

고강도 콘크리트의 실용화를 위한 연구

A Study for the Application of High-Strength Concrete

○ 이 장 화 ** 유 영 찬 * 민 병 렬 * 김 공 환 ***
Lee, Jang-Hwa You, Young-Chan Min, Byung-Yeol Kim, Keung-Hwan

ABSTRACT

Tests were conducted to get a mix proportioning of high strength concrete between σ_{28} and (c/w) using low quality materials easily purchased in situ. Superplasticizer was used as a chemical admixture to compensate low slump of base concrete keeping it up about 15 ± 2 cm. General material properties such as modulus of elasticity, poisson's ratio, unit weight and stress-strain characteristic of high strength concrete were obtained. Test results show that mix proportioning of high strength concrete proposed in this paper have reasonable validity and these can be used as a design criteria in high strength concrete construction.

1. 서 론

고강도콘크리트는 고층건물의 콘크리트 시공 및 장기간 콘크리트 교량의 건설 등 종래에 불가능했던 일들을 가능하게 하고 있으며 부재의 단면감소로 인한 자중의 감소로 인하여 구조물의 내진성능 향상에도 많은 기여를 하고 있다. 또한 고강도콘크리트를 이용한 구조물이 철골 구조물의 경우보다 경제성이 훨씬 높아 건설비의 절감을 가져올 수 있다. 따라서 선진 외국에서는 고강도콘크리트의 건축물에서의 적용을 위하여 재료자체의 개발은 물론 고강도콘크리트를 이용한 부재들의 역학적 성질 및 내진성능 향상에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.

이와같이 고강도콘크리트에 관한 연구가 미국, 일본 등 선진국에서는 $700 \sim 1300 \text{kg/cm}^2$ 수준에 도달되어 있고 다각적인 실용화 방안이 제시되었으며 실제 시공상에도 많이 적용되고 있음에도 불구하고 국내에 이를 도입·적용할 수 없는 가장 큰 이유중의 하나는 콘크리트를 구성하는 재료의 지역적 차이에 의해 외국에서 제시된 표준배합표를 직접 국내 현실에 적용할 경우 많은 무리가 따르기 때문이다. 또한 국내에서는 최근의 시대적 요구에 따라 일부대학 및 연구소, 또는 기업자체의 연구를 통하여 고강도콘크리트의 개발 및 건축물에서의 적용을 위한 부재실험을 일부 수행하고 있으나 직접 현장에 적용할 수 있는 현장조건에 의한 실험과 고강도콘크리트배합 설계시 가장 문제가 되는 시공성확보를 위한 소요슬럼프 유지 등의 분야는 계속적인 연구가 필요하다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 고강도콘크리트의 목표강도를

상향 확보하는 관점보다는 일정수준 (400kg/cm^2 정도)의 고강도콘크리트를 초고층 구조물 건설시에 실용화시키는 것을 목적으로 하여 시공성확보를 위한 소요슬럼프 유지를 우선으로 하고 재료선정 및 실험조건을 국내의 현실적인 현장조건에 근접하는 가능한 불리한 조건을 설정하여 국내현장에 직접 적용이 가능하도록 실험을 실시하였다.

2. 재료 선정

2.1 시멘트

국내의 일반현장에서 사용되고 있는 시멘트는 국내 내수용으로 제작회사에 관계없이 무작위로 선택되고 있으며 또한 어느 정도 풍화가 진행된 상태라 예상되기 때문에 본 실험에서는 이에 준하는 제품을 선택하였다. 다만 시험의 일관성을 유지하기 위하여 시중에 유통되고 있는 단일회사 (S사)의 제품을 사용하였으며 선택된 시멘트는 비중시험결과 비중이 3.1로 나타났다.

2.2 골재

잔골재는 한강상류지역의 3종류를 선정하여 체가름 시험을 실시한 후 각체의 표준입도를 모두 만족시키고 고강도콘크리트에 유리하다고 제안되어진 조립율 2.7~3.2의 하한치를 나타내고 있는 미사리골재를 선택하였다. 굵은 골재는 굵은골재 최대치수가 25mm인 안양산 채석골재를 선택하였으며 선택된 골재의 로스엔젤레스 마모시험에 의한 마모율은 40%로서 규준이 정하는 최대치 값을 나타내고 있다. 선택된 골재의 물리적 성질을 도표로 나타내면 표 1 과 같다.

