

# 실리콘 정포제의 종류에 따른 폴리우레탄 폼 지수제의 내수성 특성에 관한 연구

김근허<sup>1\*</sup>, 김현민<sup>2</sup>, 김성래<sup>3</sup>, 김영근<sup>4</sup>

## Studies on the Water Resistance Properties of the Polyurethane Foam Silicone Foal Control Agent according to the Type of Silicone Foam Stabilizer

Keun-Hur Kim<sup>1\*</sup>, Hyun-Min Kim<sup>2</sup>, Sung-Rae Kim<sup>3</sup>, Young-Geun Kim<sup>4</sup>

**Abstract:** Polyurethane foam index a of the cell structure and the absorption change by using the foam stabilizer of six to investigate the polyurethane foam index producing the agent to the siloxane analyzed with silicon foam stabilizer with FE-SEM in accordance with the characteristics of the silicon-based foam stabilizer cell structure of the primary DC-193 on the chain ends is PO n dog bond, DC-2585, DC-5125, DC-198 has been confirmed as a close cell, silicone surfactant is combined EO n dog to a siloxane main chain terminus DC-5043 and DC-5598 that appeared to open cell structure. In addition, most absorption of the DC-5043 appeared was the size of the open cell greatest formed by the absorption of the cell structure change this absorption of the size of the close cell most detailed and uniform DC-193 appeared small household water-resistant best many showed. The performance test of the water was found to be excellent.

**Keywords:** Foam stabilizer, Water-resistant, Polyurethane foam, Waterstop, Removals, Open cell, Closed cell

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

폴리우레탄 폼은 시공성 및 기계적강도가 우수하고 정포제의 종류에 따라서 open cell 및 close cell 구조의 합성이 가능하기 때문에 건축 및 토목 구조물의 누수 발생 시 지수제로 많이 사용되어지고 있다<sup>1)</sup>. 그러나 기존의 폴리우레탄 폼 지수제는 대부분 open cell 구조로 되어있기 때문에 내수성이 저조하여 누수 보수 후 수개월이 지나면 지수제가 물을 흡수하면서 점차적으로 재누수로 이어지는 하자가 Fig. 1과 같이 빈번히 발생하고 있다.

내수성을 향상시키기 위해서는 close cell 구조가 되어야 하는데, 정포제의 종류에 따라서 cell 구조의 변화가 매우 다양하기 때문에 제조에 많은 어려움이 따르고 있다<sup>2)</sup>.

이에 본 연구에서는 정포제의 종류에 따라서 폴리우레탄 폼 지수제를 제조 후 전개 방사형 주사 전자 현미경(FE-SEM)

를 이용하여 cell 구조를 분석하고 흡수량을 측정하여 내수성이 향상시키기 Close cell 시스템의 비중 높은 우레탄 폼 지수제를 제조하여 건축 및 토목 구조물의 누수 현장에 제공하는 것을 목적으로 하고 있다. Fig. 2는 기존의 폴리우레탄 폼 지수

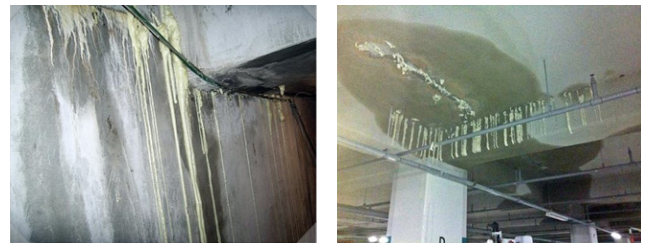


Fig. 1 Reopening of leakage after repair

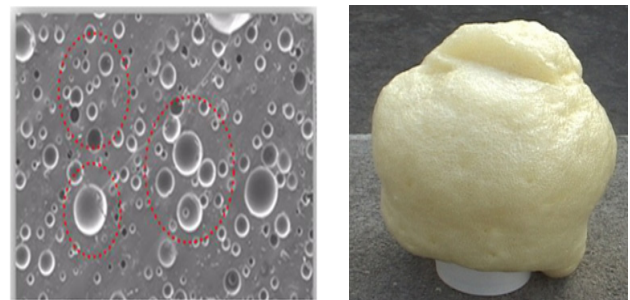


Fig. 2 Polyurethane Resin Foam Cell Structure and water-blowing condition

<sup>1</sup>정희원, (주) 제이에스기술, 기술연구소, 소장, 교신저자

<sup>2</sup>정희원, (주) 리론스, 대표이사, 이학박사

<sup>3</sup>정희원, 한국건설생활환경시험연구원 선임연구원, 공학박사

<sup>4</sup>정희원, 한국건설생활환경시험연구원 본부장, 공학박사

\*Corresponding author: kkhur79@hanmail.net

•본 논문에 대한 토의를 2016년 4월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 5월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

