

# One-Shot법을 이용한 폴리우레탄계 유겔화제의 특성

김 동 성 · 김 원 호<sup>†</sup>

## Oil Gelling Agents made from Polyurethane by One-Shot Method

Dongsung Kim and Wonho Kim<sup>†</sup>

### 요 약

물과의 발포반응에 의해 유출유를 겔화할 수 있는 폴리우레탄 NCO prepolymer를 제조하기 위하여 폴리올(PTMG 및 GP)과 이소시아네이트(TDI)를 사용하여 NCO prepolymer를 합성하였다. 폴리올 각각의 분자량에 따라 합성한 NCO prepolymer를 이용하여 초기 유출유와 에멀전된 유출유 그리고 유출유의 종류에 따라 유겔화율을 측정하였다. Bunker B 초기 유출유에 대하여 3관능성 폴리올인 GP1000의 경우 440%의 유겔화율은 나타내었으며, 유출유와 해수가 에멀전(emulsion)된 상태에서는 2배 정도가 증가한 958%의 유겔화율을 나타내었다. 또한 Bunker B에 비해 점도가 높은 Bunker C의 에멀전된 상태에서는 1098%의 유겔화율을 나타내었다. 사슬연장제가 투입된 2관능성 폴리올인 PTMG1000의 경우에는 에멀전된 Bunker B에 대하여 910%의 유겔화율을 나타내었으며, 에멀전된 Bunker C에 대하여 923%의 유겔화율을 나타내었다. 3관능성 폴리올을 사용하여 제조된 NCO prepolymer의 경우, 형성된 폴리우레탄 겔은 부드럽고 강한 특성을 가져 회수에 용이한 상태를 나타내었다.

### ABSTRACT

Polyurethane NCO prepolymers were synthesized with the polyols such as PTMG, GP and the isocyanate such as TDI at 40°C for 8.5 minutes. As average molecular weights ( $\overline{M}_n$ : 1000, 2000, 3000, 4000) of PTMG, and GP were decreased from 4000 to 1000, ratio of oil gelation increased from 298% to 440% for Bunker B. When oil and water were emulsified, the ratio of gelation was increased approximately two times. Ratio of gelation for emulsive Bunker B was increased from 402% to 910% for PTMG1000 and increased from 440% to 958% for GP1000. Ratio of oil gelation for emulsive Bunk C which has higher viscosity than Bunker B was measured to 923% for PTMG1000 made with chain extender, i.e. EG, and measured to 1098% for GP1000. The gel made from GP which has three functional group showed soft and strong

• 2001년 9월 20일 접수(received), 2001년 11월 20일 채택(accepted)  
• 부산대학교 공과대학 화학공학과(Department of Chemical Engineering, Busan National University, Busan 609-735, Korea)

<sup>†</sup>주저자(Corresponding author): e-mail: whkim@hyowon.cc.pusan.ac.kr

characteristic, as a result, it can be removed easily from oil spilled ocean.

**KEYWORDS : OIL GELATION, PREPOLYMER, ONE-SHOT METHOD, CHAIN EXTENDER, EMULSION**

## 1. 서 론

해양경찰청에서 조사한 국내 해양유출사고의 통계자료에 따르면, 1995년부터 2000년 후반까지 매년 400건 이상의 사고가 발생한 것으로 보고되고 있다. 이러한 해양오염사고들 중에서 화물선과 유조선의 사고에 의한 해양오염이 심각하며, 병커유가 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 유출된 기름은 해양생태계의 변질을 가져올 뿐만 아니라, 어패류에 독성을 지니게 함으로써 인간에게도 커다란 위험을 주고 있다.<sup>[1]</sup> 국내외적으로 선박사고에 의한 유출유를 처리하기 위한 효율적인 방법이 연구되고 있으며 기존의 유출유 처리 방법에는 다음과 같은 방법들이 있다. 유회수기(Oil Skimmer)를 이용하여 유출유를 회수하는 방법과 친유성을 가지며 흡착능력이 뛰어난 물질(polyethylene, polypropylene, 폼 또는 polyurethane 폼 등)을 이용한 기름흡착제거 방법이 있으며, 화학 약품인 분산제를 살포하여 유출유를 미세입자로 분산시켜 처리하는 방법, 그리고 분말상태 혹은 액상의 고흡유성 물질을 투여하여 유출유를 겔화시켜 처리하는 방법이 있다.<sup>[2]</sup> 그러나 이러한 방법들은 유출된 기름(병커유)의 점도가 높거나 에멀전된 상태의 병커유에 대해서는 그 효능이 저하되는 단점이 있다.<sup>[3,4]</sup> 종래에 사용되고 있는 유겔화제(latex류, 아미노산 유도체 등)의 경우에도 유출유의 종류가 병커유인 경우 유출유의 무게에 대비하여 30% 정도를 투입하여야 한다. 본 연구실에서 개발한 기존의 폴리우레탄 NCO prepolymer의 경우 2관능성 폴리올에 사슬연장제를 첨가시킨 후 4시간 동안 반응시켜 prepolymer를 제조하였다. 이러한 경우 긴 반응시간에 따른 온도조절의 어려움(발열반응)과 반응 중 사슬연장제의 첨가에 따른 분자량조절(점도의 급격한 상승)에 대한 어려움이 있었다.<sup>[5]</sup> 이러한 단점들을 보완하기 위해, 본 연구에서는, 수지화 반응을 촉진시키는 촉매(DBTDL)와 반응시간을 효과적으로 단축시킬 수 있는 one-shot법을 사용하여 NCO prepolymer를 제조하였다. 기존의 실험에서 사용한 2관능성 폴리올

