

บทที่ 3

ผลการทดลองและการอภิปราย

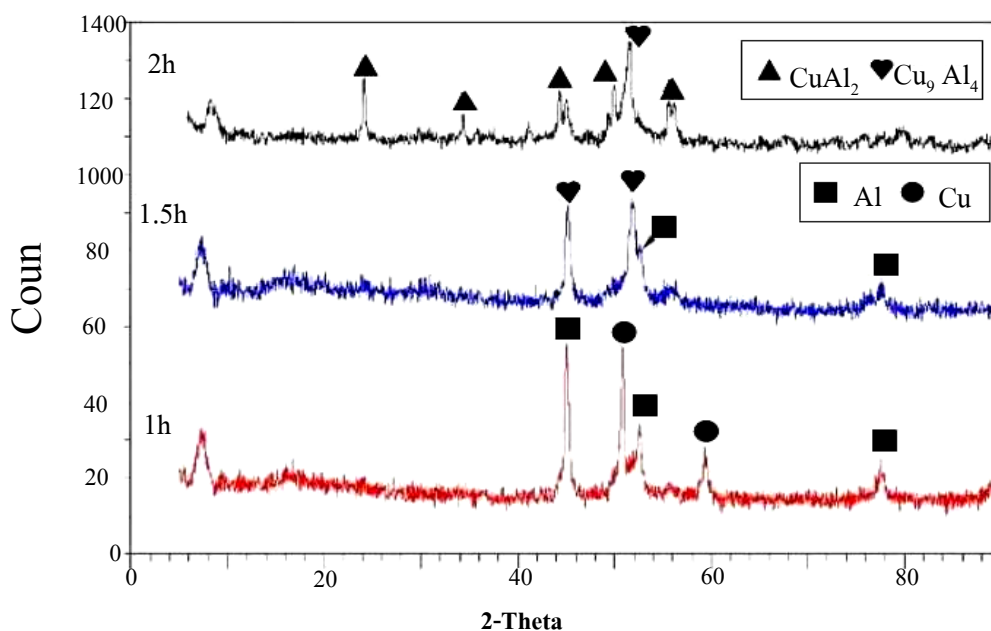
3.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องแอทไตรเตอร์

การออกแบบเครื่องบดเน้นการใช้วัสดุที่มีในท้องตลาด ซึ่งจะสะดวกในการซ่อมแซมภายหลัง การทำงานของเครื่องใช้หลักการง่ายๆ ไม่ซับซ้อนผู้ใช้ที่ไม่มีทักษะก็สามารถใช้ได้ สำหรับเครื่องแอทไตรเตอร์นี้เนื่องจากใช้หลักการง่ายๆ จึงไม่ได้ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมแต่อย่างใด ตัวโครงสร้างของเครื่องใช้เหล็กหล่อสีเทาและเหล็กกล้าคาร์บอน หม้อบดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 108 มิลลิเมตรสูง 128 มิลลิเมตรผนังสองชั้นเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 หนา 4.5 มิลลิเมตรและเพลลาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 304 ส่วนแกนของเพลลาบเหล็กกล้าเครื่องมือความเร็วสูง (high speed tool steel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หม้อบดขนาด 1 ลิตร มีผนังสองชั้นระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยใช้ปั๊มดูดน้ำเย็นจากถังเก็บน้ำไปที่ผนังสองชั้นของหม้อบด ท่อดูดและท่อส่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร น้ำร้อนจะไหลผ่านหม้อน้ำรังผึ้ง มีพัดลมระบายความร้อน ทำให้น้ำเย็นลงไหลลงสู่ถังเก็บน้ำ น้ำเย็นจะถูกดูดขึ้นไประบายความร้อนอีกไหลเวียนเช่นนี้อยู่ตลอดเวลา มีเพลลาบ 2 ชนิด ต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดสามเฟสขนาด 1 แรงม้า ส่งกำลังด้วยสายพานวี (v-belt) ทดรอบด้วยพูลเลย์ ปรับความเร็วรอบได้ 4 ระดับ คือ 500, 700, 900 และ 1200 รอบต่อนาที ชนิดของเพลลาบที่ออกแบบไว้มี 2 ชนิด คือ ชนิด 10 แขน และ 12 แขน มีปั๊มสุญญากาศเพื่อดูดอากาศในหม้อบดให้เป็นสุญญากาศ และเติมก๊าซอาร์กอนในหม้อบดเพื่อบดผสมภายใต้บรรยากาศก๊าซอาร์กอน

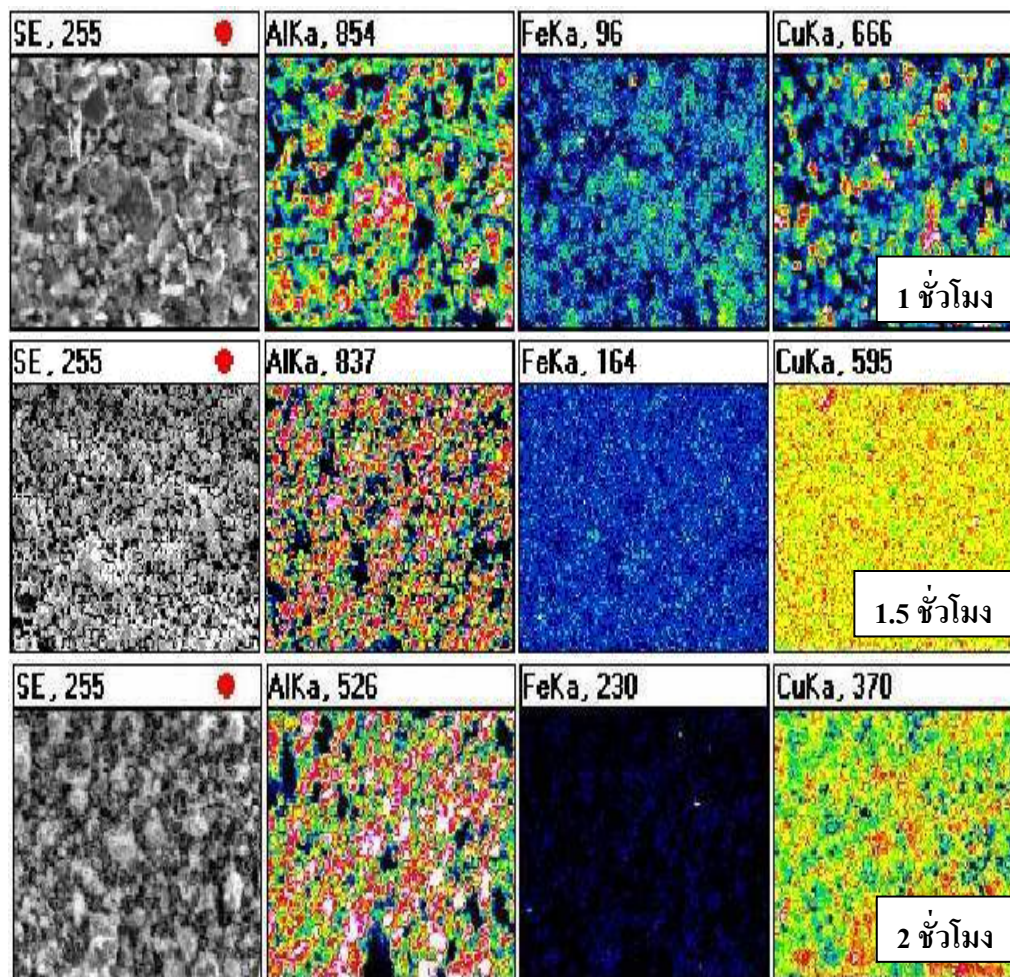
ผลจากการบดผสมอนุภาคผงโลหะอะลูมิเนียม - ทองแดง อัตราส่วน 67 : 33 โดยน้ำหนัก พบว่าเครื่องบดแอทไตรเตอร์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถใช้งานได้ดีที่ความเร็วรอบ 500 และ 700 รอบต่อนาที ส่วนที่ความเร็วรอบ 900 1200 รอบต่อนาที มอเตอร์จะใช้กำลังไฟฟ้า 1.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปซึ่งมอเตอร์จะทำงานหนักเกินไปมอเตอร์อาจไหม้ได้ ความเร็วรอบที่เหมาะสมของเครื่องนี้คือ 700 รอบต่อนาที เพราะสามารถเตรียมโลหะผสมเชิงกล อะลูมิเนียม-ทองแดง 33 % ทองแดง ได้ภายในเวลา 30 นาที

3.2 ผลการวิเคราะห์หัตถิพลของความเร็วรอบ เวลาที่บดและจำนวนแขนของเพลลาบ ต่อการเกิดเฟสของโลหะผสม

67 : 33 โดยใช้เพลลาขับ 10 แชน ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เพื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาการบดที่แปรค่าเป็น 1 1.5 และ 2 ชั่วโมง พบว่าที่เวลาบด 1 และ 1.5 ชั่วโมง (รูปที่ 3.1) ยังไม่เกิดโลหะผสม ซึ่งประกอบด้วยเฟสของ CuAl_2 และอะลูมิเนียม ซึ่งเป็นโครงสร้างยูเทคติกตามที่แสดงในรูปที่ 1.13-1.14 ซึ่งเป็นแผนภาพสมดุลเฟสระหว่างโลหะอะลูมิเนียมและทองแดง เนื่องจาก เวลาที่ใช้ในการบดโลหะผสมยังไม่พอที่ทำให้อะลูมิเนียมและทองแดงแพร่กระจายเข้าด้วยกันอย่างสม่ำเสมอได้ ซึ่งสังเกตได้จากการกระจายตัวของธาตุในรูปที่ 3.2 ซึ่งไม่มีการกระจายตัวที่ดีโดยอะลูมิเนียมกระจุกตัวเป็นจุดๆใหญ่ๆ แต่เมื่อเวลาบดนานขึ้นการกระจายตัว จะดีขึ้น (รูปที่ 3.2) แต่ยังไม่ทำให้เกิดการแพร่ของโลหะทองแดงเข้าไปในโครงสร้างของอะลูมิเนียมจนทำให้เกิดสารประกอบ CuAl_2 ซึ่งในการกระทบของลูกบดจากการชนกันทำให้เกิดความร้อนและการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกของอนุภาค และนอกจากนั้นยังทำให้เกิดรวมกลุ่ม จับตัวเป็นก้อน (agglomeration) และการแตกของอนุภาคที่รวมกันเป็นก้อนแล้วเป็นอนุภาคเล็กๆ สลับกันไปเรื่อยๆ ตลอดช่วงเวลาที่บด ความร้อนจะถูกสะสมในอนุภาคมากขึ้นพร้อมๆ กับที่โครงสร้างของอนุภาคจะถูกทำลายมากขึ้น จนกระทั่งทำให้เกิดการแพร่และเกิดโลหะผสมและ ก่อรูปเฟสของโลหะผสมตามต้องการได้ จะเห็นว่า การทดลองบดที่เวลานานขึ้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะเกิดเฟสโลหะผสมตามต้องการได้ (รูปที่ 3.1) เพราะเกิดการแพร่ของธาตุอะลูมิเนียมและทองแดงเป็นเนื้อเดียวกันกระจายอย่างสม่ำเสมอ (รูปที่ 3.4) และทำให้เกิดสารประกอบ CuAl_2 ขึ้น

