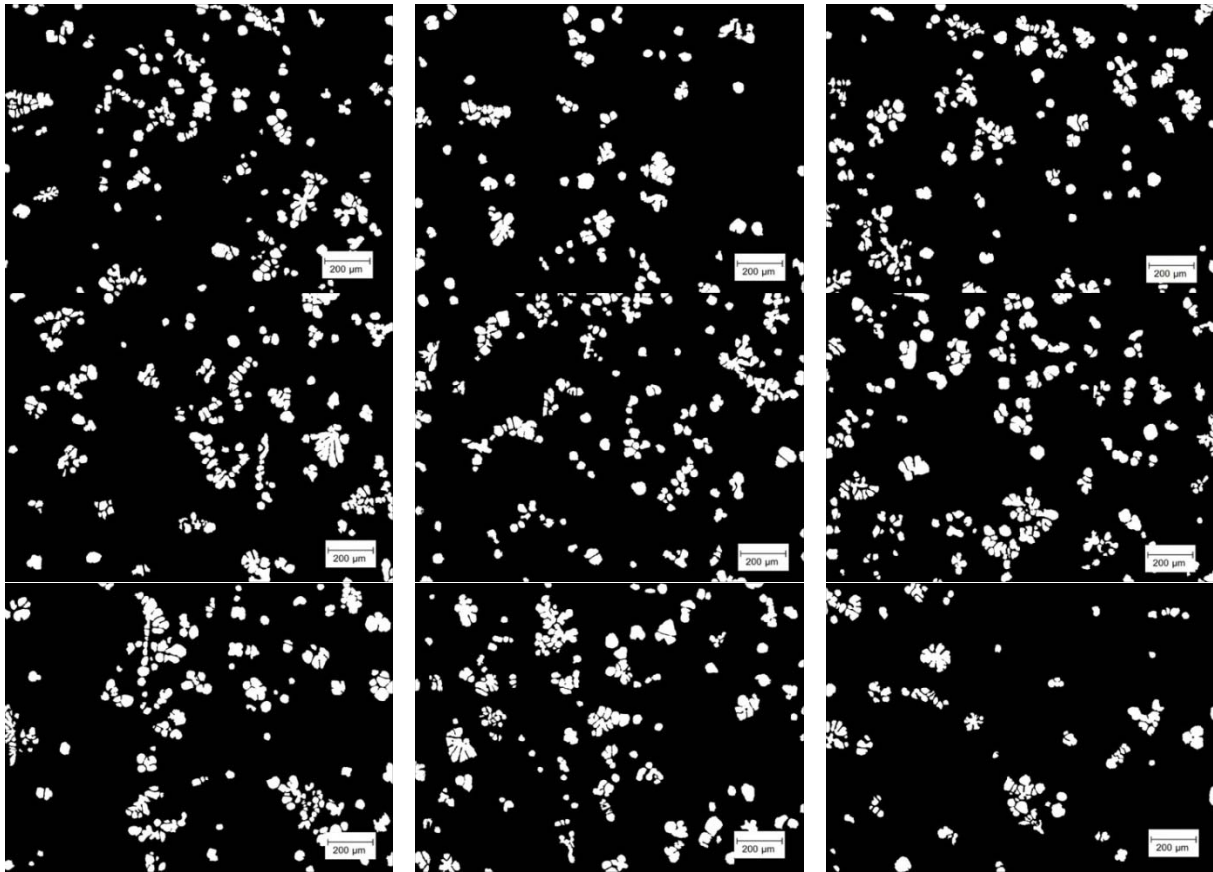
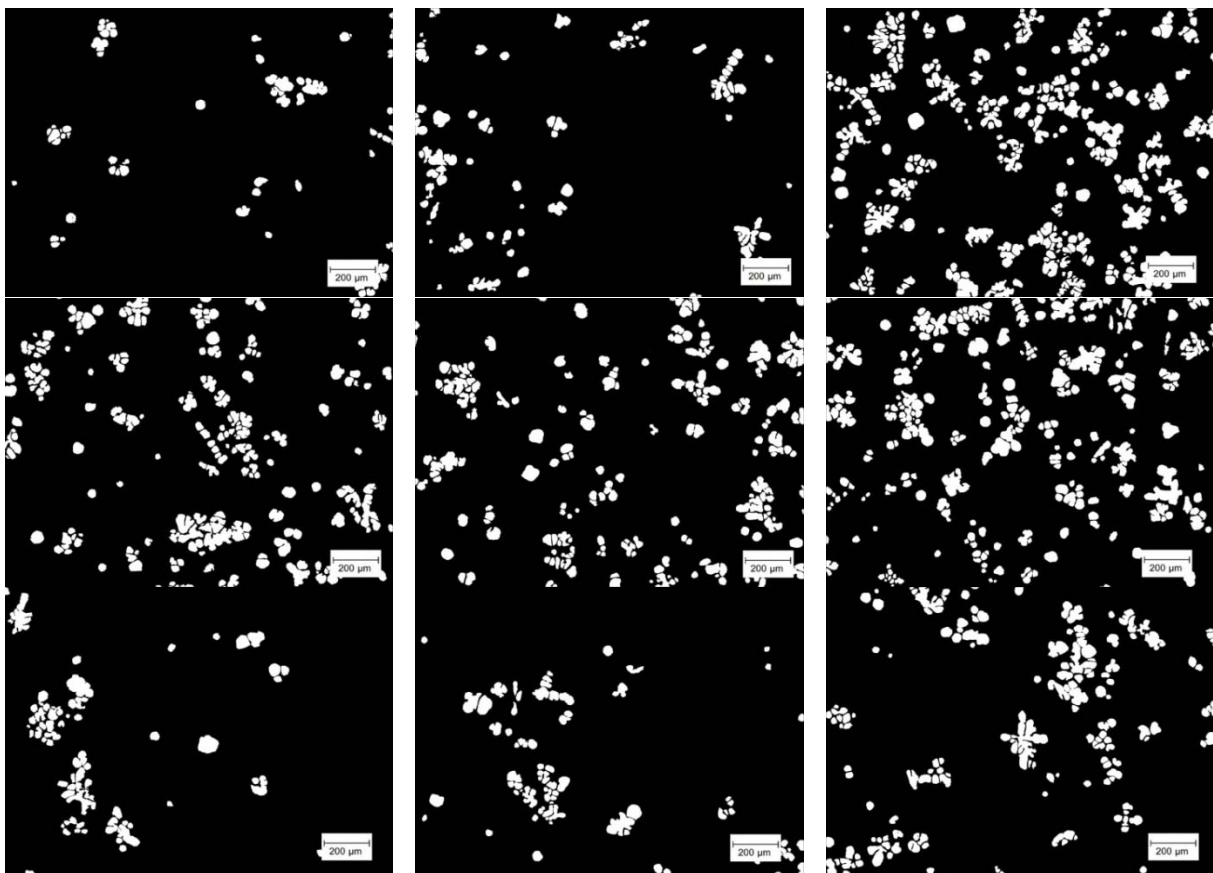
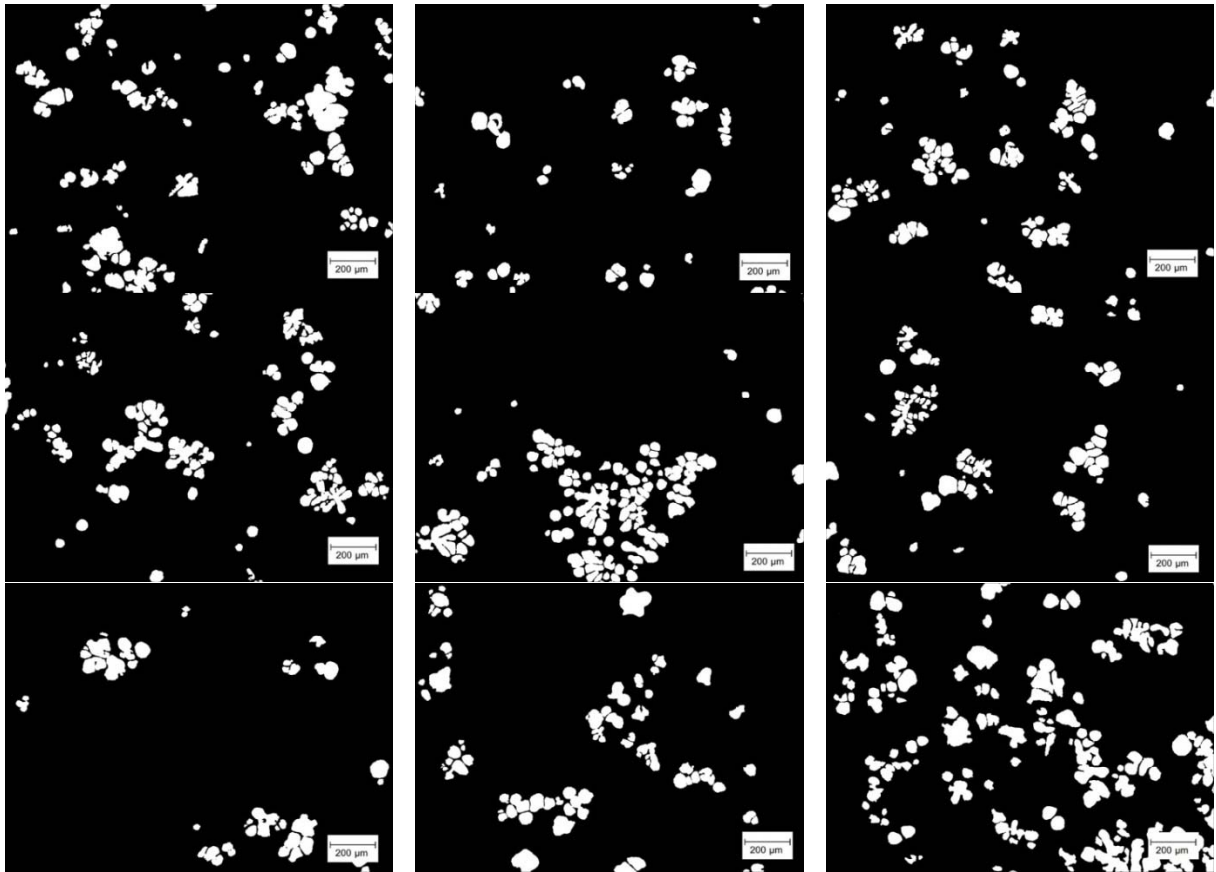




