

구조용 실링마감재의 내환경 조건에 따른 탄성복원 특성 연구

장필성¹, 강동원², 홍순구², 김영근³, 김성래^{4*}

A Study on the Elastic Restoration Characteristics According to Environmental Resistance Condition of Structural Sealing Finishing Materials

Pil-Sung Jang¹, Dong-Won Kang², Soon-Gu Hong², Young-Geun Kim³, Sung-Rae Kim^{4*}

Abstract: Recently, The use of the curtain wall method is increasing in construction. The curtain wall construction is widely applied to the exterior wall of the building for shortening construction period and economical efficiency. However, the replacement of deterioration of the weather resistance and structural behavior of the sealing material connecting the curtain wall method and the glass frame is necessary for introduction of the stable curtain wall method and quality improvement in accordance with KS F 4910 standard. In this study, the elastic restoring force test was performed in the external environment. In this study, the deterioration of the sealant was evaluated for structural sealants. In Korea, studies on the variable displacement behavior of structural sealants are lacked. In this study, the reproduced results in laboratory conditions are compared with the deteriorating conditions exposed to the external environment, and they are reflected in the design of sealing materials in the future. According to the results of the study, it was confirmed that the existing structure sealant meets the quality standard of KS F 4910, but in the conditions performed in this study, adhesion failure of the specimen and cracking of the surface occurred. Especially, in the weather resistance test, it is necessary to evaluate the long-term durability performance of the structural sealant used in the curtain wall method by checking the insoluble state of all the test pieces. Therefore, in order to apply a conventional structural sealant to the site, it is necessary to introduce another durability performance evaluation.

Keywords: Sealant, Sealing, Finishing materials, Elastic restoring, Temperature change, Environmental resistance, Structural sealing

1. 서 론

최근 건축물 외벽공사에 공장생산, 현장조립이라는 시공효율성 및 기능과 미적가치의 동시 확보가 가능한 외벽 커튼월 공법의 사용이 증가하고 있다(Lee jun et al., 2013). 외벽 커튼월 공법은 공기단축 및 경제적 효용이 크다는 장점으로 인해 최근에는 상업용 건물뿐만 아니라 난방용 온수배관이 바닥에 매설되는 주거용 건물의 외벽으로도 널리 시공되고 있다.

그러나, 커튼월 공법의 프레임과 유리를 연결해 주는 구조용 실란트에 대한 내후성 및 구조물의 거동에 대한 열화를 대체한 시험은 KS F 4910(Sealantes for sealing and glazing in buildings) 규격에는 부재한 실정으로 안정적인 커튼월 공법

도입과 품질향상을 위해서는 필요한 요소이다.

따라서, 상기의 부재한 외기환경 하에서 거동에 대하여 탄성복원력시험을 실시하였다. 커튼월 공법에 사용되는 구조용 실란트의 자외선 및 온도에 따른 재료의 열화를 확인하기 위하여 줄눈 폭 가변형 시험체를 이용하여 국내 대표적인 실링재를 대상으로 열에 대한 동적 촉진처리를 통하여 실링재의 열화를 평가하였다. 국내에서는 구조용 실란트의 가변형 변위거동에 대한 연구는 부족한 실정이다(Lee et al., 2016). 본 연구에서는 외기 환경에 노출된 열화조건을 대체하여 실험실 조건에서 재현한 결과를 확인하고(Ito Akihiko, 2015; Lee et al., 2016), 향후 건설현장에 사용되는 실링재의 설계에 반영하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험 계획

국내에서 사용 빈도가 높은 구조용 실란트 4개 제품을 대상으로 KS F 4910에 규정된 시험체를 제작하고 KS F 2621 실링

¹정회원, 한국건설생활환경시험연구원 융합기술본부, 선임연구원

²정회원, 한국건설생활환경시험연구원 융합기술본부, 연구원

³정회원, 한국건설생활환경시험연구원 융합기술본부, 수석연구원

⁴정회원, 한국건설생활환경시험연구원 융합기술본부, 선임연구원, 교신저자

*Corresponding author: srkim@kcl.re.kr

199, Gasan digital 1-ro, Geumcheon-gu, Seoul, 08503, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2018년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

제 시험방법을 이용해 각각의 시험체를 Fig. 5의 도표와 같은 순서로 탄성복원력, 반복 변위 후 온도변화 및 내후성 사이클 시험, 신장하에서의 인장 접착, 압축가열, 인장냉각 후의 접착, 확대/축소 반복 후의 접착, 인공 광 노출 후의 접착시험을 실시하여 KS F 4910의 품질성능과 반복 변위 후 온도변화와 내후성 사이클 시험을 통한 결과 분석하여 본 연구의 개선된 내구성 시험방법과 기존 시험방법을 비교하여, 이들의 상관 관계를 확인하고자 한다.

