

## 선박용 폐 FRP 수지의 재활용 공정 개발

강 세 란·김 영 우·황 덕 기·김 시 영<sup>\*</sup>·이 민 규·주 창 식  
부경대학교 화학공학부·<sup>(주)</sup>태성 E&C·부경대학교 기계공학부  
(2003년 4월 14일 접수; 2003년 6월 2일 채택)

## Development of A Recycling Process for Waste FRP from Boats

Se-Ran Kang, Young-Woo Kim, Duk-Ki Hwang<sup>\*</sup>, Si-Young Kim<sup>\*\*</sup>,  
Min-Gyu Lee and Chang-Sik Ju

Div. of Chem. Eng., Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>\*</sup>Taeseung E&C Co. Ltd, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>\*\*</sup>Div. of Mech. Eng., Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

(Manuscript received 14 April, 2003; accepted 2 June, 2003)

A recycling process for the waste FRP from boats was developed. The recycling process is composed of decomposition of waste FRP with propylene glycol and synthesis of recycled unsaturated polyester resin from the decomposed liquid material. Prior to the decomposition, waste FRP was cut into 2cm x 5cm segments and mechanical impact was applied by press roller to give gaps between cumulated laminates. Propylene glycol effectively decomposed the waste FRP segments and glass fibers were easily separated from decomposed liquid material. Recycled unsaturated polyester resin could be made from the decomposed liquid material by reaction with maleic anhydride and phthalic anhydride.

Key words : Recycling, Waste FRP, Delaminated, Decomposition

### 1. 서 론

최근 복합재료 기술의 발달과 재료의 경량화 추세에 따라, 가볍고 내충격성이 큰 유리섬유강화플라스틱(Fiber Reinforced Plastics, FRP)이 다양한 분야에 사용되고 있다. FRP는 강화제에 불포화 폴리에스터 수지나 에폭시 수지를 가한 것으로, 자동차, 선박, 파이프, 적층판 등을 제조하는데 많이 사용된다. 강화제로는 유리섬유가 가장 많이 쓰이고, 탄소섬유, 삼, 나일론, 폴리에스터 섬유를 사용하는 경우도 있다. 여기에 용도에 따라 충전제로 탄산칼슘이 첨가된다.<sup>1)</sup> FRP로 제조되는 주 생산품들의 종류와 제조공정 및 조성은 Table 1과 같다.<sup>2)</sup>

FRP 제품의 국내 시장규모는 연간 1조원 이상으로 추정되며, 주로 저수용 탱크, 자동차 부품, 건축자재, 상하수도관 등으로 사용되고 있다. 일본의 경우에는 연간 FRP 생산량이 50만 톤에 달하고 있으

며, 주택용 기자재 및 건설-산업용으로 사용되고 있다. 이러한 생산량의 증대로 인하여 FRP 폐기물의 발생량도 급증하여, 우리나라의 경우 1998년 기준으로 약 8만 톤에 달하는 것으로 추정되며, 일본의 경우에는 연간 약 28만 톤에 달하는 FRP 폐기물이 발생하고 있다.<sup>2)</sup> 그러나 FRP 제품은 대개 불용의 열경화성 수지로 구성되어 있기 때문에 폐기물 처리가 용이하지 않아 많은 문제점을 발생시키고 있다. 일본에서는 이 문제를 해결하기 위해서 "FRP 재자원화추진위원회"를 발족시킨 바 있으나, 국내에서는

Table 1. FRP products and their raw materials

Representative FRP products	Processes	Raw materials (Average wt.%)		
		Resin	Glass fiber	Filler
Fishing boats Pleasure boats	hand-lay-up	60~70	40~30	0
Bathtubs Bath unit	SMC	20~30	20~30	45~55

Corresponding Author : Chang-Sik Ju, Div. of Chem. Eng., Pukyong National University, Busan 608-739, Korea  
Phone : +82-51-620-1463  
E-mail : csju@pknu.ac.kr

개별적인 연구가 추진되어 오고 있을 뿐 체계적인 대책은 아직 없는 실정이다.

