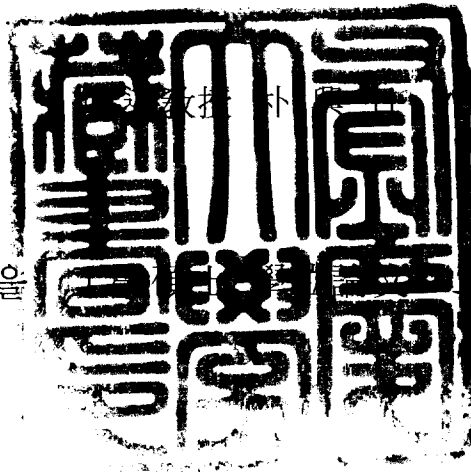


工學碩士 學位論文

알루미늄 합금 용탕/STD61 공구강의 계면 반응층
형성에 미치는 합금원소의 영향

이 論文을 提出함.



2006年 2月

釜慶大學校 大學院

소재프로세스공학과

朴 鎬 一

朴鎬一の 工學碩士 學位論文을 認准함

2005年 12月 22日

主 番 工學博士 金 星 圭



委 員 工學博士 李 吉 根



委 員 工學博士 朴 興 日



목 차

Abstract

1. 서론 -----	1
1.1 연구배경 -----	2
2. 실험방법 -----	5
3. 실험결과 및 고찰 -----	9
3.1 알루미늄 합금 용탕/STD61 계면 반응층 생성에 미치는 반응시간의 영향 -----	9
3.2 알루미늄 합금 용탕/STD61 계면 반응층 생성에 미치는 Fe 함량의 영향 -----	14
3.3 알루미늄 합금 용탕/STD61 계면 반응층 생성에 미치는 Si 함량의 영향 -----	19
4. 결론 -----	25
5. 참고문헌 -----	26

The Effect of Alloying Elements on the Formation of Interfacial Reaction Layer between Molten Aluminum Alloys and STD61 Tool Steel.

Ho-Il Park

Department of Materials Processing Engineering, The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The experiment of hot dip interaction tests was carried out in order to study the formation behavior of interfacial reaction layer between as-received STD61 hot work tool steel and a commercial pure aluminum melt, Al-xwt.%Fe($x=0.2, 0.5, 0.8$ and 1.1) alloys melt and Al-xwt.%Si($x=1.0, 4.0, 7.0$ and 10.0) alloys melt, respectively. The results show that the reaction layer, over $300\mu\text{m}$ in thickness, is easily formed by the dissolution of silicon from as-received tool steel. When the iron content in the aluminum alloy is higher than 1.1wt.%, the thickness of reaction layer decreases below $180\mu\text{m}$ by preventing iron dissolution from the tool steel. The silicon dissolved from tool steel acts as a strong promoter on the formation of reaction layer, but the alloyed silicon in molten aluminum alloys acts as an inhibitor on the formation of reaction layer.

Key words : Molten aluminium alloys, Tool steel, Interfacial reaction layer, Alloying elements

1. 서 론

용융금속을 응고시켜 요구하는 부품 형상의 주조품을 만들기 위하여 주형이 필요하다. 주형의 종류는 사형주조법, 인베스트먼트법과 같이 응고된 주조품을 취출하기 위하여 반드시 주형을 파손시켜야 하는 소모성 주형과 중력금형주조, 다이캐스팅 등과 같이 주형을 파손시킬 필요가 없는, 즉 주형을 반복 사용하는 영구주형으로 나눌 수 있다. 특히 금형(die)을 사용하는 주조법으로 제조된 주조품은 형상과 치수가 정밀하고, 주조 생산성이 높기 때문에 알루미늄 합금을 비롯한 저융점의 비철합금 주조에 널리 채용되고 있다[1,2].

알루미늄 합금의 80% 이상은 중력금형주조, 저압주조, 다이캐스팅 등의 영구주형, 즉 금형으로 제조된다. 용융 알루미늄은 강재에 대한 화학적인 친화력이 높기 때문에 계면의 반응 생성물에 의한 응착(soldering)이 빈번하다[3]. 이러한 응착발생은 주조불량을 야기하며, 금형의 수명을 단축시켜 금형주조의 원가 손실을 가중시킨다. 최근 주조금형의 수명 연장을 위하여 금형 재료의 개발[4,5]과 금형의 표면개질[6-8]에 관한 연구 등이 활발하다.

저자들은 주조용 금형 강재로 널리 사용되고 있는 STD61 열간공구강의 표면을 개질하여 금형 표면의 침식, 부식 또는 응착 문제를 억제시키는 연구에 필요한 실험실적 기초연구를 수행하고 있다. 본 논문은 STD61 강재의 계면 반응층 생성에 미치는 공업용 순수 알루미늄 용탕, Al-xwt.%Fe 알루미늄 합금계($x=0.2, 0.5, 0.8$ 및 1.1) 용탕 및 Al-xwt.%Si 알루미늄 합금계($x=1.0, 4.0, 7.0$ 및 10.0) 용탕의 영향에 대하여 고찰한 것이다.

1.1 연구배경

중력금형주조의 공정 흐름을 간략하게 설명하면 다음과 같다. 주조방안에 따라 제작된 금형을 예열하여 피복처리한 후 중력주조기에 장착하여, 금형의 합형과 분리 상태, 중자의 삽입 상태 등을 점검하여 조정한다. 금형을 예열하여 합형한 후 용탕을 주입하고, 일정시간 응고대기한 다음 금형을 개방하여 완성된 주조품을 취출한다. 이 때 주조품의 형상 및 치수를 검사하는 시험 주조를 수차례 반복한다. 그리고 중자가 필요한 제품이면 합형 전에 금형의 케비티에 중자를 삽입한다. 이러한 시험 주조 작업을 통하여 주조조건, 즉 금형의 예열온도, 용탕의 주입온도 및 응고대기 시간 등의 최적의 주조 조건이 설정된다.

시험 주조에서 만들어진 주조품의 형상, 외관 및 치수 등에 특이점이 발견되지 않으면 금형의 케비티를 청소하고, 금형 피복을 손질한 후 합형, 용탕주입, 응고대기, 제품 취출의 주조공정을 반복한다.

만약 주조품의 형상 또는 치수의 불량이가 발견되면 금형의 상태를 우선적으로 점검한다. 금형은 아주 작은 부분이라도 열간균열(hot cracking), 용손(dissolution) 또는 용착(soldering)이 관찰되거나, 코어 핀 등이 파손되는 문제가 발생하면 즉각 주조 작업을 중지하고 금형을 보수하거나, 준비된 또 다른 금형을 교체하여야 한다. Fig.1은 알루미늄 금형 주조에서 가장 흔하게 발생하는 STD61 주조금형 강재의 전형적인 용착현상을 보여준다.

