

## 공조시스템에서 UV Ray의 조사 및 표면살균성능에 관한 실험적 연구

홍진관<sup>†</sup>

경원대학교 건축설비학과

### Experimental Study on the Irradiation and Surface Sterilization Effect of Ultra Violet Ray in Air Conditioning System

Jin-Kwan Hong<sup>†</sup>

Department of Building Equipment & System Engineering, KyungWon University, Sungnam 461-701, Korea

(Received October 30, 2003; revision received January 7, 2004)

**ABSTRACT:** Recently, the use of UVC lamps inside building air-conditioning system has been increasing in both medical and nonmedical buildings for the control of environmental microorganisms. In the present study, irradiance performance test of UVC lamp was carried out and surface sterilization effect of UV ray was investigated by using UV ray irradiation experimental chamber and pilot system. Experimental results show that the effective irradiance of UVC lamp is strongly dependent on air velocity and temperature with exception of relative humidity in air-conditioning system. An individual microbiological kill effectiveness experiment also shows that the fractional kill of two microbiological samples such as E. Coli and Legionella is roughly the same as the estimated fractional kill in the case of chamber test and pilot system test.

**Key words:** Ultra violet ray(자외선), Irradiation(조사), Surface sterilization effect(표면살균효과), Air conditioning system(공조시스템), Legionella(레지오넬라), E. Coli(대장균)

#### 1. 서 론

현대에는 대기오염과 같은 공기질의 악화로 호흡기 질환 등 각종 질병의 발병이 문제시 되고 있다. 이는 실내의 공기질에 대해서도 마찬가지이며, 특히 공기 중의 병원성 미생물로 인한 발병은 건강에 큰 불행을 일으킬 수 있는 위험성을 갖고 있다. 병원과 보건소 건물은 병원균의 부유량이 일반 건물에 비해 현저히 많은 실정으로서

2차 감염의 위험이 항상 존재한다. 또한 대형건물에서는 재실 인원수가 많아 사람으로부터 발생되는 병원균이 공조설비의 재순환 공기에 의해 급속히 건물 내의 재실자들에게 전염될 수 있다. 특히 환기가 불충분한 기밀공간에서 정체된 기류가 확산되지 못하고 집중화됨으로써 정체된 공기 중의 오염원으로 인하여 다양한 호흡기 질환(결핵, 천식, 인플루엔자 등)과 각종 알레르기 및 거주자의 면역 시스템을 약화시켜 건강상 위해요인으로 알려지고 있다. 이와 같은 실내공기 중의 병원성 미생물이나 실외로부터 유입되는 각종 오염원을 억제하여 쾌적하고 위생적인 실내공기질을 유지하기 위해서 고성능(HEPA) 필터가 적용

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-750-5306; fax: +82-31-750-5314

E-mail address: jkhong@mail.kyungwon.ac.kr

되나 더 크기가 작은 분진이나 미생물의 경우 완전한 제거가 어려우며 제거되지 않은 부유 미생물(곰팡이류, 박테리아, 바이러스)이 필터여재나 공조덕트, 코일 및 드레인 팬에서 증식하여 많은 문제를 일으키고 있다. 또한 현재 일반 건물에서 고성능 필터를 사용하여 병원균을 억제하기에는 경제적으로 유지·관리가 어려울 뿐만 아니라 송풍 동력의 손실이 증가하기 때문에 일반적인 분진 제거용 필터가 사용하고 있어 병원성 미생물의 억제에는 그 효능을 발휘하기가 어려운 점이 있는 것이 사실이다. 또한 병원의 수술실 또는 무균상태를 유지해야 하는 중환자 병동, Bio Clean Room, 식품·제약 공정 등의 공조설비에도 고성능 필터를 사용해야 하므로 시설투자 및 유지·관리에 부담이 되고 있으며 에너지절약적인 측면에서도 개선의 여지가 많은 것으로 알려져 있다.

