

## 우수한 정적, 동적 특성을 보이는 자동차 시트용 폴리우레탄 발포체

홍재환<sup>†</sup> · 백한성\* · 김경만\* · 김성윤\*\* · 최석민\*\* · 황태원

현대자동차 연구개발본부, \*한국바스프, \*\*다이모스  
(2006년 9월 18일 접수, 2006년 12월 5일 채택)

### Polyurethane Flexible Foam for Automotive Seat Cushion Having Both Superior Static and Dynamic Properties

Chae-Hwan Hong<sup>†</sup>, Han-Sung Back\*, Kyung-Man Kim\*,  
Sung-Yoon Kim\*\*, Sok-Min Choi\*\*, and Tae-Won Hwang

Hyundai-Kia Motors Co., Ltd., 772-1, Jangduk-dong,  
Hwaseong-city, Gyeonggi-Do, Korea

\*BASF-Koreas, 1292, Shinsung-dong, Daejeon, Korea

\*\*Dymos, Shinchang-Myun, Chungnam, Korea

(Received September 18, 2006; accepted December 5, 2006)

**초록 :** 폴리우레탄 발포체는 쿠션성이 뛰어나기 때문에 자동차 시트 쿠션으로 다양하게 사용이 되고 있다. 그 동안 시트 쿠션 발포체의 연구에 있어서 발포체 밀도를 낮추고자 하는 요구가 있어 왔으나, 최근에는 승차 안락감을 증대시키는 것이 더욱 중요시되고 있다. 승차 안락감과 관련하여 본 연구에서는 반발 탄성을 특성 및 히스테리시스 특성과 같은 정적물성을 조절하는 것에 관하여 연구하였다. 또한 승차 운전시 안락감 성능에 영향을 주는 매우 중요한 인자로 알려져 있는 진동 특성에 관하여 고찰하였다.

**Abstract :** Polyurethane flexible foams have been widely used for automotive seat cushions because of their excellent performance. It has been required so far to reduce the density of seat cushion foam. However, recently, improving the riding comfort of seat cushions becomes more important. With regard to riding comfort, we investigated the improvement of static properties such as the ball rebound property and the hysteresis loss. We also studied the vibration characteristics, which are well known as an important factor to affect the comfort performance during driving.

**Keywords :** riding comfort, automotive seat, polyurethane foam, vibration characteristics.

## 서 론

GM의 대우차 인수 및 르노삼성 자동차의 가세, 일본 도요타 자동차의 국내시장 진입 등으로 인해 국내시장에서의 자동차 판매경쟁은 더욱 심화되고 있다. 또한 현대자동차의 앨라바마 공장 가동과 미국 빅 3의 본격적인 할인 판매 등 세계의 자동차 시장은 이제 전장 없는 전투를 벌이고 있다. 따라서, 이러한 자동차 시장의 환경 변화에 대응하기 위해 소비자 욕구를 신속히 충족시킬 수 있는 생산방식의 선진화 및 기술개발 노력, 제품의 품질수준 향상 등의 연구가 필요한 시기로 생각된다. 자동차 내장재 제품의 품질수준 향상과 관련하여 자동차 내장재 부품업체는 제품의 고급화, 차별화를 해야만 세계 자동차 시장에서 국제경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 최근에는 자동차에 거주공간과 감성품질 개념이 도입되어 차량 내부의 쾌적감, 안락감, 정숙감 등에 대한 품질개선 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>1-18</sup>

최근 자동차 개발의 세계적인 추세는 성능과 안전성 등 기본 기능의 확보 단계를 지나 안락성을 높이는 방향으로 전개되고 있다. 특히 주행안락감은 여러가지 형태로 나타나는 각종 차량 성능 중에서도 매우 중요한 부분으로 인식되고 있다. 주행시 인체 안락감 혹은 차량 승차감에는 차량의 진동, 소음, 동역학적 거동 및 감성 공학 측면까지 광범위한 요소들이 영향을 미치고 있다. 이중에서 노면으로부터의 가진력이 인체 진동으로 전달되는 진동 전달 현상이 주행시 인체 안락감에 가장 큰 영향을 주고 있다.<sup>19-24</sup>

인체 진동 응답 특성과 주행 안락감의 상관 관계를 나타내기 위하여 승차감 관련 진동 특성과 인체의 진동에 대한 적응력에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 일반적으로 차량 탑승자들이 주행 안락감과 관련하여 가장 연관성이 크다고 느끼는 부분이 시트 부분이며 그 밖에 감성 공학적인 부분을 제외할 경우 서스펜션, 차체진동, 스티어링 진동 순으로 나타나고 있다. 따라서 주행 안락감을 연구하는데 있어 차량에 의한 인체 진동 반응과 시트 및 인체 진동을 유발시키는 차량 각 요소의 특성 및 기여도를 분석하는 것이 우선적으로 요구되고 있다.

