

Development of high performance patching repair mortars with light weight and sulfuric acid resistance properties

Kyoungmin Kim, Junhui Park* and Tae-ho Ahn**†

Daewoo Institute of Construction Technology, Suwon 16297, Korea

*SERIC Research & Development Center, Seoul 04763, Korea

**International Sustainable Engineering Materials(ISEM)Center, Ceramic Materials Institute & Division of Advanced Materials Sci. Eng., Hanyang University, Seoul 04763, Korea

(Received July 28, 2017)

(Revised August 8, 2017)

(Accepted August 11, 2017)

Abstract In this study, high performance patching repair mortars with light weight and sulfuric acid resistance properties were suggested. Their performance estimation were investigated based on KS F 4042 using patching repair mortar with light weight aggregate and soluble polymer of Type I and sulfuric acid resistance mortar of Type II, From these results, it was confirmed that these motors were satisfied and improved by all standard tests of KS F 4042.

Key words Patching repair mortar, Light weight aggregate, Sulfuric acid resistance, Soluble polymer, Durability

경량 및 내황산 특성을 가진 고성능 단면복구 모르타르의 개발

김경민, 박준희*, 안태호**†

대우건설기술연구원 기술개발팀, 수원, 16297

*(주)세릭(SERIC)연구개발센터, 서울, 04763

**한양대학교 신소재공학과, 세라믹연구소 국제지속가능공학소재(ISEM)센터, 서울, 04763

(2017년 7월 28일 접수)

(2017년 8월 8일 심사완료)

(2017년 8월 11일 게재확정)

요약 본 연구는 경량 및 내황산 특성을 가진 단면복구 모르타르 개발의 관한 연구로 Type I의 경량 및 폴리머 모르타르와 Type II의 내황산 단면복구 모르타르의 성능평가를 진행하였다. 성능평가는 KS F 4042의 품질기준으로 이루어졌으며, 그 결과 경량 및 내황산성이 우수하며 KS F 4042의 품질 기준을 모두 만족하는 결과를 도출하였다.

1. 서론

콘크리트 구조물은 경제성 및 내구성이 우수하여 세계적으로 건축 및 토목구조물에 널리 사용되고 있다[1]. 그러나 최근 이산화탄소에 의한 콘크리트의 탄산화, 해양 환경 하에서 발생하는 염분침투, 산성 환경에 노출에 발생하는 콘크리트의 표면 열화 등의 열화요인에 의해 건축 및 토목구조물 등 철근콘크리트구조물의 철근부식, 균열발생 및 구조내력저하 등 성능저하현상이 사회적으로 심각한 문제점으로 대두되고 있는 상황이다[1, 2].

국내에서는 성능 저하된 철근콘크리트구조물의 보수유지관리 및 장수명화를 위하여 다양한 보수공법이 개발되어 특허 및 신기술로 인증되고 있는 상황이다. 이러한 보수공법들은 일반적으로 성능저하 부위의 제거, 부식이 발생한 철근의 녹 제거 및 방청처리, 단면결손부위의 복구 및 표면피복처리 등의 공정으로 이루어지고 있으며 각 공정에 따라 함침제, 표면피복재 및 단면복구재 등 다양한 보수재료들이 개발되어 적용되고 있다. 하지만, 현재 콘크리트구조물의 내구성 향상 기술수준은 보수시공의 설계 · 시공 측면뿐만 아니라 새로운 재료 · 공법 측면에서도 기존 콘크리트 구조물의 유지관리대책으로 제시할 수 있는 내구성 향상기술의 확립이 매우 미흡한 실정이다[2].

