

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ผลการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

4.1.1 ผลการทดลองหาวัสดุพื้นฐานที่เหมาะสม เพื่อเป็นวัสดุกำบังนิวตรอนช้าที่สามารถป็นชิ้นรูปได้

ในการเลือกใช้วัสดุสามชนิดได้แก่ FIMO ดินน้ำมันไฮเคลย์ และ ผงพีวีซี ไฮบริด คิสเพอร์ซัน เรซิน เกรด 74GP มาผสมกับDOP หรือ กลีเซอรอล และกรดบอริกดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2.1 ได้ชิ้นงานซึ่งมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการสังเกตชิ้นงานชุด A, B, C, D, E และ F

ชิ้นงาน	ลักษณะชิ้นงาน
A1-A5	DOP ละลายเข้ากับ FIMO ได้ดี ผสมกรดบอริกเข้าในชิ้นงานได้ดี ทำให้ส่วนผสมเกาะตัวกันดีและสามารถป็นได้
A6	ชิ้นงานสามารถป็นได้แต่เมื่อตั้งชิ้นงานให้ยืคออกจนเป็นเส้นบางๆ การเกาะตัวของชิ้นงานไม่ดีเท่าชิ้นงาน A1 ถึง A5 และเมื่อตั้งชิ้นงานออกจะพบว่ามีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเม็ดทราย
A7	ชิ้นงานสามารถป็นได้ แต่เมื่อตั้งให้ยืคออกเป็นเส้นบางๆ การเกาะตัวไม่ดีเท่าชิ้นงาน A6 สังเกตเห็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเม็ดทรายได้ชัดเจนขึ้น
A8	ชิ้นงานสามารถป็นได้ แต่เมื่อตั้งให้ยืคออกเป็นเส้นบางๆ การเกาะตัวไม่ดีเท่าชิ้นงาน A7 สังเกตเห็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเม็ดทรายได้ชัดเจนขึ้น
A9	ชิ้นงานยังสามารถป็นได้แต่เหลวเกินไปและมี DOP ติดตามถุงมือเป็นจำนวนมาก ชิ้นงานเกาะตัวกันไม่ดี สังเกตเห็นเนื้อของชิ้นงานคล้ายเม็ดทรายได้ชัดเจน แม้ไม่ได้ตั้งให้ยืคออก
B1-B6	DOP ไม่สามารถละลายเข้ากับดินน้ำมันไฮเคลย์ได้แต่สามารถคลุกเคล้าให้เข้ากันได้ ทำให้ดินน้ำมันไฮเคลย์เหลวลงจึงเติมกรดบอริกลงไปได้ และสามารถป็นได้แต่ค่อนข้างร่วนและบางส่วนของวัสดุติดตามวัสดุที่สัมผัสเช่นบีกเกอร์และถุงมือ
B7-B9	ผสมได้เช่นเดียวกับชิ้นงาน B1 ถึง B6 แต่ชิ้นงานเกาะตัวไม่ดี

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชั้นงาน	ลักษณะชั้นงาน
C1-C6	กลีเซอรอลไม่สามารถละลายเข้ากับดินน้ำมันไฮเคลย์ได้แต่สามารถคลุกเคล้าให้เข้ากันได้ ทำให้ดินน้ำมันไฮเคลย์เหลวลงจึงเติมกรดบอริกลงไปได้ และสามารถปั้นได้แต่ค่อนข้างร่วนและบางส่วนของวัสดุติดตามวัสดุที่สัมผัสเช่นบีกเกอร์และถุงมือ
D1	DOP ละลายผงพีวีซีเกิดเป็นพลาสติกขอลจึงสามารถเติมกรดบอริกได้ ชั้นงานที่ได้สามารถปั้นขึ้นรูป แต่ผิวด้านนอกแข็งและด้าน แต่เมื่อให้แรงกดเบาๆ จะไหลออกด้านข้างตามแรงกดไม่อยู่ตัว แต่เมื่อเพิ่มแรงกดให้แก่ชั้นงาน ชั้นงานยังคงไหลออกด้านข้างในอัตราที่ไม่แตกต่างกับเมื่อกดเบาๆ ไม่สอดคล้องกับแรงที่เพิ่มขึ้น เมื่อดึงออกจนเป็นเส้นบางๆ การเกาะตัวไม่ดี เมื่อทำให้บีดงชั้นงานจะแตกคล้ายเทียนไข
D2	ได้ชั้นงานที่เหลวกว่า D1 เล็กน้อย แต่ผิวด้านนอกของชั้นงานยังคงแข็งและด้าน เมื่อให้แรงกด แรงดึง หรือทำให้บีดง ยังคงได้ผลเช่นเดียวกับชั้นงาน D1
D3	ได้ผลการผสมเช่นเดียวกับชั้นงาน D2 แต่ชั้นงานเหลวกว่าเล็กน้อย
D4	ได้ผลการผสมเช่นเดียวกับชั้นงาน D3 แต่ชั้นงานเหลวกว่าเล็กน้อย
E1	ได้ผลการผสมเช่นเดียวกับชั้นงาน D1 แต่เหลวกว่า ไม่อยู่ตัว แต่ผิวด้านนอกยังคงแข็งและด้าน เมื่อให้แรงกด แรงดึงหรือ บีดง ยังคงได้ผลเช่นเดียวกับชั้นงาน D1 การเกาะตัวไม่ดีแตกคล้ายเทียน
E2	ได้ส่วนผสมที่ค่อนข้างอยู่ตัวกว่า ชั้นงานที่ E1 แต่ผิวด้านนอกยังคงแข็งและด้าน เมื่อให้แรงกด แรงดึงหรือ บีดง ยังคงได้ผลเช่นเดียวกับชั้นงาน E1 การเกาะตัวไม่ดีแตกคล้ายเทียนไข
E3	ได้ส่วนผสมที่ค่อนข้างอยู่ตัวกว่า ชั้นงานที่ E2 แต่ ยังคงไหลตามแรงกด
E4	ชั้นงานที่ได้จากการผสมยังคงเกาะตัวกันไม่ดี และค่อนข้างแข็งร่วน นวดเพื่อให้เข้ากัน ได้ยากแต่เมื่อให้แรงกดเบาๆ ก็ยังคงไหลตามแรงกด
E5	ได้ผลการผสมเช่นเดียวกับชั้นงาน E4 แต่ค่อนข้างร่วนกว่า ยังคงไหลตามแรงกด
F1	ได้ผลการผสมเช่นเดียวกับชั้นงาน E4 แต่เหลวว่ามาก ไม่อยู่ตัว แต่ผิวด้านนอกยังคงแข็งและด้าน เมื่อให้แรงกดแรงดึงหรือบีดง ยังคงได้ผลเช่นเดียวกับชั้นงาน D1 การเกาะตัวไม่ดีแตกคล้ายเทียน เวลาปั้นมี DOP ติดตามถุงมือมาก

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชั้นงาน	ลักษณะชั้นงาน
F2	ได้ผลการผสมเช่นเดียวกับชั้นงานที่ F1 ค่อนข้างอยู่ตัวกว่า แต่ยังคงมี DOP ติดตามถุงมือมากเวลาสัมผัส
F3-F4	ชั้นงานค่อนข้างเหลวการเกาะตัวไม่ดี มี DOP ติดตามถุงมือมากเวลาปั่น

