

Research Paper

# PC 구조물 부재간 접합부에 적용되는 실링재의 수밀성 평가방안 마련을 위한 기초적 연구

## A Basic Study to Prepare a Watertightness Evaluation Plan for Sealant Applied to Joints Between Members of PC Structures

김태호<sup>1</sup> · 김용로<sup>1</sup> · 고효진<sup>2</sup> · 박진상<sup>3</sup> · 김동범<sup>4\*</sup> · 이상욱<sup>5</sup>

Kim, Tae-Ho<sup>1</sup> · Kim, Yong-Ro<sup>1</sup> · Ko, Hyo-Jin<sup>2</sup> · Park, Jin-Sang<sup>3</sup> · Kim, Dong-Bum<sup>4\*</sup> · Lee, Sang-Wook<sup>5</sup>

<sup>1</sup>General Manager, Housing & Building Tech. R&D Institute, DL E&C, Jongno-Gu, Seoul, 03181, Korea

<sup>2</sup>Senior Manager, Housing & Building Tech. R&D Institute, DL E&C, Jongno-Gu, Seoul, 03181, Korea

<sup>3</sup>President, Korea Advanced Material Testing & Reaserch Institute Co., Ltd. Paju-si, Gyeonggi-do, 10858, Korea

<sup>4</sup>Director, Korea Advanced Material Testing & Reaserch Institute Co., Ltd. Paju-si, Gyeonggi-do, 10858, Korea

<sup>5</sup>Team Manager, Korea Advanced Material Testing & Reaserch Institute Co., Ltd. Paju-si, Gyeonggi-do, 10858, Korea

\*Corresponding author

Kim, Dong-Bum  
Tel : 82-2-977-6697  
E-mail : kati@kati.re.kr

ABSTRACT

This study was conducted to examine the feasibility of preparing a durability evaluation plan in watertightness for sealant applied to a PC structure. To this end, 5 types of sealant that equally satisfy the quality standards of the relevant KS standard were selected and tested. Through this testing, it was found that 3 of the 5 types of sealant showed deterioration in watertightness and durability, such as falling off and cracking from the substrate. For the remaining two types, a visual observation showed no significant changes, but additional analysis, confirmed that there was a large difference in the stress reduction rate of the material. Therefore, based on the above results, the need for a performance review in durability between sealant was confirmed, and based on this, the validity of the durability evaluation plan that can be used in product selection was quantitatively confirmed.

**Keywords :** precast concrete, joint, sealant, watertightness evaluation

Received : October 30, 2022

Revised : November 14, 2022

Accepted : November 19, 2022

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

일반적으로 PC(Precast Concrete)공법에서의 PC 부재간 접합부는 기온에 따른 부재의 신축팽창 및 풍하중, 침하 등에 따른 거동이 집중되는 부위로 반복적이며, 지속적인 피로하중이 발생하고 있어 이에 대응할 수 있도록 재료적 탄성이 우수한 실링재로 마감하고 있다[1]. 현재 PC 부재 간 접합부에 적용되는 실링재는 실리콘계, 변성실리콘계, 우레탄계 등 용도 및 요구성능에 따라 다양한 제품군이 시장에서 판매되고 있다. 해당 제품들은 한국산업표준(이하, KS) ‘KS F 4910 : 2010 건축용 실링재[2]’(이하, 관련 KS표준)에서 정한 성능 및 품질을 확보하고 있으며, 생산 공장 역시 KS인증을 통해 생산품질관리를 하고 있다. 그러나 이러한 품질관리에도 불구하고 현장에서 PC부재간 접합부에 실링재 시공 후 단시간 내에 찢김 및 박락 등이 발생하는 것으로 확인할 수 있으며, 그에 따라 장기적 수밀성능 확보를 기대하기 어려운 것이 현실이다[3]. 이는 다양한 제품군을 포괄적이며, 일률적으로 관리해야 하는 KS의 특성상 평가방법 및 성능기준 수준이 재료가 확보해야 할 기본적인 성능 수준만을 제시하고 있어 실



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.

제 현장에서 발생하는 실질적인 열화조건의 반영에 한계가 있는 것이 가장 큰 원인이라 사료된다[4]. 결과적으로 이러한 한계는 KS에서 정한 품질기준 만족 여부 외에 실제 제조사별 또는 제품별 성능 정도의 차이를 명확히 확인할 수 없는 것과, 특히 실제 현장 적용 후 제품별 장기적 측면의 수밀성 확보 측면에서 그 성능의 정도를 가늠할 수 없어 공사 시 소재의 선택에 있어 매우 곤란하게 작용한다. 이에 본 연구는 PC공법에 적용되고 있는 실링재의 실질적인 수밀성 평가방안 마련을 위한 기초적 연구로서 실제 현장에서 조성되는 열화환경을 고려하여 열화강도를 상향한 조건의 적용 시 연구를 위해 선정된 실링재별 수밀성 확보 관점에서의 성능 차이 발생 유·무를 파악하고 이를 기반으로 수밀성 평가방안 마련의 타당성을 확립하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서 지칭하는 PC부재간 접합부는 건식으로 맞는 부분에 한정된 것으로 습식(현장타설콘크리트)으로 부재간 접합한 부분 타설 부위는 제외하였다. 본 연구는 실링재의 장기적 수밀성 확보 가능 여부를 평가할 수 있는 평가방안 마련을 위해 진행되는 기초 선행 연구이다. 이에 공통적으로 KS인증을 통해 관리되는 실링재를 대상으로 실제 현장 조건을 고려하여 관련 KS표준에서 정한 열화조건 대비 상향 조정하였을 때 수밀성 확보 여부 및 성능 차이 발생 여부를 확인하는 것을 목적으로 하였다. 따라서 본 연구에서 도출되는 결과는 실링재 간 성능 우열을 의미하지 않으며, 관련 KS표준에 만족하는 실링재의 추가적인 수밀성 평가 필요성 여부만을 판단하는 것까지 연구의 범위로 한정하였다.

