

## 폴리우레탄 폼의 물성과 Cell Morphology에 대한 촉매와 발포제의 영향

권 현 · 이수현 · 김상범\* · 방문수\*\* · 김연철\*\*†

(주)파인텍 연구소, \*경기대학교 화학공학전공, \*\*공주대학교 화학공학부  
(2005년 1월 5일 접수, 2005년 3월 14일 채택)

## Effects of Catalysts and Blowing Agents on the Physical Properties and Cell Morphology of Polyurethane Foams

Hyun Kwon, Su Heon Lee, Sang Bum Kim\*, Moon-Soo Bang\*\*, and Youn Cheol Kim\*\*†

R&D Center, Finetec Cooperation, Ansong 456-840, Korea

\*Major in Chemical Engineering, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

\*\*Division of Chemical Engineering, Kongju National University, Cheonan 330-717, Korea

(Received January 5, 2005; accepted March 14, 2005)

Polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (PMDI), 여러 관능기와 OH 값을 가지는 7종의 폴리올, 실리콘 계면활성제, 두 종류의 촉매 그리고 세 종류의 발포제를 사용하여 폴리우레탄폼(PUF)을 제조하였다. 발포제로는 염화불화탄소(CFC-11), 염화불화탄화수소(HCFC-141b)와 불화탄화수소(HFC-365mfc)가 이용되었다. HCFC-141b를 사용한 PUF의 기초특성과 cell 구조에 대한 겔화촉매와 blowing 촉매의 영향을 조사하였다. Cell 크기는 촉매의 양에 따라 감소하였다. 겔화촉매의 경우에 밀도 변화는 거의 없지만 압축강도는 촉매양이 0에서 2 pph로 증가함에 따라 11.9에서 12.66 kg/cm<sup>2</sup>로 증가하였다. 3 종의 발포제를 이용한 PUF의 겔화시간, 밀도와 압축강도를 측정하였으며, 물리적 특성에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 다른 두 종류의 발포제와 비교했을 때 HCFC-141b를 사용한 PUF의 cell 구조는 불균일함을 알 수 있었다.

Polyurethane foams (PUFs) were prepared from polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (PMDI), seven polyols with different functionalities and OH values, silicone surfactant, two catalysts, and three blowing agents. Chlorofluorocarbon (CFC-11), hydrochlorofluorocarbon (HCFC-141b) and hydrofluorocarbon (HFC-365mfc) were used as blowing agents. The effect of gelling and blowing catalysts on basic properties and cell structure of PUF with HCFC-141b was investigated. The cell size of the PUF decreased with an increase in the amount of catalyst from 0 to 2 pph (parts per hundred polyol). In the case of gelling type catalyst, the compressive strength increased from 11.9 to 12.66 kg/cm<sup>2</sup> with an increase in the amount catalyst from 0 to 2 pph but the density did not change significantly. The gelling time, density, and compressive strength of the PUF with three different blowing agents were measured. There was no detectable change in their properties. However, the cell structure of PUF with HCFC-141b was not uniform as in the other systems.

**Keywords:** polyurethane foam, blowing agent, gelling catalyst, blowing catalyst

### 1. 서 론

폴리우레탄의 특성은 재료를 구성하는 각 성분의 화학구조나 함량비에 따라 매우 민감하게 변화한다. 다른 고분자재료와 비교할 때 폴리우레탄 재료의 화학구조 조절에 따른 내부 구조의 제어와 물성 변화가 매우 용이하고 조절 범위 또한 크게 나타나는 것이 일반적인 현상이다[1]. 이러한 특성이 폴리우레탄 재료가 산업분야에 광범위하게 적용되고 많은 연구자들에게 지속적인 연구분야로서의 역할을 제공하는 이유가 되고 있다[2-5].

폴리우레탄 폼은 겔보기 밀도를 비교적 자유롭게 조절할 수 있으며,

발포공정이 쉽고, 경량에 비하여 강도가 높고, 각종 구조에 맞는 성형성을 가지며, 양호한 단열성 등의 장점으로 인해 연구 및 응용이 확대되고 있다. 단열재료 이용되는 경질 폴리우레탄 폼은 뛰어난 단열 성능 및 기계적 물성, 그리고 경제성 등의 장점으로 인하여 지난 수십여년간 상업적으로 널리 사용되어지고 있다. 폴리우레탄 폼의 발포제로 널리 사용되고 있는 것은 염화불화탄소(CFC)류 발포제이다. CFC는 낮은 열전도도를 가지며 화학적으로 대단히 안정하여 고분자 등의 발포 이외에 세정제, 냉매 등에 널리 이용되어 왔으나 최근 CFC에 의한 오존층 파괴 문제로 인하여 사용에 규제를 받고 있다. 이러한 CFC를 대체할 수 있는 새로운 발포제를 개발하려는 노력이 이루어져 왔으며 그 결과로 비교적 다양한 CFC 대체물질이 개발되었다[6,7]. 이와 같

† 주 저자(e-mail: younkim@kongju.ac.kr)

