

# 高温受熱된 高強度콘크리트의 壓縮強度에 관한 實驗的 研究

## An Experimental Study on the Compressive Strength of High Strength Concrete Heated High.

姜 丙 熙\*  
Kang, Byeong Hee  
吳 昌 熙\*\*  
Oh, Chang Hee

---

### Abstract

The results on high strength concrete by heating high are as follows:

1. High strength concrete appeared an estimated 5.5% higher than ordinary concrete in the central temperature of specimens by heating.
2. High strength concrete is higher than ordinary concrete in the decreased width of the ratio on the residual compressive strength by heating high.

According to heating temperature and time, the inferred formula of compressive strength on high strength concrete showed:

$$F_c = -0.53T_e - 2.4T_i + 748.4$$

---

### I. 序論

建築物이 大型化, 高層化되어감에 따라 構造  
材로서의 콘크리트는 보다 높은 強度가 要求되  
고 있다. 이에 따라 國內外的으로 強度 增大에

대한 많은 研究가 進行되고 있으며, 우리나라  
에서도 高強度 콘크리트가 部分的으로 實用化  
段階에 이르고 있다.<sup>1)</sup>

高強度콘크리트란 大韓建築學會에서는 300kg  
/cm<sup>2</sup>以上인 콘크리트,<sup>2)</sup> ACI에서는 410~700 kg/  
cm<sup>2</sup>인 콘크리트로 규정하고 있으며, 이 以上の  
強度를 갖는 콘크리트를 超高強度콘크리트라 한

---

\* 正會員, 漢陽大 博士課程·東亞大 副教授  
\*\* 正會員, 漢陽大教授·工學博士

다.<sup>3)</sup> 또한, Neville의 properties of Concrete 에서는 400~500kg/cm<sup>2</sup>인 콘크리트를 高強度콘크리트라 規定되어 있다.<sup>4)</sup> 그러나, 高強度콘크리트에 대한 研究는 普通콘크리트보다 多少 未洽하다고 하겠다. 특히 高強度 콘크리트가 火災로 인하여 急激히 高熱을 받았을 경우의 化学的·物理的인 性質变化에 관한 研究가 不充分하여 이에 대한 研究가 切實히 要求되고 있다.

따라서, 本 研究는 高強度콘크리트의 熱的 性状中 壓縮強度变化를 糾明하여 火災建物の 構造 耐力檢討를 위한 基礎資料를 提供하는 데, 그 目的이 있으며, 鉄筋콘크리트造 火災建物の 構造診斷에 있어서 보다 信賴性이 높고 客觀性이 있게 하는 데 그 意義가 있다.

## 2. 實驗方法

### 2.1 使用材料

#### 2.1.1 시멘트

本 實驗에 使用한 시멘트는 쌍용양회공업주식회사의 普通포틀랜드시멘트이며, 그 物理的 性質은 表 1과 같다.

표 1. 시멘트의 物理的 性質

粉末度 (cm <sup>2</sup> /g)	凝結(時-分)		壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )				安全度 (膨脹도%)
	初 結	終 結	1日	3日	7日	28日	
3,277	4-10	6-0	78	193	269	365	0.006(良)

#### 2.1.2 骨材

굵은骨材는 金海産의 花崗岩質碎石으로서, 最大치수 25mm以下이고, 粒度는 標準粒度 範圍内에 들었다. 잔骨材는 河東産과 합천産을 7:3의 比率로 混合한 것이다. 굵은骨材 및 잔骨材의 物理的인 性質은 表 2와 같고, 標準粒度 曲線은 그림 1과 같다.

