

흡유제인 생분해성 Poly(2-ethylhexylacrylate)의 제조

유수용 · 이동환* · 감상규** · 이민규

부경대학교 응용화학공학부, *동의대학교 화학과, **제주대학교 토목환경공학부
(2009년 11월 9일 접수; 2009년 11월 19일 수정; 2009년 11월 26일 채택)

Preparation of Biodegradable Poly(2-ethylhexylacrylate) as Oil Sorbers

Su-Yong Yoo, Dong-Hwan Lee*, Sang-Kyu Kam** and Min-Gyu Lee

Division of Applied Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

**Department of Chemistry, Donggeui University, Busan 614-714, Korea*

***Division of Civil and Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea*

(Manuscript received 9 November, 2009; revised 19 November, 2009; accepted 26 November, 2009)

Abstract

The biodegradable oil absorption resin was prepared by the suspension polymerization of the modified starch and 2-ethylhexyl acrylate (2-EHA). The highest oil-absorption capacity of B-PEHA prepared showed at the condition of the modified starch content of 10 g and ethyleneglycol dimethacrylate (EGDMA) of 0.133 wt%. Its maximum oil absorption capacity per g of oil absorber was chloroform 30.88 g, toluene 19.75 g, xylene 18.78 g, tetrahydrofuran (THF) 15.96 g, octane 11.43 g, hexane 9.5 g diesel oil 12.80 g, and kerosene 13.79 g, respectively. The biodegradation of poly-2-ethylhexylacrylate (B-PEHA) determined by enzymatic hydrolysis showed approximately 17~20%. The results showed that the preparation of the biodegradable oil absorption resin is available using the modified starch.

Key Words : Oil sorber, Biodegradable, Poly(2-ethylhexylacrylate), Oil absorption, Modified starch, Oil absorption rate

1. 서 론

세계적으로 연간 20억톤 이상의 원유가 생산되고 있으며, 이 중 0.08~0.4%에 해당하는 연간 1.7~8.8 백만톤이 해양을 오염시키고 있는 것으로 추정되고 있다^{1,2)}. 이러한 해양유류오염의 대부분은 해양유전과 유조선 사고에 기인하고 있다³⁾. 최근 우리나라도 경제성장이 급격히 이루어지고 유류물동량이 증가함에 따라 유조선에 의한 해양오염사고가 빈발하고 있다. 해양유류유출 사고는 수백억원에 이르는 어민피해보상

외에도 어자 원의 손실, 해양환경의 파괴 등을 유발시켜 많은 경제적 피해 및 환경회복시간의 손실을 가져온다.

최근 유출된 유류를 제거하거나 처리하는 기술은 많이 개발되었으나 완전하지 않을 뿐만 아니라 비용이 많이 들고, 유출유를 해상에서 처리하기 위하여 살포되는 유처리제는 기름의 제거에는 효과적이나 독성이 장기적이고, 생물체에 미치는 영향이 치명적일 수도 있어 유처리제의 과다살포는 흔히 2차 오염이라 불리는 오염현상을 일으킴으로써 오히려 생태계의 피해를 높이는 결과를 초래하기도 한다^{4~6)}.

유출유의 처리방법에는 부직포와 같은 기름에 대한 흡착능이 큰 물질을 이용하여 기름을 흡착 제거하는 방법, 화학 약제를 이용하여 분산 혹은 침전시키는

Corresponding Author : Min-Gyu Lee, Division of Chemical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea
Phone: +82-51-629-6435
E-mail: mglee@pknu.ac.kr

방법, 유출유를 고형화시키거나 겔화시켜 처리하는 방법, 그리고 자기팽윤형 수지를 사용하여 기름을 처리하는 방법 등이 있다⁷⁻¹⁰⁾. 이들 방법 중에서 기름을 흡유시 팽윤되는 기능을 가진 자기팽윤형 수지를 사용하여 처리하는 방법이 최근 주목을 받고 있다. 이러한 자기팽윤형 수지의 제조에는 장쇄알킬 아크릴레이트가 많이 사용되고 있다. 장쇄알킬 아크릴레이트가 교중합체로 이루어진 흡유성 수지는 광범위한 종류의 기름을 흡유할 뿐만 아니라, 흡유한 기름에 대한 보유 성능이 우수하고 흡유속도를 현저하게 향상시키는 장점을 가지고 있기 때문이다¹¹⁾.

