高強度 콘크리트의 實用化를 위한 硏究

— A Study for the Application of High-Strength Concrete —

劉 永 燦
<韓國建設技術硏究院 構造硏究室, 硏究員>
閔 丙 烈
<韓國建設技術硏究院 構造硏究室, 硏究員>
李 章 和
<韓國建設技術硏究院 構造硏究室, 先任硏究員>
金 亘 煥
<韓國建設技術硏究院 構造硏究室, 首席硏究員>

1. 序 論

최근 들어 택지 공간 確保, 주택난 해소 및 주거환경의 개선 목적으로 주거용 建物이 고층화, 대형화 되어감에 따라 建設의 基本材料인 콘크리트의 高強度化 및 輕量化가 절실히 요구되고 있다. 고강도콘크리트는 高層建物의 콘크리트 施工 및 장경간 콘크리트 橋梁의 建設 등 종래에 不可能했던 일들을 가능하게 하고 있으며 부재의 단면 감소로 인한 自重의 감소로 인하여 構造物의 耐震性能 향상에도 많은 기여를 하고 있다. 또한 고강도콘크리트를 이용한 構造物이 鐵骨 構造物의 경우보다 經濟性이 훨씬 높아 建設費의 절감을 가져올 수 있다. 따라서 先進 外國에서는 고강도콘크리트의 건축물에의 적용을 위하여 材料自體의 開發은 물론 고강도콘크리트를 이용한 부재들의 力學的 性質 및 耐震性能 向上에 관한 硏究도 활발히 진행되고 있다.

이와 같이 고강도콘크리트에 관한 연구가 미국, 일본 등 선진국에서는 700~1300kg/cm² 水準에 到達되어 있고 다각적인 實用化 方案이 제시되었으며, 실제 시공상에도 많이 適用되고 있음에도 불구하고 국내에 이를 도입·적용할 수 없는 가장 큰 이유중의 하나는 콘크리트를 構成하는 재료의 地域的 差異에 의해 外國에서 제시된 標準配合表를 직접 國內 現實에 適用할 경우 많은 무리가 따르기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 고강도콘크리트의 目標強度를 上向 確保하는 觀點보다는 일정수준(400kg/cm²정도)의 고강도콘크리트를 超高層 構造物 建設時에 實用化시키는 것을 目的으로 하여 施工性確保를 위한 所要슬럼프 유지를 우선으로 하고 材料選定 및 實驗條件을 국내의 현실적인 現場條件에 接近하는 가능한 한 불리한 條件을 설정하여 國內現場에 직접 적용이 가능하도록 實驗을 실시하였다.

2. 材料 選定

2. 1 시멘트

국내의 一般現場에서 사용되고 있는 시멘트는 國內 內需用으로 제작회사에 관계없이 무작위로 選擇되고 있으며 또한 어느 정도 風化가 進行된 狀態라 예상되기 때문에 본 實驗에서는 이에 준하는 製品을 選擇하였다. 다만 試驗의 一貫性을 유지하기 위하여 시중에 유통되고 있는 單一會社(S사)의 製品을 사용하

였으며 선택된 시멘트는 比重시험결과 比重이 3. 1로 나타났다.

2. 2 骨材

骨材는 콘크리트 容積의 약 70%를 차지하고 있기 때문에 그 종류나 品質이 콘크리트 性質에 미치는 影響은 매우 크다. 따라서 良質의 骨材를 선정하는 것은 좋은 콘크리트를 만드는 기본이 되는 것이다. 그러나 국내 骨材의 품귀 현상 및 現場 品質管理 상황을 고려하면 高品質의 骨材구입이 불가능할 뿐 만 아니라 사용되는 骨材에 대한 엄격한 檢査 또한 불가능한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 國內에서 사용되고 있는 骨材중에서도 요구되는 骨材의 제 성질중 최소한의 조건을 만족시키는 가장 불리한 骨材를 선택하여 고강도콘크리트를 제작하였다. 選擇된 굵은 骨材의 로스엔젤레스 마모시험에 의한 마모율은 40%로서 규준이 허용하는 최소치 값을 나타내고 있다.

잔골재는 한강상류지역의 3종류를 선정하여 체가름 시험을 실시한 후 각 체의 표준 입도를 모두 만족시키고 고강도콘크리트에 유리하다고 제안되어진 組立率 2.7~3.2의 하한치를 나타내고 있는 미사리 骨材를 선택하였다. 選擇된 骨材의 物理的 性質을 圖表로 나타내면 表 1과 같다.

표 1. 골재의 물리적 성질

종 류	최대입경 (㎜)	비 중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)
잔 골 재		2.634	1.52	2.74
굵은골재	25	2.600	0.75	7.16

2. 3 混和濟

고강도 콘크리트는 물·시멘트비가 낮고 단위수량이 적기 때문에 減水濟 계통의 混和濟를 사용하지 않을 경우 적절한 作業性(Workability)을 確保하기 어렵다. 本 實驗에서는 콘크리트의 제성질에 해로운 영향을 끼치지 않으면서 종래의 減水濟에 비해 減水效果가 탁월한 ASTM C494 Type A & F로 규정된 나프탈린계의 高性能 減水濟와 ASTM C260로 규정된 Sulfonated hydrocarbon염을 주성분으로 하는 空氣連行濟를 使用하였다. 使用된 混和濟의 成分 및 性狀은 表 2와 같다.

표 2. 혼화제의 성분 및 성상

	종 류	형태	성 분	비중	표준사용량
고성능감수제	ASTM C494 Type A&F	액상	Naphtalene Polymers	1.21	0.36~3.0%
공기연행제	ASTM C260	액상	Sulfonated hydrocarbon염	1.03	0.04~0.07%

3. 配合設計

3. 1 配合設計 變數

本 硏究에서 考慮된 實驗變數는 아래와 같으며 이를 圖表로 나타내면 그림 1과 같다.

(1) 물·시멘트비

考慮된 물·시멘트비는 超高層 構造物에 실제로 적용할 것을 目標로 하고 있기 때문에 도입 초기단계임을 고려하여 33%~45%로 하였다.

(2) Base Concrete의 슬럼프

使用되는 高性能減水濟量은 高性能減水濟를 첨가하지 않은 Base Concrete 상태의 슬럼프를 개념상 (-) 슬럼프로 한 후 高性能減水濟로 所要슬럼프를 補正할 경우의 단위 시멘트량과 Base Concrete의 슬럼프를 1~2cm 정도 確保한 후 高性能減水濟로 所要슬럼프를 補正할 경우의 단위시멘트량에 따라 달라진다.

