



도로용 줄눈재의 내구성 평가

Evaluation of Endurance for Roadway Sealant

이 형 옥* 김 승 진**

Lee, Hyoung Wook Kim, Seung Jin

Abstract

Joints on concrete road prevent failure and crack securing the moderate space when concrete slab expands and contracts as a function of varying temperature throughout all seasons. Filling joint sealants in joints can prevent the interruption of slab movement and failure due to the infiltration of alien substances, and also can prevent crack caused by freezing and thawing and Dowel bar corrosion resulted from water - rainfall and snowfall infiltration through the inside the pavement. They lead to the improvement of the commonality of road. This paper evaluates physical strength, weatherability and deicer resistance of a two-year aged sample from joint on concrete road and its virgin sample. It was found that there are significant differences in aspects of weatherability and adhesive force between the tested sample and silicon materials.

Keywords : roadway sealant, polyurethane, deicer, weatherability

요 지

콘크리트 도로에서 줄눈의 역할은 계절적 온도변화에 따라 콘크리트 슬래브의 수축과 팽창 시 적절한 공간을 확보하여 파손과 균열을 보호하는 역할을 하게 된다. 이때 줄눈 부위를 줄눈재로 채워 넣어 이물질이 침투하여 슬래브의 움직임을 방해하거나 파손시키는 것으로부터 보호하는 역할과 강우나 강설 등에 의한 수분이 포장 내부로 침투하여 동결융해에 의한 내부 균열 방지 및 다웰바 등을 부식시키는 것을 막는 역할을 수행하여 도로의 공용성을 향상시키는 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 콘크리트 도로 줄눈에서 시공된지 2년 경과한 시료를 채취하여 열화를 겪지 않은 초기시료와의 물리적 강도, 내후성, 제설제 저항성 등으로 평가하였으며 실리콘 소재 대비 내후성과 접착성에 큰 차이가 발생하는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 줄눈재, 폴리우레탄, 제설제, 내후성

* 정회원 · 한국건설자재시험연구원 신뢰성평가센터 연구원(E-mail: hwl@kicm.re.kr)

** 정회원 · 한국건설자재시험연구원 신뢰성평가센터 수석연구원



1. 서론

콘크리트 포장에서의 줄눈은 온도와 습도의 변화로 콘크리트 슬래브가 수축, 팽창시 균열 및 쪼개짐(spalling) 등이 발생하여 포장이 손상되는 것을 방지하는데 그 목적이 있다. 또한 콘크리트 줄눈 사이에는 줄눈재를 시공하여 단단한 이물질이 줄눈부에 침입하는 것을 차단하고, 줄눈을 통하여 침투된 수분의 동결융해에 따른 콘크리트 슬래브 내구성의 저하 및 균열로 인한 포장파손이 발생할 가능성을 차단하고 있다. 국내에서 사용되는 줄눈재로는 폴리우레탄, 실리콘 등의 상온 주입형 실란트와 EPDM 재질로 된 성형 줄눈재로 나뉜다.

이러한 줄눈재의 국내 시공은 초기 폴리우레탄의 사용이 많았으나 초기 투입 비용 대비 내구연한이 2년여 남짓으로 재시공으로 인한 보수 비용 및 교통 차단 등을 고려하면 추가 비용이 많이 발생하였고, 실리콘 줄눈재는 초기 제품 가격 대비 상대적으로 고장 발생이 적고 내구연한이 길기 때문에 줄눈재의 품질이 우수한 실리콘으로 대체되고 있는 실정이다.

줄눈재의 품질 규격에는 폴리우레탄 및 폴리실라이드 재질에 대한 제품 규격인 SS S200E와 실리콘 제품 규격인 ASTM D 5893으로 나누어진다. 국내의 규격으로는 KS F 4910, KS F 2621로 건축용 실란트만이 규정되어 있는 실정이다. 따라서 도로용 줄눈재의 노출 환경에 대한 국내 제품 규격 및 시험법 제정이 시급하다.

