

加熱養生 콘크리트의 水和 및 強度에 관한 研究

A Study on the Hydration and Strength of Accelerated Curing Concrete

申	鉉	默*
Shin,	Hyun	Mook
全	贊	基**
Jeon,	Chan	Ki
南		仁***
Nam,		In

Abstract

The hydration and strength of concrete are affected by curing conditions, especially curing temperature. In this paper, the hydration temperature of heated curing concrete specimen are measured by thermo-couples instead of conduction calorimeter, and strengths of concrete are tested.

The results of this study show that the compressive strengths of concrete are especially dependent on the curing temperature. And the strength results of concrete agree approximately with the results of approach to the hydration process of cement concrete.

要 旨

加熱養生에 의한 콘크리트 強度의 早期發現은 常溫에서 행해지는 보통의 濕潤養生에 비하여 매우 빠르다는 것이 周知의 사실이다. 그러나 加熱養生에 의하여 콘크리트의 水和와 強度가 促進되는 메카니즘은 단순하지가 않다.

本 研究에서는 콘크리트 供試體를 30~100°C 로 加熱할 때의 水和反應 程度를 알아보기 위해 간편한 熱電對를 사용하여 신속하게 測定하고, 동시에 壓縮強度를 測定하여 각각의 特性과 相互關係를 比較 檢討하였다.

그 結果 養生溫度에 따른 水和上昇溫度는 傳導式 熱量計에 의한 水和發熱速度曲線과 유사한 樣相을 나타내며, 水和促進이 強度發現의 결정적 要因이 확인되었다. 또한 高溫일수록 水和 및 強度가 促進되고, 약 10時間 以內에서는 90°C 부근에서 높은 強度를 나타내는 반면, 그 以後에는 강도의 증진이 저조하지만 70°C 정도의 養生은 지속적인 強度發現을 보여주었다.

* 正會員·成均館大學校 工科大學 教授

** 正會員·富川工業專門大學 助教授

*** 正會員·成均館大學校 大學院 碩士課程

1. 序 論

콘크리트의 壓縮強度는 여러가지 要因에 의해

지배되지만 특히 養生溫度의 영향이 현저하다. 그러나 콘크리트의 強度發現은 養生溫度에 比例하지 않는다는 것이 일반적인 見解이고 또 이들 研究 結果는 斷片的인 경우가 대부분이다⁽¹⁻⁹⁾.

本 研究에서는 30~100°C의 高溫養生이 콘크리트의 強度發現性狀에 미치는 영향을 규명하기 위하여 化學的 및 物理的 方法으로 大別하여 實驗研究를 실시하였다. 加熱養生을 실시한 시멘트의 水和 程度를 알아보는 데는 走査顯微鏡(SEM)에 의한 관찰과 細孔構造 分析 및 水和物 分析等^(10,11)의 方法이 있으나, 本 研究에서는 熱電對(thermo-couple)를 이용하여 加熱養生狀態에 있는 콘크리트 供試體의 內部 水和溫度를 測定함으로써 水和 程度를 간편하고 신속하게 分析하였다. 또한 水和溫度를 測定함과 동시에 이에 따른 콘크리트의 壓縮強度를 測定하여 溫度條件이 初期強度에 미치는 영향을 검토하였다.

이들 結果는 콘크리트 強度의 早期判定⁽¹²⁻¹⁵⁾에 이용될 수 있을 것이고 그 밖에 콘크리트 2次 製品 및 熱帶地方에서의 콘크리트 初期強度 등에 필요한 기초적 자료로 이용될 수 있을 것이다.

2. 實驗 概要

2.1 實驗 計劃

本 實驗의 目的은 加熱養生을 실시한 콘크리트의 養生溫度 및 養生時間에 따른 콘크리트 強度變化를 水和溫度와 관련시켜 그 메카니즘을 규명하는 데 있다. 또한 加熱養生을 실시하기 전에 大氣 中에 방치하는 時間(以下 前養生時間(pre-curing period)이라고 부른다)의 영향을 아울러 비교 검토하였다.

이를 위해 콘크리트 공시체 내부의 水和溫度는 熱電對에 의해 측정하였으며 促進養生 裝置는 恒溫水槽를 사용하였고, 공시체 제작 후 곧 바로 加熱促進養生이 容易하도록 밀폐 두껍기 부착된 強度促進用 特殊모울드(이하 促進모울드라고 부른다)를 표준모울드와 併用하였다. 養生溫度는 30~100°C로 변화시켰으며, 養生時間은 48時間 이내에서 변화시켰다. 또한 전양생시간의 영향을 검토하기 위하여 전양생시간 없이 바로 促進養生을 실시하는 경우와 3時間 및 24時間의 전양생시간을 두는 것으로 구분하여 실시하였다.