중에서 높은 소수성과 유겔화율을 나타내는 polytetramethyl ether glycol (PTMG)을 선정하여 NCO prepolymer를 제조한 후 유겔화율을 측정하였으며, 3관능성 폴리올인 glycerol propoxylate (GP)를 도입함으로써 사슬연장제의 첨가없이 높은 유겔화율을 나타내는 폴리우레탄 NCO prepolymer를 개발하고자 하였다. 그리고 폴리올의 분자량을 변화시킴으로써 초기유출유와 에멀전된 상태의 유출유에 대하여 높은 유겔화율을 나타낼 수 있는 폴리우레탄 NCO prepolymer를 개발하고자 하였으며, 점도의 차이가 있는 유출유(Bunker B 및 Bunker C)를 사용하여 초기에 유출된 유출유와 에멀전된 유출유 각각에 대한 유겔화율을 측정하였다.

## 2. 실 험

### 2.1. 재 료

본 실험에 사용한 폴리올은 polyether polyol로 소수성을 가지는 (주)강남화성의 3관능성 폴리올인 GP-1000, GP-3000, GP-4000과 2관능성 폴리올인 PTMG-1000, PTMG-2000, PTMG-3000을 사용하였으며, 이소시아네이트는 2관능성 TDI-80 (2,4-toluene diisocyanate 80%, 2,6-toluene diisocyanate 20%)을 사용하였다. 계면활성제는 Witco사의 L-580K를 사용하였으며, 촉매는 물과 이소시아네이트 반응을 촉진시키는 DABCO (amine류)와 폴리올과 이소시아네이트 반응을 촉진시키는 DBTDL (tin류)을 사용하였다. 사슬간의 결합을 증대시키는 물질로 ethylene glycol (EG), propylene glycol (PG), 1,4-butandiol과 같은 사슬연장제와 가교제 glycerin을 사용하였다. 사용한 재료의 화학구조식을 Figure 1에 나타내었다.

### 2.2. NCO prepolymer의 제조와 실험

본 실험에서는 질소 분위기에서 폴리올과 이소

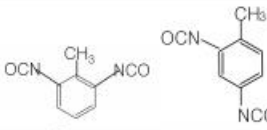
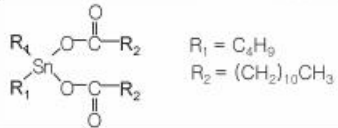

