

## Durability of concrete using sulfur-modified polymer

Chang Woo Hong<sup>†</sup>

Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 27469, Korea

(Received September 3, 2015)

(Revised September 11, 2015)

(Accepted September 18, 2015)

**Abstract** Most of the sulfur is obtained from desulfurization of natural gas and crude oil. In Korea, more than 120 tons of sulfur are produced by refinery, and about 50 % of the produced sulfur is used as a raw material for the production of fertilizer and sulfuric acid. Modified sulfur is manufactured from excessive sulfur that could be used to improve concrete properties, and this study evaluated concrete strength and durability that contains modified sulfur. Flexural and compressive strengths of concrete with sulfur modified polymer were comparable to those of OPC concrete with mixing water at similar temperatures, while the strengths increased a little as mixing water temperature increased. It was also confirmed that the resistance to freeze-thaw damage was more dependent on entrained air characteristics obtained by a proper use of air entraining agent than on the use of sulfur modified polymer. When concrete was immersed in 5 % sulfuric acid, the rate of reduction in compressive strength of OPC concrete was less than ¼ of the strength reduction of concrete with sulfur modified polymer. Also, the resistance of concrete with sulfur modified polymer to scaling due to the use of de-icing salt was evaluated as Class 1, while that of OPC concrete was evaluated as Class 4, as aggregates were exposed. Accordingly, it is believed that sulfur modified polymer could be effectively used for bridge deck concrete since sulfur modified polymer improves the durability of concrete.

**Key words** Sulfur-modified polymer, Durability, Concrete, Scaling

## 개질유황 폴리머를 사용한 콘크리트의 내구성 평가

홍창우<sup>†</sup>

한국교통대학교 토목공학과, 충주, 27469

(2015년 9월 3일 접수)

(2015년 9월 11일 심사완료)

(2015년 9월 18일 게재확정)

**요약** 황의 대부분은 천연가스와 원유를 탈황시켜 얻게 되며, 국내 정유 플랜트에서는 120만톤 이상 발생하고 있으며, 50 % 정도만이 비료 및 황산등을 만드는 원료로 소모되고 있다. 이에 산업부산물로 얻어지는 황을 콘크리트에 적용하기 위해 개질유황이 제조되고 있어, 이를 활용한 콘크리트의 강도 및 내구성을 평가하였다. OPC에 비해 개질유황 폴리머를 사용할 경우 압축 및 휨강도는 동일 배합수 온도에서는 유사하였으며, 배합수 온도가 증가함에 따라 강도는 다소 증가하였다. 또한 동결융해에 따른 저항성은 개질유황 폴리머의 영향보다는 공기연행체의 사용으로 제어가 됨을 확인하였다. 그리고 5 % 황산 침지에 따른 압축강도 저하율은 개질유황 폴리머를 사용한 콘크리트가 OPC보다 4배 이상 우수하였다. 그리고 제빙염에 대한 표면박리 저항성도 개질유황을 사용한 경우는 표면박리가 발생되지 않은 1등급, OPC의 경우는 골재가 노출되어 4등급으로 평가되었다. 따라서 개질유황 폴리머를 콘크리트에 개질제로 사용할 경우 내구특성이 우수하여 교면포장 등에 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 1. 서론

정유산업에서의 탈황시설이 의무화되면서 산업부산물

로서 유황의 발생량은 매년 증가하고 있는 실정이다. 하지만 부산된 유황은 50 % 정도만이 비료 및 황산 등을 만드는 원료로 소비되며, 일부 화장품 및 제약 관련 분야도 소규모로 소모되고 있어 새로운 소비처를 필요로 하고 있다[1, 12]. 국내에서는 황의 생산량은 2009년 기준 120만톤이 생산되었으며, 세계적으로도 2007년 기준으로 1,000억톤에 이르고 있다. 미국에서는 공급 과잉

<sup>†</sup>Corresponding author  
Tel: +82-43-841-5418  
Fax: +82-43-841-5180  
E-mail: cwhong@ut.ac.kr

