

세라이트필름과 폴리에틸렌 필름의 방청효과 및 기계적 물성 비교

정용찬*, 서수열, 전병철^{†‡}

수원대학교 화학과, [†]신소재공학과
445-743 경기도 화성시 봉담읍 와우리 산2-2

[‡]서울대학교 지능형 텍스타일 연구센터
151-744 서울시 관악구 신림동 산56-1

(2007년 3월 20일 접수; 2007년 6월 9일 채택)

Comparison of Anti-rust Effect and Mechanical Properties of Celite Film and Polyethylene Film

Yong-Chan Chung*, Soo Yul Suh, and Byoung Chul Chun^{†‡}

Dept. of Chemistry and [†]Dept. of Polymer Engineering, The University of Suwon
San 2-2, Wawoo-ri, Bongdam-eup, Hwasung City, Kyonggi-do 445-743, Korea

[‡]Intelligent Textile Research Center, Seoul National University
San 56-1, Shilim-dong, Kwanak-gu, Seoul 151-744, Korea

(Received for review March 20, 2007; Revision accepted June 9, 2007)

요 약

세라이트는 내부 공동이 매우 넓어서 그 내부에 다양한 분자성 물질을 저장할 수 있으며, 세라이트 분말은 PE 필름 내부에 잘 분산될 수 있어서 세라이트를 함유한 PE 필름을 제조할 수 있었다. 표면을 계면활성제로 처리하여 극성을 낮춘 세라이트를 함유한 PE 필름 그리고 표면 처리하지 않은 세라이트를 이용한 PE 필름 등 2 가지 필름을 제조하였다. 제조된 필름내부의 세라이트 내부 공동에는 방청물질인 dicyclohexylamine, dicyclohexylamine nitrite 또는 diisopropylamine 등이 스며들게 하여, 포함된 방청분자들이 서서히 외부로 방출되게 함으로서 필름 백 내부에 포장된 철물에 대한 방청효과를 지속적으로 발휘하도록 하였다. 여러 가지 밀봉필름 백 내부의 방청물질 농도 변화를 gas chromatography를 이용하여 한 달간 각 필름 백의 방청물질 발산 지속시간을 비교하였고, 실제로 실험실에서 사용되는 철물을 대상으로 6 개월에 걸쳐 방청실험을 진행하였다. 실험 결과 세라이트 필름은 일반 PE 필름에 비해 방청효과가 뛰어나며, 방청물질 발산 지속시간이 우수하였다.

주제어 : 방청효과, 세라이트, 내부 공동, 표면처리, 서방성

Abstract—Celite with enormous pore space inside can hold small molecules and can be well blended with polyethylene (PE) to make a Celite-PE film. Two types of Celite-PE film were prepared, one with Celite surface-treated with surfactant to reduce the hydrophilicity and another with plain Celite. The anti-rust chemical such as dicyclohexylamine, dicyclohexylamine nitrite, or diisopropylamine was allowed to permeate into celite pore in the film, and slowly evaporated to protect the packaged steel material from the rust for a long period of time. The chemical concentration in the different packaging film bags was analyzed by a gas chromatography for a month, and the anti-rust effect on iron labware was compared for a six month period. The Celite film was superior to PE film in anti-rust effect and the long-term anti-rust chemical evaporation.

Key words : Anti-rust effect; Celite; Internal pore; Surface treatment; Slow release

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail : ycchung@suwon.ac.kr

1. 서 론

세라이트는 실리카 및 알루미늄으로 구성되어 있는 다공질 무기질로서 음료제조 공정상 정화제, 사료첨가제, 제지, 페인트, 크로마토그래피, 촉매 등 다양한 분야에 사용되고 있는 천연물질이며 Hodge et al. [1-6]에 의해 연구되었다. 세라이트 자체의 수많은 내부 공동과 엄청난 표면적으로 인하여 위와 같이 다양한 분야에서 이용되고 있다. 이미 고분자 재료에 무기질을 첨가함으로써 고분자 재료의 사용을 억제할 수 있고, 무기질로 인한 기능성 예를 들면 난연성, 선도유지, 약취제거, 투과도 조절 등 다양한 기능성을 발휘할 수 있음이 알려졌다[7-9]. 세라이트 내부 공동에 향을 주입하여 향분자가 서서히 방출되는 기능을 갖춘 필름에 대한 연구가 Chung et al. [10]에 의해 이미 발표된 바가 있다. 그러나 고분자 재료에 무기질이 첨가됨으로 인한 물성저하는 Chun et al. [11,12]에 의하면 아직 해결되지 않은 문제로 남아있다. 산업계에서는 기계류 부품 또는 철제 제품의 보관 및 운송에 있어서 부식으로 인한 피해로부터 보호하기 위해 방청유를 제품 표면에 얇게 도포하게 된다. 개봉 후에는 방청유를 닦아내야 하므로 제품의 수량이 많아지면 매우 번거로운 작업이 된다. 이러한 문제점들을 해결한 일부 수입 포장필름에서는 방청분자가 처음에는 필름 표면으로부터 증발하여 제품 표면에 안착함으로써 방청효과를 발휘하고 포장 개봉 후에는 표면의 방청물질이 휘발하여 이를 닦아낼 필요가 없는 편리한 기능이 있어서 매우 각광을 받고 있다. 그러나 포장필름 가격이 범용 PE 필름에 비해 매우 높으므로, 필름 가격은 낮으면서 방청효과가 장기간 지속될 수 있는 새로운 메카니즘의 방청필름 개발이 필요하였다. 본 연구에서는 거대한 내부 공동을 가진 세라이트를 함유한 PE 필름을 제조하고, 필름 내부 세라이트에 충전된 방청분자들의 장기간 증발속도를 필름별로 비교하고, 포장된 철제류 제품에 대한 방청효과를 검증하였다.

