

고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 강도 및 내구성

주명기^{1)*} · 김남길¹⁾ · 연규석¹⁾

¹⁾강원대학교 농업공학부

(2001년 8월 2일 원고접수, 2002년 2월 14일 심사완료)

Strength and Durability of Polymer-Modified Mortars Using Ground Granulated Blast-Furnace Slag

Myung-Ki Joo^{1)*}, Nan-Ji Jin¹⁾, and Kyu-Seok Yeon¹⁾

¹⁾ Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea

(Received August 2, 2001, Accepted February 14, 2002)

ABSTRACT

Effect of the polymer-binder ratio and slag content on the properties of combined wet/dry-cured polymer-modified mortars using granulated blast-furnace slag are examined. Results shows that the flexural and compressive strengths of polymer-modified mortar using the slag tend to increase with increasing slag content, and reaches a maximum at a slag content of 40 %, and is inclined to increase with increasing polymer-binder ratio. Water absorption, carbonation depth and chloride ion penetration depth tend to decrease with increasing polymer-binder ratio and slag content. Accordingly, the incorporation of slag into polymer-modified mortars at a slag content of 40% is recommended for a combined wet/dry curing regardless of the types of polymer.

Keywords : polymer-binder ratio, slag content, strength, water absorption, carbonation, chloride ion penetration depth

1. 서 론

최근, 고로슬래그 미분말은 콘크리트의 내구성 개선이나 수화열의 저감을 목적으로 한 혼화재로서 수요가 증가하고 있다¹⁾. 또한 고로슬래그 미분말은 고강도 콘크리트용 혼화재로서의 이용도 검토되고 있으며, 국내에서도 제철산업의 부산물로 생성되어 혼화재로 널리 활용되고 있는 고로슬래그 미분말의 활용방안에 대한 연구가 많이 진행되고 있다^{2~6)}. 그렇지만 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르에 관한 연구는 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 고로슬래그 미분말과 폴리머 디스퍼션을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르를 조제하여 결합재 조성, 폴리머-결합재비 및 고로슬래그 치환율이 폴리머 시멘트 모르타르의 강도, 방수성, 중성화 및 염화물 이온 침투에 대한 저항성에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 구명해 보았던 바, 그 결과를 여기에 보고한다.

2. 사용재료

* Corresponding author

Tel : 033-251-3965 Fax : 033-251-3965

E-mail : joomyk@hanmail.net

2.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.2 혼화재

혼화재로서는 고로슬래그 미분말을 사용하였으며, 물리적 성질 및 화학조성은 Table 1과 같다.

2.3 잔골재

본 실험에 사용된 잔골재는 규사를 사용하였으며, 물리·화학적 성질은 Table 2와 같다.

2.4 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로서 스틸렌 부타디엔 고무 (SBR) 라텍스, 에틸렌 초산 비닐(EVA) 및 폴리 아크릴산 에스테르 (PAE) 에멀션을 사용하였다. 또한 폴리머 디스퍼션의 전고형분에 대해서 실리콘 에멀션계 소포제 (유효 실리콘분, 30 %)를 그 유효 고형분의 0.7 % (질량 백분율)을 첨가하였다. 사용된 폴리머 디스퍼션의 성질은 Table 3과 같다.

Table 1 Physical properties and chemical compositions of ground granulated blast-furnace slag

Specific gravity (g/cm ³)	Blaine specific surface (cm ² /g)	Percent flow (%)	Activity index (%)		
			7d	28d	91d
2.91	10,070	87	128	115	106
Chemical compositions (%)					
MgO	SO ₃	SiO ₂	Ig. loss	Cl ⁻	
5.58	0.12	33.5	<0.05	0.003	

Table 2 Physical properties and chemical compositions of silica sand

Specific gravity (g/cm ³)	Bulk density (kg/ℓ)	Clay content (%)	Organic impurities			
2.64	1.52	0.2	Nil			
Cumulative amount retained (%)						
Standard sieve size (μm)						
300	212	150	106			
0.1	50.0	95.7	99.5			
Chemical compositions (%)						
Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Total
0.5	92.6	3.7	0.7	0.5	0.2	98.2

Table 3 Properties of polymer dispersions

Type of polymer dispersion	Specific gravity (g/cm ³)	pH (20 °C)	Viscosity (20 °C, mPa · s)	Total solids (%)
SBR	1.02	9.4	64	44.7
EVA	1.07	5.2	1218	44.0
PAE	1.06	9.8	49	47.0

3. 시험 방법

본 연구에서는 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션과 고로슬래그 미분말을 혼합하여 우수한 강도 및 내구성을 가지는 폴리머 시멘트 모르타르를 개발할 목적으로 폴리머 시멘트 모르타르의 물리·역학적 성질 및 내구성을 다음과 같이 시험하였다.