주조용 금형의 제조원가는 금형 강재의 재료비, 설계비, 금형가공비, 표면처리비 및 시험주조비로 구성되며, 이 원가구성에서 금형

재료비 및 금형 제작비가 차지하는 비중은 아주 적다. 대부분의 비용은 안정된 생산조건으로 주조 금형을 유지하는데 사용되며, 금형 주조에서 대부분의 원가 손실은 금형을 수리하고 조정하는 것에서 발생한다. 중력금형주조 또는 다이캐스팅에서 가동중지 시간의 3분의 2와 주조품 불량률의 60% 이상이 금형과 관련된 문제에 기인하는 것으로 알려져 있다.

최근 금형주조법은 금형 주조기 자체의 구조 개량에 의한 자동주입, 자동 제품 취출 등의 기계적인 조업환경 개선과 응고시물레이션에 의한 주조방안 해석과 새로운 주조합금의 개발은 주조품의 품질 일관성 유지와 조업효율 향상에 크게 이바지 하고 있다. 그러나 주조작업 중 금형의 파손 또는 마모, 응착 등에 대한 자가 진단시스템(self detection system)은 구축하기 어렵기 때문에 작업자의 관찰에 의존하여야 한다. 따라서 금형의 수명 연장과 함께 주조 사이클 타임을 단축하여 생산성을 향상시키기 위한 연구는 금형 주조의 최대 토픽이며 반드시 해결되어야 할 과제라 할 수 있다.

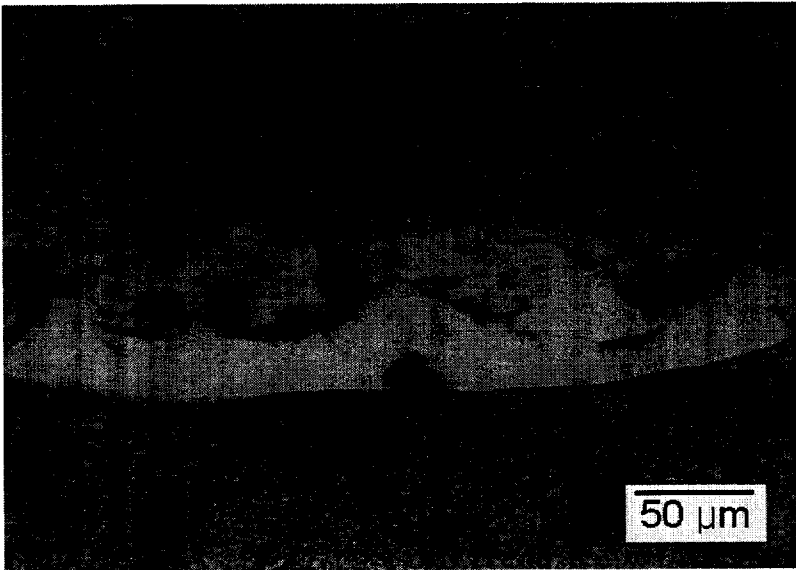


Fig.1 Typical microstructure of soldering by interfacial reaction between STD61 die mold and AC4C aluminum alloy.

2. 실험방법

Table 1은 본 실험에 사용된 금형 강재(STD61)의 화학조성을 나타낸다. 시판용 STD61 강재를 구입하여 직경 10mm, 길이 100mm의 치수로 가공하여 환봉상 시험편을 제조하였다. 이 환봉상 시험편의 표면은 사포 #1000으로 연마하였다.

Table 2는 본 실험에 사용된 알루미늄 합금의 화학조성을 나타낸다. 공업용 순수 알루미늄(<99.5wt.%)은 시판용이며, Al-xwt.%Fe 알루미늄 합금계(x=0.2, 0.5, 0.8 및 1.1)는 진공 아크 용해로(220V, 60Hz, 30kW)의 구리기판(copper hearth)에서 직경 20mm, 두께 10mm 크기의 단추 모양 주괴를 제조하였다. 그리고 Al-xwt.%Si 알루미늄 합금계(x=1.0, 4.0, 7.0 및 10.0)는 유도용해로(220V, 3kHz, 20kW)를 이용하여 직경 10mm, 길이100 mm의 봉상으로 금형주조하였다.

Fig.2는 각종 알루미늄 합금 용탕에 대한 STD61 강재 시험편의 계면 반응성 시험을 위한 시험장치(고온 관상로, 최대온도 1600℃)와 계면반응의 시험조건을 나타낸다. 먼저 STD61 환봉상 강재는 미세 절단기를 이용해서 직경 10mm, 두께 5mm로 절단하고, 경면 연마 후 아세톤으로 탈지하였다. 흑연봉을 가공하여 만든 소형 흑연 도가니(내경 16mm, 깊이 24mm) 속에 미리 목적 합금 조성(Table 2 참조)으로 제조하여 절단한 알루미늄 합금 조각을 같이 넣고, 알루미늄 보트에 담아 일정 온도에서 주어진 시간 동안 계면 반응시킨 시험편을 제조하였다. 이 때 고온 관상로 속에 아르곤 가스(0.2ℓ/min)를 취입하여 공기 혼입에 의한 산화를 억제하였다.

공업용 순수 알루미늄의 반응시간은 800℃에서 3, 5, 10 및 15분 간으로 하였으며, 그리고 Al-Fe 합금계는 각각의 시험조성에서 3 및

10분간, Al-Si 합금계는 각각의 시험조성에서 10분간 반응시킨 후 노냉하였다. 알루미늄 합금 속에 환봉상 STD61 강재가 매몰된 시험편을 미세 절단기를 이용해서 절단, 연마한 후 계면 반응층의 광학 현미경 관찰, SEM-EDX 및 EPMA 분석하여, 알루미늄 합금 용탕 /STD61 강재의 계면에 형성된 반응층의 특성을 고찰하였다.