FRP 제품 수요처의 약 5%를 차지하고 있는 FRP 선박은 그 수명이 대략 15년으로, 약 20년 전부터 FRP 선박을 건조하기 시작한 국내에는 현재 약 10만 톤의 FRP 폐선이 있는 것으로 알려져 있다. 이는 약 2만 척에 해당하는 많은 양으로, 이들 폐선들이 전국의 해안 각지에 분산 방치되고 있어 다른 폐 FRP 제품보다 더욱 심각한 환경 문제를 일으키고 있다. 그러나 폐 FRP 선박을 비롯하여 여러 경로에서 발생되는 각종 FRP 폐기물의 적절한 재활용 또는 처리대책이 아직까지 확립되지 못하고 있다.

FRP의 제조에 사용되는 수지들은 모두 열경화성 수지로 용매에 녹지 않을 뿐 아니라 고온에서 용융되지도 않기 때문에 폐 FRP 제품들의 재활용은 매우 어렵다. 현재까지 사용되고 있거나 연구 중에 있는 폐 FRP 처리 방법으로는 소각하거나 매립하는 방법, 분쇄하여 다른 물질과 혼합 사용하는 방법, 열 분해하여 기름 또는 gas로 만드는 방법<sup>3)</sup>, 화학적인 방법으로 분해하여 재 합성하는 방법<sup>4,5)</sup>, 초임계 용매 등을 사용하여 용해시키는 방법<sup>6)</sup> 등을 들 수 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 소각 또는 매립하는 방법이나 분쇄하여 다른 물질과 혼합 사용하는 방법은 토양과 주위 환경에 2차 오염을 일으키거나, 연소 시에 다이옥신 등 공해 물질을 다량 배출하고, 고온에서도 소각되지 않는 유리섬유의 처리가 문제가 되기 때문에 진정한 의미의 폐 FRP 처리법이라 할 수 없다. 이러한 현실적 어려움 때문에 최근 들어 폐 FRP의 처리공정 개발에 관한 다양한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

에폭시 수지를 메트릭스로 사용한 FRP는 불포화 폴리에스터 수지를 사용한 FRP보다 재활용이 용이한 것으로 알려져 있다. 에폭시 수지는 사용한 경화제의 종류에 따라 산이나 알칼리에 대한 내식성이 약한 성질을 이용하여 수지를 분해시켜 재활용 한다.<sup>7)</sup> 그러나 에폭시 수지가 불포화 폴리에스터 수지에 비해서 고가이기 때문에, 현재 생산되고 있는 FRP 제품 중에서 에폭시 수지를 사용한 FRP가 차지하는 비율이 매우 낮아 이 공정은 폐 FRP를 처리하는데 크게 도움이 되지는 못하는 것으로 평가되고 있다.

경화된 불포화 폴리에스터 수지를 메트릭스로 사용한 FRP는 분해가 매우 어렵기 때문에 대부분의 연구에서 폐 FRP를 1 ~ 0.1 mm 정도의 크기로 분쇄한 후, 다른 물질과 혼합하거나 분해<sup>8,9)</sup> 시켜 재활용하는 공정을 시도하고 있다. 그러나 분쇄를 전

제로 하는 이 공정들은 FRP를 분쇄하는 과정에서 필연적으로 발생하는 유리섬유의 분진이 매우 유독하여 큰 문제점으로 지적되고 있다.

본 연구에서는 현재 적절한 재활용 방안을 찾지 못하여 적체 일로에 있는 FRP 폐선박의 재활용 공정을 개발하기 위한 실험적 조사를 행하였다. 본 연구에서 사용한 재활용 공정은 유리섬유의 분진을 일으키는 분쇄공정을 채택하지 않아 환경 친화적일 뿐 아니라 불포화 폴리에스터 수지를 메트릭스로 사용한 모든 종류의 폐 FRP 재활용에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 실험

본 선박용 폐 FRP 재활용 공정은 폐 FRP를 절단하여 적층을 박리하는 전처리 단계, 층이 박리된 폐 FRP 시료를 propylene glycol (PG)로 분해하는 단계, 유리섬유와 분리된 분해액을 정제하여 재사용하는 단계, 그리고 잔류 분해액을 사용하여 재생수지를 합성하는 단계로 구성되었다.

