

技術資料

黃銅의 傾斜式 重力金型 鑄造

金尚德*, 李珍衡**

Gravity Tilt Die Casting of Brass

S. D. Kim*, Z. H. Lee**

1. 서론

현재 국내에는 10여사의 수전금구류 전문 제조 업체들이 황동(KS-D-6001중 황동 주물 3종)을 원재료로 사용하여 수전금구용 주조품들을 생산하고 있다. 이들 업체들에서 채용되는 주조법은 재래식의 사형주조법으로 여기서 생산되는 주조품들은 수전 금구용 주물의 최종 요구 품질 수준(완전한 내압성, 미려한 제품표면, 패션적 외관 등)에는 훨씬 미흡한 제품들이 대부분이었다. 따라서 수전금구 업체들 간에는 수전금구류의 품질 수준향상과 작업 환경의 개선 및 생산성의 향상, 제품 회수율의 향상으로 국제경쟁력을 강화하기 위한 주조공법의 변경을 모색하게 되었다. 그 결과 지난 4년여 전부터 국내에도 황동에 대한 유럽식 금형주조 기술이 도입되게 되었고, 몇몇 업체에서는 설비도입과 공정개선이 이루어져, 황동주물을 경사식 중력금형주조 공법으로 생산하게 되었다. 다행히 이러한 기술 및 공정의 변화를 현장에서 지켜보고 추진해온 사람으로 그간의 짧은 경험과 기술 도입과정에서 얻은 자료들을 정리하여, 본고를 통하여 황동의 경사식 중력금형주조의 기본사항에 대하여 기술코져 한다.

2. 금형주조용 황동의 재질

위에서도 언급한 바와 같이 국내 수전금구류 업계에서는 그간 사형주조에 의한 금구류 주물을 한국 공업 규격(K.S)의 황동주물 3종에 상당하는 화학조성(표 1 참조)으로 생산하여 왔다. 그러나 표 1의 황동주물 3종의 성분 범위(특히

표 1. 황동주물 3종 화학성분

(단위:%)

Table with 8 columns: 종류, 기호, Cu, Pb, Fe, Sn, Al, Zn. Row 1: 황동주물 3종, BsC-3, 60~65, 0.5~3.0, 0.8↓, 1.0↓, 0.5↓, 잔부

표 2. 유럽의 금형주조용 황동 화학성분

(단위:%)

Table with 6 columns: 성분명, Italy계, 프랑스계, 독일계. Rows include Cu, Pb, Al, Fe, Sn, Ni, Mn, Zn with various percentage ranges and values.

Cu기준)는 넓어서, 황동의 금형주조가 추구하는 제품품질의 균일성을 보증하기에는 미흡하였다. 따라서 금형주조에 맞는 용탕의 유동성과 황동의 표피응고(skin-formation)특성을 살려주는 금형주조용 성분범위(Cu-Zn 상태도상의 포정점)가 필요하게 되었다. 유럽의 금형주조용 황동 성분범위를 소개하면 표 2와 같다.

표 2에서와 같이 금형주조용 황동은 동의 성분 범위가 59-61%로 합금의 응고구간이 극히 좁다. 그림 1에 황동의 조성파 응고 온도 범위를 나타냈다.