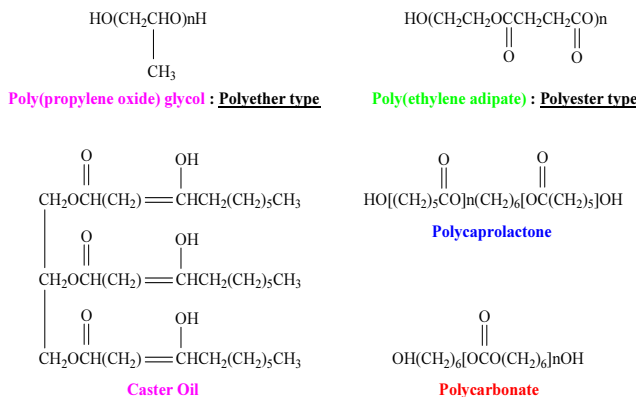
제의 cell 구조와 발포상태를 나타내었다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 내수성이 향상된 폴리우레탄 폼 지수제를 제조하기 위하여 Table 1과 같은 특성을 가지고 있는 Air Products사의 실리콘계 정포제 6종과 Fig. 3의 화학구조를 갖는 폴리이서폴리올, 폴리카보네이트폴리올, 메틸렌다이소시아네이트, 이소프론다이소시아네이트 등의 원료를 사용하여 폴리우레탄 폼 프리폴리머를 합성하고, 발포제로는 물을 사용하여 발포시킨후 전개 방사형 주사 전자 현미경(FE-SEM) 측정으로 open cell 및 close cell 구조를 확인한다. 또한, 30일간 수중 침지 후 물의 흡수량을 측정하여 cell 구조 변화에 따른 내수성을 확인하여 가장 우수한 지수제를 선정한다. 이들 cell의 내수성능검증을 위해 콘크리트 구조물을 모사한 300 × 300 × 55 mm의 콘크리트 블록을 활용하여 방수성능을 확인하였다.

**Table 1** Characteristics of Silicon surfactants

Classify	Characteristics
DC-193	<ul style="list-style-type: none"> <li>Low freezing point and good dimensional stability</li> <li>POs=n bonded to the end of siloxane main chain</li> </ul>
DC-198	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excellent stability when mixed with water</li> <li>POs=n bonded to the end of siloxane main chain</li> </ul>
DC-2585	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excellent bending stability</li> <li>POs=n bonded to the end of siloxane main chain</li> </ul>
DC-5043	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stable, fine and homogeneous cell formation</li> <li>POs=n bonded to the end of siloxane main chain</li> </ul>
DC-5125	<ul style="list-style-type: none"> <li>High solvency</li> <li>POs=n bonded to the end of siloxane main chain</li> </ul>
DC-5598	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excellent premix stability with non-hydrolyzable</li> <li>POs=n bonded to the end of siloxane main chain</li> </ul>



**Fig. 3** Raw material chemical structure for composition of main component

## 2. 본 론

### 2.1 실험

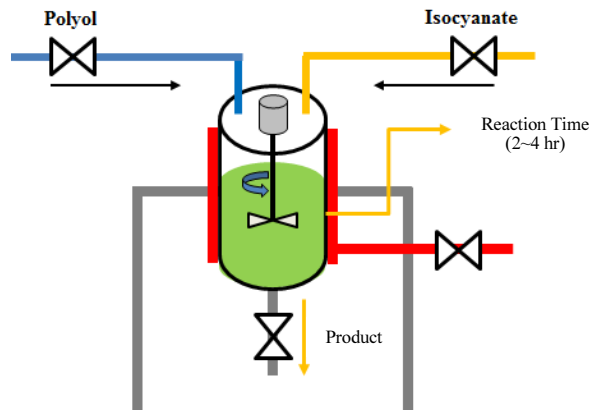
#### 2.1.1 시약

폴리우레탄 프리폴리머 합성에 사용된 폴리올은 평균 분자량이 1,000~3,000, 산가(mgKOH/g) 0.03이하인 한국포리올(주)의 polyetherpolyol로 폴리우레탄 폼 지수제에 일반적으로 사용하는 것을 그대로 사용하였으며, 사용하기 전에 수분을 측정하여 0.05%이상인 경우는 100°C에서 진공 탈수하여 수산기기를 측정하여 정량적으로 당량비를 계산하여 사용하였으며, Isocyanate는 isopronediisocyanate, tolene diisocyanate (TDI-80/바스프), Methylene diphenyl diisocyanate(M-200/금호미쓰이)를 상온에서 보관하여 사용하였다.

정포제로는 산업현장에서 사용이 가장 많은 Air Products사의 실리콘계 소포제인 DC series 6종을 사용하였다.