(3) 高性能減水濟 투입시기 및 투입량

레미콘을 생산하여 현장까지 운반하는 시간은 建設部 制定 콘크리트 標準示方書에서 온난건조시 운반 타설까지의 시간을 60분으로 제한하고 있다. 따라서 이와 같은 시간의 간격을 고려하기 위하여 高性能減水濟의 투입량을 비빔직 후 所要量의 1/2, 운반후 타설직전

나머지 1/2을 투입하였다.

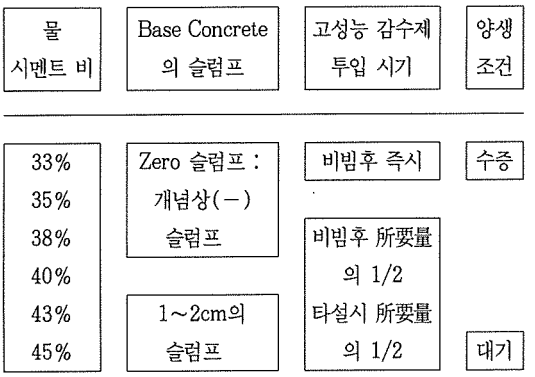


그림 1. 배합 설계 변수

(4) 養生條件(水中, 大氣)

大氣養生條件은 實驗室 내에서 타설 後 3일까지 하루 1회 표면이 젖을 정도의 물을 뿌리고 비닐로 덮어 水分의 증발을 억제하였으며 이후 屋外에 放置하는 것으로 하였다.

3. 2 配合設計 結果 및 分析

이상의 配合조건 및 設計변수로 부터 實驗配合을 실시하였으며 目標 슬럼프 15±2cm에 대하여 表 3과 같은 標準 配合表를 얻었다.

4. 實驗結果의 比較 · 分析

表 3에 의한 配合設計에 대하여 각각 공시

표 3. Case별 표준 배합표

	굵은골재 최대치수 (㎜)	슬럼프의 범위 (cm)	물 시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	단 위 량(kg/m³)				
					물	시멘트	잔골재	굵은골재	S.P.제(%)
Case 1	25	17	33	35	165.0	500.0	606.3	1113.2	1.0
	25	17	35	35	157.5	450.0	628.1	1153.1	1.7
	25	16	38	35	163.4	430.0	628.6	1154.1	1.0
	25	17	40	37	164.0	410.0	670.2	1128.1	1.3
	25	17	43	37	167.7	390.0	672.9	1132.6	1.0
	25	17	45	37	166.5	370.0	680.3	1145.1	1.3
Case 2	25	16	33	35	231.0	700.0	486.2	892.6	0.3
	25	17	35	35	210.0	600.0	535.2	982.7	0.3
	25	14	38	35	190.0	500.0	583.2	1071.0	0.5
	25	17	40	37	180.0	450.0	642.8	1080.8	0.5
	25	15	43	37	184.9	430.0	643.6	1083.3	0.5
	25	16	45	37	180.0	400.0	657.8	1107.2	0.3
Case 3	25	13	35	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
Case 4	25	15	35	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 狀態에서 槪念上(－) 슬럼프에 대한 配合設計.

– Case 2 : Base Concrete 狀態에서 1～2cm의 슬럼프에 대한 配合設計.

– Cose 3, Cose 4 : 각각 위의 두 條件에 대하여 高性能 減水濟를 비빔직후 所要量의 1/2, 1시간 후 나머지 1/2을 투입한 경우.

체를 제작한 후 材齡에 따른 壓縮強度 試驗을 實施하였다. 試驗體 크기는 $\phi 10 \times 20$cm이며 荷重재하는 용량 100t의 유압식 시험기를 사용하여 매초 1.5~3.5kg/cm²의 일정한 속도로 荷重을 가하였고 가해진 荷重은 50t 容量의 Load Cell을 통하여 測定하였다. Capping 재료로는 시멘트 모르터를 사용하였으며 試驗에 의해 얻은 각 配合設計別 壓縮強度는 表 4와 같다.

표 4. 배합설계별 압축강도

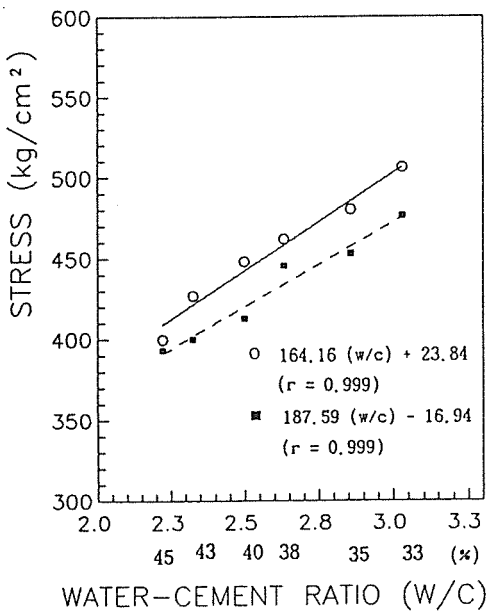
	w/c	3일 강도(kg/cm²)		7일 강도(kg/cm²)		28일 강도(kg/cm²)	
		수 중	대 기	수 중	대 기	수 중	대 기
Case 1	33	410.0	354.3	445.0	421.0	506.3	476.3
	35	367.6	340.0	420.0	411.7	480.0	453.0
	38	315.5	312.3	370.3	352.1	462.2	445.6
	40	308.8	294.1	354.3	334.2	448.2	412.9
	43	241.5	214.2	346.7	288.8	427.1	400.1
	45	240.7	211.3	309.4	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

