

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 공학적 특성 및 경제성 분석에 관한 연구

이 상 수

《(주)대우 건설기술연구소 선임연구원》

원 철

《(주)대우 건설기술연구소 주임연구원》

김 동 석

《(주)대우 건설기술연구소 주임연구원》

박 상 준

《(주)대우 건설기술연구소 주임연구원》

- | | |
|--------------|-----------------|
| 1. 서론 | 3. 실험결과 분석 및 검토 |
| 2. 실험개요 | 3.1 균지 않은 상태 특성 |
| 2.1 실험계획 | 3.2 압축강도특성 |
| 2.2 사용재료 | 4. 경제성 분석 |
| 2.3 콘크리트의 배합 | 5. 결론 |

1. 서론

건설산업이 발전함에 따라 건설구조물의 주종을 이루고 있는 콘크리트도 고품질 및 고성능화가 필요하게 되었다. 또한, 경제적인 측면에서도 사용재료의 원가절감 및 최적의 배합설계를 통하여 가격경쟁에서의 우위를 추구하려는 추세에 있다.

콘크리트의 품질 및 성능을 개선시킬 수 있는 방안에는 여러가지가 있겠지만, 그 중에서

도 산업부산물인 고로슬래그 미분말을 콘크리트의 결합재로 재활용하므로서 콘크리트의 성능을 개선하려는 연구가 최근에 주류를 이루고 있다. 더욱이, 이것은 환경오염방지와 경제적인 효과등을 동시에 만족할 수 있기 때문에, 그 활용성은 매우 클 것으로 기대되고 있다.

일반적으로, 고로슬래그 미분말은 용광로에서 선철과 동시에 생성되는 용융고로슬래그를 물로 급냉시켜 생성된 입상의 고로수쇄 슬래그를 건조시켜 미분쇄한 것으로, 콘크리트의

결합재로 사용할 경우, 유동성 개선, 수화발열 속도의 저감 및 온도상승의 억제, 장기강도 향상, 수밀성 향상 등의 성능을 발휘하기 때문에 콘크리트에서의 적용범위는 매우 크다.

이러한 성능을 활용하여 건설구조물의 요구 성능에 맞는 콘크리트를 체계적인 방법으로 개발하여 적용하므로써, 소요의 품질을 확보하는 것이 무엇보다도 중요하다. 그러나, 현재 레미콘 실무에서 사용되는 고로슬래그 미분말은 그의 물성을 제대로 파악하지도 못하고, 경제적인 측면만을 고려하여 사용하고 있는 것이 대부분으로서, 체계적이거나 합리적이지 못한 것이 현실이다.

따라서, 본 연구에서는 일반강도범위의 콘크리트에서, 구성재료에 따른 경제적인 효과를 극대화시킬 목적으로, 비교적 저렴한 가격의 고로슬래그 미분말을 시멘트의 결합재로 사용하였다. 경제적인 효과와 더불어 결합재로서의 특성을 고려해, 요구성능에 맞는 콘크리트 개발을 목적으로, 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 유동특성, 강도특성, 응결 특성 및 수화특성 등에 관하여 다양한 실험요인과 변수를 설정하여 연구를 수행하였으며, 아울러 실내실험을 통해 최적의 배합조건을

선정한 후, 강도특성 및 실무활용성 등을 고려한 경제적 효과도 분석하였다.

2. 실험개요

2.1 실험계획

현재 국내의 경우, 고로슬래그 미분말 혼합에 따른 콘크리트의 배합특성 파악이 미흡하기 때문에 고로슬래그 미분말의 치환율별 사용범위를 확대하기 위한 체계적인 연구검토가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 [표 1]과 같이, 물결합재비(이하 W/B라 칭함) 40, 45, 50 및 55(%)를 대상으로 고로슬래그 미분말의 치환율과 목표슬럼프치를 변수로 하여 각종 굳지 않은 성상 및 강도성상을 검토하였다.

고로슬래그 미분말의 치환율은 0, 30, 50, 70(%)로 하였으며, Base 콘크리트의 목표슬럼프치는 8, 12, 15, 18(cm)의 4수준으로 하여 배합조건을 설정하였다.

한편, 콘크리트의 블리딩, 응결시간, 경시변화시험 및 단일온도상승량 시험에 대해서는 W/B가 40% 및 50% 범위이고, 목표 슬럼프

[표 1] 실험요인 및 수준

실험요인		수 준	
W/B(%wt)		40, 45, 50, 55	40, 50
치환율(%wt)		0, 30, 50, 70	
목표슬럼프치(cm)		8, 12, 15, 18	18
측정 항목	굳지 않은 콘크리트	슬럼프, 공기량	응결시간, 블리딩, 경시변화, 단일온도상승량
	경화콘크리트	압축강도(7, 28, 56, 91일)	—

[표 2] 시멘트의 물리적 성질

시멘트의 종류	비중	분말도 (cm ² /g)	응결시간(h:m)		강열감량 (%)	안정도 (%)	압축강도(kgf/cm ²)		
			초결	종결			3일	7일	28일
I종 OPC	3.15	3,200	3:50	6:10	0.7	0.05	195	293	397
KSL 5201	—	2,800 이상	1:00 이상	10:00이하	3.0 이하	0.8 이하	130 이상	200 이상	290 이상

치가 18cm인 경우를 대상으로 검토·분석하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 각종 사용재료(시멘트, 혼화제, 골재 및 AE감수제)의 물리·화학적 성질은 [표 2]~[표 5]와 같다.