이러한 점에서 볼 때 병원균 및 곰팡이를 억제하는 방법으로서 자외선을 이용하는 방법이 모색되어지고 있다. 자외선 살균은 모든 세균에 유효하며 조사받는 균에 내성을 주지 않으면서 살균효과는 직접 조사중에만 유효하여 일반적으로 물의 살균이나 식품, 식기 등의 소독에 사용되고 있으며 병원의 수술실이나 보진소, Bio Clean Room 등 특수시설에도 사용되고 있다.<sup>(1-5)</sup>

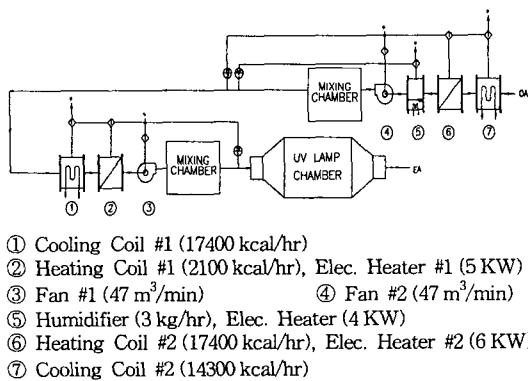
본 연구에서는 병원성 미생물에 의한 건물 내의 오염방지 및 재실자의 건강과 쾌적함을 위해 공기조화설비에 UVC 밴드에 해당하는 253.7 nm의 파장을 조사(Irradiation)하는 자외선 살균조사등(UVGI lamp)을 공조시스템에 적용하여 온도와 습도, 기류속도 변화에 따른 자외선 살균등의 기

본조사 특성을 실험적으로 파악하고자 하였다. 또한 이들 자료를 적용하여 공조시스템에서의 자외선 살균등의 표면살균성능을 파악함으로써 재실자의 건강을 위해 병원성 미생물에 의한 오염방지를 제어하는 공조시스템 설계를 위한 기본자료를 도출하고자 하였다.

## 2. UV light의 조사성능 실험

### 2.1 실험장치의 제작 및 실험수행

자외선 살균등을 건축물의 공조시스템에 적용하기 위해서는 먼저 적용하는 자외선 살균등의 특성을 파악하는 것이 중요하며, 이를 위해서 운전 조건에 해당하는 온도, 습도, 기류속도에서 적용하는 자외선 살균등의 조사성능의 파악이 우선 필요하다고 할 수 있다. 그 다음 단계로 자외선 조사량에 따른 각종 병원성 미생물의 사멸특성을 파악해야 한다. 이를 위해서 공기조화기 또는 덕트 내에서의 운전조건과 동일한 상태에 해당하는 자외선 살균등의 조사성능을 파악하기 위하여 온도, 습도, 기류속도를 임의로 조정할 수 있도록 냉동기와 가열기 및 가습기가 부착된 실험용 소형 공조기와 자외선 살균등을 설치할 수 있는 실험용 챔버를 제작하였다. Fig.1과 Fig.2는 각각 실험 조건을 구현하기 위해 제작된 조사성능 실험장치의 계통도와 실험용 챔버를 나타내고 있다. 온도 측정은 T Type의 열전대를 자외선 살균등이 설치된 실험용 챔버의 입구와 출구부분에 각각 2개소에 설치하고 DT3003(Data Transaction Board)



- ① Cooling Coil #1 (17400 kcal/hr)
- ② Heating Coil #1 (2100 kcal/hr), Elec. Heater #1 (5 KW)
- ③ Fan #1 (47 m<sup>3</sup>/min)                      ④ Fan #2 (47 m<sup>3</sup>/min)
- ⑤ Humidifier (3 kg/hr), Elec. Heater (4 KW)
- ⑥ Heating Coil #2 (17400 kcal/hr), Elec. Heater #2 (6 KW)
- ⑦ Cooling Coil #2 (14300 kcal/hr)

Fig. 1 Distribution diagram of UV ray irradiation experimental apparatus.

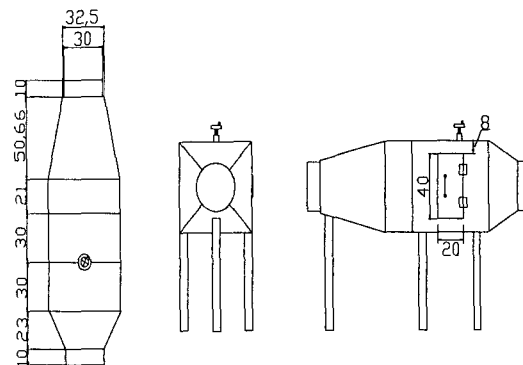


Fig. 2 Schematic drawing of UV ray irradiation experimental chamber.