## 2. PC 구조물 접합부 수밀성 연구 동향

PC 구조물 접합부를 대상으로 한 연구 동향을 살펴보면, Hwang[5]은 포스트텐션이 적용된 PC콘크리트 보-기둥 접합부의 거동을 모사할 수 있는 매개변수 해석을 통해 접합부의 요구성능을 분석하였다. Shim[6]은 PC공법 중 HBS 슬래브 공법을 대상으로 구조 성능 검증 및 PC 보와 HBS 슬래브 간 접합 성능을 평가 및 분석하였다. Choi[7]은 IMT 슬래브의 휨 성능과 전단성능 규명을 위한 실험적, 해석적 연구를 수행하고 IMT 슬래브의 적용성 확대를 위한 방향성을 제시하고자 하였다. Yoon[8]은 PC 보와 PC 기둥 접합부에 대한 구조적 성능 및 이력특성 검토와 성능평가를 진행하였으며, PC 및 PS 접합공법의 비교분석을 통해 성능 및 문제점을 검토하였다. Logon et al.[9]은 콘크리트 구조물에 적용되는 ESD 가소성 수지의 실링재에 대하여 기존 실링재 전용 변형 능력 시험 및 평가방법이 아닌 해당 실링재에 대한 기계적 물성을 시험하는 방법을 제시하였으며, 이에 대한 시험평가를 통해 시험방법을 검증하였다.

일반적으로 PC구조물의 접합부 관련 연구는 구조 및 강도 중심으로 연구되었으며, 접합부 수밀성 관련 연구는 다소 미진한 것을 확인되었다.

## 3. 시험계획 및 방법

### 3.1 시험 대상 소재

본 연구를 위한 실링재 선정은 현재 시장에서의 점유율이 높은 제품들을 선정하였으며, PC구조물 부재간 접합부 적용 시 가장 안정적인 제품을 선정하기 위하여 제조사에 직접 문의하여 추천된 제품을 선정하였다. 실험에 사용된 모든 제품은 KS 인증 제품이며, 총 5개 제품을 선정하였다. KS표준 상 실링재는 다양한 등급으로 구분되는데, 본 연구에서는 건축용으로 사용되는 F형 제품을 사용하였으며, 거동 추종성 25%, HM(High Modulus) 및 LM(Low Modulus) 제품을 사용하였다. 또한 실링재 타입은 실리콘계, 변성실리콘계, 폴리우레탄계로 선정하였으며, 각 제품별 제조사에서 제시하는 성능 규격에 대한 상세 내용은 다음 Table 1과 같다.

**Table 1.** Material properties used in the study

Item	Type	Specific gravity	KS grade	Tensile stress	Tensile strain
Type A	Silicon polymer	1.28±0.1	F-25HM	1.0~1.4N/mm <sup>2</sup> (ASTM D412)	400~500 %(ASTM D412)
Type B	Silicon polymer	1.35±0.1	F-25LM	3.0N/mm <sup>2</sup> (ASTM D412)	300%(ASTM D412)
Type C	Silicon modified polymer	1.47±0.1	F-25HM	2.7N/mm <sup>2</sup> (ASTM D412)	350%(ASTM D412)
Type D	Polyurethane	1.25±0.1	F-25LM	0.35N/mm <sup>2</sup> [23°C](ISO 8339)	700%(ISO 8339)
Type E	Silicon polymer	1.31±0.1	F-25LM	1.3N/mm <sup>2</sup> (ASTM D412)	800%(ASTM D412)

### 3.2 시험계획

시험을 위한 열화처리는 Table 2에 나타난 바와 같이 촉진노출처리 및 냉온반복처리로 계획하였으며, 기존 실링재 관련 KS표준 대비 열화 강도를 상향하였다. 이 중 촉진노출처리는 KS표준 상 G형(글레이징용)에만 국한하고 있어 F형은 제외되어 있다. 실제 현장 환경을 고려하면 외벽부 PC 부재 간 접합부에 적용되는 실링재 역시 태양광에 의한 열화환경이 조성될 수 있어 본 연구에서는 촉진노출처리를 진행하는 것으로 계획하였으며, 처리방법 및 시간은 ‘KS F 3211 : 2015 건설용 도막 방수재[10]’의 우레탄 고무계 1류 노출용 방수재 시험방법 중 내구성 시험방법을 준용하였다. 해당 표준에서의 내구성 시험방법은 크세논아크(Xenon arc) 광원에서 1 300시간 처리로 정하고 있으며, 이는 수밀성이 요구되며, 태양광의 직접 노출이 심한 구조물 옥상 노출용 방수재의 내구성 판단에 활용됨에 따라 본 연구에 적용 시 유의미할 것으로 판단하였다. 냉온반복 처리는 관련 KS표준 상 ‘압축 가열·인장 냉각’ 시험항목에서 정하고 있으며, -20±2에서 인장 후 21시간, 압축 후 21시간을 1 Cycle로 하여 총 2 Cycle로 처리하는 것으로 명시되어 있다. 인장 및 압축 조건에서의 냉온반복처리는 열화강도가 높다 할 수 있으나, 반복 횟수가 작고 기전 상태에서의 열화 처리라는 점을 고려했을 때 열화 처리 강도의 상향이 필요하였다. 본 연구에서는 냉온반복처리는 동결융해처리 방식을 적용하였으며, 수중 침적 18시간 후 즉시 -20±3°C에서 3시간 냉각 및 50±3°C 3시간 가열 하는 것을 1 Cycle로 하여 10 Cycle로 계획하였다. 또한 온도 전환에 따른 영향을 극대화하기 위하여 2 챔버형 열충격 시험장비를 사용하였다.

