

技術資料

황동의 저압주조기술

김상덕

Low Pressure Die Casting of Brass

S. D. Kim

1. 개요

1.1 저압주조기술의 발전배경

1.1.1 알루미늄합금의 저압주조

저압주조(Low pressure die casting)기술이 중요한 주조기술로 대두되게 된 것은 대략 20여년 전부터이다. 그러나 초기 개발의 역사는 1세기 전으로 1860년대에 처음으로 용융 알루미늄을 폐쇄된 용기 내에 공기압을 가하여 금형으로 이동시키는 방법이 고안되었다. 이 당시에는 정교한 공기제어장치가 없는 단순한 구조였다. 그로부터 1세기가 지나는 동안 관련 기계분야와 관련 산업분야의 발전에 따라 오늘과 같은 편리한 저압주조기가 개발되었다. 그러나 현재에도 본 저압주조기술은 대부분 알루미늄합금 주조에 적용되고 있다.

1.1.2 황동의 저압주조

세계적으로 위생도기용 수전금구(sanitary fittings)제조용 원재료로 황동을 사용하는 곳은 유럽지역과 미주지역으로 우리나라도 한국공업규격 KS-D-6001에 의거 황동주물 3종(BsC-3)으로 수전금구를 생산하고 있다.

그러나 유럽지역에서는 일찍부터 본 수전금구를 황동의 중력식 금형주조(gravity die casting)

기술을 개발 적용하여 오다가 수전금구가 요구하는 보다 우수한 품질특성 즉 제품의 내압성, 미려한 제품표면, 패션적 감각 및 양산성을 해결하기 위하여 수전금구업계 내에서 자생적으로 저압주조기술을 개발하게 되었다.

유럽에서 황동 저압주조의 개발과정은 다음의 표 1과 같다.

국내의 수전금구업계에서는 80년대 중반에 중력식 금형주조가 시작되면서 1989년에 대림통상(주)를 위시하여 로얄동도금속(주)에서 KWC사의 저압주조기를 도입하면서 황동의 저압주조가 시작되었고, 현재 큰 성과를 보이면서 가동 중에 있다.

2. 저압주조기의 구조

2.1 황동용 저압주조기

황동용 저압주조기 unit 및 구조도는 그림 1-2와 같다.

2.2 알루미늄용 저압주조기

알루미늄용 저압주조기 unit 및 구조도는 그림 3-4와 같다.

표 1. 유럽의 황동용 저압주조기 개발년대 비교

| KWC社(스위스) | IMR社(이탈리아) |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. 1887년 수전금구 생산(사형주조) | 1. 1976년 저압주조용 노를 개발 상품화 |
| 2. 1953년 중력식 금형주조로 전환 | 2. 1982년 저압주조기 상품화 |
| 3. 1976년 저압주조기 특허획득(자체개발) | |
| 4. 1980년 저압주조기 상품화 | |

