

鑄造用 Matchplate Pattern 제조기술

金東玉* · 呂仁東**

Production Technique of Aluminum Matchplate Patterns for Foundry

Dong Ok Kim* In Dong Yeo**

감하기 위한 방안을 정립하였다.

1. 서 언

2. 주형재료 및 주조금속

주물공장에서 사용하는 Matchplate pattern은 Plate의 양면에 모형을 분할해서 붙인 방식으로서 소형물의 기계조형에 주로 이용되며 조형 생산성이 높다. 소량생산일 때는 목형을 Plate에 붙여서 사용하기도 하나 대량생산일 때는 금속재로 제작하며 취급상 경량을 요하기 때문에 Al 합금을 주로 사용한다. 일반적인 제작방법은 모형을 사형주조하여 상하형을 다듬질한 후 알루미늄판에 다시 붙인다.

이렇게 Al 합금을 기계가공하여 제작할 경우 제작시간이 길고 제조원가 또한 비싼 단점이 있으므로 本稿에서는 상하모형과 Plate를 일체형의 석고주형으로 정밀주조하여 기계가공을 생략함으로써 제작시간을 단축하고 제조원가를 절

2.1 주형재료
Match plate를 일체형으로 정밀 주조하는데 있어서 주형재료는 석고를 이용하였으며 주조법은 무압탕의 가압주조법을 택하였다.

주형용으로 사용되는 석고는 소석고인데 약 ½mole의 화학수를 지니고 있으며 물과의 혼합에 의해 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 가 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 로 수화경화한다. 시판되는 석고는 자연상태로 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 60~90% 함유하고 있는 천연원석고를 수세 선별처리한 천연석고와 인광석으로부터 추출하는 인산석고, 산화티탄 회수시의 폐액으로부터 추출하는 티탄석고 등의 화학석고를 일정비율로 혼합하여 소성시켜서 소석

*창원본소 주물연구부장, Director of Foundry Research Dept.

**창원본소 주물연구부, Member of Foundry Research Dept.

고($C_aSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O$)를 만들며 용도에 따라 적량의 첨가제를 섞어 출하한다.

소성방법에 따라 공기중에서 가열한 것을 β 형 석고, 수증기 중에서 가압 가열하여 제조하는 α 형 석고로 구분이 되는데 화학구조상의 차이는 없으며 일반적으로 α 형 석고는 β 형 석고에 비하여 필요로 하는 혼수량이 적기 때문에 건조시간이 짧아서 경제적이며 강도가 크다.

주형으로서 필요한 석고의 제성질은 모형 형발시에 부서리지 않고 원형을 유지할 수 있는 충분한 습태강도를 가져야 하고 건조시에 균열발생이 없어야 하며 용탕주입시에 열충격으로

부터 건될 수 있는 고온강도가 있어야 한다.

또한 응결시나 건조시에 수축팽창량이 적어야 제품의 치수정도를 높일 수 있다. 주형용 석고재료는 일차적으로 이와같은 제조조건이 충족되어야 함이 필수적이다. 본 실험에서는 α 형 석고에 30% 정도의 talc와 기타 첨가제를 미량 혼합하여 사용하였는데 양호한 주형특성을 얻었다.