3.1 공시체 제작

JIS A 1171 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험 방법)에 의하여 결합재 : 잔골재 = 1 : 3 (질량비), 폴리머-결합재 비를 0, 5, 10, 15 및 20 %로 그 플로우치가 170±5로 일정하게 되도록 물-결합재비를 조정해서 공시 모르타르를 비빈 후 크기 40×40×160 mm로 성형하여 표준양생 {2d 습윤[20 °C, 80 % (RH)]+5d 수중 (20 °C) +21d 건조[20 °C, 50 % (RH)]}를 실시하여 공시체를 제작하였다. 또한 시멘트에 대하여 고로슬래그 미분말의 치환율 [SL (%) : 이하, 고로슬래그 치환율이라 한다]을 질량비로 0, 30, 40 및 50 %로 혼합한 것을 결합재로 사용하였다.

3.2 세공용적 측정

크기 40×40×160 mm인 공시체의 내부로부터 채취한 시료를 입경 약 3 mm 로 파쇄하여 에탄올로 세정한 후 시료의 수분을 제거하기 위하여 데시케이터와 진공펌프를 이용하여 건조 처리한 후 수은 압입식 포로시메터를 이용하여 세공 반경 3.75~7500 nm의 범위에서 세공 용적을 측정하여 전세공 용적을 구하였다.

3.3 휨 및 압축강도시험

JIS A 1171에 의하여 공시체의 휨 및 압축강도시험을 실시하였다.

3.4 흡수시험

JIS A 1171에 의하여 수중 침적 48시간에서의 공시체의 질량을 측정하여 흡수율을 산출하였다.

3.5 중성화 시험

JIS A 1171에 의하여 공시체를 14일간 촉진 중성화 시험장치 [30 °C, 60 % (RH), CO₂농도 5.0%]내에 정착한 후 공시체를 2분할하여 그 단면에 페놀프탈레인 1 %의 알코올 용액을 분무하여 적색으로 변화하지 않는 부분을 중성화 부분으로 하여 중성화 깊이를 측정하였다.

3.6 염화물 이온 침투 시험

JIS A 1171에 의하여 공시체를 7일간 20 °C의 25 %염화나트륨 수용액 중에 침적한 후 공시체를 2분할하여 그 단면에 0.1 % 프롤로세인 나트륨 수용액 및 0.1 N 초산용액을 분무하여 형광을 발하는 부분을 염화물 이온 (Cl⁻) 침투 부분으로 하여 염화물 이온 침투 깊이를 측정하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 세공경 분포

Fig. 1은 고로슬래그 치환율 40 %에서 폴리머-결합재비를 0 및 20 %로 한 폴리머 시멘트 모르타르의 세공경 분포를 나타낸 것이다. 보통 시멘트 모르타르(폴리머-결합재비 0 %)의 세공경 분포는 세공 반경 24~750 nm에서 세공용적이 가장 크게 나타났지만, 폴리머의 혼입에 의해 그 세공용적의 피크는 세공 반경이 작은 쪽으로 이동하는 경향을 보였다. 또한, 고로슬래그 미분말의 치환에 의해서 세공경 분포의 피크는 세공반경 14 nm 이하로 이동하는 경향을 보였다. 이런 경향은 PAE 혼입 폴리머 시멘트 모

르타르에서 뚜렷하게 나타났다. 또한, 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 전세공 용적은 폴리머의 종류에 관계없이 보통 시멘트 모르타르의 10%정도 감소하는 경향을 보였다. 이것은 비표면적이 큰 고로슬래그 미분말의 혼입으로 시멘트 수화반응과 고로슬래그 미분말의 포졸란 반응이 촉진되어 치밀한 내부조직이 형성되기 때문이라 판단된다. 이 결과로부터 폴리머 디스퍼션 및 고로슬래그 미분말의 혼입에 의해 모르타르의 내부조직이 치밀하게 되는 것을 알 수 있다. 이같이 작은 반경의 세공이 많아지는 것은 강도, 방수성, 중성화 및 염화물 이온 침투에 대한 저항성을 개선하는 하나의 요인이라 할 수 있다. 또한, 폴리머 시멘트 모르타르의 전세공 용적은 폴리머 및 고로슬래그 미분말의 혼입에 따라 감소하였다.

