

■■■■■■■■■■
 技術資料
 ■■■■■■■■■■

수출용 알루미늄 다이캐스팅 주물의 소재 관리방안

한요섭[†] · 김기배 · 이재철 · 이호인

Alloy Control of Export Al Die Castings

Yo-Sub Han[†], Ki-bae Kim, Jae-chul Lee and Ho-In Lee

1. 서 론

국내의 다이캐스팅 기술수준의 발달과 함께 대외적으로 우리나라 주물제품들이 완제품만 아니라 부품 및 소재로서의 수출도 활발하게 이루어지고 있다. 비록 동남아와 중국의 심한 견재와 염가 수출로 인한 어려움이 크지만 꾸준하게 국내 주물 특히 다이캐스팅 제품의 대미 및 해외 수출이 지속되고 있다.

이러한 해외 수출에서 만나게 되는 주요한 과제로서 각 나라의 소재 규격과 물성 기준 및 품질에 대한 요구가 다양한데 따른 별도의 재질 검토와 관리가 필요한 것이다. 이러한 점을 분석하고자 국내에서 알루미늄 다이캐스팅 주물을 제조 가공하여 수출 시에 특히 대미 수출 시에 국내규격인 KS 규격과 미국규격의 차이를 품질 관리 면에서 살펴보았다. 이러한 규격차가 가져오는 조직과 기계적성질 및 특성을 실험으로 분석하여 보았다. 나아가 이를 실제 제조 생산에 적용할 조성관리 방안 및 품질관리를 제시하였다.

2. 알루미늄 다이캐스팅 합금에 대한 국가별 규격 비교

표 1과 2는 KS 규격으로 규정된 알루미늄 다이캐스팅 지금(1차) 및 재생지금(2차)의 조성들이다. 그에 비교하여 국내에서 가장 많이 활용되고 있는 외국 소재 규격으로서 일본(JIS) 규격의 합금과 미국 및 국제 알루미늄규격(AA)의 합금이 있다. 일본 규격은 거의 KS

와 같으며 미국 및 AA 규격은 다소 차이가 있다. 규격별로 유사 조성의 합금을 구분하여 비교하여 표 3에 나타내었다. 현재 주로 사용되고 있는 다이캐스팅용 알루미늄 합금은 KS 규격으로는 ALDC 8(JIS ADC12Z, AA 383)이다. 이 재료가 전체 다이캐스팅 소재의 80%를 차지하고 그 외 10%는 ALDC 7(JIS ADC10, AA B380) 이고 남은 합금들이 약 10% 정도로서 미미한 비율을 차지하고 있다. KS와 JIS에서 합금의 기호 끝에 z 표시를 한 합금은 외국(미국)규격에서는 불순물로서 Zn을 3%까지 허용한대 다른 대응합금으로 근래에 등록한 것이며 1992년 이후 채택하였다.

국내 내수용 제조시에는 국내 규격이나 납품처의 요구에 대응하여 제조하면 되지만 생산규모가 커지고 내수와 수출을 같이하게 되는 경우 특히 여러 주물제품을 양산하는 경우에 소재가 변하면 별도의 용탕관리 및 품질관리가 요구되고 그에 따른 소재비가 높아져서 양산에 어려움이 생기거나 불가능해 지는 경우가 생긴다. 따라서 내수와 수출을 OEM 하게 되는 경우를 고려하여 규격차에 따른 소재 조성변화와 실제 재질물성의 변화도 엄밀하게 검토가 필요하며 그 검토를 위한 규격간의 실제 조성차이를 분명히 조사하여야 한다.

표 4는 주로 사용되는 ALDC7, 8종 합금에 대한 KS, JIS, AA의 조성 규격을 비교하여 본 것이다. 7종 합금의 경우 Si량은 같으며 Cu량이 AA가 높다. Mg는 AA가 적고 KS와 JIS가 높다. 주요 원소인 Fe 경우 KS가 0.9인데 비하여 JIS나 AA는 1.3과 최대 2.0까지 허용하고 있다. 그 외에 Ni, Mn, Sn 등은 거

한국과학기술연구원(Korea Institute of Science and Technology)

[†]E-mail : dcchoi@chonnam.chonnam.ac.kr

표 1. KS D 6006 - 다이캐스팅용 알루미늄 합금 지급

종류	기호	화학성분(%)								
		Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	NiSn	AL	
1종	ALDCS1.2	(0.05이하)	11.0~13.0	(0.03이하)	(0.03이하)	0.3~0.6	(0.03이하)	(0.03이하)	(0.03이하)	나머지
2종	ALDCS2.2	(0.05이하)	9.0~10.0	0.4~0.6	(0.03이하)	0.3~0.6	(0.03이하)	(0.03이하)	(0.03이하)	나머지
3종	ALDCS3.2	(0.05이하)	0.3이하	4.1~8.5	(0.03이하)	0.3~0.6	(0.03이하)	(0.03이하)	(0.03이하)	나머지
4종	ALDCS4.2	(0.05이하)	1.0이하	2.6~4.0	(0.03이하)	0.3~0.6	0.4~0.6	(0.03이하)	(0.03이하)	나머지
7종	ALDCS7.2	2.0~4.0	7.5~9.5	(0.03이하)	(0.03이하)	0.3~0.6	(0.03이하)	(0.03이하)	(0.03)이하	나머지
8종	ALDCS8.2	1.5~3.5	9.6~12.0	(0.03이하)	(0.03이하)	0.3~0.6	(0.03이하)	(0.03이하)	(0.03이하)	나머지
9종	ALDCS9.2	4.0~5.0	16.0~18.0	0.5~0.65	(0.03이하)	0.3~0.6	(0.03이하)	(0.03이하)	(0.03이하)	나머지