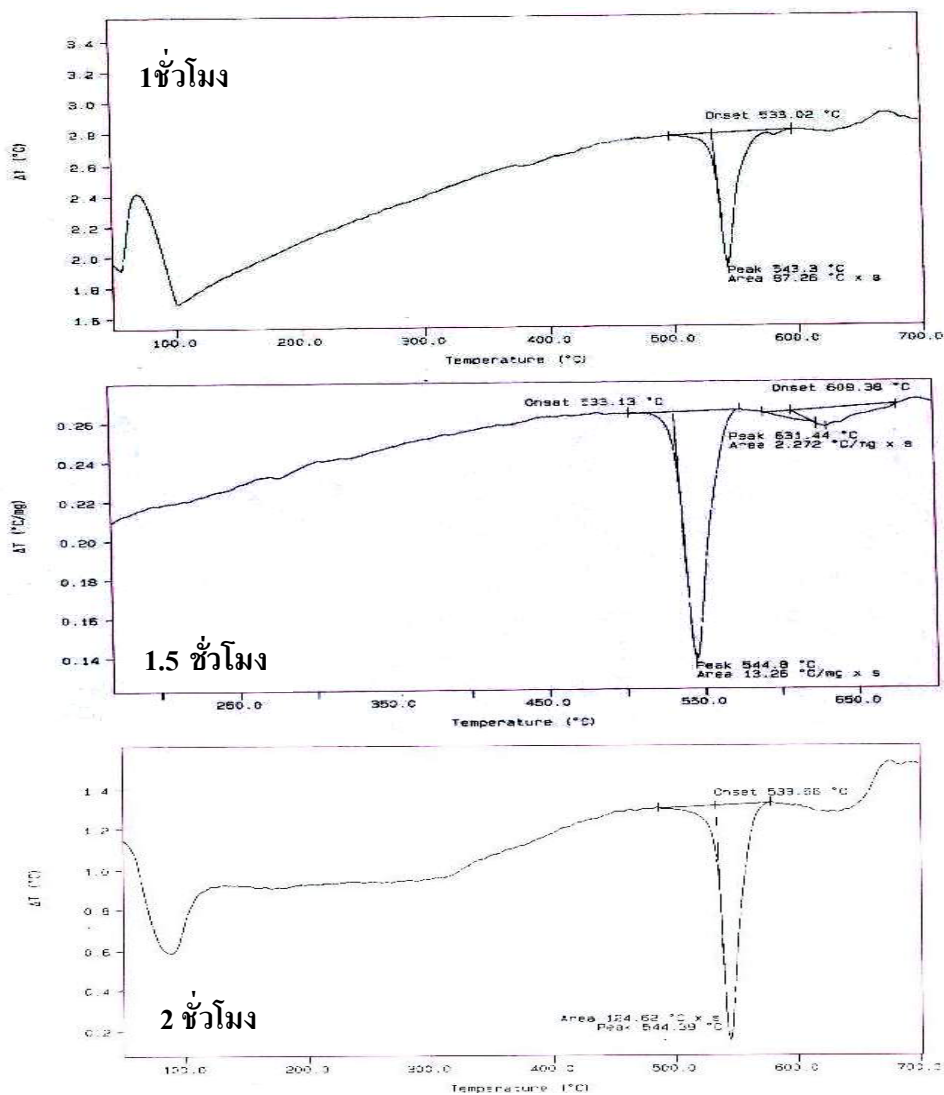


รูปที่ 3.1 ผลจากการวิเคราะห์ XRD และผลผลิตที่เกิดจากการบดผสมอะลูมิเนียมและทองแดง เมื่อใช้เพลลา 10 แชน ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เวลาบด 1 1.5 และ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2 ภาพการกระจายตัวของธาตุต่างๆ จากการวิเคราะห์ด้วย X-ray mapping ของตัวอย่าง ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที และใช้เพลตขับ 10 แชน ที่เวลาต่างๆ

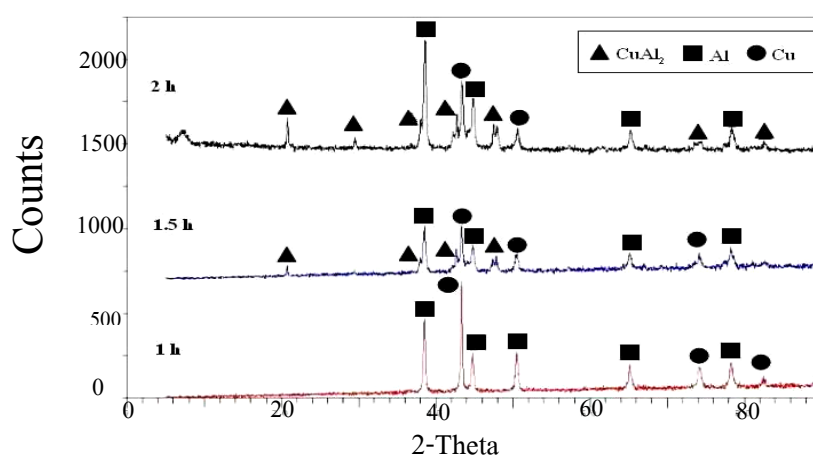
เมื่อพิจารณาผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DTA พบว่าที่เวลาบด 1 ชั่วโมง มีโครงสร้างยูเทคติก โลหะผสมเกิดขึ้นแล้ว โดยสังเกตจากอุณหภูมิหลอมเหลวที่ทดสอบได้ประมาณ $544\text{ }^{\circ}\text{C}$ (รูปที่ 3.3) ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิยูเทคติกของระบบ จากรูปแผนภาพสมดุลเฟสของโลหะผสม อะลูมิเนียมทองแดงซึ่งมีค่า $548\text{ }^{\circ}\text{C}$ ค่าที่ทดสอบได้มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย เพราะอาจเป็นความแม่นยำของเครื่องและการปนเปื้อนของธาตุอื่นๆ เช่น เหล็ก ซึ่งเกิดการปนเปื้อนในขณะที่บดผสมด้วยลูกบอลเหล็ก อย่างไรก็ตามโครงสร้างยูเทคติกที่เกิดขึ้นยังมีปริมาณน้อยจึงไม่สามารถตรวจพบด้วยเครื่อง XRD ตามรูปที่ 3.1 ผลเช่นเดียวกันนี้ตรวจพบได้เมื่อเวลาบดนานขึ้นเป็น 1.5 และ 2 ชั่วโมง ตามรูปที่ 3.3 ตามลำดับซึ่งเป็นสิ่งที่สนับสนุนว่าเครื่องบดเอทไตรเตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถผลิตโลหะผสมยูเทคติก ระหว่าง CuAl_2 และ Al ได้



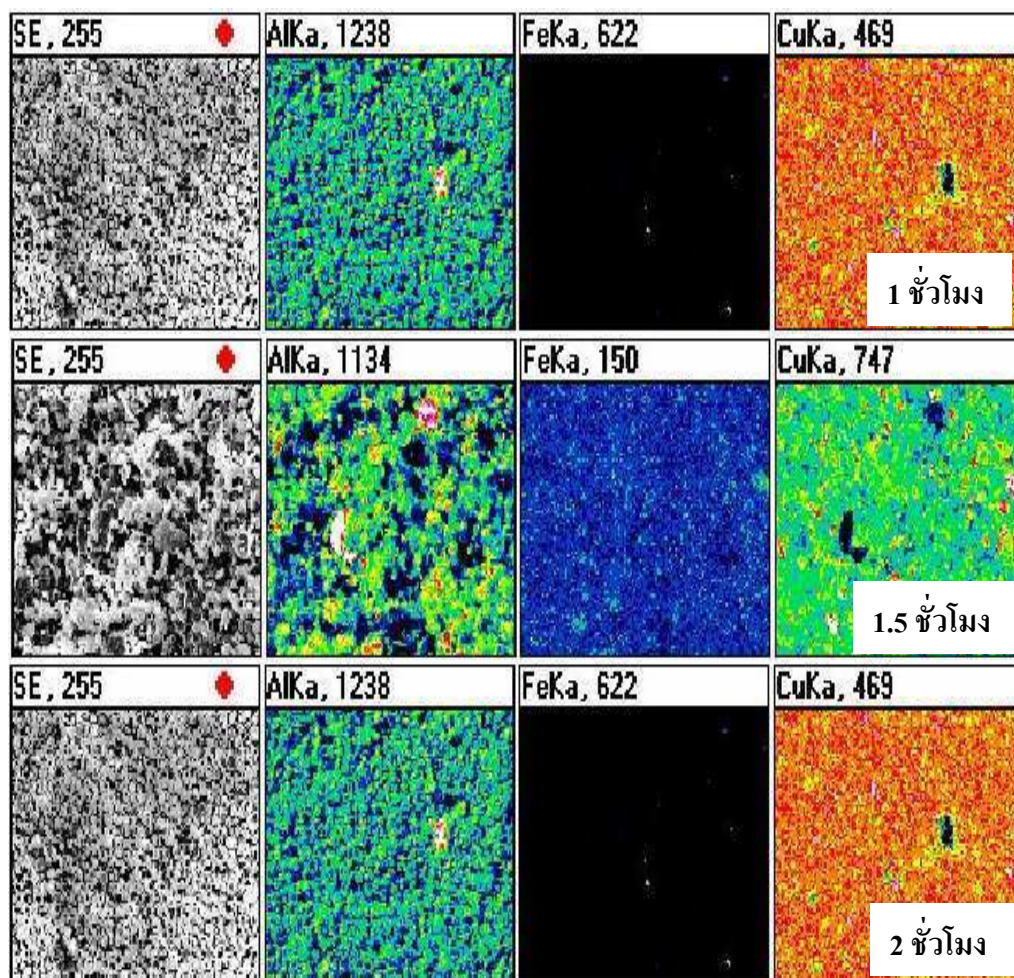
รูปที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DTA เมื่อใช้เพลกซ์ 10 และความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ที่เวลาบดต่างๆ

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของจำนวนแกนของเพลลาซ์พบว่าเมื่อใช้เพลลาซ์ 12 แกน จะทำให้สามารถผลิตโลหะผสมที่มีโครงสร้างยูเทคติกได้เร็วกว่าเพลลาซ์ 10 แกน โดยพบว่าใช้เวลาเพียง 1.5 ชั่วโมง เท่านั้น (รูปที่ 3.4) และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 2 ชั่วโมง พิกัดโครงสร้างยูเทคติกจะชัดเจนกว่าเดิมกับกับการกระจายตัวของอนุภาคทองแดงในอะลูมิเนียมและความเป็นเนื้อเดียวกันของโลหะผสมจะมีมากขึ้นเมื่อเวลาบดนานขึ้น รูปที่ 3.5 (ตั้งแต่เวลา 1.5 ชั่วโมง ขึ้นไปจะเห็นการกระจายตัวที่ดีเมื่อเทียบกับผลจากเวลาบด 1 ชั่วโมง) ถึงแม้ว่าโครงสร้างยูเทคติกจะเกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อใช้เพลลาซ์ 12 แกน แต่โลหะผสมที่ได้ไม่ได้เกิดเป็นโครงสร้างยูเทคติกเพียงอย่างเดียว เหมือนกับกรณีของเพลลาซ์ 10 แกน ที่เวลาบด 2 ชั่วโมง ซึ่งผลที่ได้จากเครื่อง DTA มีพีคเด่นเพียงพีคเดียว (รูปที่ 3.2) เพราะมีพีค 2 พีคเกิดขึ้น (รูปที่ 3.3) โดยพีคที่อุณหภูมิประมาณ 539-546 °C เกิดจากการหลอมตัวของเฟสยูเทคติกและพีคที่อุณหภูมิ 565-574 °C เกิดจากการหลอมตัวของเฟส CuAl_2 (θ) หรือเฟส K (สารละลายของแข็ง) ระหว่าง Al- Cu อย่างใดอย่างหนึ่ง (รูปที่ 1.13-1.14)