Table 1. The Characteristics of the Raw Materials

Material (sample name)	Functionality	Viscosity (25°C, cPs)	OH-Value (KOH mg/g)	Maker
Polyester polyol (PUF 2-280)	2	6,700	280	Finetec
Polyester polyol (PUF 2-320)	2	2,500	320	Finetec
Glycerine base polyether polyol (PUF 3-290)	3	150	290	KPC
Glycerine base polyether polyol (PUF 3-400)	3	278	400	KPC
Glycerine base polyether polyol (PUF 3-670)	3	645	670	KPC
Pentaerythritol base polyether polyol (PUF 4-400)	4	1,750	400	KPC
Sucrose/Glycerine base polyether polyol (PUF 4~5-360)	4~5	3,500	360	Kumho
Sucrose/Glycerine base polyether polyol (PUF 4~5-510)	4~5	4,100	510	KPC
Surfactant	Silicone copolymer (B-8404)			Goldschmidt
Catalyst	pentamethyl diethylene triamine (PC-5) triethylenediamine/ dipropylene glycol (33LV)			Air Products
PMDI	polymeric diphenylmethane diisocyanate (M20R, NCO% = 31±0.5%)			BASF
Blowing agent	CFC-11 / HCFC-141b / HFC-365mfc			Solvay

은 환경규제를 벗어나기 위해 폴리우레탄 폼 시장에서는 현재 제 2세대 발포제인 염화불화탄화수소(HCFC)류가 주로 사용되고 있다.

CFC 대체발포제를 이용한 폴리우레탄 폼 관련 연구는 크게 미국과 유럽으로 나뉘어 연구되고 있다. 북미 지역에서는 대체 발포제로 Solvay와 Honeywell에서 개발한 불화탄화수소(HFC)류를 이용한 대체 발포제 시스템 개발 연구가 주로 진행중이며[8,9], 유럽에서는 주로 펜탄류를 이용한 발포 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [10-12]. 반면 국내의 폴리우레탄 폼의 대체발포제에 대한 연구 및 개발 수준은 미미한 상태에 있다[13]. 국제적인 환경규제에 적응하면서 국내 단열제 시장의 지속적인 성장을 위해 10~20년 후에 규제가 예상되기는 하지만 현재 폴리우레탄폼 시장에서 주로 사용되고 있는 제 2세대 발포제인 HCFC에 대한 최적의 발포시스템에 대한 연구와 동시에 제 3세대 발포제인 HFC와 같은 대체발포제의 폴리올과의 상관관계를 올바로 해석하여 경제적으로 우수하며 물성을 증진시킬 수 있는 대체 발포제 시스템의 구축이 필요하다 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 우선 2세대 발포제인 HCFC-141b를 이용하여 최적의 촉매 시스템을 선정하고, 다음으로 3세대 발포제인 HFC-365mfc에 대한 폴리우레탄 폼의 적용가능성을 평가하기 위해 기존의 1, 2세대 발포제와 동일한 배합비로 우레탄폼을 제조하여 겔화시간, 밀도, 압축강도, 및 cell 구조에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험재료

실험에 사용된 폴리올은 한국폴리올(Korea polyol company, KPC), 금호 및 화인텍제품으로 정제하지 않고 90 °C 진공오븐에서 24 h 동안 수분을 건조한 후 사용하였다. 디이소시아네이트는 4,4'-디페닐메탄 디이소시아네이트(MDI)로서 액상의 고분자 제품으로 평균 작용기가 약 2.9인 BASF사의 Lupranate M-20R을 사용하였다. MDI의 특성으로 당량(equivalent weight)은 133.5 g/mol, 점도는 150~200 cPs이며 반응성을 가진 NCO의 함량은 무게비로 31.5%를 나타내었다. 계면활성제는 실리콘 공중합체인 Goldschmidt사의 B-8404를 사용하였고 촉매는 Air Products사의 33LV와 PC-5를 사용하였다. HFC 발포제는 Solvay사의 HFC-365mfc를 사용하였다. 사용한 물질의 기본적인 특성을 Table 1에 정리하였다.

### 2.2. 실험방법

#### 2.2.1. 폴리우레탄 폼의 제조

폴리올, 계면활성제, 촉매 및 발포제가 섞인 용액을 MDI와 반응시켜 폴리우레탄 폼을 합성하였다. 1 리터 크기의 반응기에 예비 혼합한 용액을 투입한 후 MDI를 미리 계산된 양만큼 투입하였다. 교반기의 속도를 3000 rpm으로 하여 30 sec 동안 교반 후 반응온도와 겔화시간을 측정하였다. 여기서 사용된 교반기는 IKA사의 ULTRA-TURRAX® T50 basic 모델이고, 온도측정을 위해 COMMTEST instrument사의 MMS 3000-T6V4를 사용하였다. 반응온도는 반응기의 일정부위에 온도센서를 부착한 후, 일정시간 간격으로 온도를 체크하였다. 겔화시간은 산업현장 및 실험실에서 일반적으로 사용하는 방법과 같이 발포가 진행될 때 얇은 막대기(길이 10 cm, 직경 1~2 mm)를 우레탄폼에 접촉하였다가 떼어낼 때 길게 실갈이 묻어나기 시작하는 시점까지의 시간을 측정하여 얻었다. 오차를 최소화하기 위해 겔화시간은 3회 측정하여 평균치로 하였다. 폴리우레탄폼의 물성은 제조 후 24 h 상온에서 숙성시킨 뒤 절단하여 평가하였다.