2.2 주조금속

Match plate 제조용의 Al 합금은 비교적 응고 범위가 넓은 재질을 선택하여야 하며 다음과 같

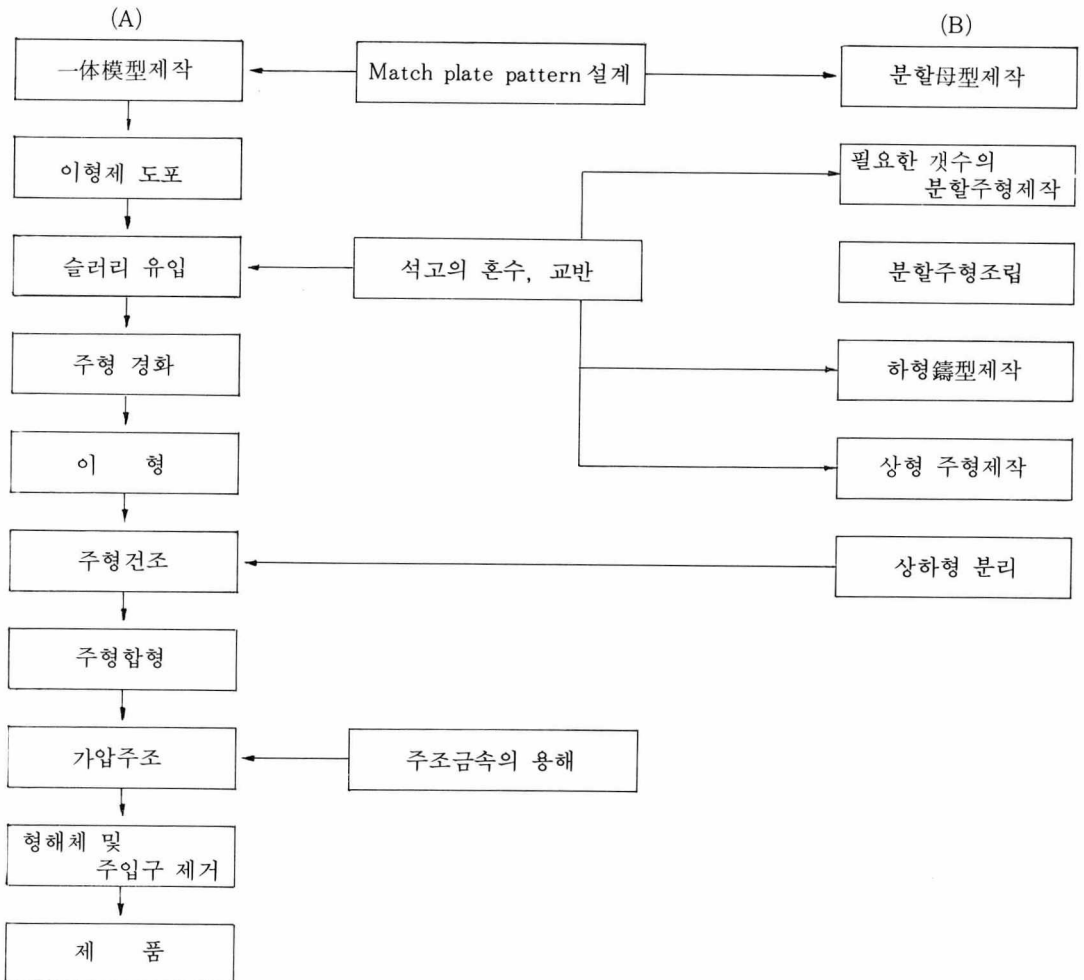


그림 1. 주조에 의한 Match plate pattern 제조공정도

은 특성을 고려하여야 한다.

(1) 규소(Si)의 함량이 높으면 응고수축이 줄어들고 유동성이 좋아지며 용융온도가 낮아진다.

(2) 동(Cu)의 함량이 높아지면 주조성이 좋아지고 기계가공성이 좋다.

(3) 철(Fe)의 함량이 높아지면 취성이 증가하므로 함량을 최소로 한다.

이와같은 특성을 고려했을 때 KS 규격으로는 AC4B나 AC4C 합금을 사용하는 것이 적당하다.

3. 제작공정

그림 1에는 Match plate pattern 제조의 작업공정도를 보여 준다. 먼저 필요한 Match plate의 기본설계를 완료한 다음 일체형 또는 분할형의 모형을 제작한다. 모형으로부터 슬러리를 유입하여 주형을 제작한 다음 건조과정을 거치고 상하형을 합성한 후 용해된 금속을 가압주조 한다.

3.1 모형제작

Match plate pattern에는 한 Flask에 동일한 소형물이 여러개 붙어 있으므로 같은 모형이 동시에 여러벌 필요하다.

이러한 경우 동일모형을 여러개 제작하는 것 보다는 原型을 하나 만들어 분할된 鑄型을 계속 복사하고 이를 조합해서 주형을 제작하는 것이 합리적이다. 원형은 실제품이 있을 경우 이를 고팡창석고로 복사해서 활용하는 방법이 있고 도면으로부터 직접 제작하는 주형의 수축팽창량, Match plate pattern의 수축팽창량(AI 합금 수축량), 주조품의 수축량(실제품의 수축량)을 고려하여 原型을 제작한다. 모형재료는 석고, 목재, 금속 등이 사용되는데 목형을 사용할 경우는 락카 등으로 완전 방수처리를 한 다음 이형체를 발라야 한다. 복잡한 형상이나 역구배의 제품은 고무모형을 사용하는 것이 형발에 무리가 없다. 이형체는 목형이나 금속제 모형일 경우 스테아린산(100g)을 케로신(40g)으

로 희석해서 쓰거나 액상 실리콘계가 좋으며 석고형의 경우는 카리비누 용액이 좋다.