* 대림통상(주)
** 한국과학기술원 재료공학과

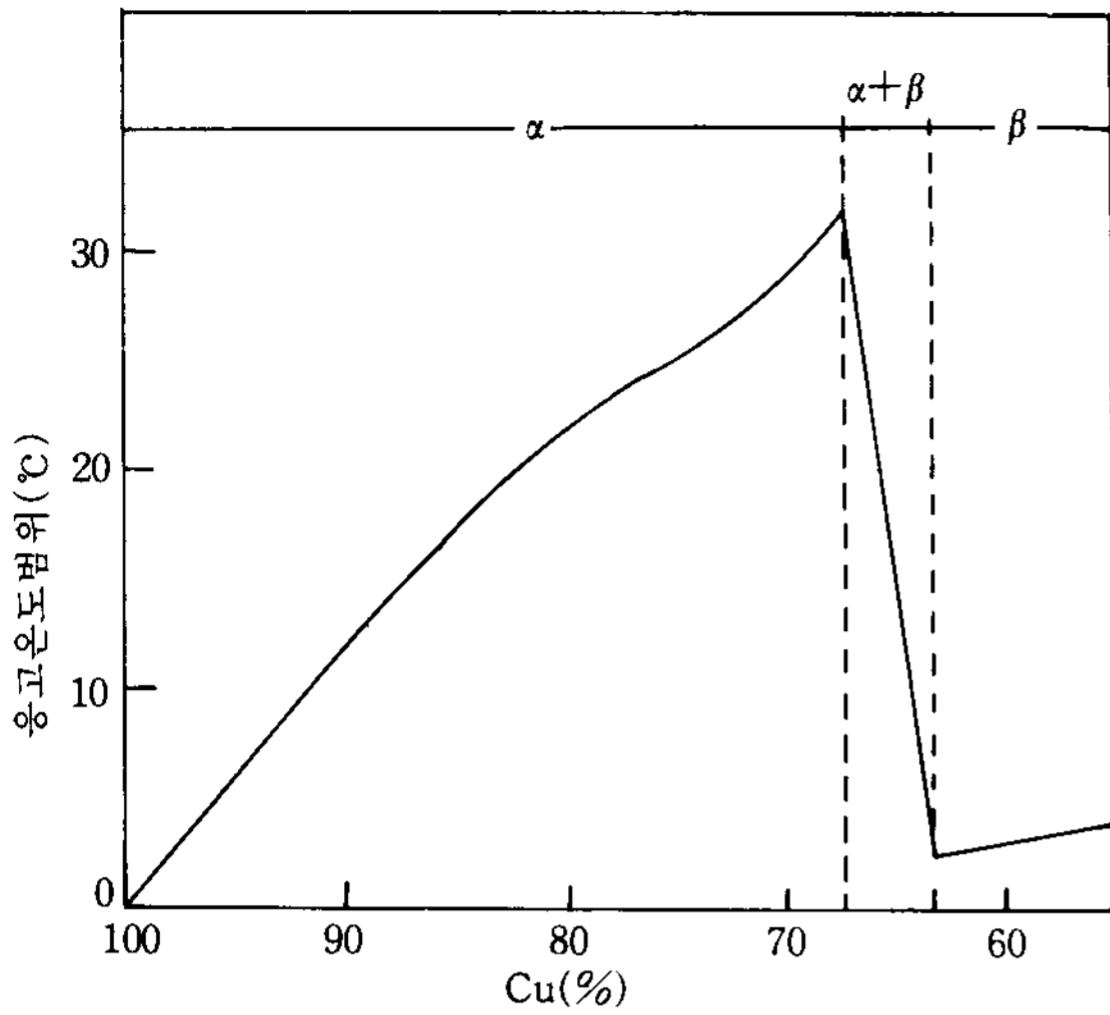


그림 1. 황동의 조성과 용고 온도 범위

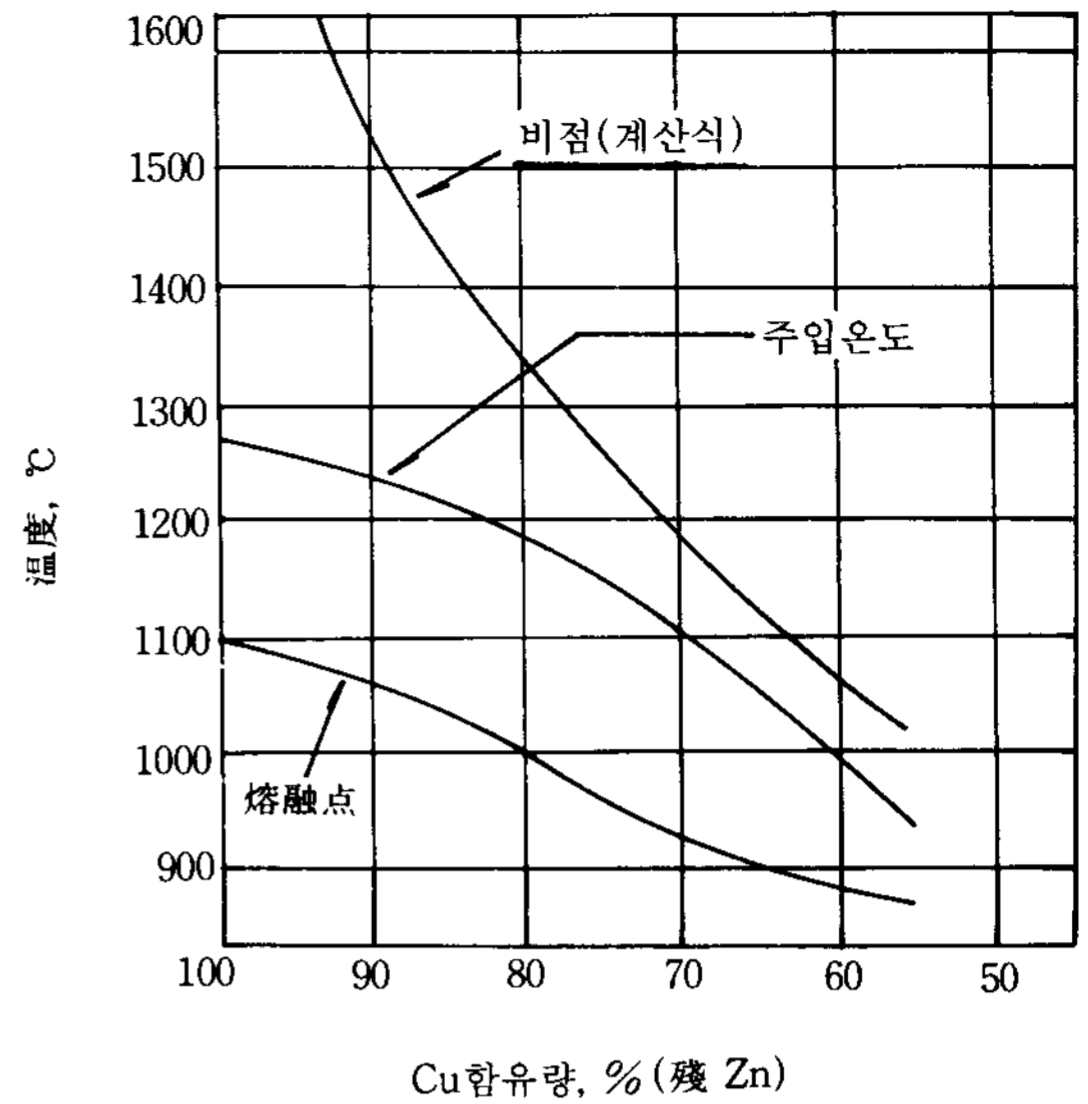


그림 2. 황동의 비점, 주입온도 및 용융점

3. 황동의 용해와 주입온도

그간 수전금구업계에서는 사형주조용 황동용해를 위해서, 수입된 황동 스크랩으로부터 재료 선별을 하여 필요 재료만을 도가니로에서 용해하여, 황동주를 3종에 맞도록 성분조정후 주조하여 왔으나, 표. 2에서와 같이 금형주조용은 성분범위가 보다 엄격하여 짐에 따라 기존 소재공급업체에서 성분조정후 정련된 Ingot를 구입하여 저주파 채널식 유도로에서 단순 용해후, 금형 주입온도에서 직접 주입하게 되었다.

용해와 주입온도에서 사형주조와 상이한 것은 사형주조 경우에는 주입온도가 1030°~1070°C로 상당히 높아, 제품의 산화물 불량율이 높았으나, 금형주조의 경우는 주입온도가 980°~1000°C로 아연의 비점이하에서 주입되므로 제품의 산화물 불량율이 대단히 적다는 것이다. 따라서 수전금구가 요구하는 미려한 제품표면을 얻을 수 있게 되었다. 그림. 2에 황동의 비점, 주입온도 및 용융점을 나타내었다.

