계면활성제 농도 변화에 따른 셀룰로오즈계 가연물에서의 표면흡수 동적 메커니즘에 관한 연구

A Study on Surface Absorption Dynamic Mechanism due to the Addition of a Surfactant in Cellulosic Combustibles

김남균* · 임경범** · 이동호***

Kim, Nam Kyun · Lim, Kyung Bum · Rie, Dong Ho

Abstract

In the case of Seo-Moon market in Deagu (2005), fire relapse after fire suppression has led the accident to a large fire due to secondary fire occurred because the fire fighting water did not penetrate until deep place. Thus, in the case of using a common fire fighting water to extinguish a fire in the place where a large amount of cellulosic combustibles is loaded, there is a risk of fire relapse and that has digestive limitations for a combustion in the deep of cellulosic combustibles. However, a standard exist only on the surface tension in the current domestic wetting agent technology standards, so it is difficult to the performance evaluation of the wetting agent through the standard. Therefore, in this study, surface absorption mechanism were studied by measuring that wetting speed and wetting area according to the concentration of the surfactant for cellulosic combustibles(the paper and textile). Through this study, Depending on the degradation of the surface tension by surfactant addition, it was confirmed that the absorptiveness is improved on the surface.

Key words : Surfactant, Surface absorption, Surface tension, Deep-seated fire, Wetting agent

요 지

2005년 대구 서문시장 화재사건의 경우, 심부까지 소화용수가 침투되지 않아 화재 진압 후 재발화로 인해 2차 화재가 발생하여 대형화재로 이어졌다. 이와 같이 일반적인 소화용수를 사용하여 다량의 다공성 물질이 적재되어 있는 공간에서 발생한 화재를 진압하는 경우, 물질의 심부에서 진행되는 연소에 대한 소화 한계성을 가지며 재발화의 위험성이 존재한다. 그러나 현재 국내의 침윤소화약제 기술기준은 표면장력에 대한 기준만 존재하여 이를 통한 약제의 성능평가는 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 종이와 섬유에 대한 계면활성제의 농도에 따른 젖음 속도 및 젖음 면적을 측정하여 다공성 물질의 표면흡수특성을 파악하였다. 이를 통하여 계면활성제 첨가에 의한 표면장력의 저하에 따라 표면에서의 흡수성이 향상됨을 확인하였다.

핵심용어 : 계면활성제, 표면 흡수, 표면장력, 심부화재, 침윤소화약제

1. 서 론

수계소화설비는 소화용수의 조달·운반이 쉽고 비열, 증발 잠열이 높아 냉각효과가 뛰어나다는 장점이 있다. 그러나 다층·다공성물질, 일부 고분자화합물의 경우 물의 흡수가 불가능한 심부까지 연소가 진행되는 심부화재가 발생할 수 있어 수계소화가 어려운 경우가 발생되고 있다(NFPA, 2011).

심부화재는 목조건물 및 다공성 물질의 화재 시 심부까지

고온이 전도되어 연소분위기가 형성되지만 산소의 접촉이 제한되어 점화되지 않는 훈소상태를 의미한다(NFPA, 2005). 소화용수가 침투되기 어려운 심부는 잠재적 위험요인으로 작용하여, 이후 산소와 접촉 시 재발화의 위험을 가지고 있다.

실제로 2008년 발생한 승례문 방화사건은 연소가 진행되는 심부까지 소화용수가 침투되지 않아 화재 진압에 큰 어려움을 겪었고, 2005년 대구 서문시장 화재 사건의 경우에는 화재 진압 후 섬유 내부의 심부화재에 의한 재발화로 2차 화

*정회원. 인천대학교 대학원 석사과정(E-mail: kimnk@incheon.ac.kr)

Member. Master's course, Department of Safety Engineering, Incheon University

**혜천대학교 소방안전관리과 교수

Professor, Department of Fire Safety Management, Hyecheon College

***교신저자. 정회원. 인천대학교 안전공학과 교수(Tel: +82-32-835-8293, Fax: +82-32-835-0779, E-mail: riedh@incheon.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, Department of Safety Engineering, Incheon University

재가 발생하여 대형 화재로 이어졌다.

