

## 저온 대기압 플라즈마의 실내공기 중 곰팡이 생장억제 효과

백남원\* · 허성민<sup>1</sup> · 이일영<sup>2</sup>

서울대학교 보건대학원, <sup>1</sup>포스코 에너지환경기획그룹, <sup>2</sup>(주)신영에어텍 공기과학연구소

## Inactivation of Indoor Airborne Fungi Using Cold Atmospheric Pressure Plasma

Namwon Paik\* · Sungmin Heo<sup>1</sup> · Ilyoung Lee<sup>2</sup>

*School of Public Health, Seoul National University*

*<sup>1</sup>Energy and Environmental Affairs Group, POSCO,*

*<sup>2</sup>Institute of Air Science, Shinyoung Airtech, Inc*

### ABSTRACT

**Objectives:** The objectives of this study were to investigate fungal contamination in a 31-year old university building in Seoul, Korea, and to study the inactivation of fungi using cold atmospheric pressure plasma(CAP).

**Methods:** To investigate the fungal contamination in a university building, air samples were collected from five locations in the building, including two study rooms, a storage room, a laboratory, and a basement. The sampling was performed in a dry season(February to April) and in a wet season(July). To study the inactivation efficacy of fungi by CAP, airborne fungal concentrations were measured before and after the operation of the CAP generator.

**Results:** Humidity was an important factor affecting fungal growth. The airborne fungal concentrations determined in the wet season(July) were significantly higher than those determined in the dry season(February to April). In the basement, the values determined in the dry and wet season were 319 and 3,403 CFU/m<sup>3</sup>, respectively. The inactivation efficiency of fungi by CAP was 83-90% over five to nine days of operation.

**Conclusions:** The university building was highly contaminated by airborne fungi, especially in summer. It is concluded that humidity is an important factor affecting fungal growth and CAP is a highly useful technique for inactivation of indoor airborne fungi.

**Key words:** Cold atmospheric pressure plasma, CAP, fungi, indoor air, humidity


### I. 서 론


물리학에서 플라즈마(plasma)는 고체, 액체 및 기체에 이어 제4의 물질이라 불린다. 저온 대기압 플라즈마(cold atmospheric pressure plasma, CAP)의 공기 정화 역할에 관해서는 19세기 후반 극소수의 학자들에 의하여 언급된 바 있었고, 1950년부터 1970년 사이에 소수 연구자들에 의하여 연구된 바 있었으나 그 연구 결과는 제대로 인정받지 못했다. 그 후 2000년대에 이


분야는 다시 각광을 받게 되었고, 현재 플라즈마의 오염 물질 제거, 악취제거, 미생물 제거, 및 먼지 제거 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Krueger & Reed, 1976; Daniels, 2002). 최근 플라즈마는 병원균 사멸 및 암세포 사멸 등의 효과가 인정되어 의학분야에서도 많은 연구가 진행되고 있다(Weltman & Woedtke, 2017).

실내 공기 중에는 미생물, 미세먼지 및 VOCs 등 여러 가지 오염물질이 존재하며 국내에서도 병원, 일반 가

\*Corresponding author: Namwon Paik, Tel: 010-7225-3650, E-mail: nwpaik@snu.ac.kr  
Seoul National University, School of Public Health, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Republic of Korea  
Received: May 10, 2019, Revised: June 25, 2019, Accepted: August 27, 2019

 Namwon Paik <https://orcid.org/0000-0001-5411-1871>

 Sungmin Heo <https://orcid.org/0000-0003-2814-6418>

 Ilyoung Lee <https://orcid.org/0000-0001-7190-1816>

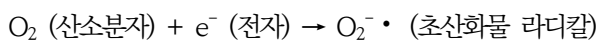
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

정 및 지하철 역사 등의 공기 중 미생물 농도가 보고되었다(Ha & Paik, 1991; Jung & Paik, 1998; Cho et al., 2006). 국립마산병원과 한양대학교 공동연구팀은 한국산 플라즈마 발생기를 이용하여 CAP의 결핵균 성장억제 효과를 평가하였고(Lee et al., 2018), Kim et al.(2018)은 한국산 플라즈마 발생기의 포도상구균 및 대장균 살균효과를 보고하였다.

