

## Co-blowing agent에 따른 경질 폴리우레탄 폼의 물성 변화 연구

고 성 호 · † 김 상 범  
경기대학교 화학공학과  
(2004년 1월 16일 접수, 2004년 3월 2일 채택)

### Physical Properties of Rigid Polyurethane Foams Prepared by Co-Blowing Agents

Sung Ho Koh and Sang Bum Kim  
*Department of Chemical Engineering, Kyonggi University,  
Suwon, Korea*  
(Received 16 January 2004 ; Accepted 2 March 2004)

#### 요 약

경질폴리우레탄 폼 제조 시 water, HFC-365mfc, HFC-245fa, HCFC-141b, CFC-11, n-pentane을 사용하여 단일발포제가 폼의 물성에 미치는 영향을 알아보고, HFC-365mfc를 주 발포제로 사용하고 water, HFC-245fa, HCFC-141b, CFC-11, n-pentane을 보조 발포제로 사용하여 혼합 발포제(co-blowing agent)가 폼의 물성에 미치는 영향을 고찰하였다. 단일 발포제의 영향에서 압축강도는 물의 경우가  $3.83\text{kg/m}^2$ 으로 가장 큰 값을 나타내었으며 Scanning electron microscopy(SEM)분석 결과 HFC-245fa와 HFC-365mfc의 경우가 기공분포 크기가 가장 작은 것으로 관찰이 되었다. 열전도도는 CFC-11, HFC-245fa와 HFC-365mfc의 경우가 낮은 열전도도 값을 보여서 폼의 열전도도는 기공 크기와 발포제의 열전도도에 의존함을 알 수 있었다. 혼합 발포제의 영향에서는 HFC-245fa를 30mole%로 사용한 경우가 가장 높은 기계적 물성 값을 나타내었으며 이는 SEM 분석 결과, HFC-245fa를 보조 발포제로 사용한 경우가 가장 작은 기공분포 크기를 나타내었기 때문이었다. 혼합 발포제의 영향에서도 폼의 열전도도는 기공크기와 발포제의 열전도도에 의존함을 확인 할 수 있었다.

**Abstract** - The physical properties of rigid polyurethane foam(PUF) synthesized using various types of blowing agents such as water, HFC-365mfc, HFC-245fa, HCFC-141b, CFC-11 and n-pentane were studied. The blending effect of blowing agents were also studied. The thermal conductivity, reaction rate, and cell morphology of the PUF with various blending ratio of blowing agents were investigated. The PUF blown by water shows the highest compressive strength among other single blowing agents. The thermal conductivity of PUFs blown by HFC-245fa and HFC-365mfc are close to that of PUFs blown by CFC-11. When HFC-365mfc was mixed with HFC-245fa(30mole%) as coblowing agent, the mechanical property shows the highest value among other coblowing agents. It is that the thermal conductivity of PUFs depends on cell size of PUFs as well as thermal conductivity of blowing agent in gaseous form.

**Key words** : rigid polyurethane foam, coblowing agents mechanical property, thermal conductivity

## I. 서 론

1930년대 Bayer에 의해 폴리올과 두 개의 관능기를 가지고 있는 이소시아네이트의 반응으로 폴리우레탄을 합성한 이후로, 현재 폴리우레탄은 뛰어난 물성으로 인하여 각종 산업 분야에서 광범위하게 사용되고 있다.[1, 2]. 그 중에서도 경질 폴리우레탄 폼은 현재 생산되는 단열재중 가장 우수한 소재로서 다른 합성수지에 비해 뛰어난 가공성을 가진다. 특히 열전도도가 극히 적기 때문에 LNG 저장용 탱크와 수송용 선박에 단열재로 사용이 되고 있으며, 그 사용량이 점차적으로 증가하고 있다.