시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 혼화제는 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 또한, 잔골재는 남양만산 세척사를, 굵은골재는 용원석산의 25mm 쇄석을 세척하여 사용하였다. 골재의 물리적 성질 및 KS의 품질규격은 [표 4]와 같다.

혼화제는 기존 실무에서 일반콘크리트 제조에 일반적으로 사용하고 있는 AE감수제 표준형(J사)를 사용하였고, 그 물리적 성질 및 품질성능은 [표 5]와 같다.

2.3 콘크리트의 배합

고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 배합은 시험배합을 통하여 선정된 것으로서 그 결과는 [표 6]과 같다.

굵은골재의 겉보기 용적은 W/B 및 목표 슬럼프치에 따라 다소 차이를 나타내고 있지만, 대략 0.587~0.665의 값으로 정하여 굵은골재량을 산정하였다.

[표 3] 고로슬래그 미분말의 물리·화학적 성질

혼화제의 종류	비중	분말도 (cm ² /g)	강열 감량 (%)	응결시간		주성분(%)					
				초결 (m)	종결 (h:m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
BFS	2.85	3.860	0.27	259	7:35	33.7	14.4	0.41	41.7	6.4	0.98
KS F 2563	2.80 이상	3,000 이상	3.0 이하	-	-	-	-	-	-	10 이하	4.0 이하

[표 4] 골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	조립율 (F.M)	절건 비중	흡수율 (%)	씻기 손실량 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	비고
잔골재	2.5	2.60	2.60	0.52	0.5	64.8	1.690	세척사
	5	-	2.50이상	3.0이하	3.0이하	-	-	-
굵은골재	25	6.96	2.62	0.53	0.1	58.1	1.497	세척사
	25	-	2.50이상	3.0이하	1.0이하	-	-	-

[골재의 체가름분석]

잔골재 체치수(mm)	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5.0	10	비고
입도범위	2~10	10~35	25~65	50~90	80~100	90~100	100	-
잔골재 통과율(%)	8.6	17.6	45.6	75.0	94.2	99.0	100	-

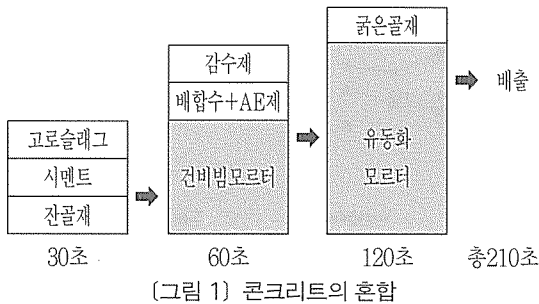
굵은골재 체치수(mm)	2.5	5	10	13	20	25	40	비고
입도범위	0~5	0~10	-	25~60	-	95~100	100	-
굵은골재 통과율(%)	0.9	5.2	-	53.7	-	99.0	100	-

[표 5] AE감수제의 물리적 성질 및 품질성능

혼화제의 종류	물리적 성질				품질성능						
	주성분	고형분	pH	비중	감수율 (%)	블리딩량비 (%)	결시간차 (min)		압축강도비 (%)		
							초결	종결	3일	7일	28일
AE 감수제 (표준형)	나프탈렌계 (중축합형)	33±5%	8.5±1.5	1.15±0.05	13	60	20	30	135	126	122
KS F 2560	-	-	-	-	10 이상	70 이하	-60~+90		115 이상	110이상	

