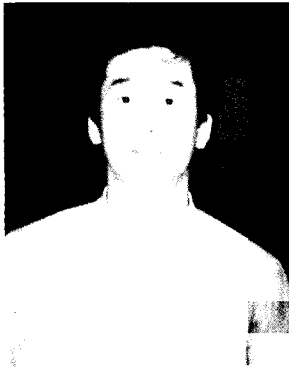


알루미늄 다이캐스팅 기술 개발 현황



김 경 현(내식재료실 선임연구원)

- '74. 2 울산대학교 공과대학 재료공학과 졸업
- '90. 2 경북대학교 공과대학 금속공학과(석사)
- '76-'79 조일알루미늄(주), 효성금속(주) 근무
- '84-'85 독일연방재료연구소(BAM)
- '79-현재 한국기계연구소 선임연구원

1. 서 론

알루미늄 다이캐스팅은 용탕을 고속, 고압으로 사출 충전하여 주조하기 때문에 생산되는 제품은 비교적 정밀한 제품을 대량생산이 가능하므로 그 수요는 계속 증가추세에 있다. 알루미늄 다이캐스팅으로 인하여 자동차 경량화에 크게 기여하고 있으며 또한 자동차 휠(Wheel)까지도 철강에서 AI으로 대체하여 자동차 대당 AI사용량은 7%까지 증가하여 경량화로 연료절감 뿐 아니라 소음, 진동, 조작성안전성, 가속성 및 쾌속성을 향상시키고 있다.

최근 미국의 신종 자동차의 경우 엔진 블록(engine block), 크랭크케이스(crankcase) 휠(wheel), 기어 박스(gear box), 엔진 쿨링 팬(engine cooling fan), 트랜스액슬 하우징(transaxle housing), 발전지 브래킷(bracket), 엔진 그릴(grill), 도어 핸들(door handle)등의 부품을 AI합금에서 Mg합금으로 대체하여 대당 57Kg을 감소시켜 0.22km/l의 에너지절감효과를 보이고 있다. 자동차 부품용 AI생산은 주조, 다이캐스팅(diecasting), 압연, 압출, 단조등의 공정을 통해 생산되나 이중 90%이상은 다이캐스팅에 의해 생산되고 있다. 다이캐스팅에 의해 생산되는 부품은 70%이상이 자동차 관련부품이고 나머지는 산업기계, 광학기기, 사무용 기기등의 용도로 쓰이고 있다.

알루미늄 다이캐스팅은 생산성이 뛰어나고 치수정밀도가 높은 제품도 생산가능하나 주조조건에 따라 품질차이가 크며 신뢰도가 낮기 때문에 케

이스, 하우스징과 같은 구조재료로써만 사용되어 왔다. 그러나, 최근에는 진공 다이캐스팅, 부분 스퀴이즈 주조(squeeze casting), 산소분위기 다이캐스팅 및 저속 충전 다이캐스팅과 같은 주조법을 개발하여 자동변속용 밸브 바디(valve body), LPG용 기화기, 자동차 에어컨용 콤프레샤, 분사펌프, 실린더 블록(cylinder block)과 같은 기밀성 및 내압성이 요구되는 고급의 기능부품소재까지도 생산하게 되었다.

2. 다이캐스팅용 알루미늄합금

2.1. 기존의 Al 다이캐스팅 합금

알루미늄 다이캐스팅용 합금은 표 1과 같이 7

종이 있으며 이들 합금중에서 주조성이 좋은 동시에 절삭성이 좋아 생산성이 우수한 ALDC7종과 ALDC8종이 주로 사용되며 국내의 경우 ALDC8종이 95%이상 사용되고 있다.

2.2. 다이캐스팅용 합금 개발 현황

기존의 ALDC7 및 ALDC8종은 주조성이 좋고 강도도 높으나 연신율은 0.5%~2%정도로 취약하므로 표 2와 같이 강도도 높고 연신율이 높은 Alcoa 364, Alcan CA-D143, SDK-DZD1등의 다이캐스팅용 합금들을 개발하고 있다. 또한 내마모성이 우수한 합금으로서 Si를 16%~18% 첨가한 390합금을 개발하여 피스톤 소재로 사용되고 있다.

표 1) 알루미늄 다이캐스팅용 합금

성분 종류	화 화 성 분 (%)									참 고 ASTM, JIS, DIN의 유사합금 번호
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al	
ALDC 1	1.0 이하	11.0~ 13.0	0.3 이하	0.5 이하	1.3 이하	0.3 이하	0.5 이하	0.1 이하	잔부	ASTM S12A JIS ADC 1 DIN GDALSi 12
ALDC 2	0.6 이하	9.0~ 10.0	0.4 0.6	0.5 이하	1.3 이하	0.3 이하	0.5 이하	0.1 이하	잔부	ASTM SG 100A JIS ADC 3 DIN GDALSi 10(Ou)
ALDC 3	0.2 이하	0.3 이하	4.0~ 8.5	0.1 이하	1.8 이하	0.3 이하	0.1 이하	0.1 이하	잔부	ASTM G 8 A JIS ADC 5 DIN GDAL Mg 9 DIN GDAL Mg 8(Ou)
ALDC 4	0.1 이하	1.0 이하	2.5~ 4.0	0.4 이하	0.8 이하	0.4~ 0.6	0.1 이하	0.1 이하	잔부	JIS ADC 6
ALDC 5	0.6 이하	4.5 ~6.0	0.3 이하	0.5 이하	1.3 이하	0.3 0.6	0.5 이하	0.1 이하	잔부	ASTM S 5 C JIS ADC 7
ALDC 7	2.0~ 4.0	7.5~ 9.5	0.3 이하	1.0 이하	1.3 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.3 이하	잔부	ASTM SC 84A JIS ADC 10 DIN GDALSi 6Cu3
ALDC 8	1.5~ 3.5	9.6~ 12.0	0.3 이하	1.0 이하	1.3 이하	0.5 이하	0.5 이하	0.3 이하	잔부	ASTM SC114 A JIS ADC 12

