

자동차 시트용 폐폴리우레탄의 해중합

민성진·공승대·윤철훈·강안수·엄재열*·신판우**·이석우***

명지대학교 공과대학 세라믹화학공학부

*(주)진원케미컬

**동양공업대학 응용화학과

***산업자원부 기술표준원 생물환경과

(2001년 3월 21일 접수 ; 2001년 5월 22일 채택)

Depolymerization of Waste Polyurethane from Automotive Seats

Sung-Jin, Min · Seung-Dae, Kong · Cheol-Hun, Yoon · An-Soo, Kang
Jae-Yeol, Eom* · Pan-Woo Shin** · Seok-Woo Lee***

Div. of Ceramic and Chemical Engineering, Myongji Univ., Yongin 449-728, Korea

**Jin-Won Chemical Co. Ltd., Seoul 137-047, Korea*

***Div. of Application Chemistry, Dongyang Technical College., Seoul 152-714, Korea*

****BEED, Agency for Technology & Standards., Kwacheon 427-010, Korea*

(Received March 21, 2001 ; Accepted May 22, 2001)

Abstract : Resource recovery and recycling of materials and products, including polyurethanes is viewed as a necessity in today's society. Most urethane polymers are made from a polyol and a diisocyanate. these can be chemicals such as water, diamines or diols that react with isocyanate groups and add to the polymer backbone. The problems of recycling polyurethane wastes has major technological, economic and ecological significance because polyurethane itself is relatively expensive and its disposal whether by burning is also costly. In general, the recycling methods for polyurethane could be classified as mechanical, chemical and feedstock. In the chemical recycling method, there are hydrolysis, glycolysis, pyrolysis and aminolysis. This study, the work was carried out glycolysis using sonication and catalyzed reaction. Different kinds of recycled polyols were produced by current method(glycolysis), catalyzed reaction and sonication as decomposers and the chemical properties were analyzed. The reaction results in the formation of polyester urethane diols, the OH value which is determined by the quantity of diol used for the glycolysis conditions.

The glycolysis rates by sonication for the various glycols, increased as follows: PPG < PEG < DEG < EG. The recycled polyol of sonication reaction had much higher OH value, much lower decomposition temperature and time than the recycled polyol of current method in which same glycols and catalyst were used.

Keywords : waste polyurethane, depolymerization, recycling polyol, glycolysis.

1. 서론

폴리우레탄은 경질 폼, 연질 폼, 필름, 연질과 경질의 엘라스토머, 섬유 등과 같은 매우 다양한 물리적 성질들의 상품을 가능하게 하고 있다. 또한 폴리우레탄은 플라스틱 시장에서도 PE, PVC, PP 및 PS 등에 이어 다섯 번째로 많은 소비 시장을 가진 범용제품이 되었다. 이러한 폴리우레탄은 국내에서도 1980년대까지 일상생활과 관련된 노동집약 산업인 의류, 신발, 가방, 완구, 소파 및 침대 등의 생활용품 소재산업 중심으로 발전하였으며 현재는 자동차, 전자, 토목 및 조선 등 중화학 공업 소재로도 사용되면서 시장이 지속적으로 성장하고 있다. 일반적으로 자동차의 구성재료 중에서 폴리우레탄 폼이 차지하는 총 중량은 20 kg 정도이며 이 중에서 자동차 시트용 패드가 14 kg 정도를 점유하고 있으며 자동차의 경량화 및 고급화 경향에 맞추어 폴리우레탄 폼의 사용이 점차적으로 증가하고 있는 실정이다. 그러나 아직까지 이에 맞는 효율적인 재활용 기술이 없기 때문에 아직까지는 전량 폐기되고 있어서 이에 대한 기술개발이 시급히 요청되고 있다[1,2]. 폴리우레탄의 경우, 대부분 제조공정에서 발생하는 불량품, 자동차 내장재 및 기타 건축재료에 사용된 폴리우레탄 폐기물들은 주로 매립이나 단순 소각 방법에 의하여 처리된다. 이러한 처리 방법에는 한계가 있으며 이 과정에서 발생하는 유독물질 등에 의한 환경오염을 유발시킬 수 있다. 특히 폴리우레탄을 재활용할 경우, 일반 플라스틱과는 달리 폴리우레탄이 단일성분으로 분리되어 있어도 재활용이 용이하지 않다. 물론 디올을 이용하는 폴리우레탄의 엘라스토머는 분자내의 가교결합이 적어서 물질 재활용을 하는 것도 있으나, 폴리우레탄의 대부분은 열경화성의 성질을 가지므로 재활용이 용이하지 않은 물질로 인식되어 왔다. 그러나 최근 이와 같은 폐폴리우레탄을 환경적인 차원에서 재활용하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다[3].

