

## 연질 페우레탄 폼의 재활용을 위한 해중합법 개발

엄재열 · 이병학 · 신판우\* · 김용렬\*\*†

단국대학교 공과대학 공업화학과

\*동양공업대학 응용화학과

\*\*대진대학교 화학공학과

## Development of Depolymerization Method on the Recycling of Waste Flexible Polyurethane Foam

Jae Yeol, Eom · Byung Hak Lee · Pan Woo Shin\*  
Yong Yeul Kim\*\*†

Department of Chemical Engineering, Dan Kook University

\*Div. of Application Chemistry, Dongyang Technical College

\*\*Department of Chemical Engineering, DaeJin University

### ABSTRACT

Resource recovery and recycling of materials and products including polyurethanes are viewed as a necessity in today's society. The problems of recycling polyurethane wastes has major technological, economic and ecological significance because polyurethane itself is relatively expensive and its disposal by burning is also costly. In general, the recycling methods for polyurethane could be classified as mechanical, chemical and physical. In the chemical recycling method, there are hydrolysis, glycolysis, pyrolysis and aminolysis. This study was carried out glycolysis using new method such as sonication and catalyzed reaction. There are kinds of recycled polyols were produced by current method(glycolysis) but, this study were with catalyzed reaction and sonication as decomposers and the chemical properties were analyzed. The reaction results in the formation of polyester urethane diols and then the OH value which is determined by the quantity of diol used for the glycolysis conditions.

The glycolysis rates by sonication and catalyzed reaction for the various glycols, increased as: PPG < PEG < DEG < EG. The recycled polyol of sonication reaction had much higher OH value, much lower decomposition temperature and time therefore, the method of used sonication was efficient than current method.

**Keywords:** Waste polyurethane, Scrap, Depolymerization, Sonication, Recycled polyol

### I. 서 론

플라스틱이 현대 생활에 미치는 영향은 매우 지대하여 이제는 우리 생활에서 가장 중요한 재료가 되었다. 우리 나라의 플라스틱 생산량은 매

년 증가하여 전 세계 플라스틱 소요량의 6%인 800만톤 정도가 생산되고 있다. 이러한 플라스틱 생산량 증가에 비례하여 폐플라스틱의 국내 발생량도 매년 증가하여 연간 약 300만톤 이상의 플라스틱 폐기물이 발생하고 있어 이제 매우 심각한 문제가 되고 있다. 환경부에서 발간한 전국 폐기물 발생 및 처리현황에 의하면 총 발생 폐플라스틱 중 78.2%를 매립하고 4.3%는 소각, 나머지

† Corresponding author : Department of Chemical Engineering, DaeJin Univ.

Tel : 031-539-1995 Fax : 031-539-1990

E-mail : yrkim@daejin.ac.kr

약 18%만이 재활용되고 있다고 보고하고 있다<sup>3)</sup>. 즉, 폐플라스틱 처리는 매립에 대부분 의존하고 있는 실정이며 이에 따라서 플라스틱 폐기물의 재활용은 환경보호 및 자원보존의 측면에서 현재 관심이 고조되어 있다. 플라스틱 즉, 고분자 재료 중 열가소성 제품은 재성형 및 재용융이 가능하기 때문에 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 부가가치를 높여서 재활용하는 방법이 연구되고 있다<sup>4)</sup>. 이와 같이 우리 일상생활에서 사용되는 고분자 폐기물의 재활용 필요성이 시급한데 크게 네 가지 이유 때문이다. 첫째로는 국제 환경변화에 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<sup>5)</sup>.

특히, 폴리우레탄은 경질과 연질 폼, 필름, 연질과 경질 elastomer, solid와 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.

폐폴리우레탄의 재활용 분야는 크게 나누어서 물질 재활용, 화학적 재활용 및 에너지 재활용으로 구분할 수 있다<sup>6)</sup>. 먼저 물질 재활용은 폐폴리우레탄을 파쇄하여 그대로 이용하거나, 반죽화하

여 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<sup>7)</sup>.