จากผลการสังเกตดังแสดงตามตารางที่ 4.1 พบว่าชั้นงานชุด A เมื่อทำการผสมพลาสติกไซเซออร์เข้ากับ FIMO พบว่าพลาสติกไซเซออร์สามารถละลายเข้าไปในเนื้อของ FIMO ได้และทำให้ FIMO เหลวลง ทำให้สามารถเติมกรดบอริกลงไปชั้นงานได้ โดยปริมาณของกรดบอริกที่เติมลงไปจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้น แต่สังเกตเห็นว่าชั้นงานตั้งแต่ A6 เป็นต้นไปเริ่มร้อนแต่ก็ยังเกาะตัวกันได้ดี แต่ชั้นงาน A9 นั้นเหลวมากและเกาะตัวกันไม่ดี ทั้งนี้เพราะ FIMO ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้กรดบอริกซึ่งเป็นผงเกาะตัวกันได้ โดย DOP ทำหน้าที่เข้าไปแทรกให้ FIMO เกาะตัวกันແຂ່ງเพื่อให้ FIMO เหลวลง ยิ่ง FIMO เหลวลงก็ยิ่งเติมกรดบอริกได้มากขึ้น แต่เมื่อเติมกรดบอริกลงไปมากๆ ดังเช่นชั้นงาน A9 FIMO ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานกลับทำหน้าที่ประสานได้ไม่ทั่วถึง ชั้นงานที่ได้จึงเกาะตัวกันไม่ดี และเนื่องจากเติม DOP ลงไปเป็นจำนวนมาก ชั้นงานที่ได้จึงเหลวและมี DOP ส่วนเกินติดตามถุงมือ แม้เมื่อเติมกรดบอริกเพิ่มขึ้นเพื่อจะแก้ปัญหาดังกล่าว แต่กลับได้ชั้นงานที่เกาะตัวกันได้ไม่ดีมากขึ้น ส่วนชั้นงานในชุด B และ C นั้นผลการผสมจะแตกต่างจากชุด A อย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือเมื่อก่อนเติมพลาสติกไซเซออร์หรือกลีเซอรอลลงในดินน้ำมันไฮคลีย์ ของเหลวทั้งสองไม่สามารถละลายเข้าไปในดินน้ำมันได้ แต่สามารถผสมให้เข้ากันได้โดยการคลุกเคล้า ทำให้ชั้นงานเหลวลงและสามารถเติมกรดบอริกได้เช่นกัน แต่ชั้นงานที่ได้จะร้อนมากและติดตามภาชนะเช่นบีกเกอร์ แท่งแก้วคน ถุงมือยาง สำหรับชั้นงานที่ได้จากพีวีซีไฮบริด คิสเพอร์ชัน เรซิน เกรด 74GP จากการทดลองพบว่าพลาสติกไซเซออร์สามารถละลายพีวีซีเกิดเป็นพลาสติกซอลซึ่งมีลักษณะเหลวสามารถเติมกรดบอริกลงไปได้โดยปริมาณของกรดบอริกที่เติมเข้าไปได้สูงสุด จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือชั้นงานชุด D ที่ใช้พลาสติกไซเซออร์ ประมาณ 0.417 กรัม สามารถเติมกรดบอริกได้สูงสุด 1.191 กรัม ในขณะที่ชุด E ที่ใช้ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ประมาณ 1.452 กรัม และเมื่อใช้ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ ประมาณ 0.522 กรัม ในชุด F จะเติมกรดบอริกได้สูงสุด 1.697 กรัม โดยกรดบอริกจะช่วยให้พลาสติกซอลที่เหลวนั้น แข็งขึ้น อยู่ตัวมากขึ้นไม่เหลวเยิ้ม เช่น ชั้นงาน D5 ที่มีปริมาณกรดบอริก 0.878 กรัม ก็จะเหลวกว่าชั้นงาน D4, D3, D2 และ D1 ตามลำดับ แต่ชั้นงาน D1 นั้นกลับแข็งจนเกินไปผิวด้านนอกแข็งและด้านป็นให้เข้ากันได้ยาก แต่เมื่อให้แรงกดเบาจะไหลออกด้านข้างตามแรงกดไม่อยู่ตัว แต่เมื่อเพิ่มแรงกดให้แก่ชั้นงาน ชั้นงานยังคงไหลออกด้านข้างในอัตราที่ไม่แตกต่างกับเมื่อกดเบาๆ ไม่

สอดคล้องกับแรงที่เพิ่มขึ้น เมื่อดึงออกจนเป็นเส้นบาง ๆ การเกาะตัวไม่ดี เมื่อทำให้บีดงชิ้นงานจะแตกคล้ายเทียนไข เมื่อลดปริมาณกรดบอริกที่เติมเข้าไปเพื่อให้การเกาะตัวของชิ้นงานดีขึ้น ไม่แตกคล้ายเทียนไข กลับได้ชิ้นงานที่เหลวลง ความอยู่ตัวแย่ง แต่ยังคงแตกคล้ายเทียนไขเมื่อทำให้บีดง แล้วลดปริมาตรกรดบอริกลงเหลือ 0.878 กรัม ในชิ้นงาน D4 ก็ยังแตกคล้ายเทียนไขอยู่ เมื่อเพิ่มปริมาณ ของ DOP เพื่อให้การละลายพีวีซีได้ดีขึ้นในชิ้นงานชุด E และ F ก็ได้พลาสติกซอลที่เหลวลงแต่เมื่อทำให้บีดง ก็ยังคงแตกคล้ายเทียนไขไม่สามารถทำให้ชิ้นงานเกาะตัวกันได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในชุด F เมื่อเติมกรดบอริกในปริมาณที่น้อยชิ้นงานก็จะยังเหลวอยู่ แต่เมื่อต้องการเติมกรดบอริกให้มากขึ้นเพื่อให้ชิ้นงานแข็งขึ้น กลับทำให้ชิ้นงานร่วนเกาะตัวกันไม่ดี แต่ยังคงมีความเหลว และพลาสติกไฮเซอรัลติดตามถุงมือที่สัมผัสเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามชิ้นงานทั้งสามชุดที่ได้นี้ก็กลับไม่มีชิ้นงานชุดไหนเลยที่เหมาะสมนำมาทำเป็นวัสดุกำบัง เพราะการเกาะตัวของชิ้นงานไม่ดีเท่าที่ควร ไม่มีความเหนียว เช่นเมื่อเราบิดหรือจับให้ชิ้นงานงอ ชิ้นงานจะเกิดการแตกลักษณะคล้ายกับเทียนไขที่โดนบีดง แต่ชิ้นงานในการทดลองนี้สามารถนำกลับมาวนวดเพื่อให้รวมเป็นชิ้นเดียวกันได้ง่ายโดยไม่ต้องให้ความร้อน จากการเตรียมตัวอย่างตามหัวข้อที่ 3.2.1 พบว่าชิ้นงานที่สามารถใช้เป็นวัสดุกำบังนิวตรอนซ้ำที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้คือชิ้นงานชุด A ส่วนชิ้นงานชุด B และ C นั้นไม่มีความเหมาะสมเลยเพราะพลาสติกไฮเซอรัลและกลีเซอรอล ไม่สามารถละลายเข้าไปในดินน้ำมันไฮเคลย์ได้ ส่วนชิ้นงานที่ใช้พีวีซี ไฮบริด คิสเพอร์ชันเรซินเกรด 74GP นั้นแม้ว่าพลาสติกไฮเซอรัลจะสามารถละลายเข้าไปในพีวีซีได้ แต่ชิ้นงานที่ได้ยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมสำหรับเป็นวัสดุกำบังนิวตรอนซ้ำที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้เพราะการเกาะตัวไม่ดี เวลาดึงให้ยืดอกจนเป็นเส้นบาง ๆ หรือทำให้บีดงชิ้นงานจะแตกคล้ายเทียนไข ดังนั้นจึงเลือกชิ้นงานในชุด A มาศึกษาคุณสมบัติการปั้นขึ้นรูปเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนชิ้นงานในชุด D ถึง F นั้นมีแนวโน้มที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นได้ จึงนำมาศึกษาปรับปรุงในหัวข้อต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ผลการสังเกตชิ้นงานชุด A เมื่อเวลาผ่านไป

ชิ้นงาน	เวลาที่สังเกต(วัน)						
	1	2	3	4	5	6	7
A1	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้
A2	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้
A3	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้
A4	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้
A5	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้
A6	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้
A7	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้
A8	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้	บิ่นได้
A9	แข็งร่วน	แข็งร่วน	แข็งร่วน	แข็งร่วน	แข็งร่วน	แข็งร่วน	แข็งร่วน

จากผลการวิจัยดังตารางที่ 4.1 พบว่าชิ้นงานที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุกำบังนิวตรอนช้าที่สามารถบิ่นขึ้นรูปได้คือ ชิ้นงานชุด A ส่วนชิ้นงานชุด B, C, D, E และ F นั้นยังไม่เหมาะสม และนำชิ้นงานชุด A ตั้งทิ้งไว้ในห้องทดลองเป็นเวลา 7 วัน ได้ผลการสังเกตดังนี้ เมื่อดังชิ้นงานชุด A ทิ้งไว้ 1 วัน พบว่าผิวด้านนอกของชิ้นงานแข็งขึ้นเล็กน้อย แต่สามารถนวดเพื่อให้ชิ้นงานนั้นนิ่มเหมือนเช่นตอนที่เตรียมได้ใหม่ๆ เว้นแต่ชิ้นงาน A9 ที่แข็งและร่วนมาก แต่ก็สามารถนวดให้นิ่มได้เช่นกัน แต่ทำได้ยากกว่าและต้องใช้เวลาานกว่า เมื่อดังชิ้นงาน A1 ถึง A8 ทิ้งไว้เป็นเวลานานขึ้น (ประมาณ 1 เดือน) ก็ยังได้ผลเช่นเดียวกันกล่าวคือผิวด้านนอกของชิ้นงานจะแข็งขึ้น แต่ก็ยังคงนำกลับมานวดให้นิ่มและบิ่นได้

