

技術資料

소실모형의 제조법에 대하여

이교성\*, 김종훈\*\*, 조남돈\*\*

On the Manufacture of Evaporative Pattern

K. S. Lee,\* J. H. Kim,\*\* N. D. Cho\*\*

1. 서 언

최근 우리나라 주물업체들이 노동생산성 향상에 여러가지 대책을 세우는데 부심하고 있는 때에 그 해결 방안의 하나가 새로운 조형법의 과감한 도입이라고 생각된다. 따라서 본 기술 자료에서는 전에 본보에 보고된 바와같이 많은 선진국에서 현재 활발히 적용하고 있는 소실모형주조법중 가장 중요한 공정인 모형제작공정에 대하여 몇가지 자료를 가지고 자세히 설명하고자 한다.

일반적으로 소실모형주조법의 모형으로서 발포폴리스티렌모형이 활발히 이용되고 있다. 그 동안 발포폴리스티렌은 단열재 또는 포장용 자재로서 사용되어 왔으며 각각의 용도에 따라 품질설계를 하고 있다. 주조용모형으로 발포폴리스티렌을 이용하는 경우 모형의 형태 및 표면상태가 그대로 주물에 나타나므로 엄밀한 표면상태관리가 필요하게 된다.

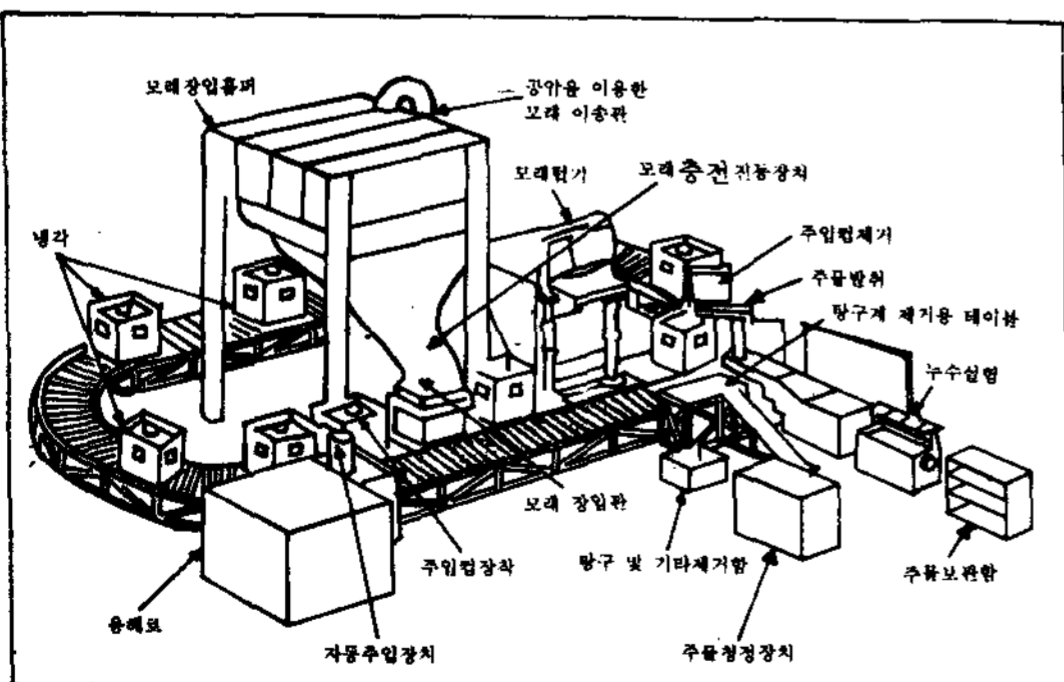


그림 1. Ford 자동차 연구소의 소실모형주조법 공정의 Pilot Plant (알루미늄합금 주물)

\* 대유공업전문대학금형설계과

\*\* 국민대학교 금속공학과

또한 실제 주물을 양산하는 경우 그림 1과 같이 완전히 자동화 될 수 있고 이형된 모형에 결함등이 나타나지 않는 성형기를 선택하는 것이 중요하다.

또 최근에 중요한 점으로서 금형에 대해서도 가격, 성형성 및 이형성등을 충분히 검토한 후에 금형설계를 할 필요가 있다. 여기서 기본적인 발포폴리스티렌 성형 및 주물에 사용하는 발포모형에 의한 조형시 주의할점 등에 대해서 설명하고자 한다.

2. 공 정

2-1. 원료

발포폴리스티렌 원료는 용도에 따라 여러가지 입경의 것이 있지만 현재 일반적으로 소실모형용으로서 사용되어 오고 있는 것은 표 1과 같이 비드(beads)의 입경이 0.3mm~0.5mm의 것이 많이 사용되고 있다.

이 입정보다도 작게되면 예비발포 혹은 원료관리가 어렵다. 또한 이 보다도 크게 되면 두께가 얇은 모형의 성형이 어렵게 되는 문제가 있으므로 현재로서 관리가 비교적 쉬운 크기의 것으로 사용되고 있다. 이러한 원료를 예비발포해서 소정의 발포배율로 한 다음 성형에 사용한다. 이러한 원료의 입경 및 발포입경에 대해서는 그림 2와 그림 3의 모양으로 일정한 범위내에 들어가야 하고 이러한 발포립의 입경으로서 최소 모형의 두께가 결정된다.

