

## 고로슬래그 미분말을 이용한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 강도특성

주명기<sup>1)\*</sup> · 연구석<sup>1)</sup> · 大濱嘉彦<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>강원대학교 농업공학부 <sup>2)</sup>일본대학 공학부 건축학과  
(2001년 10월 9일 원고접수, 2002년 3월 6일 심사완료)

### Strength Properties of SBR-Modified Concretes Using Ground Granulated Blast-Furnace Slag

Myung-Ki Joo<sup>1)\*</sup>, Kyu-Seok Yeon<sup>1)</sup>, and Yoshihiko Ohama<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Division of Agricultural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea

<sup>2)</sup> Dept. of Architecture, College of Engineering, Nihon University, Koriyama, 963-8642, Japan

(Received October 9, 2001, Accepted March 6, 2002)

#### ABSTRACT

The effects of slag content and polymer-binder ratio on the strength properties of the polymer-modified concretes using ground granulated blast-furnace slag and a styrene-butadiene rubber (SBR) latex are examined. As a result, the compressive, tensile and flexural strengths of the SBR-modified concretes using slag increase with increasing polymer-binder ratio and slag content, and maximized at a slag content of 40 %. In particular, the SBR-modified concretes with a slag content of 40 % provide approximately two times higher tensile and flexural strengths 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.

**Keyword:** polymer-modified concrete, polymer-binder ratio, slag content, strength, styrene-butadiene rubber(SBR) latex

#### 1. 서 론

고로슬래그 미분말은 콘크리트의 장기강도, 수밀성 및 화학저항성의 개선과 알칼리 골재반응의 억제 및 매스콘크리트에서 수화열 제어에 효과가 있어, 콘크리트용 혼화재로서 많이 사용되고 있다<sup>1-6)</sup>. 폴리머 시멘트 모르타르 및 콘크리트는 높은 휨 및 인장강도, 부착성, 내구성 등이 우수한 장점을 가지고 있다. 이에 따라 폴리머 시멘트 모르타르는 도포재, 도장재, 접착제, 방수제, 철근 콘크리트 구조물용 보수재 등으로 이용이 가능하다. 폴리머 시멘트 콘크리트의 경우에는 폴리머의 다량첨가로 인한 경제성의 문제로 사용에 제약을 받아왔지만 세계 각국에서는 교량 상판의 덧씌우기나 철근 콘크리트 구조물의 보수 등에 적극적으로 사용되고 있다. 그러나 고로슬래그 미분말을 혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트에 관한 연구는 거의 찾아보기 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 고로슬래그 미분말과 SBR라텍스를 혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트를 조제하여 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비가 SBR혼입 폴리머 시멘

트 콘크리트의 강도에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 구명코저 한다.

#### 2. 사용 재료

##### 2.1 시멘트

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

##### 2.2 혼화재

혼화재는 고로슬래그 미분말을 사용하였으며, 그 성질은 Table 2와 같다.

##### 2.3 골재

잔골재로는 강모래(최대치수, 2.5 mm), 굵은 골재로는 부순자갈(최대치수, 20 mm)을 사용하였다. 사용한 골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

##### 2.4 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션

\* Corresponding author

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

E-mail : joomyk@hanmail.net

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

### 3. 시험 방법

#### 3.1 공시체의 제작

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 cm 로 일정하게 되도록 물-결합재비를 조정하였다. 공시체의 크기는  $\phi 10 \times 20$  cm (압축 및 쪼갬인장강도 시험용) 및 10×10×40 cm(휨강도 시험용)이며, 폴리머 시멘트 콘크리트에 대해서는 3단계 양생 {2d 습윤[20 °C, 80% (RH)]+5d 수중(20 °C)+21d 건조[20 °C, 50% (RH)]}을 하였다. 또한, 시멘트에 대하여 고로슬래그 미분말의 치환율(SL(%)) : 이하 고로슬래그 치환율이라 칭함)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  $\phi 10 \times 20$  cm 공시체 내부로부터 채취한 시료를 입경 약 3 mm 로 파쇄하여 에탄올로 세정한 후, D-dry 처리를 하여 수은 압입식 포로시메터를 이용하여 세공 반경 3.75~7500 nm의 범위에서 세공용적을 측정하였다.

