

유황폴리머를 활용한 콘크리트 표면보호재의 양생조건에 따른 강도 평가 및 유황폴리머의 유해성 평가

Strength Development of Sulfur-Polymer-Based Concrete Surface Protecting Agents Depending on Curing Condition and Hazard Assessment of Sulfur Polymers

이 병 재¹⁾
Byung-Jae Lee

이 의 성²⁾
Eue-Sung Lee

김 성 구³⁾
Seung-Gu Kim

김 윤 용^{4)*}
Yun-Yong Kim

Abstract

The amount of by-product from sulphur increases in domestic industrial facilities. However, the amount of its consumption is limited so that the amount of unused sulphur continues to increase. Therefore, in this study, the use sulfur polymer as the concrete surface protecting material was conducted. The compressive strength showed that as the substitution ratio of filler increased up to 40%, the compressive strength also increased. A high compressive strength was shown at the curing temperature of 40°C (SS, FA) and 60°C (OPC) according to the type of filler. The difference of compressive strength between air dry curing and water curing was insignificant so that there was no significant influence of moisture during curing process. The evaluation result of bond strength showed that the highest bond strength was shown at the air-dry condition of 40°C regardless of type of filler. Bonding didn't occur properly during water curing in comparison to air dry curing. Also, in case of the specimen cured at 60°C, discoloration and hair cracks appeared due to the influence of temperature, and the highest bond strength was shown at the substitution ratio of 20% (SS, FA) and 30% (OPC) according to the type of filler. The releasing test result of harmful substance showed that no harmful substance was released, so there is no harmfulness in the surface protecting material using sulfur polymer. As a conclusion drawn in this study, it is most appropriate to substitute silica by approximately 20%, mix and cure at the air-dry condition of 40°C in order to use sulfur polymer as the surface protecting material.

Keywords : Sulfur polymer, Concrete surface protecting agent, Strength, Hazard assessment, Curing condition

1. 서 론

콘크리트는 우수한 경제성과 시공성으로 건설산업에 있어 대표적인 건설재료로 사용되고 있다. 그러나 일부 콘크리트는 외부환경에 영향을 받아 열화가 나타나게 된다. 대표적인 예로 수처리 구조물 및 폐기물 처리 시설에서 발생하는 황산염 등의 화학물질에 의한 콘크리트의 화학적 침식은 구조물의 열화를 야기시켜 심각한 문제로 대두되고 있다. 이러한 화학적 침식을 포함한 열화를 방지하기 위해 에폭시 등의 콘크리트 표면보호재를 사용하여 표면을 보호하고 있으나 현

재 사용되는 콘크리트 표면보호재의 경우 그 내구수명이 짧아 잦은 유지보수에 많은 비용과 노력이 요구되고 있다 (Lee et al., 2014).

한편, 국내의 환경보호의 일환으로 국내 산업시설에서 탈황시설이 의무화되면서 산업부산물로써 유황의 발생량도 늘어나고 있다. 특히 정유산업 중 국내 4대 정유사의 탈황정제 능력은 연간 120만 톤에 달하며 그에 따른 유황의 부산량이 증가할 것으로 판단된다. 하지만 유황의 소비는 한정되어 있어 현재 50% 미만의 유황만 재활용이 되고 있으며 잉여유황의 경우 대부분 폐기하고 있어 그 비용이 점점 증가할 것

1) 정회원, (주)케이엔티아이엔씨 기술연구소 선임연구원
2) 정회원, 충남대학교 토목공학과 석사과정
3) 정회원, 충남대학교 토목공학과 석사과정
4) 정회원, 충남대학교 토목공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : yunkim@cnu.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2015년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2015년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

로 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존 소비처가 아닌 새로운 소비처를 찾아야 한다 (KIGAM, 2010; Lee et al., 2014).

산업부산물로 부산되는 유황은 개질화하여 유황폴리머로 제작하게 되면 화학적으로 안정하여 각종 산성 및 염기성 물질 등의 화학물질과의 직접적인 접촉에도 부식이 발생하지 않는다 (Mariusz, 2010). 이러한 유황폴리머는 뛰어난 내화 특성과 산업부산물을 재활용하면서 경제성 및 친환경성을 확보한 우수한 건설재료로 활용이 가능할 것으로 판단된다 (Mariusz, 2010; Milica et al., 2012; Lee et al., 2014).

특히, 콘크리트의 표면에 분사하게 된다면 우수한 내화 특성을 활용하여 화학적 침식 등의 열화로부터 콘크리트를 보호하여, 신축 구조물뿐만 아니라 기존 구조물까지도 보호할 수 있는 우수한 콘크리트 표면보호재가 될 것으로 판단된다.