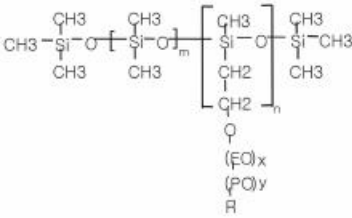
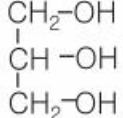
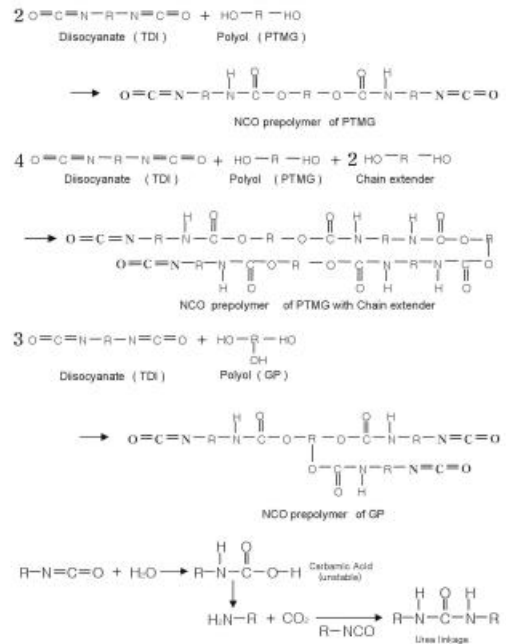
PTMG	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_4\text{O}-\text{H}$
GP	$\text{HO}-(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})_n-\text{CH}[\text{CH}_2(\text{OC}_3\text{H}_6)_n\text{OH}]_2$
TDI	
DBTDL	 $\text{R}_1 = \text{C}_6\text{H}_5$ $\text{R}_2 = (\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_3$
DABCO	
Surfactant	
EG	$\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$
PG	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2-\text{OH}$
1,4-Butandiol	$\text{HO}-(\text{CH}_2)_4-\text{OH}$
Glycerin	

Figure 1. Chemical structure of materials.

시아네이트, 사슬연장제/가교제, 촉매 그리고 계면활성제를 동시에 반응시키는 one-shot법을 이용하여 NCO prepolymer를 제조하였다.<sup>[6]</sup> 먼저 NCO prepolymer를 제조하기 위해 반응비( $r = \text{NCO}/\text{OH}$ )를 2 이상으로 하여 반응시켰으며, 생성된 prepolymer의 점도와 부반응을 고려하여 이소시아네이트의 함량을 10% 과량으로 투입하여 NCO prepolymer를 제조하였다(Table 1, Table 2).<sup>[7]</sup> 생성된 폴리우레탄 NCO prepolymer의 구조식은 Scheme 1에 나타내었다. 반응기 온도는 40℃로 하였으며, 교반속도는 600 rpm에서 900 rpm으로 상승시켜 실험하였

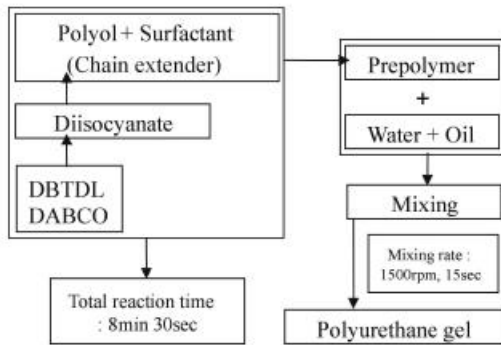


Scheme 1. The formulation of polyurethane NCO prepolymers and the mechanism of foaming reaction: a) The formulation of NCO prepolymer made from PTMG, b) The formulation of NCO prepolymer made from PTMG with chain extender, c) The formulation of NCO prepolymer made from GP, d) The mechanism of foaming reaction.

다. 반응시간은 ASTM D-2572에 따라 반응 후 NCO content를 확인하여 이론값(PTMG1000 : 6.23%, GP1000 : 8.27%)과 실험값(PTMG1000 : 6.71%, GP1000 : 8.76%)이 거의 일치(오차 0.48%)하는 8분 30초로 결정하였다. 이와 같이 제조된 NCO prepolymer를 물과 기름의 혼합물에 투입하여 교반속도 1500 rpm, 교반시간 15초에서의 유겔화율 측정실험을 실시하였다. 실험 공정은 Scheme 2에 나타내었다.

### 2.3. 겔 형성과 유겔화율 측정

겔(gel)은 어떤 물질이 삼차원 그물구조(three-dimensional networks)속에 액체를 함유함으로써 액체상태이면서 탄성(elasticity)을 갖는 경우를 말한다. 일반적으로 고분자 네트워크(net-



Scheme 2. The process for the formations of oil gelling agent and polyurethane gel.

work)는 가교결합(cross-links)과 같은 공유결합(covalent links)으로 형성된 화학적인 네트워크와 수소결합, 반 더 발스힘, 이온 상호작용 등과 같은 약한 힘에 의한 물리적인 네트워크로 구분되어 진다.<sup>[8,9]</sup> 본 실험에서 사용된 3관능성 GP의 경우 화학적 겔을 형성하고, 2관능성 PTMG의 경우에는 물리적 겔을 형성하게 된다. 실험에서 제조된 NCO prepolymer를 이용하여 물과 기름의 혼합물에 교반시킴으로서 폴리우레탄 겔을 얻을 수 있었다. 생성된 겔에서의 직접적인 유겔화율 측정이 불가능하여 겔화되고 남은 기름의 양을 측정함으로써 유겔화율을 측정하였다. 유겔화율의 계산식(I)은 다음과 같다.