이와 같은 목조건물 또는 다공성 물질의 화재 시, 소화의 효율성을 증대시키기 위해 침윤소화약제를 첨가함으로써 소화용수의 물리화학적 성상을 변화시켜 화재진압에 효율적으로 대처하는 것이 중요하며, 이러한 약제는 용수의 방수량을 저감함으로써 소화용수에 의한 2차 피해의 발생을 감소시키고 화재 진압의 효율성 및 재발화 방지를 통한 소방대원의 안전성 향상을 도모 할 수 있다. 그러나 현재 국내의 심부화재 진압용 침윤소화약제의 기술기준인 ‘소화약제의 형식승인 및 제품검사의 기술기준 고시(2012-57호)’에서 물리적 기술기준인 표면장력만을 제시하고 있어 이를 통한 침윤소화약제의 성능평가는 어려운 실정이다(소방방재청, 2012).

이에 본 연구는 침윤소화약제의 성능평가에 대한 기초 실험으로써 침윤소화약제의 추가적인 첨가물의 영향을 배제하고 표면장력에 의한 영향만을 분석하기 위하여 증류수에 계면활성제만을 농도별로 첨가하여 표면장력의 변화에 따른 셀룰로오스계 가연물에 대한 젖음 속도, 젖음 면적 그리고 젖음 계수 등의 표면흡수성을 평가하였으며, 이를 통해 심부화재 진압용 소화약제의 셀룰로오스계 가연물에 대한 흡수특성의 동적 메커니즘을 규명하고자 한다.

2. 연구 방법 및 결과

2.1 액적의 젖음 특성에 영향을 미치는 주요인자

Fig. 1에서와 같이 액적과 표면의 상호작용에 주로 영향을 미치는 인자는 유체 물성, 충돌조건 및 표면특성이 있다.

본 연구에서는 충돌조건과 표면특성이 같은 상황에서 계면활성제를 첨가하여 유체의 물성만을 변화시켜 계면활성제의 농도변화에 따른 표면장력 흡수특성의 변화를 분석 하여 표면에서의 흡수 메커니즘을 규명하였다.

2.2 시스템의 구성

본 연구의 실험 장치는 일정량의 액적을 적하하기 위한 점측각 측정기의 정량 토출기, 액적의 흡수과정을 확대하여 촬영하기 위한 Digital Microscope, 영상촬영 시 빛의 확보를

Fig. 1. The main factors affecting the droplet-surface interaction

Fig. 2. The composition of measurement system

위한 광원 및 디퓨저 그리고 일정 시간 후 표면 젖음 면적을 촬영하기 위한 CMOS 카메라로 구성되었으며 이는 아래의 Fig. 2에서 나타내었다. 또한 빛의 반사 및 왜곡에 의한 영향을 방지하기 위하여 실험장치의 후면 및 양쪽 측면을 검은색으로 배경처리 하였다.

2.3 시료 및 시편 제작

본 연구는 침윤소화약제의 성분분석에 앞서 약제를 구성하는 첨가제의 영향을 제외하고 농도에 따른 표면장력의 변화를 통해 표면에서의 흡수특성을 파악하기 위하여 증류수에 계면활성제를 혼합하여 실험을 진행 하였다. 본 연구와 동시 진행 중인 성분분석연구의 FT-IR 분석을 통해 현재 시판되고 있는 침윤소화약제 7종에 대한 분석으로 얻어진 결과로부터 BDG의 스펙트럼과 유사한 스펙트럼을 확인하였으며, 본 사실을 근거로 BDG를 이용하여 본 실험을 진행하였다.

중량비율로 BDG 농도를 변화시킨 표준용액을 Table 1과 같이 제작하여 실험에 사용하였으며, BDG의 한계미셀농도(CMC, Critical Micelle Concentration)는 Table 1에 나타내는 바와 같이 농도격차에 따른 상대적 표면장력의 차가 미미한 15~20% 구간으로 판단된다.

계면활성제 첨가에 따른 표면장력의 측정은 KS M ISO 304 규격에 의거 ITOH사(社)의 Tensionmeter로 측정하였으며, 측정 장비의 최소 측정단위는 0.1dyne/cm이다(한국표준협회, 2003).

본 연구에서 표면흡수성은 심부화재의 발생 가능성이 높은 셀룰로오스계 가연물인 섬유와 종이를 대상으로 실험하였다. 섬유는 광목을 사용하였으며 Fig. 3에서 보는 바와 같이 평직상태이며 경사와 위사가 단위면적(1 cm²)당 30가닥씩으로 동일한 양축균등구조를 가지고 있다. 종이는 Double A 사의 A4 사이즈 복사용지를 사용하였다.

