

A fundamental study on the sulphate-resistant mortar using waste glass fine powder and meta-kaolin according to various fine aggregates

Dongwhan Jeong, Junhui Park*, Taeho Ahn**, Yeongsik Park*** and Kwangho Sho****†

Wonkwang University, Seowon Professional Engineer, Iksan 54538, Korea

*SERIC Research & Development Center, Seoul 04763, Korea

**Hanyang University International Sustainable Engineering Materials(ISEM)Center, Seoul 04763, Korea

***Seowon Industry Co., Ltd., Kimje 54352, Korea

****Department of Architectural Engineering, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

(Received May 29, 2017)

(Revised June 12, 2017)

(Accepted June 15, 2017)

Abstract The degradation of the concrete due to deterioration factors, such as corrosion of steel bars, cracks and structural strength of reinforced concrete structures, is a social problem. Especially, concrete structures constructed in seawater, underground water, waste water treatment facilities and sewerage are subject to chemical attack by acid and sulphate. Therefore, this study was conducted to compare sulfated glass and fine aggregate of slag using waste glass fine powder and meta kaolin. The results showed that the slag fine aggregate showed better sulfate resistance than the river sand, and the fine powder of waste glass showed the best performance at 3 % displacement.

Key words Waste glass powder, Meta-kaolin, Blast furnace slag sand

잔골재 종류에 따른 폐유리 미분말 및 메타카올린을 사용한 내황산염 모르타르에 관한 기초적 연구

정동환, 박준희*, 안태호**, 박영식***, 소광호****†

원광대학교, 서원기술사, 익산, 54538

*(주) 세릭 연구개발센터, 서울, 04763

**한양대학교 세라믹 연구소 국제지속가능소재센터, 서울, 04763

***(주) 서원산업, 김제, 54352

****원광대학교 건축공학과, 익산, 54538

(2017년 5월 29일 접수)

(2017년 6월 12일 심사완료)

(2017년 6월 15일 게재확정)

요 약 콘크리트는 열화요인에 의해 철근콘크리트구조물의 철근부식, 균열발생 및 구조내력저하 등 성능저하현상이 사회적 문제점으로 대두되고 있다. 특히 해수, 지하수 또는 오·폐수처리시설 및 하수도 등에 건설되는 콘크리트 구조물은 산 및 황산염에 의한 화학적 침식을 받는 경우 내구성이 크게 저하되어 대책이 필요하다. 따라서 본 연구는 폐유리 미분말과 메타카올린을 사용하여 강모래와 슬래그 잔골재를 비교하여 내황산염성 실험을 진행하였다. 평가 결과 강모래보다 슬래그 잔골재가 내황산염성이 우수하였으며, 폐유리 미분말은 3% 치환에서 가장 우수한 성능을 발현하였다.

1. 서 론

최근 1980년대를 전후로 급속한 성장기에 개발되어진 콘크리트 구조물들에 경년열화 현상인 균열, 화학적 내

구성 저하, 더 나아가 구조내력저하 등 성능저하현상이 빈번하게 발생하여 사회적으로 심각한 문제로 대두되어지고 있는 실정이다. 특히, 해수, 지하수 또는 토양 속에 위치한 콘크리트 구조물과 산성하천 지역, 화학공장 또는 오·폐수처리시설 및 하수도 등에 건설되는 콘크리트 구조물은 화학적으로 유해한 환경에 노출되어 있어, 산 및 황산염에 의한 화학적 침식을 받을 경우 구조물의

†Corresponding author
E-mail: ar2000@wku.ac.kr

내구성능이 크게 저하되므로 이에 대한 대책이 요구되고 있다[1-3].

