

단위수량 변화에 따른 혼화제 종류 및 첨가량별 콘크리트의 특성 분석

An Analysis of Concrete Characteristics by Admixing Agent and Additive Contents According to the Change of Unit-Water

류 현 기*
Ryu, Hyun-Gi

우 종 권**
Woo, Jong-Kwon

조 명 근***
Cho, Myeong-Ken

Abstract

The purpose of this study is to analyze concrete characteristics by admixing agent and additive contents according to the change of unit-water to identify its effect on compressive strength. First of all, as for fresh concrete, overall unit-water showed a tendency to decrease as component inclusion rate of admixing agent was increased. In addition, air content showed a tendency to increase by increasing WR, WB, NP series admixing agent contents, on the other hand, the change of air content was gentle by around $1.5 \pm 0.5\%$ for S, T, M series agents. Bulk density showed an inverse proportion to the change of air content. As for hardened concrete, expression rate of 3-day age compressive strength was generally decreased for S, T, WR, WB, NP, M series admixing agent component. Also, expression rate of 7-day age compressive strength showed an excellent record for S, M series agents, and expression rate of 28-day age compressive strength showed a tendency to increase more than plain on the whole.

키워드 : 단위수량, 혼화제, 성분첨가량, 콘크리트특성

Keyword : Unit-Water, Admixing Agent, Component Inclusion Rate, Concrete Characteristics

1. 서 론

현재 구조물의 대형화, 고층화, 다기능화가 급속히 진행되면서 콘크리트도 다양한 성능이 요구되어지고 있고, 이러한 건설산업의 요구에 대응하기 위하여 콘크리트의 고성능화가 필요하게 되었으며 고강도, 고유동 및 고내구성 등의 특성을 갖는 고성능 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 콘크리트를 경제적이고 고품질화 하기 위하여 혼화제료를 최근 들어 많이 사용하고 있고,¹⁾ 혼화제로는 AE제, 감수제, AE감수제 및 고성능 AE감수제등이 있다. 이러한 혼화제는 콘크리트 페이스트 중의 시멘트입자, 고로슬래그 미분말, 실리카흄, 석탄회 등 무기질 미분체의 분산작용과 시멘트 수화반응에 작용하여 콘크리트의 제반 물성을 향상시키는 역할을 한다.²⁾ 하지만 감수 효과에 비해 사용량이 많아 응결 지연 현상이 일어나거나 강도 저하 현상 감수효과를 요하는 콘크리트를 제조하는데 제한이 있는 등의 문제점이 발생하는 경우도 있고,

또한 경제성과도 연관이 매우 밀접하다. 또한, 현장에서 시공성의 척도에 영향을 크게 미치는 단위수량은 굳지 않은 콘크리트의 유동성에 크게 영향을 미치며, 경화 콘크리트에서는 가장 우선시 되는 강도 및 건조수축, 길이변화 및 중성화 등 내구성과 관련하여 매우 중요하다.³⁾

따라서 본 연구에서는 단위수량 변화에 따른 혼화제의 화학성분에 의한 단위수량의 변화와 혼화제의 사용량 증가에 따른

특성을 분석하여 콘크리트의 유동성 및 강도증진에 영향을 미치는 혼화제의 개발 및 실무적용에 있어 기초자료를 제시하고자 함에 그 목적이 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표1 과 같고, 배합사항은 표2 와 같다. 먼저 W/C는 55%로 한 개 수준으로 계획하며, 목표 슬럼프 180mm를 기준으로 하여 단위수량은 혼화제는 원료성분인 유기산계 성분 Sodium gluconate (이하약자 S로 표기), Triethanolamine (이하약자 T로 표기), 멜라민계 성분 Melamine (이하약자 M으로 표기), 폴리옥시에틸렌 옥시프로필렌 노닐페닐계 성분 Polyoxyethylene nonylphenyl ether (이하약자 NP로 표기), 폴리카본산계 성분 Poly Carboxylic copolymer (이하약자 WR, WB로 표기)에 의하여 변화를 주었다. Plain의 계획은 예비실험을 통하여 단위수량 및 잔골재율을 결정토록 한다.

실험사항으로 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프, 공기량 및 단위용적질량을 측정하고, 경화콘크리트에서는 압축강도를 각각 계획된 재령에 측정한다.