#### 3.3 강도 시험

압축강도는 KS F 2405에 의해 실시하였으며, 동시에 와이어 스트레인 게이지(게이지 길이, 60 mm)로 변형률을 측정하여 정탄성계수를 구하였다. 쪼갬인장강도 및 휨강도(중앙점 재하법)는 각각 KS F 2423 및 KS F 2408에 의해 실시하였다.

### 4. 시험결과 및 고찰

#### 4.1 세공경분포

Fig. 1 및 Fig. 2는 고로슬래그 치환율 0, 30, 40 및 50

%에서 폴리머-결합재비를 0 및 20%를 혼입한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 세공경 분포를, 또, Fig. 3은 그 전세공 용적과 고로슬래그 치환율과의 관계를 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용된 시편을 절단하는 과정에서 굵은 골재가 포함될 수 있는 등의 문제점이 있어 각 시료가 동일한 조건이라고는 단정할 수 없지만 대체적으로 고로슬래그 치환율에 관계없이 폴리머-결합재비 0%인 보통 시멘트 콘크리트는 SBR라텍스의 혼입에 의해 전세공 용적은 다소 감소하고 세공경 분포의 피크는 세공반경의 큰쪽에서부터 작은 쪽으로 이동함과 동시에 작은 세공반경의 세공용적도 다소 증가하는 경향을 보였다. 고로슬래그 미분말을 혼입하지 않은 SBR혼입 폴리머 시멘트 및 보통시멘트콘크리트의 세공경 분포는 고로슬래그 미분말의 혼입에 의해 세공반경이 작은 쪽으로 이동하는 경향을 보였다. 또한, 그 전세공 용적은 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 감소하였으나 그 차이는 매우 작게 나타났다.

Table 2 Properties of ground granulated blast-furnace slag

Density(g/cm <sup>3</sup> )	2.91	
Blaine specific surface(cm <sup>2</sup> /g)	10,070	
Percent flow(%)	87	
Activity index(%)	7d	128
	28d	115
	91d	106
Chemical compositions(%)	MgO	5.58
	SO <sub>3</sub>	0.12
	SiO <sub>2</sub>	33.5
	Ig.loss	<0.05
	Cl <sup>-</sup>	0.003
Basicity	1.89	

Table 3 Properties of aggregates

Items	Type of aggregate	
	Fine aggregate	Coarse aggregate
Maximum size(mm)	2.5	20
Fineness modulus	2.60	6.68
Bulk density(kg/l)	1.60	1.62
Density(g/cm <sup>3</sup> )	2.54	2.53
Absorption(%)	2.29	1.95

Table 4 Properties of polymer dispersion

Type of dispersion	Density (20°C, g/cm <sup>3</sup> )	pH (20°C)	Viscosity (20°C, mPa · s)	Total solids(%)
SBR	1.00	9.4	64	44.8

Table 1 Properties of ordinary portland cement

Density(g/cm <sup>3</sup> )	Blaine specific surface(cm <sup>2</sup> /g)	Setting time (h-min)		Compressive strength of mortar (MPa)		
		Initial time	Final time	3 d	7 d	28 d
3.16	3,290	2-22	3-31	29.5	44.1	61.5

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 <sup>3</sup> )	Mix proportions by weight (kg/m <sup>3</sup> )				
							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)

