Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 23, No. 4 pp. 434-439, 2022

https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.4.434
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

초친수 물질을 이용한 안경 렌즈(CR-39) 표면의 김서림 방지 연구

노승백
계명대학교 화학공학과

A Study on the Anti-fogging of the Ophthalmic Lens(CR-39) Surface using Super Hydrophilic Materials

Seung Baik Rho
Department of Chemical Engineering, Keimyung University

요 약 코로나 19 이후 마스크 착용에 따라, 안경 착용자에게는 겨울철 혹은 온도 차이가 심한 곳에서는 안경 표면에 김서림이 발생하는 불편함이 생기게 되었다. 이런 불편함을 해소하기 위하여 초친수 물질을 이용한 김서림 방지를 연구하였다. 안경 렌즈(CR-39 재질) 표면에 김서림이 발생하지 않도록 Tween 40, Span 20, 플루오르화합물(FC-5130)의 비율을 달리하여 초친수 물질을 만들었다. 초친수 물질의 농도가 서로 다른 물질로 만든 액을 안경닦이 천에 묻힌 후, 이 천으로 안경 렌즈를 닦은 후, 안경 렌즈 표면 변화, 김서림 방지 효과 및 안정성을 측정하였다. 초친수 물질인 Tween 40, Span 20, 플루오르계 계면활성제(FC-5130)의 표면장력은 20 mN/m에서 30 mN/m사이의 값이었으며, 이러한 물질로 만든 초친수 액을 묻힌 안경닦이 천으로 닦은 안경 렌즈 표면의 접촉각은 5도에서 10도 사이로 김서림 방지 효과를 나타냈다. 본 연구에서 나타난 안정성은 180초 동안 김서림 방지가 유지된 횟수가 8회로 일상생활에서 하루에 한 번 정도 김서림 방지제로 안경을 딲으면 더 이상 김서림이 발생하지 않아 사용하기에 충분하였다. 김서림 방지의 특징을 나타내는 초친수물질로 닦은 안경 렌즈는 김서림 방지에 효과가 있으며, 코로나 19를 극복하는데 도움을 줄 것이다.

Abstract Wearers of glasses and face masks during the COVID epidemic have all experienced the inconvenience of spectacle fogging during winter or when entering a warm room. To address this problem, we investigated the anti-fog characteristics of super-hydrophilic materials. Specifically, we changed ratios of Tween 40, Span 20, and Fluorosurfactant (FC-5130) in an aqueous formulation the prevent the fogging of CR-39 glass. Candidate formulations were applied to polished eyeglass lenses using cleaning cloths treated with the different formulations, and antifogging effects were assessed. The surface tensions of Tween 40, Span 20, and FC-5130 (a fluorosurfactant) containing formulations ranged from 20 to 30 mN/m, and contact angles on spectacle lenses ranged between 5 and 10 degrees, indicating an antifogging effect. The derived formulation retained an antifogging effect for 180 seconds 8 times a day in everyday life, and if the glasses were worn with an anti-fog agent, no more fogging occurred.

Keywords : Anti-fogging, Contact Angle, Surface Tension, Ophthalmic Lens, COVID-19

*Corresponding Author : Seung Baik Rho(Keimyung Univ.)
email: rhosb@kmu.ac.kr
Received February 28, 2022 Revised March 30, 2022
Accepted April 1, 2022 Published April 30, 2022

1. 서론

코로나-19 상황은 모든 생활 속에서 마스크 착용을 기본으로 하고 있어 일상생활에 불편을 겪는다. 특히 안경을 쓰는 사람들에게는 안경 렌즈 표면에 김서림이라는 추가적인 불편이 발생한다. 이러한 현상은 시야를 가리는 위험 요인이 되어 사고를 유발할 수 있다[1]. 마스크 착용 시 마스크와 코와 닿는 부분의 형상이 착용자의 안면 형상과 일치하지 않는 경우, 혹은 일치하더라도 호흡주기 중 호기에 날숨의 압력을 이기지 못하고 마스크의 코틀 부분이 들리는 경우, 호흡 시 습기로 인해 안경 렌즈에 김이 서리게 된다. 기성 마스크의 경우 안면 형상이 마스크 형상과 일치하지 않아 안경 착용자의 대다수가 김이 서리는 불편을 겪는다[2].