* 충주대학교 건축공학과 교수, 정회원

** 충주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

*** 충주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

표 1. 실험 계획

실험 요인		수 준						
배합 사항	W/C (%)	1	55%					
	슬럼프(mm)	1	180					
	단위수량(kg/m ³)	1	목표슬럼프의 적정					
	잔골재율(%)	1	50.5					
	혼화제 종류 (시멘트 중량의 대한 0.5% 고정)	Plain						
		S10	S30	S50	S70	S90		
		T10	T30	T50	T70	T90		
		WR10	WR30	WR50	WR70	WR90		
		WB10	WB30	WB50	WB70	WB90		
		NP10	NP30	NP50	NP70	NP90		
M10		M30	M50	M70	M90			
실험 사항		굳지않은 콘크리트	3	슬럼프 ·단위용적질량 ·공기량				
		경 화 콘크리트	1	·압축강도 (재령 3, 7, 28일)				

* 10~90%는 혼화제 성분별 첨가량(%)을 나타낸 것이다

표 2. 배합 사항

W/C (%)	단위수량 (kg/m ³)	S/a (%)	혼화제 성분 첨가량 (%)	질량배합(kg/m ³)			
				C	S	G	
55	208	50.5	Plain	0	378	807	837
	205		S	10			
	202			30			
	195			50			
	185			70			
	185			90			
	208			T			
	210		30				
	210		50				
	210		70				
	210		90				
	203		WR				
	195			30			
	185			50			
	178			70			
	168			90			
	207			WB			
	198		30				
	185		50				
	175		70				
	165		90				
	198		NP				
	188			30			
	188			50			
	183			70			
	182			90			
	208			M			
	210		30				
	210		50				
	210		70				
	210		90				

2.2 사용재료

본 연구의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하고, 잔골재는 충주산 강모래를 사용하며, 굵은골재는 충주산 최대치수 25mm의 부순 굵은골재를 사용한다. 혼화제는 유기산계 혼화제의 성분별 Sodium gluconate, Triethanolamine, 폴리옥시에틸렌 옥시프로필렌 노닐페놀계의 Polyoxyethylene nonylphenyl ether, 멜라민계의 Melamine, 및 폴리카본산계의 Poly Carboxylic copolymer 사용한다. 각 재료의 물리적 및 화학적 성질은 표 3~5와 같다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (g/cm ³)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,480	0.06	250	438	22.6	31.3	39.8

표 4. 골재의 물리적 성질

골재 종류	밀도 (g/cm ³)	조립률 (F.M)	흡수율 (%)	단위용 적질량 (kg/m ³)	입형 판정 실적률 (%)	0.08mm체 통과량(%)
강모래	2.55	3.17	2.15	1.68	63.0	3.24
굵은 골재	2.69	6.89	0.48	1.47	61.2	-

표 5. 혼화제의 특성 및 용도

명 칭 및 분자식	특 성	용 도
Sodium Gluconate -C ₆ H ₁₁ O ₇ /Na-	·수용액 중에서 23 가의 금속이온과 chelate를 형성	·금속처리제(탈청, 방청) ·콘크리트 감수, 분산제
Triethanol amine -C ₆ H ₁₅ NO ₃ -	·점성이 있는 흡습성 의 액체	·합성세제 ·콘크리트 혼화제
Melamine -C ₃ H ₆ N ₆ -	·화학적으로 안정되 어 장기간 보관용이	·고유동 콘크리트 ·수중불분리 콘크리트
Polyoxyethylene Nonylphenyl ether -RC ₆ H ₄ O(C ₂ H ₄ O) _n H-	·용액에서 가수 분해 되지 않는 불휘발성	·비이온 계면활성제
Poly Carboxylic Copolymer -COOHCOO(CH ₂ CHOR) _n -	·수용성 폴리머	·고성능 감수 우수 ·슬럼프 유지 성능 우수

2.3 실험 방법

콘크리트 혼합은 강제식 팬 타입 믹서를 사용하였으며, 굳지않은 콘크리트의 슬럼프(KS F 2402), 공기량 및 단위용적질량(KS F 2409)은 해당 규정에 따라 실시한다. 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 $\phi 100 \times 200$ (mm) 공시체를 KS F 2403 규정에 따라 제작하여 계획된 재령에서 KS F 2405 규정에 의거 압축강도를 측정토록 한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트 특성

3.1.1 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 단위수량

그림 1은 혼화제 종류별 성분 첨가량 변화에 따른 단위수량을 나타낸 그래프이다.