표 2. KS D 6006-다이캐스팅용 알루미늄 합금 재생지급

종류	기호	화학성분(%)								
		Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	NiSn	AL	
1종	ALDCS1.1	1.0이하	11.0~13.0	0.3이하	0.5이하	1.9이하	0.3이하	0.5이하	0.1이하	나머지
2종	ALDCS2.1	0.6이하	9.0~10.0	0.4~0.6	0.5이하	0.9이하	0.3이하	0.5이하	0.1이하	나머지
3종	ALDCS3.1	0.2이하	0.3이하	4.1~8.5	0.1이하	1.1이하	0.이하	0.1이하	0.1이하	나머지
4종	ALDCS4.1	0.1이하	1.0이하	2.6~4.0	0.4이하	0.6이하	0.4~0.6	0.1이하	0.1이하	나머지
7종	ALDCS7.1	2.0~4.0	7.5~9.5	0.3이하	1.0이하	0.9이하	0.5이하	0.5이하	0.3이하	나머지
7종	ALDCS7z.1	2.0~4.0	7.5~9.5	0.3이하	3.0이하	0.9이하	0.5이하	0.5이하	0.3이하	나머지
8종	ALDCS8.1	1.5~3.5	9.6~12.0	0.3이하	1.0이하	0.9이하	0.5이하	0.5이하	0.3이하	나머지
8종	ALDCS8z.1	1.5~3.5	9.6~12.0	0.3이하	3.0이하	0.9이하	0.5이하	0.5이하	0.3이하	나머지
9종	ALDCS9.1	4.0~5.0	16.0~18.0	0.5~0.65	1.5이하	0.9이하	0.5이하	0.3이하	0.3이하	나머지

표 3. 다른 규격들의 유사 다이캐스팅 알루미늄합금 비교

AA (1992)	KS D 6006(1982)	JIS H 5302(1990)	FSQQ-A- 591F(1981)	ASTM B85(1992)	SAE J 452(1983)	ISO 3522(1984)	NF A57-702(1981)	BS 1490(1988)	DIN 1725(1986)
A413.0	ALDC1	ADC1	A413.0	A413.0	A14130 (305)	Al-Si12 CuFe	A-S13	LM20	GD-AISi12 (Cu)
A360.0	ALDC2	ADC3	A360.0	A360.0	A13500 (305)	-	A-S9G	-	GD- AlSi10Mg
518.0	ALDC3	ADC5	518.0	518.0	-	-	A-G6	-	GD- AlMg9
515.0	ALDC4	ADC6	-	-	-	-	A-G3T	-	-
B380.0	ALDC7	ADC10	A380.0	A380.0	A13800 (306)	Al- Si8Cu3Fe	-	-	GD- AlSi9Cu3
A380.0		ADC10Z	A380.0	A380.0	A13800 (306)	Al- Si8Cu3Fe	-	LM24	GD- AlSi9Cu3
383.0	ALDC8	ADC12	383.0	383.0	A03830 (383.0)	-	-	LM12	-
383.0		ADC12Z	383.0	383.0	A03830 (383.0)	-	-	LM12	-
B390.0		ADC14	-	B390.0	A23900	-	-	LM30	-

의 같은 수준의 제한을 두고 있다.

한편 가장 많이 사용되는 8종(ADC12종으로 통칭함)의 경우 JIS는 거의 같은 조성 범위를 가지고 있으나

AA에서는 가장 가까운 383과도 유사한 조성의 384과도 조성의 차이가 있다. 기본적으로 KS에 비하여 AA에서는 주요 원소인 Si과 Cu량의 범위가 좁다. 아울러

표 4. 다이캐스팅 합금 ALDC 7종 과 8종의 조성 규격 비교

(wt%)