4.2 힘 및 압축강도

Fig. 2 및 Fig. 3은 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 힘 및 압축강도와 폴리머-결합재비의 관계를, Fig. 4 및 Fig. 5는 그 힘 및 압축강도와 고로슬래그 치환율의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 치환율

에 관계없이 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 힘 및 압축강도는 일부를 제외하고는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이 경향은 PAE 혼입 폴리머 시멘트 모르타르에서 뚜렷하게 나타났다. 폴리머 종류에 관계없이 일부를 제외한 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 힘 및 압축강도는 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 나타내었다. 이와 같이 높은 힘 및 압축강도의 발현은 폴리머 시멘트 모르타르에 분말도가 높은 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우 내부에 연속적으로 형성된 폴리머 필름의 밀실 효과에 의한 보수성의 향상에 의해 시멘트의 수화반응과 고로슬래그 미분말의 포졸란 반응이 충분히 진행하여 치밀한 조직이 형성되었기 때문이라 사료된다⁷⁾. 또한 Fig. 1에서 보인 바와 같이, 가장 높은 강도를 보인 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 20%인 폴리머 시멘트 모르타르의 세공경 분포의 피크가 세공반경이 큰 쪽으로부터 14 nm 이하의 매우 작은 쪽으로 이동하는 것으로부터도 이해가 가능하다. Photo 1은 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르에 형성된 폴리머 필름의 주사형 전자현미경사

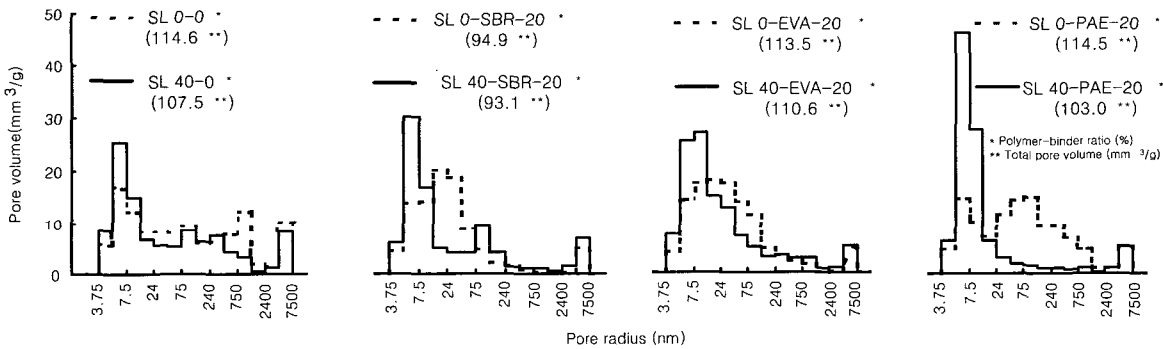


Fig. 1 Pore distribution of combined wet/dry-cured polymer-modified mortars with polymer-binder ratios of 0 and 20 %, and slag contents of 0 and 40 %

