

技術資料

# Al합금 용탕 중 가스량 측정법

김기영, 이민수

## Determination of Gas Content in Aluminium Alloy Melt

K. Y. Kim and M. S. Lee

### 1. 개요

Al합금은 그림 1에서와 같이 제조공법에 따라서 제품 중 가스함유량이 변화하며[1], 이러한 가스함유량은 제품의 품질에 매우 큰 영향을 미치므로 이의 관리가 매우 중요하다. 이 글에서는 현장관리를 위하여 필수불가결한 Al합금 중 가스량 측정법의 개요와 그 중에서도 노전사용이 용이한 용탕 중 가스량 측정법에 대하여 소개하고자 한다.

### 2. 가스량 측정법

Al합금 중 가스량 측정법은 직접 내부가스 함유량을 측정하는 방법과 육안관찰, 비중측정 등 간접적인 방법의 두 가지가 있다. 직접 측정에는 Al합금 용탕 중의 가스량 측정법과 응고 후 주물 중의 가스량을 측정하는 방법이 있다. 간접적인 방법에는 비중의 측정, 표면가공 후 육안 관찰, 방사선투과 검사, 블리스터 테스트 등이 있다. 표 1에 Al합금 용탕 중 가스량 측정법을[2,6],

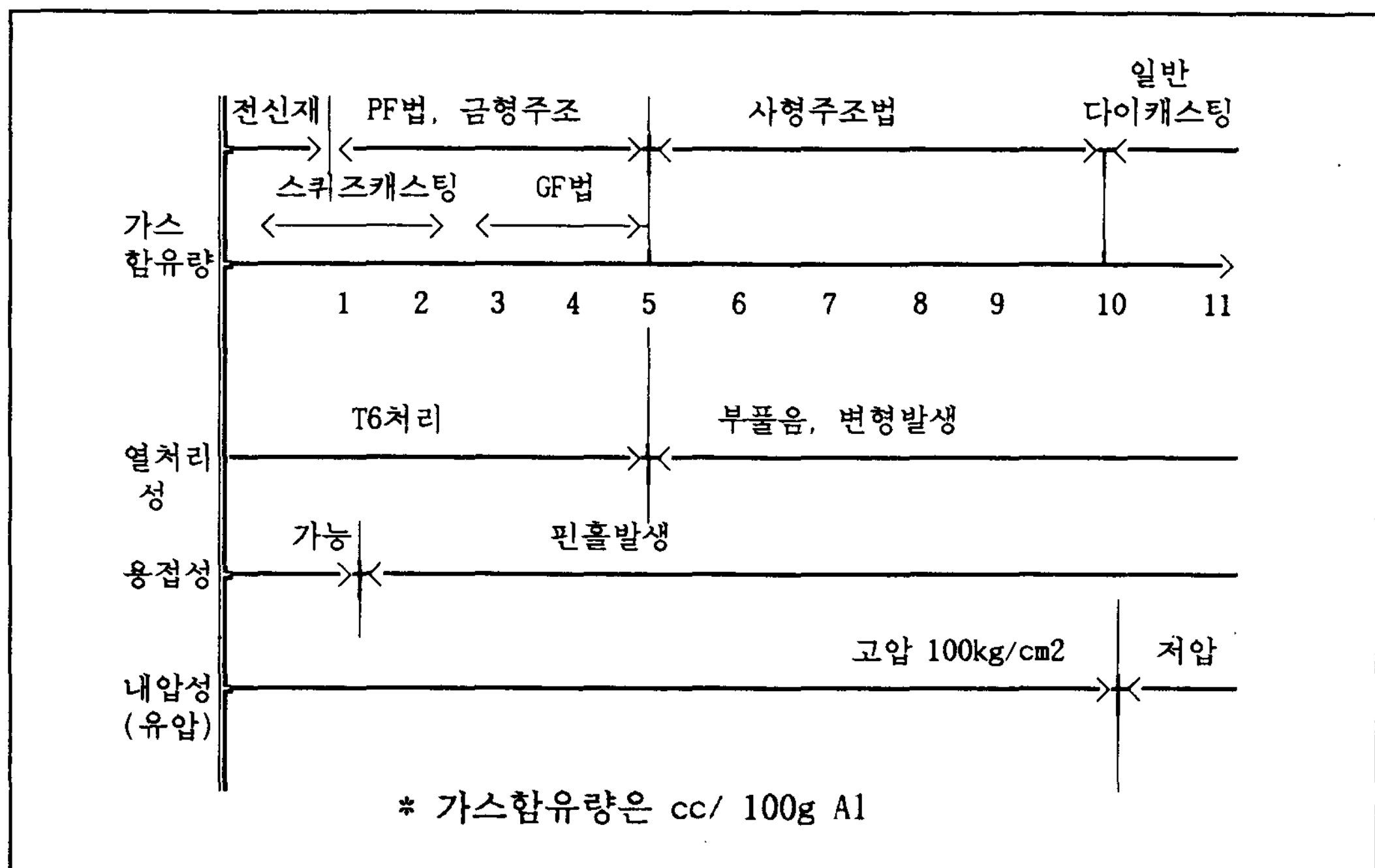


그림 1. 공법별 가스 함유량과 특성

생산기술연구원 주조기술연구실

표 1. Al합금 용탕중 가스량 측정법

방 법	개 요	특 징
이 니 설 버 블 법	시료를 작은 철제 도가니에 넣고 전기 가열, 보온용기 중에 넣어 진공감압한다. 감압중시료의 표면에 최초로 기포가 발생할 때의 압력과 시료의 온도로 부터 가스량을 산출한다.	약 3분 안에 측정가능. 합금의 종류, 개재물의 양에 따라 측정치의 변동. 노전검사용
감 압 응 고 법	철제 도가니 약 100g의 시료를 채취감압용기에 넣고 진공펌프로 감압응고시킨다. 응고중 기포상황의 관찰, 표준시료와의 비중비교, 시료단면 기포분포 및 크기로 부터 가스량측정	측정시간 : 10~20분 측정정도 : 0.3cc/100g
진 동 감 응 고 압 법	감압응고법의 정도향상을 위하여 다음을 개량. 정해진 압력에 감압하는 시간의 단축 도가니의 가열에 의한 응고시간의 연장 기포의 발생을 조장하기 위한 진동 결과의 판정은 감압응고법과 동일	측정정도 : 0.1cc/100g 측정시간 : 15~20분