2.2 使用材料 및 器具

실험에 사용한 시멘트의 物理的 性質과 化學的 成分은 表 1 및 2에 나타내었으며, 骨材의 物理的 性質은 表 3 및 4에 나타내었다.

모울드는 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 및 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 원주

表 1. Physical Properties of Cement

Specific Gravity	Fineness (cm ² /g) Blain Method	Setting Time		Compressive Strength (kg/cm ²)		
		Initial Set (min.)	Final Set (hr.)	3days	7days	28days
3.15	3190	275	8	158	232	293

表 2. Chemical Composition of Cement(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Ignition Loss
22.00	6.50	59.90	2.90	3.60	2.00	1.59

表 3. Physical Properties of Fine Aggregate

Specific Gravity	Fineness Modulus	Absorption (%)
2.600	2.870	1.500

表 4. Physical Properties of Coarse Aggregate

Materials No.	Specific Gravity	Fineness Modulus	Absorption (%)
G ₁ *	2.590	5.120	0.620
G ₂	2.595	4.670	1.180

* : Crused Stone.

형모울드를 사용하였으며, 促進모울드는 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 의 크기로 특수제작하여 사용하였다.

供試體 中心部の 水和溫度 測定은 熱電對 溫度計와 精密度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 인 5端子의 디지털 溫度測定器를 사용하여 실시하였다.

恒溫水槽는 水槽의 溫度가 최고 100°C 까지 自動調節되는 것으로서 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 공시체를 脫型하지 않은 채로 6개를 동시에 양생할 수 있는 크기의 것을 사용하였다.

2.3 實驗 方法

콘크리트의 配合는 表 5에 보인 바와 같이 單位水量이 175kg이 되도록 정하고 W/C 비는 50 및 60%의 두가지로 하였다.

水和溫度 測定用 供試體는 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 促進모울드를 사용하여 제작하였고, 熱電對는 供試體 製作時 中心部에 埋入하였다. 強度 測定用 供試體는 $\phi 15 \times 30\text{cm}$ 와 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 표준모울드를 사용하여 제작하였다.

공시체는 促進養生을 실시하기 전에 養生初期의 正常的인 水和反應을 유도하여 促進養生 段階에서 強度를 增進시키고자 일정시간 大氣中에 放置하였다. 총 양생시간은 (0+T), (3+T), (24+T)의 3가지 경우로 구분하였다. 앞의 숫자는 전양생시간을, 뒤의 T는 促進養生時間을 나타낸다.

24시간 전양생을 실시하는 공시체는 표준 모울드로 제작한 후에 10mm의 유리판으로 덮고 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 실내에 방치하여 24時間 후에 脫型한 뒤 촉진양생하였다.

촉진양생을 실시한 공시체 내부의 水和溫度的 測定은 촉진양생 직후부터 每 10分 간격으로 8시간 정도까지 측정하였다. 촉진양생이 끝난 공시체는 대기 중에서 약 30分 정도를 방치한 뒤 켈핑을 하여 압축강도를 측정하였다. 이들 실험결과는 表 5의 배합에서 W/C 60%의 경우

를 Test I, W/C 50%의 경우를 Test II로 하여 분석하였다.

3. 加熱에 의한 水和溫度的 特性

3.1 相對水和溫度的 特性

養生溫度別, 遲延時間別 供試體 內部的 水和溫度 上昇量 測定 結果를 그림 1에 나타내었다. 그림 1은 세로軸에 相對水和溫度(공시체 내부의 수화온도와 양생수조의 溫度差)를, 가로軸에 養生時間을 잡은 것이다.

그림 1로부터 (0+T), (3+T)의 공시체는 促進養生溫度가 높을수록 相對水和溫度的 피크는 높고 빠르게 나타나고 있는 반면, (24+T)의 공시체는 (0+T)와 (3+T)에 비해 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 이것은 상대수화온도의 특성이 전양생시간의 有無에 따라 변한다는 것을 뜻하며, 전양생시간이 짧을수록 양생온도에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

또한 (0+T), (3+T), (24+T)의 공시체는 모두 80°C 이상의 촉진양생에서는 수화온도의 급속한 下降을 보이고 있으나, $40 \sim 70^\circ\text{C}$ 사이는 그 하강이 완만하다. 이와 같이 비교적 높은 相對水和溫度的 지속현상은 (24+T)의 $50 \sim 70^\circ\text{C}$ 에서 특히 현저함을 볼 수 있다.