3.2 주형제작

3.2.1 슬러리 제조

석고주형은 주형재료와 혼수비, 수온, 교반시간 및 교반속도에 따라 주형강도, 응결팽창량, 건조수축량, 경화시간, 가사시간 등이 달라지므로 이의 적정조건을 잡는 것이 중요하다. 표 1 과 표 2에는 주형의 제성질에 미치는 각 인자의 영향을 나타냈다.

본 실험에서는 슬러리의 유동성을 고려하여 혼수비는 60%로 하고 수온은 높을수록 응결팽창량이 줄어들지만 너무 높은 온도에서는 슬러리의 유동성이 나빠지므로 10분 정도의 가사시간을 가지도록 25°C의 물을 사용하였다. 그리고 3kg 석고량에 대하여 500rpm으로 2분간 교반하였다. 그림 2에 교반기의 형상을 보여 준다.

표 1. 혼수량과 수온에 따른 주형성질 변화

조 건		응 결 팽창량	건 조 수 축 량	습 태 압축강도
혼 수 량	증 가	작 다	증 가	감 소
	감 소	크 다	감 소	증 가
수 온	높 다	작 다	증 가	감 소
	낮 다	크 다	감 소	증 가

표 2. 슬러리 교반시간 및 속도에 따른 주형성질 변화

조 건		응 결 팽창량	건 조 수 축 량	습 태 압축강도
교반시간	길 다	작 다	영 향 이 적 다	감 소
	짧 다	크 다	영 향 이 적 다	증 가
교반속도	빠르다	작 다	증 가	증 가
	느리다	크 다	감 소	감 소

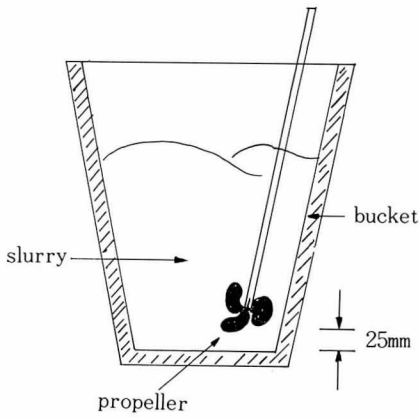


그림 2. 석고슬러리 교반기

슬러리의 유입시 기포가 모형표면에 생성되는 것을 방지하기 위하여 진동을 주거나 먼저 얇게 슬러리를 모형 표면에 바른 다음 전체 슬러리를 유입하였다.

3.2.2 경화시간과 이형시기

석고 슬러리가 완전 경화하는데는 약 40분이 소요되며 형발은 석고가 경화 완료된 직후 즉시 하는 것이 좋다. 왜냐하면 석고는 물과의 경화 반응시 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + x\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + y\text{H}_2\text{O}$ 로 결정구조가 바뀌면서 발열팽창을 하다가 경화가 종료되면 여분의 유리수가 탈수되어 다시 수축을 하게 되므로 주형이 최대로 팽창되고 어느정도 가축성이 있는 상태인 경화완