2.1.1 온도변화 및 내후성 시험체 제작 및 양생조건

국내에서 현장에 가장 많이 사용되는 1액형 구조용 실란트를 대상으로 4개사 제품을 선정하였다. 커트윌 공법의 패널 및 유리 고정용 실란트 시험체를 제작하기 위해 Fig. 1~2와 같이 가변형 지그를 제작하였고, 실란트 시험체는 20 × 20 × 100 mm

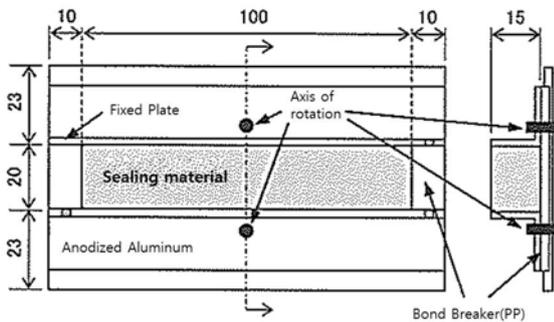


Fig. 1 Size of test specimen and variable Jig

Unit : mm

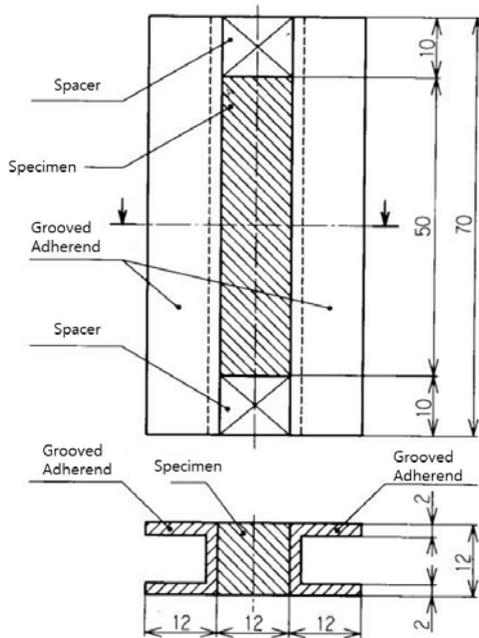


Fig. 2 Elastic restoring test specimen

에 주입하였다. 주입 후 시험체를 $(23 \pm 2)^\circ\text{C} \cdot (50 \pm 5)\% \text{RH}$ 조건에 28일간 방치하여 양생하였다.

2.1.2 무처리 탄성복원력 시험체 제작

피착제 Metal을 단면 모양 12 × 12 mm, 두께 2 mm, 길이 70 mm로 제작하고, 피착제 표면을 극성용매 등의 저 비점용제로 세척한다.

실란트 시험체를 $(12 \pm 0.3) \times (12 \pm 0.3) \times (50 \pm 0.6)$ mm의 공간을 만들고 2개의 피착제와 2개의 시험체로 준비한다. 이 형제 위에 올려놓고, 미리 준비된 1액형 실링재 4개 제품을 Fig. 3과 같이 실링하고 2.1.1절의 A양생(KS F 2621) 조건과 동일하게 실시하였다. 본 실험에서는 온도별로 23, -20°C의 일정신장에서 접착성과 압축가열, 인장냉각 후의 접착성, 확대/축소 반복 후의 접착성 및 인공 광 노출 후 접착성을 시험하기 위해 $(12 \pm 0.3) \times (12 \pm 0.3) \times (50 \pm 0.6)$ mm의 공간을 만들어 이형제 위에 놓고 Fig. 4와 같이 제작하였다. 실란트 양생은 2.1.1절과 동일하게 수행하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 내후성 시험

