

高強度 콘크리트의 配合設計에 따른 特性

Properties of Mix Design for the High Strength Concrete

金 然 鍾
(圓序建設(株) 代表理事)

1. 머리말

1.1 연구배경

국내에 고강도 콘크리트가 소개되어 개발되기 시작한 것은 지난 1980년대 후반부터이며, 그 이후 국내의 高強度 콘크리트 연구동향은 주로 대학과 기업연구소 및 레미콘 업체가 공동 또는 단독으로 연구하는 경향이 많았다.

특히, 고속철도, 토목교량 등 토목분야에는 설계기준강도 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 범위, 신도시 고층아파트와 같은 건축분야에는 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ 범위의 고강도 콘크리트를 적용한 실적이 있다.

또한, $500\sim 700\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도의 고강도 콘크리트를 시험적용한 사례도 있으며, ^{(1),(2),(3)} 학계를 중심으로 고강도 콘크리트의 역학적 특성 및 이론적 연구^{(4),(5)}도 활발히 진행되고 있다. 그러나, 지역별 재료특성 및 레미콘 공급망, 현장 품질관리의 문제점, 경제성 분석 등의 과제와 실용화 의지는 매우 부족한 실정이다.

특히, 지방자치제의 활성화에 따라 지역적 특성을 고려한 고강도 콘크리트의 개발 및 품질관리에 대한 연구가 필요하며, 이는 고강도 콘크리트의 범용화를 위한 단계로써 적용범위를 확대시

켜 지역별, 재료별 특성을 검토할 필요가 있다.

따라서, 본 연구는 고강도 콘크리트의 지역별 특성을 파악하고, 향후 실용화를 위하여 군산지역의 재료를 대상으로 고강도 콘크리트의 제조 및 현장적용을 위한 배합조건별 특성을 실험하고, 결과를 현장에 적용할 수 있는 방안을 모색하고자 한다.

1.2 연구범위

본 연구는 고강도 콘크리트의 재료, 배합조건에 따른 특성을 대상으로 지역적 특성을 고려한 현장적용의 기본자료를 도출하고자 한다.

따라서, 군산지역의 재료를 대상으로 고강도 콘크리트의 재료 및 최적배합조건을 선정하여 현장적용을 위한 품질관리 방안을 검토하고자 한다. 이러한 연구를 위하여 設計基準強度가 420, 490, 560, $630\text{kg}/\text{cm}^2$ 인 4단계의 고강도 콘크리트 강도범위를 설정하고, 이를 제조할 수 있는 재료 및 배합조건, 슬럼프, 강도, 경시변화, 응결 및 블리딩, 수화열 특성을 시험하였으며, 향후 이를 토대로 현장에 시험적용하는 방안을 모색하고자 한다.

2. 고강도 콘크리트의 시험배합

국내의 고강도 콘크리트 배합설계식은 아직 정립되지 않았기 때문에, 일본 건축공사표준사양서(이하 JASS 5) 및 미국 콘크리트학회 고강도 콘크리트 위원회(이하 ACI 363)에서 제시한 다음 식을 사용하여 배합강도를 산정하였다.

ACI 363 설계식⁽⁶⁾ (단위 : psi)

$$F \geq F_c + 1.34 \cdot \sigma \dots\dots\dots(\text{식 1})$$

$$F \geq F_c + 2.33 \cdot \sigma - 100 \dots\dots\dots(\text{식 2})$$

JASS 5 설계식⁽⁷⁾ (단위 : kg/cm²)

$$F \geq 0.9 \cdot (F_c + T) + 3 \cdot \sigma \dots\dots\dots(\text{식 3})$$

$$F \geq F_c + T + 2 \cdot \sigma \dots\dots\dots(\text{식 4})$$

여기서, F는 配合強度, F_c는 設計基準強度, T는 온도보정강도, σ는 표준편차이다. JASS 5의 경우에는 배합강도를 선정할 때 표준편차를 35kg/cm² 또는 0.1(F_c+T)중에서 큰 값을 선정하도록 규정하고 있으며, ACI 363에서는 표준편차를 500~700psi(약 35~49kg/cm²) 범위에서 선정하도록 권장하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 표준편차를 중간값 범위에서 일괄적으로 42kg/cm²(약 600psi)로 정하였으며, 설계기준 강도에 따른 고강도 콘크리트의 배합강도는 [표 1]과 같다.