원료에는 발포재로서 부탄, 펜탄 등의 가스가 함유되어 있기 때문에 기밀성이 나쁜용기에서 고온의 장소에 보관해 두면 이 발포재가 대기중에 날려서 발포성이 나쁘게 된다. 그 때문에 통상 15℃

표. 1 발포폴리스티렌비드의 크기와 용도

Raw bead diameter		Diameter at 24 kg/m <sup>3</sup> (1.5 lbf/ft <sup>3</sup> )		Typical use
mm	in.	mm	in.	
0.83-2.0	0.033-0.078	2.5-5.9	0.097-0.231	Insulation
0.58-1.2	0.023-0.047	1.7-3.5	0.068-0.138	Packaging
0.33-0.71	0.013-0.028	1.0-2.1	0.040-0.082	Cups (coffee)
0.25-0.51	0.010-0.020	0.74-1.5	0.029-0.058	Cups/lost foam
0.20-0.33	0.008-0.013	0.61-1.0	0.024-0.040	Lost foam

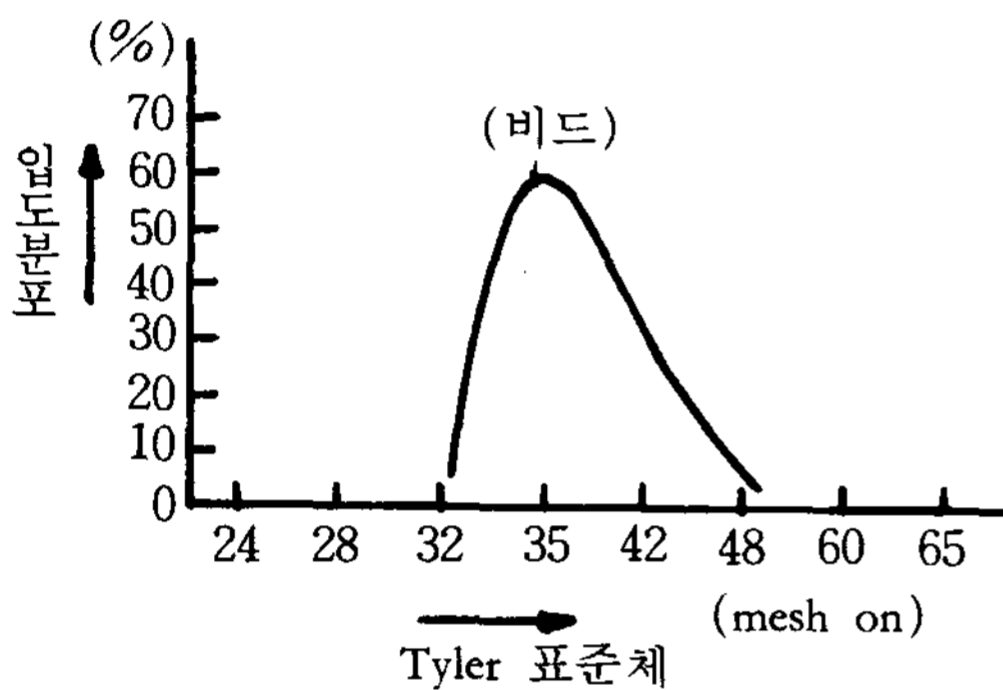


그림 2. 비드의 입도분포

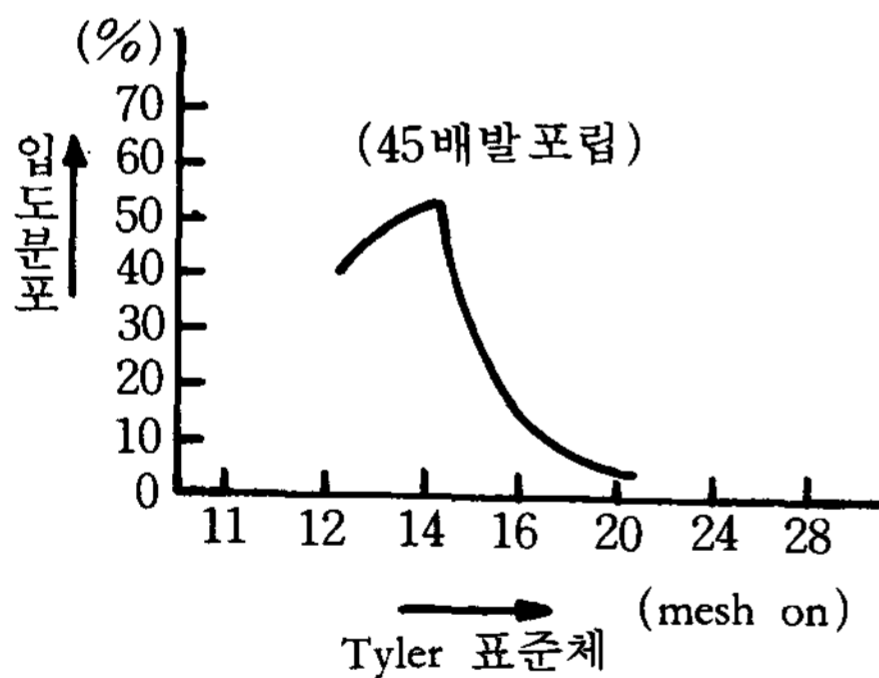


그림 3. 예비발포된 폴리스티렌 비드의 입도분포

이하의 창고에 보관하고 들여온 후 될 수 있는데로 빨리 사용하지 않으면 발포성 및 성형성에 나쁜 영향을 끼친다.