$$\text{Ratio of oil gelation}(\%) = \frac{\text{Oil의 사용량} - \text{Oil의 잔류량}}{\text{NCO prepolymer 사용량}} \quad (I)$$

본 실험에서 사용한 Bunker B와 Bunker C의 점도 측정은 Brookfield 점도계(model LVTDV-II)를 사용하여 온도에 따라 측정하였으며, 겔 상태는 광학현미경(Schott 사, model KL-1500)을 사용하여 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 초기 유출유에 대한 유겔화율 측정

##### 3.1.1. 촉매의 함량 결정

본 연구에서는 수지화 반응을 촉진시키는 DBTDL(dibutyltindilaurate)의 함량이 아주 중요한데,

촉매의 함량이 많으면 급격한 수지화 반응으로 인하여 분자량의 조절이 힘들게 되고, 촉매의 함량이 적으면 미 반응물의 잔존에 의하여 원하는 NCO prepolymer를 생성할 수 없게 된다.<sup>[10,11]</sup> 따라서 폴리올의 종류에 따라 촉매의 함량을 0.5 pbw에서 2.0 pbw까지 변화시키면서 NCO prepolymer를 제조한 후 유겔화율을 측정하였다. 2관능성인 PTMG1000은, Figure 2에 나타난 바와 같이, DBTDL의 함량이 1.5 pbw일 때 가장 높은 유겔화율(402%)을 나타내었고, 3관능성인 GP1000의 경우에는, Figure 3에 나타난 바와 같이, DBTDL의 함량이 1.0 pbw일 때 가장 높은 유겔화율(440%)을 나타내었다. 촉매의 함량이 0.5 pbw일 경우 미 반응물에 의한 사슬결의 결합력 저하로 인하여 유겔화율이 감소하는 것으로 판단되어지며, 촉매의 함량이 2.0 pbw 이상일 경우에는 급격한 수지화 반응으로 인한 prepolymer의 분자량 증가로 인하여 유겔화율이 감

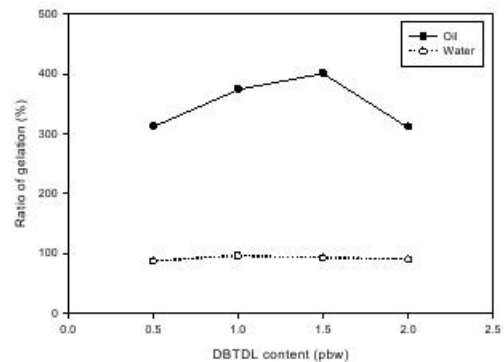


Figure 2. Effect of the content of DBTDL to PTMG1000 on the ratio of gelation.

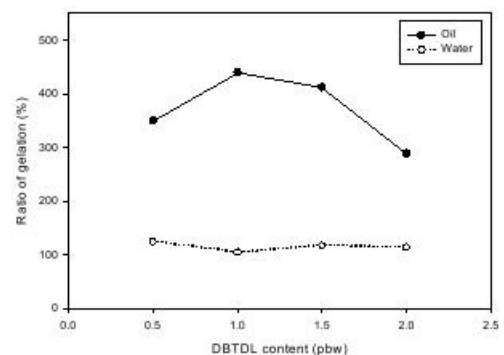


Figure 3. Effect of the content of DBTDL to GP1000 on the ratio of gelation.

소한 것으로 판단되어진다. 실험에 의해 얻어진 폴리우레탄 겔을 Figure 10(a)와 (b)에 나타내었다. 사진(a)는 PTMG1000이나 GP1000에 2.0 pbw의 DBTDL이 첨가된 경우로 유결화율이 저조하고 생성된 겔이 딱딱한 성질을 나타내었으며, (b)의 경우에는 PTMG1000이나 GP1000에 적정함량의 DBTDL (1.5, 1.0 pbw)이 첨가된 경우로 부드럽고 강한 겔을 형성하였다. 폴리우레탄 겔에 포함된 물의 양은 DBTDL의 함량에 관계없이 100% 정도의 일정한 값을 나타내었다.