한편, 플라스틱 폐기물의 재활용은 환경보

호 및 자원보존의 측면에서 현재 관심이 고조되어 있다. 플라스틱 즉, 고분자 재료 중 열가소성 제품은 재성형 및 재용융이 가능하기 때문에 이에 따른 연구개발이 활발히 진행되고 있으며 일부는 분쇄, 분별 및 혼합을 통하여 이미 실용화되고 있는 실정이다. 그러나 현재 재활용은 2차적인 환경오염 및 이에 대한 차후 제품에 대한 적용의 어려움으로 많은 문제점을 나타내고 있으며 대부분의 고분자 재료가 아직은 상용화 단계에는 이르지 못하고 있어서 이를 극복하는 방법으로 플라스틱 폐기물의 부가 가치를 높여서 재활용하는 방법이 연구되고 있다. 이와 같이 우리 일상생활에서 사용되는 고분자 폐기물의 재활용 필요성이 시급한데 크게 네 가지 이유 때문이다. 첫째로는 국제 환경 변화에 능동적인 대처이고 두 번째로는 폐기물의 매립지 확보의 난점이며, 세 번째로는 고분자 산업에서의 재활용에 의한 소재의 원료 과다 낭비이며, 마지막 네 번째로는 매립지에서의 토양 및 수질 오염의 방지 때문이다[4].

폐폴리우레탄의 재활용 분야는 크게 나누어서 물질 재활용, 화학적 재활용 및 에너지 재활용으로 구분할 수 있다. 먼저 물질 재활용은 폐폴리우레탄을 파쇄하여 그대로 이용하거나, 반축화하여 각종 제품의 원료로 다시 사용하는 것이다. 이것은 일반화되어 있지도 않고 쉽지는 않으나 그 시도는 활발하게 이루어지고 있다. 화학적 재활용은 열해중합(thermal depolymerization)을 이용하여 폴리우레탄을 그 원료인 폴리올로 환원시키는 기술을 이용하고, 에너지 재활용은 폐폴리우레탄을 소각하여 열병합 발전, RDF(Refuse Derived Fuel)화 등의 다방면에 이용하는 것이다[5].

본 연구에서는 날로 심각해져 가고 있는 폐플라스틱의 처리문제를 해결하고자 폐플라스틱의 재활용 차원에서 자동차 시트에서 발생하는 폐폴리우레탄을 기존 처리 방법인 glycolysis에 의한 열해중합과 본 연구에서 적용한 초음파와 촉매를 이용한 방법을 비교 검토하여 최적의 해중합 방법을 연구하여 보았다.

2. 실험

2.1. 시약 및 기기

본 연구에서의 재료로는 제조과정 전후에 발생하는 페폴리우레탄으로 자동차 seat 생산업체인 (주)성우정공의 자동차용 seat type을 가지고 실험에 임하였으며 제조하는 원료성분비를 Table 1에 나타내었다. 우선, 이들 seat type의 페폴리우레탄을 cutter로 가로, 세로 1.0cm로 분쇄한 후 vaccum oven에서 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 방치하여 충분히 건조시켰다. 해중합 반응시약으로 사용한 폴리올은 국도화학과 한국폴리올에서 생산된 공업용 PEG(polyethylene glycol), PPG(polypropylene glycol), EG(ethylene glycol), DEG(diethylene glycol) 및 castor oil 등을 사용하였으며 사용하기 전에 110°C 에서 진공 증류하여 사용하였다. 분해 반응을 위한

촉매로는 NaOH 및 KOH같은 염기성 촉매와 금속 및 유기 촉매인 CH_3COONa , CH_3COOK , $\text{Sn}(\text{Sn})$, dibutyltin dilaurate(DBTDL), 1,4-diazobicyclo[2,2,2]octane(DABCO) 및 zinc acetate (CH_3COOZn) 등을 사용하였다.

