

고로슬래그의 분말도 및 순환골재 치환율에 따른 콘크리트의 강도 및 내구적 특성에 관한 연구

A Study of the Strength and Durability Properties on Recycled Aggregate Concrete and Blain of Blast Furnace Slag

임 명 관*

Lim, Myung-Kwan

박 무 영**

Park, moo-young

정 상 진***

Jung, Sang-Jin

Abstract

Furnace slag powder used currently in Korea needs to add special functions in response to the increase of large-scale projects. In addition, it is advantageous in that it has a lower hydration heat emission rate than ordinary Portland cement and improves properties such as the inhibition of alkali aggregate reaction, watertightness, salt proofness, seawater resistance and chemical resistance. However, furnace slag powder is not self-hardening, and requires activators such as alkali for hydration. Accordingly, if recycled fine aggregate, from which calcium hydroxide is generated, and furnace slag, which requires alkali stimulation, are used together they play mutually complementary roles, so we expect to use the mixture as a resource-recycling construction material. Thus the present study purposed to examine the properties and characteristics of furnace slag powder and recycled aggregate, to manufacture recycled fine aggregate concrete using furnace slag and analyze its performance based on the results of an experiment, to provide materials on concrete using furnace slag as a cement additive and recycled fine aggregate as a substitute of aggregate, and ultimately to provide basic materials on the manufacturing of resource-recycled construction materials using binder and fine aggregate as recycled resources.

키워드 : 고로슬래그 미분말, 순환골재, 내구적 특성, 콘크리트 강도

Keywords : Furnace Slag Powder, Recycled Aggregate, Durable Properties, Strength of Concrete

1 서 론

현대 과학의 눈부신 성장은 단기간에 인류문명의 변화와 윤택한 인간생활을 창조하여 왔으나, 그와 동시에 지구 환경을 크게 오염시킴으로써 오히려 생활환경을 악화 시키는 오류를 범하여 왔다. 따라서 각종 산업분야에서 배출되는 폐기물, 부산물 및 CO₂가스 등의 오염물질로 인한 인체 및 대기환경의 훼손을 방지하기 위한 노력 및 이런 폐기물 및 부산물에 대한 재활용이 절실하게 요구되고 있는 실정이다.

건설폐기물 중 가장 높은 비율을 차지하는 폐콘크리트는 과거 단순매립 처리의 한계를 넘어 무단폐기로 인한 환경오염 증대의 결과를 초래하고 있다.¹⁾ 이와 더불어 천연 골재의 부족 및 국가 자원의 절약, 환경보전적 측면에 대한 관심이 증대되면서 이런 시대적 흐름을 배경으로 폐콘크리트의 재처리 과정에서 파생되는 순환골재가 환경적 경제적 측면에서 대두되고 있다. 그러나 순환골재의 사용이 제한적인 이유는 콘크리트의 강도, 내구성 저하와 순환골재에 존재하는 시멘트 페이스트에 의한 알칼리 골재반응의 발생 우려 때문이다.

한편 제철소의 선철 제조 과정에서 생성되는 부산물인 고로

슬래그 미분말은 콘크리트 혼화재료로 사용시 산업부산물의 재활용, 환경보호 및 고급 원자재의 확보에 기여할 수 있는 고부가 가치를 지닌 재료라 할 수 있다.²⁾ 현재 국내에서 생산되고 있는 고로슬래그 미분말은 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 수화발열속도가 작고, 알칼리 골재 반응 억제 효과 및 수밀성, 염분차단성, 내해수성, 내약품성 등이 향상되는 장점³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾이 있다는 특징을 가지고 있다. 그러나 고로슬래그 미분말의 경우 자경성을 가지고 있지 않아 수화하기 위해서는 알칼리등의 자극제를 필요로 하는 혼화재료이다. 따라서, 수산화칼슘이 용출되는 순환 잔골재와 알칼리 자극을 필요로 하는 고로슬래그를 동시에 사용하면 상호보완적인 역할이 가능한 자원 순환형 건설재료로서 사용이 가능할 것으로 예상된다.

이에 본 연구에서는 각각의 독립된 재료로서만 진행되어왔던 고로슬래그 미분말과 순환골재에 대한 연구를 복합 치환하여 이루어진 이전 모르타르 실험⁷⁾을 통해 도출된 배합을 콘크리트에 적용함으로써 콘크리트의 물리적 성능 및 내구적 특성을 검토하고, 도출된 실험 결과를 분석·고찰하여 결합재 및 사용골재를 순환자원으로 사용한 건설재료를 제조하기 위한 기초적인 자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

2 실 험

2.1 실험 개요

기존의 연구들의 경우 고로슬래그 미분말 또는 순환골재에 대한 연구가 단편적으로 이루어져 왔다. 이에 본 연구에서는 고로슬래그 미분말의 분말도 및 치환율을 변화시켰으며 이에 순환 골재를 동시 치환하여 실험을 실시하였다.

2.2 실험계획 및 방법

고로슬래그 미분말의 경우 분말도 8,480, 6,470, 4,196 cm^3/g 의 1, 2, 3종을 사용하였으며 1종의 경우 30%치환, 2, 3종의 경우 30, 50, 70%를 치환하였고 순환골재의 경우 순환 굵은골재 30%, 순환 잔골재 30%를 각각 고정치환 하였다.

실험요인에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성으로 슬럼프 및 슬럼프 플로우, 공기량 및 응결시간을 측정하였고 경화 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 및 할렬인장 강도를 측정하였다.

내구적 특성을 파악하기위한 중성화 및 내산성, 동결융해 시험을 실시하였으며, 본 실험의 실험인자와 수준은 표 1과 같다.

