

풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Engineering Properties of Concrete using Fine Aggregate of PS ball Slag

이 상 수*
Lee Sang-Soo

송 하 영**
Song Ha-Young

김 을 용**
Kim Eul-Yong

Abstract

In this study, the experiment was carried out to investigate and analyze the engineering properties of concrete using fine aggregate of PS ball slag. The main experimental variables were water/cement ratio 30, 40, 50(%), water content 170kg/m³, replacement ratio of slag fine aggregate 0, 25, 50, 75(%) in experiment I and water/cement ratio 30, 40, 50(%), water content 165, 170, 175(kg/m³), replacement ratio of fine aggregate of PS ball 0, 50 in experiment II.

According to the test results, the principle conclusions are summarized as follows

- (1) The workability of slag fine aggregate-mixed concrete tends to improve, as the replacement rate increases.
- (2) The air content of slag fine aggregate-mixed concrete tends to decrease, as the replacement rate increases.
- (3) The unit volume weight of slag fine aggregate-mixed concrete tends to significantly increase, as the replacement rate increases.
- (4) The compressive strength of slag fine aggregate-mixed concrete tends to show more increasing propensity, in case the curing period is relatively long, as the replacement rate increases.

키워드 : 공학적 특성, 워커빌리티, 풍쇄슬래그 잔골재, 치환율, 공기량, 양생기간

Keywords : engineering properties, workability, PS ball slag fine aggregate, replacement ratio, air content, curing period

1. 서 론

현대 문명의 발달로 인한 최근 건설공사는 초고층화, 대규모화, 복잡화 되어감에 따라 건설 현장에서 천연골재의 부족 현상은 심각한 상황에 직면해 있으며, 향후의 전망도 불투명한 상태이다. 구조물의 대형화와 그에 따른 사회간접자본의 확충이 필요하고 인구의 증가에 따른 주거시설의 급증으로 매년 콘크리트의 사용량이 증가하고 있다.

이로 인해 콘크리트용 골재로서 대체골재의 사용이 필연적으로 필요한 상황이다. 이미 굵은골재로서 하천골재는 고갈상태에 이르러 석산을 개발하여 쇄석으로 대체 된지 오래되어 이제는 일반적인 골재로 사용하고 있다. 잔골재로서의 강모래도 점차 고갈되어 가고 있고, 환경적 측면에서 하천에 끼치는 영향으로 각 지방자치 단체에서 채취허가에 신중을 기하고 있으며, 채취 및 운반에 따른 높은 단가로 인하여 대체골재의 개발이 연구되어지고 있다.^{1),2)}

따라서 철강회사에서 생산되는 폐기물중 막대한 전로슬래그를 콘크리트의 잔골재로 사용한다면, 고갈되어가는 잔골재의 부족현상을 대체시키고 자연에 미치는 환경영향을 최소화 할 수 있을 것이다.^{3),4)} 그러므로 본 연구에서는 각 제철소에서 생산되는 폐기물중 막대한 전로슬래그를 풍쇄공정⁴⁾(이송→기울임→풍쇄 구형화(아토마이징처리)→살수냉각→야적)으로 처리한 풍쇄슬래그 잔골재를 콘크리트용 골재로서 보다 적절하게 재활용하기위한 기초자료로서 제시하는데 그 목적을 두었다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

물-시멘트비별 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 및 단위수량 변화에 따른 콘크리트의 유동특성 및 강도특성에 관한 기초적 성상을 규명하기 위한 본 연구의 실험요인 및 수준은 표 1과 같다.

즉, 실험 I에서는 물-시멘트비 30, 40, 50(%)의 3수준, 단위수량 170kg/m³, 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 0, 25, 50, 75(%)의 4수준으로 설정하였고 실험 II에서는 물-시멘트비 30, 40, 50(%)의 3수준, 단위수량 165, 170, 175(kg/m³)의 3수준, 풍쇄

* 한밭대학교 공과대학 건축공학과 조교수, 공학박사

** 한밭대학교 공과대학 건축공학과 교수, 공학박사

이 연구는 2005년도 한국과학재단의 연구비 지원으로 연구되었음. 과제번호 : R01-2005-000-10546-0

슬래그 잔골재의 치환율 0, 50(%)의 2수준으로 설정하였다. 콘크리트 배합의 목표 슬럼프치는 21 ± 2.5 cm로 설정하였다.

표 1. 실험요인 및 수준

항목	실험 I	실험 II
물-시멘트비(%)	30, 40, 50	
단위수량(kg/m ³)	170	165, 170, 175
풍쇄슬래그 잔골재 치환율(%)	0, 25, 50, 75	0, 50
재령(일)	7, 28, 56	
시험 항목	굳지않은 콘크리트	슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량, 단위용적중량
	굳은 콘크리트	압축강도, 초음파속도, 반발도

한편, 굳지않은 콘크리트의 상호 물성을 비교 분석하기 위한 시험항목으로서는 굳지않은 상태에서의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적중량 등으로 선정하여 계획하였다. 굳은 콘크리트의 특성을 비교 분석하기 위한 시험으로는 재령 7, 28, 56(일)에서 압축강도, 반발도, 초음파속도 등을 측정하여 풍쇄슬래그 잔골재 치환율 및 단위수량의 변화에 따른 배합요인별 콘크리트의 특성을 비교 분석하는 것으로 실험을 계획하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내산 S사에서 제조된 KS L 5201규정의 보통 포틀랜드시멘트(I종)을 사용하였고 시멘트의 물리적 성질 및 화학적 성분, 광물조성은 각각 표 2와 같다.