[표 6] 콘크리트의 배합

W/B (°/wt)	Slump (cm)	BFS (°/wt)	S/a (°/vl)	단위중량(kg/m³)					W/B (°/wt)	Slump (cm)	BFS (°/wt)	S/a (°/vl)	단위중량(kg/m³)				
				C	BFS	W	S	G					C	BFS	W	S	G
40	8	0	42.0	363	0	145	759	1055	50	8	0	44.3	284	0	142	832	1055
		30	41.5	254	109		746	1059			30	43.9	199	85		821	1058
		50	41.1	181	181		737	1062			50	43.6	142	142		814	1060
		70	40.8	109	254		728	1064			70	43.3	85	199		807	1063
	12	0	42.9	375	150	150	766	1025		12	0	45.4	294	0	147	843	1022
		30	42.4	263	113		752	1029			30	45.0	206	88		832	1026
		50	42.0	188	188		742	1032			50	44.7	147	147		825	1028
		70	41.6	113	263		733	1035			70	44.4	88	206		817	1030
	15	0	43.1	385	0	154	761	1011		15	0	45.3	304	0	152	832	1012
		30	42.5	270	116		746	1015			30	44.9	213	91		820	1016
		50	42.2	193	193		737	1018			50	44.6	152	152		813	1018
		70	41.8	116	270		727	1021			70	44.3	91	213		805	1020
	18	0	45.6	395	0	158	797	956		18	0	47.7	316	0	158	864	954
		30	45.0	277	119		782	961			30	47.2	221	95		852	958
		50	44.6	198	198		772	964			50	46.9	158	158		844	961
		70	44.2	119	277		762	967			70	46.6	95	221		836	963
45	8	0	43.3	318	0	143	800	1056	55	8	0	44.4	267	0	147	834	1053
		30	42.8	222	95		788	1060			30	44.0	187	80		824	1056
		50	42.5	159	159		780	1062			50	43.8	134	134		818	1058
		70	42.2	95	222		772	1064			70	43.5	80	187		811	1060
	12	0	44.3	329	0	148	810	1024		12	0	45.6	276	0	152	849	1018
		30	43.9	230	99		797	1028			30	45.2	193	83		838	1021
		50	43.5	164	164		789	1030			50	45.0	138	138		831	1024
		70	43.2	99	230		781	1033			70	44.7	83	193		824	1026
	15	0	44.3	340	0	153	800	1012		15	0	45.5	285	0	157	836	1010
		30	43.8	238	102		787	1016			30	45.1	200	86		826	1013
		50	43.5	170	170		778	1019			50	44.8	143	143		818	1016
		70	43.1	102	238		770	1021			70	44.5	86	200		811	1018
	18	0	46.7	351	0	158	833	956		18	0	47.8	298	0	164	866	951
		30	46.2	246	105		820	960			30	47.4	209	89		855	955
		50	45.9	176	176		811	963			50	47.1	149	149		847	957
		70	45.5	105	246		802	966			70	46.8	89	209		839	960



콘크리트의 혼합은 [그림 1]과 같이, 100 l 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 건비빔과 모르타르비빔을 행한 후, 골재를 투입하는 선모르터 비빔방법으로 실시하였다.

콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험은 KS규준에 의거 표준적인 방법으로 실시하였으며, 각 재령별 압축강도를 측정하기 위하여 $\phi 10 \times 20$ cm공시체도 제작하였다.

3. 실험결과 분석 및 검토

3.1 굳지 않은 상태 특성

본 연구는 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 유동특성 분석을 목적으로, W/B는 40, 45, 50, 55(%), 목표슬럼프치는 8, 12, 15, 18(cm)로 하였으며, 고로슬래그 혼합량은 각 목표슬럼프치를 고로슬래그 미분말 0%인 Base 콘크리트에 적합하도록 배합조건을 선정한 후, 단위시멘트 중량에 대하여 30, 50, 70(%)를 대체하였다.

감수제는 각 W/B 또는 목표슬럼프별로 동일하게 결합재 중량의 0.5%를 사용하였으며, AE제 혼합량은 W/B 40%에서는 0.02%, W/B 45%에서는 0.015%, W/B 50% 및 55%에서는 0.01%씩 혼합하였다.

(1) 슬럼프 변화특성

고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른

유동특성으로 슬럼프는 [그림 2]에서와 같이, W/B에 관계없이 전반적으로, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 증대하는 것으로 나타났는데, 이는 고로슬래그를 치환하므로써 전체 콘크리트내에 결합재(시멘트+고로슬래그 미분말)가 차지하는 용적이 증가되는 요인과 입자형상이 구형이고 고로슬래그의 영향으로 페이스트와 골재계면의 마찰력이 낮아지는 것 등이 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 분석된다.

한편, 목표슬럼프치가 낮고, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따라 슬럼프의 증가율도 증가하는 것으로 나타났다.

따라서, 고로슬래그 미분말을 사용하면 콘크리트의 유동성이 개선되어 콘크리트의 단위수량을 저감시킬 수 있기 때문에, 건조수축에 따른 균열제어효과 또한 매우 우수할 것으로 사료된다.