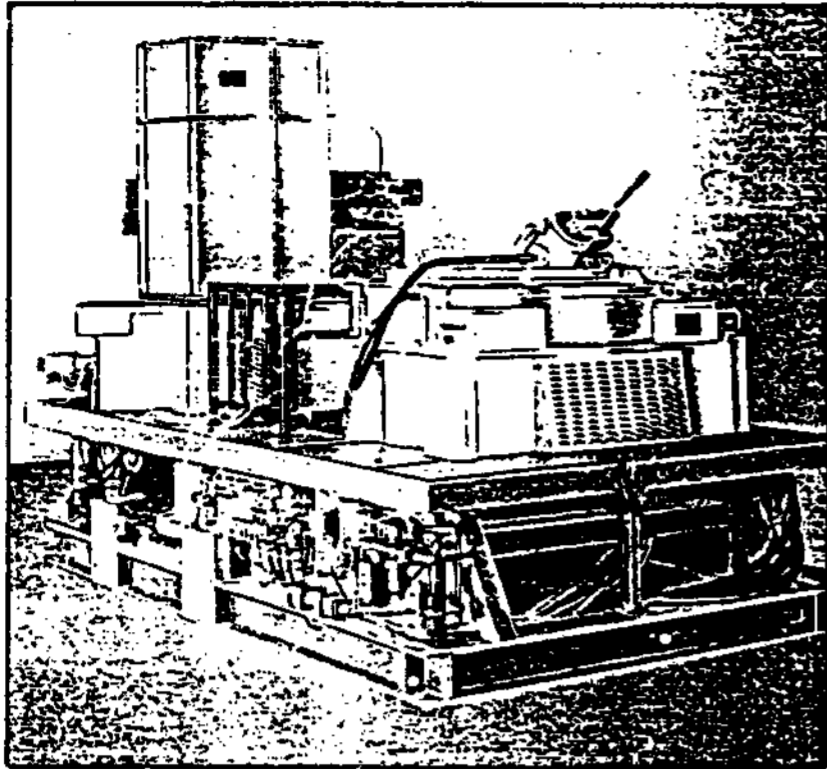


그림 1. 황동용 저압주조기

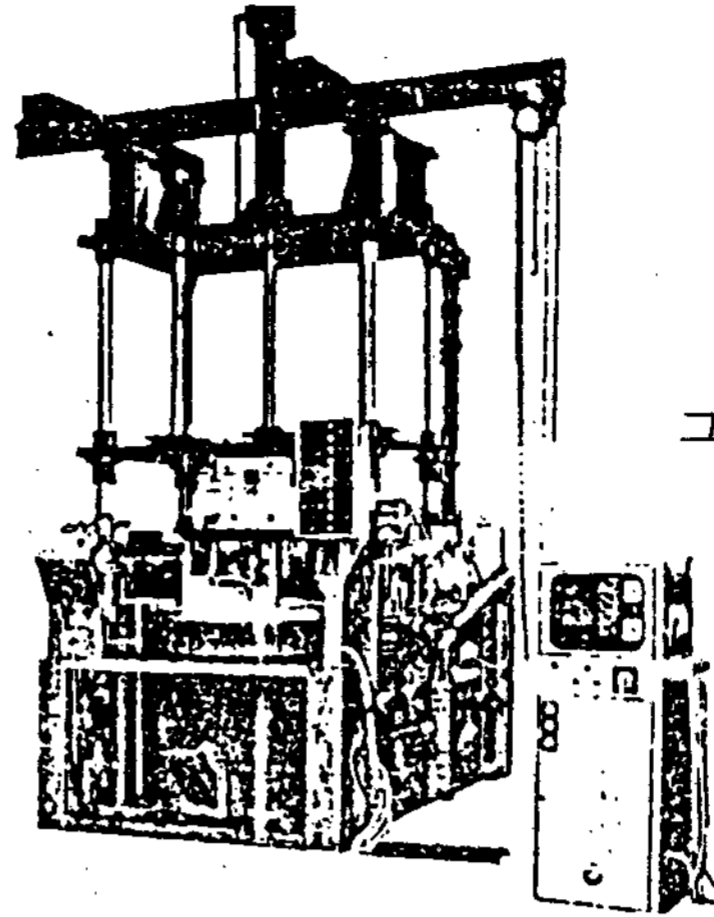


그림 3. 알루미늄 합금용 저압주조기

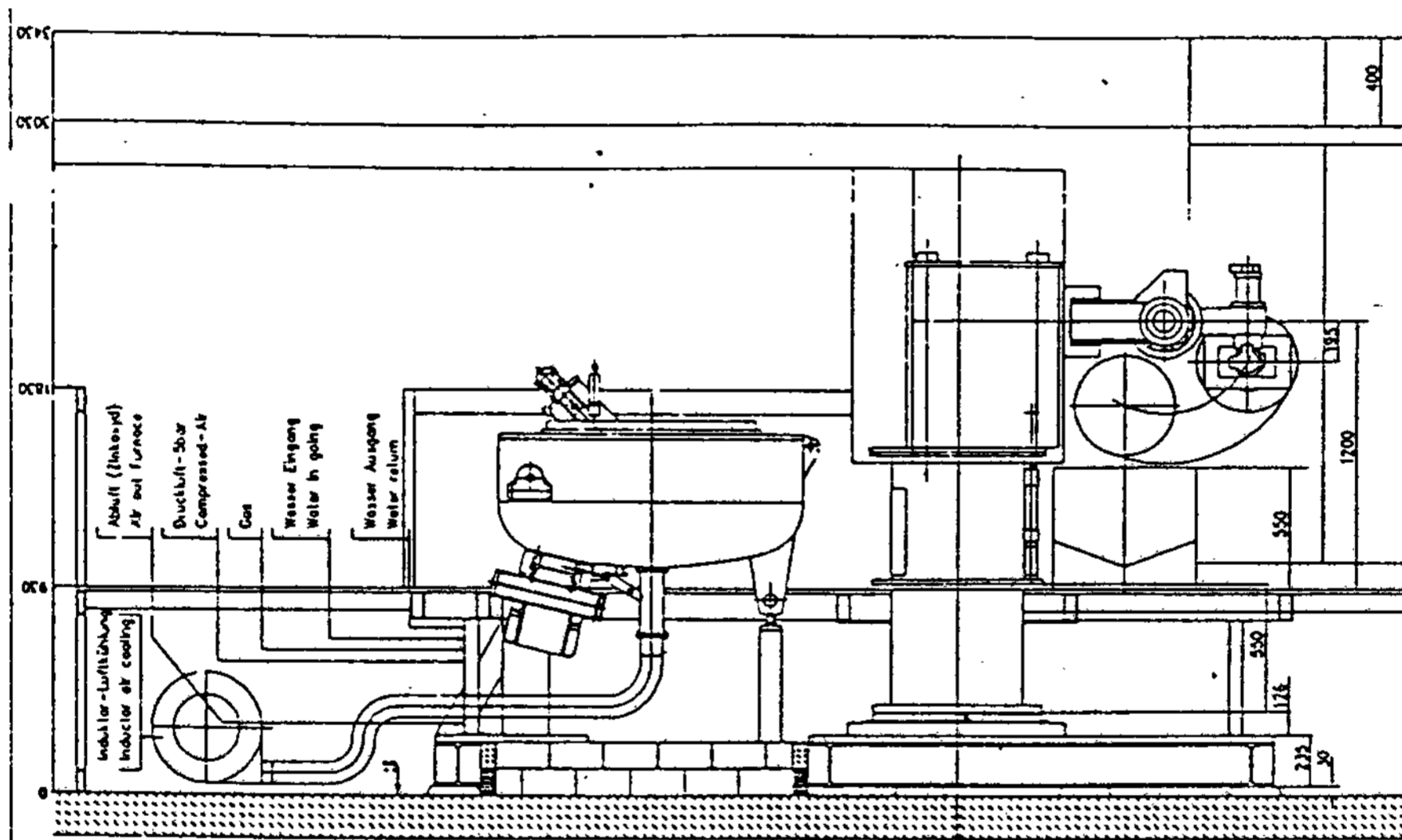


그림 2. 황동용 저압주조기 구조도

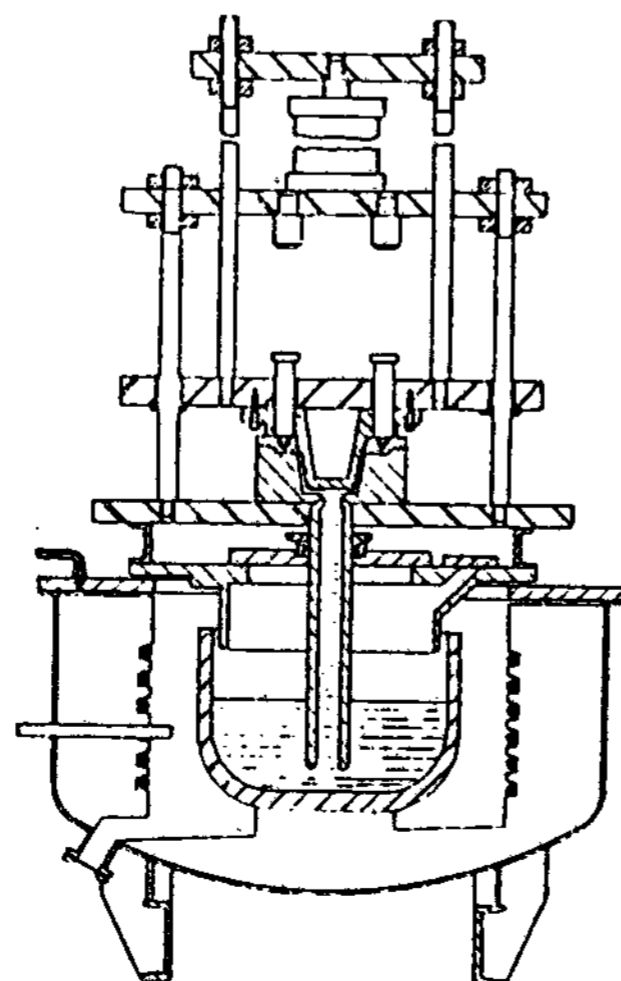


그림 4. 알루미늄 합금용 저압주조기 구조도

3. 용해방식

황동과 알루미늄 합금의 저압주조 용해 방식은 표 2와 같다.

