

## 콘크리트 구조물용 유황폴리머 표면보호재의 내구성능 및 생물독성

석병윤<sup>1</sup>, 이병재<sup>2</sup>, 김윤용<sup>3\*</sup>

### Durability and Bioassay of a Sulfur Polymer Surface Protecting Agent for Concrete Structures

Byoung-Yoon Seok<sup>1</sup>, Byung-Jae Lee<sup>2</sup>, Yun-Yong Kim<sup>3\*</sup>

**Abstract:** In this study, to examine the use of sulfur polymer as a coating agent for concrete, durability and hazard evaluations were performed. The result of the evaluation indicated that the chemical resistance of the coating agent for concrete was outstanding against acidic, base, and alkaline solutions. The evaluation of the bond strength after an accelerated weathering test depending on the mixing condition indicated that the most outstanding strength characteristic was obtained when silica powder and fly ash were mixed at the same time. The bond strength exceeded 1 MPa in every mixing condition even after the repeated hot and cold treatment of the coating agent specimen for concrete, and the SFS mix proportion showed the highest bond strength. The examination of the accelerated carbonation and chloride ion penetration resistance of the concrete coated with the coating agent indicated that the specimen coated with the coating agent using silica powder as a filler showed the most outstanding durability. When a fish toxicity test was performed to examine the hazard of the use of the functional polymer as a coating agent for concrete, the functional polymer was found to have no effect on the organisms. When the chemical resistance, freezing and thawing resistance, carbonation, and chloride ion penetration resistance of the coating agent were considered, substituting silica powder and fly ash as the fillers of the functional polymer by 20%, respectively, was the optimal level in the range of this study.

**Keywords:** Sulfur polymer, Concrete structures, Durability, Surface protecting agent, Bioassay

## 1. 서 론

유황은 정유산업 및 철강산업의 탈황시설에서 부산물로 회수되며, 그 부산량이 소비량을 초과하여 잉여유황의 양이 급격히 증가하고 있다. 유황은 종래에는 고가로 판매되었으나, 근래에는 중동지역 국가에서 원유정제를 실시하면서 세계적으로 공급과잉으로 잉여유황이 발생되고 있다(MKE, 2011). 특히 정유산업이 증대됨에 따라 탈황공정에서 회수되는 유황의 부산량이 증가하고, 친환경 정책으로 저유황유의 수요가 높아져 유황의 회수량이 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 유황의 새로운 소비처를 필요로 하고 있으며, 유황을 활용하여 건설 자재로 활용하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있는 실정이다(Jung et al., 2014).

유황을 결합재로 활용한 콘크리트는 일반 시멘트를 사용한

콘크리트에 비해 동등 이상의 역학적 특성을 확보할 수 있고(Milica et al., 2013), 특히 산성 및 염기성의 유해물질에 대한 저항성은 우수한 것으로 보고되고 있다. 이에 외국에서는 1970년대 이후 내식성 유황콘크리트의 상업적 생산과 시공이 꾸준히 증가하고 있다(William et al., 1978; Milica et al., 2011). 하지만 유황이 고온에서 용융되는 특성 때문에 대부분 산이나 염기 등에 의한 일반 콘크리트의 손상부분을 보수하는 형태나 배수로, 저장조, 하수관거 등의 프리캐스트제품에 한정되어 적용되고 있다.

콘크리트 구조물의 낮은 화학저항성을 보완하기 위해 적용된 유황콘크리트는 내화학성은 우수하지만 현장에서의 유황폴리머 용융을 통한 믹싱, 타설 등 현장에서 고온의 온도를 유지시켜야 하는 등의 단점을 가진다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 구조물의 구체는 콘크리트로 시공을 완료한 후, 화학저항성이 우수한 유황폴리머를 콘크리트 표면보호재로 사용하면 시공은 비교적 간단하지만 콘크리트 표면에서 주로 발생하는 열화를 방지할 수 있을 것으로 판단된다(Mariusz, 2012).

따라서 본 연구에서는 콘크리트 구조물용 표면보호재로서 유황폴리머의 내구성능 검토 및 현장적용시 발생할 수 있는

<sup>1</sup>정회원, GS건설 인프라사업본부, 부장

<sup>2</sup>정회원, (주)제이엔티아이엔씨 기술연구소 책임연구원

<sup>3</sup>정회원, 충남대학교 토목공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: yunkim@cnu.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2015년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

주변생물에 대한 유해성을 평가하였다.

## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 유황폴리머

이 연구에 사용된 유황폴리머는 국내 S정유사에서 부산되어 개발된 유황폴리머(Sulfur Polymer, SP)를 사용하였으며, 특성은 Table 1에 나타내었다.

#### 2.1.2 코팅재용 채움재

유황폴리머의 수축저감을 위하여 사용하는 코팅재용 채움재는 기존연구에서 검토된(Lee et al., 2014; GMPSCC, 1993; Mohamed, 2010) 규사분말과 플라이애시를 사용하였으며 그 특성은 Table 2~3과 같다.

### 2.2 배합 및 공시체 제작

콘크리트 표면보호재의 내구성능 평가는 배합요인별 특성을 분석하기 위하여, 사전시험을 통해 우수한 배합조건으로 측정된 배합을 선정하여 실시하였다(Lee et al., 2014). 배합조건은 Table 4에 나타내었다.

표면보호재의 믹싱은 유황폴리머와 채움재의 원활한 혼합을 위하여 채움재로 활용될 재료에 대하여 사전에 120°C까지 가열하여 온도를 유지시키고 유황폴리머와 프리믹싱한 후, 가열장치를 사용하여 약 110°C로 용융시켜 제작하였다.

시험체 제작은 혼합된 유황폴리머를 70×70×20 mm 모르타르판 위에 200~300 mm 떨어진 거리에서 왕복 2~3회 도포하여 제작하였다. 도포기기는 2.5 HP의 Air-compressor를 연결한 중력식 모르타르건을 사용하였으며 5±1 MPa의 압력으로

**Table 4** Mix proportions

Mix No.	SP <sup>1)</sup> (%)	Fly ash (%)	Silica powder(%)
Plain	100	-	-
SF <sup>2)</sup>	60	40	-
SS <sup>3)</sup>	60	-	40
SFS <sup>4)</sup>	60	20	20

SP<sup>1)</sup>: sulfur polymer

SF<sup>2)</sup>: sulfur polymer+Fly ash

SS<sup>3)</sup>: sulfur polymer+Silica powder

SFS<sup>4)</sup>: sulfur polymer+Fly ash+Silica powder

압축공기와 함께 표면보호재를 2 mm의 노즐을 통해 분사하였다. 시험용 모르타르판은 KS F 2467의 7.3.1에서 규정하는 방법으로 제작하였으며, 콘크리트 시험체는 OPC를 사용한 27 MPa 배합강도의 공시체를 제작하여 평가하였다.

### 2.3 실험방법

본 연구에서는 콘크리트용 표면보호재의 내구성능 평가는 유황폴리머의 모르타르판 도포시의 내구성능과 콘크리트 표면 도포시의 내구성능으로 구분하여 실시하였다.

모르타르판 도포평가는 표면보호재가 도포된 시편을 열화조건(내화화성, 촉진열화, 온냉반복)에 노출시킨 후 부착성능을 검토하여 내구성능을 평가하였다. 표면보호재가 도포된 콘크리트의 내구성능 평가는 탄산화 및 염소이온침투저항성을 평가하였다. 또한, 유황폴리머의 어독성 시험을 통해 주변생물에 대한 유해성을 검토하였다.

#### 2.3.1 내화화성 시험

내화화성능 평가는 부착강도 시험용 모르타르판에 유황폴리머 표면보호재를 도포한 후 황산(5%)용액, 염산(10%)용액 및 수산화칼슘 포화용액에 168시간동안 침지하여 열화상태

**Table 1** Properties of sulfur polymer

Density (g/cm <sup>3</sup> ) 25°C	Viscosity (cP, 135°C)	Melting point (°C)	Ignition point (°C)	Sulfur content (%)	Dicyclopentadiene (%)	Styrene (%)
1.90±0.02	25~100	90~110	150≤	84~96	2~8	2~8

**Table 2** Properties of fly ash

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Water content (%)	Loss on ignition (%)	Activity factor (%)
2.11	3,990	0.30	3.04	89

**Table 3** Properties of silica powder

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Average particle diameter (μm)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)
#8	2.6	90	≥93.0	≤2.0

를 관찰하고 부착강도를 측정하여 평가하였다. 평가방법은 KS F 4936 「콘크리트 보호용 도막재」에 준하여 실시하였다.

### 2.3.2 촉진내후성 시험

콘크리트 표면보호재가 외부 환경에 노출되었을 때, 노화 현상에 대한 모사 실험을 KS F 4936 「콘크리트 보호용 도막재」에 준하여 실시하였다. 실험은 Photo 1의 전경과 같이 제작된 시편을 선샤인 카본 아크램프가 설치된 촉진 내후성 시험기에 설치한 후 250시간 동안 노출 시킨 후 부착강도 측정을 통해 검토하였다.