4.1.2 ผลของความร้อนที่มีต่อพลาสติกซอลของพีวีซี

จากผลการวิจัยดังตารางที่ 4.1 พบว่าชิ้นงานในชุด D, E, และ F ที่ได้จากการใช้พีวีซีไฮบริด ดิสเพอร์ชัน เรซิน เกรด 74GP เป็นวัสดุพื้นฐาน ยังไม่เหมาะสมในการเป็นวัสดุกำบังนิวตรอนช้าที่สามารถบิ่นขึ้นรูปได้ พลาสติกไซเซออร์สามารถละลายพีวีซีได้ แต่ชิ้นงานกลับเกาะตัวกันไม่ดี แม้เพิ่มปริมาณของพลาสติกไซเซออร์มากขึ้น ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ จึงทำการทดลองเพิ่มเติมโดยการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของพลาสติกซอลของพีวีซีและพลาสติกไซเซออร์ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.2 ได้ชิ้นงานที่มีลักษณะดังแสดงที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาในการให้ความร้อนที่มีต่อการเตรียมชิ้นงานชุด G

ชิ้นงาน	เวลา (นาที)	กรดบอริก (กรัม)	ความเข้มข้นของ กรดบอริก (%)	ลักษณะชิ้นงาน
G1	120	1.221	27.30	ชิ้นงานที่ผ่านการอบเกาะตัวกันดี แต่ค่อนข้างแข็งเดิมกรดบอริกเข้าไปได้ยาก ชิ้นงานที่ได้สามารถดึงให้ยืดออกจนเป็นเส้นบางๆ หรือบิดงอโดยไม่แตกเหมือนเทียนไข แต่ชิ้นงานค่อนข้างแข็งป็นให้เข้ากัน ได้ยาก
G2	90	1.389	29.92	ชิ้นงานที่ผ่านการอบเกาะตัวกันดีแต่เหลวกว่าชิ้นงาน G1 เล็กน้อย สามารถเติมกรดบอริกได้มากกว่าชิ้นงาน G1 ชิ้นงานที่ได้สามารถดึงให้ยืดออกจนเป็นเส้นบางๆ หรือบิดงอได้เช่นเดียวกับชิ้นงาน G1 แต่ชิ้นงานที่ได้ก็ยังคงแข็งและป็นเข้ากัน ได้ยาก
G3	60	2.536	43.83	ชิ้นงานที่ผ่านการอบเหลวกว่าชิ้นงาน G1 และ G2 อย่างชัดเจน เมื่อเติมกรดบอริกลงไป ได้ชิ้นงานที่สามารถดึงให้ยืดออกจนเป็นเส้นบางๆหรือบิดงอได้ เช่นเดียวกับชิ้นงาน G1 และ G2 แต่ป็นเข้ากัน ได้ง่ายกว่า

จากการทดลองพบว่าเมื่อควบคุมปริมาณของผงพีวีซีที่ ประมาณ 2 กรัม และพลาสติกไซเซอรีไวท์ที่ประมาณ 1.250 กรัม แล้วเปลี่ยนแปลงเวลาในการอบให้ความร้อนกับส่วนผสมทั้งสอง ก่อนที่จะมาเติมกรดบอริก พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการอบแตกต่างกับชิ้นงานชุด D, E และ F ซึ่งไม่ได้ผ่านการอบดัง คือมีการเกาะตัวที่ดีกว่า สามารถดึงออกให้เป็นเส้นบางๆ หรือทำให้บิดงอได้โดยไม่แตกคล้ายเทียนไข เมื่อให้เวลาในการให้ความร้อน 120 นาที ส่วนผสมดังกล่าวจะมีลักษณะคล้ายดินน้ำมัน คือสามารถป็นได้ แต่ถ้าจะเอามาเติมกรดบอริกลงไปอีก ค่อนข้างแข็งเกินไป เติมกรดบอริกลงได้เพียง 1.221 กรัม คิดเป็น 27.30 % แต่เมื่อลดเวลาในการอบให้ความร้อนลงเหลือ 90 นาที ส่วนผสมจะเหลวลงและสามารถเติมบอริกลงไปได้มากขึ้นเป็น 1.389 กรัม คิดเป็น 29.92 % และ

เมื่อลดเวลาในการให้ความร้อนลงเหลือเพียง 60 นาที สามารถเติมกรดบอริกลงไปได้ 2.536 กรัม คิดเป็น 43.83 % ทั้งนี้ความร้อนที่ให้แก่พลาสติกซอลของพีวีซีกับ พลาสติกไซเซออร์ มีผลทำให้เกิดการหลอมรวมกันของผงพีวีซี การเกาะตัวของพลาสติกซอลจึงดีกว่าชิ้นงานชุด D ถึง F ในหัวข้อ 4.1.1 ซึ่งไม่ให้ความร้อน แต่เวลาที่ให้ความร้อน 120 และ 90 นาที นั้นทำให้เกิดการหลอมรวมกันของผงพีวีซีมากเกินไป พลาสติกซอลจึงจับตัวกันแข็ง เป็นผลให้เติมกรดบอริกลงไปได้ 27.30 และ 29.92 % ตามลำดับ เมื่อลดเวลาในการให้ความร้อนลงเหลือ 60 นาที พบว่าพลาสติกซอลเหลวกว่าในชิ้นงาน G1 และ G2 อย่างชัดเจน และเติมกรดบอริกลงไปได้มากถึง 43.83 % ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลา 60 นาที ในการให้ความร้อนแก่พลาสติกซอลของพีวีซี ไฮบริดคิสเทอร์ชัน เรซิน เกรด 74GP กับ DOP ใน การศึกษาในขั้นต่อไป

4.1.3 ผลของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่มีต่อพลาสติกซอลของพีวีซี

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.1.2 พบว่าเวลาในการอบให้ความร้อนแก่พลาสติกซอลเป็นเวลา 60 นาที เหมาะสมในการเตรียมวัสดุกำกับ ในการทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาเพิ่มเติมในแง่ของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่มีผลต่อพลาสติกซอลของผงพีวีซีกับพลาสติกไซเซออร์ โดยการควบคุมเวลาในการอบให้ความร้อนแก่ พลาสติกซอลที่ 60 นาที แต่เปลี่ยนแปลงปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ และสังเกตปริมาณของกรดบอริกที่สามารถเติมเข้าไปได้รวมถึงลักษณะของชิ้นงานที่ได้ ดังรายละเอียดการทดลองตามหัวข้อ 3.2.3 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่มีต่อการเตรียมชิ้นงานชุด H

ชิ้นงาน	DOP (กรัม)	กรดบอริก (กรัม)	ความเข้มข้นของกรดบอริก (%)	ลักษณะชิ้นงาน
H1	1.250	2.536	43.83	ชิ้นงานที่ผ่านการอบไม่เหลวมาก เมื่อเติมกรดบอริกลงไปทำให้ได้ชิ้นงานที่ป็นได้ง่าย
H2	1.231	2.210	40.60	ชิ้นงานที่ผ่านการอบไม่เหลวมาก เมื่อเติมกรดบอริกลงไปทำให้ได้ชิ้นงานที่ป็นได้แต่ค่อนข้างแข็งและอยู่ตัวกว่าชิ้นงาน H1
H3	1.219	2.186	40.44	ชิ้นงานที่ผ่านการอบค่อนข้างแข็ง แต่สามารถเติมกรดบอริกได้ชิ้นงานที่ป็นได้แต่ค่อนข้างแข็งจึงป็นให้เข้ากันได้ยากกว่าชิ้นงาน H2
H4	1.017	0	0	ชิ้นงานที่ผ่านการอบเกาะตัวกันดีมากแต่แข็งเกินไปไม่สามารถเติมกรดบอริกลงไปได้