1) 좋은 유동성을 가져서 금형 내에서의 충전성을 향상시키며 결정화 응고과정시 평활계면 표피응고 형태의 응고를 하여 주조품에 centerline micro-shrinkage cavity를 남기지 말아야 하므로

표 2. 황동과 알루미늄의 합금의 용해 System 비교

| 순서 | 내 용 | 황 동 | 알루미늄 | 비 고 |
|----|---------------|--------------|--------|-----|
| 1 | 보온로에의 재료 공급방식 | 정련된 인고트 | 정련된 용탕 | |
| 2 | 보온로의 형식 | 전기저항식 도가니로 | 적용가능 | |
| | | 가스연소식 도가니로 | " | |
| | | 저주파 유도로/부정형식 | 적용가능 | " |

4. 원재료

4.1 원재료의 구비조건

황동을 원재료로 사용하는 수전금구는 그의 품질특성을 만족시키고 보다 고품질의 제품을 만들기 위해서 주조법이 사형주조→중력식 금형주조→저압주조 순으로 변천하였으며 그 원재료의 특성도 그 순서로 양질의 것을 사용하여야 한다.

황동의 금형주조용 원재료로서 구비하여야 할 가장 중요한 요소는

순금속, 공정응고형 및 포정응고형의 성분이 요구된다.

2) 미려한 제품 표면을 얻기 위해서는 소요되는 합금성분을 제외하고 불순성분이 극히 낮은 polishable grade이어야 한다.

4.2 합금성분

1) Cu-Zn계 표준상태도

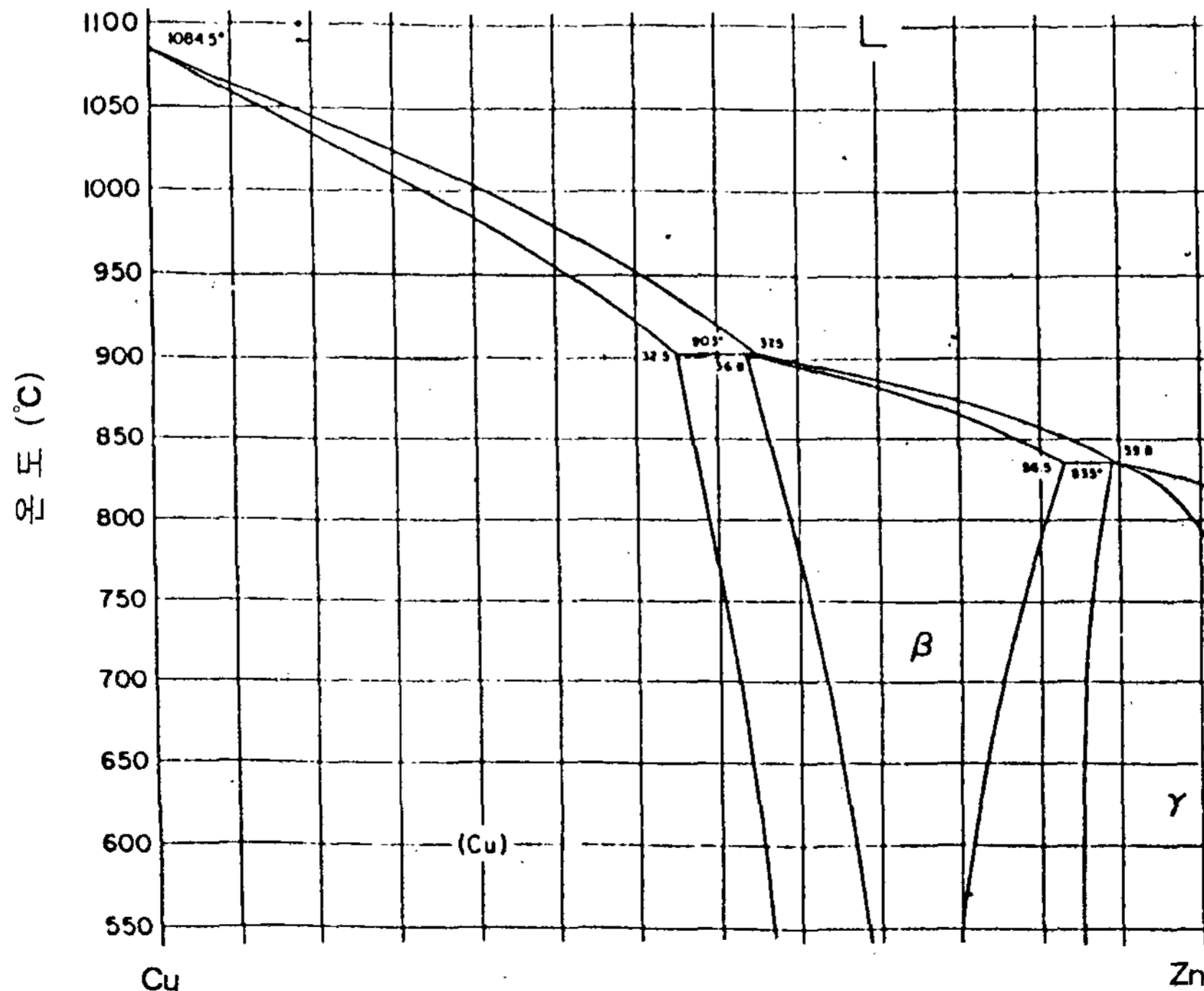
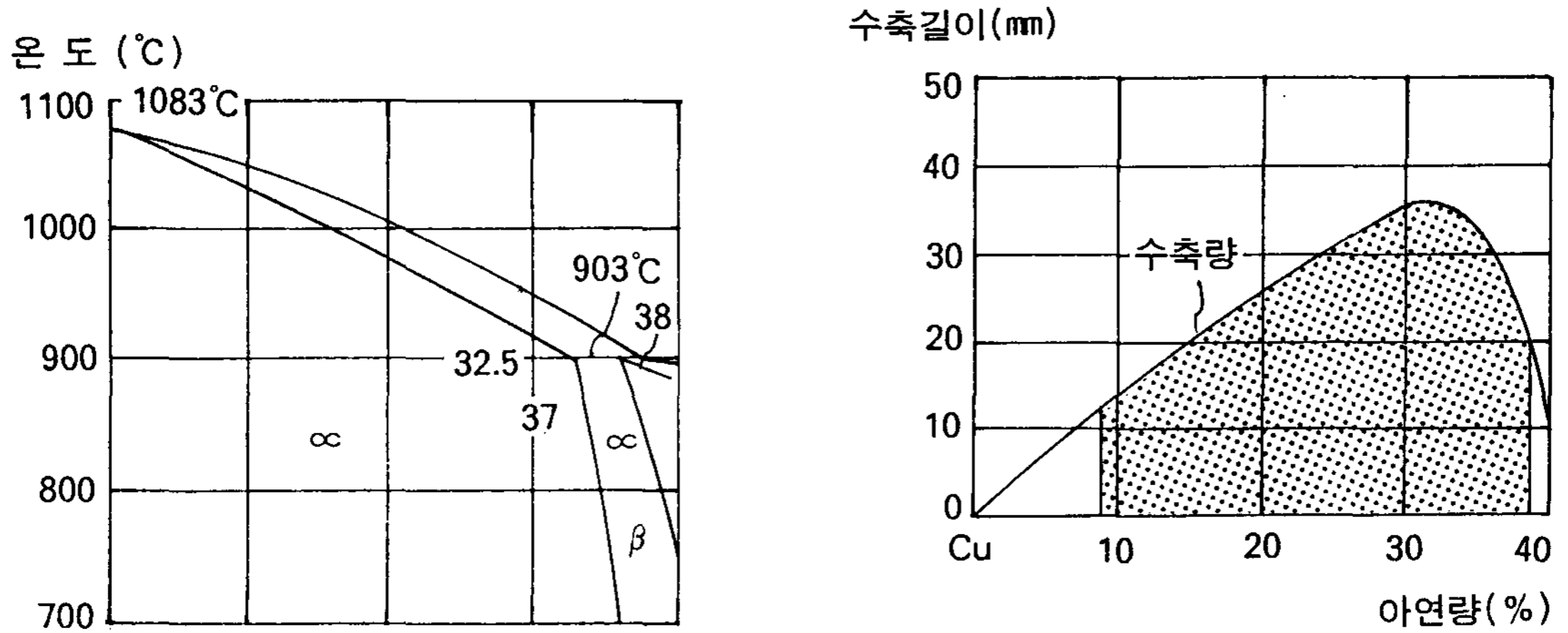


