

|||||||  
 論 文  
 |||||

## 중력주조 및 직접가압주조 7XXX계 Al합금의 미세조직에 관한 연구

김석원\* · 김대영 · 우기도 · 김동건

### The Study on the Microstructures in Direct Squeeze cast and Gravity Cast of 7XXX Al Wrought Alloy

Sug-Won Kim\*, Dae-Young Kim, Ki-Do Woo and Dong-Kun Kim

#### Abstract

Squeeze casting process has been used in the field of a commercial manufacturing method, in which metal is enforcedly solidified under pressure enough to prevent the cast defects such as either gas porosity or shrinkage defect. In this paper, to clarify the relationship between applied pressures and macro · microstructural behaviors in gravity and direct squeeze casts, specimens were cast by various squeezing pressures during solidification of 7000 series Al wrought alloy in the metal die designed specially. The applied pressures used in this study were 0, 25, 50, and 75 MPa. The microstructural morphologies of squeeze cast were more fine and dense with increasing the applied pressures, because of the greater solidification rate of billet resulting from the applied pressure. A normal segregation phenomenon of an increasing in amount of eutectics towards the center of the billet was observed for squeeze casts, whereas gravity cast showed an inverse segregation phenomenon of an increasing in amount of eutectics towards the edge in the billet. This change in segregation pattern which is normal or inverse is due to a higher radial temperature gradient and reduced time in the semi solid state for squeeze casting.

(Received September 2, 1999)

#### 1. 서 론

최근의 신소재 연구개발에 대한 관심이 항공기, 철도차량, 자동차와 같이 수송능력을 갖는 기계에 집중되면서 경량화와 고장력의 특성을 갖는 Al합금의 개발이 국내 · 외적으로 활발하다. 이러한 소재는 물리 · 화학적으로 안정한 특성을 가져야 하며, 특히 항공기 소재는 초음속화에 목적을 두고 개발되기 때문에 내열 · 비강도 · 비탄성이 큰 구조재의 특성을 가져야 한다. 간단한 원리를 이용하여 건전한 소재를 생산하는 주조법으로 최근 각광 받고있는 주조 방법중의 하나가 직 · 간접가압주조법(direct and indirect squeeze casting process)이다. 가압주조법은 1960년도에 문헌에 소개되었으나, 1980년대 초에 이르러 영국의 GKN 회사가 직접가압방식에 의한 군수용 알루미늄

휠을 일괄작업공정으로 생산하게 되었고, 일본의 도요타 자동차와 일본의 Ube산업이 공동으로 간접가압 방식의 가압주조장치를 개발하여 자동차용 알루미늄 휠의 양산을 성공시킴으로써 관심이 높아졌다.

1980년대 후반에는 자동차의 경량화를 위하여 가압주조기술의 개발이 더욱 가속화 되기 시작했다.

가압주조법으로 얻을 수 있는 장점[1-4]이 많기 때문에 다수의 연구가 수행되어져 왔다. 그러나, 현재의 고압응고 및 가압주조법에 대한 연구들은 주로 알루미늄 및 동합금에서의 조직과 기계적 성질에 대한 가압력과 가압조건 및 응고현상에 미치는 가압력의 영향에 대한 연구가 수행되고 있으나[5-9], 7000계 Al합금의 미세조직에 대한 가압력의 영향에 관한 연구는 미미한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 7000계 Al합금의 가압주조시 가압력에 따른 미세조직과 가압주조

전북대학교 공과대학 신소재공학부(Faculty of Advanced Science and Engineering, Chonbuk National University)

\*급속응고신소재연구소, 신소재개발연구소(RASOM, Research Institute of Advanced Materials Development)

의 제조조건을 연구하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 재료

7000계 Al합금은 전신재 합금으로서 항공기, 철도 차량, 스포츠 용품등 일반적으로 높은 비강도가 요구되어지는 구조재에 사용되는 합금으로써, 본 연구에 사용된 7050, 7075 알루미늄 합금은 피로손상에 대한 저항성과 응력부식균열 저항성 뿐만아니라 열처리조건에 의하여 고강도와 연성을 기대할 수 있는 재료이다. 7050합금은 7075합금보다 Zn/Mg비와 Cu량을 높이고 재결정 억제원소인 Cr을 Zr으로 대체함으로써 열처리시 피로특성과 인성의 향상, 고온 시효경화의 우수성을 지니고 있다[10].

본 연구에 사용된 7050, 7075합금의 고액공존 온도 범위는 크게 차이는 관찰되지 않았고 165°C정도로서, 액상선 온도 645°C 공정온도 480°C로 나타났다.

본 연구에 사용된 합금 조성은 Table 1과 같다.

### 2.2 직접가압주조

Fig. 1은 중력주조와 직접가압 주조 주괴 제작에 사용된 내부직경 50 mmφ, 외부직경 100 mmφ, 높이 250 mm의 금형이다. 열전대는 주괴의 밑부분에서 30 mm 위치에 edge와 center에 설치하였고, 응고과정중의 변화하는 금형의 온도를 측정하기 위하여 금형내부에 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다. 측정하는 온도는 X-Y 기록계로 기록하였다.

중력주조재는 7050, 7075합금을 유도로를 이용하여 아르곤 분위기 하에서 용해한후 C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>로 탈가스처리하였고, 780°C로 유지된 용탕을 주입하여 중력하에 응고하여 주괴를 제조하여 사용하였다. 금형은 가압전에 용탕의 응고를 억제하기 위하여 예열온도 400°C로하였다.

