

발포폴리스티렌 제조공정과 품질관리

이 병 철 *

Manufacturing Process and Quality Control of EPS Block

Byung - Cheol Lee *

ABSTRACT

Styropor is a styrene homopolymer or copolymer containing an expanding agent. It is supplied as colorless beads or pigmented cylindrical pallets. The beads have diameters 0.2~3.0 mm, depending on the grade. The quality of styropor itself is guaranteed by BASF.

1. EPS 개요

1.1 스티로폴이란?

1) 일반 개념

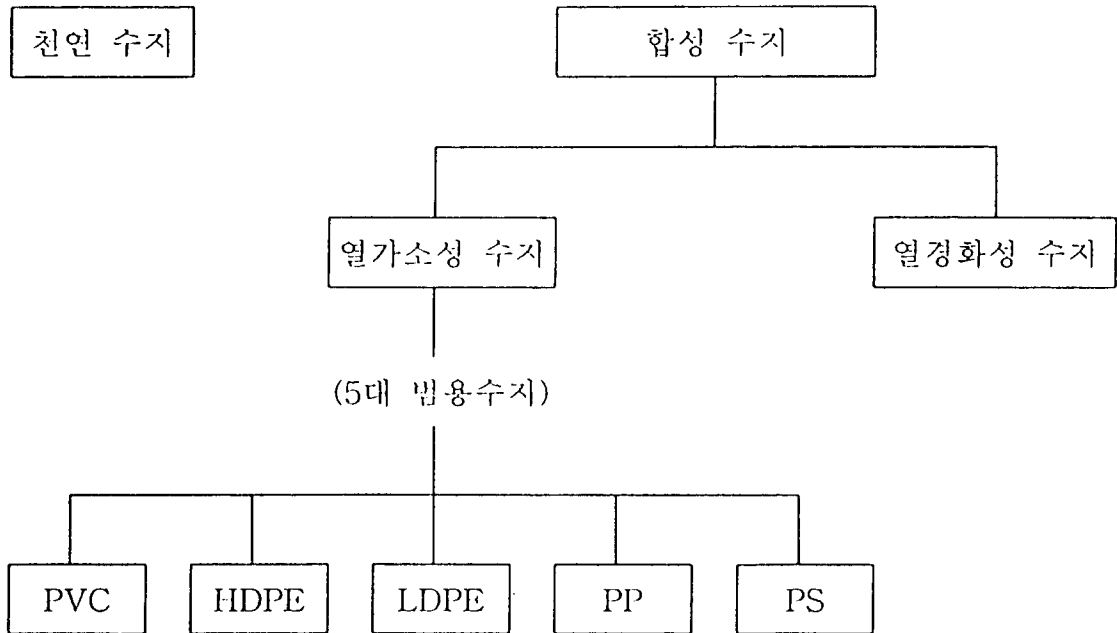
스티로폴은 발포제를 함유하고 있는 스티렌 중합체 또는 공중합체로서 종류에 따라 직경 0.2~3.0mm의 조그만 비이드(Bead)나 길이 약2.5mm, 직경 약0.6mm인 원주형 펠레트(Pellets)상태로서 공급된다.

스티로폴은 그 용도에 따라 일반용과 난연용으로 구분되며 비이드의 크기에 따라 다시 세분되고 각각의 숫자는 3자리 숫자의 번호로 이루어져 있다.

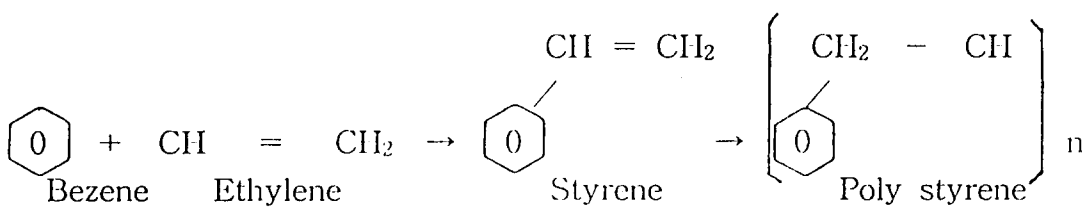
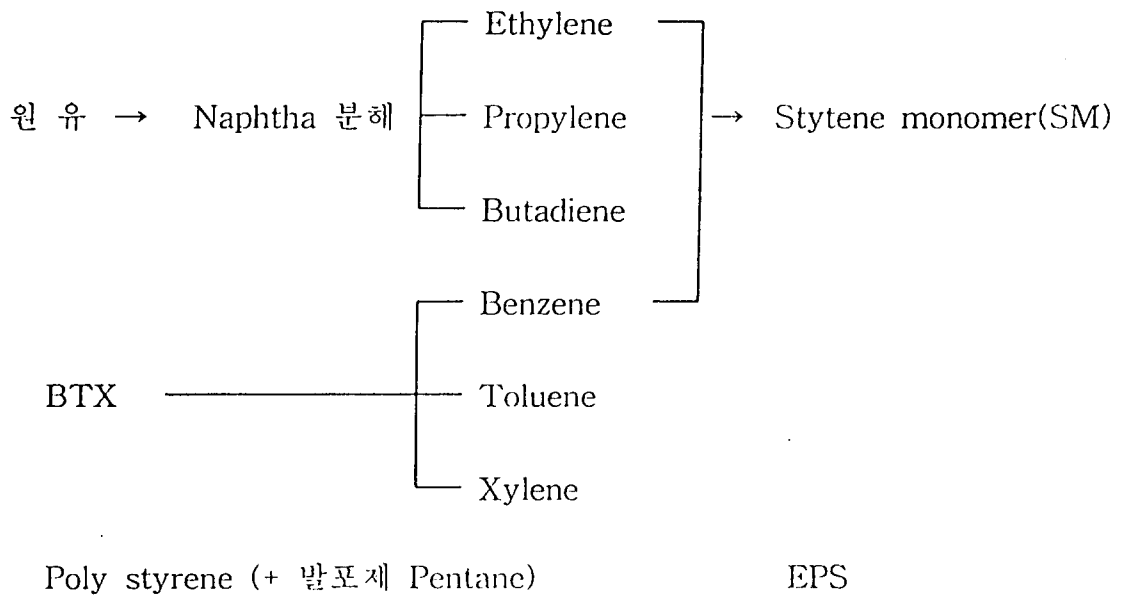
스티로폴은 독일 BASF(주) 및 효성 BASF(주)의 상표명으로서 BASF (Badische Ailine & Soda Fabrik)사가 1950년도초 세계 최초로 스티로폴이라 불리우는 발포성 폴리스티렌(EPS)을 발명하였고 그 이후 세계 각국에서 많은 용도로 사용하게 되었다.

* 효성바스프(주) 이사, 울산공장 부공장장

2) 플라스틱 일반



3) Styropor의 화학적 생성 과정



1.2 스티로폴 특성

1) 물리적 특성

발포된 스티로폴의 물리적 특성은 발포배율 즉 밀도에 따라 크게 달라진다. 그림 1은 스티로폴 성형물의 압축 강도 및 굽곡 강도와 밀도와의 관계를 나타낸 것이며 그림 2는 열전도도도 밀도와의 관계를 나타낸 것이다.

스티로폴 제품은 약간의 수축 현상을 보이게 되는데 대체로 성형후 8주 이내에 수축 현상이 거의 종결되며 그 이후의 수축은 0.1 ~ 0.2%에 불과하다. 밀도 20g/l 이상의 제품의 수축은 좀 더 천천히 일어나므로 8주 이후의 잔여사후 수축은 0.1 ~ 0.2%보다 더 크게 된다.