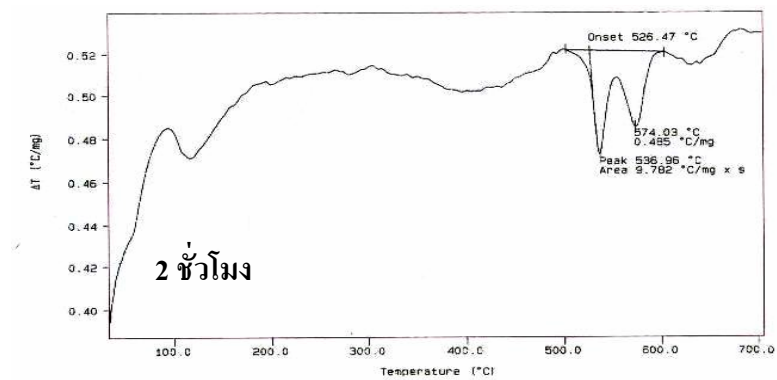
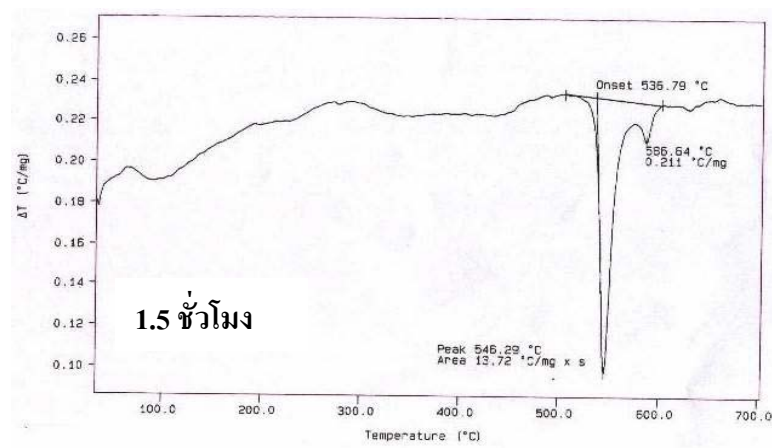
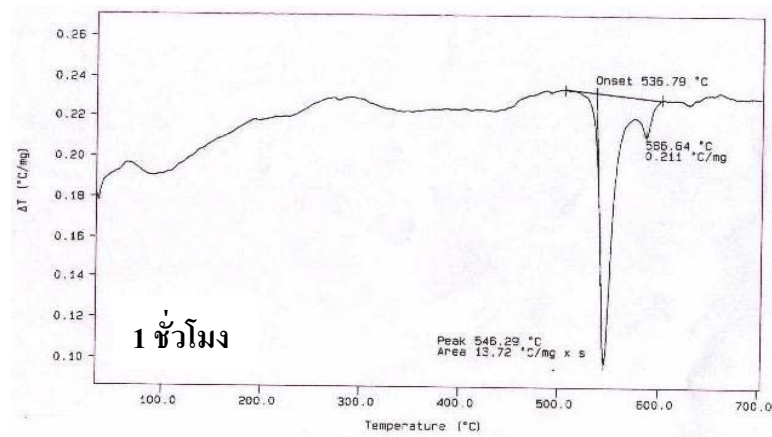
การที่เมื่อใช้เพลลาซ์ 12 แกน ทำให้ได้โลหะผสมยูเทคติกเร็วกว่าเพลลาซ์ 10 แกน เพราะว่าจำนวนแกนที่มากกว่า ก็จะเพิ่มโอกาสให้เกิดความถี่ที่แกนเหวี่ยงตีลูกบอลวิ่งไปกระทบกัน หรือชนกันมีค่าสูงกว่าดังนั้นจึงทำให้มีพลังงานสะสมจนทำให้เกิดเฟสของโลหะผสมได้เร็วกว่าการเพิ่มความเร็วยรอบของเพลลาซ์ ย่อมทำให้ความเร็วและความถี่ในการตีลูกบอลให้วิ่งชนและกระทบกัน (มีแรงกระทบแต่ละครั้ง) มีค่าสูงขึ้นและยังผลทำให้โลหะผสมที่ต้องการเกิดได้เร็วขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบจาก 500 เป็น 700 รอบต่อนาที ทำให้ได้โลหะผสมที่ต้องการเร็วขึ้น พบว่าจากรูปที่ 3.7 และ 3.8 เฟสของโลหะผสมที่ต้องการคือ CuAl_2 และ Al (อยู่ในโครงสร้างยูเทคติก) เกิดขึ้นเมื่อบดที่ความเร็วรอบ 700 รอบนาที ของเพลลาซ์ 10 และ 12 แกนตามลำดับ เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง เท่านั้น



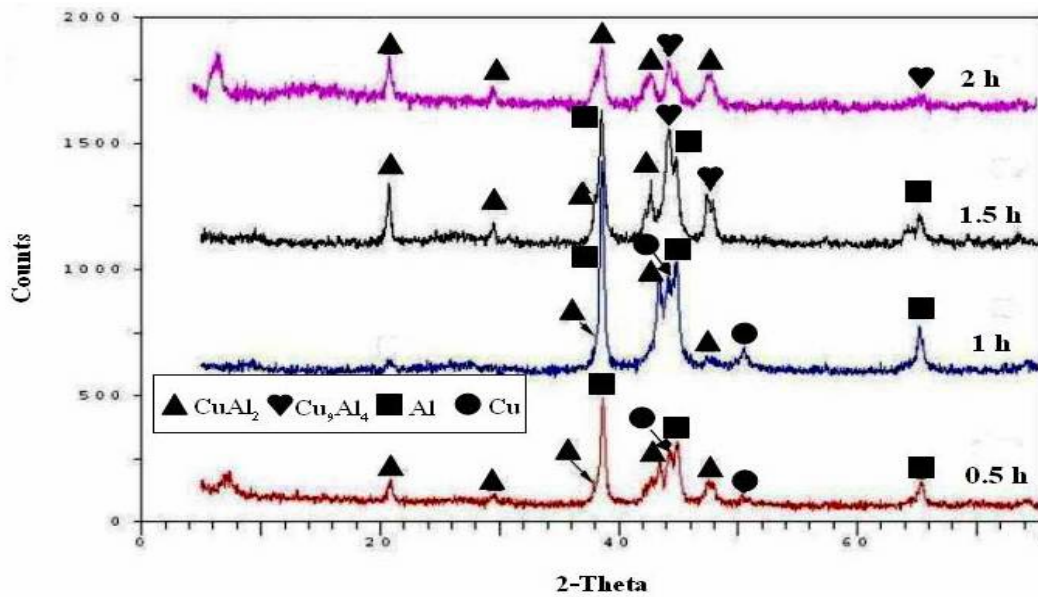
รูปที่ 3.4 ผลจากการวิเคราะห์ XRD การบดผสมอะลูมิเนียมและทองแดง ใช้เพลลา 12 แกน ความเร็วยรอบ 500 รอบต่อนาที และเวลาบด 1 1.5 และ 2 ชั่วโมง



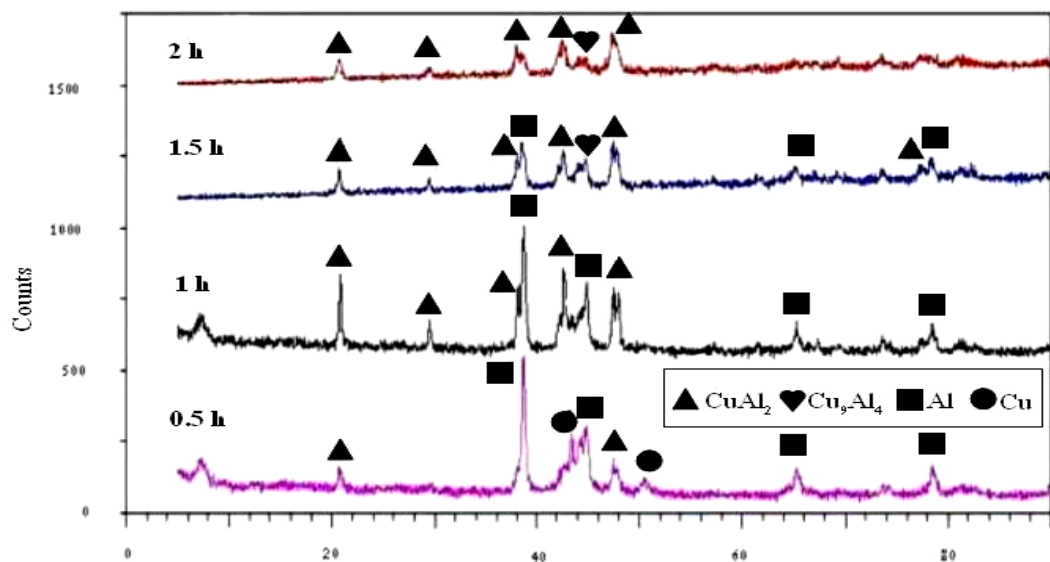
รูปที่ 3.5 ภาพการกระจายตัวของธาตุต่างๆ จากการวิเคราะห์ด้วย X-ray mapping ของตัวอย่าง
 บดที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที และใช้เพลานับ 12 แชน ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DTA ใช้เพลต
 ขั้ว 12 แขน ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 3.7 ผลจากการวิเคราะห์ XRD และผลผลิตที่เกิดจากการบดผสมอะลูมิเนียมและทองแดง เมื่อใช้เพลา 10 แขน ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที และเวลาบด 0.5, 1, 1.5 และ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.8 ผลจากการวิเคราะห์ XRD และผลผลิตที่เกิดจากการบดผสมอะลูมิเนียมและทองแดง เมื่อใช้เพลา 12 แขน ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที และเวลาบด 0.5, 1, 1.5 และ 2 ชั่วโมง

อย่างไรก็ตามเฟสที่ต้องการ จะเกิดขึ้นมากที่สุดที่เวลาบด 1.5 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 700 รอบต่อ นาที สำหรับเพลลาขับ 10 แขน (รูปที่ 3.7) และที่ 1 ชั่วโมง สำหรับ 12 แขน ความเร็วรอบ 700 รอบต่อ นาที (รูปที่ 3.16) เวลาบดที่นานกว่านี้ จะทำให้โลหะผสมที่ได้เริ่มเป็นโครงสร้างอะมอร์ฟัสมากขึ้น โดยสามารถสังเกตได้จากพีคที่ค่อยๆลดลงเมื่อเวลาบดนานขึ้นโดยปฏิกิริยาเป็นดังนี้ $(Al+Cu) \rightarrow (CuAl_2)_{ผลึก} \rightarrow (Al+Cu)_{อะมอร์ฟัส}$ (Kim and Koch, 1983) อย่างไรก็ตามกลไกในการเกิดโครงสร้างอะมอร์ฟัสมีหลายแบบ (Soni, 2000) เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของธาตุทองแดงในโลหะอะลูมิเนียมเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่เวลาบด 0.5 ชั่วโมงทั้งกรณีเพลลาขับ 10 และ 12 แขน (รูปที่ 3.9 และ 3.10)