### 2.1. 폐 FRP의 전처리

폐 FRP 선체로부터 엔진 등 다른 소재로 된 부품들을 분리 제거한 후, FRP 시료 절단기를 사용하여 2 cm x 5 cm 크기의 1차 시편을 제조하였다. 제조된 1차 시편은 세척 및 건조 과정을 거치면서 시편 표면의 이물질(異物質)들이 제거되었고, 2 종의 롤러에 의해 적층이 박리되는 과정을 거쳤다. 적층의 박리는 먼저 압착롤러의 두께별로 가공된 롤러 홈에 1차 시편을 넣어 압착하여 층 분리가 가능한 압착된 FRP 시편을 만들었다. 이 압착된 FRP 시편을 FRP 층 분리 롤러에 넣고 회전시키면 적층이 박리되어 층 사이에 공간이 많은 최종 시편이 얻어졌다.

### 2.2. 폐 FRP 시편의 분해

층이 박리된 FRP 시편을 분해 반응조에 넣고 PG를 사용하여 시편 중의 불포화 폴리에스테로 수지를 분해하였다.

분해 반응조 상부에는 고온 고압 하에서도 반응물을 교반할 수 있도록 기밀장치(mechanical seal)를 설치하였으며, 하부에는 스테인레스 볼 등으로 구성된 필터를 설치하여 분해 반응 후 분해액이 유리섬유와 분리되어 배출될 수 있도록 하였다. 반응기 외부에는 밴드 히터(band heater)를 설치하였고, 온도조절기를 사용하여 반응기 내부 온도를 조절하였다. 분해 반응이 진행되는 동안 반응기 내부 압력이 크게 높아지므로, 안전을 위해서 안전핀과 솔레노이드 밸브를 설치하였다.

## 선박용 폐 FRP 수지의 재활용 공정 개발

분해 반응조에 2.1.절의 방법으로 제조한 FRP 시편과 PG 그리고 촉매로 NaOH를 넣고 10분간 질소 가스를 흘려 반응기 내의 산소를 제거한 후, PG 및 촉매의 사용량, 분해 온도와 분해 시간을 달리하면서 시편 중의 수지에 대한 분해를 시도하였다.

분해 반응이 종결되고 분해 반응조 내부의 온도가 충분히 내려가면 하부의 밸브를 열어 분해액을 필터를 통해 배출시켰다. 반응조 내부에 잔류하는 유리섬유는 n-hexane과 증류수로 충분히 세척하여 120°C에서 24시간 건조시킨 후, 600°C의 전기로에서 2시간 동안 소성시켜 수지의 분해율을 측정하였다.

### 2.3. 재생 불포화 폴리에스테르 수지의 제조

폐 FRP 시편의 분해공정에는 상당한 양(700 ml PG / 70 g 폐 FRP)의 PG가 사용되므로, PG의 소비량과 생성되는 재생수지의 양을 줄여 공정의 경제성을 높일 목적으로 재생수지의 제조에 앞서 분해액으로부터 PG의 분리를 시도하였다.

PG의 분리는 분해액을 단증류 장치에 넣고 가열하면서 증기를 온도 범위 별로 분리 회수하는 방법으로 진행되었다. 회수하는 PG의 양은 생성되는 재생 수지의 양과 물성을 고려하여 결정하였으며, PG를 회수한 잔여 분해액을 재생수지의 제조에 사용하였다.

잔여 분해액을 합성 반응조에 넣고 무수 말레인산과 무수 프탈산을 첨가하여 재생 불포화 폴리에스테르 수지를 제조하였다. 먼저 합성 반응조의 온도를 2시간에 걸쳐 상온에서 170°C까지 올린 후 2시간 반응시켰으며, 다시 반응온도를 185°C까지 30분에 걸쳐 상승시켜 5시간 동안 반응시켰다. 반응이 진행되는 동안 일정 시간 간격으로 수지의 pH, 점도 및 산도를 측정하여 생성되는 수지의 물성에 미치는 조작변수들의 영향을 조사하였다. 그 후 중합 억제제 hydroquinone을 첨가하여 반응을 종결시키고, t-butyl catechol을 첨가한 styrene을 첨가하여 재생 수지를 얻었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 폐 FRP의 전처리

지금까지 보고된 FRP 재활용 공정들에서는 대부분이 폐 FRP를 300 mesh<sup>10)</sup> 또는 그 이하로 분쇄하여 사용하였으나, 이 방법들은 분쇄과정에서 인체에 매우 유해한 유리섬유 분진을 발생시킬 뿐 아니라 분해 반응 후 유리섬유의 작은 입자들이 분해조와 그 주변 장치를 막아 조업 상 여러 가지 어려움을 주어왔다.

