

오토클레이브 양생 폴리머 시멘트 콘크리트의 강도성상에 미치는 고로슬래그 미분말 혼입의 영향

주명기¹⁾

¹⁾강원대학교 석재복합신소재제품연구센터
(2002년 4월 9일 원고접수, 2002년 6월 3일 심사완료)

Effect of Addition of Ground Granulated Blast-Furnace Slag on Strength Properties of Autoclaved Polymer-Modified Concrete

Myung-Ki Joo¹⁾

¹⁾ Research Center for Advanced Mineral Aggregate Composite Products, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea
(Received April 9, 2002, Accepted June 3, 2002)

ABSTRACT

The effects of slag content and polymer-binder ratio on the strength properties of autoclaved SBR-modified concretes using ground granulated blast-furnace slag (slag) and a styrene-butadiene rubber (SBR) latex are examined. As a result, the compressive and tensile strengths of the autoclaved SBR-modified concretes using slag increase with increasing slag content, and reach a maximum at a slag content 40%, and increase with increasing polymer-binder ratio. In particular, the autoclaved SBR-modified concretes with a slag content of 40% provide about three times higher tensile strength than unmodified concretes. Such high strength development is attributed to the high tensile strength of SBR polymer and the improved bond between cement hydrates and aggregates because of the addition of SBR latex.

Keywords : autoclaving, polymer-modified concrete, polymer-binder ratio, slag content, strength

1. 서 론

최근, 고로슬래그 미분말은 알카리 골재반응의 억제, 수화열의 저감 및 내구성 개선을 목적으로 한 콘크리트용 혼화제로서 사용되고 있다^{1~5)}. 또한 고로슬래그 미분말은 고강도 콘크리트용 혼화제로서의 이용도 검토되고 있다. 국내에서는 이러한 특성들로 인해 제철산업의 부산물로 생성되어 혼화제로 널리 활용되고 있는 고로슬래그 미분말의 활용방안에 대한 연구가 많이 진행되고 있다^{6~9)}. 한편, 프리캐스트 콘크리트 제품 제조에 있어서는 조기강도의 발현을 목적으로 한 오토클레이브 양생이 사용되고 있다. 그렇지만 현재까지 폴리머 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 오토클레이브 양생의 적용에 관한 연구는 이루어지고 있지 않다. 오토클레이브 양생용 실리카질 혼화제로서는 종래부터 고순도 실리카가 사용되어 왔다. 본 연구에서는 고로슬래그의 유효이용의 입장에서부터 고순도 실리카와 동등의 효과를 기대하기 위해 비표면적을 크게 하여 그 반응성을 높인 고로슬래그 미분말을 오토클레이브 양생용 실리카질 혼화제로서 사용 가능성에 대하여 실

험하였다.

본 연구에서는 고로슬래그 미분말과 SBR라텍스를 혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트를 제조하여 오토클레이브 양생조건, 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비가 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 강도에 미치는 영향에 관해서 실험적으로 구명하였다.

2. 사용재료

2.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 성질은 Table 1과 같다.

2.2 혼화재

혼화제로서는 고로슬래그 미분말을 사용하였으며, 물리적 성질 및 화학조성은 Table 2와 같다.

2.3 골재

잔골재로는 강모래 (최대치수, 2.5 mm), 굵은 골재로는

* Corresponding author
Tel : 033-251-3965 Fax : 033-251-3965
E-mail : joomyk@hanmail.net

부순자갈(최대치수, 20 mm)을 사용하였다. 사용한 골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

2.4 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로서 스틸렌 부타디엔 고무 (SBR)라텍스를 사용하였다. 또한, SBR라텍스의 전 고형분에 대하여 실리콘 에멀션계 소포제 (유효 실리콘분, 30%)를 그 유효 고형분으로 0.7%(질량백분율)을 첨가하였다. 사용한 SBR라텍스의 성질은 Table 4와 같다.