†Corresponding author
E-mail: thahn@hanyang.ac.kr

특히, 보수재료 중 단면복구재는 피복콘크리트가 제거된 부위를 수복하는 재료로써, 모체콘크리트의 소요응력을 부담할 수 있는 구조적 안전성, 모체콘크리트와의 일체성, 내부 철근의 부식을 방지할 수 있는 내구성 및 실용화를 위한 경제성 등 다양한 성능을 만족시킬 수 있어야 한다. 그러나 현실에서 국내 콘크리트 구조물의 보수 시공 현장에서는 성능 저하 메커니즘 및 진행 단계를 고려하지 않은 무분별한 보수재료 · 공법의 적용, 환경 조건 및 시공조건을 고려하지 않은 천편일률적인 시공으로 인하여 보수공사 후 보수 성능을 만족시키지 못하거나 보수부위의 재열화 현상을 유발함으로써 추가적인 보수 시공이 요구되는 경우가 빈번히 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 보수 환경을 고려한 단면복구재를 사용하여, 시공 후 화학적 내구성 저하와 재시공 횟수 증가 및 재보수 비용의 지속적인 추가 발생을 방지하여야 한다.

따라서 본 연구는 콘크리트 구조물의 환경 조건을 고려한 경량 및 내황산성 특성을 가진 무기계 재료를 기초로 하여 단면복구 모르타르 개발에 관한 연구를 진행하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

본 연구는 열화된 콘크리트 구조물의 단면을 보수하기 위해 사용하는 단면복구 모르타르에 개발에 관한 것으로써, Type I의 경량 및 폴리머 단면복구 모르타르와 Type II 내 황산 단면복구 모르타르 두 Type으로 구성요소는 Table 1과 같다. 단면복구 모르타르의 조성 비율은 결합재 65~70%와 잔골재 30~35%이며, Type I은 경량성을 가진 단면복구 모르타르로써, W/B 비는 0.28%로 경량

성을 확보하기 위해 경량골재(바텀애시)를 사용하며, 강도 및 유동성, 탄성, 접착성, 분산성을 확보하기 위해 수용성 폴리머를 사용하였다. Type II는 내황산성을 가진 단면복구 모르타르로써, W/B 비는 0.17%로 내황산성이 우수한 고로슬래그 및 플라이애시, 바텀애시등 포졸란 반응성을 가진 혼화재를 사용하였으며, 황산염자극제(탈황석고)를 사용하여 고로슬래그의 잠재수경성 반응을 활성화시켜 장기강도 및 화학저항성을 향상시키고자 하였다[3]. 추가적으로 Type I, II 모두 팽창제를 10% 내외로 사용하여 초기 재령에서 팽창력을 발휘하여 경화체의 구조를 치밀하고 이를 통해 건조수축을 최소화하여 균열을 저감 효과를 얻을 수 있도록 하였으며, 더욱더 보강재를 사용을 통해 인장강도, 휨강도 등등 내구성 향상을 향상시켰다. 다음으로 잔골재는 규사와 경량골재(바텀애시)를 혼합하여 사용하였다. 실험 사항으로는 KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르와 Type I은 경량성을 확인하기 위해 질량변화율을 실험하였으며, Type II는 내황산성을 확인하기 위해 황산침지에 대한 질량변화율 실험을 진행하여 그 성능을 평가하였다.

2.2. 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내산 H사의 보통 포틀랜드를 사용하였고, 그 물리적 성질은 Table 2와 같고, 혼화재는 플라이애시(FA), 고로슬래그 미분말(BS), 바텀애시(BA), 벤토나이트(BN)를 사용하였으며, 팽창제는 칼슘설포알루미늄네이트(CSA)를 사용하고, 황산염 자극제(탈황석고: SS)를 사용하였으며, 그 물리 · 화학적 특성은 Table 3과 같다. 또한, 폴리머는 재유화형 분말 수지인 아크릴계 폴리머를 사용하였으며, 그 화학적 성질은 Table 4와 같다. 잔골재는 규사 4호와 바텀애시 경량골재(1 mm 이하)를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 5와 같다.

