

저온에서의 콘크리트 강도 확보를 위한 경제적 배합 방안

An Economic Mix Design Methodology for the Development of Concrete Strength at Low Temperature

(Received November 29, 2012 / Revised December 21, 2012 / Accepted December 21, 2012)

김상철^{1)*}, 김용직²⁾, 김영진²⁾

한서대학교 토목공학과¹⁾, (주)대우건설기술연구원²⁾

Sang-Chel Kim¹⁾, Yong-Jic Kim²⁾, Young-Jin Kim²⁾

Dept. of Civil Engineering, Hanseo University, Seosan, 356-706, Korea

Daewoo E&C, Institute of Construction Technology, Gyeonggi, 440-800, Korea

Abstract

Precast concrete method is known to have advantages of minimizing works in the construction, controlling concrete quality easily and saving construction period due to only fabrication work in the construction field, but it needs to apply steam curing to accelerate early concrete strength. In the meanwhile, the oil cost for steam curing has been continuously increased because of political instability in the middle East and international economic shaky. Thus, this study addresses the development of precast/ prestressed concrete which has over 14MPa at 1 day age and specified concrete strength of 40MPa at low temperature, not applying steam curing. Tests were carried out in terms of material characteristics in fresh concrete and compressive strength using 3 types of cement such as Type I, Type III and rapid hardening compound cement.

As results of tests, it is found that cements for rapid hardening had disadvantages with respect to slump, slump loss, and air content, but showed higher compressive strength than specified one, especially the highest value when using rapid hardening compound.

키워드 : 저온, 시멘트 종류, 3종 포틀랜드시멘트, 조강혼합시멘트, 슬럼프, 압축강도, 물-시멘트비 민감도

Keywords : Low temperature, Cement types, Type III, Rapid hardening compound cement, Slump, Compressive strength, Strength dependency of W/C ratio

1. 서론

일반 철근콘크리트 공사는 철근조립, 가설, 콘크리트 타설 등 모든 공정이 현장에서 이루어지기 때문에 기상조건과 현장조건에 대한 의존도가 높다. 이에 반해, 프리캐스트 콘크리트 공법은 공장 생산된 부재를 현장에서 조립하는 시스템이므로 현장 여건의 영향을 상대적으로 덜 받게 된다. 또 공업화 생산으로 인해 품질관리가 쉽고, 전문 기술 인력에 의한 조립으로 공기단축이 가능하다. 특히, 철저한 건식시스템이므로 내구성과 내력이 높은 구조물 축

조가 가능하고, 마무리 처리가 자유로워 무늬를 내거나 색을 넣은 타일이나 돌이 표면에 드러나게 할 수도 있다. 그 외에도 대부분 프리스트레스를 도입하여 전단면이 압축상태에 있도록 할 수 있어 균열 및 변형 감소 등 설계자의 의도에 따라 제어할 수 있는 점이 장점이라 하겠다^{1,2)}.

프리캐스트 콘크리트는 이와 같이 조립식 시공을 적용하기 때문에 급속시공이 가능한 반면, 조립을 위해서는 일정 크기의 강도 확보가 요구된다. 특히, 교량 구조물의 경우에는 대부분이 프리스트레스의 도입이 필요하기 때문에 일반 철근콘크리트 구조물과 달리 고강도 콘크리트가 필요하게 된다^{3,4)}. 그러나 현재까지는 주로 공기상 조기에 콘크리트 강도를 확보하기 위하여 콘크리트의 강도발현속도

* Corresponding author
E-mail: schkim@hanseo.ac.kr

를 촉진시키는 증기양생법에 의존하여 왔다. 이 때 적용되는 증기양생온도는 콘크리트 배합에 따라 다르지만 일반적으로 조기강도 발현에 영향을 미치는 온도로 50~80°C가 적용되고 있다³⁾. 이와 같은 증기에 의한 콘크리트 조기강도 발현에는 기름 사용이 필연적이지만, 최근에 나타나고 있는 중동에서의 정치적 불안이나 국제 경제의 불안정으로 인해 전 세계 원유 공급과 국제유가에 대한 불확실성이 증폭되고 있으며 지속적으로 유류비는 상승되고 있다. 또한, 공장제작으로 인해 교량 시공 위치가 원거리인 경우에는 그에 따른 막대한 물류비가 소요되어 프리캐스트 콘크리트로 제작된 교량에 소요되는 공사비가 상승되는 등 여러 가지 문제점에 봉착하게 된다.

따라서 본 연구에서는 증기양생 과정을 적용하지 않고도 저온에서 조기강도 확보가 가능한 콘크리트 배합기술을 개발하고, 그에 따른 원가절감 방안을 모색하고자 하는데 그 의의가 있다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 목적은 국제 유가의 불안정으로 인해 현재까지 사용하던 증기양생을 적용하지 않고도 급속시공이 가능한 재료개발 및 배합방법의 도출에 있다. 따라서 조기강도 콘크리트의 목표성능으로 재령 1일에서 콘크리트 압축강도가 14MPa 이상을 확보하고 또한, 조립식 프리캐스트 블록이나 패널에 적합한 강도로써 콘크리트 설계기준압축강도는 40MPa로 설정하였다^{2,3)}.