3. 실험방법

3.1 공시체제작

KS F 2403(콘크리트의 강도시험용 공시체 제작 방법)에 의하여 폴리머-결합재비(P/B)를 0, 5, 10, 15 및 20%로 슬럼프치가 10.0±1.0 cm로 일정하게 되도록 물-결합재비를 조정하였다. 공시체의 크기는 $\phi 10 \times 20$ cm (압축 및 인장강도 시험용)로 성형하여 2일 습윤[20 °C, 80%(RH)]양생 후 오토클레이브 양생 (180 °C, 1.01 MPa, 7 h 유지)을 실시하였다. 또한, 시멘트에 대하여 고로슬래그 미분말의 치환율 [SL(%):이하, 고로슬래그 치환율이라 함]을 질량비 0, 30, 40 및 50%로 하였다. 고로슬래그 미분말을 혼입한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 배합은 Table 5와 같다.

3.2 세공경 분포의 측정

크기 $\phi 10 \times 20$ cm의 공시체의 내부로부터 채취한 시료를 입경 약 3 mm로 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 세공용적을 측정하였다.

3.3 압축강도 시험

KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 의하여 공시체의 압축강도시험을 실시하였다. 동시에 와이어 스트레인 게이지(게이지 길이, 60 mm)를 붙여 변형률을 측정하여 정탄성계수를 구하였다.

3.4 인장강도 시험

KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법)에 의하여 공시체의 인장강도 시험을 실시하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 세공경 분포

Fig. 1 및 Fig. 2는 고로슬래그 치환율 0, 30, 40 및 50%에서 폴리머-결합재비를 0 및 20%인 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브 양생 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 세공경 분포를, 또, Fig. 3은 그 전세공 용적과 고로슬래그 치환율과의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 치환율에 관계없이 폴리머-결합재비 0%인 보통 시멘트 콘크리트는 SBR라텍스의 혼입에 의해 전세공용적은 감소하지만, 그 세공경 분포에 미치는 SBR 라텍스 혼입의 영향은 그다지 크지 않았다. 그러나 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트 및 보통 콘크리트의 세공경 분포는 고로슬래그 미분말의 혼입에 의해 큰 쪽에서부터 작은 쪽으로 이동하는 경향을 보였다. 이 같이 작은 반경의 세공 용적이 크게 되는 것은 강도를 개선하는 하나의 요인이라고 할 수 있다. 또한 그 전세공용적은 고로슬래그 치환율에 의한 차이는 매우 작게 나타났다.

Table 1 Physical properties of ordinary portland cement

Specific gravity	Blaine specific surface (cm ² /g)	Setting time (h-min)		Compressive strength (MPa)		
		Initial time	Final time	3d	7d	28d
3.16	3,290	2-22	3-31	29.5	44.1	61.5

Table 2 Physical properties and chemical compositions of ground granulated blast-furnace slag

Specific gravity	Blaine specific surface (cm ² /g)	Percent flow (%)	Activity index (%)		
			7d	28d	91d
2.91	10070	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 3 Physical properties of aggregates

Type of aggregate	Maximum size (mm)	Fineness modulus	Bulk density (kgf/ℓ)	Specific gravity	Water absorption
Fine agg.	2.5	2.60	1.60	2.54	2.2
Coarse agg.	20.0	6.68	1.62	2.53	1.93

Table 4 Properties of SBR latex

Type of polymer dispersion	Specific gravity (g/cm ³)	pH (20 °C)	Viscosity (20 °C, mPa · s)	Total solids (%)
SBR	1.00	9.4	64	44.8

