

## 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 노출 콘크리트의 물리 및 표면광택 특성

한천구<sup>1)\*</sup> · 전충근<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>청주대학교

(2001년 9월 3일 원고접수, 2001년 11월 20일 심사완료)

### Properties of Physical and Surface Glossing of Exposed Concrete with the Contents of Granulated Blast Furnace Slag

Cheon-Goo Han<sup>1)\*</sup>, and Chung-Keun Jeon<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dept. of Architectural Engineering, Chongju University, Chongju, 360-764, Korea

(Received on September 3, 2001, Accepted on November 20, 2001)

#### ABSTRACT

This paper is intended to investigate physical properties and surface glossing of exposed concrete incorporating granulated blast furnace slag(BS). According to test results there is no remarkable variations in fluidity and air content with increase of BS, but unit weight shows decline tendency. Compressive strength at later age gains considerably due to potential hydraulicity reaction of BS. It shows that drying shrinkage increases. It is found that low W/B, surface coating and high BS content lead to favorable effects on the surface glossing of exposed concrete because of filling effects on the voids of the concrete. It is improved by about 7% with increase every 10% of BS content. The effects of form pannel kinds on the improvement of surface glossing are in order for acryl, fancy, steel and wood.

**Keywords :** granulated blast furnace slag, exposed concrete, surface glossing

## 1. 서 론

노출 콘크리트란 구조체로서의 완성과 치장으로서의 마감을 동시에 표현할 수 있는 콘크리트를 말한다<sup>1)</sup>. 그런데, 이러한 노출 콘크리트는 거푸집 비용의 고가, 탄산화에 의한 내구성 저하 등의 문제점이 있기는 하지만, 양질의 노출 콘크리트 시공은 재료의 절약, 건물의 자중경감과 아울러 모양의 간소함을 탐미하는 디자인적 요소가 매우 중요하기 때문에 선진국에서는 건축물 외관재료로 자주 채택되어 왔다<sup>2~5)</sup>.

한편, 국내외 노출 콘크리트에 대한 연구로서 일본의 경우는 노출 콘크리트의 표면의 색조제어에 관한 연구가 진행되고 있으며, 우리나라의 경우는 광택전사제를 이용한 연구가 진행되어 현장적용 단계에 있는 실정이다.

또한, 최근 우리나라에서는 IMF 지원체제 이후 레디믹스트 콘크리트의 원가절감을 목적으로 고로슬래그 미분말을 다량 사용하는 경우가 많아지고 있는데, 이 경우 고로슬래그 미분말은 백색의 양호한 색조를 갖는 잠재수경성 물질로 노출 콘크리트에 활용할 경우 물리 및 역학적 성질

뿐만아니라 광택도에도 양호한 효과를 발휘할 것으로 추측된다.

그러므로, 본 연구에서는 콘크리트 표면에 광택이 발현되고, 강도 등 우수한 품질의 노출 콘크리트를 제조하기 위하여 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 제반특성과 광택도 특성을 분석하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같고, 배합사항은 Table 2와 같다. 먼저, 배합사항은 물-결합재비(W/B) 45 및 50%의 2수준, 단위수량 185 kg/m<sup>3</sup>, 목표 슬럼프 18±1 cm, 목표 공기량 45±1.5%를 만족하는 범위에서, 고로슬래그의 미분말을 0, 10, 20 및 30%로 치환하는 것으로 실험계획하였다. 이때, 광택도 실험으로는 표면에 투명 도포제 코팅 유무 및 아크릴, 치장합판, 철판, 일반합판 등의 거푸집 변수도 추가하여 실험하였다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적중량을 측정하였고, 경화 콘크

\* Corresponding author

Tel : 043-229-8480 Fax : 043-229-8480

E-mail : cghan@chongju.ac.kr

리트에서는 재령경과에 따른 압축강도, 건조수축 및 광택도를 측정하는 것으로 하였다.

## 2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로서 시멘트는 국내산 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 3과 같

다. 골재로서 잔골재는 충남 연기군 남면산 강모래, 굵은 골재는 충북 청원군 부강산 부순돌을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 4와 같다. 혼화재료는 국내산의 고로슬래그 미분말과 표준형 AE 감수제를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 5 및 6과 같다. 투명 도포제는 국내산 J사 제품으로써, 그 물리·화학적 성질은 Table 7과 같다.