하지만 유황폴리머를 건설재료로 활용하기 위한 연구는 주로 유황콘크리트에 관한 연구로 이루어지고 있다. 콘크리트 결합재의 대체재로서 유황폴리머를 활용한 유황콘크리트는 주로 일정 비율 첨가 또는 치환하는 형태로 활용한 연구만 수행된 바 있다 (Hyun et al., 2012).

따라서 본 연구에서는 산업부산물인 유황을 활용하여 콘크리트 표면보호재로 활용하기 위한 기초연구로 채움재의 종류와 양생조건에 따른 강도 평가 및 유해성 평가를 수행하였다.

2. 실험개요

2.1 유황폴리머의 특성

2.1.1 유황

유황은 각종 화학공업에 필수적인 황산의 제조시 원료로 사용되고 있다. 우리나라는 유황 소요를 과거 전량 해외에 의존하였으나, 현재 정유사 등의 산업시설에서 탈황시설이 의무화되면서 산업부산물로 생산되고 있다. 최근 국내 유황의 부산량은 185 만톤이며 수요량은 약 50만톤 내외이다 (KIGAM, 2010).

2.1.2 유황폴리머

유황은 액체에서 고체로 상변화시 체적 수축량이 크고 온도 변화에 민감하고 취성적 거동을 나타낸다는 단점을 가지고 있어 건설용 재료로 부적합하다 (Yoon, 2006). 하지만 유

황을 개질한 유황폴리머는 이러한 단점을 보완하여 건설자재로 사용이 가능할 것으로 판단된다 (Bea et al., 2014). 현재 유황폴리머는 유황콘크리트의 형태로 적용되어 주로 2차 제품으로 현장에 적용되고 있다 (Park et al., 2007).

2.2 실험재료

2.2.1 유황폴리머

본 연구에서는 탈황시설에서 회수된 유황을 개질한 국내 S사의 유황폴리머 (Sulfur Polymer, SP)를 사용하였으며 특성은 Table 1에 나타내었다.

2.2.2 채움재

유황폴리머의 수축저감을 위하여 사용하는 채움재는 기존의 유황콘크리트 제작 시 이용된 (Abdel et al., 2008; Kalb et al., 1991) 규사 (Silica Sand, SS)와 플라이애시 (Fly Ash, FA)를 사용하였으며, 보통포틀랜드 시멘트 (Ordinary Portland Cement, OPC)에 대한 적용성을 검토하였다. 규사는 내열성이 뛰어나고 경제적이며 플라이애시는 매우 미세한 입자로 이루어져 있어 유황폴리머의 수축 시 공극을 채워 수축 저감에 효과적일 것으로 예상된다. 보통포틀랜드 시멘트는 양생시 수분 공급으로 강도증진에 효과적일 것으로 판단된다 (Lee et al., 2014). 본 연구에서 사용한 채움재인 SS, FA, OPC의 물리적 특성은 Table 2, Table 3 및 Table 4에 나타낸 바와 같다.

Table 1 Properties of SP

Density (g/cm ³) (25°C)	Viscosity (cP) (135°C)	Ignition Point (°C)	Melting Point (°C)	Sulfur Content (%)
1.9±0.02	25~100	≥ 150	90~110	84~96

Table 2 Properties of SS

Type	Density (g/cm ³)	Diameter of Particle (μm)	Moh's Hardness	Melting Point (°C)
#8	2.60	90	7	1,713

Table 3 Properties of FA

Moisture content (%)	Density (g/cm ³)	Loss Ignition (%)	Specific Surface (g/cm ³)	Flow Value (%)
0.3	2.11	3.04	3,990	101

Table 4 Properties of OPC

Density (g/cm ³)	Specific Surface (g/cm ²)	Compressive Strength (MPa)		
		material age 3days	material age 7days	material age 28days
3.15	3,492	23.4	30.7	39.9

Table 5 Mixture Proportions

Series	No.	SP (%)	SS (%)	FA (%)	OPC (%)
Plain		100	-	-	-
S	1	90	10	-	-
	2	80	20	-	-
	3	70	30	-	-
	4	60	40	-	-
F	1	90	-	10	-
	2	80	-	20	-
	3	70	-	30	-
	4	60	-	40	-
C	1	90	-	-	10
	2	80	-	-	20
	3	70	-	-	30
	4	60	-	-	40

* SP : Surfural Polymer, SS : Silica Sand
 FA : Fly Ash, OPC : Ordinary Portland Cement

2.3 실험구성

유황폴리머를 활용한 표면보호재의 채움재의 종류 및 치환비율, 양생방법에 따른 역학적 특성을 평가하기 위하여 압축강도 및 부착특성을 평가하였다 (Nam et al., 2006). 또한, 산업부산물인 유황폴리머의 유해성을 평가하기 위하여 환경부의 폐기물공정시험방법 (Ministry of environment, 2007)에 준하여 유해물질 용출량 측정 시험을 하였다.