จากการทดลองพบว่าเมื่อเราลดปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ลงจะทำให้พลาสติกซอลที่ได้หลังการอบให้ความร้อนแข็งขึ้น มีการเกาะตัวกันมากขึ้น แต่ก็ก็เป็นเหตุให้สามารถเติมกรดบอริกลงไปได้น้อยลงด้วยกล่าวคือชิ้นงาน H1 สามารถเติมได้ 2.536 กรัม ในขณะที่ชิ้นงาน H2 ที่ลดพลาสติกไซเซอร์ลงเหลือ 1.231 กรัม สามารถเติมกรดบอริกได้ 2.210 กรัม และชิ้นงาน H3 ที่ลดพลาสติกไซเซอร์ลงเหลือ 1.219 กรัม เติมกรดบอริกได้ 2.186 กรัม ส่วนชิ้นงาน H4 พบว่าพลาสติกซอลที่ได้แข็งมาก ไม่สามารถเติมกรดบอริกลงไปได้ ทั้งนี้เพราะ DOP ทำหน้าที่เสมือนตัวหล่อลื่นให้พีวีซีซึ่งมีลักษณะแข็งนั้นเหลวลง เมื่อลดปริมาณของ DOP จึงทำให้ DOP เข้าไปแทรกในพีวีซีได้น้อยลงพลาสติกซอลที่ได้จึงแข็งขึ้นเป็นผลให้เติมกรดบอริกได้น้อยลง และชิ้นงานที่ได้จะค่อนข้างแข็งป็นให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้ยาก ดังชิ้นงาน H3 แม้จะเติมกรดบอริกได้ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกับชิ้นงาน H2 เท่าไรนัก แต่คุณสมบัติในการป็น กลับแตกต่างกัน ส่วนชิ้นงาน H4 นั้นแข็งจนไม่สามารถเติมกรดบอริกลงไปได้เลย จากการทดลองนี้ได้ชิ้นงานที่เหมาะสม 2 ชิ้นงาน คือชิ้นงาน H1 และ H2 ซึ่งมีคุณสมบัติในการป็นขึ้นรูปที่ดี จึงใช้สัดส่วนดังชิ้นงานทั้งสองเพื่อการเตรียมชิ้นงานที่มีปริมาณมากขึ้นสำหรับนำไปศึกษาการกำบังนิวตรอนซ้ำ

4.1.4 ผลการเตรียมตัวอย่างในปริมาณที่มากขึ้นเพื่อนำไปกำบังนิวตรอนช้า

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 พบว่าชิ้นงาน H1 และ H2 มีความเหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุกำบัง จึงเลือกเอาชิ้นงานมาเตรียมในปริมาณที่มากขึ้นจากเดิม 50 เท่า คือจากเดิมที่ใช้ผงพีวีซีเพียง 2.000 กรัม เพิ่มเป็น 100 กรัม และเพิ่มส่วนผสมอื่นๆ ตามสัดส่วน ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.4 ได้ผลการสังเกตดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะของชิ้นงานชุด I

ชิ้นงาน	ความเข้มข้นของ กรดบอริก (%)	ลักษณะชิ้นงาน
I1	48.11	ชิ้นงานที่ได้สามารถปั้นได้เกาะตัวกันดี แต่ไม่ค่อยอยู่ตัว มีพลาสติกไซเซอรัลติดตามถุงมือเป็นจำนวนมาก
I2	45.87	ชิ้นงานที่ได้สามารถปั้นได้เกาะตัวกันดี แต่ไม่ค่อยอยู่ตัว มีพลาสติกไซเซอรัลติดตามถุงมือเป็นจำนวนมาก

จากการทดลองพบว่าเมื่อเตรียมชิ้นงาน I1 และ I2 เสร็จตามสัดส่วนของชิ้นงาน H1 และ H2 แต่มีปริมาณวัสดุทั้งหมดมากกว่าชิ้นงาน H1 และ H2 เป็น 50 เท่า คือเดิมกรดบอริกจำนวน 126.800 และ 110.500 กรัม ตามลำดับ ชิ้นงานที่ได้กลับเหลวและไม่อยู่ตัว เวลาปั้นมีพลาสติกซอลจำนวนมากติดตามถุงมือ จึงได้ทำการเติมกรดบอริกเพิ่มลงไปชิ้นงานทั้งสองเพื่อให้ชิ้นงานมีการเกาะตัวกันมากขึ้น โดยชิ้นงาน I1 เติมกรดบอริกเพิ่มอีกจำนวน 23.876 กรัม รวมเป็น 150.676 กรัม และ ชิ้นงาน I2 เติมกรดบอริกอีกจำนวน 26.477 กรัม รวมเป็น 136.977 กรัม แต่ชิ้นงานที่ได้ทั้งสอง แม้จะสามารถปั้นได้แต่ก็ยังคงไม่อยู่ตัวเท่าที่ควร และยังคงมีพลาสติกไซเซอรัลติดตามถุงมือเป็นจำนวนมาก ดังนั้นชิ้นงานทั้งสองจึงยังไม่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุกำบัง ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณของวัสดุขึ้นจากเดิมเป็นจำนวนมาก ทำให้ปริมาณของพลาสติกซอลเพิ่มมากขึ้น ความร้อนที่ให้แก่พลาสติกซอลอาจไม่ทั่วถึงเหมือนกรณีวัสดุปริมาณน้อย ดังนั้นเวลาที่ให้ความร้อนกับพลาสติกซอลจึงทำให้พลาสติกซอลหลอมรวมกันได้น้อยกว่าเมื่อมีปริมาณน้อย พลาสติกซอลที่ได้จึงเหลวเกินไป เมื่อนำมาเติมกรดบอริก ตามสัดส่วนของชิ้นงาน H1 และ H2 จึงได้ชิ้นงานที่เหลวไม่อยู่ตัว เหมือนกับชิ้นงาน H1 และ H2 แม้เติมกรดบอริกเพิ่มลงไปอีกจนชิ้นงานเริ่มรวมการเกาะตัวไม่ดี ก็ยังคงได้ชิ้นงานที่เหลวและมีพลาสติกไซเซอรัลติดตามถุงมือเป็นจำนวนมากเวลาปั้น ทั้งนี้เพราะพลาสติกซอลของพีวีซีและพลาสติกไซเซอรัลทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้กรดบอริกเกาะตัวกัน แต่ปริมาณกรดบอริกที่มากเกินไปที่พลาสติกซอลจะประสานได้ทั่วถึง ชิ้นงานที่ได้จึงร่วน และเนื่องจากการ

หลอมรวมกันของพลาสติกชนิดนั้นต่ำ ชิ้นงานที่ได้จึงเหลวและมี DOP ส่วนเกินที่ไม่ได้เข้าไปแทรกในพีวีซี เมื่อนำมาปั่นจึงติดตามถุงมือเป็นจำนวนมาก ดังนั้นชิ้นงานทั้งสองจึงมีคุณสมบัติในการปั่นขึ้นรูป แตกต่างจากชิ้นงาน H1 และ H2 และ ไม่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุกำบังนิวตรอนซ้ำที่สามารถปั่นขึ้นรูปได้ จึงทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยเลือกใช้ชิ้นงาน H2 ซึ่งมีส่วนประกอบของ DOP น้อยกว่า ในการศึกษาวิธีการเตรียมในขั้นต่อไป

4.1.5 ผลของเวลาที่ให้ความร้อนที่มีต่อชิ้นงาน

จากหัวข้อ 4.1.4 ซึ่งเกิดปัญหาไม่สามารถเตรียมชิ้นงานที่มีสัดส่วนตามชิ้นงาน H1 และ H2 ในหัวข้อนี้จึงเป็นการศึกษาเพิ่มเติมในแง่ของความร้อนที่มีผลต่อพลาสติกของ ผงพีวีซีกับพลาสติกไซเซอร์ โดยการเตรียมชิ้นงานที่มีสัดส่วนเดียวกับชิ้นงาน H2 แต่มีปริมาณมากขึ้นเป็น 50 เท่า แล้วเปลี่ยนแปลงเวลาที่ให้ความร้อนแก่พลาสติกของผงพีวีซีกับพลาสติกไซเซอร์ ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.5 ได้ผลการสังเกตดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของเวลาในการให้ความร้อนที่มีต่อการเตรียมชิ้นงาน