### 2.3.3 온냉반복 시험

콘크리트 표면보호재의 동결융해저항성을 검토하기 위하여 KS F 4936 「콘크리트 보호용 도막재」에 제시된 온냉반복 시험을 통하여 실시하였다. 실험방법은 Photo 2와 같이 제작된 공시체를 20±2°C의 물속에서 18시간 침수한 후 -20±3°C의 냉각기에서 3시간 냉각시키고, 50±3°C의 항온기 속에서 3시간 가온하였다. 24시간을 1사이클로 10회 반복한 시험체를 부착강도 측정으로 콘크리트 표면보호재의 동결융해저항성을 평가하였다.



Photo 1 Accelerated weathering test

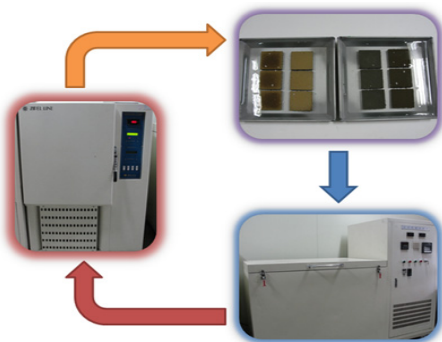
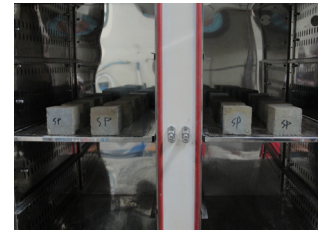


Photo 2 Thermal cycle test



(a) Application of the coating agent



(b) Accelerated carbonation test

Photo 3 Accelerated carbonation test



(a) Application of the coating agent



(b) Chloride ion penetration test

Photo 4 Chloride ion penetration resistance test

### 2.3.4 부착강도 시험

각각의 시험조건에 따른 부착강도 평가는 KS F 4936 「콘크리트 보호용 도막재」에 준하여 측정하였다. 시험체는 70×70×20 mm의 표준모르타르 baseplate를 제작하여 7일 이상 양생한 후, 표면보호재를 도포하여 부착강도를 측정하였다.

### 2.3.5 촉진탄산화 시험

표면보호재 배합조건별 촉진탄산화 시험은 KS F 4936 「콘크리트 보호용 도막재」를 준용하여 수행하였다. Photo 3과 같이 100×100×100 mm의 콘크리트 공시체의 한면에 표면보호재를 도포한 후 온도 20±2°C, 상대습도 65±10 %, CO<sub>2</sub> 농도 5.0%로 설정된 탄산화 시험기에서 28일간 촉진탄산화를 진행하였고, 시험 완료 후 시험체 단면을 절단하여 페놀프탈레인용액으로 중성화 부분을 측정하였다.

### 2.3.6 염소이온침투저항성 시험

염소이온 침투저항성 시험을 KS F 4936 「콘크리트 보호용 도막재」을 준용하여 수행하였다. Photo 4와 같이 Ø100×200 mm의 원주형 콘크리트 공시체를 제작하고 재령 28일에 중앙부에서 상하 50 mm의 두께로 절단하여 시험체를 준비하고 양쪽 절단면에 유허폴리머 표면보호재를 도포한 후 염소이온을 전류를 통해 침투시켜 깊이를 측정하여 평가하였다.

### 2.3.7 생물독성 시험

산업부산물인 유허폴리머를 사전연구에서 폐기물 공정시

험방법에 의한 유해성을 평가한 결과 유해물질은 용출되지 않았다(Lee et al., 2015). 본 연구에서는 추가로 친환경성을 검토하고자 생물독성 시험을 수행하였다. 플라스틱판에 유황폴리머를 도포한 시험편의 수를 증가시키면서 용탈되는 물질에 의하여 공시어의 치사량을 측정 하였다. 시험기구 및 장치, 시험방법은 KS I 3217의 「어류에 의한 급성 어독시험」과 농촌진흥청고시 2008-4의 환경생물독성시험의 기준에 준하여 실시하였다.

시험은 30 L 용량의 수조에 23±1°C의 정수된 물을 사용하였으며, 공시어는 잉어과의 민물고기인 금붕어로 40~50 mm의 균일한 개체로 시험군과 대조군 20마리씩, 총 40마리를 준비하였다. 준비된 두 세트의 수조에 공시어를 투입하고 일주일간 순화시키고 시험 시작 24시간 전에 먹이의 공급을 중단하였다.