4. 경사식 증력 금형주조의 주입방법

주입방법에서는 아래 그림에서 보는 바와 같이 前面주입(Frontal pouring)(그림 3)과 측면주입(Lateral pouring)(그림 4)이 있다. 이는 제품의 크기 및 모양, Cavity의 수에 따라서 결정된다. 용탕을 금형에 주입하면서 수평회전축을 중심으로 기계적으로 금형을 회전시키게 된다.

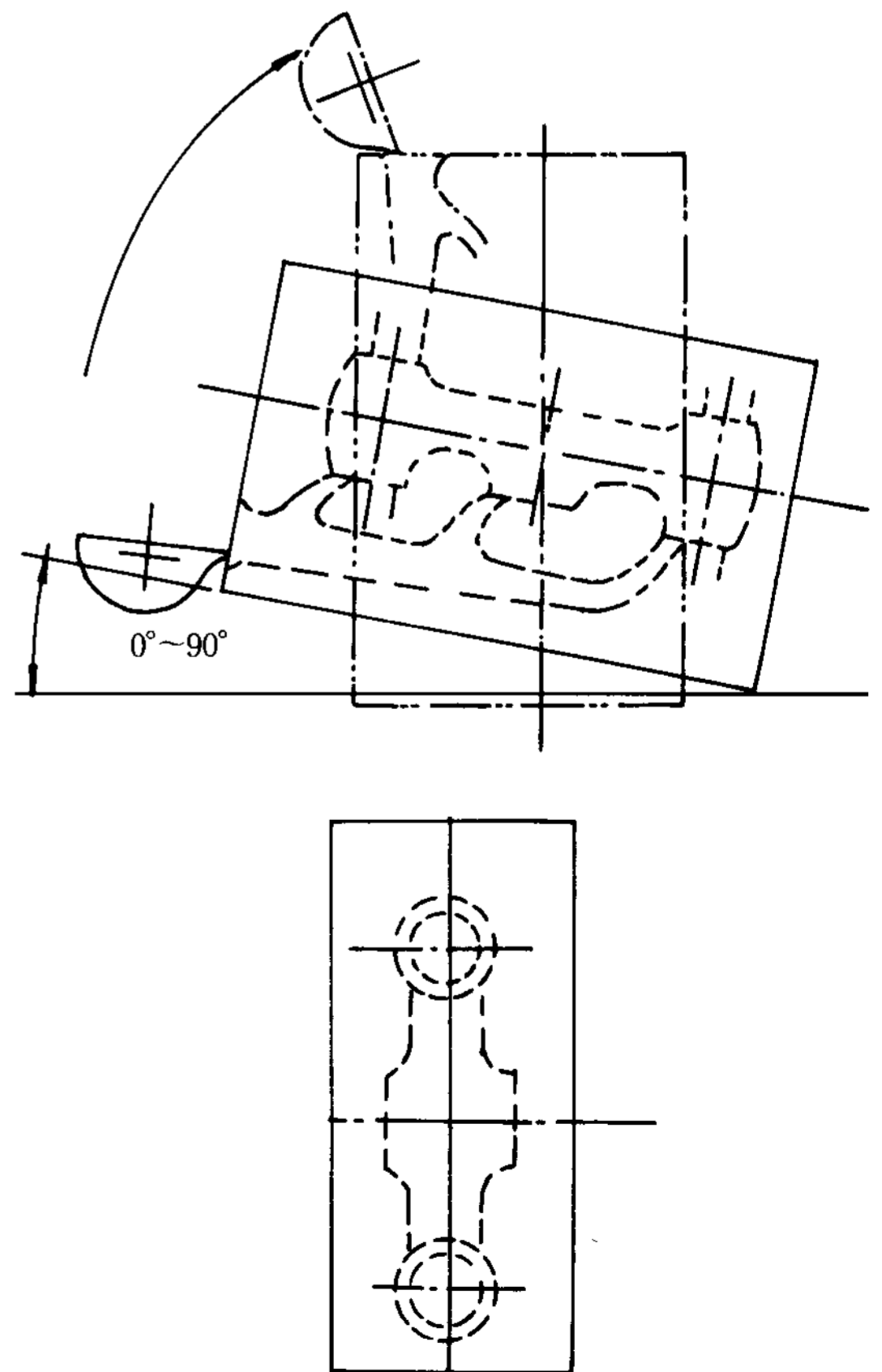


그림 3. 선면주입(Frontal pouring)

