Polymer (Korea) Vol. 26, No. 2, pp 185 192 (2002)

4,4'-Diphenylmethane Diisocyanate와 Polyether Polyol로부터 제조된 경질 폴리우레탄 폼의 물성

서원진 · 정현철 · 김연희 · 김우년† · 최건형* · 이영범* · 최성희*
고려대학교 화학공학과 유변공정연구센터, *한국가스공사 연구개발원
(2001년 9월 14일 접수, 2002년 1월 10일 채택)

Properties of Rigid Polyurethane Foams Synthesized from 4,4'-Diphenylmethane Diisocyanate and Polyether Polyol

W. J. Seo, H. C. Jung, Y. H. Kim, W. N. Kim†,
K. H. Choe*, Y. B. Lee*, and S. H. Choi*
Department of Chemical Engineering, Applied Rheology Center, Korea University, Seoul, Korea
**Korea Gas Corporation, R & D Center*
†*e-mail: kimwn@korea.ac.kr*
(Received September 14, 2001;accepted January 10, 2002)

요 약: Polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (PMDI), polyether polyol, 1,4-butane diol, silicone surfactant와 발포제로 물을 사용하여 경질 폴리우레탄 폼 (PUF)을 제조하였다. PUF의 밀도는 0 php (parts per hundred polyol by weight)의 부탄다이올 양에 대하여 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 173.7 41.7 kg/m^{3}로 감소하였다. PUF의 셀 크기는 10 php의 부탄다이올 양에 대하여 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 115 258 μm로 증가하였다. PUF의 압축강도 측정 결과, 동일 밀도의 PUF에 대하여 압축강도는 물의 양이 증가함에 따라 증가하였다. 계면활성제가 PUF의 물성에 미치는 영향에 관한 연구에서, PUF의 셀 크기가 계면활성제 첨가량이 0 0.33 php로 증가함에 따라 360 146 μm로 감소하였으나 0.33 php 이상의 계면활성제 첨가량에 대해서는 더 이상의 셀 크기 변화가 관찰되지 않았다.

ABSTRACT: Rigid polyurethane foams (PUFs) were prepared from polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (PMDI), polyether polyol, 1,4-butane diol, silicone surfactant, and distilled water. The density of the PUF was decreased from 173.7 to 41.7 kg/m^3 with an increase in distilled water from 0.5 to 3.0 php (parts per hundred polyol by weight), respectively, at the 0 php butane diol. The cell size of the PUF increased from 115 to 258 μm with an increase in the amount of distilled water from 0.5 to 3.0 php, respectively, at the 10 php butane diol. It was found that the compressive strength of the PUF increased with the content of distilled water, at the same density. Out of the study for the surfactant effect on the properties of the PUF, it was observed that the cell size of the PUF decreased from 360 to 146 μm with an increase in the amount of the surfactant from 0 to 0.33 php, respectively, but the cell size did not change significantly when the amount of the surfactant exceeded 0.33 php.

Keywords: *rigid polyurethane foam, glass transition temperature, morphology.*

서 론

경질 폴리우레탄 폼 (PUF)은 뛰어난 단열성능, 높은 기계적 강도뿐만 아니라 경제성 또한 뛰어나 건축물, 냉장고, 저온 컨테이너에서부터 160 ℃의 초저온 LNG 저장탱크에 이르기까지 널리 사용되며 단열재로서 그 사용량이 증대되고 있다.[1-3] 현재 발포에 사용되고 있는 발포제는 염화불화탄소 (CFC)류, 염화불화탄화수소 (HCFC)류 등 물리적 발포제를 주 발포제로 사용하고 있으나 오존 파괴 및 지구온난화 문제 때문에 그 사용이 점차 규제되고 있다.[3,4]

대체발포제를 개발해야 하는 원인이 되는 CFC류와 HCFC류와 같이 염소를 포함한 발포제에 의한 오존 파괴 메카니즘은 Figure 1과 같다. 이와 같이 CFC와 같은 매우 안정한 화학물질은 그 수명 또한 길어서 대류권에서는 분해되지 않고 성층권까지 도달하게 되며 여기에서 자외선에 의해 분해되어 직접 오존층을 파괴하는 염소 라디칼 (Cl·)을 방출하게 된다. 반응성이 강한 Cl·는 오존 (O_3)과 결합하여 일산화염소 (ClO)와 산소분자 (O_2)를 만들며 다시 O_3와 결합하여 Cl·와 O_2로 분해되는 과정을 계속 반복하면서 성층권의 오존을 파괴시킨다. 이렇게 해서 한 개의 염소분자는 수천에서 수십만개의 오존을 파괴할 수 있다.[3,4]