실험을 위한 혼합용액은 다음과 같이 크게 2가지 형태로 만들어 사용하였다.

(a) HCFC-141b에 대한 촉매 종류의 영향을 고찰하기 위해 관능기와 OH 값이 중간수준인 PUF 4-400을 폴리올로 선정하여 사용하였다. 폴리올 100 part 기준으로 증류수를 0.5 pph (parts per hundred polyol), 실리콘 계면활성제를 1.5 pph, HCFC-141b 0.026 mol을 투입하였으며, NCO Index는 110으로 하여 혼합 발포하였다. 촉매의 경우 이소시아네이트가 물과 반응한 후 탄산가스를 발생시켜 발포반응을 촉진하는 blowing 촉매[14]와 폴리올의 히드록시 그룹과 반응하는 겔화촉매(gelling catalyst)[15]를 사용하였다.

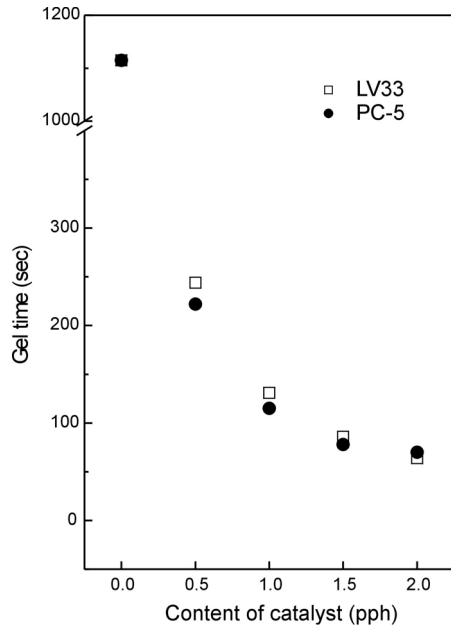
(b) 폴리올과 발포제가 폼 물성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 폴리올의 종류를 달리하면서 폴리올 100 part 기준으로 증류수를 0.5 pph (part per hundred polyol), 계면활성제(B8404) 1.5 pph, 촉매(33LV) 0.5 pph, 그리고 발포제로는 기존의 CFC-11, HCFC-141b와 대체발포제인 HFC-365mfc를 각각 0.026 mol 투입하였으며, NCO Index는 110으로 고정하여 혼합 발포하였다.

#### 2.2.2. 측정

밀도는 ASTM D 1621의 방법에 따라 각 시료당 5개 이상의 시편을

**Table 2. Reactor Temperature (RT) of the Polyurethane Foam after 60 sec and Glass Transition Temperature ( $T_g$ )**

Content (pph)	33LV		PC-5	
	RT (°C)	$T_g$ (°C)	RT (°C)	$T_g$ (°C)
0.0	26.3	119	26.3	119
0.5	28.6	119	36.9	119
1.0	34.1	120	41.8	119
1.5	39.3	122	48.4	121
2.0	41.6	124	52.0	122



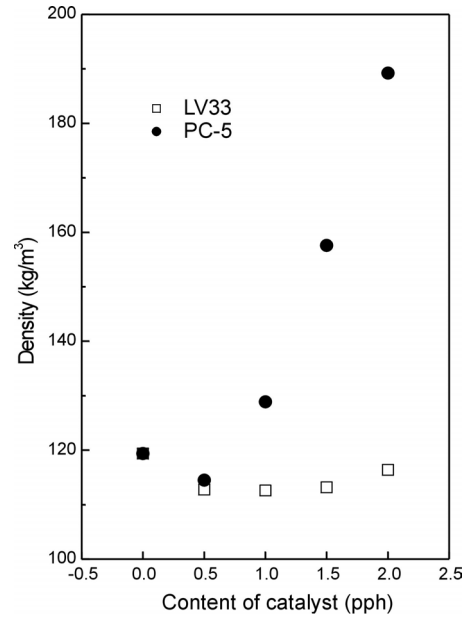
**Figure 1. Effect of catalyst content on the gel time of the PUF.**

준비하여 표준측정방법으로 측정하였다. 압축강도 실험은 LLOYD instruments사의 LR 50K를 사용하여 각 시료당 5개의 시편을 측정하여 최고 최저치를 제외한 평균치를 기록하였다. 시편의 크기는 30 mm(L)×30 mm(W)×30 mm(T)이었고 cross-head speed는 3 mm/min으로 하여 ASTM D 1621의 조건에 따라 시행하였다. 폴리올, 발포제, 그리고 NCO index가 폼의 미세구조에 미치는 영향을 평가하기 위해 SEM (Scanning Electron Microscope, Jeol Co. JSM-5200)을 사용하였다. 시료의 절단면을 금박하여(gold sputter coating) 25 kV의 가속저압과 50배의 배율로 관찰하였다. 시료의 유리전이온도( $T_g$ )의 측정을 위해 Dupont사의 DSC (Differential Scanning Calorimeter, DuPont 2010)를 사용하였다. 승온속도는 20 °C/min였고, 실험범위는 20에서 200 °C까지 측정하였다.