#### 2.1.2 폴리우레탄 프리폴리머의 합성

합성 장치는 Fig. 4와 같이 설치하여 폴리올과 이소시아네이트를 정량으로 투입하고, 1 L-4구 플라스크에 교반기, 질소주입관, 온도계, dropping funnel을 장치한 후, Table 2와 같은



**Fig. 4** Composite apparatus of polyurethane prepolymer

**Table 2** Proportions of Polyurethane foam prepolymer

Classify	Isocyanate	Polyol	Chain extender	Surfactant	Diol:Triol :Chain extender
DC-193	227.8	467.2	13.3	60	0:9:1
DC-198	235.7	443.7	28.9	60	0:8:2
DC-2585	255.1	415.8	37.5	60	0:7:3
DC-5043	229.0	476.0	3.4	60	0:9:1
DC-5125	238.7	462.3	7.5	60	0:8:2
DC-5598	238.9	462.7	7.7	60	0:7:3

배합으로 먼저 polyol과 foam control agent을 넣고 질소 분위기 하에서 isocyanate를 적하하면서 교반하고, 적하가 끝난 후 heating mantle를 이용하여 반응 온도를  $80\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 승온시킨 다음 약 5 hr 동안 반응시켜 폴리우레탄 폼 프리폴리머를 합성하였다.

### 2.1.3 합성 확인

Fig. 5는 폴리우레탄 폼 프리폴리머는 반응 종결 후 FT-IR로서 약  $2928\text{ cm}^{-1}$ 의 NCO group과  $3359\text{ cm}^{-1}$ 의 NH group이 나타나는 것으로부터 polyurethane prepomer의 합성을 확인하였다<sup>3)</sup>.

### 2.1.4 2액형 우레탄 폼의 제조

2.1.2에서 합성한 폴리우레탄 프리폴리머를 Air Products사의 실리콘계 소포제인 DC-193, -198, -2585, -5043, -5125, -5598의 정포제를 사용하였고, 물을 넣어 물리적/화학적 발포를 유도하였다. Table 3과 같은 배합비율로 혼합/교반하여 기포가 형성된 폼을 제조하였다.

Fig. 6은 Table 3의 DC-193의 발포 상태를 확인하기 위해 우레탄 폼 지수제 10 g과 물 1 g을 혼합하여 발포하는 단계를 나타내었다.

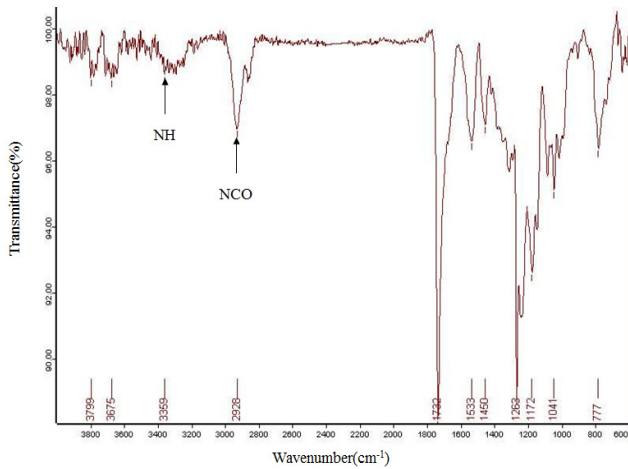


Fig. 5 FT-IR Spectrum

Table 3 2 liquid type polyurethane foam mixture ratio

Classify	Water	Prepolymer	Rate of foaming
DC-193	1	10	3min
DC-198	1.5	10	2.5min
DC-2585	0.5	10	2min
DC-5043	1	10	3min
DC-5125	1	10	3min
DC-5598	1	10	3min

