

책의 위생적 유통관리를 위한 세정 소독 방법

김남용¹ · 안덕순¹ · 최영일² · 정용배² · 김정민² · 이동선^{1,*}

¹경남대학교 식품생명학과

²(주)쉬운기술

Cleaning and Decontamination Method of Books for Their Sanitary Circulation

Nam Yong Kim¹, Duck Soon An¹, Young Il Choi², Yong Bae Jung², Jung Min Kim² and Dong Sun Lee^{1,*}

¹Department of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University, Changwon, 631-701 Korea

²Schn Technology Inc., Changwon, 631-430 Korea

Abstract In order to find a sanitary logistic way to handle library books, papers and environmental sources contacting the books were tested in their microbial contamination load and methods to decontaminate the books were investigated. Generally bacterial load of inner book pages was very low, but increased when contaminated with liquid such as saliva. In contrast, their lateral ends showed much higher bacterial contamination presumably due to dry dust contamination on there. As operations to improve the sanitary book conditions, turbulent air blow was found to be workable for reducing dry dusty contamination and 280 nm ultra-violet (UV) light emitting diode (LED) was so for decontaminating wet surface contamination. Microbial inactivation by the UV LED could be realized with irradiation for more than 5 minutes at 2 cm distance. Air blow of 5.5 m/s for 0.5~1 minute could reduce the dusty contamination on a model book surface.

Keywords Book, Microbial contamination, Logistics, Cleaning, UV LED, Air washing

서 론

도서관에 보관되어 대여되는 책은 여러 사용자에게 의하여 접촉되므로 표면에서의 미생물적 오염가능성이 제기된다. 순환되는 대여와 보관의 과정에서 많은 사람의 손 접촉에 의하여 오염될 가능성이 있으며, 특히 어린이들이 읽는 아동도서의 경우는 이용 중 침과 같은 액체에 의하여 오염될 수도 있다. 이러한 책의 이용 관습에 따라 많은 도서관에서 책의 건식 세정과 소독에 관심을 갖게 되었으며, 근년에 책 소독기가 등장하여 판매되기도 한다.

이러한 현실에도 불구하고 책의 미생물 오염에 대해 발표된 정보를 찾기가 힘들고, 세척이나 소독 방법에 따른 미생물 제거 효과에 대한 보고나 자료가 발표되어 있지 않은 형

편이다. 다만 일부의 연구에서 도서관에 보관된 문서에서 세균과 곰팡이 오염이 있을 수 있음이 보고되었다¹⁻⁴⁾. 하지만 이러한 연구는 도서관 내 책 보관의 관점에서 생물적 변질의 관점에서 다룬 것으로 도서의 물류적 순환과 유통의 관점에서 그 위생성을 향상시키고자 시도한 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 반복적인 대여에 따른 책의 순환 유통에서 위생성을 향상시킬 수 있는 방법을 찾기 위하여 책의 오염정도를 실험적으로 측정 평가하고, 오염도를 감소시킬 수 있는 건식 세정 및 소독 방법에 대하여 연구하였다.

재료 및 방법

1. 보관 환경 및 책 관련 소재에서의 오염도 측정

책이 노출되는 여러 환경과 책과 연관되는 종이 표면의 미생물적 오염도를 측정하였다. 고정된 물체의 경우는 표면을 살균 거즈로 닦아서 멸균 펄톤수(0.05%) 50 mL와 혼합하고 이 용액 1 mL에 대해 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate(St. Paul, MN, USA)를 사용하여 30°C에서 3일간 배

*Corresponding Author : Dong Sun Lee

Department of Food Science and Biotechnology, Kyungnam University, 449 Woryeong-dong, Changwon 631-701, Korea
Tel : +82-55-249-2687, Fax : +82-505-999-2171
E-mail : dongsun@kyungnam.ac.kr

양시켜 콜로니 수(colony forming unit, CFU)를 측정하였다. 종이 시료의 경우에는 일정 면적의 시료를 멸균 펩톤수 50 mL에 담그고 1분간 shaking한 후 이 펩톤수 1 mL에 대해 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate를 사용하여 30°C에서 3일간 배양시켰다. 그리고 필요에 따라 책 내면의 책장(冊張, 낱장)에서의 1 cm²를 잘라서 Plate Count Agar (Difco Laboratories, Detroit, USA) 위에 얹어 놓아두고 30°C에서 3일간 배양하여 육안적으로 그 표면에서의 미생물 성장을 확인하기도 하였다.

