

## 폴리우레탄폼의 흡음율에 대한 첨가제의 영향

박 남 국 · 김 영 철 · 박 종 래

전남대학교 공과대학 물질화학공학과  
(1996년 10월 10일 접수, 1997년 2월 25일 채택)

### The Effect of Additives on Sound Absorption Coefficient of Polyurethane Foam

Nam-Cook Park, Young-Chul Kim, and Chong-Rai Park

Department of Material Chemical Engineering, Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea  
(Received October 10, 1996, Accepted February 25, 1997)

**요 약 :** 본 연구에서는 폴리우레탄폼 제조시 사용되는 첨가제가 폴리우레탄폼의 기계적 물성에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 실험에 사용된 수지는 KONIX FA-703 폴리에테르폴리올(80%)과, KONIX FA-733 폴리에테르폴리올(20%)에 촉매, 계면활성제, 가교제 등을 혼합하여 제조하였으며, 이 수지에 이소시아네이트(TDI-80, prepolymer M-200, pure MDI)를 당량비로 첨가하여 발포시킨 폼을 상온에서 72시간 경화시킨 후 물성측정에 사용하였다. 폴리우레탄폼의 기계적 물성은 밀도, 인장강도, 인열강도, 신장율, 흡음율 및 gel profile을 조사함으로써 측정하였고, 셀 크기에 대한 계면활성제의 영향은 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 측정하였다. 흡음율은 셀의 크기와 직접적인 관련이 있었으며, 계면활성제(L-5309)의 사용량에 따른 인장강도, 인열강도 및 흡음율 등 기계적 물성은 1.0pphp 까지는 첨가량이 많아질수록 증가하는 경향을 보이다가 점차 감소하였다.

**Abstract :** The effect of additives on the mechanical properties of polyurethane foam were investigated. The resin used in this study was prepared by adding catalyst, surfactant and cross-linker to both KONIX FA-703 polyether polyol(80%) and KONIX FA-733 polyether polyol(20%). The polyurethane was foamed by adding equivalent amount of isocyanate(TDI-80, prepolymer M-200, pure MDI) to the resin and was used in property measurements after 72 hours hardening. The physical properties of polyurethane foam were investigated in terms of density, tensile strength, tear strength, elongation, sound absorption coefficient and gel profile measurements. The effects of surfactant on the cell size was investigated by scanning electron microscopy(SEM). The sound absorption coefficient was directly related to the cell size. The physical properties were improved with increasing amount of surfactant(L-5309) until 1.0 part per hundred polyol(1.0pphp)

#### 1. 서 론

최근에 자동차에 요구되는 성능은 고출력, 조종안정성 뿐만 아니라 자동차의 정숙성과 같은 이른바 쾌적성을 중시하는 경향이 최근에 열린 모터쇼에서 두드러진 현상으로 나타나고 있다. 이는 자동차의 정숙성이 자동차의 품질을 평가하는 중요한 항목으로 확실한 위치를 점하고 있음을 시사하는 것으로, 실제로 소비자가 자동차를 선택하게 되는 기준이 되어가고 있는 실정이다. 그러나 또 다른 한편에서는 엔진의 출력이나 연비의 향상이라

는 관점에서 차체의 경량화가 과제로 되어 있는 중에 여러 가지 신 기구가 부가되어 차의 무게나 소음원이 증가되고 있다. 따라서 정숙성의 개선을 목적으로 사용되는 자동차용 방음재료는 사용중량과 얻어진 소음감축 효과가 깊이 관계되어 있어서, 경량화와 정숙성이라는 상반된 요소를 만족하는 소재의 개발이 요구되어 극히 세밀한 기술이 필요하다.

자동차의 차실내에서 들을 수 있는 차내음의 발생기구를 살펴보면 차내음은 고체음과 공기음으로 나누어진다. 고체음이란 기진원으로 부터의 진동이 구조물을 매

질로 하여 진파되어 판부에서 방사되어 들리는 음이다. 자동차에서의 고체음의 예로서는 로드노이즈가 있다. 이것은 노면의 미세한 요철을 기진원으로 하는 진동이 타이어-서스펜션-고무마운트-차체의 골격 등의 전달계를 진파하여, 차실을 구성하는 판넬에서 방사되는 음이다. 한편 공기음의 예로서 가속시에 들을수 있는 엔진 투과음이 있다. 이것은 엔진내의 폭발, 흡배기계의 공명, 기류등을 음원으로해서 발생한 음파가 엔진실내와 차실을 분리하는 벽인 차체 판넬을 투과해서 차실내로 유입하는 음이다. 또 공기음으로서 전술의 로드노이즈나 투과음이 차실내에서 방사되어 들리는 음과 고속주행시에 발생하는 바람소리 등이 있다. 이와 같이 차내음은 고체음, 공기음이 복합해서 형성된다. 차내음에 있어서 고체음과 공기음의 비율은 주파수 30Hz-500Hz에서는 고체음의 기여가 크고, 500Hz-8000Hz에서는 공기음의 기여가 큰 경향이 있다.