일반적으로 경질 폴리우레탄 폼은 폴리올, 이소시아네이트, 촉매, 발포제, 계면활성제 등의 배합으로 제조되며, 폼의 역학적 성질은 조성비 및 발포방법에 따라 변하게 된다. 폴리우레탄 폼 제조 시에 사용되는 발포제는 화학적 발포제와 물리적 발포제가 있다. 저비점을 가지는 물리적 발포제는 폴리올과 이소시아네이트가 반응하여 폴리우레탄을 형성할 때 발생하는 반응열에 의해 기화가 되면서 폼의 기공을 형성하게 된다. 화학적 발포제로는 일반적으로 물이 사용되고 있으며, 화학적 반응으로 CO<sub>2</sub>를 생성하여 폼의 발포가 이루어진다.

물리적 발포제로는 적절한 저비점, 무독성, 낮은 열전도율을 가진 chlorofluorocarbon(CFC)이 많이 사용되어 왔다. 그러나 오존층파괴와 지구온난화의 문제로 선진국에서는 1990년대 초반부터 그 생산과 사용을 금지하고 있다[4,5]. 이러한 CFC사용의 단계적 감소이후 대체발포제로서 hydrochlorofluorocarbon(HCFC)이 알맞은 비점과 낮은 열전도도등의 뛰어난 물성으로 인하여 그 사용량이 증가되어 왔다. 그러나 HCFC 또한 0.11이라는 오존층파괴지수(ODP) 때문에 선진국에서는 몬트리올 의정서(97년 몬트리올 개정)의 HCFC사용 규제일정인 2030년보다 앞당겨 2005년으로 자체 시행하여 그 사용량을 줄이고 있는 실정이다[6]. 이러한 발포제 문제의 해결 방안으로서 화학적 발포제인 물과, 물리적 발포제인 pentane계열, HFC계로의 대체 방안이 있으며, 이러한 대체 발포제에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다[4-7].

대체 발포제의 연구가 진행된 이후 현재는 발포제를 혼합하여 이 것을 경질 폴리우레탄 폼에 적용하는 것이 부각되었다. 이와 같은 맥

락의 연구를 살펴보면 Jung등은 물과 함께 물리적 발포제를 첨가하여 제조된 폴리우레탄 폼의 기계적인 물성에 대하여 고찰하였고[8], Zipfel등은 HFC-365mf에 보조 발포제로 HFC-134a를 이용하였을 경우 폼의 열전도도에 미치는 영향에 관해 연구하였다[9]. 또한 Wu등은 pentane을 주 발포제로 이용하고 HFC-134a를 보조 발포제로 이용하였을 경우 경질 우레탄 폼의 열전도도에 미치는 영향을 보고하였다[5]. 그러나 이러한 혼합 발포제에 관한 연구는 일부 HFC계에만 국한되어 있고, 이전의 규제 발포제와 비교하여 체계적으로 폼에 미치는 영향을 고찰한 연구는 현재까지 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대체 발포제 연구의 일환으로 규제 대상인 CFC, HCFC의 발포제와 대체 발포제로서의 HFC와 n-pentane, 물 등으로 경질 폴리우레탄 폼을 제조하여 각각의 단일 발포제가 경질 폴리우레탄 폼의 물성에 미치는 영향을 파악한 후 HFC-365mfc를 주 발포제로 하고, 물, HFC-245fa, HFC-141b, CFC-11, n-pentane등의 규제대상 발포제와 대체 발포제를 보조 발포제로 사용하여 이러한 혼합 발포제가 경질 폴리우레탄 폼의 물성에 미치는 영향을 고찰하였다..

## II. 실험

### 2.1. 시약

본 연구에서 폴리우레탄 합성에 사용한 이소시아네이트는 BASF사의 NCO함유량이 31±0.5%인 polymeric MDI이며 폴리올은 한국 폴리올사의 작용기가 4~5이고 OH-value가 450인 폴리에테르 폴리올을 사용하였다. 실리콘계 계면활성제로서 Goldschmidt사의 B-8404를 사용하였으며, 촉매는 Air products사의 dimethylcyclohexylamine(PC-8)을 사용하였다. 발포제로는 HFC-365mfc, n-pentane, water, HFC-245fa, HCFC-141b, CFC-11을 사용하였다. 본 연구에 사용된 시료의 물성은 표 1에 나타내었다.