표 1. 콘크리트의 실험인자와 수준 및 측정항목

구 분	W/B (%)	BS	고로슬래그 미분말 치환율 (%)	순환 잔골재 치환율 (%)	순환 굵은골재 치환율 (%)	측정항목
인 자	50	1	0			슬럼프플로우 공기량, 응결특성 압축강도, 인장강도 중성화, 내산성, 동결융해
		2	30	0	0	
		3	50	30	30	
수 준	40		70			8
		2	3	4	2	

2.3 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 고로슬래그 미분말은 K업체에서 생산되는 1, 2, 3종을 사용하였다. 잔골재는 인천산 세척사로 최대크기를 5mm이하로 입도조정 하였으며, 굵은골재는 광주 석산의 쇄석으로 최대치구 25mm이하로 입도조정하여 사용하였다. 순환 잔골재로는 국내 C사에서 생산되는 1종 순환 잔골재와 1종 순환 굵은골재를 2회 수처리하여 사용하였다. 각각의 재료에 대한 화학적 성질 및 물리적 성능은 표 2, 표 3과 같다.

표 2. 고로슬래그미분말의 물리·화학적 특성

시료 항목	화학조성(%)								강열 밀도 감량 (kg/ m ³)	비표 면적 (cm ² /g)	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO	K ₂ O	Na ₂ O			
고로슬래그 미분말 1종	34.3	15.1	1.04	44.4	4.4	3.1	0.44	0.54	2.75	2.88	8,480
고로슬래그 미분말 2종	34.1	14.9	1.02	44.4	4.3	3.2	0.23	0.50	0.85	2.89	6,470
고로슬래그 미분말 3종	33.7	15.8	1.52	43.2	4.6	3.9	0.26	0.46	0.47	2.90	4,196

표 3. 골재의 물리적 성질

구 분	생산지	최대 치수 (mm)	절건 밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	실적율 (%)	조립 률
잔골재	인천산	5	2.52	1.62	1,590	61.2	2.82
굵은 골재	광주 석산	25	2.61	0.95	1,527	57.8	7.12
순환 잔골재	국내 C사	5	2.43	4.95	1,366	57.9	3.25
순환 굵은골재	국내 C 사	25	2.53	2.83	1,446	58.8	7.01

2.4 배합 계획

본 실험에서는 콘크리트의 설계기준강도 24MPa에서의 공기량 4.5 \pm 1.5%와 슬럼프 15 \pm 2cm, 40MPa 에서의 공기량 2 \pm 1.5%와 슬럼프 플로우 55 \pm 5cm를 목표로 하였다. 고로슬래그 미분말은 분말도 별로 3개종을 사용하였으며 치환율은 30%, 50%, 70%로 설정하였다. 치환율의 설정은 KS L 5210 :2004 고로슬래그 시멘트의 고로슬래그 함유량에 5%초과 30% 이하, 30%초과 60%이하, 60%초과 70%이하로써 1, 2, 3종 기준에 준하는 값으로 하였다. 순환 골재의 치환율은 순환 굵은골재 30%, 순환 잔골재 30%를 각각 고정치환 하였다. 배합계획은 표 4 에 나타내었다.

표 4. 배합 계획

W/B (%)	BS (종)	고로슬래그 미분말 치환율(%)				RG-RS 치환율(%)		
		0	30	50	70	00-00	30-00	00-30
50	0	●	-	-	-	●	-	●
	1	-	●	-	-	-	●	●
	2	-	●	●	●	-	●	●
40	3	-	●	●	●	-	●	●

※BS-000 : 고로슬래그 미분말-종별, 치환율 RG-00 : 순환 굵은골재 치환율 RS-00 : 순환 잔골재 치환율

2.5 실험방법

2.5.1 슬럼프 및 슬럼프플로우

슬럼프 및 슬럼프플로우 시험은 혼합직후의 것을 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법) 규정에 의거하여 측정하였다.

2.5.2 공기량

공기량 시험은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험 방법)에 의한 방법으로 측정하였다.

2.5.3 응결특성

콘크리트 응결시험은 KS F 2436(관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험방법)에 의거하여 측정하였다.

2.5.4 강도시험

압축강도 공시체는 ϕ 10cm \times 20cm의 원형몰드를 사용하였다. 시험체의 제작은 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법)에 따른 방법에 의해 제작하였다. 압축강도 시험은 KS F2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)의 시험 방법에 따라 압축강도를 측정하였고, 3개 공시체 압축강도의 평균값을 시험

결과로 채택하였다.

인장강도 시험은 KS F 2423(콘크리트 인장강도 시험 방법)에 의거하여 할렬 인장강도를 측정하였다.

2.5.5 중성화 시험

중성화 저항성은 KS F 2584 콘크리트의 촉진 탄산화 시험방법에 따라 시험체를 제작하고 1, 2, 4, 8주 재령에서 탄산화 깊이를 측정하였다.

2.5.6 내산성 시험

내산성 시험으로서 표준수중양생한 시험체를 재령28일에 황산 5%의 제조된 수용액에 각각 침지시켜 질량 감소율을 측정하였다.

$$\text{중량 감소율(\%)} = \frac{W_n - W_o}{W_n} * 100$$

Wn : 침지재령에서의 공시체 중량
 Wo : 침지전의 공시체 중량

2.5.7 동결융해 저항성

동결융해 저항성 시험은 KS f 2456, ASTM 666(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항실험 방법)의 A방법인 수중 급속 동결융해 실험에 의하여 공시체를 제작하여 각 Cycle별 강도를 측정하여 비교하였다.