표 2. 시멘트의 물리·화학적 성질

시멘트 종류	비중	분말도 (㎎/g)	용결시간 (h:m)			압축강도 (kgf/cm ²)			주성분(%)					
			초결	종결	3일	7일	28일	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
OPC	3.15	3,419	5:19	7:04	223	298	376	22.6	5.8	3.2	61.9	2.7	2.2	
KS L 5201	-	≥ 2,800	≥ 1h	≤ 10h	≥ 130	≥ 200	≥ 290	-	-	-	-	≤ 5	-	

2.2.2 골재

골재로서 잔골재는 충청남도 공주 금강에서 채취한 천연 강모래를 사용하였고, 굵은골재는 충남 연기군 석산에서 생산된 부순돌을 사용하였으며, 그의 물리적 성질은 표 3과 같다. 한편, 풍쇄슬래그 잔골재는 국내의 제철소에서 생산된 것으로 물리적 및 화학적 성분은 표 4와 같다.

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	입경 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	생산지
잔골재	5	2.50	1.26	2.57	1,540	61.6	금강
KS F 2526	-	≥ 2.5	≤ 3.00	-	-	-	-
굵은골재	25	2.69	0.89	6.97	1,974	71.2	대전
KS F 2527	-	≥ 2.5	≤ 3.00	-	-	-	-

표 4. 풍쇄슬래그 잔골재의 물리적 성질 및 화학적 성분

물리적 성질	최대 치수 (mm)	절건 비중	표건 비중	흡수율 (%)	조립율	단위용적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	잔입자량 (%)	마모율 (%)	안정성 (%)
시험값	5	3.56	3.57	0.42	3.10	2,263	63.8	0.5	-	2.6
KS F 2526	-	≥ 2.5	-	≤ 3	-	-	-	≤ 5	-	≤ 10
화학적 성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	I.g.loss	
시험값	12.96	9.58	30.16	39.83	8.00	0.08	0.03	-	-0.66	

2.2.3 고성능 감수제

본 실험에 사용한 고성능 감수제는 국내산 연갈색의 액상체인 고성능 AE감수제로서의 그 물리적 성질은 표 5와 같다.

표 5. 고성능 감수제의 특성 및 물리적 성질

구분	성분	색상	독성	비중	pH	감수율 (%)	압축강도비(%)		
							3일	7일	28일
시험값	폴리카본산계	연갈색	무	1.10 ± 0.02	7.6 ± 1	19	150	142	127
KS F 2560	-	-	-	-	-	≥ 18	≥ 135	≥ 125	≥ 115

3. 콘크리트의 배합 및 실험방법

3.1 콘크리트의 배합

콘크리트의 배합설계는 기존의 각종 참고 배합표를 기초로 하여 수차례 시험비법을 행한 후 물-시멘트비별 풍쇄슬래그 잔골재 치환율 및 단위수량에 따라 표 6과 같이 결정하였으며, 콘크리트의 배합 중 잔골재율은 표준적인 콘크리트의 배합 및 구성재료의 물성에 따라 선정하였고 본 실험에서의 목표 슬럼프치를 21 ± 2.5 cm 범위가 되도록 배합하였다.

표 6.1 콘크리트의 배합(실험 I)

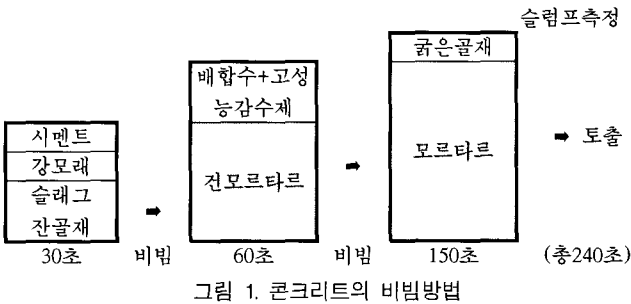
W/C (%)	S/a (%)	슬래그 잔골재 치환율 (%)	배합수 (kg/m ³)	단위질량(kg/m ³)			고성능감수제첨가율(%)	AE제량 (g)	
				시멘트	잔골재	슬래그 잔골재			굵은골재
30.0	41.0	0	170	567	638	0	971	0.9	8
		25			478	221		0.8	8
		50			319	443		0.9	8
		75			159	664		0.9	8
40.0	43.0	0	170	425	718	0	1008	0.8	6
		25			539	249		0.4	5.5
		50			359	499		0.3	5.5
		75			180	748		0.25	5.5
50.0	45.0	0	170	340	783	0	1013	1.0	4.2
		25			587	272		0.3	4.5
		50			392	544		0.2	4.5
		75			196	816		0	4.5

표 6.2 콘크리트의 배합(실험 II)