표 3. 콘크리트 配合

單位시멘트 量(kg/m <sup>3</sup> )	S/A(%)	W/C(%)	單位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絶對容積(ℓ / m <sup>3</sup> )			單位重量(kg/m <sup>3</sup> )		
				시멘트	잔骨材	굵은骨材	시멘트	잔骨材	굵은骨材
477	38	41.5	198	151	247	404	477	636	1062
504	42	41.5	209	160	284	347	504	730	913

표 2. 骨材의 物理的 性質

区分	比重	吸水率 (%)	單位容積重 量(kg/m <sup>3</sup> )	實積率 (%)	空隙率 (%)	粗粒率 (%)	磨耗率 (%)
굵은骨材	2.63	0.95	1605	63.56	36.44	6.87	21.4
잔 骨材	2.57	1.2	1522	60.43	39.57	2.73	

### 2.2 配合設計

配合은 材齡 28日, 所要壓縮強度 400kg/cm<sup>2</sup>, W/C 41.5%로하고 S/A를 38%와 45%로 区分하여 表 3과 같이 2種類로 配合하였다.

### 2.3 供試體 製作 및 養生

#### 2.3.1 供試體 製作

##### 1) 強度 및 彈性係數 測定用

供試體는  $\phi 10 \times 20$ cm 크기의 円筒型Mould를 使用하여 KSF 2403에 따라 製作하였으며, 高熱에 의한 Capping部分의 剝離現象을 고려하여 Mortar Capping을 하지않고 제물마감 했다.

##### 2) 内部溫度 測定用

供試體는 強度 測定用과 同一한 方法으로 製作하였으며, 供試體의 中心部에 Sensor를 미리 埋設하였다.

#### 2.3.2 養生

供試體는 製作 24時間後에 脫型하여 水温 23 ± 2℃인 水槽에서 4週間 標準養生한 後 湿度 60%인 養生室에서 5個月間 氣中養生하였다.

#### 2.3.3 加熱 및 冷却方法

供試體의 加熱에는 恒溫調節裝置가 붙은 電氣 炉를 利用하였으며, 加熱은 炉内部의 溫度를 所定의 目標溫度(200℃, 400℃, 600℃, 800℃, 1000℃)로 上昇시킨 다음에 供試體를 炉内部에 넣었다. 또한, 炉内部의 供試體를 各 目標溫度 別로 15, 30, 60, 90分間씩 加熱하였다.

冷却은 所定の 加熱이 完了된 後, 供試체를 爐外部로 꺼내어 空氣中에 放置하여 常溫과 同一한 溫度가 되었을 때 試驗하였다.

## 2. 4 測定

### 2. 4. 1 供試체 中心部溫度

供試체 中心部에 미리 埋設한 Sensor를 自動溫度 測定裝置에 連結하여 10秒마다 溫度上昇에 따른 中心部溫도를 測定하였다.

### 2. 4. 2 壓縮強度

壓縮強度는 KSF 2405에 따라 每秒 2~3.5 kg/cm<sup>2</sup>의 一定한 加壓速度로 供試체가 破壞될 때까지 계속 加壓하였다.

供試체의 Strain測定은 壓縮強度試驗前에 Dial Gauge를 裝置하고 萬能試驗器에 連結된 X-Y Recorder로 加壓에 대한 變形量이 施線 되게 하였다.

## 2. 5 實驗機器 및 裝置

- 1) Mixer : 容量50ℓ, 回轉數 75r·p·m.  
100V 電動式.
- 2) Electric Furnace : (日本製) CHINO  
EF-01. 最高溫度 1400℃
- 3) Probes with Handgrip : (西獨製)  
THERM T-126,  
最高溫度1000℃, 材長 110cm,
- 4) Temperature Measuring System :  
(西獨製) THERM3420. 3455.  
3465.
- 5) X-Y Recorder : (日本製) KAWATE  
KAWATETSU KEIRYOKI Co.  
LTD, RIKEN DENSHI Co.  
LTD. SE-20-20D, F-3DP.
- 6) 萬能材料試驗機 : (日本製) Tokyo Test-  
ing Machine MFG Co. LTD.  
200ton~50ton 油壓式

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3. 1 高強度콘크리트의 中心部溫度

#### 3. 1. 1 中心部溫度 測定值

中心部에 埋設된 Sensor와 自動溫度 測定裝置에 連結하여 中心部溫度變化를 10秒 간격으로 測定하였다.

