

우르시올을 첨가한 자동차 시트용 항균 폴리우레탄 발포체 개발

홍채환[†] · 김현성* · 박헌희* · 김연희** · 김상범** · 황태원

현대자동차 연구개발본부, *금호미쓰이(주), **경기대학교 화학공학과
(2006년 4월 28일 접수, 2006년 8월 28일 채택)

Development of Antimicrobial Polyurethane Foam for Automotive Seat Modified by Urushiol

Chae-Hwan Hong[†], Hyun-Sung Kim*, Heon-Hee Park*, Youn-Hee Kim**, Sang-Bum Kim**, and Tae-Won Hwang

Hyundai-Kia Motors Co., Ltd., 772-1, Jangduk-dong, Hwaseong-city, Gyeonggi 445-855, Korea

*Kumho Mitsui Chemicals, Inc., 1292, Hwachi-dong, Yosu-city, Jeonnam 555-280, Korea

**Department of Chemical Engineering, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

(Received April 28, 2006; accepted August 28, 2006)

초록 : 천연 옷 나무에서 추출되는 항균물질 우르시올을 폴리우레탄 발포체 성형 시스템에 도입하여 항균 폴리우레탄 발포체를 제조하였다. 항균물질 우르시올 첨가량을 증가시키는 경우 발포체 성형 반응성이 약간 저하되는 것이 관찰되었으나 기계적 물성 측면에서는 항균물질 미처리 발포체와 비교하여 큰 물성저하는 관찰되지 않았다. 반면 항균성 측면에서는 항균물질 미처리 발포체에 비하여 초기 균수 대비 균수의 성장성이 감소되는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract : New antibacterial polyurethane foams for car seat with Urushiol extracted from a natural lacquer were prepared. Influences of antibacterial agent's concentration on the reactivity with isocyanate and the mechanical properties of foams were investigated. It was observed that the urethane formation reaction was delayed a little when the amount of Urushiol was increased. However, the foams made using Urushiol showed similar property to the neat polyurethane foam. In terms of antibacterial property, the foams prepared with Urushiol showed better performance than the neat polyurethane foam.

Keywords : automotive seat, polyurethane foam, antimicrobial material, Urushiol.

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 빅3의 본격적인 할인 판매 등 세계의 자동차 시장은 이제 전장 없는 전투를 벌이고 있다. 따라서, 이러한 자동차 시장의 환경변화에 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.¹⁻¹⁸

이러한 관점에서 자동차 실내의 쾌적성을 확보하는 것이 자동

차의 주요한 성능 중에 하나로 인식되고 있다. 자동차 실내 쾌적성 개선을 위하여 여러 제품이 시판되고 있는데 초기에는 단순히 방향(Aroma)을 통한 냄새제거에서 점차로 항균기능을 요구하고 있는 추세이다. 그러나 항균은 실질적으로 접촉에 의해서만 작용되기 때문에 항균물질의 단순 물리적 분산에 의한 항균물질의 항균특성은 효과적이지 않는 것으로 보고되고 있다.

고분자 재료의 항균처리 방법은 크게 두 가지 방법으로 분류할 수 있다. 첫번째 방법은 유기계 항균 화학물질을 소재의 표면이나 내부에 도입하여 항균성을 부여하는 것이다. 이 방법은 항균성 측면에서 비교적 높은 특성을 보이나 그 지속성 측면에서 유효기간이 매우 짧다는 단점이 있다. 현재 문헌상에 보고된 물질들은 유기수용 화합물, 유기크롬산 구리화합물, 유기구리 화합물, 유기이온 화합물, 기타의 유기금속 화합물과 염소페닐 에테르계, 유기질소계 화합물, 유기실리콘 제4급 암모니움 등이 있다. 이들 가운데 유기금속 화합물은 전체적으로 살균성이 강하지만 유기수는 화합물, 유기크롬산 구리화합물 등은 특히 독성이 강하기 때문에 고분자 재료의 항균제로 적용되는 것은 금지되고 있다. 현재 일반적으로 많이 쓰이고 있는 유기계 항균제는 염소페닐 에테르계, 유기실리콘 제4급