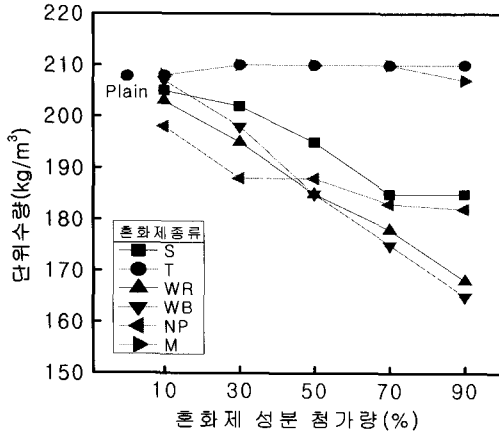


그림 1. 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 단위수량

전반적으로 T와 M의 혼화제 성분 첨가량이 증가하여도 Plain과 거의 같은 단위수량을 나타내었고, S와 NP의 혼화제는 성분 첨가량 70%까지는 다소 완만하게 감소하고 그 이후에는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 반면에, WR과 WB는 혼화제의 성분 첨가량이 증가할수록 단위수량 또한 급격히 감소하는 경향으로 나타났다. 이와 같은 원인은 T와 M의 혼화제는 점성이 있는 혼화제로써 목표 슬럼프를 충족하기 위해서는 많은 수량을 필요로 하고 그 이외의 혼화제는 분산 및 계면활성작용과 수용성의 성분 등으로 첨가량이 증가할수록 단위수량의 감소효과를 나타내었다.

3.1.2 공기량

그림 2는 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 혼화제 종류별 공기량을 나타낸 그래프이다.

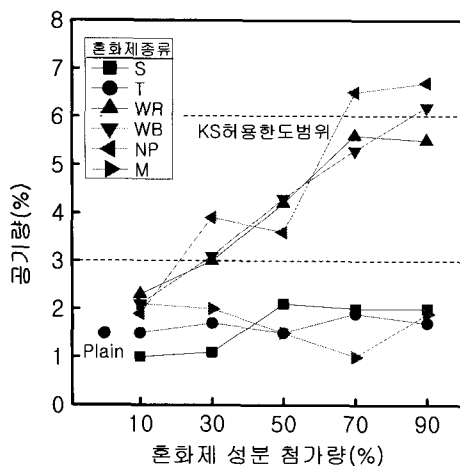


그림 2. 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 공기량

WR, WB, NP계의 혼화제 성분은 첨가량이 증가할수록 공기량도 증가하는 경향으로 나타났으며, WR계는 혼화제 성분 첨가량 30% 이상부터, WB는 30~70%, NP는 30, 50% 첨가량에서 KS규정의 공기량 적정치 $4 \pm 1.5\%$ 에 모두 포함 되었으며, WB는 90% 첨가량에서, NP계는 70%의 첨가량을 제외하고 30%이상의 성분 첨가량에서 KS의 허용한도 범위 내에 포함되는 경향을 나타내었다. 나머지 S, T, M계의 혼화제는 Plain의 공기량 1.5%에 대하여 $\pm 0.5\%$ 내외 정도의 공기량 변화를 나타내었다.

3.1.3 단위용적질량

그림 3은 단위수량 및 혼화제 성분 첨가량에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프이다.