자기팽윤형 수지는 합성시에 사용되는 알킬 아크릴레이트 모노머의 종류, 가교제의 농도, 개시제의 농도나 초음파의 조사 유무에 따라 흡유능이 달라지는 것으로 보고되고 있다¹⁰⁻¹²⁾. Shan 등¹³⁾은 styrene/dodecyl methacrylate에 물리적인 가교제 역할을 하는 polybutaniene을 첨가하여 흡유성 수지를 제조하여 그 특성을 조사하였으며, Shin 등¹⁰⁾은 laurylacrylate를 사용하여 흡유성 수지를 제조하여 흡유능을 조사한 결과 흡유능이 chloroform, 방향족화합물, 포화탄화수소, 물 순으로 나타남을 보고하였다. Jang과 Kim¹²⁾, 그리고 Cha 등¹⁴⁾은 styrene과 여러 종류의 alkyl acrylate를 가교시킨 공중합체를 제조하여 흡유능을 조사한 결과 알킬 사슬의 길이가 증가할수록 흡유능이 증가한다고 하였다.

그러나 흡유성 수지는 기름에 대한 흡유능이 우수하기는 하지만 이들을 방제작업에 사용한 다음에 미회수되는 수지는 토양 또는 미생물 등에 의하여 분해되는 속도가 매우 느리기 때문에 2차적인 환경오염 문제를 야기할 수 있다. 이러한 문제에 대한 해결방안의 하나로써 흡유성 수지에 생분해성을 부여하는 방법을 검토할 수 있다. 생분해성을 가진 흡유성 수지는 방제작업 시에 미회수 되더라도 자연 환경 속에서 시간이 경과함에 따라 미생물에 의해 자체 분해되므로 환경에 미치는 영향을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서, 본 연구에서는 장쇄알킬 아크릴레이트에 생분해성이 우수한 전분을 첨가하여 생분해성 흡유성 수지를 제조하고자 하였다. 전분은 화학 구조적으로 많은 수산기를 가지고 있어 친수성이 강하기 때문에 소수성을 띄고 있는 합성고분자수지의 충전재로 사용

하기 위해서는 전분을 소수성으로 개질시켜 합성수지와 상용성을 높여 줄 필요가 있다. 이를 위해 먼저 전분을 개질시켜 사용하였으며, 장쇄알킬 아크릴레이트는 개질전분과의 상용성을 고려하여 2-ethylhexyl acrylate을 사용하였다. 또한, 생분해성 흡유제를 합성시 개질전분의 함량 및 가교제의 양을 변화시킴에 따른 흡유능과 생분해도의 변화를 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 생분해성 흡유성 수지의 제조

본 연구에서 모노머는 공업용 2-ethylhexylacrylate (2-EHA)을 사용하였고, 가교제로는 ethyleneglycol dimethacrylate(EGDMA)을 동경화성에서 1급시약을 구입하여 정제 없이 사용하였다. 반응개시제로는 공업용 benzoylperoxide(BPO), 분산제로는 ACROS사의 1급시약인 gelatine을 사용하였다. 개질 전분의 제조에 사용된 전분(corn starch), ceric ammonium nitrate(CAN), methyl acrylate(MA)는 동경화성의 1급시약을 사용하였다. 합성한 중합체의 생분해도를 측정하기 위하여 사용한 효소는 bacillus로부터 추출된 α -amylase를 Sigma(A6380)에서 구입하여 사용하였다. 또한 흡유능을 측정하기 위하여 사용한 기름은 삼천화학(주)의 1급 시약인 chloroform, toluene, n-hexane, tetrahydrofuran(THF), octane, xylene을 사용하였고, diesel oil과 kerosene은 산업용을 구입하여 사용하였다.