3. 실험결과 및 고찰

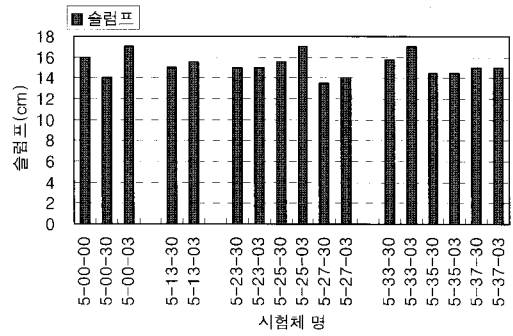
3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

3.1.1 슬럼프 및 슬럼프플로우

배합별 유동특성은 동일 슬럼프와 동일 슬럼프플로우 값일 경우 W/B 50%의 경우 고로슬래그 1종 30% 치환시 AE감수제의 사용량이 19%감소하였고, 2, 3종의 경우 30%, 50%, 70%치환시 각각 25~48%, 19~42%의 감소현상이 나타났으며, W/B 40%의 경우 고로슬래그 1종 30% 치환시 고성능AE감수제의 사용량이 16%감소하였고, 2, 3종의 경우 30%, 50%, 70%치환시 각각 16~30%, 30~34%의 감소현상이 나타났다.

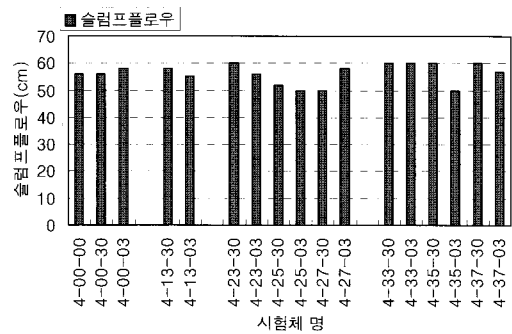
순환골재의 경우 순환 굵은골재 30%와 순환 잔골재 0%, 순환 굵은골재 0%와 순환 잔골재 30%로 각각 고정 치환시 순환 잔골재를 30%치환한 시험체가 W/B 50%의 경우 5%, W/B 40%의 경우 11% 감소하는 현상을 나타내었다.

이는 복합사용 결과 고로슬래그에 있어서는 표면에 산성피막으로 말미암아 기존 OPC에 비해 흡착력이 작기 때문으로 판단되어지며, 또한 동일량일 경우 분말도가 큰 재료가 표면적이 큰 것으로 사료된다. 순환 잔골재의 경우 입형은 구곡형이나, 파쇄시 발생한 골재 표면의 미세균열과 표면에 부착된 페시멘트 페이스트에 의하여 유동성이 저하되는 것으로 판단된다. 물 결합재비(W/B)별 콘크리트의 유동특성 결과는 그림 1과 같다.



a. W/B 50%

* 0-00-00 : W/B-BS중, 치환율안자리-순환 굵은골재, 순환 잔골재



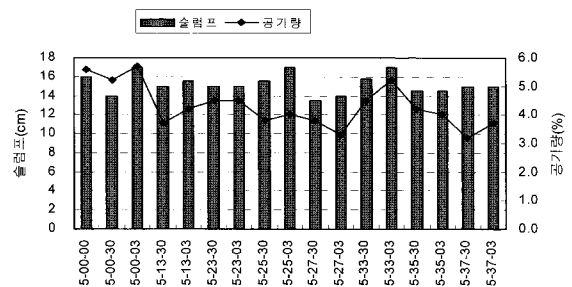
b. W/B 40%

그림 1. 슬럼프 및 슬럼프플로우 시험결과

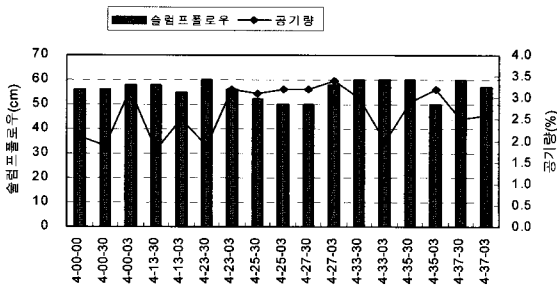
3.1.2 공기량 특성

배합별 공기량특성은 공기량 값이 동일하다고 가정 할 경우 W/B 50%의 경우 OPC와 비교시 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따라 AE제의 사용량이 약 65%증가 하였으며, B 40%의 경우 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가함에 따라 약 75%정도의 AE제 사용량이 증가 하였고, 순환골재의 경우 치환과 상관없이 큰 변화가 나타나지 않았다.

이는 고로슬래그 미분말의 분말도가 높아 미립효과에 의한 입자간의 충전효과로 보여지며, ‘공기연행성의 경우 일반적으로 고로슬래그 미분말의 치환율이 90% 정도에서 변화하고 대부분 변화하지 않으며, 다소 증가하는 경향이 있다’는 기존의 보고와 일치한다. 물 결합재비(W/B)별 콘크리트 공기량 특성 결과는 그림 2와 같다.



a. W/B 50%

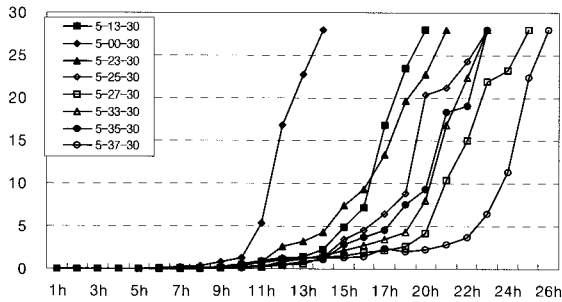


b. W/B 40%
그림 2. 배합별 공기량 측정 결과

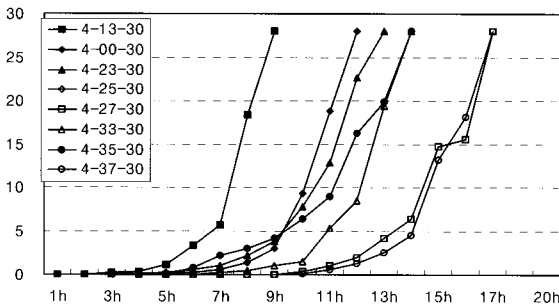
3.1.3 응결 특성

W/B 50%, 40%의 경우 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 OPC와 비교시 초결 및 종결시간에 있어서 약 2~4시간 정도의 지연현상을 나타냈다. 치환율과 초결시간의 관계는 고로슬래그 미분말의 치환율이 커짐에 따라 초결 및 종결시간이 지연되는 것으로 나타났으며, 초결 및 종결시간에 있어서 고로슬래그 미분말 종별에 따른 분말도 차이에 있어서는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

