

# 가시광 감응형 광촉매에 의한 수경재배용 배양액의 재이용 살균시스템 개발(I) - 광촉매 필터 요인시험 -

정성원 하유신 이종원 박종민 권순홍 이기명

## Development of a Hydroponic Recycle System using the Visible Light-reactive Titanium Dioxide Photocatalyst for Sterilization of Nutrient Solution(I) - Determination of factors -

S. W. Chung Y. S. Ha J. W. Lee J. M. Park S. H. Kwon K. M. Lee

### Abstract

We produced a basic system of sterilization of nutrient solution based on the characteristics of coated filter with the visible light-reactive titanium oxide photocatalyst according to the findings of the first stage. We developed a model system with a proper number and arrangement of filter elements, the visible light-reactive titanium oxide photocatalyst according to findings from the basic performance test.

Main results of this study were as follows;

The ceramic filters showed the best performance of sterilization of nutrient solution. The visible light-reactive titanium oxide photocatalyst sterilized more effectively the nutrient solution under the sunlight than UV light. The sterilization performance by passing repeatedly through a few filter was more efficient than that by treating simultaneously with a large number of filters. The filter with 15ppi in pore size, 20 mm in thickness, and 3 layers in titanium oxide coating was desirable in the intensity and sterilization performance.

**Keywords :** Photocatalyst, Titanium oxide, Visible light-reactive, Hydroponic system, Sterilization

### 1. 서론

수경재배지의 배양액 공급방식은 크게 비순환식과 순환식으로 나눌 수 있는데, 비순환식 수경재배에서는 15~40%의 잉여양액이 시설외부로 배출되어 비료와 용수 등의 자원 낭비와 지하수의 부영양화 등의 환경오염을 초래하고 있어 (Benoit, 1992; Sonneveld, 1993), 배양액을 재이용할 수 있

는 살균시스템의 개발 보급이 수경재배 농가의 원가절감과 환경보전 측면에서 시급한 실정이다. 또한, 수경재배에서 발생하는 주요 병원균은 일반세균(bacteria), 탄저병균(*Colletotrichum gloeosporioides*), 역병균(*Phytophthora sp.*), 시들음병균(*Fusarium sp.*) 등의 수매전파를 하는 병원균이다. 순환식 수경재배에서는 배양액이 전체 베드를 순환하기 때문에 배양액 중에 피습(*Pythium*)이나 푸사리움(*Fusarium*)속 균과 같은 유

This study was supported financially by the Agricultural R&D Promotion Center (ARPC). The article was submitted for publication on 2010-09-28, reviewed on 2010-10-19, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-11-17. The authors are Sung Won Chung, KSAM member, Professor, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Yu Shin Ha, KSAM member, Researcher, Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Jong Won Lee, Researcher, Agriculture Civil Engineering, Kyungpook National University, Jong Min Park, and Soon Hong Kwon, KSAM member, Professor, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Pusan National University, and Ki Myung Lee, KSAM member, Professor, Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University. Corresponding author: S. W. Chung, Professor, Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Miryang, 627-706, Korea; Phone: +82-55-350-5422; Fax: +82-55-350-5429; E-mail: <chung@pusan.ac.kr>.

해세균이 침입하여 배양액이 오염되면 순식간에 시설 전체로 확산되어 회복 불가능한 피해 발생의 위험이 있으므로 보다 확실한 배양액의 살균 기술이 필요하다.