2.3 혼화제

고강도 콘크리트는 물·시멘트비가 낮고 단위수량

* 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원
** 한국건설기술연구원 구조연구실 선임연구원
*** 한국건설기술연구원 구조연구실장, 공박

표 1. 골재의 물리적 성질

종 류	최대 입경 (mm)	비 중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)
찬 골재		2.634	1.52	2.74
굵은골재	25	2.600	0.75	7.16

이 적기때문에 감수제 계통의 혼화제를 사용하지 않을 경우 적절한 작업성(Workability)을 확보하기 어렵다. 본 실험에서는 콘크리트의 제성질에 해로운 영향을 끼치지 않으면서 종래의 감수제에 비해 감수효과가 탁월한 ASTM C494 Type A & F로 규정된 나프탈린계의 고성능 감수제와 ASTM C260로 규정된 Sulfonated hydrocarbon 염을 주성분으로 하는 공기연행제를 사용하였다. 사용된 혼화제의 성분 및 성상은 표 2와 같다.

표 2. 혼화제의 성분 및 성상

	종 류	형태	성 분	비 중	표준사용량
고성능감수제	ASTM C494 Type A&F	액 상	Naphtalene Polymers	1.21	0.36~3.0%
공기 연행제	ASTM C260	액 상	Sulfonated hydrocarbon염	1.03	0.04~0.07%

3 배합 설계

3.1 배합설계 변수

본 연구에서 고려된 실험변수는 아래와 같으며 이를 도표로 나타내면 그림 1과 같다.

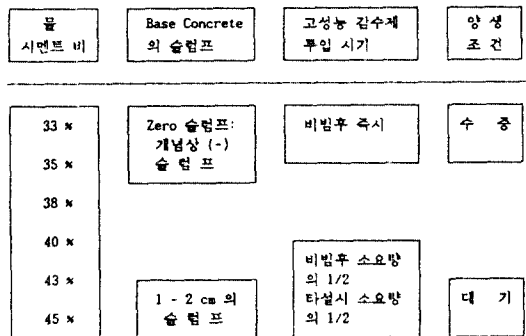


그림 1. 배합설계 변수

(1) 물·시멘트비

고려된 물·시멘트비는 초고층 구조물에 실제로 적용할 것을 목표로 하고 있기 때문에 도입 초기단계임을 고려하여 33%~45%로 하였다.

(2) Base Concrete의 슬럼프

사용되는 고성능감수제량은 고성능감수제를 첨가하지 않은 Base Concrete 상태의 슬럼프를 개념상 (-) 슬럼프로 한 후 고성능감수제로 소요슬럼프를 보정할 경우의 단위 시멘트량과 Base Concrete의 슬럼프를 1

~2cm 정도 확보한 후 고성능 감수제로 소요슬럼프를 보정할 경우의 단위시멘트량에 따라 달라진다.

(3) 고성능 감수제 투입시기 및 투입량

레미콘을 생산하여 현장까지 운반하는 시간은 건설부제정 콘크리트 표준시방서에서 온난건조시 운반 타설까지의 시간을 60분으로 제한하고 있다. 따라서 이와같은 시간의 간격을 고려하기 위하여 고성능감수제의 투입량을 비빔직후 소요량의 1/2, 운반후 타설직전 나머지 1/2을 투입하였다.

(4) 양생조건 (수중, 대기)

대기양생조건은 실험실 내에서 타설 후 3일까지 하루 1회 표면이 젖을 정도의 물을 뿌리고 비닐로 덮어 수분의 증발을 억제하였으며 이후 야외에 방치하는 것으로 하였다.

3.2 배합설계 결과 및 분석

이상의 배합조건 및 설계변수로부터 시험배합을 실시하였으며 목표 슬럼프 15±2cm에 대하여 표 3과 같은 표준 배합표를 얻었다.