Telegas 법	소량의 질소가스를 용탕 중에 주입, 순환시켜서, 수소가스를 질소가스 중에 확산시킨다. 평형상태로 되었을 때 Gas Chromatograph로 가스를 분석	측정시간이 짧다(약 5분) 분석정도 양호 노전검사용
CHAPEL 법	다공질의 Graphite Disc를 이용 용탕중 수소분압을 측정하여 가스량으로 환산 경우에 따라서는 수소가스를 주입하여 측정시간을 단축	연속 장시간 측정가능. 분석정도 양호. 노전검사용.

표 2. Al합금 주물중 가스량 측정법

방 법	개 요	특 징
진 공 용 응 추 출 법	고체시료의 표면을 기계가공, 용제로 세정한 후 진공중에서 용융시키면서 가스량 측정	분석정도 양호. Mg, Zn의 영향받음. 연구실용
진 공 고 체 가 열 추 출 법	진공용융추출법에서 마그네슘, 아연의 영향을 받으므로 시료를 고체상태에서 수소가스를 추출, 분석한다.	분석시간이 길다. 분석정도 양호.
불 활 성 가 스 캐 리 어 추 출 법	시료의 처리방법은 진공용융추출법과 동일하나 질소가스를 흘리면서 분석.	분석시간이 짧다.(약15분) 증발성분인 Mg, Zn의 영향 없음

표 2에 Al합금 주물중 가스량 측정법을 나타낸다.

### 3. Al용량 중의 수소 용해도

대기중에 존재하는 O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>등의 가스 중, H<sub>2</sub>는 알루미늄 합금에 대하여 높은 용해도를 갖고 있기 때문에 용해시 주물내에 다량 함유되어 있다. 응고시 알루미늄 합금에서의 수소 용해도가 급격히 감소함에 따라(그림 2) 가스가 주물중에 그대로 갇히게 되어 기포결함으로 나타나게

된다[7]. 이러한 결함은 주물의 기계적 성질, 내식성과 크랙(crack)의 전파등에 악영향을 미친다.

그림 2는 P<sub>H<sub>2</sub></sub>=1atm일 때, 온도에 따른 Al에 대한 수소 용해도를 나타낸다.

수소의 용해도는 Al의 융점인 660°C에서 Al이 액상으로 존재하면 0.65cc/100gAl이나, 고상으로 존재할 경우엔 0.034cc/100gAl로 급격히 낮아져서 고·액 공존구간에서 과포화된 H<sub>2</sub>가스가 방출되어 기포의 형태로 나타난다.