2.3.1 배합

산업부산물인 유황폴리머를 활용한 표면보호재의 채움재 종류 및 치환비율에 따른 특성파악을 위하여, 유황폴리머만을 사용한 배합을 Plain으로 하여 각각의 채움재를 치환배합하였다. 채움재의 종류에 따라서 S-series (SS)와 F-series (FA), C-series (OPC)로 구성하였으며, 각 채움재를 유황폴리머의 질량비로 10%부터 40%까지 10%씩 증가하여 치환배합하였다. 배합조건은 Table 5와 같다.

2.3.2 공시체 제작 및 양생

산업부산물인 유황폴리머를 활용한 표면보호재의 강도특

성 평가를 위해 유황폴리머를 120℃에서 용융시킨 후 채움재를 투입하여 비빔을 실시하였다. 배합된 표면보호재를 양생온도와 같은 온도로 예열되어 있는 40×40×160 mm 몰드에 투입하여 제작하였다.

부착특성을 평가하기 위하여 동일한 방법으로 혼합을 한 후 70×70×20 mm 모르타르판 위에 200~300 mm 떨어진 거리에서 왕복 2 ~ 3회 도포하여 제작하였다.

위와 같은 방법으로 제작된 공시체는 표면이 경화된 후 양생온도의 영향을 평가하기 위하여 20, 40, 60℃의 온도에서 양생하였다. 유황폴리머의 용융온도가 고온인 점을 감안하여 유황폴리머의 용융온도와 양생온도 사이의 온도차를 감소시키는 방향으로 양생온도를 설정하였다. 또한 양생 시 수분의 영향을 평가하기 위하여 수증양생과 기건양생을 실시하였다 (Yahia et al., 1994; Jung et al., 2014). 양생기간은 KS F 4936의 규정에 따라서 7일간 양생하였다.

2.4 실험방법

2.4.1 압축강도

산업부산물을 활용한 표면보호재의 압축강도 평가는 공시체를 제작하여 7일 양생 후 1,000kN의 유압식 만능시험기를 통하여 압축강도를 측정하였다.

2.4.2 부착강도

표면보호재와 콘크리트 사이의 부착강도 평가를 위하여 표준모르타르판을 제작 후 표면보호재를 도포하여 부착강도 시험편을 제작하였다. 재령 7일의 부착강도를 200kN의 만능재료시험기를 사용하여 5mm/min의 속도로 하중을 제하하였으며 하중의 최대범위를 20kN으로 측정하였다. 또한 측정 시 온도의 변화를 최소화하기 위하여 양생실에서 시험을 하나씩 꺼내어 즉시 측정하였다.

2.4.3 유해물질 용출량 시험

유황폴리머를 표면보호재로 사용하였을 경우, 옥외에서 빗물 등과 접촉하고, 수처리 및 폐기물 처리구조물에서는 물과 항상 접촉하게 된다. 이러한 물과의 접촉으로 인하여 유해물질이 용출되어 나올 가능성이 있다. 또한, 유황은 산업부산물이기 때문에 유해성에 대한 우려가 있다. 따라서 유황폴리머에 대한 환경부의 폐기물공정시험방법에 준하여 유해물질 용출량에 대한 시험을 실시하였다. 국내 유해물질 용출량에 대한 규정량은 Table 6에 나타냈으며 유해물질의 종류에 따

Table 6 The amount of Harmful Materials allowed in Korean Standards (Ministry of environment, 2007)

Items (mg/L)	Framework Act on Environmental Policy	Wastes Control Act and Enforcement Decree
Cr ⁶⁺	0.0500	1.5000
As	0.0500	1.5000
Hg	0.0100	0.3000
Pb	0.0500	3.0000
Cd	0.0200	3.0000
Cu	0.0100	1.0000
CN	0.0005	0.0050
TCE	0.0100	0.3000
PCE	0.0300	0.1000
OP	-	1.0000

※ CN : Cyanogen, TCE : Trichloroethylene, PCE : Tetrachloroethylene
OP : Organophosphate compound

Table 7 Test Method for Detection Analysis of Harmful Materials

Test Items	Test Method and Equipments
Cr ⁶⁺	UV-Vis Spectrophotometer
As, Hg,	Atomic Absorption Spectrophotometer
Pb, Cd, Cu, CN,	Inductive Coupled Plasma Emission Spectrophotometer
PCE, TCE, OP	Automated Thermal Desorption-Gas-Chromatography

※ CN : Cyanogen, TCE : Trichloroethylene, PCE : Tetrachloroethylene
OP : Organophosphate compound

른 시험방법과 시험기기는 Table 7에 나타내었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도 평가

유황폴리머를 활용한 표면보호재의 양생조건에 따른 압축강도 시험결과 및 시험단면, 파괴양상을 채움재에 따라 Fig 1~3과 Photo 1, 2에 나타냈다.