상태의 유황 문제 해결을 위해 유황을 건설재료로 활용하기 위한 연구를 착수하면서 시작되었으며, 60%의 모래와 40% 유황을 혼합시 우수한 강도와 내산성을 나타낸다는 것을 증명한 이후로 다양한 연구가 진행되어 왔다[2-4]. 이후, 유황을 고분자와 반응시켜 개질시키는 공정이 개발되면서 유황 콘크리트가 제조되기 시작하였으며, 이에 관한 연구가 진행되어 왔다[5, 6]. 개질유황 폴리머는 유황을 녹여 소량의 개질제, DCPD(Dicyclopentadiene)와 140°C의 온도에서 중합반응시켜 제조된다. 유황을 개질화하여 유황폴리머로 만들게 되면 내화화성이 뛰어나며 산업부산물이라는 경제적인 장점을 가지고 있다[7, 8]. 이병재 등은 유황폴리머와 시멘트, 규사, 플라이애시를 채움재로 활용한 표면보호재의 황산저항성을 평가한 결과 표면 열화가 발생하지 않는 것으로 나타나, 하수관, 폐수처리장 등 황산에 의해 열화가 발생할 수 있는 구조물의 표면보호재로 적용가능성을 제시하였다[9]. 이와 같은 장점을 활용하여 건설재료로서 활용하기 위해서는 개질유황의 특성과 콘크리트의 개질제로서의 사용특성이 선행되어야 한다. 개질유황 폴리머를 콘크리트의 개질제로 사용하기 위해서는 60°C 이상에서 재용융해야 하며, 온도가 저하되면 흐름성이 저하되는 단점을 갖고 있어, 콘크리트 재료 생산의 용이성과 분산성이 문제점으로 대두되고 있다[10].

따라서 본 연구에서는 콘크리트 재료의 혼합 및 배합 방법과 배합수의 온도변화에 따른 작업성 및 압축강도, 휨강도의 특성을 분석하였다. 그리고 개질유황 폴리머를 적용하지 않은 콘크리트(OPC)와, 배합수 온도를 20°C와 80°C 두가지로 제조된 콘크리트(SMPC)에 대해서 5% 황산에 대한 저항성, 동결융해 저항성, 제빙염에 대한 표면박리저항성에 대해서 분석하였다. 이와같은 강도 및 시간경과에 따른 슬럼프, 내구특성을 분석하여 재용융형 개질유황 폴리머를 사용한 콘크리트의 건설재료로서의 적용가능성을 평가하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1. 사용 재료

시멘트는 국내 S사 제품으로 비중 3.15, 분말도 3300 cm<sup>2</sup>/g인 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 굵은 골재는 충북 A석산에서 생산된 최대치수 13 mm인 쇄석골재이며, 비중은 2.65, 흡수율 0.9%, 조립률은 6.89%이다. 그리고 잔골재는 경북지역 낙동강사를 사용하였으며, 비중은 2.56, 흡수율 1.0%, 조립률은 2.73%이다. 콘크리트 개질제로 사용되는 개질유황 폴리머는 DCPD와 유황을 반응시킨 후 아민계 화합물과 중합반응시켜 제조된

국내 K사의 제품을 사용하였으며, 60°C 이상에서 재용융되며, 비중은 1.62이다. 계면활성제는 국내 C사의 pH 6~7인 비이온계인 K-4500HQ이며, 콘크리트의 적정 공기량과 슬럼프를 위해 국내 H사의 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였다.

### 2.2. 실험 항목

압축 및 휨강도 시험은 재령 7, 28일에서 KS F 2405, KS F 2408에 의거해 시험을 실시하였다. 동결융해 시험은 KS F 2456의 기준에 따라 A-type인 수중 급속 동결융해방법으로 실험을 실시하였다. 그리고 동결융해 사이클은 Fig. 1과 같으며, 30 사이클마다 고유 진동수에 의

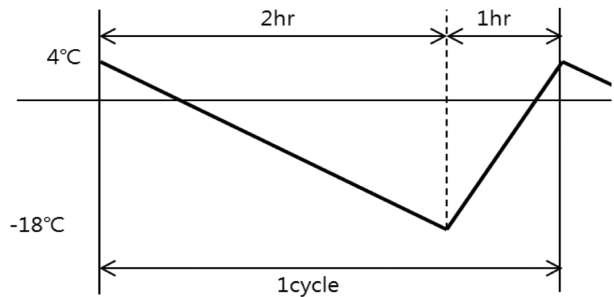


Fig. 1. Cycles of freezing and thawing test.