### 2.2. 합성

#### 2.2.1 단일 발포제에 따른 경질 폴리우레탄 폼의 제조

MDI를 제외한 폴리올과 각종 첨가제를 넣은 B액을 불밀에서 섞어 상온에서 24시간정도 보

Table 2. Reference Data of Raw Materials.

Raw material	Functionality	Viscosity (25°C cPs)	OH-value (KOHmg/g)	Maker
Sucrose/Glycerine base polyether polyol	4~5	5000	450	KPC
Surfactant	B-8404			Goldschmidt
Catalyst	Dimethylcyclohexylamine (PC-8)			Air products
Polymeric diphenylmethane diisocyanate	M20R NCO% = 31±0.5%			BASF
Blowing agent	Water			solvay
	n-pentane			
	HFC-365mfc			
	HFC-245fa			
	CFC-11			
	HCFC-141b			

관하였다. 2L의 컵에 premixing한 B액을 투입하고, 이소시아네이트를 NCO index 110으로 계산하여 그 양만큼 투여한 후, 고속 임펠러의 속도를 3000rpm으로 20초 동안 교반 하여 경질 폴리우레탄 폼을 제조하였다. B액 제조 시 각종 첨가제의 양은 폴리올 100part를 기준으로 계면활성제를 1.5pph(part per hundred of polyol in weight), PC-8을 1.4pph, 그리고 각각의 발포제를 등몰로 0.256mol 투입하여 B액을 제조하였으며, 폼의 밀도를 40kg/m<sup>3</sup>정도로 동일하게 하였다.

### 2.2.2. 혼합 발포제에 따른 경질 폴리우레탄 폼의 제조

발포제 첨가 이전까지의 실험 절차는 2.2.1의 제조 방법과 동일하게 하였다. 발포제는 보조 발포제인 water, HFC-245fa, n-pentane, CFC-11, HCFC-141b를 주 발포제 (HFC-365mfc)의 10, 20, 30mole%로 첨가하여 전체 혼합 발포제의 양을 0.256mole로 동일하게 한 후 이 혼합 발포제를 첨가하여 2.2.1의 제조 절차에 의해 40kg/m<sup>3</sup>정도의 밀도를 가지는 경질 폴리우레탄 폼을 제조하였다.

### 2.3 분석

반응속도인 Cream time은 B액과 MDI가 20초동안 교반 되어 발포중인 폼의 색깔이 한가지 색깔로 균일하게 되는 시점으로 측정하였다. 제조된 폼을 24시간 상온에서 aging하여

30×30×30mm로 잘라 밀도를 측정하였고, 경성사의 Universal Testing Machine(UTM) Series VI 모델을 사용, crosshead movement는 3mm/min으로 하여 압축강도를 측정하였다. 발포한 폼을 발포방향의 평행으로 잘라 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope ; SEM)을 이용하여 기공분포를 알아보았다. 가교도를 알아보기 위해 TA instruments사의 DSC(Differential Scanning Calorimeter) 2010 모델을 이용하여 유리전이온도를 측정하였다. 또한 Anacon사의 TCA POINT2 모델을 사용하여 폼의 열전도도를 측정하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. 단일 발포제에 따른 압축강도

발포제에 따른 우레탄 폼의 반응속도, 압축강도 그리고 유리전이온도, 반응속도를 표 2에 나타내었다. 압축강도는 물을 발포제로 사용한 경우가 3.83kg/m<sup>2</sup>으로 가장 큰 값을 나타내었다. 이것은 물은 화학적 발포제로서 폴리우레탄 폼에서 강도를 향상시킬 수 있는 urea나 biuret같은 물질을 생성할 수 있고, 가교도를 증가시킬 수 있었기 때문인 것으로 사료된다. 표 2에서 보면, 발포제를 물로 사용한 경우의 유리전이온도 값이 가장 높고 그 외 발포제의 경우에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 발포제로서의 물은 폼의 가교도를 증가시킴을 알 수 있다. 또한 물을 발포제로 사용하였을