이 연구에서 사용된 플라즈마 발생기는 유전체 장벽 방전(dielectric barrier discharges, DBD) 원리에 의하여 개발되었다. 여기서 전압을 적절히 증가시키면 공기는 파괴되어 다음과 같은 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)과 활성질소종(reactive nitrogen species, RNS)을 포함한 플라즈마가 발생한다. 이 물질들이 미생물의 성장 억제에 주도적인 역할을 한다(Graves, 2012; Misra et al., 2018).

| Reactive oxygen species                           | Reactive nitrogen species   |
|---|---|
| Superoxide radical(O <sub>2</sub> <sup>-•</sup> ) | Nitric oxide radical(NO•)<br>Nitric dioxide radical(NO <sub>2</sub> •)<br>Peroxynitrite(ONOO <sup>-</sup> ) |
| Hydrogen peroxide(H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) |   |
| Hydroxyl radical(•HO)                             |   |
| Singlet oxygen( <sup>1</sup> O <sub>2</sub> )     |   |
| Organic radicals(RO•, RO <sub>2</sub> •)          |   |

특히 산소가 한 개의 전자에 의하여 환원되어 강력한 활성을 가진 초산화물 라디칼(superoxide radical)이 생성된다(Daniels, 2002).



저온 대기압 플라즈마는 다음의 작용기전에 의하여 곰팡이의 성장을 억제한다(Hashizume et al., 2015; Lee et al, 2015). 즉 플라즈마의 ROS/RNS는 산화력이 강하여 곰팡이의 세포막 기능을 방해하고 세포막을 파괴하여 세포막의 투과성이 증가하고, 곰팡이 포자 내의 DNA 등 단백질을 파괴하여 곰팡이 세포가 사멸한다.

이 외에도 ROS와 RNS는 고체, 액체 및 가스 상태의 물질에 대하여 산화 환원반응을 일으켜 VOCs 등 화학 물질을 파괴하고 악취를 제거하며 미세먼지를 응집한다(Graves, 2012). 플라즈마 발생공정에서 부산물로 오존이 발생될 수 있으며 오존 발생은 억제해야 한다. 여러 공학자들에 의하여 오존발생을 억제하면서 플라즈마를 발생할 수 있는 기술이 개발되었다. 이 연구를 수행하는

동안 오존 농도를 계속하여 측정하였으며 공기 중 오존 농도는 0.03 ppm 이하였다.

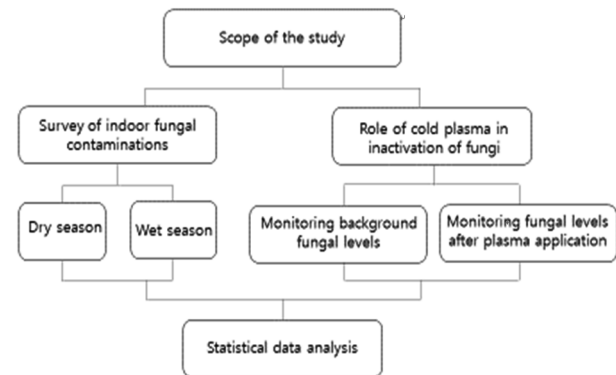
플라즈마의 인체에 대한 안전성에 대해서는 여러 학자들에 의하여 연구되고 있으며 현재까지 인체에 대한 세포독성, 돌연변이 또는 유전독성 등 유해성은 발견되지 않았다. 이는 인체의 방어기전인 산화환원(oxidation and reduction, redox)반응에 의한 것으로 설명된다(Wende K, 2016; Weltman & Woedtke, 2017).

이 연구의 목적은 국내 S대학의 노후한 건물을 대상으로 공기 중 곰팡이 오염실태를 파악하고 CAP의 곰팡이 성장억제효과를 평가하는 데 있다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 조사범위 및 개요

이 연구의 범위는 다음과 같이 2개 부분으로 되어 있다. 첫째, S대학 건물에 대한 곰팡이 오염실태를 장소별, 계절 별로 평가하고, 둘째, 이러한 곰팡이의 오염을 예방하고 제거할 수 있는 방법으로 저온 대기압 플라즈마를 적용하여 곰팡이에 대한 제거효율을 검사하였다.