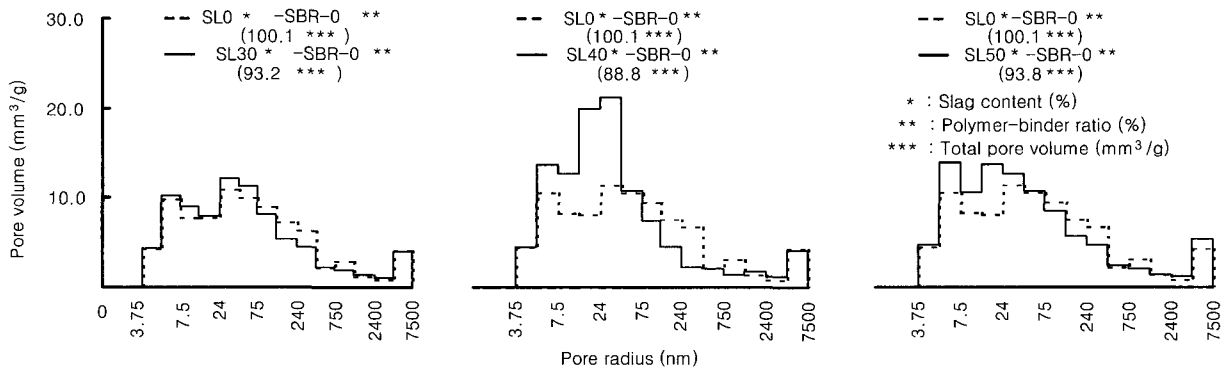


Fig. 1 Pore size distribution of unmodified concretes with slag

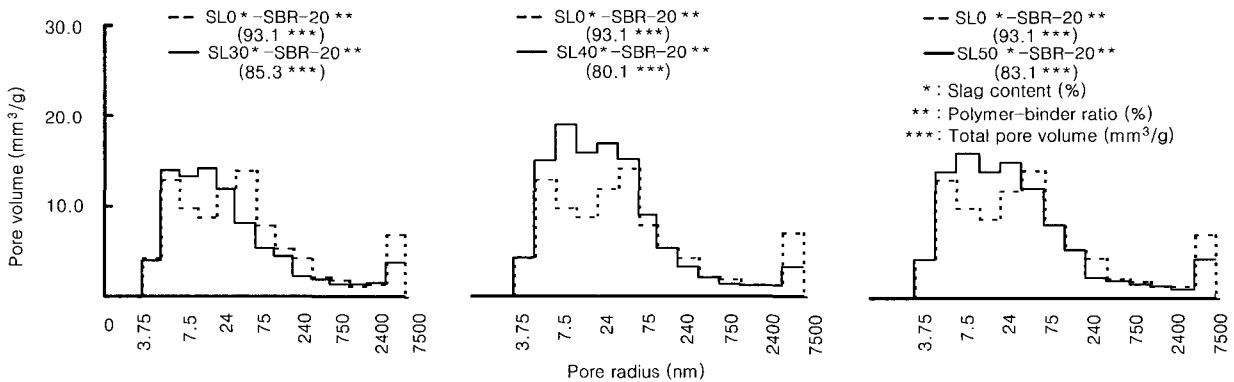


Fig. 2 Pore size distribution of SBR-modified concretes with slag

## 4.2 압축강도

Fig. 4 및 Fig. 5는 고로슬래그 미분말과 SBR라텍스를 혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축강도와 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비와의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 치환한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트 및 보통 시멘트 콘크리트의 압축강도는 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 나타냈으며, 폴리머-결합재비의 증가에 따라 압축강도는 증가하는 경향을 보였다. 이와 같이 높은 압축강도의 발현은 SBR라텍스의 혼입에 의해 뛰어난 감수효과 및 시멘트 수화물과 골재간의 접착성의 개선에 기인되기 때문이라고 생각된다. 특히, 시멘트 수화물과 굵은골재간의 접착성 개선에 대해서는 Photo 1에서 보이는 바와 같이 미혼입의 경우는 시멘트 수화물과 골재사이의 계면에서 접착파괴가 일어나 굵은골재가 탈락한 흔적(사진에 \*표시)이 보이지만, SBR라텍스 및 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우에는 시멘트 수화물과 굵은골재사이의 계면에서 접착파괴가 일어나지 않고 거의 굵은골재가 파괴되어 있는 상태가 관찰된 것으로부터도 알 수 있다. 또한, 폴리머 시멘트 콘크리트에 분말도가 높은 고로슬래그를 혼입한 경우 내부에 형성된 폴리머필름의 밀실 효과에 의해 보수성의 향상에 따라 시멘트의 수화반응과 고로슬래그 미분말의 포졸란 반응이 충분히 진행되어 치밀한 조직이 형성되었기 때문이라 생각된다.

Fig. 6 및 Fig. 7은 고로슬래그 미분말과 SBR라텍스를 혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트의 탄성계수와 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비와의 관계를 나타낸 것이다. 탄성계수는 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하며, 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 15%에서 최대치를 나타내었다. 콘크리트 중에서 폴리머 필름을 형성하는 재료의 탄성계수는 시멘트 수화물의 탄성계수보다 작지만 폴리머-결합재비 15%까지

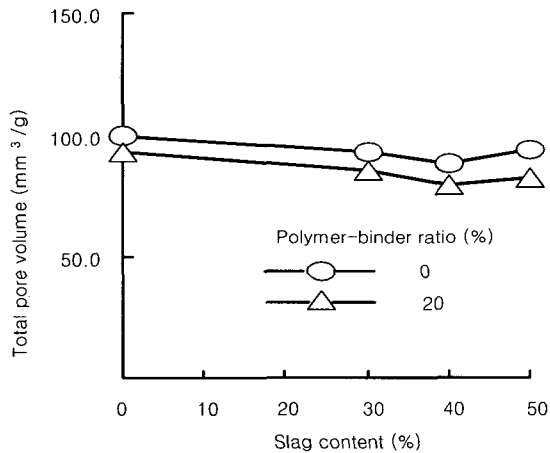


Fig. 3 Slag content vs. total pore volume of SBR-modified concrete

증가하고 있는 것은 SBR라텍스의 혼입에 의한 감수효과 및 보수성이 개선되었기 때문이라 생각된다.