본 연구에서는 FRP 시편의 분쇄에 따른 이러한

문제점을 해결하고 폐 FRP를 효율적으로 분해 재활용하기 위해서, 2.1.절에서 설명된 것과 같이 2종의 롤러를 사용하여 폐 FRP 시편의 적층 박리를 시도하였다. Fig. 1 (a)와 같은 2 cm x 5 cm 크기로 절단된 폐 FRP 시편을 압착 롤러와 충분리 롤러를 통과시키면, Fig. 1 (b)에서 보는 바와 같이 시편의 각 층들이 박리되어 충 사이에 분해액이 침투할 수 있는 충분한 공간이 생긴 것을 볼 수 있었다. 더욱이 이 충 분리된 시편들을 고압 분해 반응조에 넣고 220°C 이상에서 PG를 사용하여 분해하면 FRP를 구성하고 있던 경화 불포화 폴리에스테르 수지는 분해되고 Fig. 1 (c)와 같이 유리섬유만 남게 되는 것을 알 수 있다.

### 3.2. 폐 FRP 시편의 분해 반응

폐 FRP 분해 실험에 앞서 본 연구에 사용한 선박용 폐 FRP 시편 중의 유리섬유 함량을 조사하였다. 600°C의 전기로 속에 2cm x 5cm 크기의 폐 FRP 시편을 넣고 2시간 동안 소성시킨 후, 잔류하는 유리섬유의 무게를 측정하는 방법으로 유리섬유

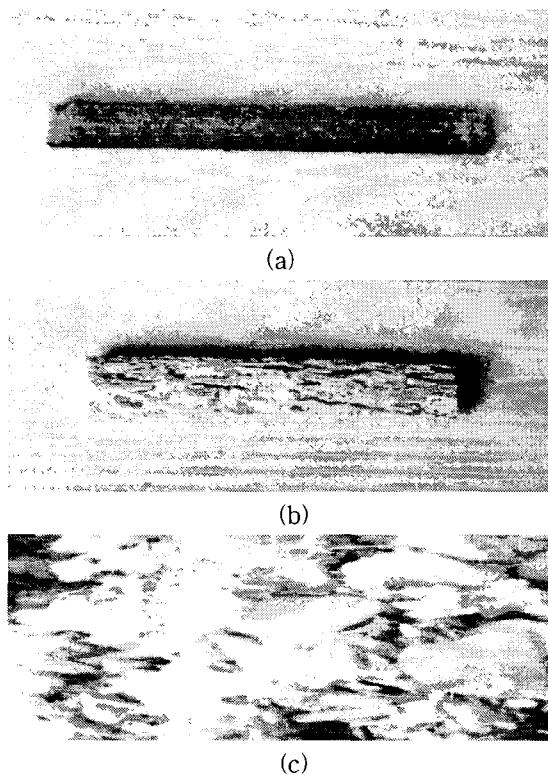


Fig. 1. Photos of waste FRP segments.

(a). untreated

(b). after mechanical treatment

(c). after decomposition

의 함량을 조사하였다. 실험 결과 폐 FRP 시편 중의 유리섬유 함량은 36.5%였다. 이 측정치는 Table 1에서 보는 바와 같이 통상적인 선박용 FRP 제품 중의 유리섬유 함량(40~30%) 범위 내에 있고, 선박용 FRP 제품에는 충전재(filler)를 사용하지 않으므로 이 값을 폐 FRP 시편의 분해율 계산에 사용하였다.