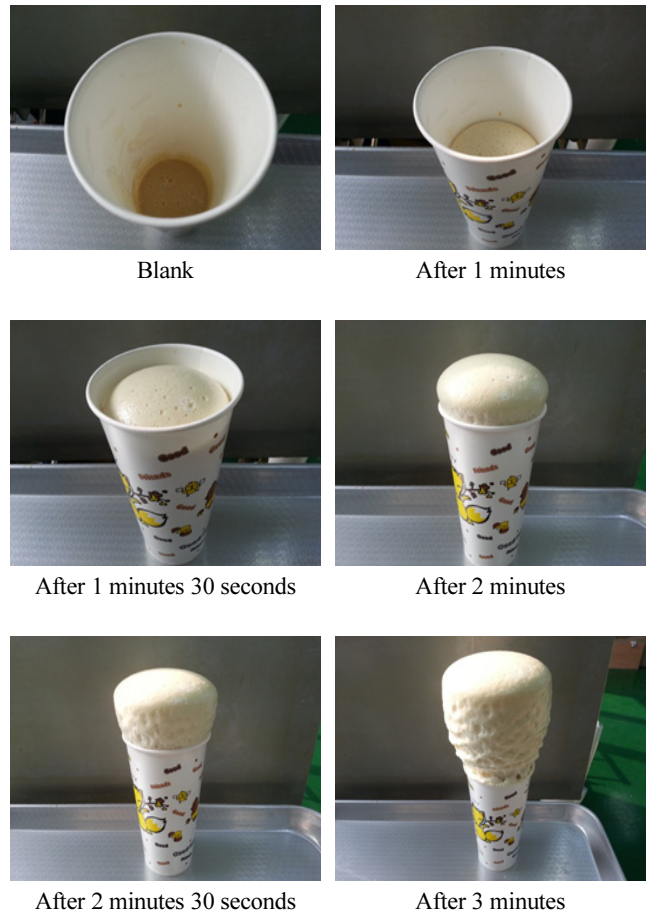


Fig. 6 Foaming of Polyurethane foam prepolymer

### 2.1.5 전계 방사형 주사 전자 현미경(FE-SEM) 측정

정포제의 종류에 따라 폴리우레탄 폼 지수제의 FE-SEM를 측정하기 위하여 Fig. 6과 같이 폴리우레탄 폼 프리폴리머를 물을 사용하는 수화 발포 방법으로 샘플을 제작하여 JEOL사의 JSM-7600 FE-SEM으로 진공상태에서 수행하였다.

### 2.1.6 흡수량 측정

수화 발포 방법으로 제작한 샘플을 각각 30일간 수중 침지 후 물의 흡수량을 측정하여 cell 구조 변화에 따른 내수성 비교를 KS F 2622의 규격을 인용하여 시행하였다.

### 2.1.7 물성 측정

발포율은 발포 전 액상의 높이를 측정하고, 발포 후 폼 층의 높이의 차이를 계산하였고, 기계적 물성을 확인하기 위해 KS F 6518의 시험방법을 인용하여 표준상태에서 1시간 이상 방치한 후 만능재료시험기에 물림 간격이 60 mm가 되도록 시험체를 설치하고, 1 mm/min의 인장 속도로 시험체가 파단 될 때까지 인장하였다. 동일한 시험체를 대상으로 168시간 수중에 침지 후 인장강도 비(%)를 측정하였다<sup>4)</sup>.

### 2.1.8 방수성능 시험

본고에서 합성된 우레탄 폼 지수제 중에서 물과 프리폴리머의 배합비율이 1:10인 DC-193의 시료를 대상으로 방수성능을 확인하기 위하여, Fig. 7과 같이 현장을 대체한 300 × 300 × 55 mm의 콘크리트 블록 단면에 우레탄 폼을 발포한 시험체 2기와 콘크리트 구조물의 균열을 모사하여, Fig. 8과 같이 동일한 콘크리트 블록 2기의 간격을 15 mm로 하고, 15 mm 사이에 우레탄 폼을 발포하여 2기의 콘크리트 블록을 접합하였다.

콘크리트 블록에 발포시킨 우레탄 폼 지수제 시편을 168시간 양생 시킨 후 305 × 305 × 330 mm 크기의 투명 아크릴 수조 3기를 제작하여 넣고 시편 끝단을 실링재를 사용하여 누수 방지를 위해 고정시켰다. Fig. 9는 단면 우레탄 폼 발포 시험체는 지수제가 물에 직접 노출된 현장을 모사하였고, Fig. 10은 콘크리트 구조물과 우레탄 폼 지수제가 토양에 노출되는 지하 환경을 모사하였고, KS F 2622(멤브레인 방수층 성능 평가 시