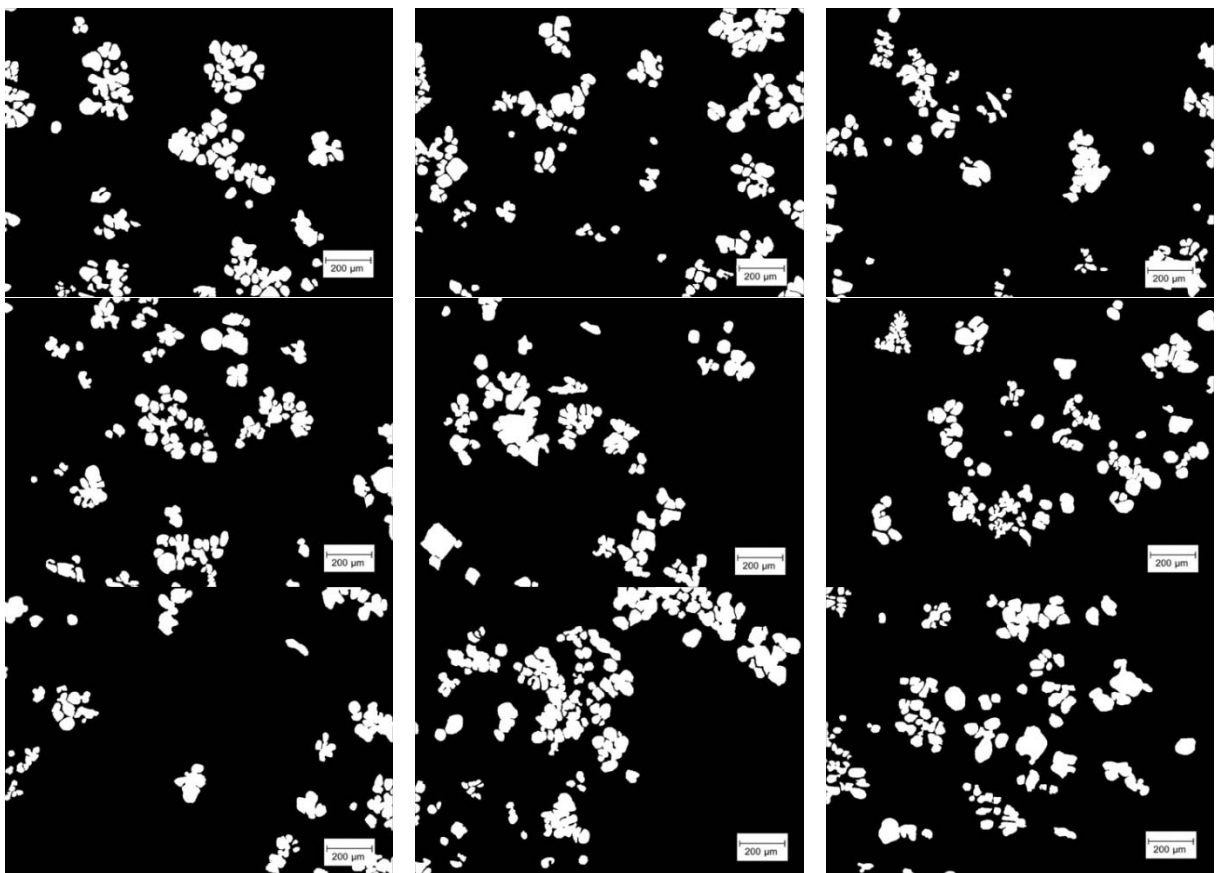
รูปที่ 3-20 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ส่วนบน (50x)