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: hong@hyundai-motor.com

이와 관련하여 시트는 차량에서 인체와 직접 접촉하면서 차체로부터 전달되는 진동을 차단시켜 주고 인락한 자세를 확보해 줌으로써 차량 운행으로 오는 피로감을 최소화하는 역할을 하기 때문에 인락성 향상에 있어 시트가 미치는 영향은 매우 크다. 그런데 시트는 대부분 폴리우레탄 발포체 재료로 구성되어 있기 때문에 여기서 시트의 특성이라 함은 곧 발포체 재료의 특성을 의미한다. 발포체 재료의 특성이 시트 전체의 정적 특성을 포함하여 진동 전달 특성에 직접적인 영향을 미치게 됨은 주지의 사실이다.

최근 자동차 시트 발포체 재료의 개발동향은 원가절감을 위한 밀도 감소 및 승차감 개선을 위한 반발탄성 증대의 연구방향으로 이루어져 왔다. 시트 승차감 개선 측면을 고려한 발포체 물성의 정적 특성(static property)의 경우 응력완화(stress-relaxation), 히스테리시스 손실특성(hysteresis loss) 및 체압분포(body pressure distribution) 특성이 중요하다. 동적 특성의 경우 진동(vibration property) 특성이 중요한데 구체적으로 공진 주파수(resonance frequency) 및 진동 전달률(vibration transmissibility) 특성이 중요하다.<sup>25-27</sup>

일반적으로 6 Hz 근방의 진동에 대하여 인체가 불편함을 느끼는 것으로 잘 알려져 있다. 승차감과 관련하여 인체의 진동에 대한 저항력을 통계적으로 조사된 결과에 의하면 진동의 크기, 진동의 주파수 특성 및 이러한 진동에 인체가 노출된 시간에 밀접한 관련성이 있음을 알 수 있다. 특히 주행 인락감 관련 인체 진동은 전신 진동(whole-body vibration)에 주로 관련되어 있으며 시트에서 느끼는 진동도 같은 경우이다. 상하방향의 정현파 진동의 경우 2 Hz 이하의 주파수 대역에서는 인체의 모든 부분이 동시에 상하 진동을 하게 되며, 인체의 각 부분(머리, 흉부, 복부, 손, 발)은 좌좌 자세에서 개인에 따라 공진 주파수가 상이하나 일반적으로 첫번째 공진 주파수는 4-6 Hz 근처로 알려져 있다.<sup>28</sup>

이러한 첫번째 공진 주파수 근방의 진동 전달률을 낮추기 위해서 일반적으로 고탄성 발포체(high resilience foam)를 적용한다. 그러한 이유는 첫번째 공진 주파수 영역 진동에 대한 감소율을 고탄성 발포체를 적용하는 경우 감쇄시킬 수 있기 때문이다. 이러한 고탄성 발포체는 현재 여러 자동차 시트용 발포체로 적용되고 있다. 그러나 현실적으로 자동차 내부에는 다양한 진동이 전달된다. 또한 6 Hz 영역의 진동을 효과적으로 감쇄시키는 고탄성 발포체의 경우에도 실제적으로 6 Hz 이하 저주파수 영역에서는 진동 전달률이 반대로 증가하거나 혹은 6 Hz 이상 고주파수 영역에서 진동 전달률이 증가하는 현상이 발생한다. 또한 공진주파수 영역에서 진동 전달률이 증가되는 현상이 발생되기도 한다. 이러한 문제점을 해결하고자 하는 노력으로 발포체 탄성률(foam elasticity) 및 발포체 내부 공기흐름(airflow)을 줄이는 연구가 이루어져 오기도 했으나 이러한 기술로도 다른 주파수 영역의 진동 전달률을 그대로 유지하면서 6 Hz 근방 주파수 영역에서 진동 전달률을 줄이는 데는 기술적으로 어려움이 있는 것으로 알려져 있다.<sup>29</sup>

본 연구에서는 6 Hz 근방 영역에서의 진동 전달률이 낮은 발포체를 개발하기 위하여 폴리우레탄 발포체 셀 구조 및 고분자 분자구조적 측면에서 새로운 재료를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 기존의 폴리우레탄 발포체 시스템에서 적용되는 methylene diphenylene isocyanate (MDI)의 구조적 변형을 통하여 발포체 분

자 구조를 변경시키고자 하였으며, 이러한 결과 얻어지는 신규 폴리우레탄 발포체의 정적 및 동적 물성 평가를 통하여 분자구조적 변형 효과를 고찰하였다.