흡유성 수지의 합성¹⁵⁾은 교반기와 환류냉각기, 분액 깔때기, 온도계가 장착된 1 L 사구 플라스크를 사용하여 행하였다¹⁾. 먼저 전분 40 g, 증류수 800 mL를 4구 플라스크에 넣어 질소기류하에서 30분간 교반한 후 methyl acrylate를 투입하고 10분 후 1N-HNO₃에 용해시킨 CAN을 개시제로 투입하여 2시간 동안 반응시켜 개질전분을 제조하였다. 반응이 끝난 후 얻어지는 중합체를 메탄올로 반복하여 씻어내고, 약 60°C에서 2일간 건조시켜 사용하였다.

생분해성 흡유성 수지의 제조는 4구 플라스크에 gelatin 3 g과 증류수 300 mL를 넣고 교반하면서 질소 분위기하에서 내부온도를 75°C로 유지하였다. 일정량의 개질전분과 2-EHA, EGDMA 및 BPO를 혼합한 용

액을 넣고 400 rpm의 속도로 교반시키면서 2시간동안 1차 반응을 시켰다. 그 뒤에 다시 90℃로 승온시켜 2시간동안 반응시켜 생분해성 흡유성 수지(poly-2-ethylhexylacrylate, B-PEHA)를 제조하였다¹⁵⁾. 실험에 사용된 생분해성 흡유성 수지의 합성조건들을 Table 1에 나타내었다.

2.2. 분석

본 연구에서 합성한 흡유성 수지의 구조분석은 Fourier Transfer Infrared Spectroscopy(FT-IR, Perkin- Elmer, Spectrum GX)을 사용하였다. 또한 열적특성은 Differential Scanning Calorimeter(DSC, Perkin Elmer, Pyris1)을 이용하였으며, 시료를 알루미늄 팬에 넣어 -60에서 300℃까지 10℃/min의 승온 속도로 질소분위기하에서 측정하였다. 열적안정성은 Thermo Gravimetric Analyzer(TGA, Perkin Elmer, Pyris1)를 사용하여 질소분위기하에서 50~700℃ 범위에서 10℃/min의 승온 속도로 측정하였다.

합성한 흡유성 수지의 생분해능을 측정하기 위하여, 인산 완충용액 1 mL를 시험관에 담은 후 일정량의 시료를 넣고서 80℃로 조절된 shaking water bath에 5분간 담그고 온도가 80℃에 도달하였을 때 일정 농도의 α-amylase 효소용액 1 mL를 넣고서 일정시간

동안 반응시켰다. 반응 후 분해산물인 환원당의 정량은 DNS 비색법¹⁶⁾으로 측정하였다. 먼저 분석 시료에 3, 5-dinitrosalicylic acid(DNS) 시약 2 mL를 첨가한 다음 spectrophotometer(HANSON Technology Co. OPRON-3000)로 575 nm에서 흡광도를 측정하였다. 실험은 50 mg의 시료와 500 unit/mL의 α-amylase를 온도 80℃, pH 7.0인 조건하에서 행하였다. 반응 후 분해산물인 환원당의 농도를 측정하여 생분해도는 개질전분을 효소와 반응시킨 경우에 생성되는 환원당의 농도에 대해 생분해성 흡유성 수지를 효소와 반응시킨 경우에 생성되는 환원당 농도의 백분율로 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생분해성 흡유성 수지 합성

본 연구에서 합성하는 생분해성 흡유성 수지는 Fig. 1에 보이듯이 개질시킨 전분에 장쇄알킬 아크릴레이트 모노머인 2-EHA를 첨가하면 2-EHA가 개질전분의 입자를 둘러싸고 있는 형태로 분산되어져 현탁중합에 의해 제조된다.