시험편의 설치는 시험용 수조에 1개씩 설치하여 공시어의 치사 유무를 관측하였으며, 시험편 투입후 96시간 후 추가 시험편을 투입하는 방법으로 9개 까지 투입하여 평가하였다.

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 내화학성

콘크리트는 화학물질과 반응하여 열화가 주로 발생된다. 이러한 열화로부터 구조물을 보호하기 위한 표면보호재는 내화학성이 뛰어나야한다. 따라서 Sulfur Polymer를 활용한 표면보호재의 내화학성을 평가하였다. 대조군인 증류수와 황산, 염산 및 수산화칼슘 용액에 일정기간 침지한 시험체의 부착강도 평가결과는 Fig. 1~2에 나타내었다.

내산성 평가결과, 유황폴리머 만을 사용한 Plain 배합에서 황산에 대한 강도감소가 높게 나타났으나 0.1 MPa 이하의 미소한 차이를 나타내었다. 이는 유황폴리머 자체의 내산성이 우수하였기 때문으로 판단된다. SF 배합에서는 사전연구에서와 같이 부착강도가 Plain에 비해 낮은 부착강도를 나타냈으며, 이는 산에 의한 영향보다는 채움재인 플라이애시의 영향으로 판단된다. SS 및 SFS 배합에서는 채움재를 사용하지 않은 Plain 배합에 비해 부착강도가 증가된 경향을 나타내었으며, 산성용액에 침지하였을 경우 강도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한 모든 배합에서 표면의 육안검사 시 잔갈림, 주름, 벗겨짐 등의 이상현상은 발견되지 않았다.

내알칼리성 평가결과, 침지용액과 무관하게 SFS > SS > Plain > SF 순의 강도를 나타냈으며, Plain 배합과 SF, SS 배합에서는 강도가 각각 0.06, 0.09, 0.02 MPa 씩 저하가 일어났으며 SFS 배합에서는 오히려 강도가 0.02 MPa 증가된 것으로

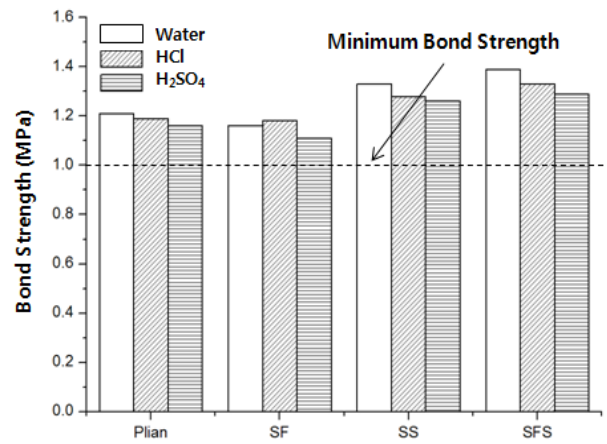


Fig. 1 Acid resistance test result

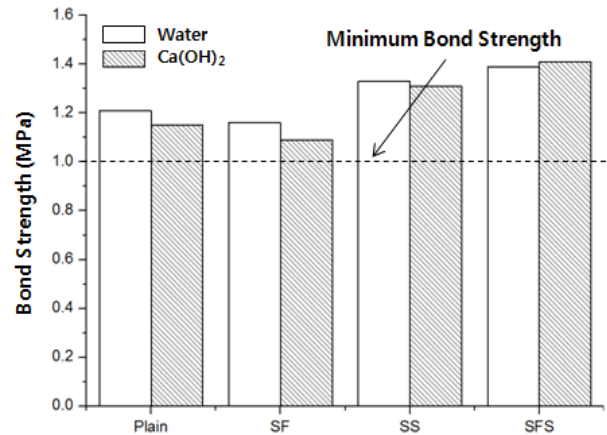


Fig. 2 Alkali resistance test result

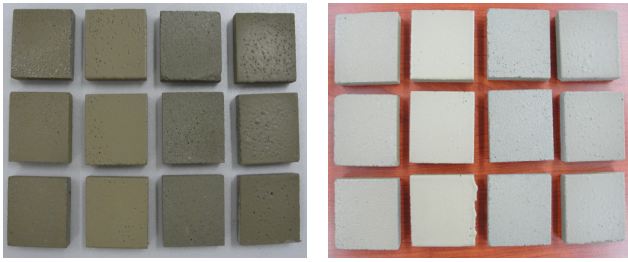
나타났다. 이러한 경향은 0.1 MPa 이하의 강도값으로서 수산화칼슘 용액에 의한 강도차이보다는 시험자체의 오차에 기인한 것으로 판단된다. 시험 결과 모든 공시체의 부착강도가 기준강도인 1.0 MPa를 초과하여, 유황폴리머의 내알칼리성은 우수한 것으로 판단된다.