## 실 험

**재료 발포체 성형** 제조에 사용된 화학물질은 다음과 같다. 기존 발포체의 경우 일반 MDI를 사용한 반면 본 연구에서는 이소시아네이트 NCO 함량이 32%인 수준에서 구조적 변형을 시도하였는데, 예비중합 방식을 적용하였다. 예비중합 결과 분자량이 증가하게 되는데 이는 점도 증가로 나타나게 된다. 사용된 폴리올은 폴리에테르 폴리올을 사용하였으며 3관능기의 분자량 6500인 산화프로필렌과 산화에틸렌의 공중합체를 사용하였다. 발포제 및 분석용제로 사용된 물은 증류한 후 Millipore 정수장치를 통한 탈이온수를 사용하였다. 가교제는 diethanolamine (KPC, 98.5%), 발포 촉매는 triethyl-enediamine (Dabco 33 LV, Air Products), 실리콘 계면활성제는 polysiloxane-polyoxyalkylene copolymer (L-3002, Air Products)를 사용하였다.

**발포체 제조.** 발포체 제조는 우선적으로 폴리올 레진 프리믹스를 제조하고, 이후 미리 계량된 폴리이소시아네이트 부분과 레진 프리믹스를 혼합, 교반한 후 시험용 알루미늄 주형을 사용하여 발포체를 제조하였다. 또한 고압 기계식 발포기에서의 발포 특성을 조사하기 위하여 Krauss-Maffei 기계식 고압발포 장비를 사용하여 폴리우레탄 발포체를 제조하였다. 발포체 성형은 사각 금형 및 실제 자동차 시트용 성형 금형을 사용한 실제 시트 쿠션 및 백 발포체를 제조하였다. 발포체 성형 배합비는 Table 1과 같으며, 본 연구에서 적용한 변성 MDI의 물성 특성은 Table 2와 같다.

### 분석방법

**수산화기값(OH-Value)** : ASTM D 4274의 절차에 따라 측정하였다. 냉각기가 부착된 삼각 플라스크에 시료 약 6 g과 분석용 용액(피리딘 700 mL에 무수프탈산 116 g을 용해하여 만든 용액)

**Table 1. Formulations of PU Foams**

Formulations <sup>a</sup>	A1	A2	A3	A4	A5
Polyether polyol <sup>b</sup>	100	100	100	100	100
Crosslinker <sup>c</sup>	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4
Catalyst <sup>d</sup>	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Silicon surfactant <sup>e</sup>	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6
Water <sup>f</sup>	3.4	3.4	3.4	3.5	3.2
MDI (Index)	95	100	105	100	100

<sup>a</sup>All formulation amounts are given as parts per hundred of polyol, pph. <sup>b</sup>Ethylene oxide capped triol, MW 6500 (Korea polyol Co.), <sup>c</sup>Diethanolamine (Korea Polyol Co.). <sup>d</sup>33% triethylene diamine in di-propylene glycol (Air Products). <sup>e</sup>Polysiloxane-polyoxyalkylene copolymer (Air Products). <sup>f</sup>Deionized water.

**Table 2. Properties of MDIs Used for Foaming**

Formulations	A1~3	A4	A5
NCO Content (%)	32.2	32.2	32.2
Viscosity (mPa·s at 25 °C)	150	310	890

25 mL를 추가하여 120 °C의 유욕에서 1시간 동안 환류시키면서 반응시켰다. 이 후 실온까지 냉각하고 지시약으로 페놀프탈레인을 사용하여 용액이 적색으로 변할 때까지 0.5 N KOH 용액으로 적정하였다.

**흐림점** : ASTM D 2024의 절차에 따라 측정하였다. 시료 1 g을 시험관에 넣고 8% NaCl 수용액을 가하여 용해하였다. 용액을 가열 또는 냉각하여 투명상으로 만들고 이를 다시 냉각하면서 용액이 혼탁하게 되는 시점의 온도를 측정하며 이를 흐림점으로 하였다.

**반응속도** : 폴리우레탄 발포체 제조시 이들의 반응속도를 나타내기 위해 공업적으로 가장 많이 사용되는 방법은 시간의 함수로 나타내는 cream time(CT)과 rise time(RT)의 측정이다. CT는 발포 조성물들(폴리올, 발포제, 가교제, 촉매, 실리콘 계면활성제, 이소시아네이트)의 혼합시작부터 이들 반응 혼합물의 부피와 점도의 변화가 시각적으로 관찰되는 시점까지의 시간간격을 나타내며, RT는 발포조성물의 혼합부터 발포체의 rising이 끝날 때까지의 시간을 나타낸다. 위의 발포체 제조방법과 동일한 절차에 따라 폴리올 혼합물(폴리올, 물, diethanolamine, Dabco 33LV, L-3002)과 이소시아네이트를 혼합하여 시험용 주형에 붓고 반응이 진행됨에 따라 초시계를 사용하여 육안으로 CT와 RT를 측정하였다.

