

콘크리트 용도별 최적배합을 위한 연구(II)

Optimum Mix Design of Concrete(II)

심재원^{*} 이병덕^{**} 양우석^{***} 안태송^{****}
Shim, Jae Won Lee, Byung Duck Yang, Woo Seok Ahn, Tae Song

ABSTRACT

In most domestic construction fields, excessive cement content has been used because of stubborn official inspection. The purpose of this study is to reduce the cement content of mix proportioning for the decrease of hydration heat, brittleness and drying shrinkage which governs durability of concrete significantly. Parameters includes the compressive strengths, types and dosage rate of chemical and mineral admixtures and types of concrete.

It is found that the chemical admixture is efficient to the reduction of cement content for high strength concrete ($400\text{kg}/\text{cm}^2$) and the effectiveness of mineral admixtures in the low strength concrete is somewhat higher than the high strength concrete.

1. 서론

국내의 콘크리트는 지난 수십 년 동안 강도에 치우쳐 품질관리가 이루어졌고, 강도증진을 무조건적으로 시멘트에만 의존하던 탓으로 동일한 물-시멘트비(이하 w/c비)의 배합이라도 시멘트가 과다한 경향을 보인다. 또한, 설계상의 지나친 안전율의 책정도 시멘트를 증가시켜 수화열과 건조수축 등으로 인한 균열 발생 가능성을 부추기고 있다. 따라서, 콘크리트별 강도발현을 위한 적정 시멘트량의 책정과 시멘트 대체재 및 채움재의 사용을 통해 공사비 및 보수비의 절감과 건조수축과 수화열 저감 등의 내구적 측면의 보강으로 사용기간의 연장 및 구조물의 안전성 증진을 기대할 수 있을 것이다.

본 연구는 1차 년도에 시멘트 빈부의 적정성에 따라 배합비를 도출하였던 “콘크리트 용도별 최적배합 연구”의 일환으로, 내구성 실험에 앞서 용도에 따라 혼화재를 치환하였을 때, 대체 종류, 비율 및 w/c비에 따른 강도결과를 고찰하고자 하며, 진행중인 내구성 시험 결과로 이를 검증할 예정이다.

2. 실험 개요

2.1 사용재료

사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트(비중 3.15)였고, 굵은골재는 콘크리트 종류별로 최대치수가 19mm, 25mm, 32mm인 쇄석골재(비중 2.62)였으며, 잔골재(비중 2.59)인 세척사를 사용하였다.

* 정회원, 한국도로공사 도로연구소 연구원

** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

*** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 위촉연구원

**** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 재료연구실장

혼화제는 콘크리트 종류별로 사용량이 다르며, AE감수제는 리그닌설폰산염계, 고유동화제는 나프탈렌설폰산계, 고성능 AE감수제는 포르말린축합물을 사용하고, 필요에 따라 공기연행제를 첨가하였다.^{2,7}

시멘트량 저감 및 내구성 향상효과를 확인하기 위해 fly ash(비중 2.39), 고로슬래그미분말(분말도 4786 cm²/g, 비중 2.91) 및 석분(비중 2.35)을 사용하였다.

2.2 실험변수 및 콘크리트 종류별 배합비

본 실험에서는 시멘트량, W/C비에 따른 혼화제 및 그 대체율을 주요 변수로 설정하였으며, 시멘트의 저감은 기존 배합 및 강도 data에 기초하여, 수회의 시험배합을 통해 소요 slump 및 공기량 값을 확보하고, 목표한 강도를 기대할 수 있는 배합비 범위를 설정하였다. 다음 표1은 콘크리트 종류별 기준배합비로, 그 종류는 한국도로공사의 공사 목적에 따라 분류한 것이다.

