

## 실리카 에어로겔을 이용한 자외선 경화형 복합 코팅 물질의 제조 및 단열 특성

김남이 · 김성우<sup>†</sup>

<sup>†</sup>경기대학교 화학공학과

(2012년 2월 29일 접수 ; 2012년 3월 19일 수정 ; 2012년 3월 21일 채택)

### Preparation and Thermal Insulation Property of UV Curable Hybrid Coating Materials Based on Silica Aerogel

Nam-Yi Kim · Seong-Woo Kim<sup>†</sup>

<sup>†</sup>*Department of Chemical Engineering, Kyonggi University, 94-6, Iui-dong, Yeongtong-gu,  
Suwon-si, Gyeonggi 443-760, Korea*

*(Received February 29, 2012 ; Revised March 19, 2012 ; Accepted March 21, 2012)*

**요약** : 본 연구에서는 초소수성 실리카 에어로겔을 이용하여 단열 성능을 갖는 투명 필름용 유/무기 복합 코팅물질을 제조하였다. 바인더 물질로 사용된 자외선 경화형 우레탄 아크릴레이트 수지와 에어로겔과의 상용성을 위해 계면활성제(Brij 56)를 이용하여 에어로겔의 표면을 개질하였다. 개질된 에어로겔을 고분자 수지와 복합화한 코팅 용액을 폴리카보네이트 기지재에 코팅한 후 자외선 경화를 통해 코팅필름을 제조하였다. 에어로겔이 10 vol% 함량으로 첨가되었을 때, 코팅필름의 단열 성능은 측정된 열전도도 기준으로 순수 기지재 대비 28% 정도로 향상되었다. 또한, 코팅필름의 광투과율은 에어로겔이 50 vol%로 과량 첨가된 경우에도 80% 이상 높은 수준을 유지하였으며, 우수한 접착성(5B) 및 연필 경도(4H)를 보여주었다.

**Abstract** : In this study, the composite coating materials with improved thermal insulation property were prepared by incorporating the hydrophobic silica aerogel. The surface modification of silica aerogel was performed to obtain UV curable urethane acrylate hybrid coating sols with good compatibility by using surfactant(Brij 56). The polycarbonate substrates were coated by the prepared composites and cured under UV radiation. The incorporation of aerogel with only 10 vol% of content resulted in remarkable improvement by about 28% in the thermal insulation property of the coated film, as compared with substrate. In addition, increasing aerogel content was found to give minor effect on the variation of optical transparency, adhesion, and surface hardness of the coated film.

**Keywords** : silica aerogel, thermal insulation property, UV curable resin, coating.

<sup>†</sup>교신저자 (E-mail : wookim@kgu.ac.kr)