Table 1 Design of experiments

Factors		Levels	
Mixing	W/B(%)	2	45, 50
	Water content (kg/m <sup>3</sup> )	1	185
	BS* content(%)	4	0, 10, 20, 30
Surface condition	Surface treatment	2	Coating, Non coating
	Form	4	Acryl, Fancy, Steel, Wood
Experiments	Fresh concrete	4	Slump, Slump flow, Air content, Unit weight
	Hardened concrete	3	Compressive strength (7, 28, 91 days) Drying shrinkage (1, 3, 7, 8, 10, 14, 21, 35, 63, 90, 180 days) Surface glossing (After casting, 7, 28, 91, 180 days)

\* BS : Granulated blast furnace slag

Table 2 Mixing design of concrete

W/B (%)	Water content (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE water reducing agent(%)	BS content (%)	Unit volume(ℓ/m <sup>3</sup> )				Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )			
					C	BS	S	G	C	BS	S	G
45	185	40	0.3	0	131	0	255	384	411	0	655	998
				10	118	14	255	383	370	41	654	996
				20	105	28	255	382	329	82	652	994
				30	91	43	254	382	288	123	651	992
50	185	42	0.2	0	117	0	275	378	370	0	702	984
				10	106	13	274	378	333	37	700	982
				20	94	26	273	377	296	74	699	981
				30	82	38	273	377	259	111	698	979

Table 3 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Soundness (%)	Setting time(min.)		Compressive strength(kgf/cm <sup>2</sup> )		
			Ini.	Fin.	3d.	7d.	28d.
3.15	3,303	0.08	226	409	231	308	410

Table 4 Physical properties of aggregate

Aggregates	Specific gravity	Absorption(%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Solid volume percentage of shape variation(%)
Fine agg.	2.56	1.46	1,598	61.0
Coarse agg.	2.60	0.93	1,505	55.5

Table 5 Physical properties of BS

Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Strength ratio(%)			Ig. loss (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)
		7d.	28d.	91d.			
2.89	4,438	89	108	114	0.3	7.8	0.4

**Table 6** Physical properties of AE water reducing agent

Type	Ingredient	Density	Shape	Recommended dosage(C×%)
Normal	Naphtalene	1.17	Light brown liquid	0.3

**Table 7** Physical properties of coating agent

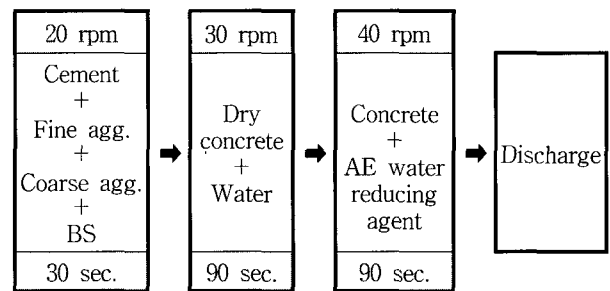
Items	Glossing (%)	Percentage of solidity (%)	Density	Ignition point (°C)	Weight of solvent (%)
Hardener	93	38	0.99	25	62

### 2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로, 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 첨가한 사용재료가 충분히 혼합될 수 있도록 Fig. 1과 같은 순서에 따라 실시하였다.

본 연구의 실험방법으로 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2402, 공기량 및 단위용적 중량은 KS F 2421 및 KS F 2409의 규정에 의거 측정하였다. 경화 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405, 건조수축에 의한 길이 변화는 KS F 2424, 광택도 측정은 성형후 1주일 동안 온도 20 °C, 습도 60%의 항온실에서 양생한 다음 탈형하여 실험 계획된 재령에서 ASTM D 523의 규정<sup>6)</sup>에 의거 Photo. 1과 같이 측정하였다.

그 미분말의 비중이 시멘트보다 작음에 기인하여 작게 나타났다.

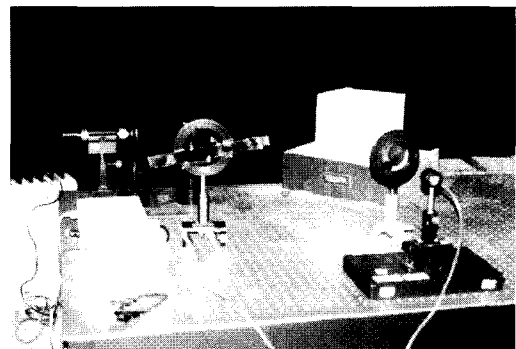


**Fig. 1** Mixing procedure

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

Table 8은 굳지 않은 콘크리트의 시험결과를 나타낸 것이고, Fig. 2 및 3은 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적중량을 W/B 별로 구분하여 나타낸 것이다. 전반적으로 슬럼프, 슬럼프플로우 및 공기량은 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따라 약간 증가 및 감소의 변동이 있기는 하지만 유사한 경향으로 나타났다. 단, 단위용적중량은 고로슬래



**Photo. 1** Surface glossing test of concrete specimen

**Table 8** Test results of fresh concrete

W/B (%)	Water content (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE water reducing agent (%)	BS content (%)	Slump(cm)	Slump flow (cm)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Air content (%)
45	185	40	0.3	0	17.4	28.4	2,282	6.0
				10	17.8	27.5	2,278	5.4
				20	18.0	28.4	2,272	5.7
				30	19.5	28.0	2,257	6.2
50	185	42	0.2	0	17.0	26.2	2,290	5.6
				10	17.2	26.2	2,252	5.1
				20	17.8	27.5	2,245	5.9
				30	15.8	23.4	2,237	6.1

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

Table 9는 경화 콘크리트의 압축강도 및 길이변화율 시험결과를 나타낸 것이고, Fig. 4 및 Fig. 5는 W/B 및 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 압축강도 및 압축강도비를 재령별로 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 치환율 증가에 따른 압축강도는 7일 재령에서 저하하였으나, 잠재수경성 반응에 의하여 91일 재령에서는 증가하는 것으로 나타났다.

