

## 커튼월에 적용된 구조용 실링재의 옥외폭로와 실내복합열화 처리방법에 따른 내풍압성능 비교연구

장필성, 홍순구, 김성래\*  
한국건설생활환경시험연구원

### A Study on Comparison of Outdoor Wind Pressure Performance According to Outdoor Exposure and Acceleration Deterioration Methods of Structural Sealants Applied to Curtain Wall

Jang-Pil Sung, Hong-Soon Gu, Kim-Sung Rae\*

Korea Conformity Laboratories

**요약** 실란트는 현대 건축물의 중요한 요소로 사용되고 있으며, 습기, 공기, 기타 물질의 침입에 대한 방벽을 제공함으로써 내후성에 대한 건물 보호의 역할을 한다. 다양한 환경에 노출되어 물리적, 화학적, 기계적 특성이 변화되어 수명이 단축되는 경우가 많으며, UV, 습기, 온도 진축 등은 내구성과 직결되는 중요한 이슈이다. 본 연구에서는 구조용 실링마감재의 내구성능을 실내에서 검증하기 위한 장비로서 외기의 환경을 모사할 수 있는 복합열화시험 챔버를 제작하였다. 황사, 산성비, 미생물에 의한 오염 등 특이 기상 상황의 재현은 어려우며 외기 환경을 100% 모사하는 것은 불가능한 것으로 판단되며, 구조용 실링재의 옥외폭로시험방법과 복합열화시험장치에 대한 내후성 시험 결과 간의 상관관계를 통해 재현성을 확보하고자 연구하였다. 옥외폭로시험의 변위량 시험 결과 실링재의 응집력이 분해되어 연결화가 진행되는 것으로 판단되었고, 옥외폭로 1년 후 변위는 초기 물성치보다 3600 Pa에서 3배 정도 차이가 나는 것을 볼 수 있었고, 비교제품의 경우 최대 7배까지 변위가 차이 나는 것으로 확인되었다. 복합열화시험장치에서 변위시험결과 열화되어 탄성 및 인장특성이 감소하는 경향을 나타내었다. 변형실리콘 실링재의 경우는 현재 400 Cycle을 완료하여 옥외폭로 12개월의 물성저하를 확인하였다. 시험체의 변형은 육안으로는 확인할 수 없어 상대적으로 실리콘 실링재 제품보다 상태 안정성이 양호한 것으로 판단된다. 옥외폭로시험 결과, 복합열화시험장치가 체계화되어 관련 지침 또는 규격 등에 제안된다면, 실제 사용환경에서 12개월의 예상수명을 실내에서 3개월 미만에서 검증할 수 있는 방법으로 향후, 경제적 손실저감, 공기단축, 설계에 예상 가능한 재료의 선정 등에 활용될 것으로 기대된다.

**Abstract** Sealants are an important element of modern architecture and serve as a building protection against weathering by providing barriers against ingress of moisture, air, and other materials. Exposure to a variety of environments often reduces lifespan due to changes in physical, chemical and mechanical characteristics, and UV, humidity, and temperature expansion are important issues that are directly related to durability. In this study, a combined deterioration test chamber was developed to simulate the environment of the open air as an instrument for verifying the durability of structural sealing materials indoors. In order to replicate special weather conditions, such as yellow dust, acid rain, and contamination by microorganisms, it was deemed impossible to replicate the outdoor environment by 100%, and the results of the results of the results of the external exposure test of the structural sealant and the combined deterioration testing device. As a result of the displacement test of the outdoor exposure test, it was determined that the sealant was breaking apart and that it would be smooth, and the displacement would be up to three times greater than the initial material value of 1 year. The displacement test results of the combined deterioration test device show the tendency to deteriorate, decreasing the elasticity and tensile characteristics. In the case of denatured silicon, the current 400 cycles have been completed to confirm 12 months of degradation of the external exposure. The deformation of the test specimen cannot be verified with the naked eye, so it is considered that the conditions of the specimen are more stable than the silicon sealant. As a result of the outdoor exposure test, if the combined deterioration test device is structured and proposed in the relevant guidance or specification, the anticipated lifespan of 12 months in the actual use environment can be verified indoors and below 3 months later, economically.