표 1 콘크리트 배합표

종별	설계 기준 강도 (kg/cm ²)	골재 최대 치수 (mm)	W (kg)	C (kg)	W/C (%)	S/a (%)	S (kg)	G (kg)	Fly ash (kg)	AE 감수제 (C×%)	유동 화제 (C×%)	고강도 AE 감수제 (C×%)	수중불 분리성 혼화제 (%)	비고
고 강 도	400	19	168	467 (520)	36	42	697	970	-	0.20	0.20	-	-	무첨가
			168	327 (437)	36	42	679	949	140	-	-	1.40	-	Fly-ash 30% 대체
			168	393 (437)	36	42	722	968	210	0.30	0.35	-	-	BFS 50% 대체
2종	240	32	157	320 (341)	49	40	721	1095	-	0.25	-	-	-	
			157	224 (341)	49	40	711	1079	96	0.20	-	-	-	Fly-ash 30% 대체
			157	160 (341)	49	40	717	1088	160	0.20	-	-	-	BFS 50% 대체
3종	210	40	157	276 (317)	57	43	791	1061	-	-	-	-	-	무첨가
			157	220 (317)	57	43	819	1098	55	-	-	-	-	Fly-ash 20% 대체
			157	138 (317)	57	43	821	1100	138	0.15	-	-	-	BFS 50% 대체(감수제)
중분대 (난간)	240	19	155	293 (445)	53	49	901	945	-	0.08	-	-	-	무첨가
			155	227 (278)	50	48	895	977	57	0.25	-	-	-	Fly-ash 20% 대체
			155	199 (278)	50	48	891	973	85	0.3	-	-	-	Fly-ash 30% 대체
L축구 다이크	210	19	147	300 (331)	49	48	889	971	-	0.30	-	-	-	무첨가
			135	300 (333)	45	47	871	994	90	0.30	-	-	-	Fly-ash 30% 대체
			144	288 (324)	50	48	763	980	135	0.30	-	-	-	석분 잔골재 15% 대체

※ 표에서 () 밖의 단위시멘트량은 본 연구에 사용한 기준 단위시멘트량, ()안은 기존배합비의 단위시멘트량

3. 결과 및 고찰

3.1 경화한 콘크리트의 압축강도 특성

3.1.1 고강도콘크리트

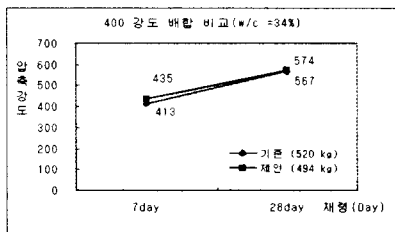


그림 1 고강도콘크리트($f_{ck} = 400\text{kg/cm}^2$)

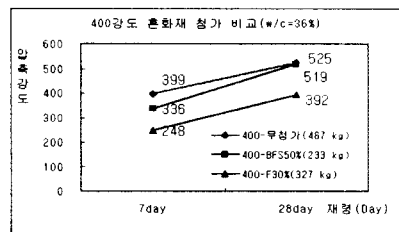


그림 2 고강도콘크리트($f_{ck} = 400\text{kg/cm}^2$)

동일한 W/C비에서 비교한 그림 1을 통해 적절한 혼화제의 사용만으로도 시멘트량의 증가에 상관없이 강도가 증진할 수 있음을 확인 하였는데 이것은 고강도 콘크리트의 잉여 시멘트량에 의한 것으로 판단된다.³ 이 경우, 그림 2의 혼화제 무첨가 W/C비로 조정하면 10% 정도의 시멘트를 줄일 수 있어

대략 5°C 정도의 수화열 저감이 예상된다.⁴

그림 2의 fly ash 30%와 고로슬래그 미분말 50%를 첨가한 콘크리트에서의 강도시험 결과를 통해 다량 치환한 고로슬래그를 첨가재로 사용한 경우만, 8°C에 가까운 수화열 저감을 기대할 수 있으며,⁷ fly ash의 경우는 35%의 W/C비로 상향조정이 필요하다.¹

3.1.2 2중 콘크리트

그림 3은 기준 시멘트량 320kg(W/C 49%)에 대한 기존 시멘트량 341kg(49%)의 강도 비교 값으로 53%(296 kg)까지도 저감이 가능하여 4°C 정도의 수화열 저감이 예상된다. 그림 4는 그림 3에 대한 혼화제별 강도값을 나타내며, 내구성이 검증된다면, 본 연구에서 사용한 배합이 적절한 것으로 판단된다.

