

技術資料

# 消失模型鑄型法

최정철\*, 박익민\*\*

## Evaporative Pattern Casting

J. C. Choi\*, I. M. Park\*\*

### 1. 序 言

消失模型주형법은 發泡polystyrene으로 만든 模型을 주물사중에 넣어 模型을 발취하지 않고 주입하여, 용탕의 열로 模型을 휘발 제거시키는 방법이다. 이와같이 소실성의 模型을 사용하는 주조법은, Ford社에서는 EPC(Evaporative Pattern Casting)法, GM社에서는 Lost Foam法, Fiat-Teksid社에서는 Policast法, Auto Alloys社에서는 Styrocast法 SCRATA, Foseco社에서는 Replicast法, John Deer社에서는 Polylok法등의 다양한 이름으로 불려지고 있다. 1968년 E. Krzyzanowski는 주괴의 下部에서 기체를 吹込하여 流動床을 만들고 模型을 砂中에 매몰하여 주입시 減壓하는 減壓full mold法을 개발하여, 현재의 量産기술의 근간을 제공했다. 이 방법은 특허문제로 1985년 경부터 본격적으로 자동차 산업에 적용되기 시작했고, 1987년 St. Louis에서 개최된 Cast Expo 87에서는 가장 관심을 모아졌던 화제가 되기도 했다<sup>1~3)</sup>. EPC工程의 예를 그림 1에 나타낸다. EPC공정은 發泡模型(expandable pattern)과 無粘結砂(unbonded sand)로 특징되어 진다. Core가 불필요하고 finish 가공이 적은 점등 장점이 있는 반면, 얇은 주물에 적용하기 힘들고, gas결함이 많은 점등이 문제점으로 지적되고 있다.

본 방법의 발전단계 및 各國 개발 현황에 대해서는 他 報告<sup>4)</sup>에 상술되어 있어, 본 자료에서는 특성 및 기술적 문제점을 간추려 보았다.

