

영상처리를 이용한 항균성 시험방법 신뢰성 개선

엄원용^{1*}, 박재우¹, 김지훈¹, 강진우²
¹국방기술품질원, ²한국지역정보개발원

Enhancing Reliability of Antibacterial Test Methods using Image Processing

Wonyong Eom^{1*}, Jaewoo Park¹, Jihoon Kim¹, Jinwoo Kang²

¹Defense Agency for Technology and Quality

²Korea Local Information Research & Development Institute

요약 본 논문에서는 군에서 사용하는 텍스타일 재료에 대한 항균성 시험방법의 신뢰성 확보 방안을 제시하고자 하였다. 항균성은 일반적으로 세균의 증식을 억제하고 유해한 균을 제거하는 것을 말하며, 항균성을 측정하는 시험방법은 텍스타일 재료의 특성과 형태에 따라 다양한 방법이 있다. 항균성 시험방법인 KS K 0693 '텍스타일 재료의 항균성 시험방법'에 따르면, 콜로니 수를 측정할 때 시험자가 육안으로 세어 측정한다. 이때 시험자의 숙달수준에 따른 측정오차가 발생할 가능성이 크며 자동화되지 않아 비교적 시간이 오래 걸린다. 이러한 단점을 개선하기 위해 영상처리 기술을 적용하여 항균도를 측정하는 방법을 제안한다. 시험자료는 '방탄헬멧 부유대조립체 완충패드'의 외피소재를 대상으로 하고, 공인시험기관에서 발급된 시험 성적서에 첨부된 배양배지 영상을 사용하였다. 배양배지 영상을 전처리 한 후 분할 및 이진화 처리 후 영상 내 입자의 수를 세어 콜로니수를 확인하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법을 적용한 항균도 측정결과와 기존 시험방법의 측정결과를 비교한 결과, 제안하는 방법은 기존의 시험방법을 통한 항균성 측정결과 대비 0.9%p 정도의 차이를 보였다. 제안하는 방법은 측정자의 오차를 제거하여 신뢰성을 확보할 수 있으며 측정 시간이 짧다는 장점이 있다.

Abstract A method is proposed to secure the reliability of the antibacterial test method for textile materials used in the military. Antibacterial activity refers to the inhibition of bacterial growth and removal of harmful bacteria. Through KS K 0693 'Antibacterial Test Method for Textile Material', it is considered that there is a high possibility of error due to the human eye measurement. Therefore, the measurement reliability is improved by applying the image processing. As a result of the measurement, the proposed method showed a difference of about 0.9% compared with the results by conventional test method. The proposed method has the merits that the reliability can be secured by eliminating the error of the measurer, and the measurement time can be reduced.

Keywords : Antibacterial Test, Image Enhancement, Image Processing, Reliability, Textile Material

1. 서론

항균성(Antibacterial activity)은 일반적으로 정균(Bacteriostatical)과 살균(Bactericidal)을 포함하는 개념이다. 정균이란 세균의 발육과 증식을 억제하는 작용을 말하며, 살균이란 곰팡이를 비롯하여 바이러스, 세균을 모두 제거하여 사멸시키는 것을 말한다. 항균성을 측정

하는 시험방법은 해당 제품 또는 소재 특성에 따라 국가 표준으로 제정되어 있으며, 방탄헬멧 부유대조립체 완충재 패드 외피소재에 대한 항균도 측정은 KS K 0693 '텍스타일 재료의 항균성 시험방법'을 적용하고 있다. KS K 0693에서 항균성은 정균 감소율(%) 값으로 표현되는데, 항균제품과 대조 시험편에 시험균을 배양한 후 형성된 콜로니(생균) 수를 비교하여 평가하고 있다[1].