조기강도 콘크리트의 물성 및 강도 발현 특성을 평가하기 위한 실험요인 및 수준은 Table 1과 같다. 시멘트 종류에 대해서는 기준 시멘트로써 1종 포틀랜드시멘트(이하 1종 시멘트)와 콘크리트 배합을 통한 예비 실험을 거쳐 급속시공에 적합한 것으로 평가된 2종류의 시멘트 즉, 3종 포틀랜드시멘트(이하 3종 시멘트)와 1종 포틀랜드시멘트에 조강혼합재(팽창재)를 혼합한 조강혼합시멘트 등 3종류의 시멘트를 대상으로 하였다. 화학혼화제에 대해서는 촉진형 폴리카르본산계를 사용하였으며, 그 사용량에 따른 물성 변화를 측정하기 위하여 시멘트 질량의 0.8%, 1.0%, 1.2%의 3 수준으로 정하였다. 또한, 물-시멘트비에 대한 영향에 대해서는 설계기준압축강도가 확보되는 범위에서 여러 실험을 거쳐 32.4%, 35.6%로 정하여 평가하였으며, 온도는 동결기를 대비한 프리캐스트 블록이나 패널을 제작하는

것으로 하여 저온 상태인 10±2°C로 설정하여 평가하도록 하였다.

한편, 각각의 배합조건에 따른 조기강도 콘크리트의 측정항목으로는 굳지 않은 상태에서의 콘크리트 물성 평가와 함께 재령이 경과함에 따른 강도발현 특성을 측정하였다.

Table 1 Schematic test parameters

항 목	수 준	측정 항목
시멘트(결합재)	보통(1종), 조강(3종), 조강혼합	· 슬럼프 · 공기량 · 압축강도
혼화제	· 촉진형 폴리카르본산계 · 0.8%, 1.0%, 1.2%	
물-시멘트비	· 기본: 32.4%, 35.6% · 추가(1일 압축강도 회귀 분석용): 38.0%, 42.0%	
양생 온도	10±2°C	

2.2 사용재료

(1) 시멘트

본 연구에서 사용된 1종 시멘트와 3종 시멘트는 국내 S사에서 생산되는 시멘트로써 1종 시멘트는 밀도가 3.15g/cm³이고 분말도가 3 450cm²/g이며, 3종 시멘트는 밀도 3.12g/cm³, 분말도가 4 700cm²/g이다. 조강혼합시멘트는 1종 시멘트에 대해 국내 C사에서 시판하고 있는 조강결합재인 CSA계 팽창재를 1종 시멘트의 20% 대체 혼합하고 또, 강도향상을 위해 실리카폼을 2% 대체 혼합한 것으로 밀도는 2.97g/cm³, 분말도가 5 100cm²/g이다. 각 시멘트에 대한 물리, 화학적 특성은 Table 2~6과 같다.

Table 2 Chemical properties of OPC and high early strength Portland cement

구분	화학성분 (%)					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O
3종	19.7	5.9	3.0	62.1	4.2	0.64
1종	21.0	5.9	3.2	62.5	2.1	0.78

Table 3 Mineral proposition of OPC and high early strength Portland cement

구분	광물조성(%)			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
3종	59	16	12	8
1종	49	23	10	9

Table 4 Physical characteristics of OPC and high early strength Portland cement

구분	분말도 (cm ² /g)	Flow (%)	응결시간 (비카 시험)		압축강도 (MPa)			
			초결 (m)	종결 (h)	1d	3d	7d	28d
3종	4 700	70	130	3:30	20	39	48	56
1종	3 450	110	240	4:30	-	27	38	50

Table 5 Physical characteristics of rapid hardening compound cement

구분	분말도 (cm ² /g)	응결		팽창성 (%)		압축강도 (MPa)		
		초결 (m)	종결 (h)	7d	28d	3d	7d	28d
조강혼합	5 100	140	4:30	0.05	-0.01	20.8	27.0	35.3
KSF 2562 표준	2 000 이상	60 이상	10 이하	0.03 이상	-0.02 이상	6.9 이상	14.7 이상	29.4 이상

Table 6 Chemical properties of rapid hardening compound cement

구분	화학조성 (%)							강열 감량
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	
조강혼합	1~2	12~15	0.5~1.0	50~60	1.0	1.0 이하	15~25	1.4
KS F 2562 표준	-	-	-	-	5.0이하	-	-	3.0 이하

(2) 골재

본 연구에서 사용한 잔골재는 충남 당진에서 생산되는 최대입경이 5mm, 조립률이 2.7인 세척사이며, 굵은 골재는 최대 입경이 25mm, 밀도가 2.64g/cm³, 흡수율이 0.86%인 부순 자갈을 사용하였다. 각 사용된 골재의 물리적 성질은 Table 7 및 Table 8과 같고, 체 분석한 입도분포는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 KS F 2502와 KS F 2574를 모두 만족하는 것으로 나타났다.