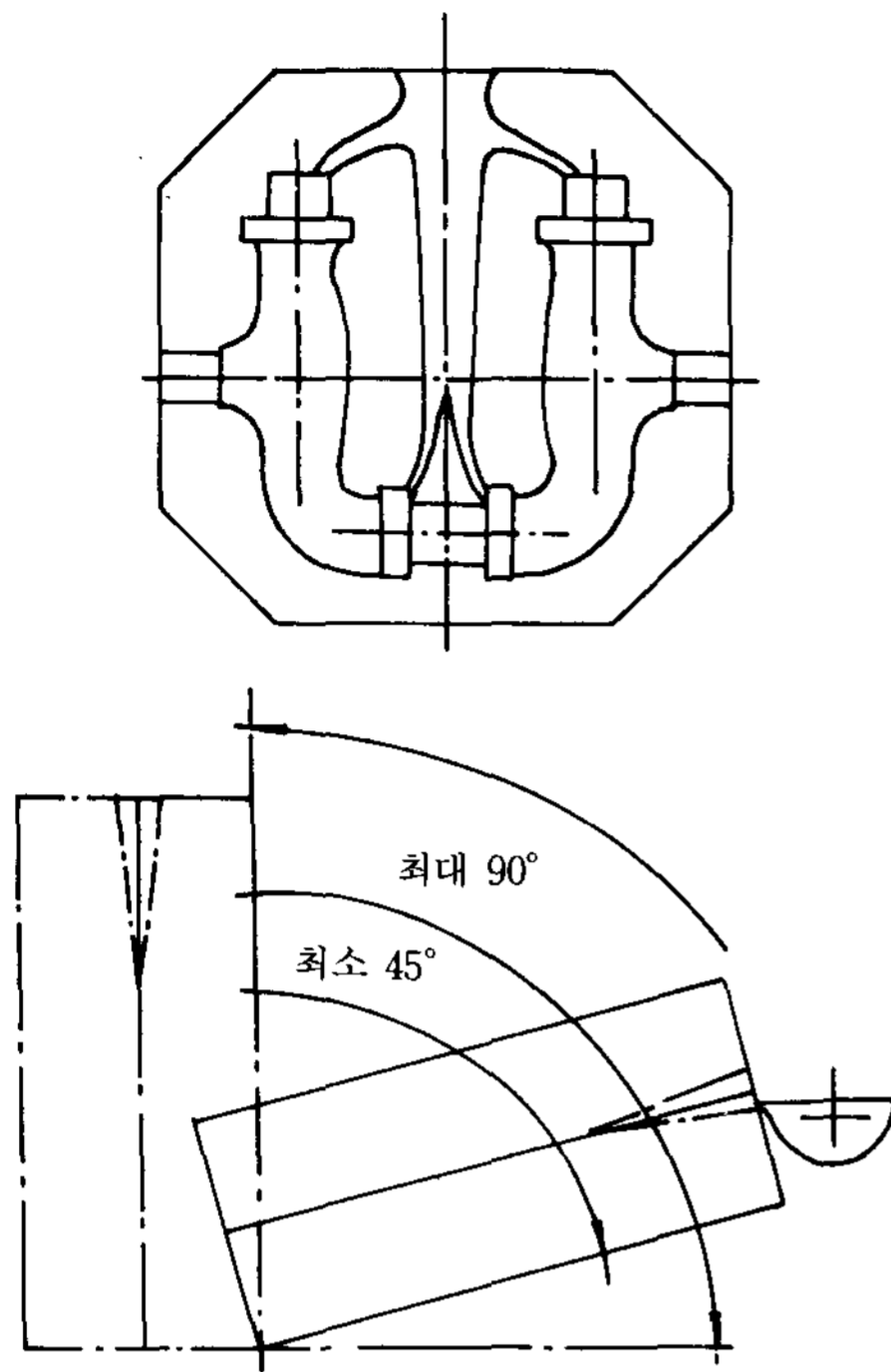


그림 4. 측면주입(Lateral pouring)

