Sulfur Polymer Emulsion을 활용한 반강성 포장용 시멘트 주입재의 특성

Properties of SPE-Based Cement Grout for Semi-Rigid Pavements

이 병 재¹⁾
Byung-Jae Lee

이 준²⁾
Jun Lee

현 정 환³⁾
Jung-Hwan Hyun

김 윤 용^{4)*}
Yun-Yong Kim

Abstract

The development of the oil refining industry has resulted in an annual 120 million tons of sulphur, which is a by-product of the desulphurization process. To exploit this abundance, the applications of sulphur must be expanded. As excellent durability of reuse of leftover sulphur which has high potential for utilization in construction materials, the study is actively in progress. Meanwhile, there has been active research on semi-rigid pavements that draw on the strengths and overcome the weaknesses of asphalt and concrete pavements. Acrylate is used to prevent cracking but involves a high cost, thus, an alternative material is required. As such, this study presents methods on the reuse of leftover sulphur and examines the engineering performance of grout containing sulfur polymer emulsion (SPE) for use in semi-rigid pavements. Our analysis shows that grout in which 30% of acrylate is replaced with SPE has superior properties in terms of time of flow and strength compared to regular grout. However, performance declined when more than 50% of acrylate was replaced by SPE, indicating that the optimum replacement level is 30%. Through SEM analysis, we found that grout with ultra hardening cement in this study at three hours had similar hydration properties to that of Type 1 Ordinary Portland Cement (OPC) at seven days, and maintained the properties regardless of grout containing SPE. OPC and grout with a replacement level of 30% displayed similar levels of chloride invasion resistance, whereas grout without SPE was far less resistant. Within the scope of this paper, the optimum replacement level of acrylate with SPE was found to be 30% in consideration of various properties such as time of flow, strength, and chloride invasion resistance.

Keywords : Semi-rigid pavement, Sulfur Polymer Emulsion, Ultra rapid hardening cement, Grout

1. 서론

최근 환경에 대한 관심 증가로 현대 산업의 근간인 석유자원의 사용으로 인해 발생하는 환경오염을 저감시키기 위한 노력이 전 세계적으로 이루어지고 있는 실정이다. 특히 정유과정 중 발생하는 황은 대기오염의 주요인이며 이를 감소시키기 위해 저유황유의 생산과 사용을 장려하고 있다. 그러나 탈황공정에서는 필연적으로 유황이 부산되게 되며, 이와 같은 유황은 폐기시 환경부하를 가중시키는 요인으로 작용하나 유효활용 시 고부가가치의 산업자원으로 활용가능하다는 특징을 가지고 있다.

한국지질자원연구원 통계자료에 의하면 현재 국내유황 발생량은 120만톤 이상 발생하고 있으며, 최근에는 최대 유황수입국인 중국의 수입량감소로 인하여 국내 잉여유황이 급격히 증가하고 있는 실정이다 (MKE, 2011).

한편, 국내의 도로포장은 중차량의 증가와 이상고온 현상 등으로 매우 가혹한 조건에서 공용되고 있고, 아스팔트포장이 가지고 있는 연성의 특징 때문에 소성변형이 유발된다. 이러한 소성변형으로 유지보수기간 단축과 유지보수비용 증가 등 사회적인 문제로 대두되고 있다 (Park et al., 2006; Lee et al., 2012). 또한 이상기온으로 잦은 겨울철 폭설은 많은 양의 제설제가 살포되고 이로 인하여 아스팔트 도로 표

1) 정회원, 충남대학교 토목공학과 박사후연구원

2) 정회원, 한국건설생활환경시험연구원 선임연구원

3) 정회원, 충남대학교 토목공학과 박사과정

4) 정회원, 충남대학교 토목공학과 부교수, 교신저자

* Corresponding author : yunkim@cnu.ac.kr

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2013년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