고로슬래그 미분말 2종 30%치환의 경우 순환골재와 복합 치환시 OPC에 순환골재를 치환한 시험체와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 이는 고로슬래그 미분말이 가지고 있는 포졸란 반응에 의한 잠재수경성이 수산화 칼슘이 용출되는 순환골재로 인해 알칼리 자극을 받아 산화피막이 조기 파괴되어 조기수화 반응을 일으킨 것으로 사료된다. 물 결합재비(W/B) 별 응결시간 측정결과는 그림 3 과 같다.



a. W/B 50%



b. W/B 40%

그림 3. 배합별 응결시간 측정결과

3.2 경화 콘크리트의 특성

3.2.1 압축강도

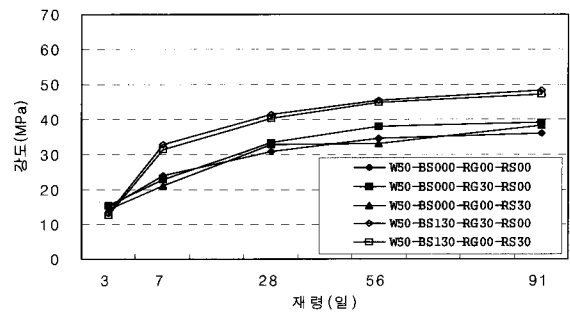
1) 재령에 따른 강도발현 특성

재령에 따른 강도발현 특성은 그림 4 에 나타난 것과 같이 기준 시험체의 재령 28일 강도는 물 결합재비에 따라 W/B 50%의 경우 30.5~32.7MPa로 나타났고 W/B 40%의 경우 42.8~51.6MPa로 나타났다.

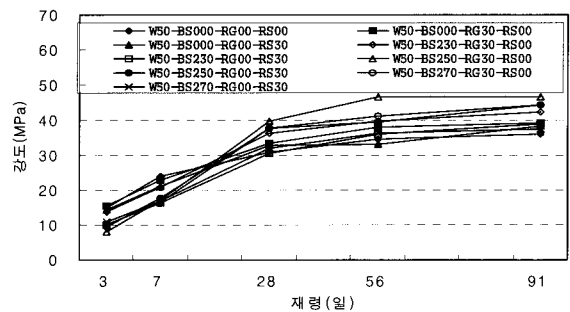
고로슬래그 미분말 1종의 경우 기준 시험체와 유사한 강도 발현 현상을 나타내었고, 2종의 경우 초기강도는 84.1~92.8%의 강도발현이 되었으며, 재령 28일 에서는 30~50% 치환시 기준 시험체와 유사한 강도발현 현상을 나타냈으나 70%치환의 경우 기준 시험체와 비교시 강도저하 현상이 나타났다. 이는 30~50%의 미분말을 치환한 시험체와 비교하여 재령 경과에 따른 강도발현성이 저하되기 때문으로 판단된다.

고로슬래그 미분말 3종의 경우 초기강도는 73.4~91.8%로 나타났으며, 재령 28일에서 30~50%치환시 기준시험체 대비 82.6~86.4%의 강도비를 나타냈으며, 70%치환의 경우 73.9%의 강도비를 나타내어 치환율 증가에 따른 강도 발현의 지연성이 매우 큰 것을 보여주었고, 순환골재의 경우 순환 잔골재의 경우 굵은골재보다 강도발현이 우수하였다.

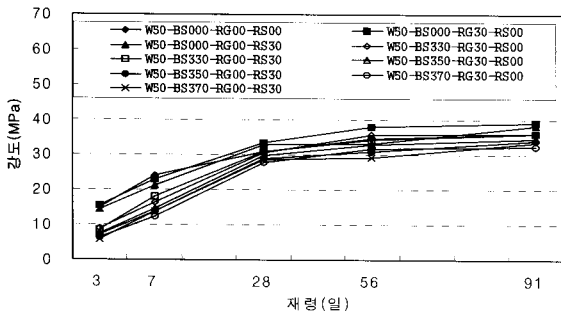
복합 사용에 있어서 고로슬래그의 경우 3종 사용시 강도저하의 원인으로 자경성이 없는 저 분말도 고로슬래그의 대량 치환에 따른 단위 시멘트량 부족으로 인한 콘크리트 중 알칼리 저하로 인하여 강도 발현의 지연이 더 가중되었기 때문으로 판단되며, 순환골재의 경우 잔골재의 조립률이 세척사에 비해 높게 나타나 순환 잔골재의 굵은분이 세척사에 비하여 많은 비율을 차지하고 있으며, 순환 잔골재에 포함되어 있는 순환미분말로 인하여 강도 발현 효과가 있는 것으로 사료된다.