2-2. 성형

성형은 그림 4와 같이 폴리스티렌 비드의 원료를 예비발포기에서 예비발포 시킨다.

예비발포는 증기로서 열을 가해 희망하는 발포 배율로 발포시킨다. 예비발포된 발포립은 일정시

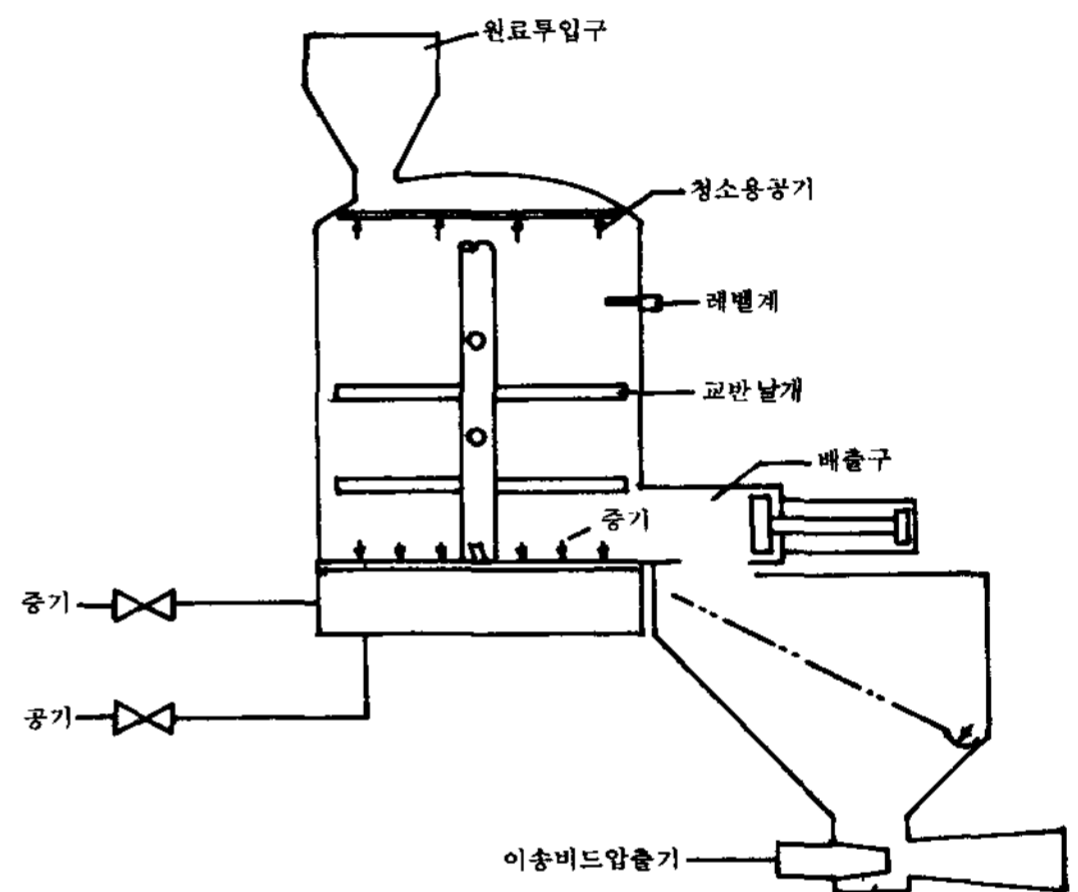


그림 4. 단속식 발포기

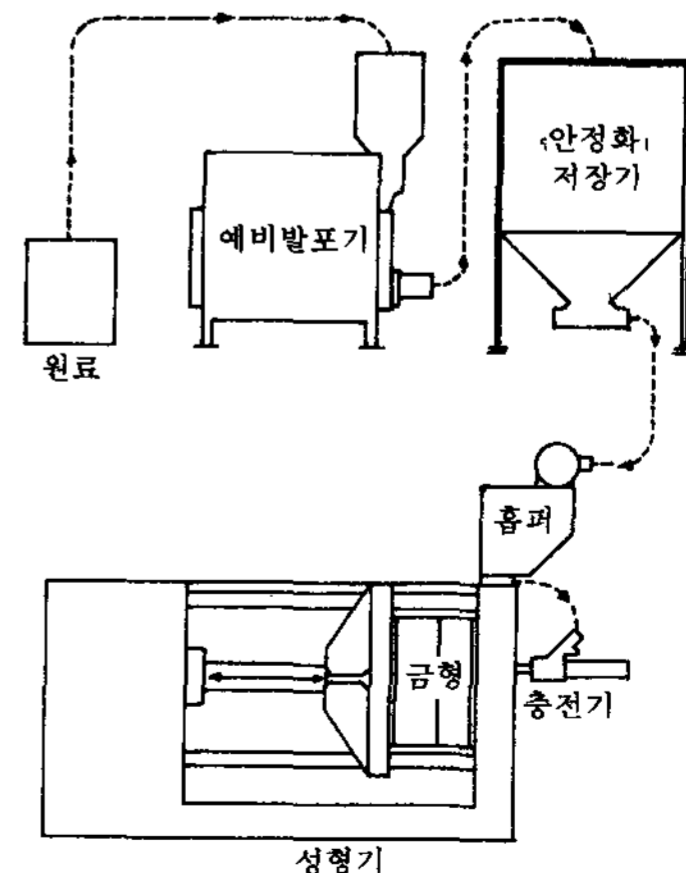


그림 5. 소실모형의 재생과정

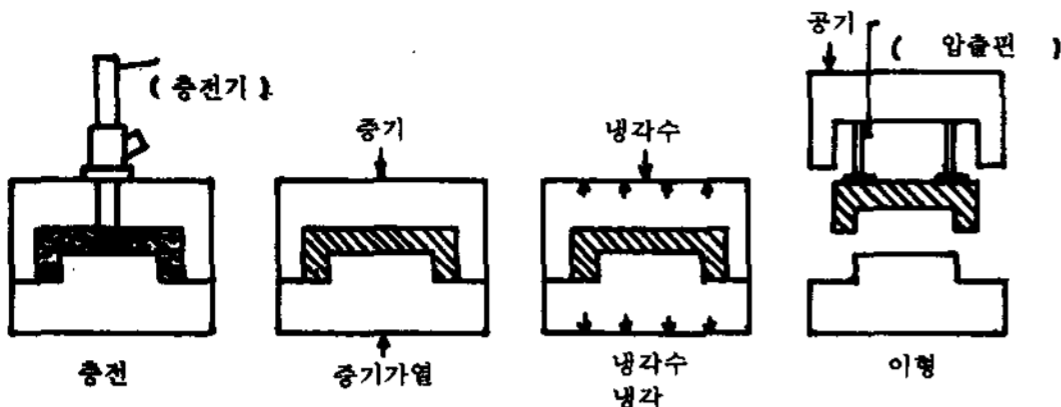


그림. 6 성형공정

간 숙성한후 성형기에서 성형시킨다. 성형은 증기, 물 및 공기를 사용해서 성형시킨다. 이러한 예비 발포 및 성형의 전체 조업공정을 그림 5에 나타내고 있다.

성형공정은 크게 나누면 그림 6과 같이 충전, 가열, 냉각 및 이형 4가지공정으로 나눌 수 있다.

(1) 충전

충전공정은 충전기(feeder)를 이용해서 발포입을 형 공간내에 투입하는 공정이다.