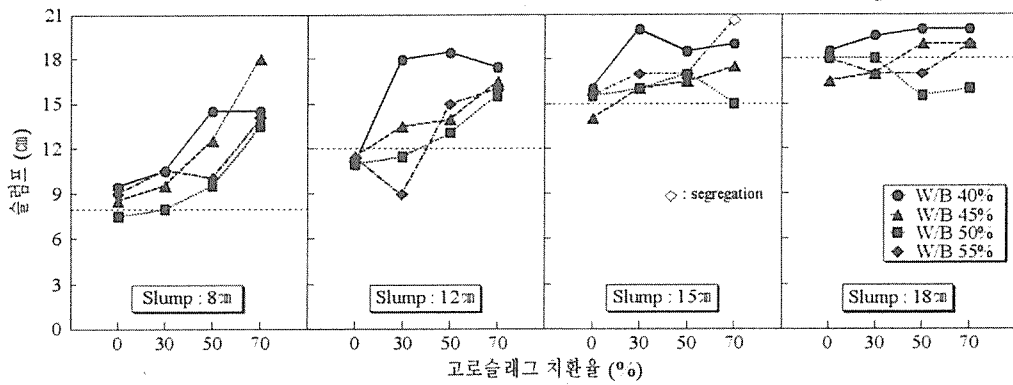
(2) 공기량 변화특성

[그림 3]은 목표슬럼프별 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 공기량 변화특성을 나타낸 것이다. 즉, 고로슬래그의 치환율이 증가할수록 공기량은 현저히 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 기존의 연구결과¹⁾²⁾³⁾에서와 같이 고로슬래그 미분말의 공극충전효과등에 기인된 결과로 분석된다.

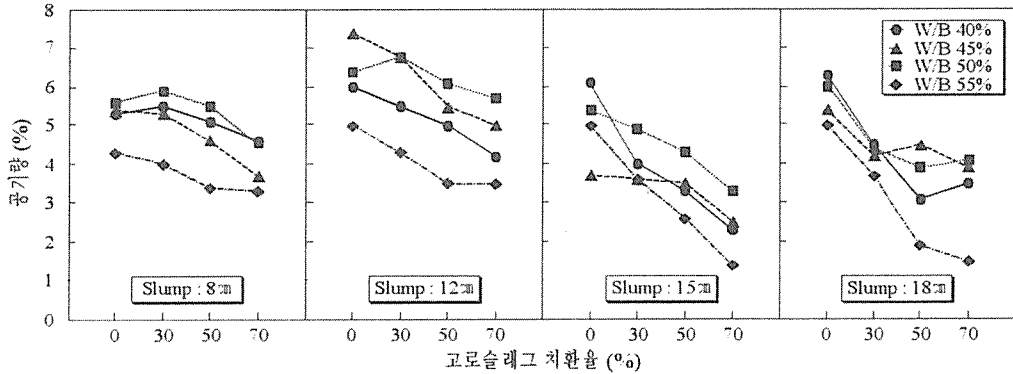
그러나, 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 경우, 소요 공기연행제의 사용으로 적정 공기량을 확보할 수있고, 고로슬래그 미분말의균일한 품질로 인하여 공기량을 관리하는데, 큰 어려움은 없을 것으로 예상된다.

(3) 경시변화특성

고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 슬럼프 및 공기량의 경시변화 실험결과(그림 4) 및 (그림 5)에서와 같이, 고로슬래그 미분말의 치



(그림 2) 목표슬럼프별 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 슬럼프 변화특성



(그림 3) 목표슬럼프별 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 공기량 변화특성

환율 증가에 따른 슬럼프 저하 경향은 감소하는 것으로 나타났는데 세부적으로, W/B 40%이고, 고로슬래그 미분말의 치환율이 70%인 경우가 고로슬래그를 치환하지 않은 콘크리트보다 유동성 유지능력이 큰 것으로 나타났다.

또한, W/B가 50%이고, 고로슬래그 미분말의 치환율이 50%와 70%인 경우는 Base 콘크리트에 비해 목표슬럼프를 만족하기 위한 감소제 사용량이 $0.1 \sim 0.2\% \times B$ 정도 감소하였다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 사용함에 따라 콘크리트의 유동성을 개선시킬 수 있었다.

공기량도 시간이 경과함에 따라 현저히 감소하는 것으로 나타났으나, 고로슬래그 미분말의 치환율 50%를 전후하여 경과시간에 따

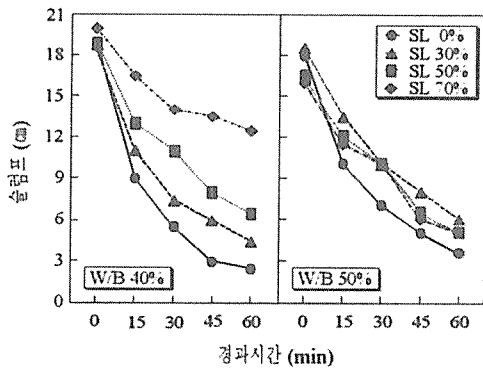
른 공기량의 손실은 고로슬래그의 치환율이 클수록 다소 완만한 경향을 보이고 있다.

압축강도는 [그림 6]과 같이, 시간이 경과할수록 전반적으로 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 상온조건에서 시간이 경과함에 따라 단위수량이 감소되는 것에 기인하여 W/B가 낮아지는 것과 공기량이 감소한 것 등이 복합적으로 작용한 결과로 예상된다.

