高强度콘크리트用 混和材를 사용한 콘크리트의 物性에 관한 실험적 硏究

An Experimental Study on Physical Properties of Concrete using Admixtures for High Strength Concrete

이 승 한* 배 재 길** 이 종 석***
Lee, Seung Han Bae, Jae Kil Lee, Jong Suk

Abstract

These tests were conducted to get a device high strength concrete products in factory using admixtures for high strength concrete.

The superplasticizer was used to compensate low slump of base concrete keeping its slump up about 6±1cm. To examine the property for strength revelation of concrete using admixtures for high strength concrete, steam and standard curing were compared each other.

Test results show that admixtures for high strength concrete is effective in steam curing and compressive strength 500kgf/cm^2 is obtained at one day, 650kgf/cm^2 at 28days as added to concrete at the ratio of 10-15%, and 740kgf/cm^2 at the ratio of 30%.

Therefore admixtures for high strength concrete is effective in steam curing and make it possible to get high strength concrete using only steam curing not using autoclave curing.

1. 序 論

최근에 와서 高强度 콘크리트에 관한 연구 개발이[1-3] 활발하게 진행되고 있으며, 이들 高强度化의 방법으로는 시멘트풀 및 골재의 强度改善과 이들의 付着强度 改善을 들 수 있고, 高强度化의 여러 방법을 조합하여 행하는 경우도 많다.[1] 이중 시멘트풀의 强度개선법으로 선진 외국에서는 이미 高性能減水劑 및 高强度콘크리트用 混和材를 사용하여 壓縮强度 800-1000kgf/cm^{2}의 工場製品뿐만 아니라 현장타설 콘크리트에도 적용[4,5]하고 있다.

그러나 우리 나라에서는 高性能減水劑를 사용하여 蒸氣養生으로 高强度를 얻는 말뚝, 흄관 및 프리스트레스트 콘크리트보와 현장타설에서 壓縮强度 400-500kgf/cm^{2}가 일부 사용되고 있으며[6] 오토클레이브 양생을 실시 고강도을 일부 생산하고 있으나 경제성면에서 高强度 콘크리트의 실용화에는 아직 미흡한 실정에 처해 있다.

이에 본 연구는 高强度콘크리트用 混和材 및 高性能減水劑를 사용한 시멘트풀의 强度개선에 주안점을 두고, 현재 콘크리트 제조공장에서 사용하고 있는 저품질 골재를 實用化 측면에서 증기양생으로 압축강도 700kgf/cm^{2}이상의 高强度콘크리트를 얻는 것을 목적으로 한다.

2. 실험개요

2.1 실험재료

시멘트, 굵은골재와 모래는 現在 製造工場에서 사용하고 있는 材料를 사용하고 高性能減水劑 및 高强度用 混和材를 사용하였으며 그 物理的 性質은 아래와 같다.

*정회원, 계명대학교 토목공학과 부교수
** 한일건재공업(주) 품질관리실장
*** 계명대학교 토목공학과 석사과정

2.1.1 시멘트 및 混和材

본 연구에서 사용한 시멘트는 내수용 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement : 이하 OPC로 약칭)로 A사와 S사 제품, 混和材는 석고계 高强度콘크리트用 混和材인 DM 및 CP를 사용하였으며 이들의 물리적 특성은 Table-1과 같다. 또한 실험에 사용한 高性能減水劑는 나프탈렌 설폰산염 고함축물계인 Mighty-150을 사용하였다.

Table-1 Physical properties of Ordinary portland Cement and admixtures for High-Strength Concrete

kinds	sign	Specific gravity	Blaine (cm^2/g)
OPC(S社)	S	3.13	3190
OPC(A社)	A	3.13	3642
Admixtures for High-Strength Concrete	DM	2.92	2700-3500
	CP	2.92	7500

2.1.2 骨材

실험에 사용한 굵은골재는 경북 성주産 19㎜ 쇄석을, 잔골재는 김천産 모래를 사용하였으며 이들의 物理的 特性은 Table-2와 같다.