채움재로 규사를 사용한 배합 (S시리즈)의 압축강도 변화는 채움재의 치환비율이 40%까지 증가할 때, 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 유황폴리머의 경화 시 생기는 수축이 저감되면서 강도가 증진된 것으로 보인다. 또한, 양생온도가 60°C까지 증가할수록 압축강도도 증가하였다. 이는 Photo 1에 나타난 바와 같이 120°C에서 용융된 표면보호재가 다시 경화할 때, 온도 차이에 의하여 급격한 온도저하로 유황폴리머의 결정이 성장하지 못하여 공시체 내부의 공극이 발생하기 때문으로 판단된다. 한편, 기건양생과 수중양생의 차이는

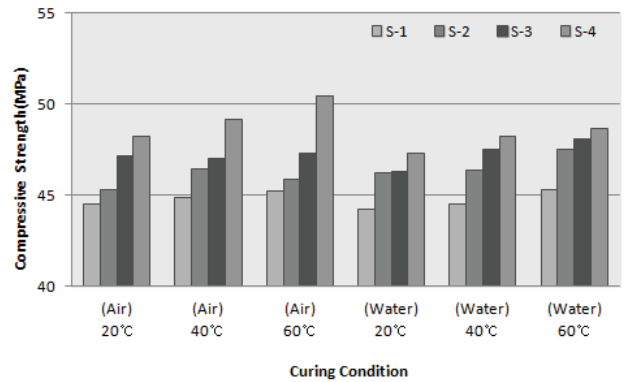


Fig. 1 Test results of Compressive Strength depending on the Curing Condition (S-series)

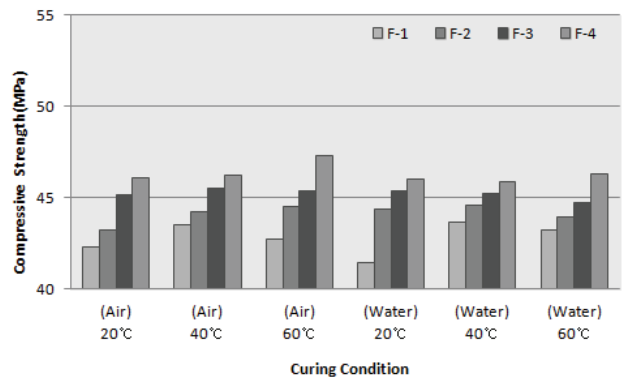


Fig. 2 Test results of Compressive Strength depending on the Curing Condition (F-series)

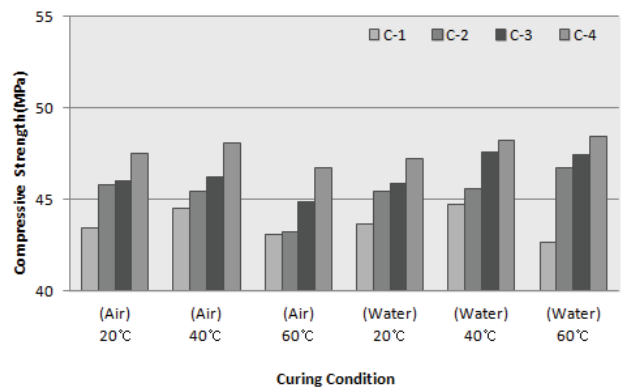
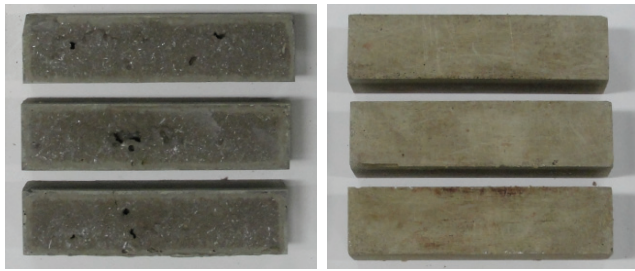


Fig. 3 Test results of Compressive Strength depending on the Curing Condition (C-series)

1% 미만의 미미한 차이를 나타냈다. 따라서 채움재로 규사를 사용함에 있어 치환비율이 증가할수록, 양생온도가 높을수록 압축강도가 증가하는 경향을 나타내며 수분에 의한 영향은 미미한 것으로 판단된다.