\*아주대학교 재료공학과

\*\*부산대학교 금속공학과

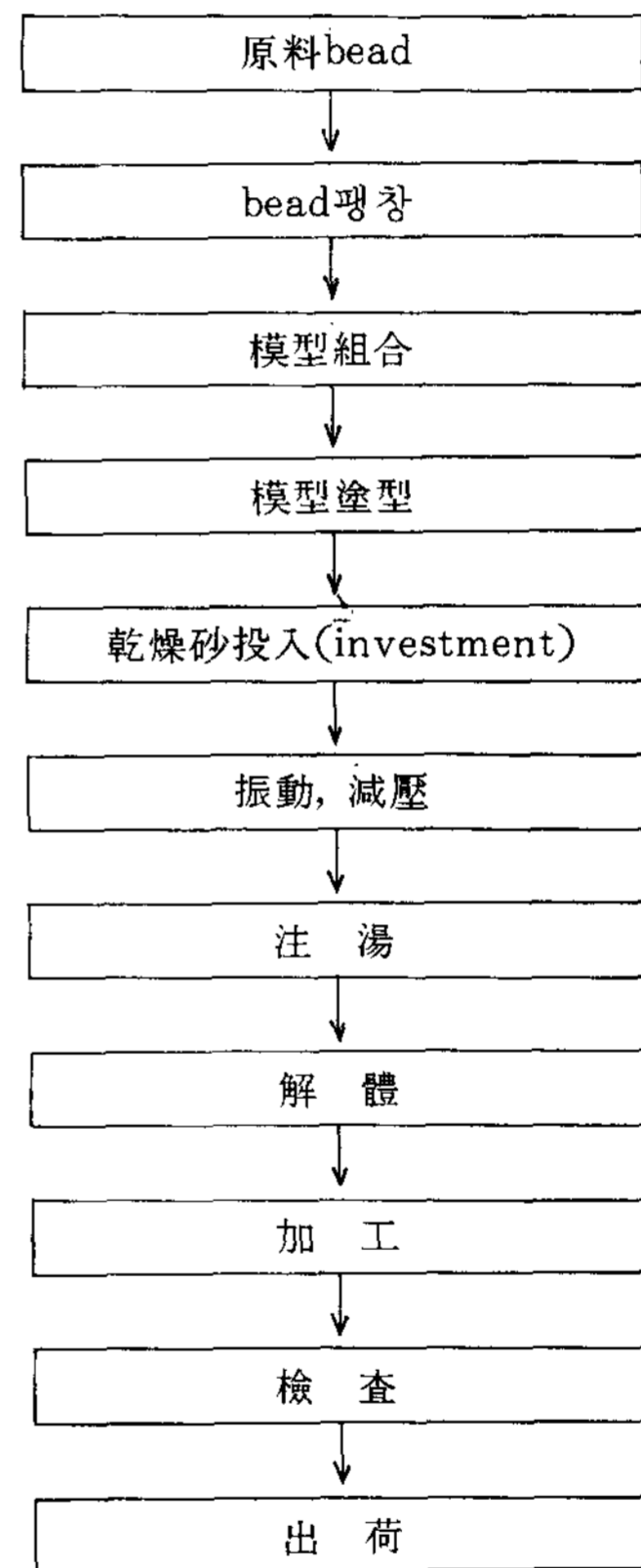


그림. 1 EPC工程의 예

### 2. 發泡模型의 製作

그림 2에는 發泡模型의 제작공정을 나타낸다.

발포모형제로는 polystyrene이 가장 많이 사용되고 있는데 이는 long chain polymer인 熱可塑性 수지로서 92-94%의 C, 4~8% H, 他 미량원소