표 3. Case 별 표준 배합표

Case	굵은골재 최대 입경 (mm)	슬럼프 (cm)	물 시멘트 비 (%)	단 위 량 (kg/m³)				S.P. 계 (%)	
				물	시멘트	찬골재	굵은골재		
1	25	17	33	165.0	500.0	606.3	1113.2	1.0	
	25	17	35	157.5	450.0	628.1	1153.1	1.7	
	25	16	38	163.4	430.0	628.6	1154.1	1.0	
	25	17	40	164.0	410.0	670.2	1128.1	1.3	
	25	17	43	167.7	390.0	672.9	1132.6	1.0	
25	17	45	37	166.5	370.0	680.3	1145.1	1.3	
2	25	16	33	231.0	700.0	486.2	892.6	0.3	
	25	17	35	210.0	600.0	535.2	982.7	0.3	
	25	14	38	190.0	500.0	583.2	1071.0	0.5	
	25	17	40	180.0	450.0	642.8	1080.8	0.5	
	25	15	43	184.9	430.0	643.6	1083.3	0.5	
25	16	45	37	180.0	400.0	657.8	1107.2	0.3	
3	Case	25	13	35	157.5	450.0	628.1	1153.1	2.0
	25	17	40	37	164.0	410.0	670.2	1128.1	1.5
	25	15	45	37	166.5	370.0	680.3	1145.1	1.6
4	Case	25	15	35	210.0	600.0	535.2	982.7	0.9
	25	15	40	37	180.0	450.0	642.8	1080.8	1.2
	25	15	45	37	180.0	400.0	657.8	1107.2	0.6

- Case 1 : Base Concrete 상태에서 개념상(-) 슬럼프에 대한 배합설계.
- Case 2 : Base Concrete 상태에서 1~2cm의 슬럼프에 대한 배합설계.
- Case 3, Case 4 : 각각 위의 두 조건에 대하여 고성능 감수제를 비빔직후 소요량의 1/2, 1시간후 나머지 1/2을 투입한 경우

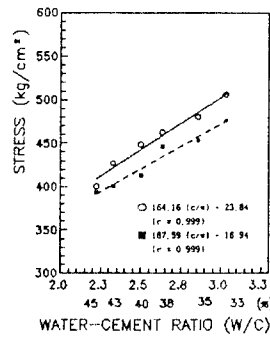
4 실험결과와 비교·분석

표 3에 의한 배합설계에 대하여 각각 공시체를 제작한 후 재령에 따른 압축강도 시험을 실시하였다. 시험체의 재하는 용량 100t의 유압식 시험기를 사용하였으며 매초 1.5~3.5 kg/cm²의 일정한 속도로 하중을 가하였고 가해진 하중은 50t 용량의 Load Cell

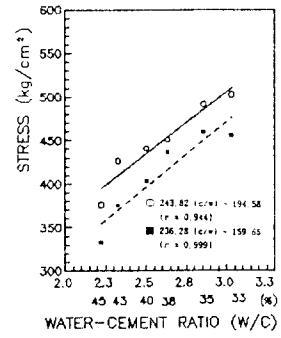
을 통하여 측정하였다. Capping 재료로는 시멘트 모르터를 사용하였으며 시험에 의해 얻은 각 배합설계별 압축강도는 표 4와 같다.

표 4. 배합설계별 압축강도

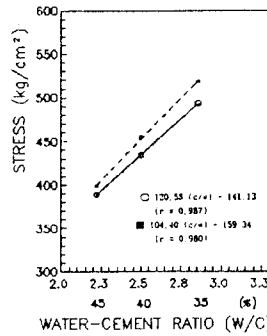
	w/c	3일 강도(kg/cm ²)		7일 강도(kg/cm ²)		28일 강도(kg/cm ²)	
		수 중	대 기	수 중	대 기	수 중	대 기
Case 1	33	410.0	354.3	445.0	421.0	506.3	476.3
	35	367.6	340.0	420.0	411.7	480.0	453.0
	38	315.5	312.3	370.3	352.1	462.2	445.6
	40	308.8	294.1	354.3	334.2	448.2	412.9
	43	241.5	214.2	346.7	288.8	427.1	400.1
	45	240.7	211.3	309.4	273.9	400.0	393.3
Case 2	33	361.0	314.2	397.5	362.7	502.6	455.5
	35	304.7	267.7	374.3	331.2	491.8	459.5
	38	300.0	257.0	349.0	334.2	450.0	436.0
	40	268.7	249.0	343.6	330.0	440.5	403.3
	43	211.3	188.0	309.5	291.1	424.4	375.1
	45	191.6	182.7	280.7	243.3	375.8	332.4
Case 3	35	374.3	369.8	443.0	436.0	493.0	518.0
	40	378.8	342.2	401.0	427.8	433.9	454.3
	45	322.6	291.5	327.4	381.0	388.8	298.6
Case 4	35	361.0	372.0	407.8	391.7	488.0	502.9
	40	378.8	370.0	394.4	397.5	446.1	460.5
	45	232.6	227.3	294.1	273.6	374.3	348.8