4. 1 壓縮強度

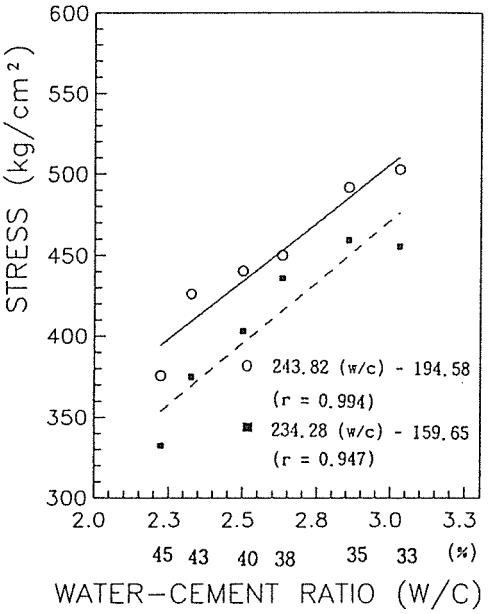
配合設計에 의해 얻은 콘크리트 壓縮強度를 물·시멘트비에 대하여 1차 回歸分析함으로써 고강도 콘크리트 配合設計를 위한 초기 단계에서 필요한 물·시멘트비와 28일 壓縮強度와의 관계식을 얻을 수 있다. Case 별 28일 壓縮強度를 물·시멘트비에 대하여 나타내면 그림 2와 같다. 圖表안에 나타낸 式은 물·시멘트비에 대한 強度의 함수를 1차 回歸分析한 값이고 r은 相關係數(Corelation Coefficient)값이며 직선은 水中養生, 점선은 大氣養生을 나타내고 있다. 그림 2(a), (b)에서 보는 바와 같이 提案된 配合設計式은 美國 開拓局(Bureau of Reclamation) 콘크리트 便覽에서 제시한 配合式과 유사한 경향을 나타냄으로써 本 提案式의 妥當性을 間接的으로 立證하고 있다. 따라서 本 提案式은 實用式으로 使用 가능하다고 판단된다.

〈미 개척국(Bureau of Reclamation) 콘크리트 편람의 콘크리트 배합설계식〉

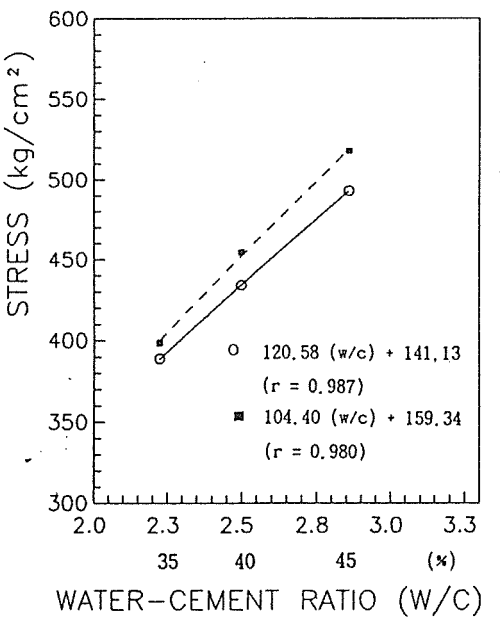
$\sigma_{28}=160-230$kg/cm²인 경우 : $\sigma_{28}=230(W/C)-139$·····(1)



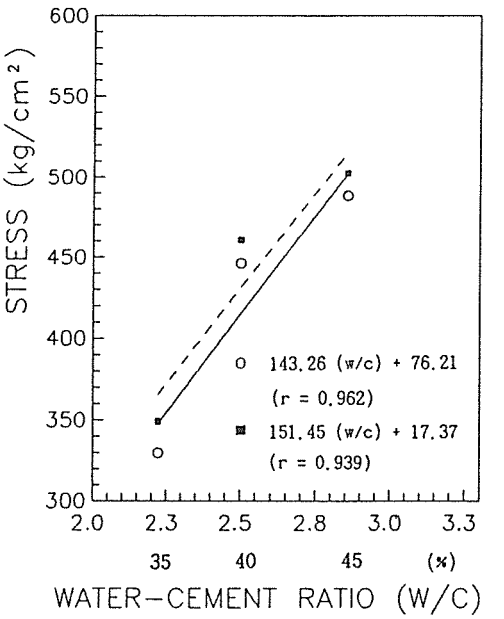
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4

그림 2. 물 · 시멘트비와 28일 압축강도와의 관계

$\sigma_{28}=231-330kg/cm^2$인 경우 : $\sigma_{28}=190(W/C)-76$ ·····(2)
$\sigma_{28}=331-385kg/cm^2$인 경우 : $\sigma_{28}=144(W/C)+22$ ·····(3)

한편 Case 3과 Case 4는 각각 Case 1과 Case 2와 동일 配合 條件下에서 콘크리트의 運搬距離를 고려하여 약 1시간 동안 비빔을 계속한 경우로 비빔시의 溫度 및 濕度에 상당한 영향을 받아 물·시멘트에 대한 強度特性의 變化가 커진 것으로 판단된다. 따라서 本 條件下에 대해서는 더 많은 實驗을 통하여 合理的인 配合設計式의 誘導가 必要하다고 사료된다.

4. 2 7일 強度에 根幹한 28일 強度 推定式

고강도콘크리트는 일반콘크리트에 비해 強度가 早期 發現되므로 일반콘크리트로의 適用을 目的으로 提案된 28일 強度 推定式은 고강도콘크리트의 경우 28일 強度를 過大評價하게 된다. 따라서 각 配合設計別로 얻은 7일 強度에 대하여 旣 提案式들을 適用시키고 28일 強度와 比較하여 提案式들의 適用性을 檢證하였다(表 5).

표 5. 콘크리트 28일 강도 추정식에 대한 비교

		실험치(kg/cm²)		Slater		JASS 5		CEB-FIP	
		7일	28일	28일	제안식	28일	제안식	28일	제안식
	w/c	강도	강도	강도	실험치	강도	실험치	강도	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

表에서 보는 바와 같이 水中養生의 경우를 基準으로 했을때 旣存에 提案된 提案式들 모두 28일 強度에 대하여 7일 強度가 400kg/cm²이상인 경우 약 20%; 300~400kg/cm²인 경우 약 10%정도 실험값보다 높은 값을 나타내고 있다. 따라서 기존의 提案式들은 7일 強度가 300kg/cm²이상인 고강도콘크리트에는 적용하기 어려울 것이라 判斷되며 JASS 5의