2. 실험

2.1. 재료 및 필름 제조

저밀도 폴리에틸렌 (LDPE)는 한양화학에서, 그리고 세라이트는 Celite Korea Co.에서 각각 구입하였다. 표면개질제로 사용한 cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)는 Tokyo Kasei Co.에서 구입하였다. 방청제로서 사용한 dicyclohexylamine, dicyclohexylamine nitrite, diisopropylamine는 Aldrich Chemical에서 구입하였다. PE/세라이트 master batch (20% 세라이트 함유)를 제조하기 위해 자체 보유하고 있는 twin screw extruder (Bautech BA-19, screw diameter=11 mm, L/D=4)를 사용하였고, 다음과 같은 조건 (extruder temperature=235-265°C, screw torque=3.0 Nm, and screw speed=300 rpm)으로 가동하였다. 필름제조를 위해 상기 제조된 master batch를 이용하여 경기도 평택시에 위치하고 있는 (주)에텐산업의 single screw blown extruder (다이온도 220°C, 상온냉각)를 사용하여 세라이트 필름 (세라이트 10% 함유)을 제조하였다. 상기 사용된 세라이트는 세라이트 자체를 바로 사용하거나, 혹은

세라이트 표면을 CTAB로 표면 코팅하여 필름에 첨가하였다. CTAB로 세라이트 표면 코팅을 위해서 세라이트 분말 (3 kg)을 50 mmol CTAB 수용액에서 24 시간 교반한 후, 감압하여 걸러내고, 100°C 오븐에서 1 주일 간 건조하여 흰색 분말 얻었다. 제조된 세라이트 필름은 마이크로미터를 이용하여 필름 20여 곳의 두께를 측정한 결과 40-50 μm 이었다.

2.2. 물성측정

인장실험은 dumbell type의 시편을 ASTM D-638에 의거하여 universal testing machine (UTM, Lloyd LR 50K)를 이용하여 상온에서 측정하였으며, 이때의 조건은 gauge length=25 mm, crosshead speed=100 mm/min, load cell=2500 N 등이다. 충격강도는 Toyo Seiki사의 Elemndorf tester를 이용하여 측정하였다. 입도분석은 Malvern사의 Mastersizer Microplus particle size analyzer를 이용하여 측정하였다. 방청물질의 농도 변화는 Hewlett Packard 사의 flame ionization detector를 갖춘 HP 9850 series II gas chromatography (인젝터 온도: 250°C, 컬럼온도: 200°C, 검출기 온도: 350°C, 컬럼종류: HP 1 cross-linked methyl silicone gum)를 이용하여 측정하였고, 질소, 공기, 수소 혼합가스를 운반기체로 사용하였다.

2.3. 방청효과 실험

방청물질의 발산지속 기간을 비교하기 위해 2 가지 필름, 즉 세라이트 필름과 CTAB 코팅된 세라이트 필름 두 가지를 대상으로 비교하였다. 먼저 필름을 10 x 10 cm 크기로 절단하여, 이를 메탄올로 희석한 농도 10%의 3가지 방청물질(dicyclohexylamine, dicyclohexylamine nitrite, diisopropylamine) 용액에 각각 10 일간 담아서 방청물질이 세라이트 공동으로 스며들게 하였다. 필름표면의 메탄올은 티슈로 닦아내고, 필름 표면에 질소가스를 불어주어 잔존 메탄올을 완전히 제거하였으며, 이후 필름을 250 ml 3 구 플라스크에 각각 넣고 한 달 간 주기적으로 플라스크 내부의 가스를 일정량 (100 μl)씩 gas tight syringe로 채취한 후 가스 농도를 gas chromatography를 이용하여 측정하였다. 3 구 플라스크의 3 출입구 중 2개는 PE 필름으로 밀봉하여 방청물질이 외부로 자유로이 발산되도록 하였고, 1 개는 내부 가스 채취를 위하여 고무 septum를 부착하였다. 측정값은 3 회 반복하여 평균값을 선택하였다. 또한 대조 실험으로서 세라이트 필름 표면에 방청용액을 바른 후 상기 방법으로 표면에 묻은 방청용액을 제거하고, 세라이트 필름을 3 구 플라스크에 넣고 필름 표면으로부터 발산 되는 가스 농도를 분석하였다. 상기 3 가지 방청물질을 각각 충전한 세라이트 필름과 PE 필름을 이용하여 film bag (30 cm x 30 cm)을 열접착기를 이용하여 제조하고, 내부에는 못, 칼날, 삼발이 등을 넣고 밀봉하여 상온에서 6 개월간 보관 후 내용물의 부식상태를 비교하였다.