한편, 초음파 기술<sup>8)</sup>은 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. 초음파는 Richard와 Loomis에 의해 최초로 화학반응에 응용되었으며 초음파를 이용한 화학반응의 응용에서 중요한 점은 공동현상(cavitation)이 일어난다는 점인데, 이때 발생하는 에너지에 의해서 세척, 분산, 액체 내의 화학반응이 촉진되는 것으로 알려졌다. 이러한 공동현상에 영향을 주는 요인으로는 초음파의 진동수, 초음파의 세기, 단위 출력당 부피, 초음파의 조사시간, 용액의 온도와 점도, 용매의 증기압 및 녹아있는 기체의 성질 등을 들 수 있다. 음파는 전파 또는 광파에 비하여 그 작용이 대단히 느리지만 일정한 주파수가 되면 지향성 및 집속도도 높게 되어 다양한 능력을 발휘할 수 있게 된다. 초음파 에너지는 파의 진행 방향에 대해 수직인 단위 면적을 단위 시간에 통과하는 에너지량으로 나타낸다. 초음파 에너지에 의하여 정지된 매질이 진동을 시작하면 매질에는 운동 에너지와 분자력에 의하여 위치 에너지가 존재하게 된다.

본 연구에서는 날로 심각해져 가고 있는 폐플라스틱의 처리문제를 해결하고자 폐플라스틱의 재활용 차원에서 신발 제조 공정 중 발생하는 신발 중창 재료인 폐폴리우레탄을 기존 처리 방법인 glycolysis에 의한 열해중합과 본 연구에서

적용한 초음파와 촉매를 이용한 방법을 비교 검토하여 최적의 새로운 해중합 방법을 연구하여 보았다.

## II. 연구방법

### 1. 실험 재료

본 연구에서의 재료로는 제조과정 전후에 발생하는 폐폴리우레탄으로 경남지역 신발 생산업체에서 신발충창으로 쓰이는 scrap type을 가지고 실험에 임하였다.

우선, 이들 페우레탄을 cutter로 가로, 세로 1.0cm로 분쇄한 후 진공건조기(SWD-1, 삼원, 한국)에서 90±2℃에서 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℃에서 진공 증류하여 사용하였다. 분해 반응을 위한 촉매로는 염기성 촉매(NaOH, KOH 등)와 급속 및 유기 촉매인 sodium acetate(CH<sub>3</sub>COONa), potassium acetate(CH<sub>3</sub>COOK), dibutyltindilaurate(DBTDL), 1,4-diazobicyclo[2,2,2]octane(DABCO) 및 zinc acetate(CH<sub>3</sub>COOZn) 등을 사용하였다.

수산가(OH value)측정 시약으로 무수 프탈산은 일본 Katayama 화학에서 구입한 특급 시약을 사용하였으며, 지시약인 페놀프탈레인은 일본 Ishizu 화학에서 구입한 특급 시약을 사용하였다. 그 밖의 아세톤, 가성소다, 피리딘은 덕산 화학에서 구입한 1급 시약을 이용하였다.

본 연구에 사용된 기기로 초음파기기는 (주)태원 초음파기연에서 제작한 막대형 sonicator 기기(20~30kHz, 200W)를 사용하였으며, 분석장비로 IR은 Nicolet spectrometer 550을 사용하였으며 KBr pellet 측정방법에 의하여 측정하였다. 점도계는 Brookfield사의 DV II<sup>+</sup>를 사용하였

으며 시료를 상온의 동일 조건에서 측정하였다.

### 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 방법을 함께 적용하여 실험을 실시하였다.

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

이와 같이 초음파 반응, 촉매반응 및 기존 glycolysis 방법인 비초음파와 무촉매 등의 여러 형태의 반응 조건을 달리하면서 실험하였다. 즉 glycol, 촉매 및 페우레탄 존재 하에서 열을 가하여 낮은 분자량의 생성물을 얻었다. 반응온도의 조절과 반응 수율을 증가시킬 수 있는 다양한 촉매의 선택이 본 연구에서 중요한 관건이며 다양한 실험과 방법을 통하여 최적의 조건을 확립하였다.

### 3. 초음파 장치의 해석

일반적으로 초음파 에너지는 진동수(주파수)와 진폭이 클수록 큰 에너지를 줄 수 있으며, 파의 진행 방향으로 수직인 단위 면적을 단위 시간에 진행하는 초음파 에너지 량 I는

$$I = 2\pi^2 A^2 f^2 \rho c$$

로 나타낼 수 있다.

