

現場打設 高強度 콘크리트의 施工性 및 強度特性에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study of Workability, Placement and Strength Characteristics on the High Strength Concrete in the Field

權 寧 鎬* 張 勝 奎* 楊 恩 翼*
Kwon, Yeong Ho Jang, Seung Gyu Yang, Eun Ik
曹 哲 根** 朴 沘 林***
Cho, Cheol Geun Park, Chil Lim

要 約

高強度 콘크리트의 實用化 一環으로 設計基準強度 500kg/cm² 以上인 高強度 콘크리트의 現場 B/P生產과 實大構造物의 施工性 및 強度, 溫度 特性에 關한 研究를 遂行하였다. 이러한 研究를 爲해 現場 最適配合比 選定과 레미콘 運搬時間에 따른 經時變化 試驗을 遂行하였고 實大構造物의 코아 強度 및 콘크리트 内部溫度를 測定하였다. 일반 現場材料와 裝備의 使用으로도 高強度 콘크리트의 生産과 施工性을 確保할 수 있었으며 實大構造物의 코아강도가 500kg/cm² 以上을 나타내므로써 高強度 콘크리트의 實用化에 對한 可能性을 確認할 수 있었다.

Abstract

The purpose of this research is to establish the applicability of the High Strength Concrete in the field. We worked out the optimum mixing design of High Strength Concrete with a specified 28 days compressive strength 500kg/cm². Based on this, we cast High Strength Concrete in the actual model members including Columns, Beam and Wall. By the application, we could confirm the good workability and pumpability of the High Strength Concrete. Also we could obtain good results that compressive strength tests were 482kg/cm²(cylinders), 400kg/cm²(cores) for 7 days, 582kg/cm²(cylinders), 500kg/cm²(cores) for 28 days and 629kg/cm²(cylinders) for 56 days.

I. 序論

1.1 研究目的

最近 構造物의 高層化, 大型化, 特殊化에 따른 高強度

콘크리트의 必要性에도 불구하고 品質 및 施工性에 對한 確信과 理解의 부족으로 高強度 콘크리트의 開發과 適用은 室內實驗段階에 머물러 있는 實情이다. 따라서 本 研究에서는 高強度 콘크리트의 室內實驗에서 確保한 室內

* (株)大宇 建設技術研究所 研究員
** (株)大宇 建設技術研究所 先任研究員
*** (株)大宇 技術技術研究所 所長

最適配合比를 토대로 現場 B/P와 裝備를 使用하여 500 kg/cm² 高強度 콘크리트를 生産한 後 經時變化에 따른 特性을 把握하고 實大 構造物에 PUMP CAR로 打設하므로써 高強度 콘크리트의 現場生産 및 施工性, 펌핑성을 確保하고 構造物의 CORE 強度와 内部 溫度特性을 測定, 分析하여 高強度 콘크리트를 實用化 하는데 그 目的이 있다.

1.2 研究方法

本 研究의 遂行方法은 現場與件下에서 [표 1]과 같이 實施한다.

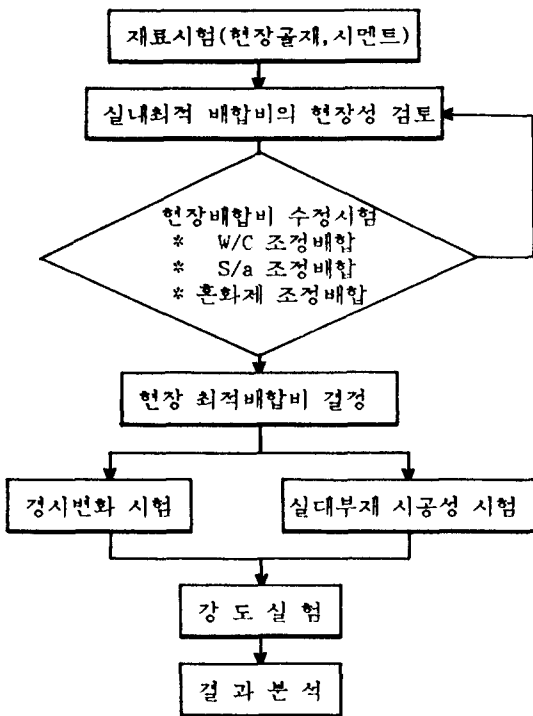


표 1. 현장타설 연구 수행 흐름도

II. 現場 配合實驗

室內實驗에서 算定한 最適配合比를 토대로 現場 使用材料 및 現場裝備를 利用한 現場 最適配合比 實驗과 運搬時間에 따른 經時變化 實驗을 實施하였다.