### 2. 조사대상

이 조사는 2003년 2월부터 2003년 7월까지 서울시 소재 S대학의 31년 된 노후한 건물을 대상으로 실시하였으며 대학원 학생들이 이용하는 연구실 2개, 물품보관실, 실험실 및 지하공간 등 모두 5개 장소에서 실내 공기 중 곰팡이 농도를 측정하였다. 이 조사에서는 외부 공기가 곰팡이 농도에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 환기시설을 가동하지 않고 실시하였다. CAP의 곰팡이 제거효율을 평가하기 위해서는 비교적 공기 중 곰팡이 농도가 높은 지하공간을 대상으로 하였다.

3. 공기 중 곰팡이 농도 측정방법

공기 중 곰팡이를 채취할 때 사용되는 시료채취기 중 제작이 간편하고 실험 결과 곰팡이 추출효과가 80%이상인 필터 카세트법을 적용하였다. 직경 37 mm, 공극 0.4 μm polycarbonate membrane 필터(Nuclepore Corporation, USA)에 공기시료채취용 펌프(GilAir 5, Gilian, USA)를 사용하여 유량 3.0 L/min로 높이 1.5 m에서 6시간 동안 시료를 채취하였다. 펌프의 유량은 Gilibrator II Calibrator(Gilian, USA)로 보정하였다. 멸균된 peptone water를 사용하여 채취한 시료필터로부터 곰팡이를 추출한 다음 MEA(Malt extract agar) 배지에 접종하여 22°C에서 7일간 배양시킨 후 시료 당 곰팡이 집락수(colony forming units, CFU)를 계수하였다. 계수된 집락수를 공기 채취량으로 나누어 공기 중 곰팡이농도(CFU/m<sup>3</sup>)를 계산하였다(Palmgren et al., 1986; Wu et al., 2000 ).

4. 저온 대기압 플라즈마 발생기의 기본원리

플라즈마는 전기방전에 의하여 발생한다. 이 연구에서 사용한 플라즈마 발생기(Ionair Type 7-D-1/a, Ionair,

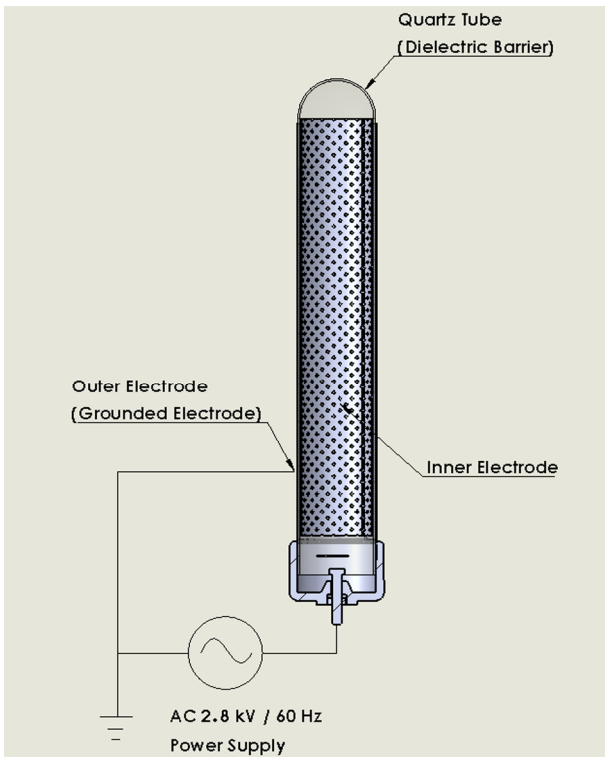


Figure 1. Diagram of a plasma generator using dielectric barrier discharge(DBD)

Switzerland)는 DBD방법을 적용한 기기로서 Figure 1에서 보는 바와 같다. 유전체로서는 석영유리 튜브를 사용하였고 2.8 kV/60 Hz의 전력을 공급하였다.