아울러 폴리우레탄 줄눈재에 대한 연구가 미흡하고 재료의 수명평가에 대한 부분이 빠져있어 도로의 유지보수 계획화와 도로의 공용성 향상을 위해 이러한 연구가 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 시공되었던 시료와 초기 제품과의 UV, 수분에 대한 내후성 시험 결과와 제설제의 영향을 평가하기 위한 침지 시험을 통해 줄눈재에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 성능평가시험

2.1 시험계획

폴리우레탄 줄눈재는 시공 후 콘크리트 슬래브와의 접착력 파괴 또는 외부의 환경에 대한 노출로 줄눈재 자체의 물성이 열화되어 고장이 발생한다. 이러한 외부환경을 재현하기 위해 가속수명평가 시험(Accelerated Weathering Test)을 실시하게 되는데 인공광원(Light source) 및 습기, 온도 조건을 주어 시료를 짧은 시간에 열화시키게 되며 열화시간 및 노출환경에 대하여 2년 경과된 시료와 비교 평가를 통해 적절한 평가 시간을 결정하게 된다.

또한 동절기 줄눈재에 미치는 제설제의 영향을 평가하기 위하여, 제설용액을 제조한 후 침지 기간을 달리 하였을 때 줄눈재의 물성변화를 측정하도록 계획하였다. KS F2621, EN14187-6 등의 규격에서 용액 성분이 실링재에 미치는 영향을 평가하기 위해 침지 시험을 실시 한 후 물성 평가를 하였기 때문이며, 제설용액은 염화칼슘 이외에 염화나트륨 등을 혼합하여 사용할 수도 있고 농도도 달리할 수 있지만 제설용액에 대한 평가를 수행한 이전 연구를 참조하여 계획하였다(이병덕 2005).

2.2 시험재료

2.2.1 줄눈재(실란트)

국내 콘크리트 도로 줄눈재로 사용되는 폴리우레탄 줄눈재는 KCC사의 폴리우레탄(이액형, PU9330PTA : PU9330PTB(L) = 1 : 3 무게 비율)이 사용되었으며 실리콘 줄눈재에는 GE사의 TOSSEAL817(일액형)이 사용되었다.

2.2.2 모르타르 피착제

KS L 5201에 규정하는 보통 포틀랜드 시멘트를 적당한 형틀을 이용하여 성형하고, 24시간 후에 탈형하여 13일간 상온에서 수중 양생시킨 다음 23±2℃,

(50±5)%RH에 12일 이상 놓아둔다. 피착면은 성형했을 때의 바닥면 또는 절단면으로 하고 연마지 등으로 연마하고, 부착된 분말 등은 브러시 등을 이용하여 제거하고 사용한다.

2.2.3 제설용액

수조에 상온의 탈이온수 혹은 증류수 1000ml를 담고 탄산칼슘 100g을 넣어 완전히 녹인 후 사용하였고, 96% 순도의 탄산칼슘을 사용하였을 때 pH 미터 (Themo Orion사의 550A 모델)을 사용하여 ph 9.66을 나타내었다.

2.3 시험체 제작

2.3.1 아령형 시험체 제작

시공되었던 폴리우레탄 줄눈재의 물리적 특성인 강도와 신율을 측정하여 환경 노출에 의한 재료의 노화 정도를 평가하고자 하였다. 이때 비교 시험체로는 동일한 폴리우레탄 시료를 도막으로 제조한 뒤 틀칼을 이용하여 따내어 KS M 6518의 그림 1과 같은 아령형 3호로 시편을 제작한 뒤 물성을 측정하였다.

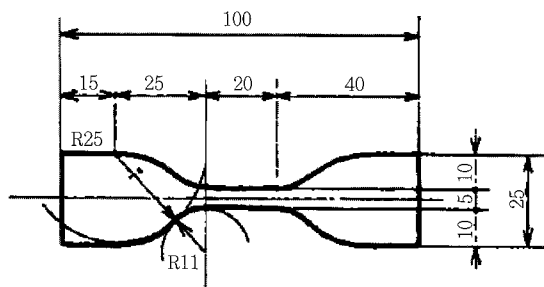


그림 1. 가황고무의 물리 시험 아령형 3호 시험체 모형

표 1. 가황고무의 물리 시험 아령형 3호 시험편의 치수

모양	형별	주요 부분의 치수(mm)			
		평행 부분의 나비	평행 부분의 길이	평행 부분의 두께	눈금 거리
아령형	3호형	5	20	3 이하	20

2.3.2 모르타르 시험체 제작

제설제 용액에 침지하여 평가할 시료는 모르타르 피착제를 사용하여 KS F 2621의 건축용 실링재 시험 방법에 나타난 형태로 제작하였고, 그 형태는 그림 2와 같다.