Table 5 Mix proportions of SBR-modified concretes using slag

Slag content* (%)	Slump (cm)	Air content (%)	Polymer-binder ratio (%)	Water-binder ratio (%)	Sand-aggregate ratio (%)	Unit water content (kg/m ³)	Mix proportions by weight (kg/m ³)				
							Cement	Slag	Polymer	Sand	Crushed stone
0	10.0	3.0	0	60.0	40	180	300	0	0	706	1055
	9.5	2.8	5	53.0	40	159			15	714	1067
	9.5	2.3	10	49.0	40	147			30	716	1070
	10.0	2.0	15	42.0	40	126			45	726	1084
	10.5	1.9	20	38.0	40	114			60	723	1081
30	10.5	3.1	0	58.0	40	174	210	90	0	709	1059
	10.5	2.7	5	53.0	40	159			15	713	1065
	10.0	2.2	10	49.0	40	147			30	715	1068
	9.5	2.0	15	42.0	40	126			45	723	1080
	10.0	1.8	20	38.0	40	114			60	722	1079
40	10.0	2.9	0	57.0	40	171	180	120	0	713	1065
	10.5	2.5	5	52.0	40	156			15	717	1071
	10.0	2.0	10	48.0	40	144			30	719	1074
	10.5	1.8	15	41.0	40	123			45	727	1086
	10.5	1.8	20	37.0	40	111			60	724	1082
50	10.0	2.8	0	57.0	40	171	150	150	0	713	1066
	9.5	2.2	5	52.0	40	156			15	719	1075
	10.5	1.9	10	48.0	40	144			30	719	1075
	9.5	1.8	15	41.0	40	123			45	726	1085
	10.0	1.7	20	37.0	40	111			60	727	1087

Note, * : wt % of binder(cement+slag)

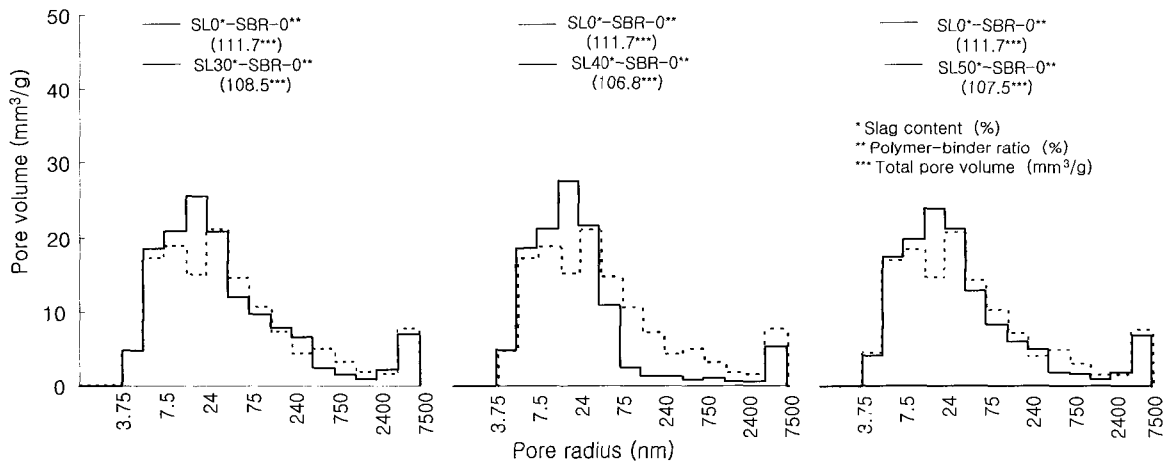


Fig. 1 Pore size distribution of autoclaved unmodified concretes with slag

4.2 압축강도

Fig. 4 및 Fig. 5는 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도와 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비와의 관계를 나타낸 것이다. 폴리머-결합재비에 관계없이 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트 및 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도는 고

로슬래그 치환율의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 보였다. 고로슬래그 치환율에 관계없이 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이 같이 높은 압축강도의 발현은 고로슬래그 미분말의 혼입에 의해 시멘트와의 포졸란 반응의 결과인 11Å 토버모라이트 (tobermorite)의 생성에 기인하여 조직의 치밀화^{10,11)}

