

물 함량과 NCO Index 변화가 자동차용 폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감에 미치는 영향 고찰

이병준 · 이성훈* · 최권용* · 김상범†

경기대학교 화학공학과, *현대자동차 감성재료연구팀
(2016년 11월 8일 접수, 2016년 11월 22일 심사, 2016년 11월 25일 채택)

Effect of Change in Water Content and NCO Index on the Static Comfort of Polyurethane Seat Foam Pad for Automobiles

Byoung Jun Lee, Sung Hoon Lee*, Kwon Yong Choi*, and Sang-bum Kim†

Department of Chemical Engineering, Kyonggi University, 154-42, Gwanggyosan-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do 16227, Korea

*Hyundai motors, 150, Hyundaiyeonguso-ro, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 18280, Korea
(Received November 8, 2016; Revised November 22, 2016; Accepted November 25, 2016)

초 록

본 연구에서는 다양한 NCO index에서 물 함량 변화가 자동차용 폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감에 미치는 영향을 알아보았다. 정적 안락감에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위해 UTM을 사용한 정하중 특성 시험을 통하여 히스테리시스 곡선을 나타냈으며, 이를 통해 25% 변형 시 경도와 65% 변형 시 경도, hysteresis loop area, hysteresis loss (%), 그리고 Sag factor를 구하였다. 동일한 NCO index에서 물 함량이 증가함에 따라 우레아 결합의 증가로 경도가 증가하고, 가교밀도가 증가하는 경향을 swelling ratio 측정으로 확인하였으며, 이에 따라 복원력은 감소하는 경향을 확인하였다. 또한 표면 경도의 증가로 인해 Sag factor가 감소하는 경향을 확인하였다. 동일한 물 함량에서 NCO index가 증가함에 따라 우레탄과 우레아 결합이 이소시아네이트와 추가 반응하여 가교도와 경도가 증가하고 이에 따라 복원력이 감소함을 확인하였다.

Abstract

In this study, we identified how the water content change in various NCO index affects the static comfort of polyurethane seat foam pad for automobiles. In order to identify factors that affect the static comfort, a static load test was performed using UTM to plot a hysteresis curve. The hardness of the foam when it was modified by 25, 65%, hysteresis loop area, hysteresis loss (%), and Sag factor were also obtained. By measuring the swelling ratio, it was confirmed that, as the water content increased in a fixed NCO index, the hardness and crosslinking density increased while the restoring force decreased due to the increase of urea bond. Also the Sag factor decreased due to the increase of surface hardness. As the NCO index increased in a fixed water content, the urethane and urea bond reacted more with isocyanate, leading to an increase in hardness and decrease in restoring force.

Keywords: polyurethane, comfort, water, NCO index

1. 서 론

폴리우레탄 폼은 폴리올과 이소시아네이트의 반응으로 합성되며, hard segment와 soft segment로 구성된다. 폴리우레탄 폼은 탄성을 가지는 블록 공중합체로써, hard segment는 고분자의 형태를 지탱하는

역할을 하고, soft segment는 고분자의 탄성력에 영향을 주게 된다 [1-2]. 또한, 폴리우레탄의 hard segment를 형성하는 이소시아네이트는 폴리우레탄의 기계적 물성과 유리전이온도에 영향을 주며, soft segment를 형성하는 폴리올은 폴리우레탄의 신장률과 탄성률에 영향을 준다[3]. 폴리우레탄 폼 합성시 화학적 발포제인 물을 사용하게 되면 물과 이소시아네이트와의 반응을 통해 이산화탄소가 발생하게 되고, 우레아 결합이 생성된다. 이산화탄소는 폼을 팽창시키는 역할을 하며, 우레아 결합은 저탄 성 폼의 특성을 저하하는 원인이 된다[4]. 폴리우레탄 합성시 이소시아네이트와 하이드록실기를 가지는 물과 폴리올의 당량비를 NCO index라고 하며 이를 식 (1)에 나타내었다. NCO index를 증가시킬 경우 가교도가 증가하며 과량의 이소시아네이

† Corresponding Author: Kyonggi University,
Department of Chemical Engineering, 154-42, Gwanggyosan-ro, Yeongtong-gu,
Suwon-si, Gyeonggi-do 16227, Korea
Tel: +82-31-249-9790 e-mail: ksb@kgu.ac.kr

트 첨가시에는 이소시아네이트가 우레탄과 우레아와 반응하여 allophanate와 biuret을 형성하므로 가교도와 강도를 증가시키는 역할을 한다. 또한, 가교도의 증가에 의해 반응물의 점도가 상승하여 흐름성을 감소시킨다. NCO index를 증가시키기에 따라 상대적으로 hard segment가 증가하여 폴리우레탄 폼의 flexibility를 감소하고, friability가 증가하게 된다. 이에 따라, 예비발포를 통하여 적정량을 파악한 후 isocyanate index를 결정해야 한다[5].