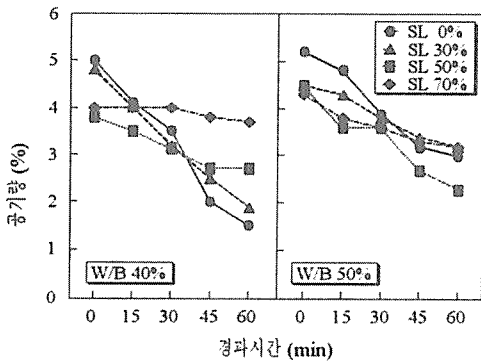
(4) 블리딩 변화특성

블리딩 시험결과는 [그림 7(a), (b)]과 같다. 블리딩 시험의 경우 주변온도에 따른 영향이 크기 때문에, $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 조건에서 실시하였다.

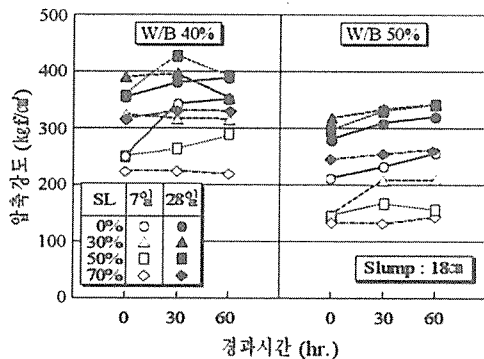
실험결과, 고로슬래그 미분말의 치환율에



[그림 4] 고로슬래그 미분말의 치환율별 경시변화에 따른 슬럼프의 변화



[그림 5] 고로슬래그 미분말의 치환율별 경시변화에 따른 공기량의 변화



[그림 6] 고로슬래그 미분말의 치환율별 경시변화에 따른 압축강도의 발현성상

따른 블리딩율과 블리딩량은 W/B에 따라 다소 상이한 것으로 나타났는데 특히, W/B

40%의 경우는 치환율이 증가할수록 블리딩량이 미소하나마 증가하는 하는 것으로 나타났으나, W/B 50%에서는 치환율 30%를 제외하고는 거의 유사한 값을 나타내고 있다.

세부적으로, W/B 40%인 경우의 블리딩량은 $0.23 \sim 0.30 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 범위인 것으로 나타나므로, 日本建築學會의 「콘크리트의 調合設計 指針·同解説」에서 고내구성 콘크리트의 조건으로 규정하고 있는 $0.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 이하를 만족하였다. 그러나, W/B 50%에서는 $0.40 \sim 0.53 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 범위인 것으로 나타났다.

한편, 블리딩 종료시간은 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 증대하는 것으로 나타났다.

(5) 응결시간 변화특성

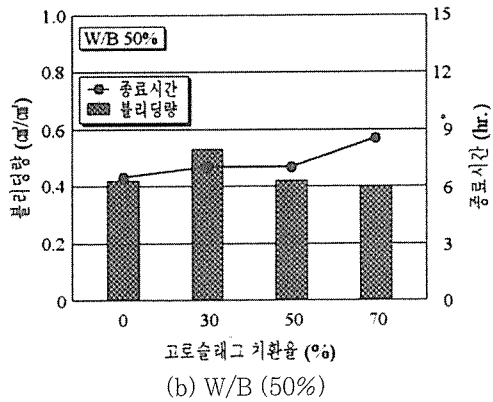
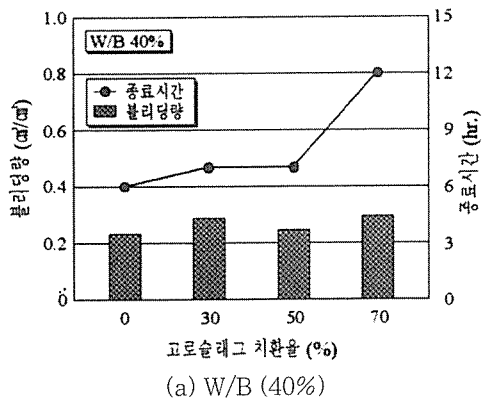
응결시간 시험결과는 [그림 8]과 같고, 블리딩 시험과 동일한 조건에서 실시하였다.

실험결과, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 응결시간은 W/B에 따라 상이한 것으로 나타났다. 즉, W/B 40%의 경우는 치환율이 증가할수록 응결시간이 길어지는 것으로 나타났으나, W/B 50%의 경우는 치환율에 관계없이 거의 유사한 것으로 나타났다. 이는 단위결합재량에 따른 영향으로 분석된다.