안경 렌즈 표면에 사용할 수 있는 김서림 방지제는 계면활성제와 비누를 주성분으로 하는 거품 형태, 글리콜류 및 알코올을 주성분으로 하는 액체 형태, 초친수 액체를 안경딲이 천에 묻힌 천 형태가 있다. 그 종류로는 아세트알데히드계, 이소치라졸리논계, 메탄올계 화합물이 있다. 아세트알데히드계는 김서림 방지제의 표면에 코팅을 형성하는 역할을 한다. 이소치아졸리논계는 김서림 방지제와 생활화학용품 등의 보존제로 사용되고 있다. 메탄올계는 산업용 용제, 부동액, 살균제 등으로 사용되며, 친유성 오염물 제거제로 사용되고 있다. 그러나 이 성분들은 기도 자극, 피부 발진, 기침을 유발할 수 있다. 다른 연구자는 천연물을 이용하여 김서림 방지제를 연구하였다[3].

안경 렌즈 표면의 김서림 현상은 렌즈의 표면 특성, 표면과 공기의 온도 차이, 대기의 습도 및 표면에 부착되어 있는 각종 미세 물질과의 복합적인 요인으로 인해 발생한다. 습도가 높아 수증기를 많이 머금은 공기는 온도가 낮은 표면에 쉽게 응축하여 규칙적인 미세 물방울을 형성한다. 이러한 미세 물방울 형성을 김서림이라 한다. 안경 렌즈 표면에 형성되는 김서림은 공기 중의 수분이 표면에 순간적으로 응결되어 액상으로 부착되는 것이 원인이다. 이렇게 형성된 물방울은 부착 습윤(adhesional wetting)의 일종이다. 표면 근처의 미세 물방울들 사이에 작용하는 정전기적 반발력은 물방울이 표면에 규칙적으로 배열하여 뿌옇게 되어 시야를 가리게 된다[4].

안경 렌즈 표면에 김서림을 방지할 수 있는 방법중에 하나는 미세 물방울과 표면 사이에 작용하는 표면장력을 낮추어 물방울을 표면에 골고루 퍼지게 하는 것이다. 표면장력이 낮은 물질을 렌즈 표면에 도포하여 표면에 응결되는 미세 물방울의 표면장력을 줄일 수 있다면, 미세 물방울이 표면에 골고루 퍼져 김서림을 방지할 수 있다. 표면에 도포할 수 있는 표면장력이 낮은 물질로는 이소프로필 알콜, 옥탄올, 계면활성제와 계면활성제 중에서 플루오르계 계면활성제가 있다. 이들 물질 미량을 안경 렌즈 표면에 도포하면 표면의 미세 물방울은 이들을 접촉하여 급격히 표면장력이 낮아지며, 물방울이 표면에 골고루 퍼져 김서림을 방지한다. 이와 같이 물방울이 표면에 골고루 퍼지는 현상을 확장 습윤(spreading wetting)이라 하며, 김서림을 방지할 수 있는 방법 중의 하나이다. 이런 김서림 방지 방법은 안경 표면에 붙은 물방울의 접촉각을 줄여 안경 착용자들의 김서림 조건에서 시야를 확보하고 사고를 미연에 방지할 수 있다[5].

본 연구에서는 안경 렌즈 표면의 표면장력을 낮추어 확장 습윤성이 우수하고, 안경 렌즈 표면에 부착력이 좋은 초친수 액체의 농도를 조절하여 김서림 방지액을 제조하였다. 제조한 김서림 방지액을 안경딲이 천에 묻힌 후 김서림 방지 효과를 연구하였다. 김서림 방지연구를 위하여 고체 표면의 습윤 특성인 접촉각을 이용하였다[6].