그림 5.1. Cu-Zn 상태도



(주) 수축길이는 Tatur식 시편에 의한 측정치

그림 5.2. Zn함량에 따른 황동의 수축량

2) 합금성분 규격(GK-Ms-60기준)

| 성분 % | Cu | Al | Pb | Fe | Ni | Mn | Si | Sn | P | Zn | 비고 |
|------|-----------|-------------|-------------|---------------|-----------|------------|------------|-----------|---|-----|----|
| % | 59 ~60 | 0.5 ~0.7 | 1.0 ~2.0 | 0.003 ~0.2 | 최대 0.2 | 최대 0.01 | 최대 0.01 | 최대 0.2 | 0 | 나머지 | |

(단, Fe+Sn : 0.35%이하)

3) 합금원소의 영향

| No. | 합금원소 | 범 위 | 원 소 의 영 향 |
|-----|------|----------|---|
| 1 | Pb | 3%이상 | 주조성을 해친다 |
| | | 1%이하 | 가공성은 저해되나, 주조성은 개선된다. |
| 2 | Fe | 0.15%이상 | Sn과 공존하면 hot-tearing의 결함을 증가시킨다. |
| | | 0.03%이하 | 입자미세화 처리효과의 감소, 내압성의 저하 |
| 3 | Al | 규격치 이상 | 0.15%의 Al증가는 0.9%의 Cu증가(Al의 Cu당량). 제품연마표면 상태의 질저하 |
| | | 규격치 이하 | Zn손실의 증가, 제품표면균열의 증가 |
| 4 | Cu | 규격치 이상 | 유동성 감소, 내압성감소, 응고범위의 확대 |
| | | 규격치 이하 | hot-tearing의 발생. 주조성 양호 |
| 5 | P | 0.02% 이상 | 미세화처리 효과 없음 |

4) Polishable grade의 조건
연마후 주조품 표면에 경점(hard spot)이 나타나지 않기 위해서는 Cr, Si, Mn, Ni, Al₂O₃등과 같

은 고용점 금속 및 비금속 개재물이 허용치 이상 이어서는 안된다.

4.3. 응고형태 개선을 위한 입자미세화 처리

1) 알루미늄합금과 동합금의 응고형태 (사형주조의 경우)

| Al합금 | 응고형태 | Cu합금 | 응고형태 |
|------------------------|-----------|------------|----------------------------|
| Al99.99 | 평활계면 | Cu | 평활계면 |
| Al99.9 | 요철계면 | CuZn 21 | 스폰지 |
| Al99.8 | 스폰지 | CuZn 39~43 | 스폰지-요철계면 |
| Al Mg3 | 스폰지 | CuAl6 | 요철계면-스폰지 |
| Al Mg5 | 스폰지-죽응고 | CuAl18.2 | 초정응고 : 요철계면 공정응고 : 요철계면 |
| Al Mg10 | 죽응고 | CuAl11 | 요철~평활계면 |
| Al Zn5Mg | 스폰지 | CuSn5~20 | 스폰지-죽응고 |
| AlCu0.5~1 | 스폰지-죽응고 | | |
| AlCu4~30 | 죽응고(초정응고) | | |
| AlCu33 | 요철계면 | | |
| Al Si1.5~10 | 죽응고(초정응고) | | |
| Al Si 12.5(9) | 죽-벽형성죽응고 | | |
| Al Si 11.5(unmodified) | 죽응고 | | |
| Al Si 12.7(Sr) | 평활계면 | | |

상기표에서 보는 바와 같이 Cu-Zn(39~43%) 합금의 경우, 사형주조시 응고형태는 스폰지-요철계면 형태를 나타내지만, 본 저압주조용으로 사용되는 Cu-Zn(36.8~37.5%)합금의 경우에는 스폰지-요철계면 형태가 사형주조를 하여도 요철계면형으로 보다 개선된다.

그런데 이를 특히 냉각속도를 증진시키는 금형 주조를 하게되면 평활계면형에 가까운 응고형태를 띄우다가, 추가적인 입자미세화 처리에 의해 평활계면형의 응고형태를 완전히 띄게 된다.

2) 평활계면형 응고형태를 위한 조치

① 입자미세화 처리

입자미세화처리는 정련된 황동잉코트를 저압

주조하기 위하여 보온로에서 용해하는 도중에 실시하게 된다. 입자 미세화는 붕불화카리(KBF₄, Potassium-fluoroborate)나 붕불화 나트륨(NaBF₄, Sodium-fluoroborate)을 황동용탕 250kg에 대해 50g정도 포스퍼라이저(phosphorizer)로 처리함으로써 이뤄진다. 처리온도는 1000°C 정도이다. pour-out test에 의한 입자미세화 처리 전·후의 응고형태 변화를 사진 1.에서 볼수 있으며, 그 조직상태의 변화는 그림 6, 7과 같다.