ชิ้นงาน	เวลา (นาที)	ลักษณะชิ้นงาน
J1	75	ชิ้นงานหลังผ่านการอบเหลวมาก เมื่อเติมกรดบอริกลงไปก็ยังคงได้ชิ้นงานที่เหลวมากไม่อยู่ตัวและ DOP ติดตามถุงมือเวลาผสม
J2	80	ชิ้นงานหลังผ่านการอบเหลวมากแต่เหลวน้อยกว่าชิ้นงาน J1 เมื่อเติมกรดบอริกลงไปก็ยังคงได้ชิ้นงานที่เหลวมากไม่อยู่ตัวเช่นกันและ DOP ติดตามถุงมือมากเวลาผสม
J3	85	ชิ้นงานหลังผ่านการอบเหลวน้อยกว่าชิ้นงาน J2 เมื่อเติมกรดบอริกลงไปก็ยังคงได้ชิ้นงานที่เหลวมากไม่อยู่ตัวเช่นกันและ DOP ติดตามถุงมือมากเวลาผสม
J4	90	ชิ้นงานหลังผ่านการอบเกาะตัวกันดีกว่าชิ้นงาน J3 เมื่อเติมกรดบอริกลงไปก็ยังคงได้ชิ้นงานที่ค่อนข้างอยู่ตัวแต่ยังมี DOP ติดตามถุงมือมากเวลาปั่น

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ชิ้นงาน	เวลา (นาที)	ลักษณะชิ้นงาน
J5	95	ชิ้นงานที่ได้หลังการอบเกาะตัวกันได้ดี เมื่อเติมกรดบอริกลงไปได้ ชิ้นงานที่อยู่ตัว สามารถยัดออกจนเป็นเส้นบางๆ หรือบดงอได้โดยไม่แตกเหมือนเทียนไข
J6	100	ชิ้นงานที่ได้หลังการอบเกาะตัวกันได้ดีแต่เติมกรดบอริกเข้าไปได้ยาก และเมื่อเติมหบคได้ชิ้นงานที่แข็งป็นให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ค่อนข้างยาก
J7	105	ชิ้นงานหลังการอบเกาะตัวกันมากแต่เติมกรดบอริกเข้าไปได้เพียงเล็กน้อย

จากการทดลองพบว่าเวลาให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของผงพีวีซีกับพลาสติกไซเซอร่า มีผลต่อการหลอมรวมกันของผงพีวีซี กล่าวคือเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลาน้อยๆ การเกาะตัวของพลาสติกซอลจะไม่ค่อยดียังคงเหลวอยู่ เพราะความร้อนที่ให้กับพลาสติกซอลยังไม่เพียงพอ พลาสติกซอลจึงยังหลอมรวมกันได้น้อย แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อน การหลอมรวมกันมากขึ้น พลาสติกซอลจึงเกาะตัวกันมากขึ้น ดังจะเห็นจากชิ้นงาน J1 ถึง J7 เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้นการเกาะตัวของพลาสติกซอลมีมากขึ้น หรือมีความอยู่ตัวมากขึ้น แต่ปริมาณกรดบอริกที่เติมเข้าไปกลับลดลง จากการทดลองพบว่าเวลาให้ความร้อนในช่วง 75 ถึง 85 นาที การหลอมรวมตัวของพลาสติกซอลยังไม่ดีเท่าที่ควร ดังเห็นได้จากเมื่อนำมาเติมกรดบอริกลงไปแล้ว ยังคงมีพลาสติกไซเซอร่าติดตามถุงมือเป็นจำนวนมาก แต่เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 90 นาที พบว่าเมื่อเติมกรดบอริกลงไปแล้วได้ชิ้นงานที่สามารถปั้นได้ มีความอยู่ตัว แต่ค่อนข้างเหลวเกินไปเล็กน้อยขณะปั้น และยังคงมีพลาสติกไซเซอร่าติดตามถุงมือ เมื่อเพิ่มเวลาให้ความร้อนเป็น 95 นาที พบว่าเมื่อเติมกรดบอริกลงไปแล้วได้ชิ้นงานที่เหมาะสมกล่าวคือสามารถปั้นได้ มีความอยู่ตัว และมีพลาสติกไซเซอร่าที่ติดตามถุงมือเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานขึ้น เป็น 100 นาที พลาสติกซอลที่ได้มีการเกาะตัวกันดี แต่เมื่อเติมกรดบอริกลงไปกลับทำได้ยาก แต่หากค่อยๆ เติมลงไปก็จะได้จนครบปริมาณ ชิ้นงานที่ได้จะค่อนข้างแข็งและป็นเข้ากันเป็นเนื้อเดียวได้ยาก และเมื่อให้ความร้อนเป็นเวลา 105 นาที พลาสติกซอลที่ได้เกาะตัวกันดีมาก แต่เติมกรดบอริกลงไปได้ตามจำนวนที่ต้องการได้ยาก ทั้งนี้เพราะเวลาให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน J6 และ J7 ทำให้พลาสติกซอลหลอมรวมกันในปริมาณที่มากเกินไป ชิ้นงาน J6 เมื่อเติมกรดบอริกในปริมาณน้อยๆ ยังสามารถเติมได้ แต่เมื่อเติมเข้าไปจำนวนหนึ่งจะเติมได้ยากขึ้น แต่ก็สามารถเติมได้ครบตามจำนวน ส่วนชิ้นงาน J7 นั้น เติมเข้าไปได้น้อย

มาก จากการทดลองในหัวข้อนี้ เวลาในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน 95 นาที ได้ชิ้นงานที่เหมาะสมที่สุดในการเป็นวัสดุกำบังนิวตรอนช้าที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้

4.1.6 ผลของปริมาณกรดบอริกที่แตกต่างกันที่มีผลต่อชิ้นงาน

จากหัวข้อ 4.1.5 สามารถเตรียมชิ้นงานที่เหมาะสมในการกำบังนิวตรอนช้าที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ คือชิ้นงาน J5 ซึ่งใช้เวลาในการให้ความร้อน 95 นาที และมีปริมาณกรดบอริก 40.62 เปอร์เซ็นต์ ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการเตรียมวัสดุที่มีปริมาณของกรดบอริกที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปศึกษาความสามารถในการกำบังนิวตรอนของชิ้นงานที่มีปริมาณกรดบอริกแตกต่างกัน แต่เนื่องจากเวลาในการให้ความร้อนแก่พลาสติกซอลของพีวีซีและพลาสติกไซเซอร์ 95 นาที ไม่สามารถใช้สำหรับเตรียมชิ้นงานที่มีกรดบอริกแตกต่างกันได้ทุกความเข้มข้น จึงเปลี่ยนองค์ประกอบของชิ้นงานและเวลาในการให้ความร้อนดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.6 ได้ผลการสังเกตดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการเตรียมชิ้นงานที่มีความเข้มข้นของกรดบอริกแตกต่างกัน

ชิ้นงาน	ความเข้มข้นของกรดบอริก (%)	ลักษณะชิ้นงาน
K1	0.00	ชิ้นงานหลังการอบเกาะตัวกันดีมากสามารถดึงให้ยืดออกจนเป็นเส้นบางๆ หรือทำให้บิดงอโดยไม่แตกเหมือนเทียนไข สามารถปั้นให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย
K2	5.00	ชิ้นงานที่ได้หลังการเติมกรดบอริกเกาะตัวกันดี มีความอยู่ตัวกว่าชิ้นงาน K1 สามารถดึงให้ยืดออกเป็นเส้นบางๆ หรือทำให้บิดงอโดยไม่แตกเหมือนเทียนไข สามารถปั้นให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย
K3	10.00	ชิ้นงานที่ได้หลังการเติมกรดบอริกสามารถดึงให้ยืดออกจนเป็นเส้นบางๆ หรือทำให้บิดงอโดยไม่แตกเหมือนเทียนไข สามารถปั้นได้แต่ค่อนข้างเหลว ไม่อยู่ตัวเท่าที่ควร
K4	15.00	ชิ้นงานที่ได้หลังการเติมกรดบอริกมีลักษณะคล้ายชิ้นงาน K3 แต่ค่อนข้างแข็งกว่าเล็กน้อยและมีความอยู่ตัวมากกว่าชิ้นงาน K3
K5	20.00	ชิ้นงานที่ได้หลังการเติมกรดบอริกมีลักษณะคล้ายชิ้นงาน K3 และ K4 แต่มีความอยู่ตัวมากกว่า

