

이미징 기반의 발수도 판별을 통한 측정 신뢰도 향상에 관한 연구

김성욱, 전상희, 박재우*
국방기술품질원 품질경영본부 전투물자센터

A Study of Enhancing Reliability for Determining the Resistance to Surface Wetting by Imaging Process

Sung-wuk Kim, Sang Hee Chun, Jae Woo Park*

Forces Support Systems Center, Quality Management Bureau, Defense Agency for Technology and Quality (DTaQ)

요약 본 연구의 목적은 직물의 발수도 판정 (KS K 0590) 시 이미징 기반의 판별을 통해서 측정 신뢰도를 향상하는 것으로 한다. 이를 수행하기 위하여 가장 먼저 우리는 Java 기반의 이미지 처리 프로그램을 통해서 발수도 판정 표준표를 정량화 하였다. 이때 모든 이미지의 처리과정은 미 국립보건원(NIH)에서 개발한 오픈 소프트웨어인 Image J를 사용하였다. 발수도 판정 표준표(standard spray test rating)에 대한 이미지 처리과정은 면적 측정 기법을 통해서 수행하였으며, 이를 통해서 정량화한 결과, 습윤 면적비 수치를 기반으로 하는 손쉬운 판정기준을 확보 할 수 있었다. 또한 실제 직물에 있어서 이미징 기반의 발수도 판정을 도입하기 위한 최적화 처리기법을 도출하기 위하여 형광물질을 사용하였다. 형광 이미지를 도입하여 문턱값 (Threshold) 조절과 2치이미지 (Binary Image) 변환 등의 과정을 통해서 발수도 판정을 위한 데이터 처리과정을 진행하였다. 본 연구의 결과물은 향후 직물의 발수도 판정 (KS K 0590)에 있어서 기존의 정성적인 분석법에서 탈피하여 정량적인 측정 신뢰도 향상을 위한 방안으로 적용할 수 있으리라 판단된다.

Abstract The purpose of this study was to propose useful suggestions for enhancing reliability to determine the resistance against surface wetting, KS K 0590, by an imaging process. We validated the standard spray test rating chart for determining quantification standard using JAVA script-based imaging process program. All of the acquired images were processed with the image software, Image J (NIH, Nethesda, MD, USA). The study results are as follows. We established the surface area measurement-based quantitative criteria for determining resistance to surface wetting. The standard spray test rating chart was converted into a numerical standard which leads easy-to-determine ratings. We also validated the procedure for imaging treatment by analyzing quantitative data. We introduced the fluorescence image for determining ratings by enabling threshold settings and binary image conversion as an optimal imaging process. It is expected that imaging-based determination for resistant to surface wetting will serve as an accurate and reliable method for KS K 0590.

Keywords : Imaging Process, KS K 0590, Quantification, Resistance to Surface Wetting, Spray Test

1. 서론

최근 스포츠, 레저활동이 증가하며 아웃도어 의류 등에 적용하는 투습방수 소재의 사용이 크게 증대되었으

며, 극한 환경에서 작전을 수행하기 위한 군용 섬유제품에도 투습방수 소재가 다양하게 적용되고 있다. 투습방수 소재는 외부로부터 물이 침투하는 것을 막아 비나 눈에 젖지 않음과 동시에 착용자 내부에서 발생하는 땀이

*Corresponding Author : Jae Woo Park (Defense Agency for Technology and Quality, DTaQ)

Tel: +82-2-961-1503 email: nickpjw@dtaq.re.kr

Received March 9, 2017

Revised (1st May 29, 2017, 2nd July 6, 2017)

Accepted July 7, 2017

Published July 31, 2017

나 수증기를 투과시켜 체온조절을 도움으로써 쾌적감을 유지할 수 있도록 개발되어져 왔다. [1]

이러한 투습방수 소재는 투습성능과 방수성능의 상이한 성질을 동시에 충족시키기 위해 재질, 라미네이팅 방법 등에 따라 다양한 기능성 제품들이 개발되고 있으며, 제조방법에 따라 투습방수 소재의 물리적 성질의 차이가 확연하게 나타나기도 한다. 이러한 다양한 투습방수 제품들은 사용자의 용도에 적합한지 여부를 판단하기 위해 여러 가지 측면으로 평가되고 있다. [2,3]

가장 많이 사용하고 있는 투습방수 소재의 물리적 성능 평가방법은 크게 쾌적성과 방수성으로 분류할 수 있다. 쾌적성을 평가하기 위해 투습도 시험을 대표적으로 사용하고 있으며, 방수성은 발수도, 내수도 등으로 시험하여 평가하고 있다.