W/C (%)	S/a (%)	단위 수량 (kg/m³)	슬래그 잔골재 치환율 (%)	단위질량(kg/m³)				고성능감수제첨가율(%)	AE제량 (g)
				시멘트	잔골재	슬래그 잔골재	굵은골재		
30.0	41.0	165	0	550	648	0	988	0.9	8
			50		324	450		0.8	8
		170	0	567	638	0	971	0.9	8
			50		319	443		0.8	8
		175	0	583	627	0	955	0.9	8
			50		313	435		0.8	8
40.0	43.0	165	0	413	728	0	1022	0.8	6
			50		364	506		0.3	5.5
		170	0	425	718	0	1008	0.8	6
			50		359	499		0.3	5.5
		175	0	438	708	0	994	0.8	6
			50		354	492		0.3	5.5
50.0	45.0	165	0	330	792	0	1025	1.2	4.2
			50		396	550		0.2	4.5
		170	0	340	783	0	1013	1.0	4.2
			50		392	544		0.2	4.5
		175	0	350	774	0	1001	0.8	4.2
			50		387	537		0.2	4.5

3.2 실험방법

굳지않은 콘크리트의 물리적 성질을 측정하기 위하여 콘크리트의 비빔은 그림 1.과 같이, 골재, 시멘트, 물의 순서로 실험실용 콘크리트 팬 믹서(공칭용량 80ℓ)에 투입하여 4분 비빔으로 하였다.



측정항목으로 슬럼프시험은 KS F 2402에 의거 실시하였고, 슬럼프플로우 시험은 KCI CT-103, 공기량 시험은 워싱턴형 공기량 측정기(Washington type Air Meter)를 이용하여 KS F 2421에 의거 실시해 측정하였다. 굳은 콘크리트의 특성을 측정하기 위한 압축강도용 공시체의 제작은 Ø10×20cm의 실린더형 철재 몰드에 콘크리트를 붓 다짐으로 밀실하게 다진 후 비닐로 봉합하여 상온에서 24시간 경과 시킨 후 콘크리트 상면의 레이턴스를 와이어 브러쉬로 완전히 제거하고 수습 시킨 후 1시간 전에 모르타르믹서로 준비한 플라스틱한 상태의 시멘트 페이스트(물-시멘트비 23%)를 채우고 아스테이지(polyvinyl chloride film)와 6mm 유리판으로 압력을 가하여 캐핑한 다음 24시간 후 탈형, 수조온도가 20±2℃의 수조에 수중양생을 실시하고, 소정기간 양생한 후, 콘크리트의 압축강도 시험은 일본산 (주)동경시험기 제작소에서 생산된 ACR-200-50P, 200Ton 규격의 만능재료시험기를 사용하여 KS F 2405의 규정에 따라 매초 2~3kgf/cm²의 속도로 서서히 가력하여 최대하중을 측정하였다. 다음으로 콘크리트의 비파괴시험은 슈미트 햄머에

의한 반발 경도시험 및 초음파속도 시험을 실시하였는데 반발도시험은 슈미트 햄머로 보통 콘크리트에 사용하여 자동 계측되는 NR형 일본산 콘크리트 테스트 햄머로 Kamekura Seiki CO. LTD의 α-750-RX를 사용하였다. 초음파속도 시험은 PUNDIT를 사용하여 공시체와 단자 사이에 공극이 생기지 않도록 그리스를 바른 후 각 재령별 3개의 실린더 몰드를 길이 방향으로 초음파전파 측정하여 평균값을 취하여 초음파속도를 구하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 콘크리트의 성상

풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 및 단위수량 변화에 따른 콘크리트의 공학적 특성을 알아보기 위하여 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적중량을 비교 분석 및 검토하였다.

4.1.1 슬럼프

물-시멘트비별 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 슬럼프치를 도시하면 그림 1과 같다. 슬럼프의 전반적인 경향은 물-시멘트비 및 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율에 따라 커다란 변화를 나타내지 않고 있었다, 이는 목표 슬럼프치를 21±2.5cm로 맞추기 위한 적정량의 고성능 감수제를 첨가한 결과로 판단된다. 따라서, 본 굳지않은 콘크리트의 유동성상 평가는 고성능 감수제 사용량의 변화로 검토하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

고성능 감수제의 사용량은 물-시멘트비에 따라 다소 차이를 보여주고 있다. 물-시멘트비 30%인 경우에는 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가하여도 고성능 감수제의 사용량은 일정한 결과를 보여 주고 있지만 물-시멘트비 40, 50(%)의 경우에는 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 고성능 감수제의 사용량은 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 W/C 40, 50(%)의 경우, 풍쇄슬래그 잔골재의 입형이 구형으로 되어 있기 때문에 판단되고 W/C 30(%)의 경우는 구형율보다는 다량의 단위시멘트량으로 인한 점성의 영향으로 나타난 결과로 사료된다. 따라서 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트는 고강도 콘크리트 영역 보다는 보통강도 콘크리트에서 유동성 개선 효과가 높은 것으로 알 수 있다.