그림1 壓軸強度 및 屈曲強度와 密度(ρ)

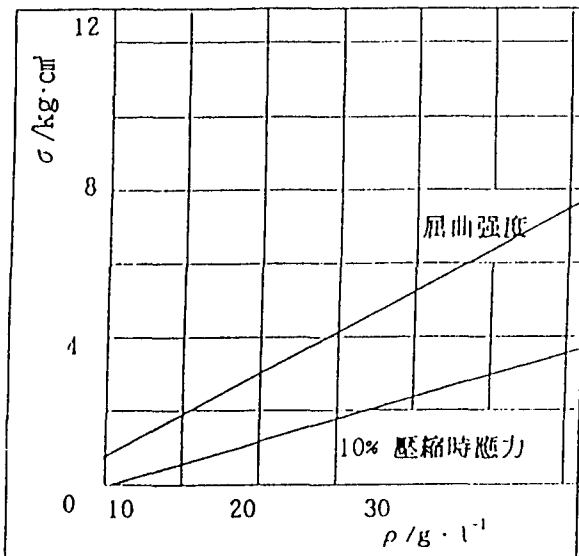
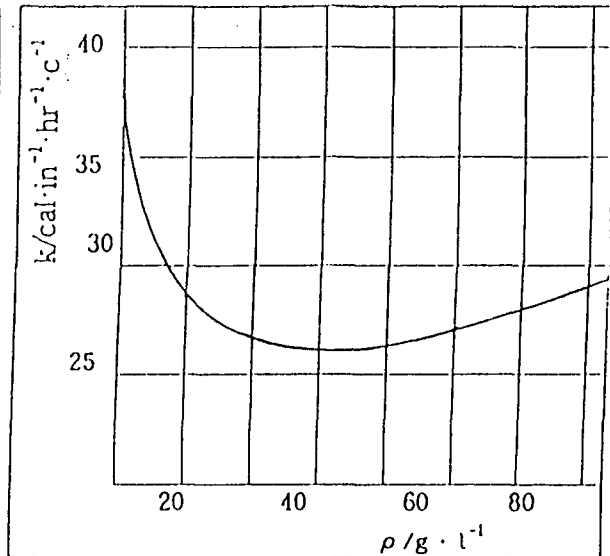


그림2 熱傳導度(k)와 密度(ρ) (온도-10℃)



2) 화학적 특성

스티로폴 제품은 태양광선에 장시간 노출될 경우 그 색이 노랗게 변하며 표면이 부스러지게 되는 경향이 있으나 직접 외기와 접촉하지 않는 한 물리적 특성은 전혀 변화가 없다. 스티로폴 제품은 대부분의 유기 용매에 민감하기 때문에 접착제나 표면처리제를 선택할 경우 주의하여야 한다. 스티로폴 제품은 물과 염, 산 및 알칼리의 수용액에 대해 아주 안정된 성질을 가지고 있다.

다음 표는 스티로폴 제품의 여러가지 화공약품 및 용매에 대한 성질을 나타낸 것이다.

스치로폴의 화공약품 및 용매에 대한 특성

화공 약품 또는 용매	발포제품의 원료	
	KP	KF
물, 바닷물, 소금물	+	+
비누 및 계면활성제 용액	+	+
형광제(염소수, 과산화수소용액등)	+	+
약산	+	+
염산(35%까지), 질산(50%까지), 황산(95%까지)	+	+
무수산(발연황산, 100% 개미산등)	-	-
가성소다, 가성카리, 강암모니아	+	+
유기용매 (아세톤, 벤젠, 삼염화에틸렌등)	-	-
포화 지방족 탄화수소	-	-
파라핀액, 식용유, 경유	+ -	+ -
휘발유	-	-
알콜(메탄올, 에탄올등)	-	+
실리콘유	+	+

(주) + : 장시간 접촉하여도 변화없음.
 + - : 장시간 접촉하면 침해를 받게됨.
 - : 매우 민감하여 곧 침해하거나 용해됨.

3) 생물학적 성질

스치로폴의 성형 및 그 제품의 사용과 관련하여 어떠한 나쁜 효과도 알려진 바 없다. 스치로폴 및 그 성형품은 물에 녹지 않으며 아무런 위험도 끼치지 않는다. 스치로폴을 저장할 때 소량의 펜탄 기체가 휘발하게 되는데 환기가 잘 되지 않는 실내의 경우 이 기체의 농도가 높아지며 속이 메스꺼워지고 멀미를 일으킬 수 있다. 스치로폴은 발포 전후에 있어서 그 취급, 가공 및 사용시 전혀 인체에 해가 없다. 단 성형품을 전기 가열선으로 절단할 때 작업장의 환기에 특히 주의 하여야 한다.

1.3 스치로폴의 용도

스치로폴의 성형품은 매우 가볍고 열 전도도가 낮으므로 주택 및 냉동창고등의 건축에 단열제로 많이 쓰인다. 스치로폴의 성형품은 압축 및 굴곡강도가 우수하며 훌륭한 탄성체의 성질을 가지고 있다. 이러한 성질로 인하여 포장제로서도 많이 사용되고 있다.

1) 건축 및 토목공사

건축의 벽, 마루 및 천정의 단열용으로 스티로폼이 가장 많이 쓰이고 있으며 난연성 원료로 만든 스티로폼 타일은 장식효과도 있기 때문에 외국의 경우 주택등의 건축에 널리 쓰이고 있다. 그외에 도로의 서리방지, 보도 및 운동장 트랙의 밑에 사용하여 노면의 개선을 꾀할 수 있다. 또한 발포스티로폼은 경량 콘크리트나, 경량 벽돌 제조시 혼합 사용하여 원재료의 절감은 물론 제품의 물리적, 단열성능을 개량할 수 있다.

2) 포장재

스티로폼 포장은 내충격성, 경량성, 단열성, 물 및 증기에 대한 저항성, 장식 효과 그리고 복잡한 형태의 제품을 용이하게 성형, 포장할 수 있는 특성으로 인하여 많은 제품의 포장에 이용되고 있다. 스티로폼 제품은 주로 전기제품, 자동차나 모터의 부품, 유리 및 도기제품, 약품 및 화장품, 과일 및 채소, 육류와 어류의 포장에 사용된다.

3) 기타 용도

(1) 부자 : 구멍구나 장식용 부자의 제조에 사용된다.

(2) 금형 제조용 Prototype (원형) : 절단이 용이하기 때문에 금형제조를 위한 원형 제조에 쓰인다.

(3) 장식용 : 스티로폼 제품은 전시용 장식, 모델, 장난감의 제조에 쓰인다.