실험에 사용되는 섬유는 KS M 2715, KS K ISO 139 규격에 의한 전처리 과정을 통하였으며, 종이는 KS M 2715 규격 내의 세척과정을 제외하고는 섬유와 동일한 전처리 과

Table 1. The surface tension according to the concentration of surfactant

Concentration of BDG [%]	0	0.5	1	2	5	10	15	20	40	70	100
Surface Tension [dyne/cm]	73.0	56.0	54.0	47.0	39.8	35.0	33.7	33.2	32.0	31.7	31.5

(a) Paper (b)Textile
Fig. 3 Surface of cellulosic combustibles

정을 거쳐 사용하였다(한국표준협회, 2010; 한국표준협회, 2007).

2.4 실험방법

계면활성제의 농도에 따른 다공성 물질의 표면흡수성 평가를 위한 접촉각 측정 실험은 Fig. 4에 의거하여 표준용액을 20 μm씩 적하하여 3회 반복 실험 후 평균값으로 산출하였다.

실험은 실내 온도 20°C, 습도 55%의 환경조건에서 진행하였으며, 젖음 시간은 액적을 적하시킨 후 접촉각이 0°가 되는 시간까지를 기준으로 설정하였고, 적하 후 1,000 sec를 기준으로 연직방향의 동일 위치에서 사진을 촬영하여 해당 면적 내의 픽셀 수를 통해 젖음 면적을 산출하였다.

2.5 표면 젖음 속도 평가

2.5.1 표면 젖음 속도 측정

본 논문에서는 접촉각 측정과 젖음 시간을 측정하여 표면의 젖음 속도를 평가하였다.

액체내부에 존재하는 분자 사이에는 모든 방향으로 동일한 크기의 응집력, 인력이 작용하여 평형상태를 유지하나 액체와 기체의 경계면에서는 액체내부에 있는 분자와의 인력에 비해 표면외부, 공기분자와의 인력이 상대적으로 작아 인력의 평형을 이루지 못하게 된다. 따라서 액체의 표면에 있는 분자는 표면에 접선인 방향으로 끌어당기는 힘을 받게 되며 이로 인해 최소 표면적인 구의 형태에 가까워지려는 성질을 나타낸다.

고체표면이 물에 잘 젖는 현상은 표면의 성질을 나타내는 하나의 척도로 매우 중시되고 있으며 이러한 물에 의한 젖음을 정량적으로 나타내는 양으로 사용되는 것이 접촉각이다.

Fig. 4. Process of experiment

Fig. 5. The measurement of contact angle

본 논문에서는 액적의 접촉각과 젖음 현상을 정량적으로 측정하기 위하여 Digital Microscope를 사용 하였으며, 촬영된 영상을 캡처해 Fig. 5의 좌우 끝점(A점, B점)을 찾고, 최고 높이의 픽셀을 확인하여 액적의 최고점(H점)을 선정하였다. 다공성 물질의 표면은 불규칙하기 때문에 액적의 좌, 우 끝 점점 즉, A, B점에서 형성되는 두 접촉각을 모두 측정하여 시험편이 갖는 접촉각으로 평가하였다.

따라서 A, B, H점을 통해 H점을 지나며 X축과 직교하는 선분을 Y축으로 잡고 A, B점과 Y축에 대칭이 되는 점(A', B')을 찾음으로써 Fig. 5과 같이 세 점을 지나는 원을 그릴 수 있다. 여기서 A점의 접선과 선분 AA'가 이루는 각이 좌측 접촉각이 된다.

Fig. 5에서 A점을 지나는 선분은 반지름을 나타내는 선분 AO와 수직이며, 선분 AC는 A점에서 X축과 직교된 선분이다. 그러므로 θ_1 과 θ_2 의 크기는 같고 식 (1)과 같이 θ_2 를 계산함으로써 좌측 접촉각을 구할 수 있다.

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\frac{a_x}{r}\right) \times \frac{180}{\pi}, \theta_1 = \theta_2 \quad (1)$$

식 (1)은 접촉각의 크기가 90° 이하일 경우 적용 가능하며 접촉각의 크기가 90°를 초과할 경우는 식 (2)를 따른다.

$$\theta_1 = \left[\sin^{-1}\left(\frac{a_x}{r}\right) + 90 \right] \times \frac{180}{\pi}, \theta_1 = \theta_2 \quad (2)$$

그러나 앞에서 서술한 것과 같이 실제 접촉각은 액적이 적 하된 다공성 물질의 표면 상태에 따라 좌우에서 충분히 다르게 측정될 수 있다. 따라서 우측의 접촉각 또한 위의 수순을 동일하게 적용할 필요가 있으며 최종 접촉각은 좌, 우에서 측정된 두 접촉각의 평균값으로 나타낸다(이찬용 등, 2003).