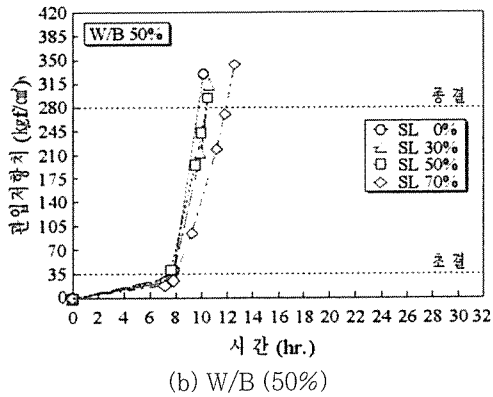
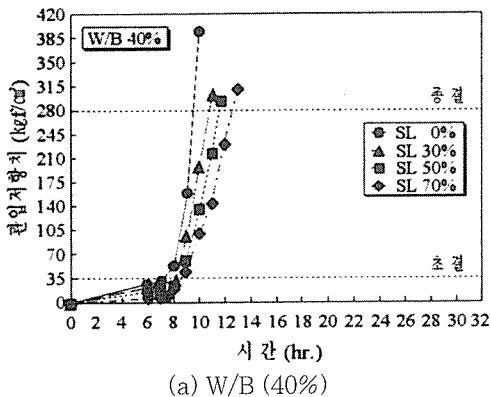
한편, 고로슬래그 미분말의 치환율이 70%인 콘크리트의 종결시간이 Base 콘크리트의 종결시간보다 2~3시간 정도 길어지는 것으로 나타나고 있어 향후, 현장적용 등을 위해서는 거푸집 해체시기 등에 대한 면밀한 검토가 요구된다.

(6) 수화열 특성

고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 콘크리트의 수화열 특성을 분석하기 위하여, W/B 40%, 목표슬럼프치 18cm인 콘크리트를 제조한 후, 단일온도상승시험에 의한 수화특성을



(그림 7) 고로슬래그 미분말의 치환율별 블리딩 시험결과



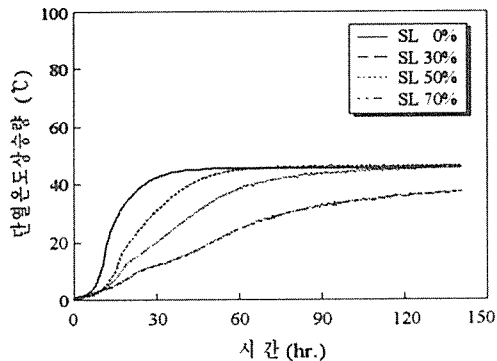
(그림 8) 고로슬래그 미분말의 치환율별 응결시험결과

검토하여 [그림 9]와 같은 결과를 얻었다.

즉, 고로슬래그 치환율이 증가하여도 최고 상승온도는 유사한 경향을 보이고 있으나, 온도상승구배는 치환율이 증가할수록 다소 낮아지는 것으로 나타났다.

최고상승온도와 온도상승구배는 콘크리트의 온도균열발생에 주는 주된 요인들로서, 본 연구범위에서 최고상승온도는 고로슬래그 치환율 50%까지는 유사하나, 치환율 70%에서는 6℃정도 감소하는 것으로 나타났으며, 온도상승구배도 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 완만해지는 것으로 나타났다.

따라서, 고로슬래그를 사용하게 되면 콘크



(그림 9) 고로슬래그 치환율 변화에 따른 단일온도상승 곡선

리트의 온도균열발생 비율이 상대적으로 적어질 수 있을 것으로 분석된다.

3.2 압축강도특성

(1) W/B 및 고로슬래그 치환율별 강도특성
고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 압축강도 특성은 [그림 10]과 같다.

동일 W/B에서, 고로슬래그 미분말의 치환율 변화에 따른 각재령별 압축강도 특성은 재령이 7일이고, 고로슬래그 미분말의 치환율 50%까지는 Base 콘크리트보다 다소 감소하는 것으로 나타났으나, 재령 28일 이후에서는 Base 콘크리트보다 다소 높은 강도특성으로 나타나고 있어, 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트는 일반콘크리트에 비해 재령 28일 이후의 장기재령에서 유리한 것을 알 수 있었다.

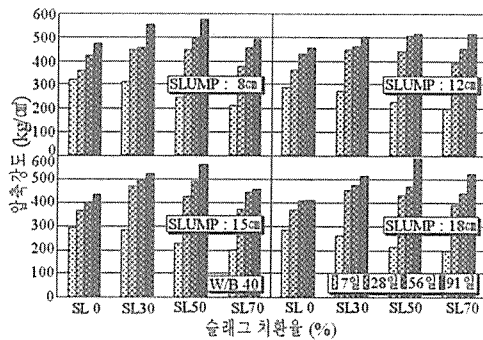
그러나, 고로슬래그 미분말의 치환율이 70%인 경우의 압축강도는 W/B에 따라 상이

하지만, 재령 56일 이후에 Base 콘크리트와 유사하거나 다소 높은 강도특성을 나타내고 있다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트를 구조물에 적용하기 위해서는 초기 및 장기강도발현을 위한 최소 단위시멘트량의 확보와 더불어 초기재령에서의 강도관리가 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

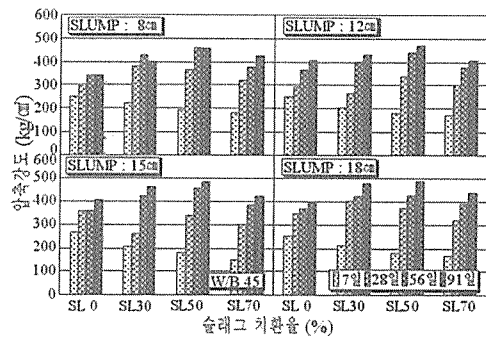
(2) 상관관계분석(압축강도-결합재물비)

각 재령에서 고로슬래그 미분말 치환율 변화에 따른 압축강도 변화특성과 결합재물비와의 상관관계는 [그림 11]과 같다.