**이소시아네이트 함량** : 발포 중에 일어나는 우레탄 생성반응 및 우레아 생성반응의 속도를 조사하기 위하여 반응물 중에 잔존하는 이소시아네이트의 함량을 ASTM D 2572의 절차에 따라 측정하였다. 즉 반응물에서 약 1 g의 시료를 취하고 여기에 과잉의 di-n-butylamine을 포함하는 o-dichlorobenzene 용액을 가하여 아민과 이소시아네이트를 반응시키고 반응 후 남아있는 아민을 0.1 N HCl 용액으로 적정하여 측정하였다.

**발포체의 구조적 안정성** : 폴리올 혼합물(폴리올, 물, DEOA, Dabco 33LV, L-3002)과 이소시아네이트의 반응물을 2L 플라스크 반응용기에 붓고 발포가 진행됨에 따른 발포체의 높이 변화를 관찰하여 RT에서의 발포체 높이와 RT 5분 후 발포체의 높이 감소를 측정하였다. 발포체의 구조적인 안정성은 다음의 식에 따라 계산하였다.

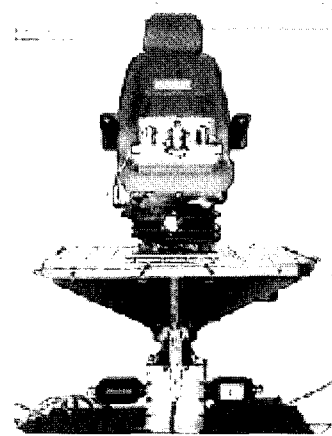
$$\text{안정성(\%)} = \frac{(\text{RT에서의 발포체의 높이}) - (\text{RT 5분 후 발포체의 높이 감소})}{(\text{RT에서의 발포체의 높이})}$$

**물리적 물성** : 성형 발포체 재료의 기본적 물리적, 기계적 물성 평가결과는 Table 3과 같다. 비교평가 항목으로 밀도, compression

**Table 3. Physical Properties of Foams**

Properties	A1	A2	A3	A4	A5
CT/RT(sec)	8/95	8/96	8/95	8/95	8/95
Dco(kg/m <sup>3</sup> )	51.8	51.9	51.5	41.0	47.1
40% CLD <sup>a</sup> (kPa)	5.7	6.7	7.2	5.9	6.3
50% CLD <sup>a</sup> (kPa)	7.0	8.2	8.8	6.2	7.8
Hysteresis (%)	16.6	17.5	16.9	17.6	17.1
B.R. (%)	67	66	68	67	68
T.S.(kg/cm <sup>2</sup> )	192	194	204	145	166
Comp. Set (%) <sup>b</sup>	3.6	3.4	3.2	2.9	3.8
Curing	good	good	good	good	good

<sup>a</sup>Compression Load Deflection. <sup>b</sup>70 °C, 22 h, 50% deflection.



**Figure 1.** Image of seat vibration testing.

load deflection(CLD), 히스테리시스, 반발탄성, 인장강도, 영구압축 변형률, 경화성 등을 비교, 평가하였다.

**발포체 재료의 동적 특성** : 차량 탑승의 시간적 양상과 관련하여 시트 쿠션과 시트 백은 인체의 하중에 의한 정적인 압축 하중 및 동적 하중을 일정 시간 동안 받게 되는데, 길게는 그 시간이 수십 시간에 이른다. 그런데, 이와 같이 장시간 운전을 하다 보면 시트가 딱딱해지는 것을 느낄 수가 있으며, 이 경우 시트 인락감 측면에서 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 따라서 시트 인락감 특성의 비교를 위해서 발포체의 동적 특성을 살펴보고자 하였다. 평가 방법은 Figure 1과 같은 진동특성 평가 장비를 사용하여 평가하였다. 측정 방법은 시트(seat) 어셈블리를 진동 판(plate) 위에 올린 후 주파수를 변경시키면서 일정한 진동을 준 후 전달되는 진동 전달률 및 공진주파수 등을 측정하였다. 가진 주파수는 10 Hz 영역까지의 변화시키면서 측정하였다.

또한 폴리우레탄 발포체는 습기를 잘 포집하는 특성이 있으며 완성차가 사용되는 기후 조건이 변하는 경우 시트 발포체의 동적 특성이 변할 가능성이 매우 높다. 대표적으로 우기가 긴 유럽지역에서는 습기에 의한 발포체의 동적 특성 변화가 운전자의 인락감에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 MDI 변성 폴리우레탄 발포체의 습한 조건에서의 동적 특성을 고찰하고자 하였다. 동적 특성 평가는 사각 몰드 발포체를 성형 후 30 °C, 80% 상대습도의 조건에서 발포체를 12시간 유지 후 동적 특성을 평가하였다.