생분해성 흡유성 수지의 합성 여부를 확인하기 위하여 제조한 개질전분과 생분해성 흡유성 수지(poly(2-

Table 1. Reaction conditions for the preparation of B-PEHA polymer

Sample No.	2-EHA(wt%)	EGDMA(wt%)	BPO (g)	Modified starch (g)	Yield(%)
B-PEHA0				0	94.6
B-PEHA1				5	89.4
B-PEHA2	99.867	0.133	0.5	10	89.7
B-PEHA3				15	82.4
B-PEHA4				20	80.5
B-PEHA5		0.080		10	81.1
B-PEHA6	99.867	0.150	0.5	10	88.1

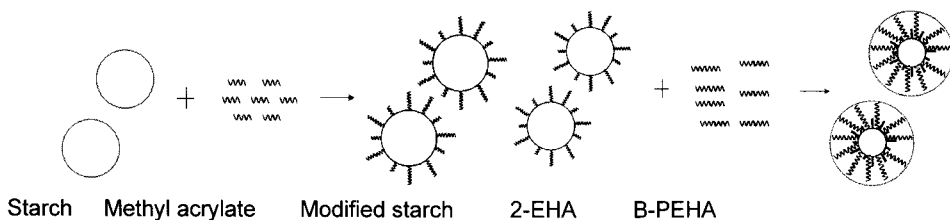


Fig. 1. Methods for preparing biodegradable oil-absorption resin.

ethylhexylacrylate), B-PEHA)의 FT-IR 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 먼저 Fig. 2(a)에서 개질전분의 FT-IR 결과를 살펴보면, 전분의 특성 피크인 OH기가 3,300~3,500 cm^{-1} 에서 매우 broad하게 나타나고, 1,730 cm^{-1} 에서 methyl acrylate의 C=O 특성 피크가 관찰되었다. 그리고 Fig. 2(b)의 B-PEHA의 결과를 보면 2-EHA의 특성 피크인 1,637 cm^{-1} 에서의 C=C 피크가 모노머의 중합에 의해 사라지고, 1733 cm^{-1} 에서 강한 C=O 흡수 피크와 1,162 cm^{-1} 에서 C-O-C 피크를 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 3,300~3,500 cm^{-1} 부근에서 개질전분의 전분의 특성피크가 관찰되어야 하는데 나타나지 않았다. FT-IR 분석 결과에서 전분의 특성피크가 관찰되지 않는 이유는 개

질전분이 2-EHA가 둘러싸여 있는 구조를 갖기 때문에 FT-IR 결과에는 poly(2-ethylhexylacrylate)에 대한 피크만 나타나고 내부에 있는 전분의 피크는 나타나지 않는 것으로 사료된다. 따라서 TGA와 DTG를 측정해 보았다. Fig. 3(a)의 TGA 곡선과 Fig. 3(b)의 DTG 곡선에서 보여 지듯이 300~360°C에서의 전분 분해단계와 400~450°C에서의 2-EHA 분해 단계가 나타나고 있으며, 전분의 첨가량이 증가할수록 전분의 중량변화도 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과로부터 생분해성 흡유성 수지(B-PEHA)가 합성되었음을 알 수 있었다¹⁵⁾.

합성한 흡유성 수지 2 g을 상온에서 기름 10 mL에 30분 동안 담그고 기름을 충분히 흡유시켜 팽윤된 시료를 90 μm sieve에 올려놓고서 팽윤된 시료 표면에 묻어 있는 기름을 제거한 후 무게를 측정하였다. 팽윤된 시료의 무게와 팽윤 전의 무게를 측정하여 흡유능을 계산하였다.

Fig. 4는 제조된 생분해성 흡유성 수지(B-PEHA2)를 이용하여 28°C에서 각종 기름에 대한 흡유능 결과를 나타낸 것으로, 각각에 대한 흡유량은 흡유제 단위 g당 chloroform 30.88 g, toluene 19.75 g, xylene 18.78 g, THF 15.96 g, octane 11.43 g, hexane 9.5 g, diesel oil 12.80 g, kerosene 13.79 g로 얻어졌다¹⁵⁾.