이러한 배양액의 살균법으로는 자외선, 여과, 광촉매 등에 의한 물리적 방법과 오존, 무기 금속이온 등에 의한 화학적 방법이 있으며, 이 가운데 광촉매 반응에 의한 살균법은 에너지 밀도가 낮은 광을 이용해서 강력한 산화력을 발휘하고 태양광의 이용도 가능한 특징이 있다(Lee, 2007). 특히 이산화티타늄을 이용한 광촉매작용에 의해 살균효과가 얻어지는 것은 세균세포를 구성하고 있는 세포막 등의 일부가 광유기분해 반응에 의해 파괴되고 기능저하를 일으키기 때문이다(Miyama et al., 2002). 최근의 실용적 연구로는 자외선램프를 이용한 이산화티타늄의 광촉매 작용에 의한 배양액의 살균 및 재순환 시스템 개발(Lee, 1999), 태양광에 의한 광촉매 작용을 수경재배의 배양액의 정화·소독에 적용한 연구(Miyama et al., 2002) 등이 있다. 이들 연구는 모두 자외광 반응형 광촉매 세라믹 필터를 사용하였으며, 태양광을 이용한 가시광 감응형 광촉매에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 자연에너지인 태양광에 의한 가시광 감응형 이산화티타늄 광촉매를 이용하여 피처리액을 농축처리하지 않고 빗물 등에 의해서 희석된 상태에 있어서도 저비용으로 실용적인 수준까지 처리가 가능한 수경재배 배양액의 재이용 살균시스템을 개발하는데 있다. 본 연구는 2단계로 나누어 보고되는데 1단계는 시스템 설계를 위한 기초적인 요인시험에 대한 것이며, 2단계는 요인시험에서 얻어진 가시광 감응형 광촉매의 특성을 이용하여 수경재배용 배양액을 살균하는 기본적인 시스템을 구성하고, 그 성능을 시험한 것이다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험장치 및 재료

#### 1) 공시병원균

탄저병은 과채류의 유포기부터 피해가 심하여 재배농가에서 가장 문제시 되고 있는 병으로서 이 병은 토양전염, 수매

전염 및 병든 모주로부터 분주하여 증식한 모에 의해서 전염되는 병이지만 주로 물에 의하여 전파된다. 또한 고품배지수경에서 배지 중에 전염기관을 축적하여 만연하는 시들음병균(*Fusarium*속균) 등 병해의 피해가 많다. 수경재배에서 가장 문제시 되는 병원균은 세균(bacteria), 탄저병균(*Colletotrichum* sp.), 역병균(*Phytophthora* sp.), 시들음병균(*Fusarium* sp.) 등 수매전과를 하는 병원균이지만 본 연구에서는 분생포자를 짧은 기간 내에 생성시킬 수 있고, 물에 현탁성이 높으며, 포자(spore)가 물속에 침전되어도 장시간 생존하여 전염력을 유지하므로 본 실험의 실험재료로 탄저병균 및 시들음병균을 배양하여 사용하였으며, 탄저병균 및 시들음병균의 배양은 꽃고추에 균을 접종하여 온도 28~30 °C의 인큐베이터에서 1주일 정도 배양하여 균이 왕성하게 번식하였을 때 포자를 형성하도록 하여 포자를 증류수에 수집하였다. 이 수집된 포자를 수돗물에 현탁하여 광촉매 필터를 설치한 시스템에 의해 처리하였다. 본 연구에서 수경재배 시에 발생하는 다양한 병원균에 대한 살균 성능을 검정하지 않고 탄저병균 및 시들음병균에 의한 시험을 실시한 것은 모든 균은 유기물이고 광촉매 살균 시스템은 유기물을 분해하는 원리를 이용하기 때문에 포자를 이룬 탄저병균이 포자수를 카운트하기가 편리하여 이용하였다.

#### 2) 가시광 감응형 광촉매

가시광 감응형 광촉매 반응이 효과적으로 작용할 수 있는 필터 형태로 구성하기 위해 Miyama 등(2002)이 시도한 300×300 mm 크기에 두께 13 mm의 세라믹 모재를 사용한 필터와 니켈을 사용한 메탈 필터 등 2종류로 하고 이 필터에 각각 가시광 감응형 이산화티타늄(TiO<sub>2</sub>)과 자외광 반응형 이산화티타늄을 코팅 제작하였다. 코팅 방법은 표 1과 같이 슬러리 스프레이 방식을 사용하였다. 코팅재의 주요 성분은 가시광 감응형 이산화티타늄 광촉매(TiO<sub>2</sub> : SiO<sub>2</sub> = 70 : 30) 분말로서 코팅압력 3~4 kg/cm<sup>2</sup> 로 필터 양면에 코팅하였고 코팅두께는 평균 20 μm, 최대 150 μm이하로 하였다. 코팅재의 양은 3~5 g/plate이었다. 또한, 세라믹 필터는 다공질형태의 세라믹(SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 복합세라믹) 모재의 기공률을 15 ppi와