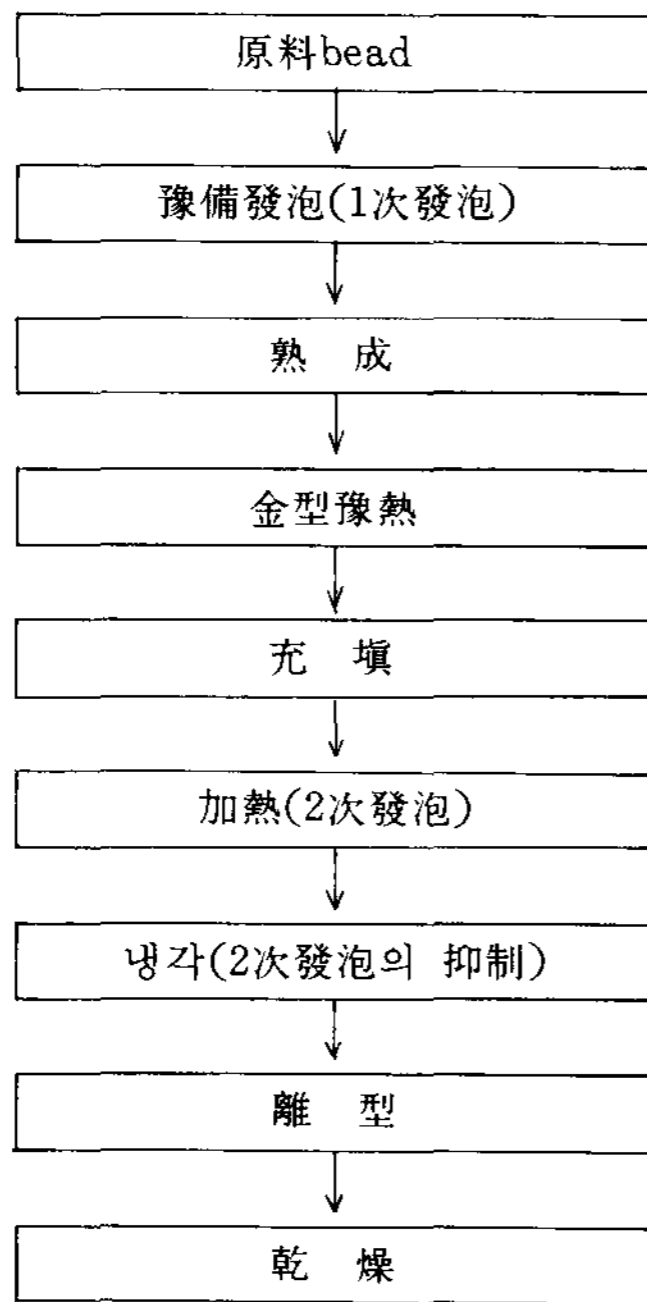


그림. 2 發泡polystyrene의 成型工程

로 구성된다. pentane과 butane이 팽창제로 사용되고, 팽창후의 밀도는 16g/cm<sup>3</sup> 정도의 낮은 밀도로 된다. EPS는 有毒하지는 않지만 可燃燒性이므로 제조 저장시 유의해야 한다. 自然發火의 문제는 없다. 발포 polystyrene은 成形後 0.005~0.008in/in의 수축이 있고, 이 수축은 첫 일주일 에 약 75%, 수축限界 日은 한 달 정도이다. Polystyrene bead는 저장중 공기보다 무거운 pentane gas가 누출되므로 유의해야 한다. Al용탕을 EPC주형에 주입하면 모형재료는 기화해서 도형재를 통해 unbonded sand로 탈출한다(그림 3). 그러나 용융점이 높은 鐵系합금에서는 polystyrene은 분해해서 광택있는 탄소 殘留物을 형성한다. 이 탄소는 주입도중에 용탕표면으로 浮上 집결한다. 거의 주입이 완료時는 용탕과 도형재 사이에 포착되어 탄소결함을 유발한다. 砂 및 塗型材의 통기성, gate설계, 모형형상, 주형中の 모형방향구배, 용탕온도, ferrostatic head 높이등의 변수는 조정해야 한다. 모형재료 자체를 PMMA(poly methyl methacrylate)로 대체해서 분해물을 완전gas화 시켜 탄소 잔류물을 거의 없앨 수 있고, PMMA에 두 산소원자와 aromatic group를 없애므로서 비휘발성 잔류물의 가능성을 더욱 줄일수 있다고 보고하고 있다<sup>1)</sup>. 발포모형재