수산가(OH value)측정 시약으로 phthalic anhydride는 일본 Katayama화학에서 구입한 1급시약을 사용하였으며, 지시약인 페놀프탈레인은 일본 Ishizu화학에서 구입한 1급시약을 사용하였다. 그 밖의 아세톤, NaOH, 피리딘은 덕산 화학에서 구입한 1급시약을 이용하였다.

본 연구에 사용된 기기로 초음파기기는 (주)태원 초음파기연에서 주문 제작한 막대형 sonicator 기기(20Hz)를 사용하였으며, 분석장비로 IR은 Nicolet spectrometer 550을 사용하였는데 KBr pellet 측정방법에 의하여 측정하였다. 점도계는 Brookfield사의 DV II⁺

Table 1. Formulation of the Seat Type Polyurethane Foam.

| Component | | Part by weight |
|------------------|---|----------------|
| Polyether polyol | *KONIX KE-810 polyether polyol Hydroxyl value : 28 mg KOH/g | 70.0 |
| Polyether polyol | **KONIX KE-810 polyether polyol Hydroxyl value : 32 mg KOH/g | 30.0 |
| Crosslinker | Diethanol amine Hydroxyl value : 1,600 mg KOH/g | 0.8 |
| Surfactant | SRX-274c | 0.6 |
| Water | | 3.2 |
| Cell opener | ***KONIX FA-103 | 1.5 |
| Catalyst (1) | NIAX A-1 (Union Carbide Co) | 0.1 |
| Catalyst (2) | Bis(2-dimethylaminoethyl)ether TEDA-L33, Triethylenediamine | 0.5 |
| | | 106.7 |
| Isocyanate | MDI (MC-77 30.3% NCO) | 52.7 |
| NCO index | | 100.0 |

*KE-810 : Glycerine + Propylene oxide + Ethylene oxide (10 wt%)

**FA-703 : Glycerine + Propylene oxide + Ethylene oxide

***FA-103 : Glycerine + Ethylene oxide + Propylene oxide/Ethylene oxide

를 사용하였으며 시료를 상온의 동일 조건에서 측정하였다.

2.2. 폐폴리우레탄의 분해 방법

본 연구에서는 폐폴리우레탄의 해중합 방법 중 실제적으로 가장 많이 사용하고 있는 방법 중의 하나인 glycolysis 방법을 적용하였으며 새롭게 본 연구에서 적용시키는 방법으로 현재 세정과 의료분야에서 널리 적용되는 초음파 방법 등을 함께 적용하여 실험을 실시하였다. 초음파 기술은 현재 의료분야를 비롯한 세척, 용접, 비파괴검사, 각종 계측기기, 모터 및 수중 통신 등 다양한 기술 분야에서 활용되고 있으며 그동안 선진국에서는 많은 기술개발과 발전을 거듭하고 있으나 아직 국내에서는 일부의 특정 분야를 제외하고는 이렇다 할 성과를 나타내지 못하고 있는 실정이다.