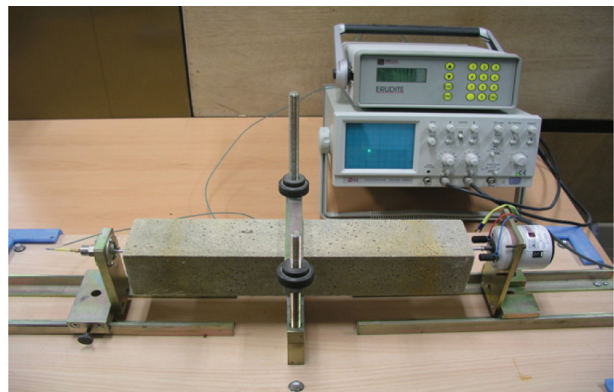


Fig. 2. Dynamic modulus measurement devices.

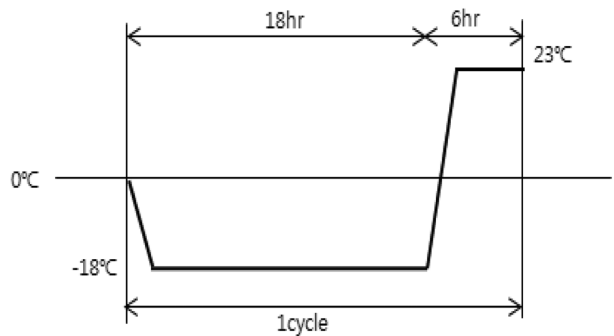


Fig. 3. Cycles of surface scaling resistance test.

Table 1  
Surface scaling resistance rating by ASTM C 672

Rating	Condition of Surface
0	NO scaling
1	Very light scaling (maximum depth of 3 mm, no coarse aggregate visible)
2	Slight to moderate scaling
3	Moderate scaling (some coarse aggregate visible)
4	Moderate to severe scaling

한 측정방법을 이용해 Fig. 2와 같이 동탄성 계수를 측정하였다. 표면박리저항성 시험은 4% 염화칼슘 용액에 대해서 ASTM C 672에 의거해 수행하였으며, 동결융해 사이클은 Fig. 3과 같으며, 50 사이클까지 측정하였다. 그리고 ASTM C 672에서 제시한 Table 1에 따라 표면 박리 저항성에 대한 분석을 실시하였고, 표면박리 저항성의 정량적 해석을 위하여 시험에서 박리되는 양을 측정하여 분석하였다. 내화학 시험은 ASTM C 267에 의거해 28일간 수중양생 시킨 시험편에 대해서 재령 7, 28, 56일 동안 5% 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)에 침지시켜 압축강도 및 중량변화율을 측정하였다.

### 2.3. 실험인자 및 배합설계

주요 실험인자는 Table 2와 같이 개질유황 폴리머의 혼입률 5%, 계면활성제 혼입률 1%일 때, 재료의 배합 방법(M1, M2, M3)과 배합수의 온도 변화(20°C~80°C)이며, 배합설계는 Table 3과 같다. 개질유황 폴리머는 65±3°C에서 채용용하여 배합하였으며, 시멘트 대비 5%를 혼입하였다. 그리고 개질유황 폴리머의 분산성을 높