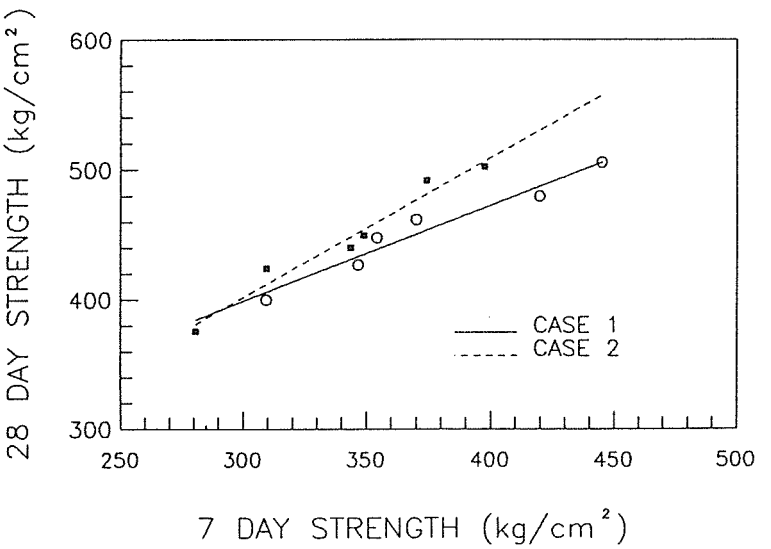


그림 3. 7일 강도와 28일 강도와의 관계

Case 1 : $F_{28}=0.75\ F_7+150$ ·····(4)

Case 2 : $F_{28}=1.07\ F_7+80$ ·····(5)

提案式에 根幹한 새로운 推定式을 提案하기 위하여 Case별로 7일 強度와 28일 強度를 圖表로 나타내었다(그림 3). 그림 3에서 보는 바와 같이 Case 2의 경우가 Case 1에 비하여 7일 強度에 대한 28일 強度의 增加比率이 더 높게 나타났으며 強度가 增加됨에 따라 그 傾向이 더 뚜렷한 것을 알 수 있다. 이는 동일 물·시멘트비에 대하여 Case 2의 경우가 Case 1에 비하여 단위시멘트량이 더 많음으로 인하여 단위수량이 增大되어 7일 이후에도 強度發現이 계속되었기 때문이라 사료된다.

提案된 28일強度 推定式은 고강도콘크리트의 強度發現 특성을 어느 정도 반영한 實驗式이라고 판단되나 더 많은 實驗을 통하여 보안되어야 한다고 사료된다.

4.3 材齡別 強度變化

고강도콘크리트는 材齡 초기에서 보통 콘크리트보다 높은 強度 增加率을 보이나 나중에는 거의 비슷한 狀態에 이른다. 이러한 현상이 고강도 콘크리트에 나타나는 이유는 초기의 높은 수화열로 인해 내부의 養生溫度가 올라가고 낮은 물·시멘트비로 인해 입자간의 간격이 좁은데 기인하는 것으로 추측된다. 일반 建物에서 거푸집의 제거 시점은 보통 콘크리트의 경우 타설 후 7일 정도 경과 후에 이루어진다. 따라서 材齡別 強度變化를 검토함으로써 고강도 콘크리트의 強度 發現 특성과 거푸집 제거시의 구조물의 안정성 및 적절한 거푸집 제거시기를 결정할 수 있다. 콘크리트의 조기 強度 發現여부는 材齡強度比(Rf)로 나타낸다. 表 6에서 보는 바와 같이 Case 2의 경우 45%의 물·시멘트비를 제외하고는 7일 強度時 Rf가 0.8 내외로 비교적 높은 材齡強度比를 나타내고 있으며 물·시멘트가 작아질수록 材齡 3일, 7일 Rf 값이 커지는 傾向을 보이고 있다. 한편 물·시멘트가 40% 이하 일때 Case 1의 7일 強度에 대한 材齡強度比가 0.8~0.9 정도로 비교적 높은 값을 나타내고 있는 반면 Case 2의 경우는 7일강도

의 材齡強度比가 0.7~0.8 정도로 다소 낮은 값을 보이고 있다. 이는 동일 물·시멘트비에 대하여 Case 2의 경우가 Case 1에 비하여 단위 시멘트량이 더 많음으로 인하여 단위 수량이 증대되어 7일 이후에도 強度發現이 계속되었기 때문이라 判斷된다.

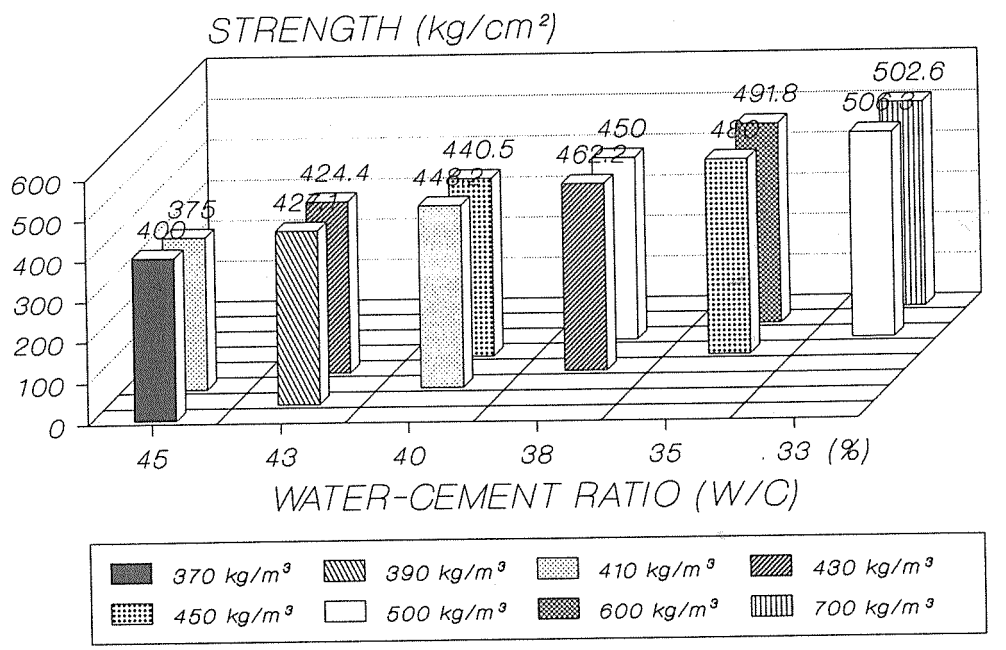
표 6. 배합변수별 재령강도비

	CASE 1				CASE 2			
	3 일		7 일		3 일		7 일	
w/c	수증	대기	수증	대기	수증	대기	수증	대기
33	0.81	0.74	0.88	0.88	0.72	0.69	0.79	0.80
35	0.77	0.75	0.88	0.91	0.62	0.58	0.75	0.72
38	0.68	0.70	0.80	0.79	0.67	0.59	0.78	0.77
40	0.69	0.71	0.79	0.81	0.61	0.62	0.78	0.82
43	0.56	0.53	0.81	0.72	0.50	0.50	0.73	0.78
45	0.60	0.50	0.78	0.70	0.51	0.55	0.65	0.73