Table 1
Components of repair mortars

Kinds	W/B	Binder					Fine aggregate			
		Cement	Admixtures	Expander	Polymer	Sulfate activity	Fiber	Silica Sand	Lightweight aggregate	
Type I	0.28	40~60 %	10~20 %	10 % within	3 % within	-	1 % within	70~30 %	70~30 %	
Type II	0.18	40~70 %	10~40 %	10 % within	-	10 % within	1 % within	50~30 %	30~10 %	

Table 2
Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
			Initial set	Final set	3 days	7 days	28 days
3.15	3 390	0.05	230	345	24.8	39.3	56.9

Table 3
Physical and chemical properties of admixtures

Kinds	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical composition (%)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃
FA	2.21	4 478	58.6	23.6	7.45	0.9	3.13	-
BS	2.90	4 520	34.2	13.5	0.6	5.26	42.5	1.95
BA	0.9	-	52.0	21.1	10.87	1.22	4.22	0.06
BN	-	-	65.0	17.5	1.0	4.0	2.0	-
CSA	-	-	5.39	37.17	1.92	3.00	40.48	9.25
SS	2.97	3 810	4.1	6.0	0.1	1.4	47.2	35.6

Table 4
Chemical properties of polymers

Componet	Appearance	Tg (°C)	White powder (%)	50%sol.Viscosity	50%sol.pH	Specific gravity
Pure acrylate copolymer	White powder	0	< 2.0	< 2000	7 ± 1	0.5 ± 0.1

Table 5
Physical properties of fine aggregates

Kinds	Granularity (mm)	FM	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Passing 0.08 mm sieve (%)
Silica (No. 4)	1.13~0.8	2.57	2.59	2.10	1.44
Bottom ash	1.0 or less	-	1.91	2.73	4.0

Table 6
Properties of repair mortar (Type I, Type II)

Items	Type I	Type II	KS quality standard
Compressive strength (MPa)	38.8	53.9	20.0 above
Flexural strength (MPa)	6.5	7.5	6.0 above
Bond strength (MPa)	1.48	3.45	1.0 above
Alkali resistance (MPa)	38.6	52.8	20.0 above
Depth of carbonation (mm)	0.9	0.9	2.0 under
Quantity of permeability (g)	4.4	2.8	20 under
Water absorption coefficient (kg · (m ² · h ^{0.5}))	0.04	0.04	0.5 under
Moisture transmission resistance (Sd)	1.88	1.84	2 under
Salt resistance (Coulombs)	59.6	63.4	1 000 under
Length exchange ratios (%)	0.09	0.09	± 0.15 within
Weight reduction method (%)	-8.6	-1.7	-
Weight exchange ratios (%)	17 %	-	-
Sulfuric acid immersion resistance (MPa)	Before	38.8	52.2
	After	38.3	51.6

2.3. 실험방법

2.3.1. 혼합 및 시험체 제작방법

본 연구의 배합수로 Type I은 W/B 0.28 %, Type II는 W/B 0.17 %로 계획하였으며, 콘크리트 혼합은 강제식 팬 타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 단면복구 모르타르의 특성을 평가하기 위해 KS F 4042에 준하여 각각 시험체를 제작하였으며, 질량변화율 시험체는 40 × 40 × 160 공시체를 사용하여 제작하였다.

2.3.2. 성능평가 항목

단면복구 모르타르의 성능평가는 KS F 4042의 “콘크

리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르”에 준하여 그 성능을 평가하였다. 또한, 경량성 평가는 질량 측정법으로 실시하였으며, 내황산성 평가는 황산(MgSO₄) 침지 저항성 시험인 ASTM C 267(콘크리트의 황산염 침지 시험방법) 규정에 의거하여 평가하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1. 강도 특성 평가

단면복구 모르타르의 강도 특성은 압축강도 및 휨강도,

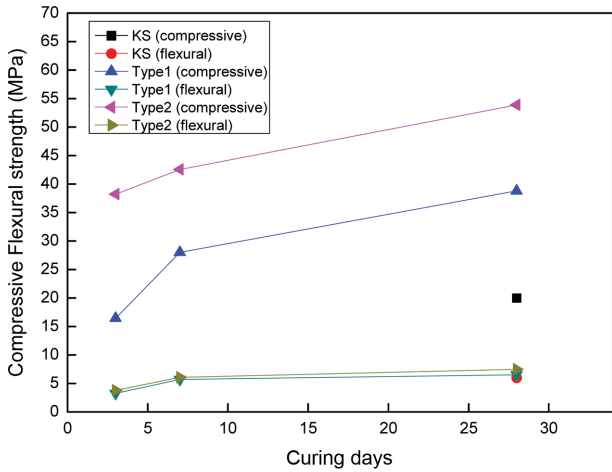


Fig. 1. Compressive and flexural strength according to age.