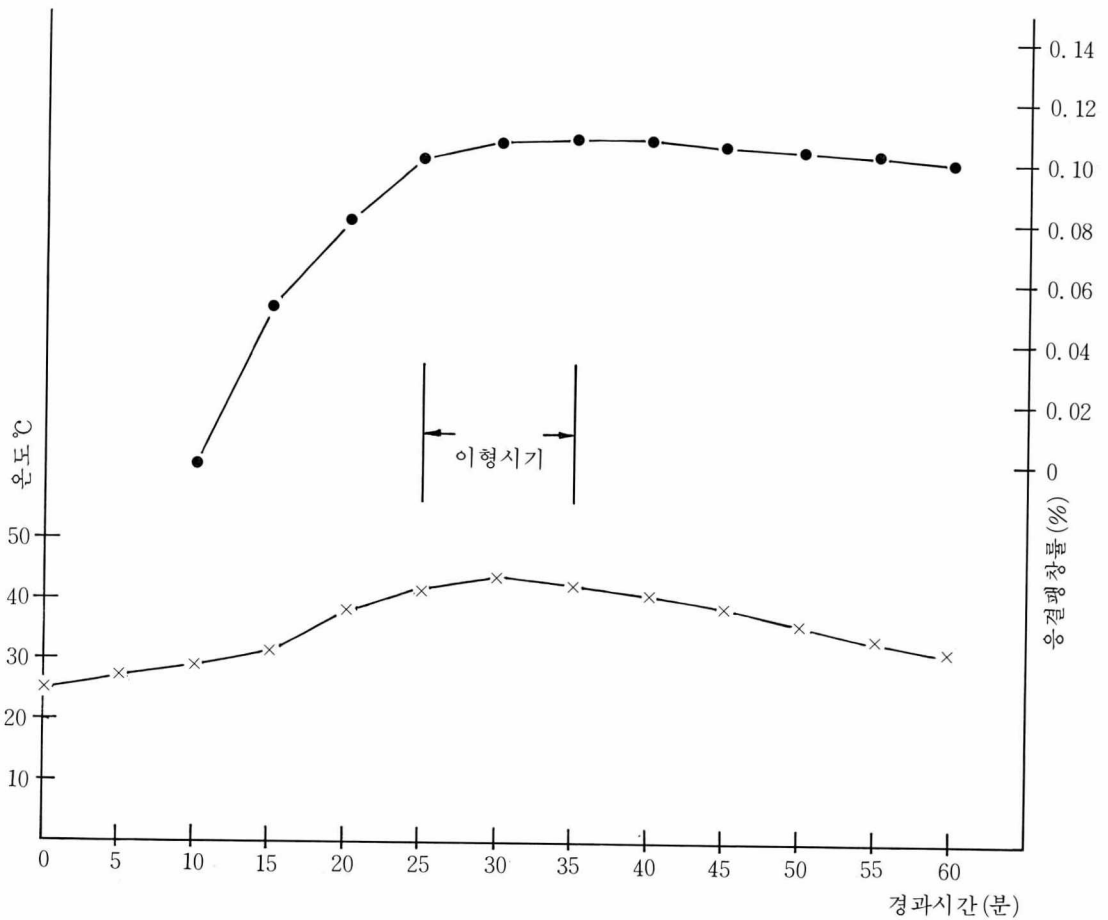
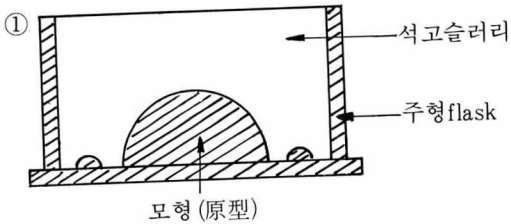


그림 3. 슬러리 경화시의 주형온도 변화와 응결팽창률

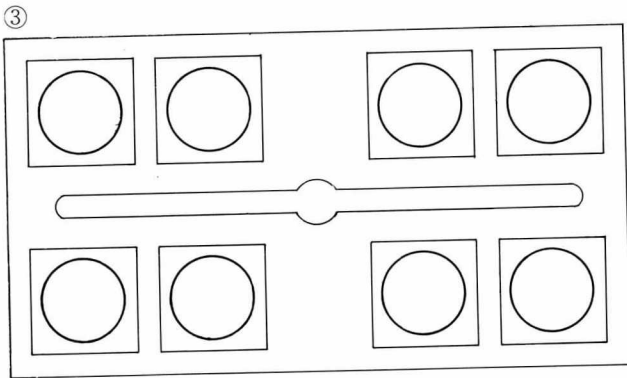
료 시점에서 형발을 하는 것이 가장 유리하다. 경화가 완료된 후 오래 방치하게 되면 형발이 곤란하여지고 경화가 완료되기 전에 형발을 할 경우 강도가 약하여 주형이 파손되기 쉽다.

석고의 경화완료 시간은 주형내에 열전대를 꽂아 최고온도에 도달하는 시간으로 잡고 있으나 현장에서는 주형표면을 손가락으로 눌렀을 때 지문이 나타나지 않는 정도가 되었을 때 형발을 하면 된다.