구분	번호(규격)	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
1	ALDC7.1(KS)	2.0-4.0	7.5-9.5	0.3	1.0	0.9	0.5	0.03	0.03	Rem
	ALDC7z.1(KS)	2.0-4.0	7.5-9.5	0.3	3.0	0.9	0.5	0.5	0.3	Rem
	ALDC7.2(KS)	2.0-4.0	7.5-9.5	0.03	0.03	0.3-0.6	0.03	0.5	0.3	Rem
	380(AA)	3.0-4.0	7.5-9.5	0.1	3.0	2.0	0.5	0.5	0.35	Rem
	A380.0(AA)	3.0-4.0	7.5-9.5	0.1	3.0	1.3	0.5	0.5	0.35	Rem
	ADC10(JIS)	2.0-4.0	7.5-9.5	0.3	1.0	1.3	0.5	0.5	0.2	Rem
	ADC10Z(JIS)	2.0-4.0	7.5-9.5	0.3	3.0	1.3	0.5	0.5	0.2	Rem
2	ALDC8.1(KS)	1.5-3.5	9.6-12.0	0.3	1.0	0.9	0.5	0.5	0.3	Rem
	ALDC8z.1(KS)	1.5-3.5	9.6-12.0	0.3	3.0	0.9	0.5	0.5	0.3	Rem
	ALDC8.2(KS)	1.5-3.5	9.6-12.0	0.03	0.03	0.3-0.6	0.03	0.03	0.05	Rem
	383.0(AA)	2.0-3.0	9.5-11.5	0.1	3.0	1.3	0.5	0.3	0.15	Rem
	384.0(AA)	3.0-4.5	10.5-12.0	0.1	3.0	1.3	0.5	0.5	0.35	Rem
	ADC12(JIS)	1.5-3.5	9.6-12.0	0.3	1.0	1.3	0.5	0.5	0.2	Rem
	ADC12Z(JIS)	1.5-3.5	9.6-12.0	0.3	3.0	1.3	0.5	0.5	0.2	Rem

Mg는 0.1%로 낮게 요구하고 있고 Ni, Sn도 보다 낮게 요구하고 있다. Fe나 Zn는 비교적 1.3과 3.0%로 허용범위가 높게 가져가고 있다. 따라서 이 조성의 합금의 경우 KS와 AA 조성의 차이가 보다 크게 나타날 수 있고 조직과 주조성, 물성의 변화를 가져올 수 있다. 이에 대해서 다음에서 실험적으로 조사하였다.

3. 알루미늄 다이캐스팅 주물에 대한 합금원소 및 불순물의 영향

3.1. [Si]

유동성을 현저하게 개선시키고 열팽창계수를 낮게 하고 치수변화를 줄이므로 다이캐스팅용 합금에서는 중요한 첨가원소이다. 그리고, 내압성, 내마모성을 향상시키지만 수축공 발생이 많아지고 절삭성을 악화시킨다.

3.2. [Cu]

유동성과 인장강도, 경도를 향상시키는 동시에 절삭성을 개선시키거나 연신율, 내식성이 저하된다. 그러나 금형에 용탕이 들어붙는 문제점은 약간 향상된다.

3.3. [Mg]

Si을 함유한 합금에 Mg이 소량 첨가되면 기계적 성질은 크게 향상되나 과다 첨가하면 유동성이 저하되고

취성을 야기시킨다. Al-Mg계의 A1AC3, A1DC4의 경우 Mg가 증가함에 따라 절삭성이 향상되고 기계적 성질 및 내식성이 향상된다.

3.4. [Fe]

일반 주물용 합금에서는 0.4% 이상 혼입되면 강도와 연신을 저하시키지만 다이캐스팅 합금에서는 금형에 응착되는 것을 방지하기 위해 1.3%까지는 허용된다. 그러나 1.3% 이상부터 강도가 급격히 저하되며 하드 스폿(hard spot)의 원인이 된다.

3.5. [Mn]

소량 첨가하면 강도를 향상시키며 Fe의 악영향을 개선하고 유착을 개선시키거나 슬러지(sludge)를 발생시켜 하드 스폿(hard spot)의 주 원인이 되므로 적을수록 좋다. 슬러지가 생기는 조성 규격을 보면 다음 식으로 알려져 있다.

$$\%Fe + 2\%Mn + 3\%Cr = 1.8 \text{ max}$$

이 조건 이상의 불순물들이 증가하면 도가니 내에 고경도 금속간 화합물들이 크게 생성되어 주조불량을 일으키고, 가공시에 공구를 파손시키고 제조에 악영향이 크다. 나아가 Fe량을 감소시켜 금형 소착의 위험도 커진다. 이들의 성분관리는 주기적으로 철저히 실시되어야 한다.

표 5. KS ALDC8종(ADC12)와 AA383의 시료 합금 조성 (wt%)

재료		Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn	Ni	Sn	Al
ALDC8(ADC12)	규격	9.6-12.0	1.5-3.5	0.3이하	1.3이하	0.5이하	1.0이하	0.5이하	0.3이하	나머지
	시편	11.738	2.20	0.213	0.844	0.09	0.704	0.04	0.02	"
AA383	규격	9.5-11.5	2.0-3.0	0.1이하	1.3이하	0.5이하	3.0이하	0.3이하	0.15이하	"
	시편	10.66	2.35	0.074	0.788	0.249	0.878	0.016	0.015	"

3.6. [Ni]

고온 강도를 개선시키지만 다이캐스팅의 경우 규제된다.