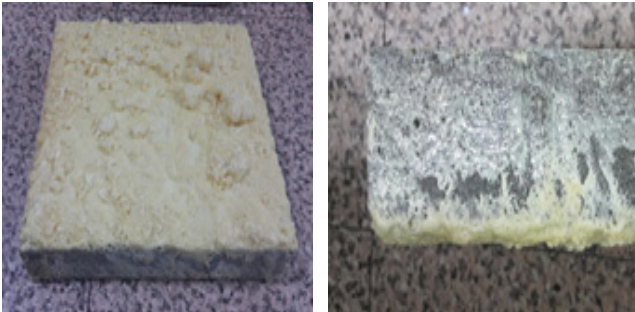


Fig. 7 Water-blowing of single sided urethane foam

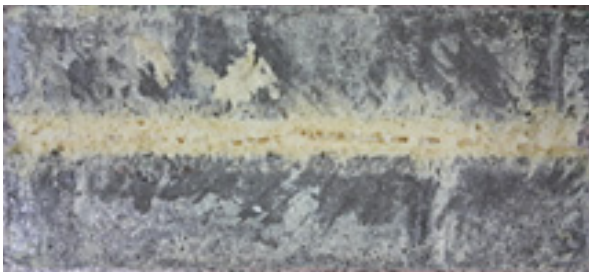


Fig. 8 Urethane foam blowing in between concrete blocks

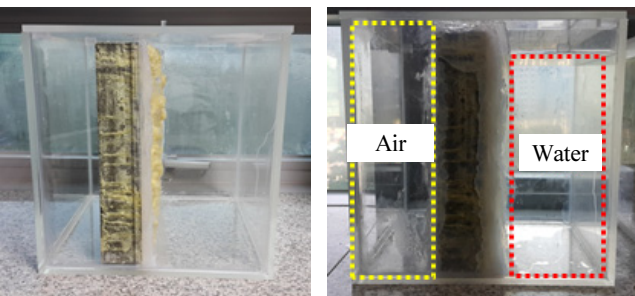


Fig. 9 Urethane foam directly exposed to water

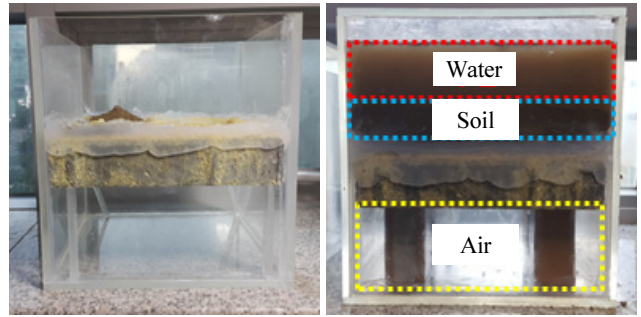


Fig. 10 Urethane foam indirectly exposed to water by covering with soil

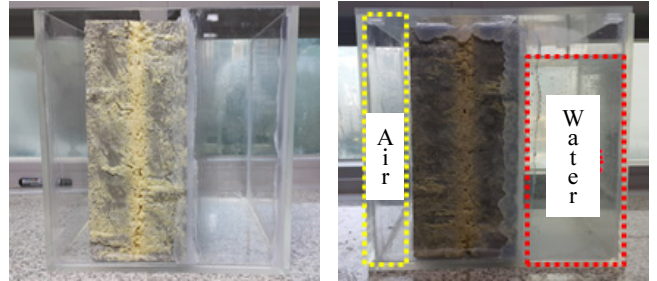


Fig. 11 Concrete block test specimen with water-blown foam in between

험방법)의 방수시험방법을 인용하여, 두가지 형태의 시험체에 물을 넣고 168 hr을 대기압조건에서 방치하였다.

Fig. 11은 지하 콘크리트 구조물의 균열에 따른 보수재의 성능을 확인하기 위해 콘크리트 블록 사이를 15 mm로 하고 우레탄 폼을 발포하여 한쪽 콘크리트 블록 외벽에 물을 채워 168 hr을 대기압조건에서 KS F 2622(멤브레인 방수층 성능 평가 시험방법)을 인용하여 방치하였다.

## 2.2 결과 및 고찰

### 2.2.1 전계 방사형 주사 전자 현미경 (FE-SEM) 측정에 의한 폴리우레탄 폼 지수제의 cell 구조 분석

실리콘 정포제의 종류에 따라서 합성한 폴리우레탄 폼 프리폴리머를 수화 발포 방법으로 샘플을 제작하여 측정된 결과 실리콘 정포제의 실록산 주사슬 말단에 PO = n개가 결합되어 있는 Fig. 12의 DC-193, Fig. 14의 DC-2585, Fig. 16의 DC-5125가 close cell 구조로 확인이 되었고, Fig. 13의 DC-198은 close cell 구조 이기는 하나 다른 close cell 구조 시료의 세밀하고 균일한 cell 형태와는 다른 판상형 형태를 나타내었다. 이는 물과 혼합되어 발포 시 정포제의 안정성이 우수하여 cell이 크게 형성이 되기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 실리콘 정포제의 실록산 주사슬 말단에 EO = n개가 결합된 Fig. 15의 DC-5043과 Fig. 17의 DC-5598은 open cell 구조로 확인이 되었는데, 이는 발포 시 정포제로서의 기능을 발현

