

技術資料

알루미늄 고압주조품의 결함종류와 기계적성질에 대한 영향

한요섭†

Defect Types of High Pressure Casting and the Influence on the Mechanical Properties

Yo-Sub Han

1. 알루미늄 고압주조의 현황 및 과제

경량금속주물의 제조에서 수백 기압에서 1000기압 (100 MPa)의 고압력을 가하여 주조 응고시키는 고압주조법은 현재 가장 활발히 양산적용 및 발전이 되고 있는 공정이다. 게다가 종래의 고압 고속사출을 특징으로 하는 다이캐스팅에서 나아가 저속 충진을 특징으로 하는 용탕단조를 비롯해서 반고상 금속을 소재로 성형 주조하는 반고상 다이캐스팅(텍소 및 레오캐스팅)도 고압주조에 해당이 되며 차세대 주조법으로 주목받고 있다.

이러한 고압주조법은 선진국 일본, 미국 및 유럽에서 활발히 개발 실용화가 되고 있고 국내에서도 보급이 된지 10여 년이 지나고 있다. 그 중에서 일본은 전용주조기의 개발 및 적용에서 선두를 달리고 있고 다양한 양산품이 나오고 있고 이들의 제품화 경험을 민관연에서 연구활동도 추진되어 참조가 되고 있다. 85년경에 일본의 고압주조 제조 및 개발단체 19개에서 설문조사한 결과 고압주조의 선택이유로는 내부품질이 우수하고, 열처리가 가능하여 고강도를 얻을 수 있고 기밀성이 높다는 것이다. 또한 금형주조나 저압주조에 비하여 가공비 절감이 되고 복합재료를 제조할 수 있다는 점이 이유가 되고 있다.

반면 문제점으로는 그림 1이 고려되고 있는데 대부분의 제조업체에서 주조결함을 들고 있다. 주조결함들은 일반 다이캐스팅에서 나타나는 결함들과 같은 blow hole, 소착, 탕경계, 수축공, 미성형, 부풀음

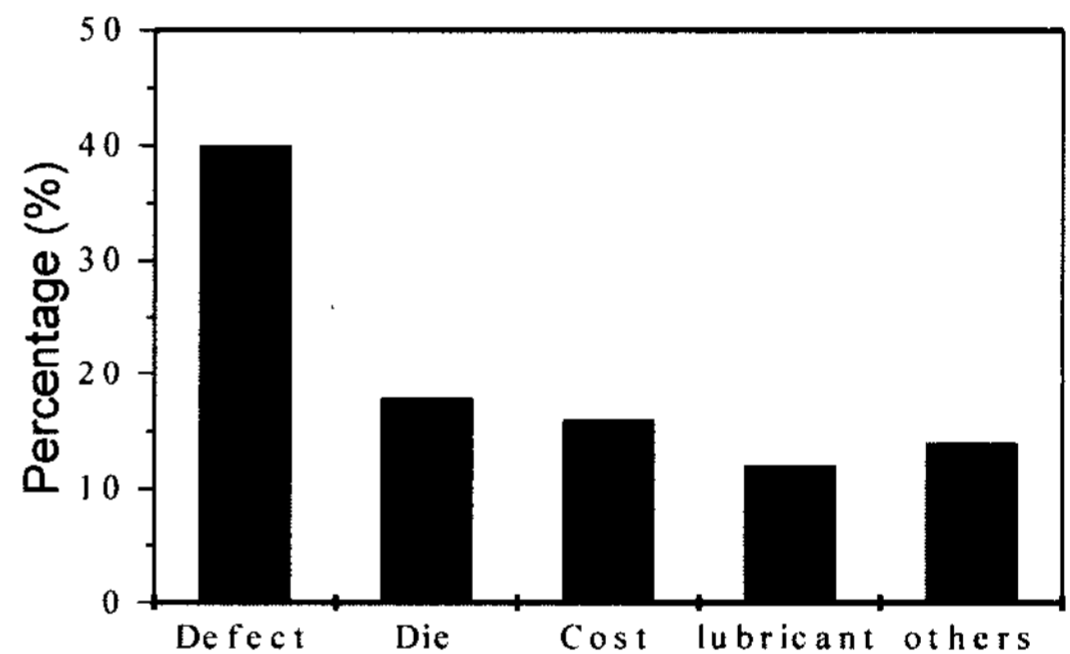


그림 1. 고압주조에서 문제점

(Blister), 산화물 혼입 등이 있고 용탕단조 즉 고압주조 특유의 조직결함인 편석도 있다. 내부품질의 향상을 목적으로 고압주조법을 채용하는데 이러한 결함들이 큰 문제가 되는 것이 현실이다. 이 주조법의 용탕 품질, 주조방안, 도형, 주조조건, 재료설계를 통한 최적 조건의 확립 및 공정분석이 중요하다. 또한 금형수명이 짧고 금형비가 높아 제조비가 높은 것도 문제가 되고 있고 이형제 및 흑연계 이형제로 인한 환경문제도 있으며 생산성, 자료 부족도 문제점으로 인식되고 있다.

2. 고압주조의 결함 종류와 특성

2.1 고압주조 및 다이캐스팅에서 결함종류

고압주조 즉 용탕단조도 용탕을 금형에 기계적으로 사출 충진하며 주물의 형상과 박육정도에 따라서 주조

*한국과학기술연구원 재료연구부(Korea Institute of Science and Technology, Department of Materials)

†E-mail : imhan@kist.re.kr

속도가 0.02 - 1 m/sec로 변하고 가압력도 300 - 1000 kg/cm²으로서 그에 따른 여러 주조 결함들이 발생하고 있다. 이들의 종류를 크게 나누면,