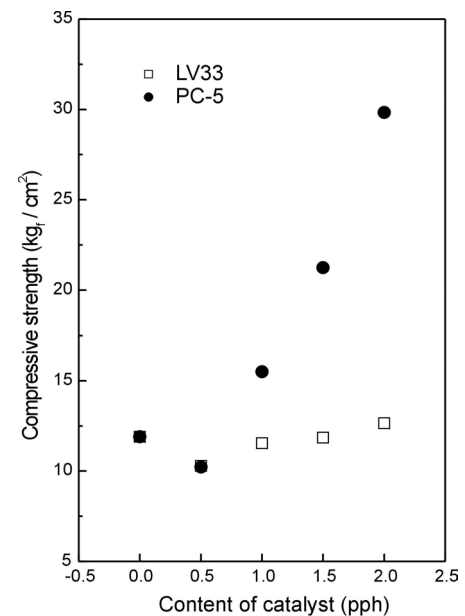
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. HCFC-141b 발포제에 대한 촉매의 영향

폴리우레탄 발포시 폼의 물성에 영향을 주는 인자로 폼의 cell 구조를 들 수 있다. 폴리우레탄폼이 cell을 형성할 때 그 크기와 형상은 반응속도와 밀접한 연관이 있기 때문에 반응속도를 조절할 수 있는 촉매에 대한 고찰은 폴리우레탄폼의 물성 향상에 있어서 매우 중요하다. 본 연구에서는 현재 폴리우레탄폼의 상업용 촉매로 널리 사용되고 있



**Figure 2. Density of the PUF as a function of catalyst content.**



**Figure 3. Compressive strength of the PUF as a function of catalyst content.**

는 2종(33LV 와 PC-5)의 촉매가 제 2세대 발포제인 HCFC-141b 발포제의 기본 특성과 cell 구조에 미치는 영향에 대해 고찰하였다. 33LV의 경우는 켈화촉매이고 PC-5의 경우는 blowing 촉매이다. 촉매의 첨가량은 0.5, 1, 1.5 그리고 2.0 pph로 하여 제조하였다.

우선 촉매의 활성화도에 따라 첨가량이 같아도 반응열이 다를 수 있으며 이는 각 촉매의 고유특성에 기인한다. Table 2는 위 2종의 촉매 첨가량에 따른 발열량 정도를 살펴보기 위해 60 sec 경과 후의 반응계 온도를 나타낸 것이다. 2종의 촉매 모두에 있어서 촉매의 양에 따라 60 sec 후에 반응온도가 증가하는 것을 보여주었다. 반응계의 반응열이 너무 낮으면 반응이 느려지고 이로 인해 cell 크기가 증가하여 기계적 강도 및 열전도도가 나빠지게 되고 이와 반대로 반응열이 너

