,500 บาทต่อ 100 กรัม ซึ่งการผลิตฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)แต่ละแผ่น ต้องใช้สารเคมีดังนี้

สังกะสีซัลไฟด์(เงิน)	7.5 กรัม	คิดเป็นเงิน	18.75	บาท
ลิเทียมเมตาบอเรต	5 กรัม	คิดเป็นเงิน	225	บาท
		รวม	243.75	บาท

ซึ่งเมื่อคิดต้นทุนการผลิตฉาก สังกะสีซัลไฟด์(เงิน) จากราคาสารเคมีและอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ จะมีราคาไม่เกิน 500 บาทต่อแผ่น ขณะที่ฉากโลหะแกโดลิเนียมมีราคา 60,000 บาทต่อ 200 ตารางเซนติเมตร และฉาก NE-426 มีราคา 60,000 บาท ต่อ 100 ตารางเซนติเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ถ้าต้องการผลิตฉากจำนวนมาก หรือผลิตเพื่อการพาณิชย์ ควรมีระบบควบคุมการฉีดพ่นสารเคมีที่ใช้ทำฉาก เช่น ระบบควบคุมความดันจากปั๊ม ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของปืนฉีดพ่น เพื่อให้สามารถเพิ่มความเร็วในการฉีดพ่น และควบคุมความหนาของสารเคมีให้สม่ำเสมอ

5.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของฉากสังกะสีซัลไฟด์(เงิน)ที่พัฒนาขึ้น ยังไม่แข็งแรงนัก จึงควรผสมสารที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง โดยไม่ลดประสิทธิภาพของฉาก เพื่อให้ฉากมีอายุการใช้งานนานขึ้น

5.2.3 การใช้แผ่นอะลูมิเนียมเป็นฐานรองรับ ทำให้มีรังสีแกมมาพลังงาน 1.779 MeV จากปฏิกิริยา (n,γ) ซึ่งอะลูมิเนียมมีพื้นที่ตัดขวางของปฏิกิริยานี้ 1000 บาร์น จึงควรเปลี่ยนฐานรองรับเป็นวัสดุชนิดอื่น เช่น กระดาษแข็งอย่างหนา เป็นต้น

5.2.4 ควรพัฒนาฉากเปลี่ยนนิวตรอนให้สามารถใช้กับระบบโทรทัศน์ ซึ่งสามารถถ่ายภาพการเคลื่อนไหวของวัตถุด้วยรังสีนิวตรอนได้

5.2.5 ควรพัฒนาให้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนสามารถใช้ถ่ายภาพวัตถุด้วยนิวตรอนพลังงานสูง(fast neutron) เพื่อใช้กับระบบโทรทัศน์