Table-2 Physical properties of aggregate

Kinds	Max.Size (㎜)	Specific gravity	Absorption (%)	Fineness
Fine Agg.	5	2.52	1.73	2.91
Coarse Agg.	19	2.59	0.93	7.06

2.2 콘크리트의 配合 및 製造方法

2.2.1 콘크리트의 配合

高强度 콘크리트를 제조하기 위하여 물-결합재비 30, 35, 40% 단위결합재량 460, 530, 600kg/m^3의 각각 3종류에 대하여 검토하였다. 또한 고강도콘크리트용 혼화재는 치환율 10, 15 및 30%까지 변화시킨 2종류를 사용하였고, 高性能 減水劑의 添加量은 슬럼프값이 6±1cm가 되도록 조절 사용하였다.

2.2.2 믹싱 및 공시체 제작

공시체는 믹서에 시멘트, 잔골재 및 混和材를 투입하고 1분간 Dry mixing을 한 후, 물과 高性能減水劑를 넣고 1분간, 굵은골재 투입 후 2분간, 손비빔 1분간을 하여 소정의 슬럼프를 확인한 후 제작하였다.

2.3 養生方法

본 연구의 養生方法은 工場製品를 대상으로 하여 蒸氣養生후 氣乾養生하는 것을 기준으로 하였고, 蒸氣養生과 强度를 비교하기 위하여 水中養生도 병행하였다. 蒸氣養生方法은 前置 4시간, 昇溫15℃/hr, 最高溫度65℃로 4시간 유지한 후 冷却과정을 두었으며, 이들 溫度 및 時間은 重倉들의[7] 연구결과를 참고로하여 설정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

각 배합설계별 굳지않은 콘크리트의 성질, 재령별 壓縮 및 할열인장强度는 Table-3과 같다.

3.1 高性能減水劑의 添加量

Table-3에 의거한 Fig.1은 단위 結合材量이 530kg/m^3일 때 물-結合材比와 슬럼프 6±1cm로 하기 위한 각 配合別 高性能減水劑 添加量과의 관계를 나타낸 것이다.

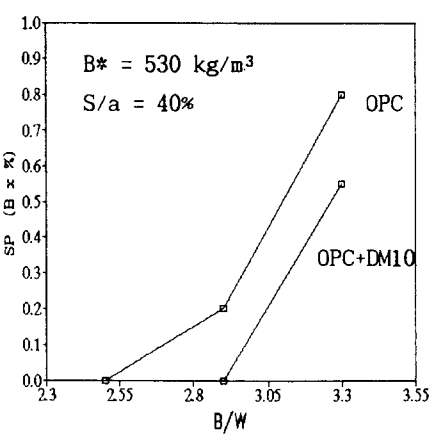

Fig.1 Varation of dosage of superplasticizer at constant slump

Table-3 Test result of strength and Quality of fresh concrete

B*	W/B*	Repleacement of Admixture (%)	Kind of Cement	Compressive strength (kgf/cm²)				Splitting-tensile strength (kgf/cm²)	Quality of fresh concrete	
				Steam curing			Standard curing	Steam curing	SP (B*x %)	Slump (cm)
				1 day	7 day	28day	28day	28day		
460	30	0	S	285.8	292.8	374.3	471.1	33.0	3.20	5.5
		DM10	S	225.4	277.6	425.3	254.6	34.2	2.70	5.0
530	30	0	S	334.8	429.7	521.2	546.6	38.9	0.80	5.8
			A	377.7	415.1	474.9	506.7	39.7	1.20	5.7
		DM10	S	389.6	448.8	674.8	424.0	41.1	0.55	6.0
			A	425.3	512.3	648.7	415.7	46.7	0.70	5.0
		CP15	A	465.4	550.0	682.5	631.5	55.5	0.80	7.0
		CP30	A	488.3	631.5	738.5	420.2	56.7	0.65	6.3
	35	0	S	276.7	368.6	472.4	461.3	41.0	0.20	6.1
		DM10	S	344.8	405.5	582.5	342.5	48.6	0.00	5.0
			A	368.0	438.0	576.8	320.9	37.4	0.00	5.5
	40	0	S	237.5	317.0	379.4	347.0	36.1	0.00	13.0
		DM10	S	236.2	359.1	488.9	201.2	49.2	0.00	17.0
600	30	0	S	345.1	462.2	473.6	537.3	42.0	0.70	5.0
			A	315.8	408.7	468.6	436.1	41.1	0.50	7.0
		DM10	S	426.5	528.4	636.6	318.9	59.2	0.40	6.3
		CP15	A	468.6	573.0	715.6	643.0	52.0	0.55	5.2
		CP30	A	520.8	616.2	722.0	445.6	64.4	0.45	5.1

B*는 結合材의 單位重量(C+DM+CP)을 나타냄.