한편, 산업부산물 중 폐유리는 사회 전반에 걸쳐서 발생하고 있고, 심각한 폐기물로 많은 양이 매립에 의존하고 있는 실정이다. 현재 폐유리는 1년에 78만 톤 정도가 발생하여 그중에서 70% 정도가 병, 타일, 블록, 섬유 등에 재활용되고 있으며, 나머지 30%는 매립에 의존하고 있어서 자원화 시킬 필요성이 있다. 폐유리 미분말의 주요 성분은 SiO₂ 60%, Al₂O₃ 10%, CaO 5% 이상이 포함되어 있어서 포졸란 반응 혼화제로 콘크리트 결합재의 사용에 있어 가능성을 가지고 있으며, 이에 따라 폐유리를 골재와 결합재로 사용한 연구가 활발히 진행 중이나, 아직 실적은 미비한 실정이다[4-6].

따라서 본 연구에서는 황산염 저항성능을 향상시키기

위해 메타카올린과 산업부산물인 폐유리 미분말을 결합재로 사용하고 잔골재 종류별 모르타르의 기초적 물성과 황산염 저항성능에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1. 실험 계획

본 연구는 잔골재 종류에 따른 폐유리 미분말 및 메타카올린을 사용한 내황산염 모르타르에 관한 기초적 연구로써, 실험 계획은 Table 1과 같다. 즉, 기본배합으로 W/B 36%에 모르타르 배합비는 0.33으로 계획하였으며, 메타카올린 치환율은 선행 연구 결과를 바탕으로 10%

Table 1
Experimental plan

Items		Variables	
Mixture	W/B (%)	1	36
	C : S (%)	1	0.5
	Meta-kaolin substitution rate (%)	1	10 %
	Waste glass replacement rate (%)	5	▪ 1, 3, 5, 7, 10
	Fine aggregate type	3	▪ River sand ▪ Blast furnace slag sand ▪ MIX (1 : 1)
Test	Not hard mortar	1	▪ Flow
	Hardened mortar	3	▪ Compressive strength (3, 7, 28 Days) ▪ Sulfuric acid immersion resistance (Weight reduction method) ▪ Micro analysis (SEM, XRD)

Table 2
Mixing proportions of the mortar

Kinds	W/B	c : s	Weight (kg/m ³)						
			Binder			Fine aggregate			
			Water	Cement	Meta- kaolin	Wast glass powder	Superplasticizer	River sand	Blast furnace slag sand
Plain			248.8	691.1	-	-	4.1	1382.2	
1WR			247.8	612.6	68.8	6.8	4.1	1376.6	--
3WR			247.5	598.1	68.7	20.6	4.1	1375.0	-
5WR			247.1	583.4	68.6	34.3	4.1	1372.7	-
7WR			246.9	569.2	68.5	48.0	4.1	1371.6	-
10WR			246.5	547.7	68.4	68.4	4.1	1369.4	-
1WS	36	1 : 2	253.8	627.4	70.5	7.0	4.2	-	1410.0
3WS			253.5	612.6	70.4	21.1	4.2	-	1408.3
5WS			253.4	598.3	70.3	35.1	4.2	-	1407.7
7WS			253.0	583.3	70.2	49.1	4.2	-	1405.5
10WS			252.5	561.1	70.1	70.1	4.2	-	1402.7
1WRS			250.8	620.0	69.6	6.9	4.1	696.6	696.6
3WRS			255.5	605.3	69.5	20.8	4.1	695.8	695.8
5WRS			250.2	590.7	69.5	34.7	4.1	695.0	695.0
7WRS			249.8	575.9	69.3	48.5	4.1	693.8	693.8
10WRS			249.5	554.4	69.3	69.3	4.1	693.0	693.0

Table 3
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 4
Physical and chemical properties of meta-kaolin

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical composition (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂
2.66	7 800	56.9	38.4	2.7	0.6	34.2	0.9

Table 5
physical and chemical properties of wast glass powder

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Chemical composition (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃
2.50	4 120	73.2	16.4	0.4	1.0	8.91	0.24

Table 6
Physical properties of fine aggregates

Kinds	Maximum size (mm)	FM	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Passing 0.08 mm sieve (%)
River sand	5	2.57	2.59	2.10	1.44
Blast furnace slag sand	5	3.01	2.78	3.12	-

로 결정하였다. 실험 변수로 폐유리 미분말 치환율은 1, 3, 5, 7, 10 %, 잔골재 종류를 강모래(RS), 슬래그(RSS), 강모래와 슬래그 혼합(1 : 1)로 15 수준으로 계획하였다. 실험사항으로는 굳지 않은 모르타르에서 플로를 측정하며, 경화 모르타르에서 재령별 압축강도, 내황산염 저항성(질량감소율) 실험을 KS 규격에 의거하여 표준적인 방법으로 실시하였다.