3. 결과 및 토의

고분자 재료에 첨가될 수 있는 무기질에는 제올라이트, 실리카, 알루미늄 등이 소개되었지만, 본 연구에서는 방청물질의 저

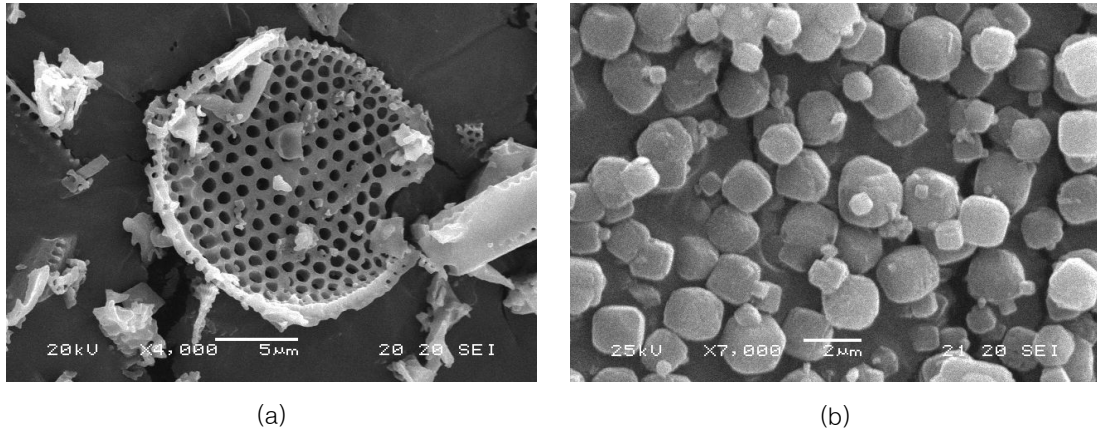


Figure 1. SEM pictures of (a) celite and (b) zeolite.

장을 위해 내부 넓은 동공을 필요로 하기 때문에 세라이트를 선택하였다. Figure 1의 전자현미경 사진에서 확연히 구분되는 바와 같이 비슷한 배율에서 세라이트는 제올라이트에 비해 훨씬 많은 동공을 갖추고 있음을 알 수 있다. 이러한 이유로 인하여 세라이트는 정수 필터로 사용되고 있다. 세라이트 입자의 크기는 약 3-5 μm 정도로서 두께가 40-50 μm 인 필름 내부에 포함될 수가 있다. 세라이트 자체는 실리카 및 알루미늄으로 구성되어 있어 표면의 극성이 매우 높으나 PE 필름 자체는 극성이 낮으므로 세라이트 입자와 필름 경계면의 극성 차이로 인한 세라이트 입자의 분산이 균일하지 않을 수 있어서 세라이트 표면을 양이온성 계면활성제인 cetyltrimethylammonium bromide (CTAB)로 표면치환한 세라이트도 사용하였다. 계면활성제의 ammonium group은 세라이트 표면으로, 그리고 cetyl group은 PE 필름 속으로 분포되어 경계면 상의 높은 극성차이를 극복하여 고른 분산을 유도할 수 있는 원리이다. 이러한 원리는 계면활성제를 이용하여 물에 녹지 않는 지용성 물질을 수분산 시키는 원리와 같다. 본 연구에서는 일반 세라이트 함유 필름과 CTAB로 표면 코팅된 필름 2 가지를 제조하여 방청효과를 비교하였다.

세라이트 필름을 제조하기 위해서는 일단 세라이트와 LDPE를 twin screw extruder를 이용하여 20% 마스터배치를 제조하고, 마스터배치와 PE를 혼합하여 blowing 방법으로 필름을 뽑아낸다. 최종 필름에 함유된 세라이트 함량은 10%이다. 따라서 일반 세라이트 함유 필름, CTAB로 표면코팅된 세라이트 함유 필름, 그리고 세라이트를 함유하지 않은 PE 필름 등 3 가지 종류의 필름을 이용하여 방청실험을 진행하였다.