*Corresponding Author : Wonyong Eom(DTaQ)

Tel: +82-2-961-1542 email: ewony@dtaq.re.kr

Received September 4, 2017

Revised (1st September 18, 2017, 2nd October 12, 2017)

Accepted October 13, 2017

Published October 31, 2017

KS K 0693 시험방법에 따라 생균수를 측정하는 과정에서 콜로니의 수는 시험자가 육안으로 세어 측정한다. 따라서 시험자의 숙달된 정도 또는 판별능력에 따라 그 결과가 달라질 수 있는 문제점이 존재한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 영상처리(Image processing)를 이용한 생균수 측정방법을 제안한다. 영상처리란 디지털 영상을 수학적 표현 또는 신호처리 방법을 이용하여 변형된 영상 또는 영상과 관련된 파라미터 값을 얻는 과정을 의미한다[2]. 연산처리장치의 발달로 최근 영상 처리는 자동차 자율주행, 행동인식, 패턴인식, 영상잡음제거, 영상합성 등 다양한 사업 분야에서 응용되고 있다.

영상처리를 이용한 생균수 측정 및 판정은 기존 방법인 시험자의 육안 판정으로 발생할 수 있는 측정 불확도를 제거할 수 있다. 또한 영상처리를 통한 생균수 측정은 육안으로 확인하는 과정보다 빠른 속도로 측정이 가능하다는 장점이 있다.

본 논문의 2장에서 항균성 측정 방법에 대해 설명한 뒤 3장에서 제안하는 영상처리를 이용한 생균수 측정 방법을 소개한다. 4장에서는 실험 결과를 설명하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 항균성 측정 방법

2.1 항균성

일반적으로 미생물의 성장을 저지하거나 사멸하는 방법은 항균, 멸균, 살균, 소독, 정균 등의 방법이 있다. 살균은 미생물에 물리·화학적 자극을 가해 제거하는 개념이며, 멸균은 살균의 철저한 상태로 살아있는 모든 미생물을 제거하는 개념이다. 소독은 전염병 방지를 위해 병원균을 제거하는 것이며, 정균은 세균의 발육과 증식을 억제함을 말한다. 특히 항균은 멸균, 살균, 소독, 정균 등을 모두 포함하는 개념이다[3-6].

2.2 항균성 시험방법

항균성을 측정하는 시험방법은 텍스타일 재료의 특성과 형태에 따라 다양한 방법이 있다. 본 연구에서는 현재 국내에서 사용 중인 방탄헬멧 부유대조립체 완충재 패드 외피소재를 연구재료로 선정하였다. 본 재료에 대한 항균도 측정은 KS K 0693 ‘텍스타일 재료의 항균성 시험

방법’을 적용한다.

KS K 0693 시험법은 텍스타일 재료의 항균 시험법을 제시할 뿐 텍스타일 재료가 갖는 세탁방법, 세탁횟수, 건조방법 등에 대한 조건은 제시하지 않는다. 관련 내용은 방탄헬멧 부유대조립체 국방규격 KDS 8470-4004에서 규정하고 있는 조건을 반영하여 시행하였으며, 세부 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. The conditions of washing, washing times and drying method using in antibacterial test[7]

Total weight (Kg)	Temp (°C)	cycle time (min)	Repeated washing	Drying method
2±0.1	40±3	12	10	Flat dry

washing-drying : 1 cycle

Table 1의 조건으로 대조 시험편을 처리하고, 대조 시험편의 생균수를 측정한다. 최종 시험결과는 KS K 0693에 따라 정균 감소율로 표기하게 되는데, 정균 감소율 BR 은 Eq.1 과 같이 정의한다.

$$BR = \frac{M_b - M_c}{M_b} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

여기서 M_b 는 대조 시험편의 18시간 배양 후의 생균수를 뜻하며, M_c 는 시험편의 18시간 배양 후의 생균수를 의미한다. 이때 생균수 M 은 Eq.2 와 같이 정의한다.

$$M = NC \times f \times 20 \quad (\text{Eq.2})$$

여기서 NC 는 페트리 접시에 배양된 균주의 수인 콜로니수를 의미하며, f 는 균주를 배양할 때 배양배지에 섞어 희석하는 비율인 희석배수이다. 20은 상수값으로 추출용 생리 식염수의 양으로 적용된다.