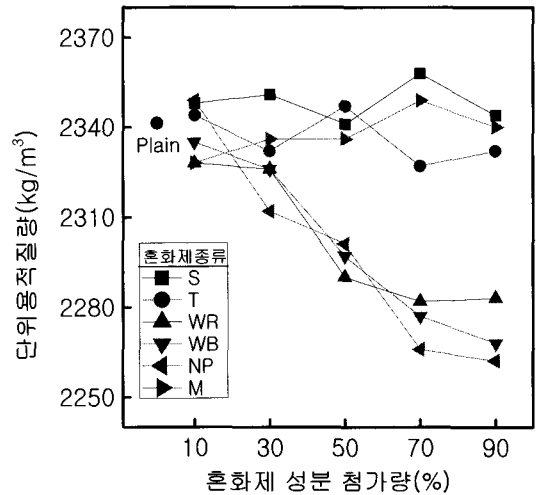


그림 3. 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 단위용적질량

단위용적질량은 공기량과 반비례적 관계이기 때문에, WR, WB, NP계의 혼화제 성분은 함유율이 증가할수록 공기량과 반대적 경향으로 단위용적질량이 감소하는 경향이 나타났고, S, T, M계의 혼화제 성분도 공기량과 마찬가지로 단위용적질량에서 크게 변화가 없는 것으로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트 특성

3.2.1 압축강도

그림 4와 5는 목표슬럼프 고정에 대한 혼화제 성분 첨가량에 따른 압축강도를 3, 7일의 조기재령과 28일 표준재령으로 나타낸 그래프이다.

3일의 조기재령에서는 Plain의 강도값보다도 모든 혼화제의 첨가량에서 작은 강도 발현을 나타내고 있으며, 재령 7일의 강도에서는 Plain의 강도값보다도 S계의 혼화제 성분 50%이상의 첨가량에서 강도발현이 약 1.8~3.7MPa 정도 크게 나타내었고, 특히 M계 혼화제 성분의 경우 모든 첨가량에서 Plain보다 가장 높은 강도 발현을 나타내었다. 그 외의 혼화제에서는 3, 7일의 조기재령에서 모두 Plain의 강도 값보다도 작게 나타냈다.

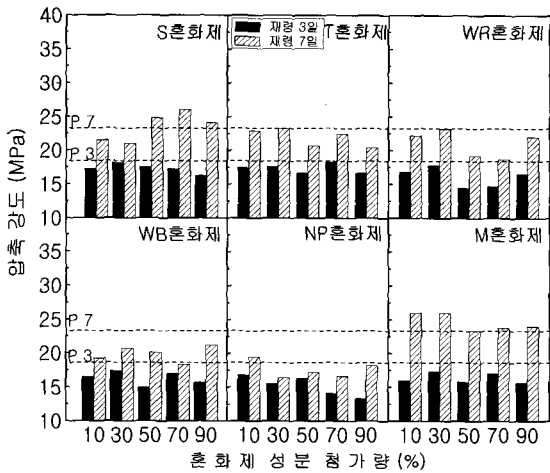


그림 4. 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 압축강도(재령 3, 7일)

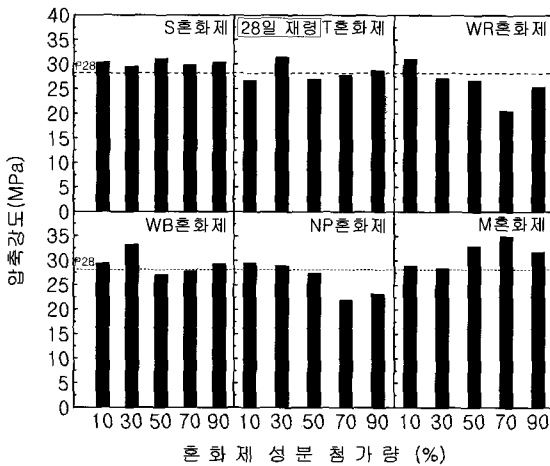


그림 5. 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 압축강도(재령 28일)

표준재령인 28일에서는 Plain의 강도값보다도 S의 혼화제 첨가량 변화에서 1.5~3.1MPa 정도로 모두 상회하는 제일 양호한 강도발현을 나타내었고, 첨가량별 강도 발현의 차이가 심하지 않은 경향으로 나타났으며, 다음으로 M혼화제의 경우도 10, 30%의 첨가량에서 Plain 강도값과 같거나 약간 상회하였고, 그 외의 첨가량에서는 높은 강도 발현을 나타내었다. 다음으로 강도 발현 경향은 WB 및 T계의 혼화제에서 각각 3개의 첨가량에서 Plain의 강도 값 이상으로 양호한 경향을 나타내었으며, WR과 WB의 혼화제에서는 첨가량 70% 이상에서 매우 저조한 강도발현 경향을 나타내었다. 초기 및 표준재령에서 S와 M계의 혼화제에 양호한 강도 발현을 나타낸 원인도 S계의 혼화제는 수용액 중에 2, 3가의 Na 금속이온이 시멘트와 수화반응에 단단히 결합하는 chelate를 형성하여 나타난 결과로 판단되고, M계의 혼화제는 시멘트 수화 생성 시 화학반응의 상태가 첨가된 혼화제의 안정적인 분자 구조와 반응하여 강도 발현에 기인된 것⁴⁾으로 분석된다.