3.2. 개질전분의 첨가량에 따른 흡유능

Fig. 5는 개질전분의 첨가량을 0, 5, 10, 15, 20 g으로 변화시킴에 따른 흡유능의 변화를 살펴본 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 기름의 종류와 상관없이 개질전분의 첨가량이 10 g일 때까지는 흡유능이 증가

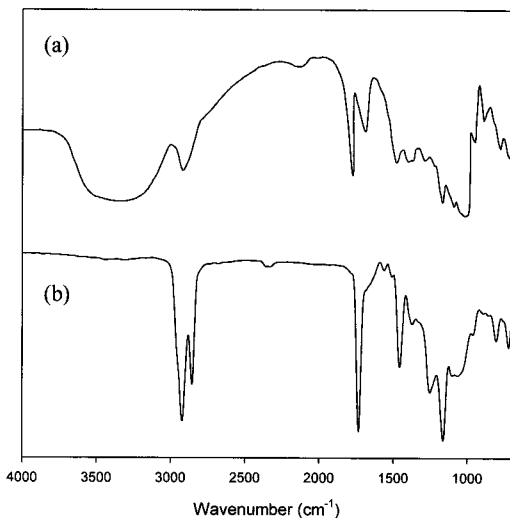


Fig. 2. FT-IR spectra of (a) modified starch and (b) B-PEHA.

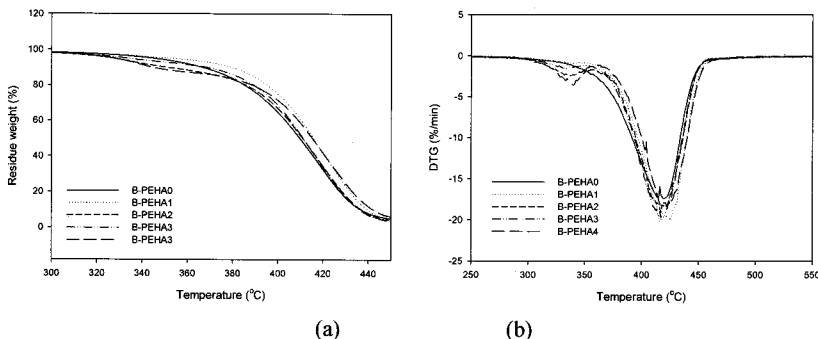


Fig. 3. (a) TGA and (b) DTG curve of B-PEHA.

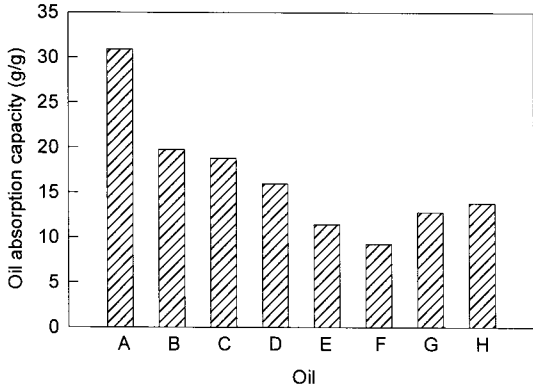


Fig. 4. Comparison of oil absorption capacity for each oil of B-PEHA2 (A : Chloroform, B : Toluene, C : Xylene, D : THF, E : Octane, F : Hexane, G : Diesel oil, H : Kerosene).

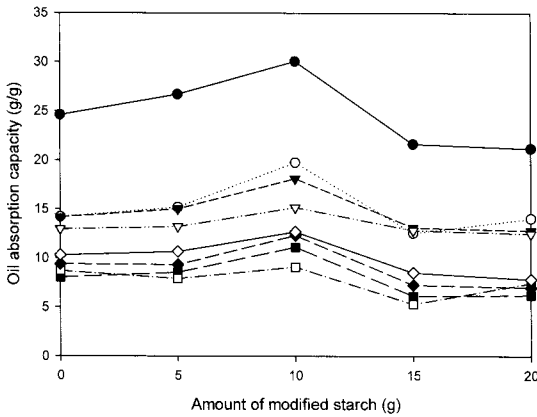


Fig. 5. Effect of oil absorption capacity on amount of modified starch for B-PEHA (● : Chloroform, ○ : Toluene, ▼ : Xylene, ▽ : THF, ■ : Octane, □ : Hexane, ◆ : Diesel oil, ◇ : Kerosene).