2.1.1의 실란트 가변형 지그를 사용하여 인공조명 노출 환경 하에서 압축/신장을 교대로 반복하여 외기환경의 재현을 시도하였다. 실란트 양생 후 신축과 팽창을 반복하면서, 오픈 프레임 카본 아크 램프(JIS A 1439, 고분자계 건축 재료 실험실 광원에 의한 노출 시험방법 WS-A법)에 168 시간 단위로 시험체의 좌우 변위를 최대 30%까지 반복적으로 변경하면서



Fig. 3 Test specimen

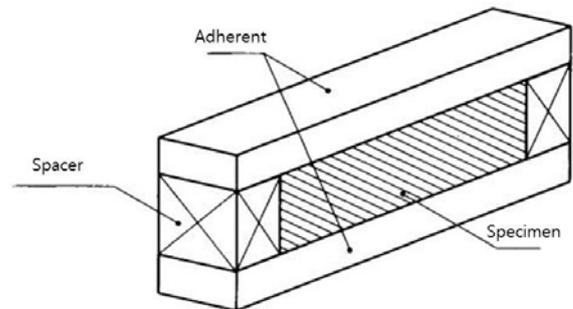


Fig. 4 KS F 4910 standard test specimen

8주 동안(1,344시간) 전처리를 실시하였다. 전처리 후 상온에서 24시간 동안 도막을 안정화 시키고 도막의 외관과 좌우 최대 변위구간의 폭을 측정하여 탄성복원력을 확인하였다. 외관 확인의 기준은 도막의 균열, 박리, 들뜸 등의 이상 유무를 관찰하였다.

2.2.2 온도변화 시험

온도변화 시험용 지그는 2.1.1절의 동일한 시험체로 사용하였고, 외기 환경의 온도변화를 반영하기 위해 고온과 저온 환경에서 실링재 도막의 압축/신장을 반복하여 가변형 지그 변위를 Fig. 9와 같이 30%로 변화시켰다. Fig. 6과 같은 조건으로 [80°C × 12시간] → [-20°C × 12시간] → [20°C × 12시간 (안정화)] × 가변 압축/신장을 1cycle로 하여, 30회를 반복 수행하였다. 이때 구조용 실란트의 변위 상태와 외관의 변화를 측정하였다.