1.4 EPS 제조 공정

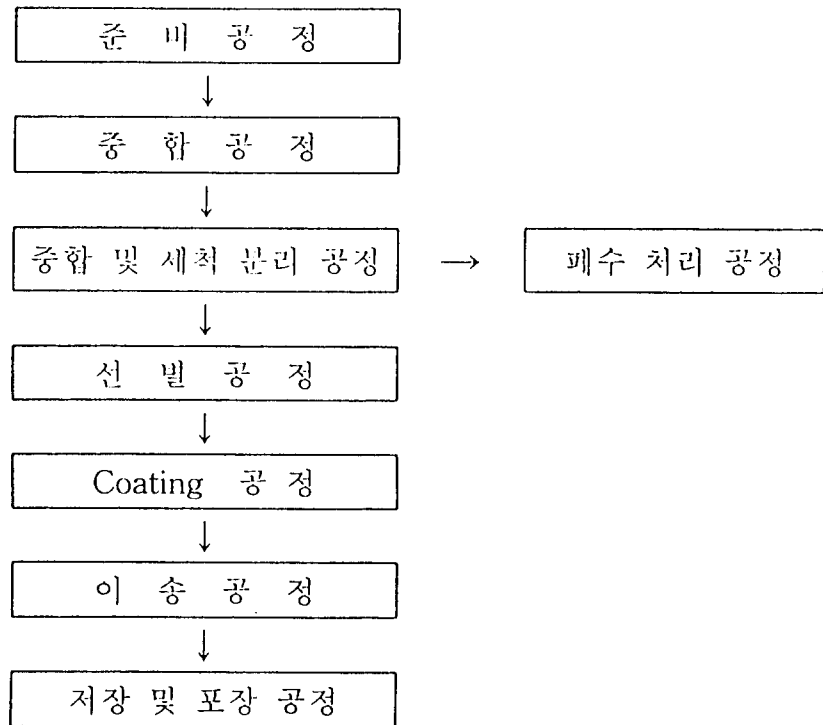
1) Styrene 발포제를 함유시켜 물에 의한 현탁 중합으로 제조한다.

2) 중합 개시제를 가한 Styrene monomer를 물속에 넣고 교반하여 소정의 분자량이 될때까지 가열 교반한다.

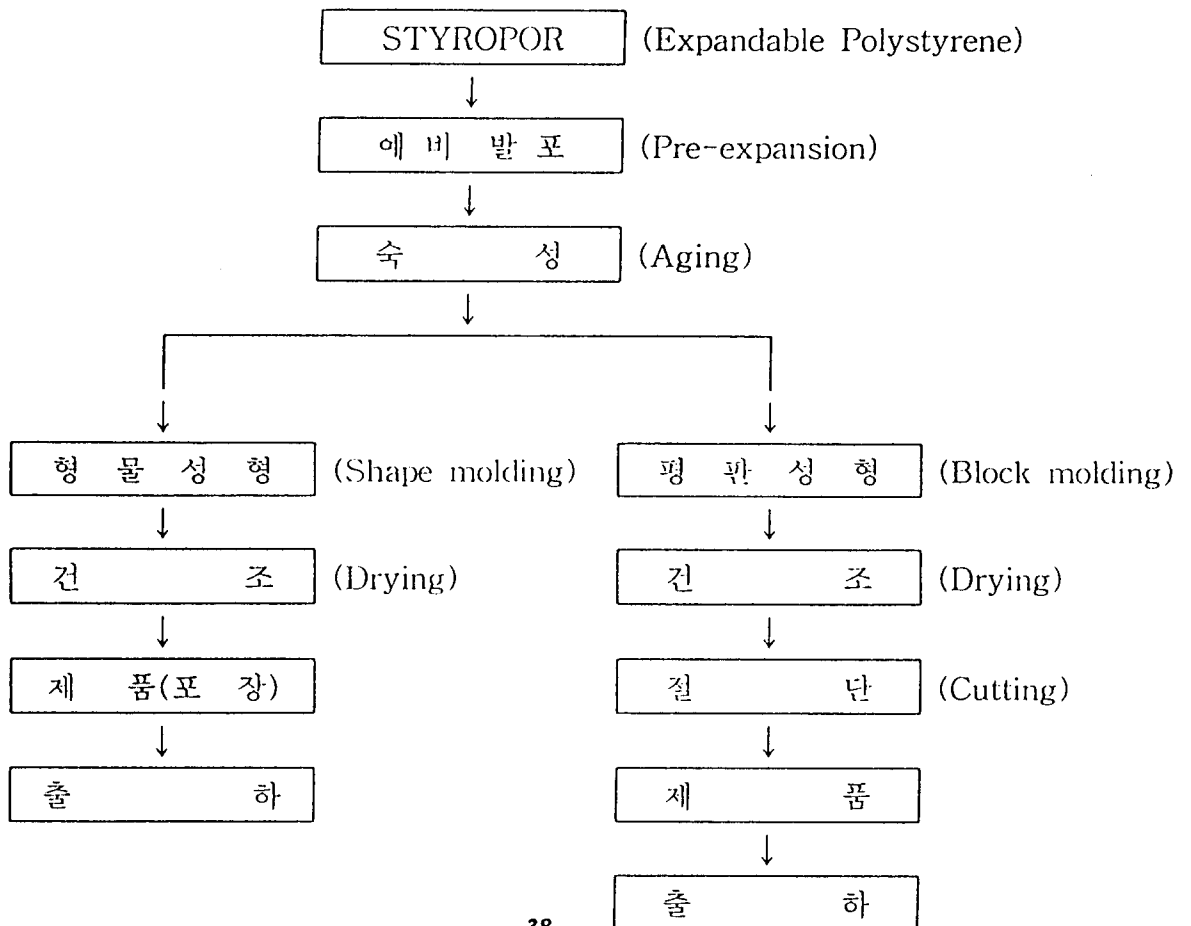
3) 얻어진 EPS는 구상의 입자로 (0.2 ~ 3.0mm)되어 있다. - 이를 bead(비드)라고 한다.

4) bead는 세척 건조후 선별(Sieving)하여 제품으로 한다.

5) 공정 순서



1.5 Styropor의 가공 공정



2. EPS 가공 일반

2.1 예비 발포

예비 발포 공정은 EPS 가공의 최초 공정이며, 원료 비이드를 증기로 가열, 발포하는 간단한 것이지만, 예비 발포시 발포 입자의 길모기 비중은 최종제품의 중량을 결정하게 되며 또한 성형성에 영향을 미치기 때문에 EPS 가공 공정중 가장 중요한 공정중의 하나이다.

1) 예비 발포의 원리

EPS는 PS수지에 5~7Wt %의 발포제를 함유하고 있어 EPS의 연화온도 이상으로 증기 가열하면 수지가 연화됨과 동시에 증기는 비이드내로 빠른 속도로 침투하여 들어가면서 내부에 함유되어 있는 발포제를 기화, 팽창시켜 아주 얇은 PS수지(0.001mm)피막으로 된 발포체로 발포가 된다.