대체 발포제로서는 물, 불화탄화수소 (HFC)류, 불화에테르 (HFE)류, 그리고 펜탄류 등이 있다.[3-8] 물은 화학적 발포제로 이소시아네이트와 반응하여 이산화탄소를 발생시키고 이 때 발생된 이산화탄소가 발포에 이용되며 부가적 반응을 통해 물이 가교제 역할을 함으로써 기계적 물성을 향상시킨다.[2,3,9] 본 연구에서는 화학적 발포제인 물을 이용하여 PUF를 합성하였다. 발포제인 물의 양 및 사슬연장제인 부탄다이올의 양에 따라 폴리우레탄 폼의 밀도 변화와 이에 따른 기계적 물성, 열적 성질 및 단열재의 셀 모폴로지 변화에 대해 각각 만능시험기 (UTM), 시차 주사열량계 (DSC), 주사 전자 현미경 (SEM) 등을 이용하여 연구하였다. 또한 계면활성제의 함량 변화에 따른 물성 변화와 그 경향성을 연구하였다.

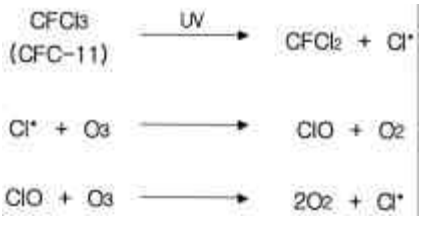


Figure 1. Mechanism of the ozone destruction by the chlorofluorocarbon(CFC).

실 험

시 약. 본 연구에서는 범용 시약들을 사용하였다. Polymeric MDI (PMDI)는 BASF Korea Co. 제품을 사용하였으며 glycerine으로부터 합성된 polyether polyol은 한국폴리올 제품을 사용하였다. 화학적 발포제로 사용된 distilled water는 실험실에서 제조되었다. 촉매는 triethylene diamine을 dipropylene glycol에 무게 비율로 33%를 녹인 Air Products and Chemicals, Inc. 제품을 사용하였다. 계면활성제는 Osi Specialties 사의 polysiloxane ether를 사용하였다. 시약들의 특징을 Table 1에 나타내었다. Polyether polyol과 1,4-butane diol은 진공 오븐에서 90 ℃로 24시간 동안 수분을 제거하고 사용하였다.

PUF 합성. 다양한 밀도의 경질 PUF를 "One-shot method"로 합성하였다. 모든 시약을 반응기에 넣고 brushless-type stirrer로 60초 동안 3000 rpm의 속도로 혼합한 뒤 반응물을 250 mm×250 mm open mold에 부어 자유 발포시킨 후 1주일 동안 상온에서 숙성시켰다. PUF 합성 시, polyether polyol의 양을 무게비 100으로 고정시켰다. 발포제는 물을 사용하였으며 화학적 발포제인 물은 polymeric 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (PMDI)와 반응하여 폴리우레아와 이산화탄소를 형성했다. 이때 발생된 이산화탄소가 반응물들을 부풀리며 이로 인하여 셀 구조를 가지는 PUF이 형성되었다.[9] 완전한 폴리우레탄 형성반응을 시키기 위하여 5% 과량의 PMDI가 사용되었다. 발포제인 물의 양과 사슬연장제인 부탄다이올의 양을 변화시킨 실험에 대해 사용되는 시료명은 'PUF X-Y'이며 여기서 X는 부탄다이올의 양 (php), Y는 물의 양 (php)을 나타낸다. 다른 모든 조성은 동일하게 하고 단지 계면활성제의 양만을 변화시킨 실험에 대해서 사용되는 시료명은 'SUR-Z'이며

Talbe 1. Characteristics of the Materials Used in This Study[a]

materials	supplier	functionality	equivalent weight (g/mol)	comments
4,4 - 'diphenylmethane diisocyanate	BASF Co.	2.9	133.5	NCO content : 31.5%
polyether polyol	KPC	3.0	234.7	OH value : 239 mg KOH/g
1,4 - butane diol	Junsei Chemical Co.	2.0	45.1	chain extender
distilled water	Our laboratory	2.0	9.0	chemical blowing agent
triethylene diamine	Air Products and Chemicals, Inc.	-	-	catalyst
polysiloxane ether	OSI Specialties	-	-	surfactant

[a]data from the suppliers.

여기서 Z는 첨가된 계면활성제의 양 (php)을 나타낸다.