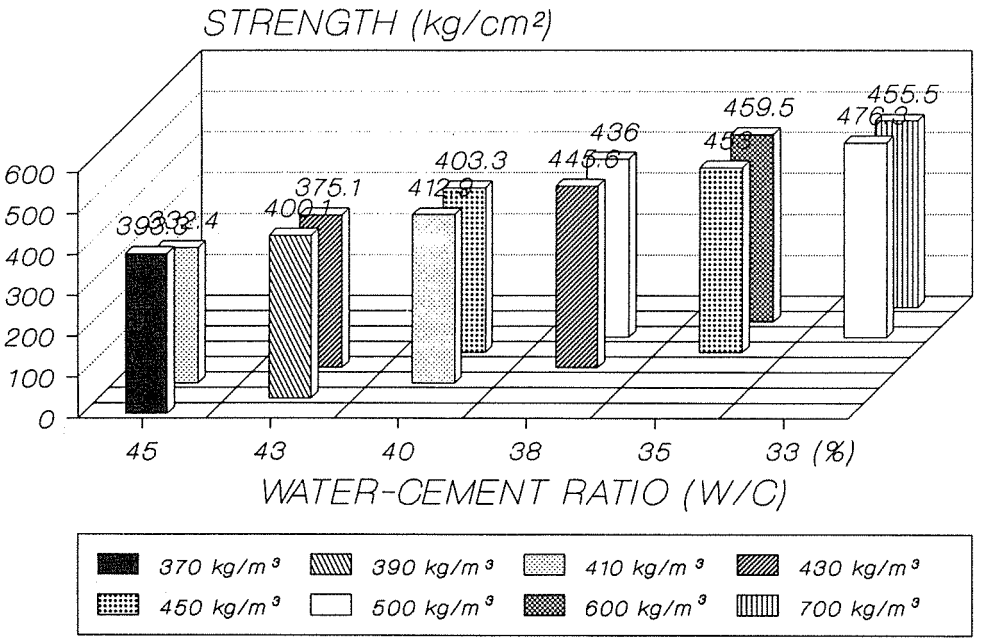
4. 4 시멘트량에 따른 強度變化

일반적으로 콘크리트 強度는 단위시멘트량에 비례하는 것으로 알려져 있다. 그러나 물·시멘트비가 작아 施工性確保를 위한 슬럼프 維持를 위해 단위시멘트량이 증대되어야 할 경우 어느 단계를 넘으면 단위시멘트 增加에 따른 콘크리트 強度 增加比率은 둔화되며 경우에 따라서는 오히려 強度가 減少되는 경우도 발생한다. 한편 이같은 경우에 高性能減水劑를 사용하면 所要 슬럼프 確保를 위한 단위시멘트량을 줄일 수 있지만 단위시멘트량의 감소에 比例하여 絶對 單位水量이 감소하므로 高性能減水劑의 성능을 기대할 수 없는 경우도 발생한다. 따라서 高性能減水劑의 성능을 기대할 수 있는 최소의 단위시멘트량이 가장 경제적이라 판단되나 이 경우 단위수량, 잔골재 및 굵은 骨材의 함수율, 外氣溫度 및 濕度 등의 제조건에 의해 콘크리트의 슬럼프, 블리이딩 등이 민감하게 變化하므로 현장에서의 品質管理가 重要한 問題로 등장하게 된다.

동일 물·시멘트비에 대하여 시멘트량을 달리 했을 때의 實驗結果를 圖表로 나타내면 그림 4와 같다. 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 水中養生時 물·시멘트비가 일정할 경우 시



(a) 수중 양생



(b) 대기 양생

그림 4. 시멘트량에 따른 강도 변화

멘트량에 따른 強度의 차이는 약 5% 이내로 거의 強度變化가 없음을 알 수 있다. 따라서 Case 1의 경우가 高性能減水濟의 성능을 기대할 수 있는 절대 단위수량에 해당하는 經濟的인 단위시멘트량이라 판단된다. 한편 大氣養生의 경우는 強度比가 5~18%로 水中養生에 비해 더 큼을 알 수 있다. 이는 大氣養生의 경우 外氣의 變化에 따라 수분의 증발이 발생하여 強度發現에 영향을 미친 것으로 사료된다.

4. 5 應力-變形度 曲線

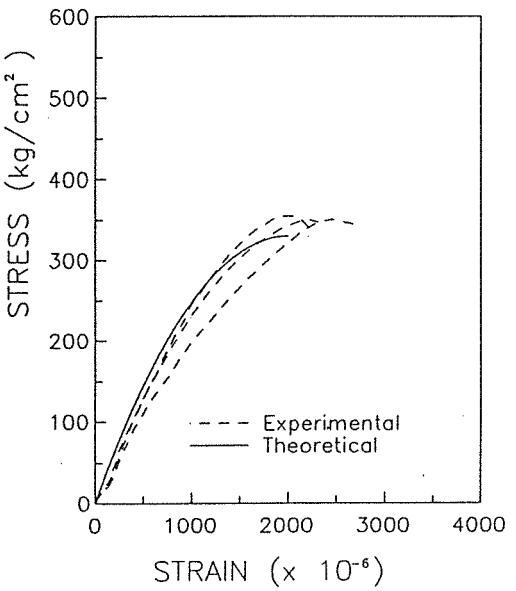
콘크리트의 應力-變形度 曲線으로 보편적으로 많이 사용되는 提案式은 最大荷重까지 관계를 式(6)과 같이 2차 포물선으로 가정한 Hognestad의 提案式이다.