그림 1과 같이 供試체 中心部溫度는 加熱時間이 經過함에 따라 上昇하여 目標溫度에 接近하였으며, 加熱時間別 中心部溫도의 目標溫度에 대한 比는 加熱溫度 200℃인 경우 加熱時間 15분에 34%, 90분에 89%, 400℃인 경우 15분에 31%, 90분에 89%, 600℃인 경우 15분에 23%, 90분에 91%, 800℃인 경우 15분에 23%, 90분에 95%, 1000℃인 경우 15분에 21% 90분에 98%로서 中心部溫度 目標到達이 高強度 콘크리트가 普通콘크리트<sup>6)</sup>보다 높았다. 이는 高強度콘크리트가 普通콘크리트보다 比重 및 密度가 높기 때문인 것으로 思料된다.

加熱時間에 따른 中心部溫度變化는 110℃ ~ 190℃ 範圍와 540℃ 内外에서는 溫度上昇이 停止되거나 떨어지는 現象을 나타낸다. 이는 Ulrich Schneider의 高溫下에서의 콘크리트 分解反應에 관한 研究結果<sup>6)</sup>와 一致한다.

110~190℃範圍의 溫度에서는 脫水の 第1段階로서 水分蒸發, 遊離水 및 Gel의 崩壞에 의하여 Gel水の 蒸發에 따른 熱量의 損失이 그 原因인 것으로 判斷된다. 540℃ 内外에서는 脫水の 第2段階로서 Portlandite의 分解(Ca(OH)<sub>2</sub> → CaO + H<sub>2</sub>O)에 의한 水分의 蒸發에 起因한 것으로 생각된다.

또한, 표 4와 같이 第1段階의 脫水現象은 加熱溫度가 높을수록 빠른 時間에 일어나지만 中心部溫度는 낮다. 이에 反해 加熱溫度가 낮을수록 脫水現象의 發生은 늦어지고, 中心部溫度는 높아졌다.

第2段階 脫水現象은 加熱溫度에 關係 없이 中心部溫度 540℃ 内外에서 일어나며, 加熱溫度가 낮을수록 脫水現象이 일어나는 時間은 늦어지고, 第1段階 脫水現象과 같이 加熱溫度가

높을수록 빨랐다.

따라서, 供試體 中心部溫度의 實測値는 Ulrich Schneider의 示差熱分析<sup>6)</sup> 結果와 一致하였으며, 加熱時間이 짧은 15분과 30분인 경우는 加熱溫度가 낮을수록 目標溫度에 대한 比가 높게 나타났으며, 60分以後부터는 加熱溫度가 높을수록 目標溫度에 가깝게 接近했다.

표 4. 供試體 中心部溫度

脱水段階	加熱溫度(°C) 区分	200 400 600 800 1000				
		時間(分)	無	31	10	5
第1段階	中心部溫度(°C)	無	193	158	123	104
	時間(分)	無	無	75	41	32
第2段階	中心部溫度(°C)	無	無	540	540	539

### 3. 1. 2 中心部溫度의 計算値

研究(I)<sup>5)</sup>에서와 같이 Heisler 圖表<sup>7)</sup>에 의한 供試體 中心部溫度의 計算値는 표 5와 같으며, 위를 實測値와 比較하면, 그림 2와 같다.

그림 2에서와 같이 計算値와 實測値는 거의 같으나, 脱水現象을 일으키는 110°C~190°C 範圍와 540°C 内外에서 測定値와 計算値의 差가 현저하게 나타났다.