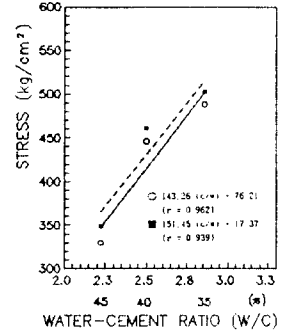
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4

4.1 압축강도

배합설계에 의해 얻은 콘크리트 압축강도를 물·시멘트비에 대하여 1차 회귀 분석함으로써 고강도 콘크리트 배합설계를 위한 초기 단계에서 필요한 물·시멘트비와 28일 압축강도와의 관계식을 얻을 수 있다 (그림 2). 도표안에 나타낸 식은 물·시멘트비에 대한 강도의 함수를 1차 회귀분석한 값이고 r은 상관계수(Correlation Coefficient) 값이며 직선은 수중양생, 점선은 대기양생을 나타내고 있다. 그림 2 (a), (b)에서 보는 바와 같이 제안된 배합설계식은 미국 개척국(Bureau of Reclamation) 콘크리트편람에서 제시한 배합식과 유사한 경향을 나타냄으로써 본 제안식의 타당성을 간접적으로 입증하고 있다. 따라서 본 제안식은 실용식으로 사용 가능하다고 판단된다.

한편 Case 3과 Case 4는 각각 Case 1과 Case 2와 동일 배합 조건하에서 콘크리트의 운반거리를 고려하여 약 1시간 동안 비빔을 계속한 경우로 비빔시의 온도 및 습도에 상당한 영향을 받아 물·시멘트에 대한 강도특성의 변화가 커진 것으로 판단된다. 따라서 본 조건하에 대해서는 더 많은 실험을 통하여 합리적인 배합설계식의 유도가 필요하다고 사료된다.

4.2 28일 강도 추정식

고강도콘크리트는 일반콘크리트에 비해 강도가 조기 발현되므로 일반콘크리트로의 적용을 목적으로 제안된 28일 강도 추정식은 고강도콘크리트의 경우 28일 강도를 과대평가하게 된다. 따라서 각 배합설계별로 얻은 7일 강도에 대하여 기 제안식들을 적용시키

그림 2. 물·시멘트비와 28일 압축강도와의 관계

고 28일 강도와 비교하여 제안식들의 적용성을 검증하였다 (표 5)

표에서 보는 바와 같이 수중양생의 경우를 기준으로 했을때 기존에 제안된 제안식들 모두 28일 강도에 대하여 7일강도가 400kg/cm²이상인 경우 약 20%, 300~400 kg/cm²인 경우 약 10%정도 실험값보다 높은 값

표 5. 콘크리트 28일 강도 추정식에 대한 비교

	w/c	실험치(kg/cm ²)		Slater		JASS 5		CEB - FIP	
		7 일 강도	28 일 강도	28 일 강도	제안식 실험치	28 일 강도	제안식 실험치	28 일 강도	제안식 실험치
Case 1	33	445.0	506.3	613.8	1.21	630.8	1.25	684.6	1.35
	35	420.0	480.0	584.0	1.22	597.0	1.24	646.2	1.35
	38	370.3	462.2	524.2	1.13	529.9	1.15	569.7	1.23
	40	354.3	448.2	504.9	1.13	508.3	1.13	545.1	1.22
	43	346.7	427.1	495.7	1.16	498.0	1.17	533.4	1.25
	45	309.4	400.0	450.1	1.13	447.7	1.12	476.0	1.19
Case 2	33	397.5	502.6	557.0	1.11	566.6	1.13	611.5	1.22
	35	374.3	491.8	529.1	1.08	535.3	1.09	575.8	1.17
	38	349.0	450.0	498.5	1.11	501.1	1.11	536.9	1.19
	40	343.6	440.5	491.9	1.12	493.9	1.12	528.6	1.20
	43	309.5	424.4	450.2	1.06	447.8	1.06	476.2	1.12
	45	280.7	375.8	414.7	1.10	408.9	1.09	431.8	1.15
Case 3	35	443.0	493.0	611.4	1.24	628.0	1.27	681.5	1.38
	40	401.1	433.9	561.3	1.29	571.5	1.32	617.1	1.42
	45	372.4	388.8	526.8	1.35	532.7	1.37	572.9	1.47
Case 4	35	407.8	488.3	569.4	1.17	580.5	1.19	627.4	1.28
	40	394.4	446.1	553.3	1.24	562.4	1.26	606.8	1.36
	45	344.8	374.3	494.3	1.32	495.5	1.32	530.5	1.42