[표 1] 설계기준강도 및 배합강도

배합명	설 계 기준강도	배합강도		비고
		JASS 5	ACI 363	
No. H1	420	504	483	psi≒0.07 kg/cm ² 단위: kg/cm ²
No. H2	490	574	553	
No. H3	560	644	623	
No. H4	630	714	693	

JASS 5의 배합설계식은 불량율을 2.3%로 일반 콘크리트의 4%보다 하향조정된 것으로 ACI 363제안식에 비해 안전값이 높기 때문에 배합강도 산정은 ACI 363제안식을 기준으로 하여 정하였다.

2.2 배합변수 및 범위

[표 1]에서 정한 설계기준강도 및 배합강도를 만족하기 위한 배합변수는 물/시멘트비, 단위 시멘트량, 혼화재의 사용유무를 대상으로 [표 2]와 같이 선정하였다.

배합변수는 시공사례^{(1)~(5)} 및 ACI 363보고서⁽⁶⁾, 高強度 콘크리트의 技術現狀⁽⁸⁾ 등을 참고하여 선정된 것이다.

[표 2] 배합변수

구 분	No. H1	No. H2	No. H3	No. H4
설계기준 강도	420 kg/cm ²	490 kg/cm ²	560 kg/cm ²	630 kg/cm ²
물/시멘트비	33~45%		27~33%	
단위수량	150~185kg/m ³			
잔골재율	33~45%			
혼화재	플라이애쉬 치환		실리카흙 치환	

2.3 사용재료

(1) 시멘트

현재, 국내에서 생산되는 보통 포틀랜드 시멘트(1종)를 기본으로 사용하며, 강도수준에 따라 플라이애쉬 및 실리카흙을 시멘트의 중량비(內割)로 치환하도록 하였다. 시멘트의 화학적 시험 결과는 시험성적표로 확인하였으며, 품질시험 결과는 [표 3]과 같다.

시멘트의 품질시험 결과, 대부분 규준을 만족하는 것으로 나타났으며 본 연구에서는 D, 및 S, H사의 시멘트를 대상으로 시험을 실시하였다.

(표 3) 시멘트의 물성시험 결과

구분	항목	비 중	분말도 (cm ² /g)	안정성 (%)	응결시간 (길모아)		압축강도 (kg/cm ²)	
					초결 (min)	종결 (hr)	7일	28일
	D사	3.12	3,231	0.31	166	4 : 57	278	386
	S사	3.10	3,250	0.28	205	6 : 30	280	370
	H사	3.08	3,303	0.21	245	7 : 20	267	357
	KS L 5201	3.05 이상	2,800 이상	0.8 이하	60분 이상	10시간 이하	200 이상	290 이상

(2) 골재

사용된 굵은골재는 균산석산의 20mm 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 바닷모래의 세척사와 강모래를 혼합한 것으로 품질시험 결과는 [표 4]와 같다.

여기서, 고강도 콘크리트용 골재의 품질은 마모율을 하향조정(토목학회 기준 40%이하) 하였으며, 실적율을 추가하였다. 향후, 고강도 콘크리트용 골재에 대한 품질관리 기준이 정립되어야 하며, 본 연구에서는 JASS 및 ACI 363 기준을 準用하였다. 잔골재의 鹽化物量은 0.007%로 기준이하를 만족하였다.

(표 4) 골재의 품질시험 결과

항목	종류	잔골재		굵은골재	
		결과	기준	결과	기준
비중		2.58	2.5이상	2.76	2.5이상
조립율(F.M)		3.12	-	6.12	-
흡수율(%)		0.76	3.0이하	0.65	3.0이하
마모율(%)		-	-	16.8	25이하
실적율(%)		63.1	60이상	58.7	57이상
단위중량 (kg/m ³)		1,621	-	1,540	1,250 이상

(3) 고성능 감수제

(표 5) 고성능 감수제의 품질시험 결과

구분 종류	비중	pH	고형분 (%)	감수율 (%)	사용량 (C×%)	색상
G사	1.21	8.2	41.0	15~30	0.4~2.0	암갈색
J사	1.22	8.5	38.8	15~30	0.3~2.5	암갈색

고강도 콘크리트는 낮은 물/시멘트비(또는 물/결합제비)로 제조되기 때문에 고성능 감수제를 사용해야 한다. 물론 공기연행제를 사용하지 않고 耐久性을 확보할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 AE제 사용을 배제하였다. 고성능 감수제는 나프탈렌계로 국내에서 시판되는 G社, J社의 제품을 사용하였으며, 품질시험 결과는 [표 5]와 같다.