수소의 주 발생원인은 수증기로, 수증기의 유

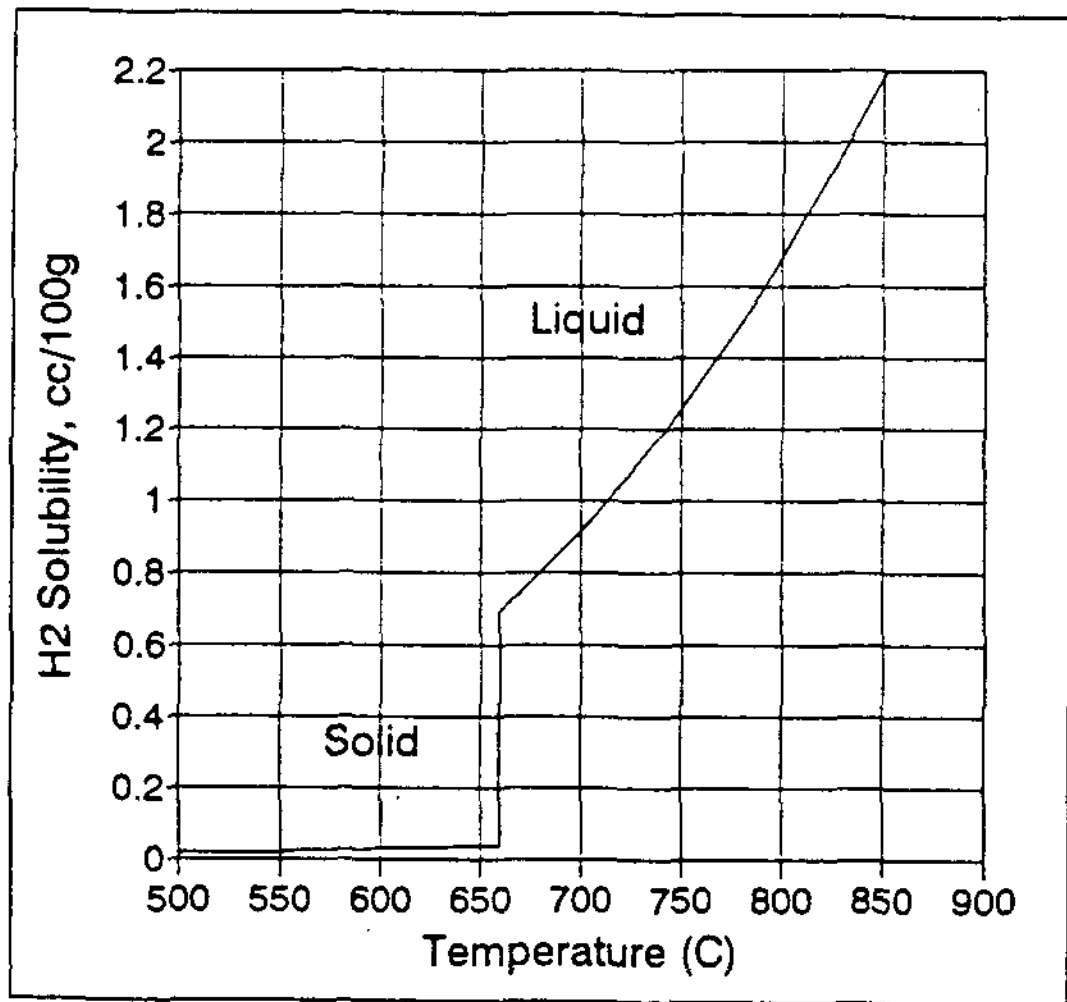
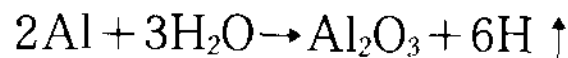


그림 2. 알루미늄의 수소 용해도(수소분압=1기압)

입처는 각종 용해용 기구, 장입재, 내화재, 도가니, 공기중의 수분 등이며, 여기에 포함되어 있던 수증기가 용해주입, 접종 등의 과정에서 용탕내로 유입된다. 이들 H<sub>2</sub>O는 용융된 Al과 다음과 같이 반응하여 Al 용탕 표면에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>피막을 형성하고, 이때 생성된 수소는 원자상태로 산화막속을 확산하여 용탕속에 용해된다.



Al용탕 중의 수소 용해도(S)는 분위기 중의 수소분압(P<sub>H<sub>2</sub></sub>)의 평방근에 비례하고 다음 식과 같이 용탕의 온도(T)의 함수로 표시된다.

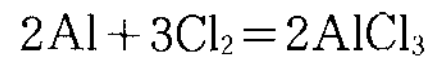
$$\log S = A - B/T + (1/2)\log P_{H_2}$$

여기서 A 및 B는 Al합금의 조성에 따라서 달라지는 상수이며, T는 절대온도, P<sub>H<sub>2</sub></sub>는 Torr이다. 따라서 A, T가 증가하고 B가 감소할수록 수소 용해도(S)는 증가한다. 표 3에 Al 및 Al-Cu계, Al-Si계, Al-Mg계에 대한 A와 B의 값을 나타내었다.

표 3에서 보는 바와 같이 수소의 용해도는 합금원소 중에서 Cu, Si의 함량이 증가하면 감소하고, Mg을 첨가하면 현저하게 증가함을 알 수 있다. Al합금에서는 Cu, Si 이외에 Zn, Mn등이 수소 용해도 감소원소로, Mg, Ti, Ni, Li 등은 수소 용해도를 증가시키는 원소로 알려져 있다.

탈가스의 원리는 수소분압이 낮은 분위기를 만

들어서 용탕의 수소가 밖으로 확산되어 나오게 하는 것으로 진공탈가스, 질소·아르곤처리, 부분 응고, 염소가스 처리등이 있으나 이중 가장 널리 쓰이는 방법은 염소가스처리이다.