② 황동입자 미세화의 특징

황동의 금형주조에서 입자미세화처리는 상기 한바와 같이 응고형태의 개선에만 있는것이지 알

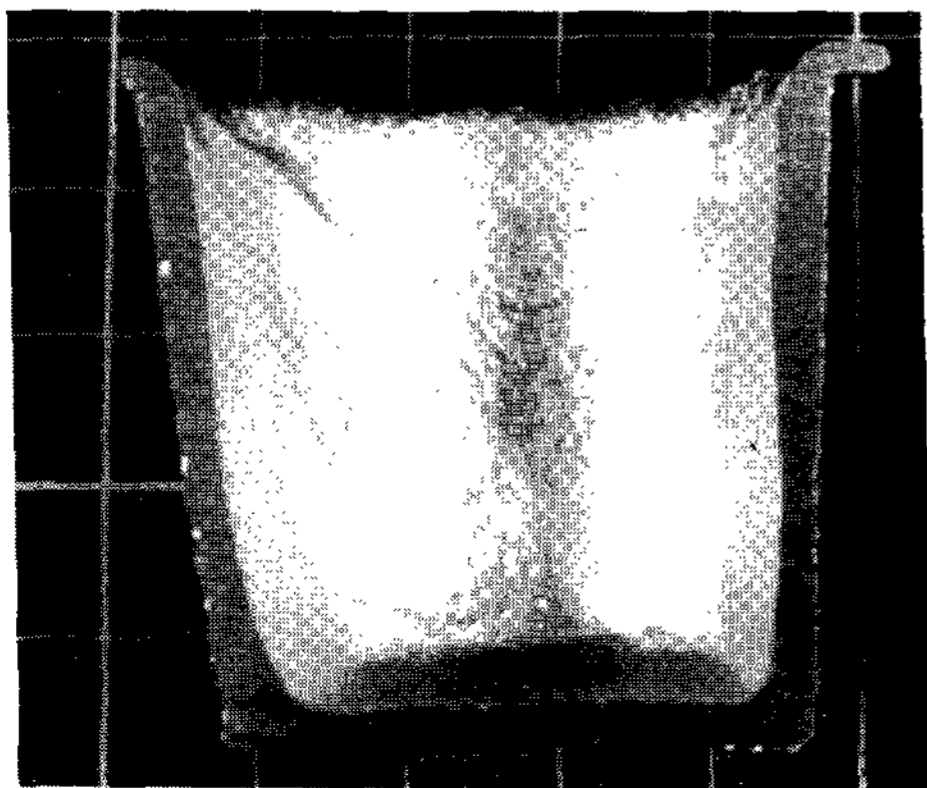
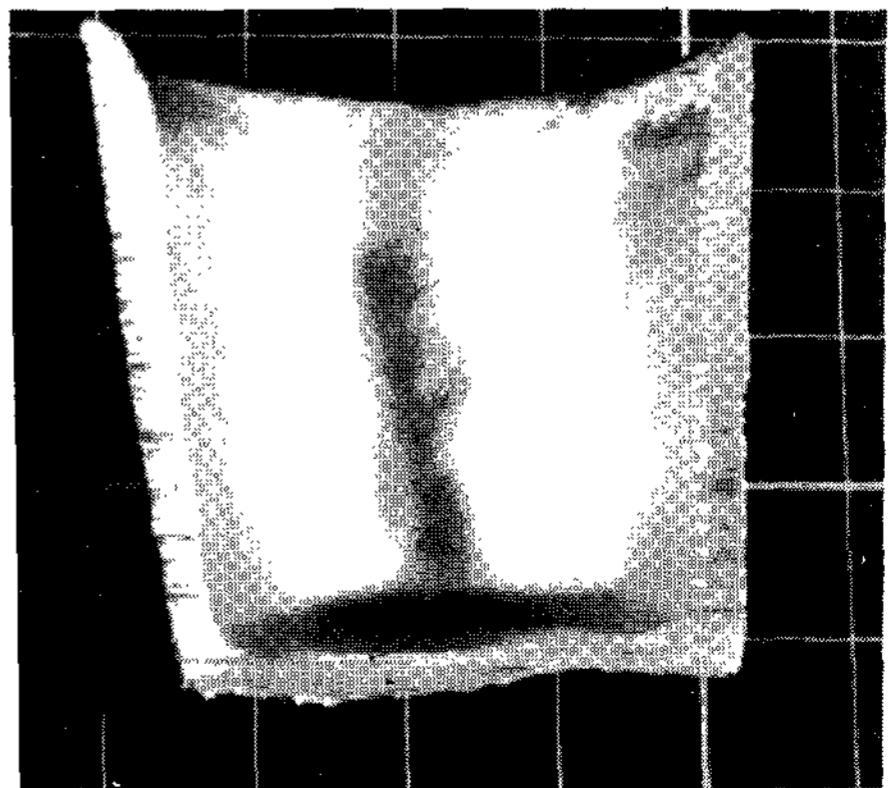


사진 1. 처리전 : 평활계면형 요철식 응고상태



처리후 : 완전평활계면형 응고상태

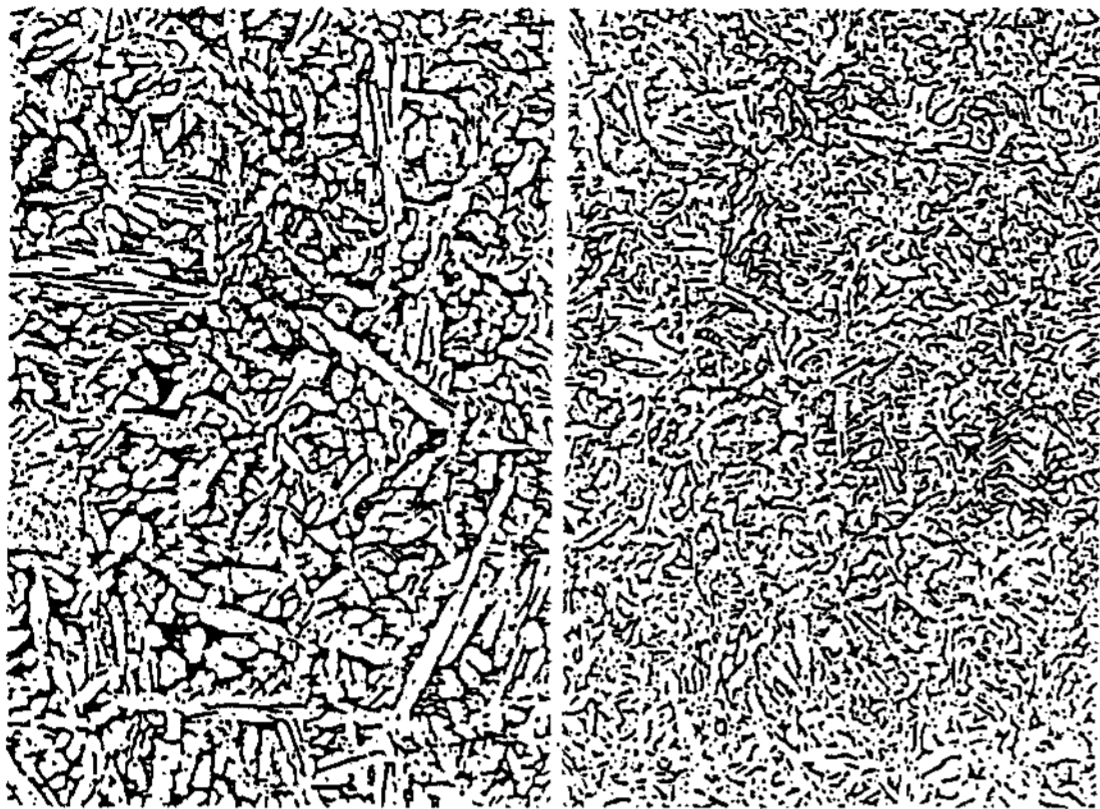


그림 6. 처리 전(100×) 그림 7. 처리 후(100×)

루미늄합금에서의 Na개량처리에서와 같이 기계적성질을 개선시키는 것이 아니다.