경화 불포화 폴리에스터 수지의 분해에는 몇 가지 용매가 사용되어 왔다. 글리콜을 사용하여 경화 불포화 폴리에스터 수지를 분해하면 bis-(2-hydroxyethyl)terephthalate(BHET)와 그 oligomer가 생성되고, 생성되는 BHET와 용매로 사용된 글리콜은 DMT(dimethyl terephthalate)-based 또는 TPA(terephthalic acid) based PET의 원료가 되기 때문에 메타놀이나 물을 사용하는 분해법보다 유리한 것으로 알려져 있다.<sup>11)</sup> 이에 본 연구에서는 폐 FRP 시편 중의 경화 불포화 폴리에스터 수지를 PG를 사용하여 여러 조건하에서 분해를 시도하였으며, 폐 FRP 시편의 분해율은 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{분해율} = \frac{T \times (1 - G) - D}{T \times (1 - G)} \times 100$$

T : 투입한 폐 FRP 시편의 총 무게

G : 폐 FRP 시편 중의 유리섬유 함량 = 0.365

D : 분해, 세척, 건조 후의 시편 무게

PG를 사용하는 경화 불포화 폴리에스터 수지의 분해에는 다양한 촉매들이 사용되고 있고<sup>9)</sup>, 이를 중 DBTO(dibutyltin oxide), ZAD(zinc acetate dihydrate), ZAD + AT(antimony trioxide) 및 NaOH를 사용하여 폐 FRP의 분해율에 미치는 촉매의 영향을 조사하였다. Fig. 2는 폐 FRP 시편과 PG 그리고 각 촉매의 비를 1:10:0.1로 하여 220°C에서 4시간 동안 분해한 결과를 나타내는 것으로, NaOH를 사용한 경우의 분해율이 59.9%로 다른 촉매를 사용한 경우에 비하여 가장 높았다. 분해 반응을 거친 유리섬유는 재생수지와 혼합되어 재사용되고 59.9%의 분해율은 유리섬유의 재사용에 큰 문제를 일으키지 않을 뿐 아니라, 촉매로 첨가된 NaOH가 재생수지의 합성에도 지장을 초래하지 않으므로 본 연구에서는 NaOH를 촉매로 선택 사용하였다.

NaOH가 폐 FRP 시료의 분해에 미치는 영향을 조사한 결과를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 상온에서의 FRP 분해율은 극히 미미하지만 시간에 따라 점차 증가하는 경향을 보이고 있고, 분해 반응 후 FRP 시료의 수지 부분이 다소 팽창되고 손상이 생긴 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 수지 부분의 손상은 NaOH를 사용하지 않은 분해 반응에서는 나타나지 않는 현상으로, PG 중의 NaOH가 총 분리 된 FRP 시편의 표면을 손상시켜 분해를 촉진시키는 것으로 추정된다.

220°C에서의 분해 반응 시 FRP 시료 대비 NaOH의 첨가량이 분해율에 미치는 영향을 나타내고 있는 Fig. 4를 보면, NaOH의 첨가량이 증가할수록 분

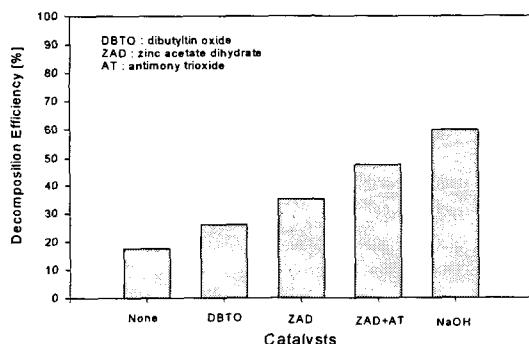


Fig. 2. The decomposition efficiency of the waste FRP from boats with various catalysts at 220°C.

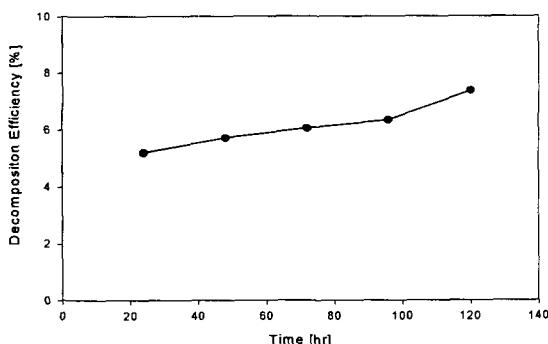


Fig. 3. The effect of decomposition time on the decomposition of waste FRP at 30°C(FRP: PG : NaOH = 1 : 10 : 0.1).

