

발포 성형 금형에 대하여(1)

- EPS용 금형을 중심으로 -

이 글은 (사)한국발포스티렌
재활용협회 김병권 사무국장이
한남화학(주) EPS 기술서비스부 부장으로
재직할 당시 정리한 자료를 제공한 것이다.
(편집자)

목차

1. 개요
2. 금형의 제조과정
3. 성형수축률
4. 금형의 재질
5. 금형의 구성
 - 5-1. 구조도 및 명칭
 - 5-2. 금형의 구성
 - 5-3. 시판 Frame의 구조 예
 - 5-4. Die Plate 치수의 예와 Cavity
6. 금형의 강도
 - 6-1. Frame 등 금형외벽의 강도 기준
 - 6-2. EPP 성형용 Frame 등의 강도 기준
 - 6-3. 금형의 강도 기준
7. 금형 각부의 구조와 요점
 - 7-1. 성형 공정에서의 요점
 - 7-2. 금형 각부의 구조와 요점
8. 금형의 관련 부품
 - 8-1. Filler 및 Eject pin
 - 8-2. Core vent
 - 8-3. Spray nozzle
 - 8-4. 금형용 Packing
 - 8-5. Bolt 보강용재
 - 8-6. 배기 Valve
 - 8-7. 냉각수 배관
9. 금형의 검사 및 관리
10. 금형의 요구 기능 및 당면의 개선책

1. 개요

발포 성형 금형은 Core측(凸형)과 Cavity측(凹형) 각각에 증기실이 있고, 그 속에 냉각배관·증기배관을 내장하고, 충전관(Filler)·Eject pin·배기 밸브 등이 설치되어 자동성형이 이루어지도록 되어 있다.

성형은 예비 발포한 입자를 형 내에 충전하고, 이어서 증기가열에 의하여 열융착시키고 냉각수에 의하여 냉각시킨 후, 형 내로부터 빼내 원하는 성형품을 얻는 것으로, 원료 입자는 대표적으로 발포폴리스티렌(EPS) 외에 발포폴리에틸렌(EPE), 발포폴리프로필렌(EPP), 발포AS(EAS) 등이 있다.

원료에 따라서 발포 압력이나 성형품의 성형수축률이 다르고, 또 발포배율에 따라서도 달라진다. 그러므로 성형품에 따라서 금형설계는 다소 다르지만 기본적으로 고려할 점은 변하지 않기 때문에 대표적인 EPS용 금형제작을 중심으로 살펴보기로 한다.

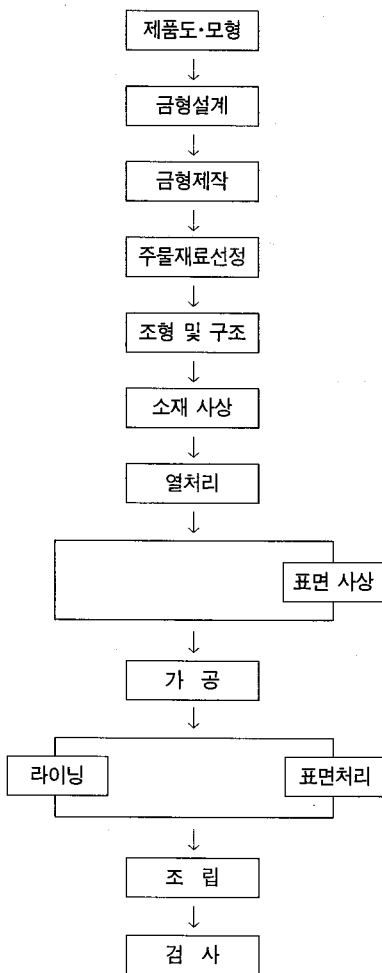
EPS 성형에서는 최근 진공발포성형기가 주류를 이루며, 에너지 절약·high cycle·저함수성형 등의 기능을 발휘하고 있기 때문에 원료·성형기·금형·성형기술의 네 가지 모두 정밀한 기술이 필요하게 되었다. 그중에서도 금형에 의한 영향이 특히 크기 때문에 금형제작에 있어서 각 부분에 대한 세밀한 기술적 배려가 필요하며, 발포성형의 운명은 금형이 잡고 있다고 하여도 과언이 아니다.

2. 금형의 제조과정

2-1. 금형의 제조과정

금형제조에는 통상 알루미늄주물을 사용하며 제조공정은 (그림 1)과 같다.