를 사용하여 HP VEE Data Acquisition System을 이용하여 컴퓨터로 저장하였으며, 습도는 금속저항체 Type의 습도센서(GHD-30R, 20~95%RH)를 입출구에 각각 1개소에 설치하여 온도와 동일한 방법으로 컴퓨터에 저장처리하였다. 챔버 내의 기류를 고르게 하기 위하여 챔버 전면부에 천공판을 3단으로 설치하였고 천공판을 지나 허니콤을 설치하였다. 기류속도는 Thermistor type의 이동형 풍속측정계(V-01-AN, Sogo DENSHI)를 사용하여 챔버의 수직방향으로 이송하면서 챔버 내의 풍속을 측정하였는데 풍속을 측정한 결과 자외선 살균등의 상류부와 그 이하 하류의 측정점에서 풍속이 거의 일정하였다. 실험에 사용된 자외선 살균등은 G15T5/VH Type의 15W형 살균등(전원: AC 220/380 V, 적용온도범위: 10~60°C)을 사용하였고, 자외선의 조사강도를 측정하기 위하여 G-4 Type의 자외선 강도계(측정파장범위: 220~280 nm, 사용온도범위: 5~35°C)를 사용하였다. 또, 자외선 강도계의 수광 센서부를 제작한 실험용 챔버 내에 설치하고 하부로부터 이를 수직으로 이송하기 위하여 별도의 이송장치를 제작하였다.

이와 같이 제작된 실험장치를 이용하여 챔버 내의 온도와 습도 및 기류속도를 변화시키면서 UVGI 램프로부터 거리변화에 따른 자외선 강도를 측정하는 실험을 수행하였다. Fig. 2에서와 같이 챔버는 제작 편의상 스테인레스로 제작하였으며 챔버 내부를 관찰하기 위해서 두께 5mm의 투명 아크릴로 관측창을 설치하여 실험중에 챔버 내부의 관찰이 용이하도록 하였다.

## 2.2 조사성능실험 결과 및 고찰

자외선 살균등의 살균력을 건축물 내의 공조시스템에 활용하기 위해서는 첫째로 정지된 공간이 아닌 공조시스템 내부의 공기환경의 변화에 따른 자외선 조사성능인 자외선 강도변화를 파악하는 것이 무엇보다도 중요한 요소라 할 수 있다. 그 다음으로 측정된 자외선 강도에 따른 균의 사멸률과의 상관성을 규명하고 주어진 온도, 습도 및 기류조건 하에서 특정한 균을 사멸하기 위해서 요구되는 자외선 강도를 파악하는 데 있다고 할 수 있다. 이를 위해 먼저 공조시스템 내부의 온도, 습도 및 기류 등 공기환경의 변화에 따른 자외선 조사성능을 파악하기 위한 실험을 수행하였다.

Fig. 3은 제작된 자외선 조사강도 성능측정 설

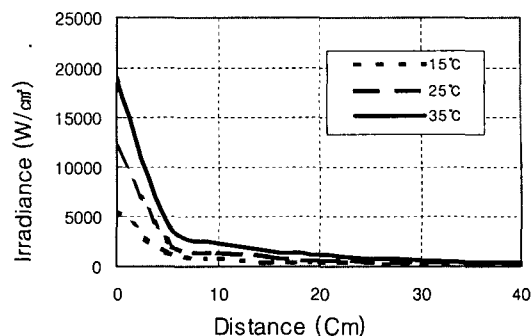


Fig. 3 Irradiance with respect to distance for values of air temperature.