**Table 1** Specification of titanium dioxide visible & UV reactive photocatalytic coatings on the ceramic material

Items	Before improving	After improving
Method	Slurry spray(1 time treatment)	Slurry spray(3 times treatment)
Composition rate	TiO <sub>2</sub> : SiO <sub>2</sub> = 70 : 30	TiO <sub>2</sub> : SiO <sub>2</sub> = 70 : 30
Pressure (kg/m <sup>2</sup> )	3×10 <sup>4</sup> ~4×10 <sup>4</sup>	3×10 <sup>4</sup> ~4×10 <sup>4</sup>
Coating surface (mm)	300×300, both	300×300, both
Thickness (μm)	Ave. 20, Max. 150	Ave. 50, Max. 400
Adhesion weight (g/plate)	3~5	8~10

40 ppi의 2종류로 하고 TiO<sub>2</sub> 광촉매 분말을 슬러리화시켜 스프레이 방식으로 코팅한 후 열처리하여 제작하였다.

광촉매 필터의 취급상 부스러지는 등으로 인해 강도 보강이 요구되었으며, 살균능력이 우수한 필터를 개발하기 위하여 광촉매 필터의 규격, 이산화티타늄 코팅 방법 등에 대한 검토를 하였다. 개선된 가시광 감응형 이산화티타늄 광촉매 코팅 필터는 300×300 mm의 크기에 두께를 13 mm에서 20 mm로 하였고, 개선된 코팅방법은 표 1과 같이 이산화티타늄 광촉매 코팅을 3회, 코팅두께는 평균 50 μm, 최대 400 μm이하, 코팅재의 담지량은 8~10 g/plate로 하였다.

### 3) 요인시험 장치

요인시험 장치는 그림 1과 2에서 보는 바와 같이 폭 303 mm, 길이 700 mm, 높이 30 mm의 처리채널 내에 300×300×13 mm의 광촉매필터 1매를 평면으로 설치하고 용량 15 L의 공급탱크에 배양한 탄저균을 수돗물에 현탁한 후 처리전의 균밀도를 측정한다. 그리고 수중펌프를 이용하여 유량 1 L/min를 공급하면서 광촉매필터 위를 통과한 현탁액을 집수탱크에 집수하고 샘플을 채취하여 처리후의 균밀도를 측정한다. 수집된 처리수를 다시 수중펌프를 이용하여 공급탱크로 보내고 이것을 재차 광촉매 필터 위를 통과시키는 실험을 반

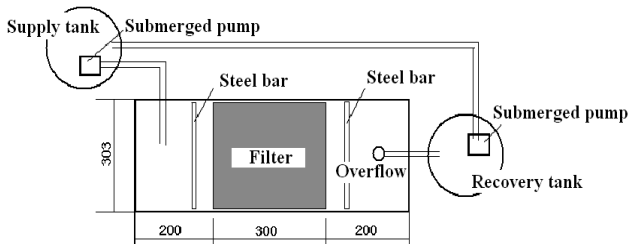


Fig. 1 Schematic of sterilization system used in the experiment.

복하여 균밀도가 감소되는 양상을 조사할 수 있도록 시험 장치를 구성하였다. 그리고 배양액의 살균처리를 위한 시스템에 배양액을 공급하는 펌프는 소형 수중펌프로서 배출구경 10 mm, 양정 1.3 m, 최대 양수량 1 L/min이며, 전원은 단상 220 V-11 W이다. 그림 2에서는 태양광을 이용하는 단위 광촉매 요인시험 장치로서 처리채널이 2열로 구성되어 2종의 광촉매 필터의 성능시험을 동시에 실시할 수 있고, 필터 2매를 설치할 수 있도록 길이를 길게 하여 설치 필터매수에 따른 성능도 비교할 수 있도록 구성하였다.