내화학성 평가를 수행한 결과, 채움재는 규사분말 혹은 규사분말과 플라이애시를 혼합하여 사용한 배합에서 우수한 부착강도 특성을 나타내었으며, 유황폴리머를 도포하면 부착강도 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

#### 3.2 촉진내후성

콘크리트 표면보호재의 내후성 평가는 옥외폭로시험을 통한 방법이 유리하지만, 단기간에 유사한 결과를 도출하기 위해 촉진내후성 시험기를 통해 평가하였다.

제작된 부착강도용 시험체를 선샤인 카본 아크 램프(W5형)가 설치된 촉진내후성 시험기에 설치하고 250시간 동안 노출시킨 후 부착강도를 측정하여 평가하였다.



(a) Before the test (b) After the test

Photo 5 Accelerated weathering test specimen

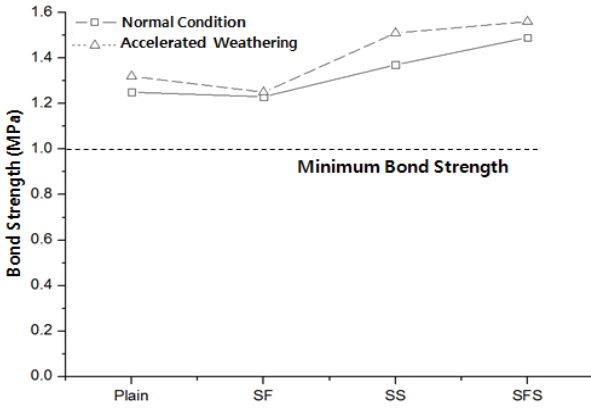


Fig. 3 Accelerated weathering test result

축진내후성 시험 전후의 시편은 Photo 5와 같고, 시험결과는 Fig.3에 나타내었다. 시험결과, 표준양생과 축진내후성 시험 후 부착강도는 동일한 경향으로서 SFS > SS > Plain > SF 순으로 나타났다. 그리고, 일반적인 현상인 열화 후 강도가 저하되는 것과 달리 표준양생의 부착강도에 비하여 축진내후성 시험 후 부착강도가 약 0.2 MPa 정도의 강도향상이 나타났다. 이는 축진내후성 시험 특성상 빛에너지와 열에너지에 의해 시험기 내부의 온도가 50°C 이상으로 상승하면서, 표면보호재의 내부가 밀실하게 되었기 때문으로 판단된다. 따라서, 축진내후성 시험은 유황폴리머 표면보호재의 실제 내후성 상황을 모사하기 어렵다고 판단된다. 또한, 축진내후성 시험 후 시험체 자체의 육안검사 시 변색 외의 주름, 갈라짐 등의 이상현상은 나타나지 않았고, 변색은 시험기 내부 온도의 상승 및 자외선에 의한 폴리머가 노후화 된 것으로 판단된다.

### 3.3 온냉반복

콘크리트 표면보호재의 유황폴리머를 활용한 표면보호재의 온냉반복 시험 후 부착강도 측정결과는 Fig. 4에 나타났다. 온냉반복 시험 후 공시체의 부착강도는 표준양생에 비하여 저하되는 것으로 나타났다.