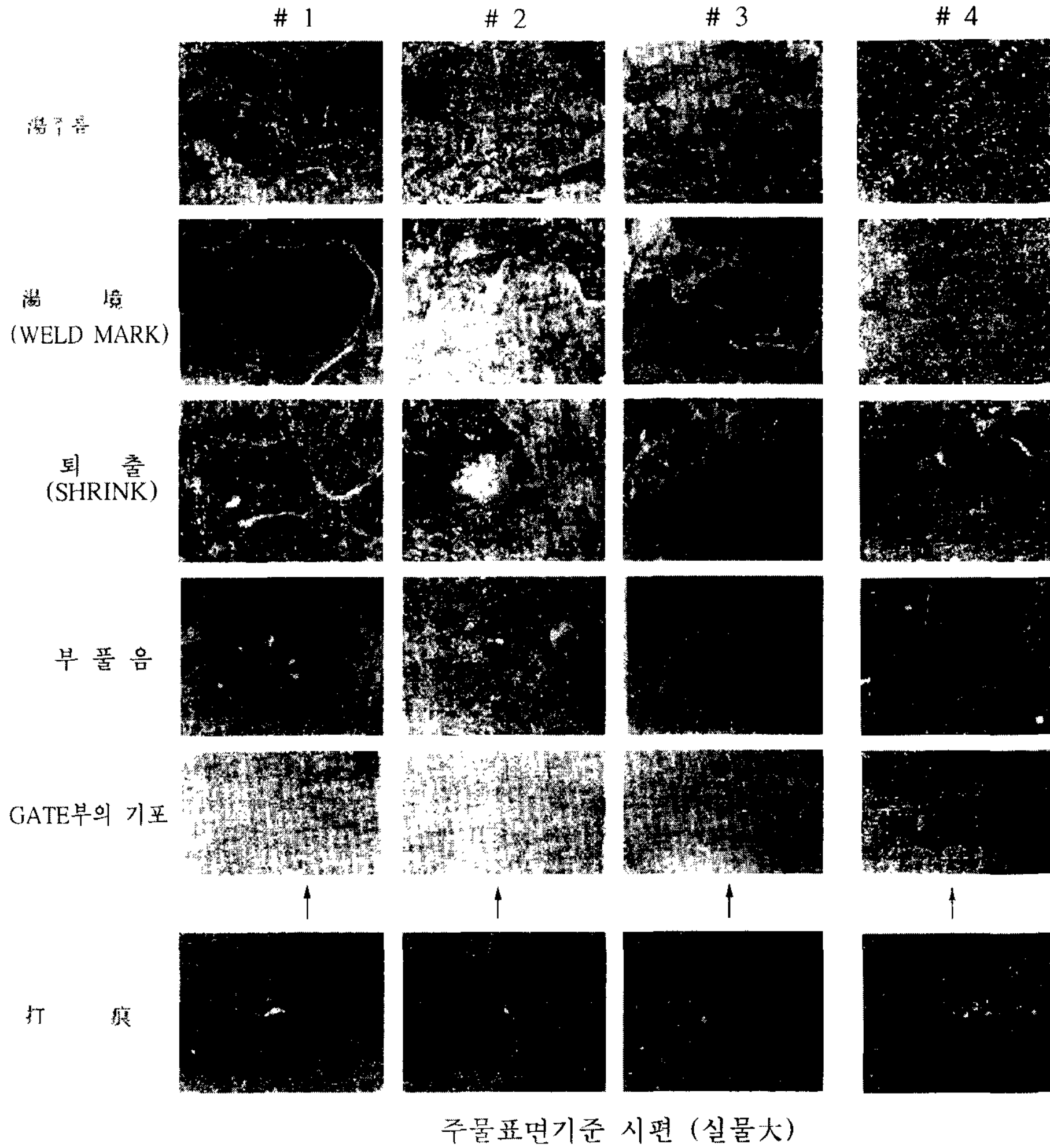
- 1) 치수결함 : 치수불량, 덧살, 코어이탈, 변형, 두께 변화, 등
- 2) 외부결함 : 유동불량, 탕경계, 균열, 부풀음, 소착, 히트체크, 핀홀, 타흔, 등등,
- 3) 내부결함 : 수축공, 기공, porosity, 편석, 등등

- 4) 재질결함 : hard spot, 재질불량, 산화물
- 5) 기타 결함 : 물리적성질 변화, 내압불량, 혼입, 사상불량 등

이들 외에 주조 사상시에 발생하는 결함이나 열처리, 가공시에 나타날 수 있다. 실제로 이러한 분류속에 보다 구체적인 종류로서 미성형, 유동결함, 수축공 등 등의 항목으로 표 1과 같이 구분하고 이들의 관리 및 대책을 마련하고 있다. 실제 결함이 다양하게 나타나

표 1. 주조결함들의 분류와 명칭의 정의
결함의 종류와 상태

결함의 분류	결함의 종류	결함상태
치수상의결함	치수불량	여러가지 원인에 따라 주물이 소정의 치수로 되지 않은 것
	어긋남	金型이 어긋나서 주물이 어긋난 것
	型빠짐(core빠짐)	金型core가 물러나 여분의 살이 붙어 所定の 치수로 되지 않은 것
	變形	주물이 변형하여 所定の 치수가 나오지 않은 것
	余肉, 缺肉	주물의 일부가 所定の 치수보다 두꺼워지거나 얇아진 것 및 일부 결손된 것
	떨러짐	GATE PRESS시에 생기는 제품의 일부의 파손
외관상의결함	未成形	溶湯 CAVITY일부를 未充鑄된 채 응고된 것
	湯주름	溶湯이 융합하지 않아서 발생하는 거치른 표면, 얇은주름, 탕흐름 형상
	WELD MARK	용탕이 합류하는 장소에 있어서, 완전히 융합하지 않고 남은 깊은 주름
	龜裂	여러가지 원인에 의해 제품의 일부에 발생한 균열
	수축(Shrink)	용탕의 응고시 수축에 의해 주물 표면에 생긴 요철면
	부풀음	주물에 함유된 가스에 의해 주물 표면상에 생긴 부풀음
	긱 힌	금형에서 압출될 때 주물 표면에 생긴 긱힌 상처
	눌러붙음	금형표면에 용탕이 融着하여, 제품에 나타나는 표면의 缺肉 및 거친면
	型상처 및 Heat Check 상처	Cavity면에 부딪힘, heat check가 생긴 금형을 사용한 경우에 주물 표면에 그 흔적이 그대로 나타나는 흠
	型 侵蝕 흠집	일부가 侵蝕된 금형을 사용함에 따라 주물에 생기는 흠
	PIN HOLE	적은 구멍으로, 주물표면에 발생한 것
	타흔(打痕)	제품운반, 敗出時 등에 생긴 가벼운 상처
	GATE 氣孔	GATE절단시 GATE부에 나타나는 적은 구멍
내부결함	수축기포	용탕충진후 용탕의 수축에 의해 주물내부에 발생하는 구멍
	Blow hole(gas hole)	금형내의 공기, 용탕 및 離型劑에 의해 생긴 gas가 溶湯내에 들어가 응고 후 주물내에 남은 비교적 큰 구멍
	기공(porosity)	주물의 일부에 만들어진 sponge상의 조직
	肉厚 중심부의 pin hole	육후의 중심부에 발생하는 球狀의 적은 구멍
재질상의결함	Hard spot	주물중에 나타나는 硬度가 높고 정상적인 절삭을 방해하는 입자
	재질불량	주물이 所定の 화학성분 범위가 아닌 것, 또 異種 재질인 것
	산화물	주물에 酸化物이 혼입해 있는 것
기타결함	물리적, 화학적 성질불량	強度, 내식성 등의 물리적, 화학적 성질이 규정치대로 되어 있지 않은 것
	內壓 불량	주물에 압력을 걸었을 때 주물의 일부로부터 압력이 새는 것
	埋金(insert) 없음	Insert 을 잊고 그냥 주조한 제품
	異品	금형 組立불량 CORE가 다른 것을 넣었을 때 생기는 異品
	後加工 不良	가공의 실패, 가공실수, 가공탈락에 의해 완전한 제품으로 되지 않은 것



주물표면기준 시편 (실물大)