$$f_c = f_c'' \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

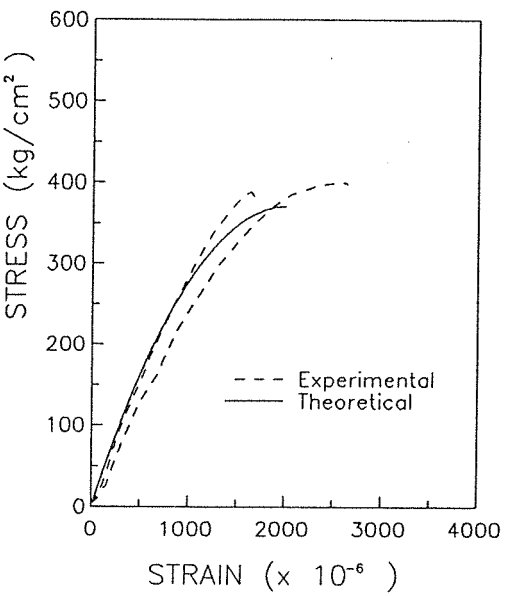
이들 提案式들은 모두가 보통 200~300kg/cm² 정도의 보통 콘크리트에 적용 가능한 提案式으로 應力-變形度 曲線의 初期 기울기가 커지면서 거의 직선에 가까운 특성을 나타내는 400kg/cm² 이상의 고강도콘크리트의 경우에는 이들 提案式의 적용에 무리가 따른다. 고강도콘크리트에 대한 式(6)의 適用 가능성을 검토하기 위하여 실험에 의해 얻은 應力-變形度 곡선을 強度別로 分類하여 이론식 값과 비교하면 그림 5와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 強度가 400kg/cm² 이하의 콘크리트의 경우는 提案式과 실험치가 잘 일치하고 있으나 強度가 450kg/cm²이상이 될 경우 실험치는 最大強度까지 거의 선형을 나타냄으로써 이론치와 상당한 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 450kg/cm²이상의 고강도콘크리트의 경우는 最大強度까지 線形 應力-變形度 관계를 假定하고 最大強度時 變形度를 0.002로 가정한 Roy와 Sozen의 提案式을 사용하는 것이 보다 妥當하다고 판

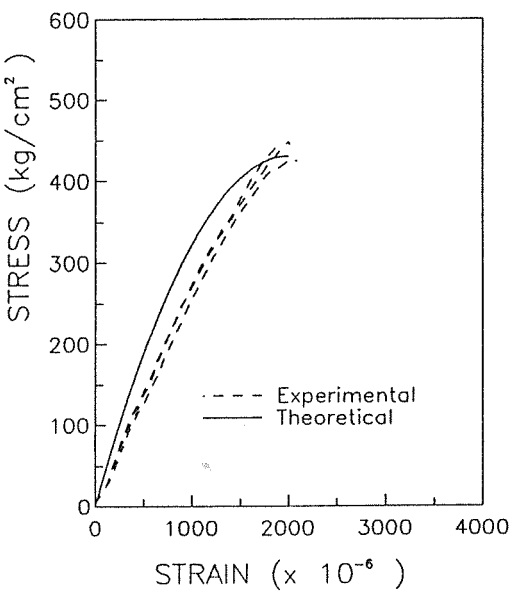
단된다.[4] 또한 最大 應力時의 變形率은 콘크리트 強度에 관계없이 0.002~0.0025의 범위에 있는 것으로 나타났으며 콘크리트의 급격한 파괴로 인하여 最大強度時의 變形度를 정확히 측정할 수 없었음을 고려하면 휨 壓縮을 받을 경우 콘크리트의 最大 壓縮變形은 0.003 이상일 것이라 판단되므로 ε_u=0.003의 값을 사용하여도 큰 무리가 없을 것으로 사료되나 이에 관한 追加的인 精密試驗 및 硏究가 必要하다고 判斷된다.