2. 이론

2.1 고체와 액체의 접촉각

고체의 표면 특성을 예측하는데 사용되는 접촉각(θ, contact angle)은 고체-액체-기체 상에서 고체 표면과 액체가 접촉하였을 때 일어나게 된다. 액체상이 기체상, 고체상과 평형 상태에 있을 때 θ는 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있으며, 이로부터 식(1)을 얻을 수 있다.

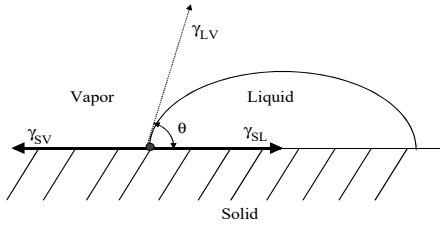

Fig. 1. Contact angle between liquid and solid.

$$\gamma_{LV}\cos\theta = \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (1)$$

또는,

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서, γ_{SV}은 고체-기체 계면장력

(mNm^{-1}), γ_{LV}는 액체-기체 계면장력(mNm^{-1})이며, γ_{SL}은 고체-액체간의 계면장력(mNm^{-1})이다. 일반적으로, 식(1)을 Young식이라 하며, $\gamma_{LV}\cos\theta$ 를 점착 장력(adhesion tension)이라 한다. 기체, 액체상과 평형 상태에 있는 고체-기체의 계면장력 γ_{SV}는 진공 상태에서 고체의 단위 면적당 자유에너지 γ_S와는 다르며, $\gamma_S - \Pi$ 값을 가진다. 여기서, Π 는 액체상의 기체 흡착으로 야기되는 고체상의 단위 면적당 계면 자유 에너지의 감소치이다. 즉, Π 는 $\gamma_S - \gamma_{SV}$이며, 접촉각이 0보다 큰 균일 고체 표면에서는 무시된다.

2.2 습윤(wetting)

Fig. 1에서 γ_{SV}값이 γ_{SL}값보다 커지는 경우에 액체가 고체 표면으로 퍼져나가게 된다. 이것이 확장습윤이다. 식(1)과 식(2)에서와 같이 접촉각을 측정함으로써, γ_{SV}- γ_{SL}값을 측정할 수 있고, 고체 표면에서 액체가 얼마나 퍼지는지를 알 수 있다[6].

3. 실험

3.1 재료

접촉각을 측정하기 위하여 안경렌즈 성분과 같은 CR-39(allyl diglycol carbonate)를 사용하였다.

김서림 효과를 측정하기 위한 안경렌즈는 멀티코팅 플라스틱 렌즈를 사용하였다.

초친수성 액체를 제조하기 위하여 Duksan Chemical의 Tween40, 도쿄 화성 공업 (TCI)의 Span20과 Diglycerol, Fluorosurfactant로는 3M Novec FC-5130(Anionic Type, Active 25%)을 사용하였다.

용매로 에탄올은 Duksan Chemical의 시약급과 이소프로판올은 Daejung Chemical의 시약급을 사용하였다.

3.2 초친수 액체의 제조

초친수 액체는 에탄올, 이소프로판올과 물을 1:1:8의 비로 혼합한 용매 100 ml를 만들고, Table 1에 나타낸 바와 같이 Tween40, Span20과 Diglycol의 양을 각각 다르게 제조한 용액 A, B, C, D를 위의 용매로 희석하여 제조하였다. 제조된 초친수 액체와 CR-39의 접촉각을 접촉각 측정기로 측정하고, 이 액체를 안경 렌즈 표면에 도포한 후 김서림 방지 효과를 확인하였다.