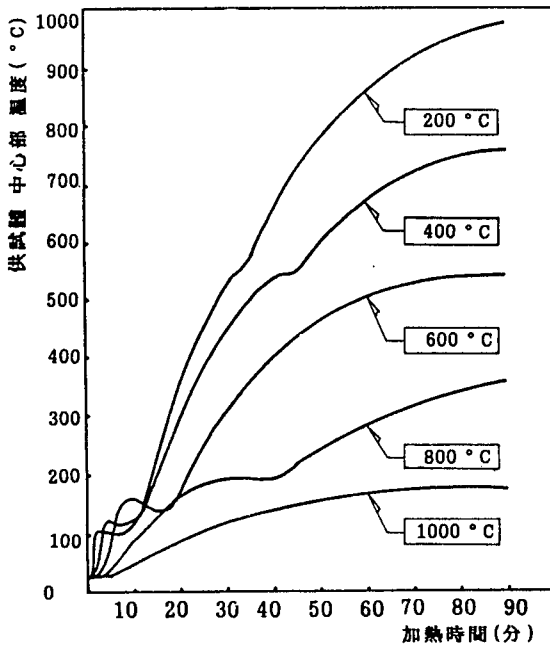


그림 1. 加熱溫度에 따른 供試體 中心部의 實測溫度

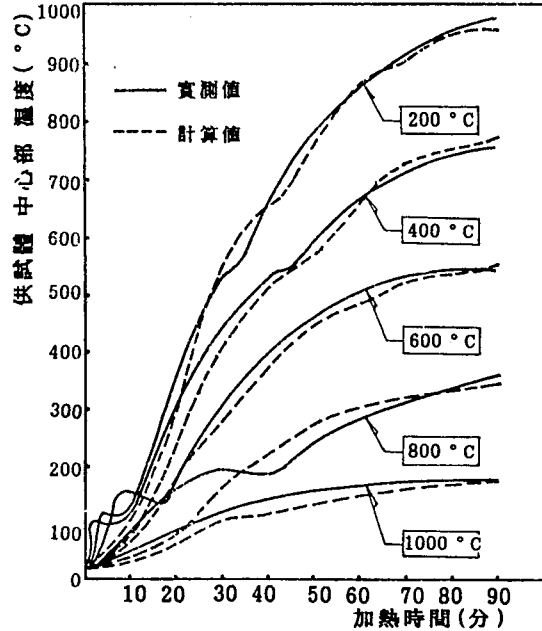


그림 2. 加熱溫度에 따른 供試體 中心部 溫度의 實測値와 計算値의 比較

## 3. 2 高温受熱콘크리트의 壓縮強度

### 3. 2. 1 相關分析

高強度콘크리트가 高温受熱된 後의 壓縮強度 變化에 影響을 미치는 因子들의 關係는 그림 3과 같다.

S/A의 相關性은 0.06으로 가장 낮게 나타났고, 重量變化가 0.88, 加熱溫度 0.86, 綿膨脹 0.53, 加熱時間 0.4의 順이나, 重量變化와 綿膨脹은 加熱溫度 및 加熱時間에 比例하며 그중 加熱溫度와 壓縮強度와의 相關性이 가장 높게 나타났다.

### 3. 2. 2 壓縮強度

#### 1) 殘存壓縮強度比

高強度콘크리트가 高熱을 받음으로써 發生되는 強度變化에 대한 試驗結果는 표 6과 같고, 加熱溫度에 따른 콘크리트의 殘存壓縮強度比는 그림 4와 같다.

加熱溫度에 따른 殘存壓縮強度比는 加熱時間

표 5. 供試体内部의 中心部温度計算 (Heisler 圖表에 依함)