Table 1 Chemical compositions of as-received STD61 tool steel(wt.%)

C	Cr	Mn	Mo	P	S	Si	V	Cu	Ni	Fe
0.32-0.42	4.50-5.50	0.50 max	1.00-1.50	0.030 max	0.030 max	0.80-1.20	0.80-1.20	0.25 max	0.25 max	bal

Table 2 Chemical compositions of aluminum alloys used(wt.%)

Alloys	Al	Fe	Si
Pure aluminum	<99.5	-	-
Al-xwt.%Fe alloys	Bal.	0.2, 0.5, 0.8, 1.1	
Al-xwt.%Si alloys	Bal.		1.0, 4.0, 7.0, 10.0

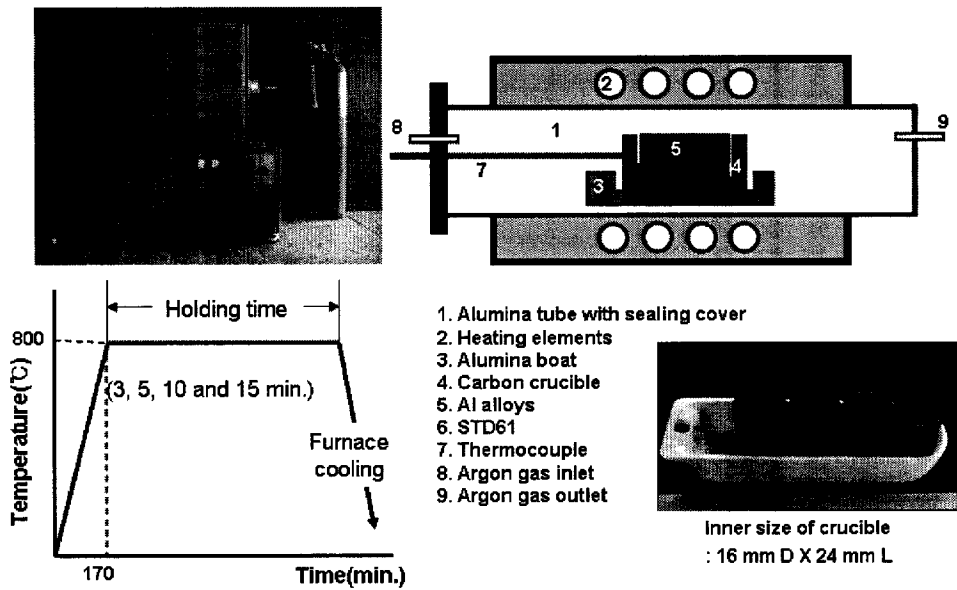


Fig.2 Hot dip test equipment and conditions for molten aluminum alloys/STD61 tool steel.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 알루미늄 합금 용탕/STD61 계면 반응층 생성에 미치는 반응 시간의 영향

Fig.3은 공업용 순수 알루미늄 용탕과 STD61 강재의 계면 반응층 생성에 미치는 반응시간의 영향을 나타낸다. 이 때 계면반응은 800℃에서 3, 5, 10 및 15분 동안 아르곤 가스 분위기에서 실시하였다. 반응층의 두께는 광학현미경에서 관찰된 자유시야 5곳의 반응층 두께를 평균한 것이다. 공업용 순수 알루미늄/STD61 강재의 경우, 3분의 반응시간이 경과하면 반응층의 두께는 310 μm , 5분에서 320 μm , 10분에서 360 μm , 그리고 15분에서 390 μm 까지 증가하여 반응시간이 증가할수록 계면 반응층 역시 거의 직선적으로 증가하였다.

Fig.4는 STD61 강재를 800℃에서 3분 또는 10분 동안 공업용 순수 알루미늄 용탕에 반응시킨 계면 반응층의 단면조직을 EPMA 선분석한 결과를 나타낸다. 반응시간 3분일 경우 계면 반응층의 Al과 Fe의 농도 기울기는 거의 없었다. 그러나 반응시간이 10분으로 길어져 계면 반응층의 두께가 360 μm 정도로 증가하면, 계면 반응층에 대한 알루미늄 용탕으로부터의 Al 확산 유입과 STD61 강재로부터의 Fe 용출에 의한 반응층의 성장이 촉진되는 농도 기울기가 관찰되었다. 특히 반응시간이 3분에서 10분으로 길어지면 STD61 강재의 합금 원소 중에서 Si의 농도 기울기가 급증하였으며, 이는 반응시간이 길어질수록 STD61 강재로부터 계면 반응층으로 용출 유입되는 Si의 함량이 증가함을 의미한다. 그러나 Cr의 경우, 반응층에 대한 반응초기의 농도 기울기가 높게 나타났으며, 이러한 농도 기울기는 반응 시간이 길어져도 변함이 없었다.

Fig.5는 공업용 순수 알루미늄 용탕에 SKD61 강재를 800℃에서 10분 동안 반응시킨 계면 반응층의 단면조직을 SEM-EDX 점분석 결과와 함께 나타낸 것이다. 계면 반응층 근방의 단면 미세조직을 보면, 계면 반응층에서 알루미늄 용탕쪽으로 침상의 화합물이 정출 하였고, 이 침상 화합물의 조성은 21.7Fe-78.0Al-0.3Cr(at.%)이었다. 그리고 계면 반응층의 조성은 24.9Fe-72.1Al-1.7Si-0.6Cr-0.4Mo-0.3V (at.%)이었다.

이상의 실험결과에서 공업용 순수 알루미늄 용탕/STD61 강재의 계면 반응층의 농도분포와 조직특성을 종합하여 보면, SKD61 강재는 아주 짧은 시간에 두꺼운 계면 반응층을 형성하며, 반응초기에 생성된 FeAl_3 타입의 반응층을 통하여 확산 유입되는 Al은 Fe_2Al_5 타입의 화합물층으로 성장됨을 알 수 있었다[9]. 그리고 반응시간이 증가할수록 반응층의 Si 농도 기울기가 증가하는 것은 STD61 강재로부터 계면 반응층을 통하여 유출된 Si가 반응층과 접촉하고 있는 순수 알루미늄 용탕으로 전부 고용되기 때문으로 여겨진다[10].