(4) 혼화제

혼화제는 보령 화력발전소에서 생성되는 F급 플라이애쉬 및 노르웨이 Elkem社의 마이크로 실리카를 사용하였으며, 품질시험 결과는 [표 6]과 같다.

여기서, 산화물은 SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃를 의미한다. KS L 5405기준은 플라이애쉬에 국한된 것이며, 실리카 함의 경우에는 이에 준용하여 품질시험 결과를 비교하였다.

(표 6) 혼화제의 품질시험 결과

구분	특성	화학적 성분(%)구분				물리적 성능	
		산화물	MgO	습분	강열 감량	비중	분말도 (cm ² /g)
Fly Ash		79.3	0.43	0.14	3.8	2.20	3,214
Silica Fume		94.3	0.8	0.21	3.1	2.23	197,000
KS L 5405		70 이상	5.0 이하	1.0 이하	6.0 이하	1.95 이상	2,400 이상

국내에서 생산되는 플라이애쉬는 流動性 改善, 水和熱 減少, 장기강도 향상에는 효과적이거나, 초기강도 저하 및 응결시간 지연효과가 있는 것으

로 알려져 있기 때문에 배합상 고려해야 할 것으로 사료된다.

또한, 실리카 흡은 미세분말로 比表面積이 크기 때문에, 강도증진은 물론, 포졸란 반응성에 의한 장기강도 및 내구성 향상에 효과적인 것으로 연구사례⁽⁹⁾에 잘 나타나 있다.

2.4 시험배합

시험배합은 혼화재의 치환에 따른 단위수량비, 압축강도 시험과 각각의 설계기준강도에 따른 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 특성시험을 통해 최적배합을 선정하도록 하였다.

(1) 혼화재의 특성시험

혼화재를 사용할 경우에 발생하는 단위수량 및 강도변화를 예측하기 위하여 KS L 5405에 따른 단위수량비 및 압축강도비 시험을 실시하였으며, 시험결과는 [표 7]과 같다.

[표 7] 혼화재의 특성시험 결과

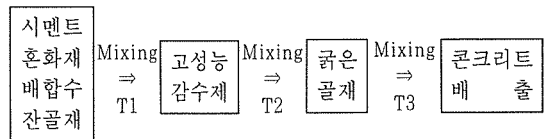
구분 항목	시멘트 (g)	표준사 (g)	혼화재 (g)	배합수 (ml)	단 위 수량비	압 축 강도비
표 준 모르타르	500	1,250	-	동일	102% 이하	60% 이상
Fly Ash	382.5	1,250	127.5	±5mm	100%	97%
Silica	382.5	1,250	127.5		109%	117%

혼화재의 특성시험 기준은 각국에 따라 약간 차이가 있다. JIS R 5201에 따르면, 혼화재를 시멘트 중량비로 25% 치환하여 시험하도록 규정하고 있다. 또한 ASTM C 150의 경우, 시멘트의 중량비로 20% 치환하도록 규정하고 있다.

KS L 5405에 따른 실험결과, 압축강도비는 모두 만족하지만, 단위수량비는 실리카흡을 혼화재로 사용할 경우 규준값(102%)보다 약간 높은 값을 나타내었다. 이는 플라이에쉬의 구형입자로 인한 Ball Bearing효과 및 실리카흡의 고분말에 따른 영향으로 사료되며, 콘크리트 배합조건을 선정할 때 고려해야 할 것이다.