그림 2. 외부결함 종류와 기준

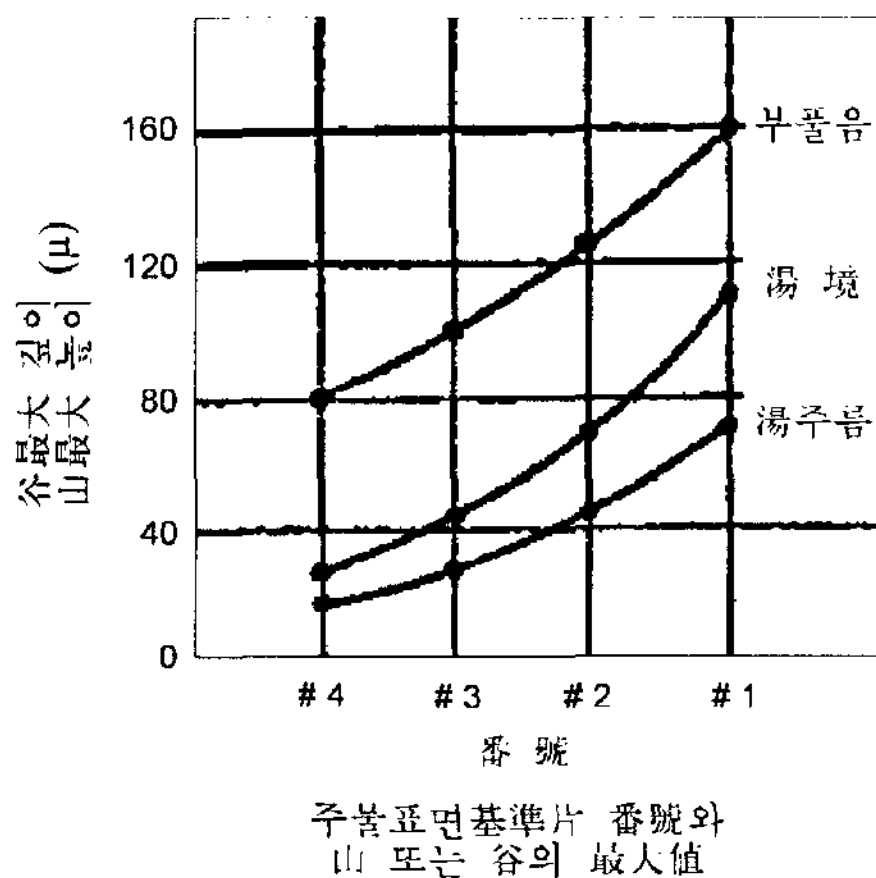


그림 3. 결함 기준

고 있는데 그 중에는 결함이라고 할 수 없는 경우도 있다. 같은 결함이라도 그 정도에 따라 실용상, 성능상, 강도상 지장이 없는 경우가 있다. 여기서는 일본 다이캐스트 협회에서 제시한 기준을 살펴 보자. 그림 2는 외부결함의 종류 및 크기를 제시한 규격이다. 대표적인 표면결함인 탕주름(유동불량), 탕경계, 수축, 부풀음, 탕구 기포, 타흔 등을 보여 주고 있다. 그림 3은 그중에 탕주름, 탕경계, 부풀음에 대해서 그 표면에서 요철 깊이 최소 최대의 차이를 말하고 있다. porosity에 대해서는 그림 4에서 나타난 기준을 정의하고 있다.