여기서 A는 파동의 진폭이고, f는 진동수, ρ는 매질의 밀도, c는 음파의 전파 속도이다.

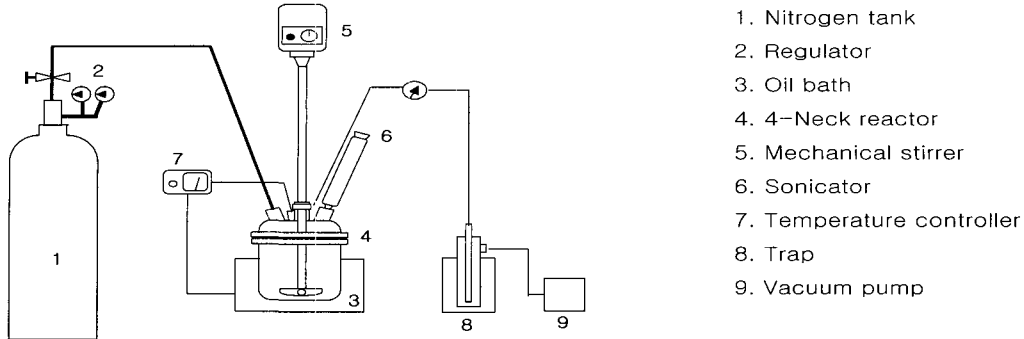


Fig. 1. Diagram of experimental reactor for waste polyurethane depolymerization.

결국 초음파 에너지는 다음과 같이  $I \propto A^2 f^2$ 의 관계가 되므로, 진폭 A가 클수록 또한 주파수 f가 클수록 큰 에너지를 줄 수 있다.

본 연구에서 이용된 초음파 장치의 실제 power를 계산하기 위하여 Ramirez의 방법<sup>10)</sup>을 이용하였다. 즉, 초순수 500ml를 채우고 단열시킨 반응기에 초음파 장치를 연결하고 시간에 따른 온도 변화를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 이들 최소 자승법으로 구한 값들의 기울기를 식(1)에 대입하여 Pa(power)를 계산하였더니 초음파 조사시간이 750초일 때 Pa는 24J/s 이었다. 그러므로 실제 Pa를 상수로 놓고 반응물의 초음파 조사시간과 부피의 함수로 에너지 밀도(Ua)를 구하여 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Ua = Pa \cdot Ta \quad (Ta = T/V) \quad (1)$$

T : 초음파 조사 시간

V : 반응물(초순수)의 부피

본 연구에서는 반응물의 부피를 고정시키고 초음파 조사시간을 변화시켜 구한 에너지 밀도(Ua)를 실험치로 이용하였다. 위에서 구한 Pa를 대입하여 에너지 밀도를 계산하면 반응시간 당 에너지 밀도는 220J/ml로 계산되었다.

#### 4. 수산가의 측정

폴리우레탄 제조시 그 배합비의 중요 인자로서 폴리올의 분자량, 산가, 및 수산가 등이 있는데 특히, 수산가는 폴리올이 이소시아네이트와 같은 경화제와 반응시 그 반응 조건(연질 및 경질)에

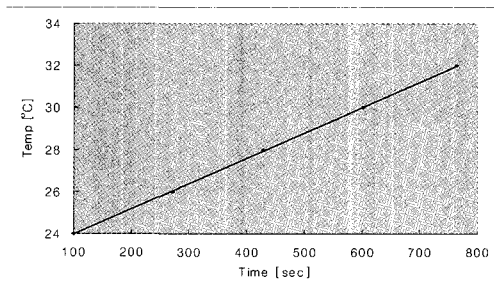


Fig. 2. Variation of temperature of water with sonication time.