본 논문에서는 초기 접촉각을 측정하고 액적의 접촉각이 0°가 될 때까지의 소요 시간을 측정하여 표면흡수특성을 비교 분석하였다.

2.5.2 표면 젖음 속도 분석 결과

농도별, 물질별 초기 접촉각을 Table 2에 나타내었으며 젖음 속도 분석을 위한 증류수 적하 후 시간에 따른 액적의 변화양상은 Fig. 6의 (a), (b)와 같다.

실험결과 종이와 섬유 모두 농도가 증가 할수록 접촉각이

Table 2. The contact angle according to the concentration of surfactant

Concentration of BDG [%]	0	0.5	1	2	5	10	15	20	40	70	100
Contact Angle on Paper [°]	114.7	107.0	97.5	91.2	85.7	57.7	51.6	47.4	42.5	33.3	16.0
Contact Angle on Textile [°]	145.8	136.4	129.7	108.4	54.6	Estimation Impossible	Estimation Impossible	Estimation Impossible	Estimation Impossible	Estimation Impossible	Estimation Impossible

*Estimation Impossible : The case that absorption and loading are occurred at the same time

(a) Pure Water 0min (b) Pure Water 10min

Fig. 6. The alteration of droplet according to time

Fig. 7. The wetting time classified by the concentration of surfactant

감소하는 경향을 나타냈으며, 섬유는 섬유 표면 요철(凹凸)의 영향으로 비교적 거칠기 정도가 낮은 종이에 비해 접촉각이 크게 나타났으며, 계면활성제 농도가 10%가 되는 시점부터 적하와 동시에 표면흡수가 일어나 접촉각의 측정이 불가능했다.

계면활성제 농도별 젖음 시간은 Fig. 7과 같다. Fig. 7의 [A]영역에서의 섬유는 계면활성제의 첨가량 증가에 따라 젖음 속도가 증가하였으며, [B]영역에서는 용액의 적하와 동시에 흡수가 나타났다. [A]영역에서의 종이는 1,000sec 이상에서도 흡수가 거의 나타나지 않았으며 [B]영역에서 용액의 농도가 5%(표면장력 39.8 dyne/cm) 이상인 경우 흡수가 진행되기 시작하여 10%(표면장력 35 dyne/cm)에서는 급격한 흡수가 진행되었다. 또한 20% 농도부터는 농도의 증가에 따라 젖음 시간이 다시 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 이는 첨가되는 계면활성 양의 증가에 따라 적하 용액의 점도 증가로 흡수시간이 증가하는 것으로 판단된다.

결과적으로 종이와 섬유 모두에 적용성이 좋게 나타난 구간은 10~40% 구간으로 판단된다.

2.6 표면 젖음 면적 평가

2.6.1 표면 젖음 면적 측정

Fig. 8은 적하 된 액적의 자유물체도를 나타낸 것으로, 표면장력은 물질의 젖음성을 결정하는 중요한 요소로 작용하고 있다(John 등, 1988).

표면장력은 기체, 액체, 고체의 3상의 경계선에 있어서 식 (3)의 관계가 성립되며 이를 영의 방정식(Young Equation)이라 한다(Kawase Tokazu, 2009).

이 경우 계면활성제의 첨가를 통해 표면장력이 작아지게 되면 Fig. 8에서의 b(Liquid Surface Tension) 값이 감소하는 것으로, a(Solid Surface Tension) 값이 상대적으로 커지게 되어 액체와 고체와의 접촉 면적이 넓어지게 되고, 결과적으로 젖음 면적이 증가하게 된다.

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos \theta \quad (3)$$

γ_S = 고체 표면장력

γ_{SL} = 고체액체 계면장력

γ_L = 액체 표면장력

2.6.2 표면 젖음 면적 분석 결과

Fig. 9는 물질에서의 적하 액의 흡수에 따른 젖음 표면을 나타낸 것이며, Fig. 10은 계면활성제 농도별 젖음 면적을 나타낸 것이다.