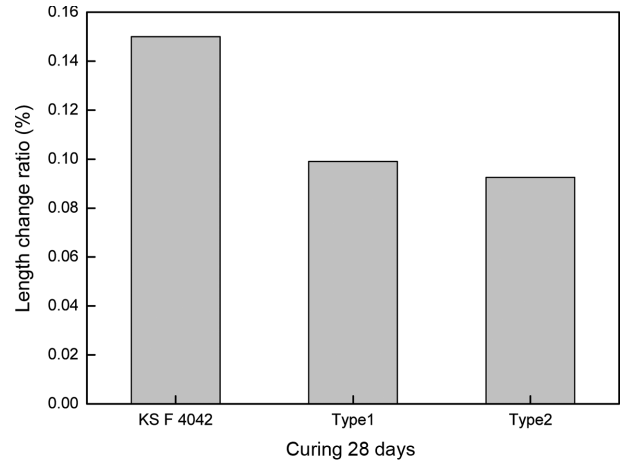


Fig. 3. Length change ratio of curing 28 days.

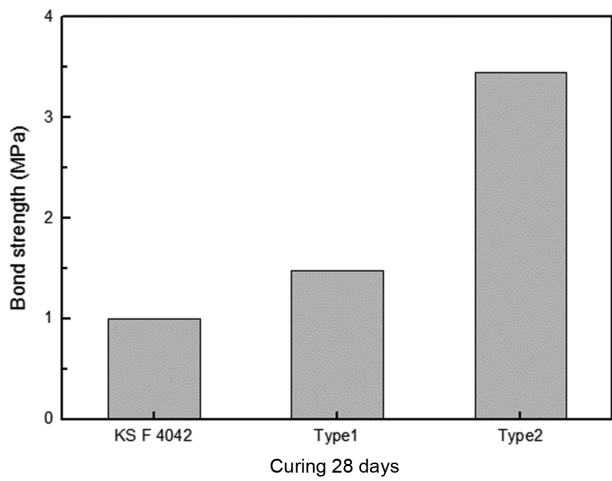


Fig. 2. Bond strength according to age.

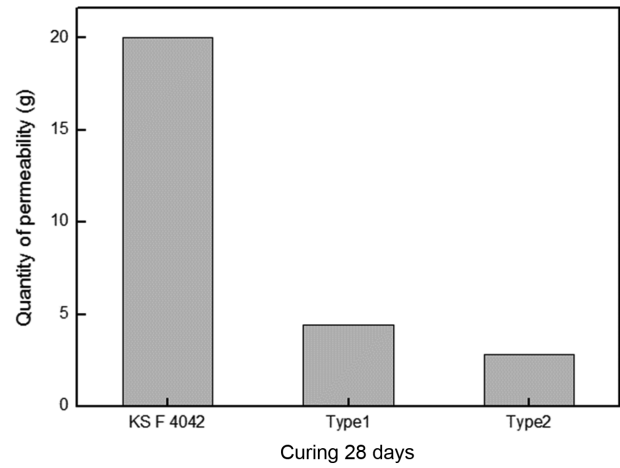


Fig. 4. Water permeability of curing 28 days.