2.1 材料 一般

2.1.1 시멘트

現場實驗에 使用된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트 (TYPE 1)로 品質試驗 結果는 [표 2]와 같다.

표 2. 시멘트 品質試驗 結果

특 성	비 중	분말도 (cm ² /g)	압축강도(kg/cm ²)		
			3일	7일	28일
측정값	3.12	3.200	165	201	424

2.1.2 骨材

組骨材는 25mm, 19mm 碎石, 細骨材는 강모래를 使用하였으며 品質試驗 結果는 [표 3]과 같다.

표 3. 骨材의 品質試驗 結果

구분	종류 세 골 재	조 골 재	
		19mm	25mm
비 중	2.60	2.66	2.68
흡수율 (%)	1.18	1.69	1.30
F.M	2.92	6.53	6.98
마모율 (%)	-	12.18	11.90
#4 통과율	-	1.79	1.78
단위용적	1.534	1.45	1.56
중량(t/m ³)			

2.1.3 混和劑

混和劑는 室內 最適配合比 選定實驗에서 슬럼프, 空氣量, 經時變化, 壓縮強度 實驗結果 誤差가 작고 要求條件을 만족하는 高性能 減水劑(SUPER-20), 減水劑(HYCOL-K), 遲延劑(DARATARD-17)를 使用하였다.

2.2 現場條件

本 實驗은 昌原 (株)大宇 輕自動車 現場에서 實施되었으며 使用裝備는 B/P, 레미콘 트럭, 奉型振動機, PUMP CAR, THERMO-COUPLE, UCAM-10A, CORE 穿孔機 및 切斷機를 使用하였으며, 測定用 U.T.M.은 용량 200t 油壓式이며 實驗期間 동안의 現場 氣候條件은 [표 4]와 같다.

표 4. 現場 氣候 條件

	오 전	오 후	최 고	최 저
온도(°C)	9~18	18~29	20~29	5~12
습도(%)	68~98	52~85	-	-

2.3 現場 最適配合比 決定 實驗

2.3.1 配合方法(Mixing Method)

現場 B/P 性能 및 室內實驗과 比較하기 위하여 一般 配合方法과 모르타르 先 비빔방법을 使用하여 슬럼프, 空氣量, B/P의 負荷量 그리고 供試體의 壓縮強度를 測定하였다. 그 結果 모르타르 先비빔 方法이 施工性 및 強度 增進에 優秀하므로 現場 施工의 配合方法으로 決定하였

다.

2.3.2 配合時間(Mixing Time)

B/P로 高強度 콘크리트를 生産할 경우 配合時間은 콘크리트의 生産性 및 施工性에 큰 影響을 미친다. 이러한 影響을 검토하기 위하여 高性能 減水劑 添可量(0.5~1.5%), 물-시멘트比(30~40%) 그리고 잔골재율(30~40%)을 變化시켜 그 特性을 測定하였다. 配合時間에 따른 實驗結果는 [그림 1]과 같다.

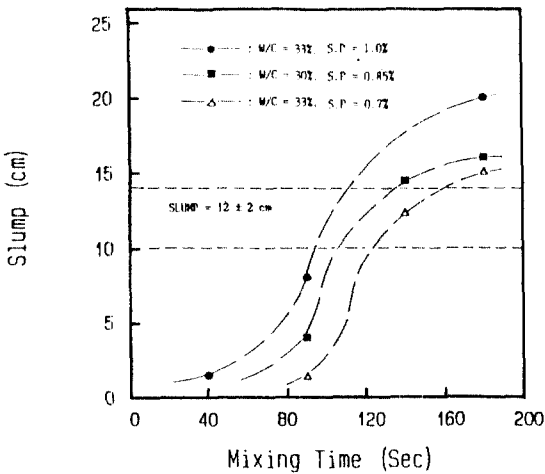


그림 1. 配合時間에 따른 슬럼프 比較

配合時間에 따른 슬럼프는 急上昇하여 特定 슬럼프에 수렴하는 S字형을 나타내었으며, 配合時間에 따른 空氣量은 다소 減少하였는데 이는 配合時間 및 混和劑 添可量의 增大로 인하여 骨材와 시멘트 페이스트 Matrix간의 組合이 균질하고 밀실해진 것으로 思料된다. 한편 豫備配合時間을 調整하여 實驗하므로써 슬럼프, 空氣量, 壓縮強度등에 別 影響이 없는 범위에서 高強度 콘크리트의 B/P 生産에 必要한 最小 配合時間을 決定하였다.