加熱温度 ( $T_{\infty}$ : °C)	密度 ( $\rho$ : kg/ m <sup>3</sup> )	比熱 ( $c$ : kcal /kg·°C)	熱傳導率 ( $k$ : kdal /m·h·°C)	熱擴散率 $\alpha = \frac{K}{\rho \cdot c}$ (m <sup>2</sup> /h × 10 <sup>-3</sup> )	熱傳達率 ( $H$ : kcal /m <sup>2</sup> ·h·°C)	半徑 ( $\gamma$ : m)	加熱時間 ( $t$ : min)	$m = \frac{K}{\gamma \cdot H}$	$X = \frac{\alpha \cdot t}{\gamma^2}$	Y Heisler 圖	内部温度 $\theta_{\gamma} = T_{\infty} - \Delta T \cdot Y$
200	2,240	0.248	1.40	2.52	25.7	0.05	10	1.09	0.17	0.9	38
							20	1.09	0.34	0.73	68.6
							30	1.09	0.5	0.51	108.2
							40	1.09	0.67	0.43	122.6
							50	1.09	0.84	0.33	140.6
							60	1.09	1.01	0.25	155
							70	1.09	1.18	0.18	167.6
							80	1.09	1.34	0.15	173
							90	1.09	1.51	0.12	178.4
400	2,200	0.277	1.15	1.88	32.7	0.05	10	0.70	0.13	0.93	46.6
							20	0.70	0.25	0.7	134
							30	0.70	0.38	0.6	172
							40	0.70	0.5	0.46	225.2
							50	0.70	0.63	0.32	278.4
							60	0.70	0.75	0.24	308.8
							70	0.70	0.88	0.22	316.4
							80	0.70	1.	0.17	335.4
							90	0.70	1.13	0.14	346.8
600	2,1600	0.270	1.04	1.78	44.1	0.05	10	0.47	0.12	0.92	66.4
							20	0.47	0.24	0.71	188.2
							30	0.47	0.36	0.56	275.2
							40	0.47	0.47	0.35	397
							50	0.47	0.59	0.26	449.2
							60	0.47	0.71	0.2	484
							70	0.47	0.83	0.13	524.6
							80	0.47	0.95	0.12	530.4
							90	0.47	1.07	0.8	553.6
800	1,560	0.265	0.645	1.56	61.2	0.05	10	0.21	0.1	0.92	82.4
							20	0.21	0.21	0.71	246.2
							30	0.21	0.31	0.5	410
							40	0.21	0.42	0.36	519.2
							50	0.21	0.52	0.29	573.8
							60	0.21	0.62	0.17	667.4
							70	0.21	0.73	0.09	729.8
							80	0.21	0.83	0.06	753.2
							90	0.21	0.94	0.035	772.7
1000	1,400	0.262	0.439	1.20	85.2	0.05	10	0.1	0.08	0.91	108.2
							20	0.1	0.16	0.72	294.4
							30	0.1	0.24	0.45	559.
							40	0.1	0.32	0.35	657
							50	0.1	0.4	0.25	755
							60	0.1	0.48	0.13	872.6
							70	0.1	0.56	0.11	892.2
							80	0.1	0.64	0.05	951
							90	0.1	0.72	0.043	957.86

15分の 경우, 加熱溫度 200℃에서 98%, 加熱溫度 1000℃에서 44% 정도로 나타났다. 加熱溫度別 平均 殘存壓縮強度比는 200℃인 경우 92%, 400℃인 경우 79%, 600℃인 경우 59%, 800℃인 경우 37%, 1000℃인 경우 18%로 加熱溫度가 200℃씩 增加함에 따라 平均 殘存壓縮強度比는 약20%씩 減少하였다. 이는 加熱에 의한 収縮龜裂, 骨材의 石質에 의한 影響과 시멘트硬化體가 加熱됨에 따라 自由水, GEL水의 消失, Alumina와 酸化제 2 種을 포함한 水知物의 脫水, Calcium silicate 水和物의 保有水分의 脫水 및 水酸化Calcium의 分解에 기인한 것으로 보고되고 있다.<sup>6)</sup>

따라서, 上記의 分析結果에서 高熱을 받은 高強度콘크리트의 壓縮強度를 推定하기 위해 加熱溫度와 壓縮強度의 關係에서 式 1을 얻었다.

$$F_c = -0.53T_e + 631.6 \dots\dots (式1)$$

$$(R=0.86, R^2=0.74)$$

여기서  $F_c$ =壓縮強度(kg/cm<sup>2</sup>),  $T_e$ =加熱溫度(℃),  $R$ =相關係數,  $R^2$ =決定係數.