Table 1. Compositions of super hydrophilic solutions

Component(g)	A	B	C	D
Tween40	0.1	0.1	0.2	0.1
Span40	0.2	0.1	0.0	0.1
Diglycerol	0.1	0.1	0.1	0.0

Table 2는 Table 1과 동일하게 만들었으나, 모든 성분에 Fluorosurfactant인 FC-5130을 넣고 접촉각 및 김서림 방지 효과를 확인하였다.

Table 2. Compositions of super hydrophilic solutions with FC-5130

Component(g)	FA	FB	FC	FD
Tween40	0.1	0.1	0.2	0.1
Span40	0.2	0.1	0.0	0.1
Diglycerol	0.1	0.1	0.1	0.0
FC-5130	0.1	0.1	0.1	0.1

3.3 분석방법 및 분석기기

초친수 액체의 FTIR 측정하기 위하여 Thermo Fisher Scientific사의 Nicolet 5700 FTIR (Fourier transform infrared) 기기를 사용하여 스펙트럼 변화를 ATR-FTIR (Attenuated total reflection-Fourier transform infrared) spectroscopy법으로 측정하였다. Germanium (Ge) 결정을 사용하여 4,000 cm^{-1} ~ 400 cm^{-1} 범위의 파수(wave number)에서 4 cm^{-1} 분해능으로 128회 스캔하여 측정하였다.

접촉각 측정은 접촉각 측정기(contact angle meter, Model CAM-Micro, Tantec Inc.)를 사용하였다. 접촉각은 Fig. 2에 있는 방법인 half angle 방법으로 측정하였다.

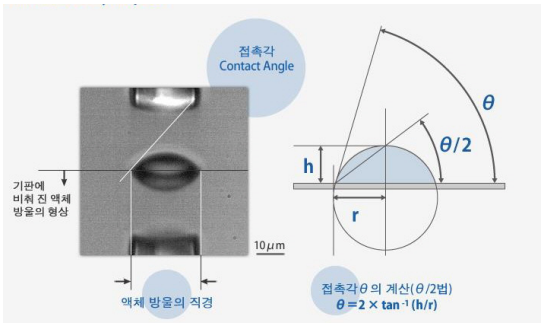

Fig. 2. Calculation of contact angle by half length and angle.

접촉각 측정기에 있는 미세 주사기를 사용하여 초친수 액체의 액적을 CR-39 표면 위에 떨어뜨려 액체 방울을 만들었다. 액체 방울의 직경과 접촉각 측정기에 부착된 각도계로 접촉각 θ를 측정하였다. 오차를 최소화하기 위해 각각의 초친수 액체에 대하여 5번 이상 측정하여 평균치를 취하였다.

3.4 김서림 효과 실험 방법

김서림 정도는 초친수 액체를 안경닦이 천에 묻힌 후, 천으로 안경렌즈 표면에 초친수 액체를 도포하고 수증기를 안경렌즈의 도포 면에 닿게 하여 흐림 또는 이슬 맺힘이 생길 때까지의 "반복횟수"를 측정하였다. 이 실험은 한국산업표준 KS G 3307:2009의 안경용 흐림 방지제 시험방법에 따라 실험하였다[7].

시험방법에 사용한 흐림 방지제는 본 논문에서 제조한 김서림 방지제 조성물로, 초친수 액체의 제조 방법으로 제조한 Table 1과 Table 2의 김서림 방지제 조성을 사용하였다.

실험은 고온(40℃)에서 흐림 방지제의 흐림 방지 성능을 조사하는 방법으로, 안경 렌즈의 한쪽 면에 흐림 방지제를 도포하고, 이 면에 1회당 3분간 수증기를 대어 렌즈 면에 10%이상의 흐림 또는 이슬이 생길 때까지의 "반복 횟수"에 따라 성능을 평가하는 방법이다.