이 그림은 동일 슬럼프를 유지하는데 물-결합재비가 작아질수록 高性能減水劑의 첨가량이 增加됨을 알 수 있으며, 高强度콘크리트用 混和材 10%사용은 OPC보다 동일 슬럼프(6±1cm)를 얻는데 고성능 감수제의 사용량이 줄일 수 있어 물-결합재비 35%에서 감수제 첨가 없이 소정의 슬럼프를 얻었음을 보여주고 있다. 또한 물-結合材比 40%의 경우 Table-3에서 나타나 있는 것과 같이 高性能減水劑를 첨가하지 않은 OPC의 슬럼프가 13cm인데 반해 DM을 10%로 치환한 경우 슬럼프가 17cm로 증가되었다. 따라서 高强度콘크리트用 混和材는 동일슬럼프를 얻는데 OPC보다 高性能減水劑의 첨가량을 감소시킬수 있으며 콘크리트의 流動性을 증가시키고 있음을 알 수 있다.

3.2 混和材의 종류 및 치환율에 따른 强度特性

Fig.2는 단위 結合材量 530kg/m³일때 OPC와 DM 10%치환시의 압축강도와 물-결합재비와의 관계를 나타낸 것이다.

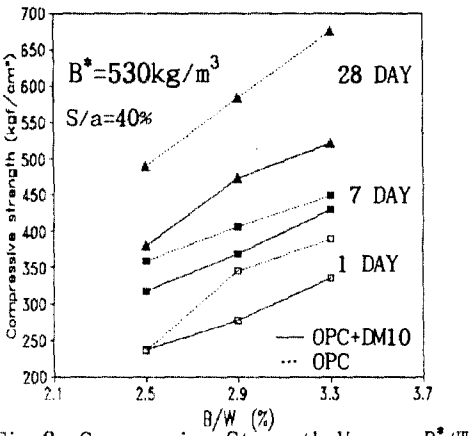

Fig.2 Compressive Strength Versus B*/W

이 그림은 OPC사용시 재령 28일 강도가 521.2kgf/cm²인 반면, DM 10%치환시 674.8kgf/cm²로 OPC에 비해 154kgf/cm²의 강도증가를 나타내고 있다.

한편 Fig.3은 단위 結合材量 530kg/m³와 600kg/m³일 때 물-結合材比 30%에서 CP치환율과 재령에 따른 壓縮强度와의 관계를 나타내 있다.

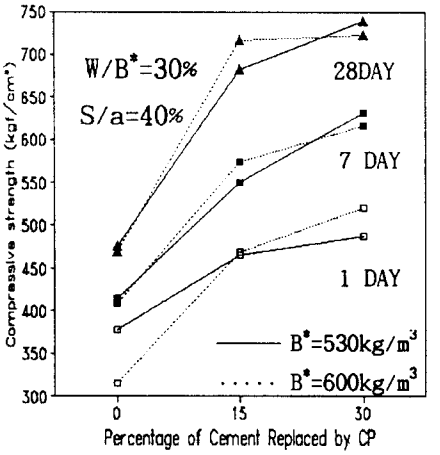

Fig.3 Effect of CP admixture on strength of concrete

Fig.3에서는 단위 結合材量이 530kg/m^3, 600kg/m^3 공히 CP의 치환율이 증가할수록 콘크리트의 壓縮强度가 증진되고 있음을 나타내고 있으며 7일 강도는 15%치환시 550kgf/cm^2, 30%치환시 600kgf/cm^{2}이상 나타내고 있다. 또한 28일 강도는 15%치환시 680-740kgf/cm^2 OPC에 비하여 200kg/cm^{2}이상의 강도증가를 보인반면, 30% 치환시 722-738.5kgf/cm^2 치환량에 따른 강도 증가의 둔화가 현저하다고 할 수 있다. 이는 본 실험에 있어서 700kgf/cm^2 이상의 강도가 되면 골재의 할열파괴현상이 일어나 둔화된 것으로서 사료되며, 이 보다 높은 고강도 콘크리트를 얻기 위해서는 양질의 골재 선정이 필요하다고 사료 된다.