**Keywords** : Weathering test, Structural Sealants, Sealing, Accelerated Deterioration Test, Outdoor exposure test

본 논문은 국토교통기술촉진연구사업(17CTAP-C097895-03)의 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

\*Corresponding Author : Kim-Sung Rae(Korea Conformity Laboratories)

Tel: +82-2-2102-2725 email: srkim@kcl.re.kr

Received May 28, 2018

Revised (1st June 25, 2018, 2nd July 24, 2018, 3rd August 10, 2018, 4th August 20, 2018)

Accepted September 7, 2018

Published September 30, 2018

## 1. 서론

실란트는 현대 건축물의 중요한 요소로 사용되고 있다. 건축 구조용 실란트는 습기, 공기, 기타 물질의 침입에 대한 방벽을 제공함으로써 내후성에 대한 건물 보호를 제공하는 동시에 짝을 이루는 요소들 사이에 일정한 양의 신축을 허용한다. 일단 설치된 모든 건물의 실란트는 노화 요소 조합이 다른 다양한 환경적 요인에 노출된다[1]. 이러한 환경 요소와 실란트의 상호 작용으로 인해 실란트의 물리적, 화학적, 기계적 특성이 불필요하게 변화되어 수명이 단축되는 경우가 많다. 또한, 건축 구조용 실란트에 대한 내후성 및 구조물의 거동에 대한 열화를 대체한 시험은 KS F 4910(Sealantes for sealing and glazing in buildings)규격에는 부재한 실정이며[2], 국내에도 가변형 변위거동 및 실란트 시공 후 재료의 열화 및 거동에 대한 연구는 부족한 실정이다[3]. 즉, 구조용 실란트 내구성에 대한 중요한 이슈는 UV, 습기, 온도, Cycle Movement 등 옥외폭로 시 예상수명을 정확하게 예측하고자 하는 것이다.

본 연구에서는 초고층 건축 구조물의 외벽에 시공되는 실리콘 실란트와 변성실리콘 실란트 국내 제품을 대상으로 풍압, 온도, 습도, 자외선 등 외부환경열화에 대한 실내측진반복처리 기법을 개발하고자 하였고, 실링재의 내구성을 검증하기 위한 장비로서 외기의 환경을 모사할 수 있는 복합열화시험챔버를 제작하였다.

황사, 산성비, 미생물에 의한 오염 등 특이 기상 상황의 재현은 어려우며 외기 환경을 100% 모사하는 것은 불가능한 것으로 판단되어, 일부가능한 태풍, 자외선, 온도변화, 수분 등을 재현하여, 구조용 실링재의 커튼월 옥외폭로시험방법과 복합열화시험장치에 대한 내후성 시험을 실시하고, 그 결과를 분석하여 상관관계 규명을 통해 재현성을 확보하고자 연구하였다[5,6].

## 2. 연구계획 및 방법

### 2.1 커튼월 옥외폭로시험방법

#### 2.1.1 커튼월 시험 개요

일반적으로 커튼월 Mock-up test는 주로 중대형공사의 외벽창호공사 시 문제점을 점검하여 시공 후에 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 사전에 방지하는 차원에

서 실시하는 방법으로, 가장 가혹한 환경을 설정해서 시험을 하기 때문에 문제점을 많이 발견하기도 한다. 또한, Mock-up test에서 찾아낸 문제점을 개선하여 더 나은 품질의 창호 제품을 시공하는데 가장 큰 목적을 두고 있다. 국내에서 주로 실시하는 시험은 KS 기준에 의한 시험과 해외기준인 ASTM & AAMA을 적용해서 시험하는 것이 가장 일반적이지만 본 연구에서는 KS기준으로 기본적인 성능시험을 진행하였다.

#### 2.1.2 커튼월 시험체 제작

커튼월 성능평가는 Fig. 1와 같이 크게 기밀, 수밀, 구조성능(내풍압성능), 단열 성능으로 총 4가지 시험방법으로 구분되나[4], 본 연구에서 제작한 커튼월 시험체의 프레임은 단열 성능의 구조가 아니라 일반 커튼월용 알루미늄 프레임으로 단열성능시험은 제외하였다.

커튼월에 시공된 건축 구조용 실리콘 실란트와 변성 실리콘 실란트의 자외선 및 온도에 따른 열화를 확인을 위해 커튼월 시험 후 옥외폭로시험을 실시하였다. 커튼월 비교시험을 Table 1의 사양으로 시험체를 제작하였고, 커튼월 성능평가 실시 후 Fig. 2와 같이 옥외폭로시험체를 설치하였다. 초기 커튼월 시험 후 1년간 옥외폭로를 실시하여 실링재의 초기 물성값과 옥외폭로 후의 물성값을 비교분석 하였다.