รูปที่ 3-21 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ส่วนล่าง (50x)



รูปที่ 3-22 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที ส่วนบน (50x)



รูปที่ 3-23 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งกราฟไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที ส่วนล่าง (50x)

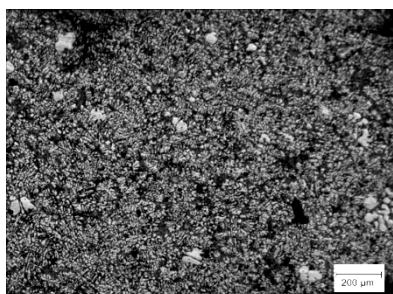
ตาราง 3-2 เปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งที่บริเวณต่าง ๆ กันของชิ้นงานที่จุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที

Test	อุณหภูมิเริ่มปล่อยก๊าซ (° C)	เวลาในการปล่อย ก๊าซ (sec)	บริเวณของชิ้นงานที่ นำมาตรวจสอบ	สัดส่วนของของแข็ง (Solid fraction) (%)
1	600	20	ส่วนบน	8.76
2	600	20	ส่วนกลาง	6.84
3	600	20	ส่วนล่าง	7.95

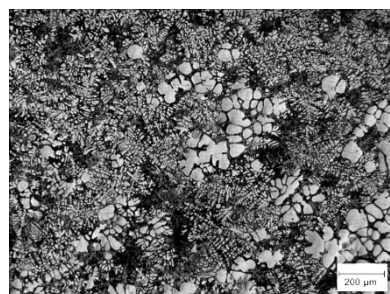
ตาราง 3-3 เปรียบเทียบสัดส่วนของแข็งที่บริเวณต่าง ๆ กันของชิ้นงานที่จุ่มแท่งกราไฟต์เป็นเวลา 60 วินาที

Test	อุณหภูมิเริ่มปล่อยก๊าซ (° C)	เวลาในการปล่อย ก๊าซ (sec)	บริเวณของชิ้นงานที่ นำมาตรวจสอบ	สัดส่วนของของแข็ง (Solid fraction) (%)
1	600	60	ส่วนบน	11.66
2	600	60	ส่วนกลาง	11.66
3	600	60	ส่วนล่าง	11.70

นอกจากนี้ยังได้มีการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคบริเวณ Cross section ของชิ้นงาน ขนาด 1 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าการกระจายของอนุภาคของแข็งสม่ำเสมอทั้งชิ้นงาน ตัวอย่างภาพโครงสร้างจุลภาคแสดงในรูปที่ 3-24