2.2.3 탄성복원력 시험

시험은 (23 ± 2)°C · (50 ± 5)% RH의 조건에서 수행하였고, 다음의 순서에 따라 실시하였다. 버니어캘리퍼스를 이용하여

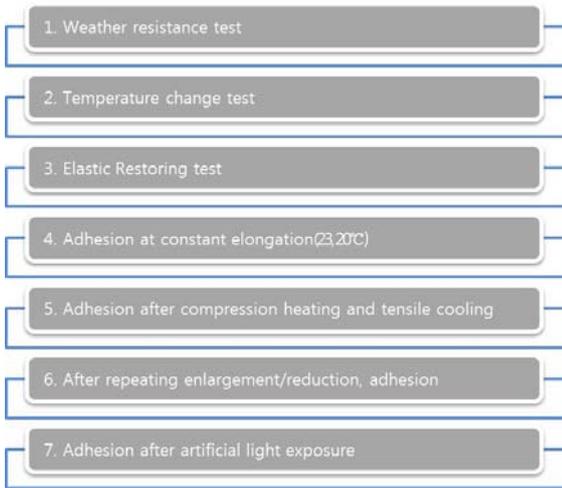


Fig. 5 Experimental sequences

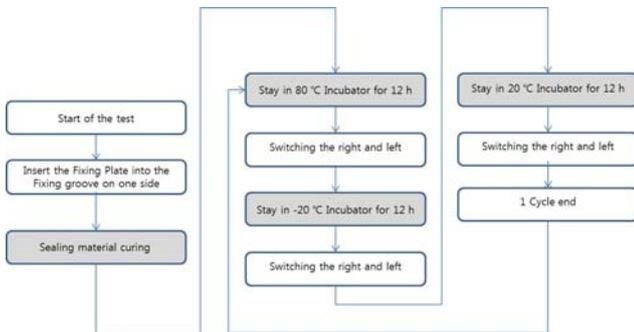


Fig. 6 Pretreatment conditions for temperature change test

양 끝부분의 초기 줄눈나비(l_0)를 측정한 뒤, 시험체를 초기 줄눈의 200%가 될 때까지 신장하고 24시간 유지하였다. 고정된 스페이서를 제거 후 Fig. 7과 같이 표면 처리한 유리판 위에 놓고 1시간 후 양쪽 끝부분의 줄눈나비를 한다. KS F 2621의 탄성 복원성(%) 계산식을 이용해 식 (1)에 따라서 계산하고 정수 값으로 끝맺음한 평균값으로 계산한다.

$$R_e = \frac{l_1 - l_2}{l_1 - l_0} * 100 \quad (1)$$

여기에서 R_e 는 탄성 복원성(%), l_0 는 초기의 줄눈 나비 (mm), l_1 는 신장시의 줄눈 나비(mm), l_2 : 복원시의 줄눈 나비 (mm)이다.

2.2.4 일정 신장하에서의 인장 접착성 시험(23, -20°C)

2.1.1의 시험체를 사용하여 (-20 ± 2)°C에서 4시간 이상 방치 후, 인장 시험기를 이용하여 125%, 160%, 200%로 신장하여 24시간 유지하고 줄눈 나비를 변화시키지 않은 채로 시험체를 Fig. 9와 같이 시료의 길이 방향으로 줄눈 나비의 30% 어긋나게 하여, 고정용 지그를 이용해 변형량을 24시간 유지시켰다. 시험체의 초기 줄눈(l_0) 12.0 mm에 대한 신장률 및 신장