2.2. 사용재료

2.2.1. 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내산 H사의 보통 포틀랜드를 사용하였고, 밀도는 3.15 g/cm³, 분말도 3,390 cm³/g이며, 압축강도는 재령 3일 24.8 MPa, 재령 7일 39.3 MPa, 재령 28일 56.9 MPa이다. 사용한 시멘트의 그 물리적 성질은 Table 3과 같다.

2.2.2. 메타카올린

본 연구에서 사용한 메타카올린의 원료인 카올린 광물은 과거 세라믹 시장에서 주로 사용하였으나, 최근에는 각종 산업분야에서 우수한 기능이 입증됨에 따라 사용범위가 점차 확대되고 있는 추세로, 본 실험에서 사용한 메타카올린은 분말도 7800 cm³/g의 중국산으로 물리·화학

적 성질은 Table 4와 같다.

2.2.3. 폐유리 미분말

폐유리 미분말은 폐유리 전문 수거 및 재활용 업체인 국내 D사의 폐유리를 본 실험실에서 볼밀(Ball Mill)로 분쇄한 것을 사용하였으며, 물리·화학적 성질은 Table 5와 같다.

2.2.4. 잔골재

본 연구에 사용한 잔골재는 국내산 강모래와 P사의 서냉 슬래그 잔골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 Table 6과 같고, 서냉 슬래그 잔골재의 화학적 성질은 Table 7과 같다.

Table 7
Chemical properties of slag sand

Chemical composition (%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	S
33.5	13.65	41.8	0.5	1.3	1.0

2.2.5. 혼화제

본 실험에서 사용한 혼화제로 고성능 감수제는 국내산 B사의 폴리카르본산계(PC계)를 사용하였고, 그 물리적

Table 8
Physical properties of superplasticizer

Chemical composition (%)					
Chief ingredient	Chief ingredient	Color	Density (g/cm ³)	pH	Alkali (%)
Polycarboxylate-based	Liquid phase	Brown liquid	1.06	5.0	0.01

성질은 Table 8과 같다.

2.3. 실험 방법

본 연구의 실험방법으로 먼저 모르타르의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 Fig. 1의 순서에 따라 실시하였다.

굳지 않은 모르타르의 실험으로 플로 시험은 KS L 5111에 의거하여 실시하였다. 또한, 경화 모르타르의 압축강도는 50 × 50 mm의 사각 공시체를 이용하여 KS L 5105에 의거 계획된 재령에서 200 TON UTM를 사용하여 측정하였다.

또한, 내황산염 성능을 검토하기 위해 재령 28일 양생된 50 × 50 mm의 사각 공시체를 이용하여 5% 황산마그네슘(MgSO₄)에 침지 실험을 ASTM C 267에 의거하여 실험을 진행하였다.

폐유리 미분말 분쇄 과정은 Fig. 2와 같이 1차 파쇄된 폐유리를 1 mm의 체를 이용하여 체가름을 실시한다. 다

음 불밀에 약 800 g의 폐유리를 넣고 분쇄 작업을 실시하여 폐유리 미분말을 제조한다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1. 굳지 않은 모르타르 특성

Fig. 3은 잔골재 종류별 폐유리 미분말 치환율에 따른 플로를 나타낸 그래프이다. 플로 측정 결과 전반적으로 Plain에 비해 폐유리 미분말의 치환율이 증가할수록 플로 값이 감소하는 경향이 나타났다. 이는 결합재에 사용된 메타카올린 및 폐유리 미분말의 분말도가 시멘트에 비해 높아 유동성이 저하하여 낮은 플로가 측정된 것이다. 또한, 잔골재에서는 RS보다 RSS가 상대적으로 플로 값이 적게 측정되었다. 이는 슬래그 잔골재에 포함되어 있는 미분의 슬래그와 높은 흡수율에 의한 것으로 판단된다[2, 7].