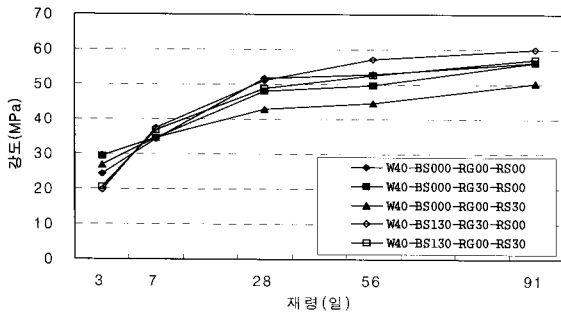
a. BS1종 W/B 50%



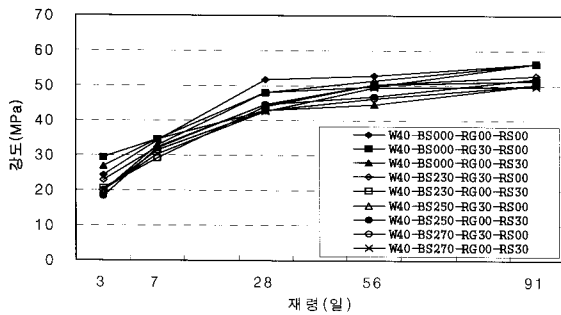
b. BS2종 W/B 50%



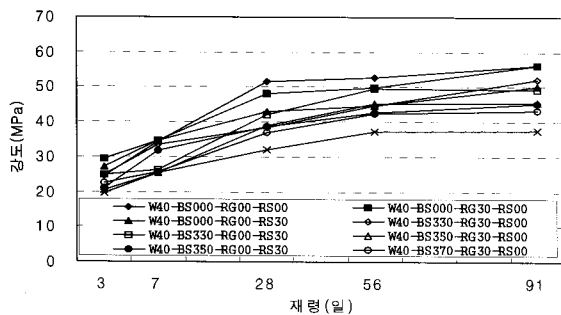
c. BS3종 W/B 50%



d. BS1종 W/B 40%



e. BS2종 W/B 40%



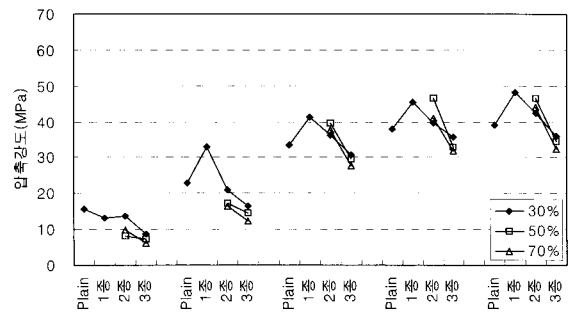
f. BS3종 W/B 40%

그림 4. 재령에 따른 압축강도

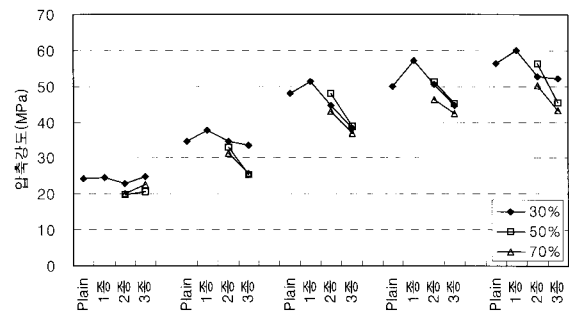
를 기준 시험체와 비교시 각각 1.9MPa, 5.5MPa, 6.2MPa의 차이를 나타냈으며, 3종의 경우 각각 4.5MPa, 6.2MPa, 8.6MPa의 강도차이를 나타냈다.

W/B 40%의 시험체의 경우 초기재령에서는 치환율에 따른 강도의 차이가 작게 나타났으나 재령경과에 따른 강도 증진성이 큰 차이를 나타내고 있다. 1종의 경우 기준 시험체와 비교시 3.6MPa의 강도 차이를 나타냈고 2종 시험체는 30%, 50%, 70%치환별로 3.5MPa, 0.1MPa, 6MPa의 강도차이를 나타냈으며, 3종의 경우 각 치환별로 4.1MPa, 10.7MPa, 13MPa의 강도차를 나타냈다.

고로슬래그 미분말 1종을 사용한 시험체는 강도의 차이가 작은 것으로 나타나고 있다. 고로슬래그 미분말 2종을 사용한 시험체의 경우 높은 물 결합재비에서는 치환율이 높은 70% 치환 시험체의 강도 발현이 작은 것으로 나타났으며, 물 결합재비가 낮은 경우는 50%치환 시험체의 수화반응 활성화에 의한 강도 증진성이 증가하여 70%를 치환한 시험체와의 강도 차이가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 고로슬래그 미분말 3종의 경우 치환량이 증가할 경우 초기 강도 저하 및 재령 경과에 따른 강도 발현성 저하가 발생하는 것으로 나타났다.



a. W/B 50%



b. W/B 40%

그림 5. 치환율에 따른 압축강도 특성

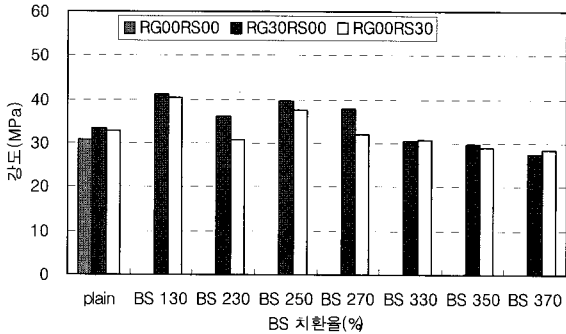
2) 고로슬래그 미분말의 치환율에 따른 강도 특성

고로슬래그 미분말 각각의 분말도에서 치환량 변화에 따른 강도 특성을 그림 5에 나타낸 것과 같이 W/B 50%시험체 초기 재령의 강도 발현을 살펴보면 고로슬래그 미분말 1종을 사용한 경우 기준 시험체와의 강도 차이는 10.1MPa 높게 측정되었다. 고로슬래그 미분말 2종의 경우 치환율 별 30%, 50%, 70%