KS K 0693의 8.9항에 따르면 18시간 배양 후 생성된 콜로니를 육안으로 직접 계수 후 기록하도록 명시되어 있다. 즉 Eq.2의 콜로니수 NC 를 시험자가 육안으로 확인하는 것이다. 이를 이용해 최종적인 정균감소율 BR 을 측정한다. 따라서 육안확인 과정이 시험자에 따라 다른 결과를 가질 수 있고, 이를 통해 정균감소율이 다르게 측정될 수 있다. 또한 육안확인 시간이 걸리기 때문에 기계적인 방법에 비해 측정시간이 오래 걸리는 단점이 있

다. 이에 본 논문에서는 NC를 영상 처리를 이용하여 계수하는 방법을 제안한다.

3. 제안하는 방법

3.1 제안방법의 구성

본 논문에서 제안하는 방법의 구성도는 그림1과 같다. 시험 영상이 입력되면 먼저 영상을 흑백영상으로 변환하는 전처리 작업을 한다. 이후 생균수 측정에 사용되는 부분을 분할(Segmentation)한다. 그 후 특정한 임계값을 기준으로 영상을 이진화 한다. 마지막으로 이진화한 영상에서 입자의 숫자를 계수하여 입력된 시험영상의 생균수 NC를 측정한다.

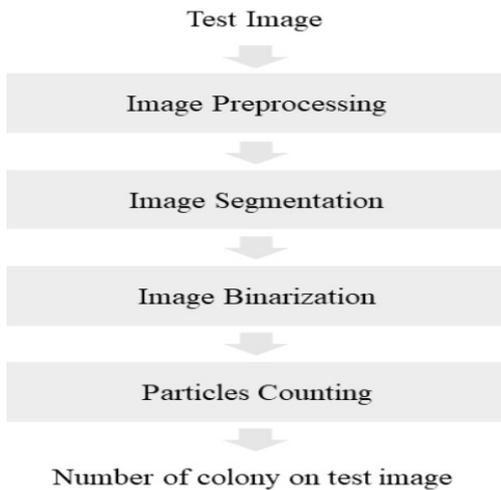


Fig. 1. Diagram of proposed method

3.2 제안하는 측정 방법

3.2.1 영상 전처리(Preprocessing)

원본 영상은 RGB색상공간을 사용하는 영상이다. 영상을 단순화하기 위해 원본 영상을 흑백 영상으로 변환하는 전처리 처리를 한다. 전처리한 영상의 명암값은 2의 8제곱으로 0에서부터 255까지의 값을 갖는다. Fig.2의 (a)원본 영상을 전처리 하여 (b)흑백 영상을 획득하였다.

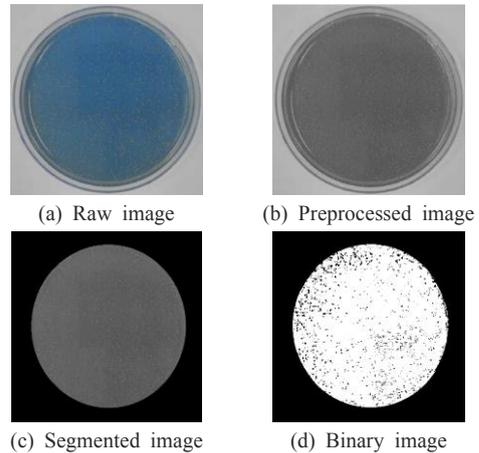


Fig. 2. The example image of each process of the proposed method

3.2.2 영상 분할(Segmentation)

생균수 측정시 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 흑백 영상에 대하여 배양 배지 외곽의 빛이 반사되는 부분을 제거한다. 시험에서 사용한 영상을 분석한 결과, 영상의 가운데 지점에서 평균적으로 직경 360 픽셀(pixel)의 원을 기준으로 바깥쪽 영역의 데이터는 생균수 측정에 의미가 없는 것을 확인하였다. 이를 반영하여 전체영상에서 생균수 측정에 무의미한 외곽부분의 영역을 제거하여 영상 중심지점을 기준으로 직경 360픽셀의 원 내부 영상만을 분할하였다. 이러한 과정을 통해 Fig.2의 (b)흑백 영상으로부터 (c)의 분할된 영상을 획득하였다.