따른 수치를 조정할 필요가 있다. 그러므로 수산가의 측정은 Urbanski 등<sup>11)</sup>에 의한 방법을 이용하였다. 먼저, glycol 분해 생성물 중 충진제와 불순물을 분리하고 일정량을 정확히 측정하여 300ml 삼각플라스크에 넣고 무수프탈산 40.0g을 피리딘 300ml에 녹여 24시간 방치한 후 용액을 25.0ml채취하여 시료를 용해시킨다. 무수 프탈산/피리딘 용액에 잘 용해되지 않는 시료는 가열하여 온도를 높이면서 용해시킨다. 그리고 100℃로 유지된 Oil bath에 장착 후 1시간 30분간 반응시키고, 반응 도중 15분마다 험차게 흔들어 시료가 침전되지 않도록 주의하면서 반응시켰다. 반응 1시간 30분 후, Oil bath에서 꺼내어 아세톤 수용액(1:1)용액 50.0ml를 주입하여 삼각플라스크 벽면 내부에 시료를 세척하고 실온으로 냉각시킨다. 0.5N-가성소다 용액 50.0ml를 가하고 피리딘에 녹여 제조한 1.0% 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 사용하여 0.5N-가성소다 수용액을 한

방울씩 떨어뜨리며 적정하여 수산가(OH value)를 결정하였다.

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

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

A : 적정실험에 사용된 0.5N-NaOH의 부피(ml)

F : 0.5N-NaOH의 역가

m : 측정에 사용된 시료의 무게(g)

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 촉매에 따른 분해 온도의 차이

기존 알려진 화학적 분해방법인 glycolysis를 이용한 분해반응은 180~200℃에서 7~8시간 반응을 시킨다고 알려져 있다<sup>12-13)</sup>. 그러나 본 연구에서는 우선 촉매의 종류와 양을 변화시키면서 점도 변화를 측정하여 보았다. 그 중에서 DABCO 촉매에 대한 반응온도에서 점도변화를 나타낸 Fig. 3을 보면 반응온도가 높을수록 반응속도가 빨라지므로 점도에 변화를 나타냄을 확인할 수 있었으며 반응 3시간 동안 빠른 점도 변화를 나타내다가 4시간 전후에서 점도에 커다란 변화를 나타내지 않음을 확인할 수 있었다.

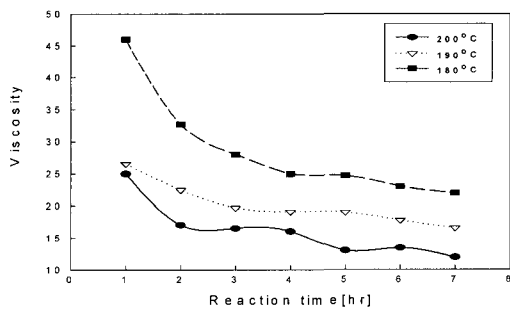


Fig. 3. Change in viscosity over time using different reaction temperature at PPG and 0.6 parts DABCO per 100 parts scrap type.

다음으로 Fig. 4를 보면 온도를 190℃로 고정하고 촉매로 염기성 촉매인 수산화 칼륨(KOH)을 사용하였을 때 촉매의 양에 따른 점도 변화를 살펴보면 촉매의 양이 증가할수록 반응성이 좋아지는 것을 확인하였으나 경제성을 고려한다면 0.6~0.8부 정도로도 촉매에 의한 해중합이 가능함을 확인할 수 있었다.

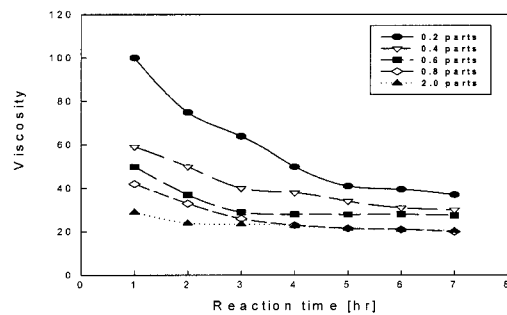


Fig. 4. Change in viscosity over time at different levels of KOH at 40 parts DEG and 190°C per 100 parts scrap type.

다음으로 Fig. 5를 보면 온도를 180℃로 고정하고 가성소다를 촉매로 사용하여 폴리올의 종류에 따른 점도변화를 살펴본 것인데 PEG, EG, 및 PPG 등이 연질 페폴리우레탄에 대한 우수한 분해 반응성을 나타내었다.