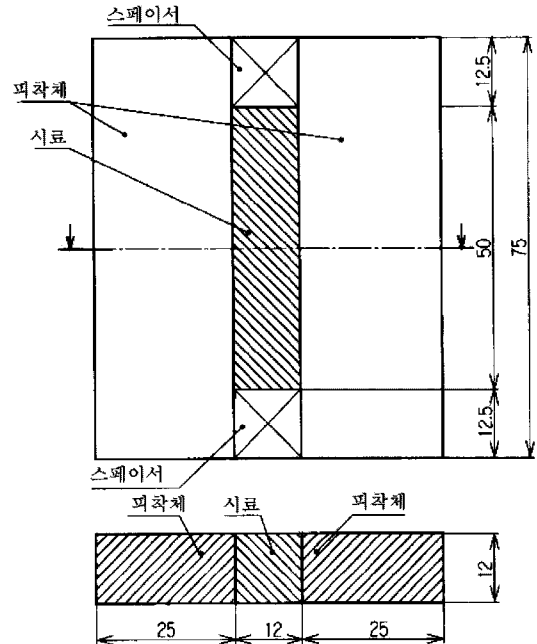


그림 2. KS F 2621에 규정된 모르타르 피착제를 사용한 시험체의 모양

시험체의 제작은 KS F 2621에서 규정된 A 양생 조건 (23±2℃, 50±5%RH)에서 28일간 놓아 둔 뒤에 하였으며, 이때 제조되는 시험체는 기포나 이물질이 포함되지 않아야 하며 모르타르 피착제에 프라이머를 처리하지 않고 제작되었다.

2.4 시험 방법

초기 시료, 2년 경과된 시료 및 내후성 시험을 거친 시료의 차이점을 표면분석, 물리적 특성을 실시하였고, 제설제가 줄눈재에 미치는 영향을 폴리우레탄과 실리콘 두 재질을 통해 성능 변화를 시험 분석하였다.

내후성 시험은 옥외 노출되는 시료에 대한 실내측진시험으로 태양광에 가장 유사한 Xenon (모델 : Ci4000, ATLAS사) 시험 장비를 사용하여 KS F2274 규정 조건으로 UV 노출 102분과 물 분무 18분 조건으로 노출 시간에 따라 시료를 채취하여 물성 및 표면 분석 등을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 열화된 폴리우레탄 줄눈재의 형상 분석

고배율 표면화상 처리장비(모델 : Nano Hunter)를 이용하여 시공 후 2년이 경과한 폴리우레탄의 표면을 분석하여 그림 3에 나타내었다. 그림에서 줄눈재의 표면은 기포 및 크랙을 다수 포함하고 있으며, 내부 단면에도 기포를 포함하고 있었으며 접착력을 상실한 상태였다.

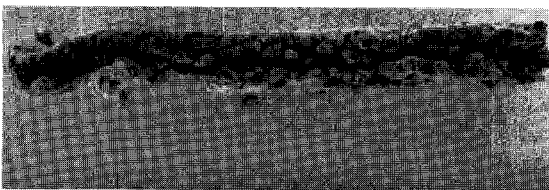


그림 3. 2년 경과된 폴리우레탄 줄눈재의 형태

3.2 주사전자현미경

주사전자현미경(SEM : Scanning Electron Microscope, Hitachi model S-3000H)을 사용하여 내후성 시험을 마친 시료에 대한 표면 분석을 측정하였으며, 그림 4에 나타내었다. Xenon에서 35시간 시험한 시료 표면의 일부에서 줄눈재의 충전제로 사용된 무기물이 노출되는 것이 관측되었고, 시험 시간이 경과할수록 표면이 갈라지고 500시간에서는 표면이 무기 충전제로 덮혀 chalking이 심하였다.