강도저하의 폭은 SF 배합에서 최소로 0.11 MPa로 나타났으며, 가장 많이 저하된 배합은 SFS 배합으로 0.32 MPa의 강

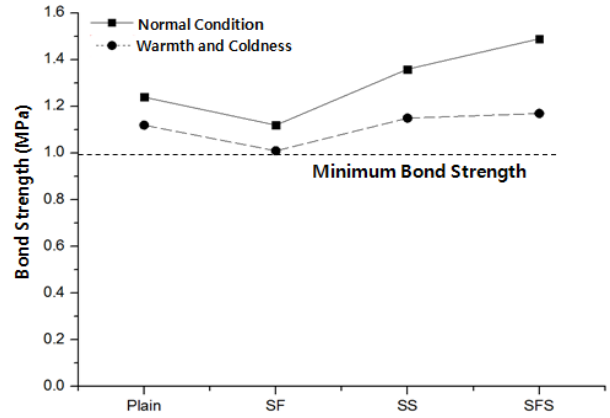


Fig. 4 Thermal cycle test result

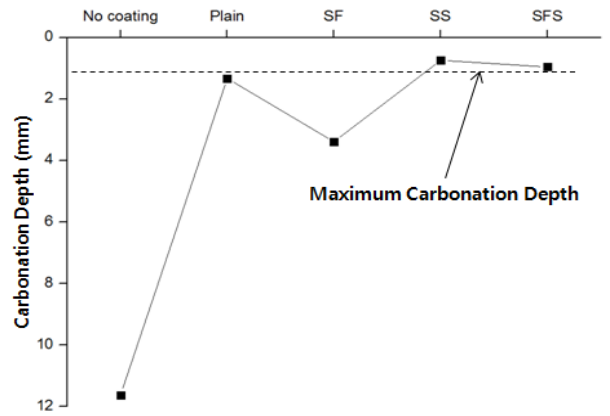


Fig. 5 Accelerated carbonation test result

도저하가 나타났다. 그러나, 기준강도인 1.0 MPa는 모두 만족하였고, 강도 감소의 폭이 가장 큰 SFS의 배합에서 1.17 MPa의 부착강도를 나타내 SFS를 채움재로 사용한 배합조건이 온냉반복에 대한 저항성이 가장 우수한 것으로 판단된다. 이는 사전연구에서 수행한 강도평가 결과와 유사한 경향으로서 (Lee et al., 2014), 플라이애시를 채움재로 사용한 경우 뭉침현상발생으로 콘크리트 표면의 요철까지 침투되지 못하여 강도가 저하되나 규사분말과 함께 동시 혼입시 콘크리트 표면과 표면보호재의 부착이 치밀해졌기 때문으로 판단된다.

### 3.4 축진탄산화

축진탄산화 측정결과는 Fig. 5에 나타낸바와 같다. 평가결과, 콘크리트 표면보호재를 도포하지 않고 노출시킨 콘크리트에서는 탄산화가 진행되어 평균 11.62 mm로 측정되었다. 하지만 표면보호재를 도포하게 되면 탄산화 깊이는 큰 폭으로 감소하게 되는 것으로 나타났다. 탄산화가 가장 많이 진행된 배합은 SF 배합으로 3.38 mm가 진행되었으며, Plain 배합에서는 1.33 mm로 기준인 1 mm를 초과하는 것으로 나타났

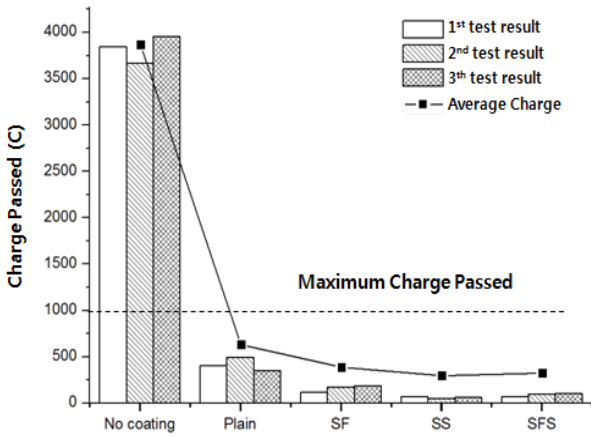


Fig. 6 Chloride ion penetration resistance test result

다. 하지만, 탄산화 깊이가 가장 적은 SS 배합과 SFS 배합에서는 각각 0.74 mm, 0.95 mm가 진행된 것으로 나와 탄산화 깊이의 기준인 1 mm 이하를 만족하였다. 이와 같은 결과는 표면보호재 도포 시, SF 배합은 영김현상에 의하여 표면보호재 사이의 눈에 보이지 않는 공극이 발생하여 CO<sub>2</sub>에 대한 직접적인 노출이 있었으며, 채움재로 규사분말을 혼입할 경우 유황폴리머의 경화 시 공극을 채움으로써 CO<sub>2</sub>에 노출을 저감시키는 것으로 판단된다. 따라서 탄산화에 대한 저항성은 SS 및 SFS 배합이 가장 우수한 것으로 나타났다.