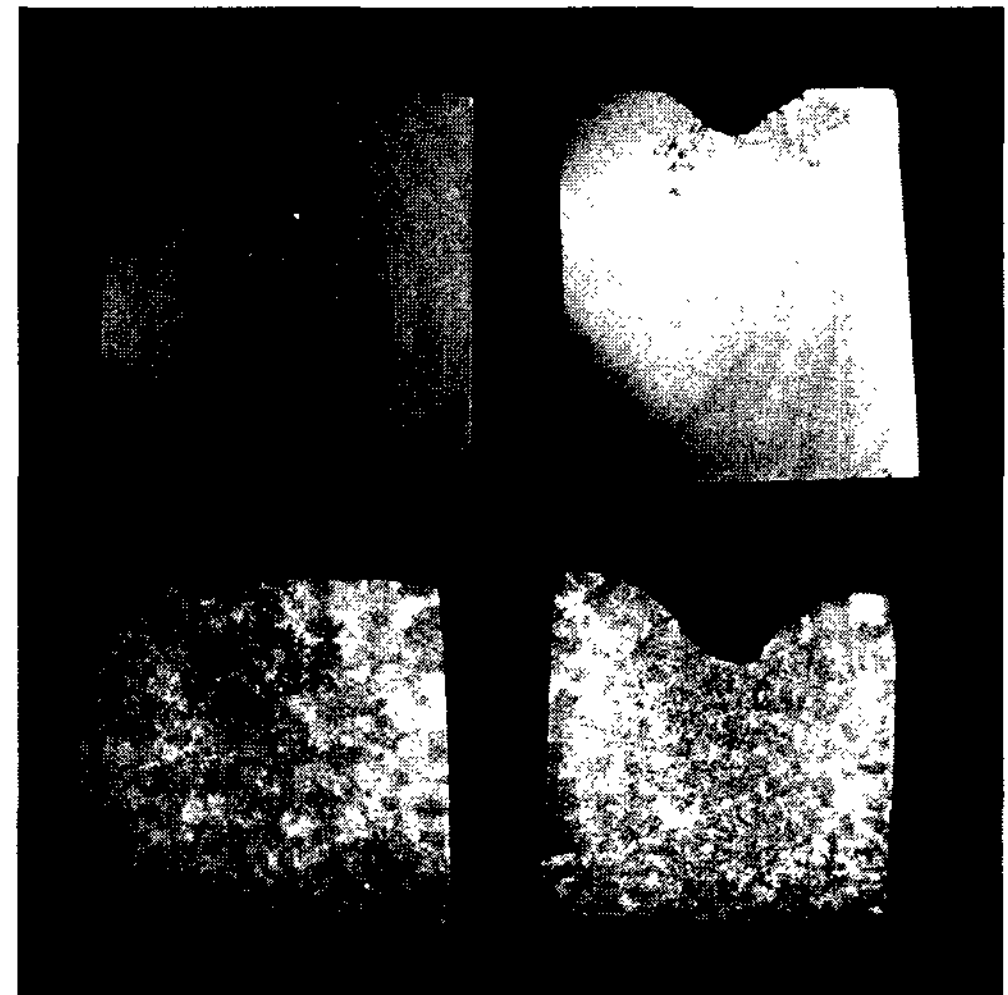
3.7. [Zn]

열간취성과 내식성을 저하시키거나 A1DC7에서는 1%까지 허용되고 있으며 3.0%까지는 기계적 성질에 악영향을 주지 않으면서 절삭성을 향상시킨다. KS 나 JIS에서는 1992년에 3%까지 허용하는 합금을 등록하였다.

4. 다이캐스팅재질 규격별 특성분석

4.1. 시험소재와 실험 방법

대표적인 다이캐스팅 합금인 KS 8종(JIS ADC12종으로 통일)과 AA의 383 Al alloy으로서 규격에 따라 합금을 제조하여 그 성분을 분석한 결과 표 5와 같다.



ADC12

AA383

그림 2. 디스크 응고 시료 거시조직.(φ30)

이 합금을 가지고 다이캐스팅의 특성 즉 성형성을 그림 1의 금형에 중력주조하여 확인한 바 주조성이 우수하게 나타났다. 여기서 얻어진 인장시편 시료들을 가지고 미세조직 관찰과 인장시험을 실시하였다. 벌크 조직으로서 그림 2의 직경 30 mm 길이 30 mm의 디스크로 주조도 하였다.

4.2. 응고시료의 조직분석

그림 2는 디스크형상의 주조시편의 중심단면을 관찰한 거시조직이다. 왼쪽은 ADC12시편이고 오른쪽은 AA383 소재 단면조직이다. ADC12는 수축공이 중심 내부에 혼입되어 분산되어 발생하고 있고 AA383은 내부는 수축공의 거의 없고 상부 중심으로 수축이 발생하였다. 이는 ADC12가 공정조성의 가까워서 표면응고 방식을 하여 주물상부에서도 응고가 빠르게 진행하고 응고수축에 보상이 어려우나 AA383은 응고구간이 다소 넓어져 방향성응고가 이루어진 것으로 고려된다.