표 2) 알루미늄 다이캐스팅용 신합금

合金名	Cu	Si	Mg	Fe	Mn	Ti	Zn	Cr	其他	HT	引張 強度 Kgf/mm ²	0.2% 耐力 Kgf/mm ²	延伸 率 %	硬 度 HB
ALCOA 362		8.5	0.3					0.3	Be 0.03	F	30.2	16.2	75	
CALYPSO 92 A		0.15	0.05	1.2 ~1.6	0.05	0.05	0.10		Co4~18	F	11.7	4.5	17.0	40
NKK DX-30	<0.2	8.0 ~10.0	0.2 ~0.5	0.6 ~1.0	0.4 ~0.7	<0.05				F T6	24.4 28.5	11.2 23.6	5.2 11.1	71 88
ALCAN CA-D143	3.4 ~4.0	7.5 ~9.5	0.45 ~.75	<1.3	<0.5		<1.2			F	26.6	24.6	4	87
SDK ZDZ-1	<0.2	<0.2	2.0	1.6		0.1	0.6	0.1		F T5	37.4 41.5	31.8 35.9	2.0 2	132 96

2.3. 다이캐스팅 합금에서 각 원소의 영향

이들 원소중에서 Fe성분의 과다로 핫스포트나 취성을 초래하며 또한 Mg성분 과다로 유동성 저하와 취성을 일으키므로 Fe는 1.3%이하, Mg함량은 0.3%이내로 관리하는 것이 중요하다.

KS, JIS 및 유럽규격에는 Mg을 0.3%까지 허용하고 미국규격에서는 0.1%로 제한하고 있으나 현재까지 Mg을 0.3%까지는 별영향이 없는 것으로 보고되고 있다.

특히 철성분은 스크랩(scrap)을 많이 사용하므로써 성분함량이 많아지고 철도가니 및 기타 용해기구에 의해 좌우되므로 주의해야 하며 Mg성분은 展伸材 스크랩에서 많이 오염되는데 이것은 탈가스처리제중 염소에 의해 다소 제거된다. 그러나 Mg으로 인하여 염소가스공해나 알루미늄의 재생이용면에서 볼때 규제되어야 한다.

다이캐스팅 합금에서 각 원소들의 영향은 다음과 같다.

◦ Si은 유동성을 현저하게 개선시키며 열평창 계수를 낮게하고 치수변화를 줄이므로 일반 다이캐스팅용 합금에서 주요첨가원소이다. 그리고

내압성, 내마모성을 향상시키지만 수축공발생이 많고 절삭성을 악화시킨다.

◦ Cu는 유동성과 인장강도, 경도를 향상시키는 동시에 절삭성을 개선시키나 연신율, 내식성은 저하되며, 그리고 금형에 용탕이 들어붙는 문제점은 향상된다.

◦ Mg은 Si을 함유한 합금에 Mg이 소량 첨가되면 Mg&Si의 금속간화합물이 석출경화에 의해 기계적 성질이 크게 향상되나 과다 첨가되면 유동성이 저하되고 취성을 야기시킨다. Al-Mg 계의 A1DC3, A1DC4의 경우 Mg이 증가함에 따라 절삭성이 향상되고 기계적 성질 및 내식성이 향상된다.

◦ Fe은 일반 주물용 합금에서 0.4%이상 혼입되면 강도와 연신율을 저하시키지만 다이캐스팅용 합금에서는 금형에 용착되는 것을 방지하기위해 1.3%까지는 허용된다. 그러나 1.3%이상부터 강도가 급격히 저하되며 핫 스폿(hot spot)의 원인이 된다.

◦ Mn은 소량 첨가하면 강도를 향상시키며 Fe의 악영향을 개선하고 유착을 개선시키나 슬러지(sludge)를 발생시켜 핫스포트의 주 원인이 되므로 적을수록 좋다.

◦ Ni은 고온강도를 개선시키지만 다이캐스팅의 경우 규제되고 있다.

◦ Zn은 열간취성과 내식성을 저하시키나 A1DC7에서 1%까지 허용되고 있으며 2.5%까지 기계적 성질과 악영향을 주지 않으면서 절삭성을 향상시킨다.

◦ Sn, Pb는 A1DC7, A1DC8에서, Sn이 0.3%이하로 규정되어 있지만 Mg을 첨가하지 않으면 열간취성을 일으키기 쉽다. Pb는 규정되지 않고 있으며 0.8%까지는 기계적 성질의 큰 저하없이 피삭성을 크게 향상시킨다.

◦ Ti, B은 입자미세화제로 첨가되며 두꺼운 주물에는 미세화에 의해 내압성이 향상되고 균열발생 방지에도 효과가 크다.

3. 다이캐스팅 제품의 특성

일반적인 다이캐스팅은 고압력 및 고속으로 용탕을 금형의 캐비티(cavity)에 압입하므로 제품형상이 복잡하고 두께가 얇은 것도 치수정밀도가 양호한 주물을 대량생산할 수가 있다. 냉각속도가 빨라 결정입도가 미세하므로 열처리하지 않아도 사형주물품의 2배정도 높은 강도를 갖는 제품을 제조할 수가 있으나 내부에 블로우 홀(blow hole), 핀 홀(pin hole) 등의 가스결함이 존재하고 두꺼운 제품 내부에는 수축공(shrinkage cavity)이 생기므로 열처리시에 내부결합들이 제품표면으로 확산되기 때문에 열처리는 불가능하다. 다이캐스팅에 의한 제품특성은 입자크기 및 양상, 기포 및 수축공 결함, 각원소 첨가에 의한 기계가공성 등 여러가지 요인에 따라 영향을 받으므로 이들에 대해 관찰하기로 하겠다.

3.1. 용탕에서 가스제어

앞에서 언급한 바와 같이 Al용탕에서 수소가스는 제품에 블로우 홀이나 핀 홀 등 기포결함 발생으로 강도나 기밀성에 악영향을 주므로 탈가스작업에 신중을 기해야 한다. 기포형성 제어를 위한 수소탈가스 법으로는 지금까지 주로 C_2Cl_6 를 주성분

으로 하는 탈가스 정제(FOSECO 제품 Degasser)를 사용하였으며 이 C_2Cl_6 는 Al용탕내에서 C_2Cl_4 와 Cl_2 로 분해하고 Cl_2 가스는 Al과 반응하여 $AlCl_3$ 가 된다. 이들 $AlCl_3$ 와 C_2Cl_4 는 Al용탕중에 함유되어 있는 수소를 확산 흡입하여 용탕위로 떠올라 드로스(Dross)를 형성시킨다. 그러나 용탕중 Mg이 많이 존재하게 되면 다음과 같은 반응에 의해 수소탈가스 효과가 감소될 뿐 아니라 Mg 회수율이 낮고 성분이 일정하지 않게 된다. 또한 C_2Cl_6 정제에 의한 탈가스는 심한 악취와 15~40분 정도의 오래동안의 작업으로 드로스가 많이 생겨 회수율이 저하하고 탈가스후 15분 이상의 진정시간(Killing time)이 필요하다. 그러나 Ar버블링에 의한 탈가스는 처리시간 5분으로 탈가스 가능하며 또한 진정시간