그리고 알루미늄합금의 개량처리에서 볼 수 있는 바와같은 개량처리효과시간의 유효성등과 같은 것에도 좌우되지를 않는다. 즉 한번 처리된 미세화 처리결과가 항구적(permanent)인 것에 차이가 있다. 따라서 수전금구등과 같이 주조제품 표면의 미려성을 품질특성으로 하는 경우에는 return재의 식별관리 및 장입기준에 유의해야 한다. 다시 말해서 지속적인 미세화처리에 의한 미세화제의 과다석출로 인한 제품표면 결함발생에 유의해야 한다.

5. 저압주조의 주조 Cycle

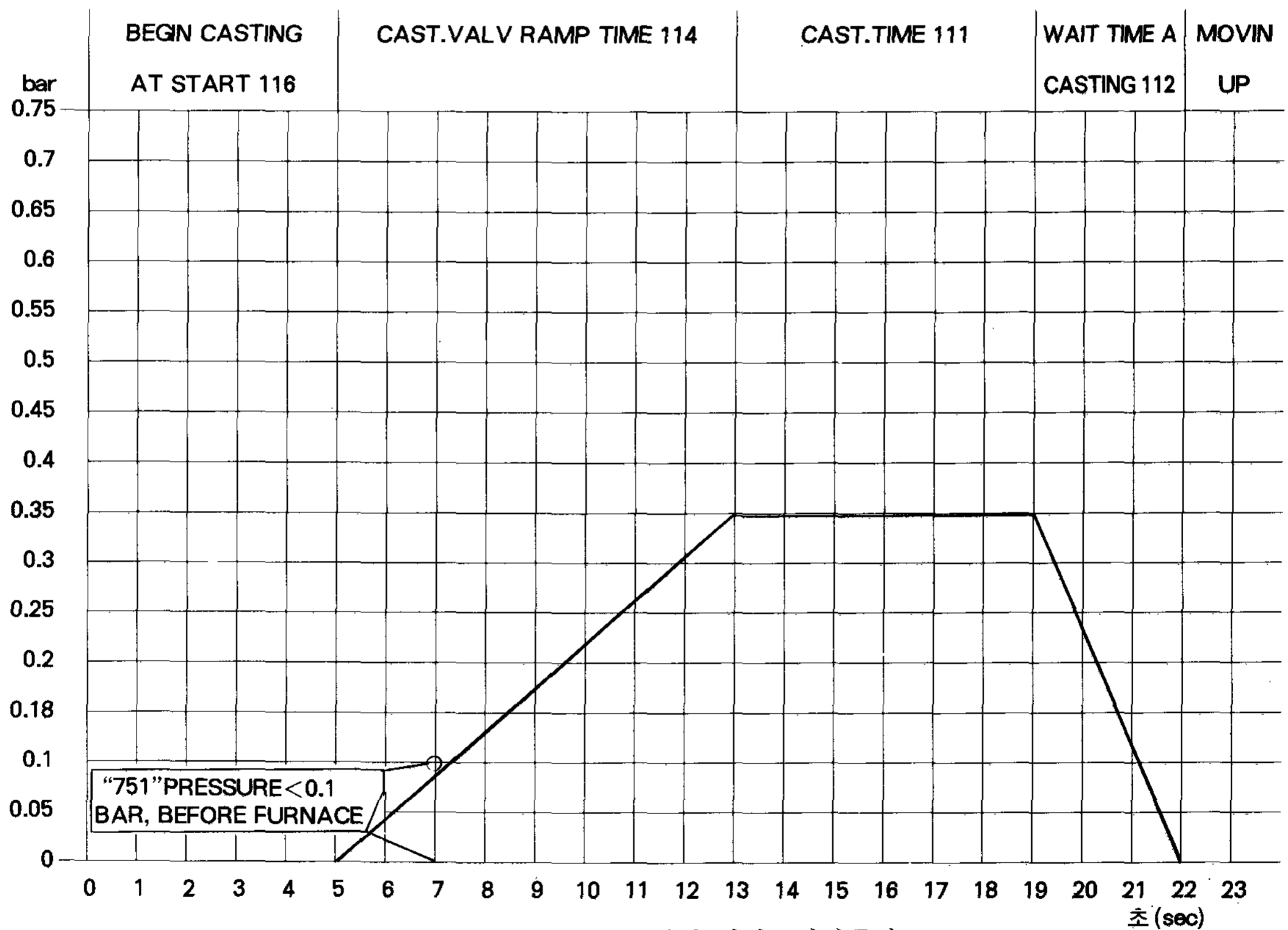


그림 8. 황동용 저압주조기의 압력-시간곡선

(주) Cast valve ramp time : 설정된 압력으로 용탕이 가압되면서 용탕이 금형에 충전되는시간 (0.1bar에서 부터 충전이 시작됨)

Cast time : 금형에 충전된 용탕의 주조시간

Wait time after casting : 주조시간 종료후 가압공기 배기시간

6. 금형의 도형

- 1) 도형재 : 흑연(분말상 토상흑연 : 탄소함량 75% 이상급) + 물
- 2) 흑연농도 : 부피비율 10~20%
- 3) 도형재온도 : 40° ~ 60°C
- 4) 금형온도 : 150° ~ 180°C

7. 중 자

황동의 금형주조시 금형에 의한 빠른 냉각과 주입온도도 사형주조에 비하여 100°C 정도 낮으므로 사형주조에서와 같이 shell-core를 사용하기가 어렵다. 단지 모양이나 구조가 간단한 것은 shell-core를 사용할 수 있으나, 일반적으로 hot-box법에 의한 중자를 사용한다.

따라서 탈사성을 보증하기 위해 사용하는 hot-box법용 레진은 열경화 속경성 요소-후란 수지(Urea furan resin)을 사용한다.

8. 금 형

8.1 금형용 소재

황동의 금형주조시 950~1000°C 정도의 높은 주입온도로 인해 일어나는 급격한 온도 균배나 열점(hot-spot)에 의한 금형의 열응력을 빨리 해소시키기 위하여 우수한 열전도도를 갖는 Be-Cu합금을 금형용 소재로 사용한다. 신규제품개발시는 금형소재로 steel을 대용하기도 하나 양산과 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 Be-Cu를 사용하여야 하며 steel의 경우보다 그 수명이 3배 이상이 된다.