그림 3은 미세조직을 보여 주고 있다. ADC12 합금의 중심은 Al-Si 공정조직이 발달하고 Al-Fe 침상화합

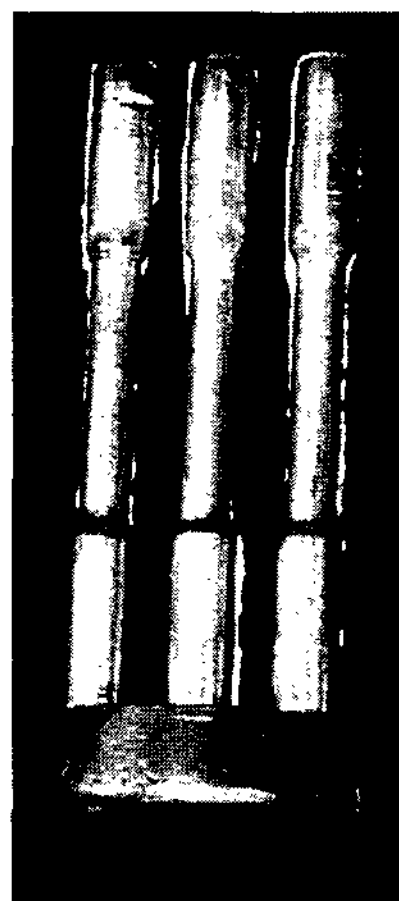
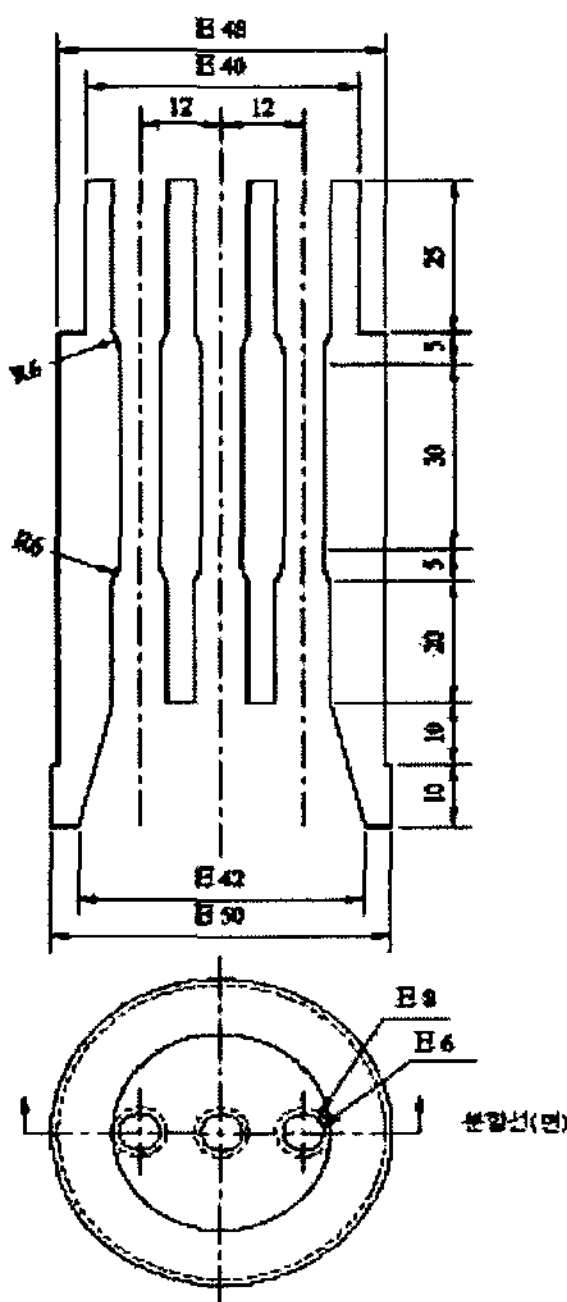


그림 1. 다이캐스팅 인장시편 금형(ASTM 규격, 직경 6.45 mm, 길이 50 mm)과 응고 시료.