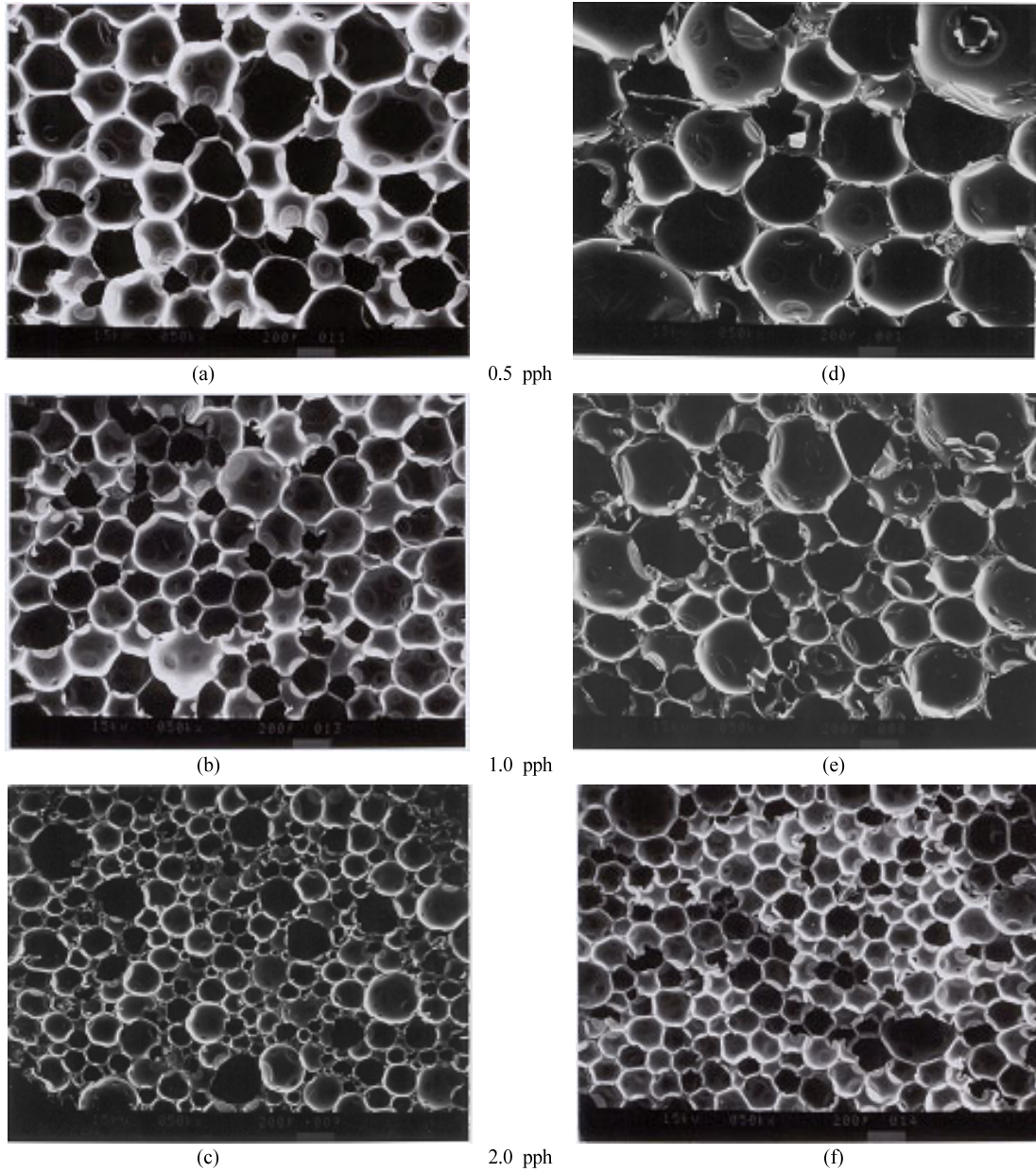


Figure 4. SEM photos of the PUF. (a), (b), and (c) for 33LV and (d), (e), and (f) for PC-5 (×50).

무 높으면 반응이 빠르게 진행되어 발포시 내부에서 균열이 발생하고 심하면 폴리우레탄폼이 타는 것 같은 scorch 현상이 발생하게 된다. 따라서 촉매의 종류와 양을 조절하여 반응속도를 제어하는 것이 폴리우레탄폼의 최종 물성을 예측하는데 중요한 변수라 할 수 있다.

폴리우레탄폼의 물성 예측을 위해 겔화시간, 밀도 및 인장강도를 측정하였다. Figure 1은 촉매의 양 변화에 따른 폴리우레탄폼의 겔화시간을 나타낸 것이다. 두 촉매 모두에서 함량이 증가함에 따라 겔화시간이 감소하는 것을 보여주었고, PC-5의 겔화시간이 전체적으로 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이는 PC-5 촉매의 60 sec 후 반응온도가 33LV 보다 높게 나타나는 현상에 기인한 것으로 해석할 수 있다.

촉매의 종류와 함량변화에 따른 우레탄폼의 밀도와 압축강도를 Figure 2와 Figure 3에 나타내었다. PC-5는 촉매의 함량이 증가함에 따라 0.5 pph의 경우를 제외하고는 밀도와 압축강도가 큰 폭으로 증

가하는 것을 보여주었다. 반면 3LV는 촉매 양이 0.5 pph에서 2.0 pph로 증가함에 따라 밀도는 112.77 kg/cm<sup>3</sup>에서 116.39 kg/cm<sup>3</sup>로 거의 일정하고 압축강도는 10.29 kg/cm<sup>2</sup>에서 12.66 kg/cm<sup>2</sup>로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 겔화촉매인 33LV가 상대적으로 낮은 초기 반응온도로 인해 반응이 서서히 진행되어 충분한 겔화와 발포반응이 일어남에 의한 것으로 해석할 수 있다. 다시 말하면, PC-5의 경우 촉매의 양이 0.5 pph인 경우를 제외하고 초기 반응열이 HCFC-141b의 끓는점인 32 °C보다 높아 충분한 가교 반응이 일어나기 전에 발포제의 손실이 많이 발생하는 반면 33LV의 경우 초기 반응열이 HCFC-141b의 끓는점과 유사하여 겔화 반응이 진행되는 동안 발포제의 손실이 적어 적절한 발포 cell이 형성되기 때문으로 해석할 수 있다. 또한 Table 2와 Figure 1에서 보여주듯이, 33LV에서 촉매양이 2.0 pph인 경우 PC-5의 1.0 pph인 경우와 유사한 반응온도(41.6~41.8 °C)를 나타냄에도 불구하고