판정은 렌즈 면의 표면적이 약 10%가 흐림 또는 이슬이 맺힐 때까지 반복 횟수로 하였다. 최초의 3분간 이내에 흐림 또는 이슬이 생긴 것은 반복 횟수 0회, 2회째의 경우는 반복 횟수 1회, 3회째의 경우는 반복 횟수 2회로 한다.

4. 결과 및 고찰

4.1 FTIR-ATR 적외선 스펙트럼 측정

초친수 액체(FA, super hydrophilic solutions with FC-5130)에 대한 FTIR-ATR 스펙트럼을 Fig. 3에 나타내었다.

IR 영역(4,000 cm^{-1} ~ 500 cm^{-1})에서 나타낸 스펙트럼이다. 피크의 Wavenumber 위치는 각각 3,300 cm^{-1}, 2,940 cm^{-1}, 2,860 cm^{-1}인데, 이 세 피크는 C-H bonding에 의한 피크로 여겨진다. Wavenumber 위치가 1,735 cm^{-1}인 피크는 C=O bonding에 의한 피크로 여겨지며, 각각 Wavenumber 1,650 cm^{-1}, 1,510 cm^{-1}에 있는 피크는 C=C bonding에 의한 것으로 여겨진다. 또한 1,195 cm^{-1}에서 관찰되는 피크는 CF2 bonding에 의한 흡수 봉우리로 여겨진다.

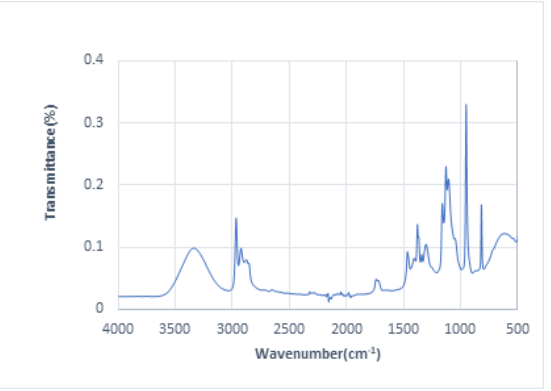

Fig. 3. FTIR-ATR spectrum of overbased calcium sulfonate before conversion.

그러므로 사용한 안경렌즈에 도포된 초친수 액체 도포막은 C-H bonding, C=O bonding, C=C bonding, CF2 bonding으로 이루어져 있으리라 여겨지며 일반적으로 발수코팅에서 많이 쓰는 CF2와 같은 유기불소를 함유하고 있다.

4.2 초친수 액체의 접촉각 측정

Fig. 4는 CR-39(allyl diglycol carbonate)표면에 에탄올, 이소프로판올과 물을 1:1:8의 비로 혼합한 용매 100 ml에 Tween 40, Span 20의 농도를 각각 증가시키면서 접촉각을 측정한 결과이다. Tween40, Span20 각각의 농도를 0.01 g(100 ppm)에서부터 0.13 g(1300 ppm)까지 증가시키면서 접촉각을 측정한 결과를 나타내었다. Tween40, Span20 각각 1000 ppm 이상이 되면, CR-39 표면에 퍼져나가 접촉각은 5도 이하로 더 이상 측정할 수 없었다. 100 ppm에서 1000 ppm 까지는 2차 함수적으로 접촉각이 감소하다가 1000 ppm 이상이 되면 접촉각은 5도 이하가 되었다.

따라서, Tween40, Span20의 농도가 1000 ppm 이상이 되면 완전 확장(퍼짐) 현상이 일어난다. 따라서 Tween40, Span20의 농도를 1000 ppm 이상으로 유지시키는 것이 김서림 방지를 위한 초친수 액체를 만드는 데 중요한 역할을 한다.