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: hong@hyundai-motor.com

암모니아염, 유기질소계 화합물, 양이온 활성을 가진 유기실란 화합물 등이다.¹⁹ 두번째 방법은 항균성을 보이는 무기입자 및 금속입자를 소재와 혼합하거나 컴파운딩하여 소재에 첨가하는 방법이다. 이 방법은 전자의 방법에 비하여 항균성 측면에서 낮은 특성을 보이는 단점이 있으나 그 지속성 측면에서 전자에 비하여 약간 우수한 특징이 있으나 항균성이 낮으며 소재의 특성에 따라서 적용상 제약이 있다. 무기계 항균제는 제오라이트, 실리카알루미나 등의 무기담체에 은, 구리, 아연, 등과 같이 항균성이 뛰어난 금속 이온을 치환시킨 것으로 미세한 기공을 가진 3차원의 골격구조를 지니기 때문에 표면적이 크고 내열성이 우수한 특징이 있다. 그러나 고분자재료에 적용하는 경우 고분자재료를 열화시키거나 황변현상을 야기시킬 수 있는 문제점이 있는 것으로 보고되고 있다.

폴리우레탄 발포 소재 항균의 경우 항균성 무기입자 첨가방식의 특화가 일부 보고되어 있기는 하나 이 방법에 의한 항균성이 실제적으로 발현되는지에 대해서는 확인된 바가 없으며, 그 외 다른 항균처리 방식에 관한 연구가 매우 미진한 편이다.²⁰⁻²² 폴리우레탄 발포체는 셀 구조로 인하여 습한 조건에서 습기 함유가 매우 빠르게 진행되며 미생물의 서식이 원활하게 이루어진다. 이러한 미생물이 서식하면서 대사작용에 의해 발생하는 냄새의 문제와 미생물이 죽은 후 그 사체가 부패하면서 발생하는 냄새의 문제가 있다. 자동차 시트용 폴리우레탄 발포체의 경우 자동차 조립시 초기 장착 이후 매우 긴 시간을 사용하기 때문에 한번 서식한 미생물의 문제는 시트 발포체를 완전 교체하지 않는 한 미생물의 완전한 제거는 불가능하고 그러한 이유로 폴리우레탄 발포체의 항균화 연구는 매우 필요한 상태이다.

본 연구에서는 영구적으로 항균성을 보유하는 폴리우레탄 시트패드용 발포체를 개발하기 위하여 항균작용이 있는 것으로 알려진 우르시올(Urushiol)을 옷에서 추출하여 폴리우레탄 발포 시스템에 도입하고자 하였다. 최종 폴리우레탄 발포체의 항균성에 미치는 우르시올의 함량, 발포체 성형성 및 발포체의 물성에 미치는 우르시올의 영향을 고찰하고자 하였다.

실 험

재료 항균 폴리우레탄 발포체 제조에 적용된 항균물질 우르시올은 천연 옷액으로부터 아세톤 추출방식을 사용하여 추출하였고 그 화학구조는 Figure 1과 같다. 구체적인 추출방법은 아세톤과 천연 옷액을 부피비 3:1로 혼합한 후 약 30분 교반 후 2시간 교반을 중지 후 침전물과 상층부 액을 분리한 상층부 액 중에 포함된 아세톤을 감압증발시키는 방법으로 우르시올을 추출하였다. 이소시아네이트는 NCO 함량이 35%인 modified methylene diphenylene iso-

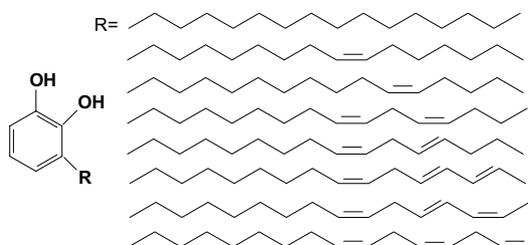


Figure 1. Chemical structure of Urushiol.