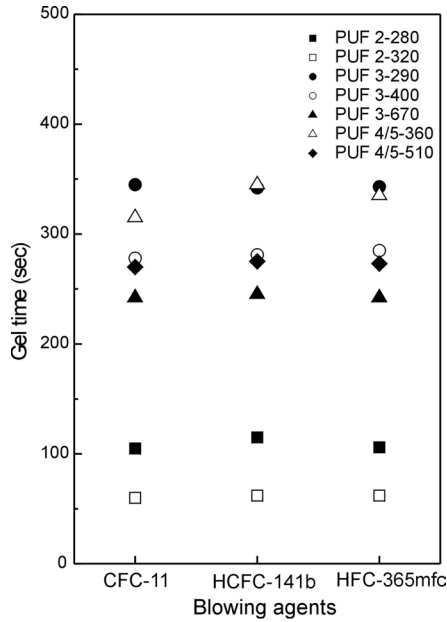


Figure 5. Effect of blowing agents on the gel time of PUF.

하고 33LV의 겔화시간이 동일한 반응온도에서 짧게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이는 33LV가 PC-5보다 겔화 반응을 강하게 촉진시킴을 의미한다.

촉매의 종류와 양에 따른 유리전이온도 및 발포 cell의 구조변화와 압축강도와의 상관관계를 살펴보기 위하여 폴리우레탄폼의 DSC와 SEM 실험을 수행하였다. Table 2에서 보여주는 것과 같이 촉매의 함량이 0에서 2.0 pph로 증가함에 따라 33LV의 유리전이온도는 119에서 124 °C로 PC-5는 119에서 122 °C로 약간씩 상승하는 결과를 얻을 수 있었다. 함량이 2.0 pph일 때 33LV의 유리전이온도가 2 °C 높게 나타나는데 앞에서 설명한 겔화반응의 촉진 때문으로 해석할 수 있다.

Figure 4에는 촉매의 종류와 함량에 따른 기포의 구조와 크기를 살펴보기 위해서 SEM 사진을 나타내었다. 두 경우 모두 촉매의 함량이 증가함에 따라 cell의 크기가 감소하는 것을 볼 수 있었고 이는 압축강도의 증가와도 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 다음으로 33LV와 PC-5를 비교하여 보면 같은 촉매 함량에서 33LV의 cell이 보다 균일한 분포를 보여주고 크기에 있어서도 작게 나타남을 확인할 수 있다.

이들 결과를 종합해 보면 HCFC-141b 발포제에서 겔화촉매인 33LV가 더 효과적인 발포제로 여겨지며 촉매의 함량은 요구하는 물성과 경제성을 검토하여 결정할 수 있을 것이다.

### 3.2. 기존 발포제와 대체발포제의 기초물성 평가

대체발포제(HFC-365mfc)에 대한 폴리우레탄폼 단일재료의 적용가능성을 살펴보기 위해 기존발포제와 동일 배합조건에서 폴리올의 종류에 따른 겔화시간, 밀도 및 압축강도 특성 등을 비교 검토하였다. 기존 발포제로는 환경규제물질로 규정된 CFC-11과 최근 가장 많이 적용되고 있는 HCFC-141b를 사용하였다. 대체발포제가 전체적인 폴리우레탄폼 반응메카니즘에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 관능기수와 OH 값이 다른 7종의 폴리올을 선정하고 MDI와 계면활성제 등 첨가물들의 종류와 함량은 동일하게 하여 실험을 진행하였다. 촉매의 경우는 전절의 실험 결과를 토대로 겔화촉매인 33LV를 사용하였다.

Figure 5는 발포제와 폴리올의 변화에 따른 폴리우레탄폼의 겔화시간을 나타낸 것이다. 기존의 2가지 발포제의 거동과 유사하게 HFC-

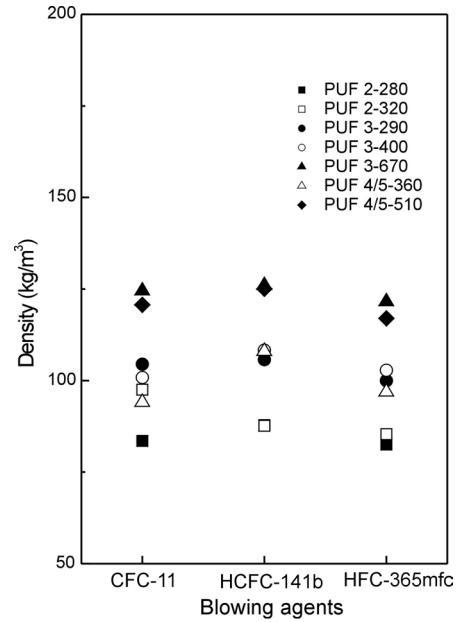


Figure 6. Effect of blowing agent on the density of the PUF.