분 석. 합성한 PUF의 열적 성질을 관찰하기 위해 Perkin - Elmer사의 DSC - 7 모델을 사용하여 열분석을 실시하였다. 질소 분위기 하에서 20 ℃/min의 승온속도로 0에서 220 ℃의 구간을 분석하였다. 합성한 PUF의 셀 모폴로지를 JEOL사의 JSM 5200 모델의 주사 전자 현미경을 이용하여 분석하였으며, 이때 25 kV의 가속 전압을 사용하였다. 합성된 PUF의 압축、굽힘、인장강도는 Instron사의 universal testing machine (UTM) Instron 4467 모델을 이용하여 실험하였다. 압축강도는 ASTM D1621, 굽힘강도는 KS M3830, 그리고 인장강도는 ISO 1926의 방법으로 측정하였다. 모든 강도 측정에서 각각의 시료에 대하여 5개의 시편의 강도를 측정하고 이를 평균하였다.

결과 및 고찰

밀도 측정. PUF 시편 (PUF X - Y)의 밀도 측정 결과를 Figure 2에 나타내었다. Figure에서, 부탄다이올의 양을 0 php로 고정시켰을 때 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 PUF 시편 (PUF 0 - Y)의 밀도는 174 42 kg/m^3 으로 감소하였다. 또한 물의 양을 1.0 php로 고정시켰을 때 부탄다이올의 양이 0 40 php로 증가함에 따라 PUF 시편 (PUF X - 1.0)의 밀도는 109 181 kg/m^{3}으로 증가하였다. 따라서 PUF의 밀도는 물의 양이 증가함에 따라 감소하며 부탄다이올의 양이 증가함에 따라 증가한다고 할 수 있다.

열 분석. 시차 주사 열량계 (DSC)를 이용하여 PUF 시편의 유리전이온도 (T_g) 측정 결과를 Figure 3에 나타내었다. Figure에서와 같이 부탄다이올의 양을 0 php로 고정시켰을 때 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 PUF 시편 (PUF 0 - Y)의 T_g는 50 81 ℃로 증가하였다. 또한 물의 양을 1.0 php로 고정시켰을 때 부탄다이올의 양이 0 40 php로 증가함에 따라 PUF 시편 (PUF X - 1.0)의 T_g는 62 95 ℃로 증가하였다.

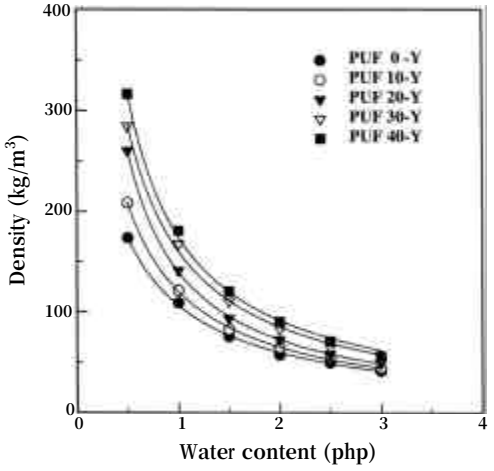


Figure 2. Effect of distilled water on the PUF density(PUF X - Y).

물은 이소시아네이트 작용기와의 반응을 통하여 다이아민과 이산화탄소가 형성되고 형성된 다이아민은 다시 이소시아네이트와 반응하여 폴리우레아를 형성시킨다. 폴리우레아는 폴리우레탄보다 딱딱하다고 알려져 있으므로 물을 발포제로 사용하게 되면 형성된 폴리우레아에 의하여 고분자 사슬의 운동성이 감소하게 되어 유리전이온도가 증가하리라고 사료된다. 또

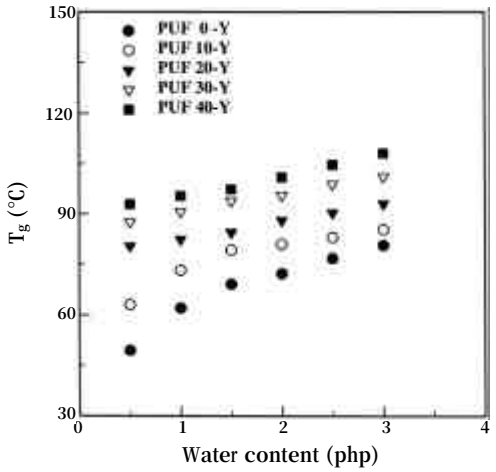
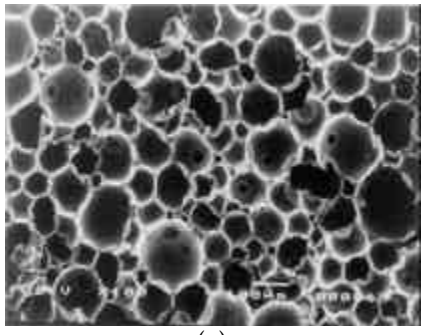


Figure 3. T_g's of the PUF samples treated with various amounts of distilled water(PUF X - Y).