Table 3. Reactivity, compressive strength and Tg of polyurethane foams(PUFs) with different blowing agents

	n-pentane	water	HFC-245fa	HCFC-141b	HFC-365mfc	CFC-11
Reactivity(sec) (cream time)	85	25	75	105	110	100
Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	2.86	3.83	3.18	2.94	3.11	2.61
Tg (°C)	144	161	140	149	141	140

경우, 폼에서 urea나 biuret을 생성하게 되는 데 이를 확인하기 위해 FT-IR peak를 관찰하였고, 이를 그림 1에 나타내었다. Urea와 Biuret이 생성되면 N-H기의 함유량이 증가하게 되는데 그림 1에서 보면, 다른 발포제에 비해서 물의 경우, N-H기의 peak가 커짐을 볼 수 있다.

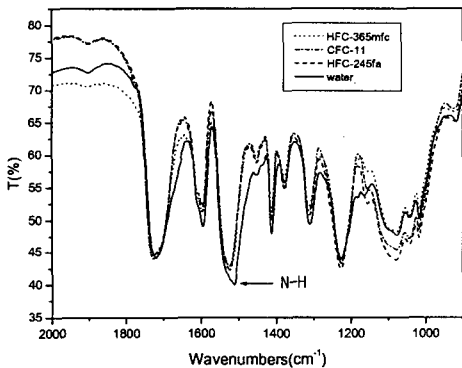


Fig. 1. FT-IR spectra of PUFs with different blowing agents.

물을 제외하면 HFC-245fa와 HFC-365mfc로 발포한 폼의 압축강도가 높음을 볼 수 있고, n-pentane의 경우가 가장 작음을 볼 수 있다. 이것은 HFC-245fa와 HFC-365mfc의 경우 평균 기공 크기가 다른 발포제에 비해 작기 때문이다. 우레탄 폼에서 단열성과 기계적 물성은 이러한 기공의 구조 즉, 기공의 크기와 형태에 많은 영향을 받는다는 것은 이미 보고된 바가 있다[10, 11]. 평균 기공의 크기가 작을수록 압축강도가 높아지게 되는데 HFC-245fa와 HFC-365mfc의 평균 기공의 크기가 작았다. 그림 2에서는 SEM 측정 결과인 발포제에 따른 기공분포를 나타내었다.

물을 제외한 다섯가지의 발포제의 평균 기공 크기를 비교해보면 HFC-245fa와 HFC-365mfc의

평균 기공 크기는 가장 작았고, n-pentane의 경우가 기공 크기가 가장 큰 것을 확인 할 수 있었다.

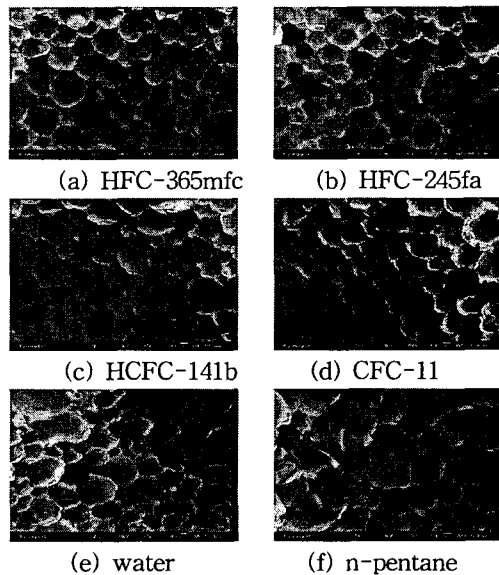


Fig. 2. Scanning Electron Microscopes of polyurethane foams with different blowing agents