을 나타내고 있다. 따라서 기존의 제안식들은 7일 강도가 300 kg/cm² 이상인 고강도콘크리트에는 적용하기 어려울 것이라 판단되며 JASS 5의 제안식에 근간한 새로운 추정식을 제안하기 위하여 Case별로 7일강도와 28일 강도를 도표로 나타내었다 (그림 3).

제안된 28일 강도 추정식은 고강도콘크리트의 강도발현 특성을 어느 정도 반영한 실험식이라 판단되나 더 많은 실험을 통하여 보완되어야 한다고 사료된다.

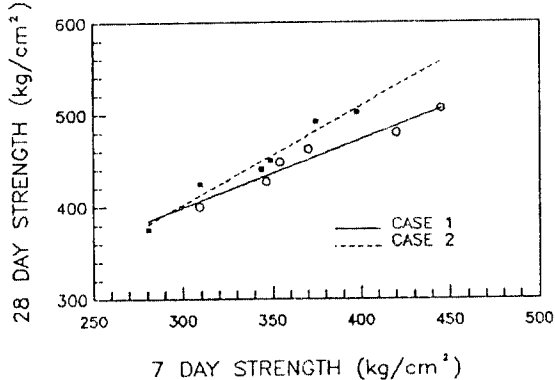


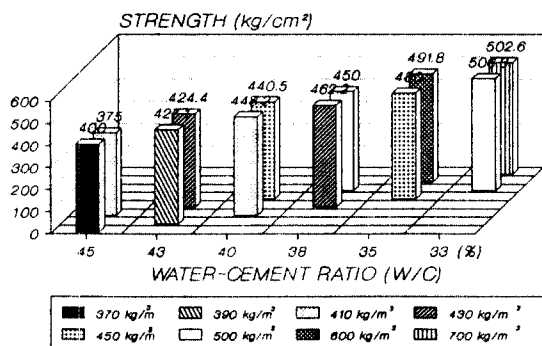
그림 3. 7일강도와 28일강도와와의 관계

Case 1: $F_{28} = 0.75 F_7 + 150$ - - - (1)

Case 2: $F_{28} = 1.07 F_7 + 80$ - - - (2)

4.3 시멘트량에 따른 강도변화

동일 물·시멘트비에 대하여 시멘트량을 달리 했을 때의 실험결과를 도표로 나타내면 그림 4와 같다. 그림 3.(a)에서 보는 바와 같이 수중양생시 물·시멘트비가 일정할 경우 시멘트량에 따른 강도의 차이는 약 5% 이내로 거의 강도변화가 없음을 알 수 있다. 그러나 대기양생의 경우는 강도비가 5~18%로 수중양생에 비해 더 큼을 알 수 있다. 이는 대기 양생의 경우 외기의 변화에 따라 수분의 증발이 발생하여 강도발현에 영향을 미친 것으로 사료된다.



(a) 수중 양생

4.4 응력-변형도 곡선

콘크리트의 응력-변형도 곡선으로 보편적으로 많이 사용되는 제안식은 최대하중까지 관계를 식 (3)과 같이 2차 포물선으로 가정한 Hognestad의 제안식이다.

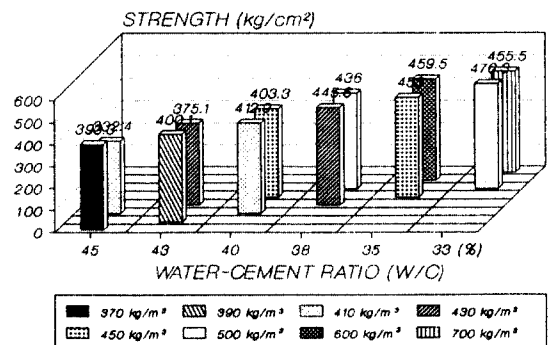
$$f_c = f_c'' \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_o} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_o} \right)^2 \right] \quad \text{--- (3)}$$