### 3.5 염소이온침투저항성

Fig. 6에는 배합조건에 따른 통과전하량을 나타내었다. 표면보호재를 도포하지 않은 공시체에서의 통과전하량은 평균 3822.48C으로, '높음' 등급으로 평가된다. 또한, Plain 배합에서는 평균 통과전하량은 414.50C으로 '매우 낮음' 등급으로 나타났으며, SF 배합에서 157.61C으로 통과전하량에 차이는 있으나, 같은 등급의 범위에 있어 '매우 낮음' 등급으로 나타났다. 한편 SS 배합에서는 가장 작은 통과전하량인 61.79C으로 측정되었으며, SFS 배합에서는 90.62C으로 두 배합 모두 가장 낮은 등급 '무시할만함' 등급으로 나타났다. 또한 모든 배합에서 기준인 1,000C 이하의 통과전하량을 나타내었다. 이러한 결과로 염소이온 침투저항성에 대하여 모든 배합에서 기준 이하의 안정성을 가지고 있으며, 그 중 SS 배합과 SFS 배합에서는 염소이온에 대한 침투저항성에 대하여 매우 우수한 것으로 나타났다.

### 3.6 생물독성 평가

유황폴리머에 대한 생물독성을 검토하기 위하여 어독성 시험 결과, 투입한 시험편에 따른 공시어의 개체수에 대한 그래프를 Fig. 7에 나타냈으며, 어독성 시험 전경을 Photo 6에 나타

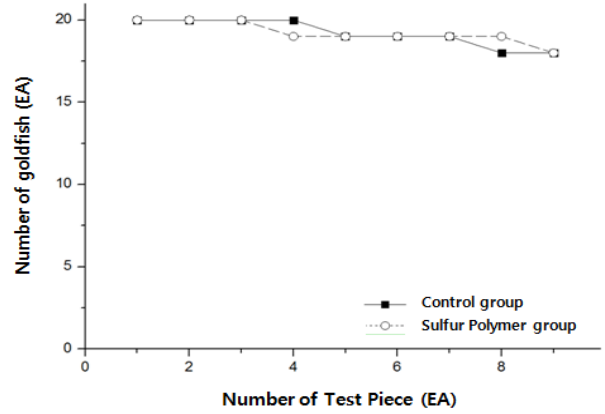


Fig. 7 Number of fish individuals depending on the number of test pieces



(a) Plain



(b) Test piece injection

Photo 6 ish toxicity test

내었다. 투입한 개체수가 늘어남에 따라 개체수가 줄어드는 경향을 나타내지만, 이는 대조군의 수조와 비슷한 경향을 나타내면서 오히려 더 많은 개체수가 치사하게 되었다. 따라서, 유황폴리머의 영향이 아닌 주위 환경적 요인에 의한 치사로 판단된다. 본 시험의 결과로부터 유황폴리머는 생물에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단되며, 유해성이 없는 것으로 판단된다.

## 4. 결론

이 연구에서는 정유산업 부산물인 유황을 폴리머화 하여 콘크리트 표면보호재로 사용시 내구성능 및 생물독성을 평가 하였으며, 본 연구의 범위 내에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 표면보호재의 내화학성능 평가결과, 산, 알칼리 용액에 침지시킨 후 부착강도 측정결과는 규사분말 및 플라이애시와 규사분말을 혼합한 배합조건에서 가장 우수한 내화학성능을 나타내었고, 모든 배합조건에서 부착강도 시험기준인 1 MPa이상의 부착강도를 확보가능 하여 내화학성이 우수한 것으로 판단된다.
- 2) 표면보호재 배합조건별 촉진내후성 실험 후 부착강도평가 결과 규사분말 및 플라이애시를 동시에 혼합한 배합에서 가장 우수한 강도특성을 나타내었지만, 촉진내후성 시험 후 부착강도가 모든 배합에서 증가하는 경향을 나타내어 유황폴리머의 내후성 상황을 모사가 불가한 것으로 판단된다.
- 3) 콘크리트용 표면보호재 시험체의 동결융해시험을 실시한 결과, 온냉반복을 한 시험체에서 최대 0.3 MPa 이상의 부착강도저하를 나타내었다. 하지만, 온냉반복 후에도 모든 배합조건에서 부착강도 1 MPa을 상회하였고, SFS배합에서 가장 높은 부착강도를 나타내었다.
- 4) 표면보호재를 도포한 콘크리트의 촉진탄산화 및 염소이온 침투저항성을 검토한 결과, 규사분말을 채움재로 사용한 표면보호재를 도포한 시험체에서 가장 우수한 내구성능을 나타내었다.
- 5) 유황폴리머를 콘크리트 표면보호재로 사용시 생물독성 검토를 위해 어독성 실험을 수행한 결과, 유황폴리머 사용시 생물에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다.
- 6) 본 연구에서 검토한 시험조건에서 내구성능이 가장 우수한 배합조건은 유황폴리머에 채움재로 규사분말 및 플라이애시를 각각 20%씩 대체하는 것이 적절한 수준인 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2011-0024924)