초음파 기술에 대한 이론적 배경[6]을 간략히 요약 해보면, 균일한 액상의 매질 내에 초음파가 전달되면 액상 매질 내에 존재하는 분자들은 초음파 에너지에 의해 그들의 평균 위치로부터 진동하게 된다. 이 진동에 의해 매질 내에는 분자들이 밀집되어 분자사이의 거리가 감소되는 압축주기와 분자들의 평균위치가 희박하게 되어 분자사이의 거리가 증가되는 팽창주기가 반복되며, 팽창주기에서 충분히 작은 압력에 도달하게 되면 액체 분자사이의 거리가 액체상태를 유지할 수 있는 임계 분자간 거리보다 멀어져 공동(cavity)이 생성된다. 생성된 공동은 여러 주기 동안 매질을 통과하면서 압력이 최소가 될 때까지 성장한 후 압력이 높은 영역에서 파괴된다. 공동이 파괴 또는 압축될 때 응축열을 발생하며 공동현상(cavitation)은 생성된 열이 주위로 전달되기에 불충분한 아주 짧은 시간동안 일어나기 때문에 그 부분의 국부온도가 수천 켈빈온도(K)에 이른다고 보고되어 있다[7]. 높은 국부온도로 인하여 주위에 있는 반응물 입자들의 운동에너지를 크게 하기 때문에 분자의 운동이 활발해질 뿐만 아니라 반응에 필요한 충분한 활성화 에너지를 얻게 되어 매질의 물

리·화학적 변화를 일으키고, 높은 압력은 혼합 효과를 높여 주게 되어 반응속도를 가속화시키며 공동현상에 의한 사슬의 분해가 발생함으로써 고분자의 해중합이 발생한다.

실험 장치로서 4구 플라스크에 환류 냉각기, 온도계, 기계식 교반기 및 적하 장치를 장착하고 온도제어가 가능한 가열맨틀을 설치하였다. 이에 일정한 크기로 분쇄한 polyurethane foam을 일정량을 넣고서 다양한 polyol의 종류 및 양과 촉매의 종류 및 양을 조절하여 적하한 뒤 서서히 교반시키며 실험하였으며 초음파 반응에 의한 실험 조건에서는 동일조건으로 하고 단지 polyol의 적하 후에 적하 장치를 탈착시키고 이어 막대형 초음파기를 설치하여 실험하였으며 Fig. 1에 실험 장치도를 나타내었다.

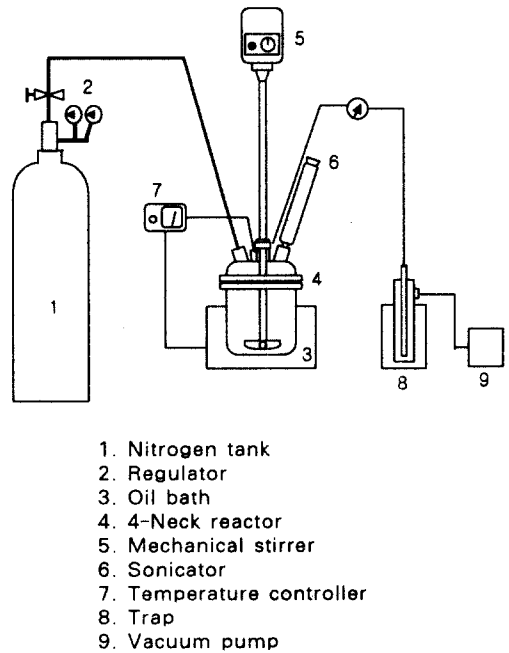


Fig. 1. Diagram of experimental reactor for waste polyurethane depolymerization.

이와 같이 초음파 반응, 촉매반응 및 기존 glycolysis 방법인 비초음파와 무촉매 등

의 여러 형태의 반응 조건을 달리하면서 실험하였다. 즉, glycol, 촉매 및 seat 존재 하에서 열을 가하여 낮은 분자량의 생성물을 얻었다. 이 때 최적의 반응 온도는 촉매의 조건 하에서 180~220°C 이며 180°C 부근에서는 촉매가 반응 속도에 영향을 주지 못하며 220°C 이상의 온도에서는 원치 않는 부생성물을 생성하였다. 그러므로 반응온도의 조절과 반응 수율을 증가시킬 수 있는 다양한 촉매의 선택이 본 연구에서 중요한 관건이며 다양한 실험과 방법을 통하여 최적의 조건을 확립하였다. 본 연구를 위하여 설계 제작한 pilot 반응기의 그림을 Fig. 1에 나타내었다.