## 4.3 인장강도

Fig. 8 및 Fig. 9는 고로슬래그 미분말과 SBR 라텍스를

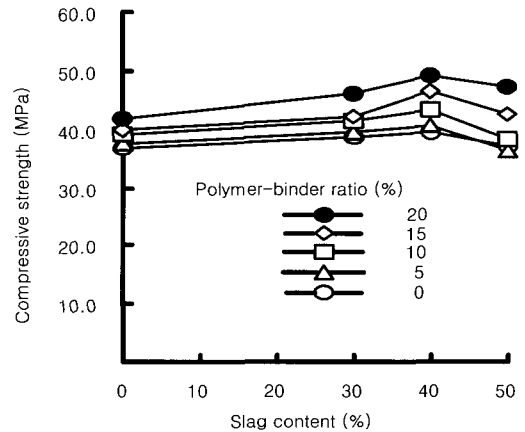


Fig. 4 Slag content vs. compressive strength of SBR-modified concretes

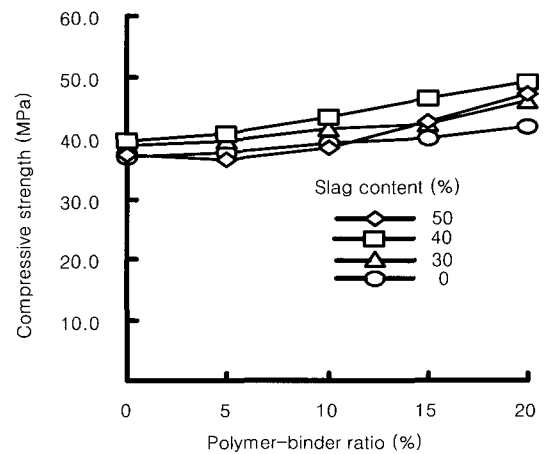


Fig. 5 Polymer-binder ratio vs. compressive strength of SBR-modified concretes

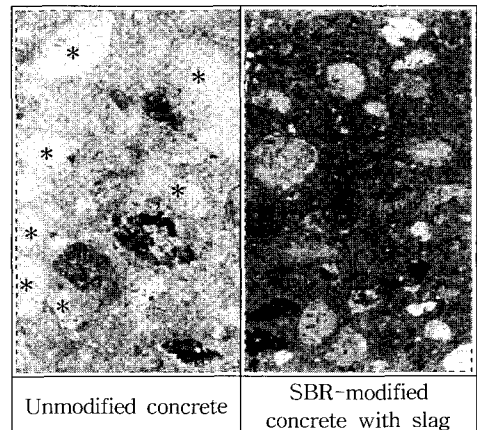


Photo 1 Crosssections of specimens after strength test

혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장강도와 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 치환한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장강도는 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 보였다. 또한 이들의 인장강도는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 현저히 증가하는 경향을 나타냈다. 특히, 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 20%인 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 약 2.4배의 매우 높은 인장강도를 나타내었다. 이것은 앞에서도 언급한 바와 같이 폴리머 필름 형성 및 시멘트 수화물과 골재간의 부착능력이 개선되었기 때문이라 사료된다<sup>7-9)</sup>. 또, 압축강도의 경우와 마찬가지로 고로슬래그 미분말을 치환한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 경우가 높은 인장강도를 보였다.

#### 4.4 휨강도

Fig. 10 및 Fig. 11은 고로슬래그 미분말과 SBR라텍스를 혼입한 폴리머 시멘트 콘크리트의 휨강도와 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비의 관계를 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말을 치환한 SBR 혼입 폴리머 시멘트 콘

크리트의 휨강도는 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 약간 증가하고 있으며, 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 보였다. 또한 휨강도는 폴리머-결합재비의 증가에 따라 현저히 증가하는 경향을 나타냈다. 특히, 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 20%인 폴리머 시멘트 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 약 2.2배의 매우 높은 휨강도를 나타내었다. 이것은 인장강도발현의 경우와 같이 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트 중에 형성되는 폴리머 필름에 의한 인장강도 부여 및 시멘트 수화물과 골재간의 부착이 현저히 개선되었기 때문이라 사료된다<sup>7-9)</sup>.