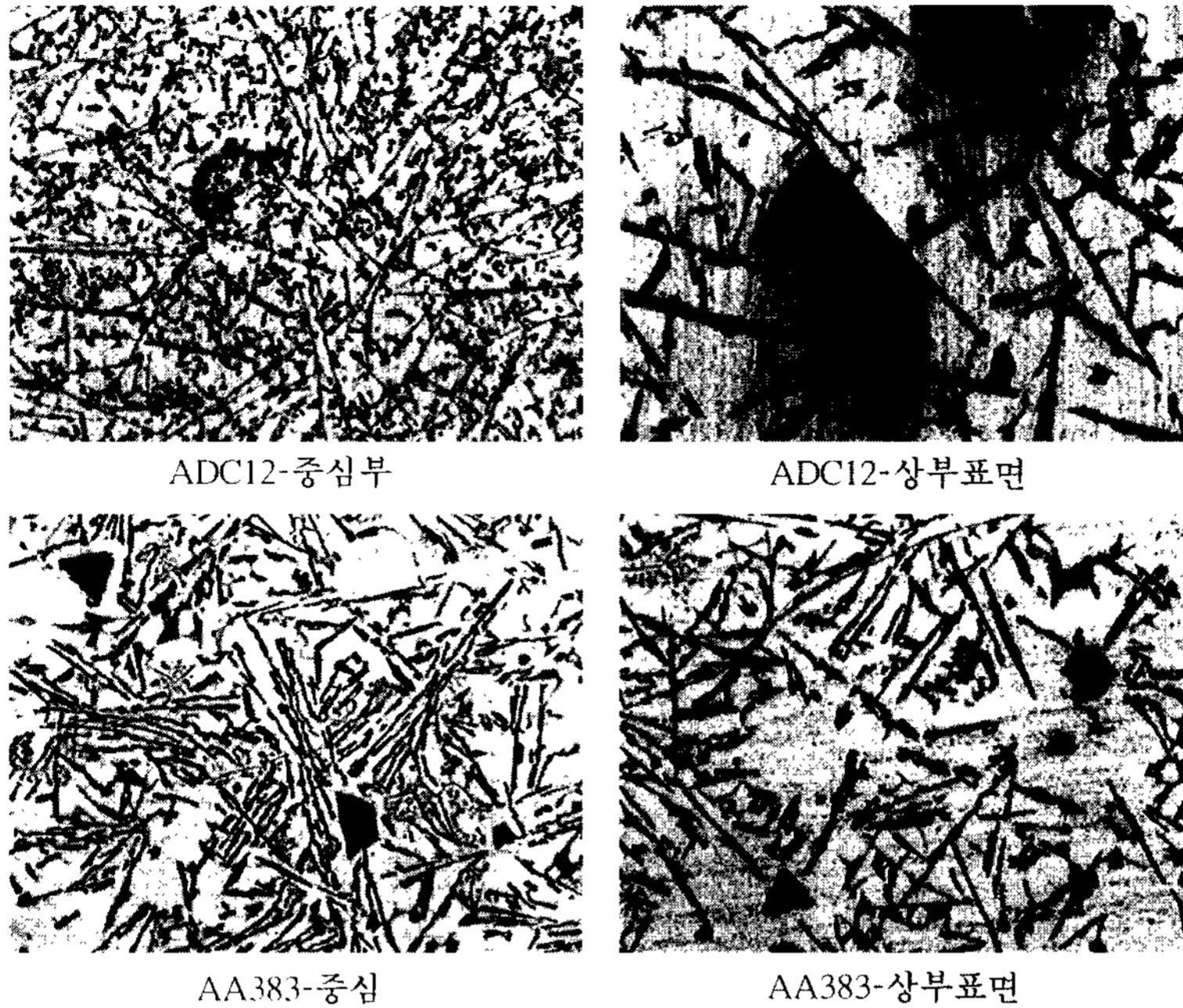


그림 3. 디스크 응고시료의 합금별 미세조직(×100).

물(입체로는 판상)이 많이 발생하고 있다. 상부에는 이러한 침상 화합물이 더욱 조대하게 성장하여 있고 이들이 외관상 금속성 광택으로 나타났다. 상부 기공에 이러한 판상 화합물이 수축공을 가로 질러 있어 응고 수축을 방해하여 상부 수축공을 주물내부에 분산시키고 있었다.

AA383 합금은 상대적으로 공정조직이 적고 적은 Al-Si Flake 조직이 형성되어 있고 주물 상부 표면까지 이러한 조직이 균일하게 형성되어 있어서 외관상 수축공이 크게 보이나 조직의 건전성이나 균질성에서 보다 양호하게 나타났다. Al-Fe 침상 화합물도 상대적으로 적게 나타났다. 대신 미세 초정입자들이 일부 발생하였다.

4.3. 인장시험 결과 및 파면 분석

표 6과 그림 4는 인장시험결과를 보여 주고 있다. 인장성질에서 두 합금의 인장강도는 거의 같은 수준이다. 항복강도는 ADC12와 AA383이 각각 140과 130 MPa(N/mm²)으로 ADC12가 약간 높게 나타났다. 연신율은 반대로 ADC12가 1.9%로서 AA383의 2.3%보다 낮았다. 조직의 결함과 Mg 량 연성과 항복강도에 영향을 미치고 있으며 특히 AA383의 조성은 연성에 매우 유리한 것을 알수 있어 품질관리만 되면 규격

표 6. 규격 합금별 다이캐스팅 주물의 인장성질

재질	번호	인장강도 (N/mm ²)	0.2% 항복강도 (N/mm ²)	연신율(%)
ADC12	1	235	144	2.2
	2	195	163	1.4
	3	220	138	2.0
	4	222	145	1.9
	5	228	121	2.1
	평균	220.00	142.20	1.92
	규격	310	150	3.5
AA383	1	243	144	2.75
	2	213	125	1.4
	3	220	129	2.51
	4	210	131	2.2
	5	221	121	2.7
	평균	221.40	130.00	2.31
	규격	310	150	3.5

치인 3.5%도 얻어질 것으로 예상된다.

