

공기조화계통에서 자외선 살균방법
응용에 관한 연구보고서

A Study on the Application of UV Sterilization
Method in HVAC System

KAERI
2005. 04

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서는 “공기조화계통에서 자외선 살균방법 응용에 관한 연구”보고서로 제출합니다.

2005. 04

연구실명 : 행정부 시설과

연구책임자 : 조성원

연구원 : 박종순

서인원

임광락

안원석

오상호

이강우

김진규

권성중

요 약 문

I. 제목

공기조화계통에서 자외선 살균방법 응용에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

현대인들은 하루 시간의 약 85% 이상을 사무실, 주택 및 지하 공간 등에서 생활하고 있으므로 실내에서 인체에 유해한 오염물질에 노출되는 시간이 실외보다 훨씬 길다. 실내의 오염공기가 재순환되면서 재실자들에게 여러 가지의 호흡기 질환 및 각종 알레르기로 건강상 위험을 초래하고 있다. 이와 같이 실내공기의 위해성 때문에 건강측면에서 국내·외적으로 실내 공기질(indoor air quality, IAQ)에 관심이 높아지고 있다.

본 연구는 자외선 공기 살균장치에 대한 설계, 제작 및 공기조화계통의 적용에 필요한 설계관련 자료를 얻는 목적으로 수행하였다. 현재 연구소에서 운영되고 있는 공기조화계통은 모두 Pre-Filter를 장착한 기기이므로 본 연구결과를 확대 적용하게 되면 쾌적하고, 청정한 연구실을 조성할 수 있으며, 또한 앞으로 건설될 연구 실험동의 clean room과 무균실 설비에도 적용이 가능하다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

사용 중인 공기조화기 내에 자외선 공기 살균장치를 설치하여 그 성능을 확인하고, 공기조화계통의 설계에 필요한 자료를 얻기 위하여 수행한 것이다.

자외선 공기 살균장치를 설계 및 제작하기 위하여 온도, 습도 및 기류속도를 먼저 측정하였으며, 공기조화기내의 설치할 수 있는 공간도 함께 검토하였다.

공기조화기에 자외선 공기 살균장치를 설치하기 전에 먼저 순환공기 중에 포함된 미생물의 종류와 수량을 파악하기 위하여 정상적인 운전상태에서 시료를 포집하여 분석하였다. 그리고 시료의 포집은 순환공기가 Pre-Filter를 통과한 지점에서 채취하였다.

공기조화기에 자외선 공기 살균장치를 설치한 후 시료를 포집하여 분석하였으며, 그 결과를 공기조화기 내부 공간에 자외선 공기 살균장치(UV Lamp Air Sterilization Equipment)를 설치하기 전에 시료를 포집하여 분석한 자료와 비교 검토하였다.

IV. 연구개발 결과

사용 중인 공기조화기 내에 자외선 공기 살균장치를 설치하여 실험을 수행하는 관계로 재실자들에게 위험을 초래할 수 있어 표준으로 배양한 미생물 시료를 사용할 수 없었다. 그래서 자외선 공기 살균장치를 설치하기 전에 포집한 시료로 미생물을 분석하였으며, 여기에서 분석된 미생물의 종류와 수량을 기준으로 하여 자외선 공기살균장치의 살균효율을 조사 하였다.

현재 운영 중인 공기조화기 내에 존재하는 미생물은 일반세균, 곰팡이 및 부유 바실러스 균인 것으로 분석되었다. 그리고 일반세균 외에는 미미한 수준인 것을 알 수 있었다.

자외선 공기 살균장치를 설치하여 미생물 살균 효율을 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 일반세균은 자외선 공기 살균장치를 통과하면서 세균 수가 32 CFU/m³에서 2 CFU/m³로 감소되어 약 94%의 살균효과가 있는 것으로 나타났다.
2. 곰팡이 균의 수는 7 CFU/m³에서 2.5 CFU/m³로 감소하여 약 64%의 살균효과가 있었으며, 부유 바실러스 균의 수는 7 CFU/m³에서 1 CFU/m³로 감소하여 약 86%의 살균효과가 있는 것으로 나타났다. 그리고 곰팡이 균과 부유 바실러스 균에 대한 살균효율이 낮은 것은 순환공기 중에 존재하는 균의 수가 너무 미미하기 때문인 것으로 판단된다.
3. 순환공기 흡입측 Pre-Filter 부분에서 균의 종류를 측정결과 일반세균과 곰팡이 균이 검출되었다. 살균효과를 높이기 위해서는 Pre-Filter를 일정기간 사용 후 교체하는 것이 효율성면에서 바람직한 것으로 나타났다.

V. 연구개발결과의 활용계획

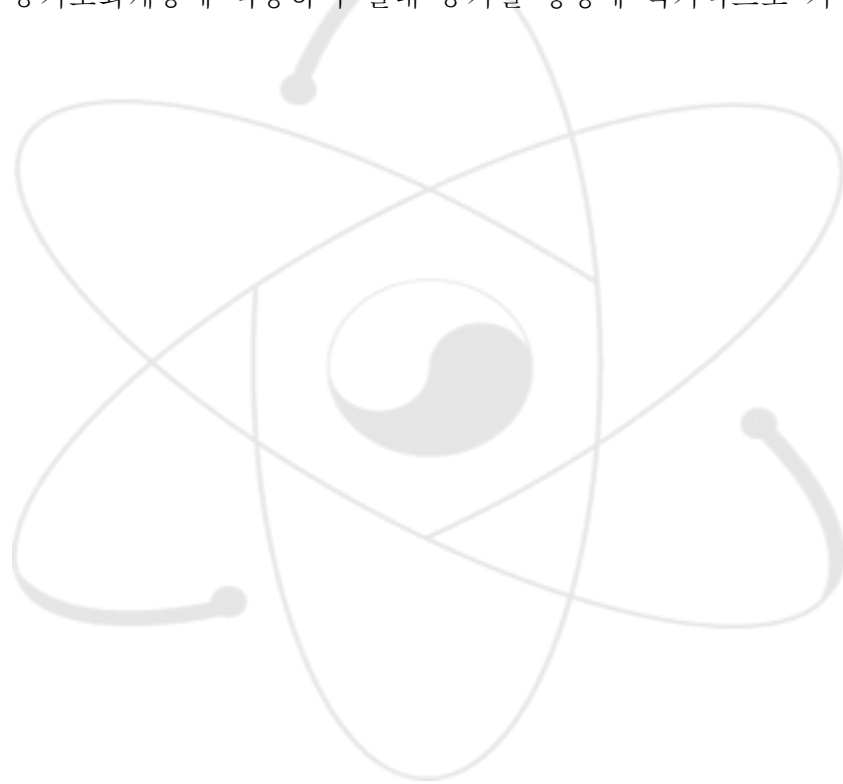
본 연구는 가동 중인 공기조화기 계통에 자외선 공기 살균 장치를 설계 및 제작 하여 설치한 후 그에 대한 효율과 응용에 필요한 자료를 얻는 목적으로 수행하였다.

자외선 공기살균 장치는 현재 연구소에서 가동 중인 공기조화기 중 1대를 선정하여 온도, 습도 및 기류속도를 측정하고, 설치공간을 검토하여 설계 및 제작하였으며, 제작은 전문 업체에 의뢰 하였다.

자외선 공기 살균장치의 설치는 공기조화기 운전에 아무런 영향을 주지 않는 조건에서 이루어 졌으며, 단지 운전시 자외선 공기 살균 장치운전을 동시에 한다는 점이며, 자외선 노출에 대한 운전자에 대한 안전 교육을 실시하였다.

자외선 공기살균장치를 가동 중인 공기조화기 계통에 설치하여 실험한 결과 일반 세균에 대한 살균효과가 상당히 높게 나타났으며, 또한 현재 사용 중인 공기조화기에 적용한 실험이므로, 새로운 시설을 위한 공기조화계통 설계 또는 기존 공기조화계통에 대한 환경 개선의 일환으로 적용하는데 충분한 자료를 제공할 수 있게 되었다.

앞으로 연구소에서 연차적으로 자외선 공기 살균장치 제작에 필요한 예산이 확보 되면 기존 공기조화계통에 적용하여 실내 공기질 향상에 획기적으로 기여할 것으로 판단된다.



SUMMARY

The effect of ultraviolet(UV) sterilization on Heating, Ventilation and Air Conditioning System(HVAC) in building is investigated.

The use of UV lights to disinfect room air and air streams dates to about 1900. Recently, the use of UV lamps inside building ventilation ducts has been increasing in both medical and nonmedical buildings for control of environmental microorganisms.

In current commercial practice, UV light of the appropriate wavelength by electrical discharge through low pressure mercury vapor, which is enclosed in a glass tube that transmits UV lights. The resulting germicidal lamp produces UV light that has a primary wavelength of 153.7 nm. This wavelength is within the short wave, or "C" bend of UV light.