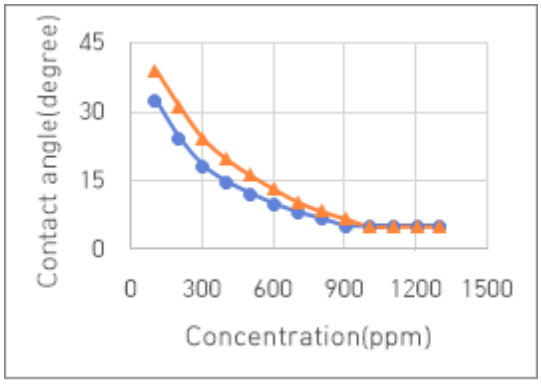

Fig. 4. Contact angle according to the Tween40 and Span20 concentration on the CR-39.

Table 3는 Table 1에서 제조한 A, B, C, D를 CR-39 표면에 떨어뜨려 접촉각을 측정한 결과이다. A, B 그리고 D는 접촉각이 5도 이하로 김서림 방지 효과가 있지만, C는 접촉각이 10도 이상으로 김서림 방지 효과가 없었다. 이는 Tween40과 Span20이 함께 있는 것이 중요한 역할을 함을 알 수 있게 한다.

Table 3. Contact angles according to compositions of super hydrophilic solutions

Super hydrophilic solutions	Contact angle(degree)
A	**3.5**
B	**4.2**
C	**12.1**
D	**4.7**

Table 4는 Table 2에서 제조한 FA, FB, FC, FD를 CR-39 표면에 떨어뜨려 접촉각을 측정한 결과이다. FA, FB, FC, FD 모두 접촉각이 5도 이하로 김서림 방지 효과가 있었다. 이것은 Fluorosurfactant인 FC-5130가 함유되어 있는 용액은 충분한 김서림 방지 효과가 있음을 나타낸다.

Table 4. Contact angles according to compositions of super hydrophilic solutions with FC-5130

Super hydrophilic solutions	Contact angle(degree)
FA	**3.1**
FB	**3.3**
FC	**4.7**
FD	**4.2**

4.3 김서림 유지 효과

안경렌즈 표면의 김서림 유지 효과는 한국산업표준 안경용 흐림 방지제 시험방법에 따라 실험하였다[7].

이번 실험의 모든 경우에 반복 횟수가 증가함에 따라 안경 표면에 도포된 김서림 방지 조성물의 농도가 수증기 때문에 낮아져 김서림 효과가 줄어들었다. 이는 초친수 김서림 방지제로 인한 안경 렌즈 표면에 형성된 친수성 막이 안경의 원래 상태인 소수성 표면으로 변했음을 의미한다.

김소라등[8]은 안경 렌즈에 물리적, 화학적 자극이 반복적으로 가해졌을 때, 김서림 시간 변화 및 손상된 렌즈 표면의 안정성 여부를 측정하였으나, 자극에 의한 방법으로는 김서림 방지 시간이 60초에서 최대 80초까지 유지되었다. 그러나 본 실험에서 제조한 초친수 김서림 방지제를 안경 렌즈 표면에 도포한 경우에는 180초 동안 김서림 방지가 유지된 횟수가 최소 2회에서 8회까지 되었다.

Table 5은 초친수 김서림 방지제 A, B, C, D의 반복 횟수를 나타낸다. Diglycerol은 -OH 기가 많아 초친수 김서림 방지제를 안경 렌즈 표면에 잘 흡착시키는 성질을 가졌으나, 계면활성제와 같이 공기 중에서 확장 습윤성을 갖지 못하여 반복 횟수가 가장 낮은 것으로 사료된다.

Table 5. Number of repetitions according to compositions of super hydrophilic solutions

Super hydrophilic solutions	Number of repetitions
A	**5**
B	**3**
C	**3**
D	**2**

Table 6는 초친수 김서림 방지제 FA, FB, FC, FD의 반복 횟수를 나타낸다. Table 5의 모든 용액에 FC-5130을 넣었으며, FC-5130은 Fluorosurfactant로 일반적인 계면활성제인 Span20과 Tween40 보다는 접촉각을 더 낮추는 성질이 있으며, Table 5의 계면활성제로만 만들어진 김서림 방지제보다 반복 횟수가 커서 확장 습윤성이 더 좋은 것으로 사료된다.