2.2 고압주조에서 결함발생 분석

최근 일본에서 고압주조 양산품에서 조사된 각종 결

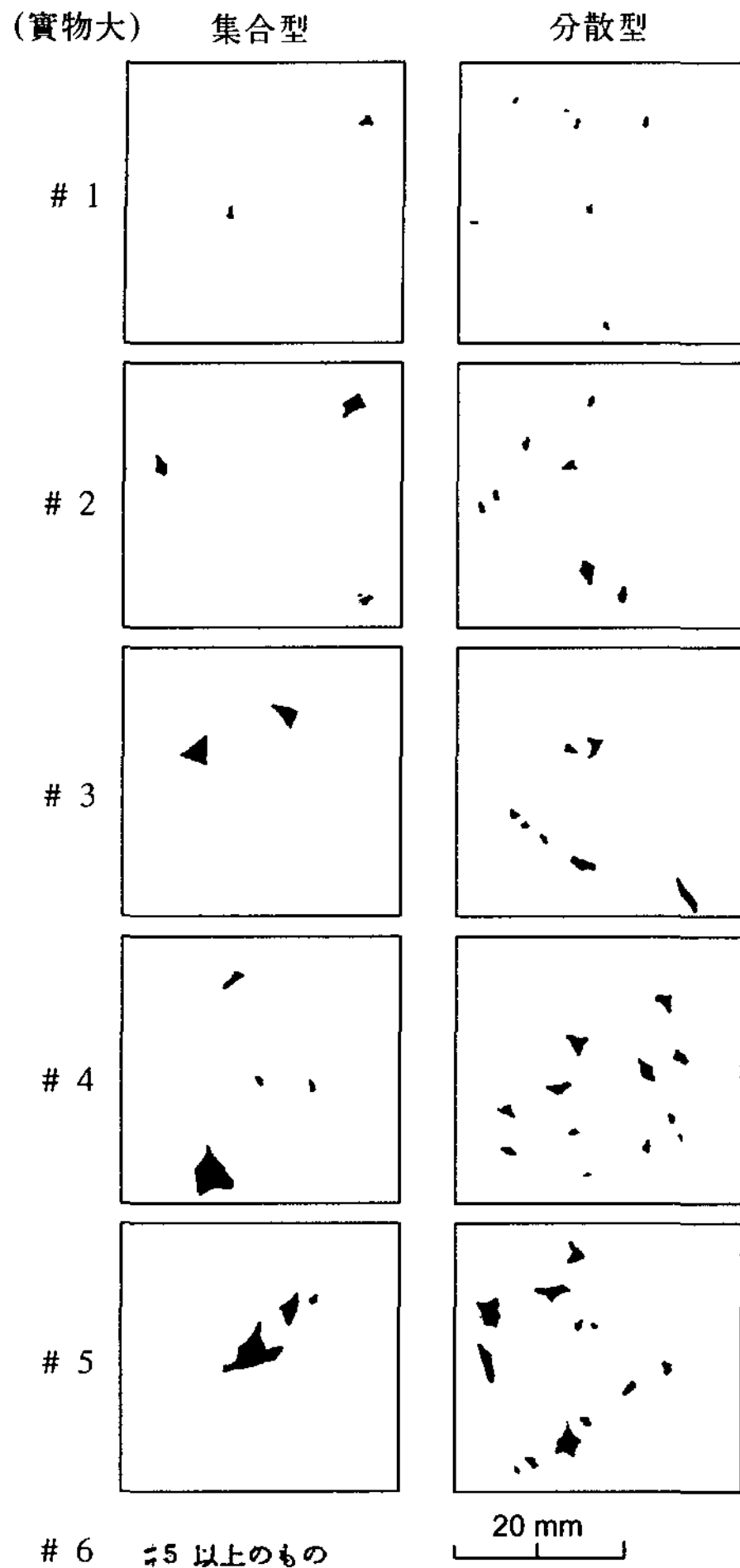


그림 4. 기포결함 크기 기준

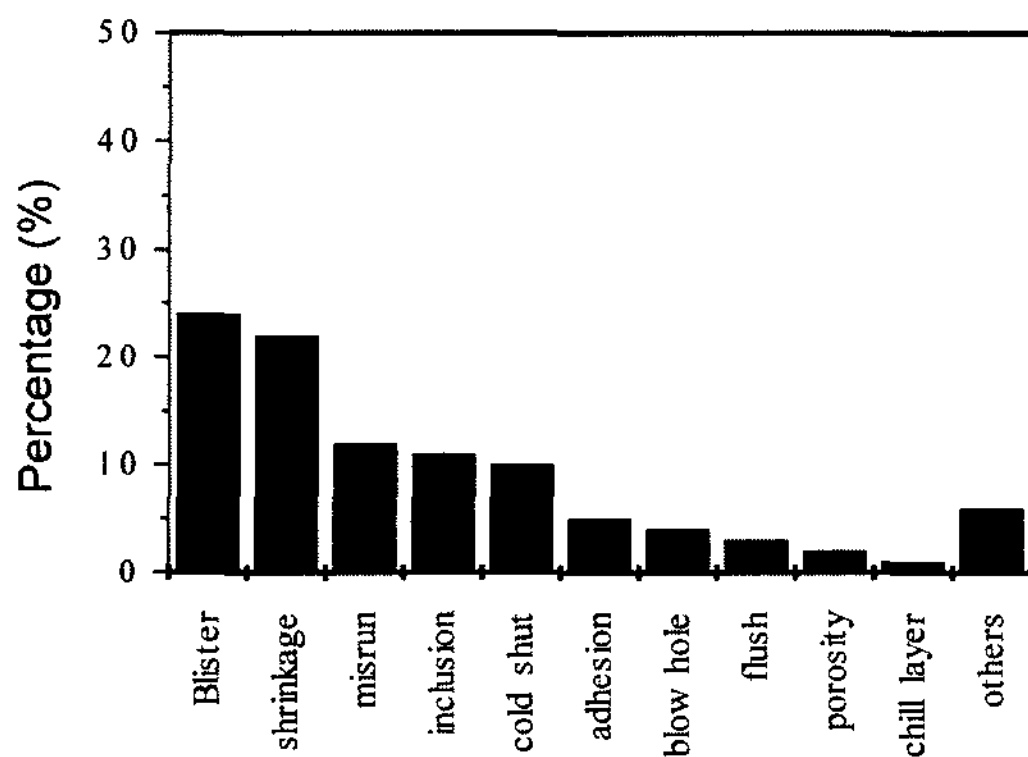


그림 5. 고압주조결함의 발생비율

합들의 종류와 원인분석 결과를 살펴 보았다. 약 25개의 고압주조품을 대상으로 결함의 발생종류와 발생비

율을 조사한 결과가 그림 5에 나타나 있다. 대략 11 종류의 결함들이 나타나 있고 그들은 수축공, 탕흐름 불량(미성형), 탕경계 및 탕주름, 부풀음, flush 살, 산화물 및 편석, 소착, blow hole, porosity, 파단 칠층, 기타 등으로서 가장 많은 것이 부풀음, 수축공으로 이들이 결함의 과반수가 되고, 그 외에 미성형, 산화물 및 편석, 탕주름 및 경계가 약 10%씩 차지하며 나머지는 그 비율들이 낮다.

일반 다이캐스팅의 경우도 이와 비슷한 경향으로서 주조기공과 미성형이 각각 35% 비율을 차지하여 전체 결함의 70%가 되고 다른 결함들은 5% 이내로서 그 비율은 미미하다. 이러한 차이는 고압주조품이 대부분 열처리(84%)를 하며 그때에 부풀음 결함 등이 현저하게 발생하고 있고 대신 저속으로 안정적인 유동을 유지하므로 표면결함이 적어지고 미성형도 감소하는 것으로 고려된다.

부풀음 발생요인으로는 공기나 이형재 수분이 제품 중에 기포로 남거나 강제 압축되었다가 가열에 의하여 급작스레 팽창하여 일어난 것으로서 공기빼기와 주조 조건의 개선이 필요하다.

수축공의 경우 지향성 응고의 부족으로 인한 가압력 부족이 많고 금형온도 등의 주조조건의 영향도 있다. 한편 부분 가압을 사용할 때에 부분 가압장치의 불량으로 인한 수축공이 발생하기도 한다.

미성형 및 주조 충전결함은 금형공간에서 공기빼기 불량, 금형온도 감소, 이형재 잔류 등이 원인이 되고 있다.

산화물 및 개재물은 유지로나 슬리브내에서 발생하는 산화물. 개재물이 주물내로 유입된 것이며 일부는 이형재 잔류나 슬리브 응고층의 혼입도 있다.

탕주름이나 탕경계는 금형온도나 용탕온도가 낮은 원인이 주이다.

2.3 퓨얼 파이프의 고압주조 결함 대책

그림 6은 고압주조로 제조한 AC4CH 재질의 퓨얼 파이프 제품으로 여기서 표시한 번호에서 각종 결함들 - 탕경계, 수축공, 블로홀, 산화물 혼입, 파단 칠층, 편석 등이 발생하고 있다. 이들의 경우에 각각의 결함의 원인 및 대책들을 보면 표 2와 같다. 그림 7은 건전조직과 편석발생부의 조직을 비교하여 나타낸 것으로서 편석부는 Al-Si 공정조직으로 미세하나 공정 Si 상의 밀집으로 연성을 악화시키는 작용을 하고 있다.