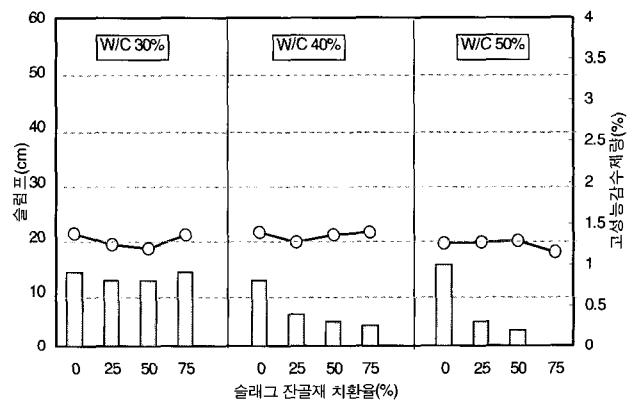


그림 1. 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 슬럼프 성상

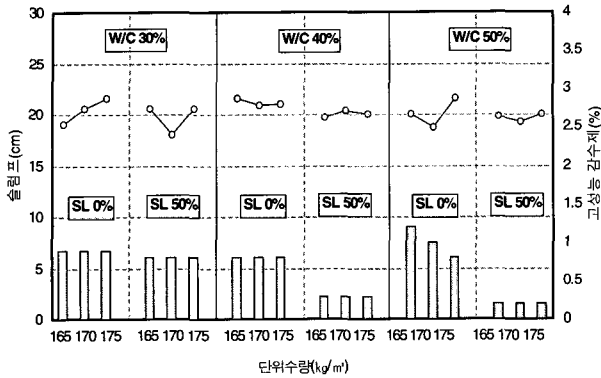


그림 2. 풍쇄슬래그 잔골재의 단위수량 변화에 따른 슬럼프 특성

한편, 물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 슬럼프치를 도 시하면 그림 2와 같다. 슬럼프의 전반적인 특성은 적정한 고성 능 감수제의 첨가에 의해 목표 슬럼프치인 21±2.5cm를 만족하 고 있었다.

물-시멘트비에 따른 고성능 감수제의 첨가율은 물-시멘트비 40%를 전후에서 플레인 콘크리트와 풍쇄슬래그 콘크리트에서 커다란 차이를 보이고 있다. 풍쇄슬래그를 사용한 콘크리트는 물-시멘트비 40% 이상의 경우, 낮은 고성능 감수제를 사용합에 도 불구하고 소요의 유동성을 갖는 콘크리트를 제조할 수 있었 다. 이는 풍쇄슬래그 잔골재의 입형이 구형으로 인해 불베어링 효과에 따른 영향으로 판단된다. 그러나 물-시멘트비의 대소에 따라 불베어링효과의 차이가 있음을 알 수 있었다.

단위수량의 변화에 따른 유동특성을 목표 슬럼프치인 21±2.5cm를 확보하기 위한 고성능 감수제의 첨가율로 검토한 결과, 물-시멘트비 50%의 플레인 콘크리트를 제외하고는 단위 수량에 따라 동일한 값을 나타내고 있다. 물-시멘트비 50%의 플레인 콘크리트의 경우에 고성능 감수제의 첨가율이 상대적 으로 높은 것은 낮은 단위시멘트량으로 인해 고성능 감수제의 분산성능 저하 때문에 나타난 결과로서 소요의 유동성을 확보 하기 위해 고성능 감수제의 사용량을 증대시킨 것이다.

4.1.2 슬럼프 플로우

물-시멘트비별 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 슬 럽프 플로우의 성상은 그림 3과 같다.

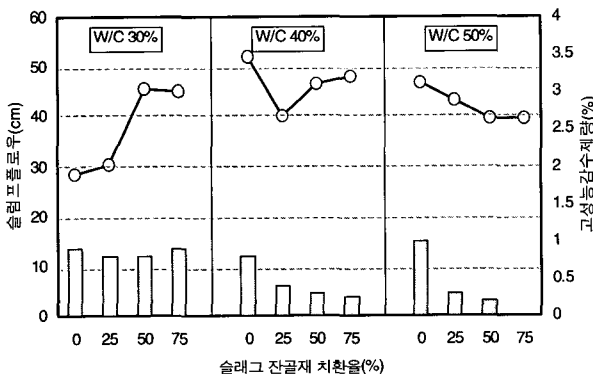


그림 3. 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 슬럼프플로우 성상

슬럼프 플로우의 전반적인 경향은 슬럼프치 보다는 뚜렷한 경향을 보이고 있다. 전반적으로 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 이 증가할수록 양호한 유동성을 나타내고 있었으며, 특히 W/C 30(%)에서는 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율을 50, 70(%)에서 상 대적으로 매우 높은 슬럼프 플로우치를 나타내고 있어 충전성 개선효과가 높다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 슬럼프치는 유동성 측면에서의 평가라고 한다면 슬럼프플로우는 유동성 과 점성을 고려한 충전성 측면의 평가라고 할 수 있다. 따라서 물-시멘트비에 따라 적절한 콘크리트의 유동성 평가를 정립할 필요가 있음을 시사해 주고 있다.