## 결과 및 토론

폴리올, 물, 가교제, 아민촉매, 실리콘 계면활성제를 함유하는 폴리올 레진 프리믹스와 이소시아네이트의 반응을 통하여 폴리우레탄 발포체를 합성하였다. MDI 인덱스 및 MDI 변형에 따른 반응 시스템의 반응속도 및 발포체의 구조적인 안정성, 형태학적 성질 및 정적 물성에 관하여 조사하였으며 이를 통하여 MDI 변형이 폴리우레탄 발포체 시스템에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다.

**반응특성 및 물리적 물성.** 성형된 발포체의 물리적, 기계적 물성 평가결과는 Table 3과 같다. 비교평가 항목으로 밀도, 40% CLD, 50% CLD, 히스테리시스, 반발탄성, 인장강도, 영구 압축 변형률, 경화성 등을 측정 후 비교, 평가하였다.

조성비 A1~A3의 경우 동일한 원료 물질을 사용하는 조건에서 MDI 인덱스만 달리 한 조성의 발포체 물질을 나타낸 것이다. 성형 발포체의 성형성을 나타내는 CT/RT는 세 조성비로 얻어진 발포체 모두 비슷한 수준임을 알 수 있다. 밀도의 경우  $51 \text{ kg/m}^3$  수준으로 동일한 범위에 있음을 알 수 있다. 반발 탄성률 또한 66~68% 수준으로 동등한 수준에 있음을 알 수 있다. 그러나 경도의 경우 MDI 함량이 증가함에 따라 증가되는 것을 알 수 있다. 또한 인장강도의 경우에도 MDI 함량 증가에 따라 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다. 반면 영구압축 변형률의 경우 MDI 함량 증가에 따라 소량 감소하는 것을 알 수 있으나 그 변화폭이 크지는 않다. 이러한 결과로부터 MDI 함량 변화에 따라 경도 및 인장강도 특성이 변화됨을 알 수 있다. 이는 일반적인 MDI 성형품에서 나타나는 현상과 유사한 결과라고 판단이 된다.

조성비 A4의 경우 변형된 MDI를 사용하여 제조된 발포체로 MDI 인덱스가 동일한 조성비 A2와 비교하여 밀도를 약 20% 저감시킨 발포체 성형물이다. 발포체 밀도 조절을 위하여 발포제로 사용되는 물의 함량을 증대시켰다. 또한 실리콘 정포제(surfactant)의 함량을 증가시켰다. 일반적으로 실리콘 정포제의 기능은 발포체 시스템의 표면장력을 낮추어 원료 물질간 혼화성을 향상시키고 생성된 기포의 크기를 균일하게 하며 발포체 셀 구조를 조절함으로써 발포체에 안정성을 부여하는 역할을 하게 된다. 본 조성비에서는 이러한 저밀도 조건에서 40% CLD 값을 측정된 결과 조성비 A2에 비하여 약 0.8 정도의 낮은 값을 보여주었다. 이러한 현상은 밀도 감소에 의하여 나타나는 일반적인 현상으로 고밀도 발포체의 경우 저밀도 발포체에 비하여 압축 변형시 더 높은 저항성을 보이게 되는 현상과 유사한 결과로 생각된다. 그러나 반발 탄성률의 경우 조성비 A2 물질 결과와 비교하여 동등한 수준을 보여주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 매우 의미있는 결과로서 밀도를 낮추는 조건에서도 반발 탄성률을 동등 수준으로 유지시킬 수 있는 방법을 제안한 결과라고 할 수 있다. 이러한 저밀도 조건에서도 반발 탄성률을 유지한다는 의미는 폴리우레탄 분자구조 측면에서 구조의 변형이 성형 발포체의 정적 물성을 변형시킬 수 있음을 의미한다고 할 수 있다.

조성비 A5는 발포체 밀도를 조성비 A4에 비하여 약  $6 \text{ kg/m}^3$  이상 증가시킨 발포체 성형물이다. 이 조성물의 경우 40% CLD의 경우 조성비 A2에 비하여 약 0.4 정도 낮은 물성치를 보여주었다. 그러나 히스테리시스 특성 및 반발 탄성률 특성에서 A2에 비하여 더 우수한 결과를 보여 주었다. 이는 변성 MDI를 사용함으로써 밀도를 낮추면서 경도 측면에서 약간 낮은 값을 가지나 반발 탄성률 측면에서 동등한 수준을 보여주는 폴리우레탄 발포체 성형체를 얻을 수 있음을 나타내는 결과라고 할 수 있다.