5. 금형주조의 주조방안

5. 1. 금형주조시 이론적 응고 시간

금형주조시 금형에 용탕을 주입해서, 주형 재질의 열전도도 등에 의해서 주입시작에서 발체온도에 도달할때까지의 필요한 경과시간(t)는 다음과 같이 계산된다.

$$t = \frac{2 \cdot G [c(T_{sg} - T_{sa}) + C]}{s \cdot h(T_{sg} + T_{sa} - T_{kg} - T_{ka})} \sim (1)$$

여기에서

G : 주물 중량(gr)

c : 주조재질의 비열(cal / g. °C)

C : 주조재질의 용해잠열((cal / gr)

s : 주물의 표면적(cm²)

h : 용탕/금형의 열전달 계수(cal / cm²·sec·°C)

t : 용탕의 냉각 시간(주입→발체) (sec)

T_{sg} : 용탕의 주입온도(°C)

T_{sa} : 주형해체시의 주물온도(°C)

T_{kg} : 주입시 금형온도(°C)

T_{ka} : 해체시 금형온도(°C)

공식(1)을 계산하기 위한 참고자료를 표. 3에 표시한다.

표 3. 금형의 온도변화를 계산키 위한 자료

주조재질	비열(cal / gr·°C)			용해잠열 (cal / g)	열전달계수 (cal / cm ² ·sec·°C)
	주입온도시	고체상태	중간값		
동	0.12	0.104	0.110	50.6	0.03
황동	0.116	0.096	0.110	44	0.03

5. 2. 금형주조시 충전능력과 주입속도

금형주조시 용탕의 주입량은 주물의 무게와 압탕의 크기에 따라 좌우되며, 주입속도는 실제 주입높이와 주입구의 단면적에 의해서 좌,우되게 된다.

소위 금형내의 충전능력은 황동과 같이 응고 범위가 좁은 경우에는 특히 빠른 주입을 할 수 있도록 크게 해야 한다. 빠른 주입속도는 주입 중 용탕의 교란을 초래하지만, 확실한 주물을 얻기 위해서는 성형에 제약을 받지 않을 정도로 높이도록 한다. 금형주조시 금형의 충전능력과 주입속도의 관계를 나타내면 다음과 같다.

$\epsilon = \frac{G}{t} \sim (2)$ 여기에 주입구의 단면적을 적용하면

$$n \cdot S_A = \frac{G}{V_A \cdot t \cdot \rho} = \frac{G}{\xi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \cdot t \cdot \rho}$$

$$= \frac{\epsilon}{V_A \cdot \rho} \sim (3)$$

여기에서

n : 주입구의 수

S_A : 주입구의 단면적(cm²)

ε : 충전 능력(gr / Sec)

G : 압탕을 포함한 주조 중량(gr)

V_A : 주입구에서의 유속(cm / sec)

t : 주입시간(sec)

ρ : 주조재질의 비중(gr / cm³)

g : 중력 가속도(9.8m / sec²)

ξ : 주입속도 계수(0.3~0.9)

H : 주입구 상부에서의 용탕 높이(cm)

5. 3. 금형주조시 응고시간의 보정

상기한 바와 같이 금형주조시는 충전능력의 채택이 중요함을 인정하고, 주입시간은 금형속에서 용탕이 액상온도 T_L의 상태로 냉각되어 지는 시간보다 더 커질수 없음을 감안하고, 이에 따라 응고된 주물의 발체온도 T_{sa}를 주조재질의 액상온도 T_{liq}로 보고, 실제 금형주조 작업시 금형에 용탕이 주입되는 시간은 단지 몇초간이기 때문에 이 시간 동안의 T_{kg}와 T_{ka}를 T_{kg}=T_{ka}로 볼