(그림 1) 금형의 주요 제조 공정



2-2. 각 공정에서 각각의 제작 요점

1) 목형제작

목형재료는 수축이 적고 수분흡수가 적으며 변형이 없어 공작이 용이하고 가격이 싼 것을 택한다.

제작상 주의점은 다음과 같다.

- ▲ 두께의 균일화
- ▲ 각을 피하고 R을 줄 것(15 이상)
- ▲ 급격한 변화를 피할 것
- ▲ 주조 왜곡을 피할 것

- ▲ 구배에 주의할 것
- ▲ 주물의 수축량을 고려할 것

2) 주형재료
주로 모래가 사용되는데 성형성, 통기성, 항력성, 내열성, 복용성의 조건을 갖출 것.

3) 조형 및 주조
조형은 기계로 하는 경우도 있지만 일반적으로 사람이 한다. 주조 온도는 보통 670~700℃이며, 속도는 빠르고 조용하게 하는 것이 좋다.

4) 소재 사상
소재 사상은 모래제거작업, 주입구의 절단,バリ제거, 연삭과 연마이다.

5) 표면 사상
Slice grinder, Wire brush를 이용하여 연마한다.

6) 가공
금형에 따라서 기계가공을 한다. 금형조립시 볼트는 Herical bolt를 사용한다.

- 7) 표면처리
- 8) 라이닝
- 9) 검사

3. 성형수축률

목형제작에는 수축률을 감안하여야 하며 주물 및 성형품의 성형수축률은 수지, 발포배율, 형상에 따라 다르기 때문에 어렵지만 [표1]을 참고로 하여 주물과 수

(표1) 금형의 수축률

주 물	수 축 률	수 지	수 축 률
AL합금	11/1000~12/1000	EPS	2/1000~ 5/1000
		NEOCORENE	10/1000~30/1000
청동합금	12/1000~13/1000	EPE	30/1000~50/1000
		EPP	20/1000~35/1000
		EAS	4/1000~ 5/1000

**특
집**

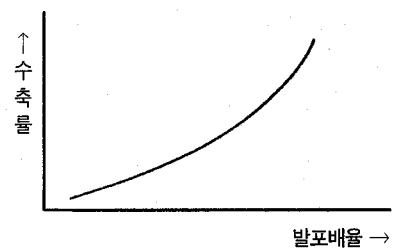
지의 수축률의 합계를 필히 감안하여야 한다. 정확을 기하기 위하여 금형제작시에 수지의 수축률에 관하여는 수지 Maker에 상담, 확인하는 것이 좋다.

EPS의 경우 발포 배율에 따른 수축률은 (그림2), (그림3)과 같다.

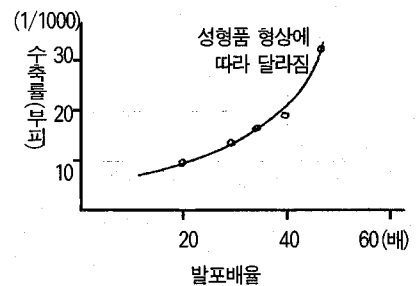
4. 금형의 재질

알루미늄합금을 Plastic 성형용 금형에 사용하려는 시도는 이미 1960년경부터 시작되었다.

(그림 2) EPS 수축률



(그림 3) NEOCORENE 수축률



이것은 알루미늄합금의 특징인 열전도성·내식성·경량성·가공성 등이 성형 작업에 적합하기 때문이지만, 그 반면 철강에 비하여 강도, 경도가 낮기 때문에 성형압력이 높은 사출성형에는 그다지 사용되지 않고 주로 중공성형·고무성형·진공성형·발포성형 등에만 실용화 되어왔다. 그러나 수요구조가 바뀌어 사출성형 분야에도 수천에서 수만 개의 소량생산을 할 수 밖에 없는 경우에는 알루미늄합금

의 고속절삭기술이 진보하여 고속제조에 의한 짧은 납기·저가격이 실현되기 때문에 적극적으로 사용이 검토되고 있다.

현재 알루미늄합금의 금형은 압연이나 단조에 의한 후판재료를 요철절삭하여 제작하는 것과 모래주조 또는 석고주조에 의하여 Cavity 및 Core를 제작하는 것 2종류가 있으며, Plastic의 각종 성형 방법과 이에 적합한 Al 합금은 [표2]와 같다.

금형에 사용하는 알루미늄합금의 종류와 그 기계적 성질 및 물리적 성질은 [표3]과 같다.