가압재는 400°C까지 예열한 금형을 이용하여, 780°C로 유지된 용탕을 주입후, 응고가 완료될때까지 용탕

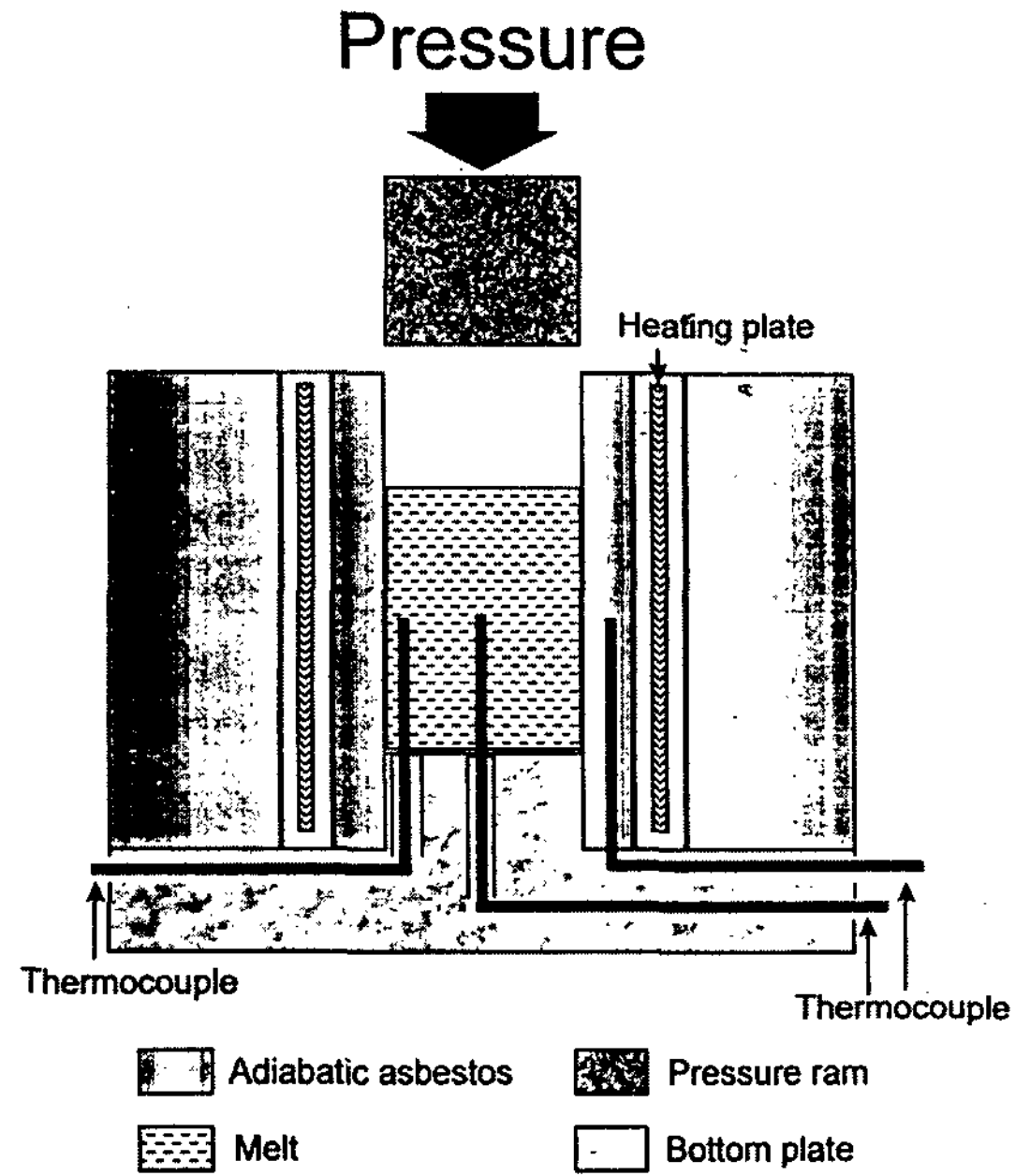


Fig. 1. Sketch of the die apparatus used for gravity cast and squeeze cast.

에 25, 50, 75 MPa의 압력으로 가압하여 제조하였다. 용탕주입후 가압전까지 지연된 시간은 대략 6초정도였다.

### 2.3 조직 관찰 및 DSC분석

각 주괴는 다이아몬드휠을 사용하여 주괴의 종축을 절단하여 길이방향으로 양분하였고, macro조직을 관찰하기 위해 정연마 후 부식시키기 위하여 keller시약을 사용하였다. 한쪽의 시료는 연마 후 미세조직 검사를 위해 0.5% 불산(HF)으로 부식하여 사용하였다.

7050, 7075합금의 공정 변태 온도를 측정하기 위해서, 중력주조재와 가압재 주괴의 center에서 채취한 시료(11 mg)를 가열속도 10°C/min로 상온으로부터 600°C까지 승온시키면서 DSC를 이용하여 상변태에 의한 반응곡선으로 측정하였다.

### 2.4 경도측정

Table 1. Chemical Compositions of Al Alloys ( Wt. %)

Elements Nomenclature	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	Al
7050	0.015	0.128	2.473	-	2.463	-	6.320	0.018	0.129	Bal
7075	0.045	0.089	1.741	0.011	2.654	0.221	5.749	0.276	-	Bal

경도측정은 가압력에 따라서 edge부터 center까지 거리에 따른 경도변화를 알아보기 위해 Rockwell 경도기를 사용하여 3 mm의 간격으로 경도(HRB)를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 냉각곡선

Fig. 2는 중력주조재와 가압재에 대한 7075 Al 합금의 주괴에 대한 center, edge 및 mold에서의 냉각곡선을 각각 나타낸다.

7075 Al 합금 중력주조의 경우, DSC분석에서 측정된 483°C의 공정응고 완료온도를 이용하여 응고의 개시후에 응고시간을 측정한 결과 95s였다. 전 응고구간을 통해, 동일시간에서 center와 edge부의 온도차이로 표현되는 복사온도구배가 시간의 경과에 따라 작아지는 경향을 나타냈다. 가압재의 경우, 중력주조재의 경우와 상이하게 시간이 지나면서 복사온도구배는 커지는 경향을 나타내고 있는데, 이는 양호한 melt/die의 열접촉으로 인해 냉각속도가 상당히 증가했기 때문으로 고려된다. 7050Al합금도 7075Al합금과 유사한 경

향을 나타내었다.

Fig. 3은 7050, 7075 Al 합금의 중력주조재와 가압재의 edge와 center에서 측정된 응고시간의 bar graph이다.

7075 및 7050 합금의 중력주조재는 낮은 냉각속도를 가지며, 가압력이 증가할수록 냉각속도가 커지는 양상을 보이고 있다. 이는 가압력의 증가에 따른 melt/die의 열접촉의 향상으로 인하여 die로의 열복사가 크게 향상되었기 때문으로 사료된다.