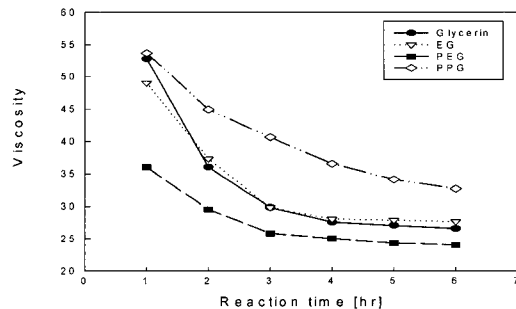


Fig. 5. Change in viscosity over time using 0.6 different polyol at 180°C and parts NaOH per 100 parts scrap type.

## 2. 해중합 조건에 따른 분해 온도의 차이

기존 알려진 화학적 분해방법인 glycolysis를 이용한 분해반응 후의 분해된 생성물은 대부분 탄산칼슘과 같은 충전제, 폴리올, carbamate 폴리올, 미량의 첨가제 및 아민 화합물로 구성되어 있다고 알려져 있다<sup>12)</sup>. 플라스틱의 경우 고분자 자체뿐만 아니라 원료 품질 유지 및 안정성을 위하여 다양한 유, 무기 첨가제가 사용되는데 플라스틱의 성질을 결정하는데 중요한 역할을 하는 반면 재생과정에서는 유해가스를 발생시키거나 물성을 저하시키기 쉽다. 그러므로 대량으로 해중합 재생과정을 거친 후 별도의 분리 정제 공정이 필요하다.

본 연구에서는 신발 중창으로 사용하는 scrap type에 용매로서 다양한 폴리올을 이용하여 실험을 실시하였으며 이에 따르는 분해온도와 분해속도를 확인하였다. Table 1의 결과에서 보여주듯이 분해온도가 초음파 적용시와 촉매를 사용하여 분해시켰을 때가 기존 glycolysis 방법으로 분해시켰을 때 보다 대략 10~30℃ 정도 낮은 온도에서 분해되는 것을 확인할 수 있었으며 초음파 반응을 시켰을 때와 염기성 촉매를 이용할 경우 거의 비슷한 온도에서 분해반응을 나타내었으며 다른 종류의 폴리올에 대한 결과에서도 유사한 실험 결과를 나타내었다.

그러나 Table 1의 결과는 초기 분해 반응온도이며 이 온도가 완전 분해를 말하는 것은 아니다. 하지만 scrap이 겔화를 일으키는 온도, 즉 scrap과 용매로 사용한 glycol이 유사한 점성을 나타내는 육안 상으로 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 폴리올보다 더욱 빠른 분해 반응시간으로 재생 폴리올을 얻을 수 있음을 예측할 수 있다. 기존 glycolysis 방법<sup>13)</sup>에서는 대략 180~200℃에서 8시간정도 반응을 시켜 폴리올을 취하는 것에 비하여 초음파기술을 응용할 경우 반응 공정상 시간을 2~3시간 정도로 단축시킬 수 있으며 이로 인한 생산비 절감의 효과를 나타낼 수 있으리라 예상할 수 있다. 위에서 서술한 EG, PPG 이외에도 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℃ 부근에서 기화하여 많은 gas가 발생함으로 인해 육안상 온도 확인이 어려웠으므로 정확한 초기 분해온도를 나타내기가 어려웠다.

**Table 1.** Effect of depolymerization method on the initial decomposition temperature of waste polyurethane (scrap type)

Polyol Type	EG			PPG		
	sonication	catalyst	*non-soni, non-catalyst	sonication	catalyst	non-soni, non-catalyst
seat	142±2 ℃	157±2 ℃	above 175℃	148±2 ℃	164±2 ℃	above 183℃

\* : current method

3. 해중합 조건에 따른 수산가의 변화

Scrap type을 이용하여 다양한 폴리올에 대한 분해반응을 실시하였다. 이들 중 대표적으로 표현한 Fig. 6과 7의 결과를 보면 EG 및 DEG를 scrap/polyol 비율을 25/75로 하였고 분해방법으로 첫 번째 초음파/촉매에 의한 방법, 두 번째 촉매를 이용한 방법 및 세 번째 무초음파, 무촉매 방법을 이용하여 반응 시간과 반응온도에 따른 수산가의 변화를 측정하였으며 이때 수산가를 측정하기 위한 sample은 실험조건인 140~200℃의 분해 반응온도 사이에서 반응시키며 반응 한 시간마다 일정량의 sample을 취해 수산가를 측