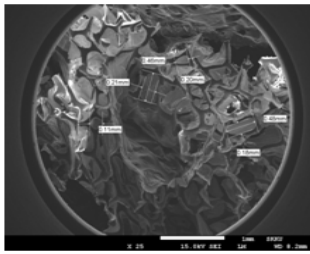


Fig. 12 DC-193 FE-SEM

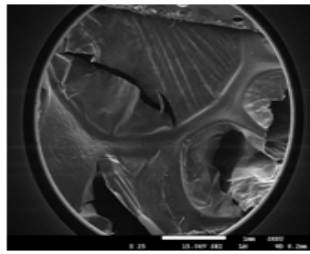


Fig. 13 DC-198 FE-SEM

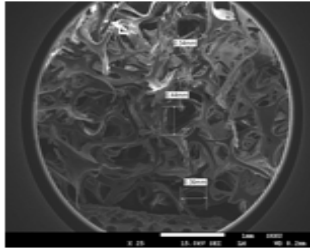


Fig. 14 DC-2585 FE-SEM

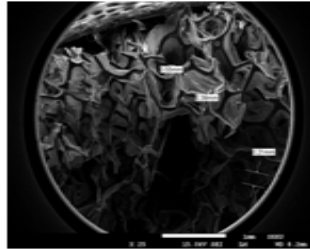


Fig. 15 DC-5043 FE-SEM

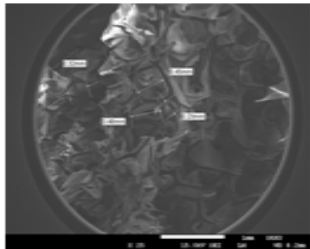


Fig. 16 DC-5125 FE-SEM

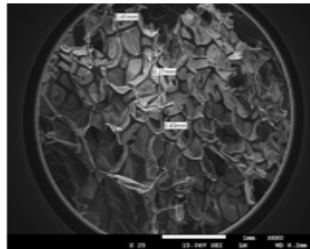


Fig. 17 DC-5598 FE-SEM

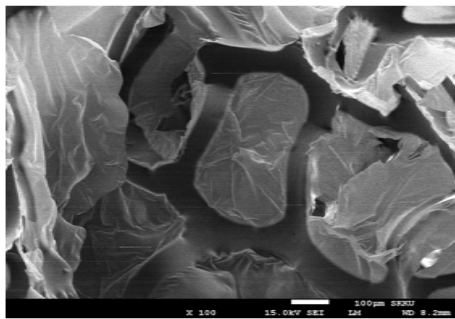


Fig. 18 Enlarged photo of DC-193 FE-SEM

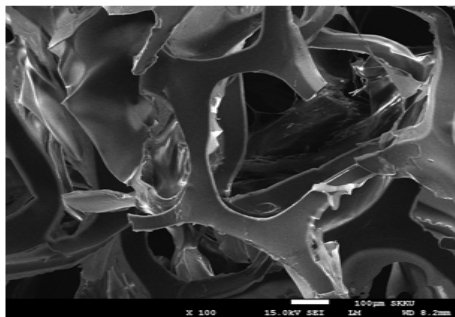


Fig. 19 Enlarged photo of DC-5043 FE-SEM

하지 못한 것으로 판단된다.

Fig. 18은 cell의 크기가 가장 세밀하고 균일한 DC-193의 × 100 배 확대 사진이며, Fig. 19는 DC-193과 정반대의 특성을 가지고 있는 DC-5043의 × 100 배 확대 사진인데, open cell과 close cell의 차이가 매우 선명하게 나타내고 있다.

### 2.2.2 Cell 구조에 따른 폴리우레탄 폼 지수제의 흡수량 변화 분석

Fig. 20과 같이 30일간 수증 침지 후 물의 흡수량을 측정하여 cell 구조 변화에 따른 내수성 변화를 분석한 결과는 Table 4와 같이 FE-SEM 측정 결과 close cell의 크기가 가장 세밀하고 균일한 DC-193의 흡수량이 작은 결과를 나타내어 내수성이 가장 우수한 것으로 나타났으며, open cell의 크기가 가장 크게 형성된 DC-5043의 흡수량이 가장 많은 것으로 나타났다.

### 2.2.3 우레탄 폼 지수제 주제의 합성 특성 조사

2.1.2절에서 제조된 주제는 투명한 점액액상으로 Fig. 5의 FT-IR 분석결과 다음의 Fig. 21의 합성구조식과 대체로 잘 일치됨으로써 합성이 용이하게 이루어진 것을 알 수 있었다.<sup>5)</sup>

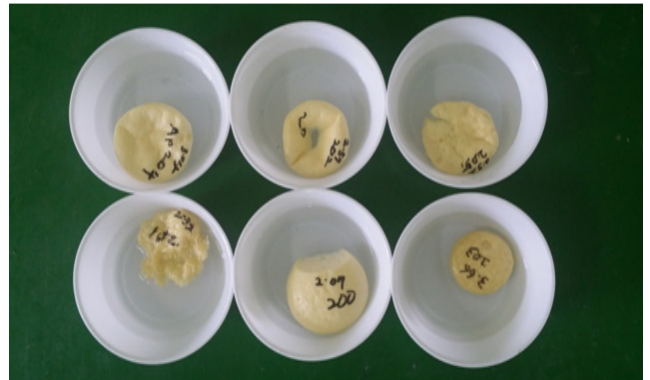


Fig. 20 A photo of Absorption measurements

Table 4 Absorptions of different surfactants

Classify	DC-193	DC-198	DC-2585	DC-5043	DC-5125	DC-5598
Before(g)	5.12	7.83	6.49	5.75	6.41	6.46
after(g)	6.07	9.96	8.02	13.07	8.43	13.13
Absorption(g)	1.05	2.13	1.53	7.32	2.02	6.67