이기 위해 계면활성제를 유황폴리머 대비 1% 혼입하였으며, 공기연행을 위해 AE감수제를 시멘트 대비 1% 혼입하였다. 그리고 제작된 시험편은 콘크리트 타설 후 1일간 20±1°C 상대습도 80±2%의 항온항습기에서 양생 후 공시체 탈형을 수행하였으며, 이후 20±1°C에서 수중양생을 실시하였다. M1 배합은 잔골재와 굵은골재를 초기배합하고, 시멘트와 배합수를 배합하는 방식이며, M2 배합은 1차배합으로 잔골재와 시멘트, 유황폴리머, 배합수의 2/3를 초기배합하고, 2차배합으로 굵은골재와 배합수 1/3, 그리고 혼화재료를 첨가하여 배합하는 방법이다. 또한 M3 배합은 잔골재와 유황폴리머 그리고 배합수의 2/3를 넣고 1차 배합을 한 후 굵은골재와 시멘트 그리고 배합수의 1/3, 혼화재료를 넣고 믹싱하는 방법으로 하였다. OPC는 M1 배합으로 믹싱을 하였으며, 개질유황 폴리머를 사용한 콘크리트는 M2, M3 배합으로 믹싱을 수행하였다. 개질유황 폴리머의 혼입률은 시멘트 중량 대비 5%로 하였으며, 계면활성제는 개질유황 폴리머 중량대비 1%를 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1. 압축 및 휨강도

배합방법에 따른 재령별 압축 및 휨강도 실험결과는 Table 4와 같다. M3 배합방법(SMPC-M3)이 재령 7일 및 28일에서 37.9 MPa, 47.2 MPa로 가장 우수한 강도를 보이는 것으로 나타났으며, 휨강도도 동일한 결과를 보였다. 그리고 개질유황 폴리머를 혼입하지 않은 OPC

Table 2  
The experimental variables of sulfur polymer modified concrete

Classification	Mix method	Sulfur polymer content (%)	Re-melting temperature (°C)	Water temperature (°C)	Surfactant	AE water reducer
OPC-M1	M1	-	-	20	-	Cement × 1%
SMPC-M2	M2	5	80	80	Sulfur Modified	
SMPC-M3	M3	5	80	80	polymer × 1%	
SMPC-W20	M3	5	80	20		
SMPC-W40	M3	5	80	40		
SMPC-W60	M3	5	80	60		
SMPC-W80	M3	5	80	80		

Table 3  
Mix design of sulfur polymer modified concrete

Classification	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )					Admixture (g)		
			W	C	S	G	SP	Surfactant	AE water reducer	
OPC	45	56	177.1	390	917.7	746.6	-	0.195	3.904	
SMPC	45	56	177.1	390	917.7	746.6	19.5	0.195	3.904	

Table 4  
Compressive and flexural strength according to mix method

Classification	SP content ratio (%)	Water temperature (°C)	SP re-melting temperature (°C)	Mix method	Compressive strength (MPa)		Flexural strength (MPa)	
					7 day	28 day	7 ay	28 day
OPC-M1	0	20	-	M1	37.6	41.8	4.4	6.0
SMPC-M2	5	80	80	M2	35.5	38.4	4.7	6.2
SMPC-M3	5	80	80	M3	37.9	47.2	6.0	6.9
SMPC-W20	5	20	80	M3	30.4	44.4	5.3	6.0
SMPC-W40	5	40	80	M3	30.9	44.6	5.7	6.1
SMPC-W60	5	60	80	M3	33.9	45.2	5.8	6.4
SMPC-W80	5	80	80	M3	37.9	47.2	6.0	6.9

에 비해 압축강도 13 %, 휨강도 15 % 증가하였다. 배합 방법에 따라 강도차이를 보이는 것은 개질유황 폴리머의 분산 작용에 따른 것으로 판단되며, 시멘트보다 개질유황 폴리머를 후 투입할 경우 시멘트 입자에 개질유황 폴리머가 부착되어 분산작용에 방해를 주는 것으로 보인다. 따라서 적정배합을 위해서는 잔골재와 개질유황 폴리머를 우선 투입하여 분산시킨 후 시멘트를 투입하는 것이 가장 효율적 방법(SMPC-M3)인 것으로 판단된다.