cynate(MDI)를 사용하였다. 사용된 폴리올은 폴리에테르 폴리올을 사용하였으며 3관능기의 분자량 6500인 산화프로필렌과 산화에틸렌의 공중합체를 사용하였다. 발포제 및 분석용제로 사용된 물은 증류한 후 Millipore 정수장치를 통한 탈 이온수를 사용하였다. 가교제는 diethanolamine(DEOA, KPC, 98.5%), 발포 촉매는 triethylenediamine(TEDA, Dabco 33 LV, Air Products), 실리콘계면활성제는 polysiloxane-polyoxyalkylene copolymer(L-3002, Air Products)를 사용하였다. 수산기값의 측정을 위한 피리딘(Kanto Chemical Co., 99.5%), 무수프탈산(Junsei Chemical Co., 99.5%)과 흐림점의 측정에 사용된 NaCl(Junsei Chemical Co., 99.5%), 이소시아네이트 함량측정에 사용된 di-n-butylamine(Yakuri Pure Chemicals Co., 99.0%), o-dichlorobenzene(Kanto Chemical Co., 99.0%)은 입수한 그대로 사용하였다.

발포체 제조 2 L 플라스틱 반응용기에 폴리에테르 폴리올, 물, DEOA, Dabco 33 LV, L-3002 등을 넣고 적정량의 우르시올을 첨가하여 최종 프리믹스를 제조하였다. 기계식 교반기를 사용하여 레진프리믹스를 3000 rpm으로 20초간 혼합한 후 온도를 25 °C로 조정하였다. 여기에 미리 계량하여 온도를 25 °C로 조정하여 둔 이소시아네이트를 첨가하여 3000 rpm으로 5초간 혼합하고 이 혼합액을 순환 항온조를 이용하여 60 °C로 조절한 400×400×100 mm의 시험용 알루미늄 주형에 붓고 뚜껑을 닫은 후 발포반응을 진행하였다. 발포반응은 반응액의 혼합시점부터 5분간 진행한 후 주형을 열고 발포체를 탈형하였다. 또한 고압 기계식 발포기를 사용하여 자동차 시트용 발포체 성형 금형에 원료액을 분사하여 발포체 패드 시제품을 제조하였다. 발포체 성형 배합비는 Table 1과 같다.

분석방법

수산기값(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) 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 혼

Table 1. Formulations of Antimicrobial PU Foams

Formulations ^a	A0	A1	A2	A3
Polyether polyol ^b	100	100	100	100
Crosslinker ^c	0.8	0.8	0.8	0.8
Gel catalyst ^d	0.6	0.6	0.6	0.6
Silicon surfactant ^e	1.0	1.0	1.0	1.0
Water ^f	3.6	3.6	3.6	3.6
Urushiol	0	0.15	0.3	0.6
MDI(index) ^g	100	100	100	100

^aAll formulation amounts are given as parts per hundred of polyol, pphp. ^bEthylene oxide capped triol, MW 6500(Korea polyol Co.). ^cDiethanolamine(Korea polyol Co.). ^d33% triethylene diamine in dipropylene glycol(Air Products). ^ePolysiloxane-polyoxyalkylene copolymer(Air Products). ^fDeionized water. ^gNCO Index=35.5%.

탁하게 되는 시점의 온도를 측정하며 이를 흐름점으로 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 발포 조성물의 혼합부터 발포체의 rising이 끝날 때까지의 시간을 나타낸다. 위의 발포체 제조방법과 동일한 절차에 따라 폴리올 혼합물(폴리올, 물, DEOA, Dabco 33LV, L-3002, 우르시올)과 이소시아네이트를 혼합하여 시험용 주형에 붓고 반응이 진행됨에 따라 초시계를 사용하여 육안으로 CT와 RT를 측정하였다.

이소시아네이트 함량 : 발포중에 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, 우르시올)과 이소시아네이트의 반응물을 2 L 플라스크 반응용기에 붓고 발포가 진행됨에 따른 발포체의 높이 변화를 관찰하여 RT에서의 발포체 높이와 RT 5분 후 발포체의 높이 감소를 측정한다. 발포체의 구조적인 안정성은 다음의 식에 따라 계산하였다.