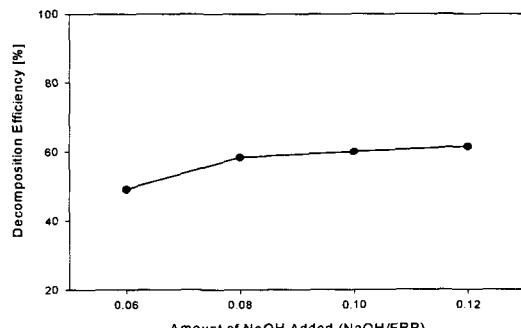


Fig. 4. The effect of amount of NaOH added (NaOH/FRP) on the decomposition efficiency of waste FRP at 220°C(FRP : PG = 1 : 10).

## 선박용 폐 FRP 수지의 재활용 공정 개발

해율이 증가하는 경향을 보이고 있으나 NaOH 첨가량이 FRP 시료의 0.08 이상이 되면 NaOH 첨가량은 FRP의 분해율에 거의 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

PG를 사용하는 폐 FRP 분해공정에서 경제성에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 PG 사용량이다. 대부분의 폐 FRP 분해 공정에서 PG의 사용량은 폐 FRP 시료의 10배 정도가 되고, PG의 사용량이 증가하면 원료비가 상승할 뿐 아니라 배출되는 분해액의 양이 증가하여 결과적으로 생산되는 재생수지의 양이 증가되는 결과를 초래하기 때문이다.

Fig. 5는 본 분해공정에서 사용한 PG의 양이 폐 FRP 시료의 분해율에 미치는 영향을 나타내는 것으로, PG 사용량이 폐 FRP 시료의 6배 이상이 되면 분해율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 본 공정에서는 PG의 사용량을 크게 감소시킬 수 있었으며, 이는 본 공정에서 폐

FRP 시료를 층 분리하는 전처리 공정을 도입하여 분해액이 폐 FRP 시료와 효과적으로 접촉할 수 있도록 하였기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 6은 폐 FRP 시료의 분해율에 미치는 분해반응시간의 영향을 나타내는 것으로, 분해율은 분해반응시간이 증가함에 따라 증가하지만 그 증가율은 서서히 감소하여 5시간 이후가 되면 그 영향이 미미한 것을 알 수 있다. 이러한 Fig. 6의 결과로부터 본 분해 공정의 최적 분해반응시간을 5시간으로 설정하였다.

Fig. 7은 분해반응 온도가 폐 FRP 시료의 분해율에 미치는 영향을 나타내는 것으로, 분해제로 사용된 PG의 비점(188.2°C) 이하에서는 분해율이 매우 낮지만 분해반응 온도가 증가함에 따라 분해율이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 밀폐된 분해 반응조를 사용하는 본 공정에서 분해반응 온도가 증가하면 분해 반응조 내부의 압력이 크게 증가하고 이 증가된 온도와 압력이 폐 FRP 시편의 분해를 촉진하기 때문인 것으로 추정할 수 있다. 250°C에서 얻어진 분해율 95.2%는 폐 FRP 시편으로부터 불포화 폴리에스터 수지가 대부분 분해 제거되고 잔류하는 유리섬유들이 서로 융결하여 쌀알과 같은 크기의 덩어리를 형성하는 정도로 더 이상의 분해가 불필요한 상태였다. 따라서 본 공정에서는 최고 분해반응 온도를 250°C로 설정하였다.