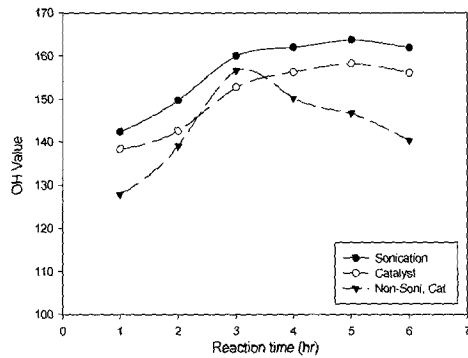


Fig. 6. Change of hydroxyl value by decomposition method at different reaction time(foam/EG=25/75).

반응 온도는 각각의 분해방법에 따라 차이를 나타냄으로 반응온도에 따른 수산가 측정 실험하였으며 반응 시간의 차이는 chain 길이가 짧은 EG가 PPG 및 DEG에 비해서 결합되어 있는 우레탄기를 쉽게 공격하여 반응시간의 차이가 생기는 것으로 생각되어지며 초음파를 이용하여 분해시킬 때 다른 방법에 비해 짧은 반응 시간에 수산가가 일정한 값을 보임으로 반응시간이 좀더 단축된 것으로 보였으며 그러나 반응개시 후 5시간 이후에는 수산가가 서서히 감소하는 경향을

정하였다. Fig. 2와 3은 폴리올의 종류와 분해법 차이에 따른 수산가의 차이를 나타내며 이 실험에서는 페우레탄과 폴리올의 비율은 25/75 (wt%)로 하였으며 촉매를 이용한 분해 방법으로는 페우레탄에 대한 촉매 분해반응 실험 중 가장 빠른 분해 반응속도를 나타내었던 염기성 촉매를 사용하였다.

즉, NaOH와 CH<sub>3</sub>COOK, CH<sub>3</sub>COOZn 등을 이용하였으나 NaOH와 KOH 등과 같은 진한 염기성 촉매가 다른 촉매들에 비해 분해 속도와 수산가가 다소 높음을 나타내었으며 본문에는 NaOH를 이용한 결과 값만을 나타내었다.

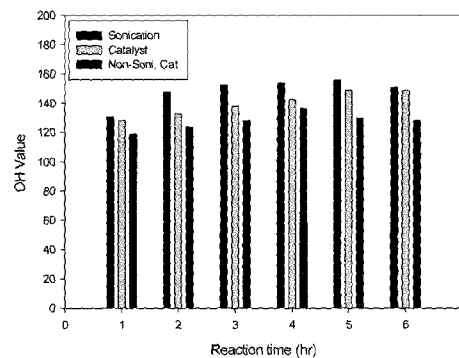


Fig. 7. Changes of hydroxyl value depending on different reaction time by decomposition method at scrap foam/DEG(25/75).

나타내었다. 이는 초음파의 영향으로 우레탄 결합기뿐 아니라 수산기에도 영향을 끼치기 때문인 것으로 생각되어진다.

또한, 다양한 해중합 분해 반응조건에서 반응 시간과 수산가의 변화량의 차이점을 알아내기 위하여 IR 분석을 하였으며 이중 반응조건에 따른 IR분석에서는 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 3시간 해중합 반응조건에서 비초음파와 무촉매의 반응 조건에서보다는 초음파와 촉매조건에서가 더 우수한 폴리올 생성량을 나타내었다.