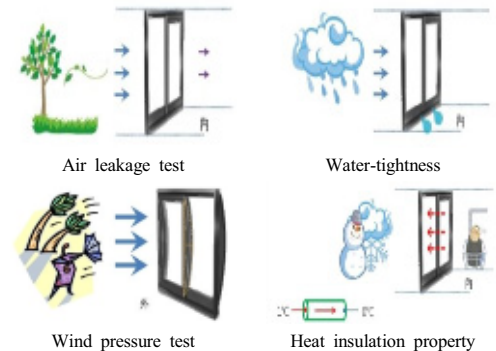


Fig. 1. Type of Curtain wall test

Table 1. Curtain wall specimen specifications

Division	Sample
Size	(1.5 × 1.5) m
Frame	Aluminium
Type	1-Fix
Frame width(mm)	120
Glass Structure	24mm Pair Glass 24T (6CL+12Air+6CL)
Spacer	Aluminium



Fig. 2. Outdoor exposure stand Sample



Fig. 3. Air Leakage test



Fig. 4. Water-tightness test

### 2.1.3 기밀시험

시험체는 KS F 2292에 준한 방법으로 시험체를 시험용 틀에 부착시켰고, 시험체와 시험용 틀 사이에 압력이 충분히 견딜 수 있도록 우레탄폼을 이용해 틈새를 막아 Fig. 3과 같이 부착하였다. 시험을 진행하기 전에 예비가압을 250 Pa의 압력을 1분간 가한 후 시험체가 정상인 것을 확인 한 후 가압을 실시하였다, 시험 압력차는 각각 10, 30, 50, 100 Pa 까지 실시하였다.

KS F 2292에 있는 기밀성 등급선을 통해 실리콘 실란트와 변성실리콘 실란트의 통기량 등급은 각각의 시험체에 가압 시 시험체 면적  $1 \text{ m}^2$ 에 대하여 1시간당 유량을 나타내고, 환산 결과는 세로축에 통기량을 가로축에 압력차를 갖는 양 대수 그래프로 표시하였고, 특히 등급선을 읽는 데 사용하는 유량은 승압시의 값과 강압 시의 값 중 큰 값을 사용하여 계산하였다.



Fig. 5. Wind pressure test

### 2.1.4 수밀시험

기밀시험 종료 후 KS F 2293의 준한 시험방법을 이용해 수밀성 시험 Fig. 4와 같이 실시하였다. 수밀성 시험은 커튼월 프레임의 누수 상황을 육안으로 관찰하지만 프레임 안쪽에 예비가압을 맥동 가압으로 정압을 1분간 가하며 1초당 100 Pa의 압력을 승압시킨 후 시험하였다. 물 분무량은 시험체 전면에 분당  $4 \text{ L/m}^2$ 의 수량을 균등하게 분무하고 분무를 계속 진행하면서 맥동압을 10분간 가하며 속도는 초당 20 Pa 정도로 한 후 시험체의 누수 상황을 육안으로 관찰하였다.

### 2.1.5 내풍압성시험

내풍압성 시험을 시작하기 전에 시험체에서 공기가 새어 시험 결과에 영향을 주지 않도록 우레탄 폼을 이용해 커튼월과 프레임 주변을 실링한 후 Fig. 5과 같이 커튼월 프레임에 변위 게이지를 설치하였다. 정압(900, 1800, 2700, 3600)Pa과 부압 (-900, -1800, -2700, -3600)Pa에 따른 변위를 측정하고 시험은 예비가압으로 500 Pa를 3초 이상 유지하며 3회 가한 후 각 압력에서 10초 이상 유지하며 단계적으로 실시하였다.

## 2.2 복합열화시험장치의 제작 및 구조

복합열화시험장치는 건축 구조용 실링마감재의 성능향상을 위하여 기존 실외 커튼월 Mock-up test를 실내 촉진시험방법으로 대체하기 위해 구조용 실링마감재의 풍압, 온도, 습기, 자외선 등 외부환경열화에 대한 촉진 반복처리를 실시하여 소재의 내구성능을 검증하기 위한 구조로 설계하였다.

국내 기준으로 초고층빌딩에 부는 바람은 평균 초속  $24 \text{ m/s}$ 이며, 순간 최대풍속은 지역에 따라서  $50 \text{ m/s}$ 를 넘는 지역도 있다.