그림 3 에는 슬러리 경화시의 주형온도 변화



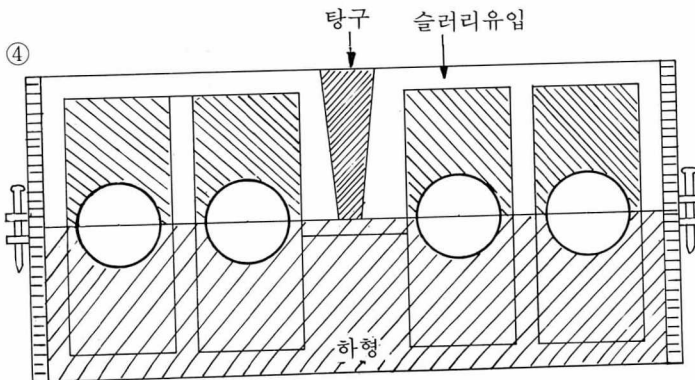
슬러리를 분할주형 Flask에 유입한다.



유리판 위에 분할주형을 배열하고 탕도, 주입구, 압탕 등을 필요 위치의 유리판에 붙인다.

유리판에 주형틀을 씌우고 슬러리를 유입한다.

경화 후 유리판으로부터 분리한다.



제작된 하형표면에 카리비누 용액을 바른 다음 상형분할 주형과 탕구를 각 위치에 고정시킨다. 슬러리를 Flask 속에 유입하고 경화 후 상하형을 분리시킨다.

그림 4. 분할주형을 이용한 주형제작공정

와 응결팽창률을 보여 준다. 경화완료 시점에서 주형온도와 응결팽창률이 제일 크다는 것을 알 수 있다.

3.2.3 주형제작공정

그림 4 에는 일체 모형을 사용하지 않고 原型을 이용하여 분할주형을 필요한 갯수 만큼 복사한 다음 이를 조합하여 상하형 주형을 제작하는 공정을 보여 준다.



필요한 숫자만큼 분할주형을 복사해 낸다.

3.2.4 주형의 건조

슬러리 제조시 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 가 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 로 되는데는 약 18.6% 정도의 물만이 첨가 되면 되지만 슬러리의 유동성을 고려하여 항상 이보다 많은 물을 첨가하게 되므로 경화된 주형 내에는 과량의 유리수가 존재한다. 이러한 수분은 용탕 주입시에 결함을 유발하므로 석고주형은 표면이 완전히 무수석고가 된 상태로 건조한 후 용탕을 주입해야 한다.

표 3 에는 온도에 따른 석고의 상태와 중량변화를 보여 준다.

주형의 모듈 ($M = \frac{\text{체적}}{\text{표면적}}$)에 따라서 건조시간은 달라지지만 주형중심부에 열전대를 꽂아 200℃에 도달하는 시간을 기준했을 때 주형두께 150mm인 경우 230℃ 노내온도에서 약 20시간이 소요된다. 그리고 230℃까지 노내온도를 승온시키는데 있어서도 50℃씩 단계적으로 온도를 올려야 주형의 균열을 방지할 수 있고 건조후에도 단계적으로 노내온도를 내려 100℃에서 노 밖으로 끄집어 낸다.

3.3 주조금속의 용해

Al 합금의 용해는 일반 사형주조와 동일하게 하며 주형의 통기성이 없어서 가스방출이 여의치 않으므로 용탕의 탈가스를 충분히 하도록 한다. 또한 주형내의 응고속도가 느려서 결정립이 조대하여 지므로 입자 미세화 처리를 필히 하도록 한다. 주입온도는 차형에 비하여 상당히 낮아야 하므로 용탕온도를 과다하게 올릴 필요는 없다.

3.4 가압주조

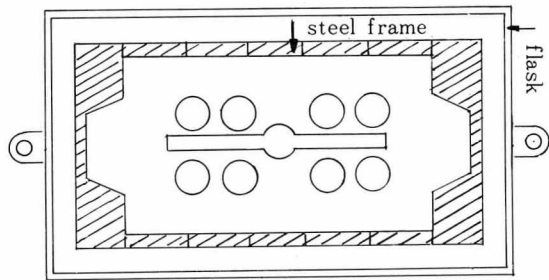
석고주형은 주형의 통기성이 거의 없으므로 일반적인 중력주조로는 주조가 불가능하며 주입시의 용탕의 충전성을 높이고 주형공간내의 공기를 순간적으로 몰아내기 위하여 공기압에 의한 가압주조를 행하며 방법은 다음과 같다.