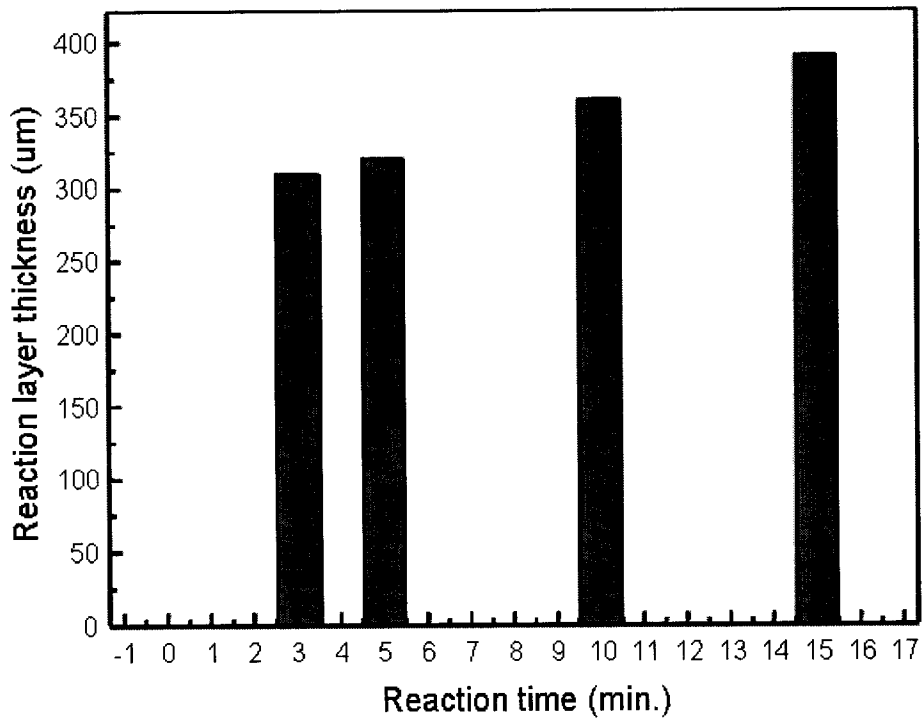


Fig.3 Effects of reaction time on the formation of interfacial reaction layer between molten commercial pure aluminum and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 3, 5, 10 and 15 minutes, respectively.

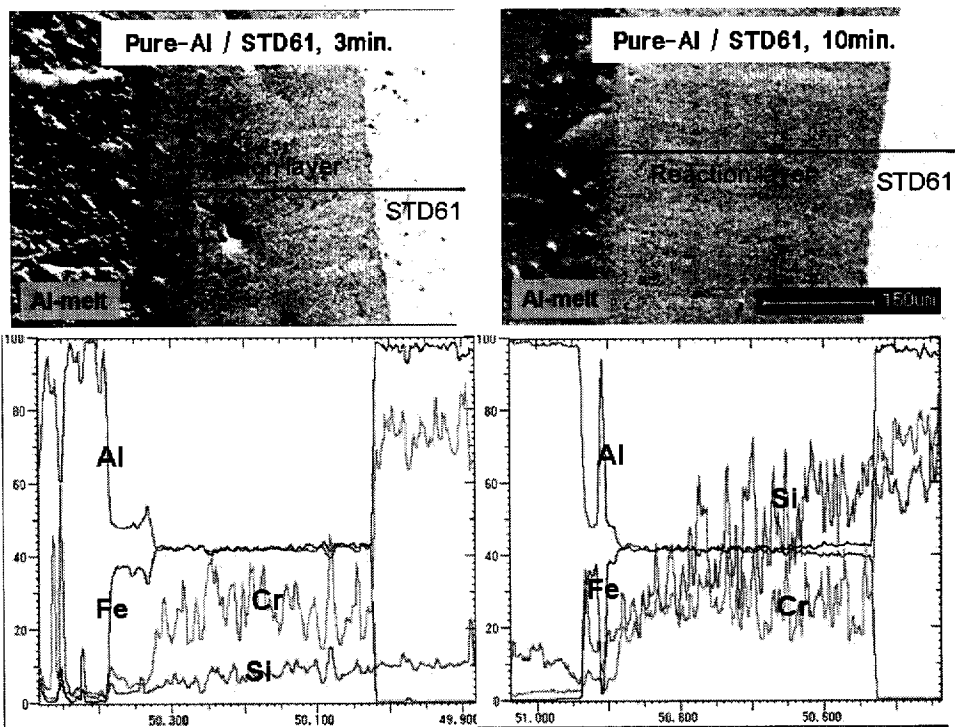


Fig.4 EPMA line analysis results of reaction layer between molten commercial pure aluminum and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 3 and 10 minutes, respectively.

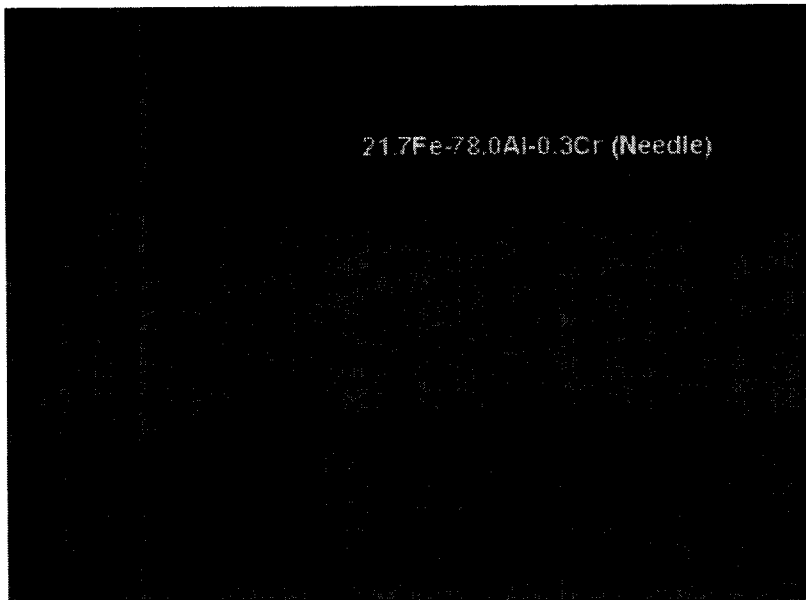


Fig.5 Cross-sectional microstructure and SEM-EDX analysis of interfacial reaction layer between molten commercial pure aluminum and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 10 minutes.

4.2 알루미늄 합금 용탕/STD61 계면 반응층 생성에 미치는 Fe 함량의 영향

중력금형주조 또는 다이캐스팅용 알루미늄 합금에는 상당량의 Fe가 함유되어 있다[11-13]. 이는 주입되는 알루미늄 용탕 속에 미리 Fe를 높게 고용시켜, 금형 강재로부터 Fe가 알루미늄 합금 용탕으로 용손 유입되는 것을 억제하여 금형의 사용수명을 연장하려는 합금설계의 의도이다. 본 실험에서는 주조용 알루미늄 합금의 Fe 함량변화에 대한 금형의 응착현상에 관한 폭넓은 자료를 얻기 위하여, Al-xwt.%Fe 합금계에 대한 계면 반응성을 고찰하였다.

Fig.6은 800℃에서 3 및 10분간 반응시킨 Al-Fe 알루미늄 합금 용탕/STD61 강재의 계면 반응층 두께 변화에 미치는 알루미늄 합금의 Fe 함량 변화의 영향을 나타낸다.