투습도는 투습방수 소재를 기준으로 수증기의 농도차에 따른 이동수준을 확인하는 시험방법으로 KS K 0594를 적용하고 있으며, 내수도는 외부에서 가하는 물의 압력에 따른 누수여부를 확인하는 것으로 KS K ISO 811 시험법을 적용하고 있다. 투습도와 내수도는 모두 시험결과치가 높을수록 투습성능 또는 방수성능이 우수하다고 판단할 수 있다.

발수도는 물의 침투에 대한 저항성을 의미하는 것으로 KS K 0590 직물의 발수도 시험방법:스프레이법을 적용하여 판별하고 있다. 스프레이법은 다른 방식에 비해서 간편하고 시험 조작이 단순하다는 장점이 있지만, 판정 표준표(standard spray test rating)와 육안으로 비교 후, 등급이나 점수로 판별하기 때문에 동일한 결과에 대해서 판정자 별로 서로 다른 등급을 내릴 수 있는 가능성을 항상 내포하고 있다. [4]

따라서 투습방수 소재의 성능평가에 있어서 투습도, 내수도와 같이 정량화된 수치를 기반으로 하지 않는 발수도의 객관적인 평가방법과 정량적 판정기준의 확립은 측정 신뢰도 향상을 위한 방안으로 적용 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 발수도 판정 시 이미지 기반의 판별을 통해서 기존의 정성적인 분석법에서 탈피하여 정량적인 분석을 기준으로 측정 신뢰도 향상을 위한 방안으로의 도입을 제안한다.

2. 본론

2.1 연구방법

2.1.1 재료 및 기구

본 연구에서 사용한 화학 관련 시약들은 Sigma Aldrich 사에서 구매하였으며, 이미지 획득에는 고해상도 디지털 일안 반사식(DSLR, Digital Single Lens Reflex) 카메라(K5 II S, Pentax)가 사용되었다. 획득한 이미지 처리에는 Image J 프로그램(NIH, USA) [5]이 사용되었다.

2.1.2 발수판정 표준표 정량화

발수 판정 표준표를 정량화하기 위해서 먼저 판정 표준 이미지를 관련 국내 외 규격(KS K 0950 [4], ISO 4920 [6], AATCC 22 [7], JIS L 1092 [8])의 전자배포본(PDF 파일)을 통하여 획득하였다. 획득된 이미지는 Image J 프로그램을 통해 문턱값(threshold) 조절과 2치 이미지(binary image) 생성으로 등급에 따른 면적 수치 비율을 정량화하였다.

2.1.3 형광이미지 정량화

발수도 판정을 위한 형광이미지 획득을 위해 형광물질은 FITC(Fluorescein isothiocyanate)를 사용하였으며, 용매로 증류수를 이용하여 0.01 mg/ml의 농도로 희석하여 사용하였다. FITC 형광을 여기(Excitation)시키기 위하여 LED 기반의 휴대용 자외선(UV) 조명(소비전력 5W)을 적용하였으며, 발광(Emission) 이미지는 암실에서 디지털 일안 반사식 카메라를 통해서 획득하였다. 획득된 이미지는 Image J 프로그램을 통해 이미지 형태(type) 변환, 문턱값(threshold) 조절, 2치 이미지(binary image) 생성과정 처리를 진행하였다.

2.1.4 접촉각 측정

형광 용액과 증류수의 접촉각(contact angle)은 친수성 및 소수성 표면에서 각각 비교 이미지를 획득하여 Image J 프로그램 내 플러그인을 통해서 측정하였다. 친수성 표면은 slide glass를 1분 동안 플라즈마 처리(Femto Science, Korea)한 것을 사용하였으며, 소수성 표면은 PDMS(polydimethylsiloxane) Sylgard 184의 oligomer와 curing agent를 질량비 10:1로 희석하여 95℃에서 제작한 것을 사용하였다. 표면에 형광용액과 증류수 10 μl를 각각의 표면에 위치한 후, 단면에서의 이미지를 획득하였다.