개질유황 폴리머는  $65 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 재용융하여 콘크리트에 사용해야 함으로 시간이 경과함에 따라 유황폴리머의 온도는 저하됨으로 분산성이 저하되는 문제가 있다. 따라서 사용재료의 온도를 높여 온도저하 현상을 억제하기 위한 방법이 사용되어 왔다. 그러나 이와같은 방법은 건설분야에 적용하기 위해서는 단점으로 작용하고 있다. 따라서 사용재료 중 배합수의 온도는 초기 작업성에 영향을 매우 크게 미치는 인자이므로 배합수의 온도 변화에 따른 작업성 및 강도특성을 분석하였다. Fig. 4는 배합수 온도 변화에 따른 슬럼프 경시변화를 나타낸 것으로 타설 직후의 초기 슬럼프는 배합수 온도가 낮을수록 21 cm, 20 cm, 18 cm, 18.5 cm로 높은 슬럼프 값을 보

였으며, 배합수 온도가  $80^\circ\text{C}$ 인 경우 30분 경과 후에 4.0 cm로 배합수 온도  $20^\circ\text{C}$ 인 경우의 15.0 cm보다 상당히 낮은 결과를 보였다. 따라서 배합수 온도를 가급적 저하시켜야만 콘크리트의 작업성을 확보할 수 있는 것을 확인하였다. 그리고 배합수 온도변화에 따른 재령 7일의 압축강도는 배합수 온도가  $80^\circ\text{C}$ 인 경우가 37.9 MPa로  $20^\circ\text{C}$ 인 경우 30.4 MPa에 비해 20 % 정도 압축강도가 높게 나타났다. 또한 재령 28일 경우에는 배합수 온도가  $80^\circ\text{C}$ 인 경우가 47.2 MPa로  $20^\circ\text{C}$ 인 경우 44.4 MPa에 비해 6 % 정도 압축강도가 높게 나타나, 배합수 온도는 재령 7일 강도에는 영향을 미치나, 재령 28일에서는 감소되는 경향을 보였다. 휨강도도 압축강도와 유사한 결과를 보였다.

3.2. 동결융해저항성

개질유황 폴리머를 사용한 콘크리트의 동결융해저항성에 대한 실험결과는 Fig. 5와 같이 상대동탄성계수가 300 사이클에서 OPC의 경우 91.7 %, 개질유황 폴리머를 사용한 경우는 배합수의 온도 조건  $20^\circ\text{C}$ 와  $80^\circ\text{C}$ 에서 96.0 %, 96.1 %로 OPC보다 개질유황 폴리머를 사용한

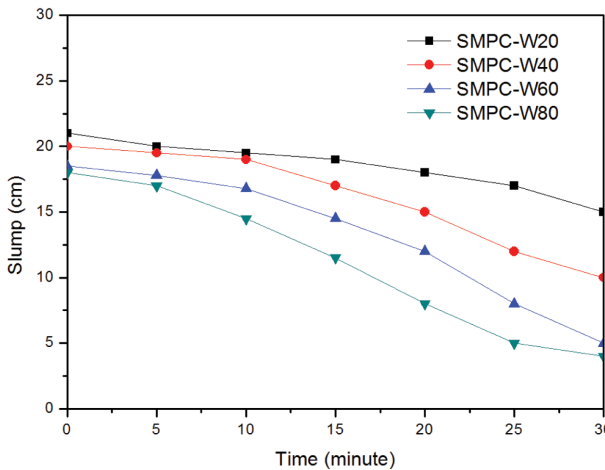


Fig. 4. Slump loss for elapsed time according to water temperature.

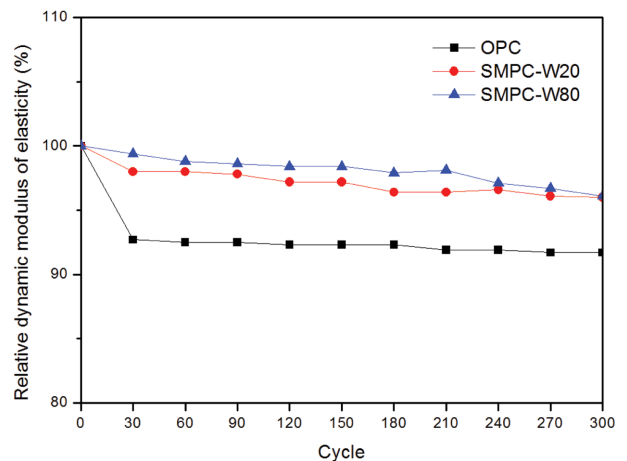


Fig. 5. Relative dynamic modulus of elasticity.