그리고 책 시료 간의 미생물 오염도의 차이를 보기 위하여 비교적 조건이 비슷한 만화책을 여러 권 구해서 내부 책장 1 cm² 조각 10개씩을 20 mL 멸균 펩톤수(0.05%)에 담그어 vortexing한 다음 Petrifilm™ Aerobic Count Plate로 30°C에서 3일간 배양 후 호기성 세균수를 측정하여 CFU/cm²로 나타내었다.

책의 부위에 따른 오염도를 측정하였고, Fig. 1에서 책장 내표면(Fig. 1의 1부분)과 외부 옆끝면(Fig. 1의 2부분)에서 살균면봉으로 닦아서 이를 20 mL 멸균 펩톤수 20 mL로 희석하여 24시간 25°C에서 방치한 다음 이 희석용액 1 mL에 대해서 위에서와 같은 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate에 배양을 통하여 호기성 세균수를 측정하였다. 책의 내표면과 옆부분을 다르게 시료로 사용한 것은 이들 면에서의 오염의 형태가 다를 수 있는 때문이었다. 즉, 책 옆부분 면은 도서 진열시 먼지 퇴적 등에 의하여 주로 오염이 되는 반면에 내표면은 책을 읽고 사용하는 중에 손 등의 오염원에 의해 오염되는 것으로 생각된다.

2. LED에 의한 모델 책 표면에서의 미생물 사멸 효과 측정

미생물 오염된 책을 대표할 수 있는 모델 책 표면으로서 접촉제가 약하게 코팅된 1.5×7.5 cm 크기의 종이(Post-It™, 3M)에 분말형 청국장 미생물 종균제(웅심원자연과학식품, 경기 파주)를 가볍게 도포시켜 사용하였다. 모델 책 표면에 280 nm의 자외선(UV)을 내는 20 mA 출력의 LED(light emitting diode, 서울옵토디바이스, 경기 안산) 4개를 배치하여 거리와 시간 조건별로 조사한 다음 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate에서 배양하여 미생물 수를 측정하였다.

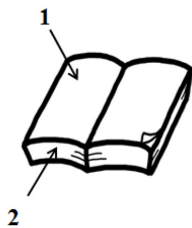


Fig. 1. Swabbing location for measuring microbial contamination. 1: inner page, 2: lateral end.

청국장 종균제는 *Bacillus* 균 포자를 많이 함유하고 있는 것으로 알려져 있다.

또 한편으로 습기가 있는 조건에서의 미생물 오염에 대한 UV LED의 효과를 확인하기 위하여, 청국장 분말을 20배의 수분과 혼합하여 Post-It 메모지(3M) 표면에 오염시킨 상태에서 조건에 따른 조사실험을 수행하였다.