주형건조가 완료되면 그림 5 와 같이 하형위에 10mm 두께의 Steel frame을 설치하고 상형을 합형한다. 이 Steel frame의 두께가 바로 Match plate의 두께가 되는 것이다. 합형된 상

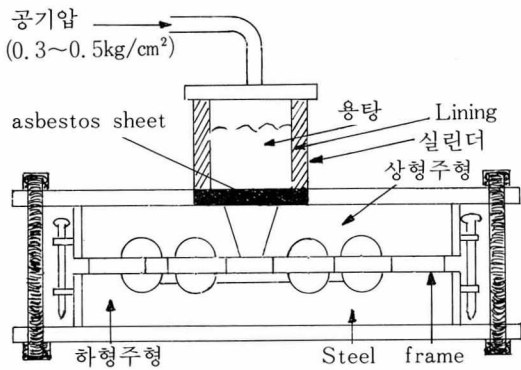
표 3. 온도에 따른 석고의 상태와 중량 변화

온도	석고의 상태	분자식	결정계	중량변화%
상온	반수석고	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$		100
상온	혼수에 의해서 유리수가 함유된 이수석고	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		118.6 + 유리수 (+혼수량)
100℃	건조에 의한 유리수의 증발	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	單斜晶系	118.6 (+18.6)
120℃ 부근	이수석고로부터 반수석고로 탈수	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	斜方晶系	100 (0)
200℃ 부근	반수석고로부터 III형 무수석고로 탈수(가용성 무수석고)	III CaSO_4	三斜晶系	93.8 (-6.2)
400℃ 부근	III형 무수석고로부터 II형 무수석고로 轉移(난용성 무수석고)	II CaSO_4	斜方晶系	93.8 (-6.2)
1,200℃ 부근	II형 무수석고로부터 I형 무수석고로 轉移	I CaSO_4		93.8 (-6.2)
1,300~1,350℃	열분해	$\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{SO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$		38.6 (-61.4)

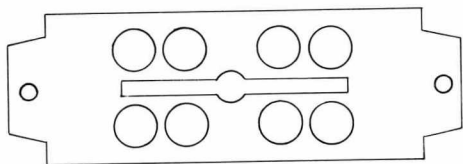
· 하주형의 정반을 꼭 조인후 탕구위에 1~2mm 두께의 Asbestos sheet를 덮는다. 이 위에 Steel제 실린더를 설치한 후 용탕을 주입한다. 이때 실린더 내부는 석고 또는 석면으로 10~20mm 정도 Lining 되어 있어야 실린더 내에서의 용탕의 온도강하를 줄일 수 있다. 주입 후 실린더의 뚜껑을 닫고 0.3~0.5kg/cm²의 공기압을 실린더 속으로 가하게 되면 Asbestos sheet가 터지면서 용탕이 주형공간으로 유입된다. 이때 주입온도는 낮을수록 건전한 주물을 얻을 수 있으며 액상선 온도 +50℃ 이하에서 주입하는 것이 수축결함을 방지하는데 도움이 된다.



(1) Frame 설치 (하형)



(2) 주형합형 및 주조



(3) 제조된 Match plate

그림 5. 가압주조방법 및 장치

3.5 주형해체 및 끝손질

석고주형의 냉각능은 상당히 낮으므로 응고 완료 시간이 상당히 길어진다. 따라서 주입 후 실린더내의 용탕이 응고될 때까지 약30분 정도 계속 공기압을 가하여야 하며 형해체는 최소한 3시간 정도 지난 후에 하는 것이 바람직하다. 가능한한 상온으로 식은 후 해체하는 것이 Plate의 휨 경향을 방지할 수 있다.

해체 후 Water jet로 표면의 잔류석고를 제거시킨다. 탕구를 잘라내고 손질을 한 다음 Guide pin 구멍을 뚫어서 출고한다.

4. 제조방법에 대한 검토

가압주조법에 의한 Match plate pattern 제조방법은 이미 선진 외국에서는 오래전부터 사용해 온 방법이였으나 국내에서는 용도에 맞는 석고재료가 개발, 공급되지 못하였고 업체에서 자체적으로 공정을 확립하기에는 까다로운 변수들이 있어서 국내에서는 기술정착이 되지 못하였다.