5. 저온 대기압 플라즈마의 곰팡이 제거효율 평가

CAP의 공기 중 곰팡이 제거효율을 검사하기 위하여 지하실에 플라즈마 발생기를 설치하고 플라즈마 발생기를 가동하기 전에 곰팡이의 배농도를 측정하고 가동 후 제5일부터 제9일까지 곰팡이 농도를 매일 측정하였다. 측정치의 정확도와 정밀도를 확인하기 위하여 각 지점에서 3개의 시료를 동시에 6시간 동안 채취하였다. CAP의 공기 중 곰팡이 제거효율은 다음 식으로 산출하였다.

$$RE(\%) = \frac{(C_0 - C_n)}{C_0} \times 100$$

여기서

RE: 제거효율, %

C<sub>0</sub>: CAP가동 전 곰팡이 농도, CFU/m<sup>3</sup>

C<sub>n</sub>: CAP가동 후 N시간 경과했을 때의 곰팡이 농도, CFU/m<sup>3</sup>

6. 통계처리

건물 내에서 측정된 공기 중 곰팡이 농도는 대수정규 분포를 하였으므로 기하평균과 기하표준편차를 계산하였다. 산업보건분야에서는 최근 기하평균보다 산술평균이 인체의 노출을 더 정확히 나타낸다고 주장하며 대수정규분포 자료에서 산술평균을 추정하는 방법을 제시하였다(Milz & Mulhausen, 2006). 이 연구에서는 여러 가지 방법 중 최소분산불편추정량(minimum variance unbiased estimate, MVUE) 방법을 적용하여 산술평균을 산출하고 ANOVA 계산기를 사용하여 ANOVA test 를 수행하였다(Soper, 2019).

III. 결과 및 고찰

1. 장소 별 계절 별 공기 중 곰팡이 농도

서울시에 위치한 S대학건물의 대학원생 연구실 2개, 물품보관실, 실험실 및 지하실 등 5개 장소에서 측정된 공기 중 곰팡이 농도는 Table 1과 같다. 측정치는 대수정규분포(lognormal distribution)를 보였으므로 기하평

**Table 1.** Geometric means and geometric standard deviations of airborne fungal concentrations by location and season

| Location   | Dry season |   |                  | Wet season |  |     | GM <sub>2</sub> /GM <sub>1</sub> |
|------------|------------|---|------------------|------------|--|-----|----------------------------------|
|            | N*         | GM <sub>1</sub> <sup>†</sup><br>(CFU/m <sup>3</sup> ) | GSD <sup>‡</sup> | N          | GM <sub>2</sub><br>(CFU/m <sup>3</sup> ) | GSD |                                  |
| Study Rm-1 | 11         | 42  | 1.8              | 5          | 198                                      | 1.2 | 4.7                              |
| Study Rm-2 | 4          | 239   | 1.3              | 3          | 1,037                                    | 2.1 | 4.3                              |
| Storage    | 4          | 164   | 1.4              | 4          | 395                                      | 1.2 | 2.4                              |
| Laboratory | 4          | 149   | 1.4              | 3          | 871                                      | 1.9 | 5.8                              |
| Basement   | 4          | 319   | 1.8              | 3          | 3,403                                    | 1.3 | 10.1                             |

\*N : Number of samples †GM : Geometric Mean ‡GSD : Geometric Standard Deviation

**Table 2.** Arithmetic means and standard deviations estimated from lognormal distribution data in Table 1

| Location   | Dry season |   | Wet season |                                    |
|------------|------------|---|------------|------------------------------------|
|            | N          | Mean <sub>1</sub> ±SD <sub>1</sub> <sup>*</sup> | N          | Mean <sub>2</sub> ±SD <sub>2</sub> |
| Study Rm-1 | 11         | 47±38   | 5          | 201±40                             |
| Study Rm-2 | 4          | 346±104   | 3          | 1,319±1,451                        |
| Storage    | 4          | 171±68  | 4          | 401±80                             |
| Laboratory | 4          | 155±62  | 3          | 1,040±936                          |
| Subtotal   | 23         | 139±125   | 15         | 646±804                            |
| Basement   | 4          | 368±294   | 3          | 3,525±1,058                        |
| Total      | 27         | 173±173   | 18         | 1,126±1,372                        |