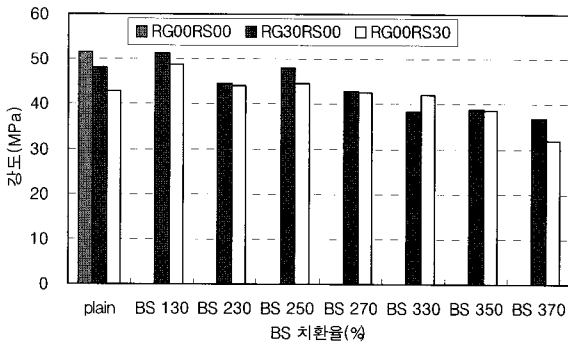
3) 순환골재 치환에 따른 강도특성

고로슬래그 미분말을 치환한 시험체에 순환 잔골재를 30% 치환시와 순환 굵은골재를 30%치환시의 강도 발현 특성을 그림 6에 나타낸 것과 같이 순환 잔골재와 굵은골재를 각개 치환시 W/B 50% 1종의 경우 굵은골재를 치환한 시험체가 약 0.9MPa 높게 나타났으며, 2종의 경우 약 1.9~5.7MPa의 강도 차이를 나타냈고 3종의 경우 0.2~0.7MPa의 강도 차이를 나타

났다. W/B 40%, 1종의 경우 굵은골재를 치환한 시험체가 약 2.4MPa 높게 나타났으며, 2종의 경우 약 0.36~3.4MPa의 강도 차이를 나타냈고 3종의 경우 0.3~5MPa의 강도 차이를 나타내어 고로슬래그 미분말과 순환골재를 동시 사용할 경우 순환 잔골재보다 순환 굵은골재를 적정 치환하여 사용할 경우 보다 우수한 성능의 콘크리트를 생산할 수 있을 것으로 사료된다.



a. W/B 50%



b. W/B 40%

그림 6. 순환골재 치환에 따른 강도특성

3.2.2 인장강도

고로슬래그 미분말을 사용한 순환골재 콘크리트의 재령에 따른 압축강도와 인장강도의 관계를 그림 7에 나타내었다.

고로슬래그 미분말 및 순환골재를 치환율에 따른 압축강도에 대한 인장강도의 비율은 거의 유사하나 다소 차이를 보였다. W/B 50%기준 시험체의 경우 압축강도에 대한 인장강도비는 19.6%를 나타냈고 W/B 40%기준시험체의 경우 24.3%를 나타냈다.

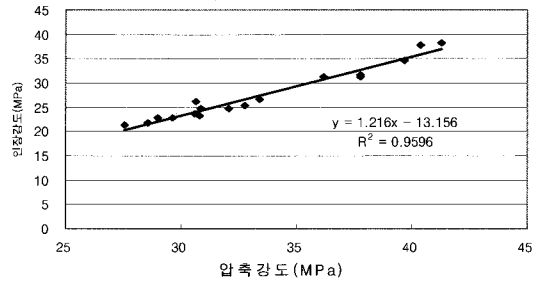
고로슬래그 미분말 1종을 치환한 시험체가 가장 높은 것으로 나타났고 2,3종 치환 시험체의 경우 기준 시험체를 상회하는 것으로 나타났으며, 3종 70%치환의 경우 강도 저하 현상 큰 것으로 나타났다.

OPC 및 고로슬래그 미분말, 순환골재 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도를 독립변수로 하고 인장강도를 대개변수로 하여 회귀분석한 결과 다음과 같은 상관식을 얻을 수 있었다.

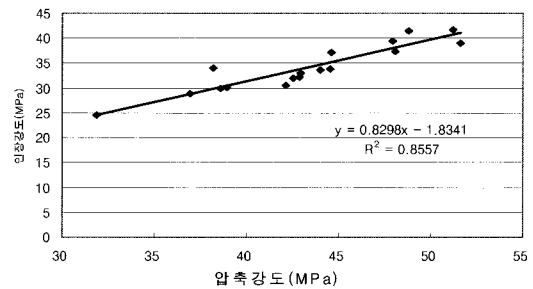
$$Y=1.216X-13.156.....(W/B 50\%)$$

$$Y=0.8298X-1.8341.....(W/B 40\%)$$

결정계수는 W/B 50%의 경우 $R^2=0.9596$, W/B 40%의 경우 $R^2=0.8557$ 를 나타내어 압축강도와 매우 높은 상관성을 나타냈다.



a. W/B 50%



b. W/B 40%

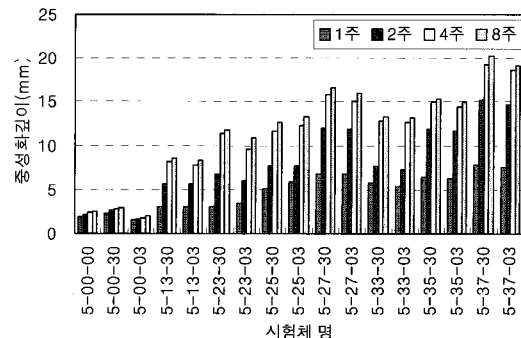
그림 7. 압축강도와 인장강도의 관계

3.3 내구적 특성 결과

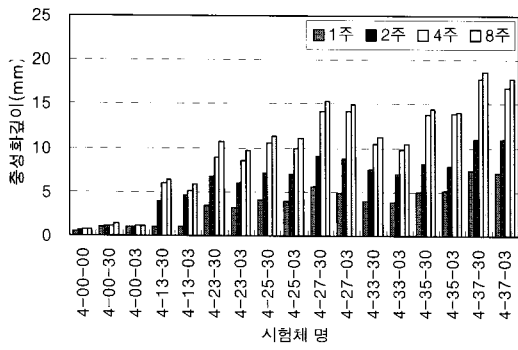
3.3.1 탄산화 촉진 시험

고로슬래그 미분말 및 순환골재 치환율에 따른 탄산화 깊이에 대한 측정결과를 그림 8에서 나타냈으며, 물결합재비에 있어서는 큰 차이가 나타나지 않았고, 고로슬래그 미분말 1종의 경우 2종을 치환한 시험체 보다 약 27.3%의 탄산화 깊이의 저감 효과를 나타내었고 2종의 경우 3종과 비교하여 약 11.3%의 저감 효과를 나타내어 고로슬래그 미분말 콘크리트의 중화를 저감시킬 수 있다⁸⁾는 기존의 연구결과와 일치하였다.