## 1. 서론

현재 국내의 경우 에너지 연료 소비량의 95% 이상을 수입에 의존하고 있기 때문에 획기적인 에너지 절감 기술에 대한 개발 필요성이 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 에너지 고효율 및 절약에 대한 관심이 집중되면서 빌딩이나 주택과 같은 건축물이나 차량 등에 사용되는 창유리에서 태양광에 의한 채광은 확보하면서 외부로부터의 태양 열선의 투과를 차단할 뿐만 아니라, 실내 열량 손실을 최소화하는 단열 효과에 의해 냉난방 에너지의 소비 부담을 획기적으로 경감시킬 수 있는 창유리 소재의 개발이 필요하다[1]. 이는 실내로 유입되는 열을 차단함으로써 냉방에 사용되는 에너지의 효율을 증가시켜 에너지 절감에 큰 효과를 나타낼 뿐만 아니라, 환경과피의 원인이 되는 온실가스의 배출량을 낮출 수 있기 때문에 대기환경 개선 효과도 얻을 수 있다. 건축물 외벽에서 창유리의 면적이 점차적으로 증가됨에 따라 단열 기술의 중요성 또한 확대되고 있다. 이에 따라, 현재 상용화되고 있는 복층유리는 유리와 유리 사이에 공기와 같은 단열 기체를 투입하거나 진공상태를 만들어 단열 목적으로 건축물 창유리에 적용되고 있으나 제조 단가 및 설치 비용이 매우 높다는 단점이 있다. 또한 최근에는 나노 기공크기를 갖는 모노리스형 실리카 에어로겔을 유리 표면에 박막 또는 후막으로 코팅 처리하여 투명 단열유리를 제조한 연구가 보고된 바 있다[2,3]. 이러한 유리 시스템의 단열 효과는 매우 뛰어나지만 제조 공정이 복잡하고 유리와의 부착성 및 기계적 강도가 취약하여 상용화를 이루기 위해서는 여러 가지 기술적 요소가 개선되어야 한다. 따라서 제조 공정이 비교적 간단하고 투명성과 내구성뿐만 아니라 시공성과 설치비용면에서도 유리한 코팅 방식이 주목되고 있다. 종래에는 펄라이트 및 중공체와 같은 분말 형태의 무기 단열재를 접착용 유기 바인더 수지에 분산 결합시킨 유/무기 복합물에 대한 연구가 시도된 바 있다[4,5]. 그러나 펄라이트와 중공체는 유기 바인더와의 낮은 상용성으로 인해 고함량 첨가 시 침전현상이 발생하는 문제가 있고, 수-수십 마이크로미터 입자크기로 인해 코팅물질의 투명성이 현저하게 떨어지기 때문에 고투명 단열 코팅 소재로 적용하는 데에는 한계가 있다. 반면, 실리

카 에어로겔은 고유 물성에 기인하여 고함량 첨가 시에도 투명성의 저하가 낮을 뿐만 아니라 높은 단열성능을 기대할 수 있는 물질로 알려져 있다. 실리카 에어로겔은 Kistler에 의해 최초로 제조된 나노다공성 물질로[6], 공기 분자의 평균자유행로(mean free path) 보다 작은 기공크기로 인해 기공 내에서의 대류 열전달이 거의 일어나지 않아 매우 우수한 단열 재료로 인식되고 있다. 또한 유전상수가 낮고, 기공률 및 비표면적이 매우 높은 특성[7,8]으로 인해 전자소재, 차음재, 흡음재, 촉매 담체 등 다양한 산업분야의 핵심 소재로서 주목받고 있다[9-12]. 최근에는 저가의 실리카 전구체를 사용하고 건조 공정을 상압 방식으로 개선함으로써 대량생산이 가능해지고 제조 원가를 획기적으로 낮출 수 있게 되어 다양한 분야로의 응용 개발 연구가 더욱 활발하게 전개되고 있다[13-15]. 그러나 실리카 에어로겔은 고유의 많은 장점에도 불구하고 취약한 기계적 강도와 초소수성의 표면성질로 인해 다른 재료와의 균질한 혼화 및 복합화가 어려워 그 응용이 제한되고 있는 실정이다[16].

본 연구에서는 나노 기공구조의 실리카 에어로겔을 이용하여 단열성능을 갖는 유/무기 복합 코팅물질의 제조를 시도하였다. 유기 고분자 물질로는 자외선 경화형 우레탄 아크릴레이트 수지를 사용하였으며, 단열 무기 실리카 에어로겔은 유기 고분자 수지와 상용성을 위하여 계면활성제를 이용하여 표면 개질하였다. 제조된 자외선 경화형 아크릴레이트/에어로겔 복합 코팅 필름의 단열성능 및 투명성을 에어로겔 함량에 따라 조사하였으며, 접착성 및 표면 경도 등 제반 특성을 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 실험재료

단열용 무기 충전제로 Cabot사에서 제공된 분말형태의 실리카 에어로겔을 사용하였다. 에어로겔은 열린 기공구조로서 기공률 90% 이상, 기공크기 20-40 nm, 비표면적 750 m<sup>2</sup>/g, 열전도도 0.012 W/m·K의 독특한 물성을 갖고 있다. 에어로겔 표면개질에 사용된 계면활성제로는 sigma-aldrich사의 polyethyleneglycol hexadecylether (Brij 56)가 적용되었으며,

duksan사의 isopropyl alcohol(IPA)을 용제로 사용하였다.