\*Mean±SD : Arithmetic mean±Standard Deviation

균(geometric mean, GM)과 기하표준편차(geometric standard deviation, GSD)를 산출하였다. 독립변수로서 습도의 영향 및 측정장소에 따른 영향을 평가하기 위하여 Table 1의 자료를 산술평균치인 MVUE로 변환한 후(Table 2) ANOVA test를 수행하였다(Table 3). 공기 중 곰팡이 농도는 우기가 건기보다 유의하게 높았으며( $p < 0.001$ ), 또한 지하공간의 농도가 지상공간의 농도보다 유의하게 높았다( $p < 0.001$ ). 특히 7월의 지하공간 농도는 2-4월의 농도의 10배를 초과하였다( $p < 0.001$ ). 일반적으로 건물의 지하공간은 관리가 미흡하여 여름철에는 비가 창 틈새로 침투하는 경우가 많다. Pasanen et al.(1991)은 기온과 습도가 곰팡이 생장에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였으며, 그 결과 곰팡이는 10°C 미만의 온도에서도 자랄 수 있었고, 습도는 중요한 요인이며 공기 중 습도보다 바닥이나 벽면의 습도가 더욱 중요하다고 보고하였다. Cho et al.(2006)은 서울시 지하철역사 5곳을 대상으로 플랫폼에서 오전 8시부터 오후 7시까지 시간 별로 공기 중 곰팡이 농도를 측정하였다. 측정결과 전체평균은 1,023 CFU/m<sup>3</sup>였고 지

하철 승객이 많은 출퇴근시간에 곰팡이 농도가 높았다. 특히 아침 출근시간(오전 08:00-09:00)에는 평균 1,574 CFU/m<sup>3</sup>(306-3,684 CFU/m<sup>3</sup>)로 가장 높았다. 또한 Hwang et al.(2016)도 공기 중 곰팡이 농도와 습도는 유의한 상관관계가 있음을 보고하였다( $p < 0.001$ ). Chao et al.(2002)은 미국 Boston의 사무실 빌딩 4곳을 대상으로 공기 중 곰팡이 농도를 계절별로 측정하였다. 전체 측정치의 평균은 42 CFU/m<sup>3</sup>였고 최고값은 618 CFU/m<sup>3</sup>로서 서울시 대학건물에서 측정한 이 연구의 농도보다 낮았다. Chao et al.(2002)의 연구에서도 공기 중 곰팡이 농도는 습도와 유의한 양의 관계가 있었다.

곰팡이는 인체에 호흡기 증상, 알러지 및 천식 등을 유발하고 인체의 면역시스템에도 영향을 미친다. 세계보건기구(World Health Organization, WHO)는 실내 곰팡이에 대한 예방대책으로 습도를 낮출 것을 권고하였다(WHO, 2009). 실내 공기 중 곰팡이 농도에 대한 기준은 여러 연구자들에 의하여 제안되었으며 100 CFU/m<sup>3</sup> 미만부터 1,000 CFU/m<sup>3</sup> 등으로 다양하다(Rao et al., 1996). 공기 중 곰팡이에 대한 권고기준

**Table 3.** ANOVA results

| Source of Variations                     |                | SS         | Df | MS         | F     | p-value |
|--|----------------|------------|----|------------|-------|---------|
| Dry & wet                                | Between groups | 9,808,657  | 1  | 9,808,657  | 13.00 | <0.001  |
|  | Within groups  | 32,785,147 | 43 | 762,445    |       |         |
|  | Total          | 42,593,804 | 44 |            |       |         |
| Basement & other rooms during dry season | Between groups | 215,383    | 1  | 215,383    | 8.14  | <0.01   |
|  | Within groups  | 688,239    | 26 | 26,471     |       |         |
|  | Total          | 903,622    | 27 |            |       |         |
| Basement & other rooms during wet season | Between groups | 20,721,603 | 1  | 20,721,603 | 36.15 | <0.001  |
|  | Within groups  | 9,171,439  | 16 | 573,215    |       |         |
|  | Total          | 29,893,042 | 17 |            |       |         |

**Table 4.** Fungal concentrations by time of cold atmospheric plasma operations

| Plasma operation | Fungal concentration(CFU/m <sup>3</sup> )<br>Mean±SD | Removal rate (%) | Humidity (%) | Wet or dry |
|------------------|--|------------------|--------------|------------|
| Day 0            | 210.8±5.3  | 0                | 41.2         | Dry        |
| Day 5            | 36.8±10.2  | 83               | 43.9         |            |
| Day 6            | 25.7±24.1  | 88               | 36.4         |            |
| Day 8            | 29.3±24.1  | 86               | 36.4         |            |
| Day 9            | 21.7±40.2  | 90               | 42.2         |            |
| Day 7            | 47.8±19.7  | 77               | 75.7         | Wet        |

으로 우리나라 환경부는 의료기관, 어린이 집, 노인요양시설 및 산후 조리원 등에 대하여 500 CFU/m<sup>3</sup>를 권고하고 있다(MoE, 2017). 이 연구의 결과 국내 S대학건물의 곰팡이 농도는 건조한 2-4월에는 권고기준 미만이었으나 여름 장마철에는 대부분 권고기준을 초과하였다.