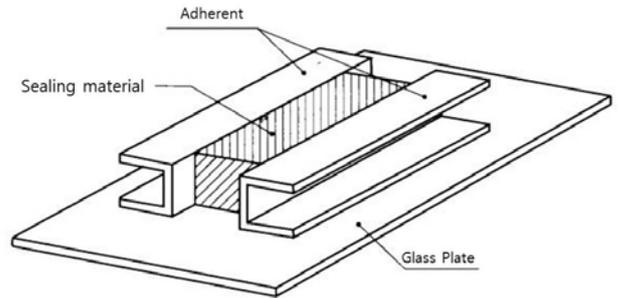


Fig. 7 How to place the specimen at the time of measurement

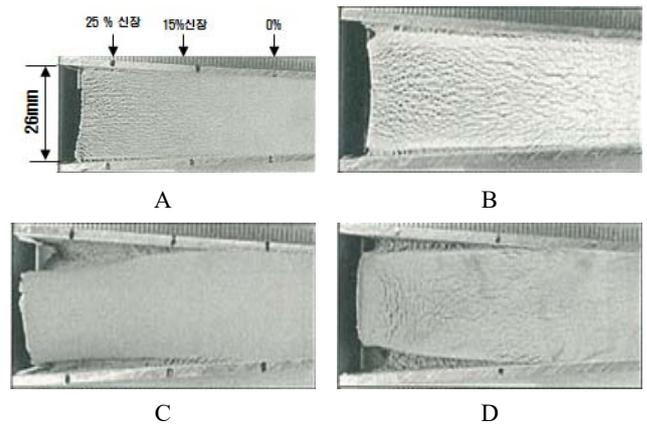


Fig. 8 External appearance of test specimen after test by UV rays

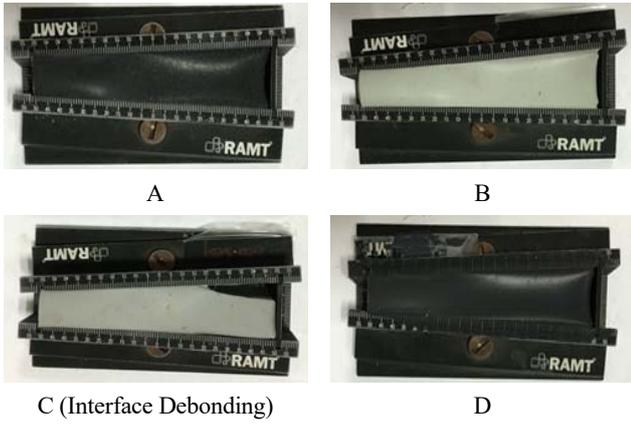


Fig. 9 External Appearance of test specimen after 30 cycles

Table 1 Results of displacement length and mean restoring

Item	Displacement length(mm)	Restoring(%)	Mean restoring(%)
A	1	19.01	-4.95
	2	19.04	-4.80
	3	19.14	-4.49
B	1	18.12	-10.38
	2	18.16	-10.13
	3	18.09	-10.56
C	1	18.91	-5.76
	2	18.98	-5.37
	3	18.97	-5.43
D	1	18.17	-10.07
	2	18.09	-10.56
	3	18.16	-10.13

시의 줄눈(l_1)를 Table 1에 나타내었고, 전단 변형을 및 전단 변형량(l_2)을 식 (1)과 같이 계산하였다. 실험 종료 후, 육안으로 시험체를 관찰하고, -20°C 의 실험에서는 시험체를 저온 항온기에서 꺼낸 후 동일한 방법으로 실험하였다.

2.2.5 압축가열, 인장냉각후의 접착성 시험

확대·축소는 초기 줄눈 나비의 $\pm 12.5\%$, $\pm 20\%$ 로 한다. 전단 변형의 경우, 변형을 시료의 길이의 양 방향으로 줄눈 나비의 30%로 하고, 가열 시에는 냉각시의 반대 방향으로 하였다. 양생 종료 후, 전단 변형 사이클을 아래와 같이 실시하였다. 1주 1일째는 3시간에 걸쳐서 $(-20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 로 냉각 후 확대 또는 전단 변형하였고, $(-20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 에서 21시간 확대 또는 전단 변형을 유지하였다.

2일째는 확대 또는 전단 변형 해제 후, 3시간에 걸쳐 $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 로 가열한다. $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 에서 축소 또는 전단 변형, $(70 \pm$

$2)^{\circ}\text{C}$ 에서 21시간 축소 또는 전단 변형을 유지하고, 이후 3일째는 1일째와 같은 조건에서 수행하였고, 4일째는 역시 2일째와 같이 진행하였다. 마지막으로 5~7일째는 전단 변형 해제 후, $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C} \cdot (50 \pm 5)\% \text{RH}$ 에 가만히 놓아둔 상태에서 2주째부터는 상기의 사이클을 다시 반복하여 진행하였다.

2.2.6 확대/축소 반복 후의 접착성 시험

시험체를 100회 반복하여 확대·축소를 실시하였고, 사이클 종료 후, 1시간동안 상온에서 방치한 후 시험체의 상태(접착 파괴 또는 응집 파괴)를 관찰한다. 이후, 인장시험기의 속도를 $5\sim 6 \text{ mm/min}$ 로 설정하여 시험체와 피착제가 파괴 될 때까지의 인장을 실시하였다.

2.2.7 인공광 노출 후의 접착성 시험

오픈 프레임 카본 아크 램프가 부착된 챔버에 시험체를 넣고 광원 조사 시간, 건조상태의 온도, 건조·습윤 시간을 설정한 후 다음과 같이 진행하였다. 인공광 노출 시간은 500 hr으로 설정하였다. 사이클 종료 후, 시험체를 $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C} \cdot (50 \pm 5)\% \text{RH}$ 에서 24시간 방치한 후 인장 시험기를 이용해 160%, 200% 신장한 후 24시간 유지시켜 관찰하였다. 전단 변형의 경우에는 시험체를 시료의 길이 방향으로 줄눈 나비의 30%로 어긋나게 하고, 24시간 유지한다. 상기의 순서 종료 후, 스페이서를 부착한 채로 파괴 상황 접착 파괴 또는 응집 파괴를 관찰하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 내후성 시험

내후성 시험에서는 2.2.1의 시험방법으로 30 Cycle 종료 후 시험체의 외관을 Fig. 9에 나타내었고 자외선에 의한 도막 표면에 시제품과 A, B 사는 표면 균열이 나타났고, C, D 사는 자외선에 의한 피착제 계면의 박리가 나타나, 외부환경에 노출됐을 때, 구조용 실링제의 열화가 심각하게 발생하는 것을 확인하였다.