**진동특성(Vibration Characteristics).** 차량이 주행시에 발생하는 진동은 타이어와 서스펜션, 차체 플로어, 시트를 통하여 인체에 전달된다. 다른 요소 영향을 배제하고 순수 시트만의 진동특성을 고찰하기 위하여 일반 MDI를 사용한 조성비 A2 발포체 및 조성비 A5 발포체를 사용하여 시트 어셈블리를 제작 후 진동특성 평가를 하였고 그 결과는 Figure 2와 같다. 진동특성 평가 결과 일반 MDI 발포체를 사용한 조성비 A2의 경우 6 Hz 근처에서 최대 진동 전달률을 보여준다. 이러한 진동 전달률 특성은 발포체 안락성 측면에서 매우 불리한 특성이라고 판단이 된다. 한편 조성비 A5의 경우 최

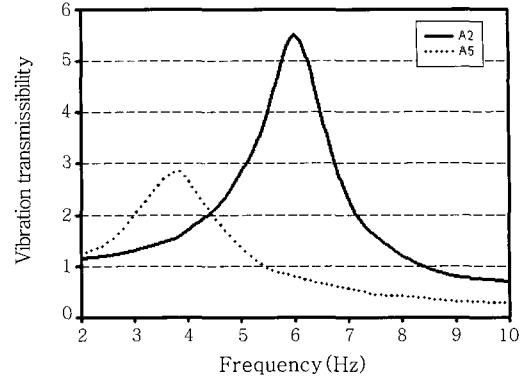


Figure 2. Vibration transmissibility curves of PU foams.

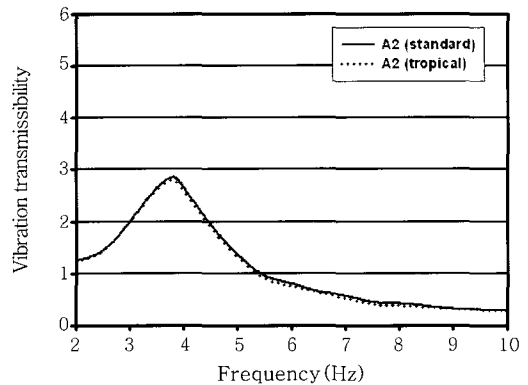


Figure 3. Vibration transmissibility curves of PU foams under standard and tropical conditions.

대 진동 전달률이 약 3.8 Hz 근방에서 관찰이 되는 것을 알 수 있다. 이는 MDI 변성에 의해 제조된 발포체가 넓은 주파수 영역대에서 소위 비안락감을 주는 진동을 흡수한다는 것을 의미하며, 예비중합에 의한 MDI 구조 변형 효과가 우레탄 레진 구조의 탄성특성(elastic property)과 발포체 셀 구조에 영향을 주기 때문으로 판단이 된다.

특히 높은 점도를 가지는 변성 MDI의 경우 발포체 형성 과정에서 좀더 조밀하며 균일한 셀 구조를 형성할 수 있는 가능성이 있다. 이유는 초기의 높은 점도 및 빠른 젤화(gelation)는 물과의 반응에 의해 발생하는 이산화탄소 및 공기의 발포체 성형체 표면으로의 이동을 억제하는 효과를 가지게 되어 좀더 균일한 셀 구조를 가지게 되기 때문이라고 추측된다. 또한 높은 초기 점도는 발포 성형체의 균일한 혼합을 위하여 더욱 높은 전단력을 가하게 되어 젤 내부에 분산되는 공기들의 분포가 균일해지기 때문에 최종 성형품의 셀 구조가 균일해지는 것으로 판단된다.

**습한 조건에서의 동적 특성 분석.** 습한 조건에서의 폴리우레탄 발포체 동적 특성 변화를 고찰하고자 변형 MDI를 사용하여 제조된 발포체 중 일반 기후 조건에서 가장 동적 특성이 우수한 것으로 나타난 조성비 A2 발포체에 대하여 습한 조건에서의 동적 특성 평가를 하였으며 그 결과는 Figure 3과 같다.

일반적으로 폴리우레탄 발포체 사슬은 우레아 반응 이후 수소결합을 형성하게 되어 강직 구조가 되며 Figure 4와 같다. 이러한 폴리우레탄 사슬의 수소결합은 수분에 의해 영향을 받을 수 있다. 즉

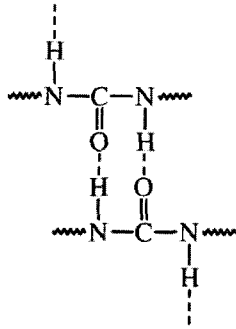


Figure 4. Hydrogen-bonding in urea-based hard segments.