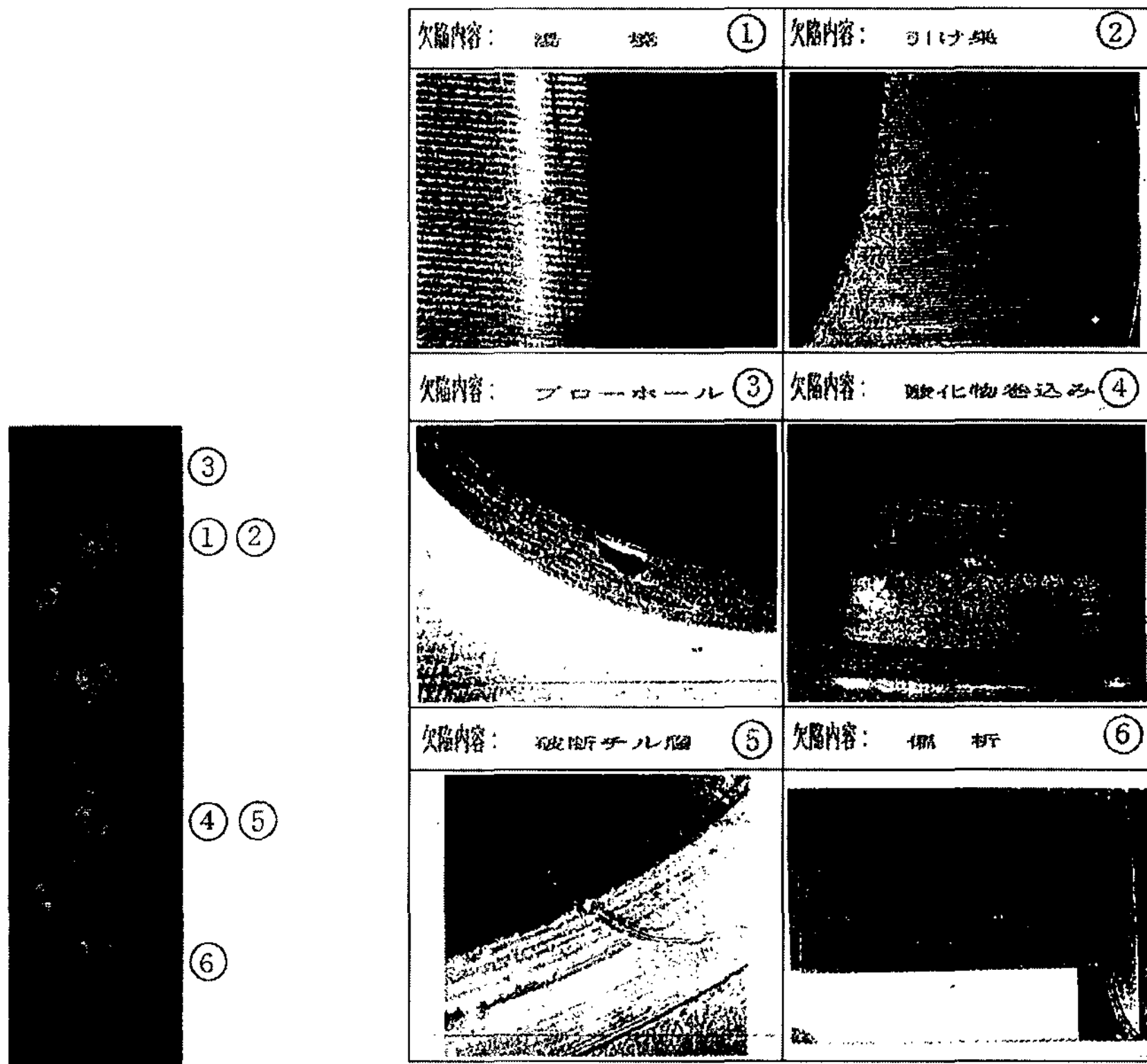


그림 6. 퓨얼파이프 고압주조 결함 발생

표 2. 퓨얼 파이프의 고압주조 결함 발생요인 및 대책

명칭	현상	원인	대책
1	탕경계 용탕의 합류경계	- 금형온도 감소-주조압력 부족 - 통기성 불량	- 탕도 확대 - 공기빼기 증가 - 금형내 공기 흡입
2	수축공 가시적 응고수축	- 금형온도 감소 - 주조방안 불량	- 금형온도 적정 유지 - 부분 가압 - 제품형상 개량
3	blow hole 가스에 의한 직경3mm 이상 구형기포	- 주조방안 불량	- 공기빼기 부착 - 진공흡입 - 금형청소
4	산화물 용탕산화물 및 재가 혼입	- 용탕 오염 - 주탕기구에 흡착	- 용탕청결 산화물제거 - 탈슬러지 강화 - 슬러지 유입방지 - 청정 주탕
5	파단칠층 슬리브등에서 응고층이 혼입	- 슬리브온도 감소 - 슬리브내 슬러지-용탕량	- 슬리브와 팁의 경계주의 - 슬리브 청소
6	편석 가압수축으로 저용점용질이 압출 밀집	- 주조방안 - 주조조건	- 형온도 온도 제어 - 충전속도 제어

3. 기계적성질에 대한 조직 및 결함의 영향

금속 주물의 기계적 성질 특히 강도나 연신율을 비

롯해서 동적 성질인 피로강도나 충격치의 값에 영향을 미치는 변수는 여러 가지가 있다. 그 변수들을 크게 보면,

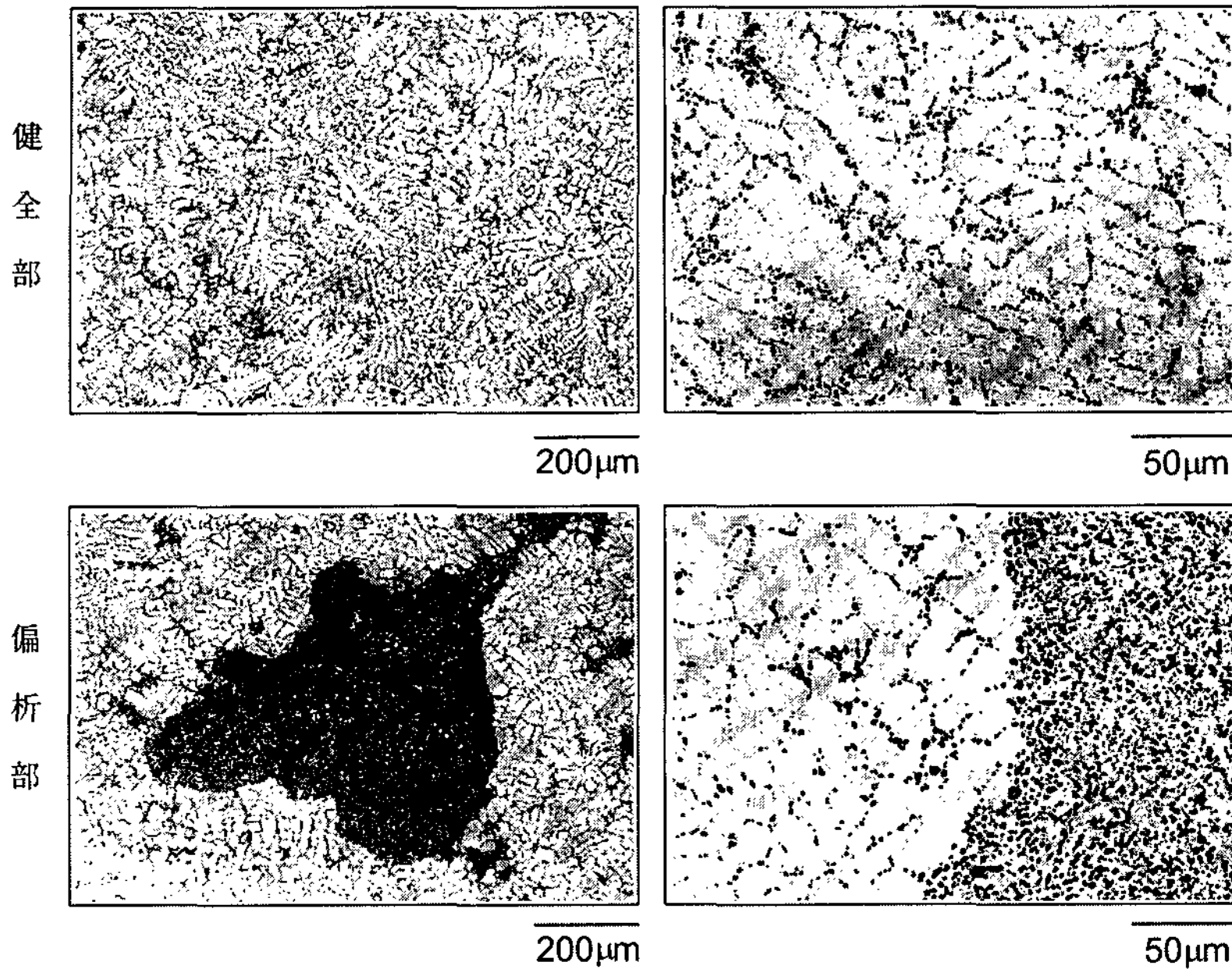
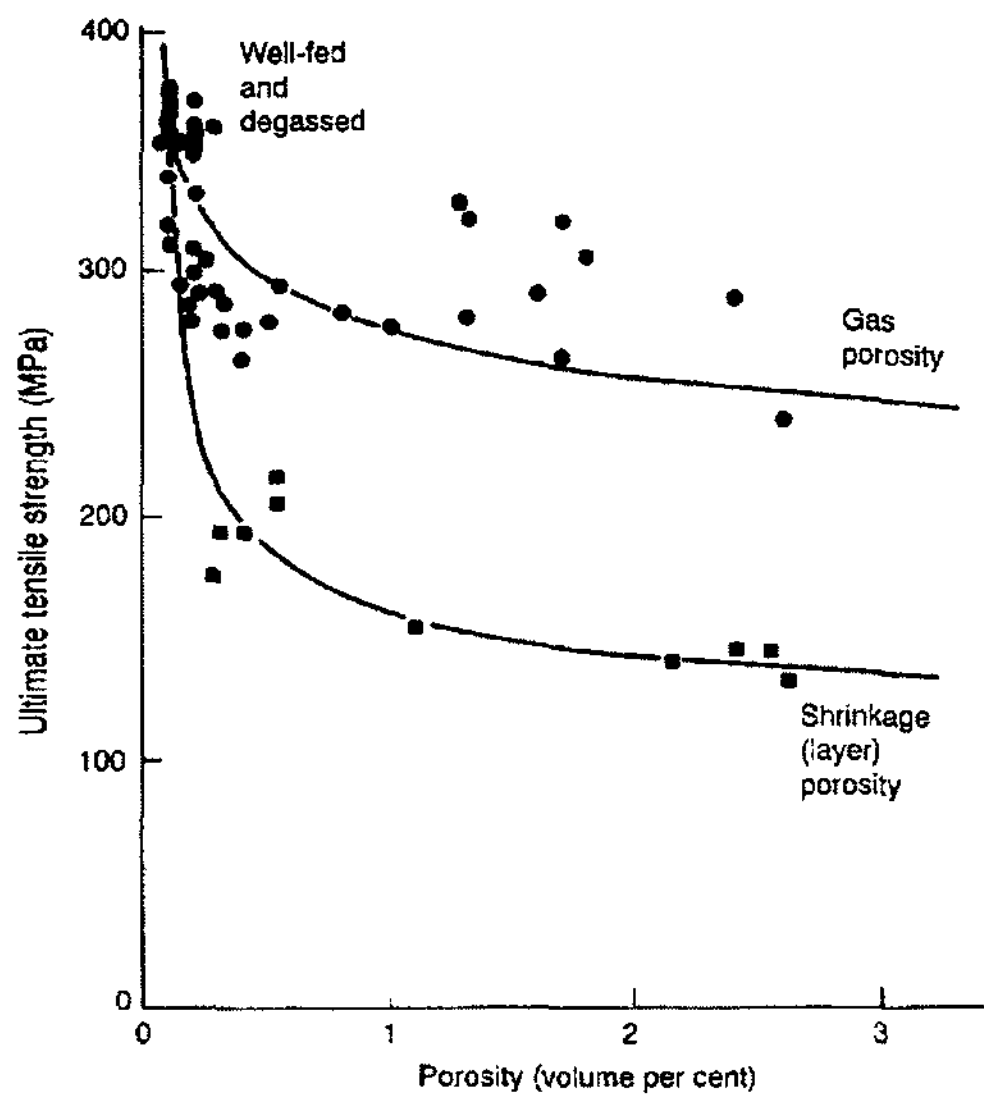