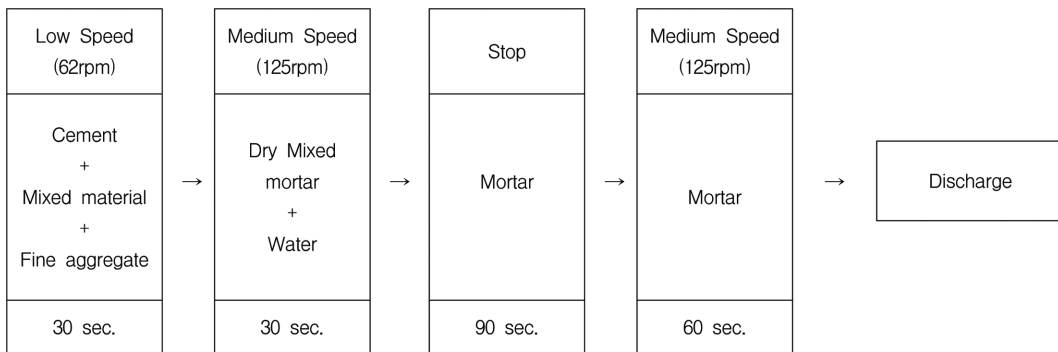


Fig. 1. Mixing process of mortar.

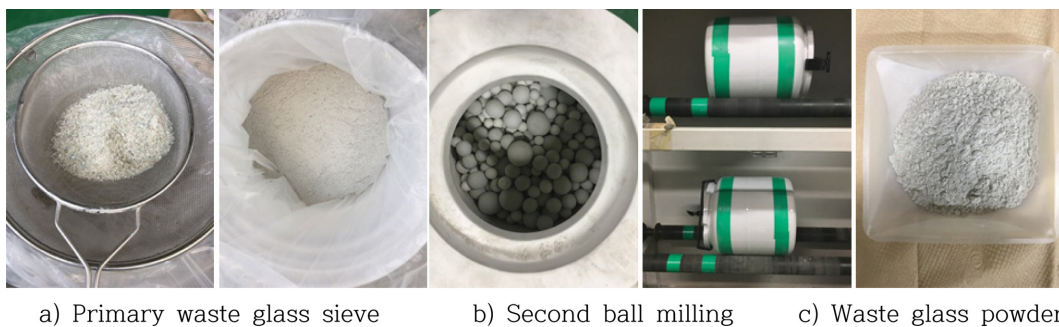


Fig. 2. Waste glass pulverization method.

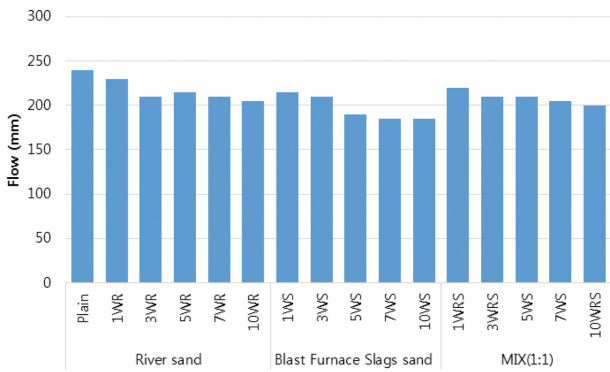


Fig. 3. Flow test according to the test formulation.

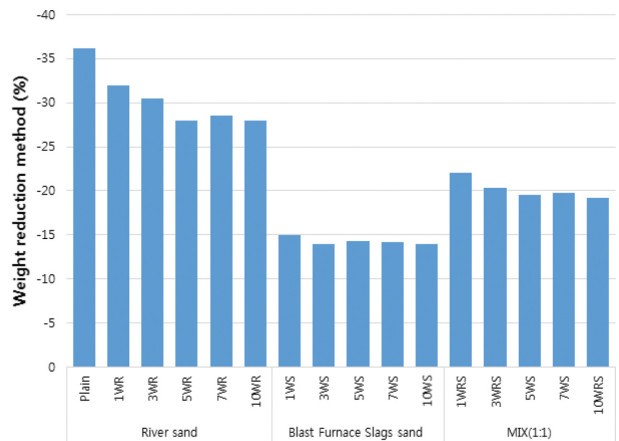


Fig. 5. Mass reduction rate according to addition amount of fine aggregate and waste glass.

