

삼성분계 혼합형 시멘트의 장기재령강도 추정 함수 유도

The Derivation of Estimation Function of Long-age Strength of Concrete with Ternary Blended Cement

이준구* 박광수** 김명원* 김관호* 강석화***
Lee, Joon Gu Park, Kwang Su Kim, Meyong Won Kim, Kwan Ho Kang, Suk Hwa

ABSTRACT

The ternary blended cement(TBC) which the ability of resistance for seawater, the effect of decreation of hydration heat of concrete and long-age strength are known to be superior to other types was used to derive the estimation function of 91-age strength, 28-age strength with 28-age strength, 7-age strength respectively by analyzing the characteristics of statistics of compressive strength. The sample specimens was made after testing the variations of slump, air-contents during 30 minutes for consideration of transportation period. The functions might be expected to be useful for construction smoothness and reasonable quality control of concrete with TBC.

1. 서론

단면이 매시브하고 해양환경에 놓인 해양콘크리트 구조물의 설치환경적 특성을 고려한 콘크리트 설계 시 해수에 대한 저항성이 우수하고 수화열 저감효과가 있는 것으로 최근 연구되고 있는 삼성분계 혼합 시멘트(Ternary Blended Cement)에 대한 연구를 수행하였다. 삼성분은 보통포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement)와 두 가지 종류의 혼화재(포졸란)을 의미하며, 혼화재의 특성에 따라 목적에 맞는 삼성분계 시멘트를 제조할 수 있다. 본 연구에서 사용한 삼성분계 시멘트는 국내 양회회사인 T사의 제품으로, 보통포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement)에 고로슬래그와 플라이애쉬 등 두 가지 종류의 혼화재를 혼합하여 두 혼합재가 가지고 있는 특성을 살린 혼합형 시멘트이다. 이 시멘트는 수화열이 적다는 점과 해수저항성이 크다는 점 이외에 장기 재령에 의한 강도가 크다는 잇점이 있는 반면 초기강도가 낮아 초기 습윤양생에 주의를 기울여 양생해야하는 단점도 있다. 또한 초기재령이 작고 장기재령강도가 큰 특징을 갖기 때문에 설계기준 재령을 91일로 하는 경우가 많다. 따라서 품질확인시험 시 장기간의 시간이 소요되는 단점이 있다. 따라서 원활한 공사의 진행과 품질의 확인을 위해 단기의 재령으로 장기의 재령을 예측하는 실험이 필요하다. 본 연구에서는 네 종류의 물시멘트비와 두 종류의 시멘트를 이용하여 재령별 강도시험을 실시하고 재령별 강도추정 함수를 도출하였다.

2. 실험개요 및 사용재료

2.1 실험개요

콘크리트 배합에서 운반 및 타설 시까지 소요되는 시간을 약30분으로 추정하고, 배합 후 "콘크리트 용 화학혼화제(KS F 2560)의 슬럼프 및 공기량 경시변화량 측정방법"에 따라 30분 경과시킨 후 2907개의 공시체를 제작하여 KS 규격에 따라 표준양생 후 압축강도시험(KS F 2405)을 실시하였다.

2.2 사용재료

시멘트는 삼성분계시멘트(TBC)와 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였으며 그 품질시험결과는 표 1과 같다. 골재는 잔골재로 하천사와 육상사의 혼합사를, 굵은골재로 25mm 쇄석을 사용하였으며, 그 품질시험 결과는 표2와 같다. 콘크리트 배합비는 표3과 같으며, 물시멘트비 37.5, 41.5%는 고성능AE감

* 정희원, 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원

*** 정희원, 동양중앙연구소 소장

** 정희원, 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원

수제를 48.5, 57.9%는 AE감수제를 사용하였다. 공기량과 목표슬럼프를 동시에 맞추기 위해 AE제를 별도로 계량하여 사용하였다.