그림 7. AC4C 소재 퓨얼 파이프의 고압주조 조직(건전부와 편석부)



The reduction in UTS of an Al-11.5Mg alloy by dispersed porosity and by layer porosity.

그림 8. 기포결함 종류 및 량에 따른 기계적성질 변화

- 1) 합금 조성 및 구성상 - 합금원소 종류와 합금량
- 2) 조직 - 결정립, 수지상정 크기, 형상, 2차 상들의 종류와 크기, 석출상, 가공경화 및 잔류응력

3) 결함 - 기공 및 수축공, 개재물 및 취성 불순물, 균열 및 편석, 부풀음 기타 결함

여기서 합금조성이나 조직등은 주물의 설계시에 이미 결정되어 지고 건전한 상태에서 얻어지는 물성과 기계적성질의 값들은 별로 변동이 적다. 그러나 주조 기술로서 해결하고 확립하여야 할 것은 최대한 주조결함이 없도록 제조하는 것이며 이러한 주조결함이 억제 되어도 그 한계가 있으며 이들의 악영향이 얼마나 되고 실제 강도나 기계적 성질은 어느 정도 얻어지는지 분석이 양산에서 필요한 자료이다.

그림 8은 주물내 기공이 존재할 경우 그 비율에 따른 기계적성질의 감소를 보여 주고 있다. 기포가 0.5%만 존재하여도 인장강도가 크게 감소하고 있으며 감소 비율도 가스기포같이 분산형인 경우는 약 20%가 감소하고 기포가 증가하여도 더 큰 악화는 적다. 반면 수축공이나 균열같이 층상 결함의 경우는 매우 강도 감소 즉 악영향이 커서 약 50%의 감소율을 보이고 있다.

그림 9는 같은 기포의 비율에서도 합금 재질에 따라 강도 감소정도가 차이가 남을 보여 주고 있다. 즉 고연성의 고용도가 높은 Al-Mg 합금은 강도는 높으나 매우 작은 기포결함에도 강도가 크게 감소하고 그 대신 기포량의 증가에 둔감하고, Al-Cu, Al-Si 합금계로 가면서 기포의 악영향이 다소 둔해지는 경향이 나타나

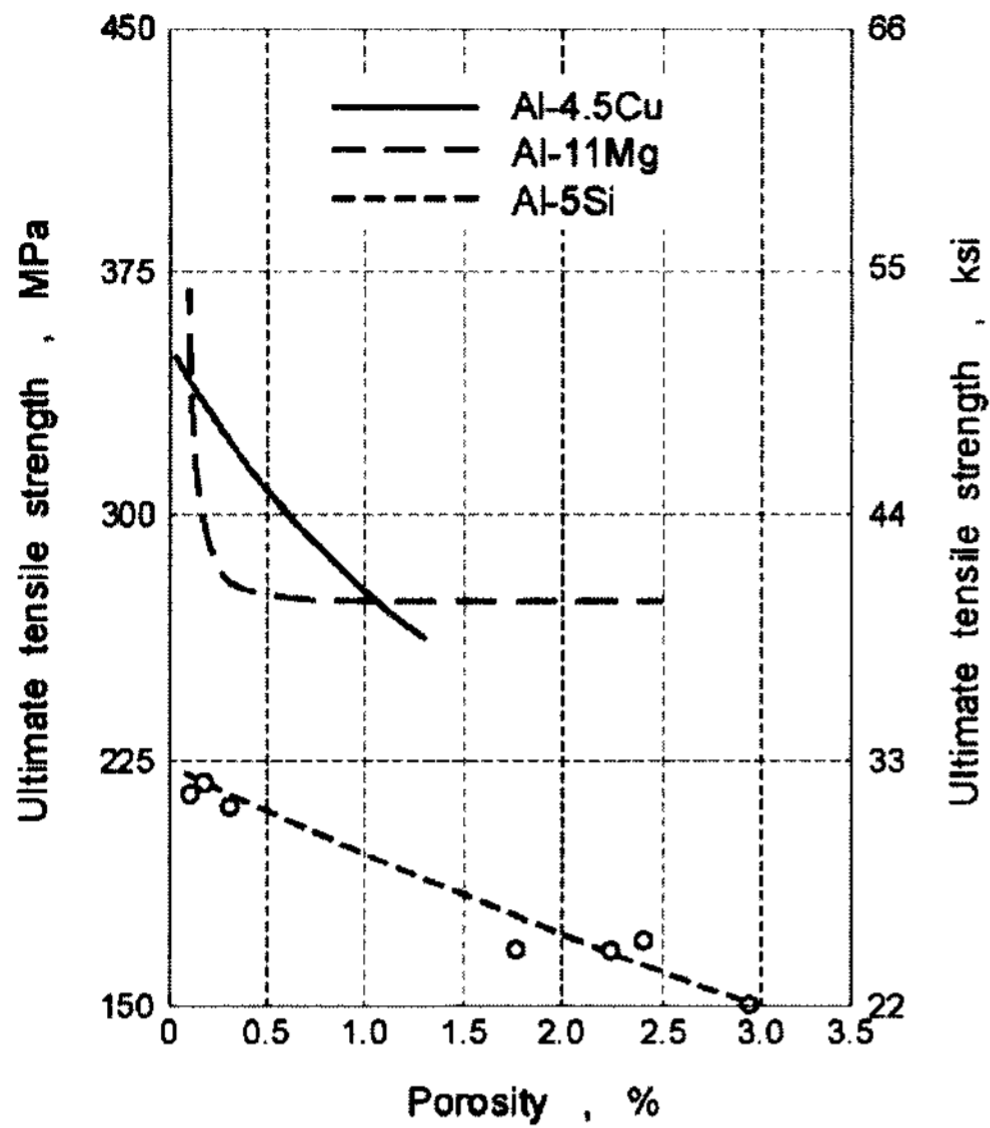
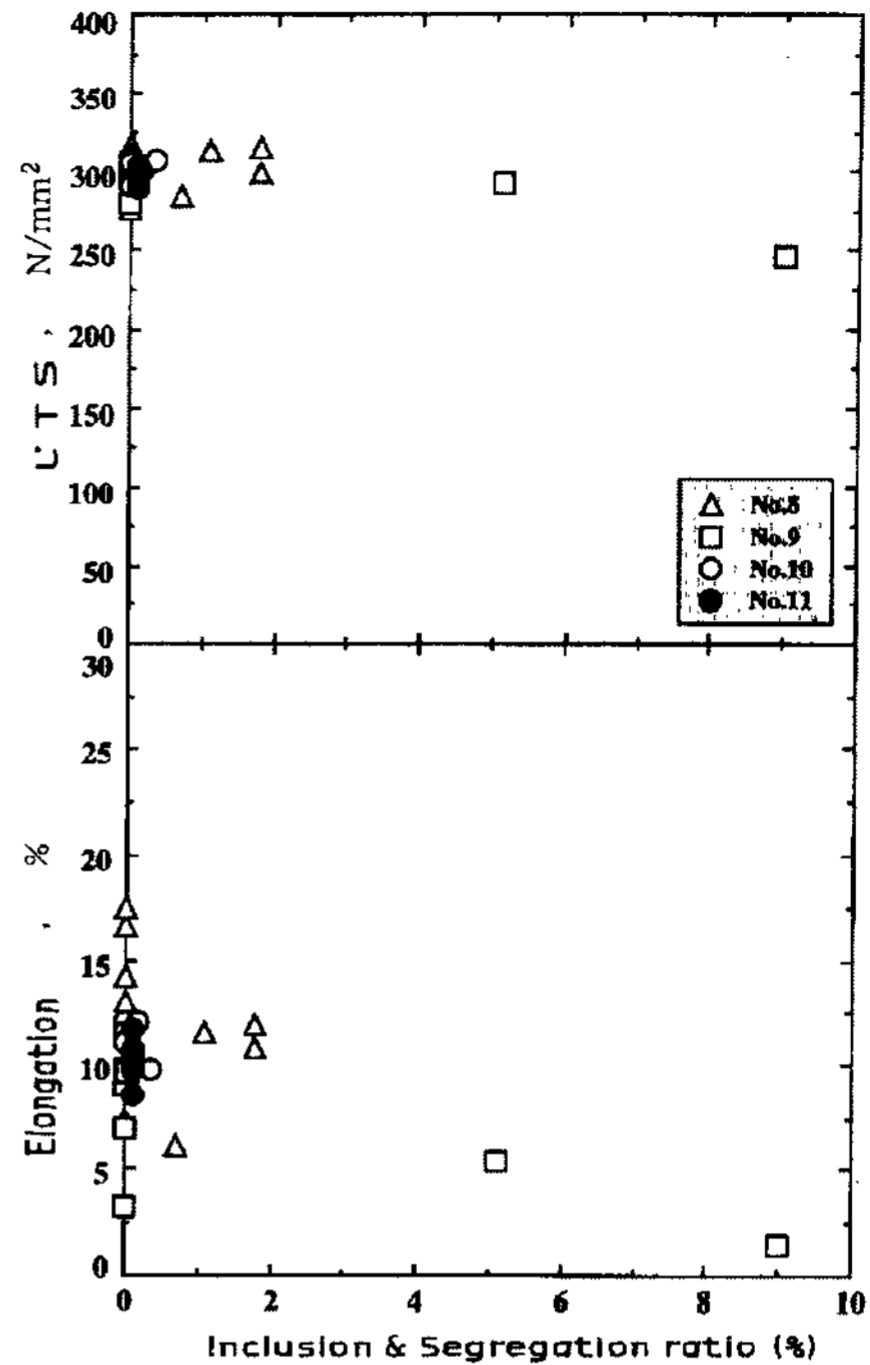