2) 加熱時間에 따른 高強度콘크리트의 殘存 壓縮強度比

그림 4는 高温受熱된 高強度콘크리트의 殘存 壓縮強度比를 加熱時間에 따라 표시한 것으로서 加熱時間 15分인 경우 加熱溫度 600℃까지는 殘存壓縮強度比가 84%로 높게 나타났으나, 加熱溫度 800℃일때 68%, 1000℃일때는 44%로 顯著하게 減少하였다. 加熱時間 30分以上부터는 殘存壓縮強度比가 値線的으로 減少하였으며, 加熱時間이 30分씩 增加함에 따라 平均 약 9%씩 減少하였다. 따라서, 高温受熱된 高強度콘크리트의 殘存壓縮強度比의 減少傾向은 加

표 6. 加熱溫度 및 時間變化에 따른 콘크리트 壓縮強度

加熱溫度(℃)	區分 加熱時間(分)	高強度콘크리트				平均		普通콘크리트	
		S/A : 38%		S/A : 45%		壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	殘存壓縮強度比(%)	壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	殘存壓縮強度比(%)
		壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	殘存壓縮強度比(%)	壓縮強度(kg/cm <sup>2</sup> )	殘存壓縮強度比(%)				
200	15	579.3	106.9	510.6	90.1	544.9	98.4	316.7	106.7
	30	569.5	105.1	548.1	96.8	558.8	100.9	297.2	99.8
	60	460.3	85	521.4	92.1	490.8	88.6	288.3	96.8
	90	395.5	73	491.1	86.7	443.3	80	274.3	92.1
400	15	509.7	94.1	474.5	83.8	492.1	88.8	306.5	102.9
	30	436.1	80.5	453.9	80.1	445	80.3	283.5	95.2
	60	421.4	77.8	430.4	76	426	76.9	268.4	90.1
	90	356.3	65.8	409.9	72.3	383.1	69.1	240.2	80.7
600	15	458.9	84.7	476.3	84.1	467.6	84.4	279	93.7
	30	422.6	78	267.4	47.2	345	62.3	240.8	80.9
	60	384	70.9	203.6	36	293.8	53	182.2	61.2
	90	269.7	49.8	151.2	26.7	210.5	38	123.3	41.4
800	15	376.9	69.6	372.1	65.7	374.5	67.6	205.9	69.2
	30	226.9	41.9	217.7	38.4	222.3	40.1	141.1	47.4
	60	140.4	25.9	109.2	19.3	124.8	22.5	54.6	18.3
	90	83.8	15.5	100.9	17.8	92.4	16.7	28.7	9.6
1000	15	259.3	47.9	226	40	242.7	43.8	131.2	44
	30	105.5	19.5	69.8	12.3	87.6	15.8	62.5	21
	60	30.6	5.6	62.7	11.1	46.6	8.4	18.9	6.3
	90	21.8	4	18.5	3.3	20.2	3.6	14.1	4.7
常溫		541.8	100	566.5	100	554.1	100	297.8	100