한편 그림 1의 相對水和溫度 曲線은 그림 2의 시멘트 水和發熱量을 傳導式熱量計로 測定하여 시간에 따른 水和發熱速度⁽¹⁶⁾로 表示한 것과 유사함을 알 수 있다. 이것은 水和發熱速度와 같은 시멘트 硬化體의 水和特性을 고찰하는 데는 熱電對를 이용한 水和熱 上昇溫度的 측정으로도 간단히 판단할 수 있음을 의미한다.

그림 2에서 초기에 나타나는 약간 높은 水和速度는 시멘트 組成物中の 하나인 C_3A 에 기인하는 것이지만⁽¹⁷⁾, 그림 1에서 C_3A 의 피크가 나타나지 않는 것은 C_3A 의 水和發熱이 養生溫

表 5. Mix Proportion

W/C (%)	Materials No.		Mix Proportion (kg/m ³)				Test No.
	Fine Agg.	Coarse Agg.	Water	Cement	Fine Agg.	Coarse Agg.	
60	S ₁	G ₂	175	292	748	1075	Test I
50	S ₁	G ₁	175	350	729	1045	Test II

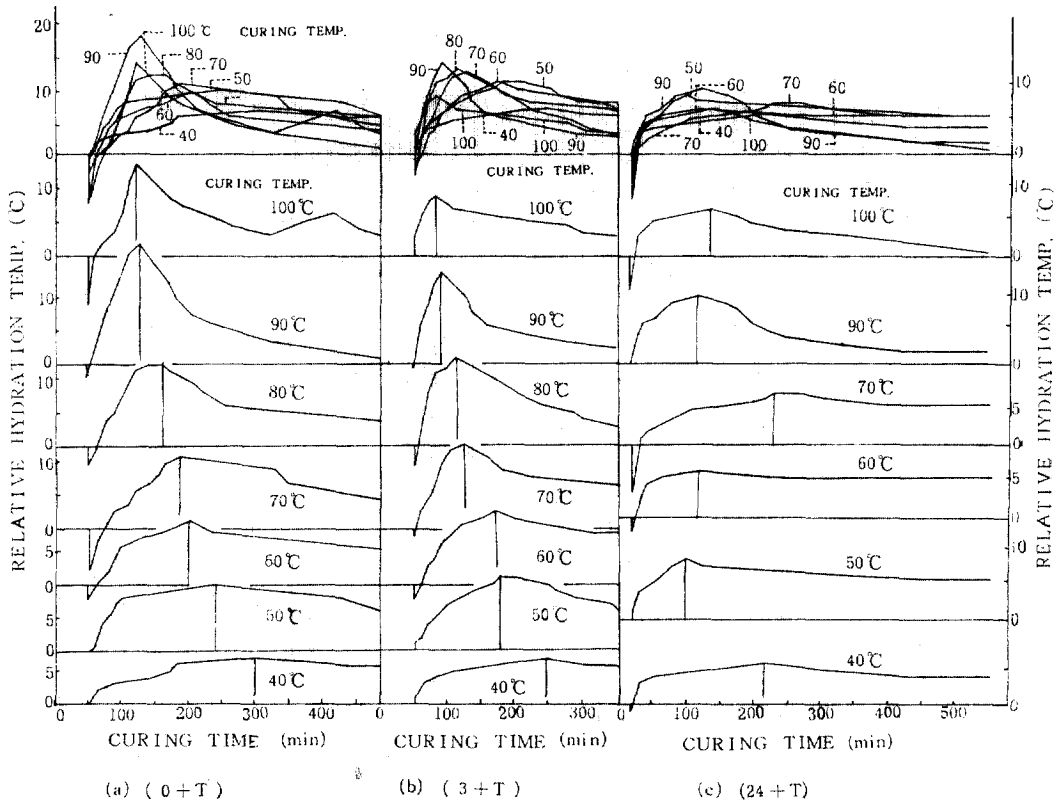


그림 1. Variation of Relative Hydration Temperature for Curing Hour

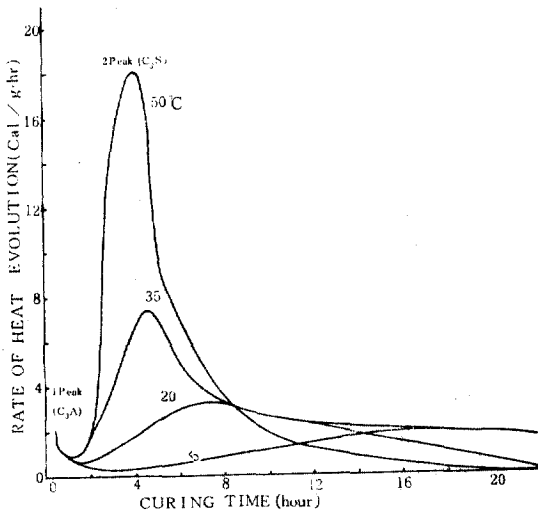


그림 2. Relation between Curing Hour and Rate of Heat Evolution

도에 비하여 상대적으로 작기 때문이라고 생각된다. 또한 C_3A 에 의한 제 1 피크 이후부터 C_2S