폴리우레탄 폼은 크게 경질 폴리우레탄 폼과 연질 폴리우레탄 폼으로 구분할 수 있다. 경질 폴리우레탄 폼은 단열재로 사용되며, close cell 구조를 가져 낮은 열전도도를 가지는 장점을 지니고 있다. 연질 폴리우레탄 폼은 경질 폴리우레탄 폼과는 달리, open cell 구조를 가져 낮은 밀도와 우수한 복원력, 공기투과성, 그리고 damping 특성을 가진다[6-8]. 연질 폴리우레탄 폼의 탄성 특성은 점탄성 특성, 폼의 밀도에 의해 주로 영향을 받는다[9-10]. 연질 폴리우레탄 폼은 연속된 open cell 구조를 가지기 때문에 압축 시에 폼 내부의 기공에 있던 기체가 폼 밖으로 빠져나오거나 다른 기공으로 옮겨가며 폼이 압축되게 된다[11]. 연질 폴리우레탄 폼은 자동차 내장재, 가구용 쿠션, 포장재, 매트리스 등 다양한 산업분야에서 사용된다.

폴리우레탄 폼은 압축될 때 내부 구조에 따라 소성 폼과 탄성 폼으로 나눌 수 있다. 소성 폼은 압축 시에 내부 기공이 소성 변형이 일어나 폼에 영구변형이 생기기도 하며, 소성 변형에 의해 히스테리시스 손실량이 많아지는 특성을 가진다. 자동차 시트와 쿠션재로 적합한 탄성 폼은 압축 시에 내부 기공이 탄성 거동을 하며 이완 시에는 압축 시에 받았던 에너지를 다시 외부로 돌려준다. 또한 재료의 점탄성 특성 때문에 적은 양의 에너지만을 소산시키는 것이 특징이다.

Isocyanate index(NCO index)

$$NCO\ index = \frac{Isocyanate\ equivalent\ s}{Polyol\ equivalent}$$

Isocyanate equivalent (1)

$$Isocyanate\ equivalent = \frac{diisocyanate\ 의\ 분자량}{f(no.\ of\ functionality)}$$

$$Sag\ factor = \frac{65\%ILD}{25\%ILD} \quad (2)$$

where 65% ILD : 65% load of polyurethane seat foam pad (kgf/314 cm²)

25% ILD : 25% load of polyurethane seat foam pad (kgf/314 cm²)

시트의 안락감은 자동차 시트 디자인의 가장 중요한 측면 중 하나다. 고려되어지며, 자동차 시트의 안락감을 향상시키는 방법에는 자동차 시트의 모양, 크기 등을 변화시키는 기계적인 방법과 원료의 종류 및 함량 변화를 통해 안락감을 향상시키는 방법으로 구분할 수 있다[12-13]. 일반적으로 자동차 시트의 안락감은 탑승자가 느끼는 착좌감인 정적 안락감과 주행 시 탑승자에게 전달되는 진동에 의한 동적 안락감으로 나누어진다[14].

동적 안락감은 주행 안락감이라고 말하며, 주행 시 탑승자의 신체가 진동에 노출되어지는 동안 전달되는 최대 진동 전달률, 공진 주파수, 그리고 절연 주파수를 통해 폴리우레탄 시트 폼 패드의 안락감을 평가할 수 있다. 또한 자동차 설계에 있어 성능면과 안전도에 영향을 미치

지 않고, 시트만의 동적 특성을 변화시킬 수 있는 장점이 있다[15].

정적 안락감은 자동차 탑승자의 착좌감으로 말할 수 있다. 자동차 시트에 사용되는 폴리우레탄 폼은 히스테리시스(hysteresis) 곡선과 히스테리시스 손실 현상이 내구성과 복원력에 밀접한 관련이 있어 정적 안락감을 평가하는데 중요한 요소라고 알려져 있다[16].

폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감을 평가하기 위하여 히스테리시스 곡선이 가장 많이 논의되어지고 있으며, 폴리우레탄 시트 폼 패드의 안락감은 폼의 두께와 경도에 많은 영향을 받는다[17]. Sag factor는 폴리우레탄 시트 폼 패드가 탑승자를 지탱하는 지지성이라고 볼 수 있으며 식 (2)와 같이 히스테리시스 곡선으로부터 계산되어진다. 히스테리시스 곡선으로부터 얻어진 초기 폴리우레탄 시트 폼 패드의 25% 변형 시 경도를 25% ILD (Indented Load Deflection)라고 하며, 이는 탑승자가 착좌 시 느끼는 안락함으로 말할 수 있다. 또한 65% 변형 시 경도를 65% ILD라고 말하며, 시트가 탑승자를 지지하는 지지성이라고 말한다[18]. Wolfe는 폴리우레탄 시트 폼 패드의 안락감과 Sag factor는 연관이 있으며, 우수한 안락감을 위하여 Sag factor 값이 2.8 이상이 필요하다고 보고했다[19]. Hilyard와 Collier는 높은 Sag factor 값을 가진 시트의 경우 폼 내부 구조에 불규칙한 기공의 분포를 가진다고 보고하였다[20]. Lei 등은 연질 폴리우레탄 폼의 hysteresis loop area를 히스테리시스 곡선을 통하여 확인하였으며, 또한 swelling ratio를 통하여 가교밀도가 증가함에 따라 hysteresis loop area가 증가하는 가교밀도와 복원력의 상관 관계를 연구하였다[2]. Modesti는 isocyanate index가 증가하면 발포체의 기계적 강도가 증가하며, 이를 통해 이소시아네이트의 양을 조절함으로써 발포체의 기계적 물성을 조절할 수 있음을 확인하였다[21]. Kang 등은 NCO index 변화가 폴리우레탄 폼의 기계적 물성에 미치는 영향을 확인하였다[3]. 이전 연구들에서 히스테리시스 곡선과 안락감에 대한 많은 연구가 진행되었지만, 원료가 폴리우레탄 시트 폼 패드의 안락감에 미치는 영향에 관한 상관관계 규명이 미비하다[22]. 또한, 다양한 NCO index에서 물 함량 변화가 폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감에 미치는 영향에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 다양한 NCO index에서 물 함량 변화가 폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감에 미치는 영향을 알아보기 위해 UTM (Universal Testing Machine)을 사용하여 히스테리시스 곡선을 구하였다. 압축 율력과 압축 변형에 의한 25% 변형 시 경도와 65% 변형 시 경도, hysteresis loop area, hysteresis loss (%), 그리고 Sag factor를 구할 수 있는 히스테리시스 곡선과 swelling ratio를 통해 다양한 NCO index에서 물 함량 변화가 폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

2. 실험

2.1. 원료

본 연구에서 사용한 glycerine을 개시제로 한 폴리에테르계 폴리올과 copolymer polyol은 금호석유화학에서 제공받아 사용하였다. 이소시아네이트는 MDI와 폴리올을 중합하여 만든 modified MDI prepolymer를 금호미쓰이화학에서 제공받았다. 계면활성제로는 Dabco사의 실리콘 계면활성제를 사용하였고, 촉매는 Air products사의 아민계 촉매를 사용하였으며, 발포제로는 증류수를 사용하였다. 폴리우레탄 시트 폼 패드 합성을 위한 원료 정보는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Reference Data of Raw Materials

Raw material	Functionality	OH-v	비 고
Polyol A	3	22	Mw : 7500
Polyol B		21	Copolymer polyol (SAN) + Mw : 5000 polyol
		Cell opener	
Surfactant			Silicon copolymer
Catalyst A			Amine catalyst
Catalyst B			
Blowing agent			Distilled water
MDI			modified MDI prepolymer

Table 2. Formulation for Polyurethane Seat Foam Pad

	Index 95	Index 100	Index 105	Index 110
Polyol A	80	80	80	80
Polyol B	20	20	20	20
Cell opener	3	3	3	3
Surfactant	1	1	1	1
Catalyst A	0.45	0.45	0.45	0.45
Catalyst B	0.2	0.2	0.2	0.2
H ₂ O		2.3 / 2.4 / 2.5 / 2.6 / 2.7		
	H ₂ O 2.3	38.56	40.59	42.62
	H ₂ O 2.4	39.94	42.05	44.15
MDI	H ₂ O 2.5	41.33	43.50	45.68
	H ₂ O 2.6	42.71	44.96	47.21
	H ₂ O 2.7	44.09	46.41	48.73

2.2. 폴리우레탄 시트 폼 패드의 합성

폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감을 평가하기 위하여 65 kg/m³ 밀도를 가지는 폴리우레탄 시트 폼 패드(400 mm × 400 mm × 100 mm)를 단힌 몰드에서 cold cure method로 제조하였다. NCO index를 95에서 110으로 변화시키고, 물 함량은 2.3에서 2.7 pphp (part per hundred polyol)로 증가시켰을 때의 폴리우레탄 폼 배합비를 Table 2에 나타내었다.

3.5 L PE 발포컵에 물의 함량을 각각 2.3 pphp에서 2.4, 2.5, 2.6, 그리고 2.7 pphp로 변화시켜 MDI를 제외한 첨가제들과 5 min간 3000 RPM으로 프리믹싱을 하였다. 오븐 온도를 25 °C로 조절하여 프리믹싱 혼합액과 이소시아네이트를 24 h 동안 conditioning 하였다. 금형의 온도는 60 °C로 설정하고, 실리콘 이형제를 균일하게 도포하였다. NCO index는 95, 100, 105, 그리고 110까지 변화시켰으며, two component method를 사용하여 프리믹싱 혼합액에 MDI를 첨가 후, 8 s 동안 교반하고 금형에 부어 단힌 금형에서 10 min간 경화시켰다. 합성된 폴리우레탄 시트 폼 패드를 10 min간 경화시킨 후, 탈형하여 크리칭 작업을 진행하였다. 이후, 폴리우레탄 시트 폼 패드는 상온에서 3 일간 후경화를 진행시킨 후 물성을 측정하였다.