### 3.2. 발포제에 따른 열전도도 변화

그림 3에서는 각각의 발포제에 따라 제조한 폴리우레탄 폼의 열전도도를 나타내었다. 폼의 열전도도는 폼의 기공의 크기와 발포제의 열전도율에 영향을 받는다. 일반적으로 반응속도가 빠르면 폼에서의 평균 기공의 크기는 작아지게 된다. 본 연구에서는 CFC-11으로 제조한 폼의 열전도도 값이 가장 낮았고, n-pentane일 때가 가장 높았다. 각각의 발포제의 기상에서의 열전도율은  $CO_2 > n-pentane > HFC-245fa > HFC-365mfc > HCFC-141b > CFC-11$ 의 순서로 열전도율이 낮다.

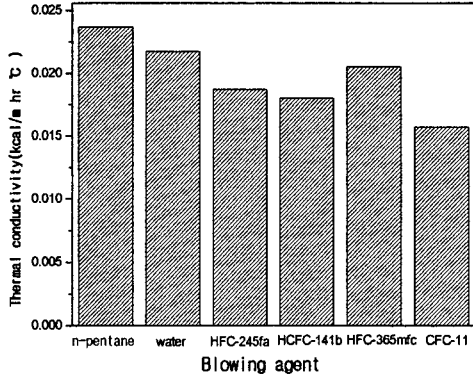


Fig. 3. Thermal conductivity of PUFs with different blowing agents.

연구 결과에서 각각의 폼은 발포제의 열전도도에 영향을 받음을 볼 수 있었다. 그러나 HFC-365mfc가 HFC-245fa와 비교하여 열전도율이 낮음에도 불구하고 발포된 폼에서는 열전도도가 높게 측정되었고, n-pentane이 CO<sub>2</sub>보다 열전도율이 낮음에도 불구하고 폼에서는 열전도도가 높게 측정이 되었다. 이것은 그림 2에서의 SEM 측정 결과에서도 알 수 있듯이 HFC-245fa가 HFC-365mfc보다는 반응속도가 빠르고, 15.3°C의 낮은 비점으로 인하여 폼에서 작은 기공분포를 형성하였기 때문이다. 물 또한 같은 결과로서, n-pentane보다는 기상에서 높은 열전도율을 보였지만, 반응속도가 빠르기 때문에

발포된 폼에서는 좀더 작은 기공분포를 형성하여 n-pentane보다는 훨씬 낮은 열전도도를 보인 것으로 사료된다.

### 3.4. 혼합 발포제에 따른 기계적 물성, morphology

혼합 발포제에 따른 폼의 반응속도, 압축강도, 인장강도 그리고 유리전이온도를 표 3에 나타내었다.

반응속도(cream time)는 물을 제외한 다른 보조 발포제에서 평균 60초 정도로 거의 변화가 없었다. 압축강도는 HFC-245fa를 30mole%첨가한 경우가 2.64kg/m<sup>2</sup>으로 가장 컸으며 인장강도 또한 HFC-245fa를 30mole%첨가한 경우가 3.55kg/m<sup>2</sup>으로 가장 큰 값을 나타내었다. 이는 3.2.에서 전술한 바와 같이 HFC-245fa의 낮은 비점(15.3°C)과 이로 인해 폼 발포 시 기포 생성을 촉진하고, 이로 인하여 미세한 기공을 형성하였기 때문이다. 그림 4에서는 보조 발포제가 30mole%가 사용되었을 경우의 폼의 SEM 결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 HFC-245fa를 보조 발포제로 사용한 경우의 기공분포 크기가 타 보조 발포제인 경우에 비하여 미세한 기공크기임을 알 수 있다. 이러한 작은 크기의 기공은 압축이나 인장에 있어서 힘을 분산시키는 역할을 할 수 있기 때문에 HFC-245fa를 보조 발포제로 사용한 폼의 기계적 물성이 증가하는 것으로 사료된다.