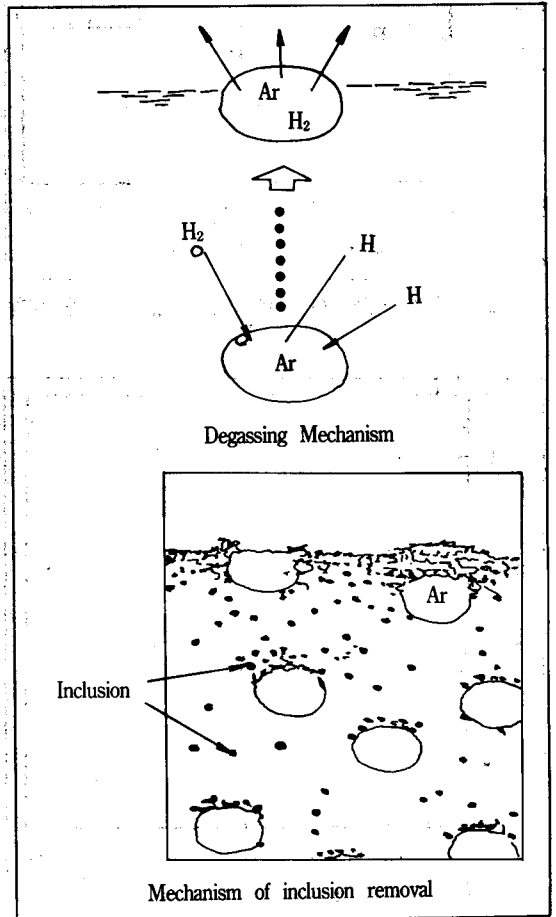


그림 1) Al용탕에서 Ar에 의한 H₂ 및 개재물의 제거기구

없이 즉시 주조할 수가 있으므로 Al회수율이 높으며 매연과 악취가 발생치 않아 작업성이 뛰어나기 때문에 최근에 이 방법을 점차 도입하고 있다.

Ar에 의한 탈가스기구는 그림 1과 같이 Ar버블들이 Al용탕중에 함유되어 있는 H₂가스뿐 아니라 Al₂O₃, MgO, Al₂MgO₄, SiO₂, Fe₂O₃등과 같은 비금속개재물들을 흡착시켜 위로 떠올라 드로스를

만들므로서 제거시키고 있다. 그러므로 Ar버블 크기가 어느정도 까지는 작을수록 균일하게 집속하므로 탈가스 및 비금속개재물제거에 유효하다.

Al용탕중 탈가스도 중요하지만 금형캐비티에 공기가 잘 빠지게 하는 금형설계와 주조조건이 무엇보다 중요하다.

탕구속도와 슬리브(sleeve)충진율등의 다이캐스팅 작업조건에 따른 제품의 가스량을 측정한 결과 그림2·3과 같이 탕구속도가 높을수록 또한 슬리브내 Al충진율이 작을수록 제품에 가스량이 많이 함유하는 것을 알 수 있다.

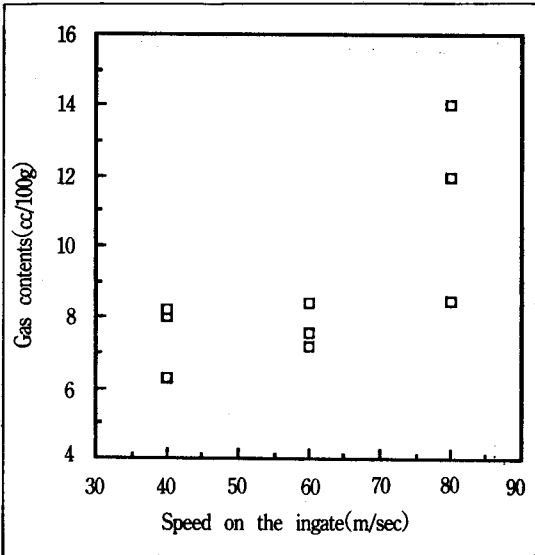


그림 2) 탕구부의 Al속도에 따른 제품내 가스량 영향

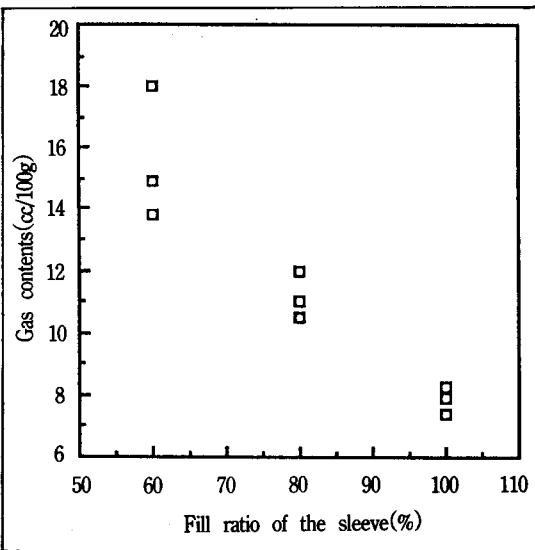


그림 3) 슬리브 충진율에 따른 제품의 가스 함유량

3.2. 알루미늄합금의 입자양상

기계적 성질을 결정짓는 이들 조직인자를 제어하고자 응고속도 조절 및 입자미세화, 개량처리등의 용탕처리를 실시하게 된다. Al합금의 응고속도를 증가시키면 DAS 및 결정립이 미세해지며, 용질원자의 고용한이 확대되고 편석이 감소할 뿐만 아니라 제 2상 입자의 정출량이 감소하고 크기도 작아진다. 또한 수축공 및 기공이 감소하며 균일, 미세하게 분산된다.

주조조직의 결정립크기 제어는 고품질 알루미늄합금 제조시의 가장 중요한 고려사항중 하나이다. 결정립이 미세해지면 주조중의 균열발생 경향이 감소하며 응고말기에 생기는 수축공에 대한 용탕공급이 원활해지고 결정립계에 생성되는 기공이나 제 2상입자들의 불순물이 미세하게 균일분산되므로서 건전한 주조 조직을 얻을 수 있게 된다.