이들 제안식들은 모두가 보통 200~300 kg/cm² 정도의 보통 콘크리트에 적용 가능한 제안식으로 응력-변형도 곡선의 초기 기울기가 커지면서 거의 직선에 가까운 특성을 나타내는 400kg/cm² 이상의 고강도콘크리트의 경우에는 이들 제안식의 적용에 무리가 따른다. 고강도콘크리트에 대한 식 (3)의 적용 가능성을 검토하기 위하여 실험에 의해 얻은 응력-변형도 곡선을 강도별로 분류하여 이론식 값과 비교하면 그림 5와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 강도가 400 kg/cm² 이하의 콘크리트의 경우는 제안식과 실험치가 잘 일치하고 있으나 강도가 450 kg/cm² 이상이 될 경우 실험치는 최대강도까지 거의 선형을 나타냄으로써 이론치와 상당한 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 450 kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트의 경우는 최대강도까지 선형 응력-변형도 관계를 가정하고 최대강도시 변형도를 0.002로 가정한 Roy와 Sozen의 제안식을 사용하는 것이 보다 타당하다고 판단된다. (6) 또한 최대 응력시의 변형율은 콘크리트 강도에 관계없이 0.002~0.0025의 범위에 있는 것으로 나타났으며 콘크리트의 급격한 파괴로 인하여 최대강도시의 변형도를 정확히 측정할 수 없었음을 고려하면 힘 압축을 받을 경우 콘크리트의 최대 압축변형은 0.003 이상일 것이라 판단되므로 $\epsilon_u = 0.003$ 의 값을 사용하여도 큰 무리가 없을 것으로 사료되나 이에 관한 추가적인 정밀시험 및 연구가 필요하다고 판단된다.

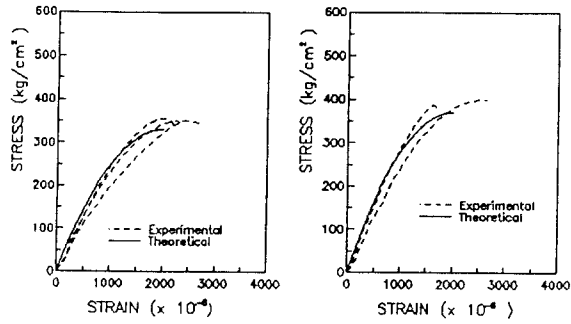
4.5 탄성 계수

현재 ACI에서 채택하고 있는 일반 콘크리트의 탄성 계수는 일반적으로 식 (5)를 사용하고 있으며 고강도

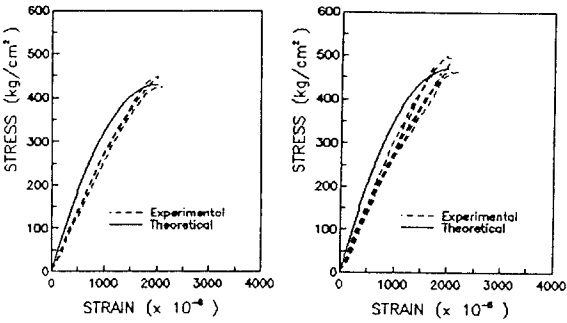


(b) 대기 양생

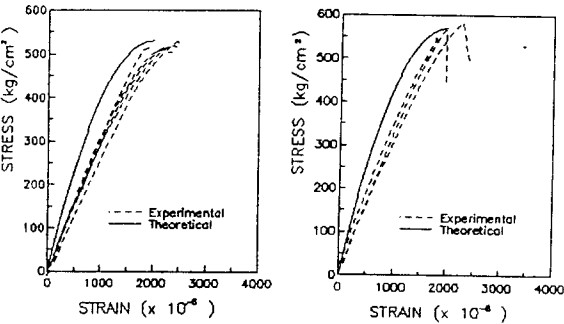
그림 4. 시멘트량에 따른 강도변화



(a) 압축강도 350 kg/cm² (b) 압축강도 400 kg/cm²



(c) 압축강도 450 kg/cm² (d) 압축강도 500 kg/cm²



(e) 압축강도 550 kg/cm² (f) 압축강도 600 kg/cm²

그림 5. 콘크리트 응력-변형도 곡선의 검토

콘크리트의 경우는 1982년 Martinez, S. 등에 의해 제안된 수정식을 사용하고 있다 (식 6). (7)

$$E_c = 4300 \times \omega^{1.6} \sqrt{f_c'} \quad \text{--- (4)}$$

$$E_c = 15000 \sqrt{f_c'} \quad \text{--- (5)}$$

$$E_c = 10530 \sqrt{f_c'} + 70,000 \quad \text{--- (6)}$$

한편 기존의 국내 실험 결과에 의하면 고강도콘크리트의 경우 동일 강도에 대한 탄성계수 값이 외국의 경우보다 15~20% 정도 작은 값을 나타내고 있다. 따라서 국내실험에 맞는 탄성계수에 대한 새로운 제안식의 개발이 필요하다고 판단된다. 본 연구에서 얻은 실험결과에 대하여 식 (5)와 식 (6)을 비교하여 나타