3.2.3 영상 이진화(binarization)

분할된 영상에 대하여 이진화(binarization) 작업을 수행한다. 이진화 작업은 각 픽셀이 정해진 문턱 값(threshold value)보다 큰 경우 1, 작은 경우 0을 할당하는 작업을 의미한다. 이진화 작업을 통해 생균이 배양된 부위와 배경을 더욱 명확하게 구분 할 수 있다. 하지만 문턱 값에 따라 생균이 배양된 부위가 배경으로 인식될 수 있는 위험이 존재하므로 적절한 문턱 값 설정이 중요하다.

본 연구에서는 흑백 영상의 히스토그램을 이용하여 문턱값을 설정하였다[8,9]. 영상 히스토그램에서 상위 1%값부터 15%값까지 1%간격으로 문턱값을 적용하여 휴리스틱(heuristic)한 방법을 통해 상위 5%값을 문턱값으로 적용했을 때 가장 좋은 결과를 보이는 것으로 확인

하였다. 영상 이진화를 통해 분할된 영상 Fig.1 (c)로부터 이진영상 (d)를 획득하였다.

3.2.4 입자 계수(Particles counting)

마지막으로 이진영상에서 검은색으로 표시된 입자들을 계수하여 입력된 시험영상의 생균수 NC 를 확인한다. 이를 위해 명암값이 0으로 구성된 윤곽(contour)의 수량을 계수한다[8,10]. 픽셀의 명암값이 0인 픽셀들이 모여 있는 윤곽의 경우 해당 윤곽은 하나의 입자로 계수하였다.

4. 실험 결과

4.1 실험 자료

본 연구에서는 2014년부터 2015년까지 국방기술품질원에서 수행한 품질보증활동과정에서 획득한 배양 배지 영상을 사용 하였다. 분석에 사용된 영상은 공인시험기관에서 발급된 시험 성적서(Test report)에 첨부된 사진을 스캔하여 사용하였으며, 총 4개의 시험 성적서로부터 16개의 시험 영상을 확보하였다. 항균성 측정을 위해 사용된 시험균은 2종으로 균주 1 “*Staphylococcus aureus* ATCC No. 6538 (황색포도상구균)”, 균주 2 “*Klebsiella pneumoniae* ATCC No. 4352 (폐렴간균)”이다.

4.2 기존 항균도 결과

제안하는 방법을 이용한 항균도 결과를 비교 및 분석하기 위해 기존 항균도 결과 값은 시험자가 계수하여 구한 항균도 결과를 기준으로 하였다. Table 2 는 기존 방

Table 2. The results of antibacterial measurement from certified testing organization

No.	M_b	M_c	Result(%)	Bacteria
1	2.0×10^6	1.7×10^4	99.2	1
2	2.0×10^7	1.0×10^4	99.9	2
3	2.0×10^6	6.8×10^2	99.9	1
4	2.1×10^7	3.3×10^3	99.9	2
5	2.2×10^6	<10	99.9	1
6	1.5×10^7	<10	99.9	2
7	2.0×10^6	3.2×10^3	99.8	1
8	1.3×10^7	1.3×10^5	99.0	2

* M_b : # of blind specimen bacteria after 18 hours incubation

* M_c : # of test specimen bacteria after 18 hours incubation

* Bacteria 1: *Staphylococcus aureus* ATCC No. 6538

* Bacteria 2: *Klebsiella pneumoniae* ATCC No. 4352

법으로 구한 항균도 결과이다. 생균수는 Eq.2 를 적용하여 콜로니 수에 희석배수와 식염수에 대한 상수 20을 곱한 값으로 계산되었으며, Eq.1 을 이용한 항균도 결과는 평균 99.7%로 나타났다.