면이 변형되고 탈락되는 포트홀 (pot hole)이 발생되어 주행성 저하 및 교통사고 유발 등의 문제가 발생한다. 이러한 문제로 고속국도 등 자동차 전용도로에서는 콘크리트 포장에 많이 시공되고 있으나 콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비하여 양생기간이 길고 주행성이 나쁜 단점을 가지고 있어서 교통개방이 긴급한 도로에서는 적합하지 않고, 양생에 따른 교통지체는 사회간접비용을 증가시키게 된다. 이러한 콘크리트포장 및 아스팔트 포장의 문제점을 해결하기 위하여 반강성 포장방법이 국내·외에서 활발히 연구되어 적용되고 있다 (Park, 2008; Baek, 2010). 반강성 포장은 공극이 큰 개립도 타입의 반강성 포장용 아스팔트 혼합물에 시멘트 주입재를 충전한 포장방법이다. 이 포장방법은 아스팔트 포장의 연성과 콘크리트 포장의 강성 및 내구성을 복합적으로 활용하는 장점이 있다. 하지만, 현재 주로 시공되어지는 반강성 포장공법에 사용되는 주입재는 초속경시멘트에 균열억제 등의 목적으로 아크릴레이트를 혼합하여 제조되는데, 아크릴레이트의 높은 비용으로 인하여 경제성이 낮은 단점을 가진다. 따라서 아크릴레이트를 대체할 수 있는 보다 경제성 있는 재료에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 정유산업 부산물인 유황을 에멀전화한 유황폴리머에멀전 (sulfur polymer emulsion SPE)을 반강성 포장용 주입재의 아크릴레이트 대체재로서의 활용 가능성을 검토하기 위하여 SPE의 혼합물에 따른 반강성 포장용 시멘트 주입재의 물리·역학적 성능을 검토하고, 염해저항성 등의 내구성능을 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

이 연구에 사용된 시멘트는 반강성 포장재의 주입재로 제조시 조기강도 확보를 위하여 국내 J사에서 생산되는 밀도 2.7g/cm^3 , 분말도 $4,480\text{cm}^2/\text{g}$ 의 초속경시멘트를 사용하였으며 초속경시멘트의 화학적 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of cement

Item	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O
component ratio (%)	0.3	1.1	16.1	11.7	15.3	0.5
Item	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	Ig.loss	Total
component ratio (%)	0.8	2.4	0.1	47.2	4.5	100

또한, 염해저항성 평가를 위해 사용된 OPC는 국내 D사의 밀도 3.14g/cm^3 , 분말도 $3,200\text{cm}^2/\text{g}$ 의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2.1.2 아크릴레이트

이 연구에서는 반강성 포장재 주입재로 사용시 균열억제 등의 목적으로 시멘트 혼화용 제유화제 수지로서 아크릴공중합체를 주성분으로 하는 아크릴레이트를 사용하였으며, 그 특성은 Table 2와 같다.

2.1.3 유황폴리머에멀전

이 연구에서 사용한 SPE는 정유 공정에서 발생하는 유황 모노머에 cyclopentadine oligomer와 dicyclopentadiene을 함유하는 개질제 (modifier)를 첨가하여 약 $130\sim 140^\circ\text{C}$ 의 온도에서 1차 액상 중합을 실시하였다. 그리고 1차 중합된 유황 모노머 (sulfur monomer)와 olefinic hydrocarbon을 사용하여 개질된 농축액을 10:1의 중량비로 혼합한 후 $130\sim 140^\circ\text{C}$ 의 온도에서 2차 액상 중합시키고 여기에 solvent와 surfactant가 혼합된 계면활성제를 첨가하고 이를 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 의 온도에서 가열하여 최종적인 유황폴리머에멀전을 제조하였으며, 제조 과정은 Fig. 1에 나타내었다. 또한, 제조된 유황폴리머에멀전의 물리적 특성은 Table 3에 나타내었으며, SEM 및 EDX 분석결과는 Fig. 2와 같다.

Table 2 Properties of acrylate

Item	Appearance	Solid contents	Viscosity	pH	Ionicity	Density
Acril emulsion	White liquid	45.3%	360cps	8.5	Anionic	1g/cm^3

Fig. 1 Emulsifying process of sulfur polymer

Table 3 Properties of sulfur polymer emulsion

Item	Appearance	Solid contents	Viscosity	pH
SPE	Brown liquid	42.8%	35cps	10.9

Fig. 2 SEM & EDX analysis of sulfur polymer emulsion

Fig. 3 P-plot test

2.2 실험방법

2.2.1 유동특성

반강성 포장용 주입재의 유동특성 평가는 ASTM C939:10 「Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete」에 의하여 수행하였으며, 시험용 기구는 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 용기에 주입용 굳지 않은 시멘트 페이스트를 일정 높이까지 채운 후 유출하고, 유출시 페이스트가 처음 끊어질 때까지의 시간을 측정하여 평가하였다.