เมื่อพิจารณาผลวิเคราะห์จากเครื่อง DTA จะให้ข้อมูลที่สอดคล้องกับผลจากเครื่อง XRD ที่เมื่อใช้ความเร็วรอบของเครื่องบดเป็น 700 รอบต่อ นาที เมื่อใช้เพลลาขับ 10 แขนหรือ 12 แขนจะทำให้สามารถผลิตโลหะผสมที่มีโครงสร้างที่ต้องการได้เร็วขึ้น ภายในเวลา 30 นาที (รูปที่ 3.25 - 3.31) ในกรณีที่ใช้เพลลาขับ 10 แขน ไม่ได้เกิดโครงสร้างยูเทคติกส่วนๆ แต่จะมีโครงสร้าง $CuAl_2$ หรือ K เกิดปะปนอยู่บ้าง สำหรับ 12 แขน จะสังเกตได้เฉพาะโครงสร้างยูเทคติก เพราะจุดหลอมตัวเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 541- 549 °C อย่างไรก็ตามอาจมีโครงสร้างอื่นปะปนบ้าง โดยธรรมชาติของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DTA ใช้ตัวอย่างเป็นปริมาณ 2 มิลลิกรัม ซึ่งน้อยมาก แต่สามารถวิเคราะห์เฟสยูเทคติกได้

3.3 ผลการวิเคราะห์ อิทธิพลของ ความเร็วรอบ เวลาที่บดและจำนวนแขนของเพลลาขับ

ต่อลักษณะรูปร่างของอนุภาค ความละเอียดและการกระจายตัวของอนุภาคที่บดได้

อนุภาคผงโลหะอะลูมิเนียมก่อนบดมีรูปร่างหลายลักษณะ เช่น เป็นก้อนคล้ายหยดน้ำตา เป็นก้อนหลายเหลี่ยม เป็นก้อนริยาว ซึ่งผลิตด้วยวิธีการก๊าซอะตอมไมเซชัน มีขนาดเฉลี่ย 24.94 ไมครอน (รูปที่ 3.13) ส่วนอนุภาคผงทองแดงผลิตด้วยวิธีการก๊าซอะตอมไมเซชัน รูปร่างทรงกลม มีขนาดเฉลี่ย 53.33 ไมครอน (รูปที่ 3.13) จากการบดผสมผงโลหะอะลูมิเนียมและทองแดง สัดส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 67 : 33 โดยใช้เพลลาขับ 10 แขน ความเร็วรอบ 500 รอบต่อ นาที

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของการบดที่แปรค่าเป็น 1, 1.5 และ 2 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 500 รอบต่อ นาที พบว่าที่เวลา 1 ชั่วโมง อนุภาคผงโลหะที่ผ่านการบดมีลักษณะเป็นแผ่นโตบางๆ ซึ่งเกิดจากการชนระหว่างอนุภาคผงโลหะและลูกบอลบด อนุภาคผงโลหะอะลูมิเนียม และทองแดง เป็นวัสดุเหนียว จึงเป็นโลหะผสมเชิงกลชนิดเหนียว-เหนียว เมื่ออนุภาคผงโลหะดังกล่าวถูกชนกระทบจากลูกบอลบด ทำให้เปลี่ยนรูปร่างแบบพลาสติก และอนุภาคผงโลหะเกิดรอยร้าวขึ้น (รูปที่ 3.14 และ 3.15) เมื่อเวลาบดเพิ่มขึ้น ทำให้อนุภาคผงโลหะเกิดการแตกมี

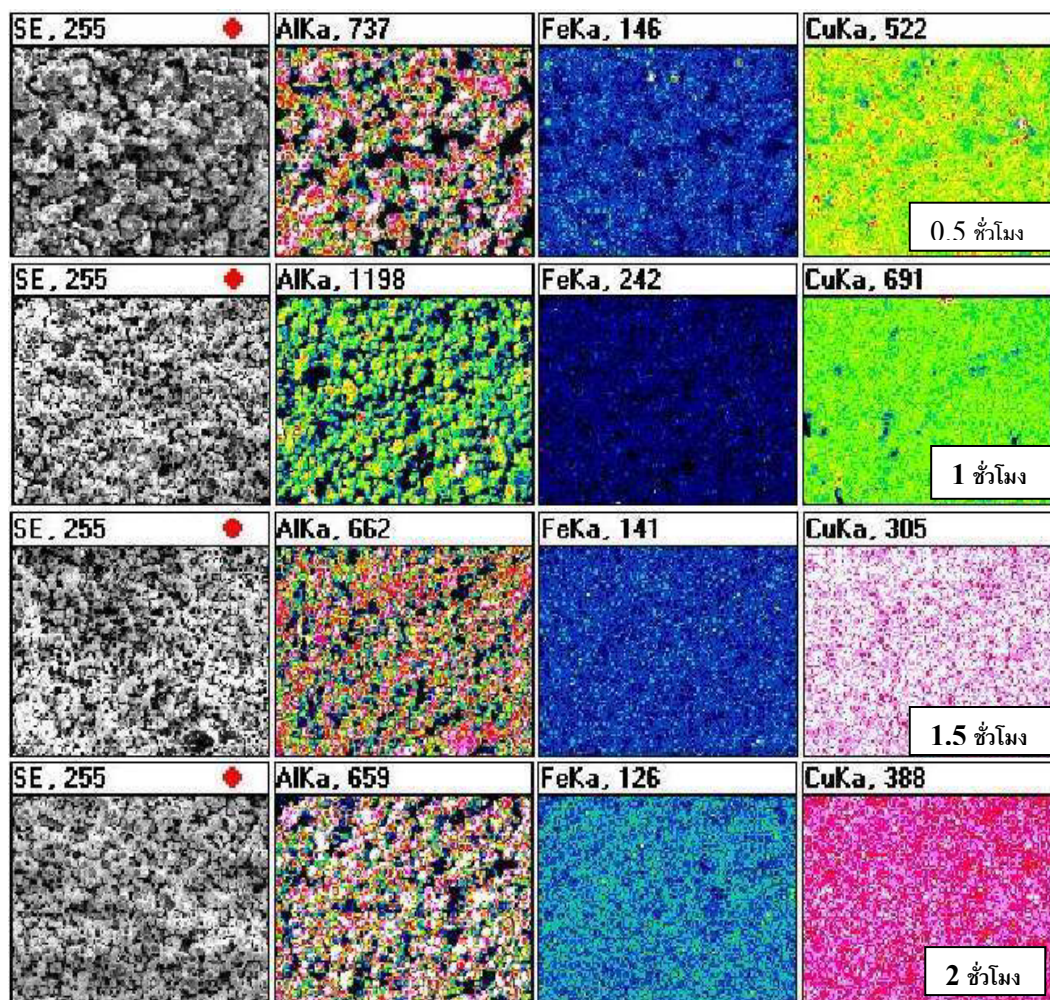
รูปร่างเป็นก้อนขนาดแตกต่างกัน การแตกของอนุภาคผงโลหะจะได้ผิวใหม่สะอาด ทำให้เกิดการเชื่อมเยื่อระหว่างอนุภาคผงโลหะเกิดขึ้น (รูปที่ 3.14 และ 3.15) เมื่อเวลาบดเพิ่มขึ้นพบว่าอนุภาคผงโลหะมีขนาดลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเครื่องบดแอทไตรเตอร์ เป็นเครื่องบดชนิดหนึ่ง แต่ได้ประยุกต์จากเครื่องบดมาทำการผลิตโลหะผสมเชิงกล (รูปที่ 3.16) เครื่องบดแอทไตรเตอร์ มีประสิทธิภาพในการบดละเอียดสูงคือเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากัน สามารถบดอนุภาคขนาดได้เล็กกว่า conventional ball mill 1/2 เท่า และเล็กกว่า vibratory mill 1/3 เท่า (Szegvari and Yang, 1999)

การกระจายตัวของอนุภาค เมื่อพิจารณาเวลาบด ความเร็วรอบทั้ง 500 และ 700 รอบต่อนาที พบว่าเวลาบดที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคกล่าวคือ เมื่อเพิ่มเวลาบด ทำให้อนุภาคผงโลหะมีขนาดเล็กลง และการกระจายตัวจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาที่เพิ่มขึ้น นั่นคืออนุภาคผงโลหะยิ่งเล็กลงการกระจายตัวก็จะแคบลงด้วย (รูปที่ 3.17-3.18) พบว่าทุกภาวะการทดลอง มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.4-100 ไมครอน และยังพบว่าที่เวลาบด 1 และ 1.5 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที อนุภาคผงโลหะมีขนาดใกล้เคียงกันมาก เป็นเพราะที่เวลา 1 ชั่วโมงความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที อนุภาคผงโลหะเกิดการรวมกลุ่มและจับตัวเป็นก้อน (agglomeration) จึงทำให้ขนาดโตขึ้นใกล้เคียงกับอนุภาคที่บดเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง (รูปที่ 3.18) แต่อย่างไรก็ตามความเร็ว 500 รอบต่อนาที ไม่พบการเกิดจับตัวเป็นก้อน