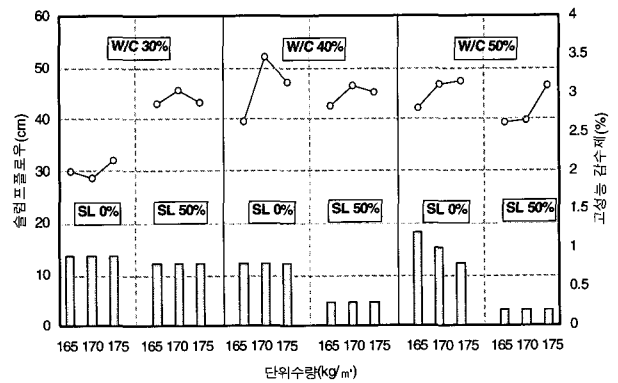


그림 4. 풍쇄슬래그 잔골재의 단위수량 변화에 따른 슬럼프플로우 성상

물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 슬럼프 플로우의 성 상은 그림 4와 같다. 굳지않은 콘크리트의 충전성능을 알아보 기 위한 슬럼프 플로우는 물-시멘트비 30%의 플레인 콘크리트 를 제외하고는 매우 양호한 값을 나타내고 있었다. 물-시멘트 비 30%의 플레인 콘크리트에서 낮은 슬럼프 플로우를 나타내 는 것은 상대적으로 고성능 감수제의 첨가율이 적었기 때문이 라고 여겨진다. 일반적으로 콘크리트의 충전성을 평가하는 슬 럽프 플로우치는 점성에 크게 좌우되기 때문에 동일한 슬럼프 치를 갖는 콘크리트라도 슬럼프 플로우치는 커다란 차이를 나 타낸다.

물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 슬럼프 플로우치는 전 반적으로 단위수량이 증가할수록 증대되는 경향을 보이고 있 다. 본 연구결과에서 검토한 결과, 단위수량의 변화가 콘크리 트의 점성에 커다란 기여를 한다는 것을 알 수 있었다.

4.1.3 공기량

물-시멘트비별 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 공 기량의 변화를 도시하면 그림 5와 같다.

공기량의 전반적인 경향은 동일 물-시멘트비에서 풍쇄슬래 그 잔골재의 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있 다. 이러한 특성은 플라이애쉬 성분 중 미연소탄소가 AE제를 흡착하는 특성과 동일한 성향을 보이는 것으로 향후 메틸렌블 루흡착시험을 통해서 규명할 필요가 있다고 사료된다.

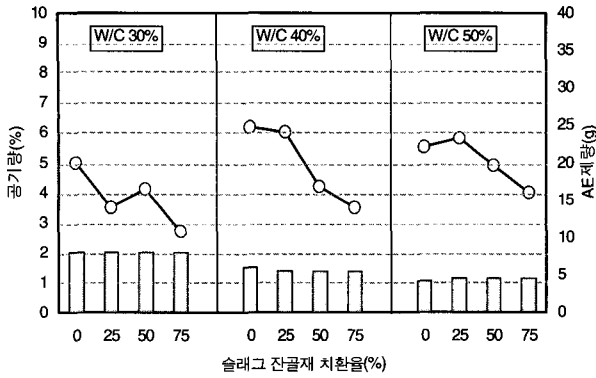


그림 5. 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 공기량 성상

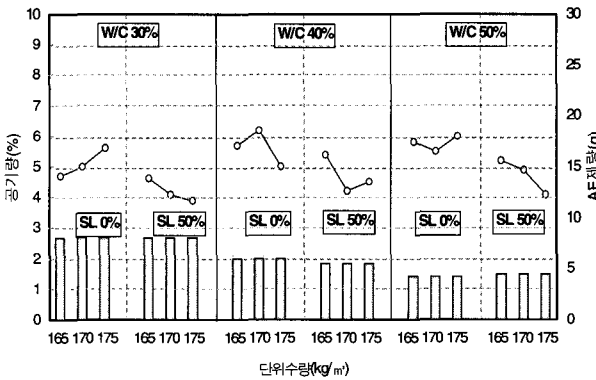


그림 6. 풍쇄슬래그 잔골재의 단위수량 변화에 따른 공기량 성상

또한, 목표 공기량인 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 확보하기 위한 AE제량은 물-시멘트비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 물-시멘트비가 낮을수록 단위시멘트량이 상대적으로 높아 공극을 치밀화시키고 있기 때문으로 판단된다.

물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 공기량의 성상을 도시하면 그림 6과 같다.

공기량의 전반적인 경향은 적정한 공기연행체의 첨가에 의해 소요의 목표 공기량인 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 확보할 수 있었다. 물-시멘트비에 따른 공기량을 확보하기 위한 공기연행체의 첨가율은 물-시멘트비가 낮을수록 증가하는 경향을 보이고 있다.

한편, 물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 공기량은 단위수량이 증가함에 따라 플레인 콘크리트의 경우는 증가하는 경향을 보이는 반면에 풍쇄슬래그 콘크리트의 경우는 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 따라서, 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트를 제조 및 생산할 경우에는 공기량 관리에 주의가 기울여야 할 것이다.

4.1.4 단위용적중량

물-시멘트비별 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 단위용적중량의 성상을 도시하면 그림 7과 같다.

전반적인 경향은 물-시멘트비 및 재령일수에 관계없이 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 풍쇄슬래그 잔골재의 비중이 잔골재의 비중에

비하여 상대적으로 높기 때문인 것으로 사료된다.

물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 단위용적중량의 성상을 도시하면 그림 8과 같다. 단위용적중량의 전반적인 경향은 물-시멘트비 및 단위수량의 변화에 따라 특이한 변화를 나타내지 않았다.

본 연구결과에서 알 수 있는 것은 플레인 콘크리트와 풍쇄슬래그 콘크리트와의 단위용적중량이 커다란 차이를 보이고 있다는 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 플레인 콘크리트의 단위용적중량은 $2,300 \sim 2,400 \text{ kg/m}^3$ 이고 풍쇄슬래그 콘크리트의 단위용적중량이 $2,800 \sim 2,900 \text{ kg/m}^3$ 로서 대략 500 kg/m^3 정도 높게 나타나고 있어 방사선 차폐용인 중량 콘크리트의 활용가능성이 높을 것으로 사료된다.