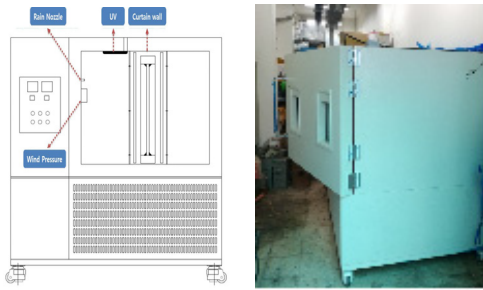


Fig. 6. Overview of Acceleration deterioration test equipment



Fig. 7. Advanced device equipment

풍압, 우천, UV 등 여러 가지 조건들을 Mock-up test 에서 재현하기 위해 풍압제어장치를 50 m/s 까지 구현 할 수 있게 설계하고 우천환경과 자외선 조건들이 실링 재에 미치는 영향을 알아보기 위해 우천환경 노즐과 공기 순환 제어장치를 설치하여 복합열화시험장치를 Fig. 6과 같이 제작하였다.

옥외폭로시험 방법과 비교하여 복합열화시험장치내 에서 옥외폭로를 모사하기 위해 Fig. 7과 같이 조도센서, 우천분사노즐, 내풍압팬 설치, 소프트웨어 제작 등으로 장비 고도화를 진행하였고, 시험장치의 조건을 자동제어 및 수치화를 위해 풍속, 조도, 온도, 습도, 시간 제어 및 시험데이터의 수치화가 가능한 프로그램 제작, 강풍 및 태풍을 모사한 풍동시험을 위해 내풍압 팬을 2개로 설치하여 시스템 및 장비 설계로 현장성을 모사하고자 하였다[5].



Fig. 8. Acceleration deterioration testing device

### 2.3 복합열화시험장치의 시험체 제작

본 연구에서는 실리콘 실란트와 변성실리콘 실란트를 대상으로 Fig. 8과 같이 커튼월 프레임용 알루미늄 프레임(800×800)mm에 22 mm 두께의 복층유리로 제작 후 각각 프레임에 실리콘 실란트와 변성실리콘 실란트를 각각 시공하여 (23±5)℃, (50±5)%RH로 4주간 양생 후 복합열화시험장치에 시험체를 설치하였다.

### 2.4 복합열화시험장치의 시험방법

국내 기후 환경은 온대 기후와 냉대 기후 지역에 속해 사계절의 변화가 뚜렷하다. 또한, 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 대륙성 기후와 해양성 기후가 복합적으로 나타나므로 보통 여름 6~8월, 겨울 12~2월 3개월은 극사극한계절로 나타낸다.



Fig. 9. Test of deterioration device

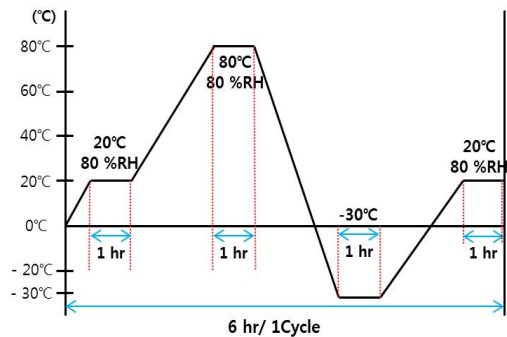


Fig. 10. Overview acceleration deterioration testing Cycle

복합열화시험장치는 위와 같이 국내 기후를 반영하여 소재의 열화가 가장 심한 여름과 겨울, 3개월을 기준으로 시험하였으며 Fig.9과 같이 초기 장비 세팅 후 Fig.10의 Cycle로 초기 이행시간 30분 → [20 °C, 80 %RH × 1 hr] → 이행 1 hr → [80 °C, 80 %RH × 1 hr] → 이행 1 hr → [-30 °C, 0 %RH × 1 hr]을 1 Cycle로 시험을 진행하였다.

외기환경조건을 실험실조건으로 재현하기 위해서 KS F 2274[건축용 합성 수지재의 촉진 노출 시험방법]의 자외선 램프에 의한 노출시험방법(WF-1 : 조사와 소등의 반복)의 시험방법을 인용하여 UV조사를 실시하였으며, 옥외폭로 후 시험체와 복합열화시험장치 시험체의 결과를 비교하였다.

### 2.5 복합열화시험장치의 온도설정 근거

구조용 실란트 열화요인 중 환경적인 요인과 유리 및 프레임의 움직임에 따른 열화요인은 옥외폭로 시 동시에 발생하기 때문에, 확률적으로 시뮬레이션하기 어렵다고 판단된다.