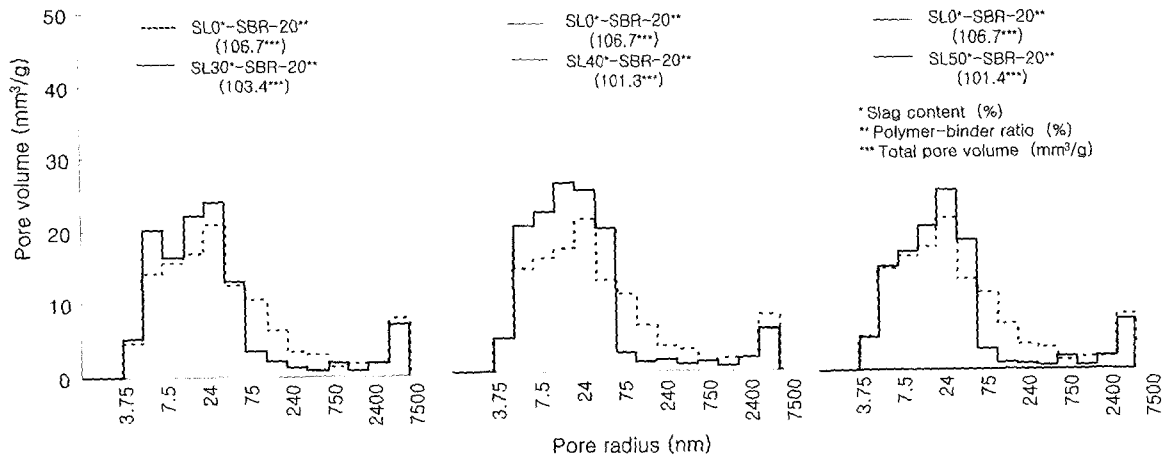


Fig. 2 Pore size distribution of autoclaved SBR-modified concretes with slag

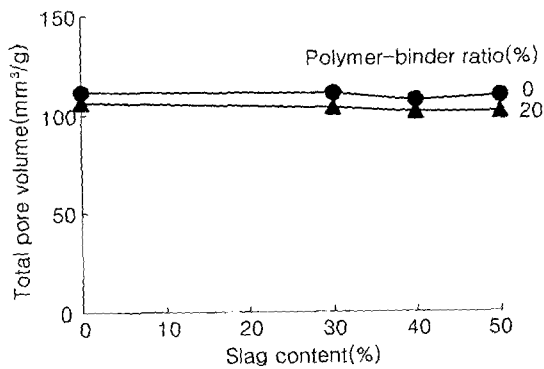


Fig. 3 Slag content versus total pore volume of autoclaved SBR-modified concrete

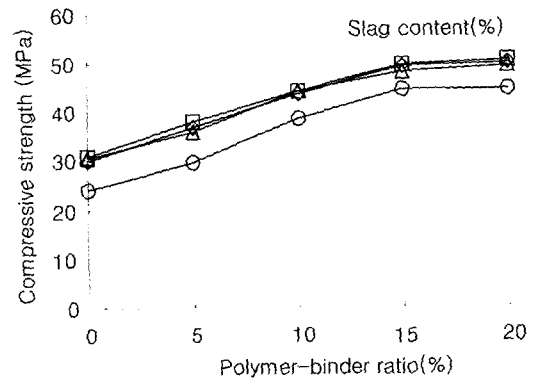


Fig. 5 Polymer-binder ratio versus compressive strength of autoclaved SBR-modified concrete

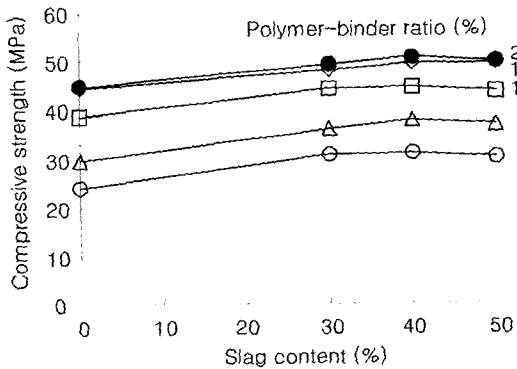


Fig. 4 Slag content versus compressive strength of autoclaved SBR-modified concrete