물을 보조 발포제로 사용한 경우, 타 보조 발포제에 비하여 약 10%이상 기계적 물성이 증가함을 볼 수 있다. 표 3의 압축강도 결과에서

Table 3. The reactivity, mechanical strength and Tg of polyurethane foams with co-blowing agent and its contents

	water			HFC-245fa			HCFC-141b			CFC-11			n-pentane		
	10% <sup>1)</sup>	20% <sup>2)</sup>	30% <sup>3)</sup>	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
Reactivity(sec) (cream time)	42	30	25	56	61	62	60	58	62	61	64	58	63	64	63.
Density (kg/cm <sup>3</sup> )	38	36	34	40	40	41	37	37	37	38	38	36	38	40	40
Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	2.48	2.33	2.35	2.30	2.69	2.64	2.24	2.12	2.13	2.26	2.19	2.05	2.10	2.28	2.39
Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	2.76	3.28	3.22	2.78	3.21	3.55	2.84	3.06	2.77	2.93	3.08	3.11	2.68	3.11	3.14
Tg (°C)	152	155	166	142	142	143	140	140	145	141	145	146	140	144	146

1) 보조 발포제를 주 발포제(HFC-365mfc)의 10mole%로 첨가  
2) 보조 발포제를 주 발포제(HFC-365mfc)의 20mole%로 첨가  
3) 보조 발포제를 주 발포제(HFC-365mfc)의 30mole%로 첨가

보여지는 바와 같이 물의 경우, 밀도가 낮음에도 불구하고 타 발포제에 비해 강도는 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 3.1의 고찰에서 보여진 바와 같이 물이 발포제에서 강도를 향상시킬 수 있는 urea나 biuret같은 구조를 형성하여 폼의 가교도를 증가시켰기 때문이다. 표 3에서 보면 물의 함량이 증가함에 따라 유리전이 온도가 140-166℃로 증가함을 볼 수 있다. 그러나 타 보조 발포제의 경우는 종류, 첨가량에 상관없이 유리전이 온도 값이 140℃정도로 큰 차이를 나타내지 않았다.

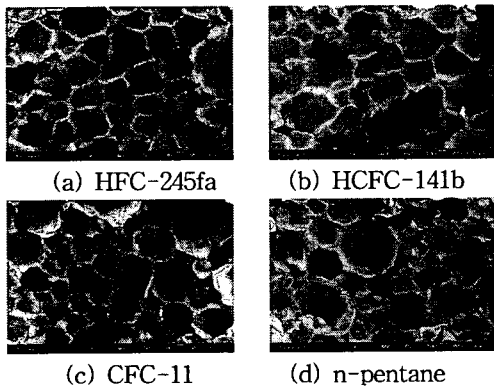


Fig. 4. Scanning Electron Microscopes of PUFs with different coblowing agents(30mole%)

그림 5에서는 물을 보조 발포제로 사용한 경우의 SEM측정 결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 물의 첨가량이 증가함에 따라 폼의 기공크기가 커짐을 볼 수 있다.

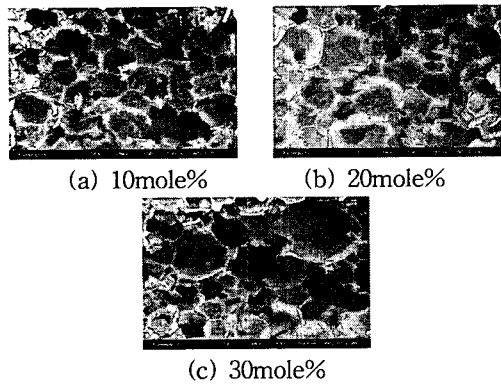


Fig. 5. Scanning Electron Microscopes of PUFs with water as coblowing agent.