2.3.3 現場 最適配合比

잔골재율(S/a), 混和劑 調整配合 等の 豫備配合를 根據로 現場 B/P 生産과 所要強度 發現이 가능한 물-시멘트比(W/C)를 調整하고자 最適配合比 實驗을 통해 [표 5]

표 5. 現場 最適配合 決定實驗

시험체 명	W/C (%)	C (kg/m ³)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (kg/cm ²)	
					3일	7일
1	28	500	2.5	1.9	390.0	522.3
2	30	500	10.0	1.3	378.7	471.4
3	33	500	13.5	1.0	258.1	395.0

와 같은 結果를 얻었다.

[표 5]에서 보듯이 동일한 現場條件에서 물-시멘트比가 28%의 경우 強度發現은 優秀하나 施工性이 確保되지 않았으며, 반면에 33%의 경우 施工性은 優秀하나 強度發現에 문제가 있었다. 그러나 30%의 경우, 高強度 콘크리트의 室内實驗에서 나타난 바와 같이 材令 7日 壓縮強度가 28日 強度의 약 80~85% 정도임을 考慮할 때 強度發現도 優秀하고 施工性도 確保되므로 물-시멘트比를 30%로 決定하였다.

2.4 經時變化 實驗

B/P 生産時 高強度 콘크리트의 施工性을 確保하더라도 레미콘 트럭의 運搬時間에 따른 슬럼프 損失을 考慮해야 한다. 그러므로 앞절에서 選定된 現場 最適配合比, 配合時間, 配合方法으로 콘크리트를 生産하여 레미콘 트럭에 積載하였으며, 移動時 3~5rpm으로 回轉시키면서 15分 間隔으로 各 特性을 測定하였다. 이때, 40分과 75分 經過時 各 高性能 減水劑 일정량을 後添可 하였으며 生産後 15分 經過時, 그리고 高性能減水劑 後添可 直後 各 各 φ10×20cm 供試體와 CORE 穿孔用 部材(50×50×20cm)를 제작하여 材令別 壓縮強度를 比較하였다.

2.4.1 經時變化에 따른 特性

B/P에서 生産된 高強度 콘크리트를 레미콘트럭에 積載한 後 一定한 時間 間隔으로 슬럼프, 空氣量, 콘크리트 溫度를 測定하여 [표 6]에 나타냈으며 經過時間에 따른 슬럼프 變化를 [그림 2]에 나타내었다.

[표 6]과 [그림 2]에서 보듯이 運搬時間에 따른 高強度 콘크리트의 슬럼프 損失은 크게 나타났으며 이에따른 면밀한 施工計劃과 品質管理의 중요함을 알 수 있다.

표 6. 經時變化 實驗 結果

구분	경화시간(분)	배합직후							
		15	35	40 (후첨가)	65	75 (재첨가)	90	110	
슬럼프(cm)	12.0	6.0	3.5	20.0	7.0	18.7	11.5	10.0	
공기량(%)	-	1.8	-	1.5	-	1.0	-	-	
콘크리트온도	25℃	25℃	25℃	25.5℃	27℃	26.0℃	26℃	27℃	

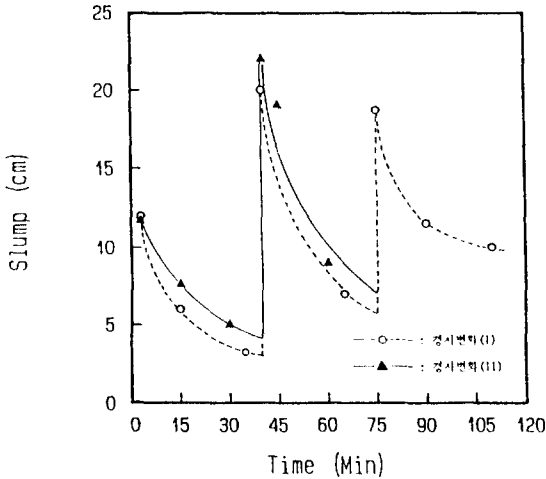


그림 2. 經時變化에 따른 슬럼프 비교

따라서 高強度 콘크리트의 施工은 配合後 가능한 빨리 打設하는 것이 좋으며 運搬時間에 따른 슬럼프 損失은 高性能 減水劑 後添可로 解決할 수 있다. 한편, 슬럼프 損失을 줄이기 위하여 同一 配合比에 遲延劑를 生産時 일정량 追加하여 實驗한 결과 슬럼프 損失에 미치는 影響이 거의 없는 것으로 나타나 向後 이에 대한 研究가 필요 할 것으로 思料된다.