순환골재에 있어서는 순환 잔골재를 치환한 시험체가 순환 굵은 골재를 치환한 시험체 보다 다소 저항성이 좋은 것으로 나타났으나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.



a. W/B 50%

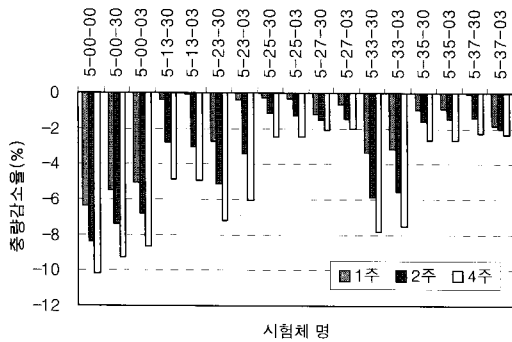


b. W/B 40%

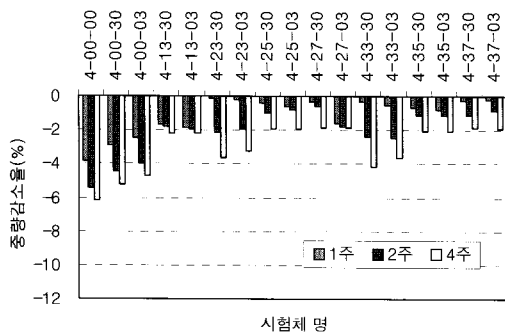
그림 8. 고로슬래그 및 순환골재 치환율에 따른 중성화 저항성

3.3.2 내산성 시험

그림 9의 고로슬래그 미분말 및 순환골재 치환율에 따른 내산성 시험결과에서 황산염 침해에 의한 콘크리트의 침식이 외관상 뚜렷이 나타났다. 고로슬래그 미분말 1종 치환의 경우 기준 시험체와 비교하여 약 47.7% 중량감소 저감 효과를 나타냈으며, 2종과 비교시 34.6%의 저감효과를 나타냈고 3종과 비교시 약 15.6%의 저감 효과를 나타내었다. 각각의 결과를 비교하면 고로슬래그 미분말을 치환한 시험체가 기준 시험체 보다 그 침식의 정도가 훨씬 적음을 알 수 있고, 고로슬래그 미분말의 분말도가 높고, 치환율이 증가할수록 감소율이 적게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.



a. W/B 50%



b. W/B 40%

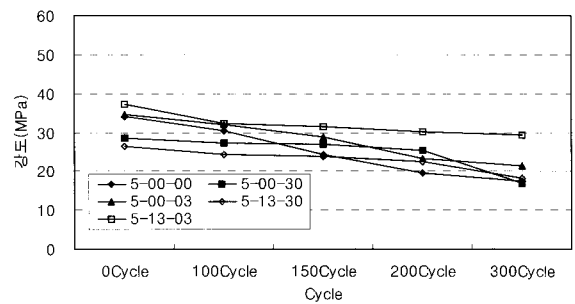
그림 9. 고로슬래그 및 순환골재 치환율에 따른 황산염 저항성

3.3.3 동결융해 저항성 시험

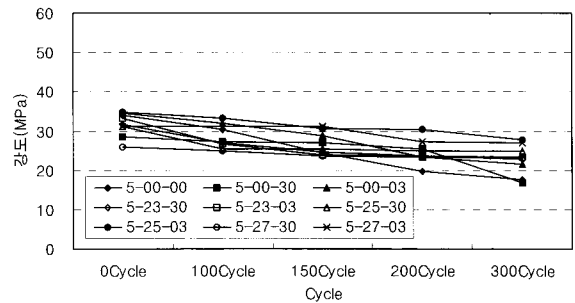
동결융해 저항성 실험결과를 강도측정 결과 값으로 그림 10에 나타내었으며, 강도의 변화를 치환율과 분말도의 변화에 따라 비교하였다. W/B 50%, 고로슬래그 미분말 1종의 경우 동결융해에 의한 강도 저하에 있어서 기준시험체와 비교시 약 19.9% 높게 나타났고, 2종의 경우 30~70% 치환시 약 22% 높게 나타났다. 3종의 경우 30~50% 치환시는 기준시험체 보다 높게 나타났지만 70% 치환시 일반 콘크리트에 비해 동결융해 저항성이 크게 우수하지 못한 것으로 나타났다.

W/B 40%의 경우 1종, 2종 모두 기준시험체 강도를 상회했지만 3종 70% 치환시 기준시험체 보다 강도 값이 저하하는 현상을 나타냈다.

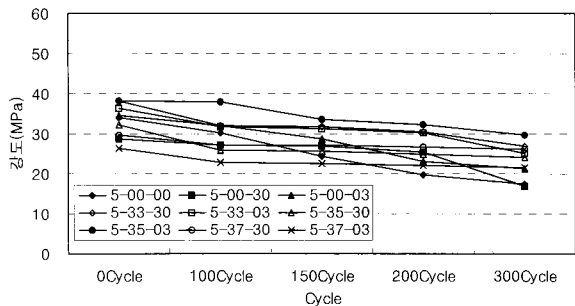
이는 충분한 습윤양생기간을 통해 강도의 발현이 우수하고 조직이 치밀하기 때문으로 판단되며 다량 치환시는 충분한 검토가 필요할 것으로 사료된다.