### 나. 실험방법

본 연구에서 사용한 살균성능 시험 항목은 표 2와 같다. 필터 재질 및 광원별 살균성능 시험은 두께가 13 mm, 기공률 40 ppi인 세라믹 및 메탈 필터를 각각 1매씩 사용하여 태양광과 자외광에 대하여 살균성능을 분석하였다. 자외광은 15W(UV-B, Sankyo Denki, Tokyo, Japan) 2개를 이용하였으며, 태양광의 1일 평균일사량은 530~920 W/m<sup>2</sup>으로 나타

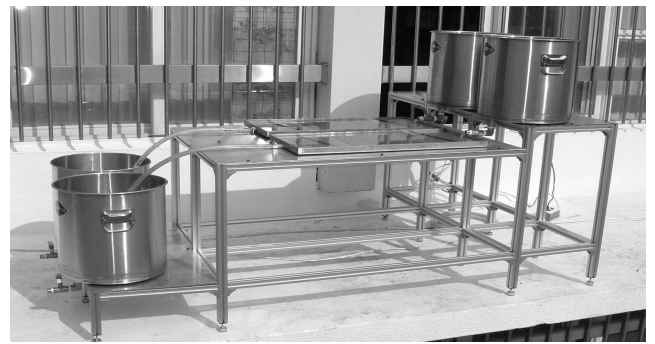


Fig. 2 Experimental setup for sterilization using the photocatalytic filter under sunlight source.

Table 2 Experimental design and variables

Variables	UV light -material of filter	Visible light ceramic filter -porosity	# of sheet installed×# of cycle		Visible light ceramic filter -light source	Sustain ability
Light source	UV	Sun	UV, Sun		Sun	Sun
Material	Metal, Ceramic	Ceramic	Metal, Ceramic		Metal, Ceramic	Ceramic
Reactive type	UV light, Visible light	Visible light	UV light, Visible light		Visible light	Visible light
Porosity(ppi)	40	15, 40	40		40	15
# of sheet installed	1	1	1	2	1	2
# of cycle	14	14	14	7	14	10
Distance of UV light(cm)	40	-	40		-	-
Filter thickness(mm)	13	13	13		13	13, 20

났다. 그리고 기공률별 살균성능 시험은 두께 13 mm 세라믹 필터 1매에 대하여 태양광에 대한 살균성능을 분석하였고, 동일한 처리채널 내에 설치한 광촉매 필터의 매수에 따른 광촉매의 살균성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 누적통과 필터 매수는 14매로 동일하게 하였다. 이것은 동일한 처리채널 내에 설치한 광촉매 필터의 매수에 따라 1매의 광촉매 필터에 대하여 비례적으로 다수매의 성능을 나타내는가를 알아보기 위한 것으로, 단위 광촉매 필터의 살균 성능시험 장치를 이용하여 처리채널 내에 광촉매 필터 2매를 설치하여 1회 살균 처리한 것과 처리채널 내에 필터 1매를 설치하여 2회 통과 처리한 것을 서로 비교하기 위하여 각각 누적 광촉매 필터 통과매수를 14매로 같게 하였다. 또한, 두께별 살균성능 시험은 개선은 코팅방법을 이용하여 기공률 15 ppi 인 세라믹재질의 가시광 감응형 필터의 두께를 각각 13, 20 mm로 하여 살균성능을 분석하였다.