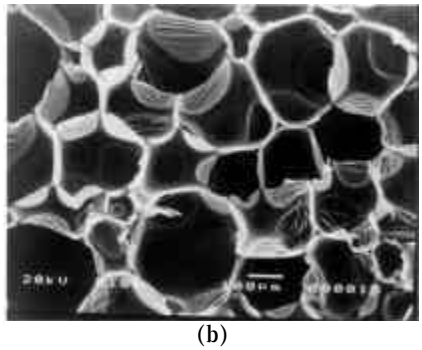
한 형성된 우레아가 다시 이소시아네이트와 반응하게 되면 바이우렛 (biuret)이 형성되며 형성된 바이우렛은 PUF 시편에 가교도를 상승시킬 수 있다.[1-3] 본 연구에서 이소시아네이트는 polymeric MDI를 사용하였으며 당량비보다 과량으로 첨가하였기 때문에 이처럼 바이우렛이 형성될 수 있다. 따라서 물을 발포제로 사용하였을 때, PUF의 T_g 상승은 아마도 폴리우레아와 추가적 가교 때문으로 사료된다.

Figure 3에서 부탄다이올의 첨가량이 증가할수록 PUF 시편의 T_g가 증가하는 것은 부탄다이올의 양이 증가할수록 PUF의 hard 세그먼트 양이 증가하기 때문이다.[1] Hard 세그먼트는 우레탄 작용기와 우레아 작용기로 구성되어 있으며 soft 세그먼트는 폴리올 작용기로 구성되어 있다. 우레탄 작용기와 우레아 작용기는 폴리올 작용기에 비해 보다 딱딱하다. 따라서 물의 경우에서와 같이 사슬 운동성의 저하로 인하여 PUF 시편의 T_g가 증가한다. 또한 사슬연장제로 사용된 부탄다이올은 가교제와 같은 역할을 하기 때문에 PUF 시편의 가교도를 높여준다.[1] 따라서 부탄다이올의 양이 증가할 때 PUF의 T_g 증가는 hard 세그먼트 양과 가교도의 증가 때문으로 사료된다.

모폴로지 변화. 주사 전자 현미경 (SEM)을 이용하여 PUF 시편의 free-rising 방향에 대한 단면을 관찰한 결과를 Figure 4, 5에 나타내었다. Figure 4 (a, b)는 각각 PUF 10 - 0.5 (밀도 = 209 kg/m^3)와



(a)

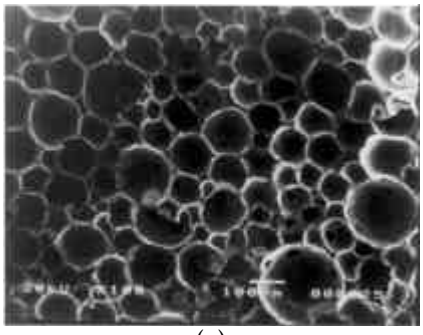


(b)

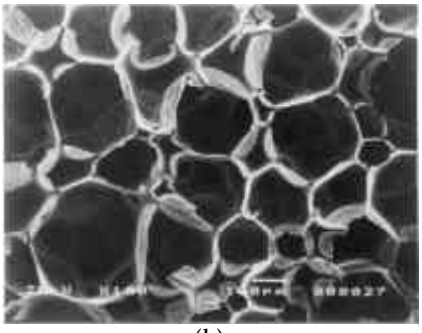
Figure 4. Scanning electron micrographs of the PUF samples. (a) PUF 10 - 0.5 (density = 209 kg/m^3) and (b) PUF 10 - 3.0(density = 44 kg/m^3).

PUF 10 - 3.0 (밀도 = 44 kg/m^3)의 단면을 나타낸다. Figure 4에서와 같이 PUF 시편의 셀 크기는 부탄다이올 양이 10 php로 고정되었을 때 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 115 258 μm로 증가하였다. 화학적 발포제인 물은 디이소시아네이트와의 화학 반응을 통하여 반응열을 포함한 이산화탄소를 발생시킨다. 이 때문에 반응물의 온도가 상승하게 되면 혼합물에 녹아있던 발포 가스의 농도가 용해도를 넘어서게 되고 기포들이 생성되기 시작한다. 물의 양이 증가하게 되면 보다 많은 기포들이 생성되어 서로 뭉쳐지게 된다. 따라서 물의 양이 증가할수록 PUF의 셀 크기가 증가하게 된다.[10,11]

Figure 5 (a, b)는 각각 PUF 30 - 0.5 (밀도 = 284 kg/m^3)와 PUF 30 - 3.0 (밀도 = 54 kg/m^3)의 단면을 나타낸다. Figure 5에서와 같이 PUF 시편의 셀 크기는 부탄다이올 양이 30 php로 고정되었을 때 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 113 255



(a)



(b)

Figure 5. Scanning electron micrographs of the PUF samples. (a) PUF 30 - 0.5 (density = 284 kg/m^3) and (b) PUF 30 - 3.0(density = 54 kg/m^3).