이중 AlCl<sub>3</sub>는 알루미늄 용융온도에서 기체상태로 존재하고 용탕내를 상승하면서 수소를 포집해 나간다. 충분한 탈가스를 위해 필요한 염소가스의 양은 용탕무게의 약 0.6%이고 이 처리를 할 때 알루미늄의 손실량은 약 0.15%이다.

표 3. 합금에 따른 A, B값

합 금	A	B	S(700°C)
Al(고체)	-0.652	2080	
Al(액체)	1.356	2760	0.91
Al-2%Cu(액체)	2.900	2950	20.35
Al-4%Cu(액체)	2.940	3050	17.61
Al-4%Si(액체)	2.910	2950	20.82
Al-8%Si(액체)	2.950	3050	18.02
Al-16%Si(액체)	3.000	3150	15.96
Al-2%Mg(액체)	1.469	2720	1.30
Al-4.5%Mg(액체)	1.542	2655	1.79

#### 4. 감압응고방법 및 장치

용기에 약 100g의 시료를 채취, 감압용기에 넣고 진공펌프로 감압응고시키면서 응고중 기포상황의 관찰, 표준시료와의 비중 비교, 시료단면 기포분포 및 크기로부터 가스량을 측정하는 방법이다[8].

감압응고시험법은 이미 오래 전부터 현장에서 이용되는 온 방법으로 예전의 방식은 시료채취 주형으로 셀주형을 사용하여 1회밖에 사용할 수 없었으며 주형조작이 번거로운 단점이 있었다. 그러나 근래에는 반복사용이 가능하도록 시료채취주형을 스테인리스강제 컵으로 대체하였고 측정장치도 사용이 편리하도록 개발되었다. 측정원리는 모두 같으나 현재 몇가지 형태의 장치가 이용되고 있으며 국내 알루미늄 휠 생산업체등에서 사용되고 있다. 그림 3에 여러 형태의 측정장치를 나타내었다. (a)는 예전에 셀주형을 사용하던 장치로서 신속한 감압을 위하여 두개의 챔버를

