

석회석미분말을 사용한 4성분계 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구

An experimental study on engineering properties of concrete containing fly-ash, slag powder and limestone powder

홍지훈* 박종호* 김정빈** 정용** 이성연***
Hong, Ji-Hoon Yum, Jun-Haun Kim, Jung-Bin Jeong, Yong Lee, Seong-Yeun

ABSTRACT

This study is aimed for investigating the engineering properties of concrete containing fly ash, slag powder and limestone powder. The results of this study are as follows;

As limestone powder is increased, slump, air loss and strength is reduced, variation ratio of length is reduced, dynamic modulus of elasticity and neutralization depth is increased.

1. 서론

최근 외국에서는 석회석미분말을 고유동 콘크리트에 적용한 사례가 증가하고 있으며 국내에서도 석회석미분말에 관심을 가지고 석회석미분말을 활용한 연구가 진행 중이다. 기존 연구결과에 의하면 석회석미분말의 경우 높은 분말도에 기인한 점성확보로 재료분리의 감소, 공극충전 효과에 의한 강도 증진 등 품질향상에 기여한다는 보고가 있어 고유동 콘크리트 제조시 분체로서 검토된 바는 있으나 일반 콘크리트 제조에 적용된 연구는 극소수이다.

그러므로 본 연구에서는 일반 콘크리트 제조시 석회석미분말을 시멘트에 대한 혼화재로서 플라이 애시, 슬래그미분말과 함께 사용한 4성분계 콘크리트의 특성을 파악하고자 하였다. 실험은 압축강도, 건조수축, 동결융해, 중성화 특성에 대해 수행하였으며 이 분석결과를 토대로 콘크리트의 특성을 파악하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험개요

본 연구의 주요변수는 석회석미분말의 혼입율로 하였다. 혼화재의 종류는 석회석미분말, 플라이애시 및 슬래그미분말을 사용하였으며 플라이애시 및 슬래그미분말의 치환율은 각각 15%, 10%로 고정하였고, 석회석미분말의 치환율은 0%, 10%, 15%, 20%의 4수준으로 하였다. 잔골재는 조립율을 2.7 정도의

* 정회원, (주)삼표 기술연구소 연구원

** 정회원, (주)삼표 기술연구소 책임연구원

*** 정회원, (주)삼표 기술연구소 소장, 공학박사

수준으로 맞추기 위하여 조립을 3.2인 부순모래와 조립을 2.0인 세척사를 5:5로 혼합하여 사용하였다. 실험요인으로 물결합재비는 0.532로 설정하였고 슬럼프 19±1cm, 공기량 5.5±1%를 만족하도록 단위수량 및 공기연행제 사용량을 결정하였다. 실험사항으로 굳지 않은 콘크리트는 슬럼프, 공기량 및 비빔 후 60분까지의 굳지 않은 콘크리트의 경시변화를 측정하였고, 경화콘크리트의 경우 Ø10×20cm의 압축강도 공시체를 제작하여 소요재령까지 20±3℃의 수중에서 양생시킨 후 3, 7, 28, 56, 91일 재령별로 압축강도를 비교 검토하였다. 내구성실험으로서 길이변화시험, 동결융해 저항성시험 및 중성화시험을 수행하였다. 콘크리트의 축진 중성화시험은 10×20cm의 원주형 공시체를 사용하였고, 시료를 28일간 수중양생한 후 온도 20℃, 상대습도 60%, CO₂ 농도 5%의 환경 하에서 수행하였다. 동결융해 시험은 KS F 2456에 의거 공기 중 급속동결 및 수중 급속융해 시험법으로 하였으며 재령 14일에서 시험을 하였다. 이 때 콘크리트의 배합사항은 표 1.과 같다.