2.2.2 응결시간

반강성 포장용 시멘트 주입재의 작업시간 확보와 조기강도 확보정도를 평가하기 위하여 시멘트 페이스트의 응결시간을 측정하였다. 측정은 KS L 5108 「비카트 침에 의한 수경성 시멘트의 응결시간 시험 방법」에 준하여 측정하여 분석하였다.

Fig. 4 Bond strength test

2.2.3 SEM 분석

시멘트 주입재의 재령 및 배합요인별 양생특성을 검토하기 위하여 장방출 주사전자현미경을 이용하여 시편의 절단면을 촬영하여 분석하였다.

2.2.4 압축강도 및 휨강도

반강성 포장용 시멘트 주입재의 강도특성 평가는 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 준하여 30ton 유압식 만능시험기를 사용하여 휨강도와 압축강도를 측정하였다.

2.2.5 부착강도

배합조건별 공시체의 부착강도 시험은 KS F 2476 「폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법」에 준하여 측정하였으며, Fig. 4의 개요도와 같은 시험체를 제작하였다. 시험체는 70×70×20mm의 표준모르타르 배드를 제작하여 7일 이상 양생한 후, 40×40×10mm 크기의 몰드를 배드위에 설치한 뒤 시멘트 주입재를 타설하여 재령 28일에 측정하였다.

2.2.6 염해저항성

콘크리트에서 염화물이온의 중요한 침투과정은 확산현상이기 때문에 확산계수를 사용하여 염화물이온의 농도추정 및 염해에 대한 내구성을 평가하였다. 본 연구에서는 시험체의 염화물 확산계수 측정을 위해 유럽의 Duracrete 모델에 적용되는 전기적 촉진시험방법인 NT Build 492 「Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments」에 준하여 시험을 실시하였으며 시험 장치는 Fig. 5와 같다. 시험을 위해 $\Phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체를 두께 50 ± 2 mm로 절단하여 rubber sleeve와 조립하였다. 양극

Fig. 5 Migration coefficient apparatus

(+)에는 0.3M의 NaOH 수용액, 음극 (-)에는 10%의 NaCl 수용액을 채워 전기적 전위차를 가하였으며 초기 전압은 30V로 하여 최초 인가시의 전류값을 측정하고 그에 따른 인가전압을 설정하여 전류값에 따른 시험시간을 결정하였다. 시험종료 후 시험체를 쪼개 면에 0.1N의 질산은 (AgNO_3) 수용액을 분무하여 은색의 염화물 침전물이 육안으로 확실하게 나타날 때, 대략 10mm 간격으로 염화물 침투깊이를 측정한 후 평균값을 산출하였다. 염화물 확산계수는 다음 식 (1)을 사용하여 계산하였다.

$$D_{nssm} = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (1)$$

여기서, $E = \frac{U-2}{L}$, $\alpha = 2\sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1}(1 - \frac{2c_d}{c_0})$

D_{nssm} : 비정상상태에서의 염화물 확산계수, m^2/s

z : 이온의 원자가, (염소이온의 경우 $z = 1$)

F : 패러데이 상수, $F = 9.648 \times 10^4 \text{ J (V} \cdot \text{mol)}$

U : 양극과 음극 사이의 전압차, V

R : 기체 상수, $R = 8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

T : 애노드 용액 (양극셀)의 초기 및 마지막 온도의 평균값, K

L : 시편의 두께, m

x_d : 염화물 침투깊이의 평균값, m

t : 실험 지속시간, seconds

erf^{-1} : Error function

c_d : 질산은에 의한 반응 농도, 0.07 N

c_0 : 캐소드 용액 (음극셀)의 염화물 농도, 2 N

2.3 배합

반강성 포장용 시멘트 주입재의 배합요인별 물리·역학적 특성을 분석하기 위하여 사전실험을 통하여 초속경시멘트의 혼합비율을 선정하여 하였다. 유황폴리머에멀전의 재활용 가능성을 평가하기 위하여 아크릴레이트의 대체비율 (0, 5, 10, 20, 30, 50%)을 변화시켜 배합을 실시하였으며, 배합표는 Table 4와 같다.