Fig. 8에서와 같이 자외선 조사에 따른 국내 구조용 1액형 실란트 도막의 변위에 대한 탄성복원력의 정량적인 측정치는 의미가 없는 것을 외관 판정을 통해 알 수 있었고, 도막 표면에 균열과 바탕체와의 박리가 발생되어 구조용 실링마감제의 요구 성능을 만족하지 못하였다.

3.2 온도열화 후 평균 탄성복원력 시험

옥외폭로를 모사하기 위해 실험실 조건에서 재현한 고온,

저온, 상온 환경 하에서의 신축 팽창을 교대로 반복 실험을 실시한 결과, 3.1절의 자외선에 의한 시험체 도막의 심한 균열과 바탕체와의 박리가 발생되어 구조용 실링마감재의 성능을 상실했으며, 온도변화의 경우, 20°C의 조건에서는 외관의 변화가 없었고, 80°C와 -20°C에서의 조건은 국내 제품 모두 양호하였으나, B사의 제품은 바탕체와의 박리 상태를 확인 할 수 있었다. 본 시험에서 사용된 국내 제품은 구조 대응 성능을 확보하기 위해 개발된 제품으로 성능이 비교적 양호하였으나 향후에는 본 연구에서 열화 메커니즘을 밝히기 위해 응력 완화 특성을 변화시킨 실링재를 개선하여, 각종 특성 시험을 실시하여 검토를 진행할 예정이다.

3.3 평균 복원력 산출 계산식 추가

상태복원력 산출은 처리 전 시험체(E0) 폭 20 mm에서 처리 후 시험체(E1) 폭 길이(mm)를 나누어 상태복원력을 다음 식 (2)로 계산하였다. “+”는 변위길이의 증가를 “-”는 감소를 의미하는 부호로 나타내었다.

$$100 - \left[\left(\frac{E_1 - E_0}{E_0} \right) \times 100 \right] \quad (2)$$

A 실란트는 3개의 시료에서 전체적인 변위길이는 19.01~19.14 mm로 24시간 안정화 시킨 상태복원력측정에서 -4.95, -4.80, -4.49%로 수축된 결과를 나타내었고, B 실란트는 변위 길이 18.09~18.16 mm로 -10.38, -10.13, -10.56%를 C 실란트도 각각 18.91~18.97 mm로 수축되어 -5.76, -5.37, -5.43%로 계산되었고, 4개사 제품 중에서 유일하게 피착제와 실링제 사이의 계면에서 박리가 발생하는 것을 확인하였다. 또한, D 실란트도 각각 18.09~18.17 mm로 -10.07, -10.56, -10.13%로 수축되어 복원력이 저하되는 결과를 Table 1에 나타내었다. Fig. 10에는 온도변화 조건에서 수축팽창시험을 진행한 상태복원력과 평균복원력의 결과를 그래프로 나타내어 수축 및 길이 변화의 추이를 나타내었다.

3.4 탄성복원력 시험

4개사 제품의 24시간 신장 유지 후의 탄성복원력은 A~D 제품 모두 각각 93, 92, 93, 93%로 KS F 4910의 품질기준인 70% 이상으로 만족하는 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

3.5 일정 신장하에서의 인장 접착성 시험(23, -20°C)

23, -20°C에서의 일정 신장하에서의 인장 접착성 시험에서도 A~D사 제품 모두 접착 및 응집파괴의 합계는 접착 면적의 0%로 피착제와 실링제 시료의 파단 및 박리가 없는 것을 Table 2와 같이 확인하였다.