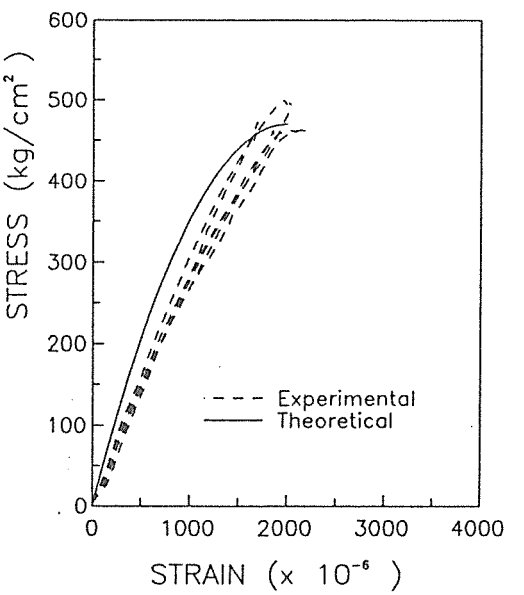
(a) 압축강도 350kg/cm²



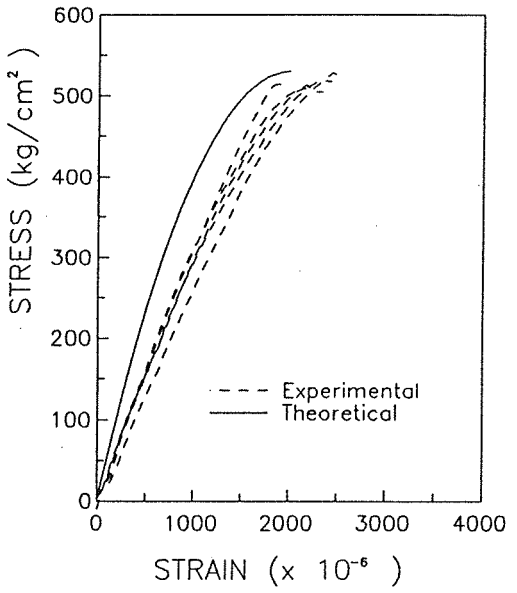
(b) 압축강도 400kg/cm²



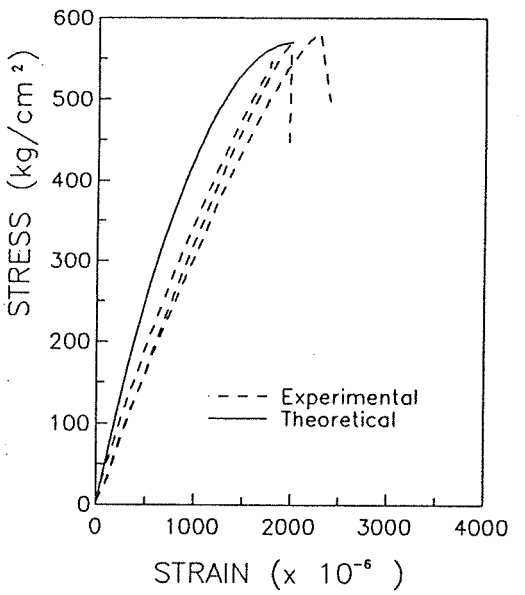
(c) 압축강도 450kg/cm²



(d) 압축강도 500kg/cm²



(e) 압축강도 550kg/cm²



(f) 압축강도 600kg/cm²

그림 5. 콘크리트 응력－변형도 곡선의 검토

4. 6 彈性 係數

현재 ACI에서 採擇하고 있는 일반 콘크리트의 彈性係數는 일반적으로 式(8)을 사용하고 있으며 고강도콘크리트의 경우는 1982년 Martinez, S. 등에 의해 제안된 수정식을 사용하고 있다(式 9).[5]

$$E_c = 4300 \times \omega^{1.6} \sqrt{f_c'} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

$$E_c = 15000 \sqrt{f_c'} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

$$E_c = 10530 \sqrt{f_c'} + 70{,}000 \quad \cdots\cdots\cdots (9)$$

한편 기존의 국내 實驗 結果에 의하면 고강도콘크리트의 경우 동일 強度에 대한 탄성계수 값이 외국의 경우보다 15～20% 정도 작은 값을 나타내고 있다. 따라서 국내실정에 맞는 탄성계수에 대한 새로운 提案式의 개발이 필요하다고 판단된다. 본 연구에서 얻은 實驗結果에 대하여 式(8)과 式(9)를 비교하여 나타내면 그림 6과 같다. 그림에서 직선은 실험치를 최소 자승법에 의해 回歸分析한 것으로 式(10)과 같다.

$$E_c = 12000 \sqrt{f_c'} + 23400 \quad \cdots\cdots\cdots (10)$$

그림에서 보는 바와 같이 式(8)에 의한 값은 실험치에 비해 15% 정도 큰 값을 나타내고 있으며 式(9)에 의한 값도 실험치에 비해 약 5% 정도 큰 값을 나타내고 있다. 따라서 고강도콘크리트의 경우는 수정 제안된 式(9)가 보다 타당하다고 사료되며 국내 실험치가 외국의 提案式 보다 작은 값을 나타내고 있는 경향을 고려하면 式(10)도 콘크리트 彈性係數에 대한 提案式으로 사용 가능할 것이라 판단된다.

4. 7 포아송 비(Poisson Ratio)

일반 콘크리트의 포아송비 값은 0.15～0.2 정도이며 560～800kg/cm²의 고강도콘크리트는 대략 0.2～0.28 정도의 값을 나타내고 있다.[5] 本 實驗에 의해 얻은 포아송비 값은 어떤 特定 配合變數의 影響을 받지 않는 것으로 생각되나 그 분포 범위가 0.17～0.2 사이에 존재하는 것으로 보아 0.185 정도의 값을 사용하는 것이 타당하다고 사료된다.

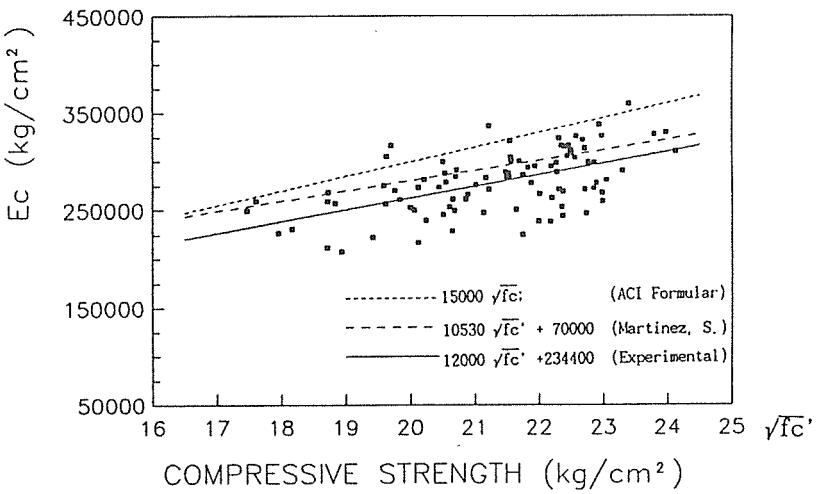


그림 6. 콘크리트 강도에 따른 탄성계수 변화

4. 8 水和熱(斷熱 溫度 上昇)試驗

Case 1과 Case 2의 대표적인 물·시멘트비인 35%, 40%, 45%에 대하여 콘크리트 斷熱溫度 上昇試驗을 실시하였다. 각 配合別로 콘크리트 타설 후 最高溫度時 까지의 시간 및 溫度를 圖表로 나타내면 그림 7과 같다.

그림에서 보는 바와 같이 最高溫度는 시멘트량에 다소 차이는 있으나 타설후 24時間을 전후로 약 55~68℃에 이르는 것으로 나타났다. 따라서 시험체의 斷熱狀態가 不完全한 것