본 연구결과에서 실제 옥외폭로시험장에서 실시된 시험체의 기상데이터를 적용하여, 기존 시험방법을 개선한 Cycle 방법으로 구체화하였고, 열팽창수축에 의한 열화, 자외선에 대한 열화 그리고 풍하중에 대한 열화요인을 고려하였다.

시험방법의 개선을 위해 옥외폭로시험장의 20년도 최고 최저 기온과 습도 그리고 최고풍속을 Table 2와 같이 나타내었고, 여름철의 가장 높은 온도( °C)와 겨울의

Table 2. The Max or min temperature of the outdoor exposure test site in 2017(Daesan-eup, Seosan-si, Chungcheongnam-do)

Month	Temp(°C)		Moisture (%RH)		Wind Speed(km/hr)
	Max	Min	Max	Min	
1	10.6	-7.2	89	20	53.5
2	12.0	-6.2	90	17	42.8
3	13.8	-3.2	89	12	41.0
4	23.8	0.4	93	7	50.5
5	27.8	8.5	93	13	57.4
6	28.9	10.8	95	10	44.2
7	31.7	20.3	95	46	43.4
8	33.7	18.2	95	17	53.2
9	28.6	0.0	95	0	36.3
10	23.0	5.0	91	18	43.8
11	15.2	-1.9	81	0	45.2
12	10.7	-8.1	91	20	44.6

가장 낮은 온도( °C)를 감안하여 실제 온도의 변화를 적용한다. 열전도율이 높은 금속재는 햇빛을 받게 되면 80 °C 이상 올라가는 특성 때문에 80 °C로 설정하고 겨울철 바람에 의한 체감온도를 고려하여 최저온도는 -30 °C로 설정한다. UV 조사시간은 일출시간을 고려해서 7시간 동안 조사 후 종료, 겨울철 모사를 제외한 상온에서의 습도는 80 %R.H로 유지한다.

## 3. 실험결과분석

### 3.1 옥외폭로 1년 후 기밀시험결과 비교

#### 3.1.1 기밀시험비교 결과

시제품과 비교제품의 12 개월 옥외폭로 경과 후 실시한 기밀성능시험은 Table 3과 같이 두 제품 모두 기준치를 만족하는 1등급으로 측정되었지만, Fig. 11에서와 같

Table 3. Compare to Before Outdoor exposure VS After

	Pressure (Pa)	Air leakage test ( $m^3/(h \cdot m^2)$ )	
		Modified Silicone Sealant	Silicone Sealant
Before Outdoor exposure	10	0.09	0.09
	30	0.18	0.27
	50	0.27	0.36
	100	0.45	0.54
	Grade	1 Grade	1 Grade
After 1 years Outdoor exposure	10	0.09	0.25
	30	0.27	0.75
	50	0.49	0.79
	100	0.62	1.18
	Grade	1 Grade	1 Grade

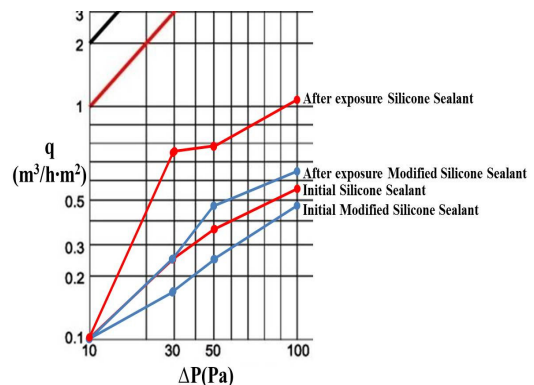


Fig. 11. Comparison of Air leakage test results after 12 months outdoor exposure



**Table 4.** Comparison of Water-tightness test of curtain wall after outdoor exposure

	water-tightness(L/m <sup>2</sup> )	
	Silicon Sealant	Modified Silicone Sealant
Before Outdoor exposure	50 Grade	50 Grade
After 1 years Outdoor exposure	50 Grade	50 Grade
Leak	No leakage	No leakage

이 변성실리콘 실링재는 옥외폭로 12개월 이후에도 성능변화가 압력차 10 Pa에서는 옥외폭로 전과 동일한 0.09 m<sup>3</sup>/h · m<sup>2</sup>의 통기량을 나타내고, 또한, 압력차 100 Pa에서는 통기량 0.62 m<sup>3</sup>/h · m<sup>2</sup>으로 낮은 수치를 나타내어, 옥외폭로 전보다 0.17 m<sup>3</sup>/h · m<sup>2</sup>이 증가하는 양호한 결과를 나타내었다.