Table 6. Number of repetitions according to compositions of super hydrophilic solutions with FC-5130

Super hydrophilic solutions	Number of repetitions
FA	8
FB	6
FC	5
FD	4

5. 결론

Tween40, Span20, Diglycerol과 FC-5130를 사용하여 초친수 김서림 방지제를 만들었으며 접촉각과 김서림 유지 효과가 어떻게 변화되는지 알아보았다.

접촉각 측정 결과 본 실험에서 제조한 김서림 방지 조성물의 농도가 1000 ppm 이상인 경우에 접촉각이 5도 이하이며, 습윤확장이 일어나는 나는 것을 알 수 있었다. 김서림 방지 효과는 한국산업표준 안경용 흐림 방지제 시험방법에 따라 실험한 결과, Tween40, Span20, Diglycerol과 FC-5130를 사용한 경우 180초 동안 김서림 방지가 유지된 횟수가 8회로 일상생활에서 하루에 한번정도 김서림 방지제로 안경을 딲으면 더 이상 김서림이 생기지 않아 하루 동안 사용하기에 충분함을 알 수 있었다.

Reference

[1] J. W. Lee, S. M. Lee, J. M. Han, "Mask for Wearers of Glasses A Study on the Practicality and Marketability of Anti-Fog Mask," *Conference Proceeding of Korean Society of Design Science*, pp. 326-327, May 2019. http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE08762895

[2] H. L. Kim, S. B. Yeom, S. H. Lee, L. N. Jang, and J. H. Choi, "Design and evaluation of anti-fog pad for mask considering facial shape," *Proceedings of the Fall Conference of the Korean Society of Industrial Engineers*, pp. 3258-3272, Nov. 2017. http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07262602

[3] S. D. Bae, "Study on Antibacterial and Anti-Fogging using mugwort extract," *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol.6 Iss.4, pp.599-604, Nov. 2020. DOI: https://doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.4.599

[4] J. S. Yoon, C. W. Nam, H. M. Lee, "Controlling Surface Wettability for Antifogging Surfaces," *Polymer Science and Technology*, Vol.29, No.5, pp. 432-437, Oct. 2018. http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07544551APA

[5] M. A. Lim, S. B. Rho, "A Study on the Surface Characteristics of Hydrophobic-Hydrophilic Powders with Concentration Change of Solutions Contact Angles of the Powder PMMA, PVC, PVdF and Aluminum on the Surfactant SDS, CTABr Solutions," *Polymer(Korea)*, Vol.23, No.5, pp. 662-672, Sep. 1999. http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06124588

[6] S. B. Rho, "A study on the anti-fogging on the surface of ophthalmic lens using super hydrophilic materials," *Proceedings of the Spring Conference*, Korea Academia-Industrial cooperation Society, pp. 548-551, Jul. 2021.

[7] Methods of antifogging agent test for spectacle lens, KS G 3307:2009. https://www.kssn.net/search/stddetail.do?itemNo=K001010102914

[8] S. R. Kim, J. Y. Kim, K. Y. Kim, M. J. Park, "The Effect of Physical and Chemical Stimuli on Ophthalmic Lens Coatings," *Journal of Korean Ophthalmic Optics Society*, Vol.16, Iss.3, pp.237-245, 2011. https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201117760984760.page

노 승 백(Seung Baik Rho) [정회원]

- 1980년 2월 : 서강대학교 화학공학과(공학사)
- 1982년 2월 : KAIST 화학공학과(공학석사)
- 1990년 2월 : KAIST 화학공학과(공학박사)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 계명대학교 화학공학과 교수

〈관심분야〉
계면공학, 윤활유 수명예측, 이온교환수지