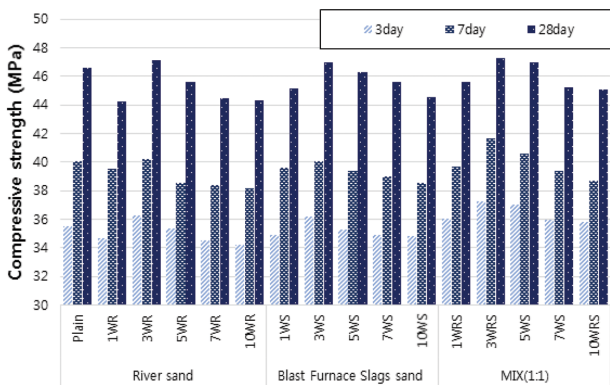


Fig. 4. Compressive strength according to age.

3.1. 경화 모르타르의 특성

Fig. 4는 잔골재 종류별 폐유리 미분말의 치환율에 따른 재령별 압축강도를 측정된 것이다. 그 결과 전반적으로 폐유리 미분말의 치환율 1% 보다 3%에서 전체적으로 강

도가 약간 높게 측정되었다. 이는 분말도 4000 cm²/g 이상의 폐유리 미분말에 의해 모르타르의 내부 충전효과에 의한 것으로 보이며, 5% 이상에서는 감소하는 경향이 나타났는데, 이는 폐유리 미분말이 치환됨에 따라 단위 시멘트의 양이 감소하였기 때문이라 판단된다[8]. 또한, 잔골재별 큰 강도 차이는 보이지 않았으며, 혼합 사용한 경우는 고른 입도에 의해 강도가 상승한 것으로 판단된다[9].

Fig. 5는 잔골재 종류별 폐유리 미분말의 치환율에 따른 질량감소율을 측정된 것이다. 선행 연구에서 내황산염 저항성능을 확인한 메타카올린을 사용한 배합은 Plain보다 전반적으로 낮은 질량감소율이 측정되었다. 또한, 잔골재에서는 RS 보다 RSS가 낮은 질량감소율을 보였으며, 폐유리 미분말 치환율에 따른 영향은 크지 않았으나, 시멘트 보다 다소 높은 분말도를 가진 폐유리 미분말이 치환됨에 따라 내부 충전되어 치밀해졌기 때문이라 판단

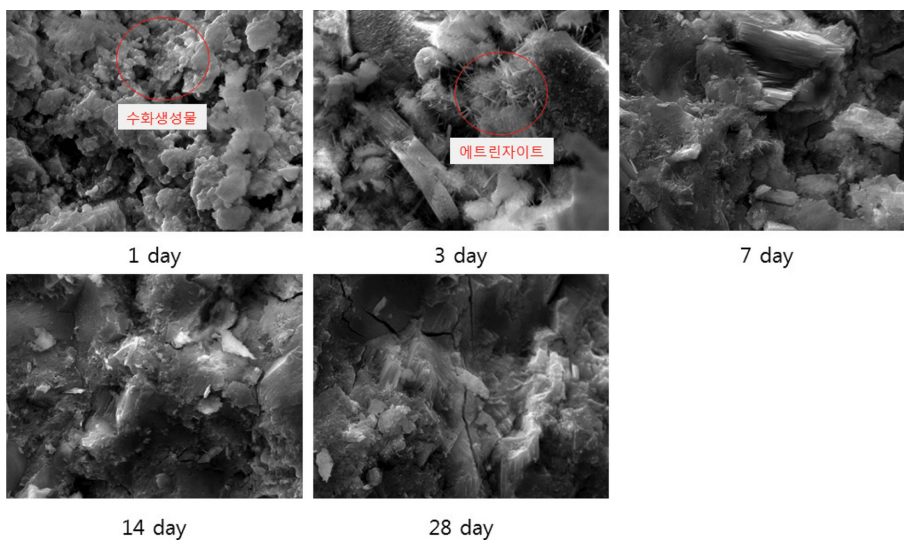


Fig. 6. Analysis of sulfur mortar SEM by age (Scale: × 4000, 5 μm).