3.1.2. 폴리올의 종류와 분자량에 따른 유결화율 측정

촉매의 함량을 결정한 후 폴리올의 종류에 따른 분자량을 변화시켜 초기 유출유(Bunker B)에 대한 유결화율 변화를 측정하였다. 그 결과, 2관능성인 PTMG는 Figure 4에서와 같이 분자량이 1000일 경우에 가장 높은 유결화율(402%)과 흡수량(90%)을 나타내었고, 3관능성인 GP의 경우에도 Figure 5에서와 같이 분자량이 1000일 경우 가장 높은 유결화율(440%)과 흡수량(105%)을 나타내었다. 따라서, 사용된 폴리올이 저분자량일수록 높은 유결화율을 나타내는데 이것은 생성된 NCO prepolymer의 점도가 낮아 물과 기름에서의 분산이 더 용이하기 때문인 것으로 판단되어진다. 3관능성인 GP의 경우 2관능성인 PTMG의 경우보다 더 높은 유결화율(38% 증가)을 나타내었는데 이것은 화학적인 네트워크형성으로 인하여 더 높은 유결화율이 나타나는 것으로 판단되어지며, 형성된 폴리우레탄 겔은 부드러우면서 강한 특성을 가짐으로서 회수에 용이한 상태를 나타내었다. 실험에서 제조된 NCO prepolymer의 formulation은 Table 1에 나타내었다.

3.2. 에멀전(emulsion)상태에서의 유결화율 측정

3.2.1. 폴리올의 종류에 따른 유결화율 측정

초기유출유(Bunker B)에 대하여 가장 높은 유결화율을 보이는 PTMG1000과 GP1000을 선정하여 에멀전(Bunker B) 상태에서의 유결화율을 측정하였다. 그 결과 PTMG1000은 Figure 10(c)와 같이 겔이 형성되지 않았다. 이러한 현

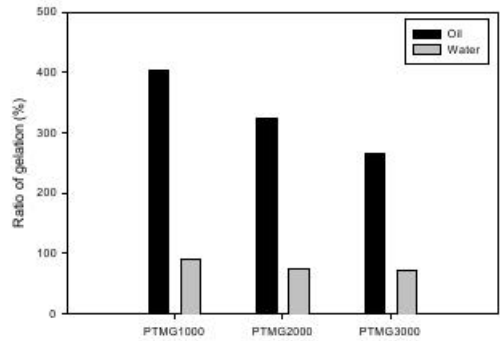


Figure 4. Ratio of gelation according to the PTMG molecular weight.

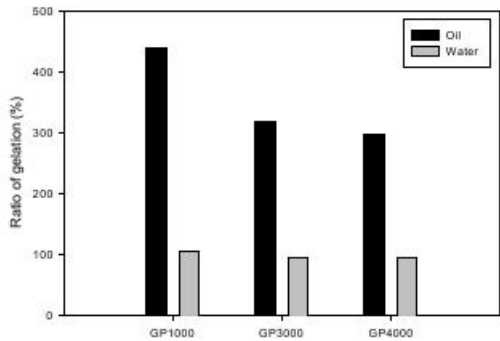


Figure 5. Ratio of gelation according to the GP molecular weight.

Table 1. Formulations for the NCO Prepolymers of PTMG and GP. (unit : pbw)

	PTMG 1000	PTMG 2000	PTMG 3000	GP 1000	GP 3000	GP 4000
Polyol	100	100	100	100	100	100
TDI	38.3	19.2	12.6	54.8	18.9	13.7
DBTDL	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0
DABCO	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Surfactant	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

상은 에멀전상태에 고무 퍼져있는 많은 수분과의 과다한 발포반응과 많은 기름과의 접촉으로 인하여 사슬간의 결합력이 떨어지므로 나타나는 현상으로 판단되어진다. 반면 GP1000의 경우에는 Figure 6에서와 같이 초기유출유(Bunker B)에 대한 결과보다 2배 정도 증가한 958%의 유결화율을 나타내었다. 하지만 흡수량 또한 682%로 증가하였다. 이러한 결과는 2관능성인 폴리올에 비

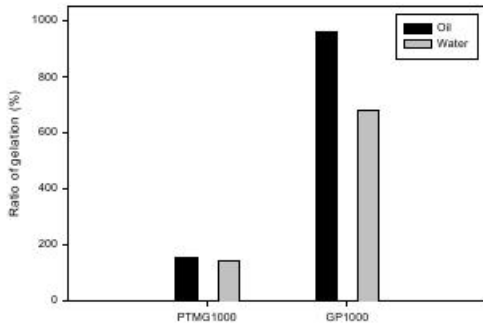


Figure 6. Ratio of gelation according to the type of polyol for emulsive Bunker B.