일반적으로 무기질 첨가로 인한 필름의 물성저하는 기존의 무기질 첨가 고분자 재료에서 일어나고 있는데, 무기질 첨가로 고분자 사슬의 배열을 방해하여 응집력을 떨어뜨려 물성이 저하된다. 이러한 현상은 세라이트 필름에서도 예외 없이 나타나고 있다. 인장강도에서는 LDPE 필름은 machine direction (MD)으로 24.1 MPa transverse direction (TD) 방향으로 16.4 MPa이고, 반면에 세라이트 필름은 MD에서 16.4 MPa TD에서 12.8 MPa를 나타내었는데, 이것은 MD에서 30% TD에서 22%의 인장강도 (maximum stress)가 감소된 것이다. CTAB-세라이트

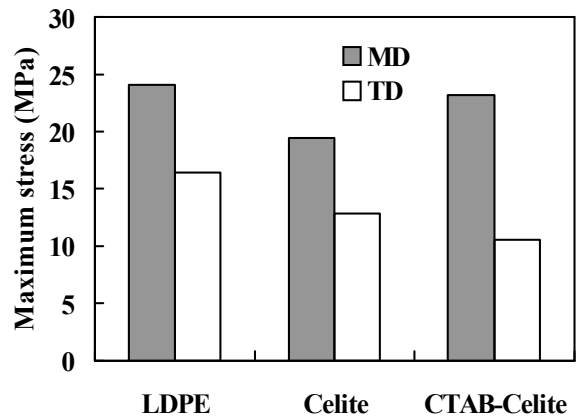


Figure 2. Comparison of maximum stress of LDPE and Celite films.

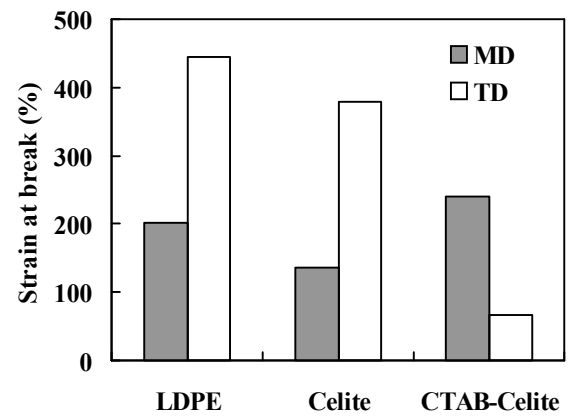


Figure 3. Comparison of strain at break of LDPE and Celite films.

필름은 MD에서 23.2 MPa TD에서 10.6 MPa로 나타나서, MD에서 3% TD에서 35% 인장강도가 감소되었다 (Figure 2). 따라서 CTAB 코팅으로 인하여 MD에서 다소 인장강도 감소가 저하

되었다. 파단신율 (strain at break)은 LDPE 필름이 MD에서 202% TD에서 445% 이고, 세라이트 필름은 MD에서 136% TD에서 378%을 나타내어 MD에서 33% TD에서 15% 감소되었다. CTAB-세라이트 필름은 MD에서 240% TD에서 66%로서 다른 필름에 비해 MD에서는 파단신율이 우수하나 TD에서는 매우 저조한 값을 나타내었다 (Figure 3). 인열강도 (tear strength)는 LDPE 필름이 MD에서 660 gf TD에서 345 gf, 세라이트 필름은 MD에서 580 gf TD에서 280 gf 이어서 MD에서는 12% TD에서는 19% 감소되었다. CTAB-세라이트 필름은 MD에서 470 gf TD에서 100 gf로서 PE 필름에 비해 MD에서 28% TD에서 71% 감소되었다 (Figure 4). 탄성계수 (tensile modulus)는 LDPE 필름 MD에서 532 MPa TD에서 347 MPa이고 세라이트 필름은 MD에서 513 MPa TD에서 344 MPa를 나타내어 MD 및 TD에서 변화가 거의 없었다 (Figure 5). 흐림도는 LDPE 필름이 15% 세라이트 필름은 55% 로서 세라이트 입자로 인한 빛의 산란으로 세라이트 필름의 투명도가 LDPE 필름에 비해 상당히 감소하였다 (Figure 6). 세라이트 첨가로 인하여 기계적 물성이 전반적으로 감소되었으며 CTAB 코팅으로 인한 세라이트 필름의 물성 보강 효과는 별로 관찰되지 않았으나, 높은 기계적 물성을 요구하지 않는 포장필름 분야에 적용하고 하는 경우 Zobel [13]에 의하면 물성저하가 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

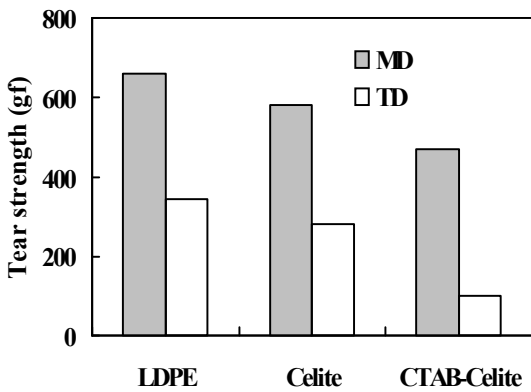


Figure 4. Comparison of tear strength of LDPE and Celite films.

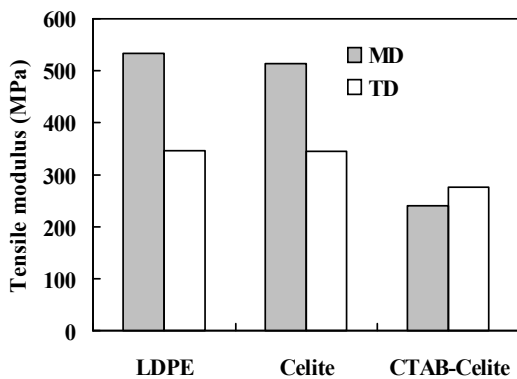


Figure 5. Comparison of tensile modulus of LDPE and celite film.