표 1 시멘트 품질시험 결과

시험항목 구분	물리적 성능								수화열	화학성분			시멘트류	
	비중	분말도		응결시간		압축강도				미소열량계 (72hr)	산화마그네슘	삼산화황		강열감량
		Blaine	BET	초결	종결	3일	7일	28일	91일					
단위	-	cm ³ /g	m ³ /g	분	시:분	MPa				cal/g	%	%	%	-
1	2.80	4,636	1.8	295	9:10	26.7	37.7	41.8	42.7	45.56	2.90	2.02	1.50	TBC
2	3.12	3,340	1.2	260	6:30	33.0	33.8	41.4	45.6	77.17	2.71	2.50	1.17	OPC

표 2 골재 품질시험 결과

구분	굵은골재 최대치수	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (kgf/m ³)		No.200체통과율 (%)	조립율 F.M.	마모율 (%)
				호트러진상태	다진상태			
잔골재	-	2.60	1.14	1,411	1,578	2.61	2.32	-
굵은골재	25mm	2.61	0.95	1,308	1,463	-	7.14	6.6

표 3 콘크리트배합설계표

시험번호	물/시멘트비 W/C (%)	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프의 범위 (mm)	공기량의 범위 (%)	잔골재율 s/a (%)	단위량 (kg/m ³)					
						물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	혼화제(kg)	
										고성능AE감수제, AE감수제	AE제 (g)
TBC-37.5	37.5	25	21±3	5±1.5	38	165	440.0	620.9	1016.9	4.31	204.82
OPC-37.5	37.5	25	21±3	5±1.5	38	165	440.0	620.9	1016.9	4.31	204.82
TBC-41.5	41.5	25	21±3	5±1.5	39.5	166	400.0	659.0	1013.2	3.80	201.49
OPC-41.5	41.5	25	21±3	5±1.5	39.5	166	400.0	659.0	1013.2	3.80	201.49
TBC-48.5	48.5	25	15±2.5	5±1.5	48.0	160	329.9	839.4	902.4	1.65	8.25
TBC-57.9	57.9	25	15±2.5	5±1.5	49.1	181	312.6	839.7	863.8	1.88	12.50

3. 재령별 압축강도 통계분석

3.1 최소샘플수

실험에 의해 얻어진 측정값은 그 측정값이 속한 모집단(population)에 관한 정보이나, 모집단의 것만은 아니다. 다시 말해서 어느 모집단으로부터 무작위로 추출된 유한개의 표본에 관한 지식이다.

하나의 통계 샘플의 산술평균과 표준편차로, 모집단의 평균값이 소위 95%나, 99%나 하는 어떤 특정 확률 내에 있을 범위 값을 평가하는 것이 가능하다. 한 개의 통계 샘플에서 얻어야 할 값의 수는 이 범위의 수락 폭(acceptable width)에 달려있을 것이다. 정규모집단에서 표본의 크기가 작을 때 유용하게 사용되는 분포가 t-분포(t-distribution)로서 W. S. Gosset이 Student라는 가명으로 발표하여 Student t-분포라고도 불린다. Gosset의 발표에서 자유도가 30정도에 이르면 근사적으로 표준정규분포를 따른다고 볼 수 있는 근거를 찾을 수 있다. 따라서 본 연구에서 장기

표 4 샘플수

시험번호	재령별 샘플수(조)		
	7일	28일	91일
TBC-37.5	118	118	118
OPC-37.5	30	30	30
TBC-41.5	85	85	85
OPC-41.5	30	30	30
TBC-48.5	30	30	30
TBC-57.9	30	30	30

재령(91일 재령)의 강도를 단기재령(28일 재령)으로 예측하기 위해 사용된 샘플수는 표 4와 같으며, 주요구조물 콘크리트의 샘플수는 많이 하고, 중요도가 낮은 구조물은 최소샘플수로 하였다.

3.2 물시멘트비별 강도추정함수

3개 공시체를 1개 조로 하고, 조당 평균값으로 확률분포를 분석하여 그림 1, 2와 같이 정규분포곡선으로 도시하였다. 물시멘트비별 재령별 압축강도 함수의 유도는 평균값, 최소값, 최대값, 정규분포에서 하위 5%의 값('99년 콘크리트표준시방서 기준)을 통하여 일반적인 함수식 ($f_{추정재령} = \alpha \times f_{측정재령} + \beta$)에서 계수 α 와 β 를 결정하여 재령별 추정함수를 유도하고 표 5와 같이 정리하였다. 또한 그림 3에 TBC와 OPC의 물시멘트비별 재령에 따른 압축강도발현 추이를 반대수지에 도시하여 서로 비교분석하였다.