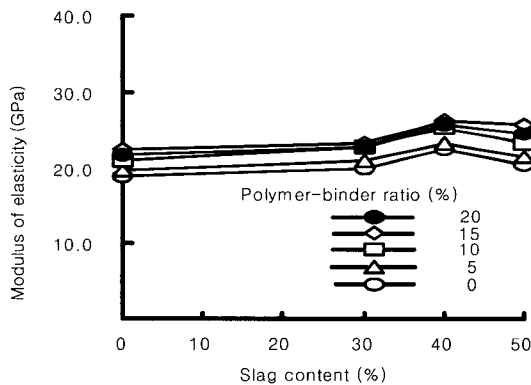


Fig. 6 Slag content vs. modulus of elasticity of SBR-modified concretes

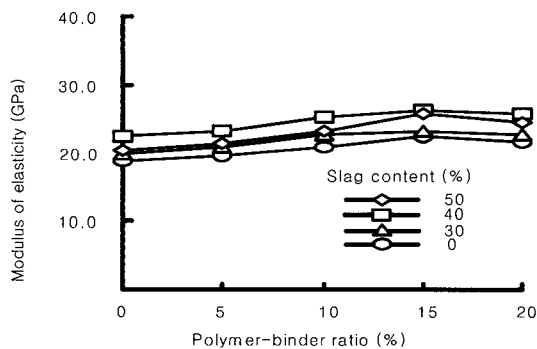


Fig. 7 Polymer-binder ratio vs. modulus of elasticity of SBR-modified concretes

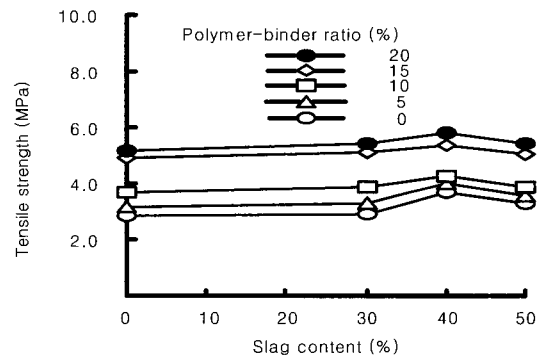


Fig. 8 Slag content vs. tensile strength of SBR-modified concretes

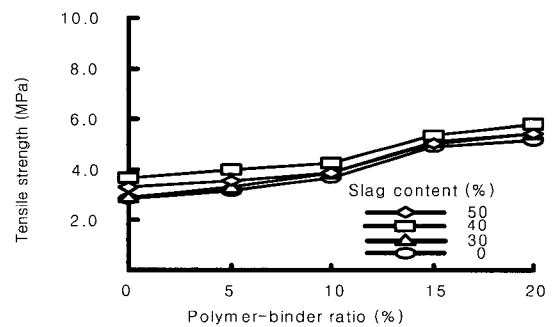


Fig. 9 Polymer-binder ratio vs. tensile strength of SBR-modified concretes

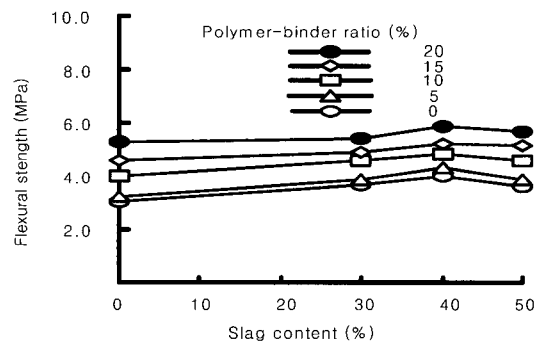


Fig. 10 Slag content vs. flexural strength of SBR-modified concretes

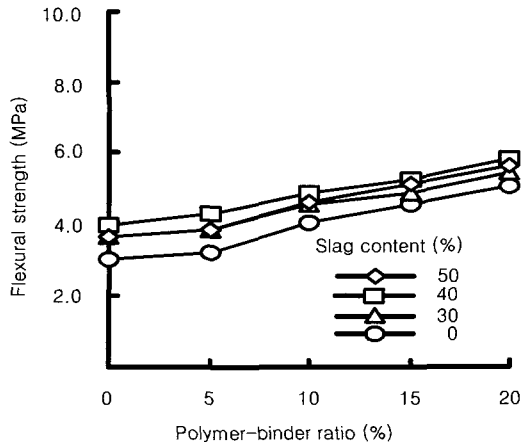


Fig. 11 Polymer-binder ratio vs. flexural strength of SBR-modified concretes

## 5. 결 론

본 연구는 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트에 고로슬래그 미분말을 혼입하여 강도를 개선할 목적으로 시도된 실험적 연구로서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 고로슬래그 미분말을 이용한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 전세공 용적은 고로슬래그 미분말 및 SBR 라텍스의 혼입에 의해 감소하는 경향을 나타내었다.

2) 고로슬래그 미분말을 이용한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도는 고로슬래그 치환율 40%에서 최대치를 보였으며, 폴리머-결합재비의 증가에 따라 현저한 강도개선 효과가 발생되었다. 특히, 이 경향은 인장 및 휨강도에서 현저하며, 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 20%인 폴리머 시멘트 콘크리트에서 보통 시멘트 콘크리트의 2배 이상의 매우 높은 값을 나타냈다.

3) 고로슬래그 미분말을 이용한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 탄성계수는 고로슬래그 치환율 및 폴리머-결합재비의 증가에 따라 증가하고 고로슬래그 치환율 40% 및 폴리머-결합재비 15%에서 최대치를 나타냈다.