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

항균특성 : 항균특성 평가는 한국 공업규격 KS K 0693-1990 (직물의 항균도 시험방법)으로 평가하였다. 실험방법은 시험편과 대조편을 고시균으로 접종 및 배양시킨 후 일정량의 액체 속에 진탕시켜 배양된 세균을 추출한 후 이 액체속에 존재하는 세균의 수를 측정하였다. 사용 균주는 Escherichia Coli/ATCC 25922을 사용하였다.

형태학적 성질 : 최종 발포체의 형태학적 관찰을 위하여 주사전자현미경(JEOL, JSM-840A)을 사용하여 발포체의 구조를 관찰하였으며 측정시 배율은 40배로 하였다.

기계적 물성 : 최종 발포체의 기계적 물성은 Instron사의 universal testing machine(UTM) Instron 4467 모델을 사용하여 ASTM 규격에 의거하여 측정하였다. 각각 배합비 시편에 대하여 5개의 성형발포체에 대한 물성 평가 후 그 평균값을 취하였다.

결과 및 토론

폴리올, 물, 가교제, 아민촉매, 실리콘 계면활성제 및 항균물질 우르시올을 함유하는 폴리올 레진 프리믹스와 이소시아네이트의 반응을 통하여 폴리우레탄 발포체를 합성하였다. 우르시올의 함량을 증가시킬 때의 반응 시스템의 반응속도 및 발포체의 구조적인 안정성, 형태학적 성질에 관하여 조사하였으며 이를 통하여 항균물질 우

Table 2. Physical Properties of Antimicrobial Foams

Formulations	A0	A1	A2	A3
CT/RT	8/95	8/96	8/98	8/99
Dco (kg/m ³)	47.1	47.5	47.9	49.8
25% ILD ^a (kg/cm ²)	25	26	25.1	26
Sag Factor	3.1	3.08	3.16	3.03
B.R.(%)	66	66	66	66
T.S.(kg/cm ²)	1.78	1.65	1.73	1.81
Compression set (%) ^b	9.5	8.7	8.9	10.0
Curing	good	good	good	good

^aIndentation load deflection. ^b70 °C, 22 hours, 50% deflection.

르시올이 폴리우레탄 발포체 성형 시스템에 어떤 역할을 하는지 알아보았다. 아울러 우르시올의 함량증가에 따른 발포체의 기계적 물성 변화를 고찰하였다.

반응특성 및 물리적 물성 : 우르시올 항균물질이 첨가되는 경우의 반응특성 및 물리적 물성변화를 고찰하고자 현재 자동차용 시트 발포체에 적용되고 있는 폴리우레탄 반응 시스템을 기준 조건으로 적용하여 우르시올 첨가 폴리우레탄 시스템과의 비교 평가를 하였다. 성형된 발포체의 물리적, 기계적 물성 평가결과는 Table 2와 같다. 비교평가 항목으로 밀도, 25% ILD, Sag Factor, 반발탄성, 인장강도, 파단신율, 인열강도, 영구압축 변형률, 경화성 등을 비교, 평가하였다.

반응특성은 발포체 제조시 cream time(CT)와 rise time(RT)를 측정하였다. CT는 발포 조성물들의 혼합시작부터 이들 반응 혼합물의 부피와 점도의 변화가 시각적으로 관찰되는 시점까지의 시간간격을 나타내며, RT는 발포 조성물의 혼합부터 발포체의 rising이 끝나는 시점까지의 시간을 나타낸다. 우르시올 첨가 폴리우레탄 발포체의 경우 미첨가 발포체에 비하여 RT가 증가되는 양상을 나타내었다. 이는 우르시올 첨가에 따라 반응성이 약간 늦어지는 것으로 생각할 수 있는데, 그러한 원인으로 우르시올의 방향족 구조 및 긴 알킬사슬을 곁가지로 가지고 있는 분자구조적 특성에서 기인되는 점도상승과 발포제인 물과 수소결합을 형성하여 물과 NCO간의 우레아 생성반응을 지연시키고 이로 인해 전체 반응속도가 저하되는 것으로 추측된다. 이 현상에 대하여는 추가 연구를 통하여 밝히고자 한다. 압축 변형률의 경우 우르시올 함량이 증가함에 따라 변형률이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 우르시올의 곁가지 분자구조에 의한 영향으로 추측된다.