경우가 다소 높게 나타났다. OPC 및 개질유황 폴리머를 사용한 콘크리트 모두에서 동결융해에 대한 저항성이 90 % 이상을 보이는 것은 적절한 공기연행제를 투입하였기 때문으로 판단되며, 개질유황 폴리머가 동결융해저항성에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다.

### 3.3. 황산침지 저항성

내화학 약품에 침지에 따른 콘크리트의 화학저항성을 평가하기 위해 5 % 황산에 침지하였을 경우의 압축강도와 중량변화율을 분석하였다. 콘크리트 시험편은 28일간 수증양생을 수행한 후에 약품에 침지하였다. 약품에 침지한 기간은 56일간이며 측정은 침지 후 7일, 28일, 56 일 수행하였다.

Fig. 6은 5 % 황산 침지에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것이다. OPC의 경우는 침지 후 7일 경과 후에 압축강도가 31.5 MPa로 기존의 41.8 MPa보다 25 % 감소되었으며, 침지 재령 28일에서는 23.0 MPa로 45 % 감소, 침지재령 56일에서는 13.1 MPa로 69 % 감소되는 것으로 나타났다. 반면에 개질유황 폴리머를 혼입한 경우(배합수 80°C)는 침지재령 7일, 28일, 56일에 따라 45.6 MPa, 43.3 MPa, 41.5 MPa로 3.4 %, 8.3 %, 12.1 % 압축강도가 감소되었다. 또한 유황폴리머를 혼입한 경우(배합수 20°C)는 침지재령 7일, 28일, 56일에 따라 42.9 MPa, 40.5 MPa, 39.4 MPa로 3.6 %, 8.8 %, 11.4 % 압축강도가 감소되었다. 이와같이 황산 침지에 따른 콘크리트의 압축강도는 OPC의 경우 침지재령이 증가함에 따라 압축강도가 급격히 감소되는 결과를 보인 반면에 유황폴리머를 사용한 콘크리트는 침지재령이 56일인 경우에는 대략 12 % 정도 감소를 보여 내화학 저항성이 매우 우수한 결과를 보였다. 또한 개질유황 폴리머를 개질

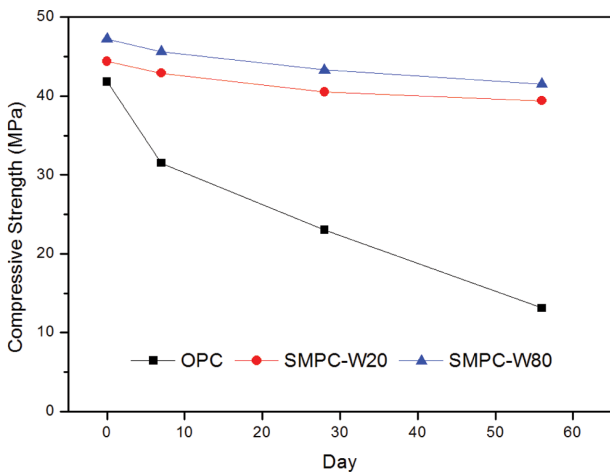


Fig. 6. Compressive strength of the immersion in 5 % sulfuric acid.

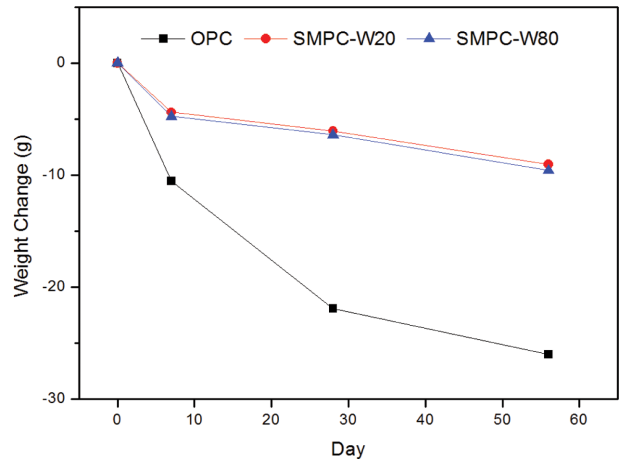


Fig. 7. Weight change of the immersion in 5 % sulfuric acid.