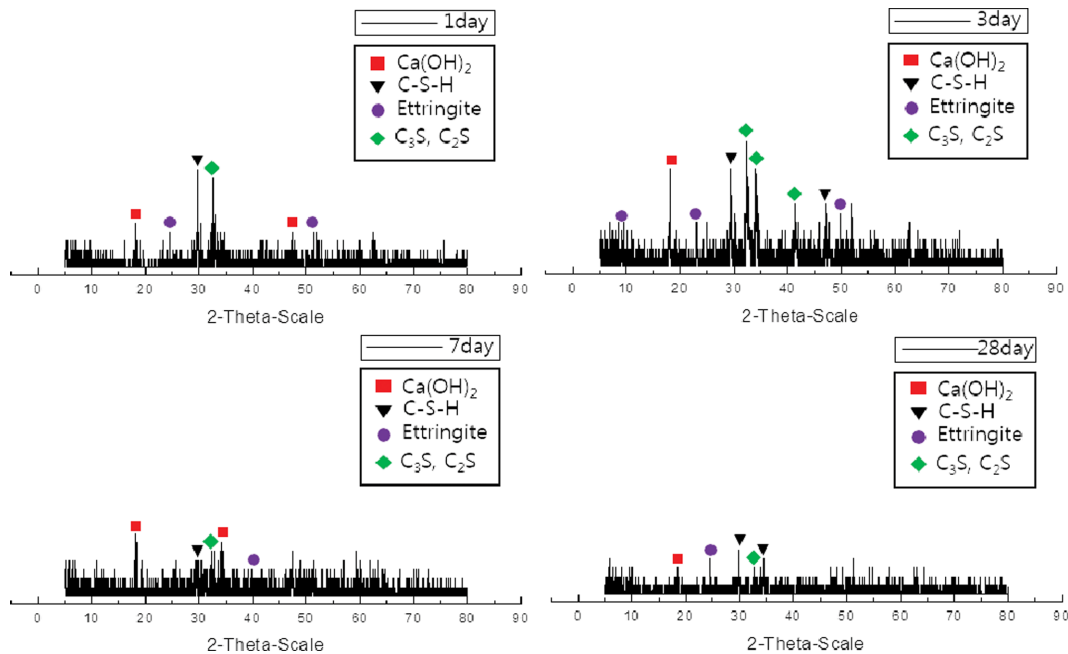


Fig. 7. Analysis of sulfur mortar XRD by age.

된다. 또한, 이 같은 결과는 슬래그 골재의 특성인 화학저항성에 의한 것이라 판단되며, $7000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이상의 분말도를 가진 메타카올린의 내부 충전효과와 우수한 화학저항성에 의한 것이라 판단된다[10].

Fig. 6과 7은 잔골재 종류별 폐유리 미분말과 메타카올린을 첨가한 내황산염 모르타르의 재령별 SEM 측정과 XRD 시험 분석 나타낸 것이다. 재령 1일에 수화물들이 생성되면서 재령 3일에는 ettringite이 생성되며, C3S와 C2S 등이 수화할 때 생성된 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 불용성 칼슘실리케이트 수화물(C-S-H겔)이나 칼슘알루미늄이트 수화물(C-A-H겔)을 형성하여 내부 조직이 치밀해지고 있다. 점차 재령이 지남에 따라 수화생성물의 XRD 피크가 줄어들며, 경화체는 더욱더 치밀해진 모습을 확인하였다[11].

4. 결 론

잔골재 종류별 폐유리 미분말 및 메타카올린을 이용한 내황산염 모르타르의 기초적 특성의 연구 결과는 다음과 같다.