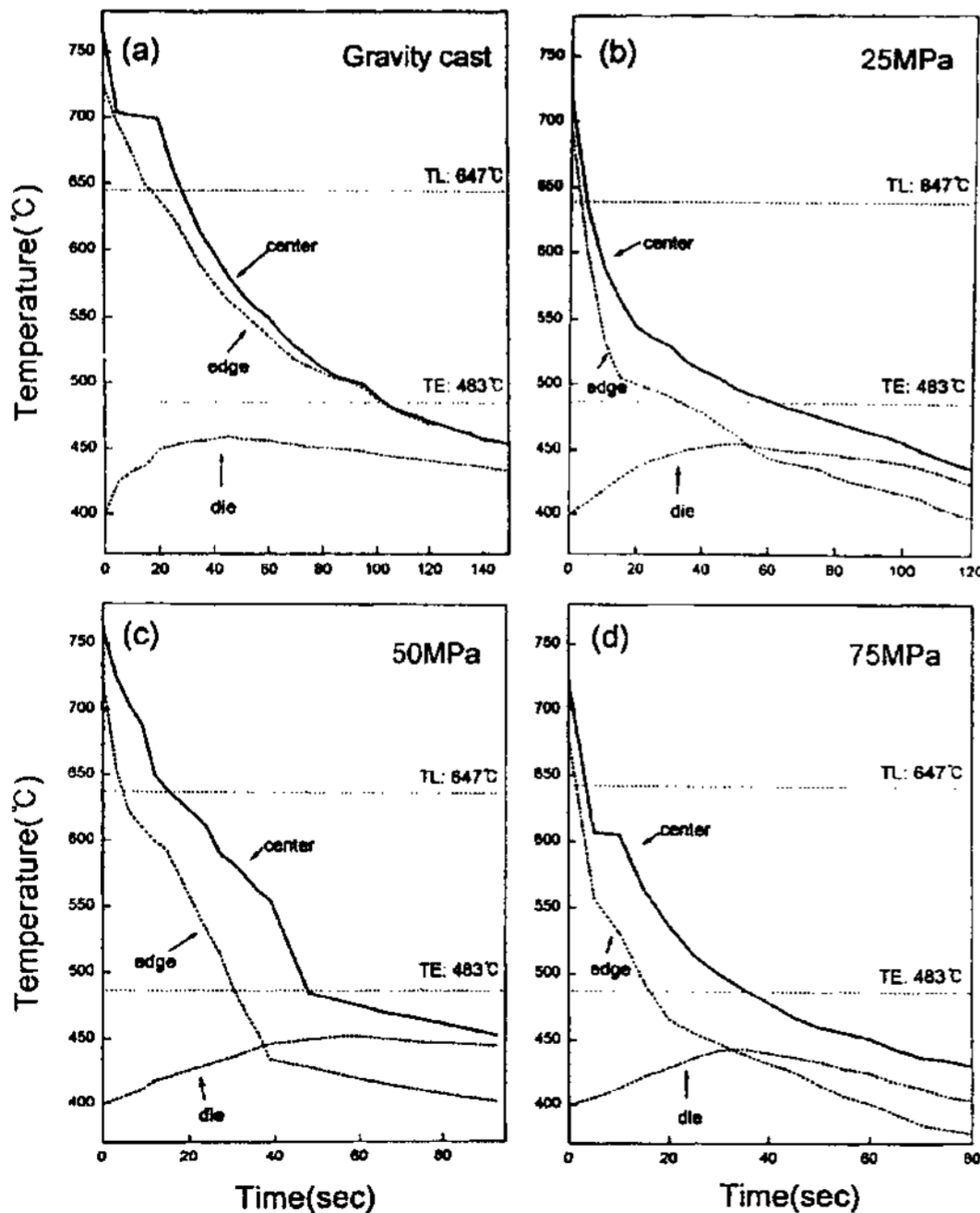


Fig. 2. Cooling curves measured at center, edge and die with various applied pressure (7075 alloy).