습도가 높은 실내에는 곰팡이 외에 곰팡이의 제2 대사산물인 mycotoxin이 생성된다. Mycotoxin은 인체와 동물에 질병을 일으키고 사망까지 초래하는 독성물질로서 건물의 바닥이나 벽에 붙어있는 먼지에서도 발견되었다. 이러한 먼지와 함께 mycotoxin은 공기 중으로 비산되어 인체에 흡입될 수 있다(Bloom, 2008). 곰팡이에 관한 연구와 함께 곰팡이 부산물인 mycotoxin에 관한 연구가 필요하다.

## 2. CAP이 곰팡이 생장에 미치는 영향

건물 지하실에서 CAP의 공기 중 곰팡이 생장억제 효과를 평가한 결과는 Table 4와 같다. 동일지점에서 3개 시료를 동시에 채취하였으며 각 지점의 측정치는 정규분포를 보였으므로 산술평균과 표준편차를 구하였다.

측정 당시 지하공간의 온도는 17-18°C였고 습도는 측정 제5일부터 제9일까지 40% 내외였으나 제7일에는 75.7%로서 비교적 높았다. 측정결과를 보면 CAP가동 후 제5일부터 제9일까지 곰팡이의 83%-90%가 제거되었다. 제7일에는 곰팡이 제거율이 75.7%로서 비교적 낮았으며 이는 제7일에 습도가 높아서 곰팡이 생장에 유리했기 때문이라 판단된다.

## IV. 결 론

서울시에 위치한 S대학건물을 대상으로 대학원생 연구실, 물품보관실, 실험실 및 지하공간 등의 공기 중 곰팡이 오염실태를 조사한 결과 건기보다 우기에 높았고(p<0.001) 지상 공간보다 지하공간에서 높았다(p<0.001). 여름철에는 공기 중 곰팡이 농도가 최고 3,403 CFU/m<sup>3</sup>였으며 대부분 환경부 권고기준(500 CFU/m<sup>3</sup>)을 초과하였다. 실내 곰팡이를 제거하는 방법으로 CAP을 적용한 결과 5일-9일 사이에 공기 중 곰팡이 농도는 83%-90% 제거되었다. 이로써 CAP은 실내 공기 중 곰팡이를 제거하는 데 매우 효과적인 방법으로 평가되었다.