인장 파면에서 ADC12나 AA383은 거의 평평한 파면을 보이고 취성파괴가 되고 있다. ADC12합금 시편의 파면에는 별 결함이 보이지 않고 치밀한 조직이고 일부 기포가 있고 중심부에 결함이 작게 존재하고 있다. 반면 AA383 시편은 전부 중심부에 수축공 및 기

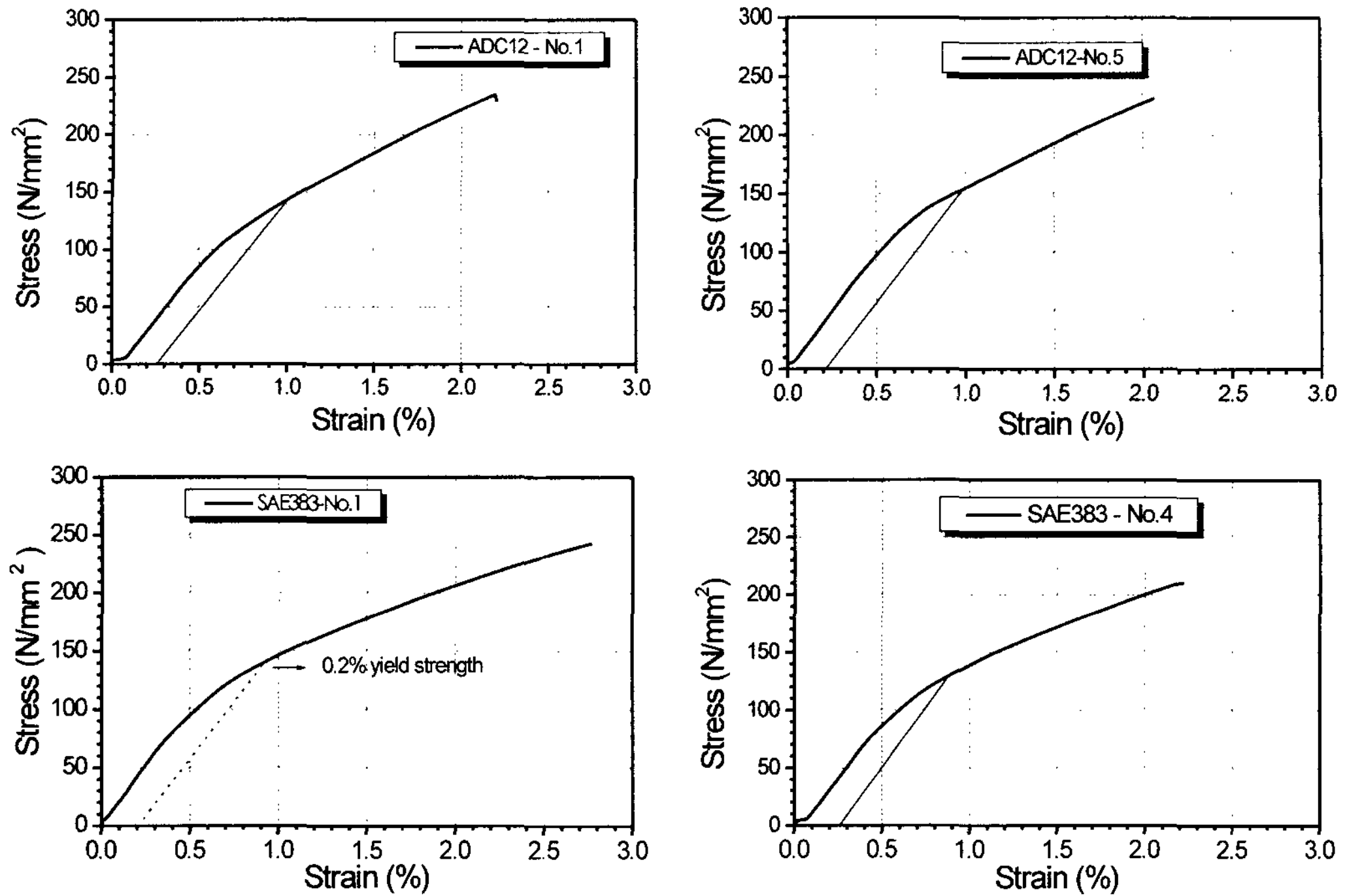


그림 4. ADC12와 AA383(SAE383) 합금의 다이캐스팅 인장성질

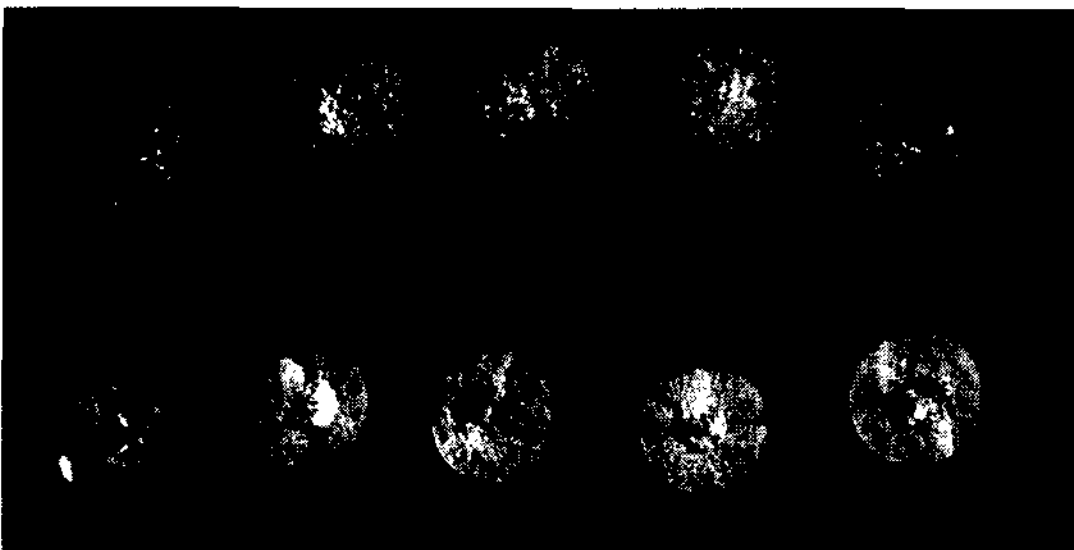


그림 5. 인장시편의 파면(상부 인장시편은 ADC12 합금재, 하단은 SAE383 합금).