또한, 압축강도비는 고로슬래그 미분말의 치환율에 따라 각각 다르게 나타났는데, 고로슬래그 미분말 치환율 10~30 % 범위에서 91일 재령의 강도증가비는 W/B 50 %의

경우 103~111 %, W/B 45%의 경우 104~114%로 나타났다.

Fig. 6은 건조수축 길이변화율을 W/B 및 고로슬래그 미분말의 치환율별로 구분하여 나타낸 것이고, Fig. 7은 6개월의 건조수축률을 나타낸 것이다. 전반적으로 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 건조수축에 의한 길이 변화율은  $6\sim9\times 10^{-4}$  정도까지 커지는 것으로 나타났다.

이는 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 미세입자가 증가하게 되어 건조과정에서 모세관 장력이 크게 발생하기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 실제 현장에서 노출 콘크리트를 시공할 경우 고로슬래그 미분말의 적정 치환율은 건조수축량을 고려하면 20 % 이하의 범위가 적정할 것으로 사료된다.

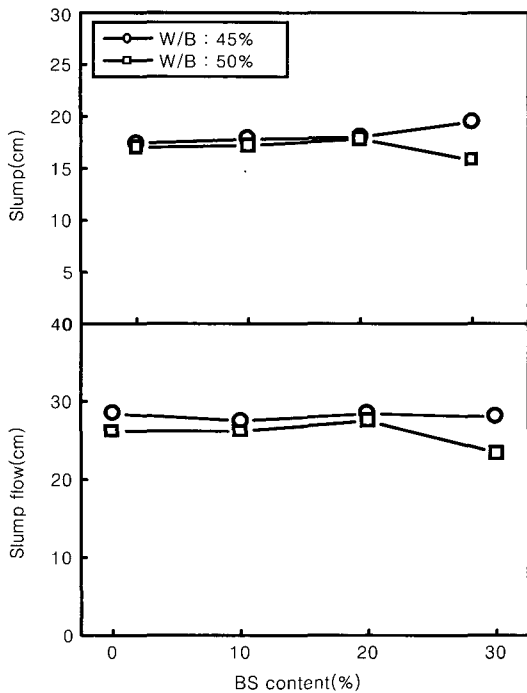


Fig. 2 Slump and slump flow with BS content

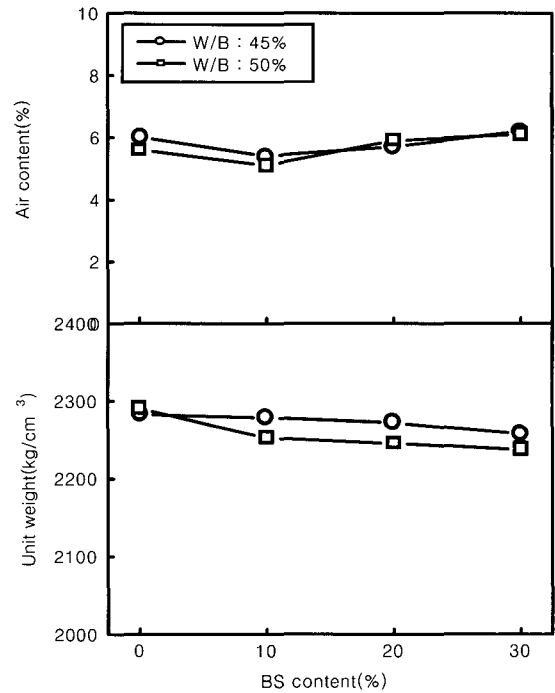


Fig. 3 Air content and unit weight with BS content

Table 9 Test results of compressive strength and drying shrinkage

W/B (%)	Water content (kg/m³)	S/a (%)	AE water reducing agent (%)	BS content (%)	Compressive strength(kgf/cm²)			Drying shrinkage( $\times 10^{-4}$ )										
					7d.	28d.	91d.	1d.	3d.	7d.	8d.	10d.	14d.	21d.	35d.	63d.	90d.	180d.