항균특성 : 항균특성 평가는 시험편과 대조편을 고시균으로 접종 및 배양시킨 후 18시간 경과된 시점에서 균 수의 측정을 통하여 비교하였다. 그 결과는 Table 3과 같다. 18시간 경과시점에서 균 수를 측정하는 이유는 초기 주입균이 18시간 경과시점에서 가장 왕성한 번식을 보이기 때문이다. 따라서 초기 주입 균 수 대비 18시간 후 균 수 증가율이 낮은 경우 항균성이 있는 것으로 판단할 수 있다. 시험결과 우르시올 미첨가 발포체의 경우 초기 균 수 대비 18시간 후 약 6000배의 균 수 증가율을 보였다. 반면 우르시올 0.15 pphp 첨가 발포체의 경우 약 2200배의 균 수 증가율을 보였다. 또한 우르시올 첨가량이 0.6 pphp의 경우 1700배의 증가율

을 보였다. 이로부터 우르시올 항균 폴리우레탄 발포체는 일반 항균 미처리 발포체에 비하여 약 63%의 항균 상승 효과가 있는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 옷나무에서 추출되는 우르시올이 이소시아네이트와의 반응을 통하여 최종 폴리우레탄 발포체 분자 구조 내부에 화학적으로 도입됨으로써 최종 발포체에 항균성을 부여하는 것을 입증하는 결과라고 판단이 된다. 이러한 연구결과는 폴리우레탄 발포체 소재분야의 새로운 화학적 항균화 방법을 제시하는 것으로 그 의미가 크다고 할 수 있다.

발포체 형태학적 분석. 앞 반응실험 결과로부터 우르시올 첨가량이 증가함에 따라 압축 변형률이 약간 증가하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과가 발포체 셀 구조변형에 의한 것인지를 확인하고자 주사전자현미경 분석을 통한 형태학적 분석을 하였다. 그 결과는 Figure 2와 같다. 우르시올 함량 0.3 pphp 증가까지는 발포체의 셀 구조가 우르시올 미첨가 발포체와 큰 차이가 없는 구조를 보여주었다. 우르시올 함량 0.6 pphp 발포체의 경우 셀 구조가 약간 균일해지며 셀 사이즈가 작아지는 모폴로지를 보여주는 것을 알 수 있으나 그 차이가 심하지 않고 따라서 우르시올 0.6 pphp 첨가까

지는 발포체의 셀 구조변화가 없다고 할 수 있다.

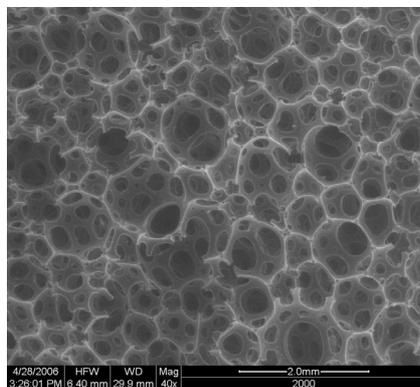
시트 발포체 성형. 고압발포기를 사용하여 현재 양산 자동차에 적용되는 시트 쿠션 및 백 금형을 사용하여 우르시올 항균물질이 첨가되는 조성비 A2 조성비를 적용하여 발포체 성형을 하였다. 성형물은 Figure 3과 같다. 성형공정 측면에서 기존 항균물질 미첨가 발포체와 비교하여 큰 차이가 없음을 확인하였고 따라서 본 연구결과는 실제 자동차 시트용 발포체 양산적용이 가능함을 증명하는 결과라고 할 수 있다.