험장치를 이용하여 UV 램프로 통과하는 공기의 온도를 15, 25, 35°C로 변화시킬 경우 UV 램프로부터 거리의 변화에 따라 측정된 자외선 조사강도를 나타내고 있다. 이때 풍속을 2.5 m/s로 고정하였으며, 습도는 80%를 유지하였다. 실험결과 주위의 공기온도 15°C에서는 25°C일 경우에 비해 약 47% 가량의 자외선 조사강도를 나타내었고, 35°C에 비해서는 약 29%의 자외선 조사강도를 보이며, 공기온도 25°C의 경우는 35°C일 경우에 비해 약 62% 가량의 자외선 출력을 나타내고 있어, 자외선 조사강도는 주위온도가 높을수록 증가하는 것으로 나타났다. 또한 UV 램프와 근접한 거리에서는 각각의 온도에 따른 자외선 조사강도가 많은 차이를 보이고 있으나 거리가 멀어질수록 그 차이가 감소함을 알 수 있다. 보통 주위온도가 설계온도보다 너무 높거나 낮으면 램프의 온도가 과열 또는 과냉되어 자외선의 조사강도 출력이 낮아지는 것으로 알려져 있다.<sup>(6)</sup>

본 실험에서는 2 m/s의 풍속으로 인해 램프로부터 손실되는 열량이 많으므로 온도가 낮은 경우는 램프 내의 수은의 증발이 적어져 출력이 감소되는 것으로 생각된다. 따라서 공조기 또는 덕트 내에 자외선 살균등을 적용하기 위해서는 기류로 인해 손실되는 열량과 주변기류의 온도를 감안하는 것이 설계상 중요할 것으로 생각된다.

Fig. 4는 주위공기온도는 20°C, 습도는 60%를 유지한 상태에서 풍속을 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 m/s로 각각 변화시킬 경우 속도에 따라 측정된 자외선 조사강도의 변화를 나타내고 있다.

측정결과 0 m/s일 때 자외선 조사강도가 최대 값을 가지며 풍속이 증가할수록 자외선 조사강도가 각 단계에서 10~20% 가량 저하되는 현상을

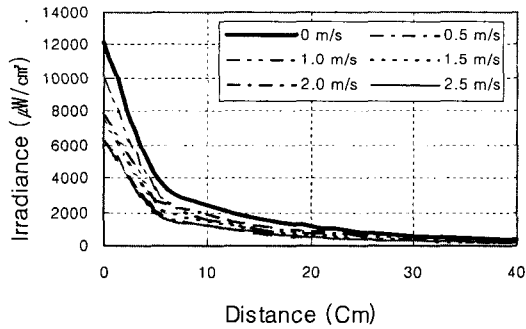


Fig. 4 Irradiance with respect to distance for values of air velocity.

나타내고 있다. 따라서 실온상태에서는 기류속도가 낮을수록 자외선 출력이 커짐을 알 수 있다. 또한 앞서 설명한 온도변화에 따른 조사강도 특성과 마찬가지로 근접한 거리에서는 각각의 경우간의 자외선 조사강도의 차가 큰 값을 가지나 거리가 멀어질수록 그 차이가 매우 감소함을 알 수 있다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 거리에 따른 자외선 조사강도는 거리의 증가에 따라 모두 감소하는 것으로 나타나고 있다. 일반적으로 거리에 따른 자외선 조사강도의 관계는 광학법칙에 준하는 것으로 알려져 있다.<sup>(4,6)</sup> 본 실험에서도 램프의 방전장 절반 이하의 근거리에서는 대략 거리에 반비례하는 사실을 확인할 수 있었다.

추가로 상대습도에 대한 영향을 조사하기 위하여 주위공기온도를 20℃로 풍속은 2.5 m/s로 유지한 상태에서 상대습도를 40, 50, 60, 70, 80%로 변화시키며 자외선 조사강도를 측정하였으나, 측정결과에서 보면 상대습도의 변화에 따른 자외선 조사강도의 변화는 거의 무시할 만한 수준인 것으로 나타나고 있다.<sup>(7)</sup> 일반적으로 상대습도 변화로 인한 자외선 살균등의 조사강도와는 일관된 상관성이 없는 것으로 알려져 있다. 그러나 상대습도와는 달리 절대습도의 경우에는 절대습도가 증가함에 따라 공기 중에서 과포화상태로 증가된 물분자가 UV Ray를 흡수하게 되어 에너지 전파를 감소시키는 결과를 초래하게 되어 절대습도의 증가에 따라 자외선 조사강도가 감소하는 것으로 보고되고 있다.<sup>(6)</sup>