					45	185	40	0.3	0	273	298	317	0.56	0.69	1.48	0.30	-0.32	-2.88
				10	267	297	330	0.16	0.67	0.99	-1.07	-2.14	-3.34	-4.71	-5.88	-6.98	-7.25	-7.46
				20	263	297	350	0.41	0.76	1.03	-1.10	-2.20	-3.74	-5.29	-6.39	-7.62	-7.90	-8.09
				30	226	280	361	0.27	0.48	0.76	-1.79	-3.06	-4.73	-6.25	-7.55	-8.45	-8.70	-8.78
50	185	42	0.2	0	265	285	296	0.07	0.25	0.49	-0.38	-2.29	-3.15	-4.12	-5.63	-6.59	-6.80	-6.94
				10	251	273	284	0.21	0.88	1.24	-0.82	-1.85	-2.98	-4.37	-5.43	-6.87	-7.14	-7.28
				20	247	284	323	0.25	1.14	1.37	-0.62	-1.63	-2.83	-4.33	-5.79	-6.87	-7.21	-7.38
				30	204	289	328	0.30	1.27	2.31	-0.69	-1.68	-2.97	-4.69	-5.91	-6.87	-7.01	-7.14

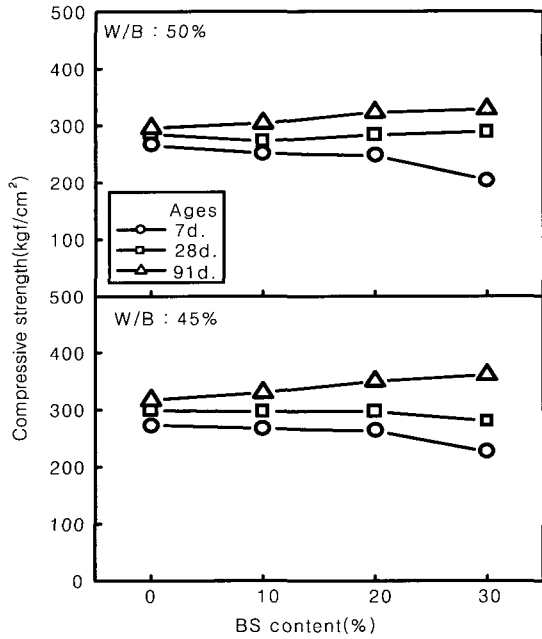


Fig. 4 Compressive strength with BS content

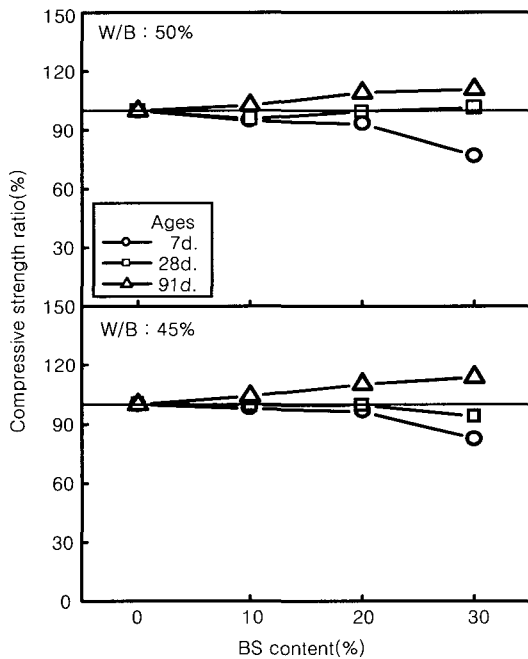


Fig. 5 Compressive strength ratio with BS content

### 3.3 광택도 특성

Table 10은 광택도 측정결과를 도포와 무도포 별로 구분하여 나타낸 것이고, Fig. 8은 재령에 따른 광택도를 표면처리 유무, W/B, 고로슬래그 미분말의 치환율 및 거푸집 종류별로 구분하여 나타낸 것이다. 전반적으로 재령이 경과할수록 광택도는 표면처리 유무에 관계없이 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트 표면의 수화물 생성물 및 탄산화에 기인한 것으로 분석된다.