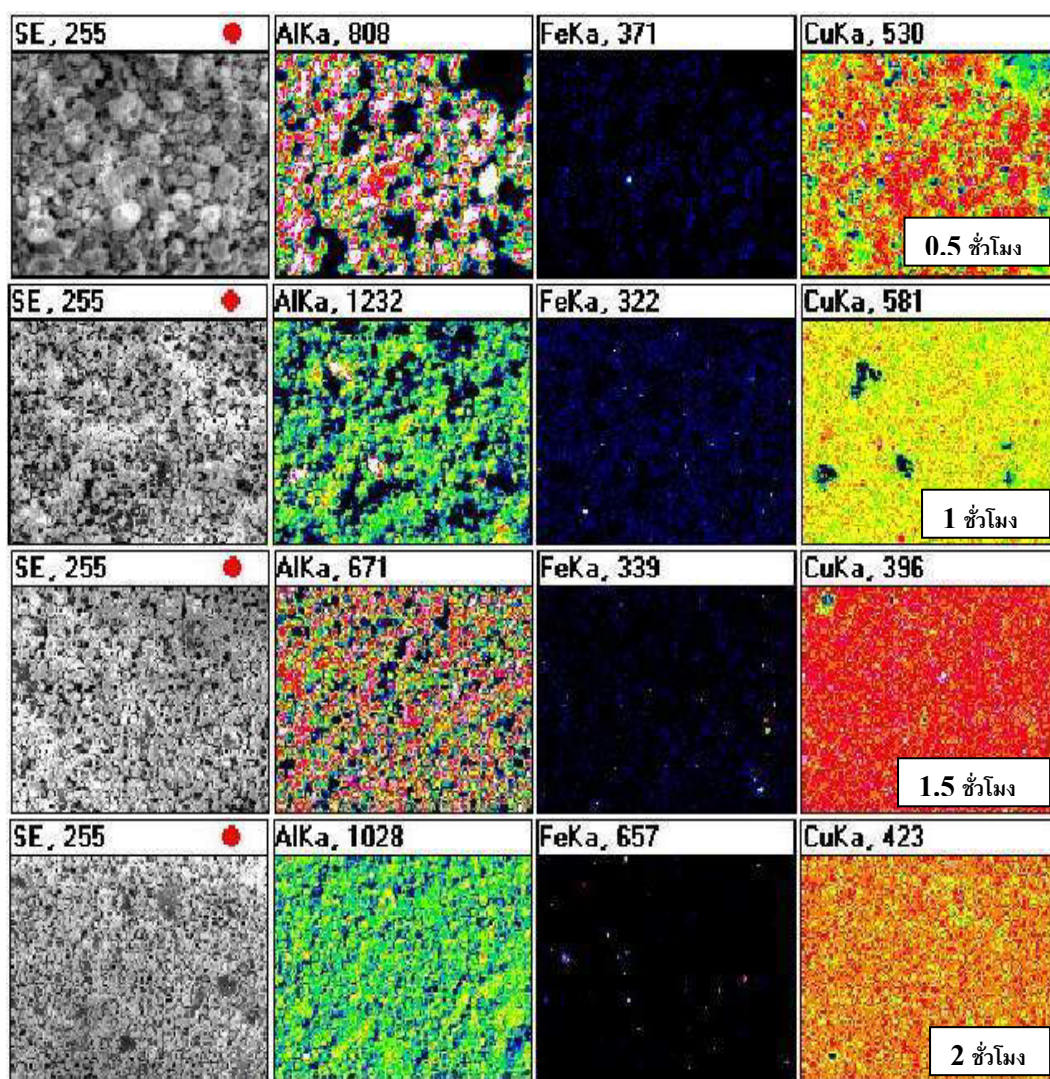
เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของจำนวนแขนของเพลลา พบว่ารูปร่างของอนุภาคผงโลหะจากเพลลาชนิด 10 แขน และ 12 แขน มีลักษณะใกล้เคียงกัน ไม่พบสิ่งที่แตกต่าง (รูปที่ 3.14-3.15 และ 3.19-3.20) แขนของเพลลาซึ่งทำหน้าที่ต่อลูกบอลบดให้วิ่งไปชนกระทบอนุภาคผงโลหะ ลูกบอลจะวิ่งไปแบบสุ่ม (random) ไปกระทำต่ออนุภาคผงโลหะสองลักษณะ คือ การกระแทก และการเสียด (Szegvari and Yang, 1999) อนุภาคผงโลหะ พบว่าจำนวนแขนมีผล อย่างชัดเจนต่อขนาดอนุภาค กล่าวคือ เมื่อทำการบดที่เวลาและความเร็วรอบเดียวกัน พบว่าเพลลาที่มีแขนมากกว่าบดได้อนุภาคผงโลหะที่เล็กกว่า นั่นคือ เพลลาชนิด 12 แขน จะบดได้ผงอนุภาคเล็กกว่าเพลลา 10 แขน (รูปที่ 3.16 และ 3.21) เนื่องจากจำนวนแขนที่มากกว่า ทำให้จำนวนการตีลูกบอลบดเพิ่มขึ้น เกิดการกระแทกและการเสียดอนุภาคผงโลหะเพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงเร็วกว่า การกระจายตัวของอนุภาคผงโลหะพบว่าจำนวนแขนที่มากกว่า มีผลทำให้การกระจายตัวของอนุภาคแคบลง เป็นเพราะว่าจำนวนแขนที่มากกว่าจะบดอนุภาคได้เล็กกว่าและอนุภาคที่เล็กกว่า จะมีช่วงการกระจายตัวแคบกว่า (รูปที่ 3.17 และ 3.18) และยังพบว่าเพลลาชนิด 10 แขนมีแนวโน้มเกิดการจับตัวเป็นก้อน สูงกว่าเพลลาชนิด 12 แขน ซึ่งมีผลทำให้การกระจายตัวของอนุภาคของเพลลา 10 แขน กว้างกว่า 12 แขน (รูปที่ 3.17 และ 3.18)

เมื่อพิจารณาความเร็วรอบ พบว่าความเร็วรอบไม่มีผลต่อลักษณะรูปร่างของอนุภาคผงโลหะ กล่าวคือ ที่ความเร็วรอบ 500 และ 700 รอบต่อนาที ลักษณะรูปร่างของอนุภาค

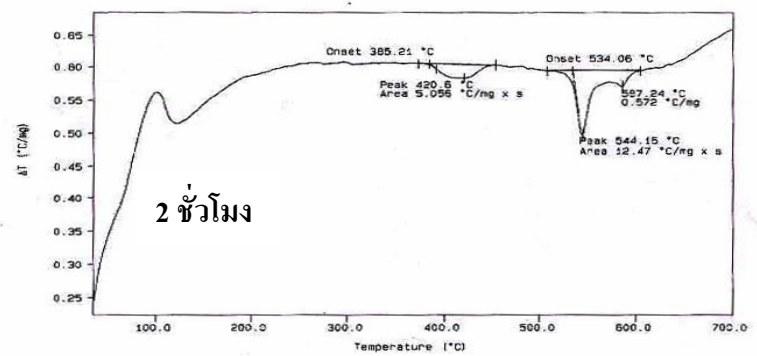
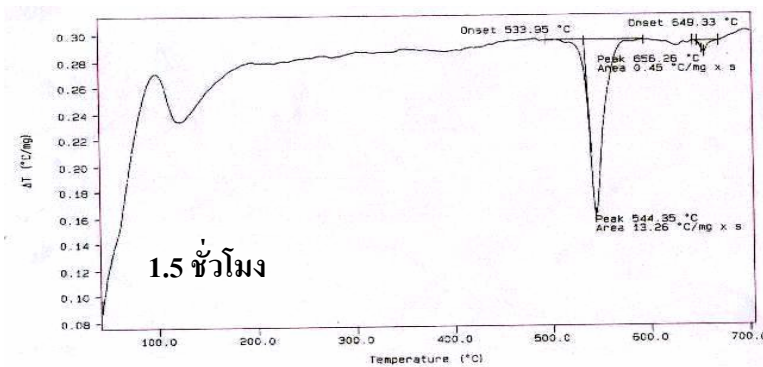
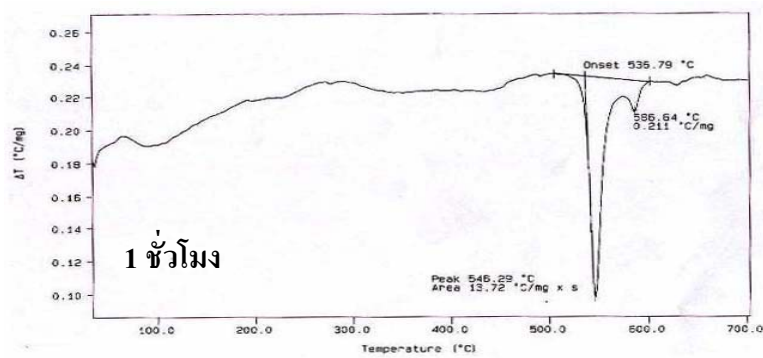
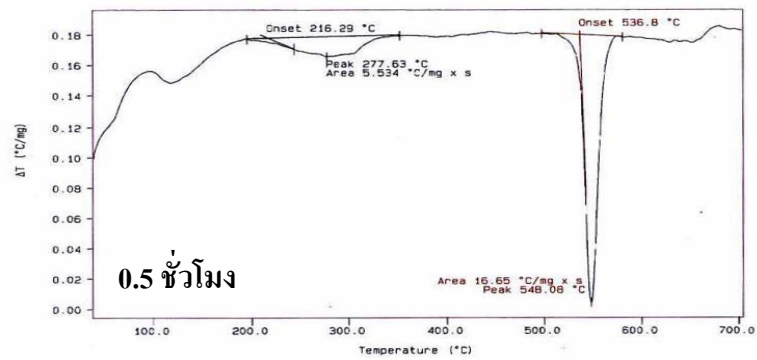
ผงโลหะไม่พบความแตกต่าง เพราะความเร็วรอบที่สูงขึ้นก็เพียงทำความถี่ของแชนที่ตีลูกบอลมากขึ้น ลูกบอลไปบดอนุภาคผงโลหะถี่ขึ้นด้วย แต่รูปร่างการแตกของอนุภาคผงโลหะยังคงเดิม (รูปที่ 3.14-3.15 และ 3.18-3.20) อย่างไรก็ตามพบว่าความเร็วรอบมีอิทธิพลต่อขนาดอนุภาคอย่างชัดเจน พบว่าที่เวลาการบดเท่ากัน ความเร็วรอบที่สูงกว่าจะบดอนุภาคผงโลหะได้ขนาดละเอียดกว่า เป็นเพราะความเร็วรอบที่สูงกว่าจะมีความถี่ในการตีลูกบอลบด (สมการที่ (1.3) และ (1.6)-(1.7) มากกว่าและเกิดแรงเฉือนขึ้นมากกว่าจึงได้ขนาดอนุภาคที่ละเอียดกว่า นั่นคือ ที่ความเร็ว 700 รอบต่อนาทีจะบดอนุภาคได้ขนาดละเอียดกว่า 500 รอบต่อนาที (รูปที่ 3.15 และ 3.20)



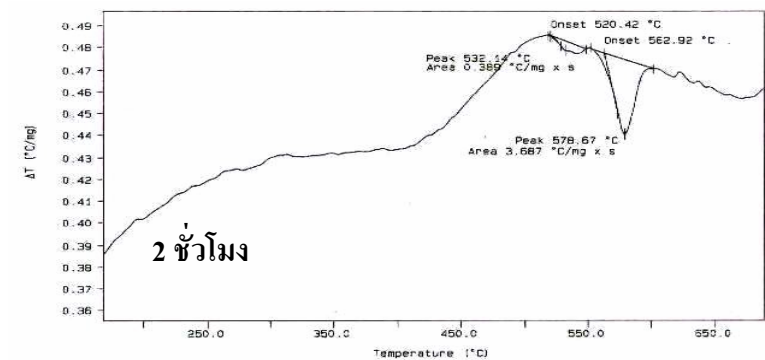
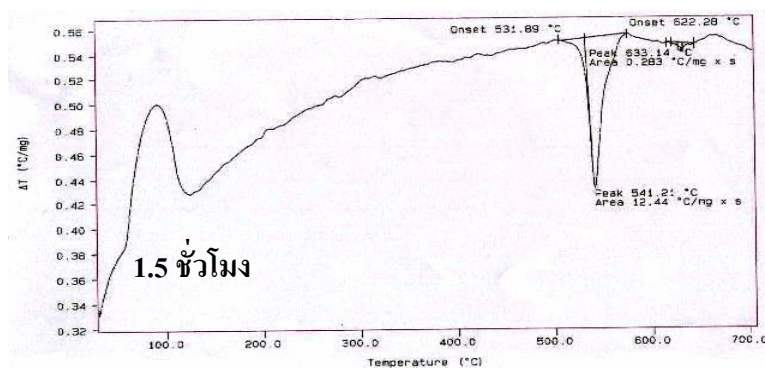
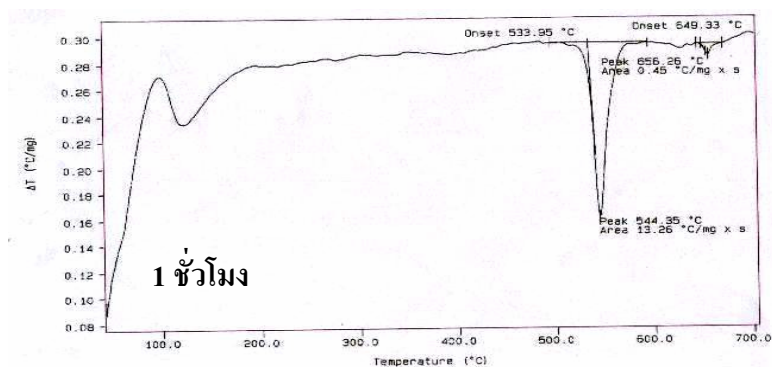
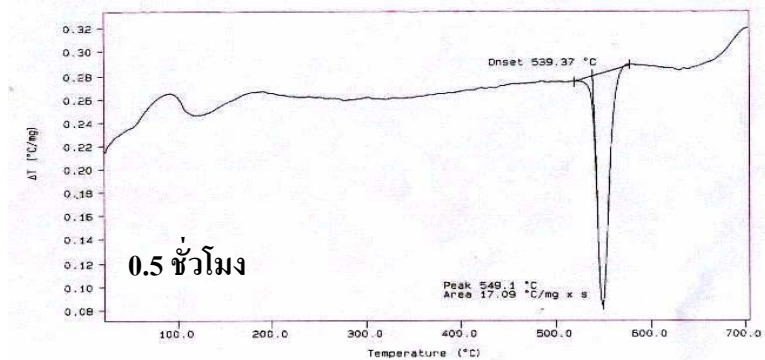
รูปที่ 3.9 ภาพการกระจายตัวของธาตุต่างๆ วิเคราะห์ด้วย X-ray mapping
 บดที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เพลาชับ 10 แชน ที่เวลาต่างๆ