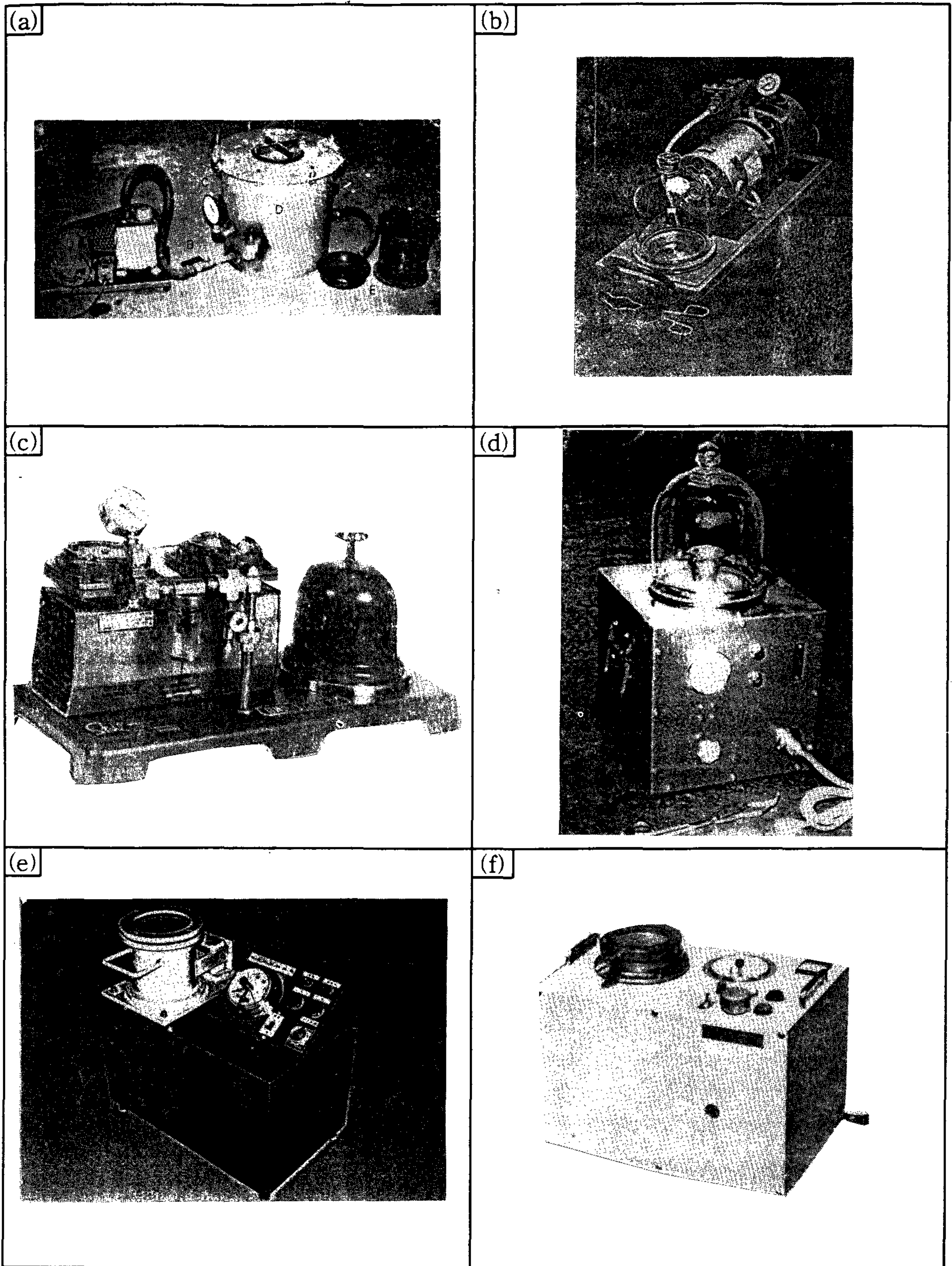


그림 3. 측정장치의 종류

이용한 측정장치이고 (b), (c), (d)는 응고상황의 관찰이 용이하도록 종모양의 유리를 챔버로 사용한 장치이다. 또한 (e), (f)는 내구성 향상과 관찰이 용이하도록 상부에 유리창이 부착된 부속제 챔버를 이용한 장치로, 내구성이 있으면서 사용이 편리한 형태로 개발, 제작되는 추세이다. 그림 4에 시료의 여러가지 형상을 나타낸다. 감압응고장치의 조작순서(그림 5 참조)는 일반적으로 다음과 같다[9].

- ① 진공게이지를 일정압력으로 설정한다.
- ② 용탕을 채취하여 시료챔버에 넣는다.
- ③ 유리창을 통하여 응고상황을 관찰한다.
- ④ 뚜껑을 열고 시료를 꺼낸다.
- ⑤ 시료의 비중을 측정한다.
- ⑥ 또는 절단하여 절단면을 표준시료와 비교한다.
- ⑦ 가스량을 결정한다.