3.2.1. TiB 첨가에 의한 입자미세화

Al합금의 결정립미세화 방법에는 용탕에의 진동발생법 및 염(salt), Al-Ti-B계 모합금 첨가법등 여러가지가 있으나 취급이 간편하고 효율이 우수한 Al-Ti-B계 모합금 첨가법이 많이 사용되고 있다.

Ti첨가량에 따른 기계적 성질의 변화는 그림 4와 같이 인장강도, 항복강도, 연신율 모두 Ti첨가량이 증가할 수록 향상되고 있다.

그림 5는 Ti양에 따른 결정립크기 및 DAS, 공정

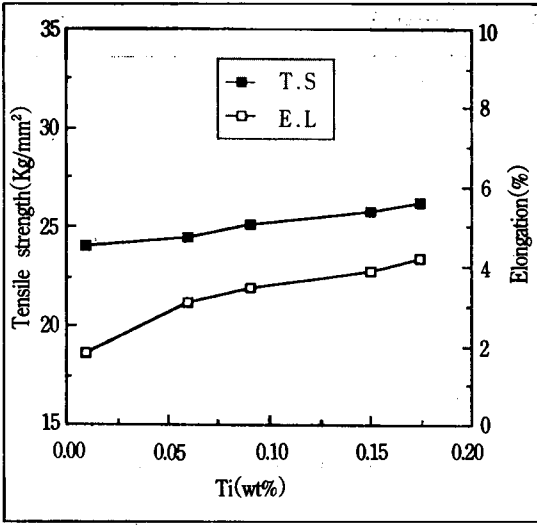


그림 4) Ti첨가에 따른 기계적 성질변화

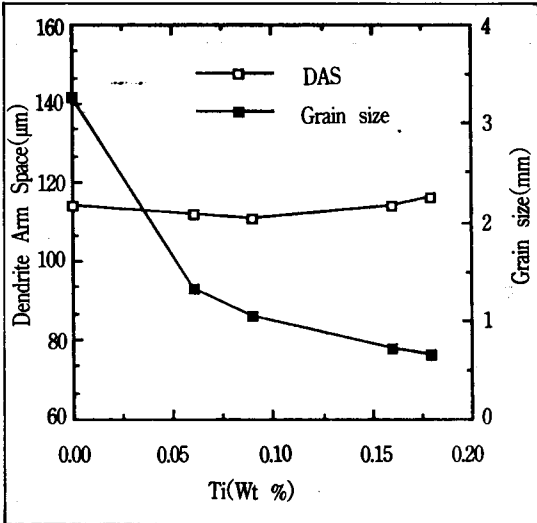


그림 5) Ti양에 따른 미세조직 영향

Si크기의 변화를 나타낸 것으로 0.18% Ti의 범위에서는 Ti양의 증가에 따라 DAS 및 공정 Si의 크기는 거의 일정하였으나 결정립크기는 현저하게 감소하므로 충격강도, 연신율을 크게 향상됨을 알 수 있다.

3.2.2. Sr원소첨가에 의한 개량처리

알루미늄 다이캐스팅재료로 주로 사용 되는 Al-

Si계 합금은 주조성이 우수하고 내마모성이 뛰어나며 열팽창계수가 작은 장점이 있는 반면 용고중 조대한 침상의 초정 또는 공정Si상이 석출하여 인성 및 절삭성을 나쁘게 하는 단점이 있다. 따라서 Al-Si계 합금에 인성과 절삭성등을 부여하기 위하여 조대한 침상의 공정 Si상을 구상으로 미세화시키는 개량처리를 실시하게 된다. 개량처리제로써 Na은 용탕중에서의 산화소모가 쉬우므로 개량 지속시간이 짧게되어 최근에는 지속성이 긴 Sr이나 Sb가 산업적으로 많이 쓰이고 있다. 다이캐스팅 작업시에는 대부분 급냉이 되어 공정 Si들이 미세해지지만 두꺼운 제품같은 것은 이러한 개량처리가 바람직하다.

그림 6은 금형주조에 의한 Sr첨가효과를 나타낸 것으로 Sr양에 따라 입자크기, DAS는 변화없으나 공정 Si크기가 미세화되어 연신을 및 충격치가 향상됨을 보였다.

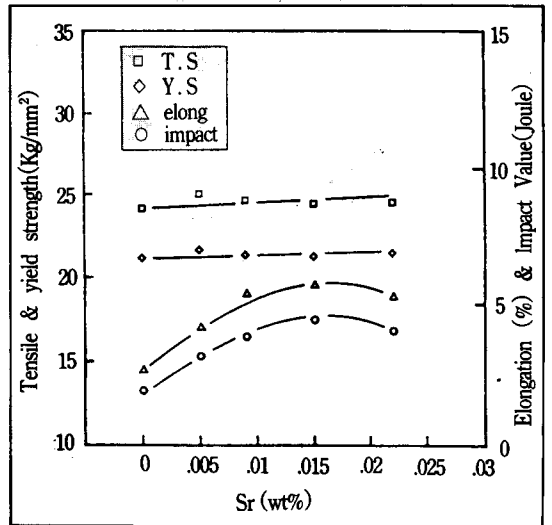


그림 6) Sr 첨가에 따른 기계적 성질변화

3.3. 알루미늄 다이캐스팅 제품의 기계적성질

다이캐스팅은 20~60m/sec의 고속과 300~800 Kg·f/cm²의 고압에서 용탕을 금형에 압입하는 주조이기 때문에 형상에 따라 제품특성은 매우

차이가 크다. 즉 기계적 성질은 용탕의 온도나 응고속도 및 금형의 냉각조건에 의해 DAS(Dendrite Arm Space)나 철(Chill) 두께에 따라 좌우된다. 보통 알루미늄 다이캐스팅에서 철 두께는 보통 금형에 접한 부분에서 0.3mm정도로서 이 부분에 Cu나 Fe가 강제적으로 고용되어 초정 α상과 공정Si의 정출면적비율 변화가 불연속하게 되어있는 층이다. 실제로 금형온도가 높을 수록 서냉되어 칠층 두께가 작음을 알수 있으며 그림 7과 같이 제품 두께가 클수록 서냉되어 셀크기(cell size)가 크므로 경도가 낮다.

그림 8·9와 같이 칠두께가 클수록 제품두께가 작을수록 인장강도가 증가함을 보이고 있다.