2.3. 수산가의 측정

수산가(OH value)의 측정은 Urbanski 등 [8]에 의한 방법을 이용하였다. 먼저, glycol 분해 생성물 일정량을 정확히 측정하여 300 ml 삼각플라스크에 넣고 무수프탈산 40.0g을 피리딘 300ml에 녹여 24시간 방치한 후 용액을 25.0ml 채취하여 시료를 용해시킨다. 무수 프탈산 - 피리딘 용액에 잘 용해되지 않는 시료는 가열하여 온도를 높이면서 용해시킨다. 그리고 100°C로 유지된 Oil bath에 장착 후 1시간 30분간 반응시키고, 반응 도중 15분마다 힘차게 흔들어 시료가 침전되지 않도록 주의하면서 반응시켰다. 반응 1시간 30분 후, Oil bath에서 꺼내어 아세톤 수용액(1:1)용액 50.0ml를 주입하여 삼각플라스크 벽면내부에 시료를 세척하고 실온으로 냉각시킨다. 0.5N-NaOH용액 50.0ml를 가하고 피리딘에 녹여 제조한 1.0% 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 사용하여 0.5N-NaOH로 한 방울씩 떨어뜨리며 적정하여 수산가(OH value)를 결정하였다.

$$OH\ value = \frac{(B - A) \times 0.5 \times F \times 56.1}{m}$$

B는 공시험(blank test)에 소비된 0.5N-NaOH의 부피(ml)

A는 적정실험에 사용된 0.5N-NaOH의 부

피(ml)

F는 0.5N-NaOH의 역가

m은 측정에 사용된 시료의 무게(g)이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험 조건에 따른 분해 온도의 차이

기존 알려진 화학적 분해방법인 glycolysis를 이용한 분해반응 후의 분해된 생성물은 대부분 polyol, carbamate polyol, 미량의 첨가제 및 아민 화합물로 구성되어 있다[9]. 자동차의 seat를 다양한 polyol을 이용하여 다양한 방식으로 실험을 실시하였으며 이에 따르는 분해온도와 분해속도를 확인하였다. Table 2의 결과에서 보여주듯이 분해온도가 초음파 적용시와 촉매를 사용하여 분해시켰을 때가 기존 glycolysis 방법으로 분해시켰을 때보다 대략 10~30°C 정도 낮은 온도에서 분해되는 것을 확인할 수 있었으며 초음파 반응을 시켰을 때와 염기성 촉매를 이용할 경우 거의 비슷한 온도에서 분해반응을 나타내었으며 다른 종류의 polyol에 대한 결과에서도 유사한 실험 결과를 나타내었다. 이는 seat type이 flexible하므로 인해 촉매가 사슬에 polyol의 침투를 더욱 원활히 할 수 있도록 영향을 끼쳤기 때문이며 그로 인하여 물리적으로 분해를 시키는 초음파 반응과 분해온도가 비슷하다고 생각된다.

그러나 Table 2의 결과는 초기 분해 반응온도이며 이 온도가 완전 분해를 말하는 것은 아니다. 하지만 자동차 seat가 용매로 사용한 glycol과 유사한 점성을 나타내는 육안상으로 보이는 분해 반응온도이지만 초음파 반응으로 인한 폐우레탄의 사슬에서의 끊어짐이 일부 촉매반응과 기존 glycolysis 방법을 취했을 때보다 빠르다는 것을 확인할 수 있었고 이는 다소 낮은 온도에서도 분해가 가능해짐으로 인해 둘째와 세 번째 방법에 의한 실험으로 얻어지는 polyol보다 더욱 빠른 분해 반응시간으로 재생 polyol을

Table 2. Effect of Depolymerization Method on the Initial Decomposition Temperature of waste polyurethane form(seat type).