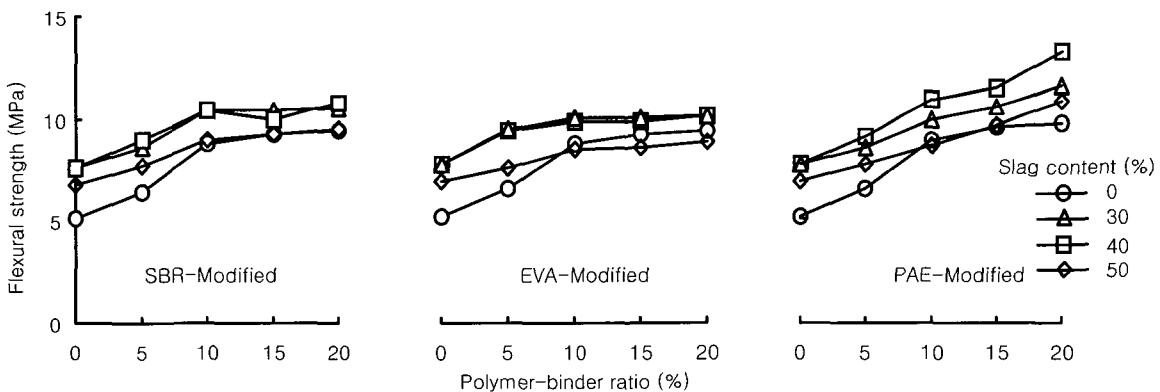


Fig. 2 Polymer-binder ratio versus flexural strength of polymer-modified mortars with slag contents of 0, 30, 40, 50 %

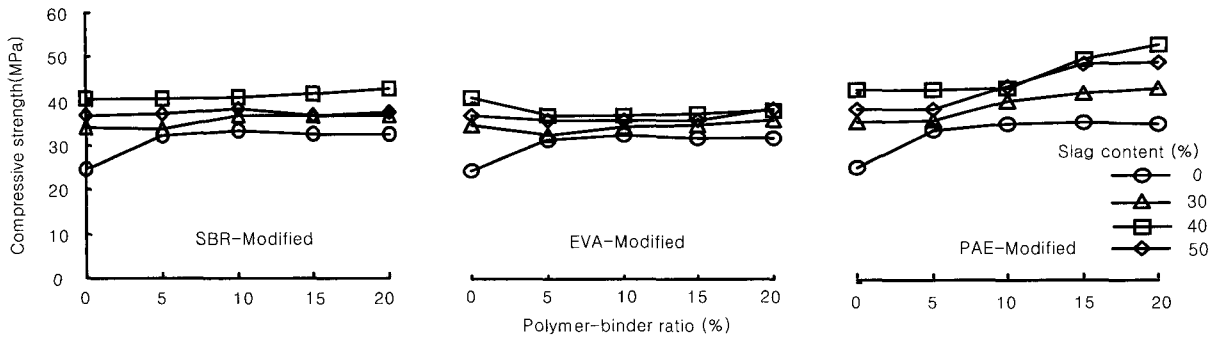


Fig. 3 Polymer-binder ratio versus compressive strength of polymer-modified mortars with slag contents of 0, 30, 40 and 50 %

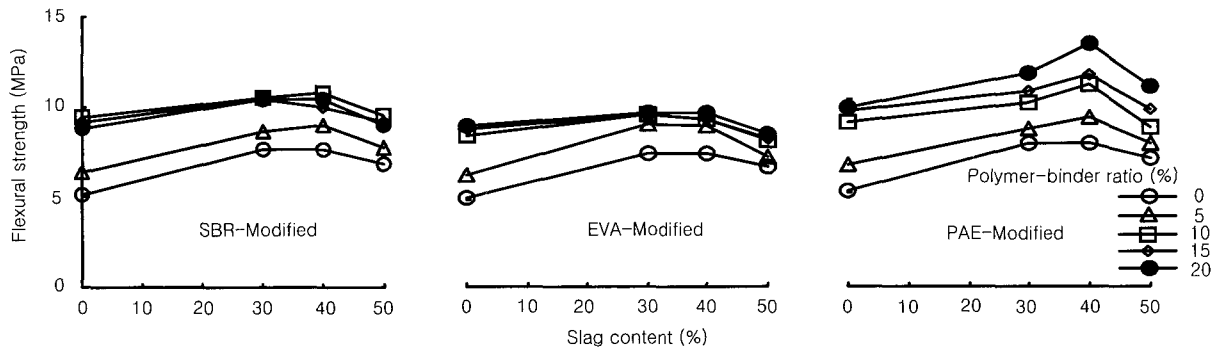


Fig. 4 Slag content versus flexural strength of polymer-modified mortars with polymer-binder ratios of 0, 5, 10, 15 and 20 %