Table 7 Physical characteristics of fine aggregate

밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	조립률 F.M	0.08mm체 통과량	단위용적 질량 (kg/m ³)	염화물 함유량 (%)
2.58	1.14	2.70	2.0	1 609	0.017

Table 8 Physical characteristics of coarse aggregate

최대입경 (mm)	흡수율 (%)	조립률 F.M	실적율 (%)	마모감량 (%)	이물질 함유량 (%)		모래당량 (%)
					유기	무기	
25	0.86	7.05	59.6	35.9	0.08	0.57	67.0

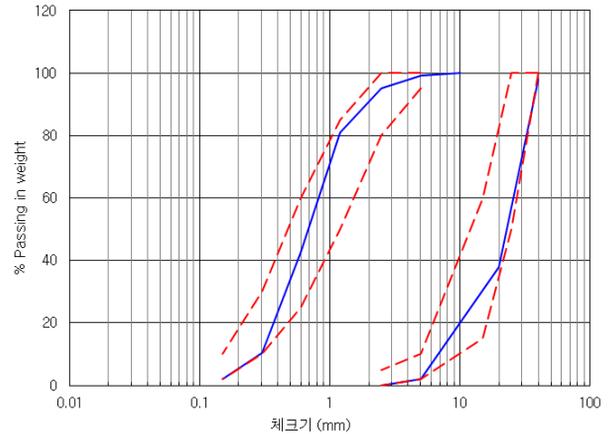


Fig. 1 Grading curve of aggregate

(3) 화학 혼화제

사용된 고성능감수제는 국내 S사에서 생산한 폴리카르본산계 혼화제로써 분산능력과 유지능력이 기존의 나프탈렌이나 멜라민계 혼화제보다 우수하며, 특히 본 연구에서는 조강 효과를 위해 조강 성분이 함유된 중합식 혼화제로 제조되었다. 사용된 고성능감수제의 기본 물성은 Table 9와 같다.

Table 9 Characteristics of superplasticizer used

색상	pH	밀도(g/cm ³)	감수율(%)	블리딩량비(%)
암갈색	7±1	1.17±0.02	23.0	43.0

2.3 실험방법 및 배합

배합실험은 먼저 굵은 골재와 잔골재를 함께 투입하여 1분간 건비빔을 실시한 후 대상 시멘트를 투입하여 다시 건비빔을 1분간 실시하였다. 그 후 고성능감수제가 함유된 배합수를 투입한 후 2분간 교반한 후 콘크리트를 배출하였다. 본 믹싱에서는 강제식 믹서기를 사용하였으며, 동일 성상을 확보하기 위하여 각 실험배합에 대해 동일한 배합 속도를 유지하였다.

각 시멘트 종류별 배합비는 Table 10과 같다.

Table 10 Mix design proportions

시멘트 종류	W/C (%)	s/a (%)	단위질량 (kg/m ³)			
			물	시멘트	굵은 골재	잔골재
1종	32.4	43	160	494	710	980
3종	32.4	43	160	494	708	977
조강혼합	32.4	43	160	494	700	965
1종	35.6	44.2	160	449	747	981
3종	35.6	44.2	160	449	745	978
조강혼합	35.6	44.2	160	449	737	967

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트

3.1.1 슬럼프

Fig. 2는 3종류의 시멘트에 대해 고성능감수제의 사용량에 따른 슬럼프값을 도시한 것이다. 그림에서와 같이 1종 시멘트, 3종 시멘트, 조강혼합시멘트 순으로 슬럼프값이 감소하였으며, 고성능감수제의 사용량에 따라 다르지만 1종 시멘트 대비 슬럼프의 저하가 대략적으로 3종 시멘트의 경우는 88%, 조강혼합시멘트의 경우는 83% 수준으로 나타났다. 특히, CSA계 팽창제와 실리카폼을 혼합한 조강혼합시멘트에서 낮은 슬럼프를 보인 이유로는 이 시멘트의 분말도 증가와 함께 내부에 포함되어 있는 실리카폼이 비록 2%의 소량 사용이지만 콘크리트의 점성 상승에 기인한 것으로 판단된다. 따라서 동일한 워커빌리티 확보를 위해서는 감수제의 사용량이 증가되어야 하며 본 실험의 경우 1종 시멘트에 비해 초기 슬럼프를 대략 30~40mm 정도 더 크게 적용하여야 함을 알 수 있다.

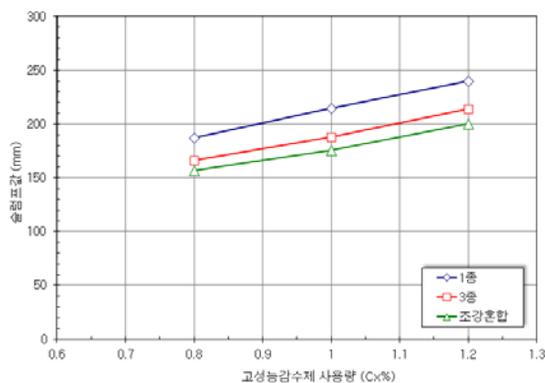


Fig. 2 Slump in associate with cement types (W/C=35.6%)

Fig. 3은 경과시간에 따른 슬럼프의 경시변화를 도시한 것으로, 1종 시멘트에 비해 3종 시멘트와 조강혼합시멘트에서 높은 경시변화가 나타났다. 이는 겔 상태 물질의 빠

른 생성에 따른 시멘트의 영향으로 판단되며, 특히 조강혼합시멘트의 경우는 그 이외에도 높은 비표면적의 실리카폼이 수산화칼슘과 단시간 반응하여 더욱 속도가 증가한 것으로 판단된다. 따라서 3종이나 조강혼합시멘트를 사용할 때에는 단위수량을 증가시키거나 고성능감수제를 추가 사용하여 슬럼프 손실을 방지하는 것이 필요하며, 보다 일반적인 방법이 고성능감수제의 사용이므로 시간에 따른 슬럼프의 손실을 저감하기 위해서는 1종 시멘트를 사용할 때보다 고성능감수제의 사용량을 증가시켜야 함을 알 수 있다.