2.2 발수도 판정 표준표 정량화

2.2.1 이미지 분석

발수 판정 표준표 정량을 위해서 사용된 이미지는 국내의 관련 규격인 KS K 0950, ISO 4920, AATCC 22, JIS L 1092의 전자 배포본에서 추출하였다. (Table 1)

Table 1. Domestic and International standards for determination of resistance to surface wetting

Standard Number	Standard Title	Country
KS K 0590	Test method for resistance to surface wetting : Spray method	Korea
AATCC 22	Water repellent test	USA
JIS L 1092	Testing methods for water resistance to surface	Japan
ISO 4920	Determination of resistance to surface wetting(spray test)	ISO

국내 외 발수도 관련 규격에서 판정을 위한 표준표로 사용되는 것은 모두 동일하게 AATCC 22 내 “STANDARD SPRAY RATINGS”를 기준을 적용하고 있었으며, 이는 다음과 같았다. (Fig. 1)

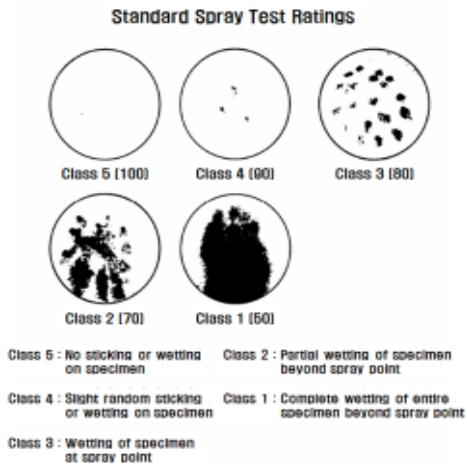
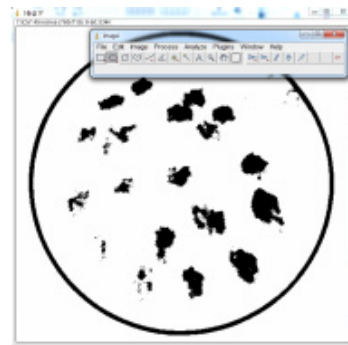
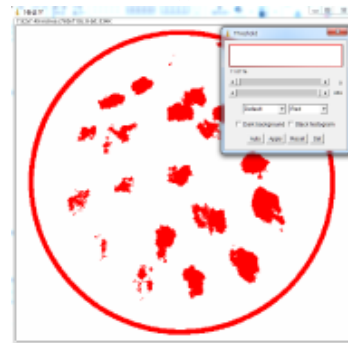


Fig. 1. The standard spray test rating chart in KS K 0590:2008

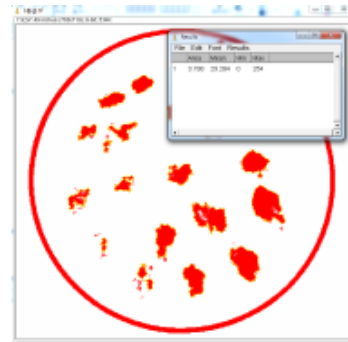
Fig. 1에서 각 등급 별 이미지를 사용하여 분석을 진행하였다. 먼저 이미지 처리과정에 대한 절차를 정립하였으며, 정립된 순서로는 ① 이미지 형태 변환 (Image type conversion) ② 이미지 문턱값 조정 (Threshold adjustment) ③ 2치 이미지 변환 (Binary image conversion) ④ 픽셀 분석 (pixel analysis) 의 순서로 처리하였다. (Fig. 2)



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. Imaging process for the standard spray test rating chart (Class III case)

(a) Image type conversion (b) Threshold adjustment (c) Binary image conversion and pixel analysis

①번 과정에서 최종 결과물로 적용된 형태는 8-bit gray scale 이미지였다. gray scale은 RGB (적녹청, Red-Green-Blue)로 저장된 이미지 정보를 흑백으로 단 순화하여 손쉬운 처리를 가능하게 하며, 8-bit는 픽셀 당 intensity value를 2의 8승 (2^8)으로 표현하기 때문에 0에서부터 255의 값을 갖게 된다. 0에서부터 254까지의 값은 습윤 부분(흑색)을 의미하며, 255는 비습윤 부분(백

색)을 의미하기 때문에 16비트(2^{16})나, 32비트(2^{32}) 이미지에 비해서 손쉬운 이미지 처리가 가능하다.