2.4.2 經時變化에 따른 壓縮強度

콘크리트 生産後 15分 經過時와 高性能 減水劑 後添可 直後 제작한 供試體와 CORE用 部材에서 穿孔한 CORE 供試體의 材舍別 壓縮強度는 [표 7]과 같다.

표 7. 經時變化에 따른 壓縮強度 比較

구 분	경과시간 (분)	압축강도(kg/cm ²)		
		7일	28일	56일
I-1	15	490.0	563.7	-
		369.0*	446.0*	494.9*
I-2	45	477.3	617.5	640.9
		443.0*	611.5*	645.6*
I-3	90	485.0	614.9	-
		431.4*	575.8*	642.2*
II-1 (지연형)	45	412.2	517.3	-
		443.0*	564.0*	649.9*

* CORE 供試體의 壓縮強度

[표 7]에서 보듯이 打設時 施工性을 確保하기 위하여 高性能 減水劑를 時間 經過에 따라 일정량을 添可하여도 壓縮強度의 低下는 없는것으로 測定되었는데 이는 室內實驗 結果와도 一致하였다. 한편 供試體와 CORE 供試體의 壓縮強度를 比較해 보면 I-1을 제외한 모든 CORE

供試體의 壓縮強度는 ACI-318에서 提案한 供試體 強度의 85%를 훨씬 상회하였다.

2.5 材舍에 따른 強度發現

現場生産 高強度 콘크리트의 材舍에 따른 強度發現을 測定하기 위하여 經時變化 40分 經過後 高性能 減水劑를 後添可한 콘크리트로 供試體를 制作하여 材舍別 壓縮強度를 比較하였다. [표 8]과 [그림 3]에서 보듯이 材舍 7日의 壓縮強度는 28日에 비해 80%정도이며 28日 이후 56日까지 3~4%정도 強度增進을 나타냈는데 이는 보통강도 콘크리트에 비해 高強度 콘크리트의 初期 強度發現이 큼을 알 수 있다. 그렇기 때문에 高強度 콘크리트의 初期 養生에 대한 影響을 考慮해야 할 것으로 思料된다.

표 8. 材舍別 콘크리트의 強度發現

세 령	재령별 압축강도(kg/cm ²)							
	1일	3일	5일	7일	14일	28일	31일	56일
평균값	122.0	382.7	406.7	477.3	490.5	617.5	630.0	640.9

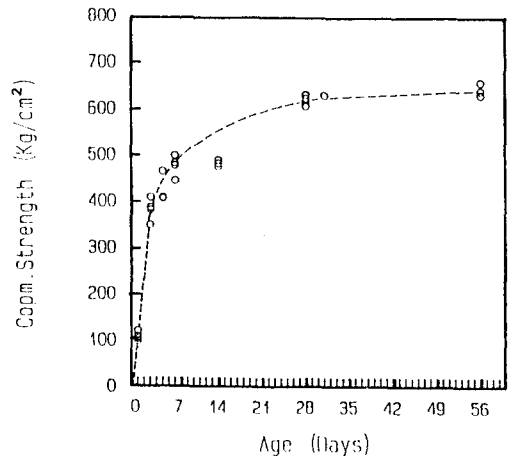


그림 3. 材舍別 콘크리트의 強度發現

III. 實大 構造物 施工性 實驗

3.1 部材 모델링

高強度 콘크리트의 作業성과 品質確保 및 強度特性의 檢討를 위하여 기둥, 보, 벽체등 實大 構造物을 [그림 4]와 같이 選定하여 適用하였다. 기둥의 경우 4가지 변수로 나누어 골재의 최대치수(C1: 19mm, C2: 25mm), 보-기둥 接合部의 強度 및 溫度特性和 施工性을 검토하기 위한 Joint Mesh 설치(C3 기둥), 그리고 기둥의 斷面크기(C4

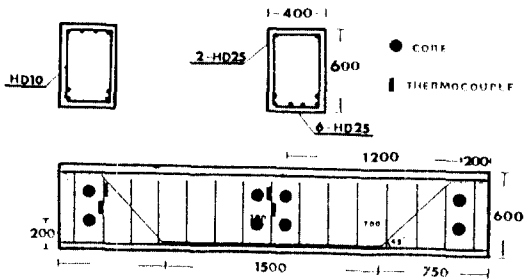


그림 4a. 實大 構造物 詳細圖(BEAM)