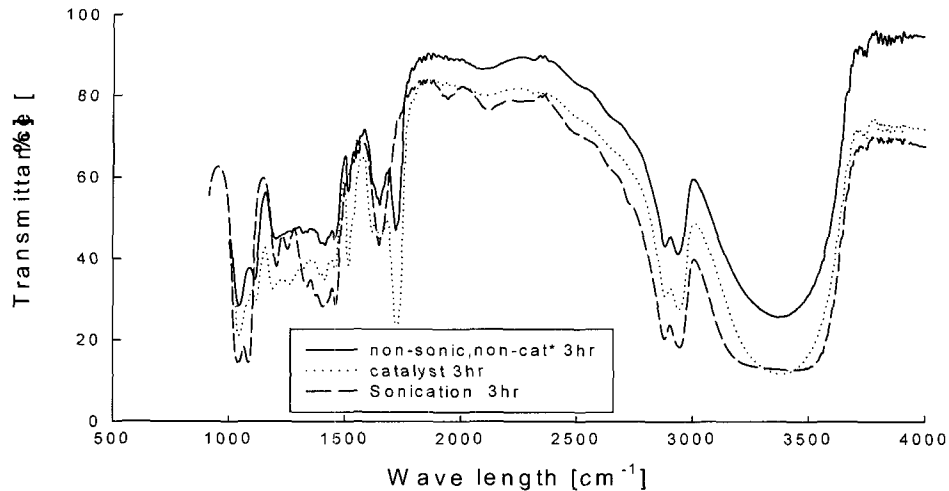


Fig. 8. IR spectrum of the products for at scrap /EG(25/75) according to decomposition method condition at 3 hr.

최근 석유공업화학의 발달로 virgin 수지의 가격이 낮아져 재생 산업의 경제성이 악화되어 있으나 그 보완을 위한 제도는 미비한 실정이다. 반면 경쟁력 있는 공정 개발을 위하여 다른 종류고분자간의 상용성 차이를 극복할 수 있는 기술력 확보와 재생재료를 이용한 신제품 개발이 본 연구와 같은 재활용 기술에서의 관건이라고 생각된다.

#### IV. 결 론

페플라스틱의 재활용 차원에서 신발제조 공정에서 발생하는 페우레탄을 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 확인할 수 있었고 이는 다소 낮은 온도에서도 분해가 가능해짐으로 인해 더욱 빠른 분해 반응시간으로 재생

폴리올을 얻을 수 있음을 예측할 수 있었다.

수산가 측정결과 다양한 폴리올에 대한 페우레탄 품 해중합 결과는 다른 폴리올에 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. 폴리올의 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 8시간 정도 반응을 시켜 폴리올을 취하는 것에 비하여 초음파기술을 응용할 경우 반응 공정상 시간을 기존공정에 비하여 4~5시간 정도 단축시킬 수 있으며 150~160℃ 정도의 분해 온도만으로도 해중합 반응이 가능하므로 이로 인한 전력 및 인건비 등의 생산비 절감의 효과를 나타낼 수 있으리라 예상할 수 있다.



### 감사의 글

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

### 참고문헌

1. 리사이클링 백서 : (사)한국자원리사이클링 협회, 1999.
2. 김영빈 : 폐플라스틱의 재자원화 대책. 자원리사이클링 학회, 2(1), 27-33, 1993.
3. 옥성현 : 폐플라스틱의 재활용 기술 개발. 환경부 보고서, 1997.
4. 선도원, 한재익, 손근희 : 일본의 폐플라스틱 열분해 기술 동향. 화학공업과 기술, 14(4), 371-378, 1996.
5. 이중기 : 폐플라스틱의 화학적 리사이클링 기술. 공업화학 전망, 3(2), 16-21, 2000.
6. 김혜태 : 혼합 폐플라스틱의 발생 실태 및 재활용 기술현황에 대한 연구. 한국 자원 재생공사, 1996.
7. 최정옥 : 폐플라스틱 열분해 상업화 공정개발, 통상 산업부 연구보고서. 1995-N-WA02-9-01, 1998.
8. Mason, T. J. and Lorimer J. : Sonochemistry. John Wiley & Sons, New York, 3, 1988.
9. Mason, T. J. : Chemistry and ultrasound, Elsevier, New York, 54, 1990.
10. Ramirez, M., Rosa, N. D. and Zarzycki, J. : Sonication method. *J. NonCryst. Solids*, 120, 40(1990).
11. Urbanski, J., Czerwinski, W., Janika, J. and Zowall, H. : Handbook of analysis of synthetic polymers and plastics. Ellis Horwood, U. K., 112, 1977.
12. Topac, H., Arastoopour, H., Ivanov, G. and Shutov, F. : *Polyurethanes. World Congress*, 10, 168, 1993.
13. Burnett, R. H., Baum, G. A. and Ehig, R. J. : Plastic Recycling. Hanser Publishers, New York, 117, 1992.