(2) 배합방법

고강도 콘크리트는 재료를 투입하는 순서에 따라 콘크리트의 성능이 달라진다.⁽⁷⁾ 이는 기존의 일괄투입방법과 분할방법으로 나누며, 분할방법에는 先-모르타르배합, 乾(空)배합, 배합수 분할배합(Double Mixing) 등이 대표적이다. 본 연구에서는 비교적 성능이 우수한 先-모르타르배합을 선정하였으며, 재료투입 및 배합시간은 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 고강도 콘크리트 배합방법

사용된 믹서는 용량이 100 l, 27rpm인 강제식으로 1배치에 40 l 씩 각 변수별 고강도 콘크리트를 제조하였으며, 총 배합시간(T1+T2+T3)은 3분으로 하였다.

3. 최적배합 시험결과 및 고찰

3.1 최적배합 조건

설계기준강도에 따른 배합강도로 부터 최적배합조건을 선정하기 위하여 물/시멘트비를 각각 3Case씩 배합시험을 실시하였다. 굳지않은 콘크리트는 목표슬럼프 20±2cm, 공기량 2%로 하였으며, 최적배합 조건은 [표 8]과 같다.

시험배합을 통해 컨시스턴시 및 材料分離 사항을 측정하고, 잔골재물 및 고성능 감수제의 첨가량을 조절하였다. 고강도 콘크리트는 결합재량이 증대되기 때문에, 粘性이 크고 材料分離 경향이 감소된다. 이러한 특성 때문에 슬럼프만으로 워커빌리티를 평가하기는 쉽지 않다. 따라서, 슬럼프 플로우, 펌프 압송성, 다짐성능 등으로 평가하는 방안이 요구되며, 본 실험에서는 슬럼프 플로우

(표 8) 콘크리트 배합조건

No.	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m ³)						S.P (%)
			C	F/A	S/F	W	S	G	
H1-1	30	40	400	100	-	150	679	1089	1.7
H1-2	33	45	400	100	-	165	746	975	1.3
H2-1	35	41	471	-	-	165	704	1083	1.2
H2-2	37	45	500	-	-	185	739	966	1.1
H3-1	30	38	500	50	-	165	620	1082	1.5
H3-2	31	38	500	40	10	165	615	1073	1.6
H4-1	29	38	477	-	53	155	636	1109	2.1
H4-2	30	38	477	-	53	160	626	1106	2.0

우를 측정, 평가하였다.

3.2 최적배합 실험결과

최적배합에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성 및 채령별 강도특성은 [표 9]와 같다.

슬럼프 시험은 KS F 2402에 따라 실시하였으며, 슬럼프 플로우는 슬럼프 시험시에 퍼짐길이를 측정하였다. 또한 공기량 시험은 KS F 2421에 따라 Washington Air Meter를 사용하여 측정하였다. 압축강도 시험은 KS F 2403 및 KS F 2405에 따라 실시하였으며, 캡핑은 강도 편차가 비교적 적은 유황 컴파운드를 사용하였다.

(1) 고성능 감수제의 첨가량과 슬럼프

강도별 목표슬럼프(20±2cm)를 확보하기 위한 고성능 감수제의 첨가량은 [그림 2]와 같다.

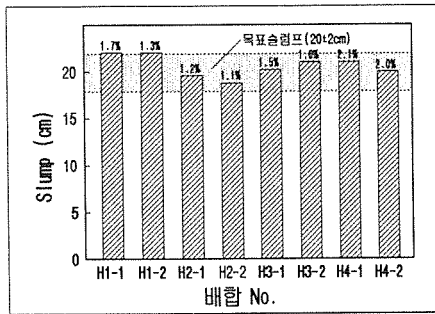
목표슬럼프를 확보하기 위하여 첨가하는 고성능 감수제량은 물/결합재비, 혼화재의 종류 및 치환율에 따라 다른 경향을 나타내었다.

물/결합재비가 낮을 수록 결합재 분산에 필요한 고성능 감수제량이 증대되며, 플라이애쉬 및 실리카 흙을 첨가한 배합은 일반 배합보다 증대되는 경향을 보였다. 특히, 실리카 흙을 치환한 배합의 경우에는 혼화재 특성시험 결과와 마찬가지로 단위수량비 증대에 따른 영향으로 사료 된다.