본 연구에서는 국산석고 재료를 그대로 사용하기에는 사용상에 결점이 있어서 국산 α형 석고에 첨가제를 투입하여 Matchplate pattern제조 전용의 배합석고 재료를 개발하였으며 이 재료에 맞는 공정을 정립하였다. 여기서 배합비에 대해서는 언급을 생략한다. 표 4에는 제조방법에 따른 제작원가를 비교한 것으로서 종래의 방법으로 제작하는 비용을 1로 잡았을 때의 제작비 指數이다. 종래의 방법과 비교하여 가압주조법이 기초재료비는 조금 많이 들어가지만 가공비가 거의 생략되기 때문에 전체 제작비는 간단한 형태일 경우 50% 정도 절약되며 복잡한 형태일 경우 70~80% 정도까지 감소된다. 제작기간 또한 종래의 방법보다 훨씬 단축된다.

가압주조시에 나타날 수 있는 결함으로는 Scab, Metal penetration, Blow hole, 수축결함, 탕회불량 등이 있다. 탈가스나 주형건조가

표 4. Match plate 제조방법의 비교

제 작 법	제 작 비			비 고
	재료비	가 공 비	전 체 제작비	
종래의 방법 (사형주조+가공)	1	1	1	간단한 형상
가압주조법 (석고주형 정밀주조)	1~1.5	0.2~0.4	0.4~0.6	

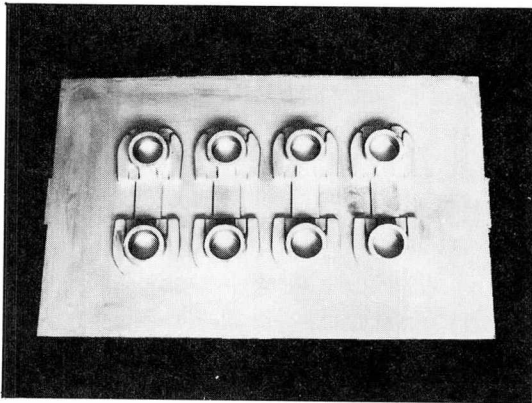


사진 1. 가압주조법을 이용하여 제작한 Match plate 시작품

불충분할 때 Blow hole 결함이 나타날 수 있으며 주입온도가 너무 낮거나 가압시의 압력이 너무 낮을 경우 탕회불량이 되며 가압력이나 주입온도가 너무 높을 경우 Scab, Metal penetration 결함이 발생한다. 또한 주입온도가 너무

높고 가압력이 낮을 경우 수축결함이 발생하게 된다. 이와같은 결함들은 제대로 공정이 지켜지지 않는데 기인한 결함들로서 확립된 공정에 따라 조업함으로써 건전한 주물을 항시 얻을 수 있다.

사진 1은 본 방법으로 제조한 Matchplate pattern으로서 재질은 AC4C합금을 사용하였다.

5. 결 론

1) 동일형상의 모형이 나열된 Matchplate 일 경우 주형은 분할주형을 먼저 제작한 후 이를 조합하여 제작하는 것이 합리적이다.

2) 주형의 이형은 경화완료와 동시에 행하는 것이 형발이 용이하다.

3) 주형의 건조는 낮은 온도에서 할수록 주형의 균열발생이 적으며 건조온도는 230°C를 넘지 않아야 한다.

4) 가압력은 0.3kg/cm²~0.5kg/cm²의 범위가 적당하며 가압력이 너무 높으면 Scab이나 Metal penetration 경향이 심해진다.

5) 주입온도는 가능한 한 낮아야 하며 액상선 온도 근처에서 주입하도록 한다.

6) 가압주조법에 의한 제조방법은 종래의 가공방법에 비하여 Matchplate 제작비가 50% 정도 절감된다.

7) 설계시에 석고의 팽창수축량, 주조금속의 수축량을 함께 고려하여야 치수정도가 양호한 Match plate pattern을 제작할 수 있다.

《참 고 문 헌》

1. 岡野公平, 鑄物, Vol. 34(1962) p. 742
2. W. E. Sicha, AFS Trans. Vol. 69(1961) p. 479
3. R. F. Dalton, AFS Trans. Vol. 58(1950) p. 699
4. 加藤英承, JACT NEWS, 1980, p. 4917