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-24 โครงสร้างจุลภาคบริเวณ Cross section

(ก) ชิ้นงานขนาด 1 มิลลิเมตร (ข) ชิ้นงานขนาด 3 มิลลิเมตร

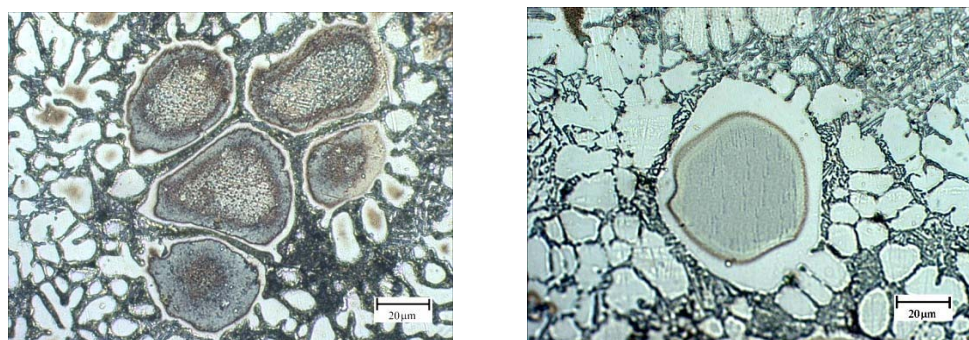
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์การเติบโตของอนุภาคของแข็ง

จากรูปที่ 3-25 โครงสร้างทางจุลภาคมีการเติบโตของอนุภาคของแข็ง เนื่องจากเกิดการเย็นตัวภายใน Quenching Mold ฉะนั้นจึงต้องวิเคราะห์หาความหนาของชั้นการเติบโต เพื่อนำไปวิเคราะห์หาสัดส่วนของแข็งที่เกิดขึ้นจริง โดยคำนวณหาสัดส่วนของแข็งเริ่มต้นจากสมการด้านล่างนี้

$$f_0 = \frac{A_{P0}}{A_T} = \frac{\sum_{i=1}^N [\pi \cdot (R_i - \Delta R_i)^2]}{A_T}$$

โดยที่ f_0	คือ	สัดส่วนของแข็งเริ่มต้น
A_{P0}	คือ	พื้นที่ทั้งหมดของอนุภาคเริ่มต้น
R_i	คือ	รัศมีของอนุภาคของแข็งเริ่มต้น
A_T	คือ	พื้นที่ทั้งหมด

ซึ่งข้อมูลและผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-4

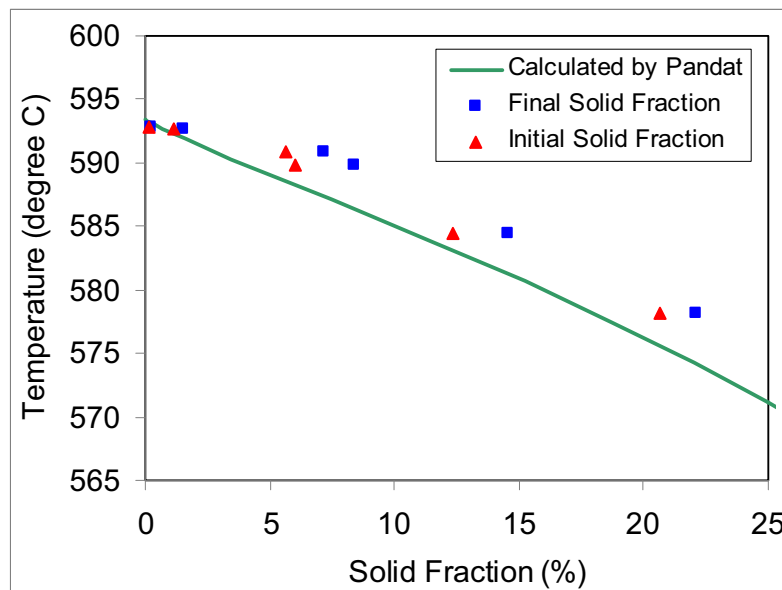


รูปที่ 3-25 แสดงการเติบโตของอนุภาคของแข็งจากการเย็นตัว ที่การจุ่มแท่งแกรไฟต์เป็นเวลา 28 วินาที (ซ้าย) และ 90 วินาที (ขวา)

ตารางที่ 3-4 การวิเคราะห์สัดส่วนของแข็งที่เกิดขึ้นจริง

Sample ID	Quenched Slurry Temperature (°C)	Average Growth Layer Thickness (μm)	Total Analyzed Area (μm ²)	Total Area of Initial Solid Particles (μm ²)	Initial Solid Fraction (%)
15	592.8	1.7	26204160	41367	0.16
17	592.7	1.6	26204160	295659	1.13
20	590.9	2.0	30571520	1727178	5.65
28	589.9	3.6	30571520	1830212	5.99
60	584.5	3.3	26204160	3243361	12.38
90	578.2	2.7	26204160	5405998	20.63

ผลจากการวิเคราะห์การเติบโตของเกรน และผลจากการคำนวณโดยใช้ Software ชื่อ Pandat ได้แสดงเปรียบเทียบกันในรูปแบบที่ 3-26 ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจากการคำนวณใช้หลักการของ Scheil ซึ่งสมมติว่าไม่มีการแพร่ในของแข็ง แต่ในความเป็นจริงแล้วมีการแพร่เกิดขึ้นขณะแข็งตัว จึงทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยในภาพรวมแล้วผลการทดลองที่ได้มีความสัมพันธ์และค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ



รูปที่ 3-26 ผลการทดลองของสัดส่วนของของแข็งของอะลูมิเนียม ADC10 เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Pandat

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้

ในปัจจุบันการศึกษาเทคโนโลยีด้านการหล่อโลหะมีการวิจัยและพัฒนากันอย่างแพร่หลายในนานาประเทศ โดยกระบวนการหล่อโลหะแบบฉีด (Die Casting) เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมยานยนต์ และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็วในการผลิตผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากกระบวนการหล่อแบบฉีดนั้นมีข้อจำกัดในการผลิต เนื่องจากพบข้อบกพร่องในชิ้นงาน คือ ชิ้นงานจะเกิดรูพรุน (Porosity) หรือโพรงอากาศ ซึ่งส่งผลให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานลดลง และทำให้มีข้อจำกัดในการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องรับแรงมากไม่ได้ แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดข้อบกพร่องดังกล่าวได้คือ การหล่อโลหะแบบกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Casting) เนื่องจากการหล่อแบบนี้จะทำให้การไหลของโลหะกึ่งของแข็งมีการไหลแบบราบเรียบ จึงทำให้รูพรุนลดลง ดังนั้นกระบวนการหล่อโลหะแบบกึ่งของแข็งจึงถูกพัฒนาขึ้น และในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้มากขึ้นทั้งในอเมริกา ยุโรป เกาหลีใต้ และในประเทศไทยก็เริ่มมีการวิจัยและคิดค้นกระบวนการหล่อโลหะกึ่งของแข็ง เพื่อนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมภายในประเทศ

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Rapid Quenching Mold ในการศึกษาต่าง ๆ เพื่อพัฒนาระบวนการหล่อ Semi-Solid Die Casting ในประเทศไทย ซึ่งการศึกษาต่าง ๆ มีขั้นตอนดังนี้

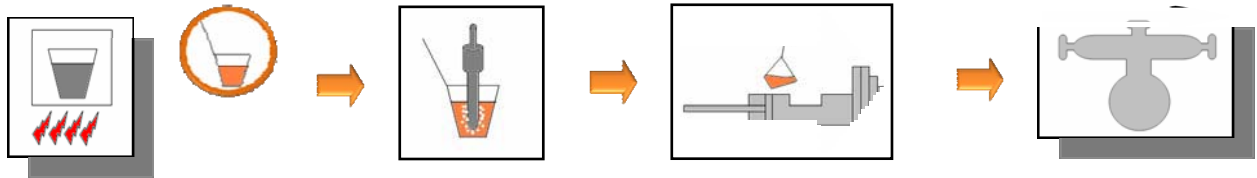
4.1 ขั้นตอนการวิจัย

4.1.1 การศึกษาสัดส่วนของแข็งและโครงสร้างจุลภาคภายใน Shot Sleeve เพื่อหาอุณหภูมิของ Shot Sleeve ที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโลหะกึ่งของแข็งด้วยแม่พิมพ์ Die Casting

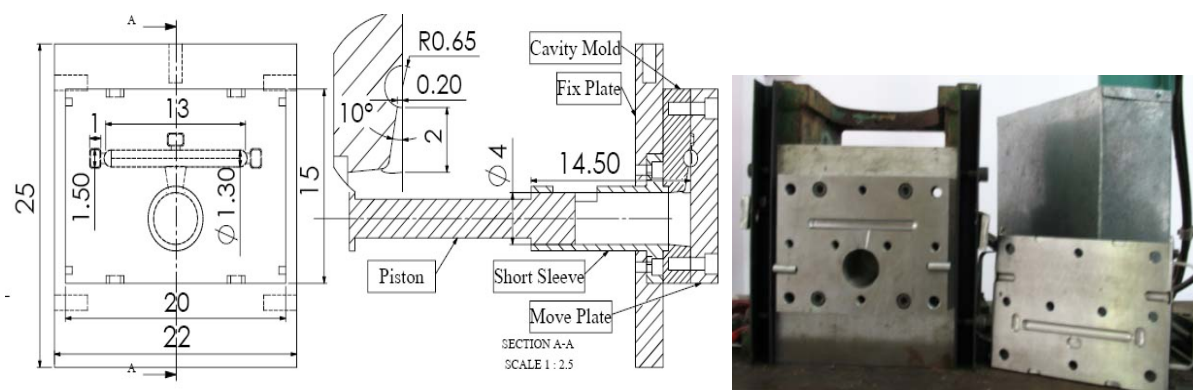
เพื่อให้ทราบถึงอุณหภูมิของ Shot Sleeve ที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโลหะกึ่งของแข็งด้วยแม่พิมพ์ Die Casting จึงจำเป็นต้องศึกษาสัดส่วนของแข็งและโครงสร้างจุลภาคภายใน Shot Sleeve ซึ่งทำได้โดยนำน้ำโลหะปริมาณ 1 กิโลกรัมที่ผ่านกรรมวิธีผลิตโลหะกึ่งของแข็งโดยการปล่อยฟองแก๊สที่ 20 วินาที เทลงใน Shot sleeve ที่อุณหภูมิ 250 °C 300 °C และ 350 °C ตามลำดับ แล้วจุ่มแม่พิมพ์ทองแดง (Copper Quenching Mold) เพื่อเก็บตัวอย่างและเพื่อศึกษาผลของเวลาโลหะกึ่งของแข็งที่อยู่ใน Shot Sleeve ต่อโครงสร้างจุลภาค นอกจากนี้ได้ทำการทดลองโดยเทโลหะกึ่งของแข็งที่อุณหภูมิ Shot sleeve 350 °C ปล่อยน้ำโลหะทิ้งไว้เป็นเวลา 5 15 20 และ 25 วินาที ตามลำดับ แล้วจุ่มแม่พิมพ์ทองแดง (Copper Quenching Mold) เพื่อเก็บตัวอย่างชิ้นมาอีกครั้ง หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้มาตัดบริเวณส่วนกลางของชิ้นงาน และทำการเตรียมตัวอย่างชิ้นงาน เพื่อใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope)