살균성능 시험은 탄저균 현탁액의 균밀도(density of spore, DOS)를 측정 후 현탁액을 공급하여 처리채널을 통과하여 나오는 현탁액을 회수탱크에 집수하고 그 균밀도를 측정하여 1회 처리로 하고, 이 처리수를 재차 회수탱크내의 수증펌프를 사용하여 공급탱크로 보낸 후 처리채널을 통과시켜 현탁액의 탄저균을 처리하는 것을 반복하여 누적 14회전이 되도록 실시하였다. 이는 예비시험결과 반복회수가 14회 이상에서는 최종적으로 남아있는 포자의 발아시험을 통하여 분해되지 않은 병균의 살균력을 조사한 결과 발아가 되지 않는 것으로 나타났다.

꽃고추에 배양한 탄저병균의 분생포자를 증류수로 채취하여 요인시험장치의 배양액 공급탱크의 수돗물에 초기 균밀도를 100개/0.9 mm<sup>3</sup> 전후가 되도록 현탁하여 시험에 이용하였다. 이 때 균밀도는 실제 수경재배 배액에서 나타나는 균밀도(20개/0.05 mL)의 300~500배로 하여 성능시험의 유효성 면을 고려하였다. 또한 탄저병균의 분생포자는 정제된 물에서 서서히 바닥에 침전되므로 탱크의 바닥에 소형 수증 펌프를 설치하여 시험 중 계속 가동하여 탄저병균 포자가 물에 고르게 현탁되도록 하였다. 살균처리에 대한 살균성능의 평가는 처리 전·후에 탄저병균 현탁액의 탄저병균의 포자를 광학현미경으로 계수하여 10회 평균치를 균밀도의 변화로서 나타내었고, 살균효과는 백분율(%)로 표시하였다. 여기서 포자의 계수는 혈구계산기(hemocytometer)를 이용하였다.

본 연구에 사용된 세라믹 필터는 표면적이 넓고 가볍기 때문에 약한 충격에서도 쉽게 파괴되는 경향이 있으며 또한 수분을 포함하게 되면 필터의 강도는 더욱 저하하게 된다. 필터의 적정 강도는 취급 시의 파손을 줄일 수 있기 때문에 경제적인 손실을 최소화 할 수 있다. 따라서 필터의 규격별 강도의 차이를 알아보기 위해서 만능강도시험기를 이용하여 압축강도를 측정하여 비교하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 광촉매 필터 종류별 살균성능

이산화티타늄 광촉매를 코팅한 필터의 재료별로 자외광을 조사하였을 때의 살균성능을 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 같은 크기의 필터를 사용하는 경우 세라믹 필터가 메탈필터보다 살균성능이 우수하게 나타났으며, 가시광 감응형과 자외광 감응형과의 차이는 적었다. 이것은 광원으로 자외광을 조사하였기 때문에 가시광 감응형 이산화티타늄 광촉매는 가시광에 응답하지만 자외광에서도 광촉매 작용을 하기 때문이다. 그러나 후술하는 태양광에서는 자외광이 부족하여 광원에 의한 살균성능에 차이가 크게 나타났다. 여기서 세라믹을 모재로 한 필터가 메탈을 모재로 한 필터에 비하여 살균성능이 우수한 것은 메탈 필터의 경우 0.2 mm 정도의 메탈(니켈)선을 필터 모양으로 성형 가공한 미세한 선에 이산화티타늄을 코팅한 것으로 기공성 세라믹(porous ceramic) 모재에 비하여 기공률이 과대하게 크기 때문에 이산화티타늄 코팅 면이 적어 세균과의 접촉이 잘 이루어지지 못하여 광촉매 기능이 저하된 것으로 판단된다.

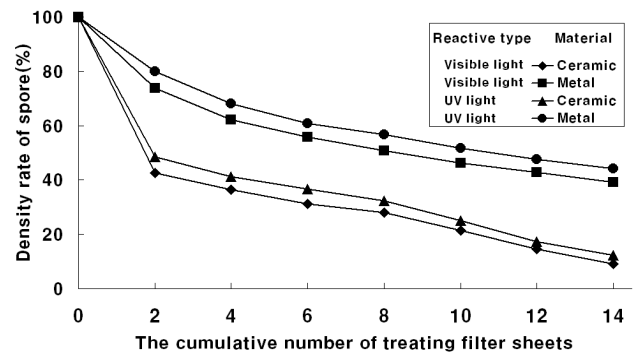


Fig. 3 Changes in the density of spore for visible & ultraviolet reactive filters under UV light at the cumulative number of treating filter sheets.