그림 9. 합금별 기포 발생율에 따른 인장강도 변화

고 있다. 그러나 고용도가 적어서 자체 강도가 낮고 기포량에 비례하여 강도가 감소하고 있다.

그림 10은 AC4CH 합금으로 제조된 각종 고압주조품에서 조사된 개재물 및 편석과 인장성질의 관계이다. 여기서 인장강도에 대한 개재물의 악영향은 기포의 경우에 비하여서 다소 적은 편이며 5% 이상에서 강도 감소가 현저하여 지고 있다. 반면 연신율은 2% 이상에서 감소가 나타나고 있고 점차 량이 증가함에 따라 크게 연신율이 감소하고 있다. 특징적인 것은 조직에서 산화물같은 결함이 보이지 않아도 다른 조직의 불균일성이 고압주조에 존재하고 있어서 연신율이 최



※各熱処理条件
 No. 8 : AC4CH : 530°C-2h→WQ[70°C]→室温放置-0.2h→160°C-2h
 No. 9 : AC4CH : 535°C-8h→WQ[20°C]→160°C-6h
 No. 10 : AC4CH : 535°C-8h→WQ[20°C]→160°C-6h
 No. 11 : AC4CH : 535°C-8h→WQ[20°C]→160°C-6h

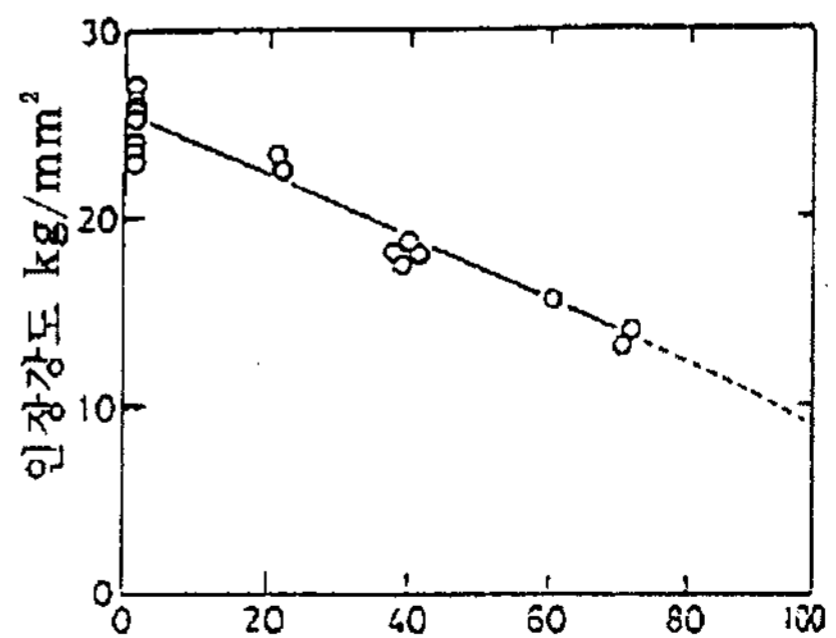
그림 10. AC4CH 합금재 고압주조품의 인장성질에 대한 개재물의 영향

고 17%에서 3%까지 건전 조직제품에서 나타나는 것이다. 이러한 불균일성을 안정화하는 것이 과제라 할 수 있다.