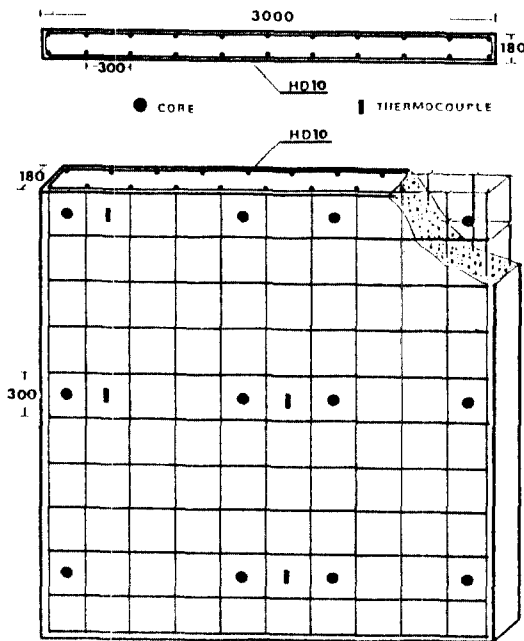


그림 4b. 實大 構造物 詳細圖(WALL)

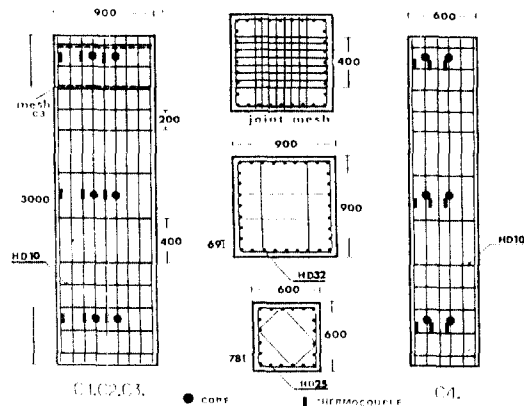


그림 4c. 實大 構造物 詳細圖(COLUMN)

기둥)로 區分하였다.

3.2 部材 打設

3.2.1 콘크리트 生産

B/P 生産時 配合投入口에 高性能減水劑를 添可하였으
며 1㎡씩 5회 生産하여 레미콘트럭에 積載하였다. 生産後
打設 直前까지 20分 정도 所要되었으며, 打設直前의 콘크
리트 特性은 [표 9]와 같다.

표 9. 實大 構造物 打設 콘크리트 特性

부분	Gmax (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	콘크리트 온도 (℃)	시공성 검 토	비 고 *현상습도 *외기온
구조체명						~73%
Cl-기둥	19	14.5	1.5	28.0	초기치연	*외기온
외부부재	25	16.8	1.8	27.0	양 호	~14℃

3.2.2 打設 및 養生

PUMP CAR로 部材의 밑면부터 일정량 打設後 振動다
짐을 하면서 상부로 打設하였고 모든 作業은 現場의 콘크
리트공에 의해 遂行되었다. 打設 1日 經過後에 1회/日로
기둥집면과 상부 노출면에 撤水養生을 實施하였으며 3
日째 기둥집을 脫型하였다. 打設時 제작한 供試體는 養生
條件에 따라 標準養生, 現場水中養生, 現場氣乾養生(大
氣)을 實施하였다.

3.2.3 CORE 穿孔 및 強度 測定

部材圖面에 따라 Fe-depth로 鐵筋의 有·無를 確認한
後 直徑 10cm 코어穿孔機로 部材의 코어를 穿孔하였다.
[그림 4]에 表示된 位置에서 各 部材別, 部位別 CORE
를 穿孔하였으며, 穿孔된 코어는 ASTM C42에 의해
40 時間以上 標準養生을 實施한 後 콘크리트 切斷機로
20cm씩 切斷하여 斷面의 骨材分布圖을 調査하였다. 上·
下部 유황 캡핑을 한 後 KS F2405에 따라 200t U.T.M.
으로 壓縮強度를 測定하였다.

3.2.4 콘크리트 内部溫度 測定

各 部材別 選定된 位置에 THERMO-COUPLE를
設置하고 각 감지기는 Lead선으로 UCAM에 連結하여
外氣溫과 함께 測定하였다. 測定間隔은 打設後 3日까지는
1회/時間, 그 後 4日間은 1회/日 測定하였다.