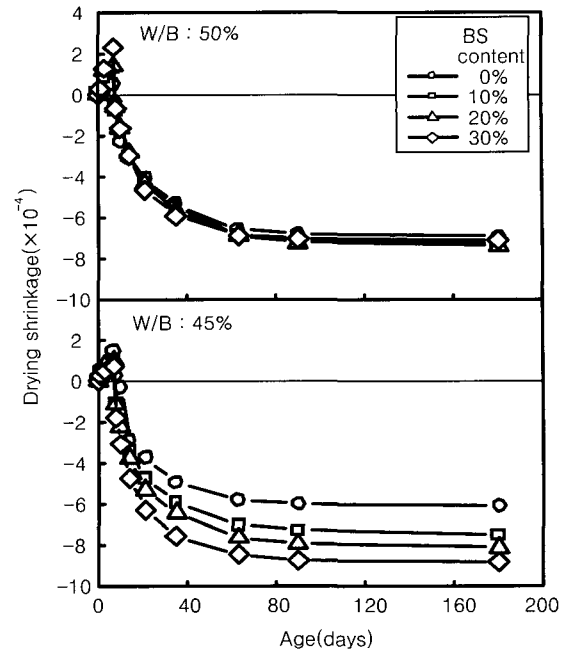


Fig. 6 Drying shrinkage with age

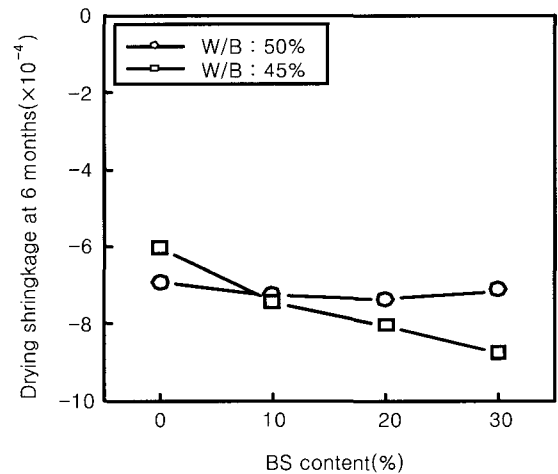


Fig. 7 Drying shrinkage at 6 months

Fig. 9는 W/B 45%에 대한 W/B 50%의 광택도를 비교하기 위하여 산점도로 나타낸 것으로서, W/B 45%의 광택도가 W/B 50%에 비하여 약 20% 정도 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트 조직이 치밀화됨에 기인한 결과로 분석된다.

Fig. 10 및 Fig. 11은 콘크리트 표면에 도포제를 도포하였을 경우 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 광택도 및 광택도비를 W/B 및 거푸집 종류별로 구분하여 각 재령을 평균하여 나타낸 것이다. 고로슬래그 미분말의 치환율 증가에 따라 광택도는 공극충진효과에 의한 조직 치밀화 및 백색도에 기인하여 증가하는 것으로 나타났는데, 증가율은 고로슬래그 미분말의 치환율 0%에 대하여 10, 20, 30%인 경우 각각 7, 12 및 21% 정도로 고로슬래그

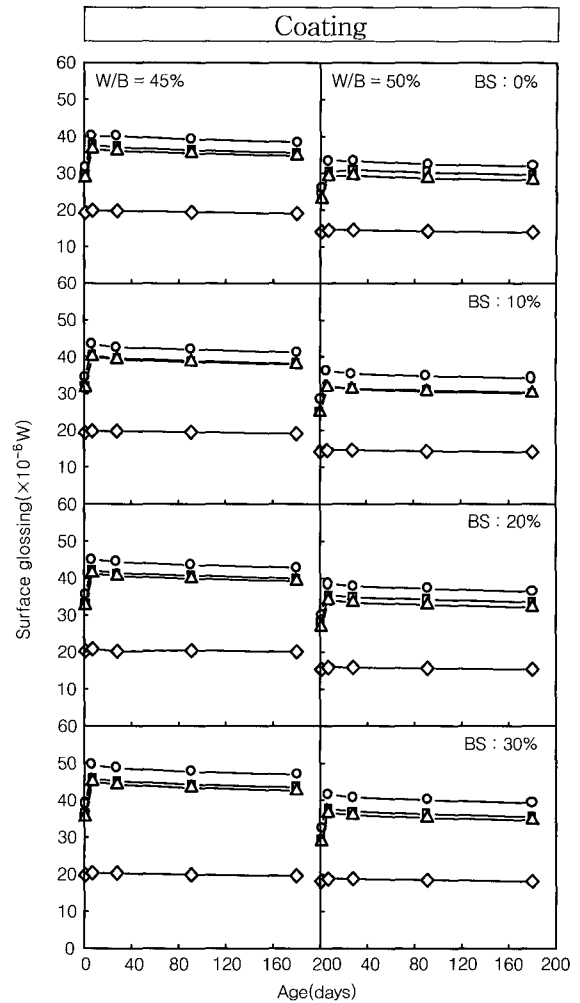
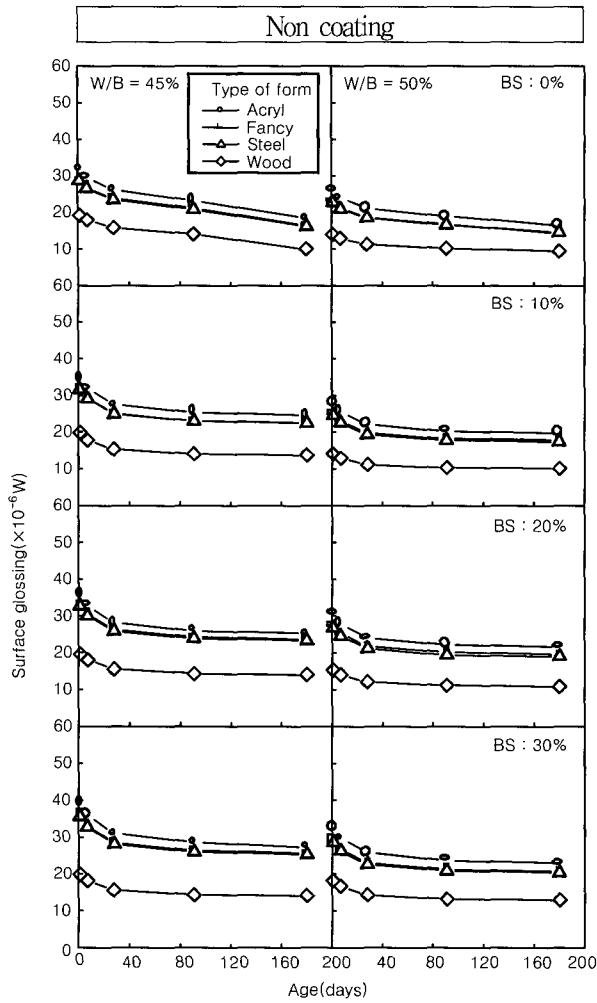