자외선 경화형 바인더 수지의 조성물은 모두 SK Cytec사에서 제공된 시약을 사용하였으며, 올리고머 수지는 6관능형 아크릴레이트로 hexa aliphatic urethane acrylate (UA), 다관능 모노머로서 3관능형 아크릴레이트로 trimethylolpropane triacrylate (TMPTA)와 2관능형 아크릴레이트로 1,6-hexanediol diacrylate (HDDA), 광개시제로 1-hydroxycyclohexyl phenylketone (Irgacure 184)를 혼합하였다. 기지 재료는 유리나 동등 수준의 투명성을 갖는 500  $\mu\text{m}$  두께의 polycarbonate 쉬트를 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 에어로겔 표면개질

계면활성제 Brij 56을 용제 IPA에 10 wt%로 희석시켜 균일한 계면활성제 용액을 제조한 후 에어로겔 분말을 일정량 첨가하여 12h 동안 천천히 교반하였다. 이어서 5  $\mu\text{m}$  기공크기를 갖는 거름종이에 여과시킨 후 40  $^{\circ}\text{C}$ 로 예열된 열풍건조기에서 24h 동안 서서히 건조시켰다.

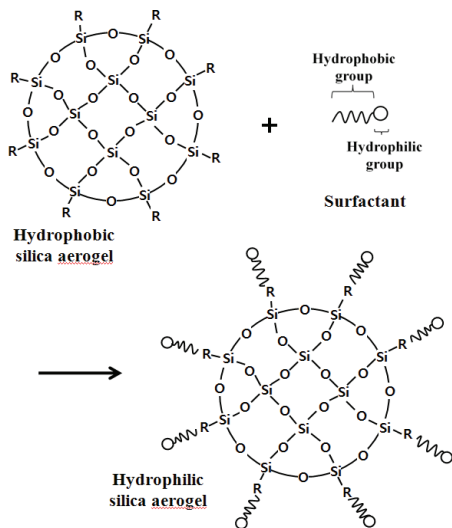


Fig. 1. Surface modification mechanism of silica aerogel by surfactant(Brij 56).

에어로겔이 계면활성제 용액에 첨가되면 계면활성제 분자가 확산되어 각 물질의 탄화수소 그룹 간 반데르발스 인력에 의한 물리흡착이

일어나게 된다. 이와 동시에 계면활성제의 친수성 그룹은 바깥방향을 향한 단분자층을 형성하면서 표면 성질이 친수성으로 개질된다[17]. Fig. 1은 계면활성제에 의한 에어로겔의 표면개질 메카니즘을 도시적으로 나타낸 것이다.

2.2.2. 코팅 복합물 및 코팅박막 제조

자외선 경화형 아크릴레이트 수지인 UA, TMPTA, HDDA를 5:2:3의 중량비로 혼합하고 광개시제를 5phr 첨가한 후 음지에서 1h 동안 교반하여 유기 바인더 수지를 제조하였다. 이어서 개질된 에어로겔을 바인더 수지 대비 10, 30, 50% 부피비로 각각 첨가하고 서서히 교반시켜 균질하게 혼합 및 분산된 아크릴레이트/에어로겔 코팅 복합물을 얻었다. 각 복합물을 PC 기지재에 도포하고 바코터를 이용하여 일정한 두께의 코팅박막을 형성시킨 다음 회분식 UV 경화기 (MFUV-01L21, Unilam사)에 올려놓고 120  $\text{mW}/\text{cm}^2$  광 강도로 조사하여 최종 코팅필름을 제조하였다. Fig. 2에 코팅필름의 제조 절차를 나타냈다.