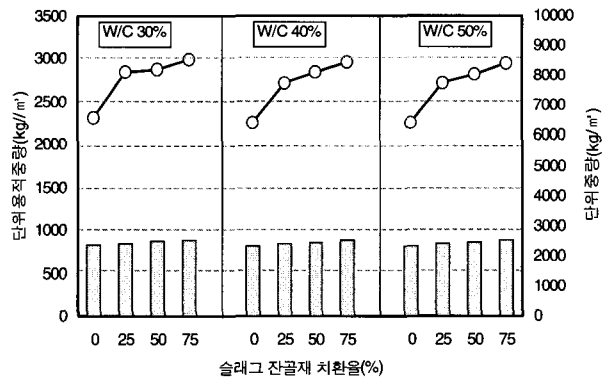


그림 7. 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 단위용적중량 성상

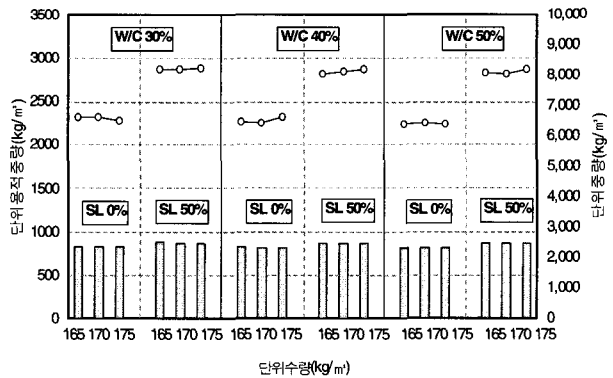


그림 8. 풍쇄슬래그 잔골재의 단위수량 변화에 따른 단위용적중량 성상

4.2 굳은 콘크리트의 성상

풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 콘크리트의 공학적 특성을 알아보기 위하여 소요재령에 따른 압축강도, 반발도 및 초음파속도를 비교 분석 및 검토하였다.

4.2.1 압축강도

그림 9는 풍쇄슬래그 잔골재 치환율의 변화에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 압축강도의 전반적인 경향은 물-시멘트비에 관계없이 공히 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가할수록 높은 압축강도를 나타내고 있다.

또한 재령에 따른 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율별 압축강도의 변화는 물-시멘트비가 낮을수록 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 초기재령보다는 장기재령에서 압축강도의 증진성향이 높은 것으로 나타났다. 이는 단위시멘트량이 상대적으로 높은 물-시멘트비가 낮은 영역에서 그의 효과가 높은 것으로 알 수 있듯이 콘크리트의 수화과정 중 풍쇄슬래그 잔골재의 성분이 수화반응에 기여한 것으로 판단된다.

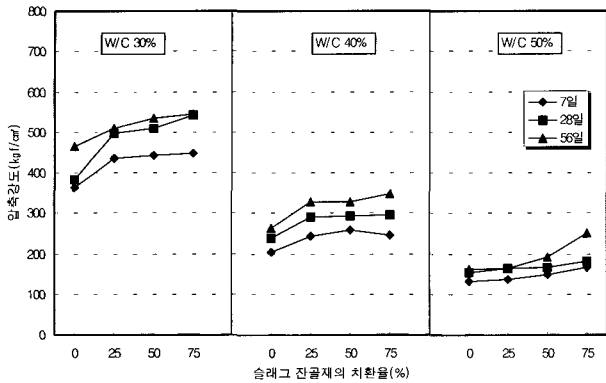


그림 9. 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 압축강도 성상

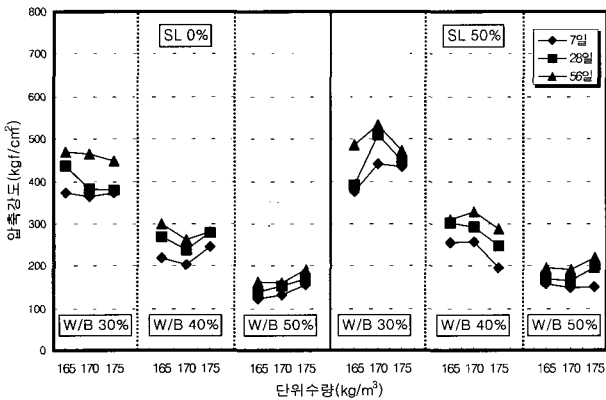


그림 10. 풍쇄슬래그 잔골재의 단위수량 변화에 따른 압축강도 성상

일반적으로 풍쇄슬래그 성분은 콘크리트내에서 잠재 수경성 반응 및 포졸란 반응을 일으켜 장기강도에 기여한다는 기존연구와 유사한 결과를 나타내고 있으나 풍쇄슬래그 잔골재의 경우에는 그다지 크지 않은 것으로 나타나고 있다.

풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 유동성 및 강도특성을 토대로 검토한 풍쇄슬래그 잔골재의 적정 치환율은 25%에서 가장 양호한 결과를 나타내고 있었다.

그림 10은 물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 압축강도의 성상을 나타낸 것이다. 단위수량의 변화에 따른 압축강도의 성상은 플레인 콘크리트와 풍쇄슬래그 콘크리트에서 상이한 특성을 나타내고 있었다.