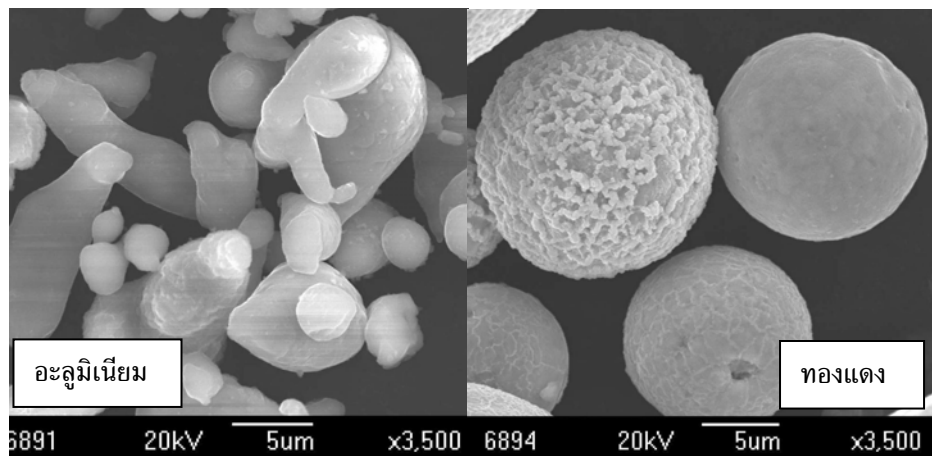
รูปที่ 3.10 ภาพการกระจายตัวของธาตุต่างๆ วิเคราะห์ด้วย X-ray mapping
 บนที่ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เพลานับ 12 แชน ที่เวลาต่างๆ



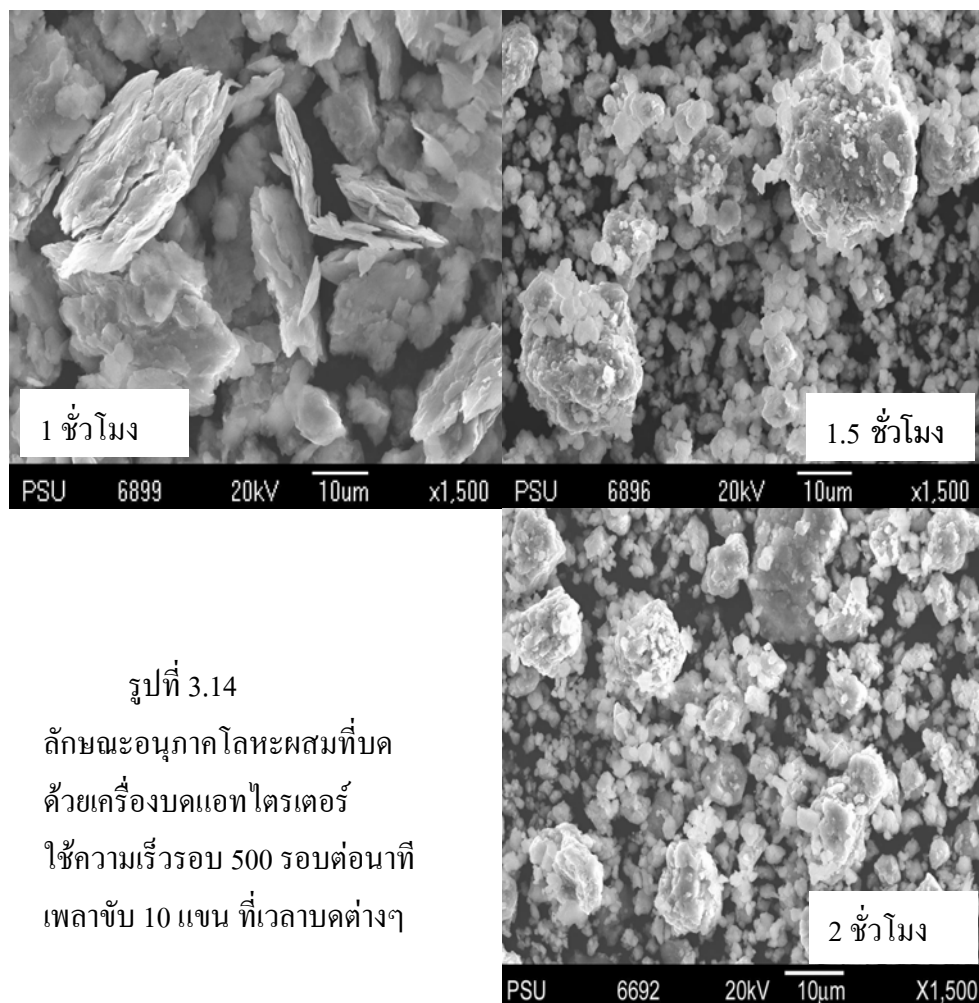
รูปที่ 3.11 ผลการวิเคราะห์สมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DTA ใช้เพลงับ
10 แขน ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์สมบัติความร้อนด้วยเครื่อง DTA ใช้เพลลาขับ 12 แขน ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที ที่เวลาต่างๆ

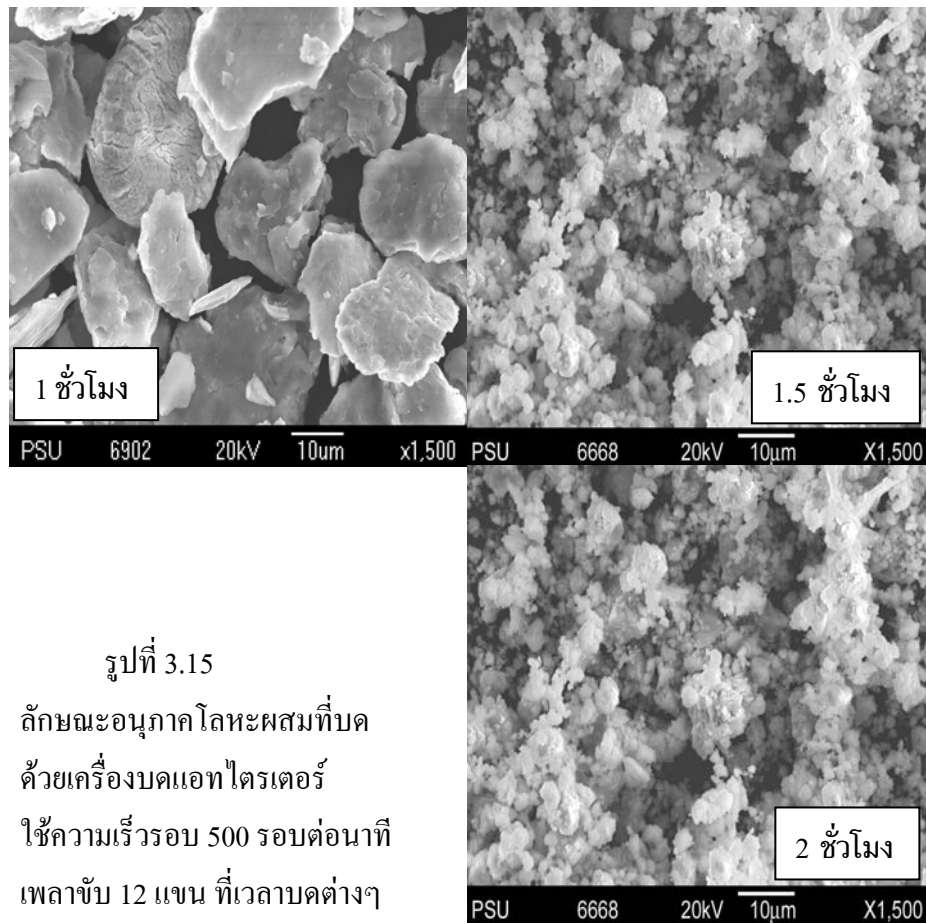


รูปที่ 3.13 ลักษณะผงอะลูมิเนียมและทองแดงถ่ายด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3500