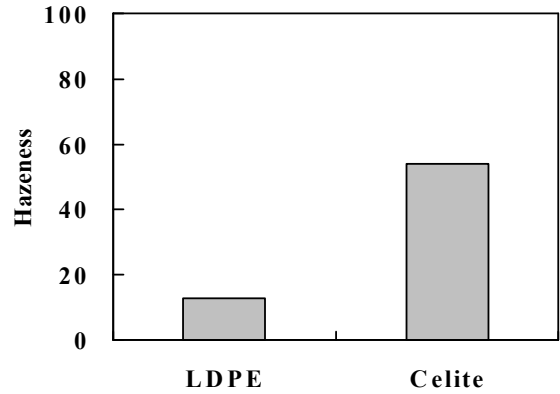


Figure 6. Opacity of LDPE and celite film.

사용된 3 가지 방청물질 (dicyclohexylamine, dicyclohexylamine nitrite, diisopropylamine)은 세라이트 동공 내부에 농도 차에 의해 스며들도록 하기 위해 필름을 방청물질 용액에 담가두도록 하였다. 필름으로부터 발산되는 방청물질 농도 측정을 위해서 Figure 7 같은 3 구 플라스크를 이용하였는데, PE 필름으로 덮은 입구는 내부 방청물질 분자가 PE 필름을 통해 외부로 발산되어 방청분자가 플라스크 내부에 고이지 않도록 하였고, 고무마개로 된 입구는 gas chromatography에 필요한 시료 채취에 사용되었다.

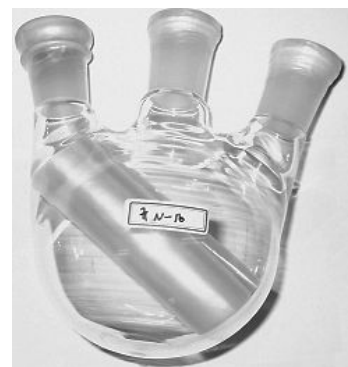
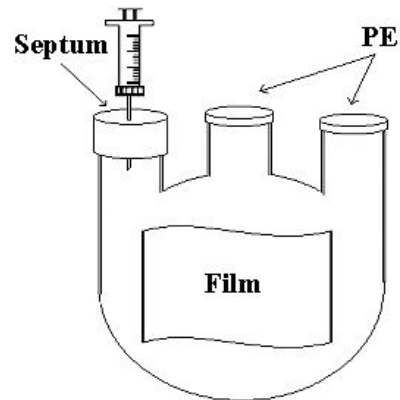


Figure 7. The three-neck flask used for anti-rust agent evaporation test.

Figure 8의 Gas chromatography 결과 1.5 분 경에 diisopropylamine peak가 관찰되었고, chromatogram이 너무 유사하여 따로 첨부하지는 않았지만 dicyclohexylamine, dicyclohexylamine nitrite도 같은 1.5 분에서 peak가 관찰되었다. Figure 9에서는 diisopropylamine이 시간에 따라 필름에서 방출되는 양을 추적하였는데, 5일 후에는 방청물질 90% 정도가 방출되었고 이후 방청물질의 농도 변화는 거의 일어나지 않았다. Diisopropylamine의 경우에는 CTAB 세라이트 필름과 세라이트 필름 등 2 가지 필름에서 방청물질의 저장이나 발산시간에 있어서 별다른 차이점을 보이지 않았다. Figure 10에서는 방청물질로 dicyclohexylamine nitrite를 사용하여 CTAB-세라이트 필름과 세라이트 필름을 비교하였는데, dicyclohexylamine nitrite의 극성이 너무 높아서 방청물질의 저장효과가 낮으며, 방청물질 발산지속기간도 짧게 나왔다. 따라서 방청물질로서는 비교적 적합하지 않았다. Figure 11에서는 dicyclohexylamine을 방청물질로 이용하여 CTAB-세라이트 필름과 세라이트 필름을 비교하였는데 Figure 10과 마찬가지로 저장 및 발산 능력이 매우 낮게 나와서 방청물질로서 적합하지 않았다. 한편 필름표면에 묻은 방청물질의 대조실험 결과 방청물질의 발산량이 미미한 수준이므로, 필름표면에 묻은 방청물질은 표면을 닦아내는 과정에

서 대부분 제거되었다고 판단된다.

상기 세라이트 필름 물성 및 방청물질 발산효과를 비교해 본 결과 CTAB 첨가효과를 발견할 수 없어서, 철물에 대한 방청효과는 세라이트 필름만을 이용하였다. Figure 12에서는 못과 칼날을 LDPE 필름, dicyclohexylamine이 주입된 세라이트 필름, dicyclohexylamine nitrite가 주입된 세라이트 필름, diisopropylamine이 주입된 세라이트 필름 등 4 가지 필름에 열접착하여 밀봉하고 6 개월 경과 후 내용물 상태를 비교하였다. 보이는 바와 같이 방청물질을 주입한 세라이트 필름에서는 철물 상태가 매우 양호하나, LDPE 필름에서는 철물이 상당히 부식된 것을 확인할 수 있었다. 좀 더 가혹한 조건에서 방청효과를 시험하기 위해 이미 부식이 진행된 철체를 대상으로도 실험을 진행하였다. 비록 부식을 막지는 못하더라도 부식 진행속도를 늦춘다는 측면에서 의의가 있다고 생각된다. Figure 13에서 실험실용 철체 삼발이는 밀봉시점에 이미 삼발이 자체가 부식이 진행되어 6 개월 경과 후 방청효과가 못과 칼날의 경우에 비해 뚜렷하지 않았다. 그러나 상태가 양호한 다리 부분을 비교해 보면 3 가지 세라이트 필름으로 밀봉한 경우 다리 상태의 부식이 덜 진행된 반면, LDPE로 밀봉한 삼발이 다리는 상당히 부식이 진행된 것을 확인할 수 있다. 6 개월에 걸친

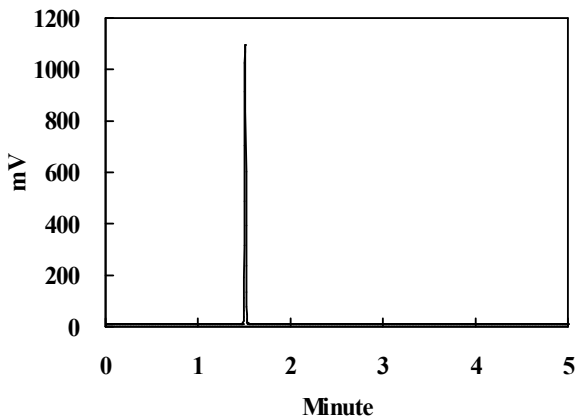


Figure 8. Gas chromatogram of the diisopropylamine from Celite film.

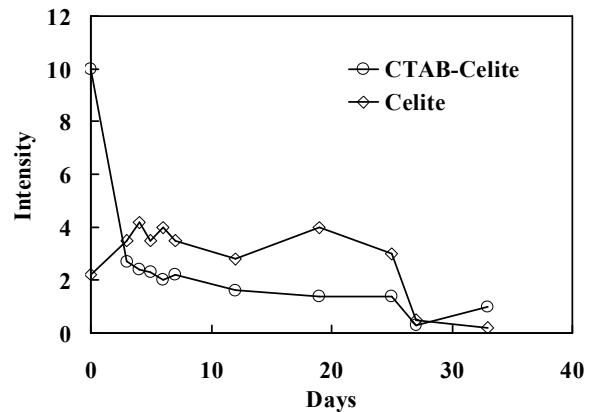


Figure 10. Dicyclohexylamine nitrite intensity vs. time profile of CTAB-Celite and Celite films.

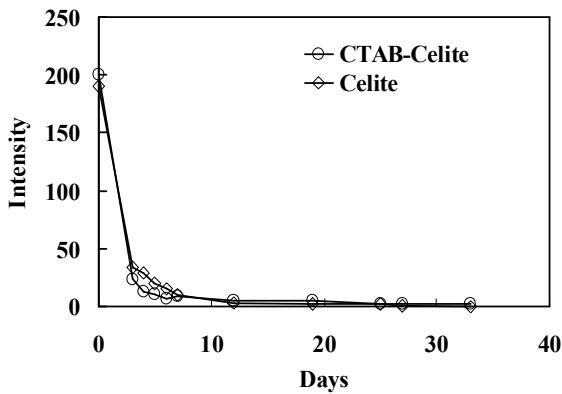


Figure 9. Diisopropylamine intensity vs. time profile of CTAB-Celite and Celite films.

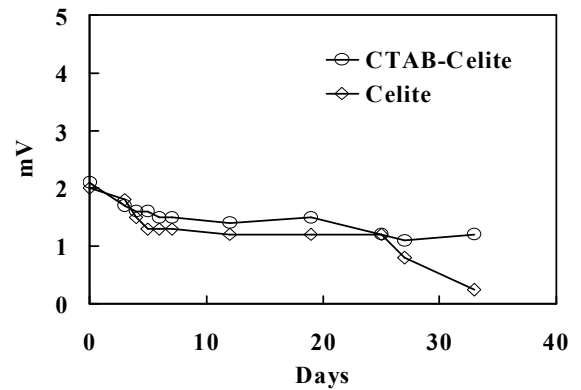


Figure 11. Dicyclohexylamine intensity vs. time profile of CTAB-Celite and Celite films.

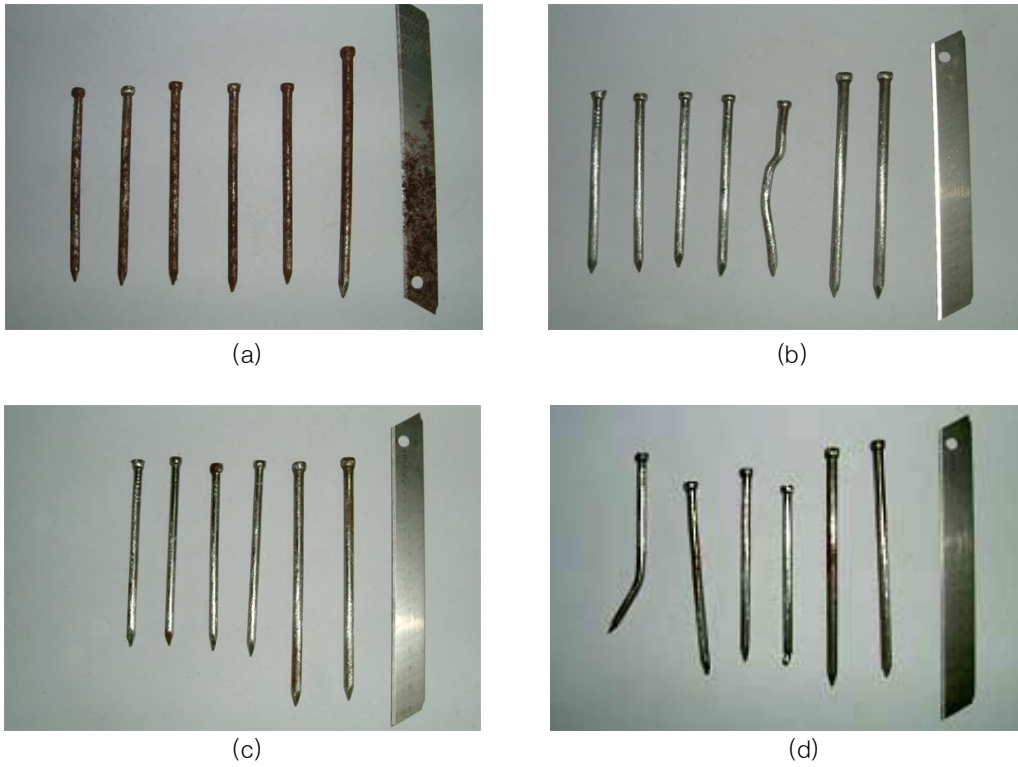


Figure 12. Comparison of nails and a knife blade stored in the four different film bags for 6 months: (a) LDPE film, (b) Celite film with dicyclohexylamine, (c) Celite film with dicyclohexylamine nitrite, and (d) Celite film with diisopropylamine.

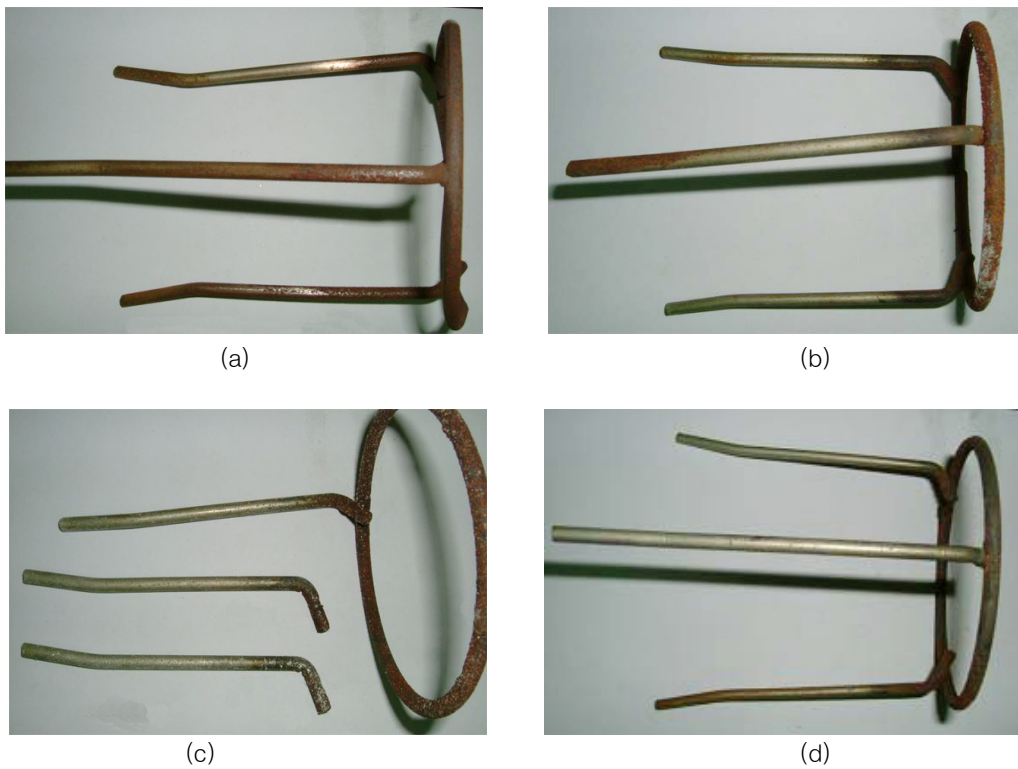


Figure 13. Comparison of steel labware stored in four different film bag for 6 months: (a) LDPE film, (b) Celite film with dicyclohexylamine, (c) Celite film with dicyclohexylamine nitrite, and (d) Celite film with diisopropylamine.

방청실험 결과 일반 PE 필름을 사용하는 것 보다 세라이트 필름을 사용함으로써 우수한 방청효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

종합해보면 세라이트는 PE 필름 내에 고르게 분산될 수 있으며, 세라이트 표면 극성을 낮추기 위해 계면활성제로 표면코팅을 하였으나 방청물질의 저장에는 큰 효과를 나타내지 못하였다. 세라이트 첨가로 인한 기계적 물성의 저하는 일부 관찰되었으나, 세라이트 필름을 높은 강도를 요구하지 않는 포장용으로 사용할 경우 실용성이 있다고 생각된다. 방청물질의 저장에 있어서는 약 5일 후에는 90% 방청물질이 발산되었고, 이후 방청물질의 급격한 감소는 관찰되지 않았다. 철물 대상 방청 실험 결과 세라이트를 사용한 결과 PE 필름에 비해 6 개월 후 매우 우수한 방청효과를 보이고 있다.

4. 결 론

많은 무기질 재료 중에 세라이트는 내부에 많은 동공을 지닌 천연무기질 재료로서 동공을 활용하여 이미 산업용 필터로 많이 이용되고 있었으나, 고분자 재료에는 많이 적용되지는 않았다. 내부 동공에 방청물질을 주입하여 밀봉된 철물에 방청물질이 박막을 형성함으로써 방청효과를 발휘하도록 하였다. 세라이트 필름은 일반 PE 필름에 비해 우수한 방청효과를 나타내어 앞으로 많은 분야에 기술적용이 기대된다.

참고문헌

- Hodge, P., and Sherrington, D. C., *Polymer-supported Reactions in Organic Synthesis*, Wiley, New York, 1980.
- Polshettiwar, V., and Kaushik, M.P., "CsF - Celite Catalyzed Regio- and Chemoselective SN 2 Type Ring Opening of Epoxides with Thiol," *Catal. Commun.*, **5**(9), 515-518 (2004).
- Shah, S. T. A., Khan, K. M., Fecker, M., and Voelter, W., "A Novel Method for the Syntheses of Symmetrical Disulfides Using CsF - Celite as a Solid Base," *Tetrahedron Lett.*, **44**(35), 6789-6791 (2003).
- Basso, A., De Martin, L., Ebert, C., Gardossi, L., and Linda, P., "Controlling the Hydration of Covalently Immobilised Penicillin G Amidase in Low-water Medium: Properties and Use of Celite R-640," *J. Mol. Catal. B: Enzym.*, **8**(4), 245-253 (2000).
- Khare, S. K., and Nakajima, M., "Immobilization of *Rhizopus Japonicus* Lipase on Celite and its Application for Enrichment of Docosahexaenoic Acid in Soybean Oil," *Food Chem.*, **68**(2), 153-157 (2000).
- Basso, A., Ducret, A., Gardossi, L., and Lortie, R., "Synthesis of Octyl Glucopyranoside by Almond β -Glucosidase Adsorbed onto Celite R-640," *Tetrahedron Lett.*, **43**(11), 2005-2008 (2002).
- Chong, M. H., Chun, B. C., Chung, Y. C., Cho, B. G., "Fire-retardant Plastic Material from Oyster-shell Powder and Recycled Polyethylene," *J. Appl. Polym. Sci.*, **99**, 1583-1589 (2006).
- Chun, B. C., Lee, S. J., Chung, M. H., Park, J. H., Park, H. W., Chung, Y. C., Kweon, O. C., "Freshness Maintenance of Polyethylene Film Containing Surface-modified Zeolite," *Korean J. Food Pres.*, **11**(1), 478-484 (2004).
- Hwang, S. W., Chung, Y. C., Chun, B. C., Lee, S. J., "Gas Permeability of Polyethylene Films Containing Zeolite Powder," *Polym.-Korea*, 2004, **28**(5), 374-381 (2004).
- Chun, B. C., Chung, Y. C., Park, H. W., and Han, K. H., "Slowly Odor-evaporating Polyethylene Film Containing Surface-modified Celite Powder," *Fiber. Polym.*, **6**, 200-205 (2005).
- Lee, B. S., Chun, B. C., and Chung, Y. C., "Effect of Metallocene-catalyzed Polyethylene on the Rheological and Mechanical Properties of Poly(phenylene sulfide)/Polyethylene Blends," *Fiber. Polym.*, **5**(2), 145-150 (2004).
- Hwang, S. W., Chung, Y. C., Chun, B. C., and Lee, S. J., "Gas Permeability of Polyethylene Films Containing Zeolite Powder," *Polym.-Korea*, **28**(5), 374-381, (2004).
- Zobel, M. G. R., "Measurement of Odor Permeability of Polypropylene Packaging Films at Low Odorant Levels," *Polym. Test.*, **3**(2), 133-142 (1982).