그림 6은 진공도에 따른 시편의 단면형상을 나타낸다. 진공도가 너무 크면 가스가 시료로부터 빠져나가는 양이 많고 너무 작으면 기포의 확

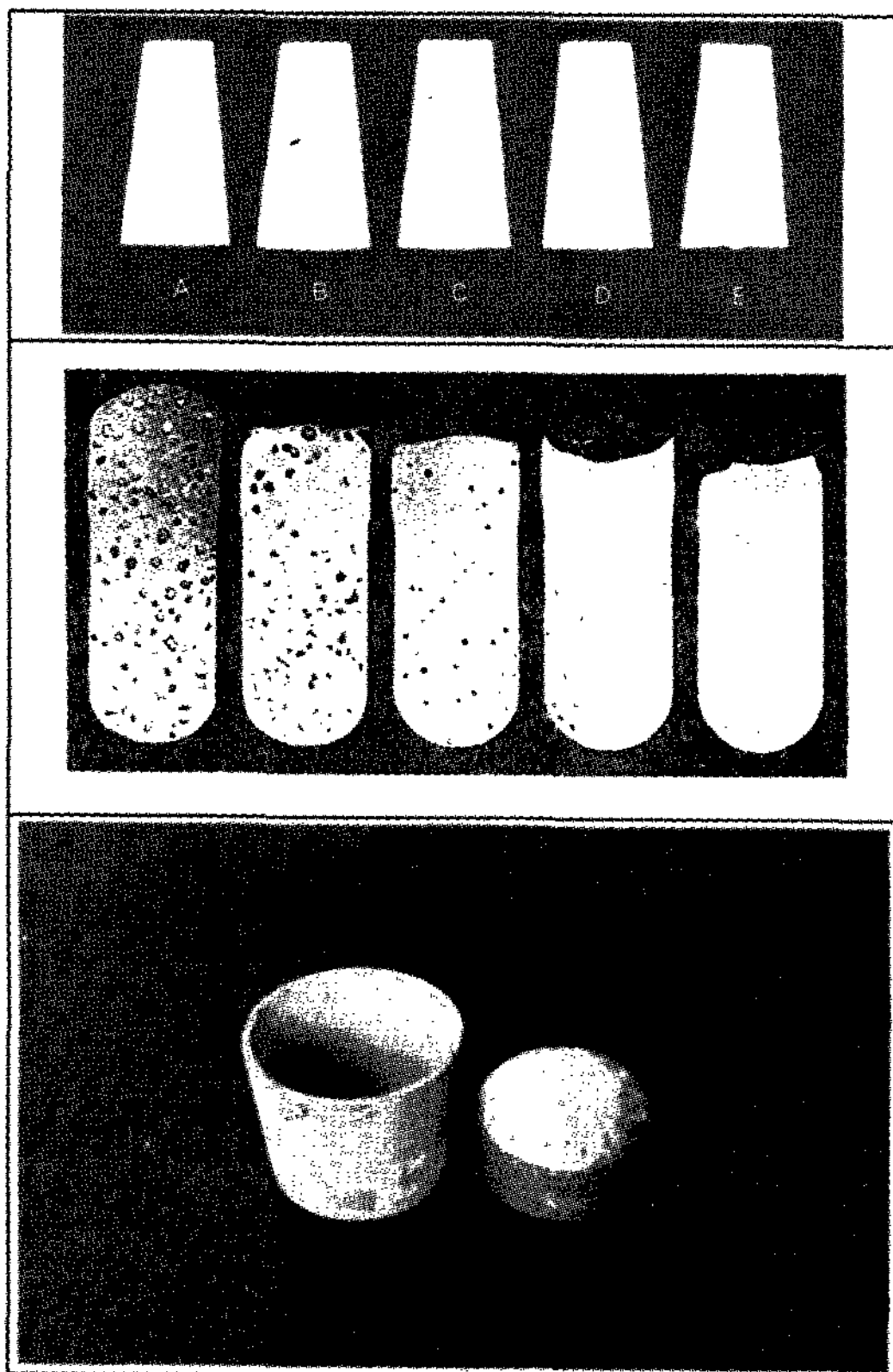


그림 4. 시료의 여러가지 형상

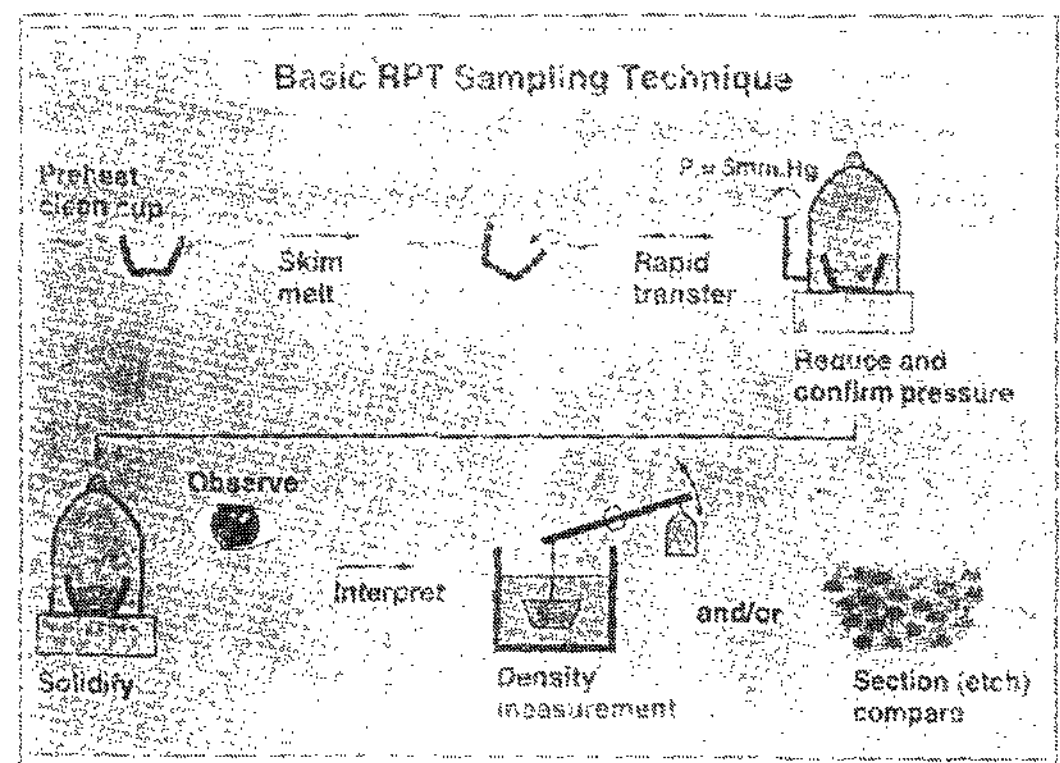


그림 5. 감압응고장치의 조작순서

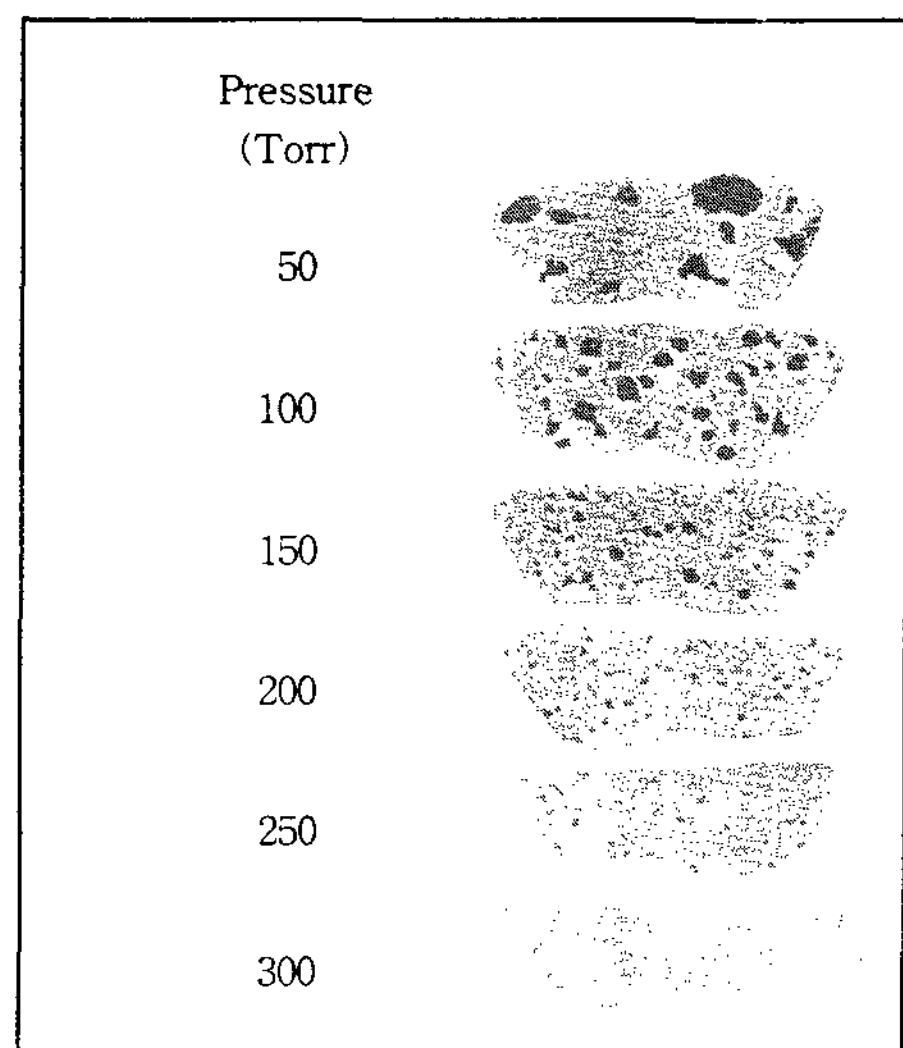