| Polyol Type | EG | | | PPG | | |
|----------------|------------|----------|-----------------------------|------------|----------|-----------------------------|
| | sonication | catalyst | non-soni, non-catalstyst | sonication | catalyst | non-soni, non-catalstyst |
| seat | 132±2 °C | 144±2 °C | 155±5 °C | 133±2 °C | 144±2 °C | 159±5 °C |

얻을 수 있음을 예측할 수 있다. 기존 glycolysis 방법[10]에서는 대략 180~200°C에서 8시간정도 반응을 시켜 polyol을 취하는 것에 비하여 초음파기술을 응용할 경우 반응 공정상 시간을 단축시킬 수 있으며 이로 인한 생산비 절감의 효과를 나타낼 수 있으리라 예상할 수 있다. 위에서 서술한 EG, PPG이외에도 DEG, castor oil 등을 이용하였으나 DEG는 위 사항과 거의 유사한 값을 나타내어 그 내용은 생략하였으며 castor oil의 경우 위의 실험에 비하여 비교적 낮은 온도인 130°C 부근에서 기화하여 많은 gas가 발생함으로 인해 육안상 온도 확인이 어려웠으므로 정확한 초기분해온도를 나타내기가 어려웠다.

3.2. 실험조건에 따른 수산가의 변화

앞의 동일한 해중합 방법으로서 첫 번째 초음파를 사용하여 분해하는 방법 두 번째로 촉매를 이용하여 분해하는 방법과 마지막 방법으로는 기존 방법인 비초음파와 무촉매 반응을 이용하였고 반응온도는 180~190°C 사이에서 반응시키며 반응 한 시간마다 시료를 채취하여 수산가를 측정하였다. 수산가 측정실험으로 확인 할 수 있었던 결과로서 다른 반응조건 없이 다양한 polyol에 대한 폐우레탄 폼 해중합 결과는 다른 polyol에 비하여 사슬이 상대적으로 짧은 EG가 가장 빠른 분해속도와 수산가를 나타내었으며 다양한 촉매에 대한 해중합 결과는 일부 금속과 유기 촉매보다는 염기성 촉매가 가장 빠른 분해속도와 수산가를 나타

내었다.

해중합 반응 조건에 따른 Fig. 2~4의 결과에서는 다양한 polyol로서 폐우레탄을 분해 한 후 수산가를 측정하였을 때 초음파를 이용하였을 때와 촉매를 이용했을 때 거의 유사한 값을 나타내었다. 하지만 반응속도 측면에서 보았을 때 초음파를 이용하였을 때가 촉매를 이용한 분해 반응 보다 분해 반응 시간이 빠르다는 것을 확인할 수 있었으며 polyol의 종류와 관계없이 반응 시작 3시간 부근에서 수산가가 극대값을 나타내기 시작하였으며 5시간 이후부터는 수산가가 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 seat type의 폐폴리우레탄이 초음파에 의한 공동화 현상의 영향으로 우레탄 결합뿐만 아니라 OH기에도 영향을 끼치기 때문인 것으로 생각되어 진다.

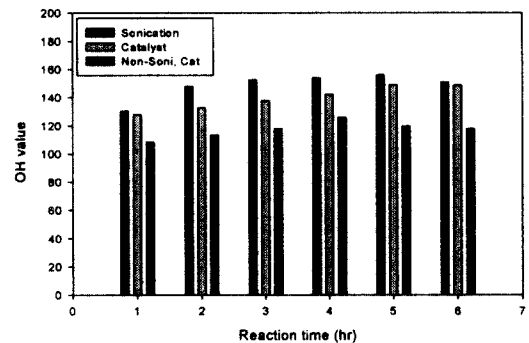


Fig. 2. Changes of hydroxyl value as a function of different reaction time for various decomposition method using seat form/DEG(25/75).