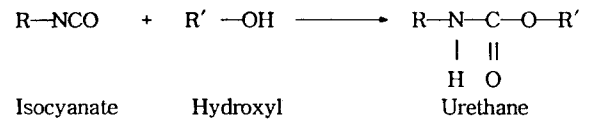
따라서 자동차의 청속성을 향상시키기 위하여 사용되는 일반적인 기술로서는 이들 소음에 대해서 소음·진동원 및 그 전달계를 대상으로 한 일차적 소음방지 기술과 골격구조나 방음재 등에 의해 바디측에서 소음방지 및 감축 기술이 있다. 그리고 차실내의 소음에는 유리창이나 내장재 등에 의해 반사되어서 사람의 귀 위치에 도달하는 반사음도 포함되어 있어서, 소음감축을 위해서는 내장내에 흡음처리를 반드시 해야 하며, 특히 천장은 사람의 귀 위치에 가깝기 때문에 그 감축효과가 커서 흡음대책 부위로 적합하여, 차실의 천장에 사용될 수 있는 성능이 좋은 흡음재의 개발이 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 승용차의 차내소음을 감축하기 위해 사용되는 흡음재 개발을 위해 흡음재로 이용되고 있는 폴리우레탄폼의 원료첨가제 및 이의 사용량에 따른 흡음성능의 개선에 주안점을 두고 본 연구를 하였다.

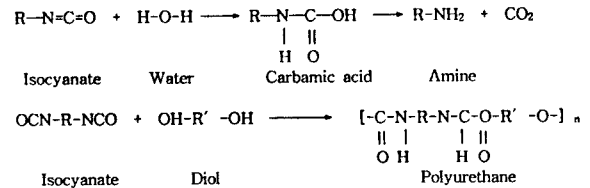
## 2. 이론적 배경

### 2.1. 폴리우레탄폼의 개요

폴리우레탄이란 다음에 나타난 반응에서 생성되는 우레탄기가 중합된 고분자 물질을 총칭하며 그 구조는 Scheme 1과 같고[1], 특징은 다음과 같다. R은 톨루엔과 페닐기이며, R'은 폴리에틸렌글리콜, 폴리프로필렌글리콜 및 글리세린 등이고 n은 연질폼의 경우 2 또는 3이다. 내마모성이 우수하고 경도의 높낮이에 관계없이 탄성이 좋다. 또한 인열, 인장, 압축강도 등 기계적 물성이 우수하며, 내유성, 흡음성, 진동흡수가 뛰어나다. 반면 고무에 비해 가격이 비싸고 특히 가수분해에 따른 내수성



Scheme 1. Structure of the urethane.



Scheme 2. Polyurethane addition reaction.

이 약한 것이 단점이다.

폴리우레탄은 수지에 이소시아네이트를 넣어 발포시킨 폼으로써 폴리올의 종류에 따라 폴리에테르 타입과 폴리에스테르 타입으로 구분되며, 주로 가공성이 좋고 가격이 저렴한 폴리에테르계가 많이 사용된다. 또한, 일반적으로 많이 사용되는 이소시아네이트 종류에는 TDI(toluene diisocyanate)계와 MDI(diphenyl methane 4,4'-diisocyanate)계로 나뉘어 진다.

### 2.2. 폴리우레탄폼의 제조

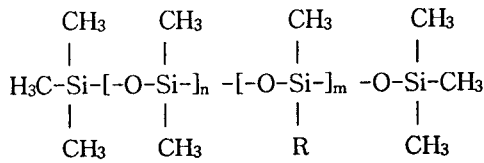
폴리우레탄폼의 형성 반응은 일반적으로 이소시아네이트와 활성수소를 갖는 hydroxyl 화합물과의 반응으로 수지화 반응과 발포반응으로 이루어진다. 그리고 폴리우레탄폼을 제조하기 위해서는 Scheme 2와 같이 겔상태의 혼합물 내에 발포제를 사용하여 기포를 발생시켜야 한다.

발포에는 물리적 발포와 화학적 발포가 있으며, 물리적 발포는 비점이 낮은 프레온을 사용하여 반응열로 기화시켜 기포를 발생시키는 것이며, 화학적 발포는 물을 첨가하여 반응시켜 CO<sub>2</sub> 기체를 발생시키는 것이다.