2.3. 분석

2.3.1. 정하중 특성 분석

폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감을 평가하기 위하여 UTM을 이용하여 정하중 특성 시험을 진행하였다. 가압판의 직경은 200 mm이며, 100 mm/min의 하중 속도와 하중 제거 속도로 처음 두께의

75%까지 3회 압축을 진행하고, 4회 압축 시험 때의 히스테리시스 곡선을 나타내었다. 이를 이용하여 초기 폴리우레탄 시트 폼 패드 두께에 대한 변형이 25, 65%일 때의 경도와 Sag factor, hysteresis loop area, hysteresis loss (%)를 구하였다.

2.3.2. Swelling ratio 측정

고분자의 가교밀도는 swelling ratio와 DMA (Dynamic Mechanical Analysis)로 확인할 수 있다. 적절한 용매에 담겨진 가교된 고분자는 평형에 도달할 때까지 용매를 흡수하게 되어 swelling 된다. 본 연구에서는 폴리우레탄 시트 폼 패드의 가교밀도를 측정하기 위하여 swelling ratio 측정법을 사용하였다[23].

폴리우레탄 시트 폼 패드는 20 mm × 20 mm × 20 mm로 발포 방향에 평행하게 커팅하여 용매인 toluene이 평형에 도달할 때까지 swelling시킨다. Swelling ratio는 swelling된 3개의 샘플들을 120 °C에서 2 h 동안 건조하여 무게를 측정한 후, 다음과 같은 식 (3)을 통하여 구하였다.

$$Swelling\ Ratio = 1 + \left(\frac{w_s}{w_g} \times \frac{d_p}{d_s} \right) \tag{3}$$

where w_s : is the weight of the solvent in gel (g)
 w_g : is the weight of the gel (g)
 d_p : is the density of the polymer (g/mL)
 d_s : is the density of the solvent (g/mL)

Table 3. Properties of Polyurethane Seat Foam Pad

Index 95					
	2.3 pphp	2.4 pphp	2.5 pphp	2.6 pphp	2.7 pphp
Density (kg/m ³)	64	64	63	64	65
25% ILD (kgf/314 cm ²)	15.55	17.35	21.25	21.00	23.90
65% ILD (kgf/314 cm ²)	48.30	54.95	62.75	64.35	71.45
Hysteresis loop area	299.98	343.17	424.62	445.02	502.77
Hysteresis loss (%)	15.12	15.31	16.20	16.75	16.85
Sag factor	3.11	3.17	2.95	3.06	2.99
Index 100					
Density (kg/m ³)	65	65	66	67	66
25% ILD (kgf/314 cm ²)	18.80	20.25	22.40	26.50	28.90
65% ILD (kgf/314 cm ²)	60.75	63.75	69.15	79.40	85.20
Hysteresis loop area	384.63	455.00	518.70	579.34	606.17
Hysteresis loss (%)	15.59	17.50	18.67	17.52	16.99
Sag factor	3.23	3.15	3.09	3.00	2.95
Index 105					
Density (kg/m ³)	63	65	65	65	67
25% ILD (kgf/314 cm ²)	22.10	26.65	27.70	31.10	33.50
65% ILD (kgf/314 cm ²)	66.30	78.50	80.20	91.15	102.00
Hysteresis loop area	458.09	519.05	531.55	673.58	771.51
Hysteresis loss (%)	16.66	15.84	15.79	17.63	18.60
Sag factor	3.00	2.95	2.90	2.93	3.04
Index 110					
Density (kg/m ³)	65	66	67	68	66
25% ILD (kgf/314 cm ²)	25.35	29.15	33.15	33.90	36.25
65% ILD (kgf/314 cm ²)	76.6	82.5	94.5	97.45	102.25
Hysteresis loop area	524.81	629.48	724.35	742.62	794.99
Hysteresis loss (%)	16.40	17.82	18.01	18.52	18.60
Sag factor	3.02	2.83	2.85	2.87	2.82

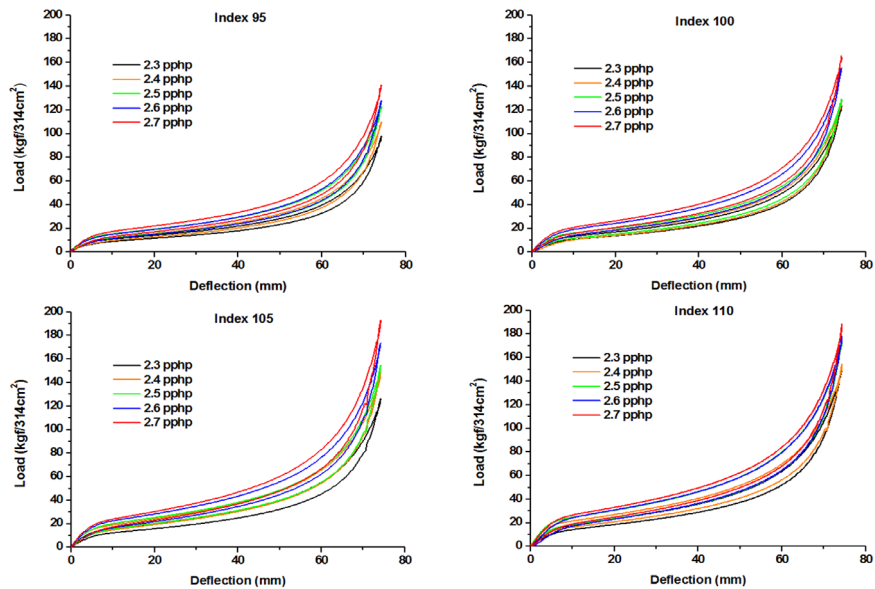


Figure 1. Hysteresis curves of polyurethane seat foam pad with various water content and NCO index.