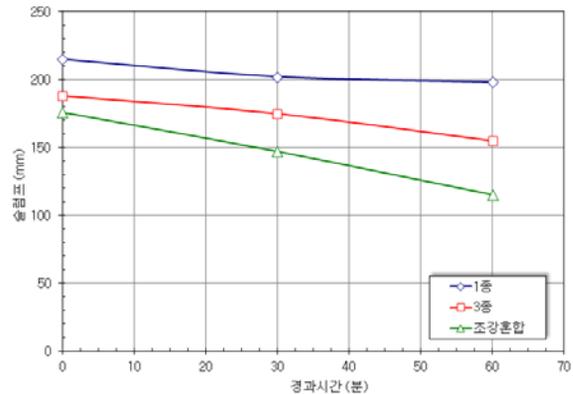


Fig. 3 Slump loss with time elapse (W/C=35.6%, AD=Cx1%)

3.1.2 공기량

Fig. 4는 각 시멘트 종류별 공기량을 측정된 것으로 1종 시멘트에 비해 3종 시멘트와 조강혼합시멘트에서 공기량이 감소되는 것을 확인할 수 있다. 3종 시멘트와 조강혼합시멘트는 1종 시멘트에 비해 높은 분말도를 가지고 있어 단위용적에 대해 조밀한 밀도를 형성하게 되어 공기량이 차지하는 비율이 감소된 것으로 판단된다. 따라서 이들 조강용 시멘트의 경우 콘크리트 내의 소요 공기량을 확보하기 위해서는 필요한 AE제 양도 증가되어야 한다는 것을 알 수 있다.

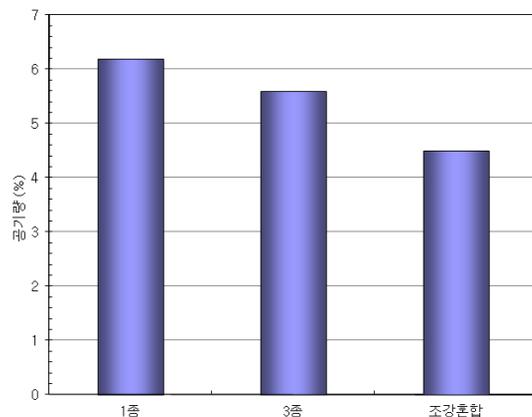
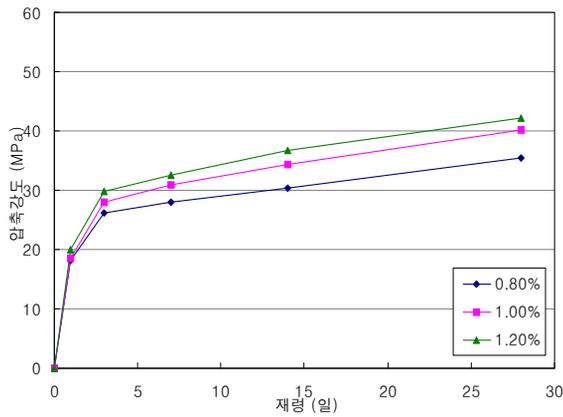
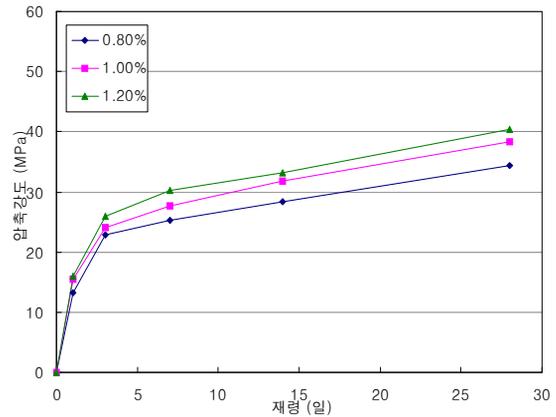


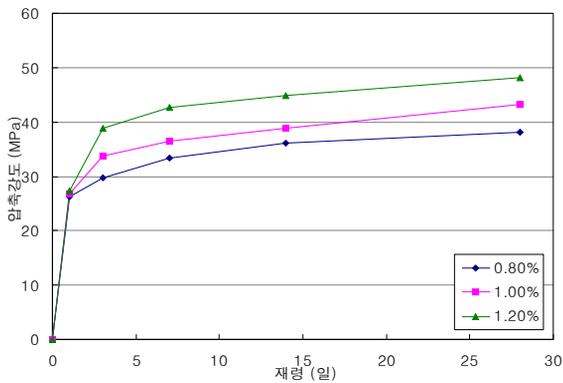
Fig. 4 Entraining air in associate with cement types (W/C=32.4%, AD=Cx1%)



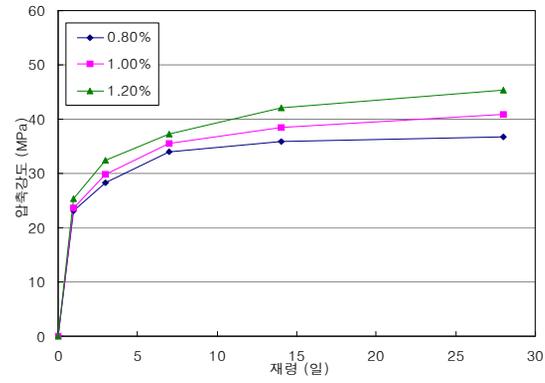
(a) 1종 시멘트



(a) 1종 시멘트



(b) 3종 시멘트



(b) 3종 시멘트

Fig. 5 Compressive strengths vs. ages (W/C=32.4%, Temperature=10°C)