하지만, 비교 제품의 경우는 옥외폭로 12개월 경과 후 큰 폭으로 성능이 저하되는 압력차 10 Pa에서 0.25 m<sup>3</sup>/h · m<sup>2</sup>의 통기량을 압력차 100 Pa에서는 1.18 m<sup>3</sup>/h · m<sup>2</sup>로 증가하였다.

**3.1.2 수밀시험비교 결과**

수밀시험은 옥외폭로 전과 옥외폭로 12개월이 경과된 시험체의 결과는 Table 4에서와 같이 두 시험체 모두 내부의 누수 없음으로 확인되었으며 수밀성능은 50등급에서 판정되었다.

**3.1.3 내풍압시험비교 결과**

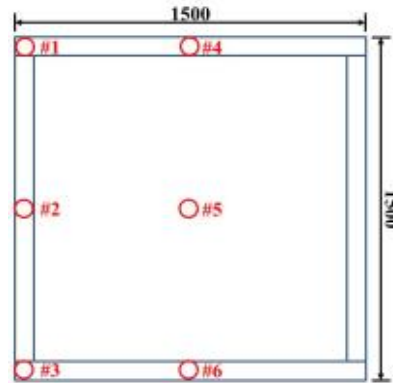
옥외폭로 전과 옥외폭로 12개월 경과 후 재실시한 내풍압시험 결과는 폭로 전 실리콘 실란트를 Table 5, 변성실리콘 실란트를 Table 6에 초기 변위측정 결과를 나타내었고, Fig. 12에서와 같이 #5번을 제외한 #1~4, #6

**Table 5.** Initial displacement measurement result (Silicone Sealant)

Pa	Position of Displacement gauge Silicon Sealant(mm)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
Static	900	0.32	4.14	0.43	0.32	0.62	0.29
	1800	0.65	8.29	0.83	0.62	1.37	0.69
	2700	0.69	12.33	1.24	0.91	2.02	1.02
	3600	0.91	16.56	1.56	1.23	2.73	1.37

**Table 6.** Initial displacement measurement result (Modified Silicone Sealant)

Pa	Position of Displacement gauge Modified Silicon Sealant(mm)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
Static	900	0.23	4.15	0.42	0.30	0.65	0.34
	1800	0.46	8.29	0.83	0.62	1.37	0.69
	2700	0.69	12.33	1.24	0.91	2.02	1.02
	3600	0.91	16.56	1.65	1.23	2.73	1.37



**Fig. 12.** Position of the Displacement gauge

번 게이지의 경우 프레임과 맞물린 가장자리 부분이라 내풍압시험시 변위 측정 크게 차이가 나지 않는 것으로 보였지만, 커튼월 시험체에서 유리로 된 정중앙 부분인 #5번의 변위는 두 시험체 모두 변위량이 증가한 것을 확인 할 수 있으며, 이는 가장 많은 내압이 물리는 부분으로 큰 변위량의 차이를 나타내었다.

실리콘 실란트와 변성 실리콘 실란트의 12 개월 옥외폭로 경과 후 재실시한 내풍압시험의 결과는 각각 Table 7, 8에서 옥외폭로 전과 비교하여 가장자리의 커튼월 시험체의 프레임이 고정된 #1~4, #6은 변위차가 없으나, #5번의 유리알루미늄 프레임으로 구성된 정중앙 부분의 변위 차는 매우 큰 것으로 나타났다.

**Table 7.** Displacement measurement result after 1 year outdoor exposure(Silicone Sealant)

Pa	Position of Displacement gauge Modified Silicone Sealant(mm)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
Static	900	0.29	0.52	0.02	0.44	0.69	0.26
	1800	0.64	1.02	0.15	0.88	1.70	0.43
	2700	0.96	1.48	0.28	1.30	2.51	0.70
	3600	1.36	2.09	0.43	1.81	3.43	0.97

**Table 8.** Displacement measurement result after 1 year outdoor exposure(Modified Silicone Sealant)

Pa	Position of Displacement gauge Silicone Sealant(mm)						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	
Static	900	0.23	0.44	0.09	0.36	6.29	0.30
	1800	0.51	0.91	0.26	0.87	10.34	0.49
	2700	0.76	1.38	0.43	1.16	13.02	0.67
	3600	1.14	1.94	0.64	1.73	15.84	1.04

실리콘 실란트는 저압단계의 정압 900 Pa에서 옥외 폭로 전의 결과는 0.62 mm, 최고압단계인 정압 3600 Pa에서 2.73 mm로 양호한 성능을 Table 5에 나타내었고, 12개월 옥외폭로 후 정압 900 Pa에서 각각 6.29 mm로 변위량이 증가하였고, 최고압인 정압 3600 Pa에서 3.43 mm로 성능 저하가 발생된 결과를 Table 7에 나타내었다.