IV. 實驗 結果 分析

4.1 養生條件에 따른 影響

實大 構造物에 打設한 高強度 콘크리트의 養生條件別

표 10. 養生條件別 壓縮強度 比較

구분	Gmax (mm)	재령별 압축강도(kg/cm ²)		
		7일	28일	56일
양생조건				
표준양생	19	481.5	562.4	630.1
표준양생	25	482.0	582.3	629.4
기건양생	25	384.6	471.1	-
수중양생	25	457.7	510.1	-

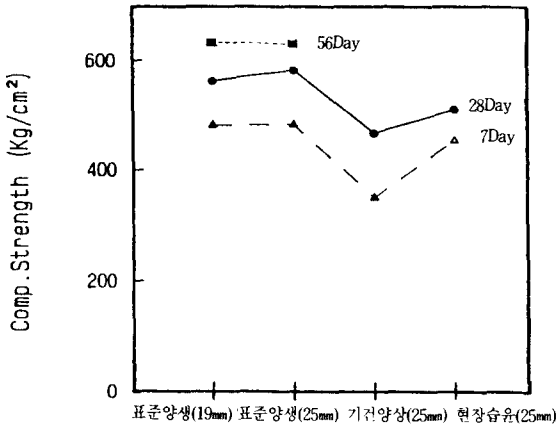


그림 5. 養生條件에 따른 壓縮強度 比較

強度發現을 測定하기 위하여 標準養生(23±2℃), 現場水中養生, 現場氣乾養生의 壓縮強度를 [표 10]과 [그림 5]에 나타내었다.

[그림 5]에서 보듯이 材令 28日 標準養生을 基準해 볼 때, 現場水中養生은 88%, 氣乾養生은 80% 정도로 氣乾養生의 경우 水和不足으로 현저히 낮게 測定되었다. 그러므로 高強度 콘크리트의 現場 適用時 가능한 濕潤養生을 原則으로 하는 것이 바람직하다.

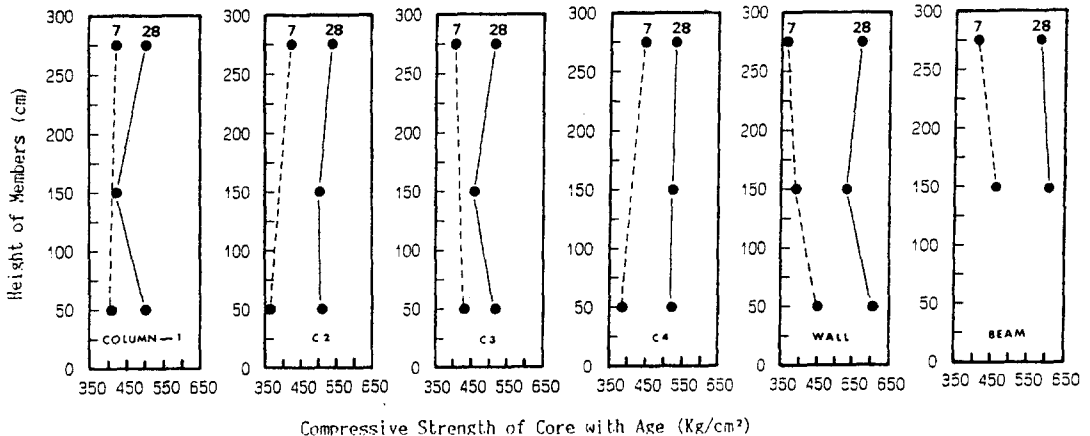


그림 6. 各 部材의 位置別 코어 壓縮強度 比較

표 11. 部材別 CORE 球試體의 壓縮強度

구분	구조채명	위치	압축강도(kg/cm ²)		공시체와 28일 강도 비(%)
			7일	28일	
C1-기둥		H	423.4	503.7	89.5
		M	-	423.5	75.3
		L	409.2	501.1	89.1
C2-기둥		H	425.3	541.3	93.0
		M	-	504.4	87.0
		L	364.8	510.6	87.6
C3-기둥		H	405.7	516.9	88.8
		M	-	468.6	80.5
		L	432.2	518.3	89.0
C4-기둥		H	444.3	529.7	90.1
		M	-	522.3	89.7
		L	386.1	520.1	89.3
WALL		H	374.0	571.6	98.2
		M	394.8	532.6	91.5
		L	452.7	605.4	104.0
BEAM		C	475.3	638.5	109.6
		E	417.7	614.5	105.6

生을 原則으로 하는 것이 바람직하다.

4.2 部材別 CORE 供試體 壓縮強度

部材別, 部位別 CORE 供試體의 壓縮強度는 [표 11]과 [그림 6]에 나타나 있다.