표 3. 금형 주조시 주조 재질별 열역학적 자료

| 주조재질 | 비열(cal/gr·°C) | | | 용해잠열(cal/gr) | 열전달계수(cal/cm ² ·sec·°C) | 비 고 |
|--------|---------------|-------|-------|--------------|------------------------------------|-----|
| | 주입온도시 | 고체상태 | 평균 값 | | | |
| 동 | 0.12 | 0.104 | 0.110 | 50.6 | 0.03 (재질에 무관함) | |
| 황 동 | 0.116 | 0.096 | 0.110 | 44 | | |
| 알루미늄합금 | 0.25 | 0.23 | 0.24 | 93 | | |
| 마그네슘합금 | 0.32 | 0.25 | 0.30 | 86 | | |

표 4. 금형재질별 물리적 특성

| 순서 | 항 목 | Cu-Be (열처리한 것) | 특수강 (열처리한 것) | 스테인레스강 |
|----|---------------------------|-------------------|-----------------|--------|
| 1 | 열전도도(BTU/ft-hr·°F) | 63.9 | 16 | 7.9 |
| 2 | 탄성율(10 ⁻⁶ psi) | 19 | 29 | 30 |
| 3 | 경도(최소) : H _R C | 36 | 32 | 32 |
| 4 | 열확산도(Ft ² /hr) | 1.3 | 0.39 | 0.27 |
| 5 | 항복강도(최소) : Ksi | 145 | 130 | 120 |

8.2 대표적인 베릴리움·동의 종류(표 5)

표 5. 대표적인 베릴리움·동의 종류

(단위 : %)

| 순서 | 합금구분 | 합금종류 | Be | Co | Ni | Cu |
|----|-------|------|-----------|-----------|---------|-----|
| 1 | 고강도용 | 275C | 2.6~2.85 | 0.35~0.65 | - | 나머지 |
| 2 | | 245C | 2.3~2.55 | 0.35~0.65 | - | " |
| 3 | | 20C | 2.0~2.25 | 0.35~0.65 | - | " |
| 4 | | 165C | 1.6~1.85 | 0.20~0.65 | - | " |
| 5 | 고전도도용 | 10C | 0.55~0.75 | 2.35~2.7 | - | " |
| 6 | | 3C | 0.25~0.50 | - | 1.4~1.6 | " |

9. 주입압력, 주입속도 및 주입시간

9.1 주입압력

용탕을 용탕 면에서 주물의 최정부까지 끌어 올리는데 필요한 공기압력은 다음의 식(1)에 의한다.

$$P = k \cdot \frac{H \cdot r}{13.6} \text{ (cm-Hg)} \quad (1)$$

(단. H : 용탕의 상부높이, r : 용탕의 비중, 13.6 : 수은의 비중, k : 용탕과 벽면과의 마찰저항, 금형 내의 공기저항에 따른 계수)

※ 황동의 저압주조의 경우 : 0.3~0.6bar

9.2 주입속도, 주입시간

주입속도와 시간은 다음의 식 (2)와 (3)과 같다.

$$\text{주입속도 : } v = \frac{V}{a \cdot t} \quad (2)$$

$$\text{주입시간 : } t = \frac{V}{a \cdot v} \quad (3)$$

(단, V는 탕구 및 제품부의 체적, a : 탕구의 최소부 단면적, v : 탕구의 최소부의 용탕속도, t : 주입시간)

※ 황동 저압주조의 경우 : 4~8초

황동의 금형주조의 경우 표 3에서 보는 바와 같이 낮은 비열과 표 6에서 보는 바와 같은 좁은 응고범위 때문에 가능한 한 주입시간을 빠르게 하여야 한다.

표 6. 합금별 응고 온도 범위

(단위 : °C)

| 순서 | 합금종류 | 액상온도 | 고상온도 | 응고범위 | 비 고 |
|----|---------------------------|------|------|------|-----------------------|
| 1 | Al-Si합금(8% Si) | 605 | 577 | 28 | AC-4C급 |
| | Al-Si합금(10% Si) | 590 | 577 | 13 | AC-4B급 |
| 2 | 59.5% Cu-37.5% Zn-0.6% Al | 910 | 903 | 7 | GKM _s -60급 |
| 3 | 89% Cu-10% Al-1% Fe | 1053 | 1040 | 13 | 알루미늄 청동 |

10. 황동과 알루미늄 합금 저압주조 실계 비교

| 합금종류 | 재 질 | 제품중량(kg) | 탕구중량(kg) | 가압력(kg/cm ²) | 가압시간(초) | 주조 Cycle |
|---------|----------------------|----------|----------|--------------------------|---------|----------|
| 황동 | GKM _s -60 | 2.6 | 0.6 | 0.5 | 14 | 50초 |
| | | 2.7 | 0.9 | 0.5 | 12 | " |
| 알루미늄 합금 | AC-4B | 2.23 | 0.05 | 0.1~0.15 | 140 | 6분 |
| | AC-4C | 3.1 | 0.4 | 0.2~0.5 | 120 | 5.5분 |

11. 황동의 저압주조 방안 실례



사진 1.

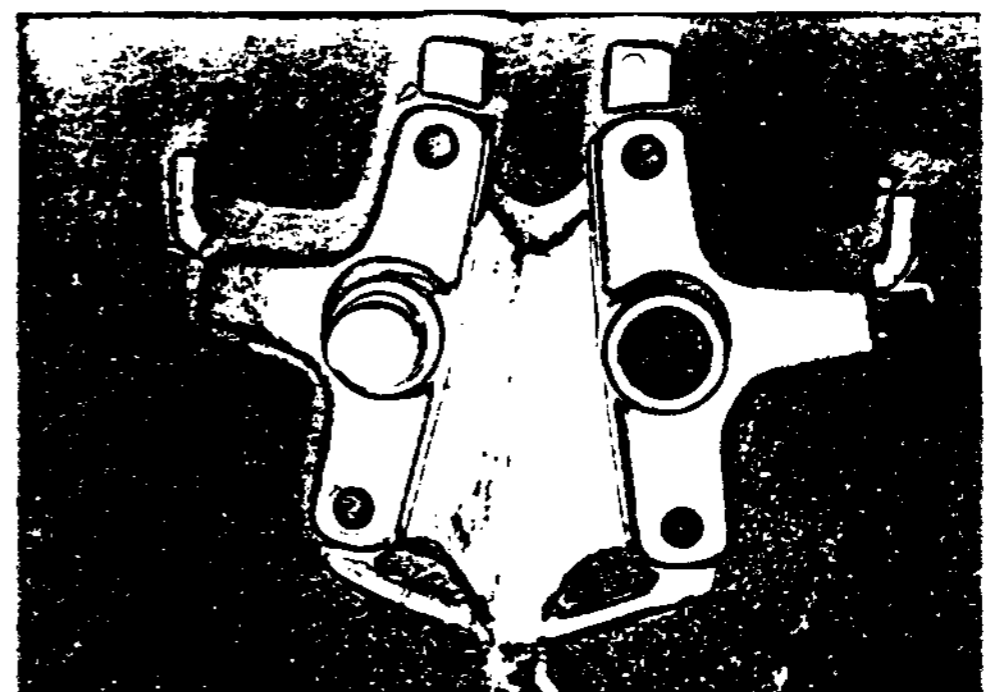


사진 2.