표면보호재의 채움재로 플라이애시를 사용한 배합 (F시리



(a) S-series at 20°C (b) S-series at 60°C

Photo 1 Surface of specimens



(a) S-series (S-3) (b) F-series (F-3)



(c) C-series (C-3) (d) Compression test

Photo 2 Cross section and Failure mode of Compression Test Specimens

즈)에서는 편차가 크게 나타났다. Plain배합에 비하여 대부분 높은 강도를 보였으나, 낮게 측정되는 경우도 나타났다. 이는 기존의 연구에서 검증된 바와 같이 플라이애시의 작은 입자 주변으로 유황폴리머가 둘러싸면서 재료가 뭉치는 현상이 나타나 콘크리트 표면의 요철사이로 표면보호재의 침투가 균일하게 이루어지지 못한 것으로 판단된다 (Lee et al., 2014).

플라이애시의 치환비율이 증가할수록 강도가 증가하게 되어 40% 치환배합에서 높은 강도를 나타냈다. 또한 온도가 증가할수록 높은 강도가 나타나 S시리즈와 비슷한 경향을 나타냈다. 한편 수분에 의한 영향은 매우 미미하여 0.3%의 차이를 나타냈다.

OPC를 채움재로 사용한 배합 (C시리즈)의 압축강도 특성은 규사와 플라이애시를 채움재로 사용한 배합과는 다른 경향을 나타냈다. 치환비율에 의한 영향은 비슷한 경향을 나타

냈지만, 온도와 수분에 의한 조건에서 차이가 나타났다. 온도가 증가할수록 압축강도 또한 증가한 S, F시리즈와 달리 C시리즈에서는 40°C까지는 증가하지만 60°C에서 오히려 강도가 저하되었다.

또한 S시리즈와 F시리즈에서는 기건양생이 수중양생에 비하여 미소하게 높은 강도를 나타냈지만, OPC를 채움재로 사용한 경우, 수중양생의 압축강도가 기건양생에 비하여 1.6% 정도 높게 나타났다. 또한, Photo 2의 (c)에 나타난 바와 같이 공시체 내부에 체적수축으로 인한 공극이 발생하지 않았다. 이러한 채움재 종류에 따른 차이는 수분공급에 의하여 내부의 OPC가 일부 수화반응하여 결합력을 일부 높인 것으로 판단된다.

따라서, 유황폴리머를 활용한 표면보호재의 채움재로 규사를 40% 정도 치환배합 하고 60°C의 기건상태에서 양생하는 것이 가장 우수한 압축강도 특성을 나타내었다.

3.2 부착강도 평가

산업부산물을 활용한 표면보호재의 채움재 및 양생조건에 따른 부착강도 시험결과 및 사진을 Fig. 4~6, Photo 3에 나타내었다.

S시리즈에서 채움재 비율이 20%까지 증가할 때, 부착강도는 향상되지만, 30% 이상에서는 오히려 감소하였으며 온도에 의한 강도는 40°C일 때 가장 크게 나타났다. 한편, 수중양생에서의 강도가 기건양생에 비하여 현저하게 감소되는 것으로 나타나, 수분에 의한 영향이 매우 큰 것으로 판단된다. 또한 기건상태에서의 부착강도는 모두 현 콘크리트 보호용 도막재의 기준강도인 1.0 MPa를 만족하였으며, 최고 부착강도를 나타낸 조건은 기건상태의 온도 40°C, S-2 배합조건에서 가장 큰 1.61 MPa로 측정되었다.

F시리즈의 부착강도 특성을 살펴보면, S시리즈와 비슷한 경향을 나타내지만, 강도증진은 S시리즈에 비하여 크지 않은 것으로 나타났다. 채움재의 치환비율을 20%까지 증가시킬 때, 부착강도 또한 증가하였지만 30% 이상의 비율에서는 오히려 감소하는 결과를 나타냈다. 온도에 의한 영향 역시 S시리즈와 동일하게 40°C에서의 부착강도가 가장 크게 측정되었으며, 20°C와 60°C의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 수분에 의한 영향도 S시리즈와 동일하게 나타나 수중양생에서의 부착강도는 기건양생에 비하여 매우 저하되어 수분이 부착을 방해하는 것으로 판단된다. 하지만, 강도저하의 양이 S시리즈에 비하여 상대적으로 적게 나타났다.