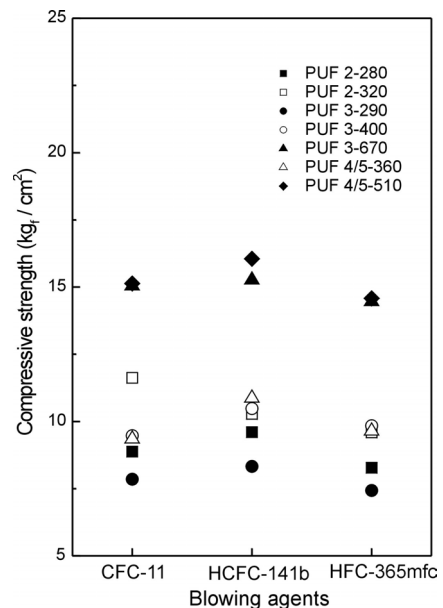


Figure 7. Effect of blowing agent on the compressive strength of the PUF.

365mfc에서도 관능기에 따라 겔화시간이 증가하고, 동일한 관능기를 가지는 폴리올에서는 OH 값이 증가하면 겔화시간이 감소하는 경향을 보여주었다. 또한 실험에 사용된 모든 폴리올에 대해서 발포제의 종류에 상관없이 동일한 폴리올에서 약간의 차이는 있지만 겔화시간에 큰 변화가 나타나지 않음을 알 수 있다. 이는 세 종류의 발포제가 모두 물리적 발포제로서 각각의 발포제가 폴리올과 MDI와의 반응메카니즘에 있어서 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 해석할 수 있다. 또한 관능기수가 같은 폴리올에서 OH 값이 증가함에 따라 겔화시간이 빨라지는 현상은 OH 값의 증가는 분자량이 감소하는 것을 의미하므로 이는 분자쇄의 길이가 작아짐에 따라 분자의 운동이 쉬워지게 되므로 각 반응기가 반응을 할 수 있는 확률이 높아지는 것으로 해석할 수 있다.



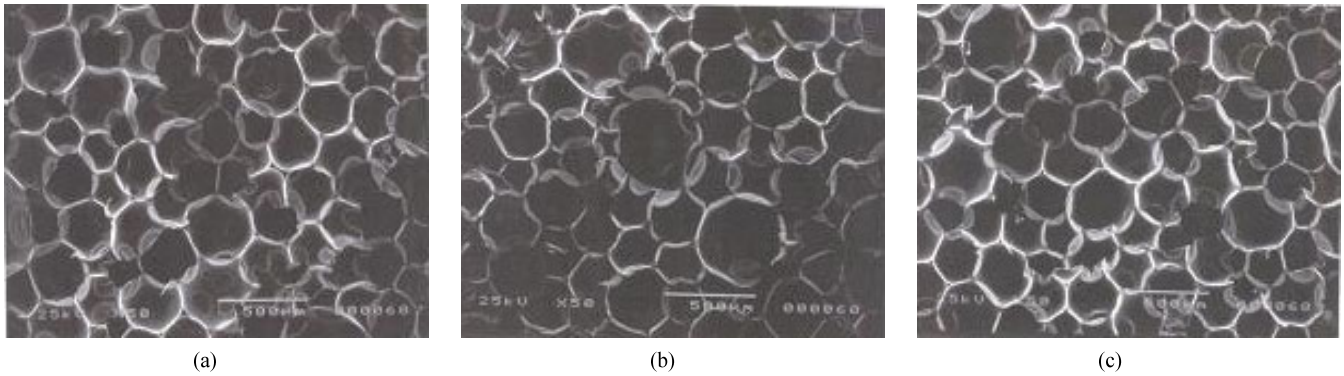


Figure 8. SEM photos of PUF with various blowing agents. (a) CFC-11 (density =  $84.29 \text{ kg/m}^3$ ), b) HCFC-141b (density =  $84.51 \text{ kg/m}^3$ ), and (c) HFC-365mfc (density =  $85.75 \text{ kg/m}^3$ ).

대체발포제의 적용가능성 확인을 위해서는 발포제 종류에 따른 폴리우레탄폼 반응에 있어서 겔화시간에 대한 평가와 더불어 발포제의 변화에 따른 폴리우레탄폼의 물리적인 특성 및 폼의 구조 등에 대한 평가 또한 중요한 변수이다. Figure 6과 7은 발포제와 폴리올의 종류에 따른 폴리우레탄폼 밀도와 압축강도를 나타낸 것이다. 동일 폴리올에 대하여 밀도와 압축강도값이  $\text{HCFC-141b} > \text{CFC-11} > \text{HFC-365mfc}$ 의 순으로 나타나고 있는데 이는 각 발포제의 분자량에 의한 것이다. HCFC-141b의 경우 분자량이  $117 \text{ g/mol}$ 로서 CFC-11의 분자량  $137 \text{ g/mol}$ , HFC-365mfc의 분자량  $148 \text{ g/mol}$ 보다 분자량이 작아 분자량이 작으면 같은 밀도를 형성하기 위하여 사용되는 발포제의 양을 줄여야 하는데 본 실험에서는 같은 양의 발포제를 사용하여 밀도가 상승한 것으로 설명할 수 있다.