**Table 2.** Comparison of treatment conditions between KS F 4910 and applied to the study

Item	Comparison of treatment conditions		Related standards
	Conditions of KS F 4910(F type)	Conditions applied to the study	
Accelerated aging	(Doesn't exist)	① Xenon arc(WX-A) ② Treatment time : 1300hr	KS F 2274 : 2018 KS F 3211 : 2015
Hot and cold simulations	① After cooling to -20±2°C over 3hr, 25% tension of joint and retention for 21hr ② After the joint tension is released, heating to 70°C for 3hr, 25% compression of joint and retention for 21hr ③ 2 Cycle	① Put in water at 20°C for 18hr ② 3hr cooling at -20±3°C ③ 3hr heating at 50±3°C ④ 10 Cycle	KS F 4716 : 2018

관련 KS표준에서는 촉진노출(G형에만 해당) 및 냉온반복 후 육안관찰을 통한 시험체의 탈락(파괴)여부만을 확인하고 있으나, 본 연구에서는 열화 처리된 시험체를 대상으로 내피로 시험을 진행함으로써 물리적 외력에 따른 성능 저하 여부도 확인할 수 있도록 계획하였다. 또한 내피로 시험이 완료된 시험체를 대상으로 내투수 시험을 진행하는 것으로 계획하였는데, 이는 내피로 시험 과정에서 실링재 및 바탕 모르타르 시험체와의 탈락에 따른 수밀성 상실 여부를 정량적으로 판단하기 위함이다. 본 연구를 위한 시험계획은 다음 Table 3과 같다.

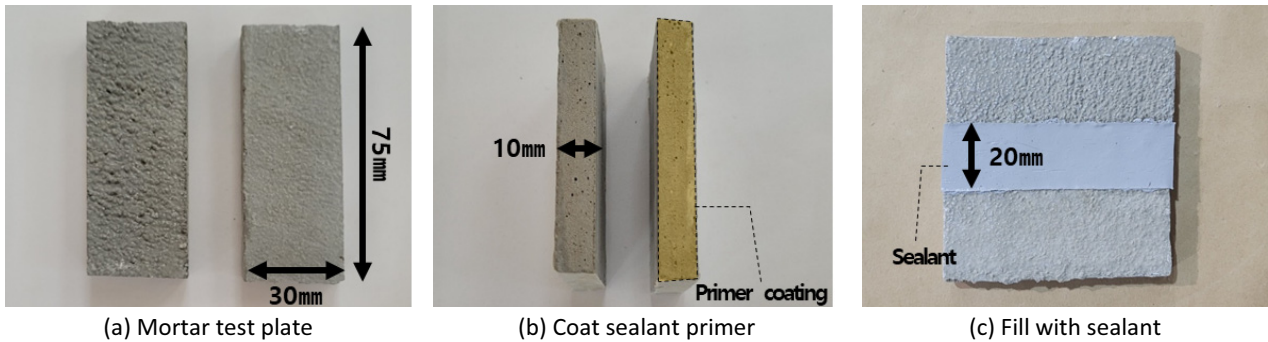
**Table 3.** Test plan

Item	Specimen	Number of specimens	Related standards
Fatigue resistance & Water permeability	Plain	3	KS F 3211 : 2015 KS F 4925 : 2018
	Accelerated aging	3	
	Hot and cold simulations	3	

### 3.3 시험 방법

#### 3.3.1 시험체 제작

본 연구를 위한 시험체의 제작은 관련 KS표준에서 정한 제작 방법을 준용하였으며, 30mm×75mm(t:10mm) 크기의 모르타르 바탕 시험체 2개를 20mm 간격으로 고정시킨 뒤, 실란트를 도포하여 25°C, 60% 항온항습챔버에서 7일 기간 양생하였다. 시험체 제작 방법은 다음 Figure 1과 같다.



**Figure 1.** Preparation of test specimens

#### 3.3.2 시험체 열화 처리

##### (1) 촉진 노출 처리

본 연구에서 적용한 시험체의 촉진 노출 처리는 ‘KS F 3211 : 2015 건설용 도막 방수재[10]’에서 정하고 있는 처리방법에 준하여 진행하였다. 해당 표준에서의 촉진노출처리 방법은 ‘KS F 2274 : 2018 건축용 합성수지재의 촉진 노출 시험 방법 [11]’ 중 WX-A(직접 노출 시뮬레이션)로 정하고 있으며, 처리시간을 1 300시간으로 명시하고 있다. 이와 관련한 상세 촉진 노출 처리 조건 및 처리 현황은 다음 Table 4와 같다.