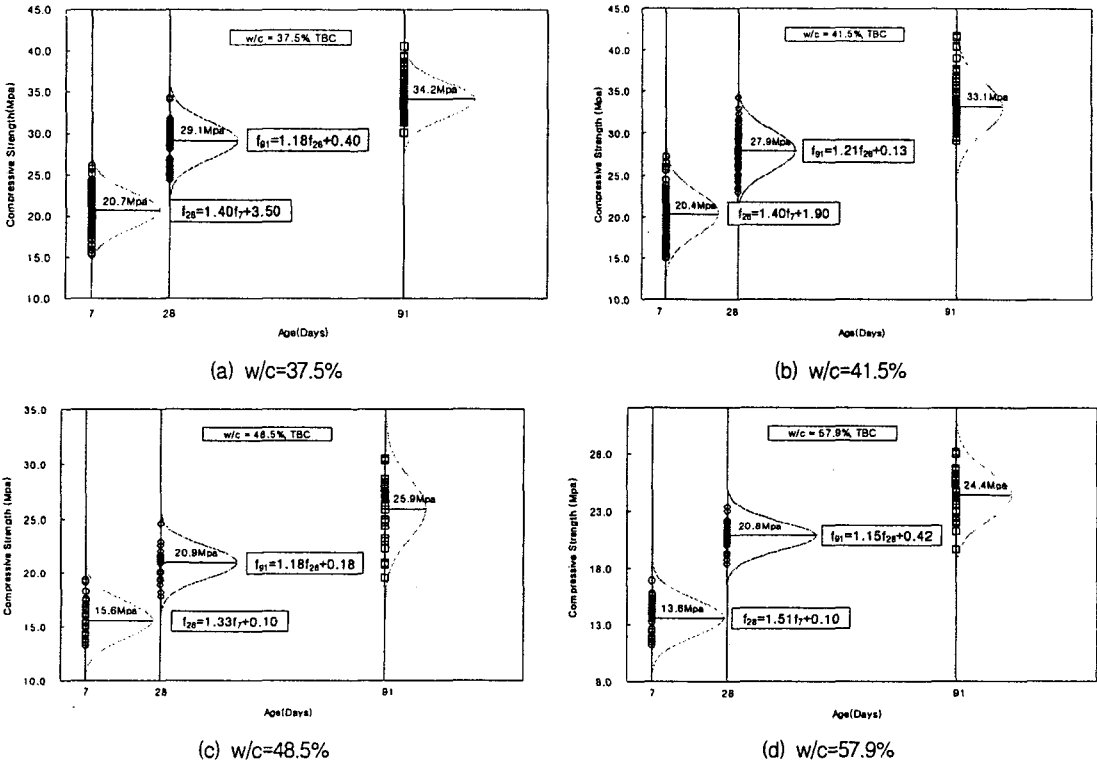


그림 1 물시멘트비별 재령에 따른 압축강도 통계분석(TBC)