3.2.2 혼화제 첨가량 변화에 따른 압축강도 발현율

그림 6과 7은 혼화제 성분 첨가량에 따른 Plain의 재령별 강도 값을 100%로 환산하여 압축강도 발현율을 3, 7일의 조기재

령과 28일 표준재령으로 나타낸 그래프이다.

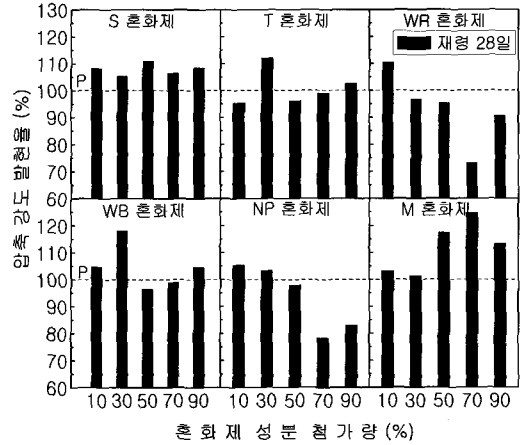


그림 6. 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 압축강도 발현율(재령 28일)

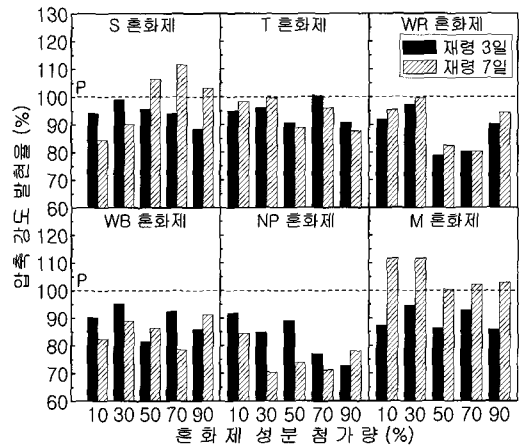


그림 7. 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 압축강도 발현율(재령 3, 7일)

S, T, WR, WB, NP, M계의 혼화제 성분의 재령 3일 압축강도 발현율은 Plain보다 전체적으로 감소하는 경향으로 나타났는데, S와 T의 혼화제에서 평균적으로 88.5%이상의 양호한 발현 경향을 나타내었고, 재령 7일 압축강도 발현율은 M계의 혼화제에서 제일 양호한 발현율을 나타내었고, 다음으로 S계의 혼화제에서도 나타났는데 M계의 첨가량 10, 30%에서 11.6% 정도의 증가로 제일 크고, 다음으로 S계의 첨가량 70%도 11.6% 정도로 증가 경향을 나타내었다. 표준재령 28일의 경우는 S계, M계의 혼화제성분의 모든 혼화제 첨가율에서 100%이상의 양호한 강도발현율을 나타내었다. 압축강도 발현율은 Plain에 대하여 S계의 혼화제 성분은 전체적으로 약 5.3~11% 정도로 증가하였고, T계의 혼화제 성분은 30%, 90%, M계의 50~90%일 때, 약 3.2~24.6% 정도로 증가하였고, 그 외 혼화제의 첨가량에서는 전반적으로 강도 발현율이 저조한 경향으로 나타났다.

3.2.3 혼화제 첨가량 변화에 따른 조기강도 발현율

그림 8은 혼화제 성분 첨가량에 따른 표준재령 28일 100%에 대한 압축강도 발현율을 3, 7일의 조기재령으로 나타낸 그래프이다.