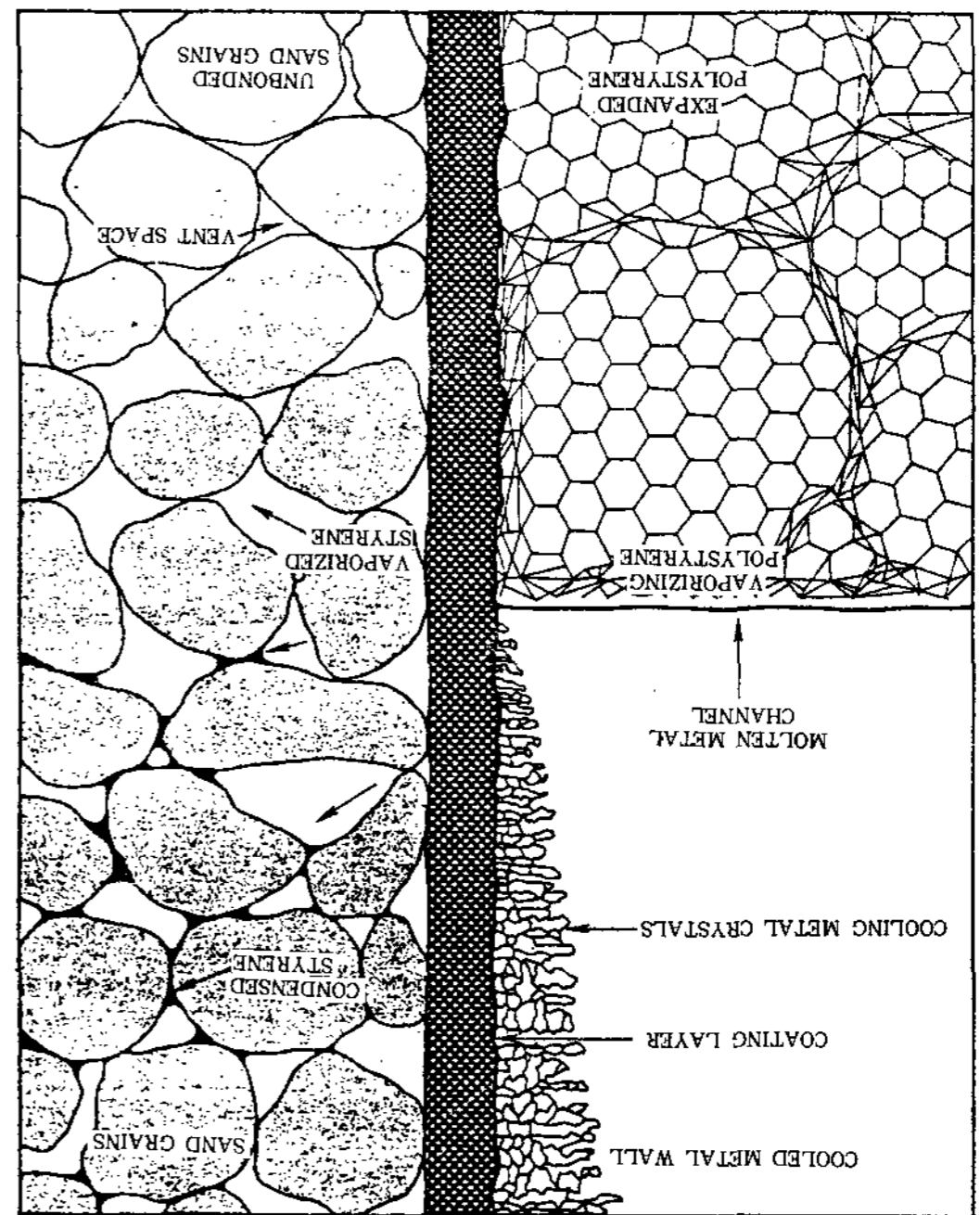


그림. 3 塗型한 模型의 鑄込時 變化 模式圖

료는 PMMA 外에도 PE 및 PP 材도 검토되고 있다.<sup>6)</sup>

발포polystyrene 성형용 金型은, 성형과정 중에 가열냉각이 반복되므로 열전도율이 좋은 것이 요구되며, 통상 Al합금으로 제작된다. 모형의 발포 배율은 鑄鐵의 경우 50~60배, Al系의 경우 40~50배로, 균일한 발포를 위해서는 bead의 취입위치, steam孔 흔적을 최소화 시킬수 있다. 일반적으로 厚肉物의 경우는 bead의 充填에 큰 문제가 없고 분해 gas 탈출이 어려운 점이 있어 高발포배율, 큰 입경의 bead 사용이 좋고, 薄肉物은 그 반대 현상으로 작은 입경의 bead 사용이 유리하다. 小粒經의 bead는 比表面積이 커서 합침 gas 휘발이 쉬워 일차 발포후의 보존 가능 기간이 짧고 최종 발포 배율에는 한계가 있다.

### 3. 塗 型

소실모형 주형법에서의 도형은 ceramic shell의 인 의미를 지니고 있어 도형 그 자체가 모형을 지지하는 주형으로 급탕시 gas를 통과 배출 시키면서 cavity를 유지 시키는 역할을 하고, unbonded sand는 back up을 해주는 역할에 지나지 않는다.

발포 polystyrene은 작은 응력으로 변형되기 쉬워, 용탕 주입시의 열충격과 압력에 견딜수 있는 도형 작업이 없이는 penetration 결함이 多發한다.

도형재료는 耐火 성분인 zircon, mullite, magnesite, graphite와 액체 carrier인 solvent와 물이 일반적으로 사용된다<sup>2)</sup>. 도형작업의 원활을 위해선 이들 두 성분의 差의 조정, 비중측정, 含有 有機質 量의 조정이 절대시 된다. 이러한 mold wash의 例로 1차 2차에 걸친 zircon-alcohol의 70Bé, 80Bé를 들 수 있다. Ballman은 EPC 도형은 약한 thixotropic 특성을 지니고 있어, 즉 그들의 粘度는 교반 energy가 어느정도 부여 되느냐에 의해 좌우된다<sup>1)</sup>. 또한 Ballman은 도형두께의 例로 0.25~1.5mm를 例示하고, 주형사가 粗粒일수록, 주입온도가 높을수록, 주형에서의 metallostatic head가 클수록 도형두께가 증가 되어야 한다고 지적하고 있다.