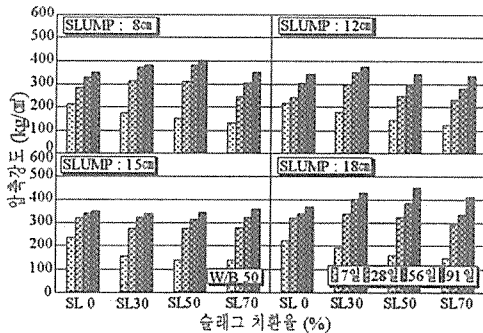
즉, 재령이 경과함에 따라 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 압축강도는 결합재물비(이하 B/W라 칭함)에 따라 상이하지만 Base 콘크리트보다 다소 증가하는 것을 알 수



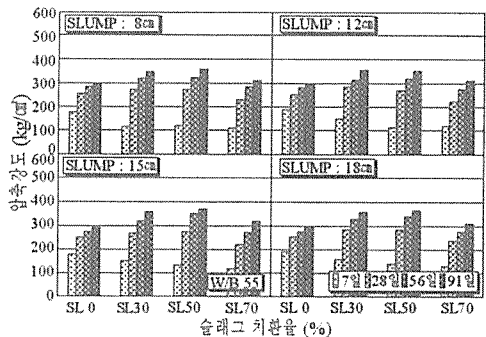
(a) W/B (40%)



(b) W/B (45%)

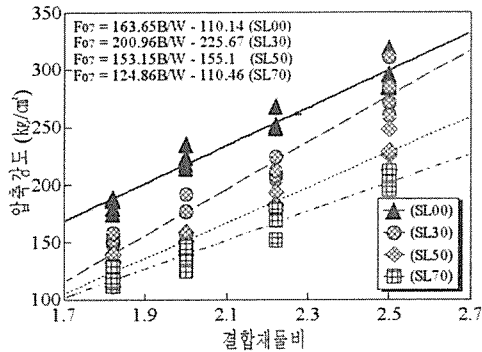


(c) W/B (50%)

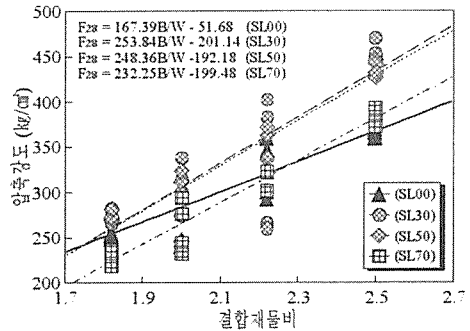


(d) W/B (55%)

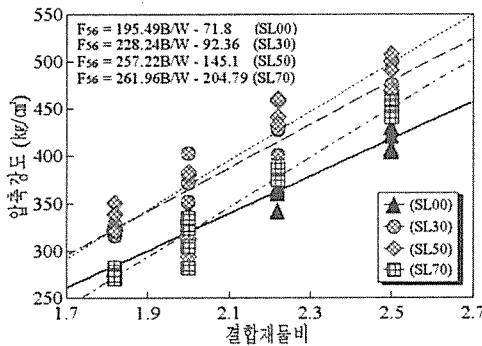
(그림 10) 각 재령별 고로슬래그 미분말의 치환율의 변화에 따른 압축강도 특성



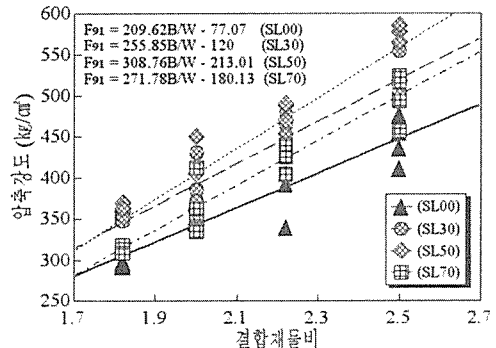
(a) 7일 재령



(b) 28일 재령



(c) 56일 재령



(d) 91일 재령

(그림 11) 고로슬래그 치환율 변화에 따른 압축강도와 결합재물비와의 상관관계

있다.

재령별로는, 재령 7일에서 Base 콘크리트의 압축강도가 약간 높게 나타내고 있지만, 재령 28일 이후에는 치환율별로 다소 차이는 있으나 치환율 50%이하에서 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트가 Base 콘크리트보다 높은 강도특성이 있는 것으로 나타났다.