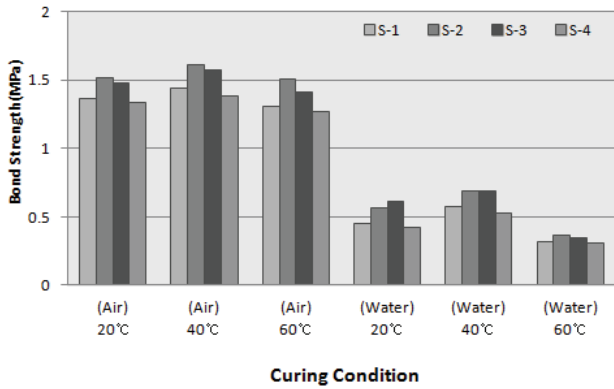


Fig. 4 Test results of Bond Strength depending on the Curing Condition (S-series)

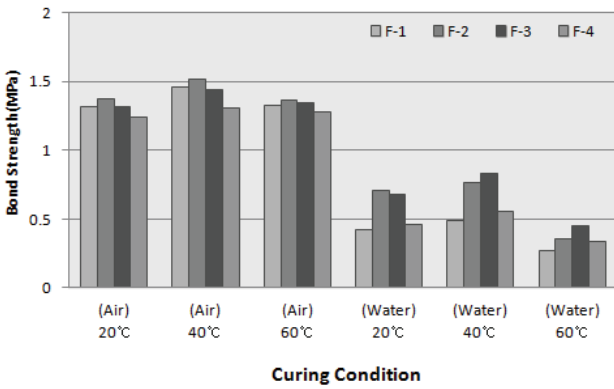


Fig. 5 Test results of Bond Strength depending on the Curing Condition (F-series)

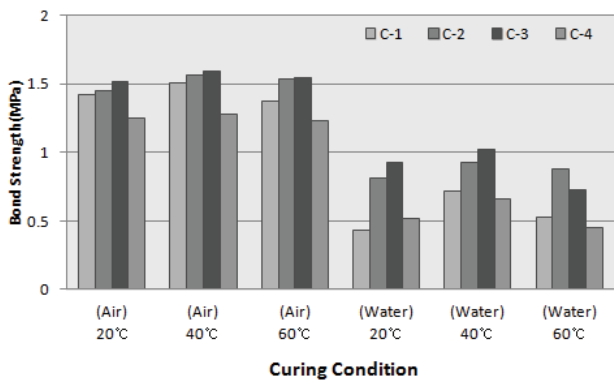
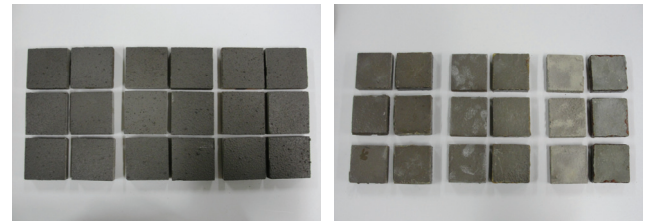
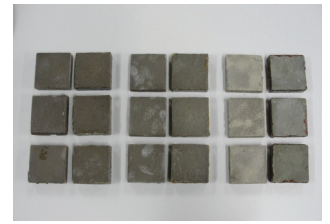


Fig. 6 Test results of Bond Strength depending on the Curing Condition (C-series)

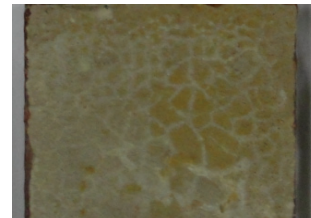
한편, C시리즈의 부착강도 변화는 압축강도와 마찬가지로 채움재로 S시리즈와 F시리즈의 경향과는 다소 차이를 보였다. 채움재 비율이 30%까지 증가할수록 강도도 높게 측정되었다. 하지만 40%에서는 급격한 강도저하가 나타났다. 이러한 특성은 채움재의 밀도 차이로 인해, 시멘트의 경우 수축



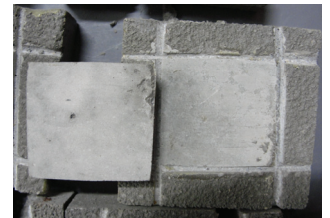
(a) Before Curing



(b) After Curing



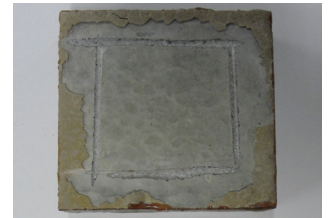
(c) Discoloration and Cracking



(d) Surface after Bonding Test



(e) Surface of S-2 at 40°C air



(f) Surface of C-4 at 60°C water

Photo 3 Bonding Test Specimens

시 공극을 채울 수 있는 채움재의 절대량이 상대적으로 작았기 때문에 판단된다. 또한, Photo 3(e, f)의 사진에서 나타난 바와 같이 부착강도 시험 시 박리가 모르타르판을 물고 떨어지는 것이 아니라 표면에서 박리가 되는 것으로 유휴폴리머와 콘크리트 사이의 부착이 이루어지지 않은 것으로 사료된다.