## 요 약

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 이용한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 강도 성장에 미치는 고로슬래그 치환율 및 폴리머 결합재비의 영향에 대하여 구명하였다. 그 결과, 고로슬래그 미분말을 이용한 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 압축, 인장 및 휨강도는 폴리머-결합재비 및 고로슬래그 치환율의 증가에 따라 증가하였으며, 고로슬래그 치환율 40%에서 가장 높은 강도를 나타내었다. 특히 고로슬래그 치환율 40%의 SBR혼입 폴리머 시멘트 콘크리트의 인장 및 휨강도는 폴리머 미혼입의 강도보다 약 2배 이상의 높은 강도를 보였다. 이와같이 높은 강도의 발현은 SBR 폴리머의 높은 인장강도와 SBR라텍스의 혼입에 의한 시멘트 수화물과 골재간의 접착성이 개선되었기 때문이라 판단된다.

핵심용어 : 폴리머 시멘트 콘크리트, 폴리머-결합재비, 고로슬래그 치환율, 강도, SBR라텍스

## 감사의 글

이 연구는 한국과학재단지정 강원대학교 부설 석재복합신소재제품연구센터의 지원에 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 三浦 尚, 板橋洋房, 遠藤正文, “寒冷地における高爐スラグ微分末コンクリートの養生方法に関する研究,” セメント技術大會講演集, No. 44, 1990.4, pp.206~209.
- 이상명, 최홍운, 이환우, 김명식, “고로슬래그 미분말을 혼입한 수중불분리 콘크리트의 특성에 관한 연구,” 콘크리트학회 학술발표논문집, 제11권 2호, 1999. 11, pp.95~98.
- 이상수, 원철, 김동석, 박상준, “고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구,” 콘크리트학회 논문집, 제12권 4호, 2000. 8, pp.49~58.
- 한상호, “고로슬래그를 굵은 골재로 이용한 콘크리트의 강도특성,” 콘크리트학회 논문집, 제12권 4호, 2000. 8, pp.59~68.
- 依田彰彦, 出村克宣, 木村正尚, “高爐スラグ微粉末を用いた超高強度モルタルの製造,” 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.
- 福留和人, 谷口裕史, 嘉多遠夫, “高爐スラグ微粉末を混入した水中不離性コンクリートの鹽分浸透性について,” 土木學會第46回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1991. 9, pp.640~641.
- 大濱嘉彦, 出村克宣, 木村正尚, “高爐スラグ微粉末を用いた超高強度モルタルの製造,” セメント・コンクリート研究討論會研究報告集, No. 17, 1990. 11, pp.51~56.
- 大濱嘉彦, 出村克宣, 林志翔, “超高強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. 4, pp.674~679.
- 本田英陸, 山田秀樹, 城本治之, “セメント-フライアッシュ-珪石粉系外装材のオートクレーブ養生の効果,” セメント技術大會講演集 No. 49, 1995. 4, pp.1068~1073.