Fig. 8 Surface glossing with age

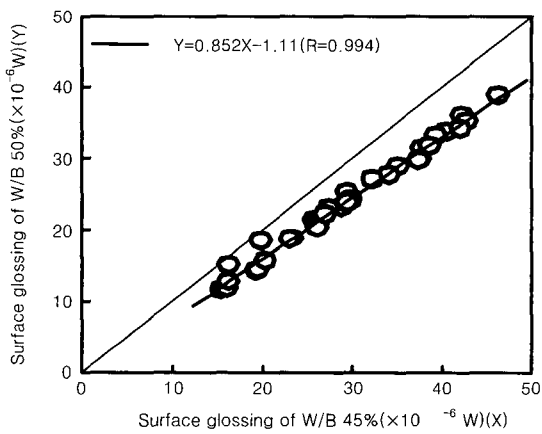


Fig. 9 Relationship of surface glossing between W/B 45 and 50%

미분말의 치환을 10%당 약 7% 정도 광택도가 향상되는 것으로 나타났다. 따라서, 향후 노출 콘크리트의 광택도 향상을 위하여는 고로슬래그 미분말을 치환하여 사용하는 것이 효과적인 것으로 사료된다.

Fig. 12는 각 재령의 광택도를 평균하여 콘크리트의 표

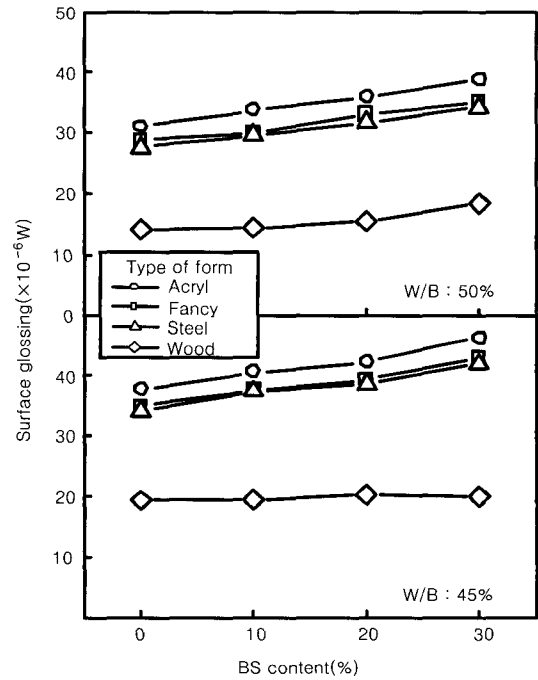
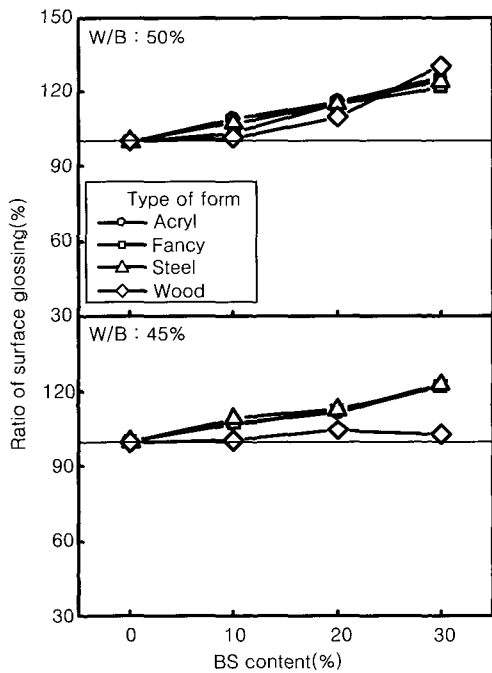