변성 실리콘 실란트는 Table 6.에서와 같이 옥외폭로 전 저압 900 Pa에서 0.65 mm와 최고압 3600 Pa에서 2.73 mm를 확인하였고, 12개월 폭로 후 Table 8에서 저압과 최고압에서 각각 6.29 mm와 15.84 mm로 변위량이 급격하게 증가하여 큰 물성저하를 나타내었다.

이는 유리와 알루미늄 프레임을 연결 및 고정시켜주는 실란트가 열화되면서 초기의 물성을 상실하는 하자의 원인으므로 내풍압시험에서의 변위량 증가는 실란트가 열화되어 결정성 저하로 고분자 소재의 응집력이 분해되어 연결화가 진행되는 것으로 판단된다.

### 3.2 400 Cycle 후 복합열화시험장치의 변위량

복합열화시험장치의 시험방법으로 400 Cycle 종로 후 외관의 형태와 시험체 중앙부(#5)의 유리 변위측정 결과는 Fig.13과 Table 9와 같으며, 실리콘 실란트와 변성 실리콘 실란트의 외관과 형태 및 치수 변화는 없었지만, 변위량은 중앙부(#5)는 초기 변위 대비 각각 3.39 mm, 16.14mm의 변위차가 발생되었고, 각각의 측정위치(#1~4)에 따른 Table 10에 변위차를 나타내었고, 변성 실리콘 실링재는 100 Cycle 이후부터 급격하게 변위가 증가하여 400 Cycle에서는 각각의 중앙부(#5) 변위는 16.14 mm, #1~4의 가장자리는 0.40, 0.41, 0.39, 0.38 mm로 측정되었다.

가장자리의 측정결과는 변위량에는 영향을 주지 않아 무시할 수 있으며, 중요한 성능치는 #5의 유리 중앙부의 변위량으로서 고정된 실링재가 복합열화시험장치의 환



**Fig. 13.** Appearance of specimen after 400cycles (Modified Silicone Sealant)



**Fig. 14.** Appearance of specimen after 400cycles (Silicone Sealant type)

**Table 9.** Comparison of displacement of 1 year outdoor exposure and deterioration test equipment(400 Cycle)

	After Outdoor exposure		Deterioration testing results	
	Silicone Sealant	Modified Silicone Sealant	Silicone Sealant	Modified Silicone Sealant
Displacement (mm)	3.43	15.84	3.39	16.14

경조건에 의해 열화되어 탄성 및 인장특성이 감소하는 경향을 나타내었다. Table 10에서와 같이 복합열화시험은 400 Cycle로 약 91일 진행된 결과로서 실리콘 실란트 12개월 옥외폭로 후의 내풍압 결과에 근접하였고, 약 400 Cycle의 결과로는 3.43 mm인 옥외폭로 후의 결과에 도달한 것으로 판단되며, 비교 제품의 시험체는 성능이 급격하게 저하되어 비교할 수 있는 수치범위 밖에 있어 정량적인 상관관계 규명이 다소 어려울 것으로 판단된다.

Table 10. According to Wind speed 50 m/s Displacement of the specimen

Cycle	Deterioration displacement(mm)									
	#1		#2		#3		#4		#5(Glass)	
	Silicone Sealant	Modified Silicone Sealant	Silicone Sealant	Modified Silicone Sealant	Silicone Sealant	Modified Silicone Sealant	Silicone Sealant	Modified Silicone Sealant	Silicone Sealant	Modified Silicone Sealant
100	0.15	0.23	0.17	0.44	0.16	0.09	0.15	0.36	0.75	0.72
200	0.23	0.35	0.27	0.24	0.31	0.28	0.28	0.38	1.57	4.01
300	0.31	0.39	0.35	0.37	0.38	0.36	0.34	0.33	2.34	8.49
400	0.35	0.40	0.37	0.41	0.41	0.39	0.37	0.38	3.39	16.14

#### 4. 결론

본 논문에서는 변성실리콘 실란트와 실리콘 실란트를 커튼월 시험체에 시공 후 1년 옥외폭로 후 시험체를 회수하여 커튼월 초기 시험 항목과 같은 항목으로 기밀, 수밀, 내풍압성(구조성능) 등 시험을 진행하였고, 옥외폭로 결과 비교에 따른 복합열화시험장치 시험 시 상관관계를 비교분석하였다.