발포 Polystyrene의 분해 gas를 빠른 속도로 분해 시킬 수 있는 통기성의 요구는 특히 無減壓 주입방법의 경우는 절대적이다.

鑄鐵系 減壓주입 방식을 전제로 한 도형제의 경우는 penetration 방지에 중점을 둔 것으로 강도를 위해 통기성을 희생한 것으로, 이를 無減壓 주입 방법에 적용하면 결함이 多發한다. 砂型의 도형과는 달리 발포 polystyrene은 젖음성에 문제가 있고 특히 油性인 離型劑를 사용시는 더욱 젖음성이 저하한다. 도형시 모형의 들기부 주위에 도형제 중의 gas에 의한 기포형성이 많으므로 도형제의 교반시는 공기가 흡입되지 않도록 유의해야 한다.

#### 4. 造 型

점결제를 사용하지 않으므로 砂는 조형중 진동에 의해 細粒과 粗粒으로 segregation되어 penetration이 발생하기 쉬운 下型面에 가장 粗粒의 입자가 표면에 나오기 쉬우므로 원칙적으로 單一 입경砂를 사용해야 한다. 複合 입경砂의 통기성은 최소 입경사에 큰 영향을 받는 사실에 유의해야 한다. 주철계 無減壓 주입방법의 경우 통상 통기성이 좋은 48호 이상의 粗粒을 사용한다. 小物에서는 65호사가 한계로 그보다 細粒이면 결함이 발생하고, 150호사에서는 gas압에 의해 型이 붕괴한다.

減壓방식의 경우는 도형균열에서의 penetration 피해가 있으므로 100호 정도의 細粒을 사용한다. 또 Al 및 Cu계 합금에서는 무감압방식이라도 細

粒 사용이 가능하다. 砂溫은 50°C 이하로 하지 않으면 모형의 변형을 유발하므로 주의해야 한다.

砂충진법에는 flask중에 下型상당 부분까지 砂투입후 모형을 설치하고 진동 충진 시키는 법과 미리 충진된 flask의 밑에서 압력공기를 취입하여 모형을 설치하는 float mold 법으로 대별된다. 진동 table은 통상 0.9~1.5G의 것을 사용하는데 加振 가속도 1G 이하에서는 비효율적이고 2G 이상에서는 오히려 충진이 안되고 모형의 파손을 초래하는 경우가 많다. 單軸진동의 경우, 일반적으로 垂直진동이 垂平진동 보다 유효한데, 砂의 충진에는 수직진동이 유효하고 砂의 이동에는 수평진동이 유효하다.

단진동으로는 상부砂압력 밖에 형성되지 않고, 3차원 진동은 각 방향의 압력형성이 가능해져 충진이 완벽해진다. 특히 3차원 진동시 진동방향 mode를 변화 시키면 아주 양호한 충진을 얻을수 있다<sup>8)</sup>. 모형 설치시의 매설 방향을 조절해서 충진을 향상시킬 수도 있다.

#### 5. 鑄 込

발포 polystyrene의 熱分解거동은, CH<sub>2</sub>-CH-benzene의 수 많은 chain으로 연결된 polystyrene이 80°C부근에서 軟化하기 시작하여 420~480°C에서 styrene monomer로 분해하고 그 이상의 고온에서는 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> O 등의 저분자 gas로 분해된다.

Styrene monomer와 저분자 gas는 같은 온도라도 2배 이상의 gas壓 差가 있고, 실제 주철계의 주물의 경우는 상당히 많은 양이 저분자 gas로 분해하여 그 gas壓이 상당히 클것이 예상된다. Kowalkec는 gas壓이 대기압+0.25bar 정도임을 지적해서, 이는 점토계 生砂型의 발생 압력의 100배에 달하는 값이다. 이 값은 용탕의 주입 속도와 모형의 기화 속도에 의해 결정되므로, 주입속도가 5kg/s時, 주형중을 0.5bar 감압하는 것이 탄소계 결함을 줄일수 있는 報告도 있다<sup>6)</sup>.