## References

1. Ministry of knowledge economy, "Supply and demand situation of mineral produce in 2011", Korea institute of geoscience and mineral resources, 2012, pp.119-120.
2. Jung, B. Y., Lee, S. S., Song, H. Y., Modified Sulfur Distribution and Compressive Strength Characteristics of Modified Sulfur Mortar Based on the Mixing Method and Curing Condition, Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 14, No. 1, (2014) pp. 61 ~67.
3. Milica M. Vlahović, Predrag B. Jovanić, Sanja P. Martinović, Tamara Đ. Boljanac, Tatjana D. Volkov-Husović, "Quantitative evaluation of sulfur-polymer matrix composite quality", Composites Part B: Engineering, Vol.44, Issue1, (2013), pp. 458-466.
4. William, C., McBee, Direct substitution of sulfur for asphalt in paving materials, U.S. Bureau of Mines, (1978).
5. Milica M. Vlahovic, Sanja P. Martinovic, Tamara Dj. Boljanac, Predrag B. Jovanic, Tatjana D. Volkov-Husovic, "Durability of sulfur concrete in various aggressive environments", Construction and Building Materials, Vol.25, Issue 10, (2011), pp. 3926-3934
6. Mariusz Książek, "The intensity of corrosion processes influenced by tensile stress for reinforcing steel covered with sulphur polymer composite applied as industrial waste material", Composites Part B: Engineering, Vol.45, Issue1, (2013), pp.1126-1132.
7. Lee, B. J., Lee, E. S., Chung, W. J., Kim, Y. Y., Efficiency Test for Surface Protecting Agents for the Chemical Resistance of Concrete Structures using Sulfur Polymers, Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Volume 18, No. 5. (2014) pp.1~8.
8. Guide for mixing and placing sulfur concrete in construction, Report 548.2R-93. ACI Committee 548 (American Concrete Institute), Farmington Hills, MI; 1993.
9. Mohamed AMO, El Gamal MM. Sulfur concrete for the construction industry-A sustainable development approach. J. Ross Publishing; (2010).
10. Lee, B. J., Lee, E. S., Kim, S. G., Kim, Y. Y., Strength Development of Sulfur-Polymer-Based Concrete Surface Protecting Agents Depending on Curing Condition and Hazard Assessment of Sulfur Polymers, Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Volume 19, No. 1. (2015) pp.139~146.

Received : 04/13/2015

Revised : 06/11/2015

Accepted : 06/18/2015

---

**요 지** : 본 연구에서는 유황을 폴리머화하여 콘크리트 표면보호재로 활용가능성을 검토하기 위하여 내구성능 및 생물독성 평가를 실시하였다. 평가 결과, 콘크리트 표면보호재의 내화학성능은 산, 알칼리 용액에 대하여 화학저항성이 우수한 것으로 나타났다. 배합조건별 촉진내후성 실험 후 부착강도평가 결과 규사분말 및 플라이애시를 동시에 혼합한 배합에서 가장 우수한 강도특성을 나타내었다. 콘크리트용 표면보호재 시험체의 온냉반복 후에도 모든 배합조건에서 부착강도 1 MPa를 상회하였고, SFS배합에서 가장 높은 부착강도를 나타내었다. 표면보호재를 도포한 콘크리트의 촉진탄산화 및 염소이온침투저항성을 검토한 결과, 규사분말을 채움재로 사용한 표면보호재를 도포한 시험체에서 가장 우수한 내구성능을 나타내었다. 유황폴리머를 콘크리트 표면보호재로 사용시 생물독성 검토를 위해 어독성 실험을 수행한 결과, 유황폴리머는 생물에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다. 표면보호재의 내화학성, 동결융해저항성, 탄산화, 염소이온침투저항성 등을 모두 고려하여 볼 때, 본 연구범위에서는 유황폴리머에 채움재로서 규사분말과 플라이애시를 각각 20%씩 대체하는 것이 적절한 수준인 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 유황폴리머, 콘크리트 구조물, 내구성, 표면보호재, 생물독성

---