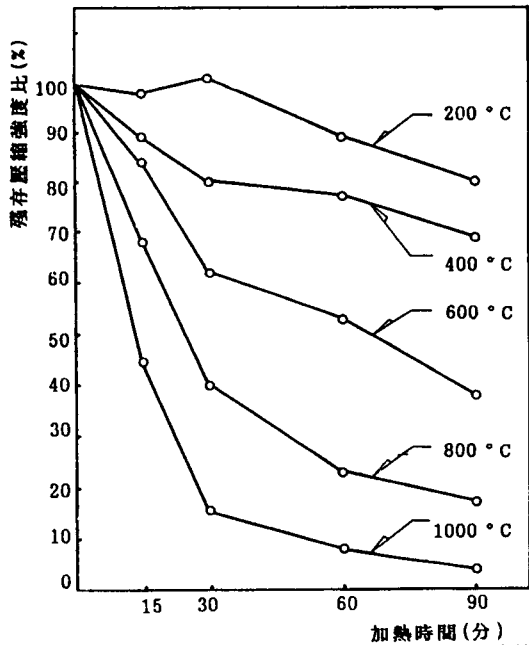


그림 3. 加熱溫度에 따른 加熱時間과 殘存壓縮強度比

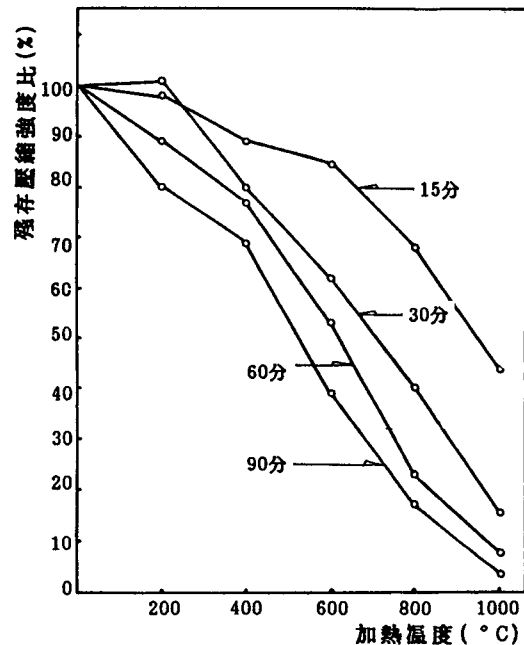


그림 4. 加熱時間에 따른 加熱溫도와 殘存壓縮強度比

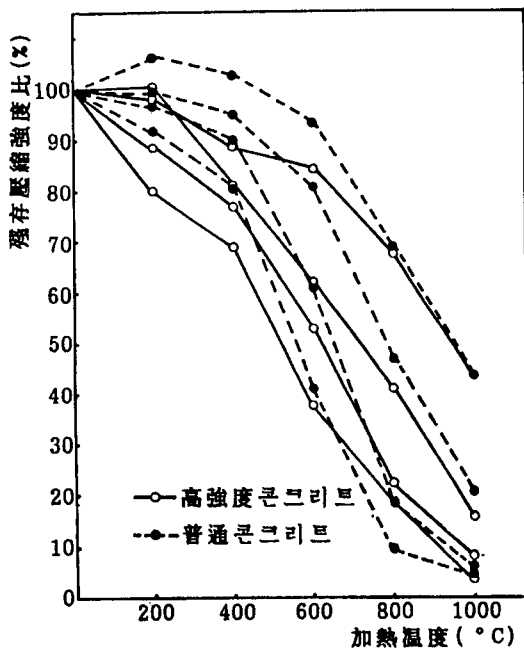


그림 5. 加熱溫度에 따른 殘存壓縮強度比(高強度 콘크리트와 普通콘크리트)

熱時間의 影響이 加熱溫度보다 적게 나타났다. 또한, 加熱溫도와 加熱時間을 함께 適用한 加熱條件과 壓縮強度의 關係에서 式 2 를 얻었다.

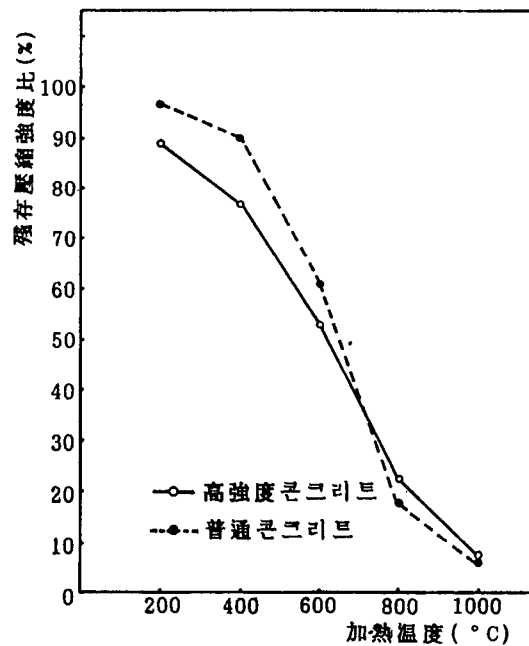


그림 6 加熱溫度에 따른 殘存壓縮強度比(加熱時間 60分)

$$F_c = -0.53T_e - 2.4T_t + 748.4 \dots \text{--- (式 2)}$$

$$(R=0.95, R^2=0.9)$$

여기서,  $F_c$  = 壓縮強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )

$T_e$  = 加熱溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_t$  = 加熱時間 (分)

加熱溫도와 時間을 適用한 多重回歸式이 加熱溫度만을 適用한 單純回歸式보다 相關係數가 훨씬 높게 나타났다.