800℃에서 3분 동안 생성된 반응층의 두께 변화를 보면, 알루미늄 합금의 Fe 함량이 0.2-0.8wt.% 범위일 때, 반응층의 두께는 330-350 μ m 정도의 두께로 생성되었다. 이 결과를 Fe가 함유되어 있지 않을 경우의 반응층 두께 310 μ m와 비교하여 보면, 알루미늄에 0.2-0.8wt.% 범위로 Fe가 첨가되어도 STD61 강재에 대한 반응층 생성 억제 효과는 미약하였다. 그러나 Fe 첨가량이 1.1wt.%으로 증가하면 계면 반응층의 생성은 180 μ m 수준으로 감소하여 반응층 생성이 크게 억제되었다.

그러나 동일한 조건에서 10분 동안 반응시킬 경우, 알루미늄 합금중의 Fe 함량이 증가하여도 생성되는 계면 반응층의 두께는 330-370 μ m 수준을 유지하여, Fe 함량에 따른 반응층의 두께 변화가 거의 없었다.

Fig.7은 800℃에서 Al-0.2wt.%Fe 및 Al-0.8wt.%Fe의 알루미늄 합

금 용탕을 소재상태의 STD61 강재와 3분간 반응시킨 계면 반응층의 EPMA 선분석 결과를 나타낸다. 알루미늄 합금 용탕 중의 Fe의 함량이 0.2wt.% 정도로 낮을 경우, 계면 반응층으로 확산 유입되는 Al의 농도 기울기와 계면 반응층을 통하여 용손 유출되는 Fe의 농도 기울기의 구동력에 의하여 계면 반응층이 성장하고 있음을 보여 준다. 그러나 알루미늄 합금 용탕 중의 Fe의 함량이 0.8wt.% 정도로 높아지면, 계면 반응층의 Al과 Fe의 농도 기울기는 거의 없었다. 이는 알루미늄 합금 중의 Fe가 0.8wt.% 수준에 이를 때 까지 알루미늄 합금 용탕에서 반응층으로 Al이 확산 유입되고, STD61 강재로부터 Fe의 용손 유출이 계속되어 반응층이 성장할 수 있음을 보여 준다. 그러나 Fe가 0.2wt.% 이상 함유되면 STD61 강재로부터 Si의 용손 유출 농도 기울기는 아주 낮게 나타났다. 한편 계면 반응층에 대한 STD61 강재로부터 높게 나타난 Cr의 농도 기울기는 알루미늄 합금 용탕 중의 Fe 함량이 증가하여도 감소하지 않았다.

Fig.8은 소재상태의 STD61 강재를 Al-1.1wt.%Fe 합금과 함께 800℃에서 10분 동안 반응시킨 계면 반응층의 단면조직을 SEM-EDX 점분석 결과와 함께 나타낸 것이다. 반응층의 두께는 370 μ m 정도로 두껍게 생성되었으며, 침상 화합물이 알루미늄 용탕쪽으로 정출되었다. 그러나 Fig.4의 Fe가 함유되지 않은 순수 알루미늄의 경우에 비하여 FeAl₃ 타입의 침상 화합물의 정출량이 감소하였으며, 계면 반응층은 Fe₂Al₅ 타입의 화합물로 분석되었다.

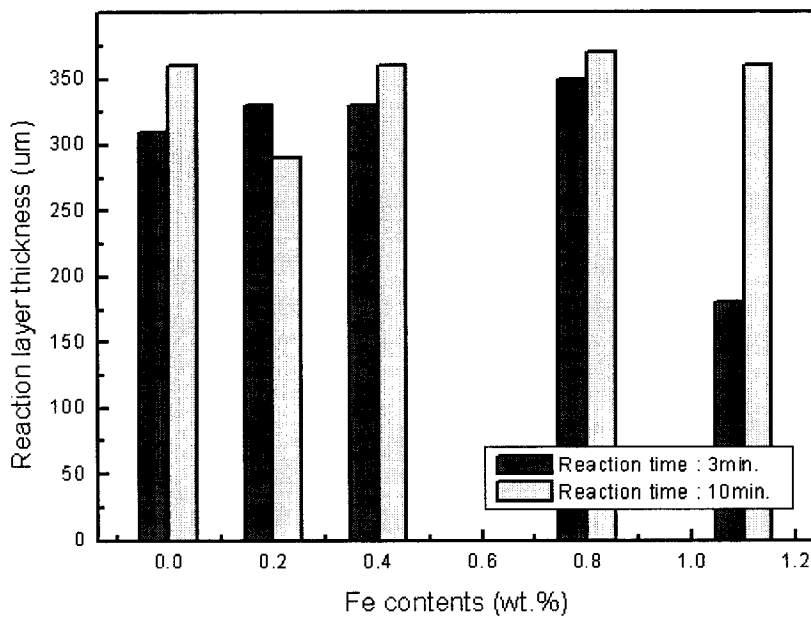


Fig.6 Effects of iron contents on the formation of interfacial reaction layer between molten Al-xwt.%Fe ($x=0.2, 0.5, 0.8$ and 1.1) alloys and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 3 and 10 minutes, respectively.

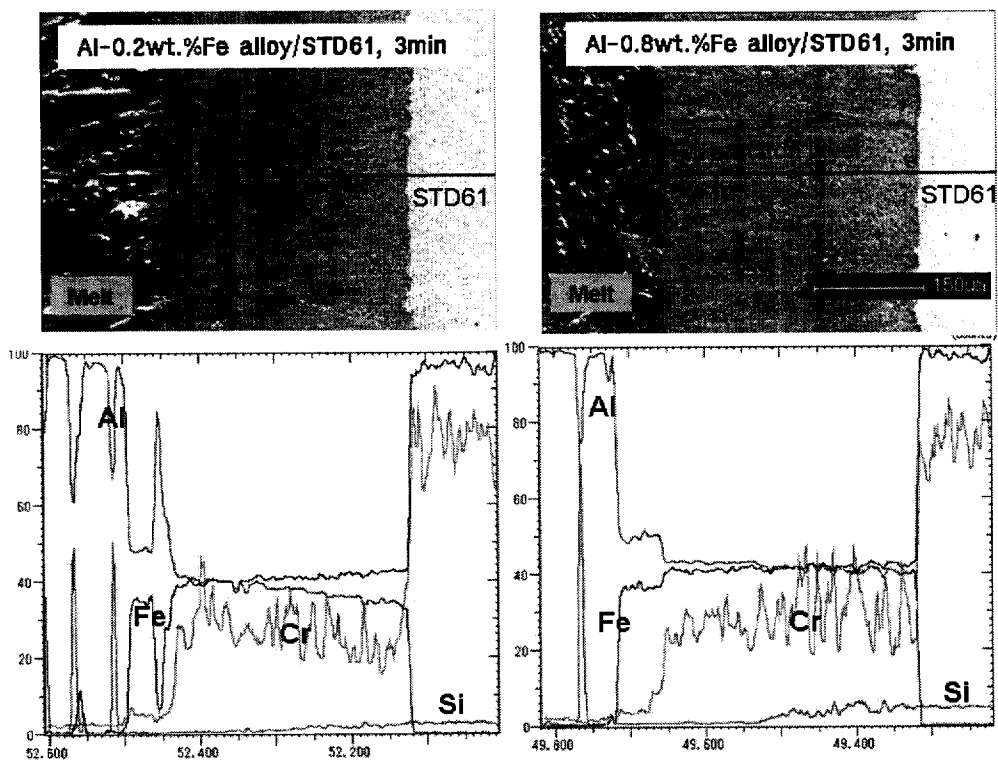


Fig.7 EPMA line analysis results of reaction layer between molten Al-0.2wt.%Fe alloy or Al-0.8wt.%Fe alloy and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 3 minutes.