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ชิ้นงาน	ความเข้มข้น ของกรดบอริก (%)	ลักษณะชิ้นงาน
K6	30.21	ชิ้นงานที่ได้หลังการเติมกรดบอริกลงไปเกาะตัวกันดีมีความอยู่ตัวสามารถดึงให้ยืดออกจนเป็นเส้นบางๆ และทำให้บิดงอได้โดยไม่แตกเหมือนเทียนไข
K7	33.12	ชิ้นงานที่ได้หลังการอบเกาะตัวกันดีและเมื่อเติมกรดบอริกลงไปได้ชิ้นงานที่อยู่ตัว สามารถยืดออกจนเป็นเส้นบางๆ หรือบิดงอได้โดยไม่แตกเหมือนเทียนไข
K8	40.63	ชิ้นงานที่ได้หลังการอบเกาะตัวกันดีและเมื่อเติมกรดบอริกลงไปได้ชิ้นงานที่อยู่ตัว สามารถยืดออกจนเป็นเส้นบางๆ หรือบิดงอได้โดยไม่แตกเหมือนเทียนไข

จากการทดลองไม่สามารถใช้เวลาในการให้ความร้อนเพียงเวลาเดียวเพื่อจะได้ชิ้นงานที่มีความแตกต่างของปริมาณกรดบอริกได้ กล่าวคือในหัวข้อ 4.1.5 เวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 95 นาที ซึ่งสามารถใช้เวลาดังกล่าวในการเตรียมชิ้นงาน K7 ได้ แต่เมื่อต้องการลดปริมาณกรดบอริกเหลือ 30.21 % ในชิ้นงาน K6 กลับได้ชิ้นงานที่ค่อนข้างเหลว ไม่อยู่ตัว และมีพลาสติกไซเซอรด์ติดตามถุงมือมากเวลาปั้น เหมือนการให้ความร้อนที่น้อยเกินไปแก่ชิ้นงาน J1 ถึง J2 ในตารางที่ 4.6 ดังนั้นจึงต้องเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนเป็น 100 นาที จึงได้ชิ้นงานที่เกาะตัวกันดีมีความอยู่ตัวเพราะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้พลาสติกซอลหลอมรวมกันมากขึ้น ในส่วนของชิ้นงาน K3-K5 ได้เพิ่มเวลาเป็น 105 นาที จึงได้ชิ้นงานที่มีการเกาะตัวกันดีแต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยในกรณีที่ใช้เวลาในการให้ความร้อนเท่ากันเช่นชิ้นงาน K3 ถึง K5 ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อน 105 นาทีเท่ากัน ชิ้นงาน K3 ซึ่งมีปริมาณกรดบอริกน้อยกว่าจะค่อนข้างเหลวกว่า K4 และ K5 ตามลำดับ แต่สามารถนำมาปั้นขึ้นรูปแล้วมีความอยู่ตัวใกล้เคียงกันมีความอยู่ตัว ส่วนชิ้นงาน K2 ถ้าใช้เวลาในการให้ความร้อน 105 นาที ชิ้นงานที่ได้หลังการเติมกรดบอริกเหลวเกินไป เช่นเดียวกับชิ้นงานอื่นๆ ที่ให้ความร้อนน้อยเกินไป ดังนั้นจึงเพิ่มเวลาเป็น 110 นาที พลาสติกซอลที่ได้จับตัวกันดีสามารถปั้นได้แม้ยังไม่ได้เติมกรดบอริก เมื่อเติมกรดบอริกลงไป 8.503 กรัม ได้ชิ้นงานที่เกาะตัวกันดีสามารถปั้นหรือทำให้บิดงอได้โดยไม่แตกเหมือนเทียนไข การทดลองในขั้นตอนนี้ได้ชิ้นงานที่มีความแตกต่างของปริมาณกรดบอริกโดยมีส่วนผสมอื่นๆ เท่ากัน มีคุณสมบัติในการปั้นขึ้นรูป

ใกล้เคียงกัน และการเกาะตัวกันดีสามารถดึงให้ซีคอกจนเป็นเส้นบางๆ หรือทำให้บดงอได้โดยไม่แตกเหมือนเทียนไข

4.1.7 ผลของความร้อนที่มีต่อการระเหยของพลาสติกไซเซอร์

เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของพลาสติกซอลของพีวีซี ไฮบริด คิสเปอร์ชัน เรซิน เกรด 74GP นั้นนานมาก จึงอาจมีพลาสติกไซเซอร์บางส่วนที่อาจระเหยออกไประหว่างการเตรียม แม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเตรียมวัสดุกำบังต่ำกว่าจุดเดือดของพลาสติกไซเซอร์ การทดลองในขั้นตอนนี้เพื่อหาปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ที่อาจเปลี่ยนแปลงไป เพื่อการคำนวณหาสัดส่วนขององค์ประกอบของวัสดุกำบัง โดยการทดลองดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.7 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลของความร้อนที่มีต่อการระเหยของพลาสติกไซเซอร์ในพลาสติกซอล

ชุดที่	เวลาในการอบ (นาที)	น้ำหนักอะลูมิเนียมฟอยล์ (กรัม)	น้ำหนักรวมก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักรวมหลังอบ (กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (กรัม)	การเปลี่ยนแปลง (%)
1	60	0.595	10.508	10.508	0.000	0.000
2	75	0.614	10.710	10.707	0.003	0.030
3	90	0.703	10.908	10.908	0.000	0.000
4	105	0.712	11.056	11.055	0.001	0.010
5	120	0.585	11.117	11.117	0.000	0.000
6	135	0.658	11.044	11.044	0.000	0.000

จากการทดลองพบว่าเมื่อทำการอบส่วนผสมของผงพีวีซีกับพลาสติกไซเซอร์ในตู้อบที่อุณหภูมิ 67.5 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่แสดงในตารางที่ 3.7 พบว่าน้ำหนักของวัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีเพียงชุดที่ 2 และ ชุดที่ 4 ที่มีการเปลี่ยนแปลง 0.003 และ 0.001 กรัม เปลี่ยนแปลงไป 0.030 และ 0.010 % ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ดังนั้นอุณหภูมิ 67.5 องศาเซลเซียสจึงไม่มีผลในการระเหยพลาสติกไซเซอร์ออกจากวัสดุ ดังนั้นในการคำนวณหาสัดส่วนของ

องค์ประกอบของชิ้นงานสามารถคำนวณได้โดยตรงจากน้ำหนักของส่วนประกอบทั้งหมดรวมถึงพลาสติกไซเซอร์ เนื่องจากน้ำหนักของพลาสติกไซเซอร์คงที่ ไม่ได้ระเหยไประหว่างการให้ความร้อน

4.2 ผลการก้ำบังนิวตรอนช้า

4.2.1 ผลของความเข้มข้นของกรดบอริกที่มีต่อการก้ำบังนิวตรอนช้า

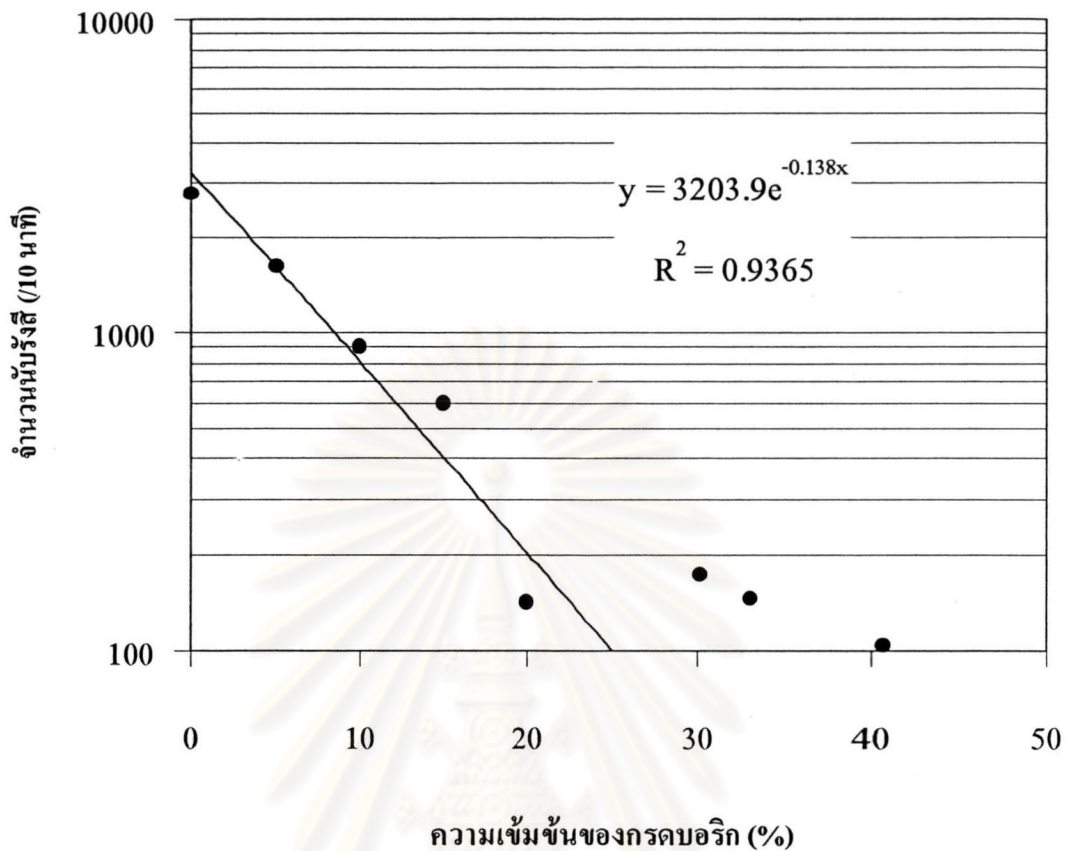
จากการทดลองเตรียมวัสดุสำหรับก้ำบังนิวตรอนช้าที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.6 และผลการสังเกตดังหัวข้อ 4.1.6 ได้ชิ้นงาน K1-K8 ซึ่งเหมาะสมสำหรับเป็นวัสดุก้ำบังนิวตรอนช้าที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ และมีปริมาณของกรดบอริกแตกต่างกันตั้งแต่ 0.00-40.63 % ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7 เมื่อนำมาทดลองการก้ำบังนิวตรอนช้าดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.1 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 และเมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดบอริกกับจำนวนนับรังสีได้ผลดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.9 ผลของความเข้มข้นของกรดบอริกที่มีต่อจำนวนนับรังสี