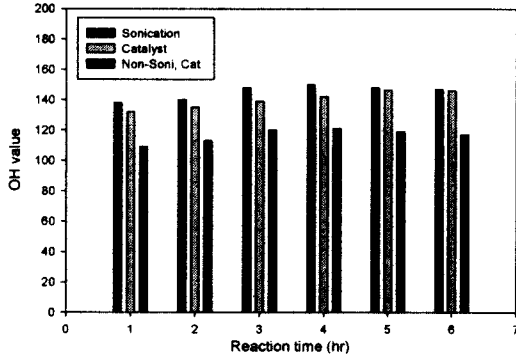


Fig. 3. Changes of hydroxyl value as a function of different reaction time for decomposition method using seat form/EG(25/75).

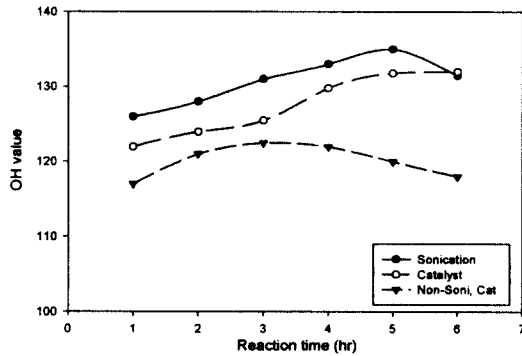


Fig. 4. Change of hydroxyl value by decomposition method at different reaction time(seat form/PPG=25/75).

초음파 반응시켰을 때의 반응 시간과 수산가의 변화의 차이점을 확인하기 위하여 IR 분석을 하였으며 Fig. 5와 6는 EG를 이용하여 초음파 해중합 6시간 반응을 시킨 결과이며 3, 6시간 후의 시료에 대한 자료이다. 여기서도 2275cm^{-1} 부근 NCO 특성흡수대는 거의 사라졌으며 3400cm^{-1} 부근의 넓은 OH 특성흡수대로 보아 기존 수산가 측정 실험에서와 같이 해중합된 폐폴리우레탄에서 재생 polyol이 생성되었음을 확인할 수 있었다. 하지만, 반응 3시간 후의 OH 특성 흡수대에 비해 6시간 반응시킨 OH 특성 흡수대는 감소하여 기존 수산가 측정 실험에서와 같은 결과를 나타내고 있다. 1730cm^{-1} 부

근에서 분해반응 시간이 경과함에 따라 우레탄의 카르보닐기의 특성흡수대가 사라짐을 확인할 수 있으나 우레아 카르보닐기의 특성흡수대인 1630cm^{-1} 부근의 특성흡수대는 잔존하거나 서서히 감소함을 확인할 수 있다. 이와 같이 초음파와 촉매에 의한 폐우레탄의 해중합 반응의 결과 분해반응 시간에 따라서 우레탄 결합이 먼저 분해가 시작되며 우레아 결합은 서서히 또는 잔존하게 되는데 이는 우레아 결합의 열적 안정성 때문이라고 생각되며 이와 같은 잔존하는 부생성물 등이 재생 polyol에 잔존하므로 추후 재활용시에 제품의 물성에 영향을 주지 않는 범위에서 그대로 사용하거나 원심분리 등과 같은 처리법을 고려하여야 한다고 생각된다.

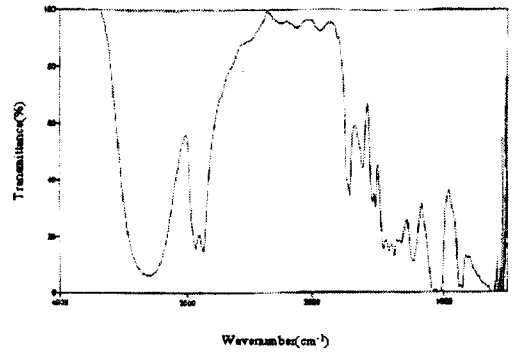


Fig. 5. Infrared spectra of the products for seat form/EG:25/75(wt%) obtained from sonication method at 3hr.