②번 과정은 변환된 이미지에서 2치 이미지 변환을 위한 중간과정으로서, 0에서부터 254 사이의 값을 갖는 픽셀을 구분하는 과정이다. 이를 조정 후 ③번 과정인 2치 이미지를 생성하여, 오직 0(흑, 습윤 부분)과 255(백, 비습윤 부분)의 정보만을 갖게 된다. 이를 통해서 오직 습윤된 부위만을 선택하여 ④번 과정을 거쳐 해당되는 픽셀의 면적을 계산하고, 이를 전체 면적과의 비율로 변환하였다.

2.2.2 발수도 판정 표준표 정량화

도출된 이미지 처리과정을 통해서 모든 등급별 이미지를 분석하여 습윤 부위의 pixel을 분석한 결과와 다음과 같았다. (Table 2)

Table 2. Image analysis of the standard spray test rating chart for all classes

Class(Score)	Wetted area pixel No.	Total pixel No.	Wetted area ratio (%)
Class 1(50)	23940	43850	54.60
Class 2(70)	14247		32.49
Class 3(80)	5319		12.13
Class 4(90)	350		0.80
Class 5(100)	8		0.02

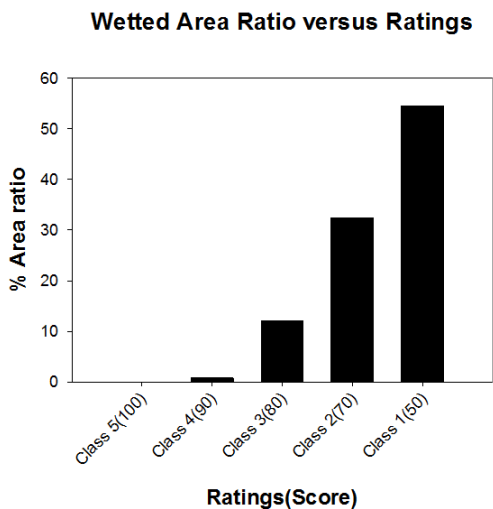


Fig. 3. Quantification of the standard spray test rating chart

Table 2의 정량화 결과를 각 등급별 습윤 면적비 그래프로 도시화한 결과는 Fig. 3와 같다. 1급(50)의 경우에는 습윤 면적부위가 54.6 %를 차지하고 있었으며, 2급(70)의 경우에는 32.5 %, 3급(80)은 12.1 % 였다. 4급(90)과 5급(100)의 경우 습윤 면적비에서는 타 등급 간 차이에 비해 미세한 차이(0.78 %)를 보여주어 정량화 판별 시 오류가 나타날 가능성이 존재하나, 규격에서 언급하고 있는 5급(100)의 조건이 “표면에 부착 또는 습윤이 없는 것(KS K 0590:2008)” 또는 “No water droplets clinging to the surface fibrils(AATCC Technical Manual 22-2005)”이므로 이는 완전한 발수의 경우에만 해당되기 때문에 사실상 0 %의 습윤면적에만 해당한다고 볼 수 있다. 따라서 본 결과를 토대로 판단하였을 때, 본 연구에서는 처음으로 발수도 판정을 위한 정량기준을 수립할 수 있었다.

2.3 이미지 기반 정량화 기법

2.3.1 가시광선 기반 이미지 정량화

우리가 평상시 획득하는 이미지(사진)는 가시광선 중에서 특정 물질에서 반사된 파장의 빛을 카메라의 CCD(Charge-coupled device) 또는 CMOS (complementary metal-oxide semiconductor)에서 전기신호로 변환하여 RGB(Red, Green, Blue) 정보로 표현한 것이다. 이렇게 획득된 이미지를 발수 판정 표준표 정량화에서 정립하였던 이미지 프로세스(Fig. 2)와 동일하게 진행하였을 때, 물방울에 의해 반사된 빛, 직물의 패턴에 따른 음영차 등에 대한 이유로 2치 이미지를 획득하는데 어려움이 발생하였다. (Fig. 4)

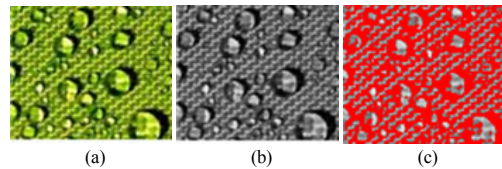


Fig. 4. Imaging process for visible light image
(a) Original image (b) Image type conversion
(c) Binary image conversion

따라서 이러한 점들은, 가시광선 기반의 이미지를 이용하여 발수도 측정을 위한 정량화 기법 적용이 어렵기 때문에, 이미지 획득 방식에 대한 전반적인 재조정이 필요하였다.