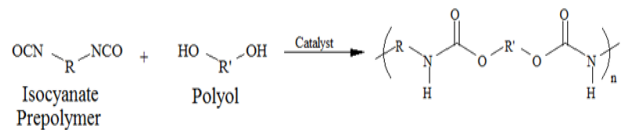


Fig. 21 Chemically bonded structure of the main component

**Table 5** 2 liquid type polyurethane foam physical property results

Items	DC-193	DC-198	DC-2585	DC-5043	DC-5125	DC-5598
Tensile Strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	17	15.3	16.5	1.2	15.4	1.4
Flexural Strength(%)	35	32	30	11	33	13
Blow Reaction Rate(%)	3000	3000	3300	1800	3000	1900
Tensile strength after 168 hr placement underwater (%)	80	75	65	34	80	39

**2.2.4 우레탄 폼 지수제의 기계적 물성 결과**

Table 5와 같이 기존 제품인 DC-2585의 인장강도는 16.5 kgf/cm<sup>2</sup>이며, 신장률은 30%, 발포율은 3300%, 168 hr 수중침지 후 인장강도 비는 65%로 측정되었으며, 2.1.2절에서 제조된 DC-193은 인장강도 17 kgf/cm<sup>2</sup>, 신장률은 35%, 발포율은 3000%, 168 hr 수중침지 후 인장강도비는 80%, DC-198과 5043, 5125, 5598의 물성은 각각 인장강도 15.3, 1.2, 15.4, 1.4 kgf/cm<sup>2</sup>과 신장률은 각각 32, 11, 33, 13%이며, 발포율은 각각 3000, 1800, 300, 1900으로 나타났으며, 168 hr 수중침지 후 인장강도는 75, 34, 80, 39%로 close cell과 open cell의 특징을 알 수 있는 물성결과를 확인하였다. 기존 제품인 DC-2585와 전체적인 물성이 우수한 DC-193과 비교한 결과 발포율이 300% 낮은 것으로 단단한 미세기포가 다수 존재하는 것으로 판단되며, 이들이 인장강도와 신장률, 내수성능의 물성을 향상시킨 것으로 판단된다.

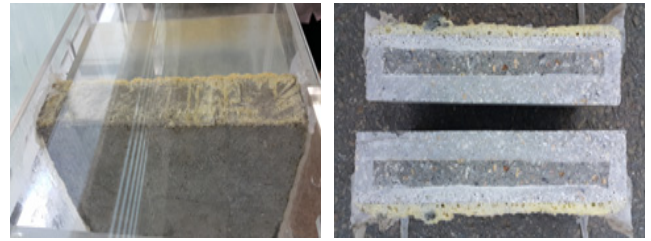
**2.2.5 방수성능 결과**

Fig. 22의 a)는 물을 직접 노출시킨 시험체의 기중상태의 배면이고, b)는 단면을 절단하여 육안으로 관찰한 결과 누수의 흔적이 없는 것을 확인하였다.

Fig. 23의 c), d)는 우레탄 폼 지수제를 토양으로 덮어 물에 간접적으로 노출시킨 시험체의 기중에서의 배면과 단면 사진으로 Fig. 22와 같이 누수의 흔적이 없는 것을 확인하였다.

Fig. 24는 콘크리트 구조물의 균열을 모사한 시험체로 e)와 같이 물을 직접 노출시킨 콘크리트 블록 반대편의 기중상태의 콘크리트 블록의 사진으로 누수의 흔적이 없었고, f)와 같이 절단한 단면에서 위의 부분과 같이 누수의 흔적이 없음을 확인하였고, 물과 직접 노출된 콘크리트 블록에서는 누수의 흔적을 확인하였고 이들의 면적을 점선으로 나타내었다.