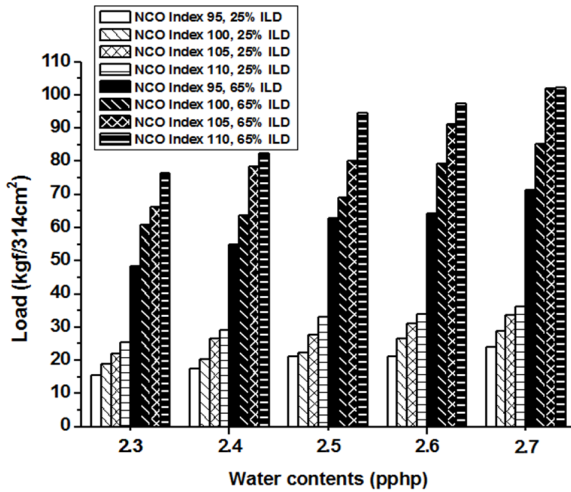


Figure 2. ILD for 25, 65% of Polyurethane seat foam pad at various NCO index.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시트 폼 패드의 정적 안락감 특성 분석

NCO index에 따른 물 함량 변화가 정적 안락감에 미치는 영향을 알아보기 위하여, NCO index 95, 100, 105, 110에서 물의 함량을 각각 2.3 pphp, 2.4, 2.5, 2.6, 그리고 2.7 pphp로 변화시키면서 폴리우레탄 시트 폼 패드를 합성하였다. 폴리우레탄 시트 폼 패드의 밀도는 겉보기 밀도를 사용하여 측정하였고, 합성된 폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감 특성은 정하중 특성 시험을 통해 측정하였다. 정적 안락감을 분석하기 위한 히스테리시스 곡선은 예비 압축을 3회 진행한 후에 4회째의 정하중 특성 시험 결과로 Figure 1에 나타내었다. 또한 정하중 특성 시험을 통해 얻은 25, 65% 정도, hysteresis loop area, hysteresis loss (%), 그리고 Sag factor의 각 결과는 Table 3에 나타내었다.

Hysteresis loop area는 고분자의 단위 부피당 에너지 손실에 관계된 것으로 복원력이라 말할 수 있다[2]. 복원력이 100%인 완전탄성체인 경우 hysteresis loop area가 0이 되며, 복원력이 감소함에 따라 hysteresis loop area가 커지게 된다[24-25]. 폴리우레탄 폼에서 복원력이 떨어지는 경우는 미반응된 폴리올에 의해 damping 특성이 감소하거나, 수소결합이나 가교도와 같은 hard segment가 증가하여 복원력이 감소하는 경우로 구분지어질 수 있다[26]. 즉, 폴리우레탄 폼의 압축 하중이나 점성이 특정 범위를 벗어날 경우 복원력은 감소하게 된다[27]. Figure 1과 Table 3에서 보는 바와 같이 NCO index가 95인 폴리우레탄 시트 폼 패드는 물 함량이 증가함에 따라 25, 65% 정도가 증가하는 경향을 나타냈으며, 복원력은 감소하는 경향을 확인하였다. 우레탄 결합과 우레아 결합은 폴리우레탄을 형성하는 hard segment로써 강도를 증가시키는 역할을 하며, 우레아-우레아 결합과 우레아-우레탄 결합간의 수소결합이 분자간 인력으로 작용하여 폴리우레탄 시트 폼 패드의 경도가 증가한 것으로 사료된다[28-29].

폴리우레탄 시트 폼 패드 합성시 동일한 물의 함량을 첨가하고 NCO index를 증가시킬 경우, NCO index가 95인 폴리우레탄 시트 폼 패드의 이소시아네이트 양이 NCO index가 100, 105, 110인 폴리우레탄 시트 폼 패드의 첨가된 이소시아네이트 함량보다 상대적으로 적은 이소시아네이트 함량이 첨가되었기 때문에 hard segment가 감소하여 상대적으로 복원력이 우수하고 경도가 낮은 시트 폼 패드가 합성됨을