및 SBR 라텍스의 혼입에 의한 뛰어난 감수효과 및 시멘트 수화물과 골재간의 접착성 개선에 기인되기 때문이라고 생각된다. 특히, 시멘트 수화물과 골재간의 접착성 개선은 Photo 1 에서 보이는 바와 같이 보통 시멘트 콘크리트의 전이대는 골재표면과 거의 수직으로 판상 또는 층상의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 결정이 존재하고 소량의 젤상 수화물이 채워져 있는 중간층이 보이지만 고로슬래그 미분말을 혼입한

오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트는 그와 같은 중간층이 보이지 않고 치밀한 조직이 형성되어 있는 것으로도 알 수 있었다. 또한 이와 같은 높은 압축강도의 발현은 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 20%인 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 세공경 분포가 세공반경의 큰 쪽으로부터 작은 쪽으로 이동하는 것과 그 전세공용적이작게 되는 것으로부터도 알 수 있다.

Fig. 6 및 Fig. 7은 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 탄성계수와 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비와의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트 및 보통 시멘트 콘크리트의 탄성계수는 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 15%에서 최대치를 보였다. 콘크리트 중에서 폴리머 필름을 형성하는 재료의 탄성계수는 시멘트 수화물의 탄성계수보다 작지만, 폴리머-결합재비 15%까지 증가하고 있는 것은 SBR라텍스 혼입으로 인한 감수효

과 및 보수성이 개선되기 때문이라 생각된다.

4.3 인장강도

Fig. 8 및 Fig. 9는 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클

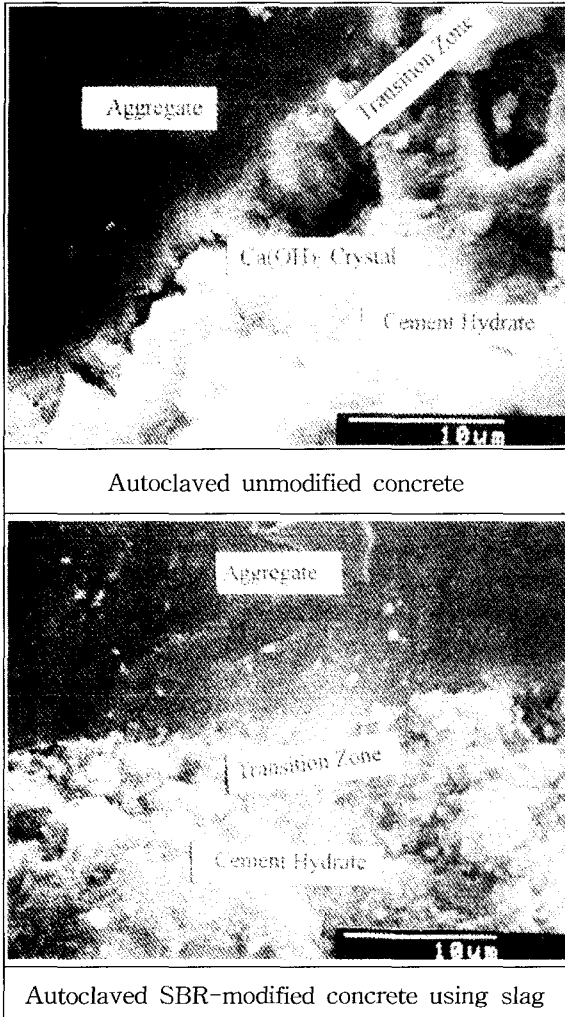


Photo 1 Microstructures of transition zone between aggregates and cement hydrate of autoclaved unmodified concrete and SBR-modified concrete using slag

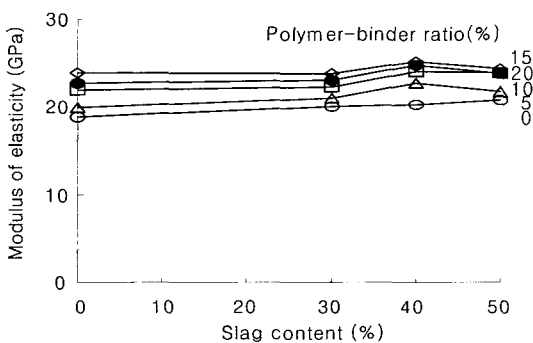


Fig. 6 Slag content versus modulus of elasticity of autoclaved SBR-modified concretes