수 있다. 그리고 주입시간은 응고가 시작될 때 까지의 냉각보다 더 빨라져야 하므로, 실제 주입시간은 응고개시 시간보다 약 20%정도는 빨라져야 한다. 이와 같은 조건들을 감안한 실제 유효 주입시간(t) 계산식은 다음과 같다.

$$t = \frac{1.6G[c \cdot (T_{sg} - T_L) + C]}{s \cdot h(T_{sg} + T_L - 2T_{kg})} \quad \sim (4)$$

5.4. 경사식 금형주조에서 회전운동의 영향

그림 5는 축 o를 중심으로 회전하는 탕도계에 서 유체흐름 상태를 나타내는 것이다. 유체입자 p는 회전축 o로부터 r의 거리에 있다. 탕도내에서 입자의 절대속도는 회전운동으로 $\omega \cdot r$ 로 주어지며, 경사식 중력주조에서의 대표적 회전속도는

$$\omega = \frac{\pi}{12} \text{ rad/sec}$$

이고 이는 3초에 45°회전에 해당한다.

그리고 2차원적 운동개념에서 유체입자 p의 가속도는 그림. 6에서와 같이 방향성이 있는 3요소

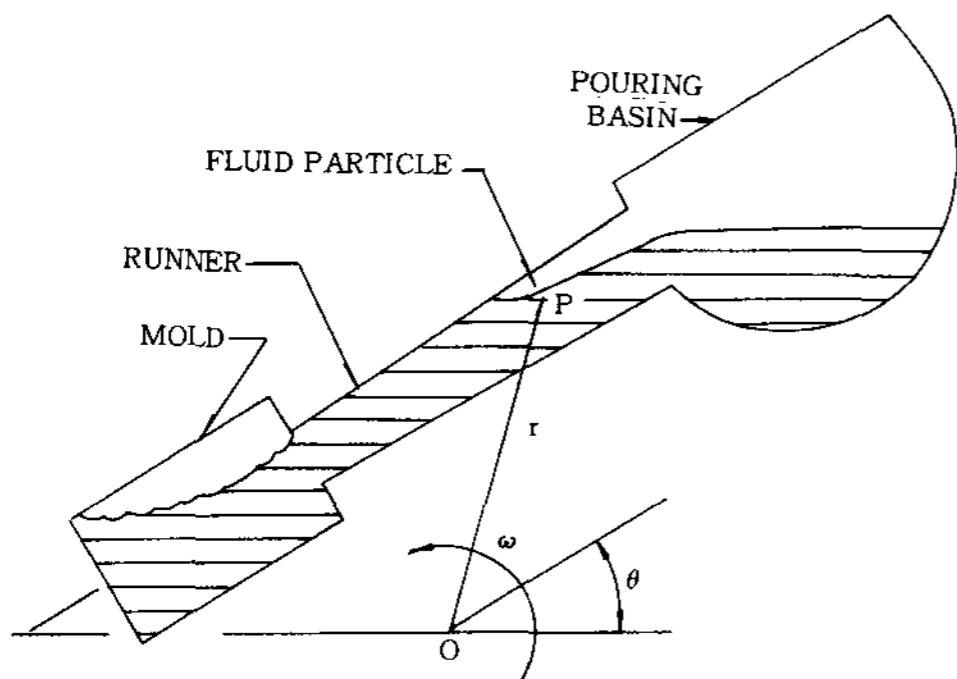


그림 5. 경사식 주입 System

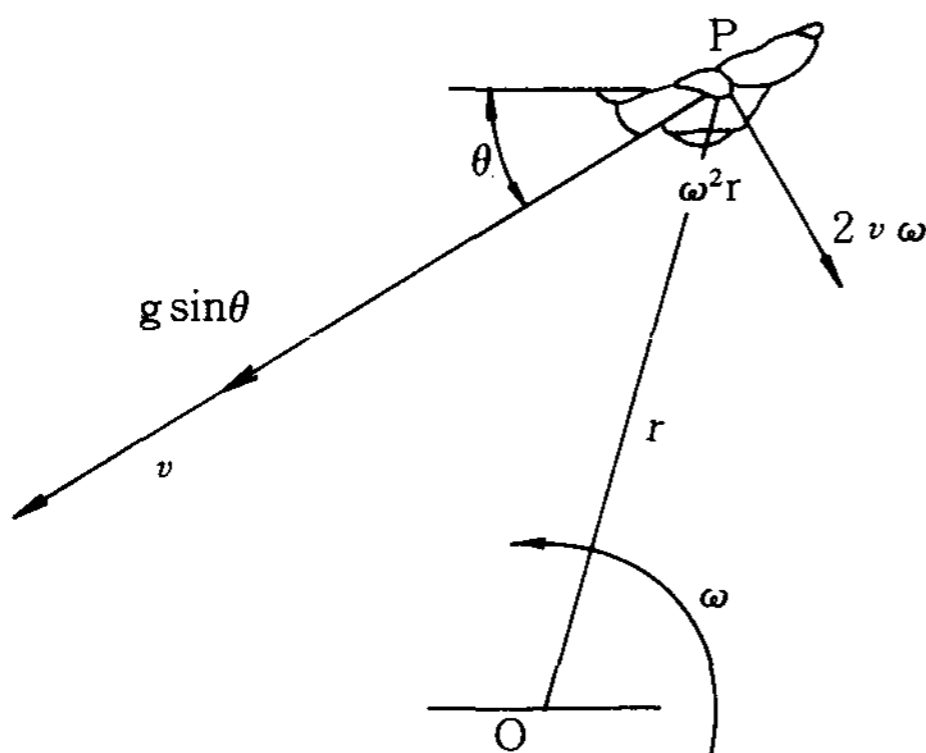


그림 6 유체 P입자의 가속요소

를 갖는다. 이들 가속도 요소는

- a. 경사에 의한 중력 요소 : $g \cdot \sin\theta$
- b. 축 o의 회전으로 일어나는 구심요소 : $\omega^2 r$
- c. 용탕 흐름의 회전에 기인하는 coriolis 요소 : $2 \cdot v \cdot \omega$

여기서 v는 그림. 6에서 보는 바와 같은 유체속도이다.