표 1 배합사항

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위용적질량(kg/m ³)										AE (%C)	AD (%C)				
			W	C	F/A	BFS	LSP	Total Binder	CS	WS	Total Sand	G						
L00	53.2	48.5	179	252	50	34	0	336	426	425	851	910	0.016	0.5				
L10				217			34											
L15			178	201			50								335	425	849	909
L20				184			67								424	848	908	

2.2 콘크리트 사용재료 및 혼합방법

실험에 사용된 결합재는 KS L 5201에 규정된 A사의 보통포틀랜드시멘트, 충남 당진산의 플라이애쉬와 대한기초소재사의 슬래그미분말을 사용하였으며 그 물리적 성질은 각각 표 1, 표2, 표 3과 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

밀도	분말도 (cm ² /g)	응결시간(분)		압축강도(kgf/cm ²)		
		초결	종결	3일	7일	28일
3.16	3,527	240	435	227	302	392

표 2 플라이애시의 물리적 성질

밀도	분말도 (cm ² /g)	압축강도비 (%)	수분(%)	강열감량 (%)
2.25	4,478	70	0.1	5.47

표 3 슬래그미분말의 물리적 성질

밀도	분말도 (cm ² /g)	플로우값비 (%)	활성도 지수(%)	강열감량 (%)
2.89	4,373	100.9	102	0.2

석회석미분말은 밀도 2.73, 분말도 5,856cm²/g인 제품을 사용하였고 화학성분을 표 4 에 나타내었다.

표 4 석회석미분말의 화학성분

성분	강열감량	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	NaO
함량 (wt%)	43.2	0.5	0.31	0.17	54.9	0.74	0.1	0.01

한편, 굵은골재는 표건비중 2.63, 흡수율 0.77%, 조립율 6.98의 남양산 화강암 부순돌(최대크기

25mm)을 사용하였고, 잔골재는 표건비중 2.62, 흡수율 0.93%, 조립율 3.2의 남양산 부순모래와 표건비중 2.61, 흡수율 0.71 %, 조립율 2.0의 인천산 세척사를 혼합하여 사용하였다. 혼화제로는 나프탈렌계 감수제를 결합재에 대하여 0.5%로 고정시켜 사용하였고 공기연행제는 5.5±1%의 공기량을 확보하기 위한 최적사용량을 결정하여 사용하였다. 콘크리트 혼합방법은 잔골재와 굵은 골재를 우선 투입하여 건비빔하고 결합재를 투입하여 추가 건비빔한 후, 혼화제를 물에 섞어 투입하는 방법으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압축강도

그림 1은 석회석미분말 치환율 변화에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것이다. 플라이애시와 슬래그미분말의 치환율을 각각 15%, 10%로 고정하고 석회석미분말의 치환율을 0~20%로 변화시켰다. 전반적으로 석회석미분말 치환율이 증가함에 따라 압축강도가 저하됨을 볼 수 있는데 이는 시멘트가 수경성이 없는 석회석미분말로 치환됨에 따라 시멘트의 혼입량이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다.

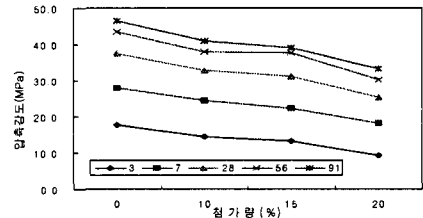


그림 1 석회석미분말 치환율변화에 따른 압축강도 변화

3.2 경시변화

그림 2와 그림 3은 경과시간에 따른 슬럼프 및 공기량의 변화를 석회석미분말 치환율별로 나타낸 것이다. 석회석미분말 치환율 10%까지는 Loss가 미량 증가하나 10%이상에서는 석회석미분말 치환율이 증가함에 따라 슬럼프 및 공기량 Loss가 개선되는 경향이 나타났다. 이는 시멘트의 혼입량이 감소하면서 수화에 관여하지 않는 잉여수가 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

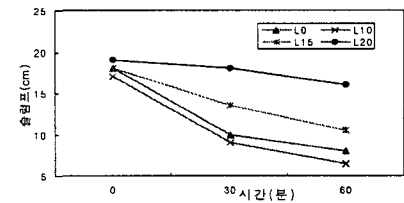


그림 2 경과시간에 따른 슬럼프 변화

3.3 건조수축

그림 4는 석회석미분말 치환율별 길이변화 특성을 나타낸 것이다. 석회석미분말 치환율이 0~20%로 증가할수록 길이 변화율은 감소하는 경향을 나타냈으며 15%이상에서는 길이 변화율이 비슷한 양상을 보여주고 있다.