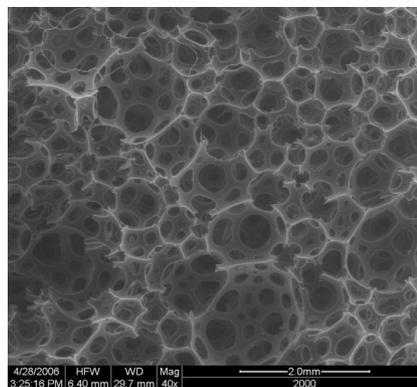
Figure 3. Image of antimicrobial automotive seat PU foam, seat cushion, and back.

Table 3. Antibacterial Properties of Foams

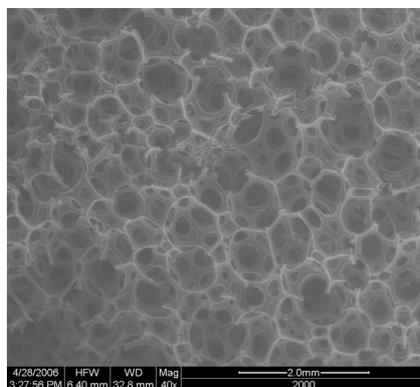
Formulations	A0	A1	A2	A3
# of Initial Bacteria	2.0×10^4	2.0×10^4	2.0×10^4	2.0×10^4
# of Bacteria after 18 hr	1.2×10^8	4.4×10^7	4.0×10^7	3.4×10^7



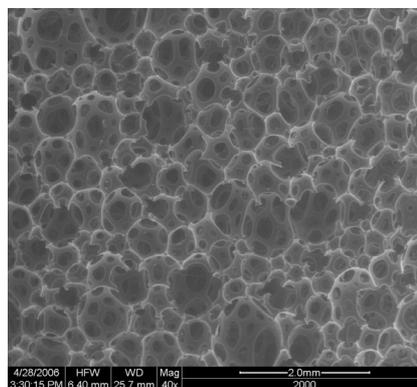
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 2. SEM images of antimicrobial PU foams; (a) A0, (b) A1, (c) A2, and (d) A3.

결 론

항균 폴리우레탄 발포체 제조시 항균물질 우르시올 첨가량 변화가 폴리우레탄 발포 성형의 반응속도와 발포체의 구조적인 안정성, 형태학적 성질 및 항균특성 등에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 항균성 측면에서 우르시올이 첨가된 폴리우레탄 발포체는 항균성을 보이며 함량증가에 따라 항균성이 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 우르시올 첨가량이 폴리올 총량 대비 0.3 pphp 이상 첨가되는 경우 항균성이 기존 일반 항균 미처리 발포체에 비하여 약 65%의 높은 항균특성을 가지며, 이는 우르시올의 화학적 항균작용에서 기인하는 것으로 판단된다. 또한 우르시올과 이소시아네이트와의 화학결합에 의하여 항균특성은 최대 영구적인 특성을 가질 수 있기 때문에 기존 항균처리 방식인 항균물질의 단순 물리적 분산 첨가방식 항균 발포체에 비하여 장기 항균특성이 우수한 새로운 항균방식이라고 할 수 있다.

본 연구에서 개발된 항균 폴리우레탄 발포체의 반응성 및 기계적 물성 특성은 우르시올 미첨가 발포체와 비교하여 큰 차이를 보이지 않는 결과를 나타내었으며, 이는 실제 자동차용 시트 발포체 적용이 가능함을 의미한다고 할 수 있다. 우르시올 첨가 함량이 폴리올 대비 증가되는 경우 이소시아네이트와의 반응성이 저하되는 것이 관찰되었으며, 이로부터 최적의 우르시올 함량은 0.3 pphp임을 알 수 있었다. 본 연구 결과물은 폴리우레탄 발포체의 새로운 항균화 방법을 제시한 것으로 그 의의가 있다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. J. W. Leenslag, E. Huygens, and A. Tan, *Cellular Polymers*, **16**, 411 (2000).
2. J. W. Hartings and J. H. Hagan, *J. Cell. Plast.*, March/April, 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, *Bactericide & 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. Klempner and K. Frisch, *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*, Oxford Univ. Press, New York, 1991.