### 2.3. 폴리우레탄폼 제조에 사용되는 첨가제

폴리우레탄폼 제조에 사용되는 첨가제는 촉매, 계면활성제, 가교제 및 발포제 등이 있다. 촉매는 발포 및 가교 반응의 촉진과 이들 반응의 균형을 좌우하는 매우 중요한 첨가제로서 일반적으로 아민 및 금속 촉매로 구성되어 있다. 이들 중 아민 촉매는 질소 원자에 붙어 있는 비공유전자쌍에 기인하는 것으로써 이들 치환기의 입체장애, 전자 배치에 의해서 많은 영향을 받는다.

계면활성제는 Scheme 3에서와 같이 친유성의 폴리실



Scheme 3. Structure of the silicone surfactants.

Table 1. Formulation of the Polyurethane Foam

Components	Part by weight
Polyether polyol(1)	KONIX FA-703 polyether polyol, Hydroxyl value ; 32 mg KOH/g 80.00
Polyether polyol(2)	KONIX FA-733 polyether polyol, Hydroxyl value ; 28 mg KOH/g 20.00
Crosslinker	Diethanolamine, Hydroxyl value ; 1,600mg KOH/g 2.00
Water	4.20
Surfactant	Silicone surfactant, (Nihon unicar Co.) 1.00
Catalyst(1)	TOYOCAT-ET, bis(2-dimethylaminoethyl)ether 0.10
Catalyst(2)	TEDA-L33, Triethylenediamine 0.50
Cell opener	KONIX FA-103(Gly+EO+PO/EO) 1.50
Isocyanate	TDI-T80(25%)/MDI-M200(30%)/Pure MDI(45%) 66.79
NCO index	100.00

록산과 친수성의 폴리에테르기와 공중합체 구조를 갖고 있어서 계면활성제는 각 원료 성분들을 미세하고 균일하게 분산시켜 주는 역할을 하는 첨가제로서 n+m은 대개 20~200 정도이다.

가교제의 역할은 이소시아네이트와 반응하여 우레탄 결합에 있어 hard segment를 증가시켜 가교밀도 및 경화반응을 촉진시키는데, 아민 및 알코올이 가교제로 널리 사용되고 있다.

발포제는 우레탄 반응에 있어서 폼을 발포시키며, 반응시 발생하는 반응열을 흡수하고, 원액인 수지의 점도를 낮추어 흐름성 등 가공성을 좋게 하며, 특히 폴리우레탄폼 경질 분야에 있어서는 열전도율을 증진시키는 역할을 한다.

### 3. 실험

#### 3.1. 폴리우레탄폼 제조

본 연구에서는 폴리에테르 폴리올, 촉매, 계면활성제, 가교제, cell-opener, 물 등의 수지부분과 이소시아네이트(TDI/M-200/PureMDI)를 당량비로 각각을 계산하였고, 반응온도 20℃에서 폼을 제조하였으며, 예비실험을 통하여 Table 1에 나타난 처방을 기본으로 가교제, 촉매, 이소시아네이트 및 계면활성제를 변화시켜 가며 폼을 제조하여 기계적 물성을 측정하였다.

#### 3.2. 폴리우레탄폼의 발포 방법

폴리우레탄폼의 발포방법은 1000ml 컵에 폴리올 100 part와 가교제 2.0 part, 계면활성제 1.0 part, 촉매 0.6 part, cell opener 1.5 part를 준비하고, 500ml 컵에 이소시아네이트 66.79 part를 준비하였다. 준비된 폴리올과 첨가제가 담겨진 컵에 이소시아네이트를 넣은 후 교반하면, 폴리우레탄폼은 혼합단계, 크림화단계, 겔화단계, 부풀어오름 단계를 거쳐서 폼이 형성된다.

#### 3.3. 물성측정

기계적인 물성을 측정하기 위하여 사용된 시편은 폴리우레탄폼을 제조한 후 상온에서 72시간 이상 경화시킨 다음 만능시험기(universal testing machine. AGS-500A, Shimadzu, Japan)를 사용하여 인열강도(tear strength), 인장강도(tensile strength), 신장율(elongation)을 측정하였으며, JIS-K 6301에 의한 시편 규격에 맞게 2개씩 제작하여 측정한 것을 평균하여 사용하였다. 밀도(density)는 중량법으로 측정하였다.

폴리우레탄폼의 기계적 물성의 하나로서 시간 경과에 따라서 폴리우레탄폼이 부풀어 오르는 과정을 알 수 있는 gel profile을 통해 발포 속도와 경화과정을 관찰하였다. Gel profile은 발포반응을 시작하면서 일정한 시간 간격으로 강철구를 하나씩 떨어뜨려 발포반응이 완료될 때까지 측정하였다.