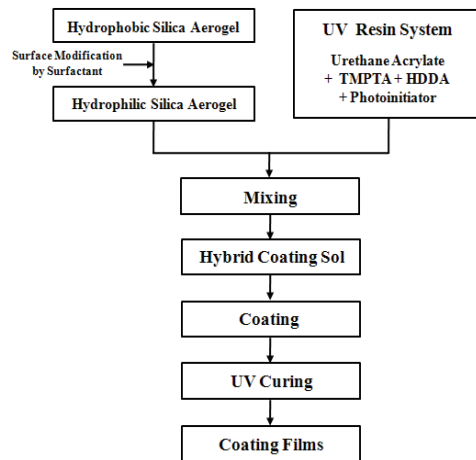


Fig. 2. Experimental procedure for the preparation of hybrid coating sol and coating films.

2.3. 특성분석 및 기기

에어로겔 표면의 개질 여부를 확인하기 위해 FT-IR 기기 (JASCO430, Jasco사)를 이용하여 분자의 결합구조를 분석하였다. 또한 에어로겔을 압착하여 쉬트형태의 시편을 만들어 물 접촉각 측정기 (SEO300, SEO사)를 통해 시편위

에 형성된 액적 형상을 관찰하였다. 그리고 순수 에어로겔과 개질된 에어로겔을 일정량 채취하여 증류수가 담긴 용기에 각각 첨가한 후 상-분리 발생 및 분산 상태를 관찰하여 표면개질 정도를 정성적으로 파악하고자 하였다.

코팅 복합물의 경우 상 안정성을 파악하기 위해 일정량을 용기에 담고 밀폐시킨 후 상온 음지에 보관하여 시간에 따른 용액의 상태를 육안으로 관찰하였다. 코팅필름의 투명성은 분광광도계 (Optizen 1412V, Mecasys사)를 이용하여 가시광선 범위에서 측정하였다. 기지재와 코팅박막의 접착성은 ASTM D3330을 근거로 크로스 커터 (YCC-200/1, Yoshimitsu사)와 테이프 (#610, 3M사)를 이용하여 측정하였으며, 코팅박막의 경도는 ASTM D3363을 근거로 연필 경도기 (221-D, Mitsubishi사)를 이용하여 측정하였다. 그리고 코팅필름의 단열성능은 열전도도를 통해 평가하고자 하였으며, ASTM E1461에 의거하여 아래 식에 나타낸 열확산도와 열전도도의 관계식을 이용하여 열전도도를 구하였다.

$$K = \alpha \times C_p \times \rho$$

여기서  $K$ 는 열전도도,  $\alpha$ 는 열확산도,  $C_p$ 는 열용량,  $\rho$ 는 밀도를 나타낸다. 열확산도는 레이저 플래시 방식을 이용하는 열확산도 측정기기 (LFA457, Netzsch사)로 총 5회 측정하여 평균값을 취하였다. 열용량은 DSC 기기 (DSC200F3, Netzsch사)를 이용하여 측정하였다. Fig. 3에 레이저 플래시 방식의 측정원리를 나타냈다.

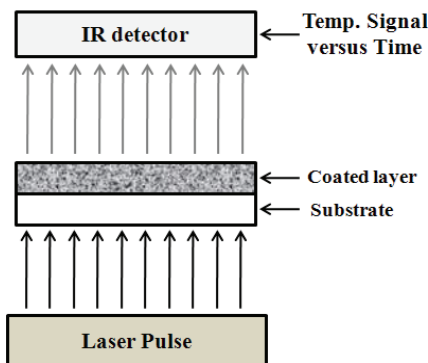


Fig. 3. Principle of the laser flash analysis (LFA) for the measurement of thermal conductivity.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 실리카 에어로겔 표면 개질

Fig. 4은 순수 에어로겔과 개질된 에어로겔의 FT-IR 스펙트라를 보여준다. 1080, 450 $\text{cm}^{-1}$  영역대에서 실록산기(Si-O-Si) 피이크가 두 스펙트럼에서 모두 관찰된 것으로 보아 실리카 구조임을 확인하였다. 개질된 에어로겔의 스펙트럼을 보면 3450, 2900 $\text{cm}^{-1}$  영역대에서 히드록시기(-OH) 피이크와 탄화수소기(C-H) 피이크가 더 강하게 나타난 결과로 계면활성제가 표면에 흡착되어 있다는 것을 확인할 수 있다.