3. 공기 와류에 의한 먼지 및 미생물의 제거 효과 측정

건조 먼지로 오염된 책 표면에 대해서 공기 흐름의 미생물 제거 억제 효과를 시험하기 위하여 모델 오염계를 사용하였다. 일정한 미생물 농도를 가진 분말 재료로서 측정이 비교적 쉬운 대상을 찾았으며, *Bacillus* 균 포자를 주로 함유하고 있는 청국장 분말을 택하였다. 따라서 청국장 분말은 세균 포자 오염의 대표적 경우로 볼 수 있으며, 곰팡이에 대한 부분은 포함되지 않는다. 본 연구에서 예비적으로 측정된 책 표면에서 곰팡이나 효모의 존재는 별로 없는 것으로 나타났다. 분말형 청국장 미생물 종균제(웅심원자연과학식품, 경기 파주)가 약하게 코팅된 종이(Post-It™, 3M, 크기 1.5×7.5 cm)를 일정 유속의 송풍 바람에 횡 방향으로 노출시킨 다음, 분말의 남은 무게와 그 위의 호기성 세균수를 측정하여 미생물 제거 효과를 측정하였다. 공기 와류의 풍속은 anemometer(모델 Testo 425, Testo Ag, Lenzkirch, Germany)에 의하여 측정하였다. 미생물의 측정을 위해서는 위에서와 동일하게 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 보관 환경 및 책 관련 소재에서의 오염도 측정

책 소독 및 세정에 대한 기본적 정보를 얻기 위하여 책과 관련된 소재 및 환경에서의 미생물 오염도를 측정하였다. 책의 표면에 해당되거나 오염될 수 있는 원인 소재에 대해서 호기성 총균수를 측정된 결과인 Fig. 2에서는 오염 가능 물체의 종류에 따라 편차가 매우 클 수 있음을 보여주었다. 대체적으로 확인될 수 있는 것은 책이나 노트의 표면에서의 오염도는 매우 낮으며, 먼지가 많은 환경에 노출되는 경우에 미생물적 오염이 많을 수 있음을 보여주고 있다(Fig. 2에서 sample 1, 2, 3). 즉, 책이나 서가에 퇴적되는 먼지가 미생물 오염도를 크게 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 그리고 침과 같이 오염성 액체와 접촉한 경우에 책 표면의 오염도가 약간은 증가될 수 있음을 보여주었다(Fig. 2의 sample 7). 도서관의 환경은 경우에 따라서 먼지 농도가 높을 수 있기 때문에⁵⁾ 이의 관리가 책의 미생물 오염부하의 관리에 중요할 수 있음을 시사하고 있다.

다음으로 몇 가지 책의 책장 낱장의 1 cm²를 Plate Count Agar 위에 얹어 놓아두고 그 표면에서의 미생물 성장을 확

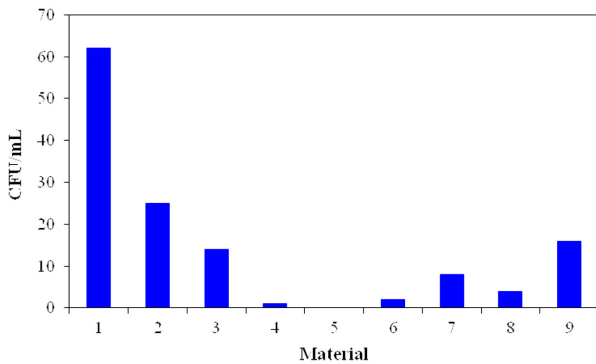


Fig. 2. Bacterial load of various papers and surfaces related to books. Sample material: 1-swabbed dust from computer monitor screen of 91 cm²; 2-swabbed dust from book shelf of 250 cm²; 3-swabbed dust from book shelf of 250 cm²; 4-notebook sheet (19×26 cm); 5-notebook sheet (19×26 cm); 6-notebook sheet touched with human hands (19×26 cm); 7-notebook sheet touched with saliva-contaminated human hands (19×26 cm); 8-copy paper (A4 size, 21×29.7 cm); 9-copy paper (A4 size, 21×29.7 cm).

인한 결과 Fig. 3과 같았다. 책장 표면 시료에 따라서 미생물 집락이 퍼져나오는 것도 있고, 그렇지 않는 것도 있었다. 전자의 경우는 미생물 오염도가 상당한 부분으로 진행된 경우이고, 후자의 경우는 미생물 오염도가 거의 없는 수준이다. 앞의 Fig. 2의 결과와 연결하여 생각해보면, 책장에서 미생물 오염도는 먼지나 생물적 오염원의 접촉여부에 따라서 많은 변이를 가지지 않은가 생각된다. 즉, 먼지 등으로 많이 오염되는 경우에는 미생물 오염이 많을 수 있지만, 먼지 오염 없이 잘 보관된 책에서는 미생물 오염도가 미미할 수 있음을 나타낸다.