4.2 제안하는 방법의 항균도 결과

제안하는 영상 처리 기법을 이용하여 각각의 시편에 대한 생균수 측정값과 그에 따른 항균도 분석 결과는 Table 3 와 같이 나타났다.

Table 3. The results of antibacterial measurement using proposed method

No.	M_b	M_c	Result(%)	Bacteria
1	1227	29	97.6	1
2	2053	2	99.9	2
3	868	6	99.3	1
4	1443	15	98.9	2
5	964	1	99.9	1
6	912	1	99.8	2
7	1354	31	97.7	1
8	1474	40	97.2	2

* M_b : # of blind specimen bacteria after 18 hours incubation

* M_c : # of test specimen bacteria after 18 hours incubation

* Bacteria 1: *Staphylococcus aureus* ATCC No. 6538

* Bacteria 2: *Klebsiella pneumoniae* ATCC No. 4352

실험 자료로 사용한 영상자료에는 Eq.2의 희석배수 f 를 제시하지 않고 있다. 따라서 제안하는 방법의 생균수 계산에서 Eq.2는 제한된다. 그러나 정균감소율 BR 은 생균수의 비율을 통해 계산되기 때문에 희석배수를 생략하고 계산하여도 문제되지 않는다.

4.3 항균도 결과 비교분석

Table 4 는 기존의 항균도 결과와 제안하는 방법을 통한 항균도 측정 결과를 시험 영상별로 비교한 결과이다. 그 결과 제안하는 방법을 통해 측정된 항균도가 평균 0.9% 낮게 측정되는 것을 확인하였다. 이는 영상처리 과정이 최적화 되지 않기에 발생한 것으로 보인다. 본 논문의 시험영상은 기존에 발행된 시험성적서에 첨부된 영상을 스캔하여 이용함에 따라 발생한 문제로 분석된다.

위와 같이 본 연구의 한계를 극복하기 위해 고해상도의 영상을 확보하거나 영상 촬영 시 생균의 경계면을 명확하게 할 수 있는 형광물질 등을 사용한 방법을 이용한다면 보다 정확한 항균도 측정이 가능할 것으로 기대된다. 이를 위해 향후 연구 시에는 관련 기관과 협의하여

보다 좋은 품질의 영상을 확보하여 비교 시험할 경우 더욱 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

Table 4. Comparison of antibacterial measurement results

No.	Test Report (%)	Image processing (%)	Difference (%p)
1	99.2	97.6	- 1.6
2	99.9	99.9	0
3	99.9	99.3	- 0.6
4	99.9	98.9	- 1.0
5	99.9	99.9	0
6	99.9	99.8	- 0.1
7	99.8	97.7	- 2.1
8	99.0	97.2	- 1.8
Avg	99.7	98.8	- 0.9

5. 결론

본 연구에서는 섬유제품 향균도 판정 시 포함하고 있는 측정 불확도를 극복하고, 판정 시간을 줄이기 위한 방안으로 영상 처리 기법을 활용하여 향균도를 측정하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 향균도 시험 대상을 방탄 헬멧 부유대조립체 완충패드의 외피소재로 선정하여 공인시험기관의 육안 검사 결과와 영상 처리를 통한 제안하는 방법의 결과를 비교, 분석하였다.