4.1.2 การหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็ง (Semi-Solid Metal Die Casting)

สำหรับการทดลองนี้เป็นการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค และพื้นผิวของชิ้นงานอะลูมิเนียมผสม ADC10 โดยการหล่อฉีดโลหะแบบกึ่งของแข็งของโลหะอะลูมิเนียมผสมซิลิกอนและทองแดง ซึ่งได้ทำการออกแบบแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-1 แสดงขั้นตอนการหล่อฉีดโลหะกึ่งของแข็ง



รูปที่ 4-2 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์ Die Casting (หน่วยเซนติเมตร)

การศึกษากาการฉีดโลหะกึ่งของแข็งด้วยแม่พิมพ์ Die Casting และวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานหลังการหล่อขึ้นรูป โดยทำการเปรียบเทียบชิ้นงานที่หล่อแบบน้ำโลหะและหล่อแบบกึ่งของแข็ง ในการทดลองจะประกอบแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องอัดไฮดรอลิกแล้วทำการหลอมโลหะที่อุณหภูมิ 640°C และผลิตโลหะกึ่งของแข็งโดยการจุ่มแท่งแกรไฟต์ที่อุณหภูมิ 610°C เป็นเวลา 9 วินาที จากนั้นเทน้ำโลหะและโลหะกึ่งของแข็งลงใน Shot sleeve ที่มีอุณหภูมิประมาณ 350°C แล้วทำการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิแม่พิมพ์ประมาณ 300°C ซึ่งในการหล่อขึ้นงานแต่ละครั้งจะใช้โลหะประมาณ 250 กรัม หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงาน โครงสร้างจุลภาค และทำการทดสอบสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

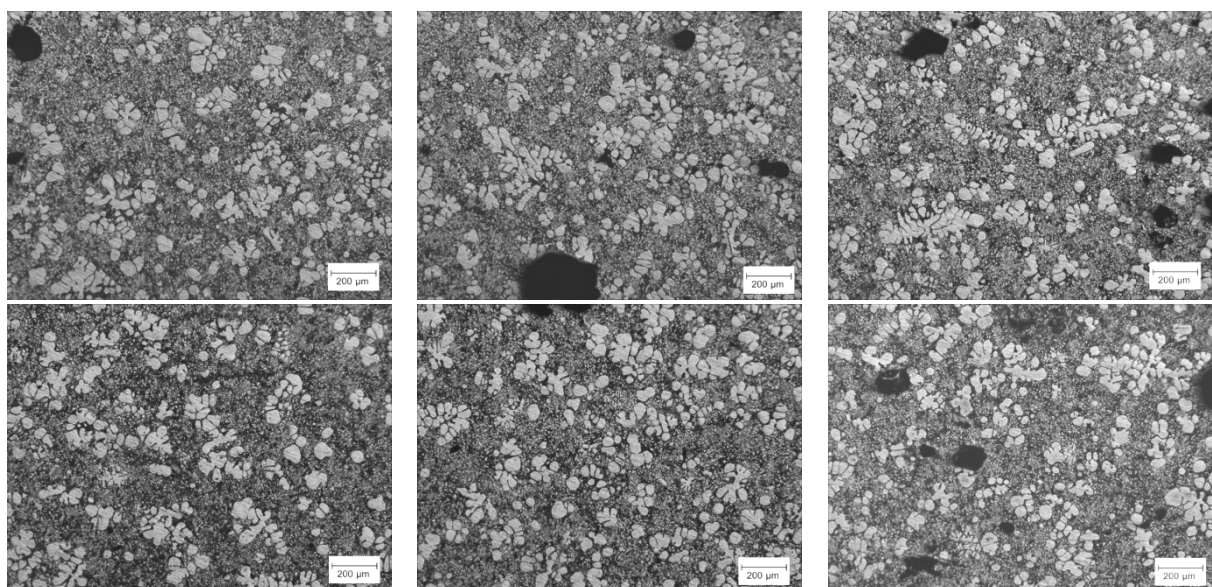
4.1.3 การศึกษาสมบัติพื้นฐานของกระบวนการผลิตโลหะกึ่งของแข็งด้วยกรรมวิธีปล่อยฟองแก๊สระหว่างการแข็งตัว

เพื่อศึกษาผลของอัตราการเย็นตัวต่อโครงสร้างจุลภาค และเพื่ออธิบายกลไกการเกิดเกรนก่อนกลมได้ทำการประยุกต์ใช้ Rapid Quenching Mold ในการศึกษา โดยทำการทดลองเริ่มด้วยการหลอมอะลูมิเนียม A356 ที่อุณหภูมิ 700°C กิโลกรัม จากนั้นจุ่มแท่งเกรไฟต์ลงไปในน้ำโลหะที่อุณหภูมิ 620°C และ 670°C ตามลำดับ เพื่อปล่อยฟองแก๊สอาร์กอนเล็ก ๆ ออกมา ด้วยอัตราประมาณ 4.5 ลิตรต่อนาที จากนั้นจุ่มแม่พิมพ์ทองแดง (Copper Quenching Mold) เพื่อเก็บตัวอย่างของน้ำโลหะ ขณะที่น้ำโลหะมีอุณหภูมิ 610°C (สัดส่วนของแข็งประมาณ 7%) และ 608°C (สัดส่วนของแข็งประมาณ 11%) จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาตัดบริเวณส่วนกลางของชิ้นงาน แล้วทำการขัดชิ้นงานตัวอย่างเพื่อตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope)