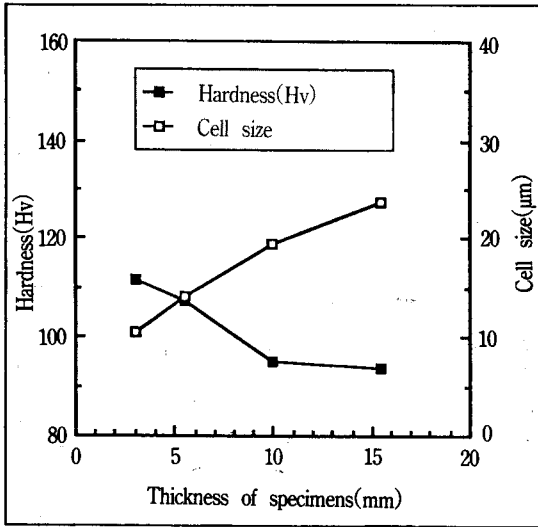


그림 7) 시편두께에 따른 cell크기 및 경도 변화

같은 A1DC8종 합금에서 다이캐스팅한 제품은 표 3과 같이 금형주조나 사형주조한 것보다 급냉이 되어 칠두께가 크고 셀크기가 작기 때문에 기계적

성질이 우수하다.

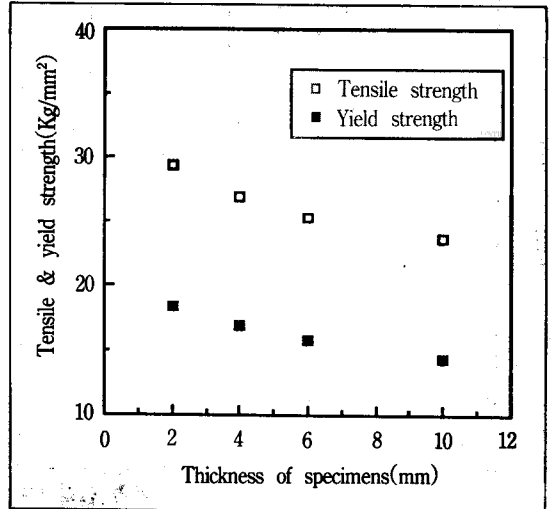


그림 8) 시편두께에 따른 기계적 성질

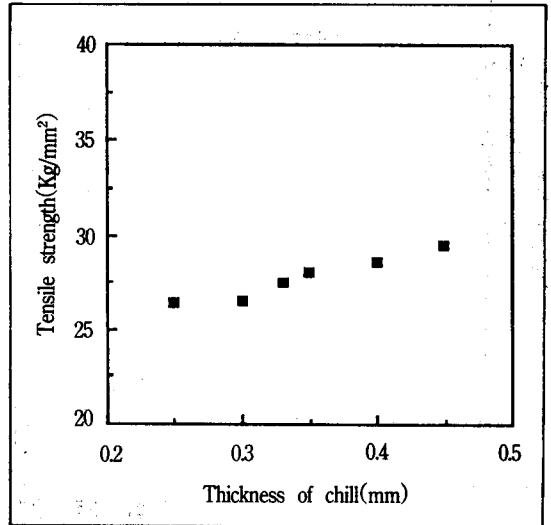


그림 9) 칠두께에 따른 인장강도 변화

표 3) 주조방법에 따른 기계적 성질

주 조 법	인장강도 (Kg · f/mm ²)	항복강도 (Kg · f/mm ²)	연 신 율 (%)	경 도 (Hv)
Diecasting	25.1	15.8	2.2	117
금형주조	17.2	15.3	0.8	90
사형주조	12.2	10.0	1.0	83

3.4. 보온로에서 생성된 슬러지(Sludge)의 경도

보온로에서 용융 Al합금을 장시간 유지시 슬러지 발생으로 하드 스폿(hard-spot)현상이 일어나게 되어 피삭성을 저하시키고 균열발생의 원인이 되기도 한다. 이러한 슬러지발생은 보온온도가 합금작업온도 및 주괴 작업온도보다 낮아 AIDC8과 같은 Al-Si-Cu계에서 Fe양이 많을때 β 상($AlFeSi$)의 초정미가 정출하여 조대화하므로 슬러지가 발생하게 된다. 또한 Fe, Mn, Cr등의 함량이 많을수록 슬러지 발생이 증대된다. 따라서 가장 많이 사용하고 있는 AIDC8중에서 Fe, Mn 첨가와 Fe, Mn, Cr첨가에 의한 슬러지 생성현황을 고찰하기로 한다.

◦ Fe, Mn 함유시 슬러지

Mn함유량이 증가함에 따라 슬러지 발생량은 많아지고 입상의 $(Fe, Mn)_3Si_2Al_{15}$ 화합물로서 크기도 조대해 지므로 침강하게 되며 Mn양이 전혀없는 것은 $AlFeSi$ 의 판상으로서 입상에 비해 침강하기 어렵다. 슬러지 발생율의 경우 Mn은 Fe의 3.3배 정도 크며 AIDC8중에서 Fe, Mn함량이 1.3%, 0.5%로서 상한치일 경우 슬러지 발생가능성이 매우 높다.

◦ Fe, Mn, Cr함유시 슬러지

Fe, Mn이 각각 1.0, 0.4%이하의 Al-Si-Fe-Mn계에서는 슬러지 발생을 발견하지 못했으나 Cr양이 소량 함유되어도 슬러지가 발생되며, Cr함유량이 증가함에 따라 슬러지도 많이 발생된다. Fe, Mn, Cr이 소량 함유된 슬러지의 화합물은 $(Fe, Mn, Cr)_3Si_2Al_{15}$ 이며 Cr의 슬러지의 발생율은 Mn의 4배, Fe의 13배로서 매우 높으므로 Mn은 물론 Cr의 불순물은 엄격히 규제되어야 한다. AIDC8중의 매트릭스의 경도가 100인데 비하여 $AlFeSi$ 는 650이고 $(Fe, Mn)_3Si_2Al_{15}$ 및 $(Fe, Mn, Cr)_3Si_2Al_{15}$ 화합물의 경도는 750-900정도로 매우 높은 하드 스폿(Hard spot)현상을 나타내므로 피삭성을 저하시키고 균열의 원인이 되기도 한다.

4. 최근의 알루미늄 다이캐스팅 기술의 세계의 발전추세

전술한 바와같이 일반적인 알루미늄 다이캐스팅은 용탕을 고속, 고압으로 충전하므로 정밀한 제품을 대량생산이 가능하나 금형 캐비티내 가스배출이 되지 않아 제품에 기포결함을 발생시켜 품질의 재현성 및 신뢰도가 저하되므로 구조재로만 사용되어 왔다.