2.3.2 형광 기반 이미지 정량화

형광(Fluorescence)이란 특정한 파장의 빛(혹은 에너지)을 받아들여 에너지 준위의 변화에 따라 발생하는 빛을 의미하며, 이를 촬영한 이미지를 형광 이미지라고 한다. 형광 이미지의 장점은 가시광선과는 다르게 오직 특정 파장의 빛(emission light, λ_{em})만을 방출하기 때문에, Fig. 4에서 보여 줬던 간섭현상(반사, 음영 등)에 영향을 받지 않는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 형광 기반의 이미지 정량화 기법을 도입하여 가시광선 이미지 분석에서 발생하는 문제점을 해결하기로 하였다.

형광물질로 선정된 것은 흔히 실험실에서 표준 형광물질로 사용되어지는 FITC(Fluorescein isothiocyanate)였다. FITC는 본래 $\lambda_{ex} = 495 \text{ nm}$ / $\lambda_{em} = 519 \text{ nm}$ (excitation/emission)의 형광 특성을 갖고 있으나, 자외선 조명하에서도 충분한 형광(발광)이 발생하였다. (Fig. 5)

FITC가 포함된 판정액(물)을 적용하여 발수도 판별시 고려해야 할 사항으로는 순수한 물의 물리화학적 특성에 큰 영향을 끼치지 않아야 한다는 점이다. 그 중에서도 직물의 발수도에 직접적인 영향을 끼치는 인자로서의 소수성과 친수성은 순수한 물과 동등해야 한다. 따라서 이를 확인하기 위해서 순수한 물과 FITC가 포함된 판정액의 표면에 대한 접촉각(contact angle) 측정을 통해서 FITC 판정액의 적용 가능성을 확인해 보았다. (Fig. 6)

소수성(hydrophobic) 물질인 PDMS(polydimethylsiloxane) 표면에서의 접촉각 측정결과, 순수 물로 구성된 판정액과 FITC가 포함된 판정액에서 각각 94.09와 93.44를 보이는 것으로 확인되었다. 또한 친수성(hydrophilic) 표면으로 제공된 플라즈마 처리된 유리표면에서의 접촉각은 각각 51.38, 50.83을 보이고 있었다. 그리고 실제 방수원단 상에서의 접촉각은 각각 179.5°, 179.0°을 보이고 있었다. 이러한 결과는 FITC가 포함된 판정액은 순수한 물의 소수성과 친수성에 영향을 끼치지 않으며, 발수도 판별 시에도 섬유원단에 영향을 미치는 물리화학적 특성은 순수한 물과 큰 차이가 없음을 확인 할 수 있었기에, 해당 표준시험법에 충분히 사용 가능함을 확인 할 수 있었다.

이후 FITC가 포함된 판정액을 활용하여 형광이미지를 획득 후, 획득된 이미지를 발수 판정 표준표 정량화에 사용되던 이미지 프로세스(Fig. 2)와 동일하게 진행하였다. 형광이미지에 대한 각 프로세스 과정의 결과는 Fig. 7과 같았다. (c)에서 확인 할 수 있듯이, 완벽하

게 2치 이미지로 변환 할 수 있었으며, 습윤된 부분만 선택이 가능하였다.

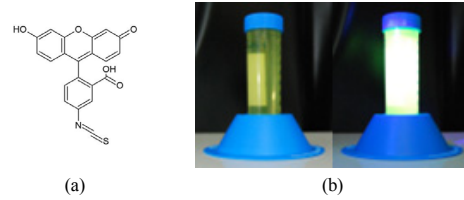


Fig. 5. Fluorescence properties of FITC
(a) Molecular structure of FITC (b) FITC under visible light (left) and UV light (right)