**Table 4.** Accelerated aging treatment conditions applied to the study

Item	Element	Test condition	Related standards
Accelerated aging	Xenon ARC lamp	WX-A(direct exposure simulation)	KS F 2274 : 2018
	Surface irradiance	500 W/m <sup>2</sup> (Wavelength range 290 ~ 800nm)	
	Black panel temperature	(63±3)°C	
	Water spray cycle	18 out of 120 minutes(Total - 500hr)	
		Treatment time	1 300hr

(2) 냉온 반복 처리

냉온 반복 처리는 기본적으로 ‘KS F 4716 : 2018 시멘트계 바탕 바름재[12]’ 온냉 반복 처리 방법을 준용하였으며, 처리 방법은 시험체를 20°C 수온 내 18시간 침지시킨 뒤, -20±3°C로 조절된 저온 챔버에서 3시간 냉각하고 50±3°C로 조절된 고온 챔버에서 3시간 가열하는 것을 1 Cycle로 하여 총 10 Cycle 반복한다. 단 저온에서 고온으로 전환 시 온도 전환에 따른 영향을 극대화하기 위하여 2챔버형 열충격장비를 사용하였다. 열충격장비는 저온 및 고온환경으로 각각 설정된 상·하부 챔버 내부에 2개 챔버를 연결하는 승강기가 설치되어 있으며, 승·하강을 통해 즉각적인 온도환경의 전환이 가능하여 시험체에 미치는 열적 충격의 극대화가 가능하다. 냉온 반복 조건은 Table 2를 참조한다.

3.3.3 항목별 시험방법

(1) 육안관찰

열화처리가 종료된 시험체의 표면을 육안으로 관찰하여 실링재 표면의 균열 및 바탕시험체와의 탈락 여부를 확인한다. 이때 임의로 시험체를 구부리거나, 인장 및 압축하는 등 외력을 가하지 않는다.

(2) 내피로 시험

내피로 시험은 ‘KS F 3211 : 2015 건설용 도막 방수재[10]’에서 정하고 있는 내피로 성능 평가 방법을 준용하여 진행하였으며, 내피로 시험기에 고정 후 -10°C에서 1시간 정치 후 1,000회 반복 거동을 실시하였다. 반복 거동 시 거동 폭의 설정은 압축 5mm 및 인장 5mm로 총 10mm 거동 폭을 설정하였으며, 거동 속도는 5회/min로 설정하였다. 내피로 시험의 상세 내용은 다음 Table 5와 같다.

Table 5. Fatigue resistance conditions applied to the study

Item	Temperature	Number of repetitions	Behavior width	Behavior speed	Related standards
Fatigue resistance	-10°C	1 000	±5mm	5times/min	KS F 3211 : 2015

(3) 내투수 시험

내투수 시험은 내피로 시험이 완료된 시험체를 대상으로 ‘KS F 4925 :2018 시멘트 액체형 방수재[13]’의 내투수 성능 시험방법을 준용하여 평가하였다. 시험방법은 내투수 시험 평가용 시험체 밑판 상부에 시험대상 시험체를 상부에 거치하고, 측면부 4면을 실링 처리하여 가압 시 누수 및 누기가 발생하지 않도록 처리한다. 이후 제작이 완료된 시험체를 내투수용 시험기에 거치하여 1L의 물을 채운 뒤, 0.1MPa 수압조건에서 1시간 가압하고 배면부로의 투수 여부를 관찰한다. 시험 조건 및 현황은 Table 6과 같다.

Table 6. Water permeability conditions applied to the study

Item	Method	Pressure	Pressurization time	Related standards
Water permeability	Out-put	0.1MPa	1hr	KS F 4925 :2018

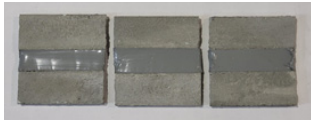


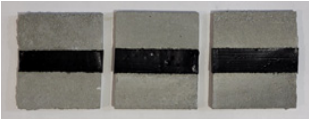
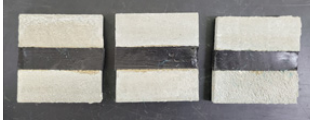
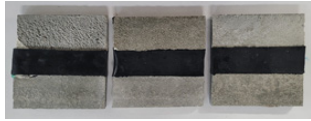
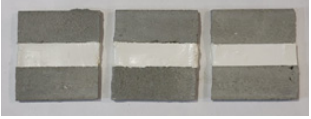
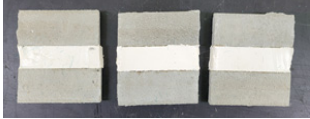




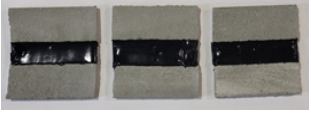
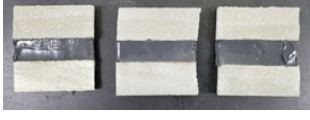

## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 시험결과

#### 4.1.1 육안관찰

육안 관찰의 목적은 열화처리 과정에서 실링재의 탈락 또는 균열 및 변색 등의 발생 유·무 확인이며, Table 7에 정리한 바와 같이 냉온 반복 처리 조건의 경우 모든 시험체에서 육안으로 관찰 가능한 탈락, 균열 및 변색 등이 발생하지 않은 것으로 확인되었다. 반면 촉진 노출 처리 후 시험체의 경우 총 6종의 시험체 중 2종(Type A 및 E)의 시험체에서 실링재 표면 변색이 발생하였다. 변색이 발생한 시험체는 모두 실리콘계 제품으로 탈색 및 황변에 의한 변색으로 확인되었다. 연구에 사용된 제품의 명확한 성분 조성비는 각 제조사에서 공개하지 않아 변색의 원인을 명확히 확인할 수 없으나, 앞서 언급한 바와 같이 관련 표준 상 F형의 경우 태양광에 대한 저항성 관련 품질기준이 마련되어 있지 않아 제품의 제조과정에서 이에 대한 성능적 고려가 요구되지 않은 것도 영향이 있을 것으로 판단하였다. 일반적으로 변색 자체를 단순히 성능 저하의 명확한 지표로 볼 수 없는 것과 변색 외에 탈락, 균열 현상 등 수밀성 저하 요인으로 보이는 이상 현상은 육안으로 관찰되지 않아 열화 처리 자체만으로 수밀성 저하 여부를 판단하는데 한계가 있는 것으로 확인하였다.

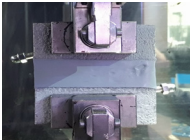

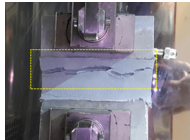


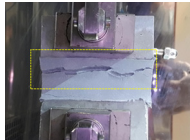
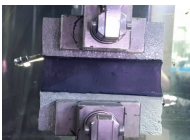
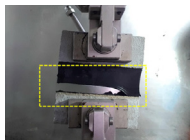
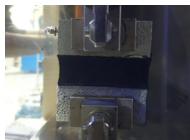
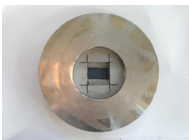
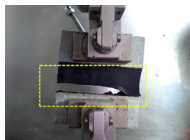
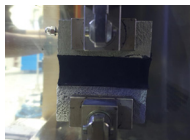
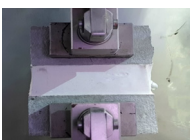
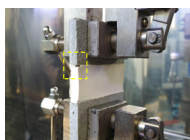
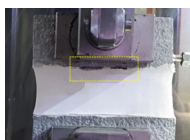

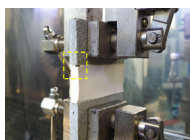
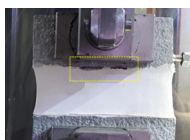
**Table 7.** Visual observation result

Sortation	Plain	Accelerated aging	Hot and cold simulations
Type A	 No defect	 Discoloration	 No defect
Type B	 No defect	 No defect	 No defect
Type C	 No defect	 No defect	 No defect
Type D	 No defect	 No defect	 No defect
Type E	 No defect	 Discoloration	 No defect

4.1.2 내피로 및 내투수 시험

축진 노출 및 냉온반복 처리가 완료된 시험체를 대상으로 내피로 시험을 진행하였으며, 시험 진행 과정에서 실링재의 탈락, 파단 등이 발생한 경우 수밀성을 상실한 것으로 판정하였다. 또한 수밀성 상실로 판정된 시험체에 대해서는 후속 시험인 내투수 시험 진행 시 제외하였다. 다음 Table 8은 내피로 및 내투수 시험 결과를 정리한 것이다.

Table 8. Fatigue resistance and Water permeability test result

Sortation	Plain	Accelerated aging	Hot and cold simulations
Type A			
	No defect	No defect	Crack
Type B			
	Not penetrated.	Sealant peeled off	No defect
Type C			
	No defect	Sealant peeled off	Sealant peeled off
Type D			
	Not penetrated.	No defect	No defect
Type E			
	No defect	No defect	No defect
Type E			
	Not penetrated.	No defect	No defect

먼저 열화 처리 전 Plain 시험체의 경우, 5종의 모든 시험체가 안정적인 성능을 확보하고 있는 것으로 확인되었다. 반면, 축진 노출 및 냉온반복 처리된 시험체의 경우 3종(Type A, B, C)의 시험체가 시험 과정에서 바탕 모르타르와 탈락 및 균열이 발생한 것으로 확인되었다. 이 중 축진 노출 처리 시험체는 2종(Type B, C)의 시험체에서 탈락이 발생하였는데, 각각 실리콘계 및 변성 실리콘계 제품으로 확인하였다. 대상 제품은 연구를 위해 선정된 제품 중 파단 시 신장률이 가장 낮은 제품(Table 1 참조)으로 확인되었는데, 축진 노출 처리 과정에서 발생하는 소재의 경질화가 탄성을 더욱 저하시킴에 따라 반복 거동 시 이에 대응하지 못한 것이 원인으로 판단된다.

냉온반복 처리 시험체 역시 2종(Type A, C)의 시험체가 내피로 시험 과정에서 탈락 및 균열이 발생하였으며, 축진 노출 처

리와 동일하게 각각 실리콘계 및 변성 실리콘계 제품으로 확인하였다. Type A 시험체는 파단 시 신장률이 Type B 및 C 대비 다소 높은 것으로 확인(Table 1 참조)되었으나, 내피로 거동 과정에서 실링재 중심부 균열이 발생하여 온도 변화에 따른 동결융해 시 성능이 저하되는 것으로 확인하였다. 또한 내투수성능 시험에서는 투수가 발생하지 않은 것으로 확인되어 수밀성은 상실하지 않은 것으로 확인하였으나, 균열이 발생한 것을 고려했을 때 타 제품 대비 소재 자체의 물리적 성능은 비교적 낮은 것으로 판단할 수 있다. Type C 시험체는 촉진 노출 처리 및 냉온반복 처리 시험체 모두 탈락이 발생한 것으로 확인되었는데 Type B 시험체가 촉진 노출 처리에서 탈락이 발생하였으나, 냉온반복 처리 시험체는 성능이 유지되는 것과 비교했을 때 내수성 및 동결융해 시 저항성이 다소 낮은 것으로 판단할 수 있다.