내면 그림 6과 같다. 그림에서 직선은 실험치를 최소 자승법에 의해 회귀분석한 것으로 식 (7)과 같다.

$$E_c = 12000 \sqrt{f_c'} + 23400 \quad \text{--- (7)}$$

그림에서 보는 바와 같이 식 (5)에 의한 값은 실험치에 비해 15% 정도 큰 값을 나타내고 있으며 식 (6)에 의한 값도 실험치에 비해 약 5% 정도 큰 값을 나타내고 있다. 따라서 고강도 콘크리트의 경우는 수정 제안된 식 (6)이 보다 타당하다고 사료되며 국내 실험치가 외국의 제안식 보다 작은 값을 나타내고 있음을 고려하면 식 (7)도 콘크리트 탄성계수에 대한 제안식으로 사용 가능할 것이라 판단된다.

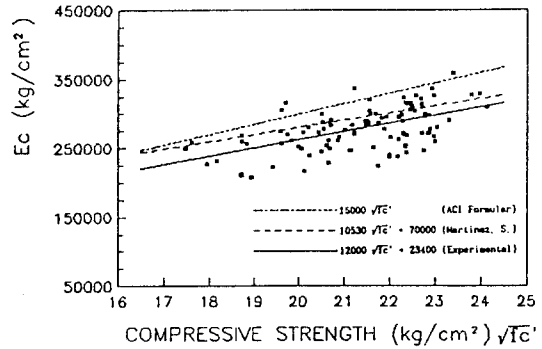


그림 6. 콘크리트 강도에 따른 탄성계수 변화

4.6 포아송 비 (Poisson Ratio)

일반 콘크리트의 포아송비 값은 0.15~0.2 정도이며 560~800kg/cm²의 고강도 콘크리트는 대략 0.2~0.28 정도의 값을 나타내고 있다. (7) 본 실험에 의해 얻은 포아송 비 값은 어떤 특정 배합변수의 영향을 받지 않는 것으로 생각되나 그 분포 범위가 0.17~0.2 사이에 존재하는 것으로 보아 0.185 정도의 값을 사용하는 것이 타당하다고 사료된다.

4.7 수화열(단열 온도 상승)시험

Case 1과 Case 2의 대표적인 물·시멘트비인 35%, 40%, 45%에 대하여 콘크리트 단열온도 상승시험을 실시하였다. 각 배합별로 콘크리트 타설 후 최고온도시까지의 시간 및 온도를 도표로 나타내면 그림 7과 같다.

그림에서 보는 바와 같이 최고온도는 시멘트량에 다소 차이는 있으나 타설후 24시간을 전후로 약 55~68°C에 이르는 것으로 나타났다. 따라서 시험체의 단열상태가 불완전한 것을 감안하면 최고온도가 더 상승될 것으로 예상되므로 최소한 타설후 3일까지는 충분한 물을 뿌려주는 등 양생에 특별한 주의가 필요할 것이라 판단된다. 동일 물·시멘트비에 대하여 시멘트량을 달리하였을 때의 온도변화를 살펴보면 Case 2의 경우가 Case 1에 비해 최고온도로 상승되었고 최고온도에 이르는 시간도 더 빠름을 알 수 있었으며

최고온도에서의 온도 차이는 물·시멘트비에 관계없이 단위 시멘트량의 차이에 선형적으로 비례하는 것으로 나타났다. 따라서 단위 시멘트량은 수화열량을 결정하는 주요인이라 판단되며 물·시멘트비에 의한 영향은 그다지 크지 않은 것으로 사료된다.