Fig. 6 Compressive strengths vs. ages (W/C=35.6%, Temperature= 10°C)

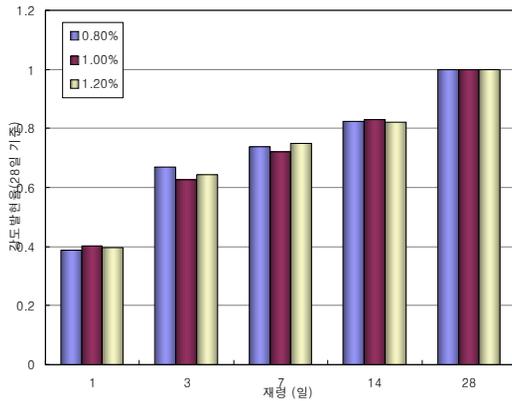
3.2 경화한 콘크리트의 압축강도 특성

3.2.1 강도발현용 고성능감수제의 효과

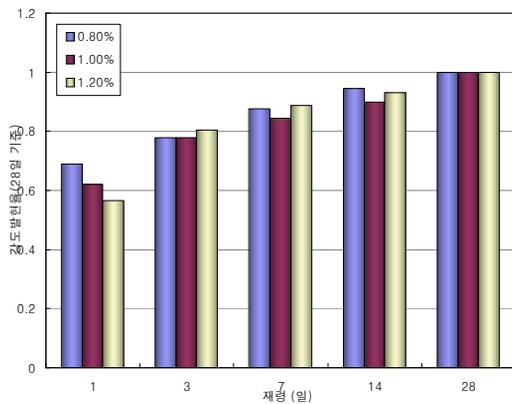
Fig. 5와 6은 강도발현용 고성능감수제의 사용량의 변화에 따른 압축강도 이력을 1종 시멘트와 3종 시멘트에 대해 나타낸 것이다. 표와 그림에서와 같이 감수제의 사용량이 증가할수록 강도의 상승효과가 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 콘크리트강도를 향상시키기 위해서는 강도발현용 고성능감수제의 사용은 효과적이며, 그 양을 늘리게 되면 어느 정도 기대하는 강도확보가 가능할 것으로 판단된다. 특히, 1일에서는 사용량에 대해 크게 영향을 보이지 않지만, 재령이 경과함에 따라 고성능감수제의 사용량에 따른 효과가 상승하고 있음을 알 수 있다. 또한, 28일 강도 대비 강도발현률 추이를 나타낸 Fig. 7을 보면, 시멘트의 종류에 따라 강도발현률이 크게 좌우되고 있다는 것을 알 수 있다.

3.2.2 시멘트 종류의 효과

앞서 굳지 않은 콘크리트 특성에서와 같이 경화한 콘크리트의 강도 특성은 사용된 시멘트의 종류에 따라 서로 다르게 나타났다. Fig. 8은 3종류의 시멘트에 있어 물-시멘트 32.4%와 35.6%에 대해 재령에 따른 압축강도 변화를 도식한 것이다. 결과에서 나타난 바와 같이, 가장 높은 강도를 보이고 있는 것은 조강혼합시멘트이고, 다음으로는 3종 시멘트, 1종 시멘트 순으로 나타났다. 목표로 하는 설계기준압축강도를 40MPa라 하였을 때 배합강도는 48MPa가 되며 이를 만족하는 조건은 조강혼합시멘트를 선정할 경우가 된다. 단, 3종 시멘트를 사용할 경우에 대해서는 물-시멘트비를 낮추거나 강도발현용 고성능감수제의 사용량이 증가되어야 함을 알 수 있다. 그러나 1종 시멘트를 사용한 경우에는 어떠한 조건도 만족되지 않고 있음을 확인할 수 있다.



(a) 1종 시멘트 (W/C=35.6%)



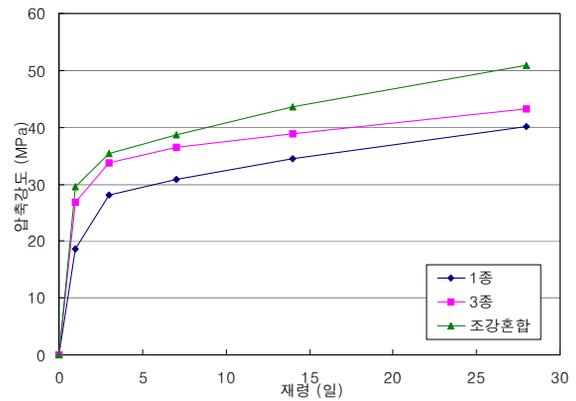
(b) 3종 시멘트 (W/C=32.4%)

Fig. 7 Rate of strength development in associate with superplasticizer usage(Temperature=10°C)