The UV sterilization were introduced as disinfection method to increase the killing effect for microorganism without any harmful effect on plant growth.

One type of commercial UV lamp was utilized during this research. It was 1,050 mm length, 24.5 mm diameter, 65 W lamp output, single ended lamp intended for insertion into a frame from inside. Twenty six lamps were mounted and operated in cross flow. They were allowed to operate for at least 30 minutes prior to beginning each test. The test rig was operated at 2.5 m/s and 20°C, and the relatively humidity 21.6% RH.

The effect of UV sterilization are investigated that as the general virus about 94%, the mold microbe about 64% and the bacillus about 86%, respectively.

The experimental results show the applicable possibility of the HVAC system in building.

목 차

제 1 장 서론 -----	1
제 2 장 국내·외 연구현황 -----	2
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과 -----	4
제 1 절 이론적 고찰 -----	4
제 2 절 실험장치 및 방법 -----	6
1. 실험장치 -----	6
2. 실험방법 -----	15
제 3 절 실험결과 및 고찰 -----	16
제 4 장 결 론 -----	24
제 5 장 연구개발결과의 활용계획 -----	25
제 6 장 References -----	26

그 립 목 차

그림 1. HVAC 계통도 -----	7
그림 2. 자외선 공기 살균장치 상세도 -----	8
그림 3. 자외선 램프 제어회로도 -----	10
그림 4. 자외선 공기 살균장치 조립도면 -----	11
그림 5. 부유 세균 포집기 -----	12
그림 6. 부유 세균 포집용기 -----	13
그림 7. 자외선 램프운전 및 세균 포집기 설치 상태 -----	14
그림 8. 자외선 공기살균장치 설치 전 일반세균 배양 사진 ----- (Pre-Filter 부분)	18
그림 9. 자외선 공기 살균장치 설치 전 곰팡이 균 배양사진 ----- (Pre-Filter 부분)	18
그림 10. 자외선 공기 살균장치 설치 전 일반세균 배양사진 ----- (Pre-Filter 통과 후 지점)	19
그림 11. 자외선 공기 살균장치 설치 전 곰팡이 균 배양사진 ----- (Pre-Filter 통과 후 지점)	19
그림 12. 자외선 공기 살균장치 설치 전 부유 바실러스균 배양사진 ----- (Pre-Filter 통과 후 지점)	20
그림 13. 자외선 공기 살균장치 설치 후 일반세균 배양사진 ----- (Pre-Filter 통과 후 지점)	22
그림 14. 자외선 공기 살균장치 설치 후 곰팡이 균 배양사진 ----- (Pre-Filter 통과 후 지점)	22
그림 15. 자외선 공기 살균장치 설치 후 부유 바실러스 균 배양사진 -- (Pre-Filter 통과 후 지점)	23
그림 16. 자외선 공기 살균장치 설치 전과 후의 비교 -----	23

표 목 차

표 1. Incident energy at 253.7 nm to colony formation in 90% of the organisms -----	5
표 2. Specification of AHU -----	6
표 3. 온도, 습도 및 풍속 측정결과 -----	15
표 4. 자외선 공기 살균장치 설치 후 미생물 측정 결과 ----- (Pre-Filter 통과 전 지점)	17
표 5. 자외선 공기 살균장치 설치 전 미생물 측정 결과 ----- (Pre-Filter 부분)	17
표 6. 자외선 공기 살균장치 설치 후 미생물 측정 결과 ----- (Pre-Filter 통과 후 지점)	21

제 1 장 서 론

현대인들은 하루 시간의 약 85% 이상을 사무실, 주택 및 지하 공간 등에서 생활하고 있으므로 실내에서 인체에 유해한 오염물질에 노출되는 시간이 실외보다 훨씬 길다. 실내의 오염공기가 재순환되면서 재실자들에게 여러 가지의 호흡기 질환 및 각종 알레르기로 건강상 위험을 초래하고 있다. 이와 같이 실내공기의 위해성 때문에 건강측면에서 국내·외적으로 실내 공기질(indoor air quality, IAQ)에 관심이 높아지고 있다.

초기에는 일반 대기에서 측정되는 오염물질(부유입자, SO₂, NO₂ 등)에 관심이 집중되었으나, 최근에는 인체의 건강에 미칠 잠재력에 대한 인식과 분석기술의 발달로 다양한 실내오염물질에 관심을 갖게 되었다. 특히, 휘발성 유기화합물(VOCs), 미생물에 대한 관심이 높아지고 있으며, 또한 국내·외적으로 심각하게 확산되고 있는 조류독감, 샙스 등 각종 변종 바이러스의 출현으로 실내 공기오염 물질제거에 대한 필요성이 대두되었다.

현재 사용 중인 공기조화기는 에너지절약 방안으로 대부분 실내공기를 약 70%이상 경우에 따라서는 100% 재순환시키는 방법을 채택하고 있다. 이로 인하여 실내 공기질이 저하되고, 다양한 오염물질이 실내 근무자에게 알레르기, 만성질환 등을 유발하게 한다.

공기조화계에 적용하고 있는 실내 오염 물질제거 방법에는 대부분 Pre-Filter 혹은 중급능력(MOD) 필터를 이용한 것이며, 이것만으로는 미생물제거에는 한계가 있다. 그리고 고성능필터(HEPA)를 사용할 경우 공기조화계의 공기 정압상승에 따른 송풍기의 동력이 증가하여 에너지 소비가 많아지고, 또한 필터의 정기적인 교체와 정비를 하여야 하므로 유지관리비의 상승을 초래한다. 그러나 자외선을 이용한 살균방법을 적용할 경우 실내공기의 재순환에 따른 실내공기 오염을 방지할 수 있어 에너지절약을 할 수 있으며, 또한 필터의 교체 시기의 연장으로 유지관리비를 낮출 수 있다.

본 연구는 자외선 공기살균장치에 대한 설계, 제작 및 공기조화계의 적용에 필요한 설계관련 자료를 얻는데 그 목적이 있다. 현재 연구소에서 운영되고 있는 공기조화계통은 Pre-Filter를 장착한 기기이므로 본 연구결과를 확대 적용하게 되면 쾌적하고, 청정한 연구실 조성에 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 앞으로 건설될 연구 실험동의 clean room과 무균실 설비에도 적용이 가능할 것으로 본다.

제 2 장 국내·외 연구현황

실내 공기질에 대한 연구는 대기 오염의 심각성이 알려지고, 재실자들의 보다 높은 실내 환경 조건의 욕구와 에너지 절약을 위한 건축물의 기밀성 시공으로 실내공기의 악화로부터 연구가 시작되었으며, 실내 공기질에 대한 연구의 역사는 그다지 길지 않다.

1952년 12월에 영국의 런던에서 발생한 스모그 현상으로 인해 호흡장애와 질식 등으로 4,000 여명이 죽고, 그 후 만성 폐질환으로 8,000여명이 추가로 사망한 사건은 당시 대기오염의 심각성을 말해 주고 있다. 1960년대 말까지는 대기오염으로 인해 많은 문제가 발생되어 실내공기오염은 별로 주목을 받지 못하였다. 실내공기오염에 관심을 갖기 시작한 것은 불과 30여 년 전이고, 규제를 담당하는 관리자들의 관심은 적었지만 많은 과학자들이 실내 오염물질에 관심을 갖고 연구를 수행하여 왔으며, 또한 실내 공간에서 중요하게 다루어지는 공기 오염물질도 변하고 있다.

연구 초기에는 일반 대기에서 측정되는 오염물질인 부유입자, SO₂, NO₂ 등에 관심이 집중되었으나, 최근에는 인체의 건강에 미칠 잠재력에 대한 인식과 분석기술의 발달로 다양한 실내 공기오염물질에 관심을 갖게 되었다. 특히, 휘발성 유기화합물(volatile organic compound : VOCs)과 미생물(microbiological indoor pollutants, bioaerosol)에 대한 관심이 증가하였다.

1850년대 독일의 위생학자 Max von Pettenkofer는 나쁜 주택환경이 인체의 건강에 미치는 영향에 관심을 가진 것이 실내 공기오염에 체계적으로 접근한 최초의 사람으로 알려져 있다.

세계 1차 및 2차 대전이 끝난 후 실내 공기 오염물질로 아황산가스(SO₂)와 부유입자(suspended particulate matter)가 등장하게 되었다.

1970년대에는 포름알데히드(HCHO)가 주목 받았으며, 그리고 가정에서 요리에 사용하는 가스 연료로부터 발생하는 이산화질소(NO₂)와 흡연에 의한 담배연기(environmental tobacco smoke : ETS)가 실내 오염물질로 등장하였다. 1970년대 후반부터 현대식 소비재와 건축자재로부터 발생하는 휘발성 유기화합물의 위험성을 인식하게 되었다.

1980년경 실내공기에서 약 250종의 VOC가 확인 되었으며, 1989년까지 확인된 VOC는 약 900종에 이르렀으며, 1980년대에는 라돈과 석면이 새로운 오염물질로 등장하였다.