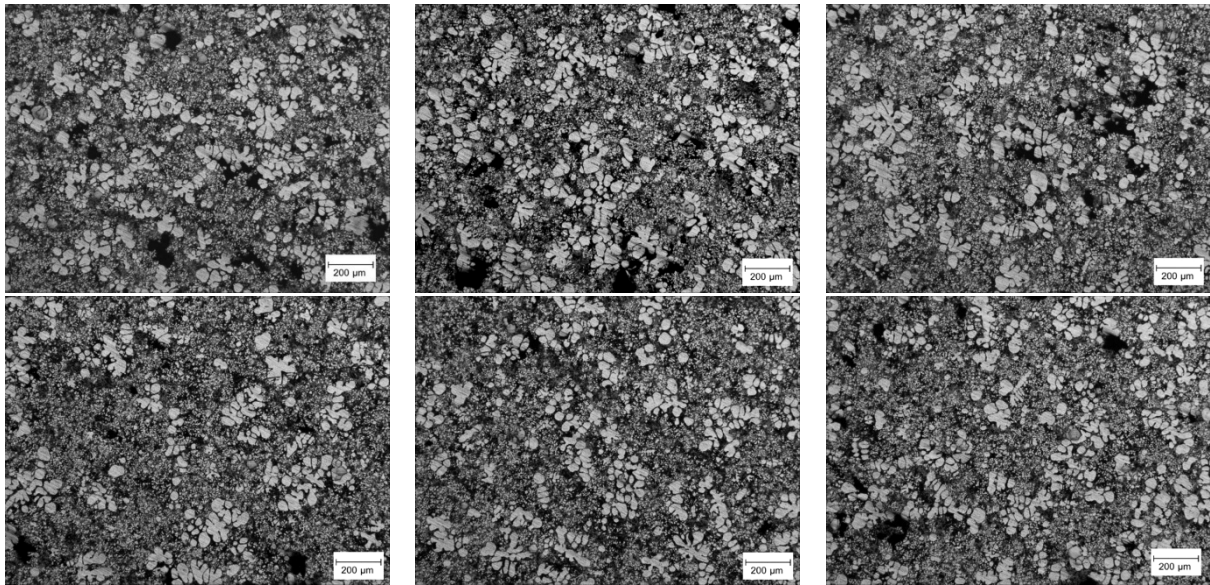
4.2 ผลการวิจัย

4.2.1 การศึกษาสัดส่วนของแข็งและโครงสร้างจุลภาคภายใน Shot Sleeve เพื่อหาอุณหภูมิของ Shot Sleeve ที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโลหะกึ่งของแข็งด้วยแม่พิมพ์ Die Casting

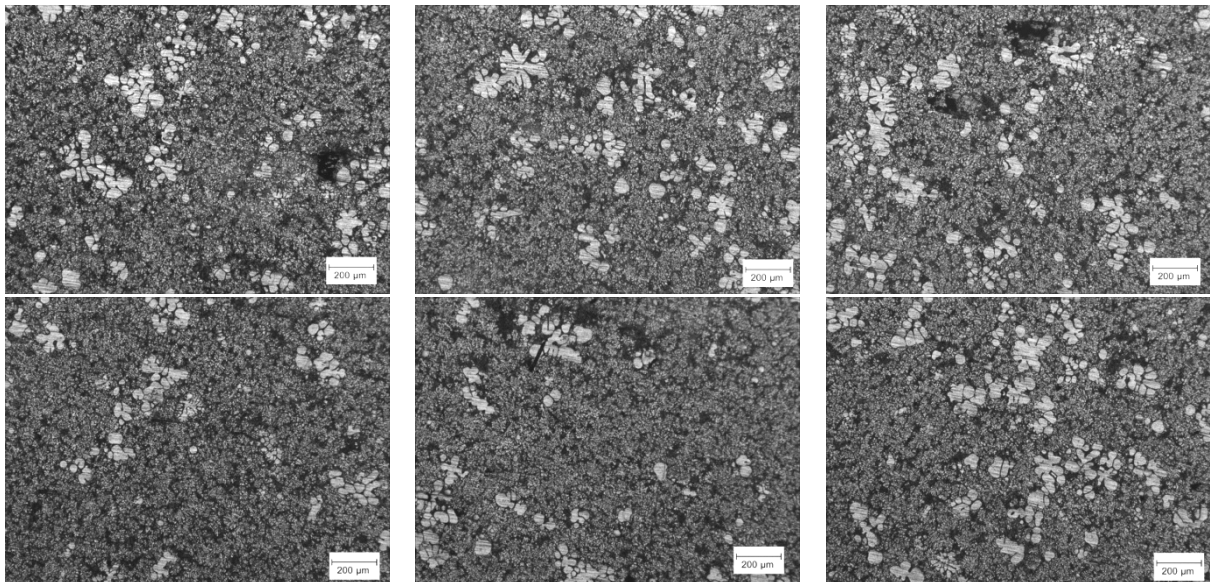
ผลของโครงสร้างจุลภาคหลังจุ่มแท่งเกรไฟต์ที่อุณหภูมิ 600°C แล้วปล่อยให้ฟองก๊าซเล็ก ๆ หลุดสู่น้ำโลหะเป็นเวลา 20 วินาที ที่อุณหภูมิ Shot sleeve 250, 300 และ 350°C แสดงในรูปที่ (4-3) – (4-5) ผลจากการใช้โปรแกรม Photoshop ทำการแยกเฟสของของแข็งให้ชัดเจนแสดงในรูปที่ (4-6) – (4-8)