충전기는 그림 7과 같이 공기의 압출효과를 이용해서 발포립과 압출공기를 혼합해서 형 공간내에 충전한다.

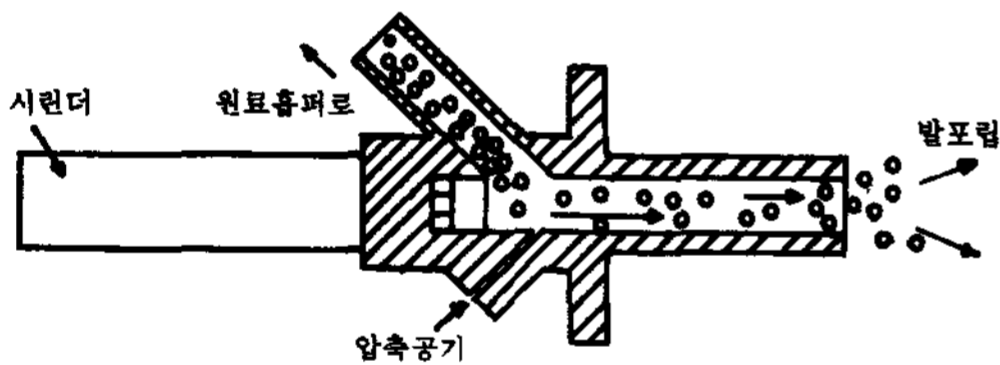


그림. 7 충전기작동상태

이 충전공정은 양호한 모형을 얻기 위해서는 제일 중요한 요소가 된다.

충전은 압축공기를 이용해서 상당히 가벼운 발포립(0.017g/cc~0.025g/cc정도)을 불어 날려서 형 공간내에 충전하기 때문에 모형의 두께, 형상 및 1회에 성형되는 개수등의 요인을 충분히 고려할 필요가 있다.

(2) 가열

가열은 그림 8에 표시한 바와같이 증기로서 가열시킨다.

금형에는 증기공(air vent, slit 등의 명칭)이 많이 설치되어 있고 그 증기공으로부터 증기가 분출해서 충전된 발포립 사이를 증기가 통과해서 내부 융착이 촉진된다. 발포립의 융착이라는 것은 가열되기전의 발포립이 구상으로 되어 있기때문에 충