#### 나. 기공률별 살균성능

그림 4는 가시광 감응형 세라믹 필터의 기공률에 따른 살균성능을 나타낸 것으로 사용 필터 수는 1매이며 누적통과 필터 매수는 14매이다. 그림에서 보는 바와 같이 기공률 15 ppi의 경우 처리 전의 균밀도 103.2 개/0.9 mm<sup>3</sup>(100%)에서 처리 후에는 14.2 개/0.9 mm<sup>3</sup>(13.8%)로 감소하였으며, 기공률 40 ppi의 경우에는 처리 전의 균밀도 98.5 개/0.9 mm<sup>3</sup>에서 처리 후에는 23.2 개/0.9 mm<sup>3</sup>(23.6%)로 감소하였다. 따라서 필터 기공률 15 ppi가 40 ppi에 비해서 9.8% 우수하게 나타났다. 이것은 기공률 15 ppi가 40 ppi에 비해서 단위 기공이 크기 때문에 태양광이 필터 내부까지 침투하여 광촉매 작용을 하기 때문이라고 판단된다.

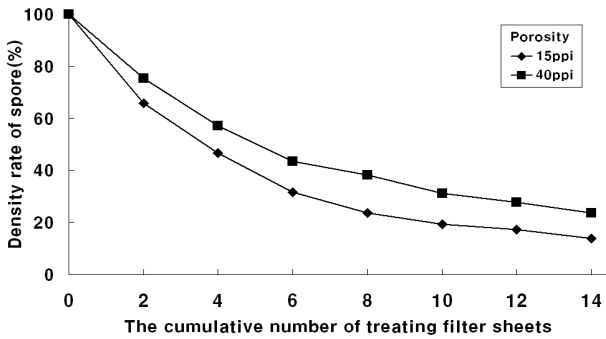


Fig. 4 Changes in the density of spore at the cumulative number of treating filter sheets by the levels of porosity.

#### 다. 필터의 설치 매수별 살균성능

동일한 처리채널 내에 설치한 광촉매 필터의 매수에 따른 광촉매의 살균 처리성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 누적통과 필터 매수는 14대로 동일하게 하고 통과 필터의 매수에 따른 살균 성능을 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 처리채널에 1매를 설치하여 14회 처리채널을 통과 시킨 것과 처리채널에 2매를 설치하여 7회 처리채널을 통과 시킨 살균 성능은 1매 설치하여 14회 통과시킨 것이, 2매 설치하여 7회 통과시킨 것에 비하여 살균 성능이 우수한 것으로 나타났다. 이것은 처리채널에 2매를 설치하여 연속으로 배양액을 흘린 경우가 1매를 설치하여 2배 반복 통과시킨 경우에 비하여 현탁액의 상하 섞임이 적어 필터와 균의 접촉이 불균일한 때문으로 판단된다.

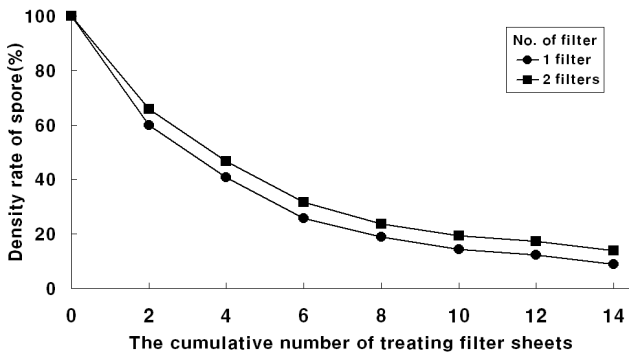


Fig. 5 Changes in the density of spore at the cumulative number of treating filter sheets by the number of filter installed in the system.