순철은 연해서 구조 재료로는 사용하지 않지만 C, Ni, Cr 등을 첨가하여 강력한 강으로 만드는 것과 마찬가지로 순 알루미늄은 연해서 박지나 캔 재료로만 사용하나 금형이나 항공기의 틀재료 등은 Cu, Mg, Zn 등을 첨가하여 알루미늄의 강도를 높인다. 또한 이들 합금은 철강과 마찬가지로

[표2] 각종 성형법에 따른 알루미늄 합금

성형방법	성형품	금형용 알루미늄 합금		
		주조용 합금	연질 압연 합금	고력 압연 합금
사출성형 (Solid)	차량, 사무기, 잡화			A7075P-T651, A7075FH-T652
사출성형 (저 발포)	사무기, 건재	AC4C	A5052P-H34	A7075P-T651, A7075FH-T652
사출성형 (RIM)	차량, 사무기	AC4C	A5052P-H34, A5083FH-0	A7075P-T651, A7075FH-T652
발포성형 (고 발포)	단열재, 포장재	AC4C	A5052P-H34	
압축성형 (SMC)	차량, 주택			A7075P-T651, A7075FH-T652
중공성형 (고무)	Tire, Packing, 신발	AC4C		A7075P-T651, A7075FH-T652
중공성형 (병)	식품, 약품, 세제			A7075P-T651, A7075FH-T652
중공성형 (이형대형)	연료, 농약Tank, 잡화	AC4C		
진공성형 (소형)	Tray, Cup, 문방구	AC4C	A5052P-H34	
진공성형 (대형)	가방, 주택, Boat	AC4C	A5052P-H34, A5083F-0	
회전성형 (대형)	Tank, Boat	AC4C	A5052P-H34, A5083F-0	

- 1) 주조용 Al 합금은 이외에 AC4B, AC7A 등도 사용한다.
- 2) A5052P를 제일 많이 사용한다. A5083P는 용접 구조 금형에 사용하고 A5083FH-0는 단조 재료이다.
- 3) A7075P를 제일 많이 사용한다. 두께가 200mm를 넘는 금형 재료는 단조품으로 A7075FH-T652이다. Maker에 따라서는 7075 합금을 개량하여 독자적인 명칭으로 제조하고 있다.
- 4) 2종류 이상의 것은 적합성·경제성에 따른다.

[표 3] Plastic 성형용 금형에 사용되는 알루미늄 합금의 제성질

재질	제조 구분	질별 (열처리)	인장강도 (kg/mm ²)	항복점 (내력) (kg/mm ²)	산율 (%)	경도 (H-B)	열팽창계수 ($\times 10^{-6} \times ^\circ C$)	열전도율 (Kcal/C.cm.sec)	중탄성계수 (kg/mm ²)	비 중	금형이외의 주 용도
S55C	압연	N	66	40	15	183~255	11.7	0.14	21,000	7.86	기계구조재
A7075P	압연	T651	58.5	51.5	11	150	23.6	0.31	7,300	2.80	항공기, 구조재
A5052P	압연	H34	26.5	22.0	10	68	23.8	0.33	7,200	2.68	건축, Container
A5083P	압연	0	29.5	15.0	22	60	24.2	0.28	7,200	2.66	선박, Tank
AC4CF	주조	F	14	9	9	61	23.0	0.36	7,100	2.68	차량, 기계
AC7AF	주조	F	15	11	11	63	23.2	0.34	7,050	2.67	선박, 식품

- 1) 기계 구조용 탄소동 S55C 알루미늄 합금의 비교 참고용으로 기재한 것임.
- 2) 질별 기호 T651은 용체화 처리 직후에 냉간 가공을 하고 인공시효를 한 것. 잔류 뒤틀림이 적다.
- 3) 질별 기호 H34는 Roll압연으로 가공 경화한 것을 열처리로 안정화시킨 것.
- 4) 0은 실험금(가열하였다가 서서히 식히는 법) 한 것.
- 5) 질별 기호 F는 주조한 그대로 둔 것. 강도를 높이기 위하여 열처리(T6)를 한 것도 있다. 또 N은 아까나리사라 한다.

특 집

지로 주조·단조·압연으로 부형시킨다.

주조 제품은 비가공 금형으로써 여러 가지 특징이 있으나 내부결합이 있거나, 치수 정도·강도가 비교적 낮다.

단조 제품은 신뢰성이 높아 300~500mm의 후속재료의 제조가 가능하며 일부 이형재 재료도 균질하게 제조할 수 있으나 비교적 고가격이다.