이는 보조 발포제인 물의 양이 증가함에 따라 폼의 기공 크기가 증가한다고 보고한 Jung등의 연구와 같은 결과였다[8]. 표 3의 압축강도 결과에서 볼 수 있듯이 물의 투여량이 많아서 유리전이 온도 값이 높아짐에도 불구하고 물 30mole%일 때가 물 10mole%일 때 보다 압축강도가 낮은 원인은 이러한 기공 크기와 가교도와의 복합적인 영향에 의한 것으로 사료된다.

3.3. 혼합 발포제에 따른 열전도도 변화

그림 3에 나타난 바와 같이 HFC-365mfc만을 사용하여 제조한 폼의 열전도도는 0.0205kcal/mh℃ 값을 나타내었다. 혼합 발포제에 따른 연구에서도 물 10mole%일 경우를 제외하고 타 보조 발포제 10mole%, 20mole%일 경우에는 모두 주 발포제인 HFC-365mfc만을 사용해서 발포한 폼의 열전도도 0.0205kcal/mh℃와 유사한 값을 나타내었다. 그림 6에서는 물 10mole%를 첨가하여 제조한 폼의 열전도도와 보조 발포제 30mole%를 첨가하여 제조한 폼의 열전도도를 나타내었다.

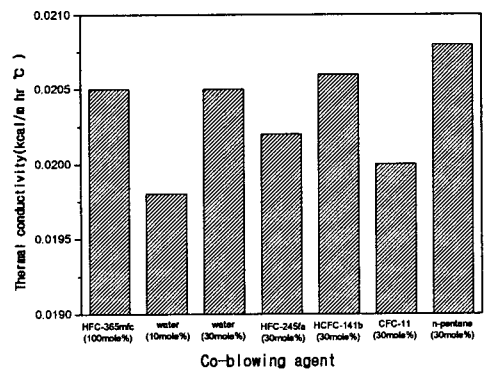


Fig. 6. Thermal conductivity of PUFs with different coblowing agents.

그림에서 보여지는 바와 같이 물 10mole% 첨가된 경우의 열전도도가 0.0198kcal/mh℃로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 물의 경우 반응속도(cream time)가 증가하여 반응온도가 높아지게 되고 주 발포제(HFC-365mfc)에 의한 기포 생성을 촉진시킴으로서 폼에서 미세한 기공을 형성하는 역할을 하였기 때문이다. 그러나 물이 30mole%까지 첨가되면 폼의 열전도도 값은 상승함을 볼 수 있다. 이는 그림 5에서

보여진 바와 같이 물의 양이 첨가됨에 따라 폼의 기공 크기가 증가하였기 때문이다. 즉, 물을 보조 발포제로 사용한 경우의 열전도도 변화는 물의 양이 10mole%일 때는 반응속도 증가로 인한 기공 크기의 감소에 따른 영향을 받다가 물 양이 증가함에 따라 기공크기도 증가하고 폼에서 생성된 CO<sub>2</sub>의 열전도도에 점점 더 영향을 받아서 높은 열전도도 값을 나타내는 것으로 생각된다.

발포제가 30mole% 첨가된 경우에는 CFC-11의 경우가 0.0200kcal/mh<sup>o</sup>C로 가장 낮은 열전도도 값을 나타내었다. 보조 발포제가 30mole% 첨가된 경우, 폼의 열전도도는 발포제의 열전도도에 영향을 받음을 볼 수 있었다. 그러나 HFC-245fa의 경우에는 HCFC-141b보다 기상에서의 열전도율이 높음에도 불구하고 발포된 폼에서 열전도도가 낮은 값을 나타내었다. 전술한 바와 같이 이것은 보조 발포제로 HFC-245fa를 사용한 경우가 기공 크기가 HCFC-141b를 사용한 경우보다 작았기 때문이다.