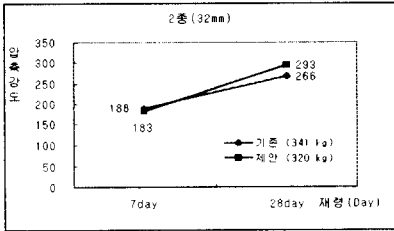


그림 3 2중 콘크리트($f_{ck} = 240\text{kg/cm}^2$)

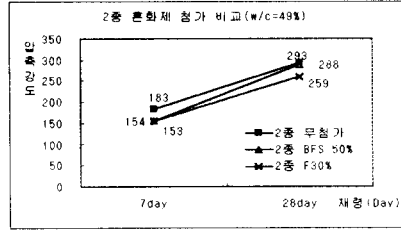


그림 4 2중 콘크리트: 혼화제 첨가($f_{ck} = 240\text{kg/cm}^2$)

3.1.3 3중 콘크리트

동일한 W/C비에 대한 그림 5의 결과도 잉여 시멘트에 의해 시멘트량이 적은 쪽에서 오히려 높은 강도값이 발생한 것으로 보인다. 두 항목 모두 기준값 보다 30~40% 정도의 높은 강도를 나타내므로 57%의 W/C비를 고려할 필요가 있다. 그림 6은 W/C비 57%에 대한 혼화제 첨가 유무에 따른 강도 결과로 모두 만족스러운 결과를 얻었다.

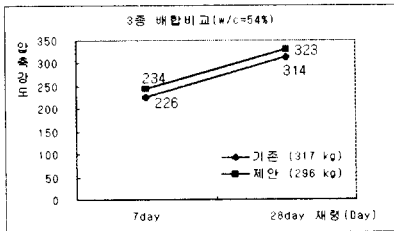


그림 5 3중 콘크리트($f_{ck} = 210\text{kg/cm}^2$)

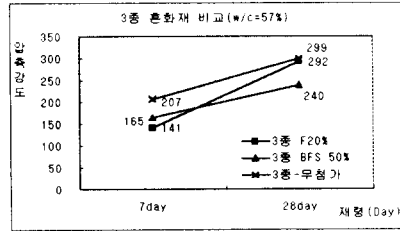


그림 6 3중 콘크리트($f_{ck} = 210\text{kg/cm}^2$)

3.1.5 중분대용 콘크리트 및 L축구 다이크 콘크리트

그림 7의 배합이 설계기준강도의 거의 2배로 나타나는데, W/C비를 53%로 조절하더라도 약 70% 초과 강도를 나타낸다. 본 실험에서 W/C비를 53%(293 kg) 이하로 떨어뜨릴 경우, 동해 저항에 필요한 연행 공기량을 확보하는데 어려움이 있었다. 따라서, 혼화제로 공기량의 조절이 시멘트량이 293kg/m³였으며, 중분대 배합시에는 이 시멘트량 이하로 배합하지 않는 것이 바람직하다고 판단된다.

그림 8은 fly ash를 20% 치환한 기존 배합과 본 연구의 20%와 30%대체결과를 보인 것으로, 불량률을 고려하더라도 제안 값이 안전함을 알 수 있다

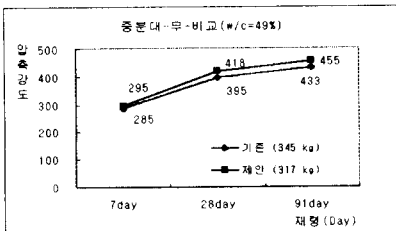


그림 7 중분대용 콘크리트($f_{ck} = 240\text{kg/cm}^2$)

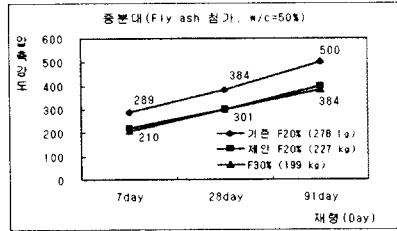


그림 8 중분대용 콘크리트($f_{ck} = 240\text{kg/cm}^2$)

그림 9에서 최적 시멘트량으로도 7일의 강도발현율이 설계기준강도에 준하는 것으로 나타났다. 표준 배합비의 단위시멘트량은 20~30% 가량을 감소하는 것이 필요하겠고 혼화제량은 적절한 것으로 판단된다.