최근에는 진공 다이캐스팅, 부분 스퀴이즈주조법 및 산소분위기 다이캐스팅등과 같은 기술을 개발하여 밸브 바디(body), LPG용 기화기, 에어콘용 콤프레샤, 분사펌프등과 같은 기밀성 및 내압성이 요구되는 고급의 기능부품소재까지도 생산가능하게 되었다. 따라서 이들 특수 다이캐스팅에 대해 기술하였으며, 또한 내부결함이 적고 열처리가 가능한 스퀴이즈주조에 대해서도 고찰하였다.

4.1. 진공 다이캐스팅

슬리브내와 금형 캐비티내의 공기와 이형재에서 발생한 가스를 진공펌프로써 감압하여 배제한 후 용탕을 압입하는 방법으로 1950년대부터 개발되어 왔다.

캐비티내를 감압하는 방법으로는 금형전체를 밀폐하여 감압하는 Nelmore법, 캐비티의 외부를 밀폐하여 감압하는 Ohse법 및 캐비티의 일부에서 shut off 밸브를 감압하는 Morton법 등 세가지 법이 있으나 Morton법의 기본구조로 하여 shut off 밸브를 정확히 작동시키고 용탕압력을 감지하여 공압에 의하여 폐쇄하는 Optovac법이 널리 사용되고 있다.

또한, 최근에 UBE사에서는 용탕의 슬리브 충전도가 60%에서 진공도가 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ Torr을 유지한 탱크의 밸브를 열어 0.2~0.3초의 짧은 시간에 캐비티내 진공도를 150torr로 뽑아주는 장치가 개발되고 있다. 이 방법의 특징은 온도나 거리에 의해 Valve가 닫혀지는 것이 아니고 알루미늄 용탕이 센서에 닿이는 순간 닫혀지기 때문에 캐

비티내 가스를 최대한 배출시키므로 기포결함을 최소화 시킬수가 있는 것이 장점이다.

진공 다이캐스팅에 의해 제조된 제품은 그 진공도에 따라 다르지만 기포결함이 개선되었기 때문에 기존의 다이캐스팅제품의 비중보다 0.5~1% 향상되었다. 또한, 진공다이캐스팅에 의해 제조된 제품은 T6열처리 할수 있도록 제품의 가스함유량을 1~5cc/100g 정도를 유지하도록 지속적인 연구개발이 진행되어야 한다.

4.2. 부분 스퀴이즈 주조

다이캐스팅의 결함은 수축공(Shrinkage cavity)과 기포 두가지가 있으며 기포는 진공 다이캐스팅과 아큐라드(Acurad) 방법등으로 어느정도 해결되나 수축공은 이들 방법으로는 불가능하다. 특히 내압이 걸리는 에어컨용 콤프레샤, LPG용 기화기, 분사펌프등 기밀성 고강도가 요구되는 부품 생산은 고속충진에 의한 다이캐스팅 방법으로는 한계가 있다. 내압이 걸리는 부품들은 기포 결함보다 수축공 결함으로 기밀성이 떨어지기 때문에 수축공 결함 방지를 위해서는 저속충진에 의한 방법이 바람직하다. 그러나 이 방법은 다이캐스팅에 비해 저속으로 충전하기 때문에 생산성이 떨어지고 얇고 복잡형상의 주물에는 곤란한 결점이 있다. 따라서 이러한 두가지 결점을 보완하기 위해 그림 10과 같이 스퀴이즈 병용 다이캐스팅법을 적용함으로써 생산성과 주물의 치수정도가 높은 동시에 수축공이 없고, 기밀성, 내압성이 요구되는 기능부품 개발에도 성공하고 있다.

즉, 제품중 두꺼운 부위에는 옹고가 늦게 일어나 수축공이 발생하므로 이 부위에 그림 10과 같이 가압 프란자(plunzer)로써 가압유지시키면서 옹고 완료함에 따라 수축공발생을 억제하는 장치이며, 기존 콜드챔바기를 개조해 사용할 수가 있다.

금형의 주입구, 탕도 및 캐비티부의 구성은 일반 다이캐스팅 금형과 동일하며 스퀴이즈 가압기구는 금형내에 내장되어 있고 가압프란자는 유압실린더에 의해 가압전진, 후퇴가 가능하게 구성되어 있다.

일정압력으로 가압프란자 전진량에 따른 제품의 밀도관계를 실험한 결과 가압프란자 전진량이 클수록 제품의 밀도가 증가함을 보이고 있다.

이와같이 스퀴이즈병용 다이캐스팅법을 이용하므로써 에어컨용 콤프레샤, LPG용 기화기, 유압 변속용 밸브바디(valve body), 콤프레샤용 프론트 하우징(front housing), 실린더 블록(Cylinder block), 분사 펌프 등 기밀성 내압성이 요구되는 기능부품소재도 개발시키고 있다.

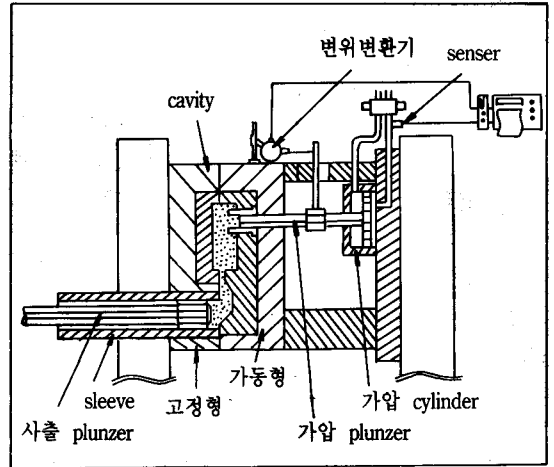


그림10) 부분 Squeeze cast 장치

4.3. 산소분위기 다이캐스팅법

산소분위기 다이캐스팅법은 일반적인 다이캐스팅법에서 금형캐비티와 슬리브내에 알루미늄 용탕과 접촉하는 부위를 산소로 치환한 후, 고속, 고압으로 알루미늄 용탕을 압입시키는 방법이다.