### 3.3. 분해액의 정제 및 재생 불포화 폴리에스테르 수지의 합성

폐 FRP 시료를 분해한 분해액을 사용하여 재생 불포화 폴리에스테르 수지를 합성하는 실험을 행하였다. 폐 FRP 시료의 분해 공정에서는 폐 FRP 시료의 6 ~ 10배의 PG가 사용되므로, PG의 소비량과 생성되는 재생수지의 생산량을 감소시켜 공정의 경

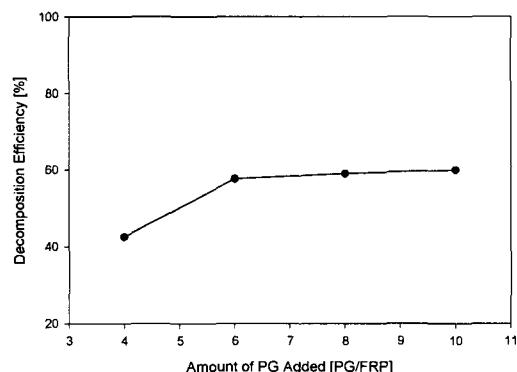


Fig. 5. The effect of amount of PG added (PG/FRP) on the decomposition efficiency of waste FRP at 220°C(FRP : NaOH = 1 : 0.1).

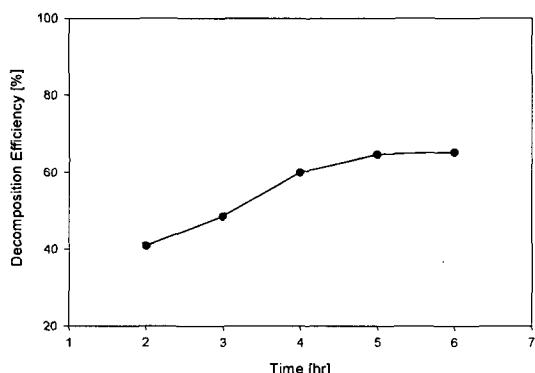


Fig. 6. The effect of decomposition time on the decomposition efficiency of waste FRP at 220°C (FRP : PG : NaOH = 1 : 10 : 0.1).

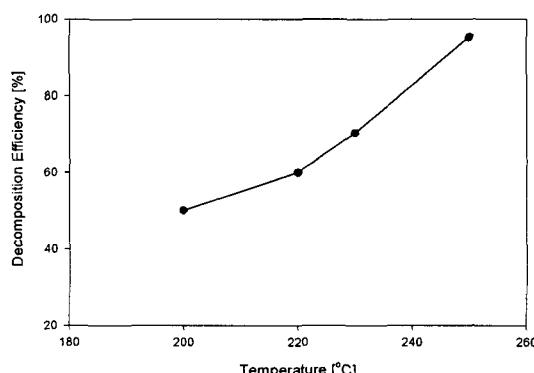


Fig. 7. The effect of decomposition temperature on the decomposition efficiency of waste FRP (FRP : PG : NaOH = 1 : 10 : 0.1).

제성을 확보하기 위하여 재생수지를 합성하기 전에 분해액을 단증류하여 PG의 일부를 분리 회수하는 공정을 도입하였다.

폐 FRP 시료의 10배에 해당하는 PG를 사용하여 분해한 분해액을 PG의 비점 부근인 190°C에서 단증류 한 결과 분해액의 90% 이상이 분리되었고 나머지는 고형분 형태로 잔류하였다. 그러나 분해액에서 PG를 분리한 잔류액을 사용하여 재생수지를 합성하기 위해서는 잔류액에 적정량의 PG가 존재해야하므로, PG의 회수율을 변화시키면서 잔류액으로 재생수지를 합성하는 실험을 행하였다.

잔류액에 무수 프탈산과 무수 말레이산을 첨가하여 수지의 합성하고, 산도를 측정하는 방법으로 합성과정을 추적하였다. PG를 분리하지 않은 분해액과 PG를 분리 제거한 잔류액을 사용한 재생수지 합성과정을 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8을 보면 60%의 PG를 분리 회수한 잔류액을 사용하여도 재생수지의 합성이 원만하게 이루어지는 것을 알 수 있었다. 그러나 PG를 60% 이상 회수하면 잔류액으로부터의 재생수지 합성이 제대로 진행되지 않았다.

분해 공정에서 얻어진 폐 유리섬유는 재생수지와 혼합하여 재활용할 수 있었다.

#### 4. 결 론

PG를 분해제로 사용하는 선박용 폐 FRP의 재활용 공정을 개발할 목적으로 행해진 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 1) 적절한 크기로 절단된 폐 FRP 시편을 두 종류의 롤러를 통과시키는 방법으로 시편을 충분리할 수 있었으며, 충분리된 시편은 분해 공정에 의해 쉽게 분해 되었다.