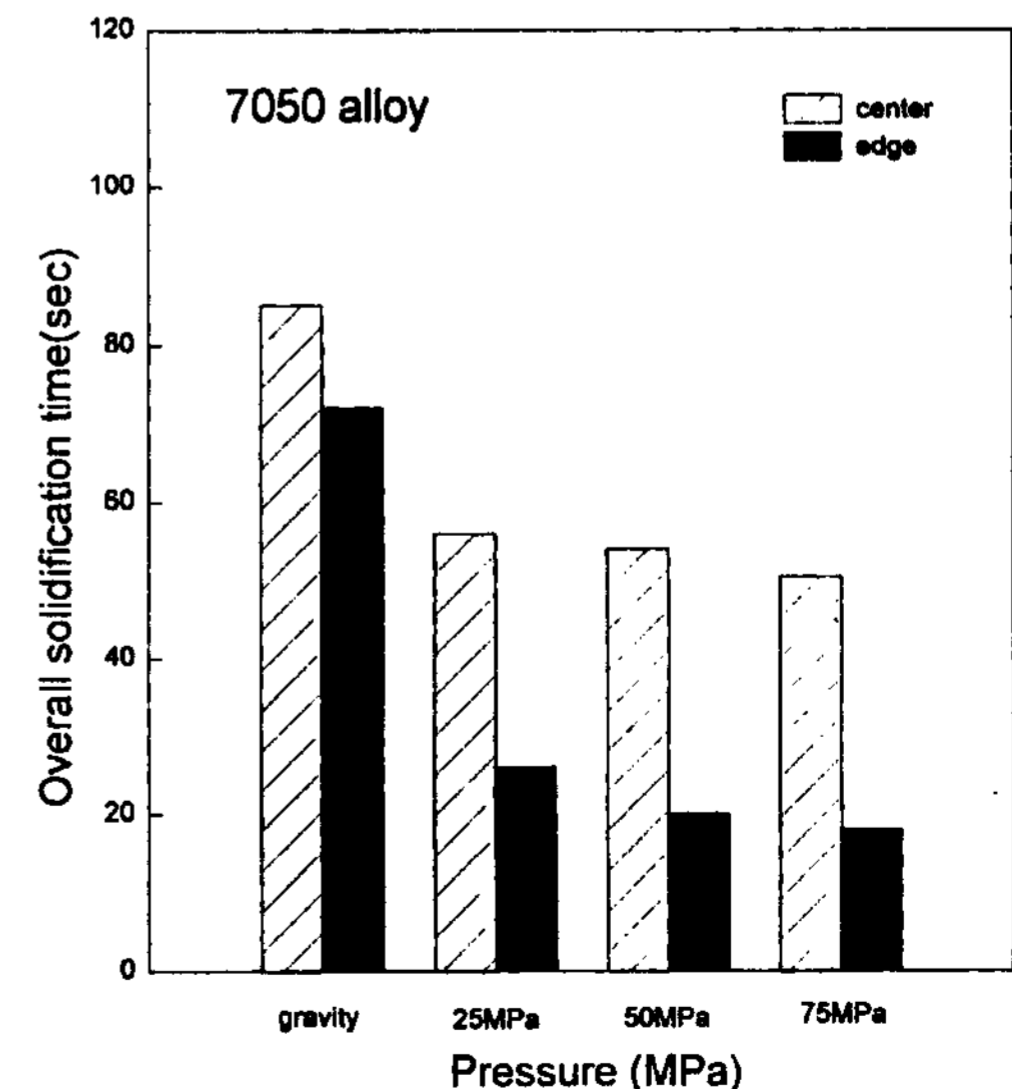
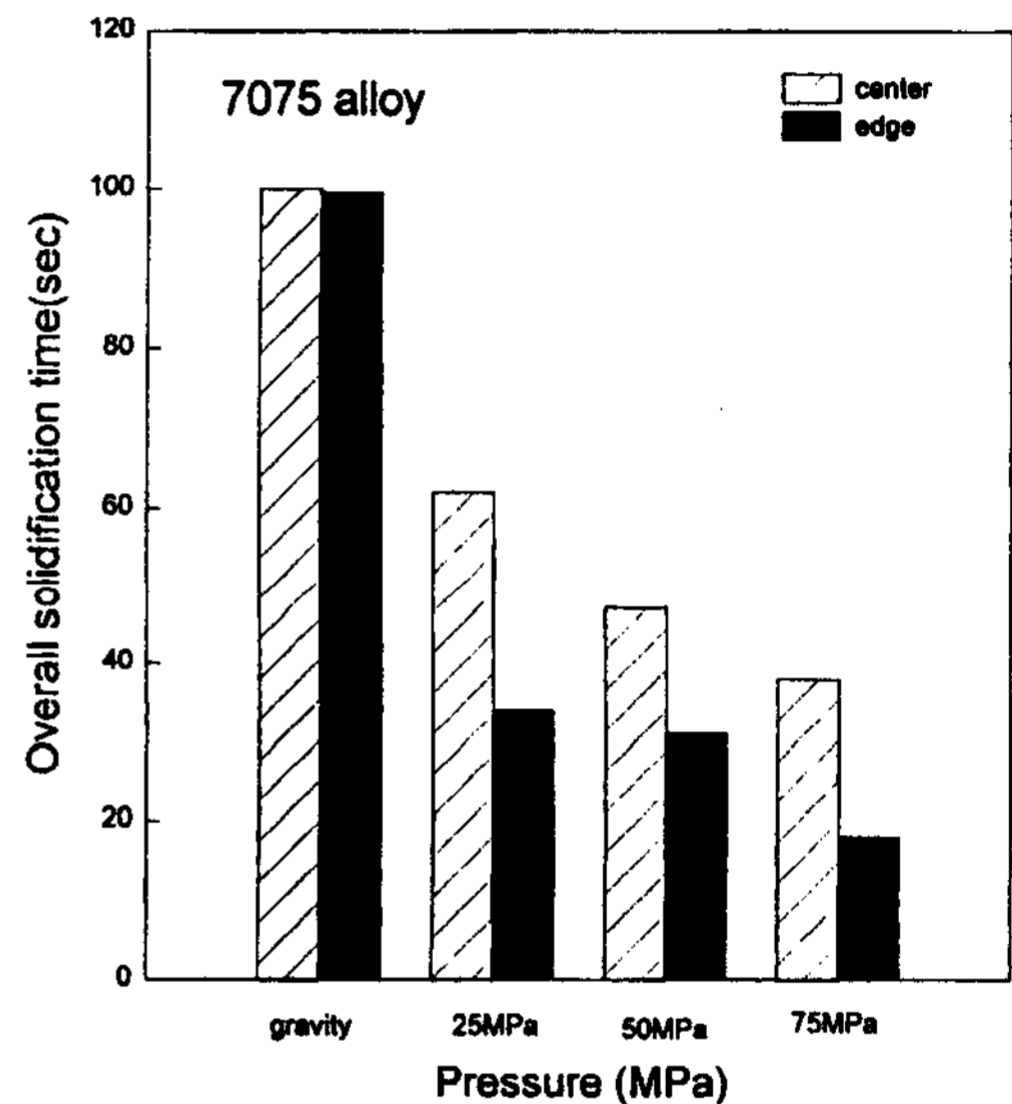


Fig. 3. The graphs of overall solidification time vs. applied pressures in gravity cast and squeeze cast.