압입된 알루미늄 용탕은 산소와 순간적으로 반응하여 1μm이하의 산화 알루미늄 입자를 형성시켜 고속으로 압입될때 캐비티내 공기가 알루미늄 용탕으로 흡입되는 것을 방지하므로 기포결함이 적은 제품을 생산할 수가 있다. 이와같은 방법으로 제조한 제품의 가스함유량은 5cc/100gAl 이하로서 보통 다이캐스팅법 보다 10배정도 향상되었으므로 용체화처리가 가능하여 소재강도가 향상되며 또한 용접이 가능하고 기밀성, 내압성이 요구되는 기능부품 생산도 할수 있게 되었다.

이 방법으로 생산되는 제품은 주로 자동차 휠(wheel) 제품생산이며 그 밖에 암(arm), 펌프, 기화기, 파워스터링, 기어하우징, 카쿨러(car cooler)용 실린더등이며 최근에는 마그네슘 휠제조에도 적용하고 있다. 초기에는 이형재, 윤활제에 의한 탄 흔적, 제품의 정밀도 저하 등의 문제가 있었으나 연구개발로 지금은 많이 해결되었다. 그리고 일반적인 다이캐스팅은 기체를 유입하고 있으므로 기포결함이 제품전체에 나타나지만 산화분위기 다이캐스팅법은 두꺼운 부분에 집중되기 때문에 이 결함을 해결하기 위해 주형에 유압실린더를 장치하고 두꺼운 부위에 핀으로 밀어넣어 분산시키므로써 이 결함을 해결하는 방법도 개발하고 있다.

4.4. 저속 충전 다이캐스팅법

저속충진 다이캐스팅은 금형내 용탕흐름이 난류가 되지않게 일반다이캐스팅 속도 20~60m/sec의 1/30정도로 저속충진하므로써 슬리브와 금형내 자스를 밀어내는 방법이다. 이 때 캐비티내 용탕 충전시간은 종래 0.1초에서 0.3~0.6초로 길어짐으로써 탕구면적을 종래 다이캐스팅보다 약 4배로 넓혔다.

이러한 저속충진 다이캐스팅의 대표적인 것이 아큐래드(Acurad)법으로서 사출플런저는 외부플런저와 내부플런저로 구성되어 있어 옹고하는 단계에서 잔류하고 있는 용탕을 옹고수축부로 제2 단계로 저속가압하는 방식이기 때문에 금형캐비티에 용탕이 충전되어 금형벽에서 부터 옹고가 된다. 이때 내부플런저를 다시 전진하여 잔류하고 있는 용탕에 압력을 가하여 수축공에 용탕을 압입하게 되어 수축공을 없애는 효과를 주고 있다.

저속충진으로 한 제품은 T6열처리가 가능하며 동일한 재료를 중력주조한 제품보다 조직이 미세하고 굽힘강도, 경도등이 우수하다.

4.5. 스퀴이즈 캐스팅(Squeeze Casting)

스퀴이즈 주조는 저속 및 고압충진 하므로써

일반 다이캐스팅에서 생기는 가스결함 및 수축공 결함을 개선하는 방법중 가장 획기적인 방법이라 할 수 있다.

가스결함을 제어하기 위해 저속충진을 하며 제품형상, 주조방안에 따라 다르지만 수직형 주입기에서 최소한 $700\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ 이상의 고압으로 용탕이 옹고할때 까지 가압시켜 수축공 결함을 제어하고 있다. 그림11은 각종 주조 방법에 의해 제조된 제품내의 가스량을 비교한 것으로서 SVC (Vertical shot Squeeze Casting), HVSC(Horizontal Die Clamping Vertical Shot Squeeze Casting) 등과 같은 스퀴이즈 캐스팅한 제품의 가스함유량이 $1\sim 4\text{cc}/100\text{g}\cdot\text{Al}$ 로 종래 다이캐스팅뿐 아니라 사형주조, 저압주조 보다 월등히 우수함을 알수 있다. 이 정도의 가스함유량 같으면 열처리뿐 아니라 용접도 가능하며 내압 및 기밀용 기능부품 소재로써 매우 우수하다.

내부결함 측정을 위해 비중시험을 수행하게 되는데 알루미늄 다이캐스팅 제품의 비중은 탕구속도, 주조압력에 크게 좌우된다. 즉 주조압력이 $800\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ 에서 탕구속도 2m/sec 이상부터 비중이 저하되며 또한 탕구속도 2m/sec에서 가압력이 $700\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하에서는 비중이 크게 저하된다.

최근에는 스퀴이즈 캐스팅의 특성을 적극 이용하여 FRM 복합재료기술과 세라믹 재료기술을 개발하여 실용화에 박차를 가하고 있으며 또한 주조합금 뿐아니라 전신재주조 및 고강도, 내열, 내마모성이 개선된 재료도 개발시도하고 있다.

또한 보다 경량화하기 위해 스퀴이즈캐스팅 기술을 이용하여 알루미늄을 마그네슘으로 대체 개발중에 있다.

4.6. 기타 다이캐스팅법

가스혼입을 방지하기 위해 캐비티내를 700~730 Torr로 감압하여 알콜가스를 넣어 캐스팅하는 분위기 유동다이캐스팅법이 있으며 고체·액체 금속이 공존할 때 심하게 기계적 교반에 의해 반응용슬러리를 만들어 캐비티내를 압입하여 제조하는 레오캐스팅법(Rheocasting)이 있다. 레오

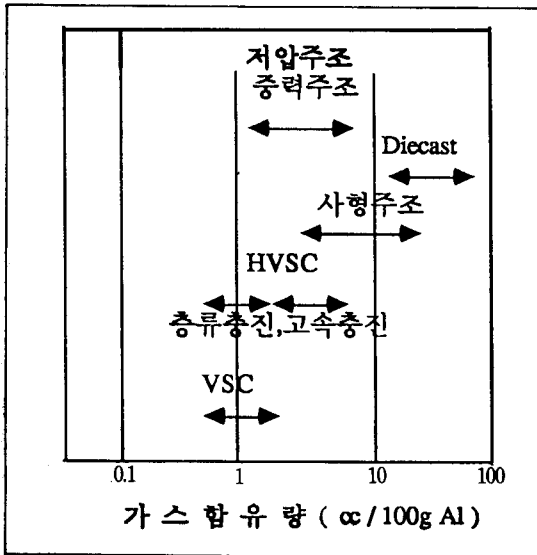


그림11) 제품중 가스함유량의 주조방법 비교

캐스팅법은 교반에 의해 미세한 조직을 얻을 수가 있으며 고액 공존 상태에서 응고하기 때문에 수축이 적고 주입시 난류발생을 예방할 수도 있다.