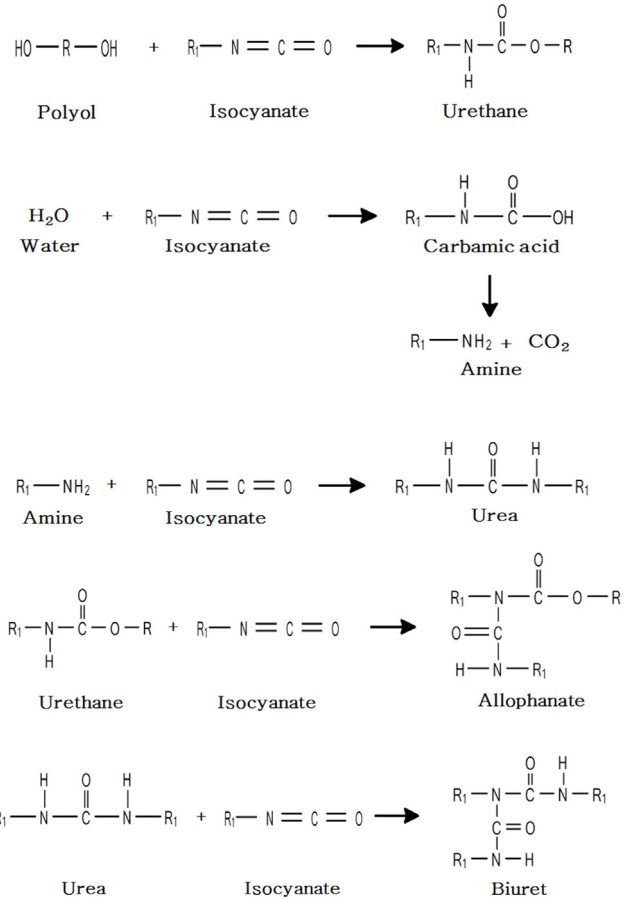


Figure 3. Conversion mechanism of polyurethane.

확인하였다[3].

Figure 2에서는 물 함량 증가에 따라 NCO index가 95, 100, 105, 그리고 110인 폴리우레탄 시트 폼 패드의 25%와 65%에서의 정도 변화를 나타내었다. NCO index 100, 105, 그리고 110인 폴리우레탄 시트 폼 패드는 물 함량 증가에 따라 두께 변형에 대한 25, 65% 정도가 증가하는 경향을 확인하였으며, 복원력은 감소하는 경향을 나타내었다. 폴리우레탄 시트 폼 패드 합성 시 이소시아네이트가 과량으로 첨가되어 우레탄 결합과 우레아 결합이 이소시아네이트와 추가 반응하여 allophanate와 biuret이 생성되며 이에 대한 반응식을 Figure 3에 나타내었다. Allophanate와 biuret 결합이 우레탄 결합과 우레아 결합간의 가교역할을 함으로써, hard segment가 증가하여 경도가 증가하고 복원력이 감소하는 경향이 나타났다고 판단된다[30-31].

3.2. Sag factor를 통한 정적 안락감 분석

폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감을 분석하기 위하여 히스테리시스 곡선을 통해 Sag factor를 구하였으며, 이를 Table 3에 나타내었다. Sag factor는 폴리우레탄 시트 폼 패드의 정적 안락감 분석 중 시트 폼 패드의 지지성을 확인하는 지표로써, 시트 폼 패드 표면의 견고함과 deep-down 시의 지지성의 차이를 나타낸 값으로 정의된다. Sag factor 값이 2.0 이하의 값을 가지는 폴리우레탄 시트 폼 패드는 지지성이 떨어지며, 배합비에 문제가 있는 것으로 알려져 있다[32]. 본 연구에서 동일한 NCO index를 가지는 폴리우레탄 시트 폼 패드의 경우, 물 함량이 증가함에 따라 우레아 결합이 증가하고, 이에 따라

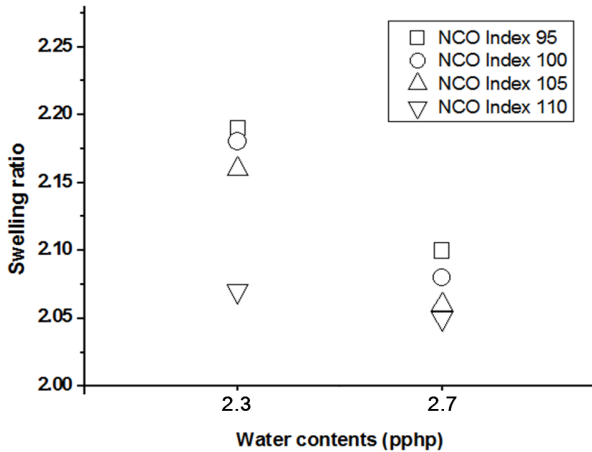


Figure 4. Swelling ratio of polyurethane seat foam pad.

초기 변형에 대한 표면의 경도가 증가하여 Sag factor 값이 감소하는 경향이 나타남을 확인하였다. 동일한 물 함량을 첨가할 경우, NCO index 증가에 따라 hard segment의 증가로 인해 경도가 증가하여 합성한 폴리우레탄 시트 폼 패드의 Sag factor 값이 감소하는 경향을 나타내었다.