2) 예비 발포의 방법

발 포 방 법	작 동 의 원 리
Batch 식	- 발포기에 일정량의 원료를 넣고 교반하면서 증기를 주입하여 발포시켜 일정체적까지 발포후 증기를 차단하고 발포기하부로부터 발포입자를 토출
연 속 식	- 발포기 하부에 설치된 Feeder Screw에 의해 연속적으로 원료를 투입하고 기내에 증기를 주입하여 발포된 입자를 발포기 상부로부터 연속적으로 토출

3) 최적 발포 조건

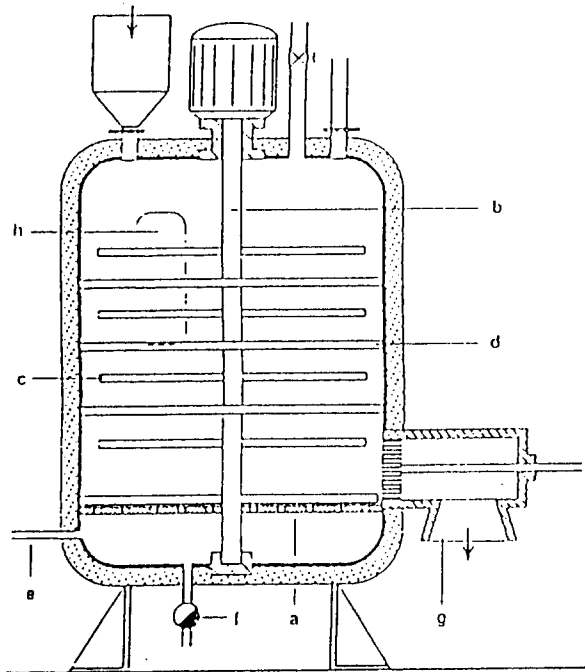
- (1) 발포기 인입 Steam 압력의 적절 설정 : $0.2 \sim 0.3 \text{Kg/cm}^2 \text{G}$
- (2) 유동층 건조기의 설치
- (3) 발포 Bead의 Silo 이송시 간접 Blowing 방식의 채택

2.2 숙 성

1) 숙성이란 ?

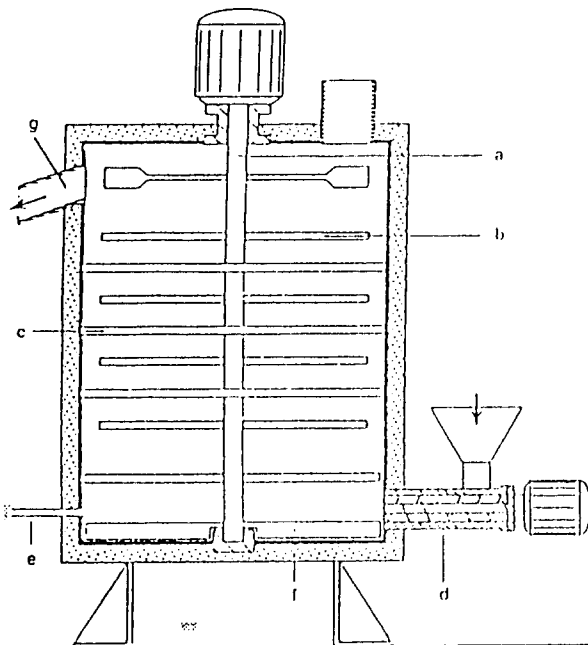
발포직후 입자내에는 발포제와 증기 및 수증기로 가득차 있는데, 발포입자의 온도 저하에 따라 증기가 응축하여 입자내는 감압상태가 된다. 이 상태에서 Block을 성형할 경우, Block 내부의 감압도는 발포직후 발포입자의 감압도보다 커지게 되며 성형기로부터 꺼낸 Block은 대기압에 의해 수축이 발생된다. 따라서 성형한 Block 내부에 공기를 침투시켜 농을 필요가 있으며 이 과정을 숙성이라 한다.

Batch 식 발포기



- a = Periorated Support Plate
- b = Mixer shaft
- c = Mixer arm
- d = Breaker rods
- e = Steam
- f = Condensate
- g = Outlet
- h = Sight glass

연속식 발포기



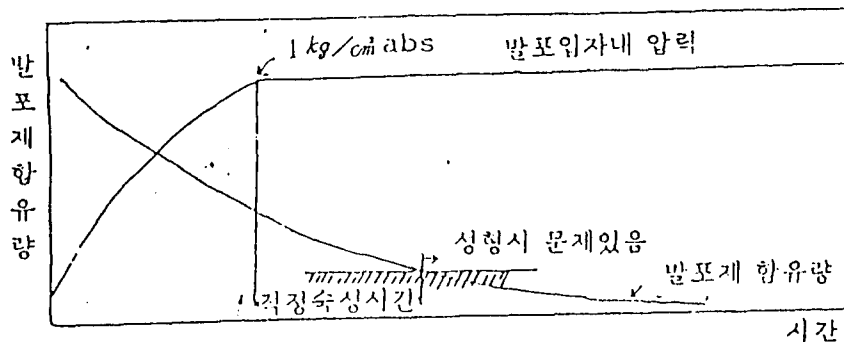
- a = Stirrer shaft
- b = Stirrer arm
- c = Breaker rods
- d = Worm conveyor
- e = Steam
- f = Stirpper
- g = Outlet

2) 숙성의 목적

목 적	이 유
1. 발포 Bead내로 공기를 유입 확산	- 예비 발포후 비이드가 냉각되면 비이드안의 압력은 남은 발포제 및 증기의 응축으로 인해 대기압 아래로 떨어지게 된다. 발포 직후의 비이드는 변형되기 쉬우며 외부의 압력이 제거되어도 복원되지 않는다. 충분히 숙성된 후의 발포비이드는 잘 변형되지 않으며 외부압력이 제거되면 즉시 원상태로 된다.
2. 발포 Bead의 건조	- 발포된 비이드는 최고 30% (중량기준)까지 수분을 함유하게 되는데 이수분은 숙성중에 반드시 제거하여야 한다. 습기 찬 비이드는 운반하기 어려우며 모양이 복잡한 제품의 경우 급형에 과다 수분을 유입하여 열용량을 증가시킴으로써 가열 또는 냉각시간을 길어지게 한다.
3. 발포제의 적정 확산	- 높은 밀도의 비이드에는 상당량의 발포제가 남아 있으므로 이중 일부가 성형이전에 외부로 확산되어야 하며, 비이드에 남아 있는 발포제가 너무 적으면 성형시 융착이 불량해지므로 숙성시간이 과도하게 길어지지 않도록 주의해야 한다.

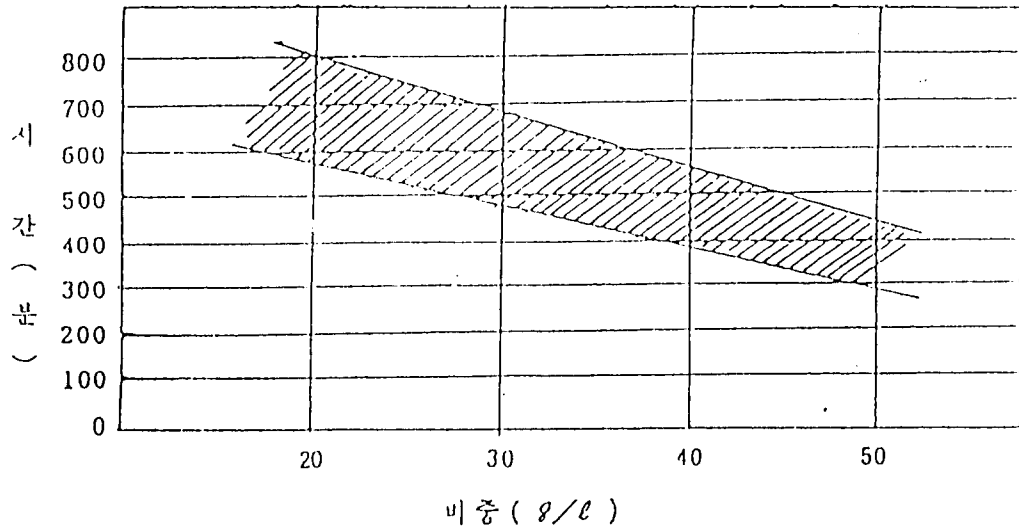
3) 적정숙성 시간

적정숙성 시간이라 함은 발포직후로부터 성형시까지 「발포입자가 완전히 융착될 만큼 발포력을 갖고, 성형기로부터 제품을 이형한 후 대기압에 의해 성형품이 수축 변형을 일으키지 않을 정도로 발포입자내에 발포제 및 Air가 들어있는 상태에 도달하는 시간을 말한다. 다시말하면, 적정숙성시간은 발포입자 내부압이 대기압과 같게 되도록, 입자 내부에 공기가 침투할 때로부터 입자내에 성형성에 지장을 주지 않을 정도로 발포제가 남아 있을때까지의 시간을 말한다.