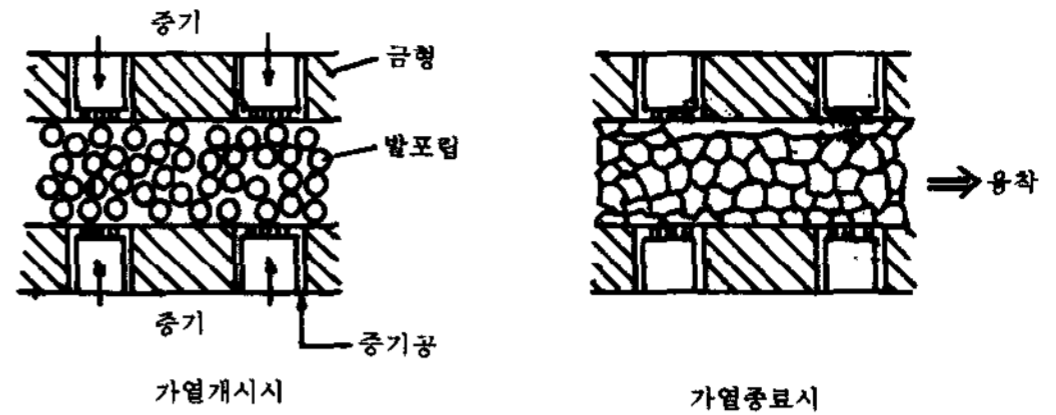


그림. 8 가열시 비드의 상태

전된 상태로서는 이 구들 사이에 공간이 있는데 발포립이 가열되면 각각 팽창이 시작되어 그 구들이 공간을 채우며 발포립의 표면이 용해 접착하는 것을 말한다. 이때 발포립이 팽창하려고 하는 힘이 금형에 걸리며 그 압력은 일반적으로 1.5kg/cm<sup>2</sup> 정도이다.

이때의 금형온도는 120℃ 정도가 된다.

여기서 예비발포의 비중이라고 부르는 것은 겉보기 비중으로서 금형에 충전된 상태로서는 겉보기 비중으로서 제조된 모형은 예비발포의 비중과 거의 같게 된다.

(3) 냉각

냉각공정은 증기로서 120℃정도로 가열시킨 금형을 60~80℃ 부근까지 냉각하고 가열연화된 모형을 경화시켜 이형할 수 있는 상태로 만드는 공정이다. 이러한 냉각이 부족할 경우에는 모형의 표면이 요철 상태로 되거나 혹은 변형된다. 또한 냉각이 길 경우에는 표면에 주름(수축) 현상이 나타난다.

냉각공정은 크게 나누면 수냉과 방냉공정의 2가지 공정으로 나눈다. 보통 발포폴리스치렌 성형기에서는 금형에 물을 분사하는 수냉공정으로 장시간 충분히 금형의 온도를 내린후 금형을 대기압의 상태로서 방냉의 공정을 진행하고 모형을 안정한 상태로 해서 이형시켰지만 현재의 주류는 수냉시간을 짧게하고 방냉시에 증기실내를 진공흡입하여 감압상태로 한다. 그 감압에 따른 물의 비점강하를 이용하여 물의 증발잠열을 유효하게 이용하여 냉각을 촉진하는 방법이 행해지고 있다. 이러한 진공흡입을 이용하는 것에 의하여 종래 수냉시간을 장시간 행한 것일때는 모형 이형시에 금형에서 대량의 물이 떨어지거나 혹은 모형에 물이 부착되기 때문에 건조에 장시간이 요하는 문제가 있었지만 이들의 문제가 해결되고 그리고 또한 금형온도가 높은 상태에서 모형이 이형될 수 있기 때문에 에너지및 충전성 향상등의 유익한 면이 발

회되어 이러한 방법이 현재의 주류를 이루고 있다.

(4) 이형

이형공정이 원활하게 이루어지지 않으면 전술한 여러지 공정에서 설정한 조건으로 모형을 성형해서 양호한 제품이 얻어지지 않는다. 이러한 이형 공정은 특히 대량생산을 할 경우에 중요하다.

이형의 방법에는 공기-충격, 공기와 압출핀(ejector pin), 압출핀을 붙힌 충전기 및 진공이용에 의한 이형방법이 있다.

성형기에 압출핀을 밀어내기 위하여 압출플레이트가 있으며 냉각 완료후 압출핀을 압출함과 동시에 압축공기를 증기공으로부터 분출시켜 모형을 완전하게 이형한다.

소실성모형의 경우 형태가 아주 복잡하기 때문에 이러한 이형에 대해서는 충분한 주의를 하여야 한다. 또 너무 강한 공기를 불어서 이형하면 모형이 날라서 흠집등이 발생하는 원인이 된다.

3. 성형설비

3-1. 예비발포기

예비발포기는 원료 비드에 증기로서 열을 가하여 소정의 발포배율로 발포시키는 설비이다. 일반적으로 사용되고 있는 것은 단속식(Batch type)으로서 발포배율을 레벨계로서 제어하는 대기 개방형의 단속식의 발포가 주류이다. 그밖에 연속식 발포기 및 진공발포기 등이 있다.

(1) 단속식 예비발포기

투입된 원료를 증기를 가해 가열하면 발포가 진행하며 일정한 체적으로 된다. 그 높이를 광전광의 레벨계로서 감지하여 예비발포를 종료하는 방법이다.

특징은 반드시 일정 레벨로서 감지하는 것으로서 ① 원료 투입량을 변경하는 만큼 간단하게 발포배율을 변경할 수 있다. ② 레벨계에서 발포된 체적으로서 배율을 제어하기 때문에 원료의 추가장입등의 변경요인으로 인한 발포가 불균일하게 되지 않는 등의 유리한 점이 있다.