4.2.1 기둥의 CORE 壓縮強度

標準型인 C2 기둥은 部位別 差異는 있으나 供試體 壓縮強度의 87~93% 정도의 CORE 供試體 強度水準을 보였으며, Joint Mesh를 設置한 C3 기둥은 部位別 C2 기둥의 95~99% 強度를 나타내었기 때문에 接合部의 強度減少 効果는 거의 없었다. 또한 기둥 斷面이 C2 기둥

의 (2/3)²인 C4 기둥은 C2 기둥에 비해 4~13% 정도 높은 강도를 보였다. 이에 비하여 19mm 骨材를 사용한 C1 기둥은 初期 施工誤差와 打設時間의 遲延, 다짐부족등으로 C2 기둥의 83~92%의 強度水準을 나타내었다. 또한 기둥 높이별 CORE 強度差는 上部를 基準으로 볼 때, 中央部가 85%, 下部가 95% 정도로 測定되었는데 이는 施工時 品質管理 즉, 適正打設, 다짐영향등으로 인한 誤差로 思料된다. CORE 強度가 初期材令에서 낮게 測定된 것은 7日 CORE 測定을 위해 거꾸집 早期脫型과 養生期間 短縮에 의한 影響과 CORE 穿孔길이 90cm인 관계로 穿孔時 振動이나 攪亂의 影響으로 思料된다.

4.2.2 보, 벽체의 CORE 壓縮強度

보의 경우 CORE 位置에 관계없이 615~638kg/cm²의 強度水準을 보였는데 이는 PUMP CAR의 打設高가 낮고 振動다짐 및 品質管理가 용이한 결과로 思料된다. 벽체의 경우 標準養生 供試體 壓縮強度의 92~104%로 測定되었다.

4.3 CORE 供試體의 骨材分佈圖

CORE 斷面의 骨材分佈圖는 壓縮強度와 밀접한 關係가 있었다. [그림 7]에서 보듯이 骨材分佈가 조밀하고 空隙이

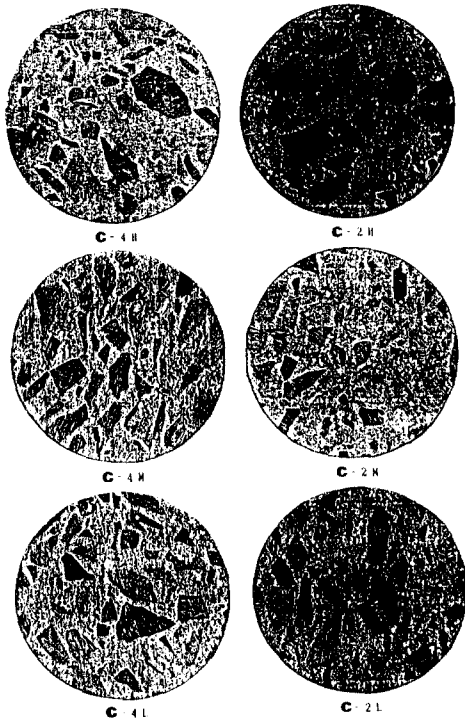


그림 7. 部位別 骨材 分佈圖

작을수록 壓縮強度가 크게 測定되었다. 한편, 高性能 減水劑의 使用으로 인한 骨材分離 現象이나 施工時 品質管理를 判斷할 수 있는 좋은 資料가 될 것이다.

4.4 콘크리트의 內部溫度 測定

各 部材의 部位別 測定한 內部溫度 特性은 기둥의 경우 外部에서 깊을수록 水和熱에 의한 溫度 增加가 크게 測定되었으며, 보의 경우는 最高 45℃ 정도로 높은 水和熱을 나타내었다[그림 8]. 반면 벽체의 內部溫度는 斷面이 작기 때문에 外部溫度와 비슷하게 測定되었으며, 모든 部材의 內部溫度는 거꾸집 脫型後 서서히 外氣溫에 接近하는 것으로 測定되었다.