또한 혼화재의 종류에 따른 콘크리트의 强度特性을 알기 위하여 물-結合材比 30%일 때 OPC만 사용한 콘크리트의 재령 1일,7일,28일의 壓縮强度를 100으로 하여 각 混和材 치환시의 콘크리트의 强度比를 Table-4에 나타내었다.

Table-4 Properties of strength for Replacement Ratio of each Admixtures (W/B*=30%)

B*	Age	Replacement Ratio of admixtures(%)			
		0	DM10	CP15	CP30
530	1day	100	116,113	123	129
	7day	100	104,123	133	152
	28day	100	129,137	144	156
600	1day	100	124	148	165
	7day	100	114	140	151
	28day	100	134	153	154

Table-4에서도 알 수 있듯이 高强度用 混和材를 사용한 28일 壓縮强度比는 DM 10% 치환에서 129-137, CP 15%치환시 144-153, CP 30% 치환시 154-156의 强度증진을 보이고 있어 高强度콘크리트用 混和材는 强度증진에 효과적임을 알 수 있다.

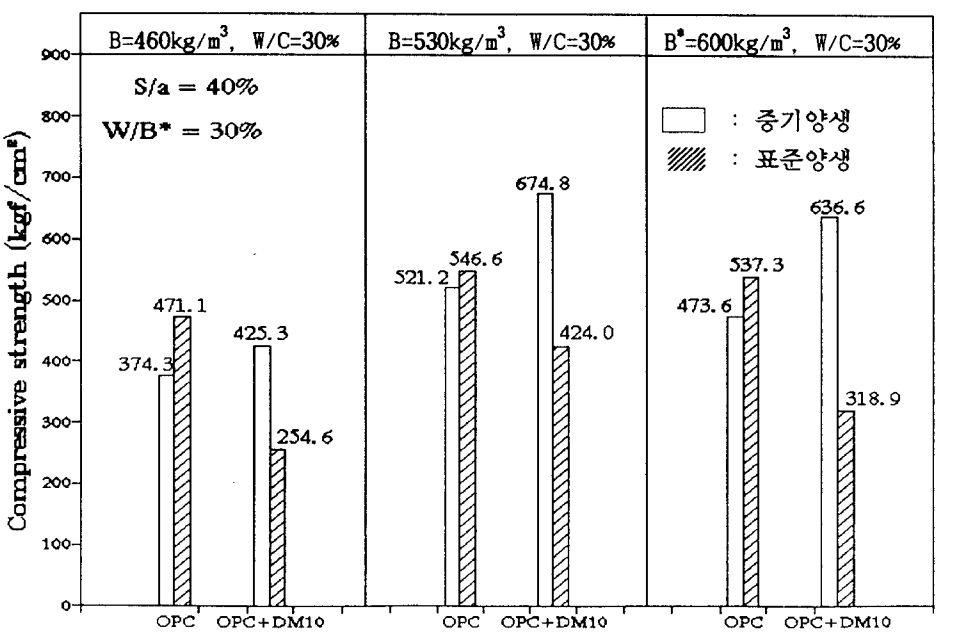

Fig.4 Compressive strength of concrete containing DM admixture under steam and standard curing conditions

이는 高强度콘크리트用 混和材가 蒸氣養生에 의하여 시멘트 속의 칼슘 실리케이트의 수화를 촉진시켜 칼슘 알루미네이트와 반응하여 미세한 엔트린가이트를 생성시켜 경화조직이 치밀하게 되어 高强度가 발현되기 때문이라고 長瀧[1], 朴들[8]은 설명하고 있다.