### 3.2 조직관찰

Photo 1은 7050 Al 합금의 중력주조 및 가압주조에

의해 제조된 주괴의 조직을 나타낸 macro조직으로 중력주조재는 응고수축으로 인해 상면이 V자형의 수축

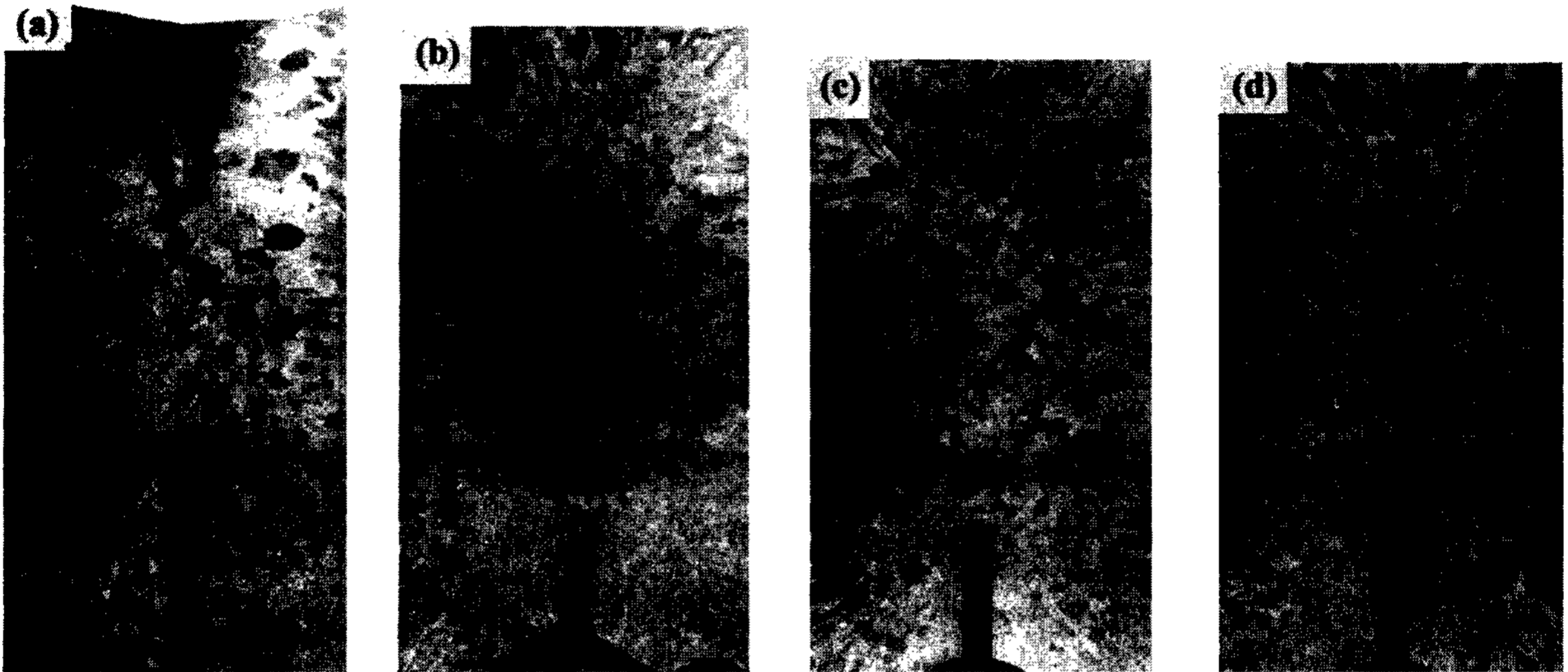


Photo 1. Macrostructures of 7050 Al alloys produced by (a) gravity cast, (b) squeeze cast, 25 MPa (c) squeeze cast, 50 MPa, (d) squeeze cast, 75 MPa.

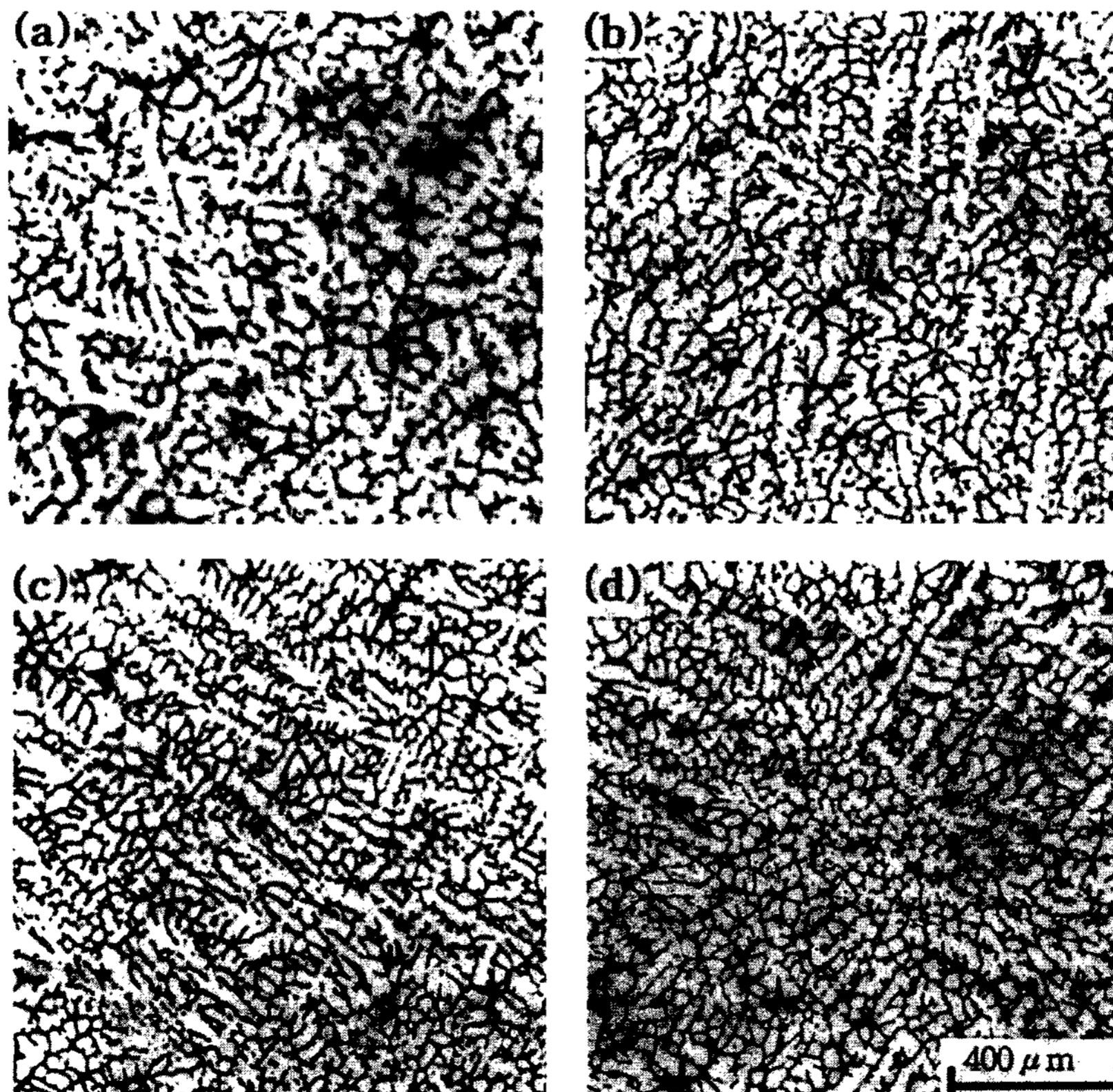


Photo 2. Microsturctures of 7050 Al alloys(centre region of billet) (a) gravity cast, (b) squeeze cast, 25 MPa (c) squeeze cast, 50 MPa, (d) squeeze cast, 75 MPa.

현상이 현저하게 나타났다. 그러나 가압재에서는 V자형의 수축현상은 나타나지 않았다.

중력주조재는 일반적으로 macro조직이 chill晶, 柱狀晶, 等軸晶등으로 구성되나, 7050, 7075 Al 합금의 중력주조 주괴에서는 금형에 가까운 부분에 약간의 柱狀晶의 성장을 나타내는 것외에는 전면 등축정이지만, 가압재에서는 가압력의 증가에 따라 표피부에서 성장한 주상정대의 폭은 커지며, 등축정대는 작아지는 경향을 나타내고 있으며, 또한 가압력이 증가할수록 주상정이 잘 발달하고 있다[3, 9].