하다가 그 이상에서는 흡유능이 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 개질전분의 첨가량이 10 g 일 때까지는 2-EHA보다 상대적으로 소수적 특성이 낮은 개질전분에 의해 흡유성 수지의 가교밀도가 감소함으로 인하여 흡유능이 증가하는 것으로 사료된다. 이에 반해 개질전분의 첨가량이 10 g 이상일 경우에는 가교 밀도보다는 과량의 전분이 첨가됨에 따라 상대적으로 친유성기를 가진 2-EHA의 함량이 낮아져 흡유능이 감소하는 것으로 사료된다.

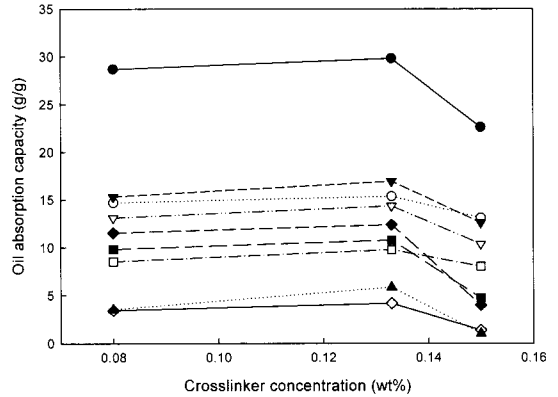


Fig. 6. Oil absorption capacity vs. crosslinker concentration for B-PEHA2 (● : Chloroform, ○ : Toluene, ▼ : Xylene, ▽ : THF, ■ : Octane, □ : Hexane, ◆ : Diesel oil, ◇ : Kerosene).

3.3. 가교제 농도변화에 따른 흡유능

Fig. 6은 생분해성 흡유성 수지를 합성시 가교제인 EGDMA의 함량 변화에 따른 흡유능 측정결과를 나타낸 것이다. 가교제의 함량이 0.08%에서 0.133%로 증가함에 따라 흡유능은 증가하였지만 가교제 함량이 0.15% 일 때는 감소하는 것으로 나타났다. 그 이유는 가교제의 함량이 증가함에 따라 가교밀도는 증가하며 이때 가교밀도가 어느 정도까지에서는 흡유능이 증가하지만 일정수준 이상으로 가교밀도가 높아지면 오히려 흡유능은 감소하기 때문으로 사료된다. 이러한 결과는 Shin 등¹⁰⁾이 lauryl acrylate를 사용하여 흡유성 수지를 제조시에 가교제의 함량에 따른 흡유능을 살펴본 연구에서의 결과와 동일하였다.

3.4. 초음파 조사에 따른 흡유능

Fig. 7은 개질전분을 10 g 첨가한 생분해성 흡유성 수지를 제조시 제조과정에서 분산제인 gelatine을 물에 용해시킨 후 초음파를 조사한 경우와 조사하지 않은 경우에 대한 흡유능을 비교한 것이다. 초음파의 조사는 강도 750 W에서 10 min 동안 행하였다. 결과에서 보듯이 본 연구에서 제조된 흡유성 수지의 경우 초음파의 조사여부와 상관없이 흡유능이 거의 유사하게 나타나 초음파의 조사에 대한 영향은 없는 것으로 나타났다. Shin 등¹¹⁾이 초음파 조사량 750 W에서의 흡유능이 초음파를 조사하지 않는 것보다 크게 낮아진다는

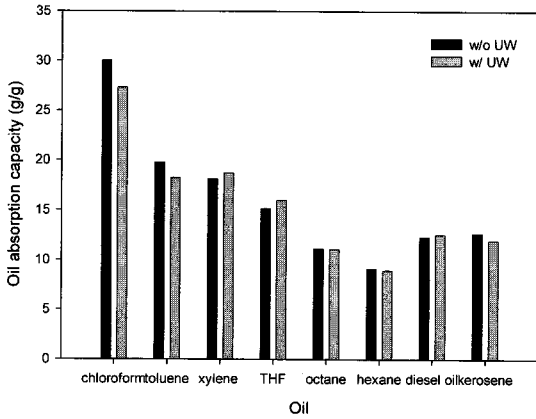


Fig. 7. Effect of oil absorption capacity on ultrasonic wave (UW) for B-PEHA2.