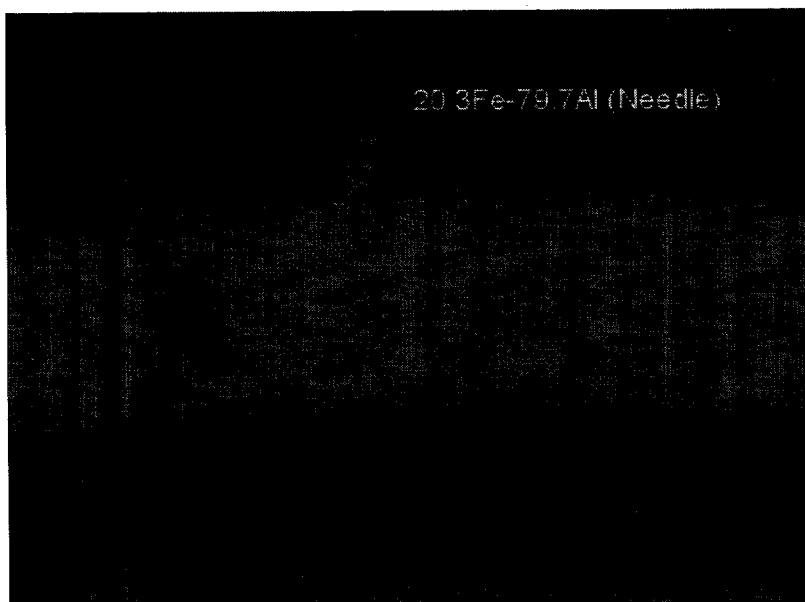


Fig.8 Cross-sectional microstructure and SEM-EDX analysis of interfacial reaction layer between molten Al-1.1wt.%Fe alloy and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 10 minutes.

4.3 알루미늄 합금 용탕/STD61 계면 반응층 생성에 미치는 Si 함량의 영향

Fig.9는 Al-Si 알루미늄 합금 용탕에 STD61 강재를 800℃에서 10분간 반응시킬 경우, 계면 반응층의 생성 두께에 미치는 Si 함량의 영향을 나타낸다. 알루미늄에 Si이 함유되어 있지 않을 경우 반응층의 두께는 360 μ m, Al-1.0wt.%Si 에서 310 μ m으로 감소하였고, Si 함량이 4.0wt.%으로 증가하면 120 μ m 수준으로 반응층의 생성이 급감하다가 Si의 함량이 7.0wt.% 이상으로 증가하면 반응층 생성은 60 μ m 이하로 크게 억제되었다.

Fig.10은 Al-1.0wt.%Si 합금 및 Al-4.0wt.%Si 합금을 소재상태의 STD61 강재와 접촉시켜 800℃에서 10분간 반응시켜 제조된 시험편의 계면 반응층을 EPMA 선분석한 결과를 나타낸다. 공업용 순수 알루미늄에 Si이 1.0wt.% 첨가된 경우, 반응층의 Al과 Fe의 농도 기울기를 보면, Al은 확산 유입되고 Fe는 용손 유출되는 농도 기울기를 나타내어 반응층의 생성이 촉진되고 있음을 나타낸다. 그러나 알루미늄 합금 용탕 중의 Si의 함량이 4.0wt.%으로 높아지면, 계면 반응층의 Al과 Fe의 농도 기울기는 거의 없었다. 이는 알루미늄 합금 중의 Si의 함량이 4.0wt.% 수준으로 높아지면 반응층에 대한 Al이 확산 유입과 Fe의 용손 유출될 수 있는 구동력이 약화되어 계면 반응층이 성장이 억제될 수 있음을 나타낸다.

특히 Al-1.0wt.%Si 합금의 경우 반응층의 Si 농도분포는 아주 낮게 나타났다. 이는 공업용 순수 알루미늄의 경우(Fig.4 참조)와는 달리 알루미늄 합금 속에 1.0wt.% 정도의 Si이 함유되어도 STD61 강재로 부터의 Si 용손 유출이 억제되고 있음을 보여 준다. 그러나 Al-4.0wt.%Si 합금의 경우는 용탕에서 순수 알루미늄 또는 Al-Fe 합

금에서 STD61에서 Si이 용손 유출되는 현상과는 달리 Si이 반응층으로 확산 유입되면서 반응층의 성장이 크게 억제되는 현상을 보였다. 한편 알루미늄 용탕중의 Si 함량이 증가하여도 계면 반응층에서 높게 나타나는 Cr의 농도 기울기는 낮아지지 않았으며, 이는 순수 알루미늄 용탕 또는 Al-Fe 합금계 용탕에서도 동일한 경향을 보였다.

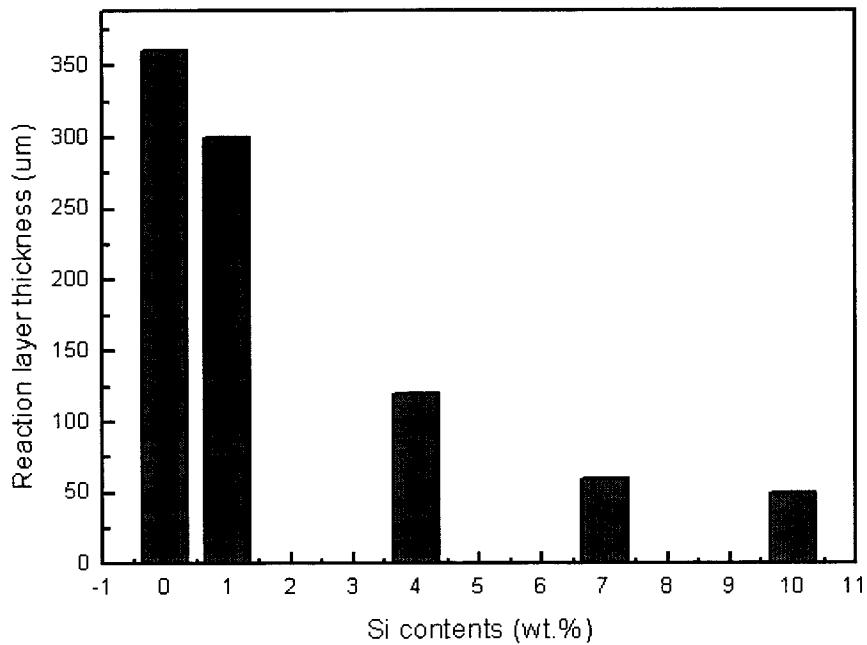


Fig.9 Effects of silicon contents on the formation of interfacial reaction layer between molten Al-xwt.%Si ($x=1.0, 4.0, 7.0$ and 10.0) alloys and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 10 minutes.