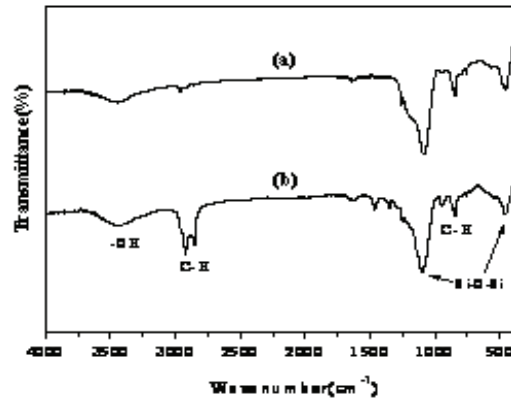


Fig. 4. FT-IR spectra of the (a) pristine silica aerogel and (b) modified silica aerogel by surfactant(Brij 56).

Fig. 5는 순수 에어로겔과 개질된 에어로겔의 물 접촉각 측정 시 관찰된 액적 형상과 접촉각 결과를 보여주고 있다. 순수 에어로겔의 접촉각( $\theta$ )은 150°로 측정되어 상당히 강한 소수성을 나타냈으며, 개질된 에어로겔의 경우 40°로 측정되어 접촉각이 큰 폭으로 감소한 결과를 보였다. 이로써 표면성질이 소수성에서 친수성으로 충분히 개질되었음을 정성적으로 확인할 수 있다.

Fig. 6은 순수 에어로겔과 개질된 에어로겔을 일정량 채취하여 증류수가 들어있는 용기에 각각 첨가한 후 상-분리 거동 및 분산 상태를 관찰한 사진이다. 사진에서 보듯이, 순수 에어로겔의 경우 용기에 담긴 증류수 표면 위로 고체 입자 층이 존재하는 상-분리 현상이 뚜렷하게 나타난 것을 확인할 수 있다. 반면, 개질시킨

에어로겔의 경우 입자들이 물에 균일하게 분산되어 안정적인 상 구조를 갖는 혼탁액 상태를 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 에어로겔이 친수성으로 개질되었음을 알 수 있다.

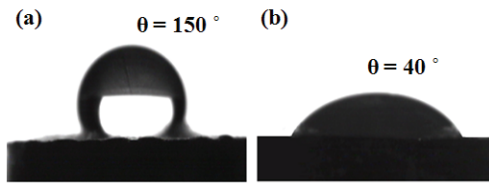


Fig. 5. The measured water contact angle of the (a) pristine silica aerogel and (b) modified silica aerogel by surfactant(Brij 56).

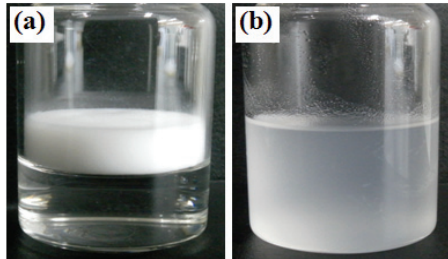


Fig. 6. The digital images showing the dispersion state of (a) the pristine silica aerogel and (b) modified silica aerogel by surfactant(Brij 56) in the water medium.

**3.2. 아크릴레이트/에어로겔 복합 코팅필름**

아크릴레이트/에어로겔 복합물은 수 일이 지난 후 에어로겔이 일부 침전하는 현상이 발생하였으나 다시 교반시키면 균일한 상의 용액이 형성되었다. 이러한 복합물에 의해 코팅된 필름은 에어로겔의 함량에 관계없이 균일한 코팅막을 형성하였다.

코팅필름의 투명성을 정량적으로 확인하기 위해 박막두께를 100 μm로 조절한 코팅필름에 대하여 가시광선 투과율을 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타냈다. 순수 아크릴레이트 수지로 코팅된 필름은 600 nm에서 약 90%로 측정되어 광투과율 91%의 PC 기지재와 거의 동등 수준의 투명성을 보였다. 10 vol% 에어로겔을 함유한 복합물로 코팅된 필름은 약 84%, 50 vol% 에어로겔을 함유한 경우에는 약 80%를

보여주어 에어로겔 과량 첨가 시에도 높은 투명성이 유지되는 것을 확인하였다.