결과와는 상이하게 나타났다. Shin 등¹¹⁾에 의하면 초음파 조사량 750 W에서 흡유능이 낮게 나타나는 것은 입자직경이 너무 작아 입자끼리 응집하여 기름과의 접촉면적이 저하됨에 따라 흡유능이 낮아진다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서 제조된 흡유성 수지의 경우는 개질전분이 첨가됨으로써 초음파에 의한

분산이 입자직경에 미치는 영향보다는 개질전분의 첨가가 입자직경에 미치는 영향이 더욱 크게 작용함에 따른 것으로 사료된다.

3.5. 생분해성 흡유성 수지의 생분해도

Table 2는 개질전분의 첨가량을 5, 10, 15, 20 g으로 달리하여 제조한 생분해성 흡유성 수지의 효소에 의한 생분해 정도를 나타낸 것이다. 생분해성 흡유성 수지에 전분의 첨가량이 증가할수록 효소에 의해 분해되어 생성되는 분해생성물인 환원당의 농도가 증가하였다. 그리고 순수 개질전분의 경우에 생성되는 환원당의 농도와 개질전분을 함유한 생분해성 흡유성 수지의 경우에 생성되는 환원당의 농도로부터 생분해도를 계산하면 평균적으로 약 17%의 분해도를 나타내었다. 한편 효소 반응 전의 시료 무게와 효소 반응 후의 시료 무게를 측정하여 생분해도를 확인한 결과 평균 분해도가 약 18.3%로 나타나며¹⁵⁾ DNS법에 의해 구한 생분해능과 유사한 결과를 보였다.

3.6. 생분해성 흡유성 수지의 흡유 시험

Fig. 8은 바닷물이 1 L 담긴 비이커에 bunker A를

Table 2. Degradation of B-PEHA synthesized in this study

Modified starch content (g)	Reduced sugar concentration of modified starch (%)	Reduced sugar concentration of B-PEHA(%)	Degradation (%)
5	0.143	0.024	16.7
10	0.226	0.045	20.0
15	0.348	0.053	15.2
20	0.474	0.077	16.2
Average			17.0

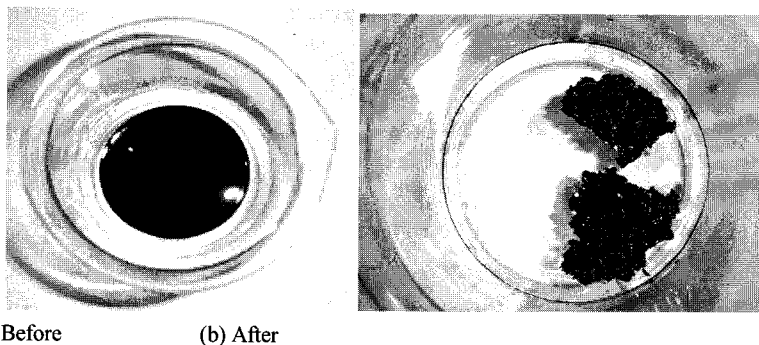


Fig. 8. Pictures before and after oil-absorption.