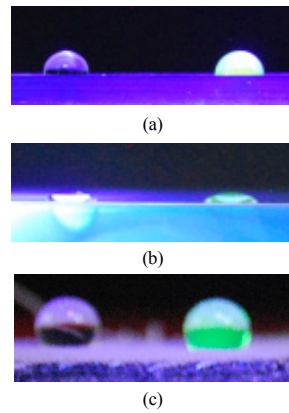


Fig. 6. Drop analysis for contact angle of distilled water (left) and FITC-contained distilled water on (a) hydrophobic, (b) hydrophilic surface and (c) waterproof fabric

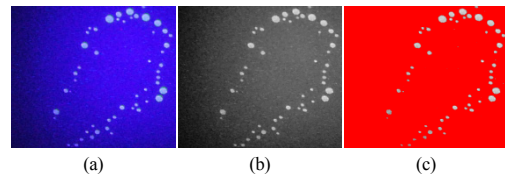


Fig. 7. Imaging process for FITC fluorescence image
(a) Acquired fluorescence image (b) Image type conversion (c) Binary image conversion

참고로 판정 표준표에서는 8-bit grays scale 이미지 내 0의 값이 흑색으로 습윤 부위를, 255의 값이 백색으로 비습윤 부위를 나타내고 있으나, 형광 이미지에서는 형광 판정액의 습윤 부위가 밝게 빛나는 특성이 있기 때문에 반대의 현상이 나타난다. 따라서 255의 값이 백색

으로 형광이 나타나는 습윤 부위를 의미한다.

이러한 실험결과를 토대로 방수원단과 일반 보온용 원단에 대하여 형광이미지 기반으로 원단들의 발수도에 대한 정량분석을 진행하였다. 해당원단 모두 FITC가 포함된 관정액을 사용하여 발수도 테스트를 진행하였으며, 동일 결과를 대상으로 각각 육안판정과 형광이미지 정량 판정을 진행하였다.

먼저 방수원단의 경우에는 용액의 흡수가 완전저지되어 일반 육안 판정에서 발수등급 5급(100)으로 판별이 되었으며, 형광이미지 분석법 또한 발수등급 5급에 해당하는 사항으로 식별되었다. (Fig. 8)

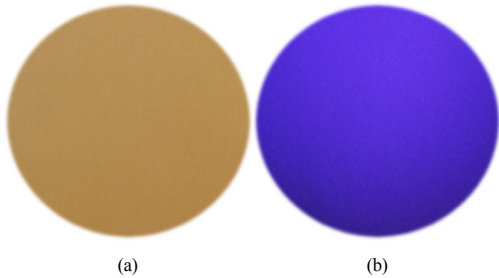


Fig. 8. Spray test result of waterproof fabric
(a) visible and (b) FITC fluorescence image

일반 보온용 원단의 경우에는 육안판정의 시 거의 발수등급 3급(70)에 가깝게 판정 할 수 있었으며, 형광이미지 기반의 판별의 경우 평균 면적비가 18.2 ± 2.4 %로서 정량화 기준으로는 발수등급 3급(면적비 약 12.1 %)과 2급(면적비 약 32.5 %)의 사이에 위치하는 것으로 판별되었다. (Fig. 9)

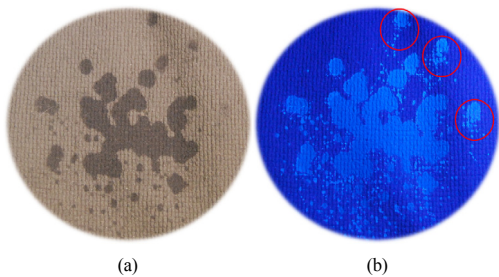


Fig. 9. Spray test result of warm fabric
(a) visible and (b) FITC fluorescence image

보온용 원단의 경우에는 가시광선 이미지와 비교 시 형광이미지에서 많은 면적이 습윤되어 있는 것을 확인할 수 있는데, (Fig. 9(b), 빨간원 표시부분) 이는 보온용 원단의 경우 그 두께로 인해서 표면에 얇게 습윤된 경우에는 습윤부위에서 완벽한 색깔 변화를 보여주지 않아서 육안으로는 잘 식별되지 않았지만, 형광이미지의 경우에는 표면에 얇게 습윤된 부위까지도 확연히 파악 할 수 있음을 확인 하였다. 이러한 점은 형광이미지 기반의 판정법이 육안 판정에 비해서 정량화의 장점을 갖고 있을 뿐 만 아니라, 미세 습윤 부위까지도 정확하게 파악 할 수 있다는 장점을 보여주고 있다.