이외에 Type D 및 E 시험체는 열화 처리 후에도 성능이 유지되는 것으로 확인되어 타 제품 대비 성능이 비교적 높은 것으로 판단할 수 있다. 연구에 사용된 타 제품과 Type D 및 E 시험체가 구분되는 가장 큰 특징은 파단 시 신장률이 타 제품 대비 크게는 2배 이상 높은 것으로 확인(Table 1 참조)되며, Type D 및 E 시험체는 각각 폴리우레탄계 및 실리콘계임에 따라 소재적 공통점은 없는 것으로 확인되었다. 시험결과를 종합하면 신장률이 물리적 측면의 성능 확보에 중요한 인자인 것으로 판단할 수 있으나, Type A 시험체의 경우 Type B, C 대비 신장률이 높음에도 불구하고 균열이 발생한 것을 고려했을 때 신장률이 절대적인 요인으로는 판단되지 않는다.

## 4.2 결과분석

본 연구에서 적용한 시험방법은 특성 상 육안관찰을 기반으로 합부 여부만이 도출되는 한계가 있어 이를 보완하기 위하여 내피로 시험 간 시험체의 반복적인 확대 및 축소 시 발생 되는 인장 및 압축응력의 하중 값을 측정하였으며, 측정된 데이터를 바탕으로 추가적인 분석을 진행하였다. 데이터 분석을 위하여 내피로 시험 시 시험 종료시점인 1 000 Cycle(단, 파단이 발생한 Type B 및 C는 파단 시점에서의 하중 값임.)에서의 최대 인장·압축 하중 값을 Figure 2와 같이 열화처리 조건별 시험체로 나누어 그래프화 하였으며 그래프를 통해 Plain 시험체 대비 촉진노출 및 냉온반복 처리된 시험체의 최대 인장 및 압축 하중의 변화율을 Table 9와 같이 도출하였다.

Figure 2에 나타난 그래프 상 청색 그래프는 Plain 시험체, 적색은 촉진 노출 처리 시험체, 황색은 냉온 반복 처리 시험체를 나타낸다. 그래프상 대부분의 제품에서 Plain 시험체 대비 열화 처리 시험체가 응력이 감소되는 현상을 나타내었으며, Type C 및 E의 경우 예외적으로 열화 처리 시험체가 응력이 다소 증가하는 현상을 나타내었다. 이러한 응력 증가는 앞서 시험결과에서도 언급했듯이 일부 실링재의 경우 열화에 따라 경질화가 발생하는 것에 대한 간접적인 근거라 할 수 있다. Type A, B, C 시험체는 인장 시 최대 34.8%, 압축 시 최대 16% 응력 감소가 발생하였으며, 응력 감소와 더불어 탈락 및 균열이 동시에 발생함에 따라 성능수준이 비교적 낮은 것으로 판단 가능하다.

또한 Type D 및 E 시험체는 내피로 및 내투수 시험 결과 자체만으로 판단했을 때 물리적 측면에서 동일한 성능을 확보하였다 판단할 수 있다. 그러나, Figure 2(D) 및 2(E)의 그래프상 Plain 시험체 대비 Type D 시험체의 경우 인장 시 최대 7.8%, 압축 시 최대 23.9% 응력 감소를 나타내었고, Type E 시험체의 경우 인장 시 최대 43.5%, 압축 시 최대 18.9%의 응력 감소를 나타내고 있어 종합적으로 판단했을 때 Plain 및 촉진 노출, 냉온반복 그래프의 편차가 크지 않은 Type D 시험체의 물리적 성능이 비교적 안정적으로 판단할 수 있다.

상기의 연구결과를 분석한 결과, 관련 KS표준에서 정한 품질기준에 동일하게 만족하고 있는 제품들간 물리적 성능 차이가 변별력 있게 발생한 점과 정성적 측면에서 유사한 성능을 발현한다 하더라도, 정량적인 데이터 분석 시 성능 저하 정도의 차이를 객관적으로 구분할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.