또한, 동일한 슬럼프를 확보하기 위한 고성능

(표 9) 최적배합 시험결과

No.	W/C (%)	S/a (%)	콘크리트 특성			압축강도(kg/cm ²)		
			Slump (cm)	Flow (cm)	Air (cm)	3일	7일	28일
H1-1	30	40	22.0	50	1.8	294	352	486
H1-2	33	45	22.0	52	2.0	219	318	480
H2-1	35	41	19.5	41	2.1	344	451	561
H2-2	37	45	18.5	39	2.3	310	446	556
H3-1	30	38	20.2	46	2.0	344	524	632
H3-2	31	38	21.0	48	1.9	352	540	675
H4-1	29	38	21.0	42	1.9	421	592	715
H4-2	30	38	20.0	40	2.2	414	587	702



(그림 2) 고성능 감수제 첨가량과 슬럼프

감수제의 첨가량은 G社의 제품이 J社에 비해 적은 것으로 나타났는데, 이는 분산성능 및 고형성분의 차이로 사료된다.

슬럼프 플로우의 특성은 플라이애쉬를 치환한 배합이 큰 것으로 나타났는데, 이는 구형입자의 Ball Bearing 작용에 따른 워커빌리티 증대 및 점성증대에 따른 변형성이 크기 때문으로 사료된다. 그러나, 실리카 흙은 강도발현의 효과에 비해 워커빌리티 증진은 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

공기연행을 하지 않은 상태에서 혼화재의 미연 탄소 성분은 따른 공기량 흡착효과는 나타나지 않았으며, 耐久性이 요구되는 구조물의 경우 공기연행을 고려할 필요가 있을 것이다.

(2) 응결 및 블리딩

동일한 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용한 경우, 혼화재의 종류 및 치환량에 따른 凝結特性은 약간의 차이가 있다. 플라이애쉬를 사용한 H1의 경우에는 약 2~3시간 정도의 응결 지연 현상이 나타났다. 이는 주로 미연탄소 및 바나늄(V_2O_5)의 영향으로 알려져 있으며, 향후 양생 및 거푸집 존치시간 관계를 함께 고려해야 할 것으로 사료된다.

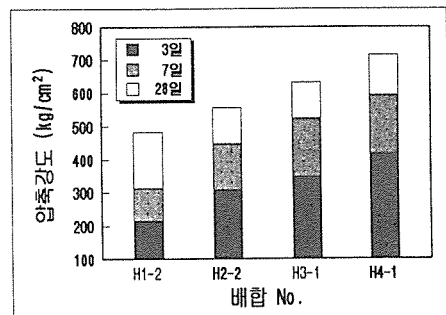
실리카 흙 및 플라이애쉬를 사용한 배합에서는 블리딩이 거의 발생하지 않았으며, 물/시멘트비가 37%인 H2-2 시험체에서는 $0.15\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 정도의 블리딩이 발생하였으나 거의 무시할 수 있

는 수준이었다. 이는 콘크리트의 미립입자의 증대 및 단위수량 감소에 따른 수밀성 증대효과로 사료된다. 그러나, 블리딩 비율이 낮을 수록 증발량에 대한 품질관리를 엄격히 하여야 건조수축 균열의 발생을 막을 수 있기 때문에, 이에 따른 양생대책도 필요할 것으로 본다.

(3) 배합조건별 강도특성

각각의 배합조건에 따른 재령별 강도시험 결과는 [그림 3]과 같다.

플라이애쉬를 치환한 경우(H1)에는 초기강도 발현이 약간 저하되나, 실리카 흙을 치환한 경우



(그림 3) 변수별 · 재령별 압축강도

(H4)에는 강도발현성이 매우 우수하였다.

28일에 대한 7일강도 발현율은 플라이애쉬를 20% 치환한 H1시리즈(설계기준강도 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 제외하고 대부분 80% 이상을 나타내어 고강도 콘크리트의 초기강도 발현성이 높다는 것을 알 수 있다. 이는 향후 현장적용시 거푸집 존치시간을 줄일 수 있으며, 凍害에 대한 초기강도 확보에도 유리한 것으로 판단된다.

플라이애쉬의 경우에는 치환율이 높을 수록, 응결 및 초기강도 발현이 지연되기 때문에 이에 대한 대책도 필요할 것으로 사료된다.