μm로 증가하였다. Figure 4와 5를 비교해 보면 물의 양은 동일하고 부탄다이올의 양이 서로 다른 경우 (Figure 4 (a)와 5 (a)) PUF의 셀 크기는 거의 같음을 알 수 있다. 따라서 PUF의 셀 크기는 부탄다이올 첨가량에는 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

압축강도. Figure 6은 물의 양에 따른 PUF 시편의 압축강도를 나타낸다. Figure 6에서와 같이 부탄다이올의 양을 0 php로 고정시켰을 때 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 PUF 시편 (PUF 0 - Y)의 압축강도는 0.79 0.20 MPa로 감소하였다. 또한 물의 양을 1.0 php로 고정시켰을 때 부탄다이올의 양이 0 40 php로 증가함에 따라 PUF 시편 (PUF X - 1.0)의 압축강도는 0.55 2.16 MPa로 증가하였다. 일반적으로 발포체의 기계적 물성은 밀도에 주로 의존한다고 알려져 있다. 압축강도와 같은 기계적 물성과 밀도사이의 관계는 지수함수로 표현될 수 있다.[1,2,12 - 14]

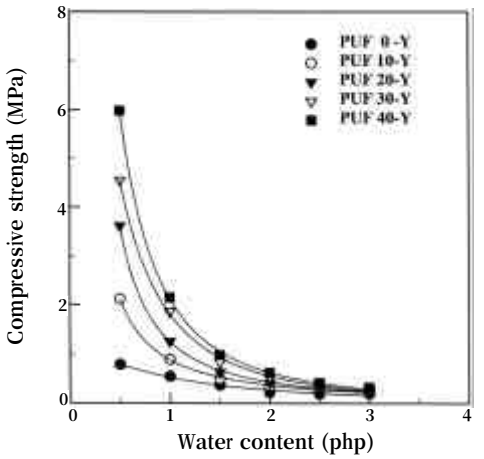


Figure 6. Compressive strength of the PUF samples treated with distilled water (PUF X - Y).

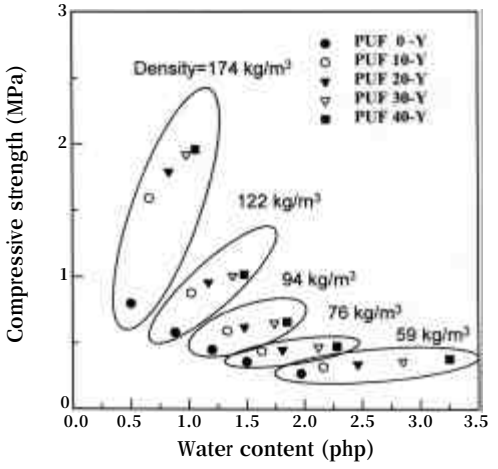


Figure 7. Compressive strength of the water - treated PUF samples of the same density (PUF X - Y).

$$\text{Strength} = A\,(\text{density})^B \qquad (1)$$

여기서 *A*는 온도와 resin의 물리적인 물성과 관련된 상수이고 *B*는 발포물의 변형 메카니즘과 관련된 상수이며 *A*와 *B*는 모두 양의 값을 가진다. 앞에서 언급한 밀도 측정 결과로부터, PUF 시편의 밀도는 물의 양이 증가할수록 감소하며 부탄다이올의 양이 증가할수록 증가한다는 것을 알 수 있다. 따라서 밀도 측정 결과와 식 (1)로부터, PUF의 압축강도는 물

의 양이 증가할수록 감소하며 부탄다이올의 양이 증가할수록 증가한다고 할 수 있다.