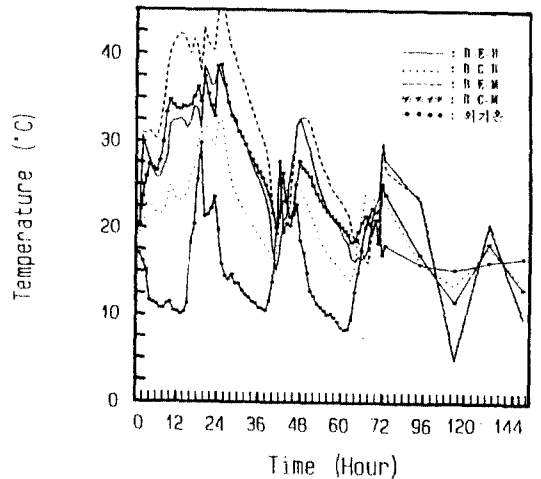


그림 8. 콘크리트 內部溫度 變化(보)

4.5 非破壞 壓縮強度 比較

콘크리트의 非破壞 試驗은 部材의 損傷을 주지않고 構造物의 強度를 推定할 수 있는 長點이 있다. 따라서 CORE 穿孔前에 그 位置에서 SCHMIDT HAMMER로 反撥度 試驗을 實施하여 실제 CORE 壓縮強度와 比較하였다. [그림 9]에서 보듯이 기둥과 같이 斷面이 크고 안정된 部材의 相關關係는 크게 나타났으나, 벽체와 같이 斷面이 작은 部材는 打擊時 振動 및 衝擊傳達로 인하여 相關關係가 低下된 것으로 思料된다. 따라서 安定된 部材의 경우 非破壞 壓縮強度 試驗으로도 構造物의 壓縮強度를 豫測할 수 있을 것으로 思料된다.

V. 結論

高強度 콘크리트 現場 生産 및 實大 構造物 適用을

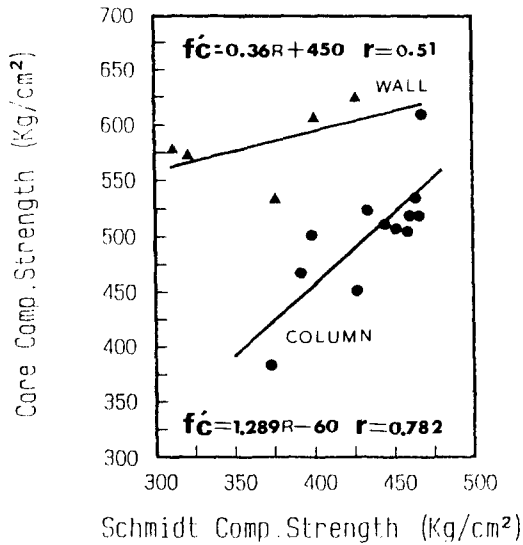


그림 9. 非破壞 試驗 壓縮強度 相關圖

遂行한 결과는 다음과 같다.

1. 最大 骨材치수 25mm인 碎石을 使用한 設計 基準強度 500kg/cm² 高強度 콘크리트의 現場生産 및 施工은 보통 콘크리트 材料와 裝備의 使用으로도 그 可能性을 確認하였다.

2. 實大構造物에서 穿孔한 CORE 供試體의 壓縮強度는 ACI 318에서 規定한 供試體 壓縮強度의 85% 以上 水準을 나타내었다.

3. 富配合인 高強度 콘크리트는 過多한 水和熱에 의해 溫度衝激등의 問題가 憂慮되므로 向後 이에 대한 研究가 推進되어야 할 것이다.

4. 高強度 콘크리트의 現場生産과 品質確保를 위한 現場 作業者 및 콘크리트 生産者의 認識과 教育이 必要하다.

5. 高強度 콘크리트의 實用化를 위한 關係法令 및 施工書 그리고 構造設計 指針등의 改正이 이루어 져야 한다.

感謝의 글

本 現場實驗을 위하여 도와주신 (株)大宇 輕自動車 現場 關係者 여러분께 感謝드립니다.

參考文獻

- (株)大宇 建設技術 研究所, “高強度 콘크리트의 經濟的 配合比 決定 및 實用化에 關한 研究”, 技術論文, DEP-C004-88, 1988. 4.
- (株)大宇 建設技術 研究所, “高強度 콘크리트의 實用化를 위한 部材試驗 研究”, 技術論文, DEP-C014-89, 1989. 8.
- 김진근, 신성우, 오병환, 김상식, “고강도, 유동화 및 섬유 콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구”, 건설분야 89 특정연구 요약집, 과기처, 건설부.
- ACI Committee 363, “State-of-the-Art Report on High Strength Concrete”, ACI J. July-Ang. 1984.
- 박철림, 조철근, 양은익, 장승규, 권영호, “現場打設 高強度 콘크리트의 施工性 및 強度特性에 關한 實驗的 研究”, 대한 건축학회 춘계 학술발표 논문집 제11권1호, 1991. 4.

(접수일자 : 1991.4.10)