그러나, 고비중 (30g/l 이상)의 발포입자에서는 잔존하고 있는 발포제의 양이 2차 발포하는데 충분할 만큼 있으며, 또한 Cell 벽이 두껍고 성형후 급형으로부터 이형시점에 대기압에 의해 성형품이 수축 변형되지 않을 만큼의 충분한 강도가 있기 때문에 입자내부가 대기압과 같게 될 때까지의 숙성시간을 가질 필요가 없다.

<발포입자(发泡粒子) 大氣壓과 같아지는데 필요한 시간-비중관계 >

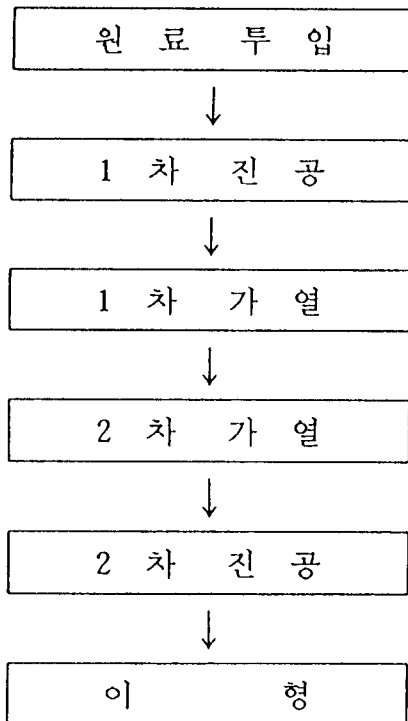


2.3 성형 (평판 및 형물)

1) 성형을 위한 기본 요건 (Utility)

: Steam, Water, Air, Elect.

2) 성형 공정 개략도



진공 형물 : 수냉

3. 성 형

3.1 블록성형 원리

성형기에 발포입자가 가득차 있는 상태에서도 입자간의 공간은 약 40% 남아있는데, 증기로써 108~116℃ (수증기의 포화 증기압은 0.4~0.8Kg/cm²G)에서 성형내의 발포입자를 가열하면 입자내에 남아 있는 휘발분의 기화시 체적 팽창에 의해 발포입자가 재발포하여 입자간의 공간을 배워 상호 열융착시킴으로써, 금형에 의해 성형되는 공간과 동일한 형상의 성형품을 얻을 수 있다.

3.2 블록성형 공정

블록성형 공정은 형물성형의 경우와 같이

1) 예비 가열

성형기가 식어 있는 경우 본가열시 성형기 (금형)의 온도를 상승시키기 위해 사용되는 증기가 응축하여 다량의 응축수가 발생하여 블록내에 남아서 품질을 악화시킨다. 이와같은 일이 없도록 발포입자를 충전하기 전에 금형을 약 100℃ 가까이 까지 증기로써 가열하여 놓는 것을 예비가열이라 한다.

2) 발포입자의 충전

3) 가 열

가열공정을 다시 나누면 Bead 사이에 있는 공기를 증기에 금형 밖으로 쫓아 내는 배기공정과, 발포입을 재발포시켜 Bead 통로를 융착시키는 본 가열의 2개 공정으로 나뉜다.

(1) 배 기

가열초기 공정으로서, 이 배기 공정중에 Bead 사이 공기의 배출이 완전히 되는가 안되는가는 블록품질 (융착)에 크게 영향을 주기 때문에 매우 중요한 공정이다.

실험적으로는 2단발포에 의해 발포시킨 Styropor를 0.7kg/cm²G (포화증기 온도는 약115℃)의 증기압으로 블록을 성형하는 경우, Air Blow (배기)를 충분히 실시한 경우 블록 중심부의 온도는 포화증기 온도에 가까운 온도까지 상승하여 충분한 융착도를 얻을 수 있다. 그러나 Air Blow를 전혀 실시치 않고 성형하는 경우의 블록내부 온도는 103℃ 정도 된다. 이 온도는 발포시의 온도보다 높지않고 따라서 블록표면에 가까운 부분은 융착되어 있지만 중심부는 발포입자 그대로 상태인 융착이 아주 나쁜 블록이 생산된다. 이것은 Bead 사이에 있는 공기가 증기에 의해서 블록의 중심부로 밀려 들어가고 따라서 중심부에서는 공기와 증기가 혼합하여 있기 때문에 온도가 별로 상승치 못하여 발포입자의 재 발포속도가 늦고 Bead가 상호 융착할때까지는 상당한 시간을 요한다. 반대로 성형기 내벽에 가까운 부분에서는 공기가 없

기 때문에 온도가 빨리 상승하여 발포 입자가 재발포되고 발포입자의 통로가 용착된다. 블록의 표피에 가까운 부분에서 용착이 되면 당연히 증기는 블록 중심부까지 도달하지 못하기 때문에 어느정도 장시간 증기를 주입해도 중심부는 용착 되지 않는다.

(2) 본가열

본가열의 공정은 Air Blow후 일정압력의 증기로 일정시간 발포입자를 가열하여 재 발포시키고 입자간의 공간을 매워 입자 통로를 집착시켜 급형공간과 동일한 형상의 성형품을 만드는 공정이다. Styropor을 사용하여 블록을 성형하는 경우 본가열의 조건 (증기압 X 가열시간)은 상당히 광범위하다. 그러나 본가열시 증기압은 블록 품질에 크게 영향을 주기 때문에 최적한 가열 조건을 결정할 필요가 있다.

가열조건과 블록품질의 관계에 대해서는 3-3에서 상술키로 한다.

4) 냉 각

가열직후 블록의 내부온도는 108~116℃로 PS 인화 온도보다 높고, 내압도 1.0~1.8Kg/cm²G로 높기 때문에 성형기로부터 꺼내면 성형품이 팽창하여 변형하기 때문에 내압이 낮아져서 성형기로부터 꺼내어도 변형되지 않을 때까지 성형기내에서 냉각시킬 필요가 있다. 가열종료시부터 성형품을 꺼낼때까지의 시간을 냉각시간이라고 하는데 이 냉각시간은 발포입자의 발포배율, 가열증기압에 따라 상당히 다르다. (이 것에 관해서는 3-3 항에서 설명하기로 한다.) 실험상으로는 블록의 내부온도가 92℃, 내압(발포압)이 0.1Kg/cm²G이하로 된 경우 꺼내어도 팽창에 의한 변형이 일어나지 않는다. 그러나 블록에 내온, 내압의 검출단자를 꽂아 넣어서 성형하는 것은 실험적으로는 가능하지만 실제 생산의 경우에는 불가능하여 이의 변형방법으로서 블록의 면압을 측정하여 감지를 하고 있다. (냉각완료 설정면압은 0.05~0.1Kg/cm²이 좋다.)

5) 이형의 5가지 공정으로 나눌수 있다.