다른 여러 번의 실험에서도 책의 종류나 상태가 달라짐에 따라 미생물 오염도의 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있었고 이는 앞의 Fig. 3의 결과와 동일한 경향이었다(구체

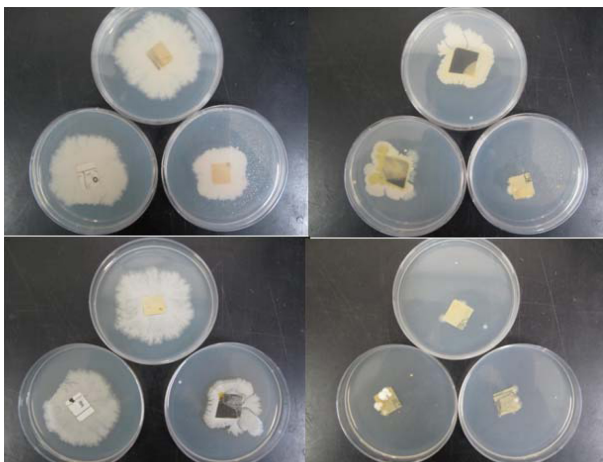


Fig. 3. Microbial outgrowth of book inner page (1×1 cm) located on Plate Count Agar medium.

적 결과는 생략). 이는 책의 위생성을 유지하기 위해서 그 보관과 취급이 매우 중요하다는 점을 시사하기도 한다. Shon⁶⁾은 도서의 위생적인 보관을 위한 환경조건에 대해서 논의한 바 있다. Table 1에서는 비슷한 모양의 만화책에서의 호기성 세균수를 측정된 결과를 보여주고 있다. Sample 4 책은 많은 오염도를 보여주었지만, 다른 책은 오염도가 매우 낮은 상태임을 보여 주었다. 이는 보관된 형편에 따라 책에서의 미생물 오염도가 매우 다양할 수 있음을 확인하였고, 일반적인 경우는 그 오염도가 크지는 않는 것으로 나타났다. Zyska⁴⁾와 Krakov 등²⁾에 의하면 책에는 여러 종류 미생물 오염이 가능하고 특히 곰팡이 오염이 책의 훼손을 가져올 수 있음이 지적된 바 있다.

미생물적 오염도가 책의 부위에 따라서 다를 수 있고, 이를 효과적으로 제거하는 방법을 찾기 위하여 책의 책장 내 표면(Fig. 1의 1)과 외부 옆끝면(Fig. 1의 2)에서 살균면봉으로 닦아서 미생물 수를 측정된 결과, 표 3에서 보듯이 일반적인 책에서 내부 책장 표면의 오염도는 극히 낮고, 외부 옆끝면에서 미생물 오염이 집중되는 것으로 알 수 있다. 그리고 옆끝면에서의 오염도는 책의 조건에 따라 매우 크게 변이가 심한 것으로 알 수 있다. 앞의 연구결과와 연관지어 생각하면, 먼지 등에 노출이 심한 책 옆끝면에서 미생물 오염이 심한 것으로 판단된다.

책의 미생물 오염도를 측정된 결과에 의하면, 일반적으로 책 내부 표면의 오염도는 매우 낮으며 부주의한 취급으로 침 등과 같은 액체에 의해서 오염되는 경우에 미생물 부하가 증가될 수 있으며 먼지가 축적되기 쉬운 옆끝면에서 미생물 부하가 많은 것으로 판단된다. 이러한 자료를 기반으로 책에서의 미생물 오염도를 줄이는 방안을 찾는 것이 필요할 것으로 생각되었다. 이에 본 연구에서는 자외선 LED에 의한 미생물 사멸과 함께 바람에 의한 미생물 포함 먼지의 제거를 가능한 방안으로서 그 가능성과 효과를 평가하였다. 도서관에서 서가에 꽂혀있는 책에 대해서 바람의 적용 가능성이 낮지만, 책을 세정기로 세정하려는 시도는 최근에 산업계에서 이루어지고 있다.