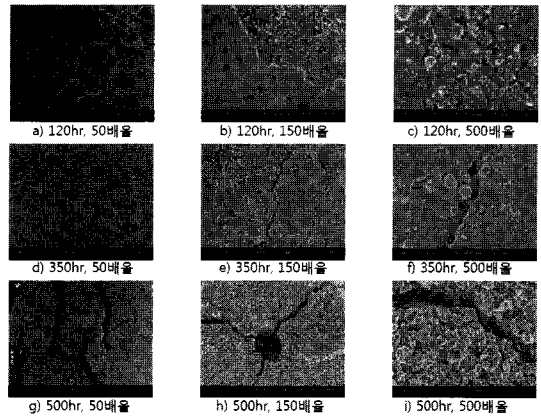


그림 4. 내후성 시험 이후 주사전자현미경을 통해 분석한 폴리우레탄의 표면 사진

3.3 에너지분산법 (EDS)

에너지분산법(EDS, Energy Dispersive Spectroscopy)을 이용하여 SEM으로 측정된 줄눈재 표면에 노출된 무기물의 종류를 표 2와 같이 분석하였다. 분석 결과 표면에 노출된 무기물은 비보강성 충전제인 탄산칼슘(CaCO_3)과 UV 차단성을 향상시

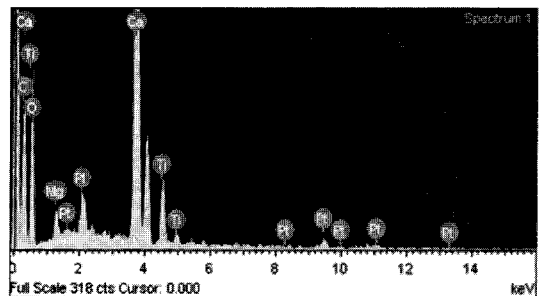
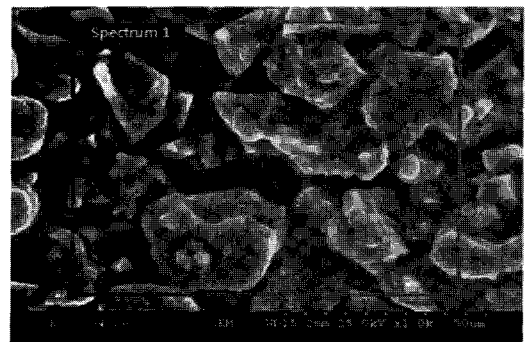


그림 5. 내후성시험 이후 EDS로 500시간 노출된 시료의 표면을 측정된 결과

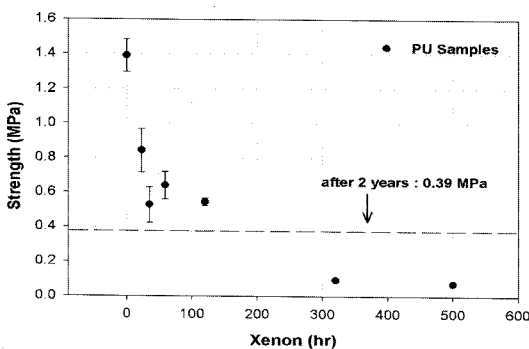
표 2. EDS를 통한 줄눈재 표면의 무기물 분석

Element	Weight %	Atomic %
C K	15.75	26.52
O K	42.46	53.66
Mg K	0.91	0.76
Ca K	33.80	17.05
Ti K	4.04	1.71
Pt K	3.03	0.31
Totals	100.0	

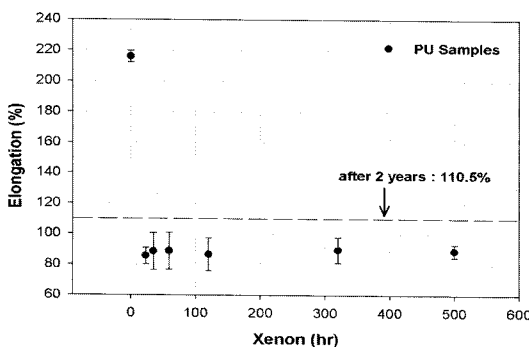
키기 위해 투입된 산화티타늄 (TiO_2)과 카본블랙으로 분석되었다.