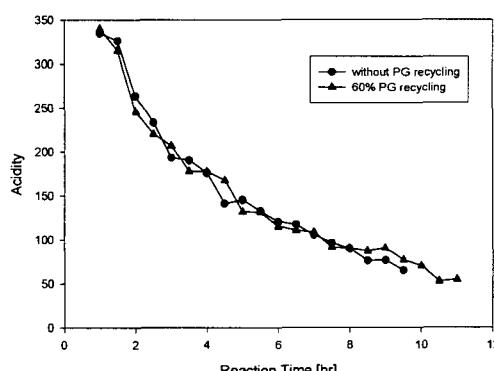


Fig. 8. The change of acidity with reaction time during the synthesis of unsaturated polyester resin from the decomposed liquid materials.

- 2) 분해반응의 촉매로는 NaOH가 가장 효율적이었으며, 폐 FRP 시편 단위 무게 당 NaOH사용량이 0.08 이상이면 NaOH의 사용량은 분해율에 거의 영향을 미치지 않았다.
- 3) 분해반응에서 폐 FRP 시편 단위 무게 당 PG의 최적 사용량은 6.0이었고, 최적 반응시간은 5시간, 최고 분해반응온도는 250°C이었다.
- 4) 분해액에서 60%의 PG를 분리한 잔여액을 사용하여도 재생 불포화 폴리에스터 수지를 합성할 수 있었으며, 분해공정에서 배출된 폐 유리섬유는 재생수지에 혼합 사용할 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 산업자원부가 지원하는 공통핵심기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Othmer, K., 1978, Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, New York.
- 2) Nomaguchi, K., 1998, FRP Recycling in Japan, 1st Asia-Australia Conference on Composite Materials, Oct., Osaka, 204-1-204-4.
- 3) Amelia, T., I. De Marco, B. M Caballero and A. C. Miguel, 2000, GC-MS Analysis of the liquid products obtained in the pyrolysis of fiber-glass polyester sheet moulding compound, J. Anal. Appl. Pyrolysis, 58-59, 189-203.
- 4) Kubota, S., O. Ito and H. Miyamoto, 1998, Method of recycling cured unsaturated polyester resin waste, U. S. Patent 5,776,989.
- 5) Tufts, T. A., C. C. Tsai and S. S. Hupp, 1995, Glycolysis of cured unsaturated polyesters for producing a recycle reactant, U.S. Patent 5,420,166.
- 6) Robert, C. B. and A. T Griffith, 1997, Supercritical fluid applications in the separation and recovery of commingled plastic wastes, 4th International Symposium on Supercritical Fluids, May, Sendai, 391-394pp.
- 7) Kubouchi, M., H. Sembokuya, S. Yamamoto, K. Arai and K. Tsuda, 2000, Decomposition of amine cured epoxy resin by nitric acid for recycling, J. Soc. Mat. Sci. Japan, 49(5), 488-493.
- 8) Smith, B. L. and G. E. Wilkins, 1996, Recycling polyester and recovering glycols, U.S. Patent

## 선박용 폐 FRP 수지의 재활용 공정 개발

- 5,744,503.
- 9) Sublett, B. J. and G. W. Connell, 1996, Process including depolymerization in polyester reactor for recycling polyester materials, U.S. Patent 5,559,159.
  - 10) Kubota S., O. Ito and H. Miyamoto, 1995, Method of recycling unsaturated polyester resin waste and recycling apparatus, U.S. Patent 5,620,665.
  - 11) Ekart, M. P. and T. M. Pell, 1995, Process in cluding glycolysis and subsequent purification for recycling polymer materials, U.S. Patent 5,635,584.
  - 12) Lee, D. S., S. H. Lee and J. H. Kim, 1997, Curing behavior of unsaturated polyester resins based on recycled poly(ethylene terephthalate), *Polymer International*, 44, 143-148.
  - 13) Raghavan, D. and K. Egwim, 2000, Degradation of polyester film in alkali solution, *J. Appl. Polym. Sci.*, 78, 2454-2463.