또한, 주사형 전자현미경(scanning electronic microscope)을 이용하여 폴리우레탄폼의 셀 크기를 측정하였다.

#### 3.4. 흡음율 측정

폴리우레탄폼의 흡음효과는 현재 국내 H사에서 생산한 제품으로 H자동차사 흡음재로 장착되고 있는 폴리우레탄폼 B와 K사에서 생산한 제품으로 A 자동차사에서 사용되고 있는 폴리우레탄폼 C를 본 연구에서 개발한 폴리우레탄폼 A와 비교하여 측정하였다.

흡음율측정 장치로는 Two microphone impedance measurement tube(B&K type 4206)로 측정하여 multi-channel analysis system(B & K type 3550)으로 분석하였다[2-3]. 시편의 규격은 지름이 3cm와 10cm인 두 개의 같은 종류의 폼을 장착하여 흡음측정에 사용하였으며, 각각의 시편을 3번씩 측정하고 평균하여 데이터로 사용하였다. 흡음율은 다음 식과 같이 원음의 소리 에너지를 반사되어 되돌아온 소리에너지의 차를 원음의 소리에너지로 나뉜준 것으로 정의하였다.

$$\alpha = 1 - \frac{\nu}{I} = \frac{I - \nu}{I}$$

여기에서  $\nu$ 는 반사되어 되돌아온 소리에너지이며,  $I$ 는 원음의 소리에너지이다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1. 밀도 변화

폴리우레탄폼은 밀도에 따라 연질 폼( $60 \text{ kg/m}^3$ 이하), 반경질 폼( $60 \text{ kg/m}^3 \sim 120 \text{ kg/m}^3$ ), 경질 폼( $120 \text{ kg/m}^3$ 이상)으로 구분하고 있는데, 흡음율은 연질폼이 경질폼 보다 월등히 높게 나타나기 때문에 첨가제들이 밀도에 미치는 영향을 먼저 검토하였다.

Fig. 1은 발포제(물)와 가교제(DEOA)의 양에 따른 밀도 변화를 나타내었다. 밀도는 물의 양이 증가함에 따라 현저하게 감소하였다. 이는 물의 사용 양이 증가하면 발포속도가 빨라져서 폴리우레탄폼 내의 공극이 증가함으로써 폼이 부풀어오르는 높이가 높아져 밀도가 감소한 것으로 생각된다. 가교제의 경우 양이 2 pphp까지 거의 변화가 없었으나 3.5pphp 이상에서 약간 증가하는 경향을 보였다. 이처럼 가교제의 사용 양이 증가함에 따라 밀도가 증가하는 것은 가교결합에 의해 hard segment의 증가로 인하여 밀도가 증가하는 것으로 보여진다.

본 연구에서 사용한 촉매의 종류와 촉매의 사용 양에 따른 밀도의 변화는 Fig. 2에서 보듯이 거의 없었으며, 이는 촉매가 발포반응과 겔반응의 균형을 유지하고 반응을 촉진시키는 것이 주된 역할로서 밀도 변화에는 그다지 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Fig. 3에는 이소시아네이트의 NCO값에 따른 밀도의 변화를 나타냈었으며, 사용한 폴리올의 종류에 관계없이 NCO값의 증가와 더불어 밀도는 급격히 감소함을 보여 주고 있다. 이는 이소시아네이트의 NCO값이 크면 연질 폼이 생성되는 경향이 있어서 밀도가 낮아지는 것과 더불어 흡음에 좋은 영향을 미칠 수 있다. 이러한 이유로 NCO값이 48.5로서 비교적 크고 TDI인 T80의 사용량에

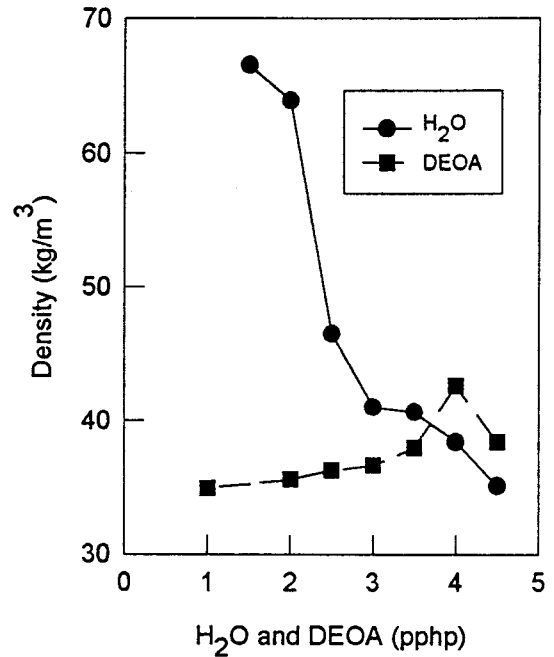


Fig. 1. Density plots for additives.