3.3 가열조건 및 발포입 비중과 블록성형성

앞에서도 서술한 바와 같이 Styropor를 사용하여 생산한 블록은 비교적 넓은 범위의 가열 조건으로 성형가능하다. 그러나 용착, 비중분포, 냉각 Cycle등을 고려하면 당연히 최적 가열조건이 있으며, 가열 조건과 용착, 비중분포, 냉각 Cycle등 성형성의 관계를 명확히 파악하여 이해할 필요가 있다. 또는 동일 가열조건이라도 발포입자의 비중에 따라서 성형성도 다르기 때문에 여기에서는 가열조건 및 발포입자의 비중과 품질에 관하여 설명하기로 한다.

1) 용 착

발포 입자가 충전된 성형기에 증기를 주입하면 증기의 온도에 의해 PS 수지가 연화됨과 동시에 발포입자에 남아 있는 발포제의 기화, 팽창에 의해 발포 입자가 재발

포하며, 상호간의 발포압에 의해 융착하는 것이기 때문에 발포 입자 비중이 융착도에 미치는 영향은 비교적 적지만, 가열증기압이 다르면 PS의 연화도 및 발포압이 상당히 다르기 때문에 영향이 크다.

4. 품질관리

- EPS 시공시에 있어서 품질관리 시험의 표준적인 내용은 아래와 같다.

4.1 관리 항목

품질관리 항목은 다음의 4항목으로 한다.

- 1) 제품 치수
- 2) 밀도 (단위 체적 중량)
- 3) 압축 강도
- 4) 연소성

4.2 재료 규격

1) 제품 치수

항 목	단 위	허 용 차	시험 방법
길 이	mm	3,600 ±5	척 도 법
		1,800 ±4	
폭	mm	900 ±3	
두께	mm	600 ±3	

2) 제품 물성 규격

항 목	단 위	종 류				비 고
		D-30	D-25	D-20	D-16	
밀 도	Kg/m ³	30±2.0	25±1.5	20 ^{+1.5} _{-1.0}	16±1.0	
허용 압축 응력	tf/m ²	9.0	7.0	5.0	3.5	압축 탄성 한계
품질 관리시 의 압축응력	tf/m ²	18이상	14이상	10이상	7이상	5% 변형시
연 소 성	-	자기 소화성의 유무				

4.3 관리 방법

1) 빈도

관리 빈도는, 시공현장마다의 담당자간의 협의에 의해 결정하는 것을 원칙으로 하지만 표준적으로는 다음 표에 나타난 것으로 한다.

표) 관리 빈도

EPS 시공량 (V) m ³	시험 BLOCK
$V < 2,000$	2
$2,000 \leq V < 5,000$	3
$5,000 \leq V < 10,000$	4
10,000 m ³ 이상	2,000m ³ 마다 1BLOCK

2) 측정 방법

(1) 제품 치수

최소눈금 1mm의 줄자를 사용하고, EPS 채취한 BLOCK의 길이, 폭, 두께를 각각 3곳을 측정하여 그 평균치를 취한다.

(2) 밀도

EPS의 중량은 0.1kg의 단위까지 측정하고, i)에서 측정한 치수에 의해 체적을 계산하고 밀도를 0.1kg/m³까지 구한다.

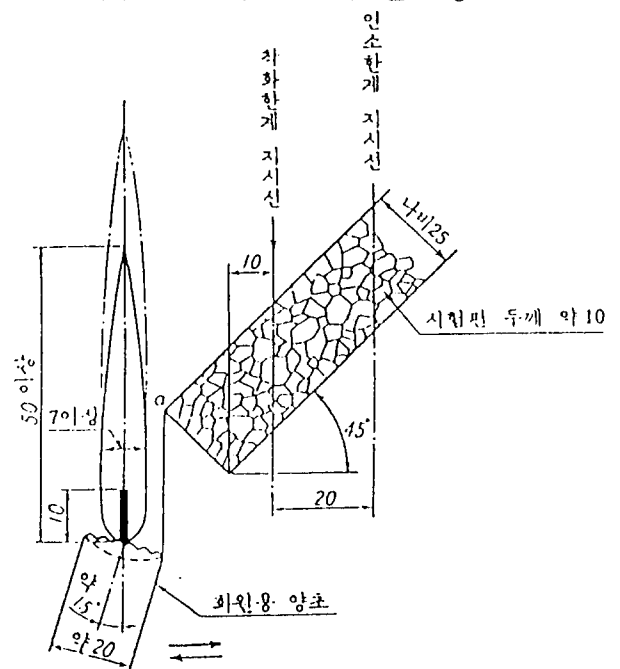
(3) 압축 강도

시험은 KS M 3831에 규정한 압축강도 시험법에 의한다. 시험편의 치수는 50×50×50mm로 3개를 제작하고, 시험편 윗면과 아래면의 평행도를 두께의 1% 이내가 되도록 한다. 압축속도는 시험편 두께의 10% mm/min로 한다.

(4) 연소성

시험은 KS M 3808에 규정한 시험법에 의한다. 시험편의 치수는 200×25×100mm로 5개 제작하고, 착화 한계 지시선과 연소 한계 지시선을 표시한다. 불꽃을 시험편 끝에 대고 5초 동안 양초를 같은 속도로 착화 한계 지시선까지 밀어 보낸다. 착화 한계 지시선에 도달하면 불꽃을 후퇴시키고 불꽃이 꺼질때까지의 시간을 측정하고 연소의 정지 위치를 확인한다. 3초이내에 불꽃이 꺼지고 찌꺼기가 없고 연소 한계지시선을 초과하여 연소하지 않아야 함.

연소성 시험 (단위 : mm) 연소성



199 년 월 일

귀하

회사명 :

주 소 :

담당자 : (인)

EPS 재료 검사 보고서

공 사 명						
EPS 종류		D - 20	누적 사용량	m'	검 사 자	
			사 용 량	m'		
항 목		단 위	규 격	시 험 결 과		판 정
				측 정 치	평 균 치	
재 품 치 수	길이	mm	3600 ± 5			합 • 否
			1800 ± 4			합 • 否
	폭	mm	900 ± 3			합 • 否
	두께	mm	600 ± 3			합 • 否
중 량		kg / Block				
밀 도		kg / m'	20 + 1.5 - 1.0			합 • 否
압축 강도		tf / cm'	10.0 이상			합 • 否
연 소 성		-	자기소화성			有 • 無
						D - 20 용