3.3. Swelling ratio를 통한 가교밀도 분석

폴리우레탄 시트 폼 패드의 가교밀도가 복원력에 미치는 영향을 확인하기 위하여, swelling ratio를 측정하여 Figure 4에 나타내었다. Swelling ratio가 낮은 값을 가지는 것은 높은 가교밀도를 가진다고 말할 수 있다[2].

물 함량을 2.3 pphp에서 2.7 pphp로 변화시키고, 동일한 NCO index를 가지는 폴리우레탄 시트 폼 패드의 경우에는 우레아 결합이 증가하여 우레아-우레아 결합과 우레아-우레탄 결합간의 수소결합이 증가하여 swelling ratio가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 동일한 물 함량을 첨가하고, NCO index를 증가시키에 따라 swelling ratio가 감소하고, 가교밀도가 증가하는 경향을 확인하였다. 이는 NCO index가 증가함에 따라 폴리우레탄 시트 폼에 과량의 이소시아네이트가 첨가되어 hard segment가 증가하였기 때문이라고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동차용 폴리우레탄 시트 폼 패드 합성 시 다양한 NCO index에서 물의 함량이 정적 안락감에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 폴리우레탄 시트 폼 패드의 정하중 특성 시험을 통하여 히스테리시스 곡선을 나타냈으며, 이에 대한 정적 안락감 특성을 확인하였다.

NCO index가 95인 폴리우레탄 시트 폼 패드에서 미반응 폴리올 증가로 인해 복원력이 우수하고 경도가 낮은 폴리우레탄 시트 폼 패드가 합성되었다. 물 함량이 증가함에 따라 우레아 결합 생성 증가로 인해 경도가 증가하였다. 또한 가교밀도가 증가하는 경향을 swelling ratio 측정으로 확인하였으며, 이에 따라 복원력은 감소하는 경향을 확인하였다. 또한 표면 경도의 증가로 인해 Sag factor는 감소하는 경향을 확인하였다.

NCO index가 100, 105, 110인 폴리우레탄 시트 폼 패드에서는 우레탄 결합과 우레아 결합이 이소시아네이트와 추가 반응하여 경도가 증가함을 확인하였다. 가교밀도가 증가하는 경향을 swelling ratio 측

정을 통해 확인하였으며, 이에 따라 복원력이 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 물 함량이 증가함에 따라 Sag factor가 감소하는 경향을 나타내었다.

감 사

본 연구는 2016학년도 경기대학교 대학원 연구원 장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

본 연구는 NGV 산학연구 과제의 지원을 통해 수행되었음.

References

1. P. Cinelli, I. Anguillesi, and A. Lazzeri, Green synthesis of flexible polyurethane foams from liquefied lignin, *Eur. Polym. J.*, **49**(6), 1174-1184 (2013).
2. Y. Lei, S. Zhou, H. Zou, and M. Liang, Effect of crosslinking density on resilient performance of low-resilience flexible polyurethane foams, *Polym. Eng. Sci.*, **55**(2), 308-315 (2015).
3. S. K. Kang, I. S. Cho, and S. B. Kim, Effect of isocyanate index on the physical properties of rigid polyurethane foam under sea water, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **19**(4), 427-431 (2008).
4. S. W. Lee, J. H. Kim, K. H. Kim, Y. K. Yang, C. I. Ahn, and Y. C. Myong, The relationship between blowing agents and inner temperature at the preparation of flexible polyurethane foams, *J. Korean Oil Chem. Soc.*, **16**(2), 179-185 (1999).
5. G. Wegener, M. Brandt, L. Duda, J. Hofmann, B. Kleszczewski, D. Koch, R. J. Kumpf, H. Orzesek, H. G. Pirkl, C. Six, C. Steinlein, and M. Weisbeck, Trends in industrial catalysis in the polyurethane industry, *Appl. Catal. A*, **221**(1-2), 303-335 (2001).
6. I. Javni, K. Song, J. Lin, and Z. S. Petrovic, Structure and properties of flexible polyurethane foams with nano- and micro-fillers, *J. Cell. Plast.*, **47**(4), 357-372 (2011).
7. Y. Lin, F. Hsieh, and H. E. Huff, Water-blown flexible polyurethane foam extended with biomass materials, *J. Appl. Polym. Sci.*, **65**(4), 695-703 (1997).
8. B. J. Rashmi, D. Rusu, K. Prashantha, M. F. Lacrampe, and P. Krawczak, Development of water-blown bio-based thermoplastic polyurethane foams using bio-derived chain extender, *J. Appl. Polym. Sci.*, **128**(1), 292-303 (2013).
9. M. Petru and J. Petrik, Systems to optimize comfort and developments of car seat, *Acta Technica Corviniensis - Bull. Eng.*, **4**(2), 55-59 (2009).
10. M. H. Courtney, L. J. Charlton, and K. Seel, Influence of foam density on automobile seat performance, *J. Cell. Plast.*, **25**(5), 472-486 (1989).
11. J. P. Armistead, G. L. Wilkes, and R. B. Turner, Morphology of water-blown flexible polyurethane foams, *J. Appl. Polym. Sci.*, **35**(3), 601-629 (1988).
12. K. Ebe and M. J. Griffin, Factors affecting static seat cushion comfort, *Ergonomics*, **44**(10), 901-921 (2001).
13. S. K. Jeoung, P. C. Lee, B. R. Kim, K. D. Lee, W. K. Lee, and H. J. Kwon, A study of flame resistant polyurethane foam in engine room of automotive, *KSAE Spring Conference Proceedings*, 933-934 (2015).
14. T. H. Kim, D. Y. Kim, H. Y. Kim, J. S. Oh, S. H. Lee, K. Y. Choi, B. H. Park, and C. K. Yim, Prediction of supporting behav-