한편, SEM분석 및 염해저항성 평가시 아크릴레이트의 혼합유무에 따른 영향을 평가하기 위하여 보통포틀랜드시멘트 (OPC)를 사용한 W/B 40%의 페이스트를 추가로 제작하여 검토하였다.

믹싱은 시멘트의 분산성을 높이기 위하여 스탠드형 믹서를 사용하여 먼저 물, 아크릴레이트, SPE를 투입하고 750rpm으로 60초간 혼합한 후 초속경시멘트를 투입한 후 다시 120초 동안 혼합하는 분할투입방법으로 혼합을 실시 하였다.

Table 4 Mix proportions

Mix No.	W/B (%)	SPE ¹⁾ Content (%)	Unit Weight (kg/m^3)				
			$C_1^{2)}$	$C_2^{3)}$	W	$A^{4)}$	SPE
I-0 (OPC)	40	—	1,388	—	555.2	—	—
I-1 (Plain)		—	—	1,150	319.5	255.5	—
I-2		5	—	1,150	319.5	242.7	12.8
I-3		10	—	1,150	319.5	229.9	25.6
I-4		20	—	1,150	319.5	204.3	51.2
I-5		30	—	1,150	319.5	178.8	76.7
I-6		50	—	1,150	319.5	127.7	127.8

SPE¹⁾ : sulfur polymer emulsion, $C_1^{2)}$: ordinary portland cement
 $C_2^{3)}$: ultra rapid hardening cement, $A^{4)}$: Acrylate

2.4 공시체 제작 및 양생

반강성 포장용 시멘트 주입재는 유동성이 높기 때문에 다짐은 따로 하지 않으나, 아크릴레이트로 인한 거품이 발생하므로 믹싱 후 약 5분간 용기에 보관 후 상부의 거품을 걷어낸 후 몰드에 타설 하였다. 타설된 공시체는 온도 25℃, 습도 60%의 조건에서 기건양생을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동특성

반강성 포장용 시멘트 주입재의 균열억제 등의 목적으로 혼입되는 아크릴레이트를 SPE로 0%~50%까지 대체하여 유동특성을 검토한 결과는 Fig. 6과 같다. 국내의 반강성 포장용 주입재의 유동특성 기준은 10~14초이며, 일본의 경우 9~13초로 규정하고 있어, 본 연구에서는 국내외 기준을 모두 만족할 수 있는 10~13초를 목표로 하였다. 시험결과 SPE의 대체혼입률 0~10%까지는 거의 동일한 유하시간을 나타내었으며, 대체율이 증가한 20~30%범위에서는 유하시간이 증가하는 경향을 보였으나 본 연구에서 목표로 한 범위를 초과하지는 않았다. 그러나 SPE를 50% 대체한 배합에서는 목표시간을 초과하는 결과를 나타내었다.

따라서, 본 연구에서 제시한 배합 조건을 기준으로 보면 아크릴레이트에 대한 SPE 대체율은 30% 이하가 적절한 것으로 판단된다.

3.2 응결시간

반강성 포장용 시멘트 주입재의 응결시간을 측정하기 위

Fig. 6 Result of P-Iot test

하여 주입재의 배합 후 10분 후부터 비카트 침 장치를 이용하여 시험을 수행하였다. 비카침 방법에 의해 초결 및 종결을 측정한 결과는 Fig. 7과 같다. 배합조건별 초결은 모든 조건에서 30분 이내에 초결이 이루어졌으며, 초결 후 약 10분 내에 종결이 이루어져 초속경시멘트의 성능을 확인 할 수 있었다.