11 g 넣은 다음에 본 연구에서 제조한 흡유제인 B-PEHA를 2 g 담지시킨 후 약 30분 후에 그 모습을 관찰한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 흡유제에 의해 바닷물에 담긴 bunker A가 완전히 제거되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 흡유제에 생분해성을 부여하기 위하여 먼저 전분을 개질시킨 다음 장쇄아크릴레이트인 2-EHA와 현탁 중합으로 생분해성 흡수성 수지(B-PEHA)를 제조하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

개질전분의 첨가량을 0~20 g 까지 변화시키에 따른 각 기름에 대한 흡유능을 측정한 결과 개질전분의 첨가량이 10 g 일 때 까지는 흡유능이 증가하였으며, 10 g 이상에서는 흡유능이 급격히 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 기름 종류에 따른 흡유능을 살펴보면 흡유제 단위 g당chloroform 30.88 g, toluene 19.75 g, xylene 18.78 g, THF 15.96 g, octane 11.43 g, hexane 9.5 g, diesel oil 12.80 g, kerosene 13.79 g으로 나타났다. 가교제 함량 변화에 따른 흡유능 살펴본 결과 가교제인 EGDMA의 함량이 0.133%일때 가장 높은 흡유능을 보였다.

제조한 생분해성 흡유성 수지를 α -amylase 사용하여 효소분해 반응을 시킨 결과 평균 약 17.0%의 분해도를 나타내었다. 무게 감소에 의해 계산한 생분해도는 약 18%로 나타났다. 위 결과로부터 본 연구에서 생분해성이 우수한 전분을 사용하여 생분해성 흡유성 수지의 제조가 가능하였다.

감사의 글

이 논문은 2007학년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었습니다(2007AA112).

참 고 문 헌

- National Academy of Science, 1975, Petroleum in the marine environment, National Academy Press, Washington, D.C..
- National Academy of Science, 1985, Oil in the sea, National Academy Press, Washington, D.C..
- Atlas R. M., 1981, Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective, *Microbiol. Rev.*, 45, 180-209.
- Asper J. J. and P. Bolli, 1973, New device for removing oil slicks from the surface of water, *Proc. Conf. on Prevention and Control of Oil Spills*, 315-332.
- Bartha R. and R. M. Atlas, 1977, The microbiology of aquatic oil spills, *Adv. Appl. Microbiol.*, 22, 225-266.
- Smith J. B. H., C. McLellan and L. R. Pintler, 1987, Development of an oil skimming system to meet navy specifications, *Proc. Oil Spill Conf.*, Baltimore, Maryland, 91-94.
- Park W. C. and B. G. Kwon, 1998, A study on feasibility of oil separation with oil absorbent for spilt oil recovery, *J. KOSOS*, 13(2), 39-44.
- Chai J. B., B. K. Kim and Y. J. Shin, 1998, Adsorption of hydrophobic fluid by polyurethane foam, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 9(5), 648-653.
- Ju C. S., S. S. Hong, D. K. Hwang, Y. I. Kim, H. J. Park and S. W. Jeong, 2001, Development of oil separation process from oily waste water using oil gelling agent, *J. Korean Envir. Sci. Soc.*, 10(6), 401-405.
- Shin Y. S., Y. S. Shin, J. W. Woo, S. S. Park and J. S. Choi, 2002, Oil absorption and thermodynamic analysis of poly(laurylacrylate) polymer, *HWAHAK KONGHAK*, 40(1), 82-87.
- Shin Y. S., H. Y. Cha, S. S. Park, J. W. Woo and J. S. Choi, 2002, Oil absorption capacity of poly(2-ethylhexylacrylate) polymer in the presence of ultrasonic wave, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, 13(4), 326-329.
- Jang J. S. and B. S. Kim, 2000, Studies of cross-linked styrene-alkyl acrylate copolymers for oil absorbency application. I. Synthesis and characterization., *J. Appl. Polym. Sci.*, 77, 903-913.
- Shan G. R., P. Y. Xu, Z. X. Weng and Z. M. Huang, 2003, Synthesis and properties of oil absorption resins filled with polybutadiene, *J. Appl. Polym. Sci.*, 89, 3309-3314.
- Cha H. Y., H. J. Jung, J. W. Woo and Y. S. Park, 2000, Oil absorption properties of various alkyl substituted acrylates, *Appl. Chem.*, 4, 61-64.
- Yoo S. Y., M. A. W. D. Wan and M. G. Lee, 2009, Preparation of biodegradable oil absorber and its biodegradation, *J. Microbiol. Biotech.* Submitted.
- Miller L. G., 1959, Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, 3, 426-428.