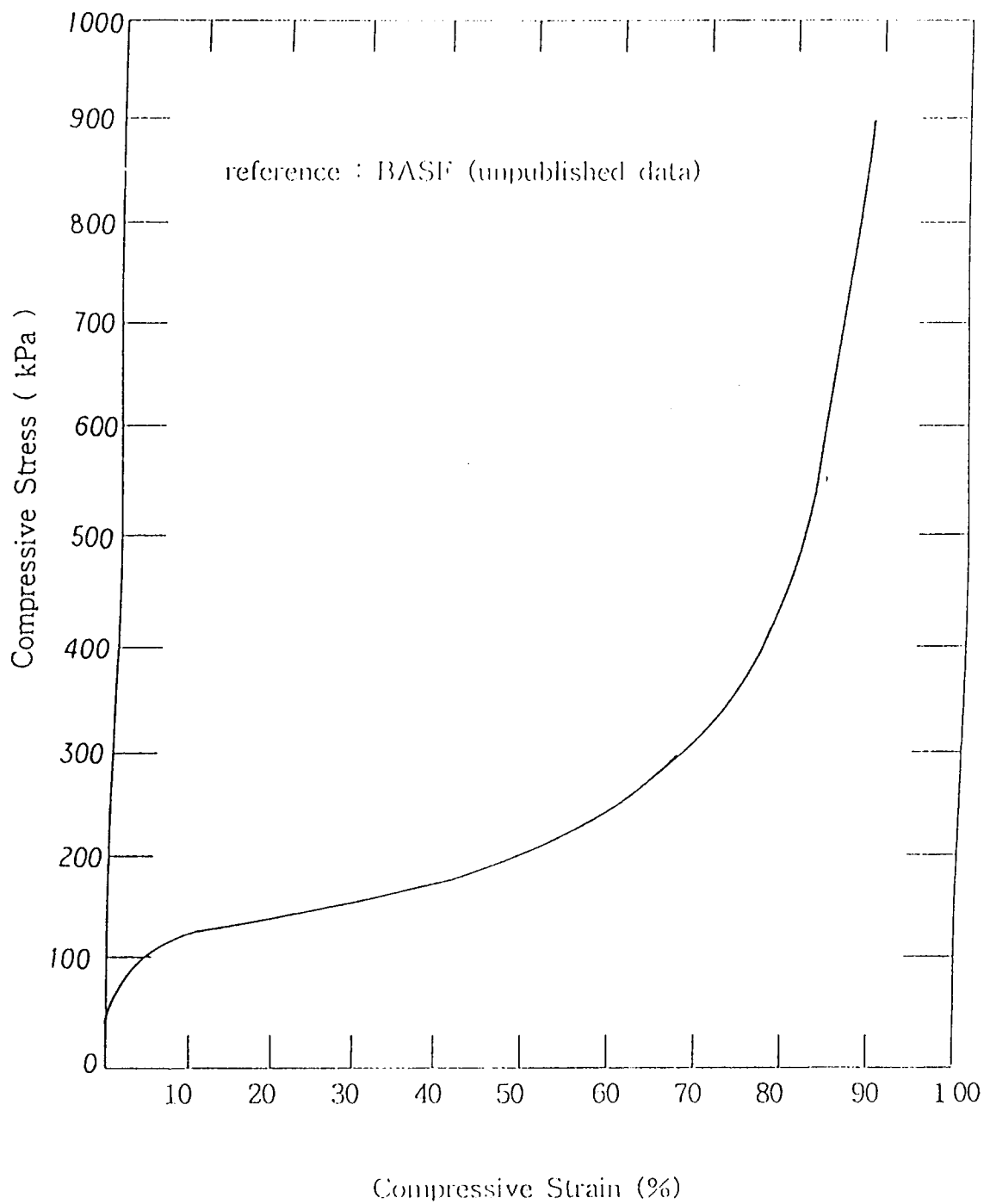


Fig. 1. Load-Deformation Behavior of 21 kg/m³ EPS Under Short-Term Unconfined Axial Compression Loading

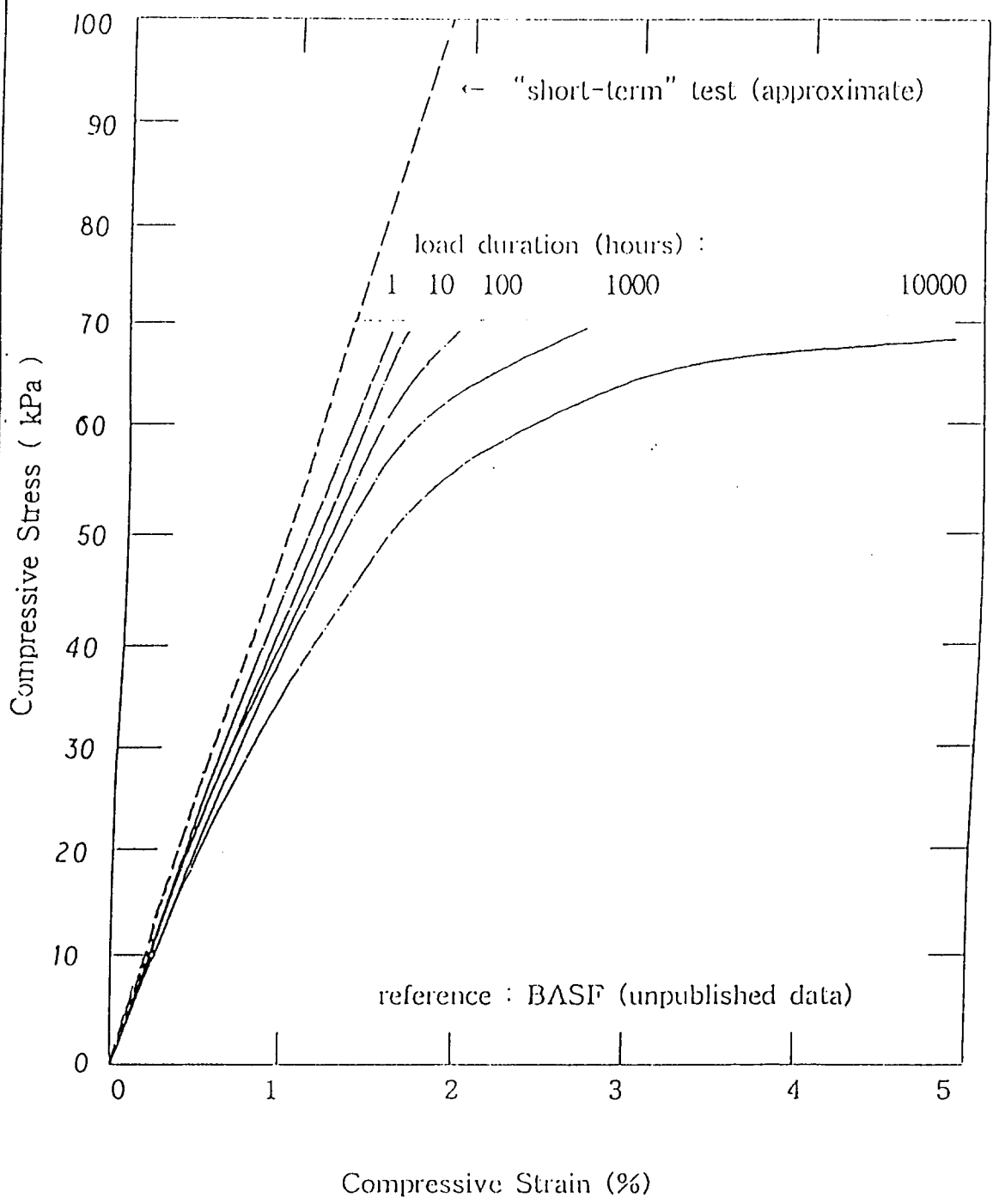


Fig. 2. Time-Dependent Stress-Strain Behavior of 23.5 kg/m³ EPS in Unconfined Axial Compression (based on creep-test data)

