บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญงานวิจัย

ปัจจุบันได้มีการนำโลหะผสมอะลูมิเนียมมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องกระป๋อง อุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมิเนียมมีความเหนียวสูง และมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับเหล็กประมาณ 3 เท่า แต่ทั้งนี้เนื่องจากอะลูมิเนียมมีความแข็งแรงต่ำเมื่อเทียบกับเหล็ก จึงทำให้ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่บ้าง ดังนั้นจากอดีตจนถึงปัจจุบันอะลูมิเนียมจึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงให้มีคุณสมบัติดีขึ้นโดยเติมธาตุผสมต่างๆ จึงทำให้มีโลหะผสมอะลูมิเนียมเกิดขึ้นหลายชนิด และนอกจากนี้ ยังมีการใช้กรรมวิธีการผลิตต่างๆ ที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติให้ดีขึ้น เช่น การทำกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment) และ Homogenization เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการนำไปใช้งาน

การผสมธาตุต่างๆ ลงในโลหะอะลูมิเนียมทำให้เกิดโลหะผสมอะลูมิเนียมหลายชนิด ซึ่งแบ่งตามการขึ้นรูปได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ อะลูมิเนียมหล่อผสม (Cast Aluminum) และอะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็น (Wrought Aluminum) ซึ่งแต่ละกลุ่มถูกแบ่งออกเป็นเกรดต่างๆ ตามชนิดของธาตุผสม ดังตารางที่ 1.1 และ 1.2

ตารางที่ 1.1 แสดงสัญลักษณ์อะลูมิเนียมหล่อผสม (Cast Aluminum) [1]

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอะลูมิเนียม
1xx.x	อะลูมิเนียม ที่มีความบริสุทธิ์ ไม่น้อยกว่า 99.00%
2xx.x	ทองแดง (Cu)
3xx.x	ซิลิคอน (Si) เป็นหลัก บางทีผสม ทองแดง (Cu) และ แมกนีเซียม (Mg)
4xx.x	ซิลิคอน (Si)
5xx.x	แมกนีเซียม (Mg)
6xx.x	ยังไม่มีใช้ (Unused Series)
7xx.x	สังกะสี (Zn)
8xx.x	ดีบุก (Sn)
9xx.x	ยังไม่มีใช้ (Unused Series)

ตารางที่ 1.2 แสดงสัญลักษณ์อะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็น (Wrought Aluminum) [2]

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอะลูมิเนียม
1xxx	อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (Pure Al) ไม่น้อยกว่า 99%
2xxx	อะลูมิเนียมผสมทองแดง (Al–Cu)
3xxx	อะลูมิเนียมผสมแมงกานีส (Al–Mn)
4xxx	อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน (Al–Si)
5xxx	อะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียม (Al–Mg)
6xxx	อะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิคอน (Al–Mg–Si)
7xxx	อะลูมิเนียมผสมสังกะสี (Al–Zn)
8xxx	อะลูมิเนียมผสมดีบุก (Al-Sn)
9xxx	อะลูมิเนียมผสมธาตุอื่นๆที่จะมีใช้งานในอนาคต

การทำกรรมวิธีทางความร้อน (Heat Treatment) [2, 3] เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะผสมอะลูมิเนียมสามารถทำได้ในโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 2xxx, 5xxx บางตัว (ส่วนมากไม่นิยมทำ), 6xxx และ 7xxx ดังนั้น โลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่มนี้จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างว่าเป็นกลุ่มที่ทำกรรมวิธีทางความร้อนได้ (Heat Treatment Alloys) ส่วนโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่มที่เหลือ คือ 1xxx, 3xxx, 4xxx บางตัว และ 5xxx เป็นกลุ่มที่ไม่อาจปรับปรุงสมบัติทางกลให้แข็งแรงเด่นชัดได้โดยการทำกรรมวิธีทางความร้อน (Non Heat Treatment Alloys) แต่สามารถทำให้แข็งแรงขึ้นได้โดยการทำแปรรูปเย็น

ในงานวิจัยนี้เราจะทำการศึกษาโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx ซึ่งเป็นโลหะผสมอะลูมิเนียมในกลุ่มขึ้นรูปเย็นที่มีความแข็งแรงสูง และถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานเครื่องบินรบ, ยานอวกาศ, อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ และ ชิ้นส่วนในรถจักรยานยนต์

โลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx เป็นกลุ่มที่มีส่วนผสมของธาตุสังกะสี 1-8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [4] (เป็นธาตุผสมหลัก) และผสมแมกนีเซียม 1-3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [5] เพื่อผลในการทำกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยปรากฏการณ์แบบชุบแข็งตกตะกอน (Precipitation Hardening) นอกจากนี้ ยังพบว่าการผสมธาตุทองแดง 1-2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [5] และ ธาตุโครเมียมในปริมาณเล็กน้อยยังช่วยเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงให้กับโลหะผสมอะลูมิเนียมสังกะสีและแมกนีเซียมให้สูงขึ้น [4, 5] ซึ่งในงานวิจัยนี้โลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx ที่นำมาศึกษามีส่วนผสมเริ่มต้นเป็น สังกะสี 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, แมกนีเซียม 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, ทองแดง 2.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, เซอร์โคเนียม 0.014 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก, เหล็ก 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และซิลิคอน 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งขอยกตัวอย่างโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx ที่มีส่วนผสมที่ใกล้เคียงกันเพื่อแสดงให้เห็นสมบัติด้านต่างๆ เช่น เกรด 7075 ที่มีส่วนผสมของสังกะสี 5.10 - 6.10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, ทองแดง 1.20 – 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, แมกนีเซียม 2.10 - 2.90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, ซิลิกอน 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, เหล็ก 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, ไทเทเนียม 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, แมงกานีส 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, โครเมียม 0.18 - 0.28 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และธาตุอื่นๆ ประมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพดังนี้ [6]

อุณหภูมิหลอมเหลว	635°C	
อุณหภูมิแข็งตัว	477°C	
สัมประสิทธิ์การขยายตัวที่ 20 องศาเซลเซียส	23.4	μm/m.K
ปริมาตร	$68x10^{-6}$	$m^3/m^3.K$
ความร้อนจำเพาะ	960	J/kg.K
ความหนาแน่น	2.80	g/cm^3

ส่วนสมบัติเชิงกลของโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด 7075 ที่มีส่วนผสมดังที่กล่าวมาแล้ว แสดงดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 แสดงคุณสมบัติทางกลของโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด 7075 [6]

Temper	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)	Shear strength (MPA)
O	228	103	17	60	152
T6, T651	572	503	11	150	331
T73	503	434	...	...	...

ในงานวิจัยนี้เราสนใจศึกษาโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx ซึ่งแต่เดิมไม่สามารถหล่อแบบต่อเนื่องได้เนื่องจากเกิดปัญหาการแตกร้าวในชิ้นงานหล่อ สาเหตุมาจากธาตุผสมที่มีปริมาณมากซึ่งทำให้เกิดปัญหาการแยกตัวระดับจุลภาคขึ้น และเนื่องจากขณะทำการหล่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวและใจกลางชิ้นงานมากจึงทำให้เกิดความเค้นภายในชิ้นงานสูงง่ายต่อการแตกร้าว แต่ในปัจจุบันได้มีการศึกษาพัฒนาและวิจัยเกี่ยวกับการลดปัญหาต่างๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยการนำแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำมาประยุกต์ใช้เข้ากับการหล่อ ซึ่งพบว่าสามารถลดปัญหาการแตกร้าวและลดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในชิ้นงานทำให้อุณหภูมิ

ภายในชิ้นงานมีความสม่ำเสมอขึ้นด้วย นอกจากนี้ พบว่าการหล่อโดยประยุกต์ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำนี้ยังทำให้ ขนาดของเกรนละเอียดขึ้น และโครงสร้างจุลภาคมีความสม่ำเสมอมากขึ้นด้วย จึงทำให้ในปัจจุบันนี้สามารถผลิตโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx ด้วยวิธีการหล่อแบบต่อเนื่องโดยประยุกต์ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำได้ แต่เนื่องจากในปัจจุบันได้มีความต้องการโลหะผสมอะลูมิเนียมที่มีสมบัติทางกลที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีการพัฒนาและการวิจัยเกี่ยวกับวิธีการเพิ่มสมบัติเชิงกลต่างๆ และผลของธาตุผสมก็เป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่มีการศึกษาในเรื่องการเพิ่มสมบัติเชิงกล

โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของธาตุผสมที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค และปริมาณของสารประกอบต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปในโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx (Al-10Zn-2.5Mg-2.3Cu-0.014Zr-0.05Fe-0.05Si เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ซึ่งก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาถึงการเพิ่มสมบัติเชิงกลของโลหะผสมอะลูมิเนียมชนิดนี้ คือ ทำการเปลี่ยนส่วนผสมของแมกนีเซียมและทองแดงซึ่งพบว่า เมื่อทำการลดปริมาณของแมกนีเซียมลง ค่าความยืดของโลหะผสมอะลูมิเนียมชนิดนี้มีค่าสูงขึ้นในขณะที่ค่าความแข็งแรงจุดครากสูงขึ้นเช่นกัน และเมื่อทำการลดปริมาณทองแดงลงพบว่าค่าความแข็งแรงมีค่าสูงขึ้นและค่าความยืดลดลง ซึ่งไม่ตรงกับทฤษฎีที่ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณทองแดงในโลหะผสมอะลูมิเนียมแล้วจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงมีค่าสูงขึ้นและการเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมในโลหะผสมอะลูมิเนียมก็จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้น จึงเป็นที่น่าสนใจว่าผลของธาตุผสมมีผลอย่างไรต่อโครงสร้างจุลภาคและชนิดของสารประกอบต่างๆ ที่เกิดขึ้น ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของโลหะผสมอะลูมิเนียมชนิดนี้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการเปลี่ยนปริมาณของทองแดงและแมกนีเซียมโดยที่ส่วนผสมอื่นคงที่ จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการหล่อแบบ Direct Chill โดยประยุกต์ใช้การกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ จากนั้นนำไปผ่านกรรมวิธีการอบให้เป็นเนื้อเดียว (Homogenization) แล้วจึงนำมาศึกษาโครงสร้างจุลภาคเพื่อวิเคราะห์ชนิดและสัดส่วนของเฟสต่างๆ ที่เกิดขึ้นว่ามีความสัมพันธ์ต่อสมบัติเชิงกลอย่างไร