#### 라. 광원별 살균성능

가시광 감응형 광촉매를 코팅한 필터의 재료별로 태양광 및 자외광의 광원별 살균성능을 처리회수에 따라 균밀도로 나타낸 것이 그림 6이다. 그림에서 보는 바와 같이 세라믹 필터가 메탈 필터 보다 살균성능이 우수하였고 태양광이 자외광보다 우수한 살균성능을 보였다. 여기서는 가시광 감응형

필터만을 시험하였기 때문에 광원에 따른 살균성능의 차이는 크지 않고 필터의 재료에 따른 살균성능의 차이가 크게 나타났다.

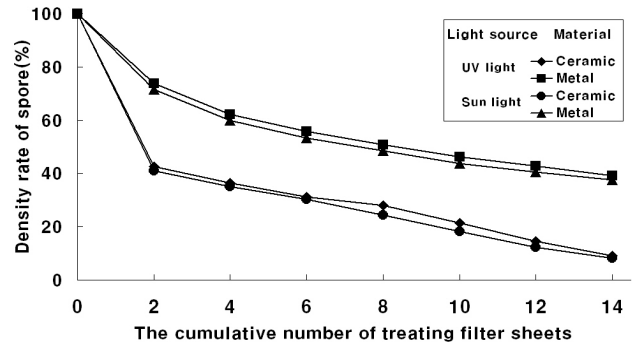


Fig. 6 Changes in density of spore at the cumulative number of treating filter sheets by light source with visible reactive type filter.

#### 마. 광촉매 필터의 두께별 살균성능

가시광 감응형 세라믹필터(기공률 15 ppi)를 두께(13, 20 mm)별로 2매씩을 처리채널에 설치하여 태양광하에서의 살균성능 시험을 실시하여 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 단위 광촉매 필터 시험장치의 처리채널에 필터를 2매씩 설치하여 10회 반복 처리한, 즉 누적 통과필터 매수가 20매인 경우의 균밀도율은 필터두께 13 mm에서는 초기 균밀도 112.5 개/0.9 mm<sup>3</sup>에서 처리 후의 최종 균밀도가 25.4 개/0.9 mm<sup>3</sup>로 균밀도율이 22.6% 감소하였으며, 20 mm를 사용한 경우에는 초기 균밀도 122 개/0.9 mm<sup>3</sup>에서 처리 후의 최종 균밀도가 17.9 개/0.9 mm<sup>3</sup>로 균밀도율이 14.7% 감소하였다. 필터 두께 13 mm에 비하여 두께 20 mm가 누적 통과 필터 매수가 20일 때 7.9% 살균 성능이 우수하게 나타났다. 이것은 필터의 두께가 두꺼우면 태양광이 필터의 기공을 통하여 내부까지 침투해서 광촉매에 의한 살균 효과가 증가하기 때문으로 판단된다.

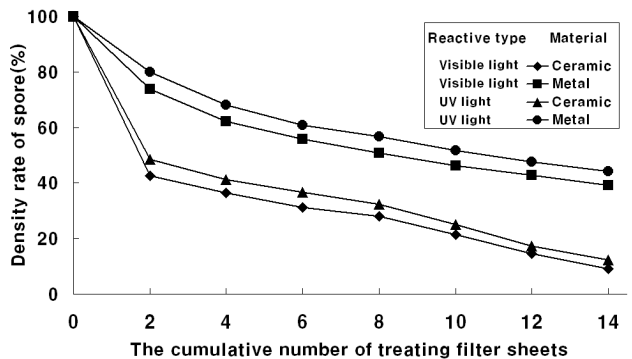


Fig. 7 Changes in the density of spore for visible & ultraviolet reactive filters under UV light at the cumulative number of treating filter sheets.