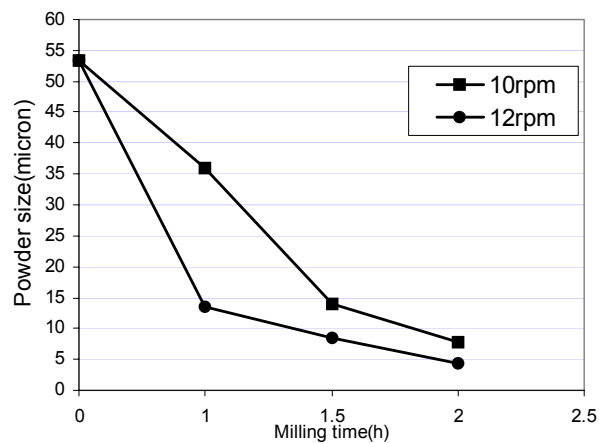


รูปที่ 3.14

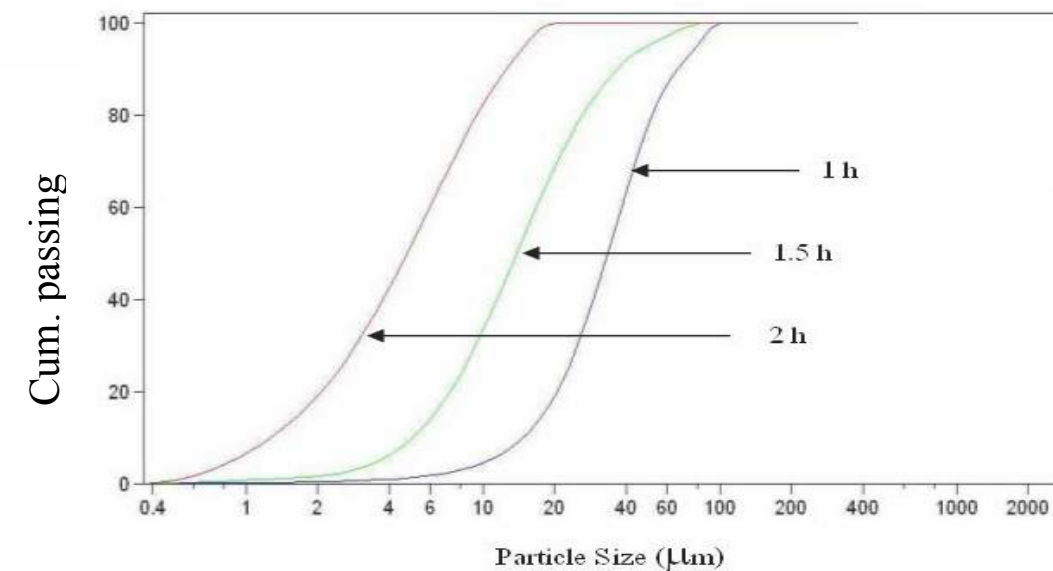
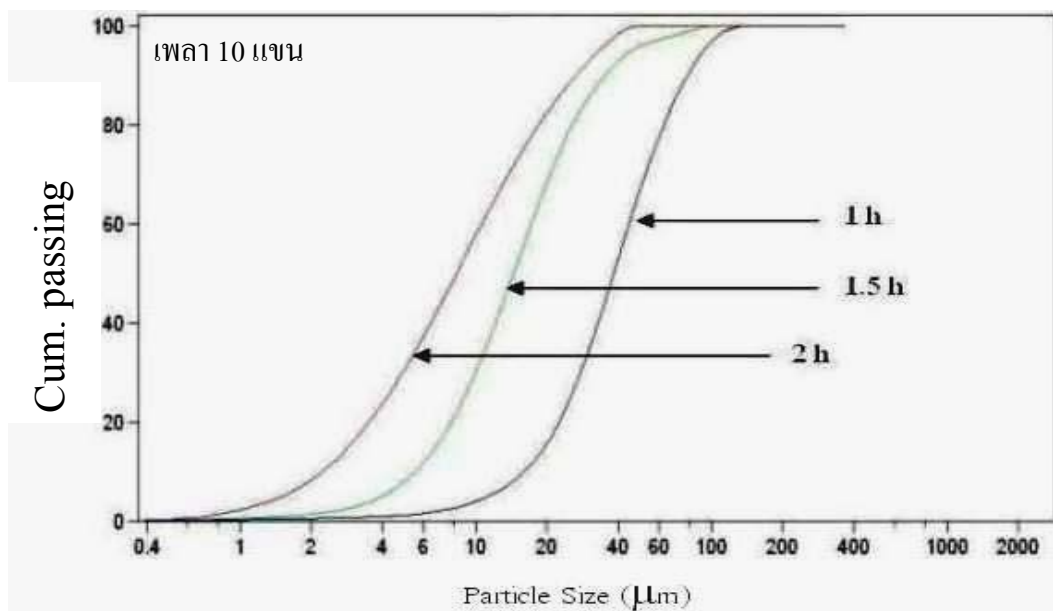
ลักษณะอนุภาคโลหะผสมที่บด
ด้วยเครื่องบดแอทไดรเตอร์
ใช้ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
เพลงับ 10 แชน ที่เวลาบดต่างๆ



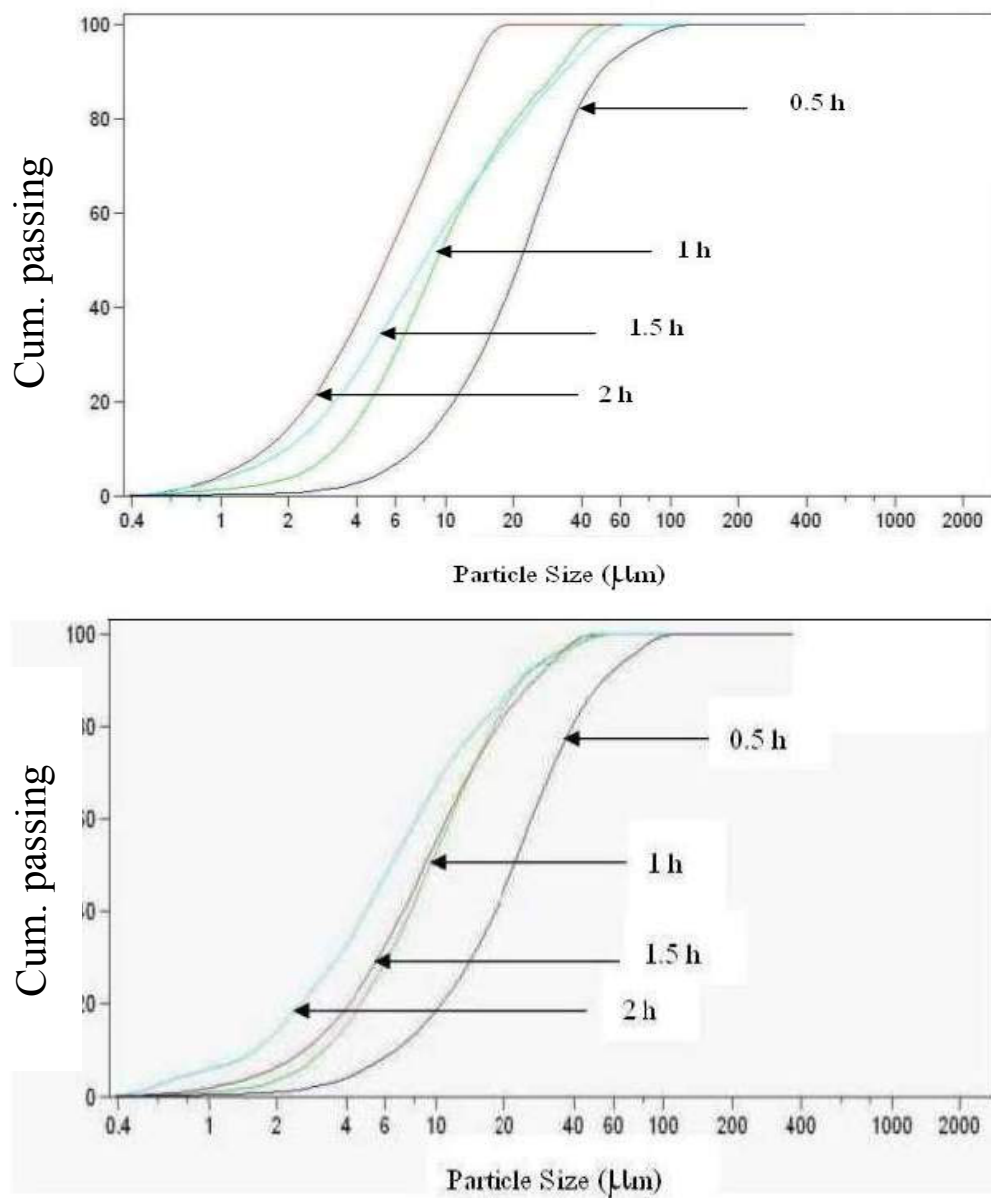
รูปที่ 3.15
ลักษณะอนุภาคโลหะผสมที่บด
ด้วยเครื่องบดแอทไตรเตอร์
ใช้ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที
เพลลาขับ 12 แขน ที่เวลาบดต่างๆ



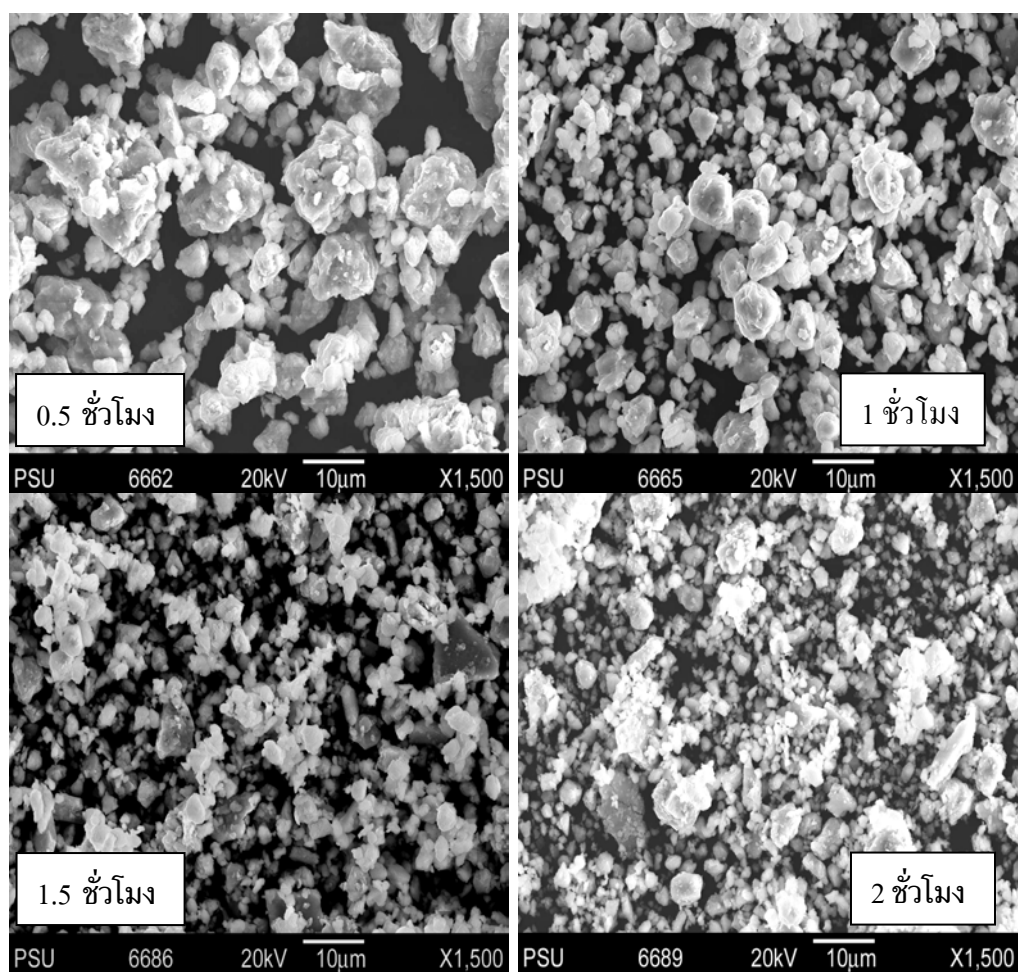
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคผงโลหะต่อเวลาบดผสม เพลลาขับ 10 และ 12 แขน ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที เวลาบด 1, 1.5, และ 2 ชั่วโมง