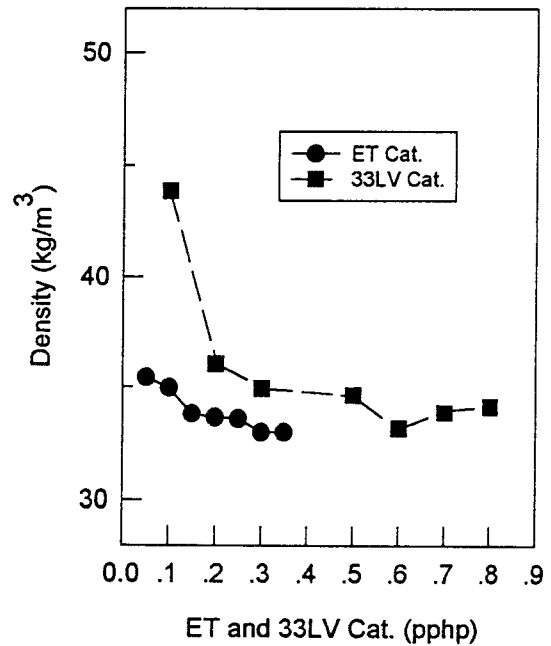


Fig. 2. Density plots for catalysts.

밀도변화가 많은 영향을 받으며 T80의 양이 많아질수록 감소할 것으로 예상되었다. 따라서 이상과 같은 Fig. 1~3의 결과로부터 첨가제 양과 이소시아네이트의 종류 및 혼합(M-200/T80/pure MDI)비를 적절히 조절하여 흡음율이 좋을 것으로 예상되는 밀도가  $33 \text{ kg/m}^3 \sim 35 \text{ kg/m}^3$ 인 연질폼을 Table 1에 나타낸 기본 처방으로 제조할 수 있었다.

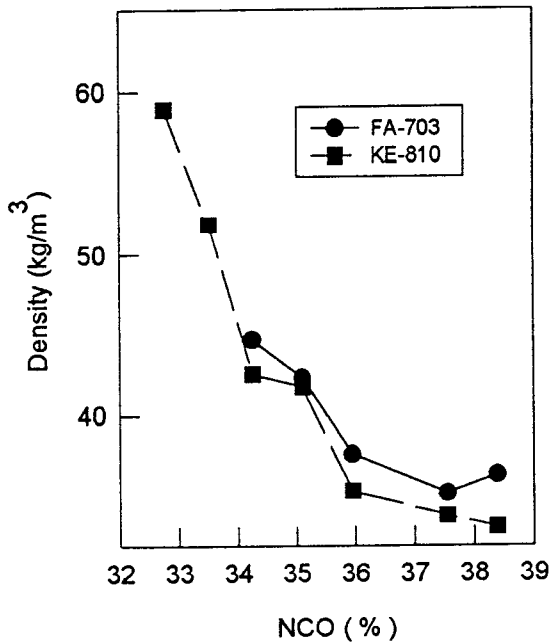


Fig. 3. Density plots for NCO value.

4.2. 기계적 물성

폴리우레탄폼의 인열강도, 인장강도, 신장율 등은 Table 2에 나타낸 것과 같이 계면활성제 양에 따라 1.0pphp까지는 기계적 물성이 증가하는 경향을 보였으나 첨가량이 많아짐에 따라 큰 변화가 없이 약간 감소함을 보였다. 인열강도의 경우 계면활성제 L-5309를 사용할 경우 첨가량이 1.0pphp일때 가장 큰 값인 0.35kg/cm<sup>2</sup>임을 보여주고 있다. 이것은 계면활성제의 첨가량이 증가함에 따라 불균일한 셀이 균일한 셀로 바뀌어 분자간력을 일정하게 유지시키므로 인열강도 값이 증가하지만 1.0pphp 이상에서는 감소되는 것을 보여 주고 있다.