Photo 2는 7050 Al 합금의 중력주조 또는 가압하에서 응고시킨 주괴 center의 미세조직(0.5%HF etched)을 나타내고 있다. 7050 Al 합금의 중력주조 주괴내에서는 미세 shrinkage, porosity가 관찰된다. 반면, 가압력하에서는 가압력이 증가함에 따라서 미세기공이 점차 감소하여 75 MPa에서는 미소기공의 주조결함이 거의 없는 건전한 주괴가 얻을 수 있었다. 이것은 가압력의 증가로 기공의 소멸장소인 입계의 증가로 인한 것과 충분한 가압에 의해 미응고 용융체를 수축부 및 기공의 형성위치에 밀어넣음으로써 微少한 기공이 소멸되기 때문이라 생각된다. 따라서 주괴 중심부가 응고할 때 주괴 표피부로부터 발달한 응고층의 수축 및 변형저항에 대해 건전한 주괴를 얻기 위하여 비교적 큰 압력이 필요할 것으로 사료된다. 또한 7050 Al 합금 주괴 중심의 조직이 중력주조재에서는 크고 뭉뚱한 모양의 수지상정이지만, 가압재에서는 가압력의 증가에 따라 수지상정이 미세하고 짧게된다. 이와같이 조직이 미세화되는 이유는 가압에 의한 금형과 주물과의 접촉상태가 좋아져 주물의 냉각속도가 크게 증가하는 점과 가압에 의한 수지상정의 파괴로 인한 핵생성 장소의 증가에 의해 응고조직이 미세화되는 것으로 생각된다[10].

또한 공정상으로 둘러싸인 cell size도 7050합금의 경우 중력주조재는 49  $\mu\text{m}$ 인 것에 반해 가압력이 증가하면서 34  $\mu\text{m}$ 까지 미세화가 이루어지며, 7075합금의 경우는 중력주조재는 48  $\mu\text{m}$ 인 것에 반해 가압력의 증가에 따라 27  $\mu\text{m}$ 까지 감소하였다. 7075합금이 7050합금에 비해 cell size가 더 미세한 이유는 결정립 미세화제인 Ti의 양이 7075합금에 더 많이 첨가되어 있기 때문으로 사료된다.

Fig. 4는 7050 Al 합금의 중력주조재와 가압재의 공정상들의 면적분율(%)를 나타낸 것이다. 7050 Al 합금

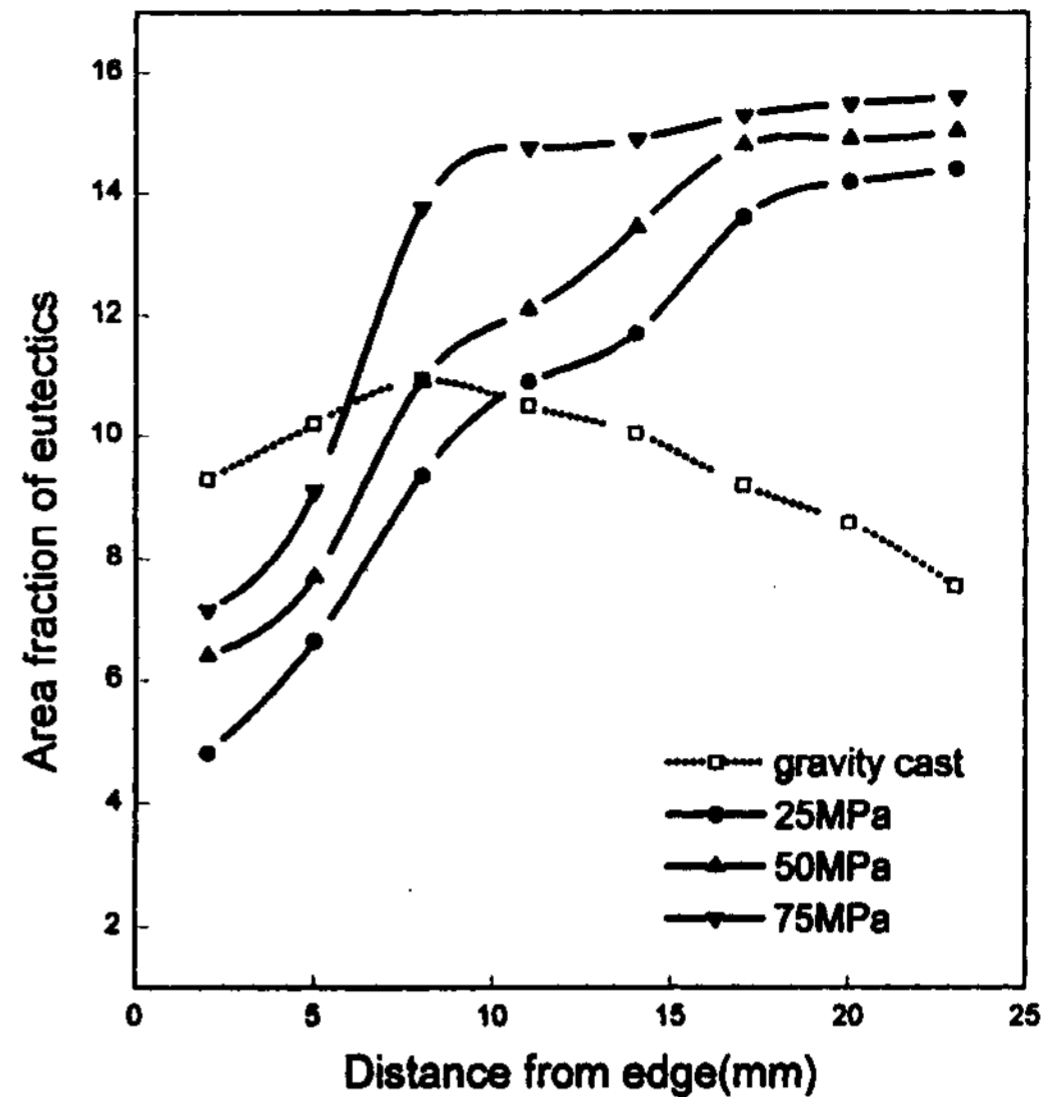


Fig. 4. Area fraction of eutectics vs. distance from the edge for 7050 Al alloy.