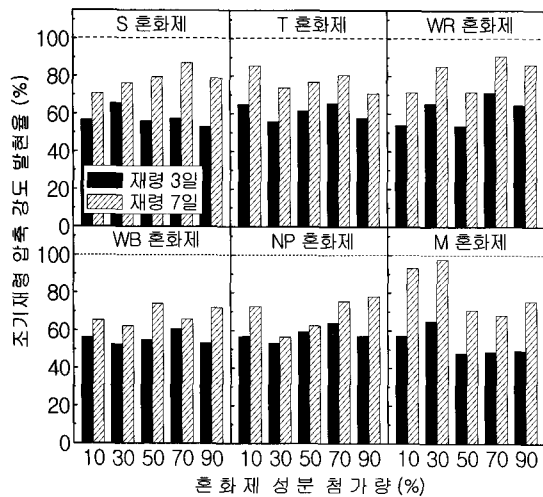


그림 8. 혼화제 성분 첨가량 변화에 따른 조기강도 발현율

S, T, WR, WB, NP, M계의 혼화제 성분의 재령 3일의 압축강도 발현율은 표준재령 28일에 대하여, S계의 혼화제 성분은 약 53~65%정도 강도 발현이 되었고, T계는 약 55~65%정도 강도 발현이 되었다. 또한, WR계의 혼화제 성분은 약 53~71% 정도 강도 발현이 되었고, WB계는 약 52~60%, NP계는 약 53~64%, M계는 약 47~65%로 WR계의 혼화제 성분이 가장 높은 발현율을 나타내었으며, M계의 혼화제 성분은 가장 낮은 발현율을 나타낸 것을 알 수 있다. 재령 7일의 압축강도 발현율은 표준재령 28일에 대하여, S계는 약 70~87%정도 발현이 되었고, T계의 혼화제 성분은 70%~85%, WR계는 71~90%, WB계는 62~74%, NP계는 56~78%, M계는 70~98%로 재령 3일의 결과와 다르게 M계의 발현율이 가장 높게 나왔으며, WB계의 혼화제에서 가장 낮은 발현율을 나타낸 것을 알 수 있다. 이는 WR계의 혼화제 성분은 재령 3일의 강도 발현율이 가장 높게 나온 결과로 보아 조강형 성분이 함유되어 있음을 알 수 있고, M계의 혼화제에서는 장기적인 강도 증진의 효과를 발휘하여 나타난 결과로 분석된다.

4. 결 론

본 연구는 단위수량 변화에 따른 각 혼화제 종류별 첨가량 변화에 따른 콘크리트의 특성을 파악하기 위한 실험 연구 결과, 다음과 같은 연구 결론을 얻었다.

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 먼저 단위수량은 전반적으로 혼화제 성분 첨가율이 증가할수록 약 $3\text{kg/m}^3 \sim 43\text{kg/m}^3$ 정도 감소하는 경향이 나타났으며, 이는 T와 M계를 제외한 나머지 혼화제 성분은 분산 및 계면활성작용과 수용성의 성분 등으로 인한 감소효과를 발휘하는 것으로 판단된다.
- 2) 공기량은 WR, WB, NP계 혼화제 성분은 첨가율이 증가할수록 공기량도 증가하는 경향이 나타났으며, S, T, M계의 혼화제에는 $1.5 \pm 0.5\%$ 내외의 작은 공기량을 나타내었다.

- 3) 단위용적질량은 공기량과 반대의 경향을 나타내고 있으며, WR, WB, NP계의 혼화제에서 약 $6\text{kg/m}^3 \sim 179\text{kg/m}^3$ 정도 단위용적질량이 감소하는 경향으로 나타났다.
- 4) 경화 콘크리트의 특성으로 압축강도는 3일의 초기 재령에서는 Plain의 강도 값보다도 NP계 10, 50% 모든 혼화제의 첨가량에서 작게 강도 발현을 나타내었으며, 재령 7일 강도에서는 S계의 50%이상에서 $1.8 \sim 3.7\text{MPa}$ 정도, M계는 모든 첨가량에서 $0.1 \sim 2.7\text{MPa}$ 정도로 Plain의 강도값보다도 높은 강도 값을 나타내었다. 28일 표준재령에서는 S계의 모든 첨가량에서 Plain의 강도값보다도 $1.5 \sim 3.1\text{MPa}$ 정도 높은 강도를 발휘하였고, M계의 혼화제에서도 Plain과 같거나 높게 강도 발휘를 나타내었다. 그 외의 혼화제에서는 전반적으로 혼화제 성분 첨가량이 10, 30%에서만 Plain의 강도값을 상회하는 경향으로 나타났다.
- 5) Plain의 재령별 강도값을 100%로 환산한 발현율은 S, T, WR, WB, NP, M계의 혼화제 성분의 재령 3일 압축강도 발현율은 Plain보다 전체적으로 약 1.1%~29.6% 정도 감소하는 경향으로 나타났으며, 재령 7일 압축강도 발현율은 S, M계의 혼화제에서 약 0.4%~6.4% 정도로 제일 양호한 발현율을 나타냈으며, 재령 28일 압축강도 발현율은 WR, NP계 70% 이상 혼화제의 첨가량을 제외하고는 양호한 발현율을 나타내었다.