레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장강도와 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합제비와의 관계를 나타낸 것이다. 폴리머-결합제비에 관계없이 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장강도는 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 보였다. 고로슬래그 치환율에 관계없이 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장강도는 폴리머-결합제비의 증가에 따라 현저히 증가하는 경향을 보였다. 특히, 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합제비 20%의 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 약 3배의 매우 높은 인장강도를 나타냈다. 이것은 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트중에 형성되는 폴리머 필름에 의한 폴리머의 인장강도 부여 및 시멘트 수화물과 골재간의 부착이 현저히 개선되었기 때문이라 판단된다.

본 연구에 한하여 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축 및 인장강도는 폴리머-결합제비의 증가에 의해 개선되었고 그 경향은 인장강도에서 현저하게 나타났다. 또한, 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 강도는 大濱 등^{12,13}의 표준양생 {2d

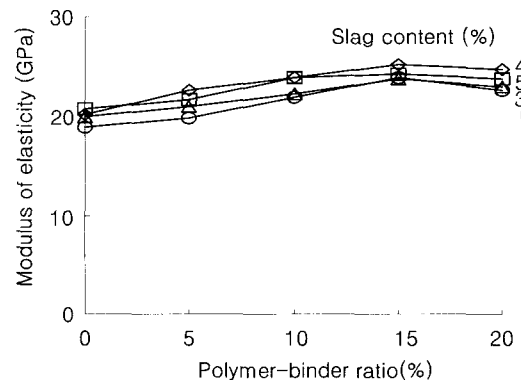


Fig. 7 Polymer-binder ratio versus modulus of elasticity of autoclaved SBR-modified concretes

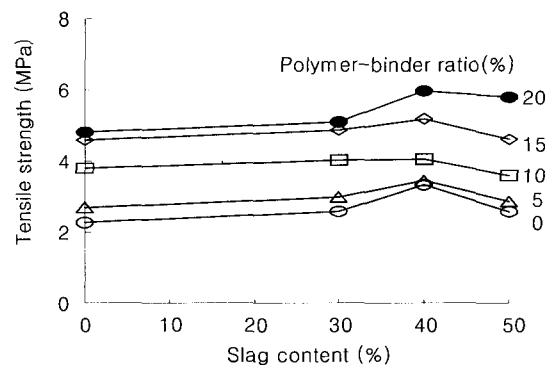


Fig. 8 Slag content versus tensile strength of autoclaved SBR-modified concretes

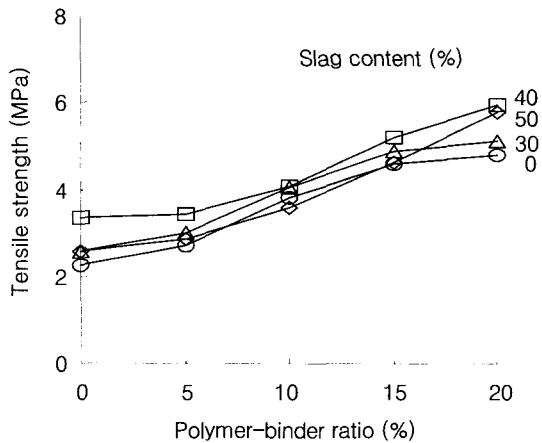


Fig. 9 Polymer-binder ratio versus tensile strength of autoclaved SBR-modified concretes

습윤[20℃, 80% (RH)]+5d 수증(20℃)+21d 건조[20℃, 50% (RH)]을 행한 폴리머 시멘트 콘크리트보다도 높은 강도를 나타냈다.