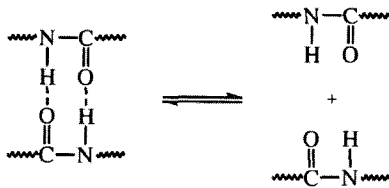


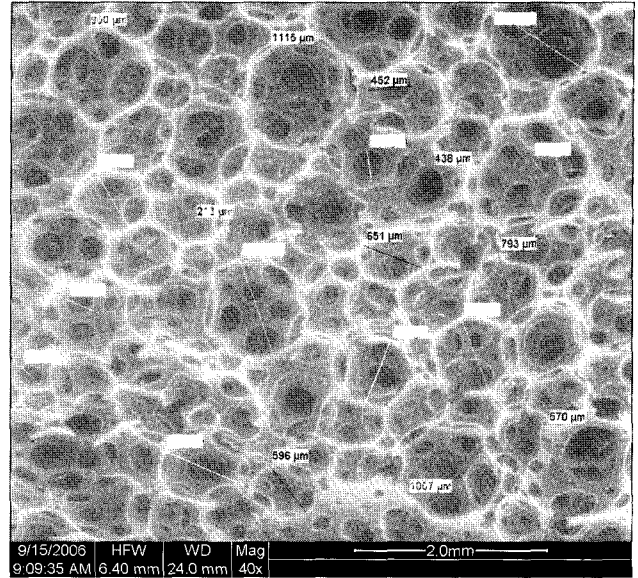
Figure 5. Dissociation of hydrogen-bonded urethane carbonyls.

폴리우레탄 분자구조 중 강직(stiff) 구조 부분의 수소결합이 수분에 의하여 Figure 5와 같이 파괴될 수 있는 가능성이 있기 때문이다. 본 연구에서 개발된 MDI 변성 폴리우레탄 발포체의 경우 습한 조건에서 측정된 동적 특성이 일반 기후 조건에서 측정된 동적 특성과 큰 차이를 보이지 않는다. 이러한 특징은 MDI 변성에 의해 수분에 의한 고분자 사슬 구조의 변형이 적게 일어나기 때문으로 추측할 수 있다.

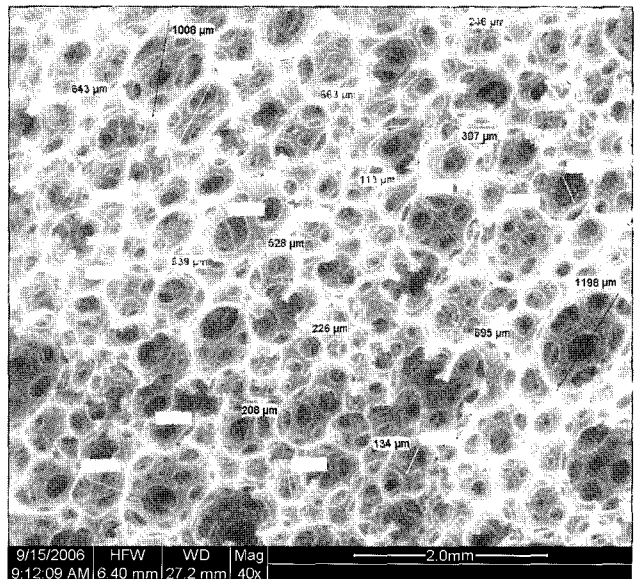
**발포체 형태학적 분석.** 앞 진동 실험 결과로부터 변성 MDI 시스템의 경우 발포 성형 발포체 셀 구조의 변화가 있을 것으로 추측하였고, 변성 MDI 발포체의 경우 발포체 셀 구조가 균일하면서 개방된 셀 구조를 가질 것으로 예측하였다. 이를 검증하기 위하여 발포체 셀 구조 분석을 투과전자 현미경으로 확인하고자 하였다. 조성비 A2 및 A5 성형 발포체에 대한 주사전자 현미경 분석결과는 Figure 6과 같다. 분석결과 조성비 A2의 경우 셀 최소 크기가 244 μm로 나타났으며, A5의 경우 셀 최소 크기가 134 μm로 나타났다. 또한 전체 셀 구조적 측면에서 A5의 경우 A2에 비하여 더욱 조밀하고 균일한 구조를 관찰할 수 있었다. 이러한 특징은 앞서 언급한 바와 같이 변형 MDI를 사용함에 따른 균일한 셀 구조가 얻어지기 때문으로 추측된다.

결론

본 연구에서는 폴리우레탄 발포체 시스템의 원료 물질 중 이소시아네이트의 구조를 변형시키는 방법으로 최종 성형 발포체의 정적, 동적 물성을 변화시키고자 시도하였다. 이소시아네이트의 구조 변형은 예비 중합 방법을 적용하여 MDI 분자량, 즉 점도를 올리는 방법을 사용하였다. 이를 통하여 기준 발포체에 비하여 10% 밀도를 감소시킨 조건에서도 반발 탄성을 및 히스테리시스 특성이 우수한 발포체를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 진동 전달 특성



(a)



(b)

Figure 6. Scanning Electron Microscope Images of PU foams. (a) A2 and (b) A5.