이는 고로슬래그 미분말의 영향으로 B/W가 높을수록 즉, W/C가 낮을수록 잠재수경성반응이 조기에 일어난다는 것을 알 수 있었다.

이상에서 알 수 있듯이, 고로슬래그 미분말을 콘크리트 구조물에 적용할 경우에는 초기 재령에서의 강도관리가 무엇보다도 중요하다고 할 것이다.

4. 경제성 분석

[표 7]은 실내실험을 통하여 최적의 배합을 선정 한 후, 강도특성을 토대로 소요품질을 갖는 고로슬래그 치환율에 대한 경제성 분석결과를 나타낸 것이다.

동일 배합강도를 갖는 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 경우에 치환율 30% 및 50% 이하에서는 Base 콘크리트보다 강도발현 특성이 매우 우수할 뿐만 아니라, 경제적(제조단가)측면에서도 약 1,200~2,100원/m³정도 저렴한 것으로 나타났다.

따라서, 고로슬래그 미분말 치환율 30%에서는 Base 콘크리트에 비해 4%의 원가절감을 얻을 수 있었고, 고로슬래그 미분말 치환율

50%에서는 7% 정도의 원가절감 효과를 얻을 수 있다는 결과를 얻었다.

5. 결론

산업부산물인 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 범용화를 목적으로 굳지 않은 상태, 경화상태 및 경제성 등을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 슬럼프도 증가하였으며, 경시변화에 있어서도 슬럼프 손실경향이 다소 개선되는 것으로 나타났다.

(2) 공기량은 고로슬래그 미분말의 치환율 증가에 따라 감소하는 것으로 나타나, 치환율이 증가하므로써 AE제의 사용량도 증가시키야만 하는 것을 알 수 있었다.

(3) 블리딩량은 W/B에 따라 약간의 차이는 있지만, 거의 Base 콘크리트와 유사한 값을 보이고 있다. 한편, W/B에 따른 블리딩량은 W/B 40%에서 0.23~0.30cm³/cm², W/B 50%에서 0.40~0.53cm³/cm² 인 것으로 나타났다.

(4) 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 응결시간은 W/B 40%의 경우, 치환율이 증가함에 따라 함께 증가하는 것으로 나타난 반면, W/B 50%의 경우는, 치환율에 관계없이 거의

유사한 값으로 나타났다. 그러나, 치환율 70%인 콘크리트의 종결시간은 Base 콘크리트의 종결시간보다 2~3시간 정도 길어지는 것으로 나타났다.

(5) 수화열 특성은 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 최고상승온도는 유사하거나 다소 감소하였으며, 온도상승구배는 현저히 낮아지는 효과가 있었다.

(6) 고로슬래그의 치환율 변화에 따른 압축강도는 치환율이 증가할수록 재령초기에는 낮은 강도발현특성을 나타내는 반면, 장기재령으로 갈수록 높은 강도발현특성을 보이는 것으로 나타났는데, 이러한 경향은 재령 7일 이후로 갈수록 더욱 큰 것으로 나타났다.

(7) 고로슬래그 미분말을 콘크리트에 활용하므로써 경제적 측면에서 매우 효과적인 것으로 나타났는데 특히, 본 연구 범위에서는 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트의 제조원가가 Base 콘크리트에 비해 최대 7%정도 저렴한 것으로 나타났다.

종합적으로, 향후 콘크리트 공사의 고품질화 및 비용절감 측면 등을 고려하여 볼 때 고로슬래그 미분말의 활용성이 클 것으로 예상되며, 아울러, 실무에서도 이러한 점을 감안하여 신기능 콘크리트에 대해서 적극적으로 검토하고, 활용하기를 바라는 바이다.

(표 7) 배합조건별 재료비 비교

구분 종류	배합 강도 (kg/cm ²)	목표 슬럼프 (cm)	단위중량(kg/m ³)					단가 (원)
			OPC	SL	S	G	AD	
			57원	45원	5.4원	8.4원	450원	
SL0-50-158	270	18	316	0	864	954	1.58	31,402
			18,012	0	4,666	8,014	711	
SL30-50-158			221	95	846	960	1.58	30,215
			12,597	4,275	4,568	8,064	711	
SL50-50-158			158	158	834	964	1.26	29,286
			9,006	7,110	4,504	8,098	569	

参考文献

- 1) 沼田晋一, 高爐スラグ微分末の利用, コンクリート工學, Vol. 25, No. 9, 1987.
- 2) 沼田晋一, 高爐スラグ微分末混和コンクリートの動向, コンクリート工學, Vol. 33, No. 5, 1995.
- 3) 高爐スラグ微分末を用いたコンクリートの技術現状, 日本建築學會, 1992.
- 4) 高爐スラグ微分末を用いたコンクリートの施工指針, 日本土木學會, 1996.
- 5) コンクリートの配合設計指針・同解説, 日本建築學會, 1999.