3.4 내후성 시험

내후성 시험은 시험방법에 언급된 Xenon 챔버를 사용하여 KS F 2274 규정 조건으로 시험을 실시하였으며, 만능시험장비 (UTM Model : TENSILON



(a) Xenon 노출 후의 인장강도 변화



(b) Xenon 노출 후의 신장률 변화

그림 6. Xenon 노출 후의 인장강도 및 신장률 비교결과

RTD-1225)을 사용하여 내후성 시험을 마친 아령형 3호 형태의 시험체를 KS M 6518의 규정대로 인장속도를 $500 \pm 25 \text{ mm/min}$ 로 시험하였다. 그림 6의 내후성 시험을 마친 시료의 인장강도 및 신율이 현저히 낮아지는 경향을 보이고 있으며, Xenon 노출 24시간은 한해 자외선 노출량의 2%에 해당하는 것으로 폴리우레탄 줄눈재의 내후 특성이 강화되어야 할 것으로 판단된다.

3.5 제설제 침지 시험

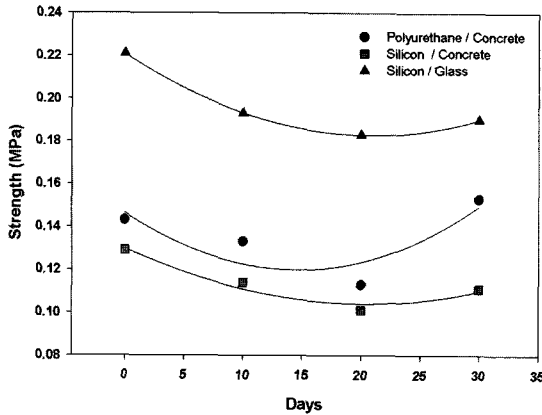
제조된 제설제 용액에 28일간 양생을 마친 시험체를 침지하여 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, $50 \pm 5\% \text{ RH}$ 에 방치한 후 10일, 20일, 30일 경과에 따라 시험체를 꺼내어 24시간 동안 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, $50 \pm 5\% \text{ RH}$ 에서 건조 후 시험을 실시하였다.

실리콘의 경우 유리와 모르타르로 피착제를 구분한 것은 접착력 차이에 의한 영향을 배제하고 제설제가 줄눈재에 미치는 영향만을 평가하기 위한 것이며, 폴리우레탄은 유리 피착제에 대하여 접착력이 나오지 않아 사용할 수 없었다.

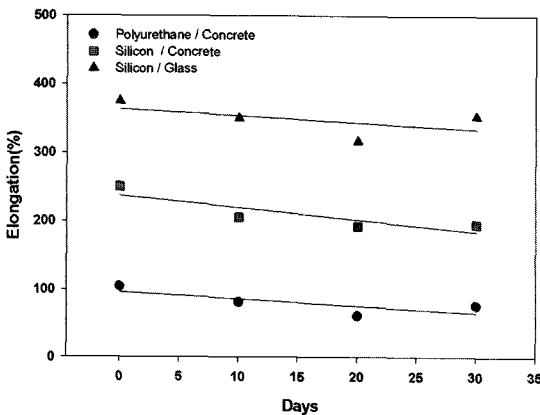
만능시험장비(UTM 모델 : TENSILON RTD-1225)을 사용하여 모르타르 시험체 KS F 2621의 규정대로 인장속도를 5 mm/min 의 조건으로 실시하였다.