수중양생과 기건양생의 차이를 보면 다른 채움재를 사용한 배합에 비하여 강도감소가 줄어드는 것으로 나타났지만, 표면보호재의 부착강도 기준에는 못 미치는 것으로 나타났다. 하지만, 온도에 의한 영향은 동일하게 40°C에서 가장 높게 나타났으며, 20°C와 60°C에서의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

한편, Photo 2의 (c)에 나타난 바와 같이 모든 배합에서 60°C 양생하였을 경우 탈색 및 갈라짐 등이 나타났으며, 심한 경우 부착탈락까지 나타나 매우 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 부착강도 측정 후 표면에는 Photo 2의 (d)와 같이 표면보호재와 모르타르판 사이의 부착이 이루어지지 않은 것을 알 수 있다.

Table 8 Test Results of Harmful Materials Analysis

Test Item	Unit	Result
Ca ⁶⁺	mg/L	N. D. (LOQ 0.0070)
As	mg/L	N. D. (LOG 0.0050)
Hg	mg/L	N. D. (LOG 0.0005)
Pb	mg/L	N. D. (LOG 0.0400)
Cd	mg/L	N. D. (LOG 0.0020)
Cu	mg/L	N. D. (LOG 0.0080)
CN	mg/L	N. D. (LOG 0.0100)
TCE	mg/L	N. D. (LOG 0.0080)
PCE	mg/L	N. D. (LOG 0.0020)
OP	mg/L	N. D. (LOG 0.0005)
Oil	%	0.4

※ CN : Cyanogen, TCE : Trichloroethylene, PCE : Tetrachloroethylene
 OP : Organophosphate compound, N. D : Non-detection

부착강도 측정결과 표면보호재의 채움재로 규사를 20% 치환배합 하여 40°C의 기건상태에서 가장 우수한 부착특성을 나타내었다.

3.3 유해물질 용출량 측정 결과

산업부산물인 유황폴리머의 유해물질 용출량 측정 시험결과는 Table 8과 같다. 시험결과, 6가 크롬 및 비소, 수은, 납, 카드뮴, 구리, 시안 등의 중금속은 검출되지 않았다. 또한, 시안과 염소화합물인 삼염화에틸렌, 사염화에틸렌, 유기인산 화합물 (OP)과 같은 유기계 종류의 유해물질 성분 또한 용출되지 않았다. 한편, 산업부산물로 회수되는 유황폴리머의 특징으로 인한 기름성분이 0.4% 용출되었다.

이상의 결과로부터, 산업부산물인 유황폴리머를 활용한 표면보호재는 현재 환경정책 기본법 시행령과 폐기물 관리법에 규정되어 있는 유해물질에 대한 규정을 모두 만족시키게 되므로 유황폴리머는 용출에 대한 안전성을 확인할 수 있다.

4. 결론

이 연구에서는 산업부산물인 유황을 폴리머화하여 콘크리트 구조물의 표면보호재로 활용하고자 채움재 종류 및 양생 조건에 따른 역학적 특성을 파악하고, 유해물질의 용출을 검사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압축강도 특성을 평가한 결과, 채움재의 치환비율이 40%까지 증가할수록 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 양생 온도에 대한 영향은 채움재의 중

류에 따라 다른 경향을 나타냈다. 규사와 플라이애시를 채움재로 사용한 배합에서 온도가 60°C까지 증가할수록 압축강도가 증가하였으나 OPC를 채움재로 사용한 배합에서는 40°C에서 가장 높은 강도를 나타냈으며 60°C에서 낮은 강도를 나타냈다. 또한, 기건양생과 수중양생의 압축강도 차는 미미하여 수분에 대한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

- (2) 부착특성 평가 결과, 모든 배합조건에서 기건상태 40°C에서 가장 높은 부착특성을 보였으며, 수중양생의 부착강도가 매우 낮게 측정되어 양생 중 수분에 의한 영향은 매우 크게 나타났다. 또한, 온도에 의한 영향으로 변색이 나타나며, 60°C에서는 잔갈림이 나타났다. 규사 및 플라이애시를 채움재로 사용한 배합에서는 20%, OPC를 사용한 배합의 경우는 30% 치환한 배합에서 가장 우수한 부착성능을 나타내었다.
- (3) 산업부산물을 활용한 표면보호재의 주성분인 유황폴리머의 유해성 평가 결과, 현재 시행되고 있는 환경정책 기본법 시행령 및 폐기물 관리법에 규정되어 있는 유해물질이 미검출 됨에 따라 안전성이 있는 것으로 판단된다.
- (4) 산업부산물을 활용한 표면보호재의 채움재의 종류 및 치환비율, 양생방법에 대한 공학적 특성 및 유해성 평가 결과 본 연구의 범위 내에서는 규사를 20% 치환배합 한 표면보호재를 기건상태의 40°C에서 양생하였을 때 가장 우수한 성능을 나타낼 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