초기 커튼월 시험체 설치 후 6 개월 경과 후 육안으로 변성실리콘 실란트 및 실리콘 실란트 두 제품 모두 외관이 손상된 부분 없고 대기 중의 먼지 등에 의한 실링재 표면의 오염만 있는 것으로 확인하였고, 반면 12 개월이 경과된 시험체는 6 개월에서는 확인할 수 없었던, 실란트 외관에 수축 및 들뜸이 일부분 발생하였으며, 대기 중의 먼지, 곰팡이 등의 균류 등에 의해 실링재 표면의 오염이 진행되었고 피착재와 계면 박리도 일부분 나타났다.

1년간 추적조사 결과 실링재 박리에 가장 큰 영향을 미치는 것은 겨울철 낮과 밤의 기온차가 클 때 실란트의 수축과 팽창이 반복되면서 피착재와 실란트 계면 사이에 영향을 미치고, 특히 여름철에 집중되는 UV와 일조시간, 고온, 습도가 실란트 열화에 복합적으로 영향을 미치는 것으로 판단된다.

복합열화시험장치의 시험방법으로 400 Cycle 종료 후 변성 실리콘 실링재는 100 Cycle 이후부터 급격하게 변위가 증가하여 400 Cycle에서 탄성 및 인장특성이 감소하는 경향을 나타내었고, 실리콘 실란트 경우 12개월 옥외폭로 후의 내풍압 결과로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 변성실리콘 실란트 및 실리콘 실란트의 옥외폭로시험 결과와 복합열화시험장치를 활용한 실내축진시험이 체계화되어 관련지침 또는 규격 등에 제안된다면, 실제 사용환경에서 12개월의 예상수명

을 실내에서 3개월 만에 검증할 수 있는 방법으로 향후, 경제적 손실저감, 공기단축, 설계에 예상 가능한 재료의 선정 등에 활용될 것으로 기대된다.

#### References

- [1] C. C. White, D. L. Hunston, K. T. Tan, J. Hettenhouser, J. D. Carver, "An accelerated exposure and testing apparatus for building joint sealants", *Review of Scientific Instruments*, Vol.84, No.9, Article ID 095113, Sep, 2013.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.1063/1.4821880>
- [2] KS F 4910, Sealants for sealing and glazing in buildings, Korea Standard, 2010.
- [3] S. K. Lee, K. S. Bae, "Outdoor weathering test for used construction urethane type sealants", *The Korea Institute of Building Construction*, Vol.17, No.1, pp.69-70, Feb, 2017.
- [4] KS F 2292, The method of air tightness for windows and doors, Korea Standard, 2013.
- [5] ASTM C 793, Standard Test Method for Effects of Laboratory Accelerated Weathering on Elastomeric Joint Sealants, 2010.
- [6] ASTM C 1589, Standard Practice for Outdoor Weathering of Construction Seals and Sealants, 2014.
- [7] P. S. Jang, D. W. Kang, S. G. Hong, Y. G. Kim, S. R. Kim, "A Study on the Elastic Restoration Characteristics According to Environmental Resistance Condition of Structural Sealing Finishing Materials", *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.22, No.1 pp.6-7, Jan, 2018.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.1112/jksmi.2018.22.1.066>



**장 필 성(Pil-Sung Jang)**

[정회원]



- 2004년 8월 : 건국대학교 건설환경공학(공학석사)
- 2017년 2월 : 건국대학교 건설환경공학(박사수료)
- 2005년 11월 ~ 2007년 4월 : 한국건설기술연구원 연구원
- 2007년 4월 ~ 현재 : 한국건설생활환경시험연구원 선임연구원

<관심분야>

건설재료, 고장원인분석

---

**홍 순 구(Soon-Gu Hong)**

[정회원]



- 2016년 8월 : 동국대학교 화학공학(공학사)
- 2015년 11월 ~ 현재 : 한국건설생활환경시험연구원 연구원

<관심분야>

건설재료, 화학소제열화분석

---

**김 성 래(Sung-Rae Kim)**

[정회원]



- 2002년 2월 : 명지대학교 화학공학(공학석사)
- 2014년 2월 : 충북대학교 화학공학(공학박사)
- 2004년 3월 ~ 2008년 2월 : 애경 PNC 연구소 연구원
- 2008년 7월 ~ 현재 : 한국건설생활환경시험연구원 선임연구원

<관심분야>

건설재료, 화학소제열화분석