그림 11은 ADC12 합금 다이캐스팅에서 파단 칩층



시편 파단면조직



파단 칩층과 인장강도도

그림 11. 응고파단 칩층의 혼입에 의한 인장강도 감소

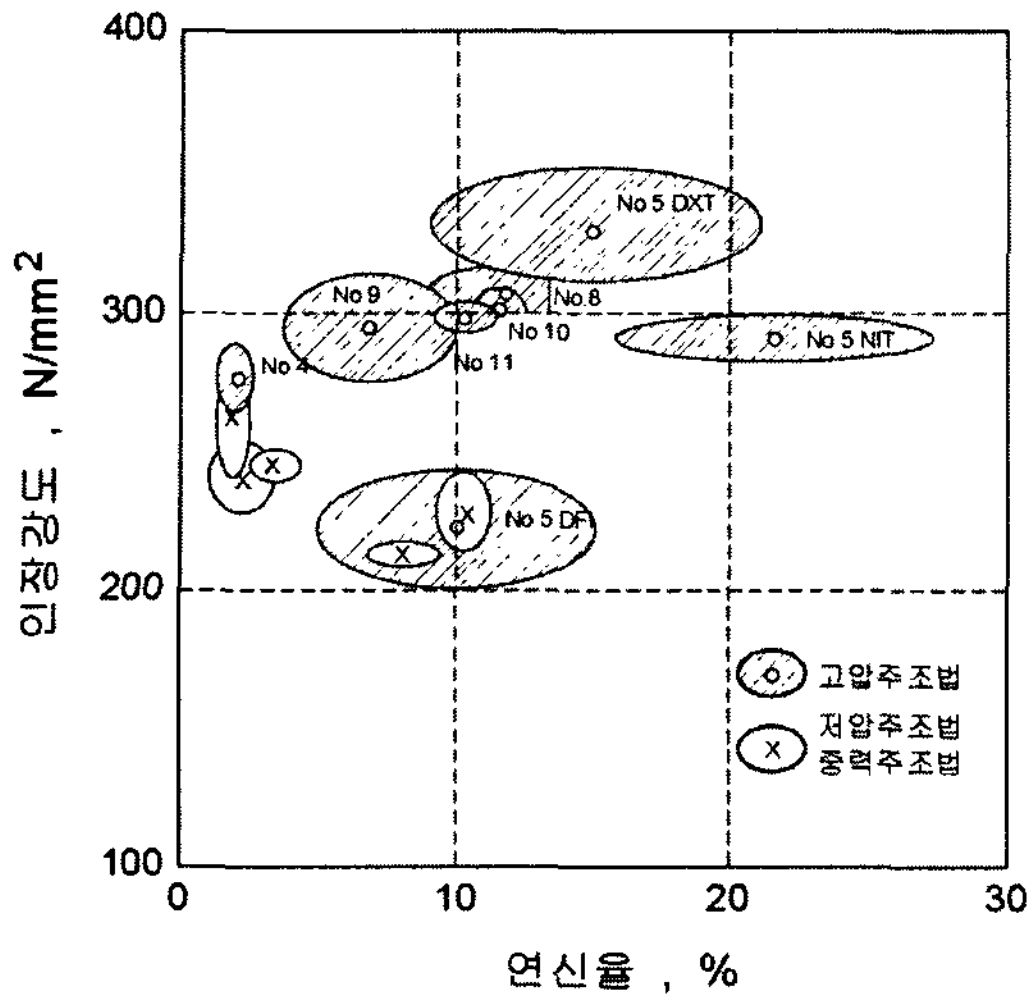


그림 12. AC4C-T6 합금의 고압주조, 저압주조, 중력주조 시 강도와 연신율의 관계

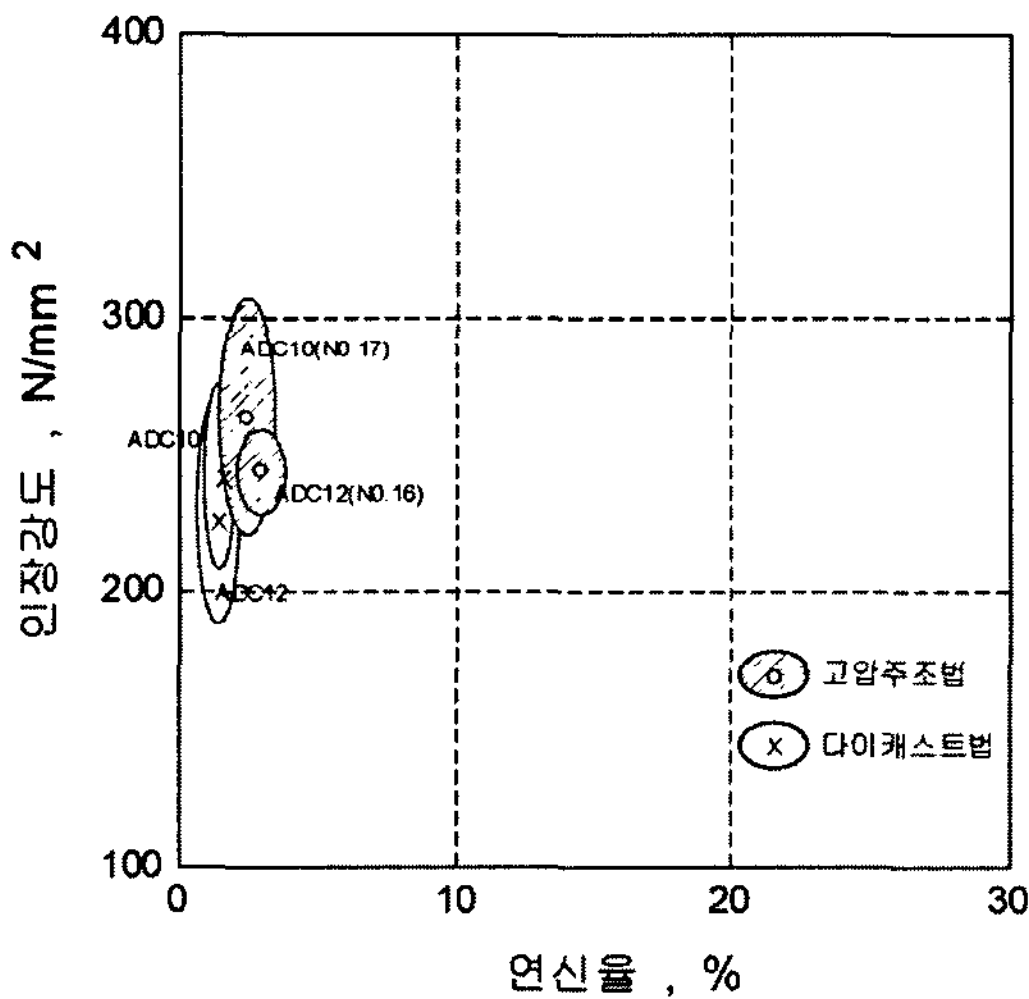


그림 13. ADC10, ADC12-F 합금의 고압주조 및 다이캐스트품의 신율과 강도 관계

과 인장강도의 관계이다. 개재물이나 편석은 아니지만 실제로 강도에 악영향을 미치는 결함으로서 이들은 슬리브에서 주입시에 응고 생성된 것으로서 습기함유량이 많고, 평활한 불균일 계면을 형성하고 열처리시에 기포 발생이 되어 균열 및 부풀음으로 나타나기도 한다. 이러한 형상으로 인하여 파괴시의 연성을 크게 감소시키고 강도도 악화시킨다.

그림 12와 13은 각각 AC4C 및 ADC10, ADC12 합금에서 각종 주조법과 고압주조시료들의 강도와 연신율의 관계를 종합하여 나타낸 것이다. 전반적으로 고압주조품이 타 제품에 비하여 고품질을 제공하고 있어서 신뢰성이 높다. 그러나 제조 조건이나 제품에 따라서는 그 차이가 적은 경우도 있고 그 물성의 범위가 다양하게 얻어지고 있으므로 소재 재질별 특성 향상 한계를 고려하여 제품에 적용하는 것이 필요하며 나아가 무결함의 주물 제조를 위한 최적화개발 및 관리기법이 고압주조품의 부가가치를 높이는데 관건이라고 고려 된다.

참 고 문 헌

- [1] 일본 경금속학회 연구보고서 No.35, 고압주조 알루미늄합금 주물의 실제강도 및 제조에서 문제점과 경제성 (1998. 5)
- [2] 박삼수 편저, Die Cast 현장기술, (1984) 대신기술
- [3] 官野宇申 植原然長, 알루미늄합금 다이캐스트, 일본 경금속 출판, 1988
- [4] John Campbell, CASTINGS, (1993)