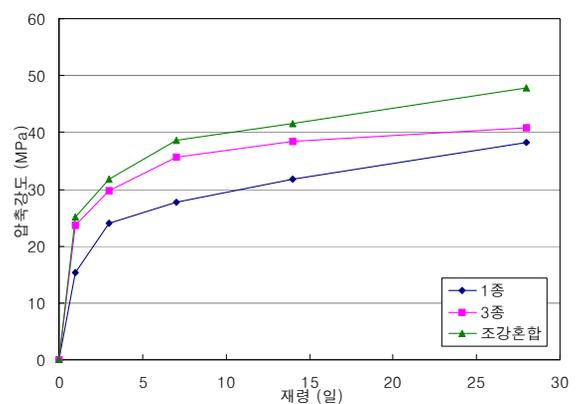
Fig. 9는 각 시멘트에 따른 28일 강도 대비 강도발현률을 물-시멘트비 32.4%와 35.6%에 대해 나타낸 것이다. 그림에서처럼, 3종 시멘트가 가장 높은 강도발현률을 보이고 있으며 그 다음으로 조강혼합시멘트가 높게 나타났다. 적용된 물-시멘트비에 따라 강도발현률에 다소 차이가 있지만 1종 시멘트는 1일 재령에서 40%정도에 도달되고 있는 반면, 3종 시멘트와 조강혼합시멘트는 거의 60% 정도에 도달하고 있어 거푸집의 조기 탈형을 위해서는 3종 시멘트와 조강혼합시멘트가 유리하다는 것을 알 수 있다. 특히, 본 연구의 목적인 증기양생을 사용하지 않고 일반양생으로 조기강도를 확보하여야 하는 상황에서는 시멘트의 선정이 매우 중요하며 제안된 3종 시멘트와 조강혼합시멘트가 유효함을 나타내고 있다.

3.2.3 물-시멘트 민감도

콘크리트는 물-시멘트비의 크기에 따라 강도에 영향을



(a) 물-시멘트비 32.4%



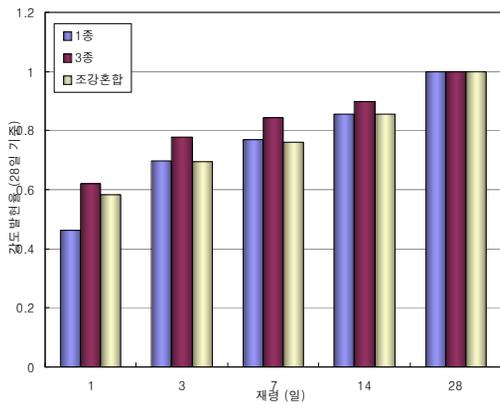
(b) 물-시멘트비 35.6%

Fig. 8 History of compressive strength with cement types (AD=C×1.0%, Temperature=10°C)

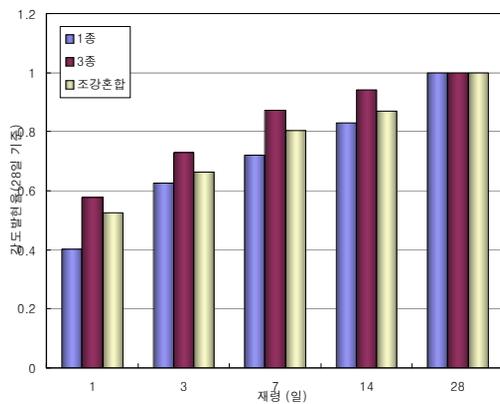
주게 된다. 따라서 본 연구에서는 물-시멘트비의 크기 변화에 따라 강도의 민감도를 시멘트 종류별로 평가하여 보았다. 각 3종류의 시멘트에 있어 두 종류의 물-시멘트비 32.4%, 35.6%에 대해 물-시멘트비의 증가에 따른 강도 저하비를 재령별로 구하였으며, 그 결과는 Fig. 10과 같다.

그림으로부터 재령 1일의 조기강도에서 가장 높은 물-시멘트비의 의존도를 나타낸 것은 3종 시멘트이고, 그 다음으로 조강혼합시멘트, 1종 시멘트 순으로 나타났다. 이는 다른 두 종류의 시멘트들에 비해 3종 시멘트의 경우는 물-시멘트비의 제어로써 목표로 하는 조기강도를 보다 용이하게 확보할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 28일 재령에서는 3종류의 시멘트가 거의 유사한 의존도를 보이고 있어 물-시멘트비를 통한 최종 강도를 결정하는 데 있어 시멘트 종류는 크게 관계되지 않는다는 것을 알 수 있다.

3.2.4 시멘트-물비와 1일 압축강도와의 상관식



(a) 물-시멘트비 32.4%



(b) 물-시멘트비 35.6%

Fig. 9 Rate of strength development in associate with cement types(Temperature=10°C)

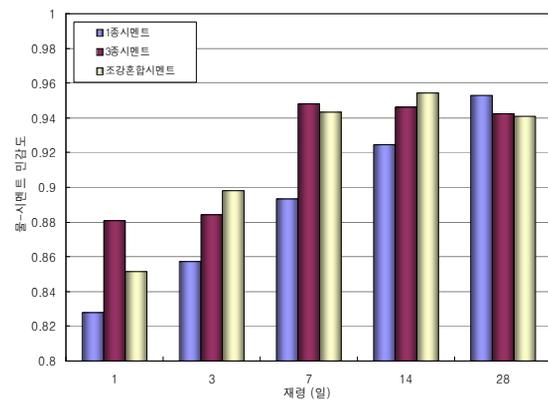


Fig. 10 Strength dependency of W/C ratio with cement types

일반적으로 물-시멘트비는 소요의 강도 및 내구성, 수밀성을 고려하여 결정하며, 콘크리트의 압축강도를 기준으로 물-시멘트비를 결정하는 경우에는 표준공시체의 압축강도 시험값과 물-시멘트비와의 관계식을 이용하여 구하