제로 사용할 경우, 배합수의 온도 20°C와 80°C의 경우에 대해서 화학저항성의 차이점은 없는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 5 % 황산 침지에 따른 중량변화율을 나타낸 것이다. OPC는 침지재령 56일에서 대략 25 % 정도 중량이 감소한 반면에 유황폴리머를 사용한 경우는 10 % 이내의 중량변화를 보여 상대적으로 유황폴리머를 사용한 콘크리트가 황산에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 이와같이 중량변화가 발생하는 것은 시멘트 수화물과 황산의 반응으로 시멘트 페이스트가 박리되는 특성을 보이기 때문이며, 유황폴리머가 혼입됨으로 인해 콘크리트 내부의 공극을 유황폴리머가 충전됨으로 인해 황산에 대한 저항성이 증가하여 나타난 것으로 판단된다.

### 3.4. 표면박리저항성

제빙염에 노출된 콘크리트의 표면박리저항 시험결과 Fig. 8과 같이 표면박리량은 OPC의 경우는 동결융해 5

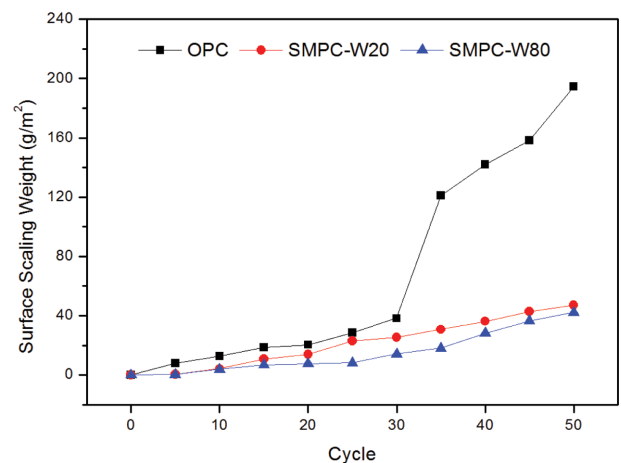





Fig. 8. Surface scaling weight of freeze-thaw cycles.

Table 5  
Surface scaling resistance rating by ASTM C 672

Classification	Condition of specimen surface	Rating
OPC		4
SPC-W-80T		1
SPC-W-20T		1

사이클에서부터 박리량이 증가하기 시작하여 30 사이클 이후에는 급격히 증가하는 것으로 나타났으며, 최종 50 사이클에서는  $194.6 \text{ g/m}^2$ 을 보여 표면박리가 극심한 것으로 나타났다. 반면에 개질유황 폴리머를 개질한 콘크리트의 경우에는 배합수의 온도를  $80^\circ\text{C}$ 로 한 SMPC-W80의 경우 최종 50사이클에서  $42.2 \text{ g/m}^2$ 을 보였으며, 배합수 온도가  $20^\circ\text{C}$ 인 SMPC-W20의 경우는  $47.2 \text{ g/m}^2$ 으로 배합수의 온도가  $80^\circ\text{C}$ 인 경우가 다소 표면박리 특성은 우수한 것으로 나타났으나, 배합수의 온도에 따른 영향은 미비한 것으로 판단된다. 그리고 Table 5는 ASTM C 672에 따라 표면 박리 저항성을 평가한 결과 OPC는 굽은골재가 전체적으로 노출되어 보이는 상태로 4등급으로 평가되었고, 개질유황 폴리머를 사용한 콘크리트의 경우에는 배합수의 온도에 관계없이 표면박리가 다소 발생된 1등급 정도로 평가되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 개질유황 폴리머를 채용용하여 콘크리트에 혼합하여 사용하는 개질 콘크리트의 특성에 따라 배합방법 및 개질유황의 분산성을 높이기 위한 배합수 온도에 따른 영향을 콘크리트의 강도 및 내구특성에 대해서 검토하였다.