### 3. UV light의 살균성능실험 및 고찰

자외선 조사량에 따른 살균성능을 파악하기 위

해서는 자외선 살균효과에 대한 기본적인 이해가 필요하다. 일반적으로 자외선에 의한 살균효과는 모든 세균에 유효하지만 균의 종류와 자외선에 대한 저항력에 따라 자외선 살균효과를 나타내는 여러 가지 수학적 모델이 제안되고 있다.<sup>(8)</sup> 일반적으로는 253.7 nm의 살균파장을 갖는 자외선의 살균효과는 조사강도  $E(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$  또는 조사량과 조사시간의 곱인 자외선의 조사량(Dose :  $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ )과 관계가 있다. 자외선을 조사했을 때 조사된 세균의 생존율은 조사량에 대해 거의 지수함수로 변화하고 아래의 식으로 표시할 수 있다.

$$S = \frac{P}{P_0} = e^{-\frac{Et}{Q}} \quad (1)$$

여기서,

- S : 살균의 생존율
- P : 조사 후의 세균수
- P<sub>0</sub> : 조사 전의 세균수
- E : 자외선의 조사강도( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
- t : 조사시간
- Q : 생존율 S를 1/e(36.8%)로 하기 위해 필요한 자외선 조사량( $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ )

식(1)에 의하면 동일한 균종에 대해서는 조사량 Q가 같으면 생존율 S는 같게 된다. 그러나, Q의 값이 동일 균종이라도 환경에 따라 일반적으로 다르다. 일반적으로 각종 세균을 살균하는데 필요한 자외선 조사량은 실험자나 균주, 균의 발아단계, 환경, 조작조건 등에 따라 조금씩 다른 수치가 보고되어 있다.<sup>(7)</sup> 본 실험에서는 문헌에 제시된 자료로부터 Q( $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ )의 값을 산정하고 식(1)을 적용하여 실험에 사용한 표본균에 대해 목표로 하는 사멸률에 대한 자외선 조사시간을 산정하였다. 따라서 자외선 조사 살균성능실험은 앞서 설명한 바와 같이 실험용 챔버에서 수행한 온도, 습도, 기류속도의 변화에 따라 측정된 자외선 조사강도에 대해 조사시간 변화에 따른 사멸률을 측정하는 방법으로 수행하였다. 살균성능실험에 사용된 병원성 미생물로는 대장균의 일종인 E. Coli와 Legionella pneumophila(레지오넬

라)균을 표본으로 실험을 수행하였다.

여러 가지 균들 중에서 E. Coli와 Legionella를 살균성능실험의 표본으로 선정한 것은 E. Coli의 경우 가장 광범위하게 노출될 수 있는 균이며 배양에 있어 배지를 구하기 쉽다는 점을 고려하였고, 특히 Legionella의 경우 건물 공조시스템의 냉각수의 일반적인 온도에서 빠르게 번식되며, 국내외에서 그 발병 예가 자주 있어 언제든지 나타날 수 있는 위험성을 가지고 있기 때문에 표본으로 선정하였다.

살균성능실험은 제작된 실험용 챔버에서의 살균성능 실험과 제작 설치된 Pilot System에서의 현장실험으로 나누어 수행하였다.

**3.1 챔버에서의 살균성능실험**

온도, 습도, 기류 등의 공기환경 변화에 따른 자외선 조사강도의 변화를 알기 위해 제작된 실험용 챔버를 이용하여 E. Coli와 Legionella를 표본으로 한 살균성능실험을 수행하였다. 살균성능실험이 진행될 실험용 챔버 내의 온도와 습도는 각각 25.2℃, 60%이며 풍속은 2.5 m/s로 유지하였다. 또한 측정점의 점에서의 자외선 조사강도는 약 340 μW/cm<sup>2</sup>에 해당되었다. 살균성능실험을 위한 E. Coli와 Legionella 대조균(Control)의 배양과 살균실험 후 사멸률을 알기 위한 실험된 표본의 배양은 J병원 임상병리실에 의뢰하여 진행하였다.