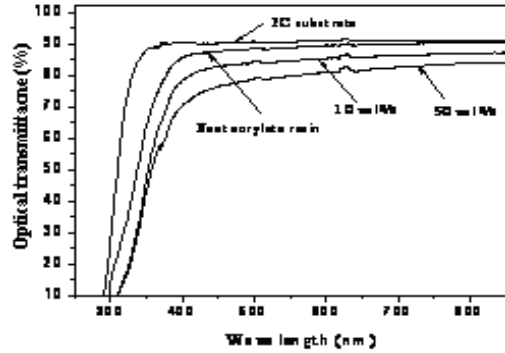


Fig. 7. Optical transmittance of PC substrate and films coated with neat acrylate resin and hybrid sols containing various aerogel contents.

아크릴레이트/에어로겔 복합물에 의해 코팅된 필름의 투명성을 정성적으로 확인하고자 디지털 카메라로 촬영하여 그 결과를 Fig. 8에 나타냈다. 에어로겔의 함량이 증가할수록 투명성이 약간 감소하고 있으나 높은 투명성이 유지되고 있는 것을 확인 할 수 있으며, 앞서 보인 가시광선 투과율 결과와 일치하고 있다.

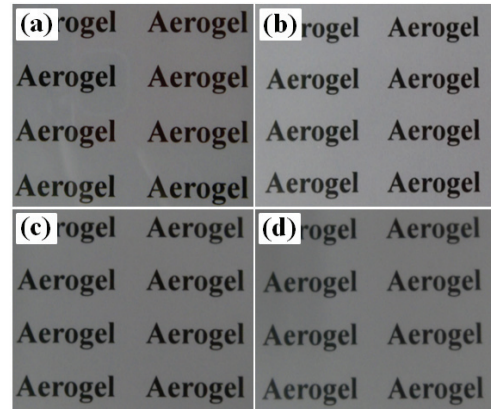


Fig. 8. Digital images showing transparency of the films coated with (a) neat acrylate resin and hybrid sols containing (b) 10vol%, (c) 30vol%, (d) 50vol% of aerogel.

기지재와 박막층 사이의 접착정도를 확인하기 위해 테이프시험을 실시하였다. 우선, 순수 아크릴레이트 수지로 코팅된 필름은 5B 등급으로 매우 우수한 접착성을 보여 바인더 물질로써 적합하다는 것을 확인하였다. 또한 아크릴레이트/에어로겔 복합물로 코팅된 필름의 경우에도 에어로겔의 함량에 관계없이 가장 우수한 등급인 5B로 측정되었다. 한편, 연필경도 테스트 결과에서도 모든 코팅필름은 4H 등급으로 뛰어난 경도를 나타냈다. 이는 아크릴레이트 복합 수지의 조성비가 적절한 조건이며, 자외선 경화반응에 의한 높은 가교로 인해 치밀한 망상구조의 고분자 수지로 전환된 것을 의미한다. 이러한 결과로부터, 기지재와 박막 층 사이의 접착성과 표면 경도는 유기 고분자 바인더 수지의 특성에 크게 의존한다는 것을 확인할 수 있다.