Fig. 10 Surface glossing with BS content

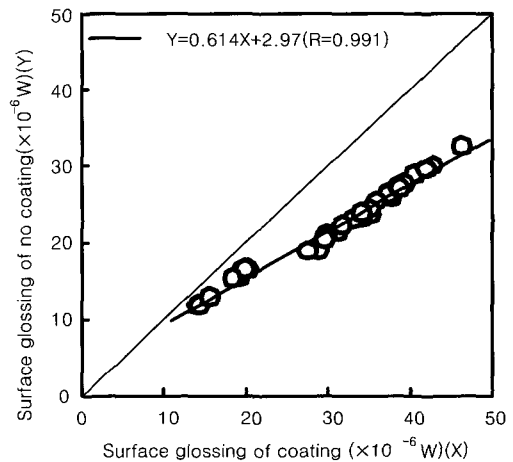
**Table 10** Test results of surface glossing

Variablies		Surface glossing( $\times 10^{-6}W$ )*																				
		After casting				7d.				28d.				91d.				180d.				
Surface treatment, W/B, Water content, BS content(%)		Type of form***																				
		A	F	S	W	A	F	S	W	A	F	S	W	A	F	S	W	A	F	S	W	
Non coating	W/B (45%)	185-B**0	31.8	28.9	28.6	19.2	29.6	26.8	26.6	17.9	26.1	23.7	23.4	15.8	23.2	21.1	20.8	14.1	18.5	16.4	16.2	10
		185-B10	34.6	31.7	31.5	19.3	31.9	29.2	29.0	17.8	27.4	25.0	24.9	15.3	25.3	23.1	23.0	14.1	24.6	22.5	22.4	13.8
		185-B20	35.6	33.1	32.6	19.6	32.7	30.5	30.0	18.0	28.1	26.2	25.8	15.5	25.9	24.2	23.8	14.3	25.3	23.6	23.2	14
	W/B (50%)	185-B0	26.1	23.0	22.8	14.0	24.0	21.2	21.0	12.9	21.1	18.6	18.5	11.3	19.0	16.8	16.6	10.2	16.5	14.3	14.6	9.5
		185-B10	27.8	25.1	24.5	14.1	25.6	23.1	22.5	13.0	22.0	19.8	19.3	11.1	20.3	18.3	17.8	10.3	19.8	17.9	17.4	10.1
		185-B20	30.4	27.6	26.7	15.3	28.0	25.4	24.5	14.1	24.0	21.8	21.1	12.1	22.2	20.2	19.4	11.2	21.6	19.7	19.0	10.9
		185-B30	32.5	29.1	28.5	18.2	29.9	26.8	26.2	16.7	25.7	23.0	22.5	14.3	23.7	21.2	20.8	13.2	23.1	20.7	20.3	12.9
Coating	W/B (45%)	185-B**0	31.4	29.6	28.6	19.2	39.9	37.6	36.4	19.8	40.0	36.9	36.0	19.7	39.2	36.1	35.3	19.4	38.4	35.4	34.6	19
		185-B10	34.2	31.6	31.5	19.3	43.4	40.2	40.0	19.8	42.6	39.5	39.2	19.8	41.9	38.8	38.5	19.5	41.1	38	37.8	19.1
		185-B20	35.5	33.1	32.5	20.2	45.1	42.1	41.3	20.8	44.3	41.3	40.5	20.2	43.5	40.6	39.8	20.4	42.7	39.8	39.1	20
		185-B30	39.0	36.1	35.3	19.7	49.5	45.8	44.9	20.3	48.6	45.0	44.1	20.3	47.7	44.2	43.3	19.9	46.8	43.4	42.5	19.6
	W/B (50%)	185-B0	26.2	23.8	22.9	14.1	33.3	30.2	29.1	14.5	33.2	30.8	29.3	14.5	32.4	30.1	28.6	14.2	31.8	29.5	28.1	13.9
		185-B10	28.3	25.1	24.9	14.2	36.0	31.9	31.7	14.6	35.3	31.3	31.1	14.6	34.7	30.8	30.5	14.3	34.1	30.2	30	14.1
		185-B20	30.2	27.8	26.7	15.4	38.4	35.3	33.9	15.9	37.7	34.7	33.3	15.8	37.1	34.1	32.7	15.6	36.3	33.4	32.0	15.3
185-B30		32.6	29.6	28.7	18.2	41.4	37.5	36.5	18.8	40.7	36.9	35.9	18.8	40.0	36.2	35.2	18.4	39.2	35.5	34.5	18.1	