부착강도를 측정하여 평가하였다. Fig. 1은 압축강도 및 휨강도를 나타낸 것으로서, Type I과 Type II 모두 KS F 4042의 품질 기준을 만족하는 강도가 측정되었다. Type I은 재령 28일 압축강도가 38.8 MPa이 측정되었고, 휨강도는 재령 28일에 압축강도의 1/6~1/7에 해당하는 6.5 MPa이 측정되었다. 또한, Type II는 재령 28일 압축강도 53.9 MPa이 측정되었으며, 휨강도는 재령 28일 7.5 MPa가 측정되었다. Fig. 2는 Type I과 Type II의 부착강도를 나타낸 것으로, 모두 KS F 4042의 품질기준인 1.0 MPa 이상을 만족하였다. 전반적으로 강도 특성에서 품질기준을 만족하였으며, Type I보다 Type II가 높은 강도를 나타내었다. 이는 단면복구 모르타르의 특성에 따른 W/B비 차이에 의한 것이며, Type I의 일반강도 이상의 강도 발현은 폴리머를 사용함으로써 폴리머 필름에 의한 폴리머의 강도 부여 및 시멘트 수화물과 골재간의 부착력이 현저히 개선되었기 때문이라 판단된다[4]. 또한, Type I, Type II 모두 우수한 강도 발현은 CaO 함유량이 많은 보통포틀랜드

드 시멘트와 고로슬래그 미분말에 의한 초기강도 상승과 높은 분말도와 SiO₂의 함유량이 많은 혼화제의 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응의 활성화에 의해 재령이 지날수록 장기강도가 발현되었기 때문이라 판단된다[5, 6].

3.2. 단면복구재 특성 평가

단면복구 특성 평가는 재령 28일 경과한 시험체를 사용하여 길이변화율과 투수량 측정하였으며, Type I은 질량 측정을 통해 경량성을 평가하였다. Fig. 3은 길이변화율을 나타낸 것으로, 측정결과 Type I과 Type II 모두 0.09 mm가 측정되어 KS F 4042의 ±0.15(%) 이내를 만족하였다. Type I의 경우 첨가된 폴리머에서 불침투성의 폴리머 필름이 형성되면서 이로 인하여 나타나는 실링효과에 의한 밀봉작용 때문에 보수성이 향상되고 모르타르의 증발 수량이 감소하게 되며 모르타르 내부의 수분 증발이 억제되었기 때문이라 판단된다[4]. 또한, Type I과 Type II 모두 바인더에 사용된 CSA계 팽창제에 의해

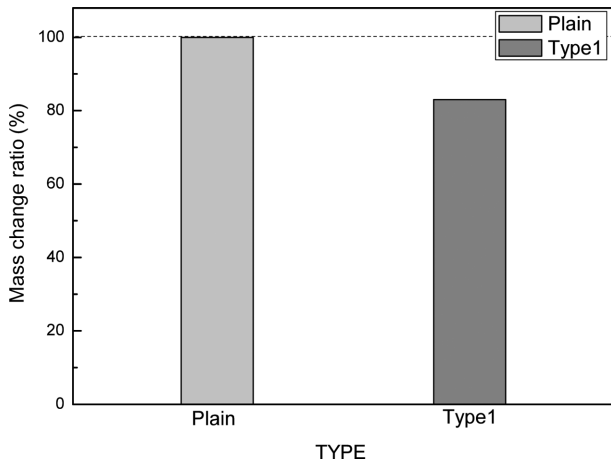


Fig. 5. Mass change ratio.

경화체가 초기에 팽창성을 보여 건조수축이 감소된 것으로 보인다. Fig. 4는 투수량을 나타낸 그래프로써, 공시체의 처음 질량을 물을 10 N/cm²의 수압으로 1시간 동안 가한 공시체의 질량에서 빼서 투수량 측정하였다. 측정결과 모두 KS F 4042 품질기준의 20 g 이하를 만족하였다. Fig. 5는 질량 측정을 통해 규사(4호)를 사용한 Plain과 질량 차이를 나타낸 그래프로써, Plain에 비해 약 15% 이상 질량이 적은 것을 확인하였다. 이는 잔골재에 사용된 경량골재(바텀애시)에 의한 영향이다. 전반적으로 단면복구 특성에서 길이변화율 및 투수량이 낮은 이유는 혼화제 사용된 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 수화열 저감의 효과와 포졸란 혼화제의 치밀성 및 수밀성, 차수성에 의한 것이라 판단된다[5, 6].