그림 9의 fly ash를 30% 대체한 콘크리트는 동종의 보통콘크리트에 비해 초기재령에서의 강도가 다소 낮게 발현되었다. 동종배합에 비해 W/C가 낮고 단위시멘트량이 동일함에도 불구하고 강도발현이 작은 것은 여러 가지 원인이 있겠으나 주된 원인은 fly ash량이 과다하게 첨가된 것으로 보여진다. 또한 설계기준강도보다 소오의 강도발현이 크게 나와 W/C비를 늘리는 것이 타당하다고 판단된다.

마지막 그림은 석분을 잔골재의 15%를 대체하여 같은 W/C에 대한 시험결과이다. 석분 대체에 의한 강도효과는 거의 없는 것으로 나타났고, 재령별 강도결과는 설계기준 강도 보다 30%~45%나 높은 것을 볼 수 있다. 그러나 대체적으로 미립분이 많아지므로 적절한 작업성을 얻기 위해서는 단위수량을 증가시키거나 AE감수제의 사용량을 2~3배 높일 필요가 있다.

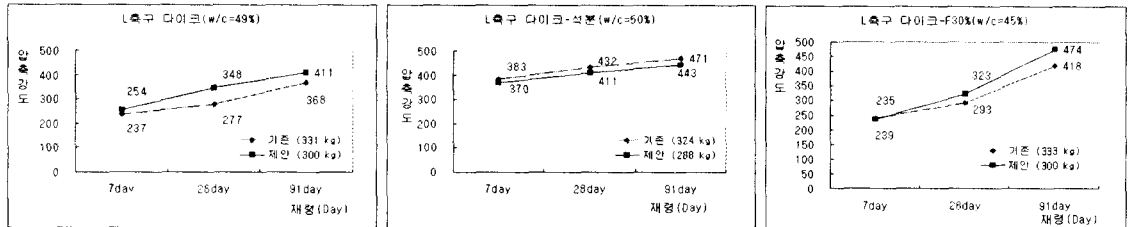


그림 9 L축구, 다이크용 콘크리트($f_{ck} = 210\text{kg/cm}^2$)

4. 결 론

콘크리트 구조물의 강도 및 내구조건을 충족시키기 위해 기존 배합 및 시험 data를 통해 혼화재 및 대체율에 따라 얻은 최적배합의 고찰결과는 다음과 같다. 물론, 진행중인 내구성실험과 각종 콘크리트의 최적배합에 관한 연구 및 모충실험이 보완되어야 최종적으로 최적배합을 도출할 수 있음을 미리 밝혀둔다.

첫째, 고강도 콘크리트의 경우 적정배합에 과도하게 시멘트량이 많아지면 오히려 불리한 결과를 보이며, 한계 W/C비를 넘어서는 강도 증진이 둔화된다. 따라서, 혼화제의 효과가 크다.

둘째, 설계기준강도 240kg/cm^2 정도의 배합에서는 시멘트량에 따른 비례적인 강도증진을 보이므로, 약간의 혼화제에 의한 저감효과와 혼화제의 대체효과를 보인다.

셋째, 저강도 콘크리트의 경우도 시멘트량에 따른 비례적인 증진효과를 보이지만, 필요 이상의 강도 발현이 발생하므로, 혼화제에 의한 높은 치환율의 대체가 필요하다.

따라서, 시멘트량과 혼화제량은 강도와 내구성과 같은 콘크리트의 요구특성을 손실하지 않는 범위 내에서 가능한 하향 조정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Gray R. Mass and Others, "Guide for Selecting Properties for High Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash", ACI Materials Journal, May-June, 1993, p272-283
2. P. Paulini, "Reaction Mechanism of Concrete Admixtures", Cement and Concrete Research, Vol. 20, pp. 910~918, 1990.
3. P. Kumar Mehta., & Paulo J. M. Monteiro., "Concrete -Structure, Properties, and Materials-", Prentice-Hall, INC. Englewood Cliffs, New Jersey 07623, 1993.
4. 강석화, "매스콘크리트의 온도균열제어를 위한 시공방법", 콘크리트 학회지, 제9권 3호, 1997, p4-14.
5. 한국도로공사, "건설공사 품질시험 편람", 한국도로공사, pp. 80~112, 1998.
6. 한국콘크리트학회, "최신 콘크리트 공학", 기문당, pp. 407~411, 1992.
7. 한국콘크리트학회, "콘크리트 혼화재료", 한국콘크리트학회, 1997.