실험결과 종이 및 섬유 모두 계면활성제의 농도가 증가할수록 젖음 면적이 증가하는 경향을 나타내었으며, 5~40% 구간에서는 거의 일정한 젖음 면적을 나타내고 있으며, 또한 40%를 기점으로 젖음 면적이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

a : Solid Surface Tension

b : Liquid Surface Tension

c : Solid · Liquid Interfacial Tension

d : Gravity+Absorption Force

θ : Contact Angle

Fig. 8. The free body diagram of droplet

Fig. 9. The alteration of wetting area according to the concentration of surfactant

Fig. 10. The wetting area classified by the concentration of surfactant

Fig. 11. The penetration depth classified by the concentration of surfactant

또한 젖음 면적을 측정한 후 침투 깊이를 확인한 결과 Fig. 11에서 나타낸 것과 같이 10~15% 구간에서 침투성이 가장 뛰어난 것으로 확인되었다.

액적 적하 후 젖음 확산 형태를 확인한 결과 Fig. 12에서와 같이 섬유유의 경우 증류수의 경우 원형성이 0.167로 낮았으나, 계면활성제의 농도가 높아짐에 따라 원형성이 최대 0.841까지 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 농도가 높아짐에 따라 섬유유의 결 방향뿐만 아니라 직조된 모든 방향으로 젖음이 진행되는 것으로 판단된다. 또한 10%이상의 농도에서는 농도 변화 폭에 비해 원형성의 변화도가 미미함을 나타내는 것으로 보아 10% 농도에서 가장 뛰어난 농도 대비 성능을 보이는 것으로 판단된다.

Fig. 12. The circlelike of wetting area according to the concentration of surfactant

2.7 표면 젖음 계수 평가

2.7.1 표면 젖음 계수 측정

물질의 젖음에 있어 압력은 중요한 외적인자로 작용하고 있으며 식 (4)에서와 같이 전체압력은 모세관압력과 중력에 의한 압력의 합으로 나타낸다.

$$\Delta P_t = \Delta P_c + \Delta P_g \quad (4)$$

ΔP_c = 모세관압력

ΔP_g = 중력에 의한 압력

식 (4)에서 액체의 질량이 극히 미소할 경우 중력에 의한 압력 또한 극히 미소하게 나타나고, 따라서 전체 압력은 모세관압력과 동일하게 나타낼 수 있다(Ahn 등, 1991).

모세관압력은 Young-Laplace 식을 이용하여 식 (5)와 같이 표현할 수 있다(Williams 등, 1974).

$$\Delta P_c = \frac{4\sigma\cos\theta}{D_c} \quad (5)$$

σ = 액체 표면장력

θ = 접촉각

D_c = 다공성 물질 내 기공 지름

위 식 (5)에서 표준 용액 별 동일 물질을 사용하는 경우에는 측정 물질내의 기공지름(D_c)을 상수로 나타낼 수 있으므로, 다시 정리하면 식 (5-1)과 같이 정리할 수 있다.

$$\Delta P_c \frac{D_c}{4} = \sigma\cos\theta \quad (5-1)$$

또한 표준용액의 점도는 식 (6)에 의해 계산되며 이를 이용하여 식 (7)의 젖음 계수(α)를 계산할 수 있다(한승욱 등, 2011).

$$\log\mu(A \times \log x) + (B \times \log y) \quad (6)$$

x, y = Mixing 전의 각각의 점도

A, B = Mixing 비율

μ = Mixing 후 점도

Table 3. The capillary pressure according to the concentration of surfactant

Concentration of BDG [%]	0	0.5	1	2	5	10	15	20	40	70	100
Capillary Pressure on Paper [kPa]	-30.51	-16.35	-7.074	-0.987	2.985	18.69	20.93	22.48	23.58	26.50	30.27
Capillary Pressure on Textile [kPa]	-60.37	-40.54	-34.51	-14.85	23.04	Estimation Impossible	Estimation Impossible	Estimation Impossible	Estimation Impossible	Estimation Impossible	Estimation Impossible

*Estimation Impossible : The case that absorption and loading are occurred at the same time

Table 4. The viscosity according to the concentration of surfactant

Concentration of BDG [%]	0	0.5	1	2	5	10	15	20	40	70	100
Viscosity [cp]	1.005	1.014	1.024	1.043	1.103	1.211	1.330	1.460	2.121	3.713	6.500

Fig. 13. The wetting coefficient classified by the concentration of surfactant

$$\alpha = \frac{\Delta P_c}{\mu} \quad (7)$$

2.7.2 표면 젖음 계수 분석 결과

젖음 계수를 계산하기 위해 식 (5)에 따라 모세관압력을 계산한 결과를 Table 3에 나타내었다. 또한 식 (6)에 따라 농도별 점도를 계산한 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 3과 Table 4의 결과를 토대로 식 (7)에 의거 젖음 계수를 산출한 결과를 Fig. 13에 나타내었다. 실험결과 10~20% 구간에서 가장 높은 젖음 계수를 나타내었다.