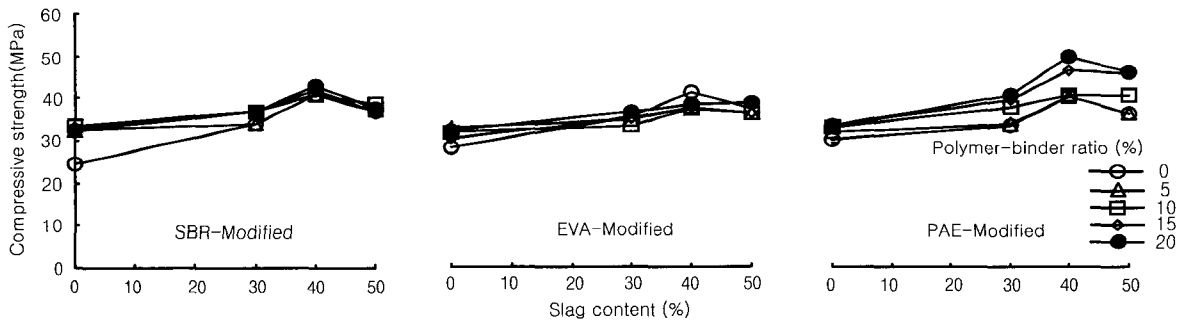


Fig. 5 Slag content versus compressive strength of polymer-modified mortars with polymer-binder ratios of 0, 5, 10, 15 and 20 %

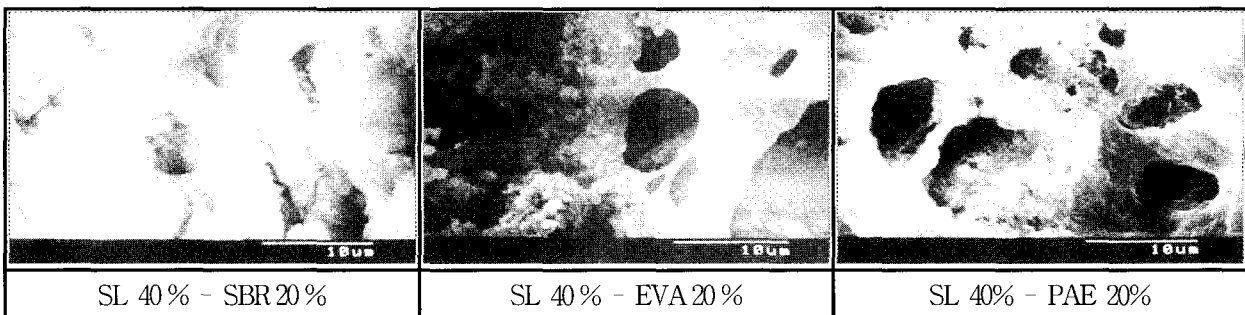


Photo 1 Microstructures of polymer-modified mortars with polymer-binder ratio of 20 %, and slag content of 40 %

진 (염산과 붕산으로 에칭한 후의 관찰)을 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르에서는 폴리머의 종류에 관계없이 연속된 폴리머 필름이 형성되는 것을 알 수 있었다.

4.3 흡수율

Fig. 6은 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 수중침적 48시간에서의 흡수율과 폴리머-결합재비의 관계를, Fig. 7은 수중침적 48시간에서의 흡수율과 고로슬래그 치환율의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 흡수율은 폴리머-결합재비 및 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이것은 Fig. 1에서 보인 바와 같이, 폴리머와 고로슬래그 미분말의 치환에 의해 그 흡수율에 큰 영향을 미치는 큰 세공이 감소하기 때문이라고 사료된다.

4.4 중성화 깊이

Fig. 8은 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화 깊이와 폴리머-결합재비의 관계를, Fig. 9

는 중성화 깊이와 고로슬래그 치환율의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 중성화 깊이는 고로슬래그 치환율 및 폴리머의 종류에 관계없이 폴리머-결합재비의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 모든 폴리머-결합재비에서도 고로슬래그치환율 30%이상에서의 중성화 깊이는 상당히 나타났지만 고로슬래그 치환율에 의한 차이는 매우 작았다. 이것은 Fig. 1에서 보인 바와 같이 큰 세공이 감소하여 매우 치밀한 내부조직이 형성됨과 더불어 Photo 1에 보인 바와 같이 폴리머 시멘트 모르타르 내부에 연속적으로 형성된 폴리머 필름에 의한 이산화탄소 차단 성능 때문이라 생각된다⁸⁾.