또한 콤포캐스팅법은 반응용슬러리에 알루미늄나 ZnO, WC, TiC등의 강화제를 첨가 교반하여 구조하는 것으로 주로 복합재료를 만드는 제조방법이다.

이 방법은 보통방법보다 다량의 강화제를 첨가할 수 있고 비중이 다른 강화제도 부상하거나 침강하지 않게 첨가 가능하여 내마모성이나 내열성 재료를 개발하는 등 앞으로 이 방법이 크게 기대할 수 있으나 아직까지 양산단계에는 이르지 못하고 있다.

5. 국내의 알루미늄 다이캐스팅 현황

초기의 선진국의 알루미늄 다이캐스팅 기술은 주조조건에 따라 품질차이가 크고 특히 기포 및 수축공에 의한 제품의 신뢰도가 낮기 때문에 캐이스와 하우징과 같은 구조재료로만 사용되어 왔으나 최근 진공다이캐스팅, 산소 분위기 다이캐스팅, 저속충진 및 고압충진법을 개발하여 자동변속용 밸브바디, LPG용 기화기, 분사펌프, 자

동차 에어컨용 콤프레사, 시린더블록과 같은 기밀성 및 내압이 요구되는 고급기능 부품 소재까지 개발하고 있으며 또한 열처리 및 용접까지 가능하여 기존의 주철부품의 상당수를 대체하여 경량화에 크게 이바지 하고 있다.

그러나 국내 알루미늄 다이캐스팅업계에서는 진공다이캐스팅과 스퀴이크캐스팅기를 각각 1개 업체에서만 보유하고 있는 실정이며 나머지 대부분은 기존의 고속, 고압 다이캐스팅에 의존하고 있어 기밀성 및 내압성이 요구되는 고급기능 소재 부품 개발에는 불가능한 실정이다. 또한 국내 유일하게 진공다이캐스팅을 보유하고 있는 업체에서도 진공을 유지할 수 있는 금형제작기술의 낙후로 충분한 활용을 못하고 있다.

다이캐스팅 제품에서 수축공 및 가스기포 결합제어를 위해서는 금형설계와 용탕의 탈가스가 필히 수행되어야 한다. 선진국에서는 금형설계를 위해 응고현상에 대한 컴퓨터 시뮬레이션(Simulation)을 통해 수축공 및 기포결함 발생을 미리 예측하여 방지할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 영국의 POSECO, 미국주조학회(AFS) 등에서 컴퓨터에 의한 응고해석 시뮬레이션을 Package화하여 시판하고 있으나 국내에서는 복잡한 금형일 경우 일본 등지에서 수입에 의존하고 있는 실정이다. 또한 선진국의 경우 알루미늄 용탕의 탈가스와 산화물, 질화물의 비금속개재물 제어를 위해 Rotary diffuser로써 불활성인 아르곤 가스를 알루미늄 용탕에 주입하므로 수소 및 비금속 개재물을 부상분리하여 제거하나 국내의 경우 알루미늄 압출, 압연업체의 일부를 제외한 다이캐스팅 업계는 약품에 의한 탈가스처리로 처리기간이 장시간 소요되어 알루미늄회수율이 낮고 매연에 의한 심한 공해를 유발시키고 있다.

KIMM에서는 기밀성 및 내압성이 요구되는 Valve body를 알루미늄 다이캐스팅업체와 공동개발하고 있으며 여기에 자체개발로서 아르곤가스를 Rotary diffuser를 통해 탈가스 및 비금속개재물을 제거하는 방법을 도입하였다. 또한 KIMM에서는 스퀴이크캐스팅을 이용한 금속복합재료를 개발하고 있고 KIST에서도 스퀴이크캐스팅으로 기포 및

수축공 결합제어에 대한 연구를 수행하고 있으며 이외에 대학에서 FEM(Finite Difference Method)을 이용한 알루미늄의 응고 Simulation을 통해 수축공 결합제어에 대한 기초 연구도 수행하고 있을 뿐 아니라 국내업체에서도 스퀴즈캐스팅 M/C 도입 예정이므로 앞으로 국내 알루미늄 다이캐스팅 기술의 발전이 기대된다.

6. 결 론

알루미늄 다이캐스팅은 일반주물과는 달리 자동화가 가능하여 노사분규 및 인건비 상승에도 어느정도 능동적으로 대처할 수가 있어 선진국에서도 날로 향상국면에 있다. 자동차 산업의 급변화는 모델변화로 이에 따른 각종 자동차 부품 소재 개발이 끊임없이 진행되고 있는 실정으로 금형설계제작기술이 향상되어야 하겠으며 또한 진공다이캐스팅, 스퀴즈캐스팅등의 기술도입으로 케이스, 하우징과 같은 구조재료에서 내압, 기밀성이 요구되는 고품질의 기능부품까지 생산할 수 있도록 해야 하겠다.

현재 외국의 고급승용차 경우 보다 경량화와 미관을 위해 gear box, Crank Case, wheel, oil pump housing, Cooling fan, door handle, 엔진 grill 등을 알루미늄 소재에서 마그네슘 재질로 대체하고 있는 실정이며 또한 유류파동에 적극적으로 대

처하기 위해 마그네슘 다이캐스팅 기술에도 시야를 넓혀야 하겠다.

참고문헌

- [1] *鈴木宗男 : 자동차기술 vol. 35, No. 8 (1981) 954
- [2] 鈴木治男 : 주물 vol. 60 No. 12 (1988) 737
- [3] 古本一之, 鈴木宗男 : 경금속 vol. 21 No. 1(1971) 36
- [4] 品田與志榮, 上田俊完 : 주물 vol. 61 No. 12(1989) 920
- [5] 納康弘의 5人 : 경금속 vol. 36 No. 12(1986) 813
- [6] William. E. Mercer : Mg diecast alloys for elevated temperature applications, International congress and exposition
- [7] Isao Miki and Takeshi kido : Diecasting Engineer vol. 18, (1974) 22
- [8] Ray P Dunn and Warren Y. Dickert : Diecasting Engineer vol. 19 (1975) 12
- [9] 小野高興의 3人 : 주물 vol. 60 No. 12 (1988), 757
- [10] 井藤忠男 : 자동차 기술, vol. 43 No. 6, (1989) 39
- [11] W. H. Hunt Advances in Magnesium alloys and Composites, Alcoa technical Center
- [12] W. F Liphardt : Die casting Engineer vol. 31 (1987) 42