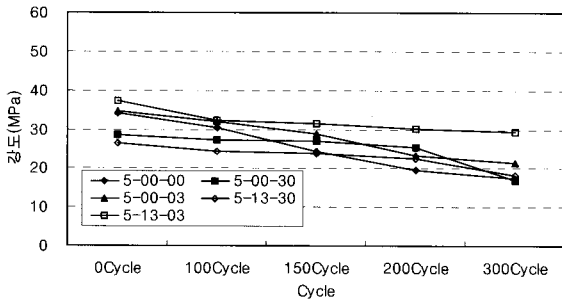
a. BS1종 W/B 50%



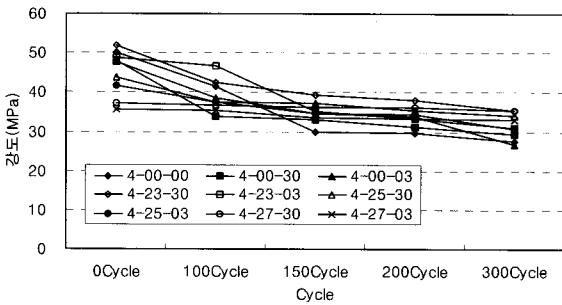
b. BS2종 W/B 50%



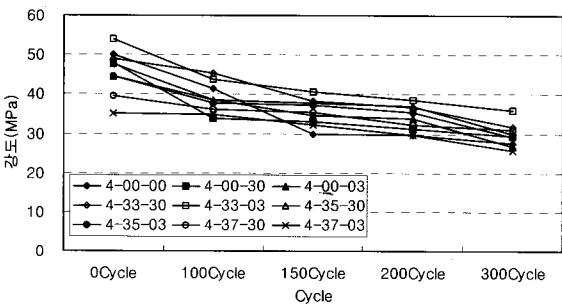
c. BS3종 W/B 50%



d. BS1종 W/B 40%



e. BS2종 W/B 40%



f. BS3종 W/B 40%

그림 10. 고로슬래그 및 순환골재 치환율에 따른 동결융해 저항성

4. 결론

본 연구는 고로슬래그 미분말 및 순환골재를 사용하기 위한 연구로서 고로슬래그 미분말 치환과 동시에 골재의 일부를 순환골재로 치환을 실시한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고로슬래그 미분말 1종 30% 치환시, 2, 3종 30~70% 치환시 유동성이 증가하였고, 순환 잔골재를 30% 고정 치환하여 동시 사용 할 경우 유동성이 더욱 활발해 지는 현상을 나타내었으며, 공기량에 있어서도 다소 증가하는 현상을 나타내어 향후복합 사용시 유동성 및 공기량 증대에 효과가 있을 것으로 사료된다.
- 2) 강도발현에 있어서 2종 이상의 고분말도 고로슬래그 미분말 사용 및 순환골재의 복합 사용시 강도 발현의 우수한

특성을 나타내어 고로슬래그 미분말 1, 2종 30~50%를 치환하여 순환골재와 복합사용시 그 효과가 증대 될 것으로 사료된다.

- 3) 탄산화 촉진 시험에 있어서는 물 결합재비에 상관없이 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가시 저항성이 감소하였고 고분말도 고로슬래그 미분말 사용시 저항성이 증대 되었다. 순환골재 치환시 잔골재를 치환할 경우 저항성이 다소 증가하는 경향을 나타내어 복합 사용에 있어 고분말도의 고로슬래그 미분말과 순환 잔골재를 적정 치환함에 있어 세심한 검토가 필요할 것으로 사료된다.
- 4) 내산성 및 동결융해 저항성 실험 결과 고로슬래그 미분말과 순환골재를 병행사용한 시험체가 기준시험체보다 그 침식의 결과 및 강도 저감에 있어 우수한 성능을 발휘하여 생활폐수를 취급하는 도시 하부 구조물 및 공장폐수로, 폐기물의 고화재 등에 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

이상의 실험결과를 통해 고로슬래그 미분말과 순환골재의 병행 사용시 적정 분말도 및 치환율 범위에서 제반물성이 향상됨을 알 수 있었지만, 고분말도의 다량치환시의 유동성 확보 및 내구적 특성에 있어서의 탄산화 저항성 문제에 대한 세심한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 김은겸, 長瀧重義, 大賀宏行, "플라이 애쉬 및 高爐水碎슬래그를 사용한 콘크리트의, 中性화에 관한 研究", 대한토목학회논문집 (1987)
2. 산업폐기물과, "건설폐기물 재활용기본계획 수립 통보 및 간담회 개최 알림", 환경부(2007)
3. 정상진의, 고로슬래그 분말도 및 순환 잔골재 치환율에 따른 모르타르의 강도 및 내구적 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 (2007)
4. 정상진의, 서냉고로슬래그 고미분말을 사용한 콘크리트의 압축강도 발현특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(2004)
5. 정상진의, 순환골재를 사용한 레디믹스트콘크리트의 제조에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집(2006)
6. 주택도시연구원, "건설폐기물의 발생 및 재활용에 관한 전망과 정책적 과제", 대한주택공사(2005)
7. 주택도시연구원, "순환콘크리트의 품질관리기반 조사분석 연구", 대한주택공사(2007)
8. 지용영외, 고로슬래그 이용에 관한 연구, 요업학회지(1981)
9. 콘크리트학회, "순환골재를 활용한 고성능 콘크리트의 개발", 콘크리트학회지 제15권2호(2003)
10. 한천구의, 붕괴취기에 의해 제조된 순환 굵은골재를 사용한 콘크리트의 공학적 특성, 한국건축시공학회 학술.기술논문발표회논문집 (2006)
11. Schemmel J.J., Leming M. L., : "High Performance Concrete for Highway Application : Field Results", High Performance Concrete in Severe Environments, ACI SP-140, pp. 95~120, (1993)