4.5 염화물 이온 침투 깊이

Fig. 10은 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물 이온 침투 깊이와 폴리머-결합재비의 관계를, Fig. 11은 염화물 이온 침투깊이-고로슬래그 치환율 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 염화물 이온 침투 깊이는 폴리머의 종류에 관계없이 폴리머-결합재비 및 고로슬래그 치

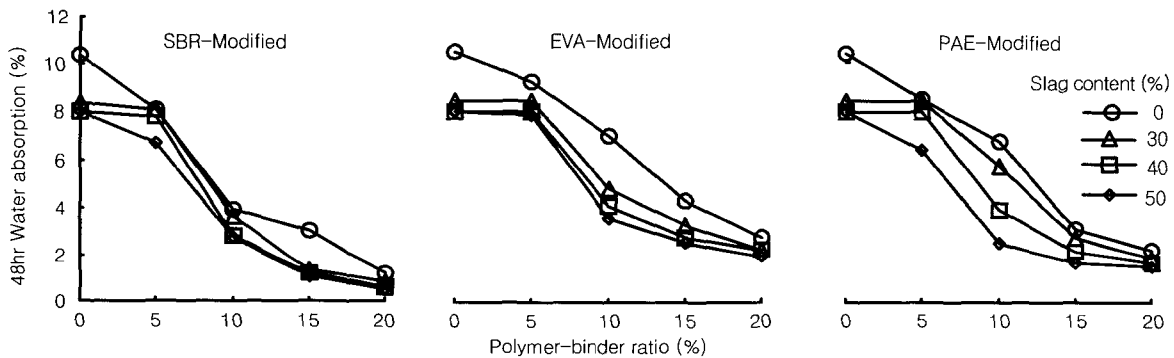


Fig. 6 Polymer-binder ratio versus 48 hr water absorption of polymer-modified mortars with slag contents of 0, 30, 40 and 50 %

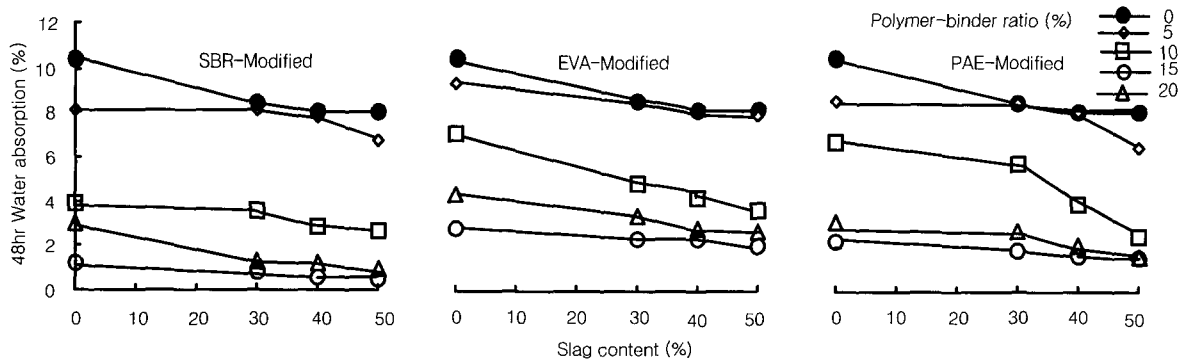


Fig. 7 Slag content versus 48 hr water absorption of polymer-modified mortars with polymer-binder ratios of 0, 5, 10, 15 and 20 %