5. 결 론

본 연구는 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 폴리머 시멘트 콘크리트의 강도성상을 실험적으로 구명한 것으로서, 본 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 오토클레이브양생 폴리머 시멘트 콘크리트의 전세공용적은 고로슬래그 미분말 및 SBR라텍스의 혼입에 의해 조금 감소하는 경향을 나타냈다.
- 2) 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축 및 인장강도는 일부를 제외하고는 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 보였다. 또, 그 강도는 폴리머-결합재비의 증가에 의해 증가하였다.
- 3) 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 탄성계수는 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 15%에서 최대치를 나타냈다.
- 4) 이상의 결과로부터 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트는 오토클레이브양생에 의해 높은 압축 및 인장강도를 보였으며, 고로슬래그 미분말의 혼입에 의해 그 강도는 더욱 개선되었다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 석재복합신소재 제품연구센터의

연구비 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 近田孝夫, 檀 康弘, 堀 健治, 長尾之彦, “高爐슬래그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, pp.263~268.
2. 檀 康弘, 坂本好史, 牧角龍憲, “高爐슬래그微粉末を用いたコンクリートの分割練り混ぜによる効果,” セメント技術大會講演集, No. 44, 1990, pp.304~309.
3. 依田彰彦, “高爐슬래그微粉末の高強度・高耐久性コンクリートへの利用,” 石膏と石炭, No.243, 1993, pp.16~21.
4. 福留和人, 谷口裕史, 喜多達夫, “高爐슬래그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, pp.640~641.
5. 河野 清, 松永史朗, 天羽和夫, 兒玉明彦, “高粉末度のシリカ微粉末を用いたコンクリートの配合と壓縮強度,” セメント技術大會講演集, No. 44, pp.188~193, 1990, pp.59~68.
6. 이상수, 원철, 김동석, 박상준, “고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 4호, 2000, pp.49~58.
7. 김무한, 권영진, 강석표, 박선규, “고로슬래그 미분말을 혼입한 고강도 콘크리트의 내동해성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 4호, 2000, pp.41~48.
8. 김무한, 권영진, 강석표, “고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트의 내동해성에 관한 실험적 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 2호, 2000, pp.43~51.
9. 한상호, “고로슬래그를 굵은골재로 이용한 콘크리트의 강도특성,” 한국콘크리트학회 논문집, 제12권 4호, 2000, pp.59~68.
10. 大濱嘉彦, 出村克宣, 木村正尚, “高爐슬래그微粉末を用いた超高强度モルタルの製造,” セメント・コンクリート研究討論會研究報告集, No. 17, 1990, pp.51~56.
11. 大濱嘉彦, 出村克宣, 林志翔, “超高强度モルタルの強度性状に及ぼす調合要因及び養生條件の影響,” セメント技術大會講演集, No. 44, 1990, pp.674~ 679.
12. 大濱嘉彦, “ポリマー-セメントコンクリートの性質と調合設計,” セメント・コンクリート, No. 410, 1981, pp. 10~17.
13. Ohama, Y. and Kan, S., “Effects of Specimen Size on Strength and Drying Shrinkage of Polymer-Modified Concrete,” *The International Journal of Cement Composites and Light-Weight Concrete*, Vol. 4, No. 4, 1982, pp. 229~233.

요 약

본 연구는 고로슬래그 미분말 및 SBR 라텍스를 혼입한 폴리머 시멘트 모르타르의 강도성상에 미치는 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비의 영향에 대해 검토하였다. 그 결과, 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브 양생 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축 및 인장강도는 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 증가하였고, 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치에 달하였다. 고로슬래그 미분말을 혼입한 오토클레이브 양생 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축 및 인장강도는 폴리머-결합재 비의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다. 특히, 고로슬래그 치환율 40%의 오토클레이브 양생 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘크리트는 고로슬래그 미분말 및 SBR 미혼입 폴리머 시멘트 콘크리트보다 약 3배이상의 높은 인장강도를 나타냈다. 이같이 높은 강도 개선은 SBR 라텍스의 혼입에 의해 시멘트 수화물과 골재간의 접착력이 개선되기 때문이라 판단된다.

핵심용어 : 오토클레이브 양생, 폴리머 시멘트 콘크리트, 폴리머-결합재비, 고로슬래그 치환율, 강도