3.3 최적배합 선정

실험결과, 최적배합 조건은 [표 10]과 같다.

[표 10] 고강도 콘크리트의 최적배합 조건

No.	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m ³)						S.P (%)
			C	F/A	S/F	W	S	G	
No H1	33	45	400	100	-	165	746	975	1.3
No H2	37	45	500	-	-	185	739	966	1.1
No H3	30	38	500	50	-	165	620	1082	1.5
No H4	29	38	477	-	53	155	636	1109	2.1

최적배합 조건은 물/결합재비가 29~37%. 단위결합재량이 500~550kg/m³이며, 플라이애쉬의 치환율은 9~20%, 실리카흙의 치환율은 10%이다. 또한 잔골재율은 38, 45%로 선정하였다.

3.4 경시변화 특성

고강도 콘크리트는 고성능 감수제에 의해 시멘트 입자를 분산시켜 요구되는 워커빌리티를 확보하기 때문에, 시간이 경과하면 입자간의 凝集作用이 일어나게 된다. 특히, 콘크리트 공급체계가 레미콘 공장에서 타설현장으로 운반하며, 도심지의 공사일 경우 운반시간의 지연으로 인한 슬럼프 손실문제가 대두되고 있다.

이러한 특성파악을 위해 각 배합조건별 경시변화 특성시험을 실시하였으며, 결과는 [표 11] 및 [그림 4]에 나타난 바와 같다.

슬럼프 손실을 최소화하는 방안으로 초기 고성능 감수제 첨가량을 약간 상향조정하여, 슬럼프를 22cm로 하였다. 실험결과, 동일한 고성능 감

수제를 사용하더라도 혼화재를 사용하지 않는 배합(No.H2)은 슬럼프 손실이 큰 것으로 나타났다.

그러나, 플라이애쉬를 사용한 배합(No. H1 및 No. H3)은 응결지연 효과로 슬럼프 維持性能이 증대되었으며, 치환율이 높을 수록 효과적인 것으로 나타났다. 실리카 흙을 치환한 배합 (No. H4)은 지연효과가 크지 않았다.

따라서, 夏季工事 또는 도심지 교통혼잡 등으로 운반시간이 지연될 경우에는 지연형을 함께 사용하는 방안이 바람직할 것이다.

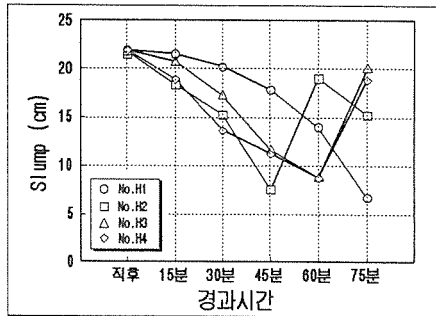
3.5 수화열 특성

콘크리트의 수화열은 단위시멘트량, 물/시멘트비, 단면크기, 외기온 등의 영향을 많이 받는다. 특히, 고강도 콘크리트는 단위시멘트량이 증가하기 때문에 수화열 발생이 높고, 따라서 온도균열에 대한 우려가 증가된다.

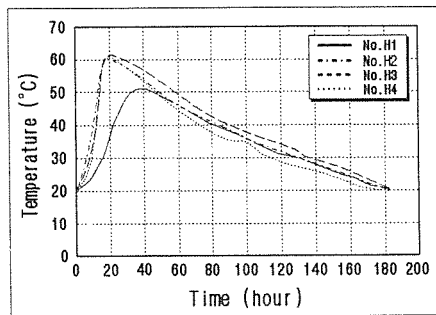
본 연구에서는 수화열 특성을 측정하기 위하여 50x50x50cm 단열부재를 제작하였다. 센서는

[표 11] 경시변화 특성시험

특성 No.	경시변화에 따른 슬럼프(cm)						비 고
	직후	15분	30분	45분	60분	75분	
No. H1	22.0	21.6	20.2	17.8	14.2	7.1*	* S.P제 후첨가 0.2~0.4%
No. H2	21.5	18.0	15.3	7.5*	19.0	15.2	
No. H3	22.0	21.0	17.2	12.0	8.7*	20.1	
No. H4	22.0	18.5	14.2	11.3	8.5*	18.5	



(그림 4) 경시변화에 따른 슬럼프



(그림 5) 각 배합조건별 수화열 특성

Thermo-Couple를 사용하였으며, 측정결과는 (그림 5)와 같다.