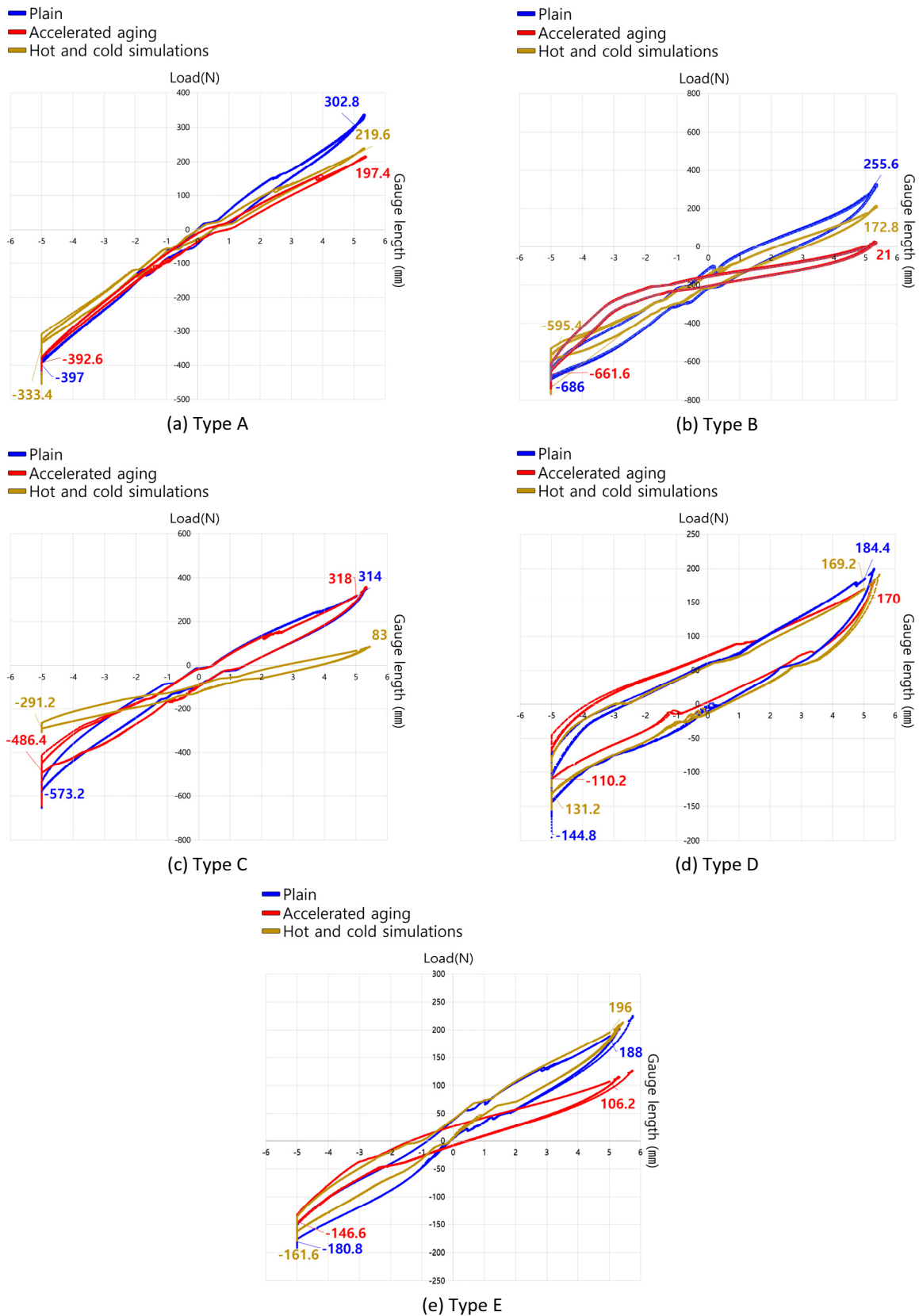


Figure 2. Analysis of fatigue test results

**Table 9.** Performance change rate after fatigue test

Specimen	Test condition	Test result(N)		Performance change rate(%)	
		Tensile load	Compressive load	Tensile load	Compressive load
Type A	Plain	302.8	397.0	-	-
	Accelerating aging	197.4	392.6	-34.8	-1.1
	Hot and cold simulations	219.6	333.4	-27.5	-16.0
Type B	Plain	255.6	686.0	-	-
	Accelerating aging	21.0	661.6	-91.8	-3.6
	Hot and cold simulations	172.8	595.4	-32.4	-13.2
Type C	Plain	314.0	573.2	-	-
	Accelerating aging	318.0	486.4	+1.3	-15.1
	Hot and cold simulations	83.0	291.2	-73.6	-49.2
Type D	Plain	184.4	144.8	-	-
	Accelerating aging	170.0	110.2	-7.8	-23.9
	Hot and cold simulations	169.2	131.2	-8.2	-9.4
Type E	Plain	188.0	180.8	-	-
	Accelerating aging	106.2	146.6	-43.5	-18.9
	Hot and cold simulations	196.0	161.6	+4.3	-10.6

## 5. 결론

본 연구는 PC구조물의 부재간 접합부에 작용되는 실링재를 대상으로 장기적 수밀성능 확보 측면에서의 성능 차이의 유·무 여부를 확인하고자 하였으며, 이를 통해 수밀성 평가방안 마련의 타당성을 검토하고자 하였다. 이를 위해 동일한 KS인증 제품을 대상으로 관련 KS표준에서 정한 시험방법 이외에 공용과정에서 발생할 수 있는 열화환경을 고려한 강화된 열화조건 및 시험조건을 적용하여 연구를 진행하였으며, 그에 따른 결론을 다음과 같이 도출하였다.

- 1) 시장에서 가장 활발히 적용 중인 5개 제품을 선정하였으며, 관련 KS표준에서 정한 시험조건 및 방법 대비 열화조건을 상향하여 시험을 진행한 결과 절반 이상인 3개 제품에서 수밀성이 크게 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 관련 KS표준에서 정한 품질 기준의 확보가 반드시 실제 현장에서 장기적인 수밀성을 확보할 수 있다는 의미가 아니라는 것을 간접적으로 확인한 것이라 판단할 수 있다.
- 2) 연구에서 정한 열화처리 및 시험방법에 모두 만족하는 실링재 2개 제품 간 장기적인 수밀성 확보 정도의 성능적 차이 정도를 시험결과로 직관적으로 확인할 수 없었다. 이에 본 연구에서는 시험과정에서 수집한 데이터를 그래프로 시각화하여 정량적인 추가분석을 진행하였으며, 진행 결과 육안관찰 시 동일한 판정을 내린 2개 제품의 응력변화율을 통해 성능적 차이에 대한 변별성을 부여할 수 있었다.