3.6 압축가열, 인장냉각후의 접착성 시험

KS F 4910의 시험방법으로 실시한 압축가열, 인장냉각 후의 접착성 시험에서도 A~D사 제품 모두 피착제와 실링제 시

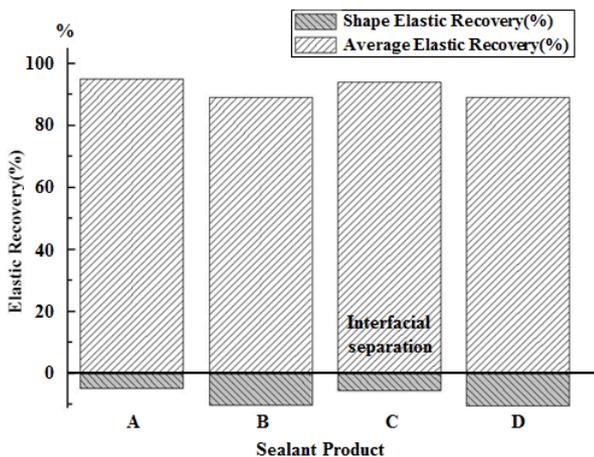


Fig. 10 Relative and average restoring after temperature deterioration

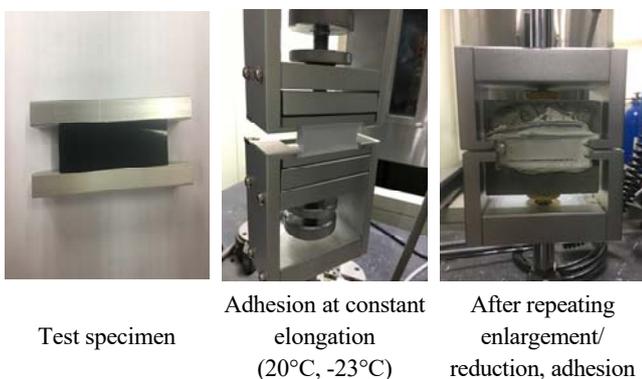


Fig. 11 Tensile Properties Test

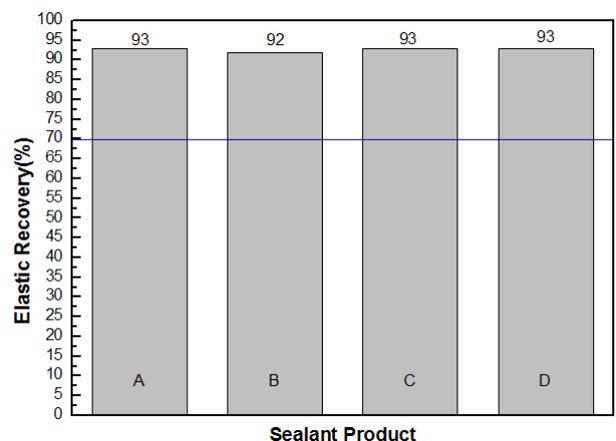


Fig. 12 Result of elastic restoring test

Table 2 Results of elastic restoring test(KS F 4910 Appl.)

Time	Item	Adhesion at constant elongation (-23°C)(%)	Adhesion at constant elongation (20°C)(%)	Adhesion after compression heating and tensile cooling(%)	After repeating enlargement/reduction, adhesion(%)	Adhesion after artificial light exposure
1 Week	A	0	0	0	0	None
	B	0	0	0	0	None
	C	0	0	0	0	None
	D	0	0	0	0	None
2 Week	A	0	0	0	0	None
	B	0	0	0	0	None
	C	0	0	0	0	None
	D	0	0	0	0	None

료의 접착과괴 및 응집과괴의 이상유무가 Table 2와 같이 A~D 제품 모두 0%로 접착면적의 5% 이내인 것으로 나타났다.

3.7 확대/축소 반복 후의 접착성 시험

KS F 2621에 규정된 확대/축소 사이클을 실시한 확대/축소 반복 후의 접착성시험 사진을 Fig. 11에 나타내었고, A~D사 제품 모두 파착제와 실링제 시료의 계면 박리 및 소재 탈락 등이 KS F 4910 기준으로 시험체의 접착과괴 및 응집 과괴의 합계가 접착 면적의 5% 이내인 0%로 나타났다. 또한, 이들의 결과를 Table 2에 나타내었다.

3.8 인공광 노출 후의 접착성 시험

인공광 노출 후의 접착성 시험도 A~D 제품 모두 파착제와 실링제 소재 간 계면에서 파괴되지 않는 것을 Table 2와 같이 확인하여, KS F 2621의 시험방법으로 수행한 국내 대표적인 1액형 구조용 실링제의 성능은 KS F 4910의 품질기준을 만족하여 모두 양호한 것으로 판단된다.