ความเข้มข้นของกรดบอริก (%)	จำนวนนับรังสี (/10 นาที)	นิวตรอนทะลุผ่าน (%)	ค่าภาคตัดขวางมหภาค (cm^{-1})**
ไม่ได้ใส่วัสดุก้ำบัง	10803±225	100.00	-
0.00*	2724 ± 153	25.22	1.38
5.00	1618± 141	14.98	1.90
10.00	906 ± 137	8.39	2.48
15.00	600 ± 132	5.55	2.89
20.00	142 ± 125	1.31	4.33
30.21	173 ± 137	1.60	4.13
33.12	146± 119	1.35	4.30
40.63	103 ± 129	0.95	4.65

* 0.00 % กรดบอริก หมายถึงมีวัสดุก้ำบังรังสีที่ไม่ได้ใส่กรดบอริก (ทำจากการผสม พีวีซีกับ DOP)

** คำนวณจากผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกรดบอริกกับจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้า

จากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่มีความเข้มข้นของกรดบอริกต่างกันที่มีความหนา 1 ซม. เท่ากันเมื่อนำมากำบังนิวตรอนช้า ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 จากตารางจะเห็นว่าเมื่อทำการวัดรังสีโดยไม่ใช้วัสดุกำบังได้จำนวนนับรังสีเท่ากับ 10803 เมื่อใส่วัสดุกำบัง K1 ซึ่งมีแคปซูลกับ DOP (ไม่มีกรดบอริก) ได้ค่าจำนวนนับรังสีเท่ากับ 2724 เมื่อคิดเป็นรังสีที่สามารถทะลุผ่านวัสดุกำบังได้มีค่าเท่ากับ 25.22 % ซึ่งวัสดุกำบังสามารถลดจำนวนนิวตรอนได้ถึง 74.78 % ทั้งนี้เพราะนิวตรอนส่วนใหญ่เป็นนิวตรอนช้าเมื่อชนกับธาตุนิวเคลียสในชิ้นงานซึ่งมีฟิวชันเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้ส่วนใหญ่กระเจิงออกไปจากทิศทางเดิมและนิวตรอนบางส่วนถูกจับโดยอะตอมไฮโดรเจนและคลอรีนในฟิวชัน ค่าจำนวนนับรังสีจึงลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนอนุภาคนิวตรอนอีกส่วนที่ไม่กระเจิงออกจากทิศทางเดิมจะเข้าสู่หัววัดรังสี เมื่อนำค่าจำนวนนับรังสีที่ได้มาคำนวณหาค่าภาคตัดขวางมหภาคของชิ้นงาน K1 ได้ 1.38 cm^{-1} เมื่อทดลองโดยใช้ชิ้นงาน K2 ซึ่งมีความเข้มข้นของกรดบอริก 5 % พบว่านิวตรอนที่ทะลุผ่านวัสดุกำบังมีค่าลดลงครึ่งหนึ่งจากเมื่อกำบังด้วยชิ้นงาน K1 คือนิวตรอนสามารถทะลุผ่านไปได้ 14.98 % นิวตรอนที่ลดลงเนื่องจากผลของกรดบอริกที่เดิมเข้าไปเป็นหลัก แม้ผลของการกระเจิงจากฟิวชันและ DOP จะมีผลทำให้นิวตรอนกระเจิงออกจากทิศทางเดิม แต่ชิ้นงาน K1 และ K2 มีส่วนประกอบของฟิวชันและ DOP ไม่ต่างกันมาก ค่าภาคตัดขวางมหภาคใน

การจับนิวตรอนจากฟิวชั่นและ DOP ในชิ้นงาน K1 และ K2 มีค่าใกล้เคียงกัน และค่าดังกล่าวยังมีค่าน้อยกว่าค่าภาคตัดขวางมหภาคในการจับนิวตรอนของกรดบอริกที่เคมลงไปในชิ้นงาน K2 และเมื่อสังเกตกับชิ้นงาน K3, K4 และ K5 ที่มีปริมาณของกรดบอริกเพิ่มขึ้น จำนวนนิวตรอนที่ทะลุผ่านก็จะมีค่าลดลงครั้งละครั้งตามลำดับ อันเป็นผลจากความสามารถในการจับนิวตรอนช้าของโบรอนที่เพิ่มเข้าไป แต่ตั้งแต่ชิ้นงาน K5 เป็นต้นไป ค่านิวตรอนที่สามารถทะลุผ่านวัสดุกำบังได้มีค่าใกล้เคียงกันจนไม่อาจแยกความแตกต่างได้ชัดเจน ทั้งนี้เพราะการลดทอนของนิวตรอนมีลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล เมื่อวัสดุกำบังมีความสามารถในการกำบังสูงๆ จำนวนนับรังสีที่ได้จะมีค่าน้อย แม้เพิ่มปริมาณกรดบอริกลงไปอีกก็ได้ผลจำนวนนับรังสีที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ประกอบกับในการวัดจำนวนนับรังสีจะมีความผิดพลาดจากการวัด ซึ่งจากผลในตารางที่ 4.10 ค่าความผิดพลาดของชิ้นงาน K5-K8 อยู่ในช่วง 119 ถึง 137 ดังนั้นผลการวัดจำนวนนับรังสีที่ได้จึงมีค่าไม่แตกต่างกัน และมีโอกาสที่วัสดุกำบังที่มีความสามารถในการกำบังสูงกว่า อาจให้ค่าจำนวนนับรังสีที่มากกว่าชิ้นงานที่มีความสามารถในการกำบังนิวตรอนต่ำกว่า ซึ่งจากการทดลองพบว่าชิ้นงาน K5 ซึ่งมีความเข้มข้นของกรดบอริก 20 % ได้จำนวนนิวตรอนทะลุผ่านน้อยกว่า ชิ้นงาน K6 และ K7 ซึ่งมีความเข้มข้นของกรดบอริก 30.21 และ 33.12 % ตามลำดับ เมื่อนำค่าจำนวนนับรังสีที่ได้ไปคำนวณหาค่าภาคตัดขวางมหภาคของแต่ละชิ้นงานได้ค่าภาคตัดขวางมหภาคตั้งแต่ 1.38-4.65 cm⁻¹

