บทที่ 4
สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุป

จากการดำเนินการวิจัยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1.1 ผลของการบดผสม

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้คือ จากการบดผงโลหะที่เวลาบด 3, 6 และ 10 ชั่วโมง เมื่อเวลาบดมากกว่า 3 ชั่วโมงจะส่งผลให้เกิดเฟสอสัณฐานขึ้น (Amorphous) และทำให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นเมื่อเวลาบดเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งในขั้นตอนการบดนั้นจะไม่มีเฟส NiTi เกิดขึ้น

4.1.2 ผลอุณหภูมิและเวลาในการอบผนึก

ในขั้นตอนนี้นำผงโลหะที่ผ่านขั้นตอนการบดมาขึ้นเป็นชิ้นงานแล้วอบผนึกที่อุณหภูมิและเวลาอบผนึกต่าง ๆ จากนั้นวิเคราะห์ผลด้าน XRD เพื่อหาเฟส NiTi จากการทดลองเริ่มต้นอบผนึกที่อุณหภูมิ 800 จนถึง 1200 °C ที่เวลาอบผนึก 1-3 ชั่วโมง ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อย่อยตามเวลาบดได้ดังนี้

1) เวลาบด 3 ชั่วโมง

เวลาบด 3 ชั่วโมง จะเกิด NiTi จะเกิดเฟส NiTi ตั้งแต่อุณหภูมิ 800, 900, 1000 °C ณ เวลาอบผนึกเฟส 2 ชั่วโมง โดยจะมีเฟส NiTi, Ni_3Ti, $NiTi_2$ และ TiC แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น 1200 °C ณ เวลาอบผนึก 1- 2.5 ชั่วโมงจะไม่เกิดเฟส NiTi พบแต่ Ni_3Ti, $NiTi_2$ และ TiC

2) เวลาบด 6 ชั่วโมง

เวลาบด 6 ชั่วโมง ณ ที่เวลาอบผนึก 800, 900 และ 1000 °C ณ เวลาอบผนึก 1 และ 2 ชั่วโมง จะพบเฟส NiTi, Ni_3Ti, $NiTi_2$ และ TiC เช่นเดียวกับเวลาบด 3 ชั่วโมง จะมีเฟส NiTi ของโครงสร้าง Monoclinic เพิ่มขึ้นในส่วนของอุณหภูมิ 1200 °C ณ เวลาอบผนึก 1-2.5 ชั่วโมง จะพบเฟส NiTi ที่เวลาอบผนึก 1, 1.5 ชั่วโมง เท่านั้น หลังจากนั้นไม่พบเฟส NiTi

3) เวลาบด 10 ชั่วโมง

เวลาบด 10 ชั่วโมง ณ ที่เวลาอบผนึก 800, 900 ณ เวลาอบผนึก 1 และ 2 ชั่วโมง จะพบเฟส NiTi, Ni_3Ti, $NiTi_2$ และ TiC ส่วนที่อุณหภูมิ 1000 °C ที่เวลาอบผนึก 2 ชั่วโมงจะไม่มีเฟส NiTi เกิดขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 1200 °C ณ เวลาอบผนึก 1- 2.5 ชั่วโมง ปรากฏว่า ไม่มีเฟส NiTi พบแต่เฟส Ni_3Ti, $NiTi_2$ และ TiCในขั้นตอนนี้สรุปว่า เวลาบด 6 ชั่วโมง จะมีเฟส NiTi ตั้งแต่อุณหภูมิ 800 ถึง 1200 °C ที่เวลาอบผนึก 1-3 ชั่วโมง

4.1.3 สอบสมบัติเชิงกล ปรากฏว่าที่อุณหภูมิอบผนึก 1200 °C โดยใช้เวลา 2.5 ชั่วโมง ให้ความแข็งแรงมากที่สุดคือ 108 MPa แต่ค่อนข้างเปราะเนื่องจากเกิด TiC ขึ้นเนื่องจากเบ้ารองเป็นกราไฟต์ จึงเปลี่ยนแผ่นรองชิ้นงานเป็นอะลูมินาซึ่งทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงและเหนียวเพิ่มขึ้น โดยความแข็งแรงดึงเป็น 86 MPa ที่ความเครียด 4 %

4.1.4 สมบัติการเปลี่ยนเฟส สามารถสรุปดังตารางที่4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปการเปลี่ยนเฟสของสารที่สังเคราะห์

Conditions	Cooling(°C)			Heating(°C)		
	M_s	M_f	ΔH (J/g)	A_s	A_f	ΔH (J/g)
อุณหภูมิอบผนึก 900°C	55	48	-5.04	48.6	66	12.53
อุณหภูมิอบผนึก 1000°C	56.3	50	-6.17	54.9	66	14.78
อุณหภูมิอบผนึก 1200 °C	33.25	44.21	-1.02	52.11	71.34	17.71
อุณหภูมิอบผนึก 1200 °C (heat treatment)	36.83	45.86	-0.78	53.86	82	3.18

4.1.5 การฝึกสอน

เมื่อจำนวนรอบของการฝึกสอนเพิ่มขึ้นค่า TWSME มีค่าเพิ่มขึ้นและเมื่อจำนวนรอบการฝึกสอนเพิ่มขึ้นทำให้ อัตราส่วนของ TWSME (Two way shape memory effect) หลังจากผ่านการฝึกสอนเพิ่มขึ้นด้วยแสดงว่าสมบัติการจำรูปที่ดีขึ้น และจะเห็นว่าที่การฝึก 100 รอบ ทำให้คืนกลับรูปร่างเดิมได้ 100 %

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ในขั้นตอนการบด ควรระมัดระวังการติดไฟของผงโลหะขณะเปิดหม้อบด การป้องกันการติดไฟโดยใช้ Stearic acid ให้เหมาะสม คือไม่เกิน 5%ของน้ำหนักผงโลหะ หากมากเกินไปจะทำให้ผงโลหะติดหม้อบด

4.2.2 ในขั้นตอนการอบผนึก ควรใช้เบ้าอะลูมินาในการรองชิ้นงานเพื่อป้องกันการเกิดเฟส TiC ที่ทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง

4.2.3 ในการสังเคราะห์ NiTi วิธีสังเคราะห์เพื่อให้ได้โครงสร้าง NiTi ให้มีปริมาณของมลทินน้อยลงได้แก่การลดปริมาณการใช้สาร Stearic acid ให้น้อยลง และควบคุมเวลาให้สั้นลง ซึ่งถ้าใช้วิธีเดิมนี้ปัญหาที่เกิดตามมาคือความแข็งแรงของชิ้นงานกรีน และชิ้นงานหลังการอบผนึกไม่แข็งแรง ดังนั้นวิธีซึ่งอาจมีประสิทธิภาพมากกว่าได้แก่ SHS (Self-propagating high temperature synthesis) หรือ Ion beam melting method