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เข้าใจพื้นฐานทางโลหะวิทยาและประวัติความเป็นมาของโลหะผสมอะลูมิเนียมความแข็งแรงสูงพิเศษ (กลุ่ม 7xxx) และกระบวนการหล่อแบบ Direct Chill โดยประยุกต์ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ

1.2.2 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและลำดับการเกิดเฟสต่างๆ ที่เกิดขึ้นของโลหะผสมอะลูมิเนียมความแข็งแรงสูงพิเศษ (กลุ่ม 7xxx) ในสภาพภายหลังการหล่อด้วยกระบวนการแบบ Direct Chill โดยใช้การกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมที่ 1.0, 1.5, 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่ส่วนผสมอื่นคงที่ และที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงที่ 1.0, 1.5, 2.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่ส่วนผสมอื่นคงที่ และนำผลที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม Thermo-Calc

1.2.3 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นของโลหะผสมอะลูมิเนียมความแข็งแรงสูงพิเศษ (กลุ่ม 7xxx) ในสภาพภายหลังผ่านกระบวนการอบให้เป็นเนื้อเดียว ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแมกนีเซียมที่ 1.0, 1.5, 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่ส่วนผสมอื่นคงที่ และที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดงที่ 1.0, 1.5, 2.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยที่ส่วนผสมอื่นคงที่

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลการพัฒนาของโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx รวมทั้ง กระบวนการหล่อแบบ Direct Chill ที่มีการประยุกต์ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำ

1.3.2 ศึกษาโครงสร้างที่เกิดขึ้นในสภาพภายหลังการหล่อด้วยกระบวนการแบบ Direct Chill โดยใช้การกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำและภายหลังผ่านกระบวนการอบให้เป็นเนื้อเดียว ที่อุณหภูมิ 460°C เป็นเวลา 10, 30, 60, 180 และ 600 นาที ของโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx โดยกำหนดส่วนผสมดังนี้ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

- 10Zn-2.5Mg-2.3Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)
- 10Zn-1.5Mg-2.3Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)
- 10Zn-1.0Mg-2.3Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)
- 10Zn-2.5Mg-1.5Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)

- 10Zn-2.5Mg-1.0Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)

ซึ่งการศึกษาโครงสร้างจุลภาคนี้เราจะทำการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสง (OM) เพื่อดูการกระจายตัวของโครงสร้าง และศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) ที่กำลังขยายมากกว่า 1000 เท่า เพื่อศึกษาโครงสร้างยูเทคติค จากนั้นนำไปหาชนิดของสารประกอบโดยเทคนิค XRD (X-Ray Diffraction) และ นำไปวิเคราะห์ธาตุในสารประกอบชนิดต่างๆโดยเทคนิค EDX (Energy dispersive X-Ray)

1.3.3 หาปริมาณของเฟสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจุลภาคภายหลังการหล่อด้วยกระบวนการแบบ Direct Chill โดยใช้การกวนของแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำและภายหลังผ่านกระบวนการอบให้เป็นเนื้อเดียว ของโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx โดยกำหนดส่วนผสมดังนี้ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

- 10Zn-2.5Mg-2.3Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)
- 10Zn-1.5Mg-2.3Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)
- 10Zn-1.0Mg-2.3Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)
- 10Zn-2.5Mg-1.5Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)
- 10Zn-2.5Mg-1.0Cu-0.14Zr-0.05Fe-0.05Si-Al(Balance)

ซึ่งการศึกษานี้ใช้วิธีการวัดขนาดของเกรนภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสง (OM) และวัดสัดส่วนของโครงสร้างยูเทคติคกับเนื้อพื้นภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) และศึกษาปริมาณของสารประกอบที่เปลี่ยนแปลงไปจากผลการวิเคราะห์ XRD

1.3.4 ศึกษาลำดับการแข็งตัวโดยใช้โปรแกรม Thermo-Cal ช่วยในการคำนวณทาง Thermodynamic.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถควบคุมโครงสร้างจุลภาคภายหลังการหล่อและภายหลังผ่านกระบวนการอบให้เป็นเนื้อเดียว ของโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx ได้

1.4.2 เข้าใจผลของปริมาณทองแดงและปริมาณแมกนีเซียมที่มีต่อกลไกการแข็งตัวและกลไกของกระบวนการทางความร้อน ที่มีต่อโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx

1.4.3 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของโลหะผสมอะลูมิเนียมกลุ่ม 7xxx

1.4.4 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับโลหะผสมอื่นที่มีปัญหาในการหล่อแบบ Direct Chill ได้