**3.1.1 E. Coli 표본의 살균성능실험**

E. Coli 표준균주의 Number는 ATCC25922, 배지는 Macconkey이며 균의 배양은 CO<sub>2</sub> 배양기에서 24시간 동안 배양하였다. 실험방법으로는 Spread

Table 1 E. Coli kill rate

Strain	Number of organisms inoculated	Irradiation time (sec)		
		6 (85%)	21 (99.9%)	28 (99.99%)
E. Coli	238 CFU	12*	0	0

\*No. of colonies grown on Macconkey plate.

plate 방법을 적용하여 균을 McFaland 0.5관의 탁도에 맞추어 단계적으로 희석한 후 238 CFU를 접종한 후 살균성능실험용 챔버에 넣어 85% 사멸률의 경우 약 6초, 99.9% 사멸률의 경우 약 21초, 99.99% 사멸률의 경우 약 28초 동안 조사하였다. 조사한 표본을 다시 CO<sub>2</sub> 배양기에서 24시간 동안 배양하여 colony count를 수행하였다. Fig.5는 자외선을 조사하지 않은 상태의 대조균의 표본을 보여주고 있으며, Fig.6~7은 각각 자외선을 6초와 21초 동안 조사한 후 colony count를 수행한 상태의 E. Coli 표본을 보여주고 있다. 또, Table 1은 Fig.5~7에서 수행한 E. Coli의 사

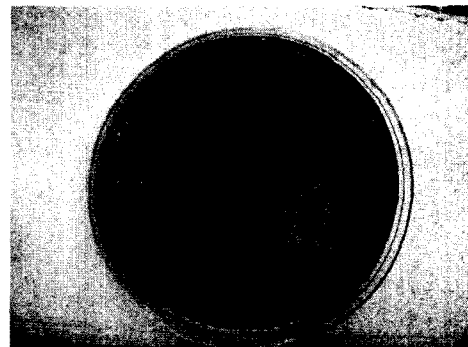


Fig. 6 E. Coli 12 CFU (85%, 6 s).

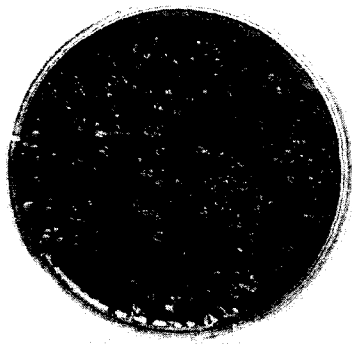


Fig. 5 E. Coli 238 CFU (control, 0 s).

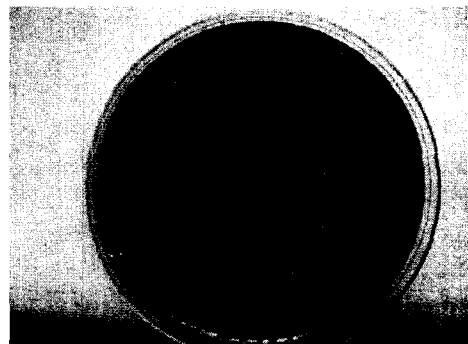


Fig. 7 E. Coli 0 CFU (99.9%, 21 s).



Fig. 8 Legionella 311 CFU (control, 0 s).

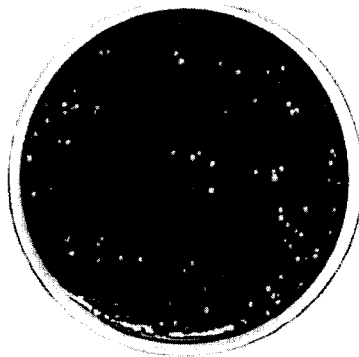


Fig. 9 Legionella 74 CFU (85%, 3.1 s).

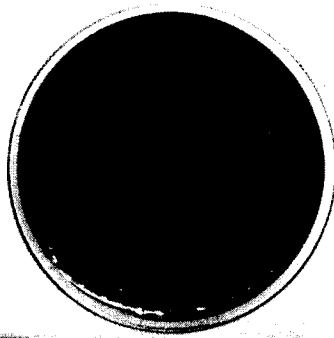


Fig. 10 Legionella 0 CFU (99.9%, 11.2 s).