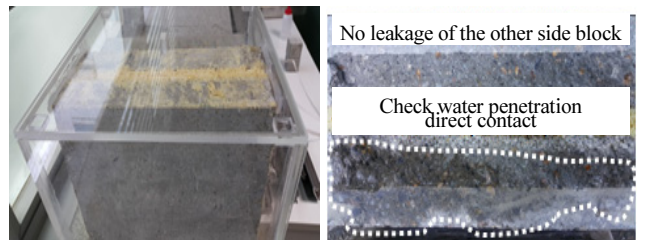
따라서, Fig. 22~23의 결과에서와 같이 본 고에서 제조된 우레탄 폼 지수제의 현장을 대체한 콘크리트 블록을 활용한 방



(a) rear (b) section  
**Fig. 22** Test specimen directly exposed to water



(a) rear (b) section  
**Fig. 23** Test specimen indirectly exposed to water by covering with soil



(a) rear (b) section  
**Fig. 24** Concrete block test specimen directly exposed to one side

**Table 6** Waterproofing performance test results of polyurethane resin foam

Items	Results
Test specimen directly exposed to water	No leakage
Test specimen indirectly exposed to water by covering with soil	No leakage
Concrete block test specimen directly exposed to one side	No leakage

수성능 시험결과 open cell과 close cell의 방수성능을 확인하였다. 이들의 방수성능을 Table 6에 나타내었다.

**3. 결론**

실리콘계 정포제의 특성에 따른 폴리우레탄 폼 지수제의

cell 구조와 흡수량 변화를 알아보기 위하여 6종의 정포제를 사용하여 폴리우레탄 폼 지수제를 제조하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 실리콘 정포제의 실록산 주사슬 말단에 PO = n개가 결합되어 있는 DC-193, DC-2585, DC-5125, DC-198의 cell 구조는 close cell로 확인이 되었고, 실리콘 정포제의 실록산 주사슬 말단에 EO = n개가 결합되어 있는 DC-5043과 DC-5598은 open cell 구조로 나타났다.
- 2) Cell 구조 변화에 따른 흡수량에서는 close cell의 크기가 가장 세밀하고 균일한 DC-193의 흡수량이 작은 결과를 나타내었고, 내수성도 가장 우수한 것으로 나타났으며, open cell의 크기가 상대적으로 크게 형성된 DC-5043의 흡수량이 높은 것으로 나타났다.
- 3) 콘크리트 블록의 단면을 절단하여 관찰한 결과 우레탄 폼을 단면에 도포한 시험체와 토양을 덮어 간접적으로 물에 노출한 시험체의 블록 내부에서는 수분 침투 흔적이 없음을 확인하였다.
- 4) 콘크리트 블록 사이에 균열 등을 모사한 시험체에서도 물에 직접 노출된 블록에서만 수분의 침투를 확인할 수 있었다.
- 5) 따라서, 본 연구에서 개발 중인 우레탄 폼 지수제의 방수능이 양호한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원 (15RERP-B082204-02)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. G. Overtel (1993), Polyurethane Handbook, 2nd Ed., Hanser.
2. H. Suh, Y. S. Hwang, J. C. Park, K. D. Park, Y. H. Kim (1998), Type I collagen grafting on polyurethane yube and its mechanical property, *Biomaterials Research*, 2, 158-162.
3. K. D. Park, K. Suzuki, W. K. Lee, J. E. Lee, Y. H. Kim (1996), Platelet adhesion and activation on PEG modified PU surfaces: cytoplasmic calcium measurement, *ASAIO J.*, 42, 876-881.
4. Korea Standard KS F 2622 (2013), Method of test for performance evaluation of membrane roofing systems, Korea Agency for Technology and Standards.
5. R. A. Markovs (1985), *Journal of Cellular Plastics*, 236.
6. S. R. Kim (2014), Synthesis and ozone resistance characteristic of fluorine-containing modified polyurea, Chungbuk National Univ, 77-103.
7. Society for the Compilation of Polymeric Materials (2004), *Polymer materials (II)*, Moonundang, 105-106.

Received : 11/13/2015

Revised : 12/15/2015

Accepted : 12/29/2015

---

**요 지** : 본 연구는 실리콘계 정포제의 특성에 따른 폴리우레탄 폼 지수제의 cell 구조와 흡수량 변화를 알아보기 위하여 6종의 정포제를 사용하여 폴리우레탄 폼 지수제를 제조하여 FE-SEM으로 분석한 결과 실리콘 정포제의 실록산 주사슬 말단에 PO n개가 결합되어 있는 DC-193, DC-2585, DC-5125, DC-198의 cell 구조는 close cell로 확인이 되었고, 실리콘 정포제의 실록산 주사슬 말단에 EO n개가 결합되어 있는 DC-5043과 DC-5598은 open cell 구조로 나타났다. 또한 cell 구조 변화에 따른 흡수량에서는 close cell의 크기가 가장 세밀하고 균일한 DC-193의 흡수량이 가장 적게 나타나 내수성이 가장 우수한 것으로 나타났으며 open cell의 크기가 가장 크게 형성된 DC-5043의 흡수량이 가장 많은 것으로 나타났다. 이들의 방수성능을 콘크리트 구조물을 모사하여 시험한 결과 누수가 없음을 확인하였다.

**핵심용어** : 정포제, 내수성, 폴리우레탄, 폼, 지수제, 흡수량, 오픈셀, 클로즈셀, 방수시험

---