1990년대 초부터 미생물, 반 휘발성 유기화합물(semi-volatile organic compounds

: SVOCs) 및 입자상 물질(particulate matter : PM)이 중요한 실내 공기오염물질의 연구대상으로 주목을 받고 있다.

실내 공기 살균에 자외선이 이용된 것은 1900년부터였으며, Richard Riley는 1960년과 1970년에 자외선 살균에 대한 논문을 발표하였고, 그 이후 Richard Riley는 1988년에 자신의 논문을 수정 발표하였다. Shechmeister는 1991년에 자외선을 이용한 살균에 대한 연구를 발표하였다.⁽⁶⁾

최근에는 쾌적한 실내 환경에 대한 인식과 욕구가 높아지고, 에너지 절약을 위한 환기 회수의 감소로 인해 습기가 잘 제거되지 않아 미생물의 성장이 촉진되어 실내 공간에 존재하는 곰팡이 수가 증가하였다. 이와 같이 실내 공기질의 악화로 공기 중의 병원성 미생물 등으로 인한 각종 호흡기 질환(결핵, 천식, 인플루엔자 등)과 각종 알레르기 및 거주자의 면역 체계를 악화시켜 건강상 위해요인이 되고 있다.

실내 공기 중의 병원성 미생물이나 실외로부터 유입되는 각종 오염원을 억제하여 쾌적하고 위생적인 실내 공기질을 유지하기 위해서 고성능(HEPA)필터가 적용되나 더 크기가 작은 분진이나 미생물의 경우 완전한 제거가 어려우며 제거되지 않은 부유 미생물(곰팡이류, 박테리아, 바이러스 등)이 필터여재나 공조 덕트, 코일 및 드레인 팬에서 증식하여 많은 문제를 야기하고 있다. 또한 현재 일반 건물에서는 고성능필터를 사용하여 병원균을 억제하기에는 경제적으로 유지 및 관리가 어려울 뿐만 아니라 송풍동력의 손실이 증가하기 때문에 일반적으로 분진 제거용으로 Pre-Filter를 사용하고 있어 병원성 미생물의 제거에는 그 효능을 발휘하기가 어려운 것이 사실이다. 병원의 수술실 또는 무균상태를 유지하여야 하는 중환자 병동, Bio Clean Room, 식품 및 제약공정 등의 공조 설비에도 고성능필터를 사용해야 하므로 초기 시설투자비 및 유지관리비가 상승하며, 에너지 절약 측면에서 개선의 여지가 많은 것으로 알려져 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 자외선을 이용한 살균방법을 실험실 수준에서 많이 연구되고 있다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 이론적 고찰

살균은 열, 약품, 방사선, 오존 및 자외선 등을 이용하며 각각의 장단점을 갖고 있다. 이 중에서 자외선에 의한 살균은 미생물의 종류에 따라 어느 정도 다르지만 파장 260 nm 부근, 즉 핵산이 흡수하는 파장에서 살균효과가 가장 크다.⁽¹⁾ 살균은 자외선을 조사함으로써 미생물내의 핵산 성분이 화학반응을 일으켜 대사 장애를 가져와 증식 능력을 잃게 되므로 이루어진다.^(2,3) 자외선 살균은 매우 간단한 살균법이나 자외선을 흡수하는 물질이 포함되어 있거나 투과도가 낮은 용액의 살균에는 살균효율이 급격히 낮아진다.⁽⁴⁾

일반적으로 자외선 살균에 효과적인 자외선 살균 영역은 260 nm의 단파장에 속하는 UV-C band 이며, 단파장으로 갈수록 살균효과가 높은 것으로 알려져 있다.⁽⁵⁾

이미 연구에서 발표된 바와 같이 자외선 살균은 모든 세균에 유효하며 조사 받는 균에 내성을 주지 않으면서 살균효과는 직접 조사 중에만 유효하여 일반적으로 물, 식품, 식기 등의 소독에도 사용되고 있으며, 병원의 수술실이나 보건소, Bio Clean Room 등 특수시설에도 적용되고 있다.⁽⁶⁻¹¹⁾

일반적으로 자외선에 의한 살균효과는 모든 세균에서 유효하게 나타나지만 균의 종류와 자외선에 대한 저항력에 따라 자외선 살균효과를 나타내는 식을 여러 가지 수학적 모델로 제안하고 있다.⁽¹²⁾

여러 연구에서 잘 알려진 바와 같이 최적의 살균효과를 나타내는 파장 253.7 nm 일 때 살균의 생존을 식은 아래와 같이 표시할 수 있다.

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

S : 살균의 생존

P : 조사 후의 세균수

P₀ : 조사 전의 세균수

E : 자외선의 조사 강도

t : 조사 시간

Q = 생존율 S를 1/e (36.8%)로 하기 위해 필요한 자외선 조사량($\mu\text{W s/cm}^2$)

식(1)에서 자외선의 살균효과는 조사강도 E ($\mu\text{W/cm}^2$) 또는 조사량과 조사시간의 곱인 자외선의 조사량(Dose : $\mu\text{W s/cm}^2$)과 관계가 있으며, 자외선을 조사 했을 때 조사된 세균의 생존율은 조사량에 대해 거의 지수함수로 변화함을 알 수 있다. 그리고 동일한 균종에 대해서는 조사량 Q가 같으면 생존율 S는 같다. 그러나 Q의 값이 동일 균종이라도 환경에 따라 일반적으로 다르다. 일반적으로 각종 세균을 살균하는데 필요한 자외선 조사량은 실험자나 균주, 균의 발아단계, 환경 및 조작조건 등에 따라 조금씩 다른 값으로 나타나고 있다.⁽¹³⁾

표 1.은 세균 생리작용을 90% 억제하는데 필요한 UV 조사량을 기록한 것이며, 미생물의 종류에 따라 살균을 위한 UV 조사 에너지량이 다르다는 것을 볼 수 있다.

표 1. Incident energy at 253.7nm to Colony formation in 90% of the organisms.

Organism		Energy ($\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$)
Bacillus anthracis		4,520
B. megatherium sp.(spores.)		2,730
B. subtilis spores		12,000
Micrococcus candidus		6,050
Micrococcus sphaeroides		10,000
Pseudomonas aeruginosa		5,500
S. typhimurium		8,000
Sarcina lutea		19,700
Streptococcus viridans		2,000
Yeast		
Saccharomyces ellipsoideus		6,000
Brewers' Yeast		3,300
Common Yeast cake		6,000
Mold Spores	Color	
Penicillium roqueforti	Green	13,000
Mucor racemosus A	White gray	17,000
Oospora lactis	White	5,000

제 2 절 실험장치 및 방법

1. 실험장치

본 실험장치는 사용 중인 공기조화기 내부에 설치하여 공기조화기를 통하여 실내로 공급되고, 재순환되는 공기에 자외선을 조사하여 그 성능을 파악하고 공기조화기 계통에 적용하는데 필요한 설계관련 자료를 얻는 데 그 목적이 있다.

그림 1은 HVAC의 계통도이며, 실내에서 재순환되는 공기는 가열코일 및 냉각코일을 통과하여 Pre-Filter를 거쳐 자외선 공기 살균장치를 지나도록 하여 코일 및 Filter에서 잔류하고 있는 미생물이 기류를 따라 실내로 유입되기 전에 자외선에 조사되도록 설계하였다.

표 2는 공기조화기의 사양을 표시 한 것이다.

표 2. Specification of AHU

풍량	16,800 m ³ /hr	정압	55 mmAq
난방열량	120,000 kcal/hr	냉방열량	170,000 Kcal/hr
전동기용량	7.5 Kw	전압	220V/60HZ
		전류	76A

그림 2는 자외선 공기 살균장치를 나타낸 것이며, 사용 중인 공기조화기 내에 설치하여야 하므로 공간적 제약을 받을 수밖에 없었다. 자외선램프를 지지할 frame은 STS304 1.2t plate로 현장에서 공기조화기 내에 먼저 설치한 후 자외선램프를 조립하였다. 자외선 공기 살균장치의 외형 치수는 1755 mm x 1170 mm x 100 mm이고, 자외선램프는 길이 1,050 mm, 직경 24.5 mm, 소비전력 65W, 수량 26개로 구성되어 있으며, 1 m 거리에서 G105T5L 살균선 출력 400 μw/cm² 로 제작하였다. 그리고 자외선램프는 효율성 및 안전성을 고려하여 석영관 안에 넣어 2중관으로 제작하고, 자외선램프의 설치간격은 30 mm 로 하였다. 전면에는 이산화티탄 코팅 광촉매 Filter를 부착하여 유해성분 및 냄새 등을 제거하는 기능을 갖도록 하였다.