- ior for seat foam pad considering viscoelastic properties, *KSAE 2012 Annual Conference and Exhibition*, **11**, 1877-1879 (2012).
15. V. Filegel and R. Martonka, Characteristics of PU foams at long term static and dynamic loading, *Appl. Mech. Mater.*, **732**, 149-152 (2015).
 16. C. H. Hong, H. S. Back, K. M. Kim, S. Y. Kim, S. M. Choi, and T. W. Hwang, Polyurethane flexible foam for automotive seat cushion having both superior static and dynamic properties, *Polym. Korea*, **31**(1), 47-52 (2007).
 17. J. Lee and P. Ferraiuolo, Seat comfort, *SAE Technical Papers*, No. 930105 (1993).
 18. H. Wada, Y. Toyota, A. Horie, T. Sasaki, C. Suzuki, and H. Fukuda, Automotive seating foams with excellent riding comfort prepared by a novel polypropylene glycol, *Polym. J.*, **40**, 842-845 (2008).
 19. H. W. Wolfe, Cushioning and fatigue, In: N. C. Hilyard (ed.), *Mechanics of Cellular Plastics*, Applied Science Publishers, UK, 99-142 (1982).
 20. N. C. Hilyard and P. Collier, Effect of vehicle seat cushion material on ride comfort, *Plastic on the Road, The Plastic and Rubber Institute International Conference*, December 5-6, London (1984).
 21. M. Modesti and A. Lorenzetti, An experimental method for evaluating isocyanate conversion and trimer formation in polyisocyanate-polyurethane foams, *Eur. Polym. J.*, **37**(5), 949-954 (2001).
 22. J. S. Oh, D. Y. Kim, T. H. Kim, H. Y. Kim, S. H. Lee, and K. Y. Choi, Numerical prediction of the viscoelastic deformation of seat foam in response to long-term driving, *Proc. Inst. Mech. Eng. D: J. Automobile Eng.*, 1-12 (2014).
 23. S. Li, R. Vatanparast, and H. Lemmetyinen, Cross-linking kinetics and swelling behaviour of aliphatic polyurethane, *Polym.*, **41**(15), 5571-5576 (2000).
 24. S. W. White, S. K. Kim, A. K. Bajaj, P. Davies, D. K. Showers, and P. E. Liedtke, Experimental techniques and identification of nonlinear and viscoelastic properties of flexible polyurethane foam, *Nonlinear Dyn.*, **22**(3), 281-303 (2000).
 25. C. S. Shim, J. S. Oh, and C. K. Hong, Improving light stability of nature rubber latex foam, *Elast. Compos.*, **50**(2), 81-86 (2015).
 26. Y. C. Chern, S. M. Tseng, and K. H. Hsieh, Damping properties of interpenetrating polymer networks of polyurethane-modified epoxy and polyurethanes, *J. Appl. Polym. Sci.*, **74**(2), 328-335 (1999).
 27. C. R. Mehta and V. K. Tewari, Damping characteristics of seat cushion materials for tractor ride comfort, *J. Terramech.*, **47**(6), 401-406 (2010).
 28. M. van der Schuur, E. van der Heide, J. Feijen, and R. J. Gaymans, Elastic behavior of flexible polyether(urethane-urea) foam materials, *Polym.*, **45**(8), 2721-2727 (2004).
 29. C. S. Wong and K. H. Badri, Chemical analyses of palm kernel oil-based polyurethane prepolymer, *Mater. Sci. Appl.*, **3**, 78-86 (2012).
 30. J. Y. Jang, Y. K. Jhon, I. W. Cheong, and J. H. Kim, Effect of process variables on molecular weight and mechanical properties of water-based polyurethane dispersion, *Colloids Surf.*, **196**(2-3), 135-143 (2002).
 31. M. Ravey and E. M. Pearce, Flexible polyurethane foam. I. Thermal decomposition of a polyether-based, water-blown commercial type of flexible polyurethane foam, *J. Appl. Polym. Sci.*, **63**(1), 47-74 (1997).
 32. T. M. Rogge, C. V. Stevens, A. Vandamme, K. Booten, B. Levecke, C. D'hooge, B. Haelterman, and J. Corthouts, Application of ethoxylated inulin in water-blown polyurethane foams, *Biomacromolecules*, **6**(4), 1992-1997 (2005).