1) 플로는 시멘트에 비해 높은 분말도를 가진 메타카올린과 폐유리 미분말이 치환됨에 따라 유동성이 저하되었으며, 잔골재의 경우 슬래그 미분의 영향과 높은 흡수율에 의해 RS보다 BSS가 낮은 플로를 나타내었다.

2) 압축강도는 폐유리 미분말 치환율 3%가 Plain과 유사한 강도를 발현하였고, 5% 이상에서는 강도가 감소

하는 경향을 보였으며, RS와 BSS 혼합이 가장 높은 강도를 발현하였다.

3) 내황산염 실험에서는 RS보다 BSS가 우수한 하였으며, 높은 분말도와 화학저항능이 우수한 메타카올린과 시멘트에 비해 높은 분말도를 가진 폐유리 미분말 의해 내부 충전이 우수하여 화학저항성이 향상된 것이라 판단된다.

4) 미세분석 실험에서 메타카올린과 폐유리 미분말을 첨가한 내황산염 모르타르가 재령이 지남에 따라 내부 조직이 치밀해지는 것을 확인할 수 있었다.

종합적으로 잔골재에서 RS 보다 BSS가 내황산염 성능이 우수하였으며, 폐유리 미분말 치환율 3%에서 유동성 및 압축강도가 가장 양호한 것을 확인하였고, 폐유리 미분말과 메타카올린이 내부 조직을 치밀함으로써 황산염 저항성이 향상된 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구과제는 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학연협력 기술개발 사업 ‘도약’의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: C0395610).

References

[1] S.W. Ha, T.H. Ahn, S.Y. Bang, N.W. Yang and J.S. Ryu,

- “Feasibility study on developing high sulfate resistance concrete and repair materials”, KCI Spring Conference. (2015) 393.
- [2] S.W. Ha, T.H. Ahn, S.Y. Bang, J.H. Park and J.S. Ryu, “A study on high resistance concrete against sulfate attack by using Air-cooled blast furnace slag aggregate”, KCI Fall Conference. (2015) 737.
- [3] D.W. Seo, G.H. Jung, Y.D. Lee, N.G. Lym and S.J. Jung, “An experimental study on development of concrete products using powdered waste glasses”, AIK. 18 (2002) 75.
- [4] Y.S. Kim, Y.J. Jung and D.W. Lee, “Magnesium sulfate resistance of concrete containing waste glass”, KSCE 9 (2009) 109.
- [5] T.H. Young, J.H. Yun, J.M. Choe and Y.S. Lee, “An experimental study on the sulfate resistance and carbonation of high strength lightweight concrete”, AIK. 13 (1993) 625.
- [6] J.H. Jin, K.T. Koh, G.S. Ryu, J.H. Lee and J.J. Park, “The strength characteristics of cement ZERO mortar mixing waste glass powder and fly ash as binder”, KCI (2008) 649.
- [7] M.D. Cohen and A. Bentur, “Durability of portland cement-silica fume pastes in magnesium sulfate and sodium sulfate solutions”, ACL Material Journal 85 (1988) 148.
- [8] H.G. Lee, J.Y. Jung, J.W. Sim, G.S. Zi, H.S. Oh and J.S. Sim, “An experimental study on strength characteristic of concrete pavement containing waste glass powder”, KCI (2014) 427.
- [9] I.H. You, J.W. Sim, T.S. Jang, S.S. Hwang and G.S. Zi, “A study on the alkali silica reaction of mortars by fineness and replacement level of waste glass powder”, KCI (2013) 261.
- [10] G.J. Jang, E.C. Kim, C.M. Lim and G.H. So, “Engineering properties of sulphate-resistant mortar used waste glass fine powder and meta-kaolin with assorted fine aggregate”, KIA (2017) 959.
- [11] J.E. Jung, Y.R. Jang, K.W. Kim, S.C. Heo and J.S. Min, “The analytical application for cement using X-ray diffraction and X-ray fluorescence spectrometer”, KAS 26 (2013) 340.