

Research Paper

## 구리입자 기반 UV경화도료 코팅 목질 마루판의 항균 특성

# Investigating the Antibacterial Qualities of Copper Particle-Infused UV-Curable Paint for Wood Flooring Boards

이동건<sup>1</sup> · 임남기<sup>2</sup> · 고재송<sup>3\*</sup>

Lee, Dong-Gun<sup>1</sup> · Lim, Nam-Gi<sup>2</sup> · Koh, Jae-Song<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Master's Course, Graduate School, Department of Architectural Engineering, TongMyong University, Nam-Gu, Busan, 48520, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Architectural Engineering, TongMyong University, Nam-Gu, Busan, 48520, Korea

<sup>3</sup>R&D Center Director, Seomun Timber Co., Ltd., Daegot-Myeon, Gimpo-Si, Gyeonggi-Do, 10042, Korea

\*Corresponding author

Koh, Jae-Song

Tel : 82-31-689-5585

E-mail : kkjtky1@hanmail.net

Received : May 23, 2023

Revised : June 8, 2023

Accepted : July 22, 2023

ABSTRACT

This research evaluates the antibacterial and transparency properties of UV-curable paint augmented with 20wt% copper particles. The transparency assessment indicated that the paint maintained a total luminous transmittance of 90% or above, thereby matching or surpassing the performance of standard UV-curing paints. To further test its antibacterial capabilities, wooden flooring boards were coated with the UV-curable paint laced with 20wt% copper particles, which had been surface-modified with a silane coupling agent. Following the fatigue tests of these treated boards, an impressive bacterial reduction rate of 99.9% was noted after a span of 6 hours, demonstrating the paint's exceptional antibacterial performance.

**Keywords :** antibacterial quality, total luminous transmittance, copper particles, UV-curable paint, wood flooring boards

## 1. 서론

최근 인테리어에 대한 관심 증가로 자연미가 우수하고 미려한 실내 공간연출이 가능한 목질 마루판에 대한 관심이 높아지고 있다. 목질 마루판은 한국산업규격(KS)에서 규정한 바와 같이 목재 플로어링보드(KS F 3103) 즉 원목마루, 천연 무늬목 치장 마루판(KS F 3111) 및 치장 목질 마루판(KS F 3126)으로 대별된다. 이중 원목마루는 체육관 등 실내체육시설에 많이 사용되고 치장목질마루판은 학교 교실, 보육원, 공동주택 등에 많이 사용되고 있다. 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 코로나 바이러스의 감염 확산 사태에 따라 집단시설을 중심으로 유해세균의 감염 확산 방지에 대한 필요성이 대두되었고 이로 인해 사회적 불안감이 확산되었다. 이에, 감염 확산 차단이 필요성이 높은 병원 시설 등의 실내 공간에서 항균필름이나 항균 손잡이 등에 항균물질을 적용한 항균 소재 적용에 대한 연구 및 수요가 꾸준히 증가하고 있다[1,2].

구리의 항균효과는 대장균, 녹농균, 폐렴균뿐만 아니라 항체에 내성이 강한 슈퍼박테리아인 MRSA까지도 3시간 내에 99.9%의 유해 세균을 사멸시킨다는 연구 결과가 다수 보고 되었으며 최근에는 코로나 바이러스에 대한 항바이러스효과가 우수하다는 연구결과 들도 다수 보고 되고 있다. 구리의 항균 메커니즘을 Figure 1에 나타내었다[3-6].

최근 구리를 이용한 항균제품이 다수 출시되고 있으나, 대부분 구리 고유의 금속 색을 띠고 있어 목질 마루판에 적용 시 목재의 나뭇결이 그대로 나타나게 하는 데에는 한계가 있다. 일반적으로 실리카, 산화아연 등 무기입자는 표면에 수산기(-OH)



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

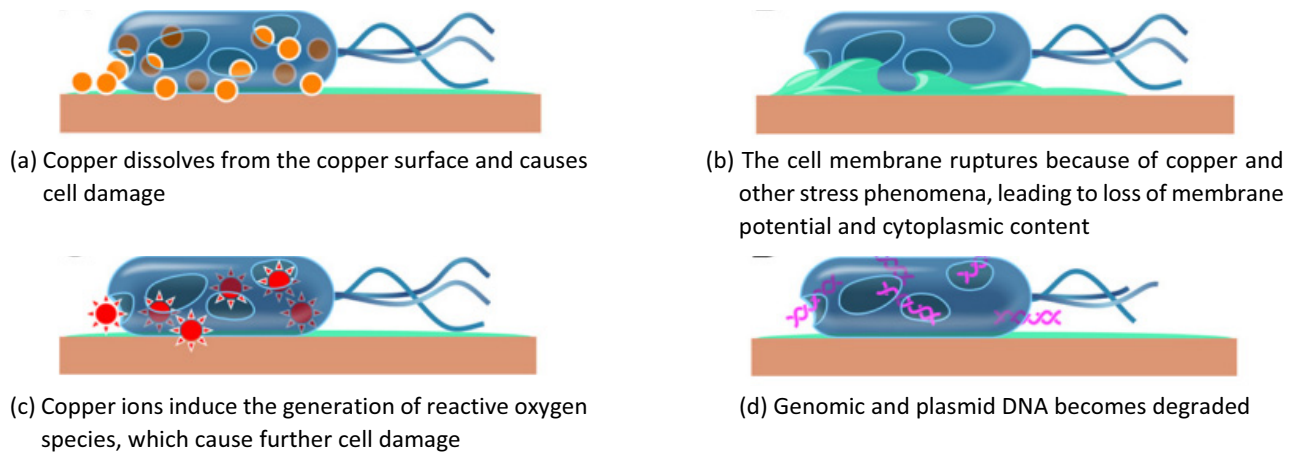


Figure 1. Antibacterial Mechanism of Copper Surface

를 가지고 있으며 친수성을 띠고 있어 첨가제로 사용될 경우 소수성인 수지에서의 분산성을 향상시키기 위하여 실란 커플링제를 사용하여 입자 표면을 소수성으로 개질한다[7,8].

구리 입자도 표면에 수산기를 가지고 있으며 친수성이므로 에폭시 또는 우레탄 올리고머 등 수지와 혼합하여 코팅 시 선행연구에서 도출된 문제점인 구리 입자와 수지 간의 상용성이 좋지 않아 분산성이 떨어져 구리입자가 서로 뭉쳐지거나 (Agglomeration) 비중차이에 의해 구리입자가 침전되어 항균성이 고루 발현되지 않는 문제점이 있다. 그리고 항균성분을 코팅할 경우 모재의 파손이나 변형을 방지하면서, 항균성분과 목재 간의 밀착성 및 내마모성까지 확보하기에는 어려움이 있었다.

따라서 본 연구에서는 체육관 등 실내체육시설의 넓은 면적을 차지하는 원목 마루 및 학교 교실, 공동주택 등에 사용되는 치장목질마루판 등 목질 마루판에 항균성능을 부여하기 위하여 이미 항균 성능이 검증되었고, 2021년 미국환경보호청 (EPA)에서 안전성이 입증되어 항바이러스 물질로 인정한 구리입자를 실란 커플링제를 이용하여 표면을 개질하고 표면 개질된 구리입자를 UV경화도료에 첨가하여 항균 UV경화도료를 제조하고, 이를 원목 마루 및 치장목질마루판에 코팅한 항균 목질 마루판의 항균성능을 평가하고자 한다[9].

## 2. 실험계획

### 2.1 사용재료

본 연구에서 사용한 원목 마루는 가로×세로×두께가 1800mm×60mm×22mm의 북미산 단풍나무를 사용하였으며, 치장목질마루판은 KS F 3126의 품질기준에 명시된 바와 같이 폼알데하이드 방출량이 평균 평균 0.3mg/L이하, 최대 0.4mg/L이하의 SE<sub>0</sub>형 내수합판에 고압 멜라민합침지(HPM ; High Pressure Melamine)가 접착된 가로×세로×두께가 800mm×95mm×7.5mm의 강마루를 사용하였으며, UV 경화도료는 조광페인트의 UV경화형 하도(Wood Sealer), UV경화형 중도(Sanding Sealer), UV경화형 상도 투명(비중 1.07~1.11, 점도 80~85KU at 25°C) 및 UV HPM 프라이머(Primer)를 사용하였다. 항균 물질로서 구리입자는 풍산홀딩스의 구리입자(Cu 99% 이상, 평균 입자입경 40 $\mu$ m)를 사용하였으며 구리입자의 표면개질을 위한 실란 커플링제인 3-Aminopropyltriethoxysilane(APTES)은 Sigma-Aldrich사의 제품을 사용하였다. 용매로는 에탄올(99.9%, GR grade, 삼전순약공업)을 사용하였고 pH조절을 위하여 암모니아수(28%, Junsei Chemical)를 사용하였다. 모든 시약은 재정제 없이 그대로 사용하였다[10].

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 구리입자 표면개질

구리입자는 120°C의 dry oven에서 3시간 이상 건조 후 데시케이터 내에서 상온까지 냉각시켜 구리입자에 흡착된 수분을 제거하여 사용하였다. 용매는 에탄올에 암모니아수를 사용하여 pH를 조절하였다. pH가 조절된 용매를 비이커에 넣고 기계식 교반기를 사용하여 50°C에서 500rpm으로 30분간 혼합하였다. 교반이 끝난 후 실란 커플링제인 APTES를 천천히 적하하여 첨가한 후 50°C에서 500rpm으로 교반하면서 APTES를 가수분해 시켰다. 가수분해 반응이 끝난 후 구리입자를 비이커에 넣고 50°C에서 900rpm으로 3시간 동안 표면개질 반응을 진행하였다. 반응이 끝난 용액은 여과장치를 이용하여 거른 후 에탄올을 사용하여 3회 세척하였다. 세척 후 Dry Oven을 이용하여 80°C에서 4시간 건조하여 APTES로 표면 개질된 구리입자 (mCu)를 얻었다. 실란 커플링제로 표면 개질한 구리입자의 모식도를 Figure 2에 나타내었다[11].



**Figure 2.** Surface chemistry diagrams of (a) untreated cu surface and (b) organo-functional silane-treated cu surface

### 2.2.2 항균 UV경화도료(Antibacterial UV-curable Paint ; AUVP) 제조

비스페놀 A type 에폭시 아크릴레이트계 UV경화도료(상도)와 개질 전 구리입자(Cu) 및 APTES로 표면 개질된 구리입자 (mCu)의 중량비를 각각 80:20으로 하여 목질 마루판에 코팅되기 전에 구리 입자의 분산을 돕고, 침전을 방지하기 위하여 디졸버가 구비된 항균 UV경화도료 공급 장치에 넣고 1000rpm으로 교반하여 개질 전 구리입자가 첨가된 항균 UV경화도료 (AUVP-Cu)와 APTES로 표면 개질된 구리입자가 첨가된 항균 UV경화도료(AUVP-mCu)를 제조하였다. 목질 마루판에 항균 UV경화도료 코팅이 이루어지고 있는 동안에 디졸버는 1000rpm으로 연속적으로 작동시켰다.

### 2.2.3 항균 목질 마루판 제조

#### 1) 항균 원목마루 제조

Figure 3에서와 같이 흠 및 허가 가공된 원목마루를 UV코팅기에 투입하여 1차 샌딩, 하도(Wood Sealer)도장 및 UV 램프 경화 공정을 통하여 1차 UV코팅층을 형성하고, 2차 샌딩, 중도(Sanding Sealer)도장 및 UV램프 경화 공정을 통하여 2차 UV 코팅층을 형성한다. 이어서 3차 샌딩을 한 후 구리입자가 고르게 분산된 항균 UV경화도료(상도)를 도장하고 UV램프를 이용하여 경화하여 항균 코팅층이 형성된 항균 원목마루를 제조하였다.

#### 2) 항균 치장목질마루판 제조

SE<sub>0</sub>급 내수합판에 고압 멜라민함침지(HPM)가 접착되고 흠 및 허가 가공된 치장목질마루판을 UV코팅기에 투입하여 프라이머를 도장 하고 UV램프 경화 공정을 통하여 프라이머 코팅층을 형성한다. 이어서 구리입자가 고르게 분산된 항균 UV 경화도료(상도)를 도장하고 UV램프를 이용하여 경화하여 항균 코팅층이 형성된 항균 치장목질마루판을 제조하였다.

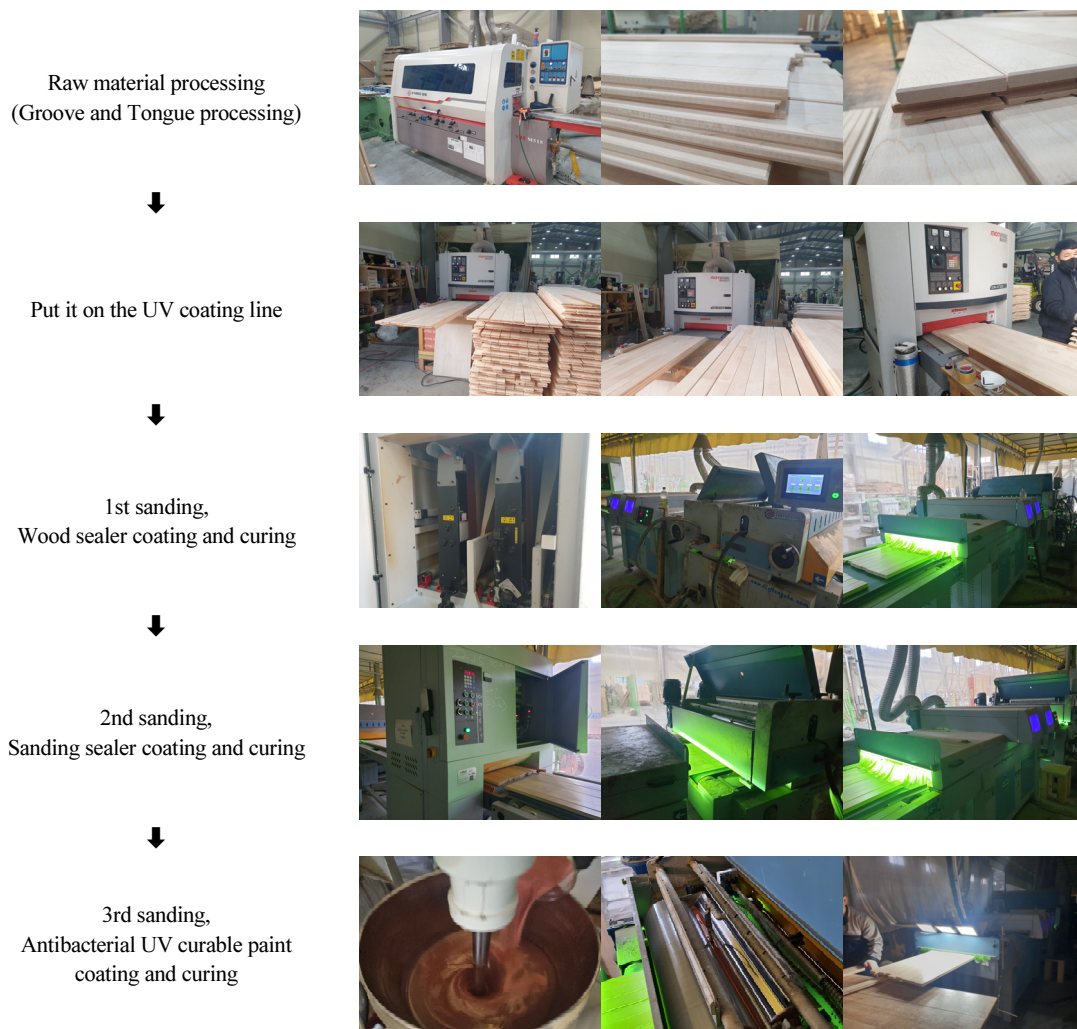


Figure 3. Antibacterial wood flooring board fabrication process

### 2.2.4 항균 UV경화도료의 투명성 평가

항균물질인 구리입자가 분산되어 있는 항균 UV경화도료의 투명성 평가는 KS MISO 13468-1에 의거하여 전광선 투과율이 92%이상인 두께 0.3mm의 고투명 PET 필름에 일반 UV경화도료와 개질 전 구리입자가 포함된 항균 UV경화도료(AUVP-Cu) 및 표면 개질된 구리입자의 중량비를 달리한 항균 UV경화도료(AUVP-mCu)를 각각 도막두께 30~40 $\mu$ m로 코팅하고 고투명 PET 필름과의 전광선 투과율을 측정하여 투명성을 비교하였으며 전광선투과율 측정 시험편을 Table 1에 나타내었다[12].

Table 1. Total luminous transmittance test specimens

Sample name	Description
PET	High transparent PET film
PET-G	General UV curable paint coating
PET-A-Cu20	Cu 20wt% added AUVP coating
PET-A-mCu20	mCu 20wt% added AUVP coating
PET-A-mCu25	mCu 25wt% added AUVP coating
PET-A-mCu30	mCu 30wt% added AUVP coating

2.2.5 항균 목질 마루판의 도막 밀착력 평가

항균 원목마루 및 항균 치장목질마루판의 도막 밀착력 평가는 KS F 3111에 따라 각 시료의 한 변이 75mm인 정사각형 시편 3개를 채취하고 시편의 경화된 코팅 층에 가로×세로 2mm 간격으로 각각 11개의 선을 긋고 흠집을 내어 테이프를 붙이고 강하게 떼어 낸 후 표면 박리 현상을 평가하였다[13].

2.2.6 항균 목질 마루판의 항균성능 평가

항균 목질 마루판에 대한 항균 성능 평가는 JIS Z 2801(KCL-FIR-1003:2018)에 따라 Figure 4에서와 같이 시편을 50mm×50mm×≤10mm 두께로 제작하여 균을 접종한 전체면의 시료 표면에 40mm×40mm 크기의 필름을 덮은 후 37±1°C에서 배양시키고 일정 시간 후 필름을 떼어 용액에 용출시킨 후 일정 희석배수로 한천 육즙 배지(Nutrient agar)에 도말하여 6시간 또는 24시간 배양 후 생균수(CFU/mL)를 세어 세균감소율(%)을 계산하였으며 항균성능 평가 시험편의 종류를 Table 2에 나타내었다[14].

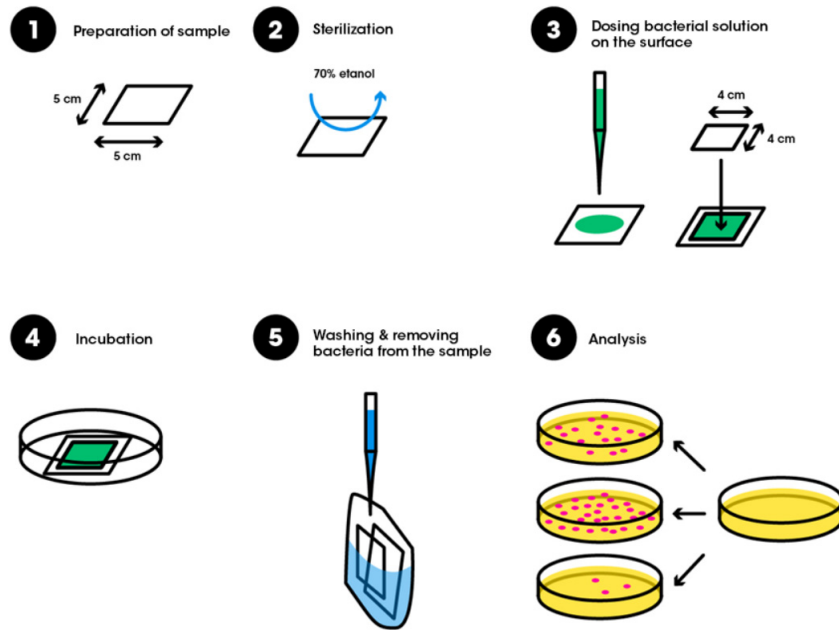


Figure 4. Antibacterial activity test protocol

Table 2. Bacterial reduction rate test specimens

Sample name	Description
WFB	Wood(Maple) Flooring Board(General UV curable paint Coating)
AWFB-Cu20	Antibacterial Wood(Maple) Flooring Board(Cu 20wt% added AUVP coating)
AWFB-mCu20	Antibacterial Wood(Maple) Flooring Board(mCu 20wt% added AUVP coating)
ADWFB-mCu20	Antibacterial Decorative Wood-based Flooring Board(mCu 20wt% added AUVP coating)
FAWFB-mCu20	Antibacterial Wood Flooring Board After Fatigue Test(mCu 20wt% added AUVP coating)

$$\text{세균감소율(\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

여기에서

A : 일정시간 (6시간, 24시간) 배양 후 대조 시료의 균수(평균값)

B : 일정시간 (6시간, 24시간) 배양 후 시험 시료의 균수(평균값)

### 2.2.7 항균 목질 마루판의 피로 시험 및 피로 시험 후 항균성능 평가

항균 목질 마루판의 피로 시험 및 피로 시험 후 항균성능 평가는 체육관 등 혹독한 환경에서 사용되는 항균 원목마루에 대해서만 평가하였다. 피로시험을 위한 시험체를 Figure 5에서와 같이 가로×세로×높이를 450mm×660mm×60mm로 제작하고 피로시험기를 이용하여 시험속도 1Hz, 가압판 지름 80mm, 1~3kN(100~300kg)의 하중으로 1만회 이상 충격을 가한 후 육안으로 시험체의 상태를 확인하여 외관의 이상 유무를 확인하였고, 피로시험을 수행한 시험체에서 시료를 채취하여 2.2.6의 방법에 따라 피로 시험 후의 항균 성능을 평가하였다.



Figure 5. Fatigue testing apparatus and test specimen

## 3. 실험결과

### 3.1 항균 UV경화도료의 투명성 평가 결과

Table 3에서 보는 바와 같이 PET필름과 일반 UV경화도료 및 구리입자의 종류, 구리입자의 중량비에 따른 항균 UV경화도료를 PET 필름에 각각 코팅한 후 전광선투과율을 측정한 결과 PET 필름은 92.1%, 일반 UV경화도료 코팅 PET 필름(PET-G)은 90.4%로 나타났다. 개질 전 구리입자가 20wt% 포함된 항균 UV경화도료 코팅 PET 필름(PET-A-Cu20)은 90.4%, APTES로 표면 개질된 구리입자가 20wt% 포함된 항균 UV경화도료 코팅 PET 필름(PET-A-mCu20)은 90.7%로 일반 UV경화도료 코팅 PET 필름과 유사한 값을 나타내었다. 반면 표면 개질된 구리입자의 중량비가 25wt%, 30wt%로 증가할수록 전광선투과율은 각각 87.1%, 80.2%로 감소하였다. 따라서 구리입자의 중량비를 20wt%로 할 경우 전광선투과율이 90% 이상으로 고투명성을 유지할 수 있으므로 목재의 바탕 기자재 고유의 무늬가 지닌 심미성을 저해하지 않는 것으로 확인되었다.

**Table 3.** Total luminous transmittance of antibacterial UV-curable paint

Sample	Total luminous transmittance(%)	Testing environment
PET	92.1	
PET-G	90.4	
PET-A-Cu20	90.4	(23±2)°C
PET-A-mCu20	90.7	(50±5)% R.H.
PET-A-mCu25	87.1	
PET-A-mCu30	80.2	

### 3.2 항균 목질 마루판의 도막밀착력 평가 결과

Table 4에서 보는 바와 같이 항균 원목마루에 대한 도막밀착력을 평가한 결과 테이프에 묻어나는 이물질이 없고 1등급에 해당 되는 결과를 확인하였다. 특히 접착력 향상을 위하여 샌딩 공정을 진행하는 항균 원목마루와 달리 HPM의 표면 샌딩 공정 없이 프라이머를 코팅하고 그 위에 항균 UV경화도료를 코팅한 항균 치장목질마루판의 도막밀착력도 항균 원목마루와 동일하게 테이프에 묻어나는 이물질이 없고 1등급에 해당 되는 결과를 확인하였다.

**Table 4.** Adhesion of coating Film on antibacterial wood flooring boards

Samples	Evaluation items	KS criteria	Result
AWFB-mCu20	Coating film adhesion	There are no foreign substances on the tape and they are class 1	No foreign substances on the tape and are class 1
ADWFB-mCu20			

### 3.3 항균 목질 마루판의 항균성능 평가 결과

#### 3.3.1 항균 원목마루의 항균성능 평가 결과

항균 성능 시험 시편 및 항균 성능 평가 결과를 Table 5에 나타내었다. Table 5에서 보는 바와 같이 일반 UV경화도료, 표면을 개질하지 않은 구리입자가 첨가된 항균 UV경화도료 및 APTES로 표면개질한 구리입자가 첨가된 UV경화도료를 코팅하고 슈퍼박테리아인 메티실린 내성 황색포도상구균(MRSA; Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*)에 대하여 6시간 배양 후 항균성능을 평가한 결과 일반 UV경화도료를 코팅한 원목마루(WFB)는 세균감소율이 6.6%로 항균성능이 낮게 나타났다. 또한 표면을 개질하지 않은 구리입자가 첨가된 항균 UV경화도료를 코팅한 항균 원목마루(AWFB-Cu20)는 세균감소율이 75%로 항균성능 평가기준인 99%에 미치지 못하였다. 하지만 APTES로 표면 개질한 구리입자가 첨가된 UV경화도료를 코팅한 항균 원목마루(AWFB-mCu20)는 세균감소율이 99.9%로 나타났다. 일반적으로 천연의 구리는 친수성(Hydrophilic)

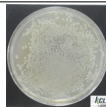
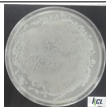
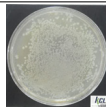
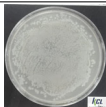
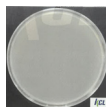
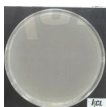
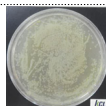
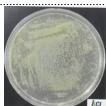
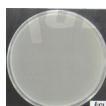
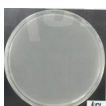
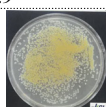
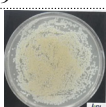
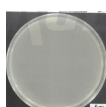
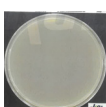
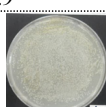
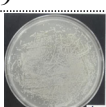
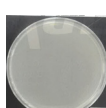
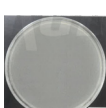
**Table 5.** Bacterial reduction rate for antibacterial wood flooring boards

Test bacteria	Sample	0hr(CFU/mL)	After 6hr(CFU/mL)	Reduction Rate(%)
MRSA	Blank	$2.2 \times 10^5$	$1.5 \times 10^6$	-
	WFB		$1.4 \times 10^6$	6.6
	Blank	$2.1 \times 10^5$	$1.4 \times 10^6$	-
	AWFB-Cu20		$3.5 \times 10^5$	75.0
	Blank	$1.9 \times 10^5$	$2.2 \times 10^6$	-
	AWFB-mCu20		<10	99.9

인 것으로 알려져 있으며, 구리 입자 표면에는 일부 하이드록시기(-OH)가 형성되어 있다[5]. 따라서 소수성이 큰 편인 수지 (Resin) 상에서 분산이 고루 이루어지기 어렵고, 물리적인 분산 공정이 이루어진 후 일정 시간이 지나면 수지 상에서 뭉침 (Agglomeration) 현상이 일어나는 문제가 있다. 이에, 상기 실란커플링제는 상기 구리 입자 표면을 소수성으로 개질하여 구리 입자와 수지의 상용성을 높여 분산성을 높이고, 침전을 방지하는 역할을 할 수 있어 표면 개질한 구리입자가 첨가된 UV 경화도료를 코팅한 항균 원목마루(AWFB-mCu20)의 항균 성능이 확보된 것으로 판단된다.

상기 MRSA에 대한 항균성능 평가결과 및 3.1의 투명성 평가결과 투명성을 저해하지 않으면서 우수한 항균성능을 나타낼 수 있는 조건인 APTES로 표면 개질한 구리입자가 20wt%가 첨가된 UV경화도료를 코팅한 항균 원목마루(AWFB-mCu20)를 대장균(*Escherichia coli*), 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*), 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*) 및 MRSA에 대하여 6시간 및 24시간 배양 후 항균성능을 평가한 결과 Table 6과 같이 모든 세균에 대하여 세균감소율이 99.9%로 우수한 항균성능을 나타내었다.

**Table 6.** Bacterial reduction rate for antibacterial wood flooring boards

Test bacteria	Sample	0hr(CFU/mL)	After 6hr(CFU/mL)		After 24hr(CFU/mL)	
			Reduction Rate(%)		Reduction Rate(%)	
<i>Escherichia coli</i>	Blank	$3.1 \times 10^5$	$1.7 \times 10^6$		$6.7 \times 10^6$	
	AWFB-mCu20		<10		<10	
			99.9		99.9	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Blank	$1.9 \times 10^5$	$2.2 \times 10^6$		$4.4 \times 10^6$	
	AWFB-mCu20		<10		<10	
			99.9		99.9	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank	$2.6 \times 10^5$	$2.0 \times 10^6$		$4.8 \times 10^6$	
	AWFB-mCu20		<10		<10	
			99.9		99.9	
MRSA	Blank	$1.9 \times 10^5$	$2.2 \times 10^6$		$4.3 \times 10^6$	
	AWFB-mCu20		<10		<10	
			99.9		99.9	



3.3.2 항균 치장목질마루판의 항균성능 평가 결과

3.3.1의 항균 원목마루의 항균 성능 평가 결과와 같이 APTES로 표면 개질한 구리입자가 20wt%가 첨가된 UV경화도료를 코팅한 항균 치장목질마루판(ADWFB-mCu20)을 대장균(*Escherichia coli*), 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*), 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*) 및 MRSA에 대하여 6시간 배양 후 항균성능을 평가한 결과 Table 7과 같이 모든 세균에 대하여 세균감소율이 99.9%로 우수한 항균 성능을 나타내었다.

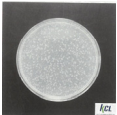
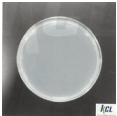
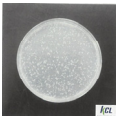
**Table 7.** Bacterial reduction rate for antibacterial decorative wood-based flooring boards

Test bacteria	Sample	0hr(CFU/mL)	After 6hr(CFU/mL)	Reduction Rate(%)
<i>Escherichia coli</i>	Blank	$1.5 \times 10^5$	$1.6 \times 10^6$	-
	ADWFB-mCu20		<10	99.9
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Blank	$2.0 \times 10^5$	$2.4 \times 10^6$	-
	ADWFB-mCu20		<10	99.9
<i>Staphylococcus aureus</i>	Blank	$2.3 \times 10^5$	$2.9 \times 10^6$	-
	ADWFB-mCu20		<10	99.9
MRSA	Blank	$1.4 \times 10^5$	$1.5 \times 10^6$	-
	ADWFB-mCu20		<10	99.9

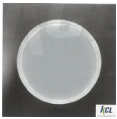
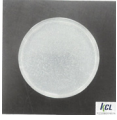
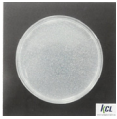
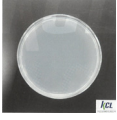
3.4 항균 목질 마루판의 피로시험 및 피로 시험 후 항균 성능 평가 결과

항균 목질 마루판의 항균 성능 지속성을 평가하기 위하여 실내 체육시설에 사용하는 항균 원목마루에 대하여 피로 시험을 수행한 결과 외관 상 균열 및 박리가 없고 이상 없음의 결과를 나타내었다. 피로시험을 수행한 시험체에서 시료를 채취하여 2.2.6의 방법에 따라 피로 시험 후 항균 원목마루(FAWFB-mCu20)를 대장균(*Escherichia coli*), 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa*), 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*) 및 MRSA에 대하여 6시간 배양 후 항균성능을 평가한 결과 Table 8과 같이 모든 세균에 대하여 세균감소율이 99.9%로 우수한 항균 성능을 나타내었다.

**Table 8.** Post-fatigue test bacterial reduction rate for antibacterial wood flooring boards

Test bacteria	Sample	0 hr(CFU/mL)	After 6hr(CFU/mL)	
			Reduction Rate(%)	
<i>Escherichia coli</i> (After Fatigue Test)	Blank	$3.3 \times 10^5$	$5.5 \times 10^5$	
	FAWFB-mCu20		<10	 99.9
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (After Fatigue Test)	Blank	$2.0 \times 10^5$	$3.6 \times 10^5$	
	FAWFB-mCu20		<10	-

**Table 8.** Post-fatigue test bacterial reduction rate for antibacterial wood flooring boards(Continued)

Test bacteria	Sample	0 hr(CFU/mL)	After 6hr(CFU/mL)	
			Reduction Rate(%)	
Pseudomonas aeruginosa (After Fatigue Test)	FAWFB-mCu20	$2.0 \times 10^5$	<10	99.9
	Blank		$8.7 \times 10^5$	
Staphylococcus aureus (After Fatigue Test)	FAWFB-mCu20	$3.7 \times 10^5$	<10	99.9
	Blank		$5.6 \times 10^5$	
MRSA (After Fatigue Test)	FAWFB-mCu20	$3.5 \times 10^5$	<10	99.9
	Blank		-	

#### 4. 결론

본 연구에서는 목질 마루판에 항균성능을 부여하기 위하여 구리입자를 항균 소재로 활용한 항균 UV경화도료를 제조하고 이를 원목 마루 및 치장목질마루판에 코팅하여 항균 목질 마루판을 제조한 후 항균 특성을 평가하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 항균 성능을 고루 발현하기 위하여 구리입자를 실란 커플링제를 사용하여 표면개질 하였고 그 결과 표면을 개질하지 않은 구리입자 및 실란커플링제로 표면 개질한 구리입자를 각각 20wt%첨가한 항균UV경화도료를 원목 마루에 코팅하고 항균성능을 평가한 결과 표면을 개질하지 않은 구리입자가 첨가된 UV경화도료를 코팅한 항균 목질 마루판은 세균감소율이 75%인 반면, 표면 개질한 구리입자가 첨가된 UV경화도료를 코팅한 항균 목질 마루판은 세균감소율이 99.9%로 우수한 항균 성능을 나타내었다.
- 2) 항균 목질 마루판의 도막밀착력을 평가한 결과 항균 원목 마루 및 항균 치장목질마루판 모두 테이프에 묻어나는 이물질이 없고 1등급의 결과를 확인하였다.
- 3) 항균 목질 마루판의 투명성 및 항균 성능 평가 결과 실란커플링제로 표면 개질한 구리입자를 20wt%첨가한 항균 UV경화도료가 90%이상의 전광선투과율을 나타내어 목질 마루판에 코팅 시 목재의 나뭇결이 그대로 나타나게 하는 목재의 심미성을 유지할 수 있으며, 피로 시험 전후의 항균 목질 마루판의 대장균, 녹농균, 황색포도상구균 및 메티실린 내성

항색포도상구균에 대한 6시간 배양 후 세균감소율도 99.9%로 우수한 결과가 확인되었다.

이상을 종합하면 항균 소재인 구리입자의 표면개질로 분산성을 향상시켜 항균 성능의 공평화를 달성할 수 있으며 본 연구에서 개발한 항균 UV경화도료 제조방법 및 코팅 방법을 적용 시 목질 마루판의 심미성을 유지하면서 항균성능이 우수한 항균 목질 마루판을 제조할 수 있었다. 따라서 실내 공간의 항균 목질 마루판으로 사용 가능성이 우수한 것으로 판단된다.

## 요약


본 연구에서는 구리입자를 이용한 항균 UV경화도료를 제조하고 투명성을 평가한 결과 일반 UV경화도료와 동등이상인 90%이상의 전광선투과율을 나타내었다. 실란커플링제로 표면 개질한 구리입자가 20wt% 첨가된 항균 UV경화도료를 코팅한 항균 목질 마루판의 피로 시험 전후의 항균 성능 평가 결과 6시간 후 세균감소율이 99.9% 로 우수한 항균 성능을 나타내었다.


키워드 : 항균특성, 전광선투과율, 구리입자, 자외선 경화도료, 목질 마루판


## Funding

This research was supported by the Technology Development Project for Commercialization(S3231325) funded by the Ministry of SMEs and Startups

## ORCID

Dong-Gun Lee,  <http://orcid.org/0009-0007-1083-0736>

Nam-Gi Lim,  <http://orcid.org/0000-0002-2419-0537>

Jae-Song Koh,  <http://orcid.org/0009-0008-8646-539X>

## References

1. Ciacotich N, Kovich L, Sanford N, Wolcott J, Bjarnsholt T, Gram L. Copper-Silver Alloy Coated Door Handles as a Potential Antibacterial Strategy in Clinical Settings. *Coatings*. 2020 Aug;10(8):790. <https://doi.org/10.3390/coatings10080790>
2. Montero DA, Arellano C, Pardo M, Vera R, Gálvez R, Cifuentes M, Berasain MA, Gómez M, Ramírez C, Vidal RM. Antimicrobial properties of a novel copper-based composite coating with potential for use in healthcare facilities. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*. 2019 Jan;8(3):1-10. <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0456-4>
3. Grass G, Rensing C, Solioz M. Metallic copper as an antimicrobial surface. *Applied and Environmental Microbiology*. 2011 Feb;77(5):1541-7. <https://doi.org/10.1128/AEM.02766-10>
4. Behzadinasab S, Chin A, Hosseini M, Poon L, Ducker W. A surface coating that rapidly inactivates SARS-CoV-2. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2020 Jul;12:34723-7. <https://dx.doi.org/10.1021/acsami.0c11425>
5. Hewawaduge C, Senevirathne A, Jawalagatti V, Kim JW, Lee JH. Copper-impregnated three-layer mask efficiently inactivates SARS-CoV-2. *Environmental Research*. 2021 May;196(110947):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110947>
6. Mantlo E, Paessler S, Seregin A, Mitchell A. Luminore copper touch surface coating effectively inactivates SARS-CoV-2, ebola virus, and marburg virus in vitro. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2021 Jul;65(7):1-5. <https://doi.org/10.1128/aac.01390-20>

7. Oh ES, Yang YC, Joeng SB, Chae YB, Yoon PR. Surface properties of silica treated with silane coupling agents. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*. 2002 Feb;39(2):89-97.
8. Li YN, Xu WM, Zhang GQ. Effect of coupling agent on nano-ZnO modification and antibacterial activity of ZnO/HDPE nanocomposite films. *Materials Science and Engineering*. 2015 Jul;87(012054):1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/87/1/012054>
9. US Environmental Protection Agency. EPA Registers Copper Surfaces for Residual Use Against Coronavirus [Internet]. WA: US Environmental Protection Agency; 2021 Feb 10. Available from: <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-registers-copper-surfaces-residual-use-against-coronavirus>
10. KS F 3126:2021. Decorative wood-based flooring board. Seoul (Korea):Korean Standards Association; 2021. p. 1-14.
11. Yim MJ, Li Y, Moon KS, Wong CP. Oxidation prevention and electrical property enhancement of copper-filled isotropically conductive adhesives. *Journal of Electronic Materials*. 2007 May;36(10):1341-7. <https://doi.org/10.1007/s11664-007-0204-7>
12. KS M ISO 13468-1. 2007(2022 identified). Plastics-Determination of the total luminous transmittance of transparent materials-Part 1:Single beam instrument. Seoul (Korea): Korean Standards Association; 2022. p. 1-10.
13. KS F 3111:2021. Natural wood veneer decorated wood-based flooring. Seoul (Korea): Korean Standards Association; 2021. p. 1-14.
14. JIS Z 2801:2010. Antibacterial products-Test for antibacterial activity and efficacy. Tokyo (Japan): Japanese Standards Association; 2010. p. 1-15.