는 것을 원칙으로 하고 있다. 본 연구에서의 중요한 관점은 재령 28일 강도가 설계기준압축강도 이상의 값을 확보하는 것 이외에도 재령 1일에서 콘크리트 강도가 14MPa 이상 확보되어야 하는 조건을 만족하여야 한다. 따라서 각 시멘트별로 시멘트-물비 변화에 따른 1일 압축강도의 변화를 실험을 통해 상관식을 구해보도록 하였다. 단, 앞서 28일 압축강도의 경우는 시멘트의 종류에 따라 목표로 하는 강도의 달성 여부가 나타나고 있었으나, 1일 압축강도에서는 시멘트 종류에 관계없이 목표값 이상을 상회하였고, 또 상관식 설정에 있어 2 종류의 물-시멘트비로 정하는 것이 무리가 있으므로 W/C=38%와 42%에 대해 추가로 시험을 수행하였다.

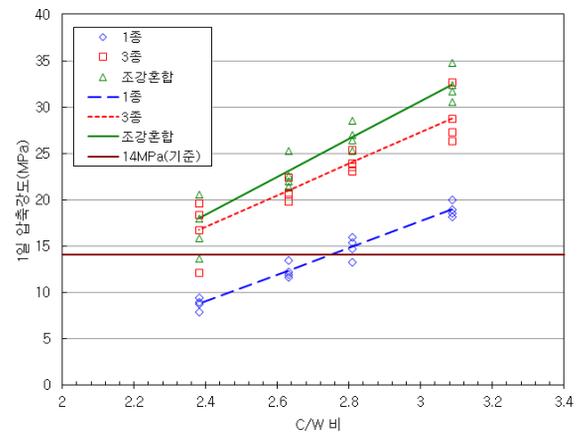


Fig. 11 Relationship between C/W ratio and compressive strength at 1 day

Fig. 11과 Table 11은 1종 시멘트와 3종 시멘트, 조강혼합시멘트에 대해 1일 압축강도-C/W 비의 관계를 나타낸 것이다.

Table 11 Equations for C/W ratio vs. compressive strength at 1 day

구 분	1일 압축강도-C/W비 관계식 (MPa)
1종 포틀랜드 시멘트	$f_1 = 14.44(C/W) - 25.66$
3종 포틀랜드 시멘트	$f_1 = 17.11(C/W) - 24.03$
조강혼합시멘트	$f_1 = 20.37(C/W) - 30.50$

표와 그림 상에 나타난 결과에 따르면, 1종 시멘트를 사용할 경우 1일 목표 압축강도를 만족하기 위해서는 C/W=2.75 이상 즉, W/C=36% 이하이어야 하는 것으로 나타났다. 이와 반면에 3종 시멘트와 조강혼합시멘트는 배합

상에서 계획한 C/W= 2.38(W/C=42%)에서 모두 제시된 1일 강도 14MPa를 만족하고 있어 그 이하의 물-시멘트비를 적용할 경우 문제가 없는 것으로 보인다. 그러나 이 직선은 실험의 값들을 회귀 분석하여 얻은 값이고 실질적으로는 그림에서 보는 바와 같이 물-시멘트비가 높을 경우 분산되는 1일 재령에서의 강도 범위가 넓어 경우에 따라서는 동일 C/W비의 값에서 14MPa이하가 도출되기도 한다. 따라서 보다 정확한 통계처리를 수행하기 위해서는 상당량의 시험 데이터가 확보되어야 하며, 본 연구에서는 1일 강도 확보에 필요한 개략적인 물-시멘트비를 추정하는 기본 지표로만 활용되어야 할 것이다.

4. 결론

증기양생을 적용하지 않고 낮은 온도에서도 강도발현이 가능한 프리캐스트용 콘크리트 개발을 위해 1종 포틀랜드 시멘트, 3종 조강포틀랜드시멘트 및 실리카폼을 혼입한 조강혼합시멘트에 대해 1일 압축강도 14MPa 이상, 설계기준 압축강도 40MPa 이상 확보를 목표로 하여 배합설계를 실시한 후 굳지 않은 콘크리트의 물성변화와 굳은 콘크리트의 압축강도 특성을 평가한 결과, 다음과 결론을 도출하였다.

1. 고성능감수제의 적용에 따른 슬럼프는 1종 시멘트, 3종 시멘트, 조강혼합시멘트 순으로 슬럼프값이 감소하였으며, 슬럼프 경시변화에 있어서도 1종 시멘트에 비해 3종 시멘트와 조강혼합시멘트에서 높은 경시변화가 나타났다. 따라서 소요 슬럼프 확보나 시간에 따른 슬럼프의 손실을 저감하기 위해서는 1종 시멘트를 사용할 때보다 고성능감수제의 사용량 증가가 요구된다.

2. 높은 분말도와 그로 인한 콘크리트 내부 공극 감소로 인하여 1종 시멘트에 비해 조강용 시멘트의 경우 필요한 AE제 양도 증가되어야 하는 것으로 나타났다.