(2) 진공식 발포기

소실성 모형제작용으로 진공식 예비발포기가 판매되고 있는데 이의 특징은 ① 진공을 이용하기 때문에 보통 대기압의 발포로서는 얻을 수 없는

고배율의 발포립이 얻어진다. ② 직접증기와 원료를 불어 넣을 수 없으므로 건조된 발포립을 얻기가 쉽다.

문제점으로서 발포배율의 제어를 타이머로서 하는 것이므로 원료의 추가장입으로서 발포배율의 제어 및 설정이 어렵다. 일반적 발포폴리스치렌 성형용에는 현재 거의 사용되지 않는다.

(3) 연속식 발포기

이 형식의 것은 배율 제어 및 불균일등의 문제 때문에 대량생산에는 좋지만 현재의 다품종 소량생산에는 적합치 않다.

3-2. 성형기

성형기의 종류에 대해서는 오토클레이브(auto-clave) 성형기(수동) 횡형자동성형기(형이수평방향으로 개폐함) 및 종형자동성형기(형이 수직방향으로 개폐함) 등 3종류로 대별된다. 성형기의 선택은 성형하는 모형의 용도 및 수량등으로서 선택한다. 현재 일반형 성형기에는 횡형자동성형기가 사용되고 있지만 소실성 모형의 성형에 대해서는 종형자동성형기가 사용되고 있다.

(1) 오토클레이브성형기

이 형태의 성형기는 완전히 수동식성형기로서 생산량이 적거나 혹은 실험적으로 성형을 하는 것에 적합하다.

오토클레이브성형기는 증기의 탱크중에 모형성형용의 금형만을 넣어 가열 냉각을 행한다. 충전 및 배출에 대해서는 성형기 외부에서 수동으로 행하기 때문에 소량의 어려운 형상의 시료등을 얻는데 유효하다. 또 압력용기가 되므로 취급에 주의가 필요하다.

(2) 횡형자동성형기

현재 가장 많이 사용되고 있는 형의 성형기로서 1개 또는 2개 정도의 모형을 얻는 소형의 성형기에서부터 생선상자등을 10개 가까이 얻을 수 있는 대형 성형기까지 있다.

이 형의 성형기는 형이 수평방향으로 열리고 성형된 모형은 아래방향으로 떨어져 회수된다. 그로 인해 낙하도중에 모형이 충격을 받거나 또는 회수반에 낙하할 때에 흠집 또는 오염이 발생할 가능성이 높다. 적은 흠집등이 거의 문제가 되지 않은 종래의 포장용자재 및 생선상자등의 대량생산에

적합하다.

(3) 증형자동성형기

이 형식의 성형기는 이중재료를 동시에 성형 혹은 소실모형성형용에 적합하다.

제품배출 공정에는 하형이 이동하여 제품배출반이 이와같이 제품이 배출될 시점에서 하형의 윗방향에는 제품이 없게되어 작업 공간이 생길 수 있기 때문에 이 하형 윗쪽에 이형재료등을 놓고서 성형을 편하게 하는 이점이 있다. 또 이형할 때에 상형을 필요이상 열필요가 없기 때문에 제품의 낙하거리가 적게되어 흠집 및 오염 등이 없게되어 부가가치가 높은 제품의 성형에는 유효하다.

3-3. 금형

금형은 그림 9에서 나타난 바와 같이 코어(凸형)와 공격부(cavity형, 凹형)으로 구성되어 있고 각 증기실을 성형하기 위하여 틀(frame)을 가지고 있다. 또 증기실내에는 수냉용의 냉각배관이 설치되어 있다.