#### IV. 결 론

단일 발포제를 이용 경질 폴리우레탄 폼을 제조한 결과, 반응속도는 물의 cream time이 25초, HFC-245fa가 75초로 다른 발포제에 비해 빠른 반응속도를 나타내었다. 압축강도에서는 urea와 biuret을 생성하고 가교도를 높일 수 있는 물의 경우가 3.83kg/cm<sup>2</sup>으로 가장 높았고, HFC-245fa와 HFC-365mfc의 경우가 다른 발포제에 비해 작은 기공분포를 가지고 있어 높은 압축강도를 나타내었다. 열전도도는 CFC-11을 발포제로 사용한 경우가 0.0157kcal/m.hr.<sup>o</sup>C로 가장 낮은 값을 나타내었고, n-pentane의 경우가 가장 높았다.

HFC-365mfc를 주 발포제로 사용하고 각각의 보조 발포제를 이용하여 경질 폴리우레탄 폼을 제조한 결과, 기계적인 물성은 작은 기공크기를 보인 HFC-245fa의 경우가 2.64kg/m<sup>2</sup>의 압축강도와 3.55kg/m<sup>2</sup>의 인장강도로 가장 높은 값을 보였으며 가교도 증가를 보인 물의 경우도 타 보조 발포제에 비해 높은 기계적 물성을 나타내었다. 또한 물의 양이 적게 들어간 10mole%일 때의 압축강도가 2.48kg/m<sup>2</sup>으로 30mole%일 때 보다 높은 값을 나타내었다. 이는 폼의 기공크기와 가교도 증가에 의한 복합적인 영향에 의한 것이었다. 열전도도는 물

10mole%첨가된 경우가 0.0198kcal/mh<sup>o</sup>C로 가장 낮은 열전도도 값을 나타내었으며 보조 발포제가 30mole% 첨가된 경우에는 CFC-11의 경우가 0.0200kcal/m.hr.<sup>o</sup>C로 가장 낮은 값을 나타내었다. 또한 HFC-245fa는 기상에서의 열전도율이 HCFC-141b보다 높음에도 불구하고 폼의 열전도도는 0.0202kcal/mh<sup>o</sup>C로 HCFC-141b보다 낮은 값을 나타내었다.

연구 결과에서 폼의 열전도도는 발포제의 열전도율에 크게 의존함을 볼 수 있었고, 또한 반응속도가 빨라서 작은 기공분포를 가질 수 있는 폼의 열전도도가 향상되는 것을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 경기대학교 교내 연구비 지원에 의해서 수행되었습니다. 이에 대해 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] George Woods, "The ICI Polyurethane Handbook", 2nd ed., 5, 1990
- [2] K. N. Edwards(ed.), Urethane Chemistry and Application, ACS symp. Ser. vol. 172, ACS, Washington D.C. 1981
- [3] D. Kimmer, International Polymer Science and Technology, vol 20, 58 (1993)
- [4] Son, Y. J., Kwon, S. K., Koh, S. H., Kim, S. B(Ed.), Proceedings of '01 KIGAS Autumn Conference, vol 10, 77 (2001)
- [5] Jinhuang wu, Doug dillon, Polyurethane Expo 2001, 339 (2001)
- [6] Z. wirpsza, International Polymer Science and Technology, vol 22, No 5, (1995)
- [7] F. C. Rossitto, N. Adam, Journal of Cellular Plastics, vol 34, 467 (1998)
- [8] H. C. Jung, S. C. Ryu, W. N. Kim, Y. B. Lee, K. H. Choe, S. B. Kim, Journal of Applied Polymer Science, vol 81, 486, (2001).
- [9] L. Zipfel, K. Borner, W. Krucke, P. Barthelemy, Journal of Cellular Plastics, vol 35, 328 (1999)
- [10] Jian Feng Jin, Yong Ling Chen, De Ning Wang, Chun Pu Hu, Journal of Applied Polymer Science, vol 84, 598 (2002)
- [11] A. Prociak, J. Pielichowska, T. Sterzynske, Polymer Testing, vol 19, 705 (2000)