표 3. 침지 기간에 따른 실링재의 신장률

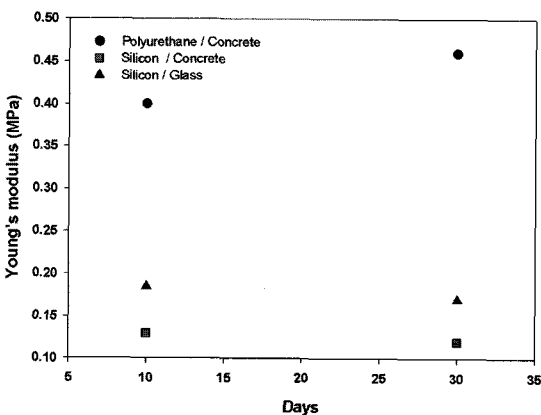
시료 상태	폴리우레탄/ 모르타르	실리콘/모르타르	실리콘/유리	
초기	104.2	250	375	
신장률 (%)	10일	81.1	205.3	350.2
	20일	61.1	192.7	316.7
	30일	76.3	195.1	352.8



(a) 침지 시간에 따른 줄눈재의 인장강도



(b) 침지 시간에 따른 줄눈재의 신장률



(c) 침지 시간에 따른 줄눈재의 탄성계수

그림 7. 제설제 용액의 침지 시간에 따른 줄눈재의 물성 변화

4. 결론

본 연구에서는 콘크리트 도로용 줄눈재의 내후성 특성과 2년 경과된 시료와의 분석 결과를 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 내후성 시험 결과 줄눈재로 사용되는 폴리우레탄 소재는 옥의 사용되는 건축용 수성 도로보다도 낮은 내후성 특성 결과를 나타내었고, 이러한 결과는 SEM을 통한 표면 분석과 인장시험을 통해 입증되었다.
- 내후성 시험을 거친 시험체의 인장강도 보다 신장률이 급격히 떨어지는 경향을 보였는데 23시간 노출 후 SEM을 측정하여 보면 시험체에 주름이 잡히고 35시간에서 충전제가 노출이 시작되기 때문인 것으로 분석된다. 이러한 결과는 열화에 의한 크랙 현상과 폴리우레탄 결합이 파괴되어 발생한 것으로 평가된다.
- 제설제 침지 시험 결과 침지 기간이 오래 될수록 인장강도와 탄성계수가 증가하고 신장률이 작아지는 경향을 나타내었다. 제설용액에 10일 침지하였을 때 초기 신장률 대비 폴리우레탄 77.8%, 실리콘/모르타르 82%, 실리콘/유리 93.4%로 나타났다.
- 두 시험의 결과 신장률이 저하되어 콘크리트 슬래브의 수축, 팽창에 대한 줄눈재의 거동이 제한되는 것을 의미하기 때문에 접착 혹은 응력 파괴 현상이 가속화 될 수 있다.

향후 폴리우레탄 줄눈재의 내후성 평가에 대한 품질 기준이 향상되어야 할 것으로 사료되며 열안정성, 접착 특성, 수명예측 등 여러 가지 특성을 종합하여 판단할 수 있는 국내규격 제정이 필요하며 이러한 품질규격을 바탕으로 시공되어야만 콘크리트 도로의 유지 보수에 대해 계획적인 접근이 가능하리라 사료된다.



감사의 글

본 연구는 “건설생산성 향상을 위한 건설자재 표준화 연구”(과제번호 : 06기반구축A02)의 일환으로 건설교통부 건설기술기반구축사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

이병덕(2005), “제설제 종류에 따른 융빙성능 및 콘크리트에 미치는 영향 평가에 관한 연구” 한국도로학회 논문집, Vol.7 No.5 pp.113~123

American Society for Testing and Materials, “*Test Methods for Sealants and Fillers, Hot-Applied, for Joints and Cracks in Asphaltic and Portland Cement Concrete Pavements*” ASTM D 5329

American Society for Testing and Materials, “*Standard Specification for Cold Applied, Single Component, Chemically Curing Silicone Joint Sealant for Portland Cement Concrete Pavements*” ASTM D 5893

European Standard “*Cold applied joint sealants - Part 6: Test method for the determination of the adhesion/cohesion properties after immersion in chemical liquids*” EN 14187-6 (2003)

접 수 일: 2009. 2. 11
심 사 일: 2009. 2. 19
심사완료일: 2009. 4. 30