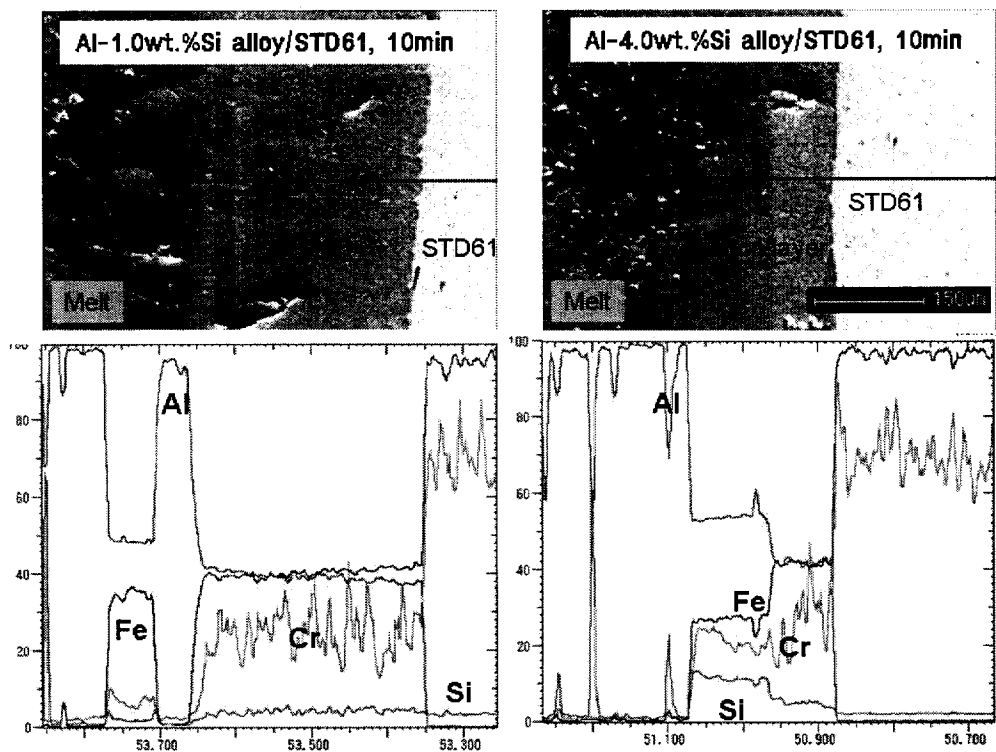


Fig.10 EPMA line analysis results of reaction layer between molten Al-1.0wt.%Si alloy or Al-4.0wt.%Si alloy and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 10 minutes.

Fig.11은 Al-10.0wt.%Si 합금에 소재상태의 STD61 강재를 800℃에서 10분간 반응시켜 제조된 시험편의 계면 반응층 미세조직과 EPMA 분석결과를 함께 나타낸 것이다. 알루미늄 합금의 기지조직을 보면 알파상 알루미늄과 침상 Si이 공정을 이루는 기지속에 피상(angular shape)의 초정 실리콘이 정출된 전형적인 과공정 알루미늄 합금조직을 나타낸다. 알루미늄 합금 용탕과 STD61 강재가 접촉하는 계면에서 생성된 얇은 띠 모양의 반응층에는 입상(globular shape)의 화합물이 알루미늄 합금 용탕 쪽으로 발달하는 조직 특성을 보였다. EPMA 분석결과 얇은 띠 모양의 계면 반응층 조성은 26.0Fe-66.0Al-6.5Si-1.4Cr-0.1V(at.%)이었으며, 이 계면 반응층에서 돌출하여 정출하고 있는 입상조직의 조성은 14.5Fe-74.0Al-9.5Si-1.8Cr-0.2V(at.%)이었다.

이상의 결과에서와 같이 알루미늄 합금중의 Si 함량이 증가할수록 계면 반응층의 생성이 크게 억제되어 반응층의 두께가 급감하는 것은 알루미늄 합금/STD61 강재의 계면에서 생성되는 화합물층이 Al의 확산 유입과 STD61 강재로부터의 Fe 용손 유출을 방해하는 장벽으로 작용하여 계면 반응층의 성장을 억제시킨 것으로 여겨진다. 알루미늄 합금의 Si 첨가에 의하여 계면 반응층 생성이 억제되는, 즉 강의 용손 유출이 억제되는 효과는 Si가 계면 반응층의 Fe₂Al₅ 화합물의 구조적인 빈 공간 들을 채워서 AlFeSi 화합물을 형성하기 때문이라는 연구보고도 있다[5].

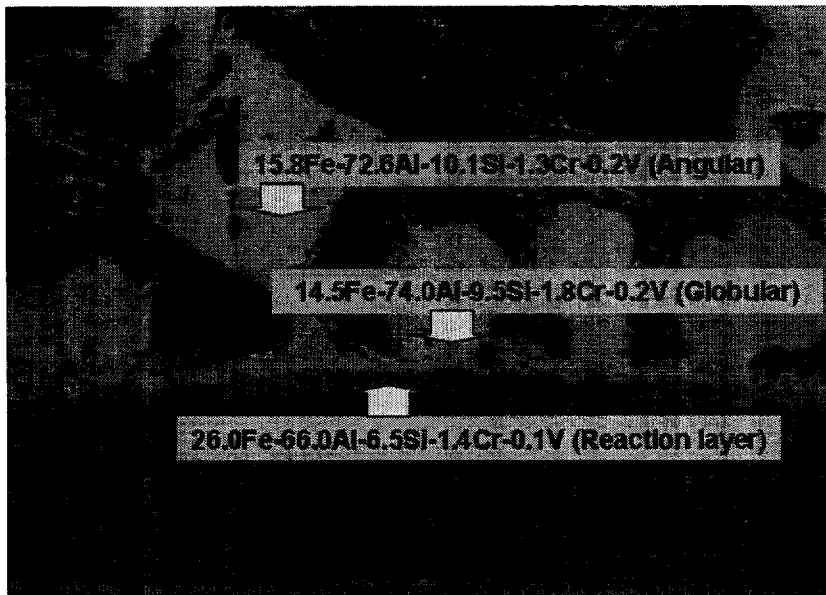


Fig.11 Cross-sectional microstructure and SEM-EDX analysis of interfacial reaction layer between molten Al-10.0wt.%Fe alloy and as-received STD61 tool steel at 800°C holding for 10 minutes.