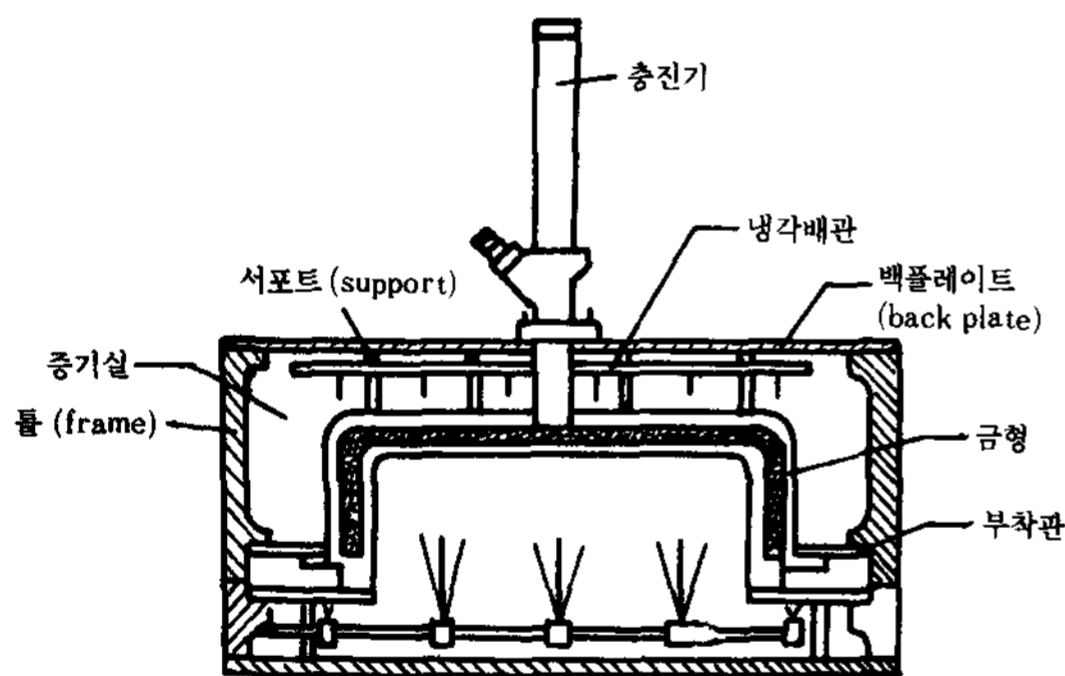


그림 9. 금형개략구조도

(1) 금형구조

일반적 발포폴리스치렌 성형용의 구조로서 제일 큰 특징은凸형과 凹형의 맞춘면으로 되어 있고 원료 충전시에 크래킹이라고 부르는凸형과 凹형간에 적은 간격의 두께가 되도록 되어 있다. 이것은 충전시에 공기배출을 좋게해서 충전을 양호하게 한다.

문제점은

- ① 모형의 형상이 복잡하게 되면 형 제작에 상당히 어렵게 된다.
- ② 예비발포립의 비중과 모형의 비중의 차이가 생길 수 있다.
- ③ 모형에 균살이 생길 가능성이 있다.

이들의 문제점을 피하기 위해 크래킹을 붙이지 않는 형 구조로 하는 것도 있지만 충전시의 공기배출이 나쁘게 되기 때문에 모형형상등을 충분히 검토할 필요가 있다.

(2) 금형(cavity형, 코어형)

금형은 일반적으로 주조용 알루미늄합금이 사용되고 있지만 이것은 제작공수 및 가격을 고려하여 선정해야 하고 재질은 제한 없다.

금형의 두께에 대해서는 8~12mm 정도가 좋고 가열냉각의 효과를 촉진하기 위해서는 모형의 형상면에 맞도록 금형이면에도 두께를 두면 될 수 있는데로 균일한 두께로 하지 않으면 안된다.

금형에는 일반적으로 증기공이 설치되어 있고 금형을 통한 간접가열과 증기공을 통한 직접가열이 있다. 증기공은 드릴구멍과 코어벤트(slot)가 있으나 드릴구멍이 막히거나 혹은 모형에 구멍의 흔적이 생기는 등의 문제가 있는등 될 수 있는 한 코어벤트를 사용하는 것이 바람직하다.

코어벤트는 큰 것은  $\phi 3$ 에서부터 여러가지의 크기가 있다.

(3) 냉각배관

냉각배관은 금형을 균일하게 냉각할 필요가 있으며 이것은 동파이프에 스프레이노즐(spray nozzle)을 용접한 것이 일반적으로 사용되고 있고 금형의 형태배치에 맞추어 제작할 필요가 있다.

(4) 금형설계

금형은 모형을 만들기 위해 가장 중요한 요소가 된다. 이것을 설계하는데 있어서 이형성, 충전성 및 성형성 등을 충분히 고려한 후에 설계할 필요가 있다.

① 이형성

이형에 문제가 되는 가장 일반적인 형태는 파이프 형태의 것이 있다. 이와같은 형태의 경우는 인발구배등을 크게 취하지 않으면 이형이 상당히 어렵게 된다.

② 충전성

모형의 가장 작은 두께는 발포립과의 관계로서 결정하지만 현재 소실성모형용에 사용되고 있는 원료에서는 최소 3mm 정도가 한계이다. 3mm 이하가 되면 아주 충전성이 나쁘게 되고 또한 모형의 강도가 없게 되기 때문에 적어도 3mm의 두께는 필요하다.

③ 성형성

모형의 두께에 불균일성이 클 경우 성형조건을 두께가 두꺼운 부분에 맞추지 않으면 안된다. 성형사이클이 긴 경우는 표면상태의 불균일성의 원인이 되므로 극단적으로 차이가 나는 두께는 피하여야 한다.

3-4. 모형의 수축율

발포폴리스티렌의 성형제품은 성형후 그림10에 보는 바와 같이 약 2주간 정도이면 치수가 안정하게 된다.

참고적으로 이러한 모형을 감압을 이용하여 실제주물을 제조하는 대략적인 공정은 그림 11과 같다.