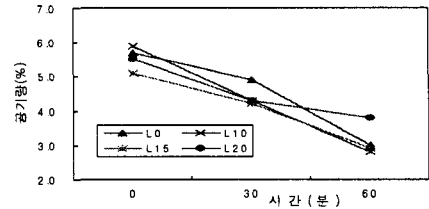


그림 3 경과시간에 따른 공기량 변화

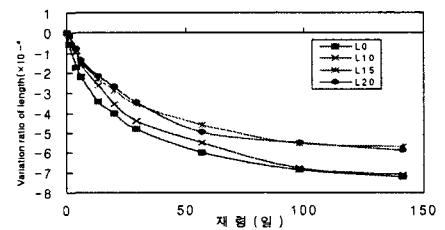


그림 4 석회석미분말 치환율별 길이변화율

3.4 동결융해

그림 5는 석회석미분말 치환율별 상대동탄성계수를 나타낸 것으로 공기량이 확보된 상태에서는 석회석미분말의 치환율에 관계없이 동결융해에 의한 영향이 없을 것으로 판단된다.

3.5 중성화 특성

그림 6은 경과시간에 따른 중성화깊이의 변화를 나타낸 것이다. 석회석미분말의 치환율이 증가함에 따라 중성화깊이도 증가하는 것을 볼 수 있는데 이는 석회석미분말의 함유량의 치환율이 증가함에 따

라 상대적으로 시멘트의 혼입량이 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

석회석미분말 치환율 변화에 따른 콘크리트의 제반특성의 분석 결과를 요약하면 다음과 같다

- 1) 석회석미분말의 치환율을 0~20%로 증가시키면 압축강도가 저하됨을 확인할 수 있는데 이는 시멘트의 혼입량이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다.
- 2) 석회석미분말의 치환율 변화에 따른 경시변화 특성은 슬럼프와 공기량 모두 석회석미분말 치환율이 증가함에 따라 Loss가 10%까지는 미량 증가하나 10%이상에서는 Loss가 양호해지는 경향을 보인다.
- 3) 건조수축율은 석회석미분말 치환율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이며 15%이상에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 4) 상대동탄성계수는 석회석미분말 치환율에 대한 영향을 나타내지 않았다.
- 5) 석회석미분말의 치환율이 증가함에 따라 중성화깊이도 증가하는데 이는 시멘트의 혼입량이 줄어들기 때문인 것으로 판단된다.

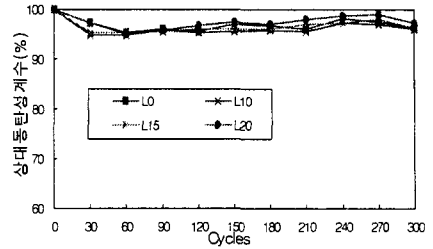


그림 5 상대동탄성계수

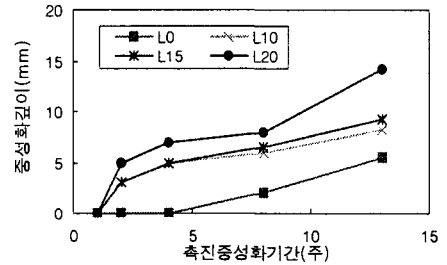


그림 6 경과시간에 따른 중성화깊이의 변화

참고문헌

1. 조병영, 윤길봉, 황인성, 한민철, 윤기원, 한천구, "석회석미분말 및 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 특성에 관한 연구", KCI 가을 학술발표회 논문집, pp287-292
2. 오병환, 박대균, 박재명, 이종화, "석회석미분말을 사용한 3성분계 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성 연구", KCI 2002년 봄 학술발표회 논문집, pp.569-574.
3. 구봉근, 이재범, 이현석, 박주원, "석회석미분말과 슬래그미분말을 혼합한 콘크리트의 내구성", KCI 2003년 가을 학술발표회 논문집, pp.82-85