3.3 養生방법에 따른 强度변화

Table-5는 재령 28일 蒸氣養生 壓縮强度를 100으로 하여 水中養生시의 强度比를 나타낸 것이다.

Table-5 Compressive strength of steam curing concretes as a percentage of the 28day compressive strength(standard curing)

B*	W/B*	Replacement Ratio of Admixtures(%)			
		OPC	DM10	CP15	CP30
460	30	126	60	-	-
530	30	105, 107	63, 64	93	57
	35	98	59, 56	-	-
	40	91	41	-	-
600	30	113, 93	50	90	62

이 표에서 OPC의 경우 강도비가 91-126으로 수중양생과 증기양생의 강도가 거의 같지만, DM 10% 치환의 경우는 41-64로 Fig-4에 나타나 있는 것과 같이 단위 시멘트량 460, 530, 600Kg/m^3 공히 수중양생시의 OPC에 비해 170-318kgf/cm^{2}까지 强度가 감소하고 있음을 나타내고 있어 증기양생에 비하여 수중양생의 강도는 ½-⅔정도에 불과하고 있다.

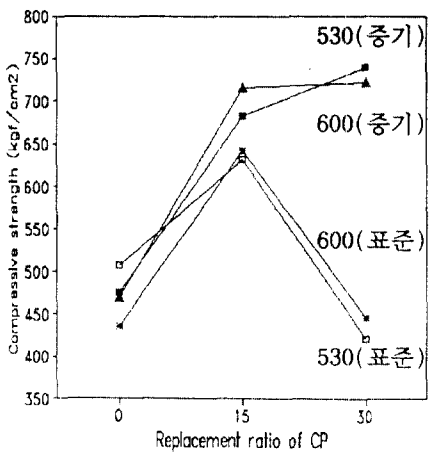

Fig.5 Compressive strength of concrete containing CP admixture under steam and standard

그러나 CP 15%치환의 경우에는 90-93으로 Fig-5에 나타낸 것과 같이 단위 結合材量 530kg/m^{3}과 600kg/m^{3}에서 OPC만 사용한 경우보다 수중양생시 각각 125kgf/cm^2, 206kgf/cm^{2}로 强度가 높게 나타난 631.5, 643kgf/cm^{2}로 증기양생뿐만 아니라 수중양생에서도 탁월한 강도 증진효과를 나타내고 있음을 보여주고 있어 水中養生으로도 高强度 콘크리트를 생산할 수 있음을 보여주고 있다. 한편 CP 30% 치환의 경우의 강도비는 57-62로 증기양생에 비하여 Fig.5에서 보여주고 있는 것과 같이 현저하게 강도가 저하하여 OPC보다도 작은 강도를 나타내고 있어, 수중양생시의 CP의 치환율은 15%가 적정 수준으로 사료된다.

3.4 高强度 콘크리트의 할열인장强度

Fig-6은 증기양생시의 압축강도에 대한 휨강도의 관계를 나타내었으며, 1차회귀분석 결과 28일 할열인장강도식은 $\sigma_{t28} = 0.059\sigma_{c28} + 14.47$이며 상관계수 0.81로 비교적 크게 나타나 高强度콘크리트用 混和材를 사용하여 증기양생한 콘크리트의 할열인장강도의 추정에 사용할 수 있다고 사료된다.

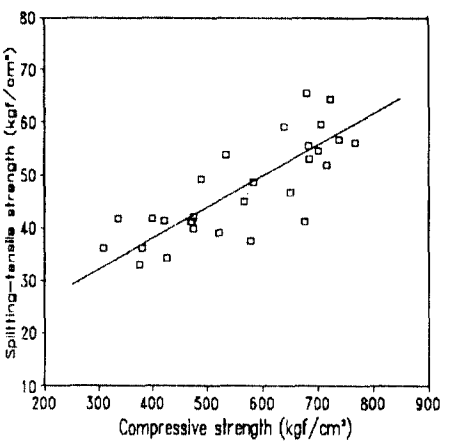

Fig.6 Relationship between compressive strength and splitting-tensile strength

또한 蒸氣養生시 재령 28일의 할열인장强度와 壓縮强度의 比는 1/8-1/16의 분포로 보통 콘크리트의 1/10-1/13보다 그 분포 폭이 크다고 할 수 있어, 壓縮强度의 증대에 비하여 할열인장强度가 같은 비율로 증대하지 않음을 알 수 있다. 그러나 물-결합재비 30%에서 高

强度用 混和材를 10-30% 치환함으로써 할열인장强度는 41-64kgf/cm²를 나타내고 있어, OPC의 인장강도에 비하여 약 1.5-2배 정도 증가되고 있음을 알 수 있다.