Figure 7은 동일 밀도의 PUF 시편에 대하여 첨가된 물의 양에 따른 압축강도 측정 결과를 나타낸다. Figure 7에서와 같이 PUF 시편의 밀도가 동일할 경우, 압축강도는 물의 양이 증가할수록 증가하였다. 예를 들어 122 kg/m^{3}의 밀도를 가진 PUF 시편에 대하여 물의 양이 0.88 1.48 php로 증가함에 따라 압축강도가 0.58 1.02 MPa로 증가하였다. 열 분석 결과에서도 언급하였듯이 물은 딱딱한 폴리우레아를 형성시킬 뿐만 아니라 PUF의 가교도를 높여준다. 따라서 동일한 밀도의 PUF 시편에 대하여 압축강도의 증가는 폴리우레아 형성과 가교도의 상승 때문으로 사료된다. Figure에서 언급은 하지 않았으나 굽힘 및 인장강도 역시 압축강도 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

계면활성제가 PUF 물성에 미치는 영향. 계면활성제가 PUF 시편의 T_g에 미치는 영향을 Figure 8에 나타내었다. Figure에 나타나 있듯이 PUF 시편의 T_g는 계면활성제 첨가량이 0 2.0 php로 증가함에 따라 88 81 ℃로 감소하였다. 두 가지 서로 섞이는 성분을 서로 섞을 때 한 성분은 다른 한 성분에 대하여 가소제로서 작용한다. 일반적으로 가소화를 확인할 수 있는 방법은 상용성이 있는 시스템에 적용 가능한 Fox 식을 적용해 보아서 이를 만족시키면 가소화가 되었다고 할 수 있다.[15] 우리의 PUF 시스템에 대하여 Fox 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{T_g} = \frac{w_s}{T_{g_s}} + \frac{w_{\tilde{N}}}{T_{g_p}} \quad (2)$$

여기서 w_s와 w_p는 각각 계면활성제와 계면활성제를

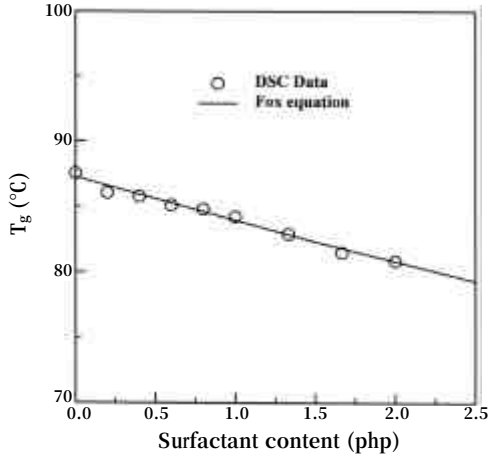
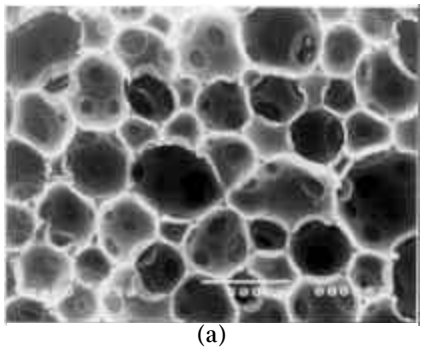
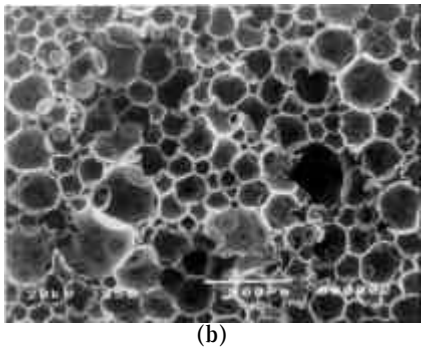


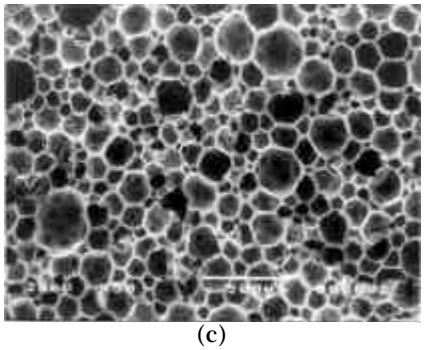
Figure 8. Effect of surfactant on the T_g of the PUF samples (SUR - Z).



(a)



(b)



(c)

Figure 9. Scanning electron micrographs of the PUF samples containing surfactant (SUR - Z). (a) SUR - 0, (b) SUR - 0.33, and (c) SUR - 2.00.

제외한 PUF의 무게 분율을 나타내며, T_g, T_{gs}, 그리고 T_{gp}는 각각 PUF, 계면활성제, 그리고 계면활성제가 들어가지 않았을 때의 PUF의 유리전이온도를 나타낸다. Figure 8에서 알 수 있듯이 DSC를 이용하여 측정된 T_g 값과 식 (2)를 통해 계산된 T_g 값이 잘 일치한다. 따라서 계면활성제를 PUF 제조에 사용할 경우 PUF는 가소화되어 T_g가 감소하게 된다.