- 6) 조기강도 발현율은 3, 7일의 조기재령 모두에서 WR계가 3일 재령에서는 53~71%, 7일 재령에서는 71~90%로 높은 발현율을 나타내었고, M계는 3일 재령에서는 47~65%로 가장 낮고, 7일 강도에서는 70~98%로 발현율이 가장 높게 나타났다.

본 실험을 통하여 유기산계의 Sodium gluconate, 폴리옥시에틸렌 옥시프로필렌 노닐페놀계의 Polyoxyethylene nonylphenyl ether, 폴리카복산계 Poly Carboxylic copolymer의 혼화제 성분은 감소효과가 있는 것으로 나타났으며, Polyoxyethylene nonylphenyl ether, Poly Carboxylic copolymer는 공기연행효과도 있는 것으로 나타났다. 또한, 멜라민계, 폴리카복산계에 비해 유기산계와 폴리옥시에틸렌 옥시프로필렌 노닐페놀계의 경우는 압축강도 발현경향이 양호하게 나타났다.

감사의글

본 연구는 2007년도 중소기업청의 컨소시엄사업을 통해 이루어진 연구의 일부로 본 연구실험에 많은 도움을 주신 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김광서외4인, 「콘크리트의 단위수량 추정에 미치는 배합 및 혼화재 요인의 영향」, 대한건축학회학술발표논문집, 2002
2. 김용용외 4인, 「메타카올린 콘크리트의 특성에 미치는 단위수량변

- 화의 영향에 관한 실험적 연구」, 한국콘크리트학회 학술발표대회 논문집 Vol.17 No.2, p.p. 585~590, 2005
3. 김정길외3인, 「폴리카본산계 고성능감수제를 사용한 고유동 페이스트의 유동물성」, 대한건축학회학술발표논문집, p.p. 475~480, 2005
 4. 김무한, 신한식, 김문환, 「건축재료학」, 문운당, 2000
 5. 신경호, 윤성원, 「다양한 합성조건에서 얻어진 멜라민계 고유동 화제가 함유된 시멘트의 물리적 특성」, 한국콘크리트학회 학술발표논문집 Vol.17 No.2, p.p. 415~418, 2005
 6. 한국콘크리트학회, 「유동화 콘크리트」, 기문당, 2004. 12
 7. 한국콘크리트학회, 「특수콘크리트공학」, 기문당, 2004. 12
 8. 한국콘크리트학회, 「콘크리트 혼화재료」, 기문당, 1997
 9. 한천구의3명, 「콘크리트의 초기 강도발현에 미치는 혼화재료의 영향」, 대한건축학회학술발표논문집, Vol.19 No.9, p.p. 95~102, 2003
 10. 한천구, 황인선, 「콘크리트의 내구특성에 미치는 단위수량의 영향」, 淸州大學校 産業科學研究, Vol.20, No.2, 2003
 11. I. Ray, A. P. Gupta and M. Biswas, Effect of Latex and Super plasticiser on Portland cement Mortar in the Hardened State, Cement & Concrete Composites, Vol.17, No.1, p.p. 9~21, 1995
 12. Tarun R. Naik, Shiw S. sin호, Mathew P. Tharaniyil, and Robert B. Wendorf, "Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of concrete and Masonry Product". ACI Materials Journal, January-February p.p.44-51, 1996