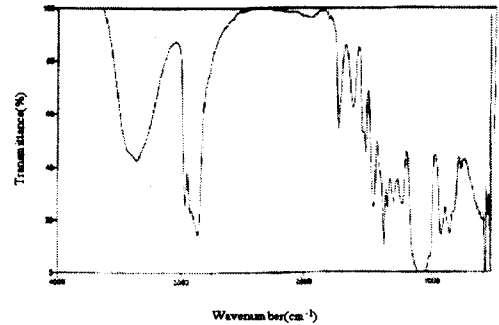


Fig. 6. Infrared spectra of the products for seat form/EG:25/75(wt%) obtained from sonication method at 6hr.

이러한 실험 결과를 토대로 다양한 해중합 방법에서의 실험 결과 기존의 무촉매 및 비초음파 반응보다는 초음파와 염기성 촉매 하에서의 분해 반응결과가 우수하였으며 특히, 본 연구에서 적용시킨 초음파기술을 사용하였을 때 가장 빠른 분해속도와 높은 수산가를 나타내었다.

4. 결론

페플라스틱의 재활용 차원에서 자동차 시트에서 발생하는 페폴리우레탄을 기존 처리 방법인 glycolysis에 의한 열해중합과 본 연구에서 적용한 초음파와 촉매를 이용한 해중합 방법을 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

초음파 반응으로 인한 페우레탄의 사슬에서의 끊어짐이 일부 촉매반응과 기존 glycolysis 방법을 취했을 때보다 빠르다는 것을 확인 할 수 있었고 이는 다소 낮은 온도에서도 분해가 가능해짐으로 인해 더욱 빠른 분해 반응시간으로 재생 polyol을 얻을 수 있음을 예측할 수 있었다.

수산가 측정결과 다양한 polyol에 대한 페우레탄 폼 해중합 결과는 다른 polyol에 비하여 사슬이 상대적으로 짧은 EG가 가장 빠른 분해속도와 수산가를 나타내었으며 초음파와 촉매를 이용했을 때 거의 유사한 수산가를 나타내었다. 하지만 반응속도 측면에서 보았을 때 초음파를 이용하였을 때가 촉매를 이용한 분해 반응 보다 분해 반응 시간이 빠르다는 것을 확인할 수 있었다. polyol의 종류와 관계없이 반응 시작 3시간 부근에서 수산가가 극대값을 나타내기 시작하였으며 5시간 이후부터는 수산가가 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. 기존 glycolysis 방법에서는 대략 180~200℃에서 8시간정도 반응을 시켜 polyol을 취하는 것에 비하여 초음파기술을 응용할 경우 반응 공정상 시간을 단축시킬 수 있으며 이로 인한 생산비 절감의 효과를 나타낼 수 있으리라 예상할 수 있다

감사의 글

본 연구는 1999년도 산업자원부의 청정생산기술사업의 환경친화 부분과 관련된 연구(99-2-H-1)의 일부로서 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. R. H. Burnett, G. A. Baum, and R. J. Ehig, "Plastic Recycling", p. 177, Hanser Publishers, New York (1992).
2. J. Hansmann and M. Mustafa, "Plastic Waste Management", p. 223, Marcel Dekker Inc., New York (1993).
3. R. C. Allen and H. Cloutier, *Elastomerics*, 5, 30 (1991).
4. Y. Imai, X. ShuChang, and K. Enomoto, *Polyurethanes World Congress*, 10, 108 (1993).
5. M. Modesti, F. Simioni, and N. Baldoiu, *J. Reactive and Functional Polymers*, 26, 157 (1995).
6. T. J. Mason and J. Lorimer, "Sonochemistry", p. 13, John Wiley & Sons, New York, 13 (1988).
7. T. J. Mason, "Chemistry and Ultrasound", p. 54, Elsevier, New York, (1990).
8. J. Urbanski, W. Czerwinski, K. Janika, and H. Zowall, "Handbook of Analysis of Synthetic Polymers and Plastics", p. 112, Ellis Horwood, U. K. (1977).
9. G. Bauer, *Polyurethanes World Congress*, 9, 24 (1991).
10. H. Topac, H. Arastoopour, G. Ivanov, and F. Shutov, *Polyurethanes World Congress*, 10, 168 (1993).