플레인 콘크리트 및 풍쇄슬래그 콘크리트의 경우에는 각 물-시멘트비별로 압축강도측면에서 최적의 단위수량이 존재함을 알 수 있다. 플레인 콘크리트는 물-시멘트비 30% 및 40%에서 단위수량 165kg/m³, 물-시멘트비 50%에서 단위수량 175kg/m³에서 양호한 반면에 풍쇄슬래그 콘크리트는 물-시멘트비 30% 및

40%에서 단위수량 170kg/m³, 물-시멘트비 50%에서 단위수량 175kg/m³로 나타났다. 본 연구결과에서 알 수 있듯이, 물-시멘트비 40%이하의 고강도 콘크리트인 경우에는 플레인 콘크리트에 비해 풍쇄슬래그 콘크리트가 단위수량이 5kg/m³ 많은 영역에서 압축강도가 높게 나타내고 있었다. 이는 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 압축강도발현이 잠재수경성 및 포졸란반응과 단위수량에 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

4.2.2 반발도

그림 11은 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 반발도의 성상을 나타낸 것이다.

풍쇄슬래그 잔골재의 치환율에 따른 반발도의 성상은 물-시멘트비 30%를 제외하고는 뚜렷한 경향이 나타나지 않고 있다. 물-시멘트비 30%에서는 압축강도와 유사한 경향을 보이는 것처럼, 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가함에 따라서 반발도도 증대되는 경향을 나타나고 있다.

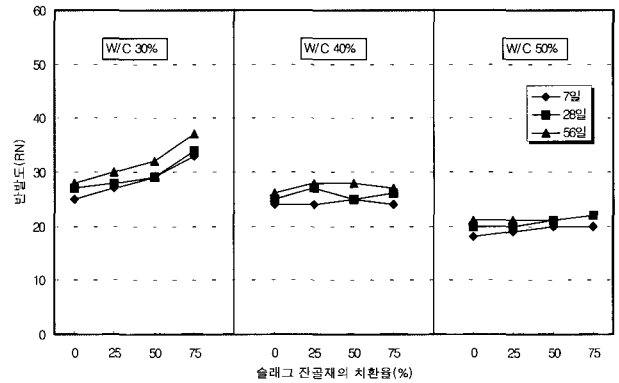


그림 11. 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 반발도 성상

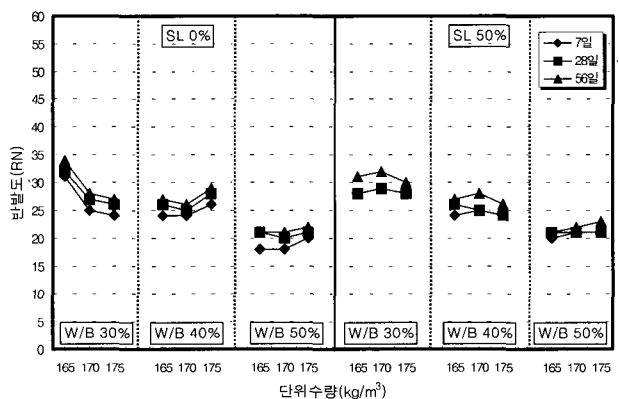


그림 12. 풍쇄슬래그 잔골재의 단위수량 변화에 따른 반발도 성상

물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 반발도의 성상을 도 시하면 그림 12와 같다. 반발도의 전반적인 경향은 압축강도의 발현성상과 유사한 결과를 보이고 있다.

플레인 콘크리트 및 풍쇄슬래그 콘크리트의 경우에는 각 물-시멘트비별로 반발도측면에서 최적의 단위수량이 존재함을 알 수 있다. 플레인 콘크리트는 물-시멘트비 30%에서 단위수량

165kg/m³, 물-시멘트비 40% 및 50%에서 단위수량 175kg/m³에서 양호한 반면에 풍쇄슬래그 콘크리트는 물-시멘트비 30% 및 40%에서 단위수량 165kg/m³, 물-시멘트비 50%에서 단위수량 175kg/m³로 나타났다. 본 연구결과에서 검토한 결과, 반발도는 압축강도와 같이, 각 배합조건별로 최적의 반발도가 존재한다는 것을 알 수 있었다.

4.2.3 초음파속도

그림 13은 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 초음파속도의 성상을 나타낸 것이다. 초음파속도의 전반적인 특성은 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가함에 따라서 다소 증진되는 경향을 보이고 있다. 또한, 재령에 따른 초음파속도의 증진 성상은 미약한 결과를 보이고 있었으며, 물-시멘트비에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