또한, 아크릴레이트에 대한 SPE의 대체율에 따른 영향을 검토해보면, SPE를 50% 대체혼입 하였을 경우, 초결이 30분정도에 이루어져 다른 배합조건에 비해 늦은 초결시간을 나타내었으며, 기타 배합조건에서는 초결이 23분~26분정도로 유사하게 나타났다. 이는 유동특성의 데이터와 상반된 결과로서, 유동특성이 가장 낮은 배합이 SPE 대체율 50%이었지만, 초결이 가장 늦은 결과를 나타내었다. 이는 SPE제조 시 사용되는 물의 양이 아크릴레이트보다 많아 아크릴레이트를 SPE로 대량대체하면 시멘트 주입재 믹싱시 물량이 증가하여 응결시간이 지연된 것으로 판단된다.

3.3 SEM 분석

반강성 포장공법의 개립도 주입재인 시멘트 페이스트의 배합조건 및 재령별 수화상태를 평가하기 위하여 SEM 분석한 결과는 다음 Fig. 8(a)~(g)에 나타난 바와 같다. 수화상태는 OPC의 경우 Fig. 8(a)에서 나타난 바와 같이 보통 재령 7일 정도에서 에트린자이트 및 C-S-H겔의 생성이 활발히 이루어짐을 알 수 있다. 이를 기준으로 평가 하였을 때, 초속경시멘트를 사용한 배합의 경우, 재령 3시간부터 1일 사이에 에트린자이트의 생성이 활발히 진행되는 것으로 나타났으며 모든 배합조건에서 에트린자이트 및 C-S-H겔의 생성은 재령 초기 (3시간)부터 활발히 이루어져 초속경시멘트의 경화에 SPE의 혼입이 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 7 Result of setting time test

Fig. 8 Result of SEM analysis

3.4 강도특성

반강성 포장용 주입재의 아크릴레이트에 대한 SPE의 대체율별 압축강도 및 휨 시험결과는 Fig. 9~Fig. 10에 나타낸 바와 같다. 압축강도의 국내 도로교통협회에서 제안한 기준은 7일강도 기준으로 10~30MPa이며, 일본교통협회의 경우는 15~36MPa로 규정하고 있다. 본 연구에서는 긴급 도로보수 등 교통개방시기의 조절을 위하여 3시간 기준으로 21MPa이상, 7일 기준 36MPa 이상을 목표로 하여 제작하였다.

아크릴레이트에 대한 SPE의 대체율에 따른 압축강도 실험 결과를 평가한 결과, SPE의 대체율 20%정도까지는 Plain에 비하여 유사한 압축 강도 경향을 나타내었지만, 그 이상에서는 감소하는 경향을 나타내어 SPE 대체율 50%에서는 Plain에 비하여 재령 56일에 18.6%의 강도 저하를 나타내었다. 이는 아크릴레이트에 비하여 고흡분량이 작은 유황폴리머에 멀전이 대량 혼입되어 시멘트 페이스트의 강도가 낮아진 것으로 판단된다.

이 연구에서 목표를 한 기준으로 평가하였을 때에는 모든

Fig. 9 Result of compressive strength test

Fig. 10 Result of flexural strength test

배합조건에서 압축강도가 3시간 21MPa, 7일 36MPa의 조건을 만족하는 것으로 나타났다.

힘강도의 국내 도로교통협회에서 제안한 기준은 7일에서 2MPa이상으로 규정되어 있다. 배합조건별 힘강도 특성을 분석한 결과, 재령 1일 후 국내 도로교통협회에서 제안한 2MPa를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

또한, 아크릴레이트에 대한 SPE의 대체율에 따른 힘강도 시험결과는 압축강도 시험결과와 유사한 경향을 나타내어 상관성이 높은 것으로 판단된다.

3.5 부착강도

시멘트 주입재와 개립도 아스팔트간의 부착성능 평가를 위하여 시멘트 주입재를 KS F 4716에 의해 제작된 배드(모르타르) 위에 타설하여 공시체를 제작하였으며, 28일간 온도 25°C, 습도 60%의 조건에서 양생을 하였다. 양생이 완료된 시험체의 상단에 접착제(에폭시)를 도포하고 인장용 지그를 접착하여 24시간 후에 부착강도를 측정하였으며 그 결과는 Fig. 11과 같다.