인장 강도의 경우에는 L-5309량이 1.0pphp일때까지 계속 증가하는 경향을 보였다. 그러나 이 경우에도 인열강도에서처럼 1.0pphp 이후에는 감소하는 경향을 보여주었다. 이는 분자간력의 영향으로 계면활성제가 적당량 이상 첨가되면 미세한 작은 셀들이 일정 부피에 포화상태가 되고, 반응 중 발생하는 반응열과 가스 압력으로 인해 셀벽이 파괴되어 작은 셀들이 인접한 셀에 흡수되어 보다 더 큰 셀을 형성하게 되는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 이유로 계면활성제 첨가량의 증가에 따라 인장강도 및 인열강도가 감소되는 것으로 생각된다. 신장율(elongation)의 경우에도 계면활성제 첨가량이 증가할수록 신장율은 커지고 1.5pphp에서 가장 큰 값을 나타내었다. 2.0pphp 이후부터 점차 감소하는 것을 알 수 있었다.

Table 2. Physical Properties of the Polyurethane Foam

Surfactant weight(pphp)*	Thickness (mm)	Tear strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Elongation ( % )
0.0	13.97	0.32	0.62	69.0
0.5	14.12	0.32	0.75	95.0
1.0	14.32	0.35	1.12	85.0
1.5	14.32	0.30	0.89	101
2.0	14.13	0.32	0.97	99.0
2.5	14.13	0.30	0.80	88.0
3.0	14.21	0.32	0.88	90.0

\* part per hundred polyol

4.3. 흡음율

Fig. 4는 계면활성제 사용량에 따른 흡음율을 측정할 것으로 1.0pphp에서 가장 좋은 흡음율을 보여주고 있다. 폴리우레탄폼 3가지 종류에 대한 흡음율측정 결과 Fig. 5에서와 같이 주파수 500Hz~2,000Hz까지는 폴리우레탄폼C의 흡음율이 좋았으나, 2,500Hz~5,000Hz의 주파수 영역에서는 본 연구에서 개발한 폴리우레탄폼 A와 상업용 폴리우레탄폼 B가 매우 우수한 것으로 나타났다. 주파수 4,000Hz를 기준 하여 비교해 보면 폴리우레탄폼 A는 99%, 폴리우레탄폼 B는 95%로 매우 좋은 흡음율을 나타내고 있다. 또한 폴리우레탄폼 A와 폴리우레탄폼 B의 전주파수(500Hz~5,000Hz)영역의 비교해 보면, 본 연구에서 개발한 폴리우레탄폼 A가 보다 우수함을 보여 주고 있다. 다만 4,500Hz이상에서만 상업용 폴리우레탄폼B에 비해 폴리우레탄폼 A의 흡음율이 감소하는 것을 볼 수 있다.

전술한 바와 같이 엔진소음, 냉각계소음, 배기계소음, 타이어 소음 등의 고체음은 엔진룸과 차실 사이 그리고 차실과 바닥부분에 장착된 제진재와 차음재에 의해 진동과 저주파영역(30Hz~1000Hz)의 소음은 차단되고 흡수되지만, 창문을 통하여 유입되는 소음은 고주파 영역의 공기와 타이어 마찰음의 영향이 크고 운전자의 귀에 가깝기 때문에 자동차의 정숙성에 직접적으로 영향을 미치는 것으로서 이와 같은 고주파 영역(1,000Hz~5,000Hz)의 소음을 본 연구에서 개발한 우레탄폼에 의해 효과적으로 흡수됨을 Fig. 5에서 보여주고 있다.

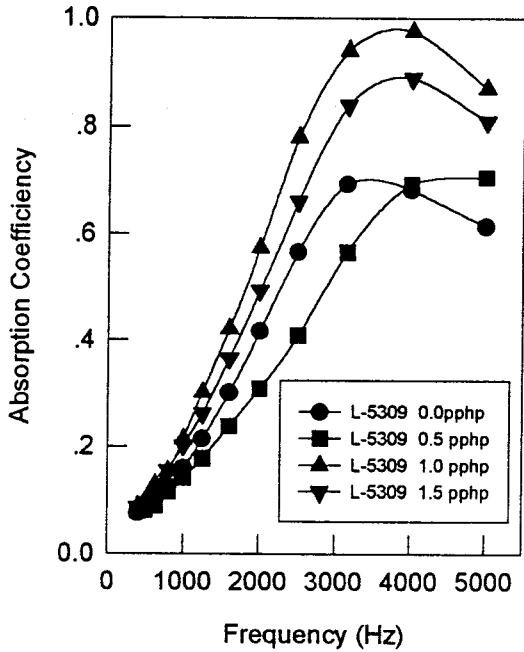


Fig. 4. Sound absorption coefficient plots for surfactant amount.