해서 강한 결합력을 나타내는 GP1000의 경우 많은 수분과의 반응에서 안정된 발포와 셀을 이룸으로써 초기유출유(Bunker B)에 대한 결과보다 2배 이상 증가한 유겔화율을 나타내는 것으로 판단되어진다. 형성된 폴리우레탄 겔은 Figure 10(d)에 나타내었는데 두꺼운 겔을 형성하였으며, 부드럽고 강한 성질을 가짐으로써 회수에 용이한 상태를 나타내었다.

### 3.2.2. 사슬연장제와 가교제의 투입에 따른 유겔화율 변화

2관능성 폴리올인 PTMG1000의 경우 에멀전(Bunker B) 상태에서 겔을 형성할 수 없었는데 이것은 사슬간의 결합력이 떨어져 나타나는 현상으로 판단되었다. 따라서 유겔화제 제조시 PTMG1000에 사슬간의 결합을 증대시켜주는 사슬연장제와 가교제를 투입하여 공중합체 형태의 NCO prepolymer를 제조하였다(Scheme 1, Table 2).<sup>[12,13]</sup> 사슬연장제인 EG, PG, 1,4-butandiol를 투입하여 제조한 NCO prepolymer를 에멀전(Bunker B) 상태에 투입하여 유겔화율을 측정 한 결과 Figure 7에서와 같이 PTMG1000에 EG (Ethylene Glycol : 12.4 part)가 투입된 경우 가장 높은 유겔화율(910%)과 흡수력(700%)을 나타내었으며, 초기유출유(Bunker B)에 대한 결과보다 유겔화율이 2배 정도 증가한 현상을 나타내었다. 이러한 유겔화율의 상승은 사슬간의 결합을 높여주는 사슬연장제의 투입으로 인하여 많은 수분과의 반응에서 안정된 발포와 셀을 형성함으로써 나타나는 현상으로 판단되어진다. 형성된 폴리우레탄 겔을 Figure 10(e)에 나타내었는데 Figure 10(d)와 같이 부드럽고 강한 성질

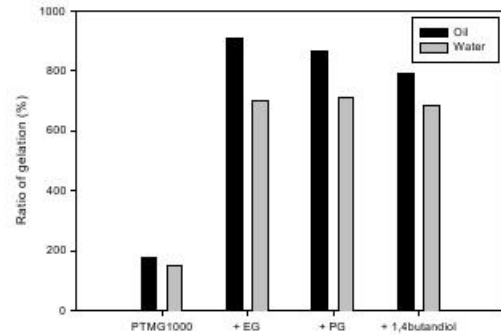


Figure 7. Effect of chain extender to PTMG1000 on the ratio of gelation ; for emulsive Bunker B.

을 가짐으로서 회수에 용이한 상태를 나타내었다. 가교제인 glycerin을 투입하여 NCO prepolymer를 만든 경우에는 prepolymer의 점도 상승으로 인하여 물과 기름의 혼합물에서 분산이 되지 않아 겔의 형성이 이루어지지 않았다. 실험에서 제조된 NCO prepolymer의 formulation은 Table 2에 나타내었다.