Table 2 Legionella pneumophila kill rate

Strain	Number of organisms inoculated	Irradiation time (s)		
		3.1 (85%)	11.2 (99.9%)	15 (99.99%)
L. Pneumophila	311 CFU	74*	0	0

\* No. of colonies grown on BCYE plate.

멸률 실험결과를 나타내고 있다. Table 1에서 보는 바와 같이 85%의 사멸률을 목표로 6초 동안 조사할 경우 약 95%의 사멸률을 나타내고 있으며, 99.9%, 99.99% 사멸률을 목표로 하여 21초, 28초 동안 조사된 경우는 모두 사멸되고 있음을 알 수 있다.

### 3.1.2 Legionella 표본의 살균성능실험

Legionella의 표준균주의 Number는 ATCC33152, 배지는 BCYE-a이며 균의 배양은 CO<sub>2</sub> 배양기에서 72시간 동안 배양하였다. 실험방법으로는 Spread plate 방법을 적용하여 균을 McFaland 0.5판의 탁도에 맞추어 단계적으로 희석한 후 311 CFU를 접종한 후 살균성능실험용 챔버에 넣어 85% 사멸률의 경우 약 3.1초, 99.9% 사멸률의 경우 약 11.2초, 99.99% 사멸률의 경우 약 15초 동안 조사하였다. 조사한 표본을 다시 CO<sub>2</sub> 배양기에서 72시간 동안 배양하여 E. Coli와 같은 방법으로 colony count를 수행하였다. Fig. 8은 자외선을 조사하지 않은 경우 대조균의 표본을 보여주고 있으며, Fig. 9~10은 각각 자외선을 3.1초와 11.2초 동안 조사한 후 colony count를 수행한 상태의 Legionella 표본을 보여주고 있다. 또, Table 2는 Fig. 8~10에서 수행한 Legionella의 사멸률 실험결과를 나타내고 있다. Table 2에서 보는 바와 같이 Legionella의 경우 11.2초, 15초 동안 조사한 경우 모두 사멸되고 있음을 알 수 있으며, 85%의 사멸률을 목표로 3.1초 동안 조사할 경우 약 76%의 사멸률을 나타내고 있음을 알 수 있다.

### 3.2 Pilot System에서의 현장 살균성능실험

챔버에서의 살균성능실험과 병행하여 Pilot System에 대한 현장 살균성능실험을 수행하였다. 현장 살균성능실험은 A시 보건소의 공조기계실에 설치된 Pilot System에서 수행하였다. 현장 살균성능실험에서는 실제 공조시스템에서 문제를 발생시키고 있는 Legionella만을 대상표본으로 하였다. 실험에 사용한 Legionella 표본의 수는 85% 사멸률을 목표로 10개, 99.9% 사멸률을 목표로 10개 총 20개의 표본을 대상으로 하였다. 실험방법은 실험용 챔버에서와 동일하게 진행하였으며, 실험조건은 온도 25.6℃, 습도 60%이며 풍속은 2.5 m/s로 챔버에서의 조건과 거의 유사하게 설정하였다. 이때 사멸률 측정점에서의 자외선 조

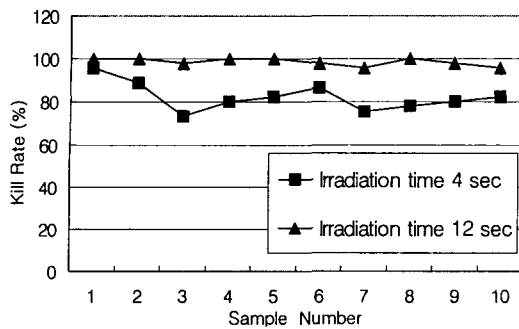


Fig. 11 Kill rate with respect to sample No. for values of irradiance time.

사강도는 약  $320 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 에 해당되었다.