의 중력주조재의 경우, edge부터 8 mm까지 공정상분율의 증가 후 주괴의 center을 향해 공정입자의 면적분율이 감소하고 있다. 가압재의 경우, edge부터 주괴의 중심을 향해 공정상의 면적분율이 증가되고 있다.

중력주조재와 가압재의 공정상의 편석에 대한 차이는 중력주조재의 경우 역편석(inverse segregation) 양상으로 나타나 있다. 이는 7050 Al 합금은 고액공존구간이 넓고 분배계수가 극히 작은 합금, 즉 응고범위가 큰 합금이므로 고액 공존층이 두껍게 형성된다. 따라서 수지상정이 성장함에 따라 배출된 용질은 수지상정 사이에 농축된다. 이렇게 농축된 용질이 수지상정 간격(interdendritic spacing)을 통하여 응고성장하는 방향과 반대방향으로 유동하여 응고 바깥부분인 금형부근(edge)에 편석되었기 때문이다.

가압재의 경우는, 공정상의 면적분율이 주괴의 edge에서 중심부쪽으로 증가하는 정상편석(normal segregation) 양상을 나타낸다. 이는 가압에 의하여 높은 온도구배와 빠른 응고속도에 의한 짧은 고액공존상태에 기인한 것으로 용질이 응고계면을 따라 고상측에서 액상측으로 정상적인 유동을 하였기 때문이다. 7075 Al 합금도 7050 Al 합금의 경우와 유사한 경향을 나타내고 있다.

### 3.3 경도

Fig. 5는 7075 Al 합금의 가압재의 edge부터의 거리

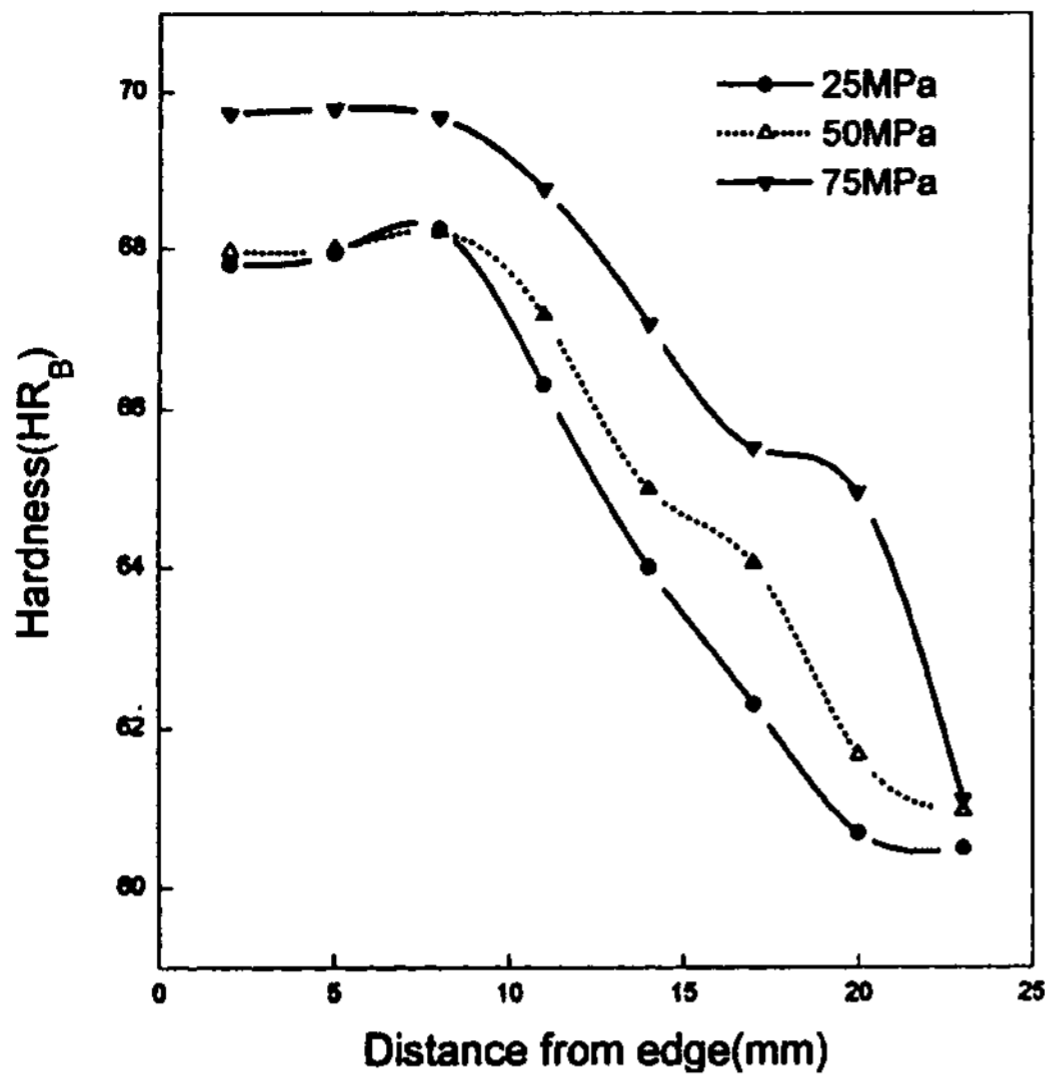


Fig. 5. Hardness vs. distance from the edge for 7075 Al alloy.

에 따른 경도(HRB)변화를 나타낸 것이다.

25 MPa과 50 MPa의 가압재의 경우는 50 MPa의 가압재가 중심부에서 25 MPa보다 약간 높은 경도치를 나타내고 있으나, 75 MPa의 가압재의 경우는 25 MPa과 50 MPa의 가압재보다 경도가 상당히 증가했음을 보여주고 있다. 이는 가압력의 증가에 따른 큰 온도구배에 의한 결정립의 미세화와 기지내에 균질하게 고용되어 있는 용질원자의 증가로 인하여 경도가 증가때문으로 생각된다.

7050 Al 합금도 7075 Al 합금의 경우와 유사한 경향을 나타내나, 용질원자 Cu, Zn의 함량에 의해 7075합금보다 약간 높은 경도치를 나타낸다.

### 3.4 EDX 분석

Fig. 6은 7050 Al 합금의 중력주조재와 가압재의 공정상중의 용질원소의 Al에 대한 분율을 나타낸 것이다.