3. 강도발현용 고성능감수제는 콘크리트강도를 향상시키기 위해 효과적이며, 초기 강도보다는 장기강도에서 사용량에 따른 효과가 크게 나타났다.

4. 압축강도의 크기는 조강혼합시멘트, 3종 시멘트, 1종 시멘트 순으로 나타났으며, 조강혼합시멘트만이 목표로 하는 설계기준압축강도를 만족하였다. 3종 포틀랜드시멘트를 사용할 경우에 대해서는 물-시멘트비를 낮추거나 강도발현용 고성능감수제의 사용량이 증가가 요구되며, 1종 포틀랜드시멘트의 경우는 어떠한 조건도 만족되지 않는 것으로 나타났다. 또한, 초기 거푸집 탈형을 위한 시멘트로는 3종과 조강혼합시멘트 만이 가능하였다.

5. 재령 1일의 초기강도에서 가장 높은 물-시멘트비의 의존도를 나타낸 것은 3종 시멘트이고, 그 다음으로 조강혼합시멘트, 1종 시멘트 순으로 나타났으며, 28일 재령에서는 3종류의 시멘트가 거의 유사한 의존도를 보였다.

6. 소요 1일 압축강도 추정을 위한 각 시멘트 종류별 C/W비의 상관식을 제안하였다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(08기술혁신 E01-초장대교량사업단)에 의해 수행되었으며, 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이성태, 노재호, 박철주, 허형석, “프리캐스트 고강도 콘크리트(PHC) 파일에 조강형 폴리카본산(PC)계 혼화제의 적용에 관한 연구,” 구조물진단학회지, 제15권 제1호, pp.263-270, 2011. 1.
2. 이창홍, 진원중, 최은석, 김영진, “초고성능 프리캐스트 콘크리트 세그멘탈 교량 접합부에 대한 실험 연구,” 콘크리트학회 논문집, 제23권 제2호, pp.235-244, 2011. 4.
3. 김민정, “반복 하중을 받는 프리캐스트 콘크리트 세그멘탈 접합부의 구조성능,” 경희대학교 석사학위논문, 2011. 2.
4. 주영중, “조립식 프리캐스트 교각 코핑부의 비탄성 거동 해석,” 성균관대학교 석사학위논문, 2011. 2.
5. 장봉석, 권용길, 최슬우, 이광명, “저온 소성환 MgO 분말을 혼입한 시멘트 복합체의 기초 물성,” 콘크리트학회 논문집, 제23권 제2호, pp.225-233, 2011. 4.
6. 윤성원, 노재성, “산업폐기물을 이용한 CSA계 팽창제 제조 및 응용,” 콘크리트학회논문집, 제16권 제3호, pp.369-374, 2004. 6.
7. 경기지방 중소기업청, 조강·고강도콘크리트의 제조 및 그의 장점, 경기지방 중소기업청, 2001.
8. 이완, “극저온 반복온도변화를 경험한 콘크리트의 압축거동 특성,” 홍익대학교 석사학위논문, 2008. 2.
9. 한민철, “혼화제 종류 변화에 따른 저온조건하 콘크리트의 초기강도 발현 특성,” 한국건축시공학회지, 제7권 제4호, pp.145-151, 2007. 12.

10. 한상목, 송영철, 이도현, 박계선, 三浦尙, “극저온 환경 하의 콘크리트 특성 및 적용 기술,” 콘크리트학회지, 제17권 제1호, pp.10-17, 2005. 1.
11. 한천구, 한민철, 박천진, “회귀분석에 의한 CSA계 팽창재를 사용한 콘크리트의 건조수축 예측방법 검토,” 대한건축학회논문집, 제27권 제9호, pp.109-116, 2011. 9.
12. ACI Committee 209, “Prediction of creep, shrinkage and temperature effect in concrete structure,” ACI, 1995.
13. Meir, Joseffa V., and Ramirez, Julio A., “Alternative to the current AASHTO standard bridge sections,” Journal of the Prestressed Concrete Institute, Vol. 42, pp.56-66, 1997. 6.

저온에서의 콘크리트 강도 확보를 위한 경제적 배합 방안

프리캐스트 콘크리트 공법은 건식공법으로서 현장에서의 작업량을 최소화할 수 있으며 품질관리가 쉽고, 조립으로 공기단축이 가능하지만, 공기상 조기에 콘크리트 강도를 확보하기 위하여 콘크리트의 강도발현속도를 촉진시키는 증기양생법에 의존하여 왔다. 그러나 최근에 나타나고 있는 중동에서의 정치적 불안이나 국제 경제의 불안정으로 인해 지속적으로 유류비는 상승되고 있다. 따라서 본 연구에서는 프리스트레스트용 프리캐스트 콘크리트 제품 생산을 위해 저온의 조건에서 증기양생을 사용하지 않고 1일 압축강도 14MPa 이상, 설계기준압축강도 40MPa를 확보하는 콘크리트 개발을 목표로 하였다. 1종 포틀랜드시멘트와 3종 조강포틀랜드시멘트, 특수목적의 조강혼합시멘트 등 3 종류의 시멘트에 대해 굳지 않은 콘크리트의 물성과 압축강도를 실험을 통해 평가하였다.

실험결과, 조강용 시멘트들은 슬럼프와 슬럼프경시변화, 공기량 확보 측면에서 불리하였지만 강도 측면에서는 목표값 이상을 확보하였으며 특히, 조강혼합시멘트가 가장 우수한 것으로 나타났다.