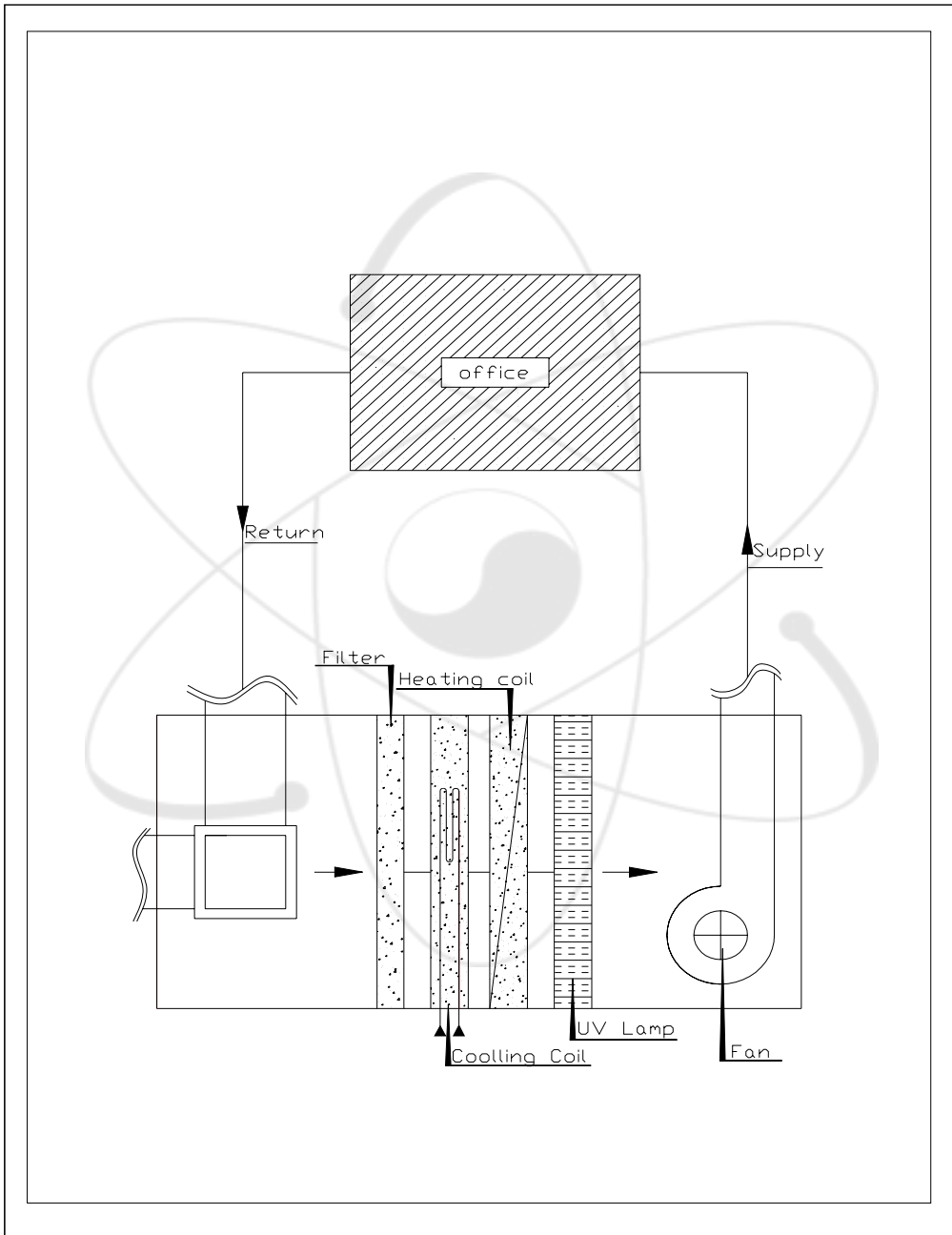


그림 1. HVAC 계통도

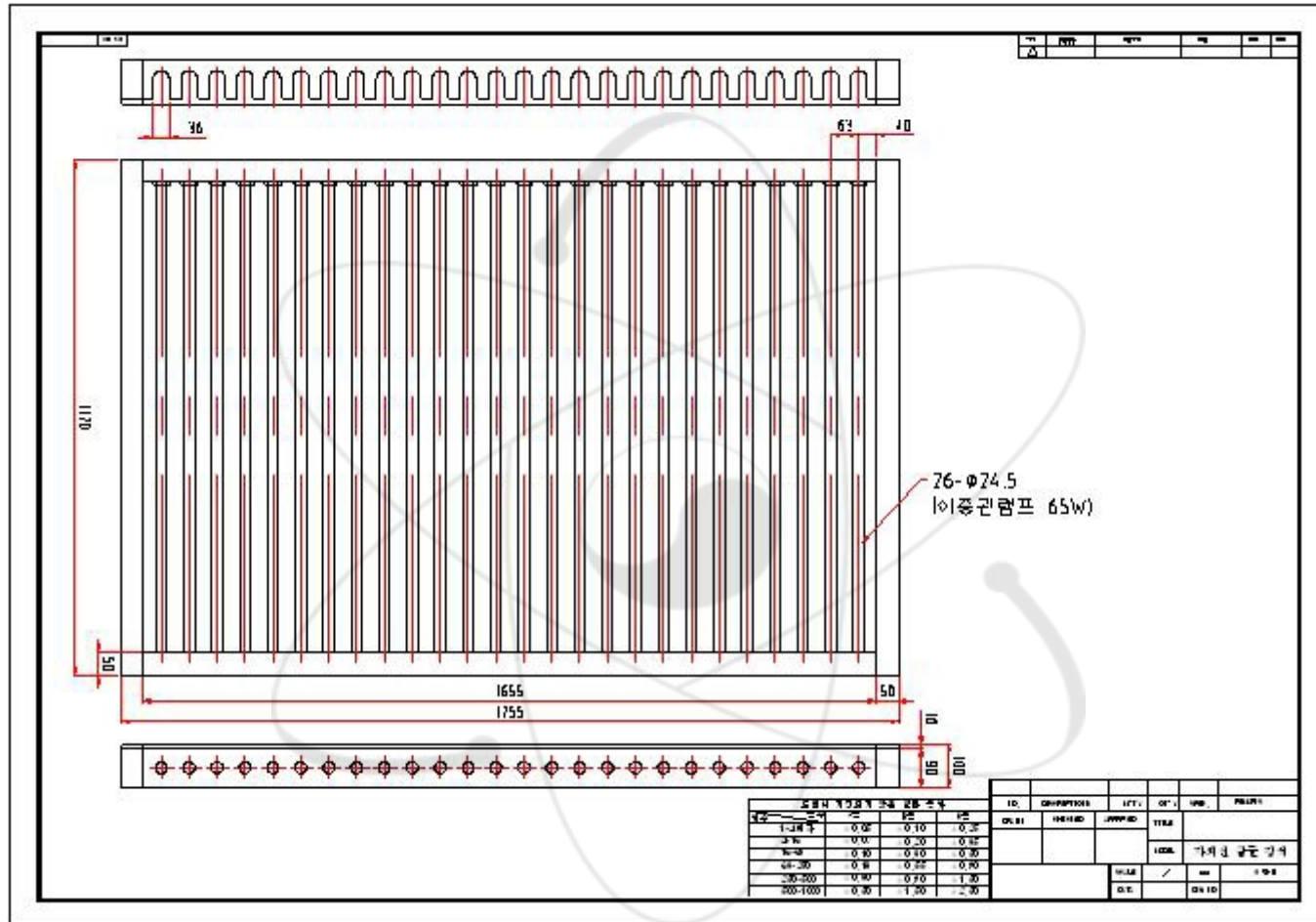


그림 2. 자외선 공기 살균장치 상세도

그림 3은 자외선 공기 살균장치의 제어 회로도를 나타낸 것이며, 자외선 공기 살균 장치에 이상이 발생할 경우 누전차단기가 작동하도록 하였으며, 공기조화기 점검도어에 micro switch를 설치하여 운전 중 진동이나 점검을 위해 도어가 열렸을 경우 인체의 눈을 보호하기 위하여 자외선램프의 전원이 차단되도록 하여 안전장치를 설치하였다.

그림 4는 자외선 공기 살균장치의 조립도를 나타낸 것이며, 전원조작반의 전면표시부에는 전압계와 전류계를 취부하고, time meter를 부착하여 자외선램프 운전사용시간을 표시하여 자외선램프의 교체시기를 예측 할 수 있도록 하였고 운전 중 자외선램프가 어떤 원인으로 소등시 육안으로 확인 할 수 있고 각각의 램프점등 상태를 알 수 있게 LED 표시램프를 전면에 취부하여 유지보수에 편리성을 추구하였다.