2. LED에 의한 모델 책 표면에서의 미생물 사멸 효과

모델 책오염 시스템으로서 분말형 미생물 중균제가 접착체의 도움으로 도포부착된 종이(Post-ItTM, 3M)에 대해서 파장 280 nm의 LED를 조사하였다. *Bacillus* 균 포자를 많이

Table 1. Bacterial contamination of different book samples

Sample number	Bacterial count (log(CFU/cm ²))
1	< 0.7
2	< 0.7
3	< 0.7
4	2.18±0.03

Table 2. Aerobic bacterial count (log (CFU/cm²)) on different surfaces of books

Book sample	Inner page (1 in Fig. 1)*	Lateral edge (2 in Fig. 1)*
1	< 0	2.77±0.01
2	< 0	2.18±0.06
3	< 0	7.15±0.00

*Refer to Fig. 1 for swabbing location.

함유하고 있는 건조 청국장 분말은 여러 조건의 UV LED 조사에 의하여 미생물의 사멸에는 효과를 보이지 못하였다 (Table 3). 청국장 분말을 사용한 모델 분말 오염 시스템에 미생물 사멸의 효과가 없는 것으로 나타난 점을 현실적인 책 소독과 세정에 적용하는 문제로 이해한다면, 먼지 등의 건조 분체 오염원에 의한 미생물 부하는 UV LED로 사멸하는 것은 불가능하거나 효과가 없는 것으로 결론내릴 수 있다. 따라서 이들 오염원으로부터의 미생물 부하 제거를 위해서는 공기 흐름 등에 의하여 먼지 자체를 제거하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

이제 습기가 있는 조건에서의 미생물 오염이 책장 표면에 있는 경우에 대해서 UV LED의 효과를 점검해보는 것이 필요한 것으로 생각되어, 청국장 분말을 20배의 수분과 혼합하여 Post-It 메모지(3M) 표면에 오염시킨 상태를 대상으로 실험을 수행하였다. 이는 앞의 Fig. 2에서 살펴본 바와 같이 종이 표면에 침 등의 액체로 오염될 때에 미생물 오염도가 증가되었으며, 이때에는 수분이 존재하는 조건에서 미생물 오염이 이루어지게 되고 이는 책의 위생성에 부정적인 영향을 주게 된다. 따라서 이러한 습한 조건에서 오염된 종이 표면에서의 살균 소독은 책의 위생성 향상에 도움을 줄 것으로 생각된다. Fig. 4에서 보듯이 습한 조건으로 오염된 미생물은 UV LED에 의하여 사멸될 수 있는 것으로 보인다. 그리고 이는 시간의 함수로 식 (1)로 표현될 수 있었다.

$$\log N = 3.649 + \frac{1}{\exp(0.170(t - 2.253))} \quad (1)$$

여기서 N은 미생물 부하로서 CFU/cm², t는 시간(분)을 나타낸다.

위의 Fig. 4 및 식 (1)로 나타나는 관계는 습한 상태로 오염된 조건에서 UV LED에 의한 미생물 사멸의 정도에 대한 정보를 제공할 수 있으며, 가능한 사멸의 효과를 얻기 위해서는 약 5분 정도 이상의 조사가 효과적일 것으로 판단된다.