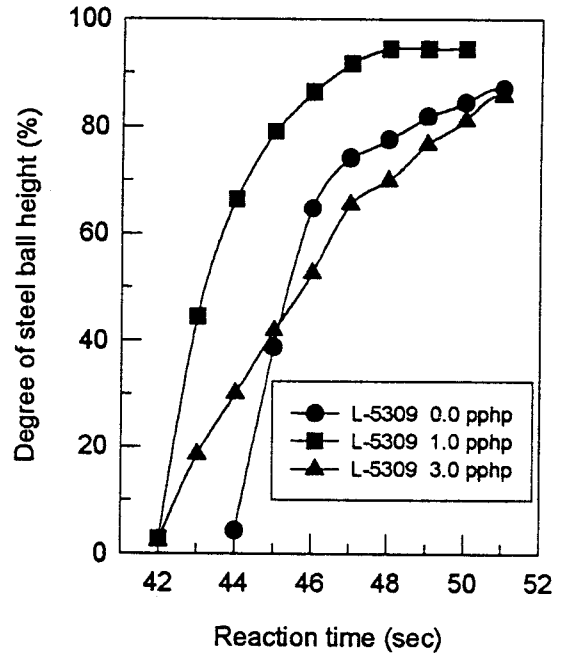


Fig. 6. Gel profile plots for surfactant (steel ball method).

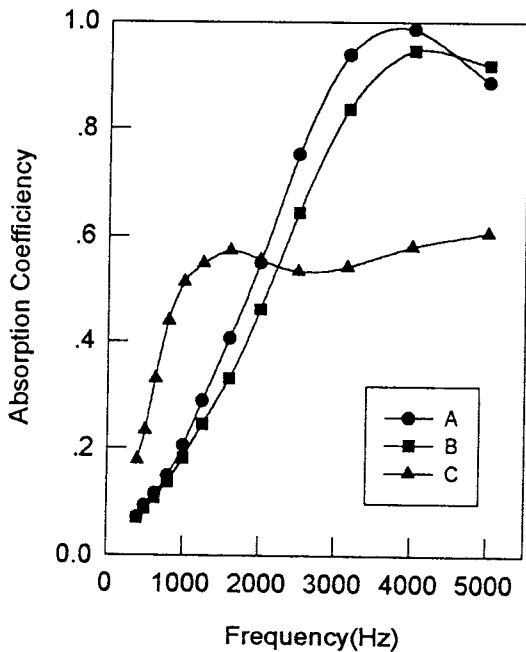


Fig. 5. Sound absorption coefficient plots for absorbents.

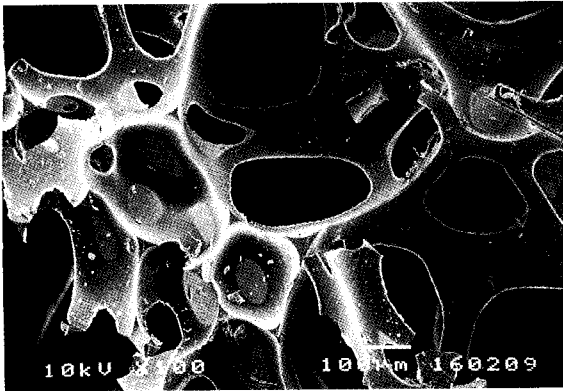
4.4. 강철구의 gel profile

강철구의 gel profile은 폴리우레탄폼의 겔 반응과 발포 반응의 상호관계를 알 수 있고, 적당한 촉매를 선택하는데 도움을 준다[4]. 또한 경화와 관계가 있어 폴리우레탄폼을 생산하는 산업체의 생산성과 직접적인 연관이 있어 매우 중요시하고 있다. Fig. 6에서 나타난 것처럼

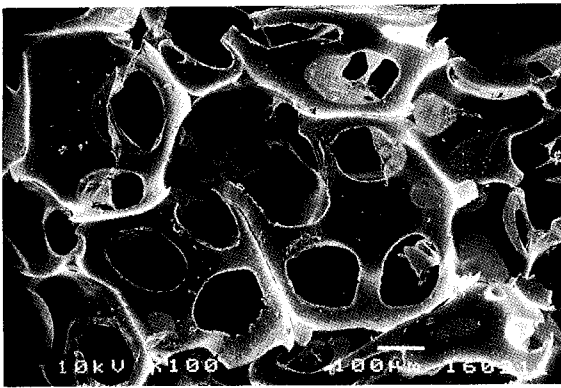
계면활성제 양이 1.0pphp 일때 겔화 반응과 경화가 가장 빠름을 보여주고 있다. 경화가 빠르다는 것은 몰드에 시료를 주입한 후 폼이 완전히 성형되어 몰드에서 나올 때까지의 시간이 짧음을 의미한다. 여기서 계면활성제는 발포제인 물과 촉매들을 균일하게 분산시켜 줌으로써 반응이 시작과 동시에 종결되어 경화 시간이 단축될 수 있다. 그러나 계면활성제 양이 증가됨에 따라 경화가 늦어진 것은 앞에서 설명한 바와 같이 촉매와 기타 시료들이 시료의 분자간력에 의해 인접한 셀과 셀이 합일되고, 균일하게 분산되지 않아 한곳에 정체됨으로써 미반응물로 인해 경화가 늦어진 것으로 생각된다.