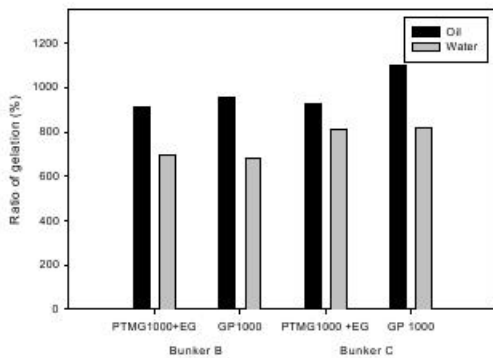
### 3.3. 유출유의 종류에 따른 유겔화율 측정

유겔화제는 기름의 점도가 높을수록 유겔화제의 투입량이 많아지는 단점을 가지고 있기 때문에 Bunker B보다 점도가 높은 Bunker C에 대한 유겔화율을 측정하였다. 에멀전된 Bunker B에 대하여 유겔화율을 측정 한 결과 GP1000은 Figure 8에서와 같이 유겔화율 958%와 흡수량 682%를 나타내었으며, 사슬연장제인 EG (12.4 part)가 첨가된 PTMG1000의 경우에는 유겔화율 910%와 흡수량 700%를 나타내었다. Figure 9에서와 같이 온도에 따라 Bunker B보다 평균적으로 높은 점도(+5137 cPs)를 나타내는 Bunker C에 대하여 실험한 결과 Figure 8에서와 같이 GP1000은 유겔화율 1098%와 흡수량 887%를 나타내었으며, EG가 첨가된 PTMG1000의 경우에는 유겔화율 923%와 흡수량 810%를 나타내었다. 위의 실험 결과에 따르면 점도가 높은 Bunker C의 경우가 더 높은 유겔화율(138% 증가)을 나타내었는데, 이러한 현상은 점도가 높을수록 유출유 자체의 응집력이 높아 Bunker B보다는 Bunker C의 경우 더 높은 유겔화율을 나타내는 것으로 판단되어진다. 위 실험

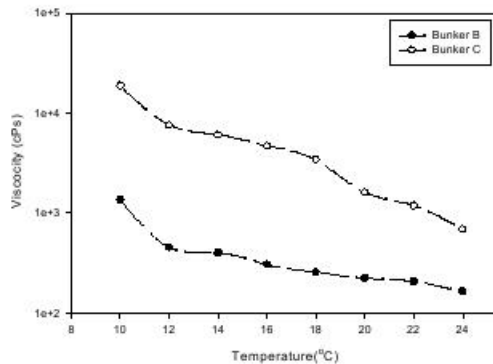


**Table 2. Formulations for the NCO Prepolymers According to Chain Extender with 100 pbw of PTMG1000.** (unit : pbw)

PTMG1000	100	100	100	100
TDI	38.3	80.1	80.1	80.1
DBTDL	1.5	1.5	1.5	1.5
DABCO	1.0	1.0	1.0	1.0
Surfactant	1.5	1.5	1.5	1.5
Chain Extender	Non	12.4 (EG)	15.2 (PG)	18.0 (1,4-Butandiol)

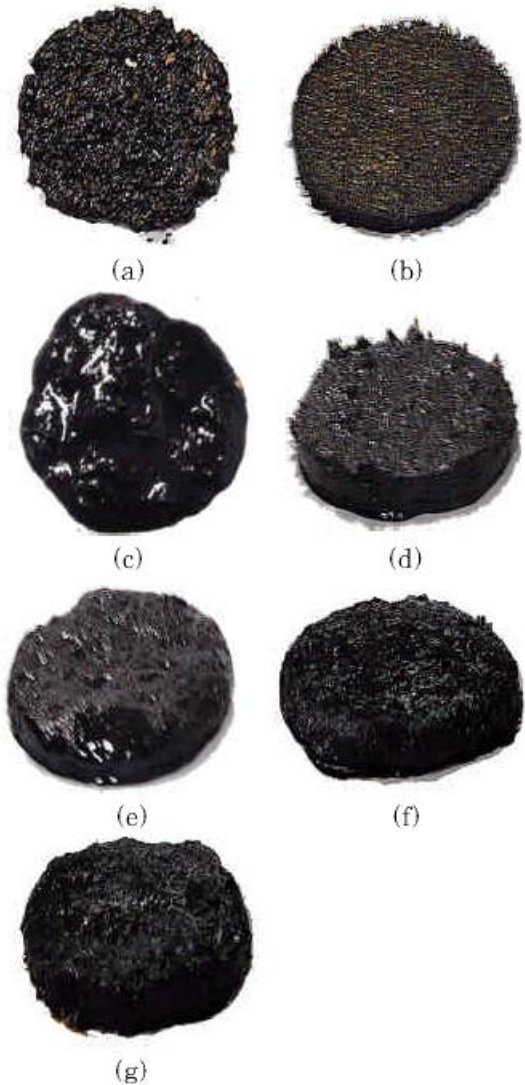


**Figure 8. Ratio of gelation of oil gelling agents for emulsive Bunker B and Bunker C.**



**Figure 9. Viscosities of Bunker B and Bunker C as a function of temperature.**

험의 결과 NCO prepolymer의 추가 투입 없이 더 높은 점도를 가지는 유출유(Bunker C)에 대해서도 높은 유결화율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 실험은 10~16°C의 조건에서 실시되었으며, 실험 온도가 6°C 이하일 경우는 유출유의 점도가 너무 높아 실험이 불가능하였다. 형성