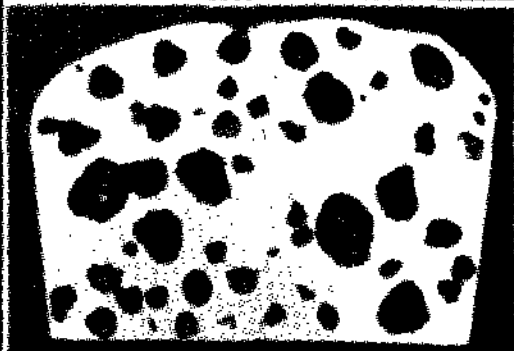

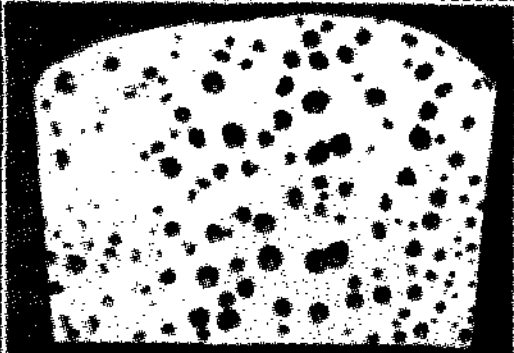

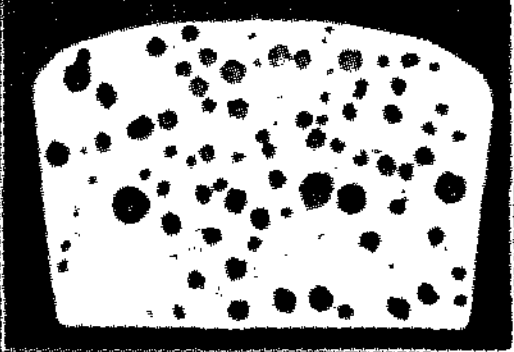


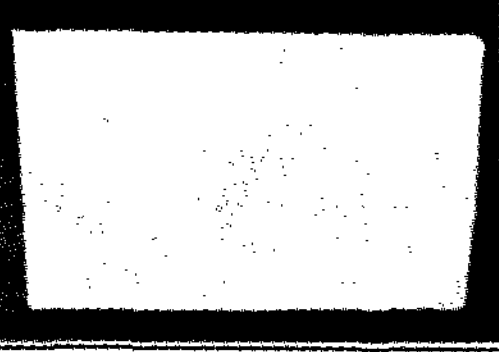
그림 6. 진공도에 따른 시편의 단면형상

대가 곤란해지는데 40~50Torr가 가장 좋은 조건으로 알려져 있다[10].