3.3. 내화학적 특성평가

내화학적 특성 평가는 재령 28일 동안 측정하였으며,

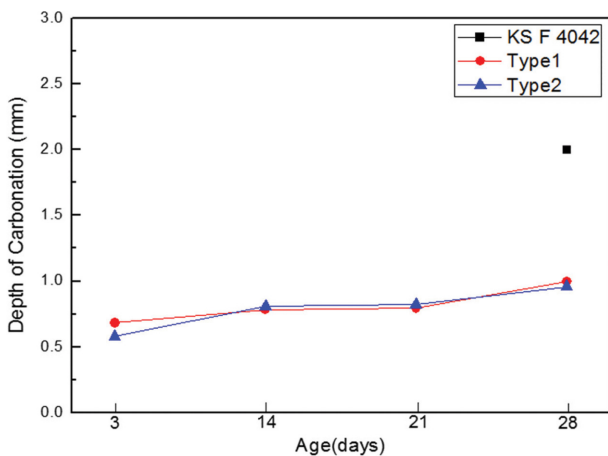


Fig. 6. Carbonation resistance according to age.

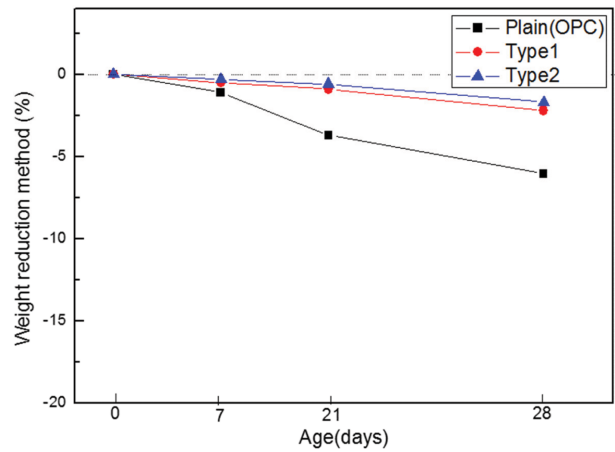


Fig. 7. Mass change ratio after the sulfuric acid immersion.

시험항목으로 탄산화 저항성, 황산(MgSO₄) 침지 전 · 후의 질량변화율 및 압축강도를 측정하였다. Fig. 6은 탄산화 저항성을 나타낸 그래프로써, Type I과 Type II의 탄산화 깊이는 재령 28일에 1.0 mm 이하가 측정되었으며, 이는 KS F 4042 품질기준인 2.0 mm 이하를 만족하는 수치이다. 또한, Fig. 7은 황산 침지 시험을 나타낸 그래프로써, 28일 수중양생 시킨 공시체의 황산 침지 전의 질량과 침지 후의 질량 변화를 측정하여 평가하였는데, Type I과 Type II의 질량 감소율은 2.5% 내외로 내황산성이 우수함을 확인하였다. 또한, Fig. 8은 황산 침지 전후의 28일 압축강도를 나타낸 그래프로 0.5 MPa 이하의 감소를 보였으며, 특히 Type II는 고강도의 내구성을 발휘하며 내화학적성이 우수한 것을 확인하였다. 전반적으로 내화학적 저항성이 우수한 것으로 판단되며, 이는 내화학적에 강한 혼화제의 특성과 포졸란 반응으로 생성된 칼슘실리케이트(3CaO · 2SiO₂ · 3H₂O)에 의해 구조가 치밀해 짐에 따라 내화학적 저항성이 우수해진 것