아크릴레이트에 대한 SPE의 대체율에 따른 부착강도 경향을 분석해 보면, 대체율 30% 수준까지는 Plain에 비하여 부착강도가 높은 경향을 나타내었으나, 그 이상에는 감소하여 대체율 50%에서는 부착강도가 10.9% 까지 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 아크릴레이트에 대한 SPE의 대체율이 증가됨에 따라 혼입된 유허성분이 시멘트 주입재와의 반응으로 결합력이 증대되어 강도가 미소하지만 증가한 것으로 판단되며, 대체율 30% 초과시 부착강도가 감소되는 것은 아크릴레이트를 SPE로 대량 치환함으로서 아크릴레이트의 점성

Fig. 11 Result of bond strength test

이 급격히 감소되었기 때문으로 판단된다. 부착강도에 대한 국내의 기준은 없으나, 모르타르 보수재의 부착강도 기준이 1MPa이상임을 감안할 때 반강성 포장용 시멘트 주입재의 부착성능은 모든 배합조건에서 우수한 것으로 판단된다.

3.6 염해저항성

겨울철 제설제로 사용되는 염화칼슘의 영향으로 포장체의 열화가 발생하는 것을 방지하기 위하여, 반강성 포장용 주입재의 염해저항성을 염화물 확산계수 시험으로 평가하였으며 그 결과는 Fig. 12와 같다.

염소이온침투저항성 평가를 위하여 시멘트 주입재 배합 외에 OPC로 아크릴레이트를 혼합하지 않은 공시체 (I-0, OPC배합)를 제작하여 아크릴레이트의 염해저항성을 동시에 평가 하였다. 아크릴레이트를 혼합하지 않은 OPC배합에 비하여 아크릴레이트를 혼입한 Plain의 배합에서는 염소이온

Fig. 12 Result of chloride ion diffusion coefficient test

확산계수가 2.76배 증가하여 염해저항성이 취약해지는 것으로 나타났다. 이는 아크릴레이트의 경우 물에 포화되면 공시체가 팽창하는 특성을 나타내기 때문에 시멘트 페이스트의 매트릭스가 느슨해져 염해저항성이 저하되는 것으로 판단된다. 아크릴레이트에 대한 SPE의 대체율에 따른 경향은 유황의 우수한 내화학과 유사한 경향을 보였다. 즉 대체율이 높아짐에 따라 염해저항성이 급격히 향상되어 SPE 대체율 20%와 30%에서는 OPC보다 우수한 염해저항성을 나타내었다. 하지만 아크릴레이트에 대한 SPE 대체율 50%에서는 20%와 30%보다 감소되어 대량의 SPE의 치환은 시멘트 페이스트의 염해저항성 향상에 도움이 되지 못하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

이 연구에서는 정유산업 부산물인 유황을 에멀전화한 SPE를 반강성 포장용 시멘트 주입재의 원료 중 아크릴레이트를 대체하는 재료로서의 활용 가능성을 검토하기 위하여 주입재의 물리·역학적 성능 및 염해저항성을 평가하였으며, 본 연구의 범위 내에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 반강성 포장용 시멘트 주입재의 유동성 및 응결특성 평가 결과, 아크릴레이트에 대한 SPE 대체율 30%까지는 국내·외 품질기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 50%이상 대체시 유동성이 급격히 저하되며 응결시간도 지연되는 것으로 나타났다.
- (2) 아크릴레이트를 SPE로 치환한 시멘트 주입재의 재령별 SEM 분석결과, 초속경 시멘트를 사용한 주입재는 약 3시간의 재령에서 OPC의 7일 재령에 해당되는 수

화 특성을 나타내었고, SPE의 혼입 여부와 상관없이 그 특성을 유지하는 것으로 나타났다.

- (3) 강도특성 평가 결과, 압축강도 및 휨강도의 경향이 유사하게 나타났으며, 아크릴레이트에 대한 SPE의 대체율에 따른 경향은 SPE 대체율 30% 초과시 Plain보다 강도가 저하되었지만 모든 배합조건에서 국내외 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다. 부착강도 검토결과는 SPE 대체율 30%까지 Plain에 비하여 우수한 부착강도를 나타내어 아크릴레이트의 대체체로서 SPE의 적용 가능성을 확인하였다.
- (4) 반강성 포장용 시멘트 주입재의 단점인 염해저항성 평가 결과, SPE 혼입률 30% 수준에서 OPC를 사용한 경우와 유사한 경향을 나타내 아크릴레이트를 SPE로 치환하지 않은 Plain에 비하여 2.8배 우수한 염해저항성을 나타내었다.
- (5) 반강성 포장용 시멘트 주입재의 아크릴레이트 대체재료로서 SPE의 활용가능성을 평가한 결과, 역학적 성능과 내구성능을 만족하면서 경제성을 확보할 수 있는 SPE의 적정 대체율은 30% 수준인 것으로 판단되며, 향후 개립도 아스팔트에 주입한 반강성 포장체에 대한 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국연구재단 기초연구사업 (No.2011-0024924)과 산학협동재단의 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