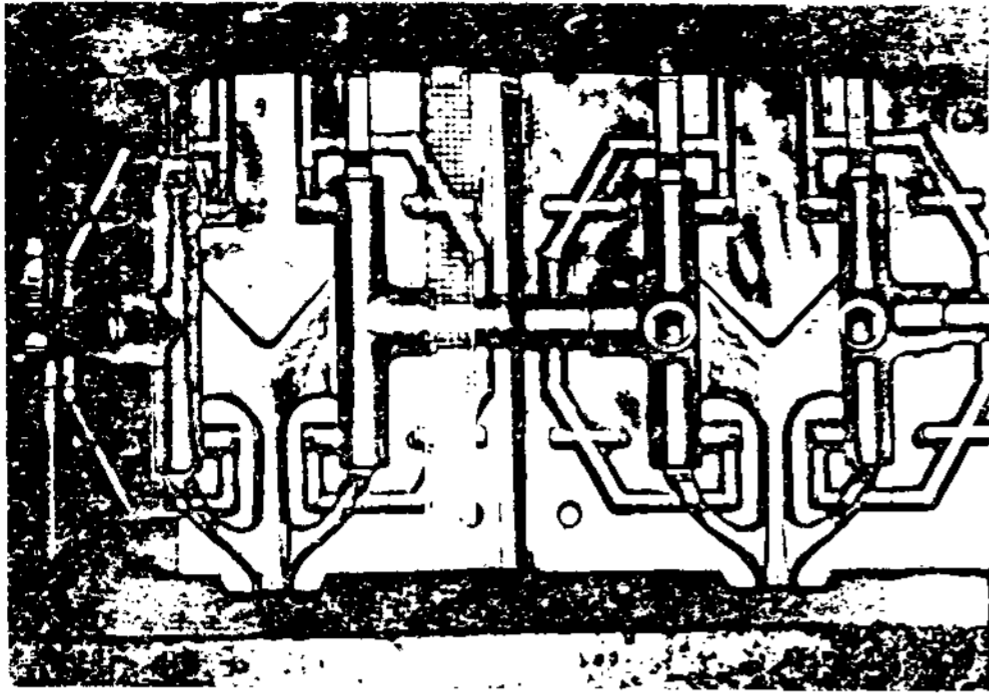


사진 3.

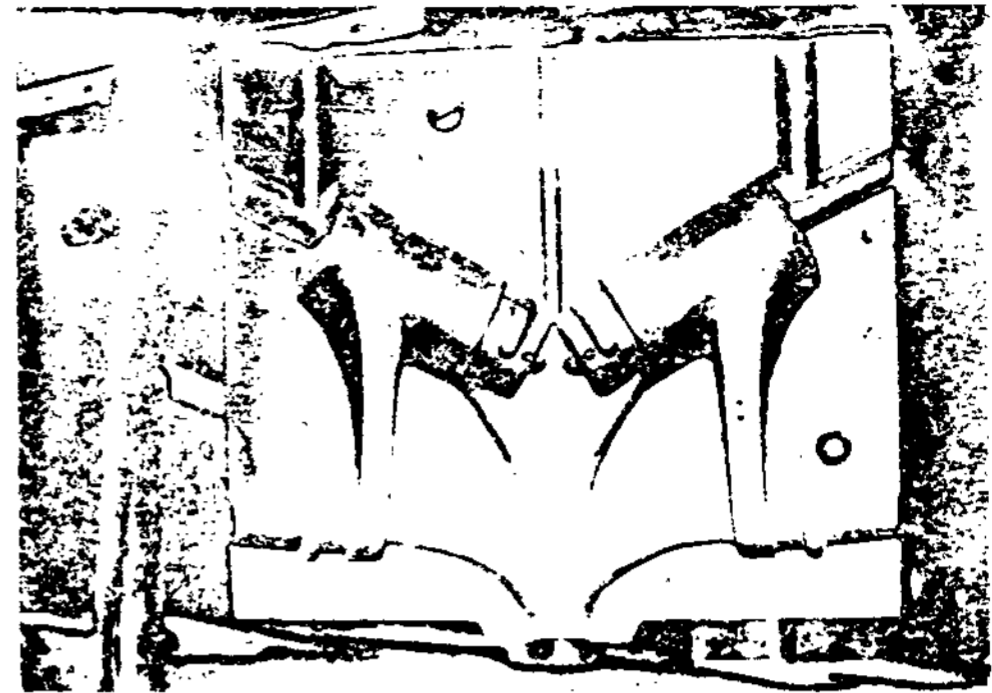


사진 4.

**12. 황동의 저압주조의 경제성 검토
(중력식 금형주조 대비)**

12.1 투자비

- 1) 저압주조기 1대 : 약 4억
- 2) 중력식 주조기 2대 및 용해로 1기 : 약 1.5 ~ 2억원

12.2 운영비

저압주조와 중력식 금형주조의 운영비(년 100톤 생산기준)를 비교하면 다음과 같고 표에 기재되지 않은 기타 항목들은 양자가 동일하다고 보고, 저압주조가 중력식 금형주조보다 톤당 330,000원 정도 원가 절감이 된다.

년간 운영비

(단위 : 천원)

| 항 목 | 저압주조 | | 중력식 금형주조 | |
|-------------------|-------------|--------|-------------|--------|
| | 수 량 | 금 액 | 수 량 | 금 액 |
| 1. 인건비 | | | | |
| 작업자수 | 1명 | 12,000 | 3명 | 36,000 |
| 2. 용해손실 | 2.5% | | 5% | |
| 100톤 생산기준 | 2.5톤 | | 5.0톤 | |
| 황동가격 : 1650원/kg | | 4,125 | | 8,250 |
| 3. 불량율 | 3% | | 6% | |
| 100톤 생산기준 | 3.0톤 | | 6.0톤 | |
| 불량주물가격 : 1300원/kg | | 3,900 | | 7,800 |
| 4. 전기료(100톤기준) | 176,900kW-h | 10,960 | 196,000kW-h | 12,150 |
| 합 계 | | 30,985 | | 64,200 |