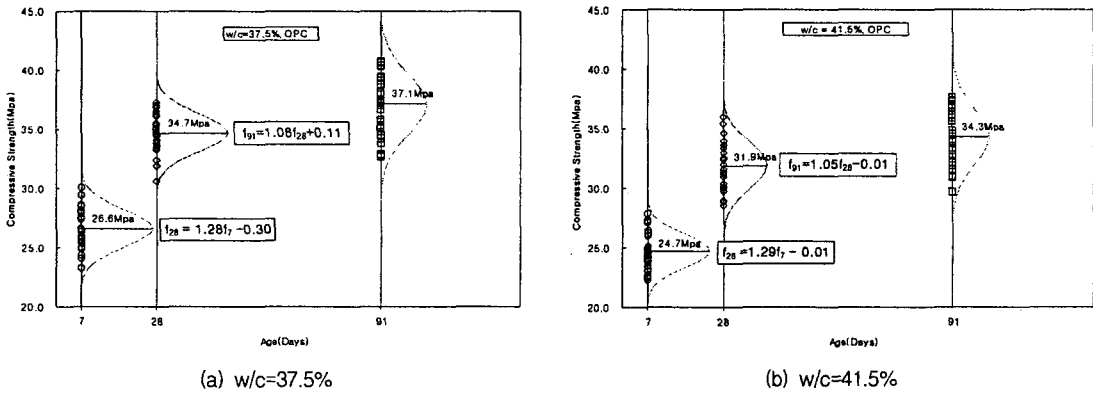
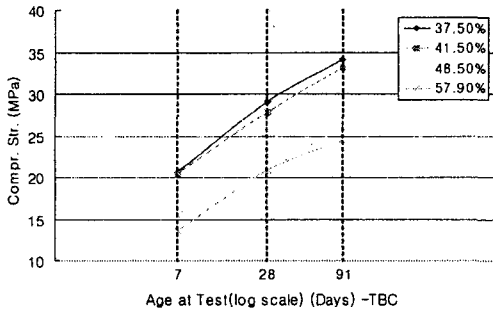


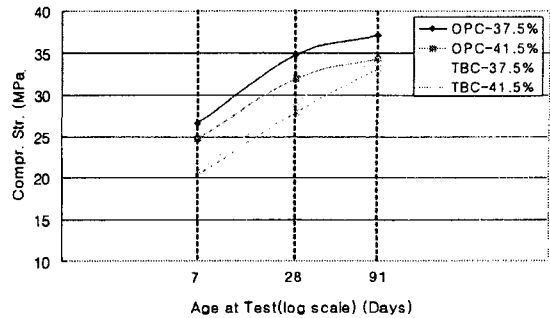
그림 2 물시멘트비별 재령에 따른 압축강도 통계분석

표 5 강도추정 함수 요약

시험번호	91일 재령강도 추정 (단위 : MPa)	28일 재령강도 추정 (단위 : MPa)
TBC-37.5	$f_{91} = 1.18f_{28} + 0.40$	$f_{28} = 1.40f_7 + 3.5$
OPC-37.5	$f_{91} = 1.21f_{28} + 0.13$	$f_{28} = 1.40f_7 + 1.90$
TBC-41.5	$f_{91} = 1.18f_{28} + 0.18$	$f_{28} = 1.33f_7 + 0.10$
OPC-41.5	$f_{91} = 1.15f_{28} + 0.42$	$f_{28} = 1.51f_7 + 0.10$
TBC-48.5	$f_{91} = 1.08f_{28} + 0.11$	$f_{28} = 1.28f_7 - 0.30$
TBC-57.9	$f_{91} = 1.05f_{28} - 0.01$	$f_{28} = 1.29f_7 - 0.01$



(a) TBC



(b) OPC

그림 3 물시멘트비별 재령에 따른 강도발현 곡선

4. 결 론

해양환경하에 놓인 단면이 매시브한 해양콘크리트 구조물에 적합한 콘크리트의 설계와 원활한 공사진행이 이루어지면서 최선의 품질관리를 수행하기 위해 삼성분계 혼합시멘트의 재령별 강도발현특성을 분석하고 28일재령으로 91일 재령의 압축강도를 추정하는 함수식을 물시멘트비별로 유도하였다. 또한 배합 후 타설 시까지의 경과시간(30분)의 영향을 반영하였으며, 보통포틀랜드시멘트와 비교하였다. 비균질재료로 분류되고, 사용재료, 배합비, 양생환경에 따라 강도발현 성상이 달라지는 특성을 갖는 콘크리트의 강도를 미리 예측하는 것은 쉽지 않은 일이지만 초기재령 강도가 작고 장기재령강도가 큰 삼성분계 혼합시멘트의 물시멘트비에 따른 재령별 강도발현특성곡선을 유도함으로써 설계 및 품질관리 업무에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. A. M Neville, Properties of Concrete, 3rd edition, PITMAN, 1981, pp. 108-177, pp. 182-186, pp.298~303, pp.359-403.
2. G. N. Smith, Probability and Statistics in Civil Engineering, William Collins Sons, 1986, pp.57~pp.118.