## References

- Bloom E. Mycotoxins in Indoor Environments. Determination using mass spectrometry. Doctoral dissertation, Lund University, Sweden. 2008. p. 49–59
- Chao HJ, Schwartz J, Milton DK, Burge HA. Population and determinants of airborne fungi in large office buildings. *Environ Health Perspect* 2002;110(8): 777–782. DOI: 10.1289/ehp.02110777
- Cho JH, Min KH, Paik NW: Temporal variation of airborne fungi concentrations and related factors in subway stations in Seoul, Korea. *Int J Hyg Environ Health* 2006;209:249–255. DOI: 10.1016/j.ijheh.2005.10.001
- Daniels SL. On the ionization of air for removal of noxious effluvia (air ionization of indoor environments for control of volatile and particulate contaminants with nonthermal plasma generated by dielectric-barrier discharge). *IEEE Trans. Plasma Sci.* 2002;30(4): 1471–1481. DOI: 10.1109/TPS.2002.804211
- Graves DB. The emerging role of reactive oxygen and nitrogen species in redox biology and some implications for plasma applications to medicine and biology. *J Phys D:Appl Phys* 2012;45(26):263001 (42). DOI: 10.1088/0022-3727/45/26/263001
- Ha KC, Paik NW. Assessment of indoor and outdoor air quality through determination of microorganism. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1991;1(1):73–81
- Hashizume H, Ohta T, Takeda K, Ishikawa K, Hori M et al. Quantitative clarification of inactivation mechanism of *Penicillium digitatum* spores treated with neutral oxygen radical. *Jpn. J. Appl. Phys.* 2015;54(1S): 01AG05. <https://doi.org/10.7567/JJAP.54.01AG05>
- Hwang SH, Jang S, Park, WM, Park JB. Concentrations and identification of culturable airborne fungi in underground stations of the Seoul metro. *Environ Sci Pollut Res.* 2016;23(20): 20680–20686. DOI: 10.1007/s11356-016-7291-z
- Jung SH, Paik NW. A study on airborne microorganism in hospital. *Korean Ind Hyg Assoc J* 1998;8(2):231–241
- Kim K, Paik N, Kim Y, Yoo K. Bactericidal efficacy of non-thermal DBD plasma on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2018;28(1):61–79 2018: 28(1): 61–79. <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2018.28.1.61>
- Krueger AP, Reed EJ. Biological impact of small air ions: Despite a history of contention, there is evidence that small air ions can affect life processes. *Science* 1976;193:1209–1213
- Lee GJ, Sim GB, Choi EH, Kwon YW, Kim JY et al. Optical and structural properties of plasma-treated *Cordyceps bassiana* spores as studied by circular dichroism, absorption and fluorescence spectroscopy. *J. Appl. Phys.* 2015;117(2):023303. <https://doi.org/10.1063/1.4905194>
- Lee N, Park S, Kim J, Kim K, Kim D. Inactivation efficacy of a non-thermal atmospheric pressure plasma generator against *Mycobacterium tuberculosis*. *Korean J Healthc Assoc Infec Control Prev* 2018; 23(2):80–85. <https://doi.org/10.14192/kjhaicp.2018.23.2.80>
- Milz S, Mulhausen J. Descriptive statistics, inferential statistics, and goodness-of-fit. In: Ignacio JS, Bullock WH, editors. *A Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures*. 3<sup>rd</sup> ed. AIHA Press: 2006, p. 341–359.
- Ministry of Environment(MoE): Recommend criteria for indoor air quality(MoE Enforcement Rule Article No. 4); 2018.Table 3
- Misra NN, Yadav B, Roopesh MS, Jo C. Cold plasma for effective fungal and mycotoxin control in foods: Mechanisms, inactivation effects, and applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2019;18(1):106–120. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12398>
- National Institute of Environmental Research(NIER). Official method for determination of indoor air: Determination of total concentration of airborne molds in indoor by the sampling method of impaction (NIER Public Notice 2017; No. 2017-58: ES 02702.1) p.1–18
- Palmgren U, Ström G, Blomquist G, Malmberg P. Collection of airborne micro-organisms on nuclepore filters, estimation and analysis--CAMNEA method. *J Appl Bacteriol* 1986;61(5):401–406. DOI: 10.1111/j.1365-2672.1986.tb04303.x
- Pasanen AL, Kalliokoski P, Pasanen P, Jantunen MJ, Nevalainen A. Laboratory studies on the relationship between fungal growth and atmospheric temperature and humidity. *Environment International* 1991;17(4): 225–228. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(91\)90006-C](https://doi.org/10.1016/0160-4120(91)90006-C)
- Rao CY, Burge HA, Chang JC. Review of quantitative standards and guidelines for fungi in indoor air. *J Air Waste Manage Assoc* 1996;46(9):899–908. DOI: 10.1080/10473289.1996.10467526
- Soper DS. Analysis of variance (ANOVA) calculator -One-way ANOVA from summary data [Software]. 2019 [Cited 2019 July 5]. <http://www.danielsoper.com/statcalc>
- Weltman KD & Woedtke Th von. Plasma medicine -

Current state of research and medical application. Plasma Phys Control Fusion 2017;59:014031. DOI: 10.1088/0741-3335/59/1/014031

Wende K, Bekeschus S, Schmidt A, Jatsch L, Hasse S et al. Risk assessment of a cold argon plasma jet in respect to its mutagenicity. Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen 2016;798-799:48-54. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2016.02.003

World Health Organization (WHO): WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. WHO

Regional Office for Europe, Switzerland 2009. p. 1-228

Wu P, Su H, Ho H. A comparison of sampling media for environmental vial fungi collected in a hospital environment. Environmental Research 2000;82(3): 253-257. DOI: 10.1006/enrs.1999.4017

**<저자정보>**

백남원(명예교수), 허성민(차장), 이일영(기술이사)