에어로겔의 함량이 코팅필름의 단열특성에 미치는 영향을 확인하기 위해 코팅필름의 열전도도를 측정하였다. 이 때 기지재와 코팅막 2계층으로 구성된 코팅필름은 각 층의 두께비에 따라 총괄 열전도도가 다르기 때문에 코팅막의 두께(100 $\mu$ m)와 기지재의 두께(500 $\mu$ m)를 동일하게 조절한 시편에 대하여 측정이 이루어졌다. Fig. 9는 코팅필름의 열전도도 결과를 나타낸 것이다. 순수 기지재의 열전도도는 287 mW/m $\cdot$ K, 순수 아크릴레이트 수지로 코팅된 필름은 259 mW/m $\cdot$ K으로 측정되어 바인더 수지 코팅에 의해서도 열전도도가 약 10% 감소한 것으로 나타났다. 10 vol%의 에어로겔을 함유한 코팅필름의 경우에는 약 28% 감소하여 소량 첨가 시에도 단열 성능이 뚜렷하게 개선되는 것을 확인하였다. 그러나 10 vol% 이상 첨가 시에는 완만하게 감소하는 경향을 보였다. 이러한 이유는 에어로겔이 유기 바인더와 혼합화 될 때 교반과정에서 기공형태가 일부 붕괴됨에 따라 나타난 결과로 판단된다. 일반적으로 현탁액(suspension solution)의 점도는 포함된 입자 성분의 함량이 증가할수록 증가하게 되며, 교반시 발생하는 전단응력 또한 점도와 비례하여 증가하게 되는 것으로 알려져 있다. 따라서 첨가된 에어로겔의 함량이 많을 경우 혼합 공정 중 발생된 높은 전단응력에 의해 에어로겔내의 나노 기공이 더욱 쉽게 붕괴되었기 때문에, 열전도도가 크게 감소하지 않은 것으로 판단된다. 또한 열린 기공구조의 에어로겔이 표면개질 과

정에서 계면활성제 희석 용매의 기공 침투로 인해 건조 시 일부 기공 붕괴현상을 초래한 것으로 판단된다. 이를 확인하기 위해 다공성 물질을 기체의 흡탈착 원리를 이용하여 비표면적을 측정하는 BET (Brunauer Emmett Teller) 기기로 표면개질 전과 후의 에어로겔의 비표면적을 측정한 결과 819 m $^2$ /g 에서 403 m $^2$ /g으로 감소된 것을 확인하였다. 이러한 결과로부터 본 실험방법을 통해 제조된 코팅필름은 에어로겔의 함량이 10 vol% 일 때 가장 뚜렷한 단열 성능의 향상을 보였으며, 그 이상 첨가 시에는 기공의 일부가 붕괴됨에 따라 단열성을 개선하는데에는 크게 기여하지 못한 것으로 나타났다.

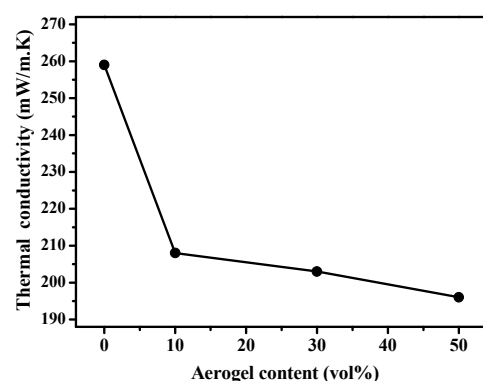


Fig. 9. Thermal conductivity of films coated with neat acrylate resin and hybrid sols containing various aerogel contents.

#### 4. 결론

본 연구에서는 계면활성제를 이용하여 친수성으로 개질시킨 실리카 에어로겔을 자외선 경화형 우레탄 아크릴레이트 수지와 혼합하여 유/무기 복합물을 제조하고, 이를 폴리카보네이트 기지재 표면에 코팅하여 제조된 코팅필름의 단열성을 비롯한 제반 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 에어로겔은 FT-IR, 물 접촉각, 물 분산 등의 결과로부터 표면 특성이 소수성에서 친수성으로 충분히 개질되었음을 확인하였다. 그러나 개질과정에서 에어로겔의

- 기공이 일부 붕괴됨에 따라 기공률의 저하를 초래하였다.
2. 100  $\mu\text{m}$  코팅 두께를 갖는 모든 코팅필름은 균열 없는 균일한 표면을 형성하였으며, 에어로겔을 최대 50 vol% 까지 첨가하여 제조된 복합물 코팅필름의 경우에도 우수한 접착성(5B)과 표면경도(4H), 그리고 80% 이상 높은 투명성을 유지하였다.
  3. 아크릴레이크/에어로겔 복합물 코팅필름의 단열 성능은 첨가된 에어로겔 함량이 10 vol% 까지는 뚜렷하게 향상되었으나(열전도도 28% 감소), 그 이상의 함량으로 첨가된 경우에는 부분적인 기공 붕괴로 인하여 단열 성능의 향상에 한계가 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 청정기반산업원천기술개발사업(과제번호: 10034047)에 의한 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. H. S. Kim, S. K. Jeong, and S. H. Jeong, Experimental Research about Thermal insulation Performance of Various Powder Insulation Methods, *J. Kor. Inst. Appl. Supercond. Cryog.*, **12**, 49 (2010).
2. G. S. Kim and S. H. Hyun, Synthesis of Window Glazing Coated with Silica Aerogel Films via Ambient Drying, *J. Non-Cryst. Solids*, **320**, 125 (2003).
3. K. I. Jensen, J. M. Schultz, and F. H. Kristiansen, Development of Windows based on Highly Insulating Aerogel Glazings, *J. Non-Cryst. Solids*, **350**, 351 (2004).
4. J. E. Fesmire and S. D. Augustynowicz, Thermal Performance Testing of Glass Microspheres under Cryogenic Vacuum Conditions, *Transactions of the Cryogenic Engineering Conference*, **49**, 612, (2004).
5. R. G. Baumgartner, E. A. Myers, J. E. Fesmire, D. L. Morris, and E. R. Sokalski, Demonstration of Microsphere Insulation in Cryogenic Vessels, *Transactions of the Cryogenic Engineering Conference*, **51**, 1351, (2006).
6. S. S. Kistler, Coherent Expanded Aerogels and Jellies, *Nature*, **127**, 741 (1931).
7. M. Schmidt and F. Schwertfeger, Application for Silica Aerogel Products, *J. Non-Cryst. Solids*, **225**, 364 (1998).
8. I. S. Han, J. C. Park, S. Y. Kim, K. S. Hong, and H. J. Hwang, Fabrication and Network Strengthening of Monolithic Silica Aerogels Using Water Glass, *J. Kor. Ceram. Soc.*, **44**, 162 (2007).
9. P. H. Tewart, A. J. Hunt, and K. D. Loffus, *Mater. Lett.*, **3**, 363 (1985).
10. N. Husing and U. Schubert, Aerogel-Airy Materials: Chemistry, Structure, and Properties, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **37**, 22 (1998).
11. L. W. Hrubesh, Aerogel applications, *J. Non-Cryst. Solids*, **225**, 335 (1998).
12. G. M. Pajonk, Some Applications of Silica Aerogels, *Colloid Polym. Sci.*, **281**, 637 (2003).
13. A. P. Rao, A. V. Rao, and J. L. Gurav, Effect of Protic Solvents on the Physical Properties of the Ambient Pressure Dried Hydrophobic Silica Aerogels using Sodium Silicate Precursor, *J. Porous. Mater.*, **15**, 507 (2008).
14. Y. C. Cha, J. S. Yoon, J. Lee, H. J. Hwang, and J. W. Moon, Ambient Pressure Dried Silica Aerogel Thin Film from Water Glass, *J. of the Kor. Ceram. Soc.*, **45**, 87 (2008).
15. J. L. Gurav, A. V. Rao, A. P. Rao, D. Y. Nadargi, and S. D. Bhagat, Physical Properties of Sodium Silicate based Silica Aerogels Prepared by Single Step Sol-Gel Process Dried at Ambient Pressure, *J. of Alloys and Compounds*, **476**, 397 (2009).

16. S. D. Bhagat, Y. H. Kim, Y. S. Ahn, and J. G. Yeo, Rapid Synthesis of Water-glass based Aerogels by In situ Surface Modification of the Hydrogels, *Appl. Surf. Sci.*, **253**, 3231 (2007).
17. N. Y. Kim, and S. W. Kim, Surface Modification of Silica Aerogel by Surfactant adsorption and heat treatment methods, *J. Kor. Oil. Chem. Soc.*, **27**, 282 (2010).