**바. 광촉매 필터의 두께별 강도**

두께별 압축강도는 표 3에서 보는바와 같이 필터 두께 20 mm가 13 mm의 필터 보다 60~70 kgf/cm<sup>2</sup> 정도 높게 나타났으며 기공률에 따른 압축강도는 40 ppi가 15 ppi의 필터에 비해서 약 10 kgf/cm<sup>2</sup> 높게 나타났지만 유의차 범위 내에 있었다. 이상의 결과에서 광촉매 필터는 살균 성능과 강도 면을 고려하여 두께를 20 mm 로 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

Size (mm)	Porosity (ppi)	Compress strength (kgf/cm <sup>2</sup> )
300×300×20T(±1.5)	15	300~310
	40	315~325
300×300×13T(±1.5)	15	240~250
	40	250~255

**4. 요약 및 결론**

수경재배 배양액의 시설 외부로의 배출에 따른 지하수 및 토양의 오염과 용수 및 비료 손실 등의 문제 해결을 위해서는 사용한 배양액을 재이용할 수 있는 살균처리 시스템의 개발이 필요하다. 본 연구는 수경재배 배양액의 재이용을 목적으로 가시광 감응형 이산화티타늄 광촉매에 의한 배양액의 살균 시스템을 개발하기 위하여 수행한 요인시험으로서 수돗물에 탄저균 포자를 희석한 배양액을 광촉매 세라믹 필터 위를 흘려 균밀도가 감소하는 방법으로 실시하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 가시광 감응형 이산화티타늄을 코팅한 세라믹필터와 메탈필터의 광촉매에 의한 살균성능은 세라믹필터가 17.7 개/0.9 mm<sup>3</sup>로 메탈필터보다 30.0% 높게 나타났다.
- (2) 가시광 감응형 이산화티타늄을 코팅한 세라믹필터 광촉매에 의한 살균성능은 가시광이 17.7 개/0.9 mm<sup>3</sup>로 자외광보다 3.2% 높게 나타났다.
- (3) 가시광 감응형 세라믹 필터의 기공률에 따른 살균성능

은 필터 기공률 15 ppi일 때 14.2 개/0.9 mm<sup>3</sup>로 40 ppi 보다 9.8% 높게 나타났다.

- (4) 광촉매 필터의 두께별 살균성능은 두께 20 mm일 때 17.9 개/mm<sup>3</sup>로 두께 13 mm보다 7.9% 높게 나타났다.
- (5) 필터의 두께별 압축강도는 두께 20 mm가 13 mm의 필터 보다 60~70 kgf/cm<sup>2</sup>정도 높게 나타났으며 기공률에 따른 압축강도는 40 ppi가 15 ppi의 필터에 비해서 약 10 kgf/cm<sup>2</sup> 높게 나타났다.
- (6) 종합적으로 본 연구의 광촉매 필터 요인시험에서 가시광 감응형 이산화티타늄을 코팅한 세라믹필터의 기공율은 15 ppi, 필터의 두께는 20 mm가 살균성능과 강도에서 우수한 것으로 나타나 이를 금후 실험장치 설계에 적용하였다.

**참 고 문 헌**

1. Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture techniques. p. 33. European Vegetable R&D center, Belgium.
2. Lee, I. H. 1999. Development of equipment for recycling of nutrient solution in green house by utilizing of UV-photocatalytic disinfection. Final report of the research project, Ministry Agriculture & Forestry, Gwacheon, Republic of Korea.
3. Lee, K. M. 2007. Development of a Hydroponic Recycle System using the Visible Light-reactive Titanium Oxide Photocatalyst for Sterilization and Purification of Nutrient Solution. Final report of the research project, Ministry Agriculture & Forestry, Gwacheon, Republic of Korea.
4. Miyama, Y., K. Sunada and K. Hashimoto. 2002. Photocatalytic water treatment of tomato hydroponic culture system using solar light. Proceedings of the 14th International conference on photochemical conversion and storage of solar energy W2-P-34.
5. Sonneveld, C. 1993. Hydroponic growing in closed systems to safeguard the environment. Australia Hydroponic Conference-Hydroponics and the Environment. p. 21-36. Monash. Univ. Melbourne, Australia.