4. 結 論

본 연구는 공장제품을 대상으로 콘크리트를 高强度化하기 위한 연구로 본 연구의 범위내에서 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 종래의 蒸氣養生만으로 불가능하였던 1일 壓縮强度 500kgf/cm², 7일 壓縮强度 600kgf/cm², 28일 壓縮强度 700kgf/cm² 이상의 高强度 콘크리트를 高性能減水劑 및 高强度콘크리트用 混和材를 사용함으로서 얻을 수 있다.

(2) 高强度用 混和材는 유동성을 증가시켜 동일 슬럼프값을 얻기 위한 콘크리트에서 高性能 減水劑의 添加量을 줄일 수 있다.

(3) 高强度用 混和材 CP는 증기, 및 수중양생시 강도증가에 효과적이며, 증기양생시는 30%까지 치환하여도 강도증진을 나타내지만 수중양생시는 15%까지가 적정치환율로 이보다 치환율이 증가하여 압축강도가 저하된다.

(4) 高强度用 混和材 DM은 蒸氣養生시 强度증진에 효과적이며 水中養生시에는 OPC보다 强度가 오히려 감소한다.

(5) 壓縮强度 700kgf/cm² 이상에서는 굵은골재의 할열파괴현상이 일어나고 있어, 이보다 높은 高强度 콘크리트를 얻기 위해서는 양질의 골재 선정이 필요하다.

(6) 混和材를 사용한 高强度 콘크리트는 할열인장强度比가 1/8-1/16로 콘크리트의 할열인장强度를 증진에도 효과적이라 사료된다.

(7) 高强度用 混和材는 콘크리트말뚝, 흄관 등에 蒸氣養生을 행하여 高强度를 필요로 하는 콘크리트제품에 이용할 수 있으며 제품의 조기 출하를 가능하게 한다.

감사의 글

본 연구의 실험은 학부생 서상한군, 최병주군, 신정범군의 도움으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1) 長瀧重義 : 高强度コンクリ-トに關する研究と實用化, 第10回コンクリ-ト工學年次論文報告集, Vol.10-1, 1988, pp.61-68.

2) 文翰英, 金眞徹 : SF을 혼합한 콘크리트의 高强度化에 관한 基礎的 研究, 大韓土木學會論文集, 제12권 4-1호 1992.12

3) 權寧鎬, 朴呈國, 李補根, 박칠림 : 混和材를 사용한 高强度 콘크리트의 品質改善에 관한 實驗的 研究, 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제5권1호 1993. pp79-88

4) 박칠림 : 高强度 콘크리트의 實用化에 관한 國內外 研究 動向, 콘크리트 학회지 제2권 3호, 1990.9, pp.27-36

5) 오병환, 정범석 : 高强度 콘크리트의 施工特性과 利用, ACI 회장단 방한 학술 발표 기사,콘크리트 학회지, 제2권4호, 1990.12, pp.31-35

6) 신성우외 7인 : "분당 삼성 초고층 아파트에 500kgf/cm² 이상의 고강도 콘크리트 시공 및 구조적 연구", 한국 콘크리트 학회지 추계발표회, 1990. 11, pp.185

7) 重倉祐光, 高橋和雄, 棚野博之 : 高强度コンクリ-ト用混和材料に關する研究, 日本コンクリ-ト工學年次講演會講演論文集, Vol.4, 1982, pp.109-112

8) 박승범, 임창덕 : 고황산염 시멘트를 이용한 고강도콘크리트의 공학적특성에 관한 연구, 한국 콘크리트 학회 가을 학술 발표회 논문집 제4권2호, 1992.11, pp.11-18