본 연구의 결과를 통해서, 우리는 형광 기반의 이미지를 활용하여 가시광선 이미지에서는 불가능 하였던 발수도의 정량화 프로세스의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 이는 향후 발수도에 대한 객관적인 판정기준을 도입하는 기초 연구 자료로서 활용이 가능하리라 판단된다.

3. 결론

본 연구는 발수도 판정에 사용되는 KS K 0590 『직물의 발수도 시험방법:스프레이법』에 대한 측정 신뢰도 향상을 위하여 이미징 프로세스 기반의 정량화 프로세스에 대해서 고찰하였다.

기존의 판별법은 육안에 의한 판정으로부터 발생하는 판별자에 따른 판정오차의 발생 가능성을 내포하고 있기 때문에, 본 연구에서 제안하는 정량적 판별법을 적용하게 된다면, 객관적인 판정기준을 통해서 측정 신뢰도 향상이 가능하리라 판단된다. 이에 본 연구에서는 최초로 판정 표준표를 습윤 면적에 대한 정량비를 판별하였으며, 형광 이미지 획득을 통한 이미지 프로세스 과정 또한 제안하였다.

하지만 본 연구에서 제시하는 정량적 판정기준에서 습윤면적 수치를 이용하여 등급 판정에 적용하기 위해서는 좀 더 많은 연구가 필요 할 것으로 판단된다. 면적기반의 정량화 판정방식과 기존의 육안 판정 방식 간의 상관관계를 회귀분석하기 위해서는 다양한 섬유원단에서 반복적인 시험과 더불어서 실제 공인시험기관에서의 객관적인 판정결과를 획득하여 비교/검증하는 절차를 가져야 할 것으로 판단된다. 이러한 점들은 추후 공인시험기관 결과와의 비교를 위하여 분산분석, 측정 불확도 등의 통계적 기법을 활용하여 진행 할 예정이다.

향후 본 연구를 기초자료로 하여 후속 연구를 수행하게 된다면, 이미징 기반의 정량화 개념이 앞으로의 발수도 판별에 대한 측정 신뢰도 향상방법으로서 충분히 적용 될 수 있으리라 생각한다.

References

- [1] M. S. Kwon J. kwon, A study on the Dynamic Performance of Waterproof and Breathable Materials, *Journal of the Korean Society of Costume*, 58, 4, pp. 26-34, 2008.
- [2] H. S. Shim, The Evaluation of Water Vapor Transport and Waterproofness Properties of the Waterproof and Breathable Fabrics, *The Korean Society of Community Living Science*, 27, 2, pp. 295-304, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7856/kjcls.2016.27.2.295>
- [3] S. H. Moon, *Fiber Technology and Industry*, pp. 120-126, 2014.
- [4] Korea Agency for Technology and Standards, *KS K 0590:2008 Test methods for resistance to surface wetting : spray method*, 2008.
- [5] J. Pascau, J. M. M. Pérez, *Image Processing with Image J*, Packt Publication, 2003.
- [6] International Standard Organization, *ISO 4920:2012 Textile fabrics - Determination of resistance to surface wetting (spray test)*, 2012.
- [7] American Association of Textile Chemist and Colorist, *AATCC TM22-2014 Water repellency : spray test*, 2014.
- [8] Japanese Standard Association, *JIS L 1092:2009 Testing methods for water resistance of textiles*, 2009.

전 상 희(Sang Hee Chun)

[정회원]



- 2011년 2월 : 단국대학교 대학원
파이버시스템공학과 (공학석사)
- 2012년 6월 ~ 현재 : 국방기술품
질원 연구원

<관심분야>

섬유공학, 품질경영

박 재 우(Jae Woo Park)

[정회원]



- 2005년 2월 : 아주대학교 생명분자
공학부 (공학사)
- 2009년 8월 : 서울대학교 화학생물
공학부 (공학석사)
- 2015년 2월 : 서울대학교 멀티스케
일기계설계전공 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품
질원 선임연구원

<관심분야>

국방품질경영(화학/화생방 분야)

김 성 욱(Sung-Wuk Kim)

[정회원]



- 2014년 2월 : 부산대학교 유기소재
시스템공학과(학사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품
질원 연구원

<관심분야>

섬유공학, 품질공학