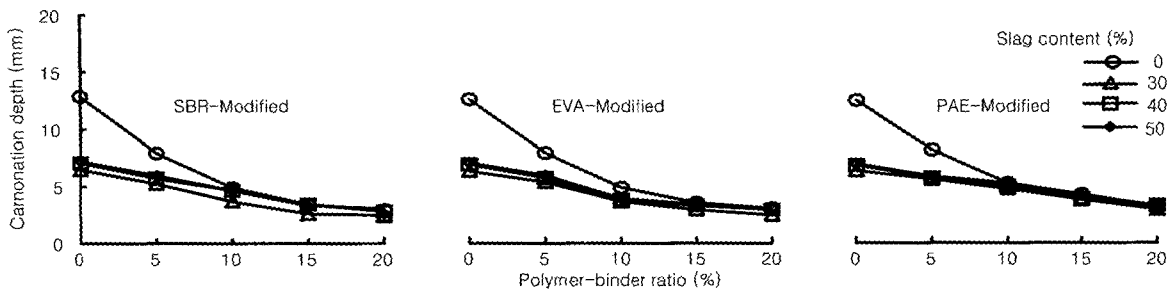


Fig. 8 Polymer-binder ratio versus carbonation depth of polymer-modified mortars with slag contents of 0, 30, 40 and 50 %

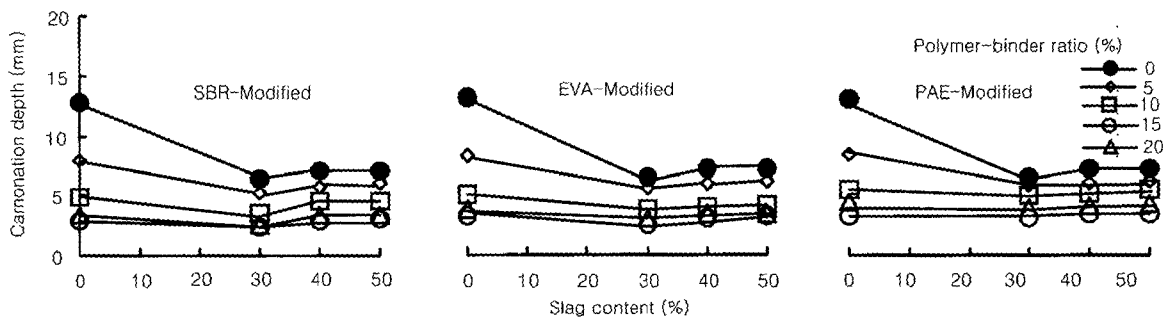


Fig. 9 Slag content versus carbonation depth of polymer-modified mortars with polymer-binder ratios of 0, 5, 10, 15 and 20 %

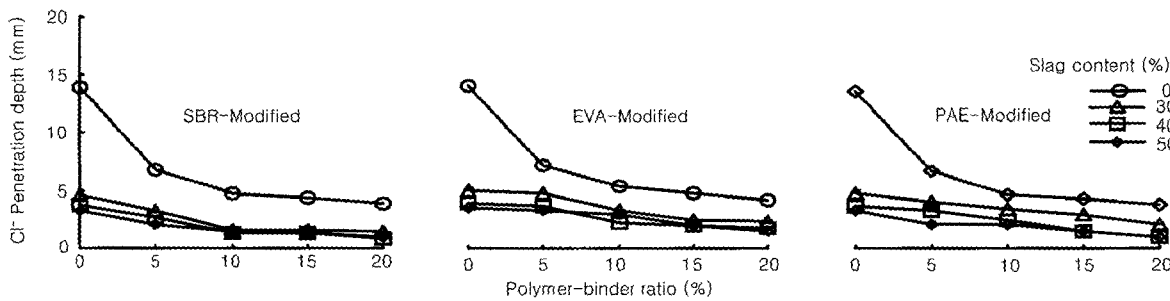


Fig. 10 Polymer-binder ratio versus chloride ion penetration depth of polymer-modified mortars with slag contents of 0, 30, 40 and 50 %