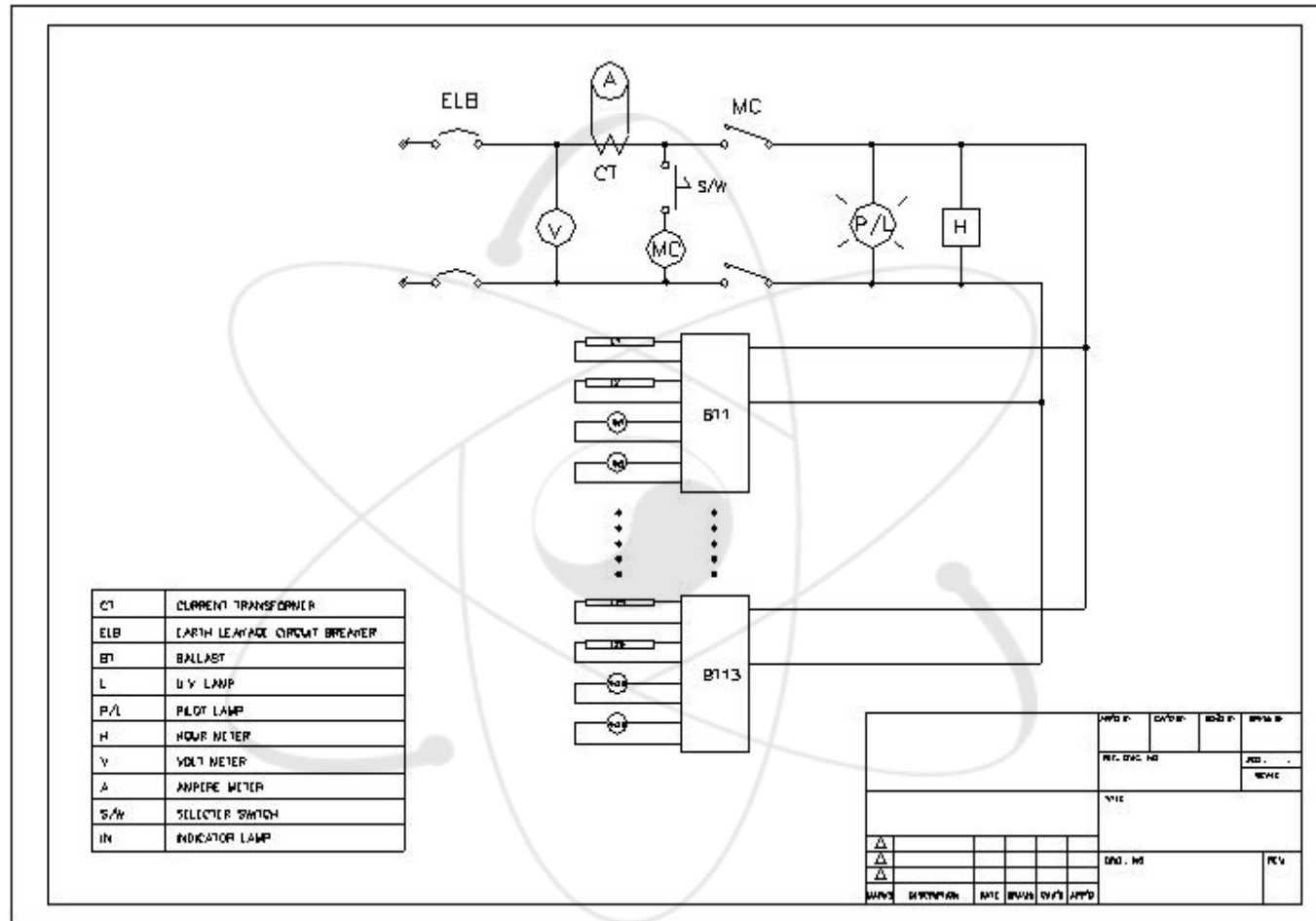


그림 3. 자외선 램프 제어회로도

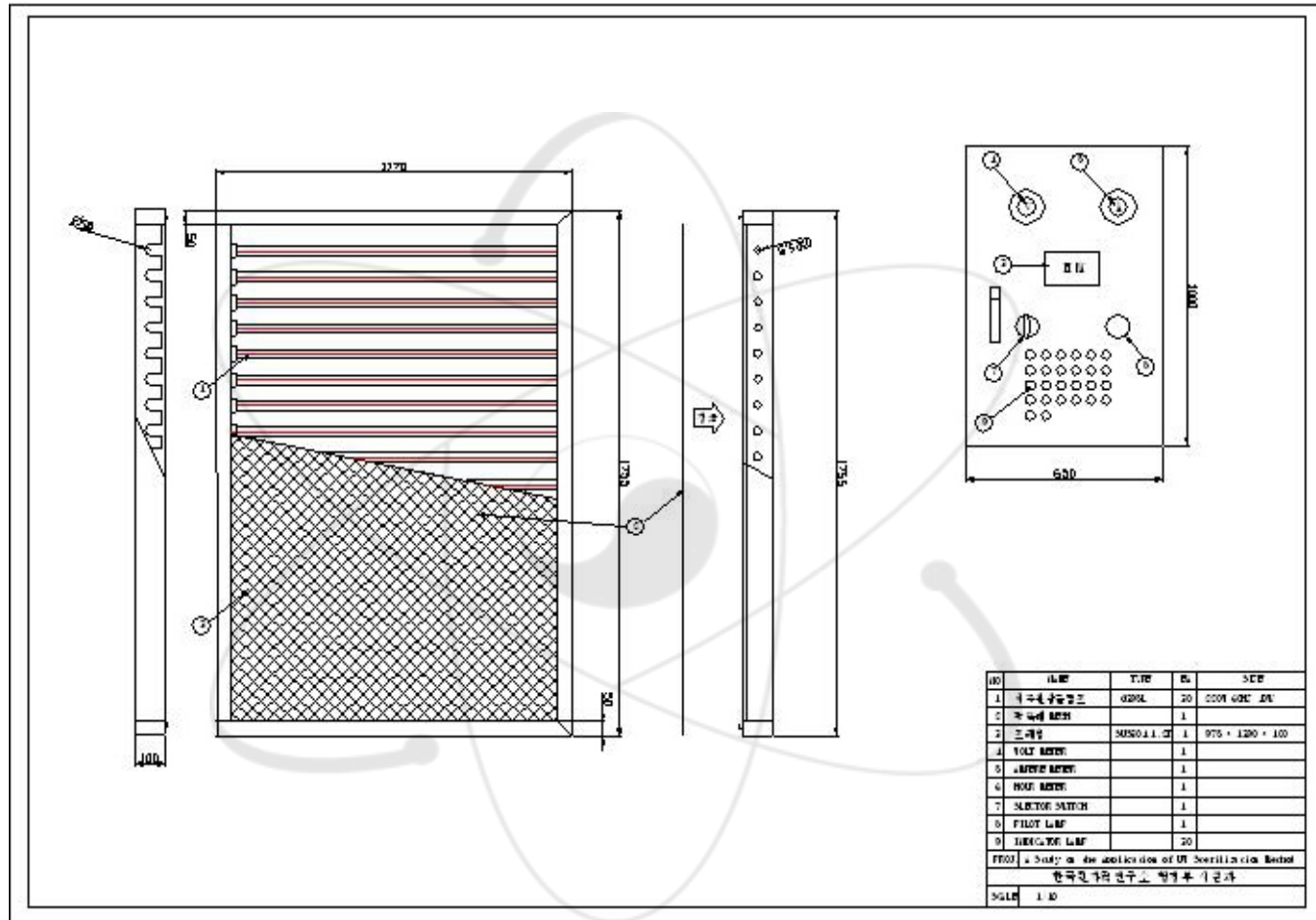


그림 4. 자외선 공기 살균장치 조립도면

그림 5는 순환공기에 포함된 부유미생물을 포집하기 위한 부유 세균 포집기를 나타낸 것으로 공기조화기 내 자외선 공기 살균장치 전면에 설치하였다.



그림 5. 부유 세균 포집기

그림 6은 부유 세균을 포집하여 운반하는 포집용기를 나타 낸 사진이다.



그림 6. 부유 세균 포집용기

그림 7은 자외선 공기 살균장치의 운전 상태에서 부유 세균 포집기의 설치 상태를 나타낸 사진이다.



그림 7. 자외선 램프운전 및 세균포집기 설치 상태

2. 실험방법

본 연구는 자외선 공기 살균장치를 공기조화계에 설치하여 그 성능과 공기조화기 설계 자료를 조사하기 위한 것으로 먼저 자외선 살균특성을 파악하고, 사용 중인 공기조화계의 온도, 습도 및 기류속도에 대한 조사가 이루어져야 하고, 자외선 공기 살균장치를 설치하기 위한 공기조화기 내 공간 확보가 매우 중요하다. 사용 중인 공기조화기에 자외선 공기 살균장치를 설치하여 실험을 실시하였다. 그리고 온도, 습도 및 풍속은 실험 장치에서 실내 환경 조건을 변경하지 않고 운전 조건 기준에서 실시하였으며, 또한 표준 배양시료를 사용하지 아니하고 순환공기의 포집 시료를 분석한 결과를 기준으로 수행하였다.