3. 공기 와류에 의한 먼지 및 미생물의 제거 효과

앞에서 확인한 바와 같이 건조된 상태의 먼지와 연관된 미생물 오염은 자외선 LED에 의한 사멸이 불가능하여 공기 와류에 의한 먼지 자체의 제거를 시도하였다. 따라서 건조 상태에서 오염제거의 효과를 시험한 결과 Fig. 5와 같았다. 무게로 측정된 오염도 제거의 과정은 미생물 수로서 측정된 과정과 대체적으로 비슷한 경향을 보여주었다. 다만, 미생물수로 측정된 세정의 과정에서 시간에 따라 큰 변동성을 보여주었는데, 이는 미생물 측정의 오차와 변동이 큰 것에 기인한 것으로 생각된다. 30초~1분의 공기와류에 의하여 어

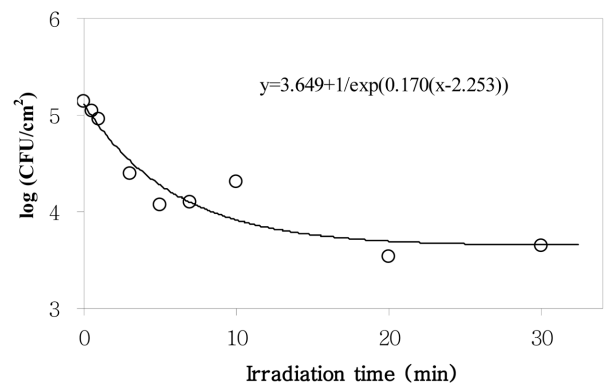


Fig. 4. Effect of UV LED irradiation on microbial population of cheonggukjang powder (paste) smeared on paper under wet condition. 0.1 mL of cheonggukjang powder suspension (1 g in 20 mL sterile peptone water (0.05%)) was smeared onto 11.25 cm² Post-ItTM paper. UV LED lamp was at 2 cm from the paper.

Table 3. Effect of 280 nm UV LED irradiation on dry cheonggukjang powder loaded on a paper

Experiment	Treatment condition (distance from LED and irradiation time)	Dry cheonggukjang powder loading on the paper surface (g/11.25 cm ²)	Aerobic bacterial count (log(CFU/cm ²))
1	Untreated control	0.030	5.75±0.01
	10 cm, 5 min	0.025	5.62±0.01
	10 cm, 10 min	0.031	5.68±0.00
2	Untreated control	0.051	6.09±0.00
	5 cm, 1 min	0.050	6.01±0.02
	2 cm, 1 min	0.050	6.14±0.01
3	Untreated control	0.050	6.04±0.03
	2 cm, 30 min	0.050	6.09±0.01

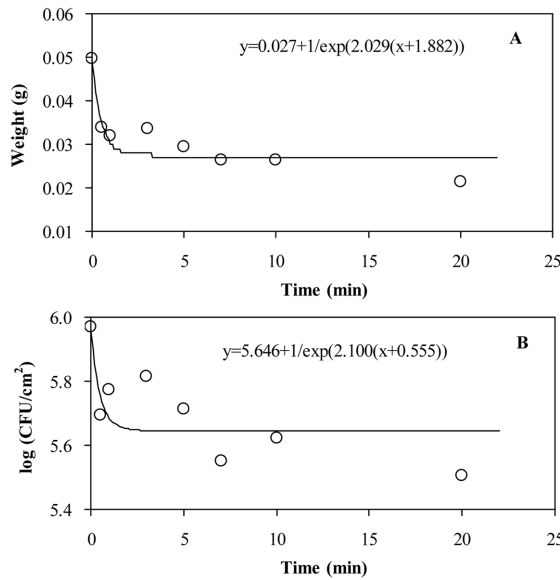


Fig. 5. Effect of turbulent air blow on the removal of cheonggukjang powder (A) and its microbial load (B) artificially contaminated on glued paper. Air speed was set at 5.5 m/s.

느 정도의 건조 먼지 등에 의한 미생물 오염을 제거할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 오염 부하 제거의 과정을 무게나 미생물수의 기준으로 나타내면 식 (2)와 식 (3)으로 표현할 수 있으며, 이는 적절한 변환에 의하여 건식 세정을 위한 와류 제어에 이용될 수 있을 수도 있을 것이다.

$$W = 0.027 + \frac{1}{\exp(2.029(t + 1.882))} \quad (2)$$

$$\log N = 5.646 + \frac{1}{\exp(2.100(t + 0.555))} \quad (3)$$

여기서 W는 분체 오염물질의 무게(g)이다.