일례로 용탕주입후 시료챔버내의 압력이 40 Torr에 도달하는데 소요되는 시간은 3~4초 정도이며 응고가 완전히 완료될 때까지는 약 4분 정도의 시간이 소요된다. 가스량은 다음 5절의 식들을 이용하여 결정할 수 있으며, 표준시편과 비교에 의해서도 신속히 노전에서 가스량을 알 수 있다. 이의 일례를 그림 7에 나타낸다. 표준시편 밑의 숫자는 각각 비중과 5절의 방법으로 계산한 가스량을 나타낸다. 따라서 이 표준시편 사진을 이용하면 별도의 계산없이 간단한 과정으로도[시료채취(감압응고장치 이용)→절단→#100



사포로 연마] 쉽게 비중과 가스량을 추정할 수 있다.

	
1.932 (0.259)	2.452 (0.082)
	
2.172 (0.168)	2.569 (0.052)
	
2.232 (0.148)	2.611 (0.041)
	
2.292 (0.129)	2.698 (0.023)

※ 단위 : 비중, 가스량(cc/100gAl)  
 도달진공도 : 40Torr  
 재질 : AC2B(ASTM 319.0,  
 Al-6%Si-3.5%Cu)

그림 7. 감압 응고시험에 의한 표준시료

### 5. 가스량 계산법

모든 기체가 이상기체 거동을 한다고 가정하면, 감압하에서 응고하는 시점에서의 기체 방정식은 다음과 같다.  $T_v = T_m$ (응고온도)이며, 아래첨자 v는 진공을 나타낸다.

$$P_v V_v = n_v R T_v \dots\dots\dots(1)$$

STP(0°C, 1기압)상태에서의 기체방정식은 다

음과 같다. 여기서 아래첨자 s는 표준상태를 나타낸다.

$$P_s V_s = n_s R T_s \dots\dots\dots(2)$$

전체 몰수는 변함없다고 가정하고( $n_v = n_s$ ), (1), (2)식을 보일-샤를의 법칙에 적용하면 다음과 같다.

$$\frac{P_v V_v}{T_m} = \frac{P_s V_s}{T_s} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 우리가 구하고자 하는 것은 STP상태에서의 가스량 즉, 가스가 나타내는 체적  $V_s$ 이므로,  $V_s$ 에 대해 정리하면

$$V_s = \frac{P_v}{P_s} \cdot \frac{T_s}{T_m} \cdot V_v \dots\dots\dots(4)$$

여기서  $V_v$ 는 실제 측정한 비중값으로부터 구할 수 있다.

$$\text{밀도 } d = \frac{\text{무게}}{\text{부피}}$$

$$\therefore \frac{1}{d} = \frac{\text{부피}}{\text{무게}} = \frac{\text{부피(금속)} + \text{부피(가스)}}{\text{무게(금속)} + \text{무게(가스)}}$$

가스의 무게는 무시할 정도로 작으므로

$$\therefore \frac{1}{d} = \frac{\text{부피(금속)}}{\text{무게(금속)}} + \frac{\text{부피(가스)}}{\text{무게(금속)}}$$

$$\therefore \frac{1}{d} = \frac{1}{d_0} + \frac{\text{부피(가스)}}{\text{무게(금속)}}$$

따라서 금속 100g당 가스량은

$$100 \cdot \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{d_0} \right) \text{로 나타낼 수 있다.}$$

$d$  : 측정된 시편의 밀도, g/cm<sup>3</sup>

$d_0$  : 가스가 없는 시편의 밀도, g/cm<sup>3</sup>

(AC2B : 2.796, AC4C : 2.658)

밀도 d는 알키메데스의 원리에 의해

$$d = \frac{W_a}{W_a - W_w} \text{로 측정할 수 있다.}$$

$W_a$  : 대기중에서의 시편의 무게, g

$W_w$  : 증류수 중에서의 시편의 무게, g

이를 식 (4)에 대입하면

$$V_s = \frac{P_v}{760} \times \frac{273}{273 + T_m} \times 100 \cdot \left( \frac{1}{d} - \frac{1}{d_0} \right) \dots\dots(5)$$

위 식에서 금속 100g당 가스량을 얻을 수 있다[11].

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] 日本鑄物協會：鑄物便覽, 4版
- [ 2 ] アルミニウム合金の-クリーン・メルティング技術の開発研究報告書(Ⅱ)：綜合鑄物センター-, 研究調査報告 275, 昭和 56年 5月
- [ 3 ] X. G. Chen and S. Engler : Cast Metals, 6 (2) (1993) 99~108.
- [ 4 ] D. A. Hilton : International Molten Aluminum Processing, Feb. 17-18 (1986) 381~394.
- [ 5 ] D. A. Granger : ibid 417~431.
- [ 6 ] J. C. Miller : ibid, 433~448.
- [ 7 ] Merton Flemings : Solidification Processing, 1974.
- [ 8 ] AFS : Aluminum Casting Technology 2nd Edition, (1993) 20~26.
- [ 9 ] W. Rasmussen and C. Edward Eckerd : Modern Casting, March (1992) 29~31.
- [ 10 ] S. K. DeWeese, R. Atkinson and W. Rasmussen : Modern Casting, April (1992) 29~31.
- [ 11 ] H. Rosenthal and S. Lipson : Trans AFS, (1955) 301~305.