INCRA(International Copper Research Association)의 연구결과 각 가속도와 coriolis요소를 합쳤을 때, 그 값은 중력치의 10%보다 작음을 밝혔으며, 45°~90°회전방식에서 중력치는 6.9 m/sec²에서 9.8m/sec² 사이의 값을 갖는다고 했다. 따라서 경사운동은 연속적으로 탕도의 경사도를 변화시켜 경사도의 변화에 따른 중력의 가속도 값의 변화로 유체배출속도에 영향을 주게 한다.

6. 결론

이상과 같이 살펴 본 황동의 경사식 금형주조의 기본 사항들은 최근 국내에 도입된 수전금구류 금형주조기술에 미흡하나마 적용될 수 있는 주조 기술적 사항들로 사료되며, 이외에도 금형 및 금형 재질, 도형제, 주입 ladle의 형상, 그리고 금형주조형 적정 중자의 선택등이 현장적 문제를 해결하는데 중요하다고 생각한다. 이들에 대해서는 향후 좀 더 기술적 체계가 갖춰지면 게재할 수 있게 되길 바란다. 실제 본 금형주조법이 채용되어, 당사의 경우 종래 사형주조법에 비하여 20%의 회수를 향상, 제품표면 불량율의 20%이상 감소, 및 우수한 제품 내압성을 얻게 되었으며, 또 후처리 공정의 단순화로 생산성의 제고가 가능하게 되었다.

참 고 문 헌

1. 동합금 주물의 기술(銅合金 鑄物의 技術)
2. Information bulletin(IMR, Italy)
3. Leichtmetall und Schwermetall Kokillenguß
4. The gravity tilt casting of copper alloy components(INCRA project No. 390.)
5. Basic principles on the gravity die casting in permanent mold for brass. (MAS, Italy)
6. Permenent mold casting alloys, Information bulletin.
7. 한국 공업 규격 KS-D-6001
8. Metals Handbook - vol. 8