4. 결 론

구조용 실링제의 외기 환경에 노출된 열화조건을 대체하여 실험실 조건에서 재현한 연구 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 국내 대표적인 구조용 실링제는 KS F 4910의 품질기준은 만족하지만, 본 연구에서 실시한 장기적인 전처리와 반복 변위 사이클 조건에서는 시험체의 파단과 표면의 균열 등이 발생하는 것을 확인하였다.
- 2) 국내 유통중인 제품 A,B,C,D의 온도열화 후 탄성복원특성을 관찰한 결과, 초기 보다 평균 -4.74, -10.36, -5.52, -10.25로 감소하였다. 4개 제품의 모두 KS F 4910의 품질 기준인 70% 이상은 넘었지만, 적용 부위별 성능을 다르게

요구하는 구조용 실란트 용도는 성능 발휘에 문제가 있을 수 있다고 판단된다.

- 3) 내후성 시험에서는 A~D 시험체 모두 불용의 상태를 확인하여 향후, 커튼월 공법에 사용되는 구조용 실링제의 장기적인 내구성능 평가가 필요한 것으로 판단된다.
- 4) 기존의 구조용 실링제가 현장에 적용하기 위해서는 별도의 내구성능 평가와 내환경 시험을 실시하여 안전한 건설 재료를 도입하는 정책이 요구되며, 실제 사용환경에서 구조용 실란트의 움직임에 대하여 빈번하게 발생하는 접착 불량에 따른 하자를 줄이고자 품질기준 기준을 높여 실란트 수명 향상에 도움이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(16CTAP-C097895-02)에 의해 수행되었습니다.

References

Ito, A. (2013), Proposal of the evaluation method of weatherability of building sealant by measuring depth of damage from the viewpoint of waterproofing, Architectural Institute of Japan, 657-664.

Ito, A. (2015), Effects of Environmental Temperature on the Deterioration of the sealant in the State of Extension and Compression Movement Loaded, waterproofing technology 論文集, 47-51.

KS F 2621 (2000), Testing methods of sealants for sealing and glazing in buildings, Korean agency for Technology and standard, 1-4.

KS F 4910 (2010), Sealantes for sealing and glazing in buildings, Korean agency for Technology and standard, 1-8.

Lee, D. E., Kim, Y. G., Jang, P. S., and Kim, S. R. (2016), Displacement behavior analysis of structural one-component sealant by thermal degradation, Korea Institute for Structural Maintenance and inspection,

요 지 : 본 최근 건축물 외벽공사에 커튼월 공법의 사용이 증가하고 있다. 외벽 커튼월 공법은 공기단축 및 경제적 효용이 크다는 장점으로 인해 건물의 외벽으로도 널리 시공되고 있다. 그러나, 커튼월 공법의 프레임과 유리를 연결해 주는 구조용 실란트에 대한 내후성 및 구조물의 거동에 대한 열화를 대체한 시험은 KS F 4910 규격에는 부재한 실정으로 안정적인 커튼월 공법 도입과 품질향상을 위해서는 필요한 요소이다. 본 연구에서는 외기환경하에서 거동에 대한 탄성복원력시험을 실시하였다. 구조용 실란트를 대상으로 열에 대한 실링재의 열화를 평가하였다. 국내에서는 구조용 실란트의 가변형 변위거동에 대한 연구는 부족한 실정으로 본 연구에서는 외기 환경에 노출된 열화조건을 대체하여 실험실 조건에서 재현한 결과를 확인하고, 설계에 반영하고자 한다. 본 연구 결과에 따르면, 기존의 구조용 실링재는 KS F 4910의 품질기준은 만족하지만, 본 연구에서 실시한 조건에서는 시험체의 파단과 표면의 균열 등이 발생하는 것을 확인하였다. 특히, 내후성 시험에서는 시험체 모두 불용의 상태를 확인하여 향후, 커튼월 공법에 사용되는 구조용 실링재의 장기적인 내구성능 평가가 필요한 것으로 판단된다. 따라서, 기존의 구조용 실링재가 현장에 적용되기 위해서는 별도의 내구성능 평가를 실시가 요구된다.

핵심용어 : 실란트, 실링, 마감재, 탄성복원력, 온도 변화, 내환경성, 구조용 실링재