사용 중인 공기조화기의 정상운전을 유지하면서 자외선 공기 살균장치를 설치하기 전에 온도, 습도 및 기류속도를 측정하고, 그 후 순환공기를 포집한 시료로 하여 균의 종류와 균의 수량을 분석하였다. 그리고 자외선 공기 살균 장치를 공기조화기 내에 설치하고 정상 운전을 하면서 온도, 습도 및 기류속도를 측정 하고 그 후 순환공기를 포집하여 자외선 공기 살균장치 설치 전에 분석한 자료와 비교 분석하였다.

공기조화기 내 시료 채취 지점은 Pre-Filter를 통과한 후로 하였으며, 분석 세균의 종류는 일반적으로 실내에서 많이 검출되는 7종류를 대상으로 하였다. 자외선 공기 살균장치 설치 후 13시간 공기조화기를 운전한 후 시료를 포집하였으며, 포집하는 시간은 각각 30분간 실시하였다. 시료의 포집 및 분석은 국가공인 시험 및 검사 기관인 과학기술분석센터에 의하여 이루어 졌다.

온도, 습도 및 기류속도는 Model 8386A (VELOCICALC)의 측정기를 사용하였으며, 그 측정값은 표 3에 표시하였다.

표 3. 온도, 습도 및 기류속도 측정 결과

구 분	온도(℃)	습도(RH%)	기류속도(m/sec)	비 고
자외선 공기 살균장치 설치 전	21	23	2.5	
자외선 공기 살균장치 설치 후	20	21.6	2.5	

제 3 절 실험결과 및 고찰

공기조화기 내에 자외선 공기 살균장치를 설치하여 그 성능 및 공기조화 계통 설계에 필요한 자료를 얻고자 본 연구를 수행하였으며, 공기조화기 내에 자외선 공기 살균장치 설치 전과 후에 순환공기를 포집하여 분석하고 비교하는 실험을 추진하였다.

자외선 공기 살균장치를 설치하기 전에 순환공기를 포집하였으며, 그 지점은 Pre-Filter를 통과후 지점으로 정하였다. 그리고 분석한 세균의 종류는 일반적으로 실내에서 가장 많이 검출되고 문제가 되는 7종류를 대상으로 하였다. 자외선 살균 성능에 영향을 주는 실내 환경적 요인은 온도, 습도 및 기류속도 등이 있다.

본 실험에 사용된 온도 조건은 공기조화기 운전 온도에 해당하는 약 20℃ 였다. 보통 주위온도가 설계온도 보다 높거나 낮을 경우 자외선램프의 온도가 과열 또는 과냉되어 자외선의 조사강도 출력이 낮아지는 것으로 알려져 있다.⁽⁶⁾ 그러나 본 실험에서는 공기조화기의 정상운전상태의 온도를 기준으로 하여 설계온도와 실험온도의 차이가 거의 없으므로 주위 온도 영향을 고려하지 않았다.

그리고 상대습도의 변화에 따른 자외선 조사강도의 영향은 거의 없는 것으로 밝혀졌다.⁽¹³⁾ 그러나 상대습도와 달리 절대습도의 증가는 공기 중에 포화상태로 증가된 물 분자가 자외선을 흡수하여 에너지 전파를 감소시키는 것으로 보고되고 있다.⁽⁶⁾ 본 실험에서는 상대습도가 매우 낮아(약 22%) 습도에 대한 자외선 성능의 영향을 고려할 필요가 없었다.

기류속도는 사용 중인 공기조화기의 용량을 분석한 결과 2.5m/s였으며, 기류속도는 일정하게 유지하면서 실험을 수행 하였다.

1. 자외선 공기 살균장치 설치 전 미생물 분석결과

표 4는 순환공기가 Pre-Filter를 통과 후 지점에서 포집한 시료 7종류의 균에 대해서 분석한 결과를 나타낸 것으로 부유 일반세균은 32 CFU/m³, 부유곰팡이 균은 7 CFU/m³, 부유 바실러스 균 7 CFU/m³가 검출되었으며, 각각의 세균 배양 사진은 그림 10은 일반세균을 그림 11은 곰팡이 세균을 그림 12는 부유 바실러스 균을 배양한 사진이다.

표 5는 순환공기가 Pre-Filter를 거쳐 유입되는 과정에서 Pre-Filter 부분에 서식하는 균에 대해서 분석한 결과를 나타 낸 것이며, 부유세균(일반세균)은 37 CFU/m³, 부유곰팡이는 125 CFU/m³,이 검출되었으며, 그림 8과 그림 9에서 배양사진을 보여주고 있다.

표 4. 자외선 공기 살균장치 설치 전 미생물 측정 결과
(Pre-Filter 통과 후 지점)

측 정 항 목 (Measurement Item)	측 정 위 치 (Location)	시작시각 (Start Time)	종료시각 (Finish Time)	측 정 결 과 (Result)	평 균 (Average)
총부유세균수 (일반세균수)	공조기 내부	10:59	11:29	33 CFU/m ³	32 CFU/m ³
		11:02	11:32	31 CFU/m ³	
부유곰팡이(수)	공조기 내부	11:40	11:10	7 CFU/m ³	7 CFU/m ³
		11:42	11:12	7 CFU/m ³	
부유대장균(수)	공조기 내부	12:40	13:10	불검출	불검출
		12:42	13:12	불검출	
부유바실러스균(수)	공조기 내부	13:50	14:20	5 CFU/m ³	7 CFU/m ³
		14:00	14:30	8 CFU/m ³	
부유살모넬라(수)	공조기 내부	15:02	15:32	불검출	불검출
		15:12	15:42	불검출	
부유녹농균(수)	공조기 내부	11:20	11:50	불검출	불검출
		11:25	11:55	불검출	
부유쉬겔라(수)	공조기 내부	11:58	12:28	불검출	불검출
		12:00	12:30	불검출	

표 5. 자외선 공기 살균장치 설치 전 미생물 측정 결과
(Pre-Filter 부분)

측 정 항 목 (Measurement Item)	측 정 대 상 (Object)	공조기 사용 전	공조기 사용 후
일반세균(수)	공조기 Filter	불검출	37 CFU/m ³
곰팡이(수)	공조기 Filter	불검출	125 CFU/m ³
대장균(수)	공조기 Filter	불검출	불검출
바실러스균(수)	공조기 Filter	불검출	불검출
살모넬라(수)	공조기 Filter	불검출	불검출
녹농균(수)	공조기 Filter	불검출	불검출
쉬겔라(수)	공조기 Filter	불검출	불검출



그림 8. 자외선 공기살균장치 설치 전 일반세균 배양사진
(Pre-Filter 부분)



그림 9. 자외선 공기살균장치 설치 전 곰팡이 균 배양사진
(Pre-Filter 부분)

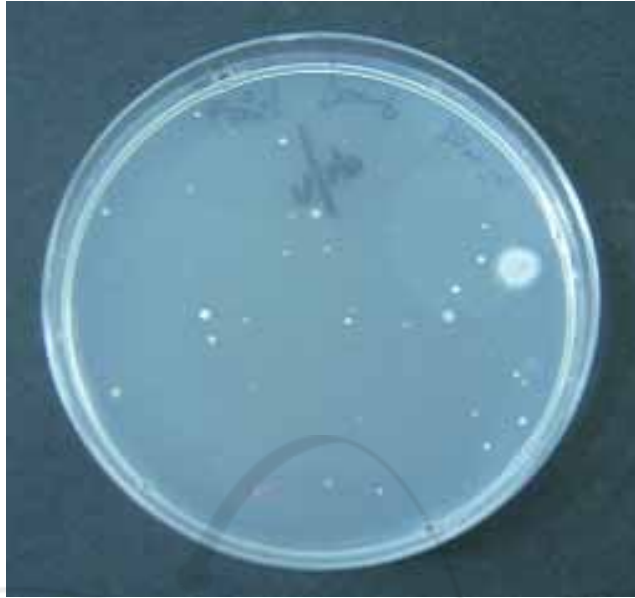


그림 10. 자외선 공기살균장치 설치 전 일반세균 배양사진
(Pre-Filter 통과 후 지점)



그림 11. 자외선 공기살균장치 설치 전 곰팡이 균 배양사진
(Pre-Filter 통과 후 지점)

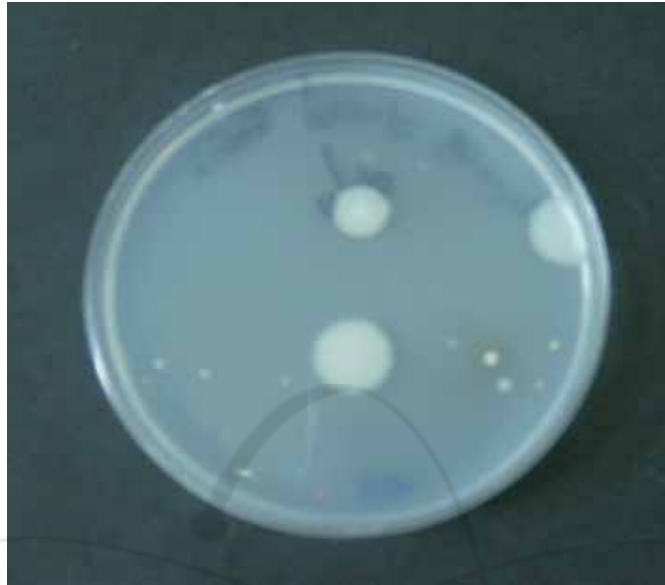


그림 12. 자외선 공기살균장치 설치 전 부유 바실러스 균 배양사진
(Pre-Filter 통과 후 지점)

2. 자외선 공기 살균장치 설치 후 미생물 분석결과

자외선 살균 장치를 설치하기 전에 Pre-Filter를 통과하여 실내로 공급되는 지점에서 포집한 시료를 기준으로 하여 같은 지점에서 시료를 채취하였다.