계면활성제가 PUF 시편의 셀 모폴로지에 미치는 영향을 Figure 9에 나타내었다. 본 실험에서 계면활성제로 polysiloxane ether를 사용하였다. 일반적으로 실리콘계 계면활성제는 셀들간의 계면장력을 낮추어 주고 셀 벽을 안정화시킨다고 알려져 있다.[1-3] 따라서 실리콘계 계면활성제는 PUF 셀의 뭉쳐짐을 방지하기 때문에 셀 크기를 작게 만든다. 작은 크기의 셀을 만드는 것은 좋은 기계적 물성과 낮은 열전도도를 갖는 PUF를 얻기 위하여 중요하다.[1-3] Figure 9 (a - c)에서 나타나 있듯이 0, 0.33, 그리고 2.00 php의 계면활성제 첨가량에 대하여 PUF 시편의 셀 크기는 각각 360, 146, 그리고 142 μm로 관찰되었다. 이처럼 PUF 시편의 셀 크기는 계면활성제의 첨가량이 0 0.33 php로 증가할수록 360 146 μm로 작아지지만 계면활성제의 첨가량이 0.33 php 이상에 대해서는 거의 변화가 없다는 것을 알 수 있다.

동일한 밀도의 PUF 시편에 대하여 계면활성제 첨가량에 따른 압축、굽힘、인장강도 측정 결과를 Figure 10에 나타내었다. Figure 10에서 알 수 있듯이, 계면활성제의 첨가량이 0.33 php일 때 최대 기계적 강도가 관찰되었으며 이처럼 최대 기계적 강도가 존재하는 이유는 앞에서 얻어진 계면활성제 첨가량에 따른 PUF의 T_g 및 셀 모폴로지 연구 결과와 관련이 있을 것으로 사료된다. 계면활성제의 첨가량이 0 0.33 php로 증가함에 따라 기계적 강도가 증가하는 것은 PUF의 셀 크기의 감소 때문이며 계면활성제의 첨가량이 0.33 php 이상이 될 때에는 셀 크기의 감소는 거의 일어나지 않고 단지 PUF가 계면활성제에 의하여 가소화되기 때문에 기계적 강도가 감소하게 되는 것으로 사료된다.

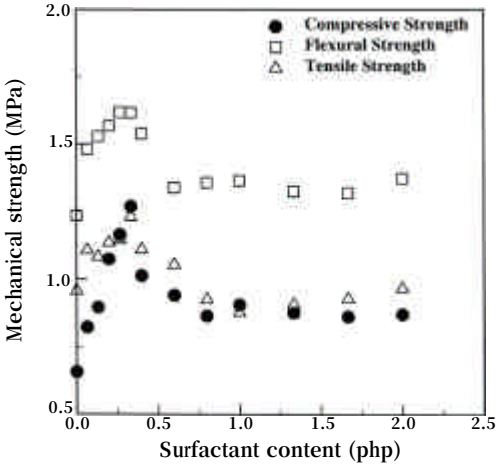


Figure 10. Mechanical strength of the surfactant-containing PUF samples of the same density and water content (SUR - Z).

결 론

PMDI, polyether polyol, 1,4 - butane diol, silicone surfactant 및 발포제로 물을 사용하여 경질 폴리우레탄 폼을 제조하여 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다. PUF 시편의 밀도 측정 결과에서 볼 수 있듯이 PUF 시편의 밀도는 0 php의 부탄다이올의 양에 대하여 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 174 42 kg/m^{3}로 감소하였으며 물의 양을 1.0 php로 고정시켰을 때 부탄다이올의 양이 0 40 php로 증가함에 따라 109 181 kg/m^{3}로 증가하였다. 이러한 결과들로부터 PUF의 밀도는 물의 양이 증가할수록 감소하며 부탄다이올의 양이 증가할수록 증가한다고 결론지을 수 있다.

DSC를 이용한 PUF 시편의 열 분석 결과, 합성한 PUF의 T_g는 0 php의 부탄다이올 양에 대하여 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 50 81 ℃로 증가하였다. 또한 1.0 php의 물의 양에 대하여 부탄다이올이 0 40 php로 증가함에 따라 T_g는 62 95 ℃로 증가하였다. 따라서 PUF의 T_g는 물의 양과 부탄다이올의 양이 증가함에 따라 증가한다고 결론지을 수 있다.