수화열 특성은 플라이애쉬를 치환한 H1의 경우, 수화열 온도 상승구배가 완만하며 최대온도 약 5~10℃ 저감되었다. 특히, 최고 온도에 도달하는 시간이 지연되기 때문에 온도응력에 의해 균열가능성을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 그러나, 실리카 흙의 경우(H4)에는 수화열 저감효과 및 지연효과가 크지 않은 것으로 나타났다.

향후, 현장 실용화에 따른 온도균열 제어방안으로 플라이애쉬 및 지연제를 사용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

4. 맺음말

본 연구는 지역적인 특성을 감안한 고강도 콘크리트의 재료 및 배합특성을 검토한 것으로 수행한 연구결과 정리하면 다음과 같다.

① 설계기준강도가 400kg/cm² 이상일 경우에는 ACI 363 배합설계식을 사용하는 것이 바람직하며, 품질관리상 편차를 줄이는 방안이 필요하다.

② 본 연구에 사용된 시멘트, 혼화제 및 균산지역에서 생산되는 골재 등은 고강도 콘크리트 생산에 적합하였다.

③ 플라이애쉬는 단위수량비를 만족하지만, 실리카 흙을 사용할 경우에는 단위수량 및 고성능 감수제 첨가량을 증대시켜야 한다.

④ 목표슬럼프를 20±2cm로 하였을 경우, 고성능 감수제의 첨가량은 물/시멘트비가 낮을수록, 혼화제의 치환율이 증가할수록 증대하는 경향을 나타내었다.

⑤ 플라이애쉬를 20% 치환한 경우에 1~2시간의 응결지연 현상이 발생하였으며, 블리딩은 대부분의 고강도 콘크리트 배합에서 발생하지 않았다.

⑥ 물/결합재비, 혼화제 치환율, 결합재량에 따라 배합강도 480~715kg/cm²를 확보할 수 있었으며, 설계기준강도 및 배합강도에 따른 표준편차를 만족하였다.

⑦ 경시변화 특성은 플라이애쉬를 시멘트의 내할로 치환한 경우가 가장 우수하였으며, 1시간 정도의 품질관리를 확보할 수 있었다.

⑧ 플라이애쉬를 치환하면 고강도 콘크리트의 수화열을 저감하는 효과가 높다.

참고문헌

- (1) 朴沘林, 權寧鎬 外, "700kg/cm² 高强度 콘크리트의 現場適用", 한국콘크리트학회, 가을 학술 발표 논문집 제5권 2호, pp.124~131, 1993

- (2) 申成雨, 張一永 外, “現場實用化를 위한 高强度 콘크리트의 레미콘 製造 및 生産”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제7권 1호, pp.189~194, 1995.
- (3) 吳炳煥 外, “高强度 콘크리트의 역학적 특성 및 現場打設 實驗研究”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제6권2호, pp.83~86, 1994
- (4) 金武漢, “高强度 流動化 콘크리트의 製造 및 工學的 特性”, 韓·日 고성능콘크리트 국제심포지움 발표논문집, pp.131~170, 1994. 11
- (5) 韓千求 外, “高强度 레미콘 構造體適用에 관한 實驗的 研究(1)~(4)”, 대한건축학회 춘계학술 발표논문집 제15권1호, pp.557~572, 1995.
- (6) ACI Committee 363, “State-of-the-Art-Report on High Strength Concrete”, No.353R-84, Detroit, July-Aug. 1984.
- (7) “建築工事標準仕様書·同解説”, JASS 5 鐵筋콘크리트工事, 1991.
- (8) “高强度콘크리트의技術의現狀-第2編 材料施工編”, 日本建築學會, pp.25~204, 1991.
- (9) Ivanov, Y.P., “The effect of condensed silica fume on the rheological behavior of cement paste”, Proceedings, International conference on rheology of fresh cement and concrete, Editor: Banfill, P.F.G., Liverpool, UK, 1990.

양생시에는 콘크리트에 진동이나 충격을 주지 않도록 각별히 주의한다.