그리고 와류의 적용시간을 30초로 고정하고 풍속을 다르게 하여 모델 오염 종이에 바람을 지나게 했을 때, Table 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 오염된 분말의 무게나 미생물 부하로 측정된 경우 모두에서 풍속 5.5 m/s의 경우가 현저히 우수한 제거 효과를 얻을 수 있었다. 따라서 공기 와류에 의한 건조 분체 오염부하를 저감시키는 조건으로는 풍속 5.5 m/s에서 30초~1분의 처리가 적절한 것으로 판단되었다.

Table 4. Effect of turbulent air speed on powdered microbial decontamination

Turbulent air speed (m/s)	Aerobic bacteria (log (CFU/cm ²))	Weight (g)
Initial	6.02±0.05	0.049±0.002
2.2	6.01±0.02	0.047±0.004
4.4	5.89±0.21	0.036±0.006
5.5	5.74±0.14	0.027±0.009

Air blow was maintained for 30 seconds.

요 약

도서관 등에서의 책의 위생적 유통과 관리를 위한 방안을 찾기 위하여 보관되는 책 및 관련된 환경 오염원에서의 미생물 오염도를 측정하였고, 미생물 부하를 저감시키는 방안 에 대하여 연구하였다. 일반적으로 책 내부 표면의 오염도는 매우 낮으며 부주의한 취급으로 침 등과 같은 액체에 의해서 오염되는 경우에 미생물 부하가 증가될 수 있었다. 그리고 책 내부 표면에 비해서 먼지가 축적되기 쉬운 옆끝면에서 미생물 오염부하가 높았다. 책에서의 미생물적 오염의 다양성을 고려할 때, 책의 청결도 유지를 위한 조작으로서는, 미생물 부하가 많은 먼지 등의 건조 분체 오염은 공기와류 장치를 사용하고, 습윤상태의 오염은 280 nm UV LED를 사용하는 것이 적절한 것으로 나타났다. UV LED에 의한 미생물 사멸에서는 2 cm 정도의 가까운 거리에서 약 5분 정도 이상의 조사가 효과적이었고, 공기 와류에 의한 건조 분체 오염부하를 저감시키는 조건으로는 풍속 5.5 m/s에서 30초~1분의 처리가 적절하였다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 지원 산학연공동기술개발사업에 의하여 이루어진 결과로서 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Manente, S., Micheluz, A., Ganzerla, R., Ravagnan, G. and Gambaro, A. 2012. Chemical and biological characterization of paper: A case study using a proposed methodological approach. *Int. Biodeter. Biodegrad.* 74: 99-108.
- Kraková, L., Chovanová, K., Selim, S.A., Simonovicová, A., Puskarová, A., Maková, A. and Pangallo, D. 2012. A multiphasic approach for investigation of the microbial diversity and its biodegradative abilities in historical paper and parchment documents. *Int. Biodeter. Biodegrad.* 70: 117-125.
- Canhoto, O., Pinzari, F., Fanelli, C. and Magan, N. 2004. Application of electronic nose technology for the detection of fungal contamination in library paper. *Int. Biodeter. Biodegrad.* 54: 303-309.
- Zyska, B. 1997. Fungi isolated from library materials: A review of the literature. *Int. Biodeter. Biodegrad.* 40: 43-51.
- Lee, J.-R., Chung, K.-S. and Kim, Y.-I. 2010. A study on the indoor air quality of university library and its improvement. In: 2010 Annual Meeting of Soc. Air-cond. Refri. Engineers Korea. pp. 46-52.
- Shon, H.-K. 2000. Investigation and improvement of the preservation environment for paper records. *J. Korean Library Inform. Sci. Soc.* 31: 213-241.