본 연구는 PC공법에서의 부재간 접합부에서 발생하고 있는 수밀성 저하문제를 해결하기 위한 일환으로 관련 KS에서 정한 시험 외에 별도의 수밀성 평가방안 마련에 대한 필요성 및 타당성을 검토하는 것까지를 연구의 범위로 한정하여 진행하였다. 결과적으로 연구를 통해 실제 동일한 등급 및 품질기준에 만족하는 실링재 간 수밀성 확보 정도에 차이가 현저히 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, 적절한 시험방법 및 데이터 수집이 병행될 경우 정량적인 데이터의 확보가 가능한 것으로 확인되었다. 이에 장기적 수밀성 확보를 위한 평가방안 마련 시 제품 간 변별력 있는 구분 및 선정에 유용하게 활용 가능할 것으로 판단됨에 따라 평가방안 마련에 대한 타당성은 충분할 것으로 판단하였다. 또한 본 연구는 기초적 연구로서 연구 진행 과정에서 설정한 평가방법 및 열화조건은 향후 진행될 수밀성 평가 마련 연구 시 실제 현장 조건의 면밀한 분석을 통해 다양화 및 구체화 될 예정이다.

## 요약

본 연구는 PC공법에 적용되는 실링재를 대상으로 수밀성 측면의 내구성 평가방안 마련의 타당성을 검토하기 위하여 진행하였다. 이를 위해 관련 KS표준의 품질기준에 동일하게 만족하는 실링재 5종을 선정하여 시험을 진행하였으며, 시험결과 5종의 실링재 중 3개 실링재가 바탕면과의 탈락 및 균열 등 수밀성 저하를 나타냈으며, 2종의 경우 육안관찰 상 큰 변화는 없었으나, 추가분석을 통해 소재의 응력 저하율의 차이가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이에 상기 결과를 근거로 향후 실링재 간 수밀성 측면의 성능검토 필요성을 확인하였으며, 이를 기반으로 제품 선정 시 활용 가능한 수밀성 평가방안의 타당성을 정량적으로 확인하였다.

키워드 : 프리캐스트 콘크리트, 접합부, 실링재, 수밀성 평가


## Funding


Not applicable

## Acknowledgement


This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Grant 22ORPS-C158135-03).


## ORCID


Tae-Ho Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-5616-8588>

Yong-Ro Kim,  <http://orcid.org/0000-0003-2325-0910>

Hyo-Jin Ko,  <http://orcid.org/0000-0002-3882-5505>

Jin-Sang Park,  <https://orcid.org/0000-0003-1265-2578>

Dong-Bum Kim,  <https://orcid.org/0000-0003-1326-6505>

Sang-Wook Lee,  <http://orcid.org/0000-0001-9158-669X>

## References

1. Shin DH, Seo SY, Kim KS. Experiment on the hysteretic behavior of a hollow PC column-half PC beam exterior joint. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2017 Oct;29(5):515-24.
2. KS F 4910. Sealants for sealing and glazing in buildings. Seoul (Korea): Korean Standard Association; 2021. p. 1-4.
3. Kim SR, Seo JJ. Final report on the development of sealing finishing construction technology for building structures with an elastic restoring force of 80%. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement; 2018 Aug. 32 p. Contract No.: 17CTAP-C097895-03.
4. Jeon JS. The development of selection evaluation index for waterproofing and anti-corrosion materials of water-supply concrete facilities [doctor's thesis]. [Busan (Korea)]: Tongmyong University; 2017. 2 p.
5. Hwang JH. Seismic performance of precast concrete beam-column connection tightened by post-tensioning method [doctor's

- thesis]. [Seoul (Korea)]: The University of Seoul; 2017. 3 p.
6. Shim NJ. A study of the structure of the precast prestressed concrete slab with long span hybrid rib [doctor's thesis]. [Seoul (Korea)]: Konkuk University; 2019. 5 p.
  7. Choi SD. Flexural and shear strength of prestressed inverted Multi-Tee precast concrete slabs [doctor's thesis]. [Seoul (Korea)]: The University of Seoul; 2022. 1 p.
  8. Yoon SH. Structural behavior of beam-column joints composed of rc column and hybrid steel beam with pc concrete ends [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 1998. 2 p.
  9. Logon D, Schabowicz K, Wróblewski K. Assessment of the mechanical properties of ESD pseudoplastic resins for joints in working elements of concrete structures. *Materials*. 2020 May;13(11):2426. <https://doi.org/10.3390/ma13112426>
  10. KS F 3211. Waterproofing membrane coating for construction. Seoul (Korea): Korean Standard Association; 2015. p. 15-6.
  11. KS F 2274. Recommended practice for accelerated artificial exposure of plastics building materials. Seoul (Korea): Korean Standard Association; 2018. p. 2-9.
  12. KS F 4716. Cement filling compound for surface preparation. Seoul (Korea): Korean Standard Association; 2022. p. 8-9.
  13. KS F 4925. Cement mortar mixed liquid waterproofing agent. Seoul (Korea): Korean Standard Association; 2018. p. 4-5.