배합방법에 있어서 시멘트보다 개질유황 폴리머를 후

투입할 경우 시멘트 입자에 개질유황 폴리머가 부착되어 분산 효과가 저하되는 것으로 나타났으며, 강도측면에서 최적배합방법은 잔골재와 개질유황 폴리머를 우선 투입하여 분산시킨 후 시멘트를 투입하는 것이 가장 효율적 방법인 것을 확인하였다. 그리고 배합수 온도가 증가함에 따라 재령 7일 강도는 증가하나, 재령 28일에서는 강도증가율이 감소되는 것으로 나타났으며, 배합수 온도가 증가함으로 인해 시간경과에 따라 슬럼프가 급격히 감소하는 것으로 나타나, 배합수 온도를 증가시키지 않고 상온 배합수를 사용하는 것이 적정할 것으로 판단된다. 또한 동결융해에 따른 저항성은 개질유황 폴리머의 영향보다는 공기연행제의 사용으로 제어가 됨을 확인하였다. 그리고 5% 황산에 침지에 따른 내화학저항성은 개질유황 폴리머를 사용한 경우는 침지재령 56일에서 12% 이내의 강도저하만을 보이나, OPC의 경우는 69% 강도저하를 보여 개질유황 폴리머가 산에 대한 화학저항성이 매우 우수한 것으로 나타났다. 그리고 표면박리 저항성도 OPC의 경우는 골재가 노출되는 4등급을 보이나, SMPC의 경우는 1등급으로 나타나, 제빙염에 대한 표면박리 저항성이 우수함을 확인하였다. 따라서 개질유황 폴리머를 콘크리트에 개질제로 사용할 경우 작업성 등만 확보된다면 강도 및 내구특성이 우수하여 교면포장 등에 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2015년도 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

#### References

- [1] B.Y. Jung, S.S. Lee and H.Y. Song, "Modified sulfur distribution and compressive strength characteristics of modified sulfur mortar based on the mixing method and curing condition", J. Korea Ins. Build. Const. 14 (2014) 61.
- [2] ASTM C 1159, Annual Book of ASTM Standards, V. 04.05, ASTM, Philadelphia (1987) 9390.
- [3] P.D. Kalb, J.H. Heiser III and P. Colombo, "Modified sulfur cement encapsulation of mixed waste contaminated incinerator fly ash", Waste Man. 11 (1991) 147.
- [4] A.H. Vroom and D.W. Whitmore, "Sulfur concrete for high corrosion resistance", Canadian Soc. Civ. Eng. 2 (1994) 435.
- [5] S.W. Cha, K.S. Kim and H.S. Park, "Manufacture of modified sulfur polymer binder and characteristics of sulfur concrete", J. Con. Ins. 23 (2011) 40.
- [6] J.H. Hyun, J.W. Bang, U.C. Seo, Y.H. Kim, J.M. Park and Y.Y. Kim, "The experimental study on the strength

- properties of concrete using sulfur polymer”, J. Korean Soc. Civ. Eng. 10 (2012) 2437.
- [ 7 ] A.M.O. Mohamed and M.E. Gamal, “Hydro-mechanical behavior of a newly developed sulfur polymer concrete”, Cement and Con. Compo. 31 (2009) 186.
- [ 8 ] O.M. Abdel-Mohsen and E.G. Maisa, “Hydro-mechanical behavior of a newly developed sulfur polymer concrete”, Cement and Con. Compo. 31 (2009) 186.
- [ 9 ] E.S. Lee, B.J. Lee, J.W. Bang, J.H. Noh and Y.Y. Kim, “Evaluation of the bond property between sulfur polymer surface protection and concrete according surface condition”, P. Korea Ins. Stru. Main. (2014) 361.
- [10] C.W. Hong, “Mechanical properties of concrete using re-melting sulfur polymer”, J. Korea Nat. Uni. Trans. 49 (2014) 185.
- [11] K.M. Kim and H.J. Son, “Fundamental characteristics of high early strength low heat concrete according to mineral binder and high early strength material combination”, J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 24 (2014) 27.
- [12] S.G. Yu, H.J. Choi, H. Kwon, N.K. Park and G.D. Kim, “Properties of portland cement concrete with the addition of a modified sulfur polymer”, J. Korean Cryst. Growth Cryst. Technol. 20 (2010) 192.