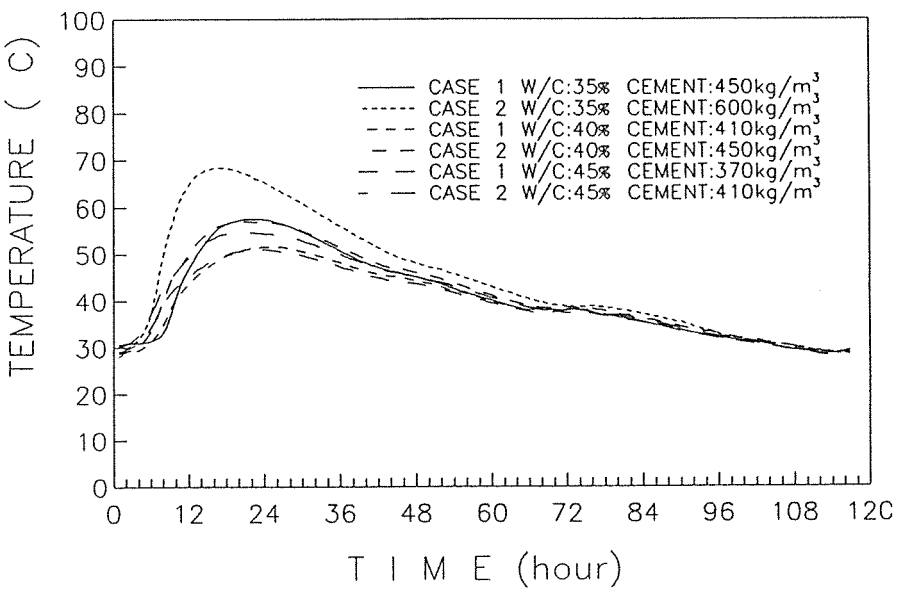


그림 7. 수화반응에 의한 온도변화

을 감안하면 最高溫度가 더 상승될 것으로 예상되므로 최소한 타설후 3일까지는 충분한 물을 뿌려주는 등 養生에 특별한 주의가 필요할 것이라 판단된다. 동일 물·시멘트비에 대하여 시멘트량을 달리하였을 때의 溫度變化를 살펴보면 Case 2의 경우가 Case 1에 비해 最高溫度로 상승되었고 最高溫度에 이르는 시간도 더 빠름을 알 수 있었으며 最高溫度에서의 溫度 차이는 물·시멘트비에 관계없이 단위 시멘트량의 차이에 線形的으로 비례하는 것으로 나타났다. 따라서 단위 시멘트량은 水和熱量을 決定하는 主要因이라 判斷되며 물·시멘트비에 의한 影響은 그다지 크지 않은 것으로 사료된다.

4. 9 單位重量

고강도콘크리트의 單位重量은 같은 재료를 사용하는 일반콘크리트에 비하여 단위수량이 감소함에 따라 약간 크게 되므로 構造設計用 重量을 검토할 필요가 있다(表 7). 表에서 보는 바와 같이 물·시멘트비에 관계없이 水中養生의 경우 2.42t/m³, 大氣養生의 경우 2.40t/m³의 값을 나타내고 있다. 따라서 고강도콘크리트의 경우 設計用 單位重量은 2.4t/m³의 값으로 하는 것이 더 타당하다고 판단된다.

표 7. 고강도 콘크리트의 단위중량

(w/c)	단 위 중 량(t/m³)	
	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
평 균	2.42	2.40

5. 結 論

(1) 提案된 配合設計式은 美 開拓局 콘크리트 便覽의 配合式과 유사한 傾向을 나타냄으로써 本 提案式의 妥當性을 立證하고 있으며 國內 고강도콘크리트의 配合設計式으로 사용 가능하다고 판단된다.

(2) Hognestad의 콘크리트 應力－變形度 提案式은 고강도화 될수록 적용이 어려울 것으로 판단되며 고강도콘크리트의 경우에는 最大應力까지 線形 應力－變形度 關係를 가정한 Roy & Sozen의 提案式을 사용하는 것이 보다 타당하다고 판단된다.

(3) 고강도콘크리트의 彈性係數式은 修正提案된 Martinez, S.의 提案式이 보다 妥當하다고 판단되며 국내 실험치가 외국의 提案式보다 적은 값을 나타내는 傾向을 고려하여 本 硏究의 提案式과 같은 實用式을 사용하여야 할 것으로 판단된다.

(4) 本 硏究에서 提案한 28일 強度 推定式은 고강도콘크리트의 強度發現 特性을 어느 정도 반영한 實驗式이라 판단되나 계속적인 實驗을 통하여 보안되어져야 한다고 사료된다.

(5) Case 1의 단위시멘트량은 高性能減水劑의 性能을 기대할 수 있는 經濟的인 單位 시멘트량이라 판단되며 이 경우 콘크리트의 物性變化에 미치는 제조건에 대한 계속적인 硏究 및 현장에서의 엄격한 品質管理가 필요하다고 사료된다.

(6) 콘크리트의 水和熱로 인한 溫度上昇은 타설후 24시간을 전후로 약 55～68℃에 이르는 것으로 나타났다. 따라서 타설 후 3일까지는 주기적으로 물을 뿌려주는 등 養生에 특별한 주의가 필요할 것으로 판단된다.

(7) 고강도콘크리트의 構造設計用 單位重量은 2.4t/m³으로 하는 것이 보다 타당한 것으로 판단된다.

(8) 實驗에 의해 얻은 포아송비 값은 그 分布範圍가 0.17～2.0인 것으로 보아 0.185값

을 사용하는 것이 보다 타당하다고 판단된다.

6. 謝 辭

本 硏究는 科學技術處에서 施行한 "新住宅 技術 開發"의 一還으로 수행되었으며 관계 제위께 깊은 感謝를 드립니다.

7. 參考文獻

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. Park R., "Reinforced Concrete Structure", Wiley, 1975.
5. "State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete", ACI Committee 363, ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1988.
6. Neville, "Properties of Concrete", Pitman, 1981.
7. Burge, T. A., "14000psi in 24 hours", Concrete International : Design & Construction, Vol. 6, No. 9, Sept. 1983, pp. 36-41.
8. Carrasquillo R. L., Nilson A. H., "Properties of High Strength Concrete Subjuct to Short-Term Loads", ACI Journal, Vol. 78, No. 3, May-June, 1981. pp. 171-178.
9. Wang P. T., SHAH S. P., Naaman A, E., "Stress-Strain Curve of Normal and Lightweight Concrete in Compression", ACI Journal Vol., 75, No. 11, Nov., 1978, pp. 603-611.
10. Park, R., Kent, D. C., and Sampson, R, A., "Reinforced Concrete Members with Cyclic Loadings," ASCE, Vol. 98, ST7, Proc. Paper 9011, July, 1972, pp. 1341-1360

投稿를 환영합니다

「레미콘」誌는 讀者 여러분을 筆者로 招待합니다. 많은 投稿로서 本誌를 빛내주시기 바랍니다.

內 容

1. 레미콘工業 및 관련分野의 品質·技術硏究
2. 經濟, 經營 및 法律關係論文
3. 國內外業界消息, 動靜, 提言 등
4. 海外技術情報 및 論文翻譯

○原稿枚數
200字 原稿紙로 自由

○原稿提出日
隨 時

○其 他
關聯寫眞, 圖表同封要望
揭載된 原稿는 協會所定의 稿料支給.

○提出處
韓國레미콘工業協會 企劃課