3. 결 론

심부화재 진압용 침윤소화약제의 물리적 기술기준인 표면 장력 변화에 따른 다공성물질에서의 표면흡수특성을 분석한 결과 다음의 결론을 도출하였다.

- 1) 계면활성제의 농도가 20%(33.2 dyne/cm) 이하인 구간에서는 농도의 상승에 비례하여, 젖음 시간은 빨라지고 젖음 면적은 전 방향으로 넓어지는 경향을 보임으로써 농도에 따른 표면장력이 낮아짐에 따라 표면 흡수성이 향상됨을 확인하였다.
- 2) 젖음 시간, 젖음 면적 및 젖음 계수의 결과를 종합적으로 분석해 보면 모든 면에서 표면의 젖음 특성은 계면활성제의 농도가 10~15% 구간에서 가장 우수한 젖음 특성을 나타내었으며, 10~15% 구간에서의 표면장력은

33.7~35 dyne/cm로 기술기준 고시상의 33 dyne/cm와 비교하여 거의 유사한 결과를 나타내고 있음을 확인하였다.

본 연구 결과를 바탕으로 추후 사용 약제별 표면 흡수성에 대한 평가와 Macroscopic적 분석방법을 통한 상관관계를 분석하여 소화재의 적용성에 대한 기준분석 및 평가 자료로 활용할 수 있도록 정립화 하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 소방방재청 차세대 핵심 소방안전기술 개발사업 “심부화재 진압용 소화용수 기준 평가 및 분석”에 대한 연구비 지원에 의한 결과의 일부이며 본 연구를 가능케 한 소방방재청에 감사드립니다.

Reference

- Ahn, K.J., Seferis, J.C., and Berg, J.C. (1991) Simultaneous Measurements of Permeability and Capillary Pressure of Thermosetting Composites, *Polymer Composites*, Vol. 12 No. 3, pp. 146-152.
- Han, S.W., Choi, N.S., Lee, M.S., and Ahn, H.K. (2011) Wetting Evaluation of Resin on the Glass Fabric, *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 24 No. 5, pp. 33
- John P. Couiter and Selcuk I (1988) Resin Impregnation During the Manufacturing of Composite Materials Subject to Prescribed Injection Rate, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 7 No. 3, pp. 200-219
- Kawase Tokazu (2009) Super-Hydrophobic Surfaces, *SEN'I GAK-KAISHI*, Vol. 65 No. 6
- Korea Standards Association (2003) KS M ISO 304 “Surface active agents - Determination of surface tension by drawing up liquid films”.
- Korea Standards Association (2007) KS K ISO 139 “Textile Standard atmospheres for conditioning and testing”.
- Korea Standards Association (2010) KS M 2715 “Synthetic detergents for home laundering”.
- Lee, C.Y., Kim, C.H., Choi, K.M., Park, C.Y., and Kweon, O.C. (2003) Development of a Novel System for Measuring Sizing Degree Based on Contact Angle (1), *Journal of Korea TAPPI*, Vol. 35 No. 3, pp. 46.
- National Emergency Management (2012) National Emergency Management Affairs Act 2012-57 “Type approval of the extinguish-

ing agent and technical standards of product inspection”.
National Fire Protection Association (2005) NFPA 12A “Standard on Halon 1301 Fire Extinguishing Systems”
National Fire Protection Association (2011) NFPA 18 “Standard on Wetting Agents”
Paul C Hiemenz (1986) Principles of colloid and Surface Chemistry, pp. 287-352.

Williams, J.G. Morris, C.E.M., and Ennis, B.C. (1974) Liquid Flow through Aligned Fiber Beds, Polymer Engineering & Science, Vol. 14 No. 6, pp. 413-419.

◎ 논문접수일 : 2012년 11월 14일
◎ 심사의뢰일 : 2012년 11월 19일
◎ 심사완료일 : 2012년 11월 26일