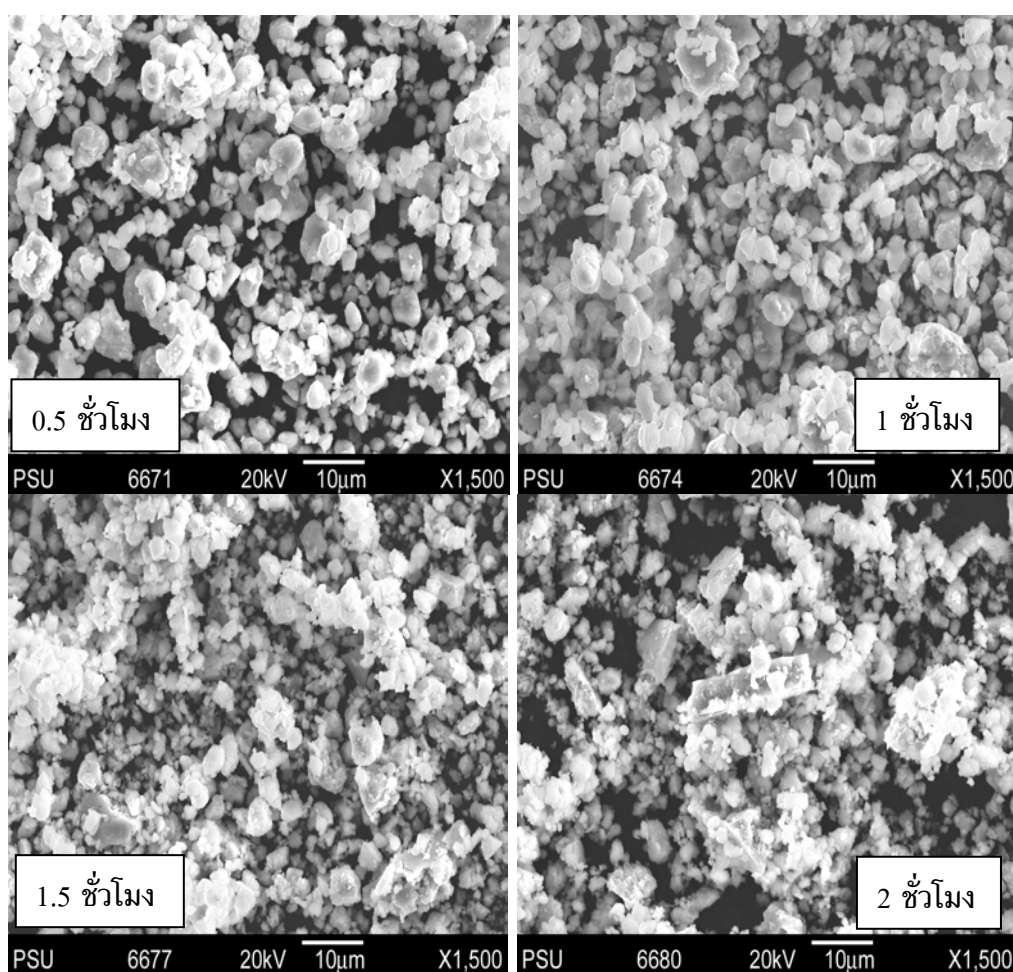
รูปที่ 3.17 การกระจายตัวของอนุภาคผงโลหะผสม Al-33%Cu โดยใช้เฟลา 10 และ 12 แขน ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ใช้เวลาบด 0.5, 1, 1.5, และ 2 ชั่วโมง



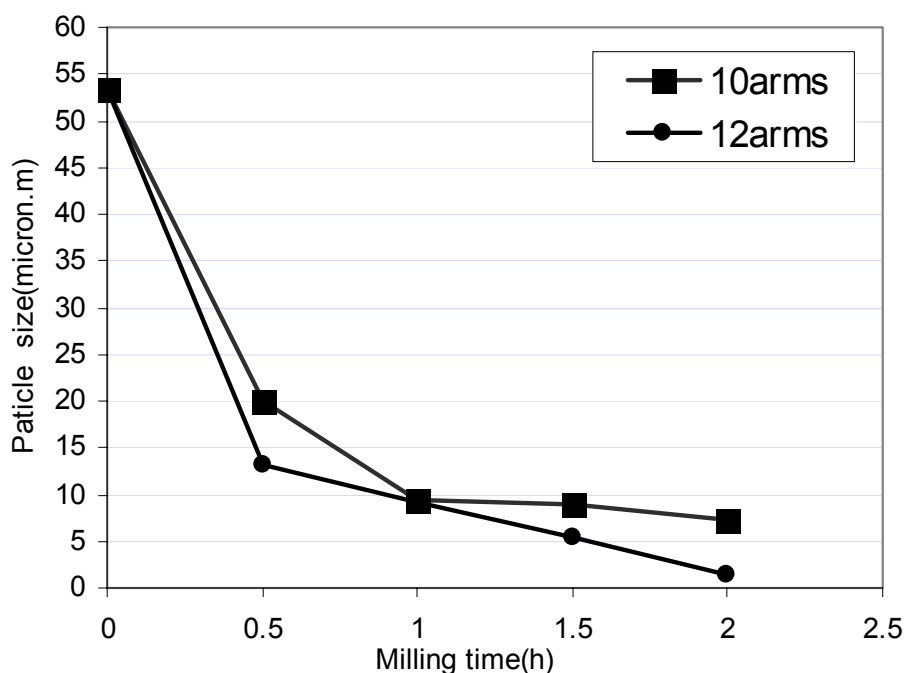
รูปที่ 3.18 การกระจายตัวของอนุภาคผงโลหะผสม Al-33%Cu โดยใช้เพลลา 10 และ 12 แขน ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที ใช้เวลาบด 0.5, 1, 1.5, และ 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.19 ลักษณะอนุภาคโลหะผสมที่บดด้วยแอทไตรเตอร์ โดยใช้ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เฟลาขับ 10 แชน ที่เวลาบดต่างๆ



รูปที่ 3.20 ลักษณะอนุภาคโลหะผสมที่บดด้วยเอทไทรเตอร์ โดยใช้ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เฟลาขับ 12 แชน ที่เวลาบดที่เวลาต่างๆ

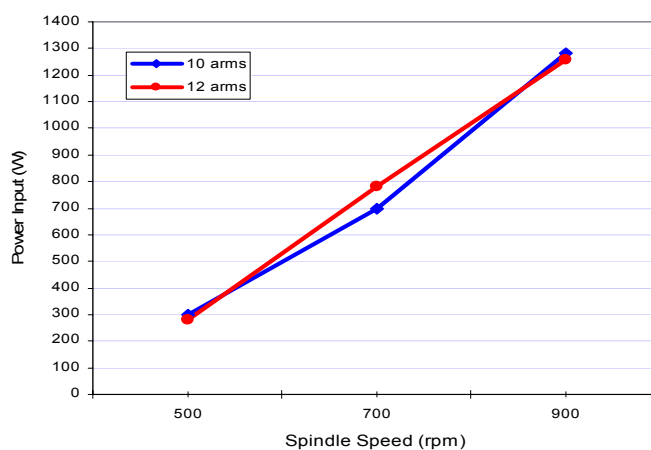


รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคผงโลหะต่อเวลาบดผสม เพลาชับ 10 และ 12 แขน ความเร็วรอบ 700 รอบต่อนาที เวลาบด 0.5, 1, 1.5 และ 2 ชั่วโมง

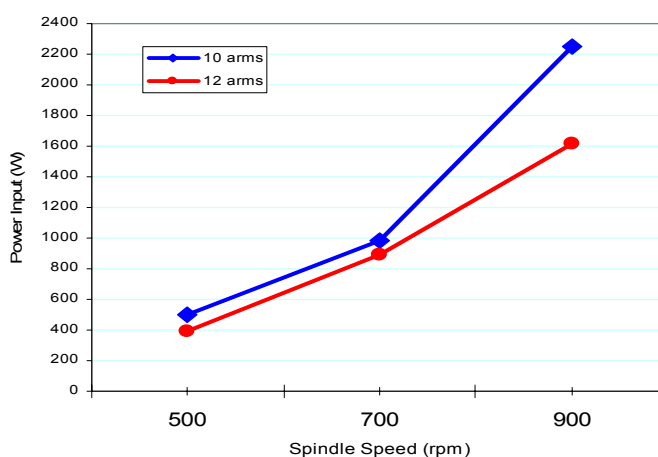
3.4 ผลการวิเคราะห์ห่อหุ้มของความเร็วรอบ เวลาที่บดและจำนวนแขนของเพลาชับต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วของเพลาชับในกรณีที่ดินเครื่องโดยไม่ได้ใส่ผงโลหะ (แต่ใส่ลูกบอลบด) (รูปที่ 3.22) ดังนั้นพลังงานที่ถ่ายโอนจากลูกบอลบดไปยังอนุภาคข้อมขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของเพลาชับด้วยสมการ (1.3) ($SE_{GM} \propto v_t^2$) จากรูปที่ 3.22 ยังพบว่าเมื่อใช้เพล่า 12 แขนจะใช้กำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับเพล่า 10 แขน และเมื่อใส่ผงโลหะเข้าไปบดแล้วพบว่ามีกำลังไฟฟ้าของเพล่า 12 แขนใช้น้อยกว่าเพล่า 10 แขน เป็นเพราะว่าจำนวนแขนที่เพิ่มขึ้นทำให้แต่ละแขนรับภาระลดลง จำนวนแขนที่เพิ่มขึ้นได้ดีให้ฟุ้งกระจายได้มากกว่าทำให้แรงเสียดทานลดลงมีผลให้ทอร์คลดลง และใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าเพล่า 10 แขน (รูปที่ 3.23) แต่มีแนวโน้มเหมือนกันแสดงว่าการถ่ายโอนพลังงานในกรณีเพล่า 12 แขนมีประสิทธิภาพมากกว่าเพราะสามารถบดผงโลหะได้ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า (มีพื้นที่ผิว, ΔS เพิ่มขึ้นมากกว่า) (รูปที่ 3.16 และ 3.21) อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของเพลาชับจาก 500 รอบต่อนาทีเป็น 700 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพการถ่ายโอนพลังงานของเพลาชับ 10 แขนและ 12 แขนไม่

แตกต่างกันมากนัก แต่ก็ยังทำให้ได้อนุภาคขนาดเล็กที่เล็กกว่าเนื่องจากความเร็วรอบของเพลาคับ 700 รอบต่อนาที ทำให้เกิดจำนวนครั้งของความเค้น (stress number) ที่กระทำสูงกว่าที่ 500 รอบ ทำให้อนุภาคมีการแตกหักมากกว่า เมื่อใช้ความเร็วรอบเป็น 900 รอบต่อนาที (ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที ได้ทดลองบดผสมเพิ่มเติมเพื่อความสมบูรณ์ในการหาค่ากำลังไฟฟ้า) ค่ากำลังไฟฟ้าในกรณีเพลาคับ 10 แขน มีค่าผิดปกติจากที่ควรจะเป็น (รูปที่ 3.23) เนื่องจากการเกิดการจับเป็นแผ่นของอนุภาคติดที่ผนังหม้อบดด้านข้างทำให้เกิดแรงต้านมากขึ้น



รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ต้องการของเครื่องบด เมื่อไม่ได้ใส่ผงโลหะ (ภายในหม้อบดใส่บอลบดอย่างเดียว) เมื่อใช้เพลาคับ 10 และ 12 แขน ต่อความเร็วรอบ 500,700 และ 900 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้เมื่อใส่ผงโลหะและบดผสม (ภายในหม้อบดใส่ลูกบอลบดและผงโลหะ) เมื่อใช้ เพลาคับ 10 และ 12 แขน ต่อความเร็วรอบ 500, 700 และ 900 รอบต่อนาที