포가 존재하고 있고 표면조직이 치밀하여서 표면부에서 강도와 연성을 제공하므로 결함이 억제되고 건전한 시편이 주조되면 보다 연성이나 강도는 증가할 것으로 예상된다.

5. 일반 다이캐스팅 제품에 적용 방안

그림 6은 ADC12와 AA383 합금의 인장시편에서 나타난 주조조직이다. 초정으로 수지상의 Al 상과 Al-Si 공정이 발달하여 있고 미세 기포들도 분포하고 있

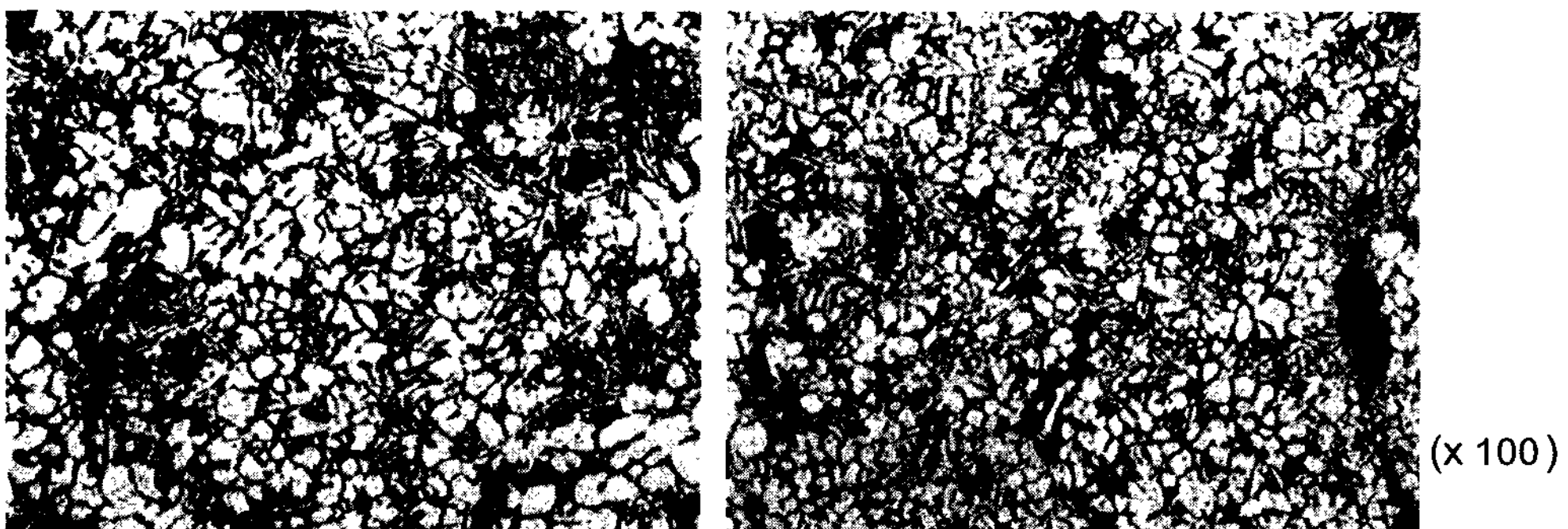


그림 6. ADC12(좌)와 AA383(우) 합금 다이캐스팅 인장시편 조직.

다. ADC12에서는 길게 침상의 Al-Fe-Si 화합물이 나타나서 취성을 가지게 하고 주조성도 감소시키지만 조성을 제어함으로 AA383의 규격에 의하면 보다 기계적 성질이 개선된 다이캐스팅을 얻을 수 있다. 따라서 이러한 조성변화의 영향과 조직적인 특성을 고려하여 볼 때에 수출을 고려하여 ADC12종의 다이캐스팅을 하는 경우 다음과 같이 고려할 필요가 있다.

1) 규격범위내에서 Fe량(0.7~0.8%)이나 Si(10.5%), Mg량(0.1% 이하)의 감소

2) sludge 조건과 규격범위 내에서 일정량의 Mn량(0.2~0.3%)의 유지

3) 기타 산화물이나 불순물, 가스농도 감소

등이 수출용으로서 AA383의 규격도 만족시키고 보다 주조결함을 줄이고 조직적으로 치밀하고 기계적 성질도 증가한 우수한 다이캐스팅 제품을 제조하는데 필요한 소재관리 및 품질관리 방안이며 특히 연성 향상 방안으로 제시할 수 있다.