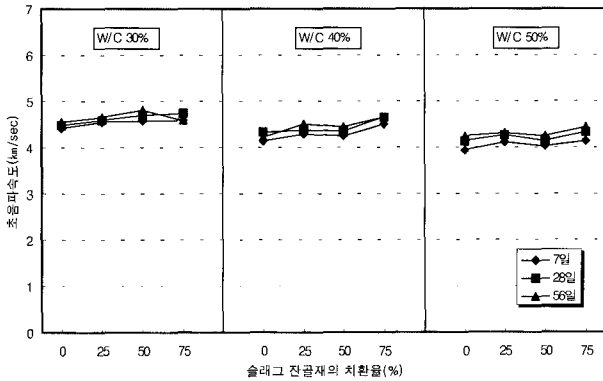


그림 13. 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 변화에 따른 초음파속도 성상

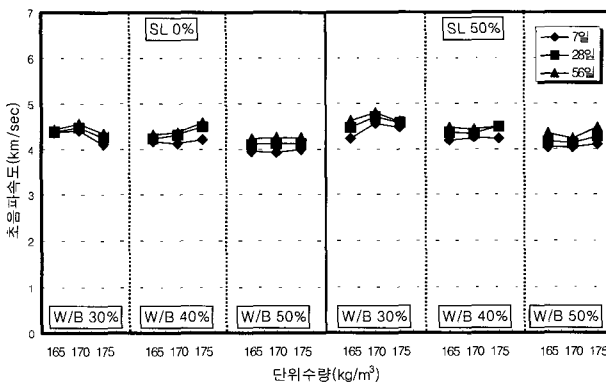


그림 14. 풍쇄슬래그 잔골재의 단위수량 변화에 따른 초음파속도 성상

물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 초음파속도를 도시하면 그림 14와 같다. 플레인 콘크리트 및 풍쇄슬래그 콘크리트의 경우, 물-시멘트비 30% 및 40%에서는 170kg/m³, 물-시멘트비 50%에서는 175kg/m³에서 가장 양호한 결과를 나타내고 있었다.

또한, 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트가 플레인 콘크리트에 비해 다소 높은 초음파속도를 나타내고 있었다. 이는 풍쇄슬래그 콘크리트의 잠재수경성 및 포졸란반응성으로 인해 공극을 치밀화하였기 때문인 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율 및 단위수량 변화가 콘크리트의 특성에 미치는 영향에 관한 실험으로서 각종 실험 요인 및 수준을 검토하여 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 유동성은 치환율이 증가함에 따라서 개선되는 경향을 나타내고 있었다. 이는 잔골재의 입형이 구형으로서 블레어링효과에 따른 영향으로 판단된다. 또한, 물-시멘트비별 단위수량의 변화에 따른 슬럼프 플로우치는 전반적으로 단위수량이 증가할수록 증대되는 경향을 보이고 있고 단위수량의 변화가 콘크리트의 점성에 커다란 기여를 한다는 것을 알 수 있었다.
- 2) 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 공기량은 치환율이 증가함에 따라서 감소되는 경향을 나타내고 있었다. 따라서, 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트에서는 공기량 관리에 주의를 기울여야 할 것이다. 또한, 목표 공기량인 4.5±1.5%를 확보하기 위한 AE제량을 물-시멘트비가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다.
- 3) 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 단위용적중량은 치환율 및 단위수량이 증가함에 따라서 상당히 높게 증가하는 경향을 보이고 있기 때문에 방사선 차폐콘크리트용 골재로서의 활용성이 클 것으로 판단된다.
- 4) 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 치환율이 증가함에 따라 초기재령보다는 장기재령에서의 증진 성향이 높은 것으로 나타났다. 이는 풍쇄슬래그의 잠재수경성 및 포졸란반응에 기인한 결과로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 플레인 콘크리트에 비해서 풍쇄슬래그 콘크리트가 단위수량 5kg/m³ 많은 범위에서 강도발현이 우수하게 나타내고 있는 것으로 보아 최적의 단위수량이 존재함을 알 수 있었다.
- 5) 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 반발도는 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가함에 따라서 물-시멘트 30%의 경우만 증진되는 경향을 보이고 있었으며, 압축강도와 유사하게 반발경도가 우수하게 나타나는 최적의 단위수량이 존재하고 있었다.
- 6) 풍쇄슬래그 잔골재를 사용한 콘크리트의 초음파속도는 풍쇄슬래그 잔골재의 치환율이 증가함에 따라서 다소 증진되는 경향을 보이고 있다. 또한, 재령에 따른 초음파속도의 증진성상은 미약한 결과를 보이고 있었으며, 물-시멘트비에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 김홍순, "토사를 잔골재로 사용한 콘크리트의 특성에 관한 기초적 연구", 석사학위논문, 2004,2 pp.1~2.
2. 김진철, 심재원, 조규성, "제강 풍쇄슬래그 잔골재를 활용한 빈배합콘크리트 적용성 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표 논문집 제16권2호, 2004. 11, pp.177~180

3. 강기웅, 조성현, 정원섭, 권기주, 김진만, 김무한, “급내 제강슬래그를 잔골재로 사용한 차폐콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집 제24권1호, 2004. 4, pp.235-238.
4. 조성현, 급내 제강슬래그 잔골재를 사용한 특수 모르타르 및 콘크리트의 개발과 실용화 방안특성, 박사학위논문, 2005
5. 정원섭 외, 제강슬래그를 이용한 콘크리트의 동결융해에 대한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2003, pp.48-53
6. Jirawat Suwanpurk, Suvimol Sujjavanich, “IMPACT OF LOW SULFATE METAKAOLIN ON COMPRESSIVE STRENGTH AND CHLORIDE RESISTANCE OF HIGH STRENGTH CONCRETE,” Fourth Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering, April 2003
7. 松山 哲也, 鐵鋼五スラグ骨材コンクリート構造剖材への適用性た關する基礎實驗, □コンクリート工學年次論文集, Vol25, No.1, 2003, pp.1373-1378