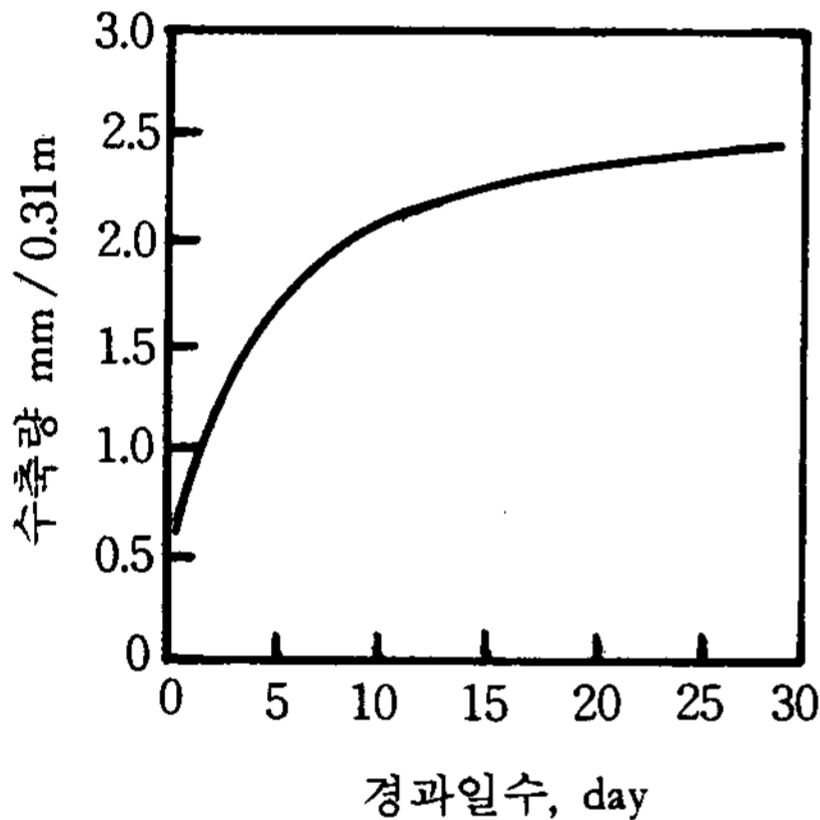


그림 10. 발포폴리스티렌 모형재의 경과일수와 수축과의 관계

4. 결 언

이상으로 발포폴리스티렌 모형의 성형에 대한

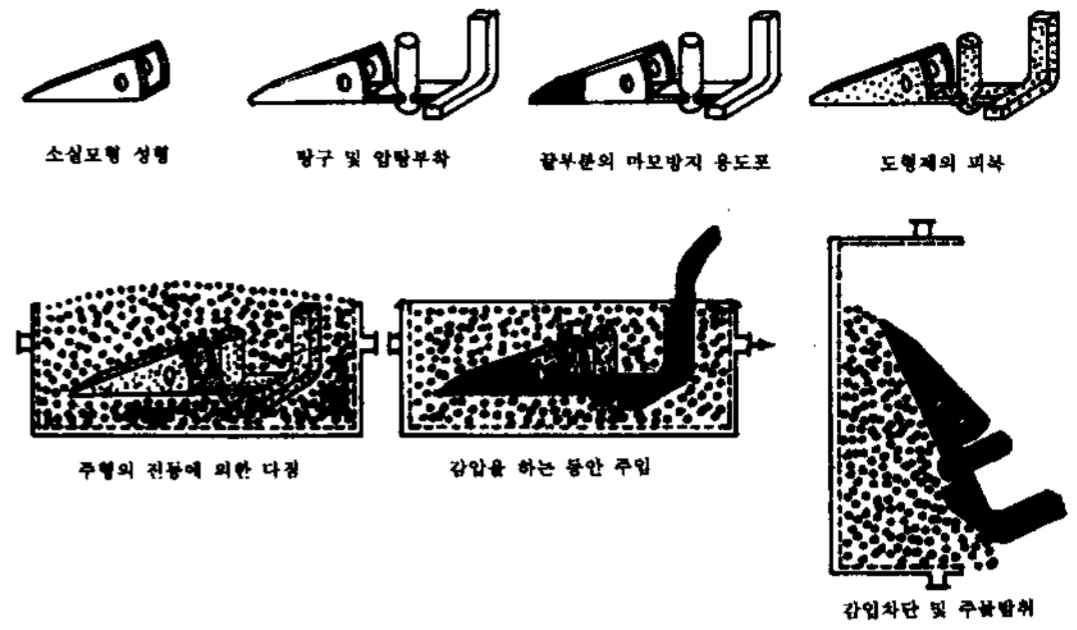


그림 11. 소실모형에 의한 주조공정의 예

개요를 기술하였지만 발포폴리스티렌의 성형에 대해서는 자세히 이론적으로 해명되지 않은 부분도 많이 있고 어느정도 경험적으로 이루어지고 있는 실정이다.

모형의 형태의 결정 또는 성형방법 및 금형의 설계등에 대해서도 충분히 검토한 후에 제조공정을 개발하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

1. H. J. Heine; Foundry M and T (Dec. 1982) pp. 22~25.
2. 田材尙巳; JACT NEWS (May, 1983) pp. 30~31.
3. J. S. Hansen; Evaporative Pattern Casting, Vol. 1 (1985) pp. 107~115.
4. 牧口利貞; 素形材 (May, 1986) pp. 7~9.
5. 本吉昌司; 鑄物, Vol. 59 (1987) pp. 722~724.
6. ASM; Metals Handbook Ninth Edition, Vol. 15 (1988) pp. 230~234.
7. (社)日本鑄物協會; 消失模型鑄造法の最近の技術 (1988) pp. 23~38.

◇ 表 紙 說 明 ◇  
= 鐵 鑊 =

충청북도 유형문화재 제143호  
소재지 : 충청북도 보은군 내속리면 범주사내  
이것은 신라성덕왕 때(720) 조성되었다고 하는 철솥으로 옛날 범주사가 한창번창하여 삼천승도가 운집하여 있을 당시 장솥·혹은 밥솥으로 사용하였다고 전한다.  
크기는 높이 1.2m 직경 2.7m, 둘레 10.8m나 되는 거대한 솥이다.