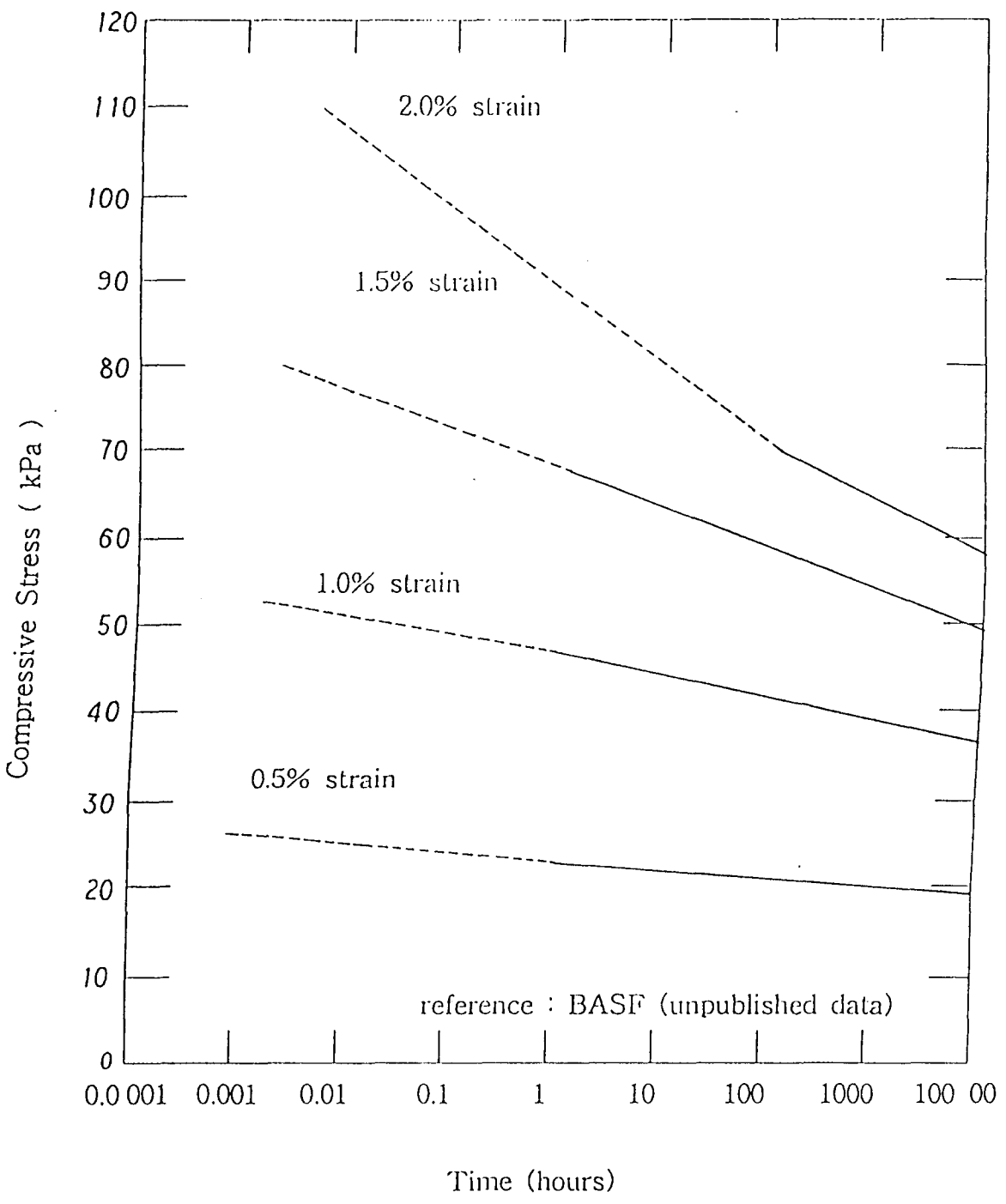


Fig. 3. Approximate Relaxation Behavior of 23.5 kg/m³ EPS
Under Axial Compression (based on creep-test data)

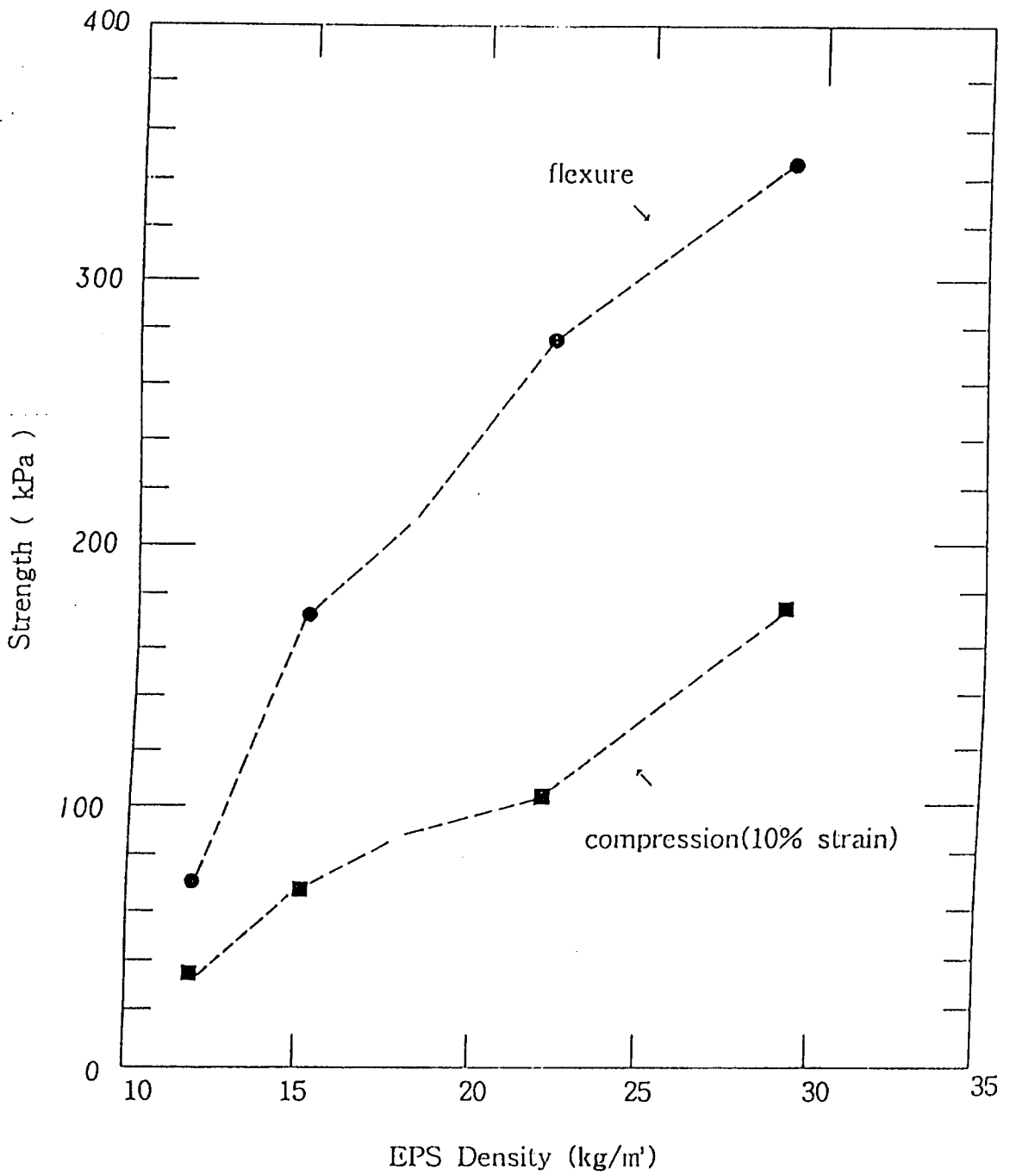


Fig. 4. Correlation Between Strength (Minimum Required Values) and EPS Density from ASTM Standard C578