1. Abdel-Mohsen, O., Mohamed, Maisa El Gamal (2009), Hydro-mechanical behavior of a newly developed sulfur polymer concrete, *Cement and Concrete Composites*, 31(3), 186-194.
2. Bea, S. G., Gwon, S. W., Kim, S. W., Cha, S. W. (2014), Physical Properties of Sulfur Concrete with Modified Sulfur Binder, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 34(3), 763-771.
3. Hyun, J. H., Bang, J. W., Seo, U. C., Kim, Y. H., Park, J. M., Kim, Y. Y. (2012), The experimental study on the strength properties of concrete using Sulfur Polymer, *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, 2012(10), 2437-2440.
4. Jung, B. Y., Lee, S. S., Song, H. Y. (2014), 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*, 14(1), 61-67.
5. Kalb, P. D., Heiser III, J. H., Colombo, P. (1991), Modified sulfur cement encapsulation of mixed waste contaminated incinerator fly ash, *Waste Management*, 11(3), 147-153
 6. KIGAM (2010), Resources overview, MiCI (Mineral Commodity Information).
 7. Lee, B. J., Lee, E. S., Chung, W. J., Kim, Y. Y. (2014), 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*, 18(5).
 8. Mariusz Książek (2011), The experimental and innovative research on usability of sulphur polymer composite for corrosion protection of reinforcing steel and concrete, *Composites Part B: Engineering*, 42(5), 1084-1096.
 9. Milica, M., Vlahović, Predrag, B., Jovanić, Sanja, P., Martinović, Tamara, Đ., Boljanac, Tatjana, D., Volkov-Husović (2013), Quantitative evaluation of sulfur-polymer matrix composite quality, *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 458-466.
 10. Ministry of environment (2007), Test methods of waste processing.
 11. Nam, Y. H., Chung, Y. J., Jang, S. H., An, Y. K. (2006), An Experimental Evaluation on Performance of Surface Protector for Concrete Structures, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 10(5), 157-162.
 12. Park, S. B., Hong, C. H., Kim, S. C., Kim, K. H. (2007), Experimental Study on Development of Artificial Fishing Reefs Using Environment-Friendly Sulfur Concrete, *Journal of ocean engineering and technology*, 21(3), 58-64.
 13. Yahia Abdel-Jawad, Muhammad Al-Qudah (1994), The combined effect of water and temperature on the strength of sulfur concrete, *Cement and Concrete Research*, 24(1), 165-175.
 14. Yoon, J. H. (2006), An Experimental Study on the Durability of Sulfur Concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 22(6), 95-102.

Received : 08/13/2014
 Revised : 09/29/2014
 Accepted : 10/02/2014

요 지

콘크리트의 화학적 침식은 콘크리트 구조물의 내구성 감소로 이어져 문제가 되고 있다. 현재 사용되고 있는 콘크리트 표면보호재의 내구 수명이 짧아 유지보수에 많은 비용과 노력이 요구되고 있다. 한편 국내 산업시설에서 유황의 부산량이 늘어나고 있으나, 소비량이 한정되어 있어 잉여유황이 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 유황폴리머를 콘크리트의 표면보호재로 사용하기 위한 연구로써 채움재의 종류 및 양생조건에 따른 역학적 특성을 평가하였고, 유황폴리머에 대한 유해성을 평가하였다. 압축강도 평가 결과 채움재의 치환비율이 40%까지 증가할수록 압축강도 또한 증가하였으며, 채움재의 종류에 따라 양생온도 40°C (SS, FA)와 60°C (OPC)에서 높은 압축강도를 나타냈다. 기건양생과 수중양생의 압축강도 차는 미미한 것으로 나타나 양생 시 수분에 의한 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 부착강도 평가 결과 채움재의 종류와 무관하게 기건상태 40°C에서 가장 높은 부착강도를 나타냈으며, 수중양생시 기건양생에 비하여 부착이 되지 않는 것으로 나타났다. 또한 60°C에서 양생한 공시체의 경우 온도에 영향을 받아 변색 및 잔갈림 등이 나타났으며, 채움재의 종류에 따라 치환 비율 20% (SS, FA) 30% (OPC)에서 가장 높은 부착강도를 나타냈다. 유해물질 용출시험 결과, 유해물질이 용출되지 않아 유황폴리머를 활용한 표면보호재의 유해성이 없는 것으로 판단된다. 본 연구범위에서 검토한 결과, 유황폴리머를 표면보호재로 활용하기 위해서는 규사를 20% 정도 치환하여 배합하고 40°C의 기건상태에서 양생하는 것이 가장 적절한 것으로 판단된다.

핵심 용어 : 유황폴리머, 콘크리트 표면보호재, 강도, 유해물질, 양생조건