다음으로 OH 값이 증가할수록 폴리우레탄폼 밀도와 압축강도가 증가하는 경향을 볼 수 있는데 이는 앞에서 설명한 바와 같이 분자쇄의 길이가 작아져서 폼의 형성시 보다 치밀한 구조를 이루는 것으로 해석할 수 있다. 하지만 동일 폴리올에 대해 발포제 종류에 따른 밀도와 압축강도 값을 비교하여 보면 밀도는 약  $5 \sim 10 \text{ kg/m}^3$  그리고 압축강도는  $1 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$  정도밖에 나지 않기 때문에 발포제의 종류가 밀도 및 압축강도에 미치는 영향은 그리 크지 않음을 알 수 있다.

Figure 8은 발포제가 폴리우레탄폼의 cell 구조에 미치는 영향을 평가하기 위해 유사한 밀도를 가지는 시료에 대해서 SEM 사진을 나타낸 것이다. CFC-11이나 HFC-365mfc 발포제를 사용한 경우의 cell은 비교적 균일한 분포를 보이고 있으나, HCFC-141b는 상대적으로 불균일한 cell 분포를 보이고 있다. 이것은 HCFC-141b가 CFC-11이나 HFC-365mfc에 비해 폴리올과의 상용성이 떨어지기 때문인 것으로 생각되고 기존의 연구결과로부터 확인할 수 있다[16,17]. Barthelemy 등[17]은 HCFC-141b 발포제의 경우 초기 반응이 일어나기 시작할 때 경화반응 속도보다 낮은 상용성으로 인한 상분리 속도의 변화가 빨라져서 형성된 셀의 크기가 커지는 것으로 보고하였다.

발포제 종류에 따른 기초특성과 cell 구조에 대한 실험 결과들을 종합할 때 HFC-365mfc의 경우 단열재로 적용되는 폴리우레탄폼의 대체발포제로의 적용이 가능한 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

발포제로 HCFC-141b를 이용한 폴리우레탄폼에서 촉매의 종류와 양에 따른 경화거동과 물성에 미치는 영향을 고찰하였다. 겔화촉매인 33LV의 경우 유사한 밀도에서 함량이 증가함에 따라 압축강도와 유

리전이온도가 증가하였고 발포 cell의 크기는 감소하였다. 대체 발포제인 HFC-365mfc의 폴리우레탄폼에 대한 적용가능성 평가를 위해 1,2 세대 발포제인 CFC-11, HCFC-141b를 이용하여 동일한 배합으로 반응거동과 물성을 평가하였다. 세 가지 경우 모두 경화거동, 밀도 및 물성 등에 있어서 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 발포 cell의 morphology는 HCFC-141b를 사용한 경우가 CFC-11이나 HFC-365mfc에 비해 불균일한 cell 분포를 나타내었다. 이들 결과를 종합할 때 폴리우레탄폼의 차세대 발포제인 HFC-365mfc는 기존 발포제를 대체하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. T. Y. Lee, H. S. Lee, and S. W. Seo, *Polym. Sci. Tech.*, **10**, 597 (1999).
2. E. N. Doyle, *The Development and Use of Polyurethane Products*, McGraw-Hill Book Company, New York (1984).
3. H. Fleurent and S. Thijs, *J. Cell. Plast.*, **31**, 580 (1995).
4. P. A. Gunatillake, G. F. Meijs, and E. Rizzardo, *J. Appl. Polym. Sci.*, **47**, 199 (1993).
5. H. S. Lee, N. W. Lee, K. H. Paik, and D. W. Ihm, *Macromolecules*, **27**, 4364 (1994).
6. S. A. Baser and D. V. Khakhar, *Polym. Eng. Sci.*, **34**, 642 (1994).
7. M. Ravey, Pearce, and M. Eli, *J. Appl. Polym. Sci.*, **63**, 47 (1997).
8. J. Sharpe, D. MacArthur, M. Liu, T. Kollie, R. Graves, and R. Hendriks, *J. Cell. Plast.*, **31**, 313 (1995).
9. T. L. Fishback and C. J. Reichel, *J. Cell. Plast.*, **30**, 84 (1994).
10. O. Volkert, *Adv. Urethane Sci. Tech.*, **13**, 53 (1996).
11. J. A. Creazzo, H. S. Hammel, K. J. Cicalo, and P. Schindler, *J. Cell. Plast.*, **31**, 154 (1995).
12. O. Volkert, *J. Cell. Plast.*, **31**, 210 (1995).
13. W. J. Seo, H. C. Jung, Y. H. Kim, W. N. Kim, K. H. Choe, Y. B. Lee, and S. H. Choi, *Polymer(Korea)*, **26**, 185 (2002).
14. U. S. patent 4,598,103 (1985).
15. Michael Szycher, *Szycher's Handbook of Polyurethanes*, CRC Press, Florida (1999).
16. J. A. Thoen, H. J. M. Grunbauer, and C. F. Smits, *Polym. Mater. Sci. Eng.*, **67**, 467 (1992).
17. P. P. Barthelemy, A. Leroy, and J. A. Franklin, *J. Cell. Plast.*, **31**, 513 (1995).