SEM을 이용한 PUF의 셀 모폴로지 관찰 결과, 합성한 PUF의 셀 크기는 10 php의 부탄다이올 양에 대하여 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 115 258 ㎜로 증가하였으며 30 php의 부탄다이올 양에 대해서는 113 255 ㎜로 증가하였다. 따라서

PUF의 셀 크기는 물의 양이 증가할수록 증가하며 부탄다이올의 양에는 영향을 받지 않는다고 결론지을 수 있다.

UTM을 이용한 PUF의 압축강도 측정 결과, PUF의 압축강도는 0 php의 부탄다이올 양에 대하여 물의 양이 0.5 3.0 php로 증가함에 따라 0.79 0.20 MPa로 감소하였다. 또한 1.0 php의 물의 양에 대하여 부탄다이올이 0 40 php로 증가함에 따라 압축강도는 0.55 2.16 MPa로 증가하였다. 따라서 PUF의 압축강도는 물의 양이 증가할수록 밀도 감소로 인하여 감소하며 부탄다이올의 양이 증가할수록 증가한다고 결론지을 수 있다. 밀도의 영향을 배제하여 순수하게 물이 PUF의 압축강도에 미치는 영향에 대한 연구 결과, 122 kg/m^{3}의 동일한 밀도의 PUF에 대하여 물의 양이 0.88 1.48 php로 증가함에 따라 압축강도는 0.58 1.02 MPa로 증가하였다. 이는 물과 PMDI의 반응을 통하여 형성된 폴리우레아가 폴리우레탄보다 경도가 높으며 추가적 반응을 통해 형성된 바이우렛에 의한 추가적 가교로 인하여 가교도가 높아졌기 때문이다.

계면활성제가 PUF의 물성에 미치는 영향에 관한 연구에서 PUF의 셀 크기가 계면활성제의 첨가량이 0 0.33 php로 증가함에 따라 360 146 ㎛로 감소하며 계면활성제의 첨가량이 0.33 php 이상으로 첨가되었을 때에 대해서는 셀 크기 감소가 거의 일어나지 않는다는 것을 알 수 있었다. 또한 계면활성제가 PUF의 압축、굽힘、인장강도에 미치는 영향에 대한 연구에서 계면활성제의 첨가량이 0.33 php일 때 최대 기계적 강도가 관찰되었다. 이때 계면활성제의 첨가량이 0부터 0.33 php까지는 PUF의 셀 크기 감소로 인하여 기계적 강도가 증가하는 것이며 계면활성제의 첨가량이 0.33 php 이상에 대해서 기계적 강도의 감소는 계면활성제에 의한 PUF의 가소화 때문으로 사료된다.

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 (KOSEF)에서 지정한 우수연구센터 (ERC)인 유변공정연구센터 (Applied Rheology Center)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. G. Wood, "The ICI Polyurethane Handbook", John Wiley & Sons, New York, 1990.
2. G. Oertel, "Polyurethane Handbook", Hanser Publisher, New York, 1993.
3. D. Klempner and K. C. Frisch, "Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology", Oxford University Press, New York, 1991.
4. L. C. Yu - Hallada and C. J. Reichel, *J. Cell Plast.*, 31, 190 (1995).
5. S. A. Baser and D. V. Khakhar, *Polym. Eng. Sci.*, 34, 642 (1994).
6. M. Ravey, Pearce, and M. Eli, *J. Appl. Polym. Sci.*, 63, 47 (1997).
7. C. Cecchini, V. Cancellier, and B. Cellarosi, *J. Cell. Plast.*, 31, 8 (1995).
8. J. Grimminger and K. Muha, *J. Cell. Plast.*, 31, 48 (1995).
9. H. C. Jung, S. C. Ryu, W. N. Kim, Y. - B. Lee, K. H. Choe, and S. - B. Kim, *J. Appl. Polym. Sci.*, 81, 486 (2001).
10. D. Niyogi, R. Kumar, and K. S. Gandhi, *AIChE J.*, 38, 1170 (1992).
11. D. Niyogi, R. Kumar, and K. S. Gandhi, *Polym. Eng. Sci.*, 39, 199 (1999).
12. K. C. Frisch, "Plastic Foams", eds. by K. C. Frisch and J. H. Saunders, M. Dekker, New York, 1976.
13. L. Gibson, *J. Mater. Sci. and Eng.*, A110, 1 (1989).
14. S. H. Goods, C. L. Neuschwanger, C. C. Henderson, L. L. Whinnery, and W. D. Nix, *J. Appl. Polym. Sci.*, 74, 2724 (1999).
15. T. G. Fox, *Bull. Am. Phys. Soc.*, 1, 123 (1956).