표 6는 자외선 살균장치를 설치한 후 포집한 시료에서 분석한 결과를 나타 낸 것으로 일반세균의 수는 2 CFU/m³, 부유 곰팡이 수는 2.5 CFU/m³, 부유 바실러스 균의 수는 1 CFU/m³로 검출되었으며, 그리고 그림 13은 일반세균의 배양사진, 그림 14는 곰팡이 세균배양 사진, 그림 15는 부유 바실러스 균의 배양 사진 각각 나타 낸 것이고, 그림 16은 UV램프의 설치전과 후의 살균효과를 표시한 것이다.

표 6. 자외선 공기 살균장치 설치 후 미생물 측정 결과
(Pre-Filter 통과 후 지점)

측 정 항 목 (Measurement Item)	측 정 위 치 (Location)	시작시각 (Start Time)	종료시각 (Finish Time)	측 정 결 과 (Result)	평 균 (Average)
총부유세균수 (일반세균수)	공조기 내부	12:00	12:30	2CFU/m ³	2CFU/m ³
		12:00	12:30	2CFU/m ³	
부유곰팡이(수)	공조기 내부	11:12	11:42	2CFU/m ³	2.5CFU/m ³
		11:12	11:12	3CFU/m ³	
부유대장균(수)	공조기 내부	13:31	14:01	불검출	불검출
		13:31	14:01	불검출	
부유바실러스균(수)	공조기 내부	10:30	11:00	1CFU/m ³	1CFU/m ³
		10:30	11:00	1CFU/m ³	
부유살모넬라(수)	공조기 내부	12:18	12:48	불검출	불검출
		12:18	12:48	불검출	
부유녹농균(수)	공조기 내부	15:21	15:51	불검출	불검출
		15:21	15:51	불검출	
부유취젤라(수)	공조기 내부	14:07	14:37	불검출	불검출
		14:07	14:37	불검출	



그림 13. 자외선 공기살균장치 설치 후 일반세균 배양사진
(Pre-Filter 통과 후 지점)

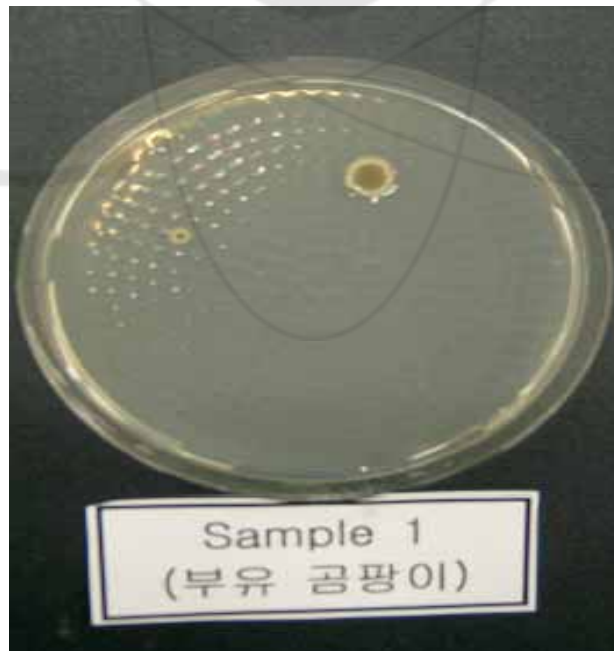


그림 14. 자외선 공기살균장치 설치 후 곰팡이 균 배양사진
(Pre-Filter 통과 후 지점)

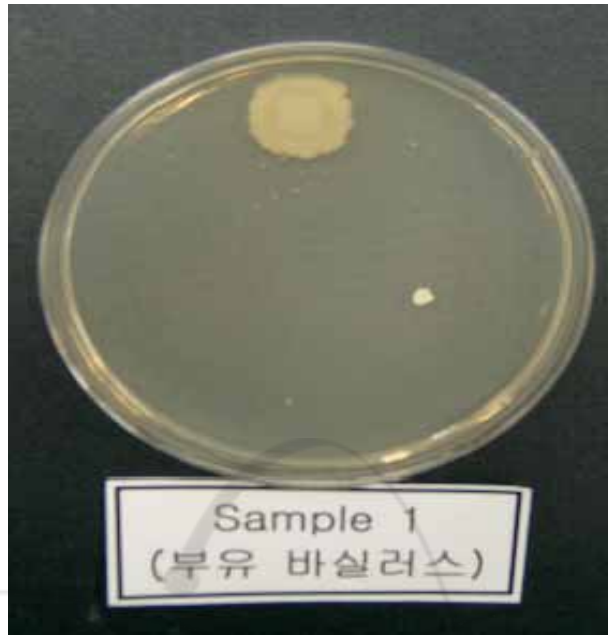


그림 15. 자외선 공기살균장치 설치 후 부유 바실러스 균 배양사진
(Pre-Filter 통과 후 지점)

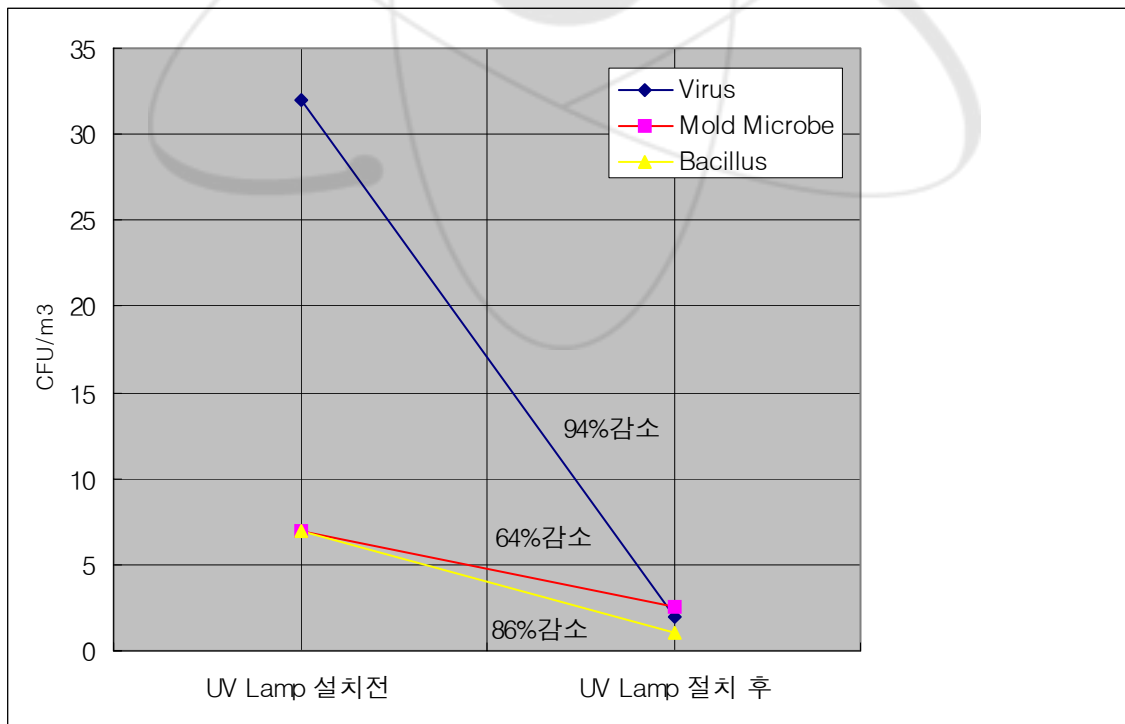


그림 16. 자외선 공기살균장치 설치 전과 후의 비교

제 4 장 결 론

사용 중인 공기조화기 내에 자외선 공기 살균장치를 설치하여 실험을 수행하는 관계로 재실자들에게 위험을 초래할 수 있어 표준으로 배양한 미생물 시료를 사용할 수 없었다. 그래서 자외선 공기 살균장치를 설치하기 전에 포집한 시료로 미생물을 분석하였으며, 여기에서 분석된 미생물의 종류와 수량을 기준으로 하여 자외선 공기살균장치의 효율을 조사 하였다.