한편 styrene monomer 자체의 沸點은 145°C로, 주형사에 스며들면 바로 액체로 응축하는데, 이 액체량은 100% styrene monomer의 경우 주물용적/(발포배율×0.9)로 표시되어, 例로 40-50발포배율의 경우, 11당 22~28ml 정도에 지나지 않는다. 주철주물의 경우 상술과 같이 gas 발생량이 많아,

통기성이 충분치 않으면 weight를 많이 주어도 주형이 붕괴되므로, 감압해서 사용한다. 감압하면 쉽게 주입되나 過減壓時에는 미분해 발포polystyrene에 따른 gas결합이 발생한다. 無減壓 혹은 弱減壓의 경우는 주물상부에 탄소계 결합이, 過減壓의 경우는 측면에서 상부에 걸쳐 gas결합이 발생하기도 한다. Al 주물의 경우는 비중이 가벼워 발생 gas 저항을 받기 쉬워 cavity 주형보다 주입시간이 길어지고, 小物에서는 모형 분해를 위한 열량 손실과 발생 gas압에 따라 유동성이 나빠진다. 감압의 효과는 있지만 분해 gas의 상당량이 액체로 응축되므로 발생 gas 배출의 의미는 적다. 그래서 도형막 통기성이 확인되면 150호 砂사용에 의한 無減壓 주입 방법도 가능하다. 무리하게 過減壓하여 주입하면 용탕은 주형벽에 따라 先行해서 미분해 발포polystyrene이 용탕중에 흡입되고, 주형벽은 용탕에 막혀 배기가 곤란한 경우까지 발생한다. 일반적으로 Al系合金의 감압은 주철주물 보다 한

차원 낮게 조절해야 한다<sup>5)</sup>.

参 考 文 献

1. W. D. Huskonen ; Foundry management & technology, 2(1987) p. 37
2. H. J. Heine ; Foundry management & technology, 10(1986) p. 38
3. R. C. Rodgers ; Foundry management & technology, 4(1988) p. 3
4. S. S. Cho and N. D. Cho ; Jujo, 8(1988) p. 357
5. Y. Sakaguchi ; Imono, 59(1987) 12, p. 699
6. K. Tamura ; Imono, 59(1987) 12, p. 708
7. S. Tago ; Imono, 59(1987) 12, p. 716
8. K. Kubo H. Koshin, T. Mimata and Y. Ishihara ; Imono, 59(1987) 12, p. 734

◇ 表 紙 說 明 ◇

乙卯銘青銅壺杆

新羅 5세기, 慶州路西洞 壺杆塚 출토  
高19.4cm · 腹徑24cm · 底徑15cm, 국립중앙박물관

뚜껑이 있는 靑銅합으로, 뚜껑은 頂部에 10瓣花形의 鈕座에 球形꼭지를 달았으며 그 주위에 凸帶를 1條, 3條, 3條씩 돌렸다. 合身도 역시 凸帶에 의하여 장식되어 있는데 口緣端에 1條 그 아래 각 3條씩 두 군데를 돌렸다. 바닥 바깥면은얇은 굽으로 둘러져 있으며 合身 外底面에는 陽鑄된 「乙卯年國岡上廣開土地好太王壺杆十」이라는 4행 16자의 명문이 있다. 여기에 나오는 乙卯年은 好太王(廣開土王)死後 3년인 長壽王 3年(415년)에 해당되며, 명문의 字體는 廣開土王碑에서 보여주는 바로 그 雄健한 漢隸體이다. 이로 보아 이 청동합은 광개토왕을 기념하기 위하여 高句麗에서 만들어진 것이 분명하다. 이 청동합이 어떤 연유로 新羅에 들어와 古墳의 副葬品이 되었는지는 알 수 없으나 신라 영토 안에서 발견된, 연대가 확실한 高句麗 공예품으로서 매우 귀중한 유물이다.