면에서도 기준 발포체가 나타내었던 6 Hz 근방의 공진 특성이 변성 MDI를 적용하여 제조한 발포체의 경우 3.8 Hz 근방으로 이동이 됨을 알 수 있었으며 그 진폭 또한 감소되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로부터 예비 중합방식에 의한 MDI 구조 변형 방법은 최종 성형 발포체의 분자 자체의 탄성 특성을 증대시킬 수 있으며, 또한 발포체 셀 구조가 미세하면서도 균일하게 분포되게 할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 높은 점도를 가지는 변성 MDI의 경우 발포체 형성 과정에서 좀더 조밀하며 균일한 셀 구조를 형성할 수 있는 가능성이 있기 때문인데, 이유는 초기의 높은 점도 및 빠른 젤화는 물과의 반응에 의해 발생되는 이산화탄소 및 공기의 발포체 성형체 표면으로의 이동을 억제하는 효과를 가지게 되어 좀더 균일

한 셀 구조를 가지게 되기 때문에 추측된다. 또한 일반 폴리우레탄 발포체의 단점으로 지적되고 있는 습한 조건에서의 발포체 동적 특성 변화에 관하여 본 연구에서 적용한 변성 MDI 방식 발포체의 경우 습한 조건에서도 동적 물성 손실이 미미함을 확인하였다. 이러한 연구결과는 MDI 화학구조 변경에 따른 발포체 물성변화에 대한 매우 중요한 결과를 밝히는 것으로 향후 안락감이 높은 시트 설계 및 폴리우레탄 발포체 설계에 있어 매우 중요한 기본 정보를 제공하는 것으로 그 의미가 크다고 할 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. J. W. Leenslag, E. Huygens, and A. Tan, *Cell. Polym.*, **16**, 411 (2000).
2. J. W. Hartings and J. H. Hagan, *J. Cell. Plast.*, **33**, 81 (1997).
3. G. R. Blair, A. R. Wilson, and R. J. horn, SAE Technical Paper No.960512 (1996).
4. Y. Gu, SAE Technical Paper No.980555 (1998).
5. M. R. Kinkelaar, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **57**, 837 (1996).
6. S. Doi, *Toyota R&D Reviews*, **30**, 3 (1999).
7. G. R. Blair, R. S. Miliojevich, and J. D. Van Heuman, SAE Technical Paper No.980656 (1998).
8. W. Shen and A. M. Vertiz, SAE Technical Paper No.970597 (1997).
9. G. S. Paddan and M. J. Griffin, *Ergonomics*, **37**, 1513 (1994).
10. K. Ebe and M. J. Griffin, *Ergonomics*, **43**, 771 (1994).
11. S. Tanigaki and K. Kaneko, JSAE Paper No.9535981 (1995).
12. B. Czupryski and J. Liszkowska, *J. Appl. Polym. Sci.*, **100**, 2020 (2006).
13. M. Zeng and L. Zhang, *J. Appl. Polym. Sci.*, **100**, 708 (2006).
14. P. Laity and J. Taylor, *J. Appl. Polym. Sci.*, **100**, 779 (2006).
15. R. Narayan, D. Chattopadhyay, and B. Sreedhar, *J. Appl. Polym. Sci.*, **99**, 368 (2006).
16. Y. Wei, F. Cheng, H. Li, and J. Yu, *J. Appl. Polym. Sci.*, **92**, 351 (2004).
17. M. Semsarzadeh and A. Navarchian, *J. Appl. Polym. Sci.*, **90**, 963 (2003).
18. I. Rhoney, S. Brown, N. Nicholas, and A. Pethrick, *J. Appl. Polym. Sci.*, **91**, 1335 (2004).
19. Y. Inoue, *Bacteriacide & Fungicide for a Comfortable Environment*, CMC, New York, 1992.
20. G. Woods, *The ICI Polyurethane Handbook*, Wiley, New York, 1990.
21. G. Oertel, *Polyurethane Handbook*, Hanser, New York, 1993.
22. D. Klempler and K. Frisch, *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*, Oxford Univ. Press, New York, 1991.
23. S. A. Jones, K. W. Scott, and B. G. Willough, *J. Cell. Plast.*, **38**, 285 (2002).
24. A. M. Abdul-Rani, N. Hopkinson, and P. M. Dickens, *J. Cell. Plast.*, **41**, 133 (2005).
25. R. V. Maris, Y. Tamano, and H. Yoshimura, *J. Cell. Plast.*, **41**, 305 (2005).
26. D. Jackovich, B. O'toole, and M. Cameron, *J. Cell. Plast.*, **41**, 153 (2005).
27. H. Oka, Y. Tokunaga, and T. Masuda, *J. Cell. Plast.*, **42**, 307 (2006).
28. B. Bastin, R. Paleja, and J. Lefebvre, *J. Cell. Plast.*, **39**, 323 (2003).
29. C. Fitzgerald, I. Lyn, and N. J. Mills, *J. Cell. Plast.*, **40**, 89 (2004).