**Figure 10. Photographs of polyurethane gels : (a) 2.0 pbw of DBTDL, (b) 1.0~1.5 pbw of DBTDL, (c) PTMG1000 (emulsive Bunker B), (d) GP1000 (emulsive Bunker B), (e) EG 124 part (PTMG1000 : emulsive Bunker B), (f) PTMG1000 (emulsive Bunker C), (g) GP1000 (emulsive Bunker C).**

된 폴리우레탄 겔은 Figure 10(f)와 (g)에 나타내었으며, Figure 10(d)와 (e) 같이 부드럽고 강한 성질을 가짐으로서 회수에 용이한 상태를 나타내었다.

## 4. 결 론

가교결합과 같은 공유결합으로 이루어진 화학적 네트워크(GP)는 안정된 발포와 젤을 이룸으로써 물리적 네트워크(PMTG)로 생성된 겔보다 겔의 강도가 강하고, 높은 유겔화율을 나타내었다. 수지화 반응 촉매 DBTDL의 적정함량은 1.0~1.5 pbw이었으며, 이때 부드럽고 강한 겔을 얻을 수 있었다. 촉매의 함량이 2.0 pbw 이상이 되면 유겔화율이 낮은 딱딱한 겔이 형성되었다. 사용된 폴리올이 저분자량일수록 생성되는 NCO prepolymer의 점도가 낮아 물과 기름층에서의 분산이 잘되어 유겔화율이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 에멀전 Bunker B에 대해서는 3관능성 폴리올(GP)이 우수한 유겔화율과 회수에 용이한 겔 상태를 나타내었으며, 2관능성 폴리올(PMTG)은 사슬연장제의 투입으로 우수한 유겔화율과 회수에 용이한 겔 상태를 얻을 수 있었다. 그리고 초기유출유의 경우보다 에멀전상태의 유출유에 대하여 유겔화율이 2배 정도 증가하는 현상을 확인할 수 있었다. 점도가 높은 에멀전 Bunker C에 대해서는 제조된 유겔화제의 추가 투입없이 약 1000% 유겔화율을 나타내었으며, 3관능성 GP의 경우가 사슬연장제 EG가 투입된 PMTG보다 조금 더 높은 유겔화율을 나타내었다. 생성된 겔은 부드럽고 강한 특성을 가짐으로써 회수에 용이한 상태를 나타내었다.

## 감사의 글

본 논문은 한국과학재단 지정 환경기술·산업개발연구센터(RRC-IETI)의 지원 (과제번호 : 99-10-05-03-A-3 확인)에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. J. H. Sim, "Ocean Pollution and Ecosystem", 183, Minum Publishers, Seoul (1991).
2. "Survey Handbook for Oil Pollution", Overseas Marine & Cargo Inspection Co (1996).
3. 박병권, "해양오염과 지구환경", pp. 26-27, 한국해양 연구소 (1998).
4. 이종하, "해양오염", pp. 53-56, 신광문화사 (1998).
5. Y. H. Lee, W. Kim, and W. H. Kim, Polymer(Korea), **24**, 745 (2000).
6. C. Hepburn, "Polyurethane Elastomer", pp. 29-31, Elsevier Applied Science, London and New York (1992).
7. Michael Szycher, "Szycher's Handbook of polyurethanes", chap 7. pp. 11-12, CRC (1999).
8. D. DeRossi, K. Kajiwara, Y. Osada and A. Tamauchi, "Polymer Gel", pp. 21-23, Plenum Press, New York (1991).
9. Joseph C. Salamone, "Polymeric Materials Encyclopedia", **4**, pp. 2742-2745, CRC, N. Y., London, Doko (1996).
10. 한국폴리올 주식회사, "Polyurethane Foam", pp. 24, (1996).
11. G. Oertel, "Polyurethane Handbook", pp. 99-101, Cara Hanser Verlag, Minich, Vienna and New York (1994).
12. Michael Szycher, "Szycher's Handbook of polyurethanes", chap 6. pp. 9-10, CRC (1999).
13. Wood, George, "Flexible polyurethane foams : Chemistry and Technology", pp. 58-60, Applied Science Publishers, London and New Jersey (1982).
14. J. B. Chai, B. K. Kim, and J. S. Yang, J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, **9**, 648 (1998).