จากค่าจำนวนนับรังสีที่ได้เมื่อนำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์กับปริมาณกรดบอริก โดยแสดงค่าจำนวนนับรังสีในมาตราส่วนลอการิทึม ได้กราฟที่มีลักษณะเอกซ์โพเนนเชียลดังแสดงในกราฟที่ 4.1 ซึ่งมีสมการ $y = 3203.9e^{-0.138x}$ และมีค่า $R^2 = 0.9365$ จากกราฟจะเห็นว่าจำนวนนับรังสีจะลดลงจนกระทั่งตั้งแต่ชิ้นงาน K5 ที่มีความเข้มข้นของกรดบอริก 20 % เป็นต้นไปถึงชิ้นงาน K8 ที่มีความเข้มข้นของกรดบอริก 40.63% ดังนั้นวัสดุที่มีปริมาณกรดบอริกมากขึ้นก็ไม่ได้เพิ่มความสามารถในการกำบังนิวตรอน การเติมกรดบอริกลงไปมากเกินไปจึงทำให้สิ้นเปลือง ชิ้นงาน K5 ซึ่งมีความเข้มข้นของกรดบอริกเพียง 20 % และมีความสามารถในการกำบังนิวตรอนใกล้เคียงกับชิ้นงาน K6-K8 แต่ชิ้นงานดังกล่าวเป็นช่วงที่จำนวนนับรังสีเริ่มคงที่ อาจมีความผิดพลาดจากการวัดจึงไม่พิจารณาเลือกวัสดุ K5 สำหรับการทดลองในขั้นตอนต่อไป และเมื่อพิจารณาประกอบกับลักษณะของกราฟ พบว่ากราฟลดลงจนไปตัดแกน X ที่ว่าเข้มข้นของกรดบอริกประมาณ 25 % ซึ่งสูงกว่าความเข้มข้นของชิ้นงาน K5 จากเหตุผลดังกล่าวจะได้ว่าชิ้นงาน K6 ซึ่งมีความเข้มข้นของกรดบอริก 30.21 % เป็นชิ้นงานที่ดีที่สุดในการกำบังนิวตรอน จึงเลือกชิ้นงาน K6 สำหรับการทดลองการกำบังรังสีเมื่อมีความหนาของชิ้นงานต่างกัน ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.2.2

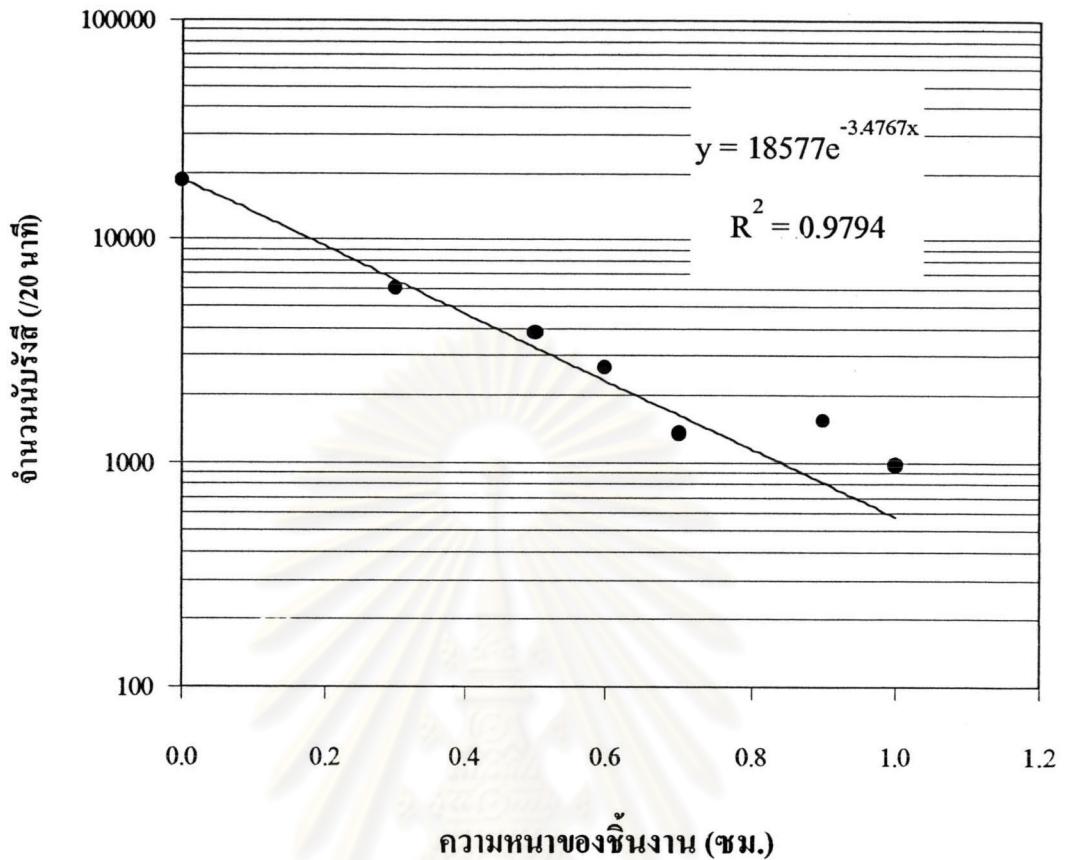
4.2.2 ผลของความหนาของชิ้นงานที่มีต่อการกำบังนิวตรอนช้า

จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1 พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณกรดบอริก 30.21 % เหมาะสมในการทำเป็นวัสดุกำบังนิวตรอนช้าที่สามารถปั้นขึ้นรูปได้ จึงทำการทดลองหาคุณสมบัติในการกำบังนิวตรอนช้าของชิ้นงาน โดยการศึกษาผลของความหนาของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปที่มีต่อจำนวนนับรังสี ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10 และเมื่อนำมา สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชิ้นงานกับจำนวนนับรังสีได้ผลดังกราฟที่ 4.2

ตารางที่ 4.10 ผลของความหนาของชิ้นงานที่มีต่อจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้า

ความหนา (ซม.)	จำนวนนับรังสี (/20 นาที)	% Transmission
0.0	18419±307	100.00
0.3	5975±229	32.44
0.5	3787±207	20.56
0.6	2624±198	14.25
0.7	1365±189	7.41
0.9	1530±183	8.31
1.0	981±176	5.33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างของความหนาของชิ้นงานที่มีต่อจำนวนนับรังสีนิวตรอนช้า

จากการทดลองพบว่าเมื่อเลือกใช้ชิ้นงาน K6 ที่มีความเข้มข้นของกรดบอริก 30.21 % มา กำบังนิวตรอนช้าโดยเลือก ความหนาที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.0 ซม. ได้ผลจำนวนนับรังสีดัง แสดงในตารางที่ 4.11 เมื่อไม่มีวัสดุกำบังได้จำนวนนับรังสีมีค่าเท่ากับ 18419 แต่เมื่อมีชิ้นงานที่มีความหนา 0.3 ซม. ค่าจำนวนนับรังสีจะลดลงเหลือ 5975 ซึ่งลดลงจากเมื่อไม่มีวัสดุกำบังเป็น จำนวน 1244 ทั้งนี้เพราะเป็นผลของการกระเจิงของอนุภาคนิวตรอนออกจากทิศทางเดิมและผลของ กรดบอริกที่สามารถจับนิวตรอนได้ แต่เมื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงานเป็น 0.5 ซม. ได้ผลการวัด จำนวนนับรังสี 3787 ซึ่งลดลงจากเมื่อชิ้นงานมีความหนา 0.3 ซม. เป็นจำนวน 2188 และเมื่อเพิ่ม ความหนาของชิ้นงานขึ้นตามลำดับ ค่าจำนวนนับรังสีที่ได้จะลดลง ซึ่งการลดลงของจำนวนนับรังสี ดังกล่าวสอดคล้องกับการลดทอนของนิวตรอนที่มีลักษณะเอกซ์โพเนนเชียล และสังเกตว่าตั้งแต่ ชิ้นงานที่มีความหนา 0.7 ถึง 1.0 ซม. ให้ผลจำนวนนับรังสีที่มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะนิวตรอน ถูกกำบังไว้ได้เกือบหมดจนค่าจำนวนนับรังสีคงที่และมีผลของความผิดพลาดจากการวัดเข้ามา เกี่ยวข้อง จึงได้ผลจำนวนนับรังสีไม่แตกต่างกันมาก ดังได้อธิบายในหัวข้อ 4.2.1 จากค่าจำนวนนับ รังสีที่ได้ เมื่อนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับความหนาของชิ้นงานโดยแสดงค่าจำนวนนับรังสีใน

มาตราส่วนลอการิทึมได้กราฟที่มีสมการ $y = 18577e^{-3.4767x}$ และมีค่า $R^2 = 0.9794$ ซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟเอกซ์โพเนนเชียล อันเป็นไปตามสมการการลดทอนของอนุภาคนิวตรอน โดยมีค่าภาคตัดขวางมหภาคเท่ากับ 3.4767 cm^{-1} และมีค่า HVL ประมาณ 0.2 ซม.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย