

Research Paper

시험법에 따른 실리콘 실란트의 곰팡이 저항성 평가

Assessment of Fungal Growth Resistance in Silicone Sealants According to Test Methods

안명수^{1,2} · 최성현³ · 이기향³ · 나창운^{4,5*}

Ahn, Myung-Su^{1,2} · Choi, Sung-Hyun³ · Lee, Ki-Hyang³ · Nah, Changwoon^{4,5*}

¹Ph.D's Course, Department of Bio-Nanotechnology and Bioconvergence Engineering, Jeonbuk National University, Deokjin-gu, Jeonju, 54896, Korea

²Senior Researcher, Jeonju Technical Research Center, KCC SILICONE Corporation, Seocho-gu, Seoul, 06608, Korea

³Senior Researcher, Research & Development Center, Ah Sung Fine Chemical Corporation, Nam-gu, Ulsan, 44783, Korea

⁴Professor, Department of Bio-Nanotechnology and Bioconvergence Engineering, Jeonbuk National University, Deokjin-gu, Jeonju, 54896, Korea

⁵Professor, Department of Polymer-Nano Science and Technology, Jeonbuk National University, Deokjin-gu, Jeonju, 54896, Korea

*Corresponding author

Nah, Changwoon

Tel : 82-63-270-4281

E-mail : cnah@jbnu.ac.kr

Received : October 18, 2023

Revised : January 16, 2024

Accepted : February 6, 2024

ABSTRACT

This research undertook the assessment of six types of silicone sealants prepared. Their resistance to fungi was evaluated according to ASTM G 21, LH specification(LHCS 41 40 12), and the newly instituted KS F ISO 21265 test methods. The findings showed that KS F ISO 21265 test method exhibited the superior discriminative capability in assessing fungal resistance when compared to ASTM G 21 and LH specification(LHCS 41 40 12) test methods. Additionally, it was confirmed that oxime curing sealants demonstrated higher fungal resistance than alkoxy curing sealants. Furthermore, The introduction of a condition to assess fungal resistance after 4 weeks of immersion at 50°C in KS F ISO 21265 is expected to enable long-term fungal resistance evaluation of sealants.

Keywords : sanitary sealant, resistance to fungal growth, ASTM G 21, LHCS 41 40 12, KS F ISO 21265

1. 서론

실란트는 점성을 가진 액체 형태로 적용되어 탄성을 가진 고체 형태로 경화되는 재료로서, 소지(Substrate) 사이의 틈새(Joint)에 적용하여 수밀, 기밀 기능을 하는 재료이다[1]. 실란트는 일반적으로 공기 중 수분에 의해 경화 반응이 진행되며, 경화된 후 접착성, 탄성, 내후성, 내열성, 항곰팡이성 등의 기능을 가져 건축물의 내부 실링용, 구조 접착용, 웨더씰용, 욕실(Sanitary)용으로부터 전기·전자 및 자동차 산업의 접착용, 실링용, 부품고정용, 보호용에 이르기까지 다양한 분야에 사용 중이다[2]. 실란트는 태양광에 의한 지속적인 노출, 항구적인 침수, 상온성 저하, 곰팡이에 의한 물성 저하 등 다양한 요인에 의해 고유한 특성을 잃게 된다. 그중에서 실란트에 곰팡이가 성장할 경우, 변색, 인장강도 저하, 접착 탈락에 따른 방수 기능 저하 등의 문제가 발생하여 실란트의 기능을 잃게 된다[3]. 이에 따라, 곰팡이가 주로 발생하는 부위에 사용되는 실란트에는 항곰팡이제를 첨가하여 사용 중이다.

실란트에 항곰팡이제를 첨가한 항곰팡이 실란트는 곰팡이가 주로 발생하는 공간인 욕실이나 주방 등의 틈새 부위에 주로 사용된다. 실란트 항곰팡이제는 농약 및 목재용 항곰팡이제로 주로 사용되는 비소(As), 카벤다짐(Carbendazim), 징크 피리



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.

치온(Zinc pyrithione) 등을 사용해 왔으며, 최근에는 건축자재에 대한 친환경성이 강조됨에 따라 프로피코나졸(Propiconazole), 테부코나졸(Tebuconazole) 등 상대적으로 독성이 적은 항곰팡이제가 적용되고 있다. 프로피코나졸과 테부코나졸 항곰팡이제 또한 목재의 부패를 방지하기 위해 주로 사용되어 왔으며, 목재와 유사한 종류의 곰팡이에 의해 피해가 발생하는 실란트 분야에서도 사용되기 시작하였다. Reinprecht and Kmet'ová[4]의 연구에 의하면 전체 배합량 대비 0.5% 이상의 프로피코나졸과 테부코나졸을 각각 적용하는 경우 실생활에서 주로 발견되는 대표적인 곰팡이인 아스파질러스 나이거(*Aspergillus niger*)에 대한 곰팡이 저항성이 나타났다.

항곰팡이 실리콘 실란트에 대한 연구는 Andreas에 의해 아세톡시 경화형 실란트에 대한 연구[3]가 주로 진행되었으며, 알콕시 및 옥심 경화형 실란트의 항곰팡이 성능에 대한 비교 연구는 찾아볼 수 없었다.

국내에서는 주택법과 LH 공사의 전문시방서에 따라 ASTM G 21[5] 및 LH 전문 시방(LHCS 41 40 12)[6] 시험 방법 등으로 실란트에 대한 곰팡이 저항성을 평가하고 있다. ASTM G 21 항곰팡이 시험 방법은 실란트 표면에 나타나는 곰팡이의 성장 정도를 평가하는 시험 방법으로 곰팡이의 성장 단계에 따라 0에서 4등급으로 곰팡이의 저항성을 평가하는 시험 방법이다. ASTM G 21 시험 방법은 전 세계적으로 많이 사용되는 시험 방법이나 불완전 배지(영양이 풍부하지 않은 배지)를 사용함에 따라 시편 간 곰팡이 저항성에 대한 구분이 잘되지 않는 단점이 있다. LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험은 실란트 주변에 생기는 곰팡이 억제대의 크기로 곰팡이 저항성을 평가하는 시험 방법으로 실란트의 주변부까지 곰팡이가 침투하지 않아야 합격이 되는 시험 방법이다. LH 전문 시방 시험 방법의 장점은 실란트뿐만 아니라, 실란트 주변부까지 곰팡이가 억제되는 것을 확인함으로써, 실란트 내부에서 용출되어 나온 항곰팡이제에 대한 곰팡이 저항 성능을 확실하게 검증할 수 있다는 점에 있다. 이와 반대로, 시험 방법의 단점 또한 실란트 내부의 항곰팡이제가 외부로 빠져나와야 한다는 점에 있다. 실란트 내부의 항곰팡이제가 외부로 빠져나갈 경우, 시간이 지남에 따라 실란트의 곰팡이 저항 성능도 함께 잃기 때문이다. 이에 따라, LH 전문 시방 시험 방법은 항곰팡이 실란트의 단기적인 곰팡이 저항성을 평가하기에는 적합하나, 장기적인 항곰팡이 성능을 평가하기에는 적합하지 않은 시험 방법이라 할 수 있다.

이러한 ASTM G 21과 LH 전문 시방 시험 방법의 한계에 따라, 실란트의 곰팡이 저항성 및 장기 내구성 평가를 목적으로 'KS F ISO 21265[7] 실란트 표면의 곰팡이 성장 평가' 표준이 신규로 제정되었다. KS F ISO 21265 시험은 실란트를 28일간 양생 후 곰팡이 배지 종류(무배지, 완전 배지)와 침적 여부(50°C에서 28일간)에 따른 곰팡이 저항성을 평가하는 시험 방법이다.

KS F ISO 21265 시험에서는 완전 한천 배지를 기본으로 사용하며, 시험은 양생 후 침수 여부에 따라 2가지 조건으로 진행된다. 첫 번째 조건에서는 23°C, 50% 습도 조건에서 28일간 양생시킨 실란트 시편을 29°C, 90% 이상의 습도 조건에서 완전 한천 배지(영양이 풍부한 배지) 하 4주간 배양한 후 실란트 표면에 나타나는 곰팡이의 성장을 관찰하여 곰팡이 저항성을 평가하며, 두 번째 조건에서는 첫 번째와 동일 조건에서 실란트 시편을 양생 후, 50°C에서 28일간 침수한 후 동일한 배양 조건 및 평가 방법으로 곰팡이 저항성을 평가한다. KS F ISO 21265 시험은 국내에서 곰팡이 저항성 시험 방법으로 사용 중인 KS J 3201[8]이나, 국제적으로 사용 중인 ASTM G 21, ISO 846[9] 등과 같이 시료 표면의 곰팡이 성장 정도로 곰팡이 저항성을 판단한다는 점에서 LH 전문 시방 시험과는 구분되는 평가 방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 알콕시 경화형과 옥심 경화형 일반 및 항곰팡이 실란트 6종을 제조 후, ASTM G 21, LH 전문 시방 시험과 KS F ISO 21265 등 3가지 곰팡이 저항성 시험 방법에 따라 실란트의 곰팡이 저항성을 비교하여 평가하였다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 일반 및 항곰팡이 실란트 샘플 제작

실험에 사용된 실란트는 알콕시 경화형 실란트와 옥심 경화형 실란트에 항곰팡이제 무첨가 및 2종의 항곰팡이제(프로피

코나졸, 테부코나졸)를 각각 첨가하여 총 6종의 일반 및 항곰팡이 실란트 샘플을 제작하였다. Table 1에 나타낸 바와 같이 실란트는 총 3가지 단계로 진공이 가능한 교반기를 이용하여 제작하였다. 첫 번째 단계에서는 반응성 실리콘 폴리머인 수산화(Hydroxyl)기 말단의 PDMS와 비반응성 실리콘 폴리머인 메틸(Methyl)기 말단의 PDMS를 진공 상태에서 10분간 저속으로 교반(옥심 경화형 실란트의 경우, MOS 경화제도 step 1에서 첨가) 하였으며, 두 번째 단계에서는 흠드 실리카(Fumed silica) 또는 교질 탄산칼슘(Precipitated calcium carbonate)을 첨가 후 진공 상태에서 20분간 고속으로 교반 분산하였다. 마지막 단계에서는 첨가제(부착증진제, 경화제, 촉매, 항곰팡이제)를 넣고 진공 상태에서 중속으로 교반하여 일반 및 항곰팡이 실란트 제작을 완료하였다. 실란트 제작 시 사용된 항곰팡이제는 전체 배합 대비 약 0.5% 함량을 사용하였다.

Table 1. Formulation and preparation process of sealant specimens

Step	Material	Alkoxy curing sealant	Alkoxy curing sealant with Propiconazole	Alkoxy curing sealant with Tebuconazole	Oxime curing sealant	Oxime curing sealant with Propiconazole	Oxime curing sealant with Tebuconazole
1st	OH- terminated PDMS ^{a)} (50,000cP)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Methyl- terminated PDMS ^{b)} (100cP)	20.00	20.00	20.00	12.50	12.50	12.50
	MOS ^{b)}				5.00	5.00	5.00
Mixing at low speed for 10 minutes under vacuum							
2nd	Fumed silica (surface area : 150m ² /g)				10.00	10.00	10.00
	Precipitated calcium carbonate (particle size : 150nm)	90.00	90.00	90.00			
Mixing at high speed for 20 minutes under vacuum							
3rd	MTMS ^{c)}	9.00	9.00	9.00			
	AEAPTES ^{d)}	0.20	0.20	0.20	1.25	1.25	1.25
	Propiconazole		1.12			0.65	
	Tebuconazole			1.12			0.65
	Tin catalyst ^{e)}				0.13	0.13	0.13
	Ti catalyst ^{f)}	2.00	2.00	2.00			
Mixing at medium speed for 10 minutes under vacuum							

a) Polydimethylsiloxane

b) Methyltris(methylethylketoximino)silane

c) Methyl trimethoxy silane

d) N-2-(Aminoethyl)-3-aminopropyltrimethoxysilane

e) Dibutyltin dilaurate

f) Titanium ethyl acetoacetate complex

2.2 실란트의 곰팡이 저항성 시험 방법

ASTM G 21, LH 전문 시방(LHCS 41 40 12), KS ISO 21265 곰팡이 저항성 시험법을 이용하여 앞서 제작된 6종의 일반 및 항곰팡이 실란트 샘플의 저항성을 평가하였다. 곰팡이 저항성 시험법은 Table 2에서 비교하였다.

2.2.1 곰팡이 배지

LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험과 KS ISO 21265 시험 방법에서는 완전 한천 배지를 사용하는 반면, ASTM G21 시험 방법에서는 불완전 한천 배지를 주로 사용한다. 완전 한천 배지와 불완전 한천 배지의 차이는 곰팡이의 먹이가 되는 배지의 영양 차이를 나타낸다.

2.2.2 곰팡이 균주 및 혼합 포자액

ASTM G 21과 KS F ISO 21265 시험에서 사용하는 곰팡이 균주는 5가지 중 4가지가 동일한 균주로 전체적으로 거의 유사한 균주가 사용되며, LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험에서는 한가지 균주(아스파질러스 나이거)가 ASTM G 21과 KS F ISO 21265와 동일하게 사용되며, 한가지 균주(아우레오바시디움 풀루란스(Aureobasidium pullulans))가 ASTM G 21과 동일하게 사용된다.

Table 2. Comparison of fungal resistance test methods

	ASTM G 21	LHCS 41 40 12	KS ISO 21265
Medium	Incomplete medium (nutrient salt agar medium)	Complete medium (potato dextrose agar medium)	Complete medium (mineral agar medium)
Fungal species	Aspergillus niger ATCC 9642 Talaromyces pinopilium ATCC 11797 Chaetonium globosum ATCC 6205 Trichoderma virens ATCC 9645 Aureobasidium pullulans ATCC 15233	Aspergillus niger KCCM 11724 Alternaria mali KCCM 11382 Aureobasidium pullulans KCCM 12717 Trichoderma viride KCCM 11246 Fulvia fulvum KCCM 11466	Aspergillus niger ATCC 9642 Talaromyces pinopilium ATCC 11797 Chaetonium globosum ATCC 6205 Trichoderma virens ATCC 9645 Paecilomyces variotii ATCC 18502
Test period (Condition)	4 weeks (at 28°C with 85% humidity)	8 days (3 days in 70°C water+5days at 24°C)	4 weeks or 8 weeks [4 weeks at 29°C and 90% humidity (after 4 weeks in 50°C water)]
Test method	1. Cut specimen into squares measuring 40×40mm each 2. Inoculate the samples onto a agar medium cultured previously treated with a fungal spore mixture 3. Incubate at 28°C with 85% humidity for 4 weeks in a controlled	1. Prepare the specimen in the form of a circle with a diameter of 20mm 2. Immerse the specimen in 70°C distilled water for 72 hours 3. A mixed spore suspension of the test strain is prepared and inoculated on flat plate medium and incubated at 24°C for 5 days 4. After 5 days of incubation, measure the diameter, including the halo zone that forms around the specimen	1. Prepare a specimen with dimensions of 50×50×2mm 2. Immerse the specimen in 50°C distilled water for 4 weeks 3. After preparing the medium and spore suspension, spray 0.1 ml of the suspension on the medium where the specimen is placed 4. Evaluate mold growth after 4 weeks of incubation at 29°C and 90% humidity
Evaluation area	Surface of specimen	Diameter (including specimen and halo zone surrounding the specimen)	Surface of specimen
Evaluation criteria	0 - Specimen remained free of fungal growth 1 - Traces of growth on the specimen (less than 10%) 2 - Light fungal growth on the specimen (10 to 30%) 3 - Medium fungal growth on the specimen(30 to 60%) 4 - Heavy growth on the specimen (60% to complete coverage)	Pass - Diameter including specimen and halo zone is greater than or equal to 25mm Fail - Diameter including specimen and halo zone is less than 25mm	0 - No growth apparent under the microscope 1 - No growth visible to the naked eye, but clearly visible under the microscope 2 - Growth visible to the naked eye, covering up to 25% of test surface 3 - Growth visible to the naked eye, covering up to 50% of test surface 4 - Considerable growth, covering more than 50% of the test surface 5 - Heavy growth, covering the entire test surface

2.2.3 시료 준비

실란트 시료는 상온(23°C)에서 약 4주간 양생하였으며, 챔버의 조건을 감안하여 6종의 실란트에 대하여 각 조건당 3개의 시료를 준비하였다. ASTM G 21과 KS F ISO 21265 시험에서는 40×40mm와 50×50mm 크기의 직사각형 모양의 시편을 준비하였으며, LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험에서는 20mm 직경의 원 모양의 시편을 준비하였다.

2.2.4 곰팡이 저항성 시험 방법

ASTM G 21 시험에서는 양생된 시편을 균주 혼합액이 접종된 배지 위에 정착시킨 후 28°C, 85%에서 4주간 배양 후 실란트 표면의 곰팡이 저항성을 평가한다. KS F ISO 21265 시험에서는 양생된 시편을 균주 혼합액이 접종된 배지 위에 정착시킨 후 29°C, 90%에서 4주간 배양 후 실란트 표면의 곰팡이 저항성을 평가하는 방법과 양생된 시편을 50°C 물에서 4주간 침적한 뒤에 앞선 방법과 동일한 조건으로 곰팡이 저항성을 평가하는 방법 등 2가지 방법으로 곰팡이 저항성을 평가한다. LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험에서는 70°C 물에서 3일간 침적한 뒤, 24°C에서 5일간 배양 후 시편 주위에 발생하는 곰팡이 억제대(Halo zone)의 크기로 실란트의 곰팡이 저항성을 평가한다. ASTM G 21과 KS ISO F 21265 시험은 실란트 표면에서 나타나는 곰팡이 저항성을 평가하는 반면, LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험에서는 시편 주변에 용출되는 항곰팡이제의 저항 효과를 평가한다.

2.2.5 곰팡이 저항성 평가

ASTM G 21 시험에서는 시료 표면에 나타나는 곰팡이 저항성에 따라 0~4등급 구분하여 평가하고, KS F ISO 21265 시험에서는 0~5등급으로 좀 더 세분화하여 곰팡이 저항성을 평가한다(0등급이 곰팡이 저항이 가장 높은 등급). 반면, LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험에서는 시료를 포함한 억제대의 크기가 25mm 이상이면 합격, 25mm 미만이면 불합격으로 평가한다.

3. 실험 결과

3.1 ASTM G 21 시험법에 따른 실란트 6종의 곰팡이 저항성 평가 결과

ASTM G 21 시험 방법으로 6종의 일반 및 항곰팡이 실란트에 대한 곰팡이 저항성 시험 결과는 Table 3에 나타내었다. 그 결과, 일반 알콕시 경화형 실란트 1종을 제외한 나머지 5종의 실란트 시편 모두에서 곰팡이 성장이 관찰되지 않았다. ASTM G 21 시험 방법에서는 불완전 배지를 사용하여 곰팡이의 성장이 빠르게 진행되지 않음에 따라, 실란트 종류에 따른 곰팡이 저항 성능의 차이를 뚜렷하게 구분하기 어려웠다. 6종의 실란트에 대한 곰팡이 성장 결과(배양 4주 후)는 Figure 1에 나타내었다.

Table 3. Sequential observation of fungal growth over time by ASTM G 21

Type of silicone sealant	A complete medium				
	After 1 week	After 2 weeks	After 3 weeks	After 4 weeks	After 4 weeks average
Alkoxy curing sealant	1	1	2	2	2
	1	1	2	2	
	1	1	2	2	
Alkoxy curing sealant with Propiconazole	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
Alkoxy curing sealant with Tebuconazole	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
Oxime curing sealant	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
Oxime curing sealant with Propiconazole	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
Oxime curing sealant with Tebuconazole	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	

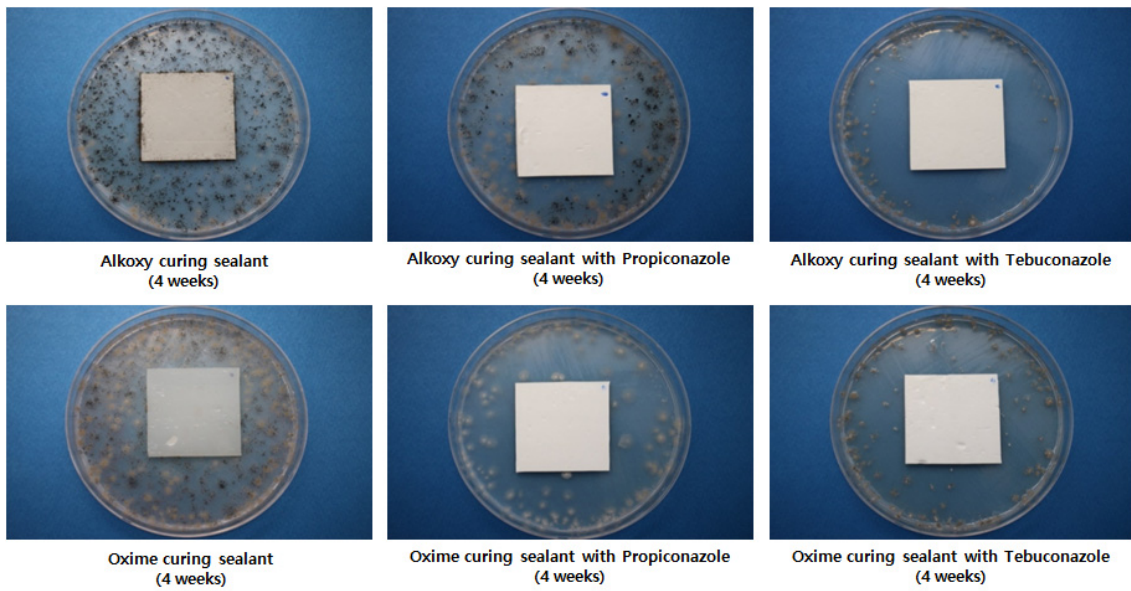


Figure 1. Comparative observation of fungal growth for 6 types of silicone sealants after 4 weeks by ASTM G 21

3.2 LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험법에 따른 실란트 6종의 곰팡이 저항성 평가 결과

LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험 방법으로 6종의 일반 및 항곰팡이 실란트에 대한 곰팡이 저항성 시험 결과는 Table 4에 나타내었다. 일반 실리콘 실란트 2종에서는 곰팡이에 대한 억제대가 발생하지 않았고, 알콕시 경화형 항곰팡이(프로피코나졸 적용) 실란트 1종은 21mm로 억제대가 거의 나타나지 않았으며, 나머지 3종에서는 시험 합격 규격인 25mm 이상의 억제대가 나타났다. Figure 2에 나타난 바와 같이, 알콕시 경화형 항곰팡이 실란트에 비해 옥심 경화형 항곰팡이 실란트에서 억제대가 더 크게 나타났다.

Table 4. Comparative observation of fungal growth by LHCS 41 40 12

Type of silicone sealant	Result (Diameter including specimen and halo zone)	Result(Average) * Pass ≥25mm
Alkoxy curing sealant	20	20
	20	
	20	
Alkoxy curing sealant with Propiconazole	21	21
	21	
	21	
Alkoxy curing sealant with Tebuconazole	31	31
	31	
	31	
Oxime curing sealant	20	20
	20	
	20	
Oxime curing sealant with Propiconazole	38	38
	38	
	37	
Oxime curing sealant with Tebuconazole	37	37
	37	
	37	

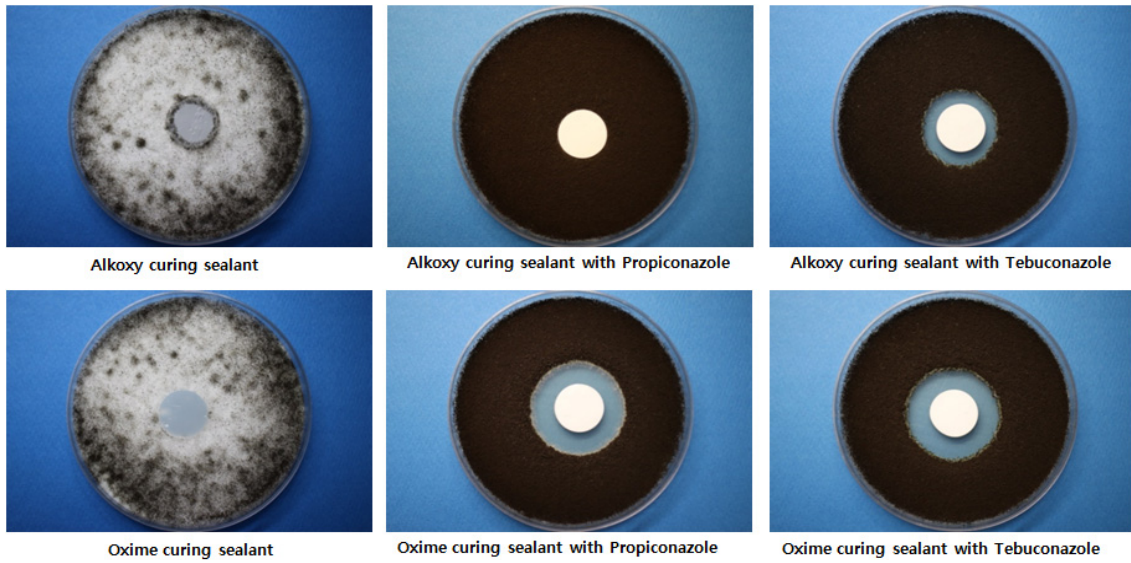


Figure 2. Comparative observation of fungal growth for 6 types of silicone sealants by LHCS 41 40 12

3.3 KS F ISO 21265 시험법에 따른 실란트 6종의 곰팡이 저항성 평가 결과

3.3.1 50°C 침수 전 시료에 대한 곰팡이 저항성 평가

KS F ISO 21265 시험 방법으로 50°C 침수 전 6종의 일반 및 항곰팡이 실란트에 대한 곰팡이 저항성 시험 결과는 Table 5 와 Figure 3에 나타내었다. 곰팡이 성장은 일반 알콕시 경화형 실란트에서 가장 크게 나타났으며, 일반 옥심 경화형 실란트=알콕시 경화형 항곰팡이(테부코나졸 적용) 실란트>알콕시 경화형 항곰팡이(프로피코나졸 적용) 실란트=옥심 경화형 항곰팡이(프로피코나졸 적용) 실란트>옥심 경화형 항곰팡이(테부코나졸 적용) 실란트 순으로 작게 나타났다.

Table 5. Sequential observation of fungal growth over time by KS F ISO 21265

Type of silicone sealant	A complete medium				
	After 1 week	After 2 weeks	After 3 weeks	After 4 weeks	After 4 weeks average
Alkoxy curing sealant	1	2	3	3	4
	1	3	4	4	
	1	3	4	4	
Alkoxy curing sealant with Propiconazole	0	1	1	1	1
	0	1	1	1	
	0	1	1	1	
Alkoxy curing sealant with Tebuconazole	0	0	1	2	2
	0	1	2	3	
	0	1	2	3	
Oxime curing sealant	0	1	2	2	2
	1	2	2	2	
	1	2	3	3	
Oxime curing sealant with Propiconazole	0	1	1	1	1
	0	1	1	1	
	0	1	1	1	
Oxime curing sealant with Tebuconazole	0	0	0	0	0
	0	0	1	1	
	0	0	0	0	

항곰팡이제가 적용되지 않았을 때는 옥심 경화형 실란트가 알콕시 경화형 실란트에 비해 실란트 표면에서 곰팡이 성장이 작게 나타났다. 항곰팡이제가 적용된 실리콘 실란트의 경우, 초기에는 실란트 표면에서 곰팡이 성장이 나타나지 않았으나, 시간이 경과하면서 완전 한천 배지 하에서 곰팡이의 성장이 커짐에 따라 실란트 표면에서도 곰팡이 성장이 점차 크게 나타났다. 알콕시 경화형 실란트에 항곰팡이제가 적용되었을 때는 옥심 경화형 실란트에 비해 곰팡이 성장이 상대적으로 크게 나타났다. 프로피코나졸 항곰팡이제를 적용 시에는 실란트의 경화 타입과 관계없이 곰팡이 성장이 일정 수준(4주 후 평균 1등급)으로 작게 나타났다. 테부코나졸 항곰팡이제를 옥심 경화형 실란트에 적용 시에 곰팡이 성장이 가장 작게(4주 후 평균 0등급) 나타났으나, 알콕시 경화형 실란트에 적용되었을 때는 곰팡이 성장이 다른 항곰팡이 실란트에 비해 크게 나타났다.

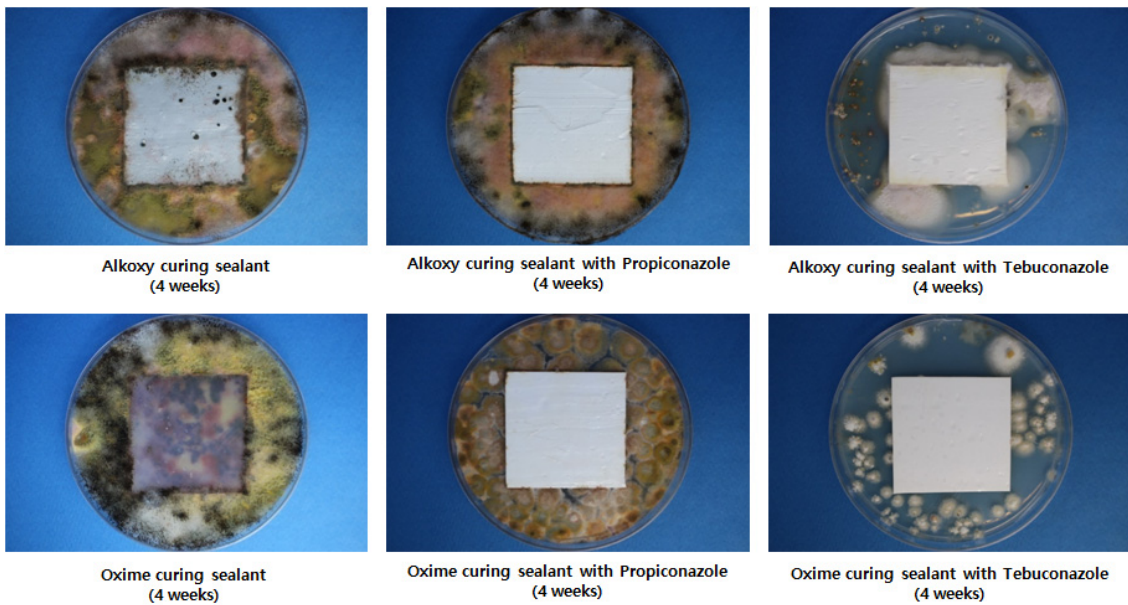


Figure 3. Comparative observation of fungal growth for 6 types of silicone sealants after 4 weeks incubation by KS F ISO 21265

3.3.2 50°C 4주 침수 후 시료에 대한 곰팡이 저항성 평가

KS F ISO 21265 시험 방법으로 50°C에서 4주 침수 후 6종의 일반 및 항곰팡이 실란트에 대한 곰팡이 저항성 시험 결과는 Table 6과 Figure 4에 나타내었다. 곰팡이 성장은 침수 전과 동일하게 일반 알콕시 경화형 실란트에서 가장 크게 나타났으며, 알콕시 경화형 실란트를 제외한 나머지 5종의 일반 및 항곰팡이 실란트에서는 유사한 수준의 곰팡이 성장이 나타났다.

항곰팡이제가 적용되지 않은 일반 옥심 및 알콕시 경화형 실란트의 경우에는 침수 여부와 관계없이 유사한 수준의 곰팡이 성장이 나타났다. 알콕시 경화형 실란트의 경우에는 침수 이후에도 침수 전에 비해 곰팡이 저항성의 변화가 적었으며, 항곰팡이제를 첨가하지 않은 일반 알콕시 경화형 실란트보다는 항곰팡이 저항 성능이 높게 나타났다. 반면, 옥심 경화형 실란트의 경우, 항곰팡이제가 적용된 항곰팡이 실란트에서 침수 이후 곰팡이 저항성이 저하되어 일반 옥심 경화형 실란트와 유사한 수준의 곰팡이 저항성을 나타냈다. 알콕시 경화형 항곰팡이 실란트에 비해 옥심 경화형 항곰팡이 실란트에서 침수에 따른 곰팡이 저항성 저하가 더 크게 나타났다.

Table 6. Sequential observation of fungal growth over time after precipitation at 50°C for 4 weeks by KS F ISO 21265

Type of silicone sealant	A complete medium				
	After 1 week	After 2 weeks	After 3 weeks	After 4 weeks	After 4 weeks average
Alkoxy curing sealant	1	2	3	4	4
	1	2	3	3	
	1	2	3	4	
Alkoxy curing sealant with Propiconazole	1	1	2	2	2
	1	2	2	2	
	1	2	2	2	
Alkoxy curing sealant with Tebuconazole	0	1	2	2	2
	0	1	2	2	
	0	0	1	2	
Oxime curing sealant	1	1	1	2	2
	1	1	2	2	
	1	1	2	2	
Oxime curing sealant with Propiconazole	1	1	2	2	2
	0	1	2	2	
	0	1	2	2	
Oxime curing sealant with Tebuconazole	1	2	2	2	2
	1	2	2	2	
	1	2	2	2	

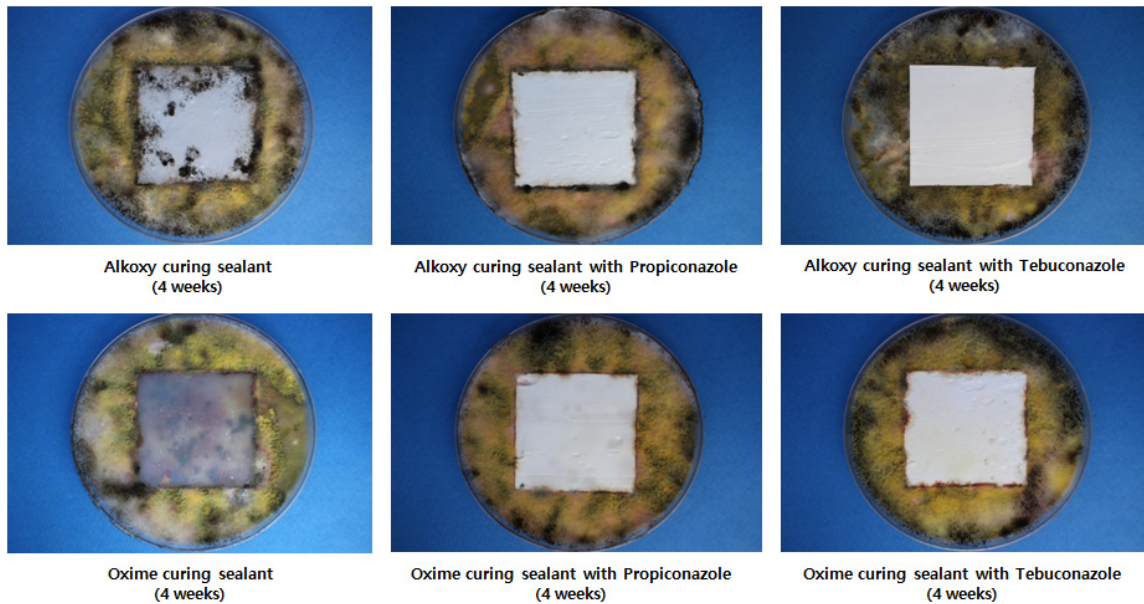


Figure 4. Comparative observation of fungal growth for 6 types of silicone sealants after 4 weeks incubation after precipitation at 50°C for 4 weeks by KS F ISO 21265

4. 결론

본 연구는 알콕시 경화형과 옥심 경화형 일반 및 항공용 실리콘 실란트 6종을 제조 후, ASTM G 21, LH 전문 시방 시험과 KS F ISO 21265 등 3가지 곰팡이 저항성 시험 방법에 따라 실란트의 곰팡이 저항성을 비교하여 평가를 진행한 결과로써, 각 시험법에 따른 실리콘 실란트의 곰팡이 저항성 차이를 확인하였다. 이번 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 시험법에 따른 일반 및 항공용 실리콘 실란트 6종에 대한 곰팡이 저항성 시험 결과, KS F ISO 21265>LH 전문 시방 (LHCS 41 40 12)>ASTM G 21 순으로 실란트의 곰팡이 저항성에 대한 변별성이 크게 나타났다. ASTM G 21 시험법에서는 불완전 배지 사용에 따라 항공용이제를 적용하지 않은 일반 옥심 경화형 실란트에서도 실란트 표면 위에 곰팡이가 성장하지 않았다. LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험법에서는 실란트 주위의 억제대 크기로 곰팡이 저항성을 평가함에 따라 실란트 내 잔존 항공용이제의 용출량으로 결과가 결정되어 실란트의 곰팡이 저항성을 직접적으로 구분하기는 어려울 것으로 판단된다. 반면, KS F ISO 21265 시험법에서는 완전 배지를 사용하여 실란트 표면에서 곰팡이 성장을 평가함에 따라 각 실란트 간 곰팡이 저항성을 보다 확실하고 직접적으로 구분할 수 있는 시험법으로 판단된다.
- 2) ASTM G21, LH 전문 시방(LHCS 41 40 12), KS F ISO 21265 시험 결과, 모든 시험법에서 알콕시 경화형 실란트에 비해 옥심 경화형 실란트의 곰팡이 저항성이 크게 나타났다. 동일한 양의 항공용이제를 알콕시 경화형 및 옥심 경화형 실란트에 적용 및 미적용 했음에도 불구하고, 대체로 알콕시 경화형 실란트에 비해 옥심 경화형 실란트의 곰팡이 저항성이 더 크게 나타났다. 지금까지 알콕시 경화형 제품의 부산물로 발생하는 메탄올(Methanol)에 대한 곰팡이 저항성 연구[10]된 바가 있으나, 옥심 경화형 실란트의 부산물로 발생하는 MEKO(Methyl ethyl ketoxime)에 대한 곰팡이 저항성 연구는 알려진 바가 없는 것으로 파악된다. 다만, 본 연구에서 옥심 경화형 실란트가 알콕시 경화형 실란트에 비해 곰팡이 저항성이 크게 나타난 사유는 실란트의 원재료 및 경화 후 부산물 등에 따른 영향 등에 대한 종합적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) KS F ISO 21265 시험에서는 50°C에서 4주간 침수 후 곰팡이 저항성을 평가하는 조건을 도입함에 따라 다른 시험법에 비해 실란트의 장기적인 곰팡이 저항성 평가가 가능한 시험법으로 판단된다. ASTM G 21 시험은 침수 조건이 없으며, LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험에서는 70°C에서 3일간 침수하는 조건이 있다.

요약

본 연구에서는 실리콘 실란트 총 6종을 제작하여 곰팡이 저항성 시험 방법인 ASTM G 21, LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험과 신규 제정된 KS F ISO 21265 시험법에 따라 곰팡이 저항성을 평가하였다. 그 결과, KS F ISO 21265 시험법이 ASTM G 21과 LH 전문 시방(LHCS 41 40 12) 시험법에 비해 곰팡이 저항성 평가에 대한 변별성이 더 큰 것으로 판단되었으며, 알콕시 경화형 실란트에 비해 옥심 경화형 실란트의 곰팡이 저항성이 더 큼을 확인하였다. 또한, KS F ISO 21265 시험법에서는 50°C에서 4주간 침수 후 곰팡이 저항성을 평가하는 조건 도입을 통해 실란트의 장기적인 곰팡이 저항성 평가가 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 옥실용 실란트, 곰팡이 성장 저항성, ASTM G 21, LHCS 41 40 12, KS F ISO 21265


Funding


Not applicable


Acknowledgement


I would like to express my sincere gratitude to KCC SILICONE Corporation and Ah Sung Fine Chemical Corporation for their invaluable support, which greatly contributed to the successful completion of this research.

ORCID

Myung-Su Ahn,  <https://orcid.org/0009-0006-9872-100X>

Sung-Hyun Choi,  <https://orcid.org/0009-0003-0602-3713>

Ki-Hyang Lee,  <https://orcid.org/0009-0006-3331-5625>

Changwoon Nah,  <https://orcid.org/0000-0001-9188-0274>

References

1. Ahn MS, Jung JY, Bae KS. The evaluation for weather resistance as per polymer type of sealant for construction use. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction. 2014 May 29-30; Gyeongju, Korea. Seoul (Korea): the Korea Institute of Building Construction; 2014. p. 220-1.
2. de Buyl F. Silicone sealants and structural adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2001;21(5):411-22. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(01\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(01)00018-5)
3. Wolf A. Mould fungus growth on sanitary sealants. *Construction and Building Materials*. 1989 Sep;3(3):145-51. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(89\)90006-8](https://doi.org/10.1016/0950-0618(89)90006-8)
4. Reinprecht L, Kmet'ová L. Fungal resistance and physical-mechanical properties of beech plywood having durable veneers or fungicides in surfaces. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2014 Apr;72:433-43. <https://doi.org/10.1007/s00107-014-0788-6>
5. ASTM G 21-15. Standard practice for determining resistance of synthetic polymeric materials to fungi [Internet]. PA: American Society for Testing and Materials; 2015. Available from: <https://doi.org/10.1520/G0021-15>
6. LHCS 41 40 12:2020. LH Construction Specification-Sealing construction [Internet]. Jinju (Korea): Korea Land and Housing Corporation Specification. 2020. Available from: <https://www.kcsc.re.kr/StandardCode/Viewer/30995>
7. KS F ISO 21265:2022. Assessment of the fungal growth on sealant surfaces [Internet]. Seoul (Korea): Korea Agency for Technology and Standards; 2021. Available from: <https://standard.go.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72059301875344658>
8. KS J 3201:2023. Methods of test for fungus resistance [Internet]. Seoul (Korea): Korea Agency for Technology and Standards; 2023. Available from: <https://standard.go.kr/streamdocs/view/sd;streamdocsId=72340776137356093>
9. ISO 846:2019. Plastics-evaluation of the action of microorganisms [Internet]. Geneva (Switzerland): International Organization for Standardization; 2019. Available from: <https://www.iso.org/standard/74599.html?browse=ics>
10. Khan ZS, Nasreen S. Phytochemical analysis, antifungal activity and mode of action of methanol extracts from plants against pathogens. *Journal of Agricultural Technology*. 2010 Jan;6(4):793-805.