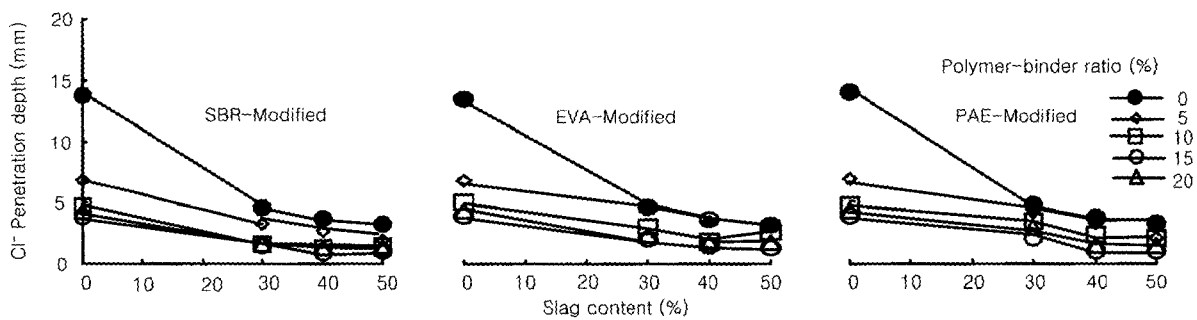


Fig. 11 Slag content versus chloride ion penetration depth of polymer-modified mortars with polymer-binder ratios of 0, 5, 10, 15 and 20 %

환율의 증가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 흡수율의 경우와 마찬가지로 폴리머와 고로슬래그 미분말의 혼입에 의해 모르타르의 내부조직이 치밀하게 형성되었기 때문이라 생각된다⁹⁾.

5. 결 론

이 연구는 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 성질을 실험적으로 구명한 것으로서, 이 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 전세공 용적은 폴리머의 종류에 관계없이 보통 시멘트 모르타르의 10% 정도로 감소하는 경향을 보였다.
- 2) 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 휨 및 압축강도는 폴리머의 종류에 관계없이 폴리머-결합재비의 증가에 따라 상당히 증가하고 그 경향은 PAE 혼입 폴리머 시멘트 모르타르에서 뚜렷하게 나타났다. 또한 그 강도는 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 나타냈다.
- 3) 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 흡수율, 중성화 및 염화물 이온 침투에 대한 저항성은 폴리머-결합재비 및 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 상당히 개선되는 경향을 보였다.

참고문헌

1. 近田孝夫, 檀 康弘, 堀 健治, 長尾之彦, “高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐海水性,” 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992.5, pp.263~268.

2. 이상명, 최홍윤, 이환우, 김명식, “고로슬래그미분말을 혼입한 수중불분리콘크리트의 특성에 관한 연구,” 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제11권 2호, 1999. 11, pp.95~98.
3. 김무한, 권영진, 강석표, “고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트의 내동해성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 2호, 2000, 4, pp.43~51.
4. 이상수, 원철, 김동석, 박상준, “고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 4호, 2000, 8, pp.49~58.
5. 김무한, 권영진, 강석표, 박선규, “고로슬래그 미분말을 혼입한 고강도 콘크리트의 내동해성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 4호, 2000, 8, pp.41~48.
6. 한상호, “고로슬래그를 굵은골재로 이용한 콘크리트의 강도특성,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 5호, 2000, 10, pp.59~68.
7. 人濱嘉彦, 出村克宣, 木村正尚, 高爐スラグ微粉末を用いた超高强度モルタルの製造, 第17回セメント・コンクリート 研究討論會 研究報告集, 1990.11, pp.51~56.
8. 依田彰彦, 高爐スラグ微粉末の高强度・高耐久性コンクリートへの利用, 石膏と石炭, No. 243, 1993.3, pp.16~21.
9. 福留和人, 谷口裕史, 喜多達夫, 高爐スラグ微粉末を混入した水中不分離性コンクリートの鹽分浸透性について, 上木學會 第46回年次 學術講演會講演概要集 第5部, 1991. 9 pp.640~641.

감사의 글

이 연구는 강원대학교 부설 석재복합신소재 제품연구센터의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

요 약

본 연구는 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 강도, 흡수율, 중성화 깊이 및 염화물 이온 침투 깊이에 미치는 폴리머-결합재비 및 고로슬래그 치환율의 영향에 대해 고찰하였다. 그 결과, 폴리머 시멘트 모르타르의 휨 및 압축강도는 폴리머-결합재비 및 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치에 달하는 것으로 나타났다. 폴리머 시멘트 모르타르의 방수성, 중성화 및 염화물 이온 침투에 대한 저항성은 폴리머-결합재비 및 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. 따라서 폴리머 종류에 관계없이 폴리머 시멘트 모르타르에 고로슬래그 미분말을 혼입할 경우에는 고로슬래그 치환율은 40% 정도라고 할 수 있다.

핵심용어 : 폴리머-결합재비, 고로슬래그 치환율, 강도, 흡수율, 중성화 깊이, 염화물 이온 침투 깊이