압연재료는 Roll Pass에 의한 대량 생산이 가능하므로 저가격이고, 내부결합이 적고, 균질한 재료를 얻을

수 있으나 Maker의 설비에 따라서는 100mm 이상의 두께에서 균일한 판을 얻을 수 없거나 제조사의 잔류 뒤튤림을 제거할 수 없는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

따라서 발포 성형에서는 열 교환이 중요한 요소이고, 또 증기-물을 사용하므로 내식성이 있고 열전도율이 높고, 가공성이 좋은 알루미늄합금을 많이 사용하므로 발포 Styrol의 단열, 포장재료 등의 금형은 기관에 A5052P, 제품부에 AC4C의 모래주형이 사용되며 화장세면대, 가방 등의 진공성형에는 요철이나 부식모양

이 있고 부식이나 접히는 부분도 명료하게 성형되므로 석고 주형을 사용한다. 또한 금형은 두께가 균일한 주물이 필요하기 때문에 V-프로시시스템 주조도 증가하고 있다.

Frame 등의 외벽 부재는 내압 강도가 필요하며, 알루미늄 주물에서도 진성(盡性) 강도가 우수한 것을 사용하고 T5, T6의 열처리를 한 것이 바람직하다. Frame 등에서는 알루미늄합금 압출재, 철, 스테레스 등의 용접구조로 제작한 것도 있고, FCD 주물을 사용하는 경우도 있다(표4), (표5) 참조.

특히 금형 제작상 주의할 점은 강도에 문제가 있으므로 재생 알루미늄의 사용을 피하여야 한다(10~15% 이내로 할 것). 현실적으로 단가 차이(2.5배)가 발생하여 적용하기 어려운 점이 있으나 진공성형시에는 필히 Frame 만이라도 정품을 사용토록 한다.

(계속)

[표 4] 주로 사용되는 알루미늄합금 주물의 성질

종류	재질 기호	주성분 (wt %)	조직	인장강도 (Kg/mm ²)	경도 (HB)	비중	열전도도 (C.G.S)	열팽창계수 20~100°C
Al합금주물 4종 A	AC 4A	9.0 Si- 0.45 Mg- 0.45 Mn	F	14 이상	45	2.68	0.35	19.5 ×10 ⁶ /°C
			T6	23 이상	80			
Al합금주물 4종 B	AC 4B	3.0 Ca- 0.45 Mn	F	15 이상	80	2.74	0.25	20.7 ×10 ⁶ /°C
			T6	22 이상	100			
Al합금주물 4종 C	AC 4C	7.0 Si- 0.35 Mg	F	14 이상	50	2.68	0.36	21.5 ×10 ⁶ /°C
			T5	15 이상	60			
			T6	21 이상	75			

- 1) 조직(鑄質)이란 열처리를 나타내는 것으로, F는 주물을 방치한대로 두고 열처리를 하지 않은 것
- 2) T5는 고온가공하여 급냉한 후 人工時效硬化 처리한 것
- 3) T6는 溶 體化처리 후 人工時效硬化 처리한 것(표3참조).

[표 5] 금형에 사용되는 금속 재료와 그 성질

사용 금속 종류			인장강도	내력	신율	열전도율	열팽창계수	비중	주 용 도
규격 번호	재질 기호	질질	(kg/mm ²)	(kg/mm ²)	(%)	(cal/cm. sec. °C)	(×10 ⁶)		
H-5202	AC-2A	F	14이상	-	-	0.29	22.0	2.8	금형
	AC-2A	T6	22이상	-	-	-	-	-	-
	AC-4A	F	14이상	-	-	0.35	19.5	2.7	금형, Frame
	AC-4A	T6	23이상	-	-	-	-	-	-
	AC-4C	F	14이상	-	-	0.35	21.5	2.7	금형
	AC-4C	T6	21이상	-	3이상	-	-	-	-
H-4000	A2017P	T3	36이상	21이상	12이상	0.41	23.0	2.8	배관(교압용)
	A2024P	T3	43이상	29이상	8이상	0.45	22.8	2.8	배관(교압용)
	A5052P	H34	24~29	18이상	10이상	0.33	23.8	2.7	배관·금형기관
		HI12	18이상	6.5이상	12이상	-	-	-	금형
	A5083P	0	28~36	13~20	16이상	0.41	23.5	2.7	배관·금형기관
		HI12	28이상	13이상	12이상	-	-	-	금형
H-5111	BC6	20이상	-	15이상	0.11	19.1	8.6	금형	
G-3101	SS-41	41~52	24이상	21이상	0.18	11.7	7.9	Frame	
G-4304	SUS304	53이상	21이상	40이상	0.04	16.5	7.9	Frame	