4.5 셀의 형상

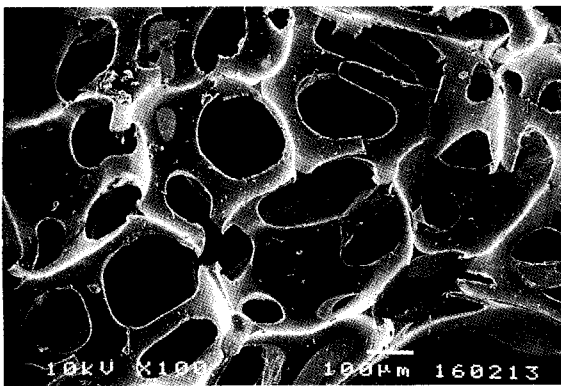
폴리우레탄폼의 제조시 사용한 계면활성제의 첨가량에 따른 셀구조 및 크기를 주사전자현미경(SEM)으로 측정하여 Fig. 7에 나타내었다. 계면활성제의 첨가량이 증가함에 따라서 셀의 크기가 작고 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있는데, 계면활성제의 사용량이 1.0pphp 이상 증가하면 셀과 셀이 합일되고 거대 셀을 형성하는 것을 볼 수 있다. 이는 발포시 발생하는 열과 압력으로 인해 인접한 셀의 벽면을 손상시켜 셀이 합일되는 것으로 생각할 수 있다. 그리고 이러한 결과는 흡음율에 영향을 미쳐서 폴리우레탄 폼 셀이 미세하고 많으면서 열린셀을 이루고 있을 때 흡음율이 높게 나타난다는 사실



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Cell structure for surfactan (a) 0.0pphp, (b) 1.0pphp, (c) 2.0 ppphp.

과 잘 일치한다. 또한 이러한 결과는 Table 2에 나타난 결과와 비교해 보면 폴리우레탄폼의 셀 구조와 크기가 경도, 인장강도, 신장율 등의 기계적 물성에도 커다란 영향을 미치는 요인 중의 하나라는 사실과도 일치한다 [5-7].

## 5. 결 론

본 연구에서는 첨가제 종류 및 사용량에 따라 폼의 기계적 물성을 측정하고, 주사전자현미경으로 셀구조를 확인하여 셀의 크기가 흡음효과에 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

발포제, 가교제 및 이소시아네이트의 종류(NCO값)에 따라서 밀도변화가 컸으며, 발포제와 가교제의 사용량이 많고 NCO값이 클수록 흡음율이 좋은 연질폼의 척도를 나타내는 밀도가 낮아졌다. 그러나 촉매의 종류 및 사용량에는 밀도가 그다지 영향을 받지 않았다.

기계적 물성과 흡음율은 계면활성제의 양에 영향을 받았으며, 계면활성제의 사용량이 1.0pphp일 때 인장강도, 인열강도 및 흡음율이 가장 좋았다. 즉, 계면활성제의 사용량이 1.0pphp일 때 폼의 셀이 미세하고 균일하게 생성되어 가장 좋은 흡음율을 나타내었으며, 계면활성제의 사용량이 1.0pphp를 넘으면 거대셀이 생성되어서 흡음율이 감소하고, 아울러서 기계적인 물성이 나빠졌다. 또한 강철구의 gel profile을 이용하여 경화 속도를 측정 한 결과도 계면활성제가 1.0pphp에서 가장 유리함을 알았다.

## 감 사

이 연구는 전남대학교 자동차공학 학술연구비의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. G. Woods, "The ICI Polyurethanes Book", JOHN WILEY & SONS, New York, 35(1987).
2. P. F. Soto, M. Herraez, A. Gonzales, and J. A. de Saja., *Polymer Testing*, **13**, 77(1994).
3. J. J. Zwinselman and W. D. Bachmann., *J. Cellular Plastics*. **May.**, 274(1988).
4. R. L. Rowton., *J. Cellular Plastics*. **Jan.**, 27(1980).
5. R. F. Lambert, *J. Acoustic Soc. Am.*, **72**, 87(1987).
6. G. Rossmly, H. Kollmeir, and W. Lidy, *J. Cellular Plastics*. **Nov.**, 28(1981).
7. R. J. Galon, T. Narayan, and R. A. Markors, *SPI Polyurethane Division*, 385(1988).