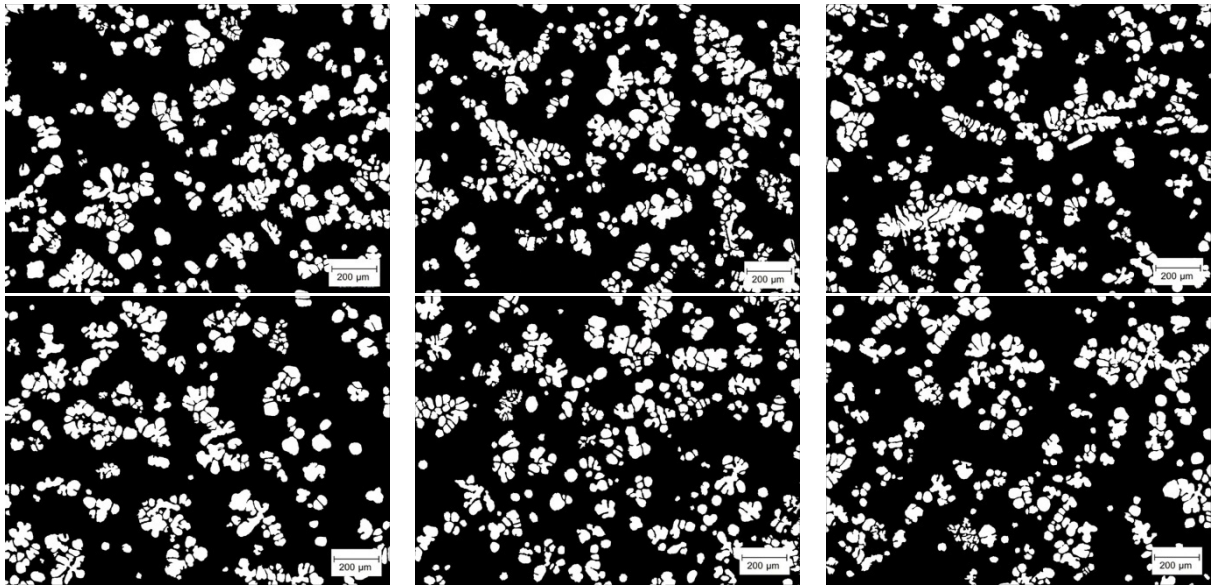
รูปที่ 4-3 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งเกรไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ที่อุณหภูมิ Shot sleeve 250°C



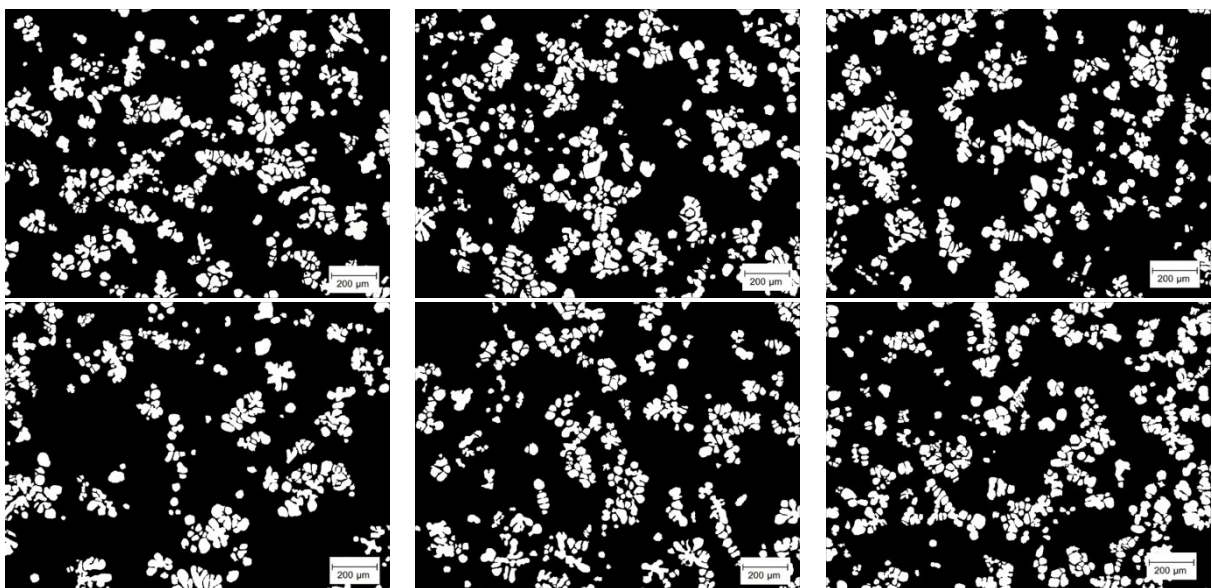
รูปที่ 4-4 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งแกรไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ที่อุณหภูมิ Shot sleeve 300°C



รูปที่ 4-5 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งแกรไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ที่อุณหภูมิ Shot sleeve 350°C



รูปที่ 4-6 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งแกรไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ที่อุณหภูมิ Shot sleeve 250°C



รูปที่ 4-7 โครงสร้างจุลภาคหลังจากจุ่มแท่งแกรไฟต์เป็นเวลา 20 วินาที ที่อุณหภูมิ Shot sleeve 300°C