References

1. ASTM C 939:10, "Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)", American Society of Testing Materials, 2010.
2. Baek, S. H., "Fracture toughness of semi-rigid asphalt concrete", Kangwon national university graduate school, 2010, pp.42-45 (in Korean).
3. Lee, B. J., Bang, J. W., Hyun, J. H., Kim, Y. Y., Noh, J. H., Lee, J., "Flowing and strength properties of cement concrete grouts for bridge deck pavements using Sulfur Polymer Emulsion", Proceedings of the Korea concrete institute, Vol. 24, No. 2, 2012. pp.261-262 (in Korean).
4. Ministry of knowledge economy, "Supply and demand situation of mineral produce in 2011", Korea institute of geoscience and mineral resources, 2012, pp.119-120 (in Korean).
5. NT-Build 492, "Concrete, Mortar and Cement-Based Repair

-
- Materials : Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments”, Nordtest, Finland, 1999.
6. Park, K. Y., Lee, J. J., Kwon, S. A., Jeong, J. H., “Evaluation of Functional and Structural Performance of Semi Rigid Overlay Pavements”, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 30, No. 3D, 2010, pp.271-278 (in Korean).
7. Park, T. S., “Evaluation of the Performance and Moisture Retaining Ability in Semi-Rigid Pavement”, Korean Society

of Road Engineers, Vol. 10, No. 1, 2008, pp.69-79 (in Korean).

Received : 03/22/2013

Revised : 04/08/2013

Accepted : 04/12/2013

요 지

정유산업의 발달로 인하여 탈황과정에서 대량 발생하는 부산물인 황은 연간 120만톤 이상 발생되고 있으나 그 활용처가 제한되어 있어 수요처확보가 요구되는 실정이다. 이러한 부생유황은 내구성이 우수한 재료로서 건설재료에 활용가능성이 높아 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 한편, 아스팔트 및 콘크리트 포장의 단점을 보완하고 장점을 강화시킨 반강성 포장의 적용이 증대되고 있으나 균열억제 등의 목적으로 사용되는 아크릴레이트의 높은 비용으로 경제성이 저하되어 대체 재료의 개발이 요구되는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 부생유황의 재활용 방안 제시와 sulfur polymer emulsion (SPE)을 혼입한 반강성 포장용 주입재의 공학적 성능검토 연구를 수행하였다. 평가 결과, 아크릴레이트를 SPE로 30%까지 대체한 주입재는 대체하지 않은 주입재에 비하여 우수한 유하시간과 강도특성을 나타내었다. 그러나 SPE 대체율이 50% 이상인 주입재는 오히려 성능이 떨어지는 경향을 나타내어 SPE의 적정 대체율은 30% 수준인 것으로 나타났다. SEM 분석을 이용하여 1종 보통포틀랜드시멘트 (OPC) 페이스트와 비교 연구를 수행한 결과, 초속경 시멘트를 사용한 주입재는 약 3시간의 재령에서 OPC의 7일 재령에 해당하는 수화 특성을 나타내었고 SPE의 혼입 여부와 상관없이 그 특성을 유지하는 것으로 나타났다. SPE를 30% 수준으로 대체한 주입재의 염해저항성은 OPC 수준에 해당되어 아크릴레이트만을 주입한 주입재에 비하여 월등히 우수한 성능을 보였다. 유하시간, 강도특성, 염해저항성 등을 모두 고려하여 볼 때, 이 연구의 범위에서는 SPE 대체율 30%가 적정 수준의 대체율인 것으로 나타났다.

핵심 용어 : 반강성포장, 유황폴리머에멀전, 초속경시멘트, 주입재