\* Surface glossing of optical mirror :  $1,726 \times 10^{-6}W$ , \*\* B : Granulated blast furnace slag, \*\*\* : A : Acryl form, F : Fancy form, S : Steel form, W : Wood form



**Fig. 11** Ratio of surface glossing with BS content



**Fig. 12** Surface glossing of non coating versus coating condition

면처리 유무에 따라 비교한 것이다. 전반적으로 노출 콘크리트의 광택도는 표면에 도포제를 도포할 경우 도포하지 않은 것에 비하여 약 20% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 13은 표면도포 유무에 따라 거꾸집 종류별에 따른

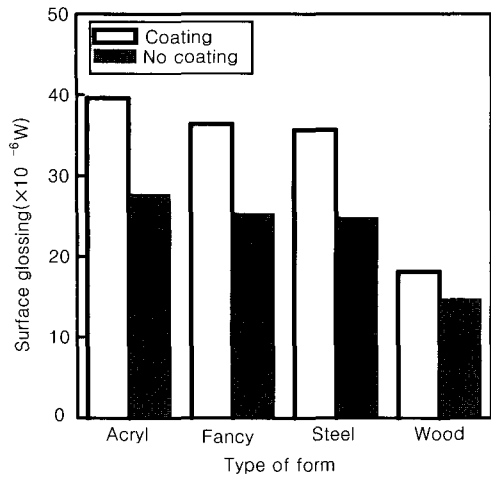


Fig. 13 Surface glossing with type of form

광택도를 비교한 것이다. 거푸집 종류에 따른 광택도는 아크릴이 가장 우수하고 치장합판, 철판, 일반합판 순으로 나타났는데, 이는 거푸집의 평활도가 콘크리트 표면에 전사되어 나타난 것으로 분석된다.

#### 4. 결 론

고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 노출 콘크리트의 물리적 특성과 표면광택 특성을 분석한 결과와 같이 요약된다.

- 1) 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따른 굳지 않은 콘크리트의 유동성 및 공기량은 큰 차이가 없고, 단위용적중량은 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따라 압축강도는 공극충전 및 잠재수경성 반응에 기인하여 후기재

령일수록 크게 증가하였고, 건조수축도 커지는 것으로 나타났다.

3) 고로슬래그 미분말의 치환율 증가에 따른 광택도는 고로슬래그의 공극충전효과 및 백색도에 의하여 증가하였는데, 이때 고로슬래그의 미분말의 치환율이 10%씩 증가함에 따라 약 7% 정도 증가하였다.

4) 재령경과에 따른 광택도는 재령이 경과할수록 저하하였고, W/B 변화에 따른 광택도는 작은 W/B에서 크게 나타났으며, 표면도포 유무에 따른 광택도는 표면도포의 경우 무도포에 비하여 약 20% 정도 증가하였다. 거푸집 종류에 따른 광택도는 아크릴판, 치장합판, 철판, 일반합판의 순으로 우수함을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 장기인, "건축시공학," 보성각, 1996.
2. 宮本欣明; "打放しコンクリートに関する實驗的研究(その1 せき板および締固め方法が仕上がり,強度に及ぼす影響について)," 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp.185~186, 1993.
3. 柏木隆男; "打放しコンクリートの色むらに関する基礎的研究," 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp.1395~1396, 1995.
4. 大橋正治, 田村博, 三井英和, 井ノ川尚; "打放しコンクリートの色調制御(その1 配合要因の影響)," 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp.1135~1136, 1998.
5. 柏木隆男, 河津龍大, 寺嶋明彦, 太田昇; "打放しコンクリートの色調制御(その2 脱型時期・養生溫度・打継ぎ時間間隔の影響)," 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 1137~1138, 1998.
6. ASTM D 523; *Standard Test Method for Specular Gloss*, 1980.

#### 요 약

본 연구는 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 노출 콘크리트의 물리적 성질 및 표면 광택도 특성에 대하여 검토하였다. 실험결과, 고로슬래그 치환율 증가에 따른 공기량 및 유동성은 유사하게 나타났고, 단위용적중량은 저하하였다. 후기재령에서의 압축강도는 고로슬래그의 잠재수경성 반응에 기인하여 증가하였다. 건조수축은 커지는 것으로 나타났다. 노출 콘크리트의 표면 광택도는 W/B가 낮을수록 또한, 표면 도포인 경우 증가하였다. 고로슬래그 미분말의 치환율 증가에 따른 광택도는 고로슬래그의 공극충전효과 및 백색도에 의하여 증가하였는데, 이때 고로슬래그 미분말의 치환율 10% 증가시 약 7% 정도 증가하였다. 거푸집 종류에 따라서는 아크릴, 치장합판, 철판, 일반합판 순으로 광택도가 우수한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 고로슬래그 미분말, 노출 콘크리트, 광택도