현재 운영 중인 공기조화기 내에 존재하는 미생물은 일반세균, 곰팡이 및 부유 바실러스 균인 것으로 분석되었다. 그리고 일반세균 외에는 미미한 수준인 것을 알 수 있었다.

자외선 공기 살균장치를 설치하여 미생물 살균 효율을 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 일반세균은 자외선 공기 살균장치를 통과하면서 세균 수가 32 CFU/m³에서 2 CFU/m³로 감소되어 약 94%의 살균효과가 있었다.
2. 곰팡이 균의 수는 7 CFU/m³에서 2.5 CFU/m³로 감소하여 약 64%의 살균효과가 있었으며, 부유 바실러스 균의 수는 7 CFU/m³에서 1 CFU/m³로 감소하여 약 86%의 살균효과를 보여 주었다. 그리고 곰팡이 균과 부유 바실러스 균에 대한 살균효율이 일반세균 살균효율 보다 낮은 것은 순환공기 중에 존재하는 균의 수가 너무 미미하기 때문인 것으로 판단된다.
3. 순환공기 흡입측 Pre-Filter 부분에서 균의 종류를 측정결과 일반세균과 곰팡이 균이 검출되었다. 살균효과를 높이기 위해서는 Pre-Filter를 일정기간 사용 후 교체하는 것이 효율성면에서 바람직한 것으로 나타났다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구는 가동 중인 공기조화기 계통에 자외선 공기 살균 장치를 설계 및 제작하여 설치한 후 그에 대한 살균효율과 적용성에 대하여 검토하였다.

자외선 공기살균 장치는 현재 연구소에서 가동 중인 공기조화기 중 1대를 선정하여 온도, 습도 및 기류속도를 측정하고, 설치공간을 검토하여 설계 및 제작하였으며, 제작은 전문 업체에 의뢰 하였다.

자외선 공기 살균장치의 설치는 공기조화기 운전에 아무런 영향을 주지 않는 조건에서 이루어 졌으며, 단지 운전시 자외선 공기 살균 장치운전을 동시에 한다는 점과 자외선 노출에 대한 운전자의 주의가 필요할 뿐이다.

자외선 공기살균장치를 가동 중인 공기조화기 계통에 설치하여 실험한 결과 일반 세균에 대한 살균효과가 약 94%로 나타났으며, 곰팡이 균과 부유 바실러스 균에도 살균효과가 있는 것으로 나타났다. 이와 같이 사용 중인 공기조화기에 대한 자외선 공기 살균장치의 적용은 성공적으로 이루어져 새로운 시설을 위한 공기조화계통 설계 또는 기존 공기조화계통에 대한 환경 개선의 일환으로 적용하는데 충분한 자료를 제공할 수 있게 되었다.

앞으로 연구소에서 연차적으로 자외선 공기 살균장치 제작에 필요한 예산이 확보되면 기존 공기조화계통에 적용하여 실내 공기질 향상에 획기적으로 기여할 것으로 판단된다.

제 6 장 References

1. 이성우, "자외선 살균등의 이용과 문제점," 조명전기설비학회지. 3(4), 227~284(1989).
2. Kim, C. K. and Chae, Q., "The inactivation effects of UV light on bacteriophage f2," Kor. J. Appl. Microbiol. Bioeng., 11(3). 155~161(1983).
3. Marianne, P., Paul, F., Larry, G., Harvey, K., Timothy, E., and Paul, R. C., "The mechanism of sunlight-mediated inactivation of *Macillus huringiensis* crystals," Biochem. J., 273, 43~47(1991).
4. Whitby, G. E. and Palmateer, G., "The effect of UV transmission, suspended solid and photoreactivation on microorganism in waster treat with UV light," Water Sci. Technol., 27, 379~386(1993).
5. Ferin, J. and Oberdorster, G., "Biological effects and toxicity assessment of titanium dioxides : anatase and rutile," Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 46(2), 69~72(1985)
6. Vanosdell, D and Foarde, K., "2002 Defining the effectiveness of UV lamps installed in circulating air ductwork., Final Report ARTI-21C/610-40030-1.
7. Chun, J. K., Lee, Y. J., Kim, K. M., Lee, H. W. and Jang, E. Y., " Design of UV ray air cleaner for refrigerator and its sterilizing effect," Korea J. food Sci. Technol., Vol.25, No.2, 171~173(1993).
8. Lee, I. H. "Disinfection of coliform bacteria, fungi and pathogenic bacteria by UV and photocatalytic effects," Journal of KSEE, Vol.23, No.3, 473~484(2000).
9. Lee, S. W., "UVGI application and problems," KIEE 12, Vol.3, No.4, 5~12(1989)
10. Won, C. H., "UV lamp summary and quality," KIEE 12, Vol.8, No.6, 10~21(1994).
11. "Sterilization effect and characteristics of UVGI," Practical Food Sanitation(Japan), 2000.
12. Kowalski, W. J., Bahnfleth, W. P., Whittam, d. M., severin, B. F. and Whittam, "T.S., 2002, Mathematical modeling of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection, Quantitative Microbiology 2," 249-270(2002).
13. 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.



서 정 보 양 식

수행기관보고서번호		위탁기관보고서번호		표준보고서번호		INIS 주제코드	
KAERI/RR-2559/2004							
제목/부제		공기조화 계통에서 자외선 살균방법 응용에 관한 연구보고서					
연구책임자 및 부서명 (TR, AR인 경우 주저 자)		조 성 원 (시설과)					
연 구 자 및 부 서 명		박종순, 서인원, 임광락, 안원석, 오상호, 이강우, 김진규, 권성중					
출 판 지	대 전	발행기관	한국원자력연구소		발행년	2005.04.	
페 이 지	27p.	도 표	있음(V), 없음()		크 기	21x30Cm.	
참고사항							
비밀여부	공개(V), 대외비(), _ 급비밀		보고서종류	연구 보고서			
연구위탁기관				계약 번호			
초록 (15-20줄내외)		<p>본 연구보고서는 자외선 공기살균장치를 사용 중인 공기조화기 내부 공간에 설치하여 그 성능을 파악하고, 공기조화 계통 설계에 필요한 기본 자료를 얻는데 그 목적이 있다.</p> <p>1. 자외선 공기 살균장치 제작 및 설계기준은 다음과 같다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 공기조화기 : 냉방부하 170,000 kcal/h, 난방부하 120,000 kcal/h, 풍량 16,800 CMH. 정압 55 mmAq ○ 자외선 공기살균 장치 : 기류속도 2.5 m/s, 습도 21.6 %RH, 온도 20℃, 파장 253.7 nm, 램프직경 24.5 mm, 소비전력 65 W, 램프수량 26 EA, 재질 STS304 <p>2. 자외선 공기 살균장치의 실험결과 다음과 같이 살균효율을 얻을 수 있었다.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 일반세균 : 약 94 % ○ 곰팡이 균 : 약 64 % ○ 부유 바실러스 균 : 약 86 % <p>본 연구 보고서는 공기조화기 계통의 설계 및 실내 공기질 개선을 위하여 직접 관련 시설의 기기에 자외선 공기 살균장치를 설치한 후 실험으로 얻은 결과로 시설 유지 보수 및 새로운 공기조화계통의 설계에 자외선 공기 살균장치 적용 관련 자료를 충분히 제공할 수 있다.</p>					
주제명키워드 (10단어내외)		자외선 살균, 자외선 공기살균, 자외선 공기 살균장치					

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/RR-2559/2004			
T i t l e / Subtitle		A Study on the Application of UV Sterilization Method in HVAC System.	
Project Manager and Department		S.W.Cho(Engineering & Construction Department)	
Researcher and Department		J.S.Park, I.W.Seo, K.R.Lim, W.S.An, S.H.Oh, K.W.Lee, J.G.Kim, S.J.Kwon	
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI
			Publication Date
			2005.04.
Page	27p.	Ill. & Tab.	Yes(V), No ()
			Size
			12x30 Cm.
Note			
Classified	Open(V), Restricted(), ___ Class Document	Report Type	Research Report
Sponsoring Org.		Contract No.	
Abstract(15-20 Lines)			
<p>The objective of this report is to study on the application of UV sterilization method on HVAC system in building.</p> <p>One type of commercial UV lamp was utilized during this research. It was 1,050 mm length, 24.5 mm diameter, 65 W lamp output, single ended lamp intended for insertion into a frame from inside. Twenty six lamps were mounted and operated in cross flow. They were allowed to operate for at least 30 minutes prior to beginning each test. The test rig was operated at 2.5 m/s and 20℃, and the relatively humidity 21.6% RH.</p> <p>The effect of UV sterilization are investigated that as the general virus about 94%, the mold microbe about 64% and the bacillus about 86%, respectively.</p> <p>Following this report will be used important data for the design and manufacture of the UV sterilization equipment.</p>			
Subject Keywords (About 10 words)		UV, UV Lamp, UV sterilization	