5. 결 론

STD61 공구강의 계면 반응층 생성에 미치는 공업용 순수 알루미늄 용탕, Al-xwt.%Fe 알루미늄 합금계($x=0.2, 0.5, 0.8$ 및 1.1) 용탕 및 Al-xwt.%Si 알루미늄 합금계($x=1.0, 4.0, 7.0$ 및 10.0) 용탕의 영향에 대하여 고찰한 결과는 다음과 같다.

(1) 공업용 순수 알루미늄 용탕/STD61 강재의 계면 반응층을 고찰한 결과, 반응시간 3분에서 두께 $310\mu\text{m}$, 15분에서 $390\mu\text{m}$ 의 두꺼운 반응층을 형성하였으며, 반응층의 두께는 반응시간과 함께 직선적으로 증가하였다. 그리고 반응시간이 길어지면 STD61 강재로부터 용손 유출되는 Si의 농도 기울기가 증가하는 것이 관찰되었다.

(2) Al-Fe계 알루미늄 합금 용탕/STD61 강재의 계면 반응층 생성에 미치는 Fe 함량의 영향을 고찰한 결과, 알루미늄 합금 용탕 중의 Fe의 함량이 0.8wt.% 정도로 높아질 때 까지 반응층은 $360\mu\text{m}$ 수준으로 두껍게 성장하였다. 그러나 Fe 첨가량이 1.1wt.%으로 증가하면 계면 반응층의 생성은 $180\mu\text{m}$ 수준으로 억제되었다.

(3) Al-Si계 알루미늄 합금 용탕/STD61 강재의 계면 반응층 생성에 미치는 Si 함량의 영향을 고찰한 결과, Si 함량이 4.0wt.%으로 증가하면 $120\mu\text{m}$ 수준으로 반응층이 생성이 급감하였고, Si의 함량이 7.0wt.% 이상으로 증가하면 반응층 생성은 $60\mu\text{m}$ 이하로 억제되었다.

6. 참고문헌

- [1] Metal Handbook, Vol.15, 9th edition, "Permanent mold casting", (1988) 275-285
- [2] Metal Handbook, Vol.15, 9th edition, "Die casting", (1988) 286-295
- [3] E. K. Holz, "Trouble-Shooting Aluminum Die Casting Quality Problems, Transactions, 7th SDCE International Die Casting Congress, Paper No. 4372 (1972)
- [4] Y. Zhu, D. Schwam, J. F. Wallace, S. Birceanu, Materias Science and Engineering, "Evaluation of soldering, washout and thermal fatigue resistance of advanced metal materials for aluminum die-casting dies", A 379 (2004) 420-431
- [5] M.Yan, Z.Fan, J. of Materials Science, "Durability of materials in molten aluminum alloys", 36 (2001) 285-295
- [6] V. Joshi, A. Strivastava, D. Shivpuri, E. Rolinski, Surface and Coatings Technology, "Investigation ion nitriding for the reduction of dissolution and soldering in dir-casting shot sleeves", 163-164 (2003) 668-673
- [7] Y. Wang, Surface and Coatings Technology, "A study of PVD coatings and die materials for extended die-casting die life", 94-95 (1997) 60-63
- [8] S. V. Shah, N. B. Dahotre, J. of Materials processing Technology, "Laser surface-engineered vanadium carbide coating for extended die life", 124 (2002) 105-112
- [9] S. Gopal, A. Lakare and R. Shivpuri, DIE CASTING

ENGINEER, "Soldering in Die Casting", May/June (2000) 70-81

[10] Metal Handbook, Vol.8, 9th edition, "Metallography, Structures and Phase Diagram", (1973) 263

[11] KS D 6006 (2003) 알루미늄합금 다이캐스팅

[12] KS D 6008 (2002) 알루미늄합금 주물

[13] W. Bonsack, AFS Transaction, "Iron-The problematic Factor in quality of Aluminum Alloy Die Castings", 61 (1961) 712-720

감사의 글

대학원에 들어왔을 때가 엇그제 같은데 벌써 이렇게 시간이 흘러 졸업을 하게 된다니 시간이 정말로 우수처럼 빨리 흐른다는 것을 새삼 느낍니다. 짧지 않은 많은 시간이었지만 앞으로 나아감에 있어서 좋은 경험이었으며, 사회에 첫 발을 내딛기 이전에 아주 값진 것을 얻고 나간다고 생각합니다.

먼저 저를 낳아주시고 여기까지 있게 해주신 아버지, 어머니께 먼저 고개 숙여 감사드리며, 지금까지 부족한 저를 지도해 주시고 올바른 방향으로 이끌어주신 저의 지도교수님인 박홍일 교수님, 석사세미나 수업으로 많은 것을 알게 해주신 김우열 교수님, 항상 웃으시면서 실험을 지켜보셨던 김성규 교수님, 연구로 무척 바쁘신 조상명 교수님, 학과장을 하시면서 우리과를 이끌고 계신 방국수 교수님, 수업하실 때 유머를 소유하고 있는 이병우 교수님, 우렁찬 목소리를 가지고 있는 서원찬 교수님, 무엇이든지 항상 꼼꼼하게 지도해주신 이길근 교수님 모두께 감사드립니다. 그리고 같은 실험실에 들어와서 한술밥을 먹어면서 2년이란 세월동안 동거동락을 같이 하면서 기쁠때는 같이 웃고, 슬플때는 술한잔 기울이며 훌훌 털어버릴수 있게 해준 예환이 형님, 내 동기 종모, 실험이 좋다는 열성적인 후배 광식이, 실험실에 들어와서 눈이 맞아버린 재일이 민경이, 어학연수 가서 열심히 공부하고 있는 호제, 상현이 한테도 감사합니다. 학과 조교로 고생하고 있는 후배 지철이, 조교때 결혼한 승철이 형, 내 동기인 영주, 인태 형, 진안 형 여러 선후배들 모두에게도 감사합니다. 마지막으로 나를 항상 챙겨주고 보살펴준 나의 사랑하는 여자친구 현숙이와 함께 이 기쁨을 나누고 싶습니다.

모두들 항상 건강하고 행복하십시오.