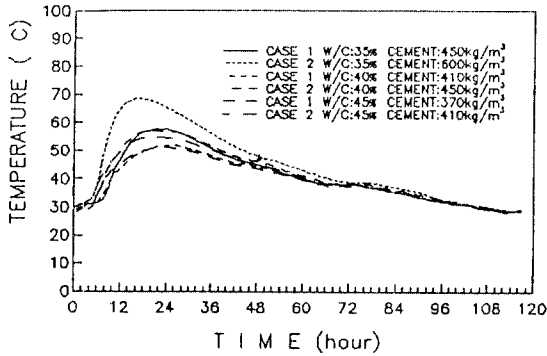


그림 7. 수화반응에 의한 온도변화

4.8 단위 중량

고강도콘크리트의 단위중량은 같은 재료를 사용하는 일반콘크리트에 비하여 단위수량이 감소함에 따라 약간 크게 되므로 구조설계용 중량을 검토할 필요가 있다 (표 6). 표에서 보는 바와 같이 물·시멘트비에 관계없이 수중양생의 경우 2.42t/m³, 대기양생의 경우 2.40t/m³의 값을 나타내고 있다. 따라서 고강도콘크리트의 경우 설계용 단위중량은 2.4 t/m³의 값으로 하는 것이 더 타당하다고 판단된다.

표 6. 고강도 콘크리트의 단위중량

(w/c)	단 위 중 량 (t/m ³)	
	수 중 양 생	대 기 양 생
33	2.40	2.39
35	2.42	2.40
38	2.42	2.40
40	2.43	2.41
43	2.42	2.39
45	2.42	2.40
평균	2.42	2.40

5 결 론

(1) 제안된 배합설계식은 미 개척국 콘크리트 편람의 배합식과 유사한 경향을 나타냄으로써 본 제안식의 타당성을 입증하고 있으며 국내 고강도콘크리트의 배합설계식으로 사용가능하다고 판단된다.

(2) Hognestad의 콘크리트 응력-변형도 제안식은 고강도화 될 수록 적용이 어려울 것으로 판단되며 고강도콘크리트의 경우에는 Roy & Sozen의 제안식을 사용하는 것이 보다 타당하다고 판단된다.

(3) 고강도콘크리트의 탄성계수식은 수정제안된 Martinez, S.의 제안식이 보다 타당하다고 판단되며 국내 실험치가 외국의 제안식보다 적은 값을 나타내는 경향을 고려하여 본 연구의 제안식과 같은 실용식을 사용하여야 할 것으로 판단된다.

(4) 본 연구에서 제안한 28일 강도 추정식은 고강도 콘크리트의 강도발현 특성을 어느 정도 반영한 실험식이라 판단되나 지속적인 실험을 통하여 보완되어야 한다고 사료된다.

(5) 콘크리트의 수화열로 인한 온도상승은 타설후 24시간을 전후로 약 55~68°C에 이르는 것으로 나타났다. 따라서 타설 후 3일까지는 주기적으로 물을 뿌려주는 등 양생에 특별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

(6) 고강도콘크리트의 구조설계용 단위중량은 2.4 t/m³으로 하는것이 보다 타당할 것으로 판단된다.

(7) 실험에 의해 얻은 포아송비 값은 그 분포범위가 0.17~2.0인 것으로 보아 0.185 값을 사용하는 것이 보다 타당하다고 판단된다.

6 감사의 글

본 연구는 과학기술처에서 시행한 "신주택 기술 개발"의 일환으로 수행되었으며 관계 제우께 깊은 감사를 드립니다.

7. 참고 문헌

1. "고강도 콘크리트의 경제적 배합비 결정 및 실용화에 관한 연구", 대우엔지니어링 기술연구소, DWERI-CE-10, 1984.
2. "건축공사 표준시방서", 건설부, 1989.
3. "콘크리트 표준시방서", 건설부, 1988.
4. 정현수, 고강도 철근콘크리트 구조, 태화문화사, 1987.
5. 문한영, "건설재료학", 동명사, 1984.
6. Park R., "Reinforced Concrete Structure", Wiley, 1975.
7. "State-of-the-Art Report on High - Strength Concrete", ACI Committee 363, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1988.
8. Neville, "Properties of Concrete", Pitman, 1981.
9. Burge, T.A., "14000psi in 24 hours", Concrete International : Design & Construction, Vol.6, No.9, Sept. 1983, pp.36-41.
10. Carrasquillo R. L., Nilson A. H., "Properties of High Strength Concrete Subject to Short-Term Loads", ACI Journal, Vol. 78, No.3, May-June, 1981, pp.171-178.