현장 살균성능실험에서 사용한 *Legionella*에 대한 자외선 조사시간은 85% 사멸률의 경우 약 4초, 99.9% 사멸률에서 약 12초로 산정하였다. Fig. 11은 A시 보건소의 공조기계실에 설치된 Pilot System에서 수행한 현장 살균성능실험 결과를 나타내고 있다. 조사시간을 85% 사멸률에서 약 4초, 99.9% 사멸률에서 약 12초로 산정하여 현장 살균성능실험한 결과 실제의 평균 사멸률은 81% (■)와 98%(▲)로 산정된 조사시간에 대한 목표 사멸률은 비교적 잘 일치하고 있음을 최종적으로 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

자외선 살균등을 건축물의 공조시스템에 적용하기 위해서 온도, 습도, 기류속도를 임의로 조절할 수 있는 실험용 챔버를 제작하고 실제 운전조건에 해당하는 온도, 습도, 기류속도의 변화에 따른 자외선 살균등의 조사성능실험을 수행하였다. 이와 병행하여 주어진 온도, 습도 및 기류조건하에서 특정한 균을 사멸하기 위해서 요구되는 자외선 강도를 파악하고 살균에 필요한 조사시간을 산정한 후 살균성능을 확인하기 위해서 2개의 균을 표본으로 하는 살균성능실험을 수행하였다. 그 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 자외선 살균등에 대한 조사성능실험을 수행한 결과 UV 램프는 통과기류의 온도변화에 따라 매우 큰 자외선 조사강도의 변화를 나타내었다. 통과기류의 속도변화에 대해서도 0 m/s일 때 자외선 조사강도가 최대값을 가지며 풍속이 증가

할수록 자외선 조사강도가 각 단계에서 10~20% 가량 저하되는 현상을 나타내고 있으며, 상대습도의 변화에 대해서는 조사강도의 변화가 거의 없었다. 또한, 모든 조건(온도, 풍속, 상대습도) 변화를 통틀어 램프에 근접한 거리(약 0~10 cm)에서는 거리가 변함에 따라 자외선 조사강도의 감소가 급격하나 10 cm 이상의 거리에서는 거리 증가에 따른 조사강도의 감소가 완만해지며 30 cm 이상의 거리에서는 거리 증가에 따라 조사강도의 저하가 매우 적은 것으로 나타났다. 따라서 자외선 살균등을 공조시스템에 적용하기 위해서는 기류속도의 변화 또는 주위 공기온도의 변화에 따른 램프의 온도변화와 그에 따른 출력 변화, 즉 자외선 조사강도의 저하현상을 고려하여 램프의 수량 및 램프 간의 거리를 적절하게 설계하여야 할 것으로 생각된다.

(2) *E. Coli*와 *Legionella*를 표본으로 하는 실험용 챔버에서의 살균성능 실험결과와 Pilot System에서 수행된 현장 살균성능실험 결과 산정한 살균시간에 대한 균의 사멸률은 실제 실험결과와 비교적 잘 일치하는 근접한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 따라서 각종 자외선 살균등의 조사성능과 각종 병원성 미생물들의 공기 혹은 표면사멸특성 자료로부터 목적으로 하는 살균효율을 갖는 공조시스템의 구현에 실제 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. Chun, J. K., Lee, Y. J., Kim, K. M., Lee, H. W. and Jang, E. Y., 1993, Design of UV ray air cleaner for refrigerator and its sterilizing effect, Korean J. Food Sci. Technol., Vol. 25, No. 2, pp. 171-173.
2. Lee, I. H., 2000, Disinfection of coliform bacteria, fungi and pathogenic bacteria by UV and photocatalytic effects, Journal of the KSEE, Vol. 23, No. 3, pp. 473-484.
3. Lee, S. W., 1989, UVGI application and problems, KIEE 12, Vol. 3, No. 4, pp. 5-12.
4. Won, C. H., 1994, UV lamp summary and quality, KIEE 12, Vol. 8, No. 6, pp. 10-21.
5. Sterilization effect and characteristics of UVGI, Practical Food Sanitation (Japan), 2000.

6. Vanosdell, D. and Foarde, K., 2002, Defining the effectiveness of UV lamps installed in circulating air ductwork, Final Report ARTI-21CR/610-40030-01.
7. Hong, J.K., 2002, Development of antibacterial and deodorization air-conditioning system by using UV light, Industry-university Cooperation Final Report of Seong Nam City.
8. Kowalski, W.J., Bahnfleth, W.P., Whittam, D.L., Severin, B.F. and Whittam, T.S., 2002, Mathematical modelling of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection, Quantitative Microbiology 2, pp. 249-270.