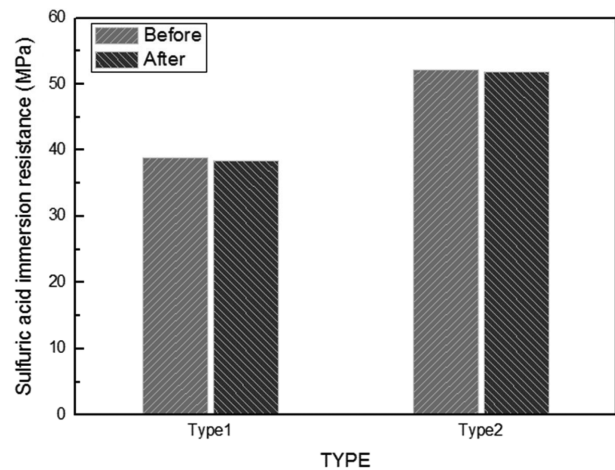


Fig. 8. Compressive strength before and after immersion to sulfuric acid.

이라 판단된다[6].

4. 결 론

본 연구는 열화가 진행된 콘크리트 구조물의 단면복구 모르타르 개발에 관한 연구로서, 여러 혼화재료를 이용하여 경량 및 내황산 특성을 가지는 단면복구 모르타르를 제조, 그 성능을 평가하였다.

1) 강도 특성에서 압축강도 및 휨강도, 부착강도 모두 KS F 4042의 품질기준을 만족하였으며, 압축강도에서 Type I은 경량성을 확보하기 위한 일반강도 모르타르로 38.8 MPa가 측정되었으며, Type II는 내산성이 우수한 고강도 모르타르로 53.9 MPa가 측정되었다.

2) 단면보수재 특성에서 길이변화율 및 투수량과 Type I의 경량성을 시험 평가한 결과 KS F 4042의 품질기준을 만족하였으며, Type I은 높은 W/B에 비해 첨가된 폴리머에 의한 실링효과에 의해 수분증발이 적었고, Plain에 비해 15% 이상 경량성을 보였으며, Type I, Type II 모두 결합재에 사용된 혼화재의 영향으로 인해 우수한 성능을 보였다.

3) 내화학적 특성에서 내알칼리성 압축강도 및 탄산화 저항성 내황산침지 질량변화율 모두 KS F 4042의 품질기준을 만족하였으며, 이는 내화학성에 강한 혼화재의 특성과 포졸란 반응에 의해 내화학 저항성이 우수해 진 것이라 판단된다.

종합적으로 본 연구는 경량 및 내황산성을 가진 단면 복구 모르타르의 성능평가를 진행한 결과 KS F 4042의 품질기준을 만족하였으며, 보다 우수한 성능을 확인할

수 있었다. 차후 Mock-up test를 진행하여 실용화 가능성을 확인할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 대우건설기술연구원 연구비에 의하여 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

References

- [1] C.H. Lee, "Evaluation of durability on domestic repair materials" (Master Thesis, University of Seoul, Seoul, 2007) p. 1.
- [2] C.S. Lee, H.S. Lee, Y.H. Kim and Y.O. Kim, "An experimental study on the evaluation of durability of domestic repair materials", KSCE Civil Expo 2007, October 10-12, Daegu, Korea (2007) 2354.
- [3] Y.L. Song, B.Y. Moon, D.Y. Lee, M.C. Han and C.G. Han, "Effect of the desulfurized plaster replacement ratio on the quality of mortar using blast furnace slag powder and cyclic aggregate", JAIK 36 (2016) 341.
- [4] M.W. Jun, "Evaluation of the performance of polymer-modified cement mortar as a repair material" (Master Thesis, Pusan National University, Pusan, 2004) p. 1.
- [5] J.H. Park, S.Y. Bang, T.H. Ahn and K.M. Kim, "A study on the development of environmental adaptive repair mortars with lightweight properties based on polymer cement", KCI 28 (2016) 411.
- [6] J.H. Park, S.Y. Bang, T.H. Ahn and K.M. Kim, "properties of repair mortars incorporating pozzolanic materials and bottom ash aggregates with the resistance to sulfuric acid attack", KCI 28 (2016) 69.