따라서, 火害콘크리트의 壓縮強度推定에는 溫도와 時間을 함께 適用시킨 多重回歸式을 活用함이 信賴性이 높을 것으로 思料된다.

3) 高強度콘크리트와 普通콘크리트의 殘存 壓縮強度

高温受熱된 高強度콘크리트와 普通 콘크리트의 殘存壓縮強度比는 그림 5와 같이 加熱溫度  $800^{\circ}\text{C}$ 와  $1000^{\circ}\text{C}$ 에서 거의 近接하고 있으나, 加熱溫度  $600^{\circ}\text{C}$ 이하의 溫度에서 高強度 콘크리트의 殘存壓縮強度比의 減少幅이 普通콘크리트보다 크게 나타났다. 그림 6은 加熱時間 60分에서 高強度콘크리트와 普通콘크리트의 殘存壓縮強度比를 比較한 것이다.

4) 配合條件에 따른 殘存壓縮強度比

콘크리트의 配合條件에 따른 殘存壓縮強度比는 그림 7과 같이 S/A 38%인 경우가 S/A 45%인 경우보다 多少 높게 나타났다. 그러나, 加熱溫度  $600^{\circ}\text{C}$ 인 경우 加熱時間 30分以後부터 매우 큰 差를 나타내고 있으나, 이는 他 加熱溫度條件에서는 나타나지 않는 現象으로서 實驗誤差로 볼 수 있다. 따라서, S/A는 加熱後 殘存壓縮強度變化에 影響이 매우 적은 것으로 思料된다.

5) 既存 研究結果와의 比較

以上の 高温受熱된 高強度콘크리트의 壓縮強度性狀에 대한 實驗結果를 既存의 研究結果와 比較하면, 그림 8과 같이 加熱溫度  $400^{\circ}\text{C}$ 까지는 金和中氏의 研究結果와 비슷하였으며,  $600^{\circ}\text{C}$ 以上の 溫度에서는 W·KOCHERSCHIEDT의 研究結果와 一致하였다.

4. 結 論

高熱을 받은 高強度콘크리트에 대한 試驗結果를 分析하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 加熱에 의한 供試体内部의 中心部溫度는 高強度콘크리트가 普通콘크리트보다 平均 약 5.5% 높았다.

2) 供試体内部의 中心部溫度 測定値는  $110^{\circ}\text{C}$  ~  $190^{\circ}\text{C}$  範圍와  $540^{\circ}\text{C}$ 에서 溫度上昇이 停止되거나 약간 減少現象을 보였다.

3) 殘存壓縮強度의 變化는 加熱時間보다 加熱溫도의 影響이 큰 것으로 나타났다.

4) 高温加熱에 의한 殘存壓縮強度比의 減少는 高強度콘크리트가 普通콘크리트보다 컸다.

5) 壓縮強度推定式은 加熱溫도와 時間을 適用한 多重回歸式이 加熱溫度만을 適用한 單純回歸式보다 相關係數가 훨씬 높았으며, 그 式은  $F_c = -0.53T_e - 2.4T_t + 748.4$ 이다.

參 考 文 獻

1. 吳昌熙: 超音波法에 의한 高強度콘크리트의 非破壞檢査에 관한 研究(II). 大韓建築學會誌. 16卷 44號, 1972. 2.
2. 大韓建築學會: 建築用語集, 1982. 4.
3. ACI: sp-100. Vol II-1, 1987. 12.
4. A. M. Neville: Properties of Concrete, 1977.
5. 吳昌熙·姜丙熙: 高温受熱콘크리트의 性狀에 관한 實驗的 研究(I). 大韓建築學會論文集. 3卷 6號, 1987. 12.
6. Ulrich Schneider: Verhalten von Beton bei hohen Temperaturen, 1982.
7. M. P. Heisler: Temperature charts for Induction and Constanture Heating.