KS K 0693 ‘텍스타일 재료의 향균성 시험방법’은 생균수를 육안으로 측정하는데, 이는 측정자에 따라 휴먼 에러가 발생할 수 있으므로 이를 개선, 보완하기 위해 신뢰성 확보에 유리한 디지털 기기를 사용한 측정 방법을 적용하였다. 이를 통해 제안하는 방법의 향균도 결과가 공인시험기관에서 측정된 향균도 결과와 비교하여 0.9%p 정도 낮게 나타나는 것을 확인하였고, 영상처리를 이용한 향균도 측정이 유의하다는 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 고해상도 영상 확보, 영상 촬영 시 생균의 경계면 명확화, 영상 처리 알고리즘 고도화 등의 추가적인 연구를 통해 제안하는 방법의 측정 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] KS K 0693, “Test method for antibacterial activity of textile materials”, Korean Agency for Technology and Standards, pp.1-14, 2011.

[2] T. Acharya, A. K. Ray, “Image Processing - Principles and Applications”, Wiley InterScience, 2006

[3] Y. H. Yoon, S. H. Nam, J. C. Joo, H. S. Ahn, "Photocatalytic disinfection of indoor suspended microorganisms (Escherichia coli and Bacillus subtilis spore) with ultraviolet light", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 15, no. 2, pp. 1204-1210, 2014.
DOI: <http://www.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.2.1204>

[4] Z. D. Meng, K. Z., W. C. Oh, "Photocatalytic activity of Fe treated AC/TiO2 composites between visible light and UV light irradiation", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 11, no. 5, pp. 1760-1767, 2010.
DOI: <http://www.doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.5.1760>

[5] S. B. Park, S. C. Kwon, "Microbiological hazard analysis for HACCP system application to red pepper powder", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 16, no. 4, pp. 2602-2608, 2015.
DOI: <http://www.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.4.2602>

[6] S. B. Park, S. C. Kwon, "Microbiological hazard analysis for HACCP system application to fermented milk", Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, 16(1), pp. 438-444, 2015.
DOI: <http://www.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.438>

[7] KS K ISO 6330, Textiles-Domestic washing and drying procedures for textile testing, Korean Agency for Technology and Standards, pp. 1-24, 2011.

[8] M. D. Abramoff, P. J. Magalhaes, S. J. Ram, “Image processing with Image J”, Biophotonics international, vol. 11, no. 7, pp. 36-42, 2004.

[9] Y. Y. Kim, B. Y. Lee, J. S. Kim, J. K. Kim, “Quantitative Evaluation of Fiber Dispersion of the Fiber-Reinforced Cement Composites Using an Image Processing Technique”, Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, vol. 27, no. 2, pp. 148-156, 2007.

[10] I. G. Kim, S. Y. Lee, “A simple technique for sizing and counting spray drops using digital image processing”, Experimental thermal and fluid science, pp. 214-221, 1990.
DOI: [http://www.doi.org/10.1016/0894-1777\(90\)90089-P](http://www.doi.org/10.1016/0894-1777(90)90089-P)

엄 원 응(Wonyong Eom)

[정회원]



- 2009년 2월 : 충북대학교 전자공학전공(공학사)
- 2011년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
- 2011년 2월 ~ 2012년 11월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정수료
- 2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방품질경영, 영상처리, 신호처리

박 재 우(Jaewoo Park)

[정회원]



- 2005년 2월 : 아주대학교 생명분자공학부(공학사)
- 2009년 8월 : 서울대학교 화학생물공학부(공학석사)
- 2015년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부(공학박사)
- 2015년 3월 ~ 2015년 8월 : 정밀기계설계연구소 박사후연구원

• 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>
국방품질경영

김 지 훈(Jihoon Kim)

[정회원]



- 2013년 2월 : 숭실대학교 유기신소재·파이버 공학과(공학사)
- 2015년 2월 : 숭실대학교 유기신소재·파이버 공학과(공학석사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>
국방품질경영, 재료공학, 신소재공학

강 진 우(Jinwoo Kang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한국과학기술원 산업 및 시스템 공학과(공학사)
- 2013년 2월 : 한국과학기술원 산업 및 시스템 공학과(공학석사)
- 2012년 12월 ~ 2017년 5월 : 국방기술품질원 연구원
- 2017년 5월 ~ 현재 : 한국지역정보개발원 연구원

<관심분야>
데이터분석, 네트워크분석