공정상중의 용질원소는 가압력이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 Mg과 Cu용질에 비해 Zn용질의 증가가 현저한 것을 알 수 있다. 또한 center와 edge부를 비교하면 center쪽의 용질원소량이 높게 나타났는데, 이는 냉각속도에 의한 차이에 의해서 냉각속도가 큰 edge쪽보다 냉각속도가 느린 center에서 용질원소가 충분히 확산하여 공정상에 고용되었기 때문으로 생각된다.

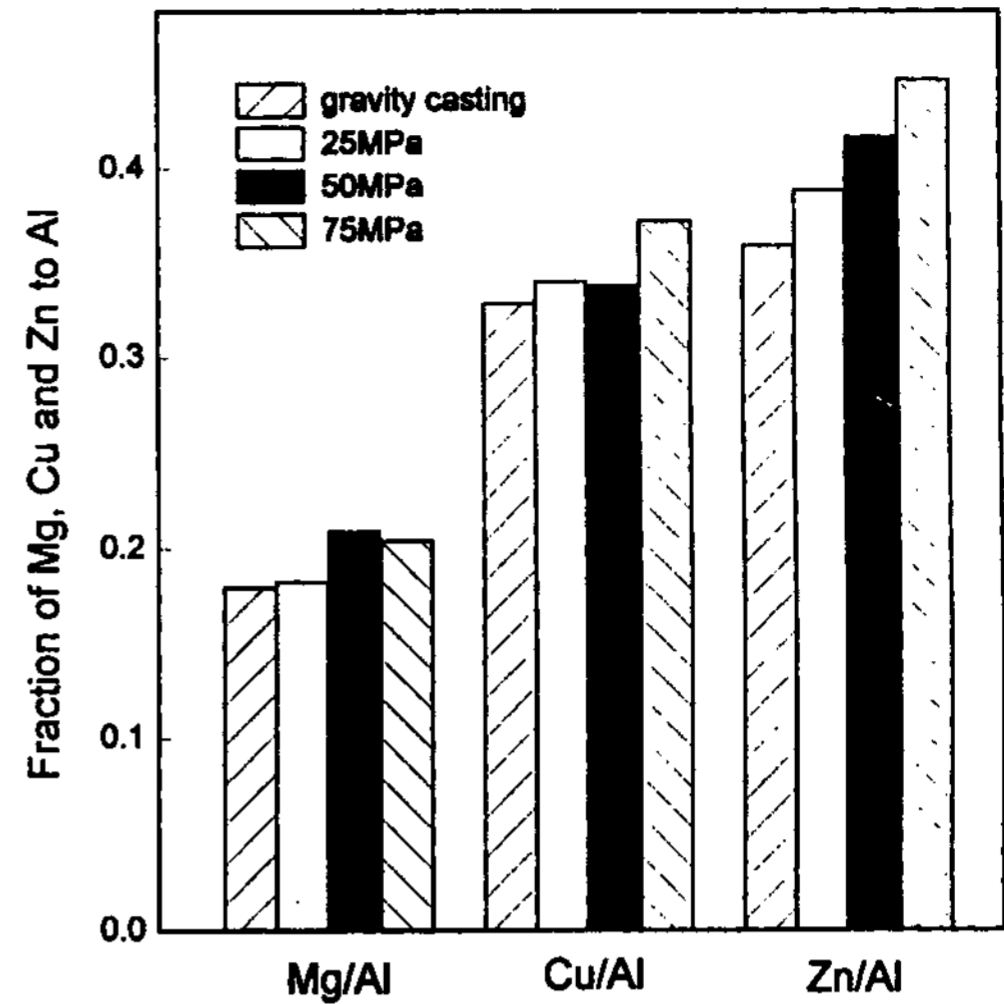


Fig. 6. Fraction of Mg/Al, Cu/Al and Zn/Al in 7050 gravity cast and 25, 50, 75 MPa squeeze casts (center region of each billets).

7075 Al 합금도 7050 Al 합금과 유사한 경향을 나타내고 있다. 따라서 직접가압주조에 의해서 7000계 Al합금의 주조시 발생하는 Zn의 증발(Zn evaporation)을 억제할 수 있어 재료의 성능 향상을 기대할 수 있다고 생각된다.

## 4. 결 론

7050, 7075 Al 합금을 중력주조와 직접가압주조 방법으로 25 MPa, 50 MPa, 75 MPa의 가압력하에서 응고시킨 경우 이들 제조방법에 따른 미세조직의 거동을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 직접가압법을 이용하여 가압력의 증가에 따라 주조결함이 감소되었으며 75 MPa가압재의 경우 중력주조재에서 관찰된 미세수축공(micro-shrinkage cavity), 미세기공(micro-porosity) 등의 주조결함이 제거되었으며, 조직이 더욱 미세하였고 cell size도 감소되었다.
2. 응고과정중 큰 온도구배와 응고시간의 감소에 기인하여 가압재는 주괴의 center를 향해 합금성분의 정상적인 편석 양상을 나타내고, 반면 중력주조재는 주괴의 edge부근을 향해 역편석 양상을 나타내었다.
3. 공정상중의 용질원소는 가압력이 증가할수록 증가하는 경향을 나타낸다. 특히 가압력의 증가에 의한 Zn용질의 증가가 현저하였다.

## 후 기

본 연구는 1997년 급속응고신소재연구소(RASOM)의 연구비지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Nomoto, H. Tokisne, K. Kato and K. Aoki : 경금속, 29 (1979) 70.
- [2] S. W. Kim and S. W. Han and K. D. Woo : J. of Korean Inst. of Met.& Mater. 34 (1996) 75.
- [3] G. A. Chadwick and T. M. Yue : Casting Technology, Jan. (1989) 6.
- [4] Y. Nishida and H. Matsubara : Z. Metallk., 71 (1980) 189.
- [5] G. A. Chadwick : "The Squeeze Casting of Light Alloys and Composite", MRS (1985) 213.
- [6] D. A. Poter and K. E. Easterling : "Phase Transformation in Metals and Alloy" (1981) 9.
- [7] Y. Nishida and H. Matsubara : British. Found., 69 (1976) 274.
- [8] 馬場 義雄 : 輕金屬, 39 (1989) 378.
- [9] N. Fujii, S. Okada, S. Morimoto and M. Fujii : 輕金屬, 33 (1983) 392.
- [10] S. Oya, A. Kamio and Y. Matsubara : Report Casting Research Lab., Waseda Univ., Tokoyo. 22 (1971) 19.