에 의해 수화속도가 다시 상승되는 시기까지의誘導期(또는 潛伏期, dormant period)가 그림 1에서는 분명하지 않지만 양생온도와 수화온도가 같아지는 시기까지를 유도기라고 생각할 수 있을 것이다.

3.2 水和溫度上昇이 나타나는 時期

養生水槽의 溫度와 供試體 內部的 水和溫度가 같아져서 실질적인 溫度上昇이 일어나는 시기는 그림 3(a)와 같이 (0+T), (3+T)의 경우 모두가 50~60分 정도이다. 이와 같은 현상은 常溫에서의 透導期가 2~3시간 지속된다는 사실과 비교해 볼 때 촉진양생을 실시하면 유도기가 매우 단축된다는 것을 의미한다.

(24+T)의 경우 온도상승이 나타나는 시기가 20分 정도로서 더욱 단축되는데, 이는 이미 24시간 동안 水和 및 硬化가 이루어진 상태여서 水和初期의 유도기에 나타나는 ettringite皮膜에 의한 水和妨害가 없기 때문이라고 생각된다.

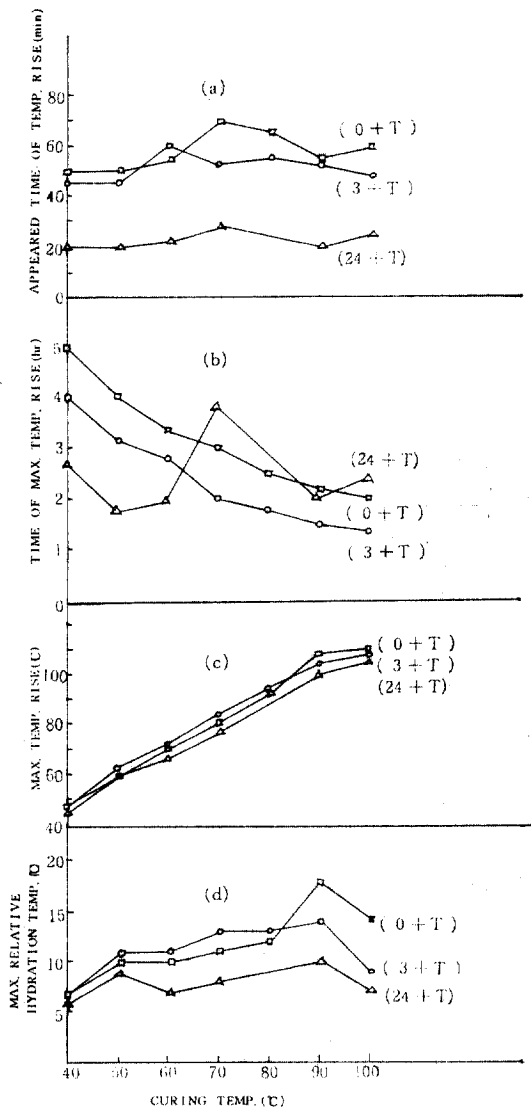


그림 3. Relation Between Curing Temp. and Properties of Hydration

3.3 水和反應이 가장 활발한 時期 및 最大値

水和反應이 가장 활발하게 일어나는 時期, 즉 相對水和溫度가 피크에 도달하는 時期는 그림 3 (b)로부터 (0+T), (3+T)의 경우 養生溫度가 높아질수록 빨라지며 특히 (3+T)의 경우는 養生溫度에 관계없이 (0+T) 경우보다 1시간 정도 더 빠르다. 이는 (3+T)의 경우 3시간의 전

양생시간 동안 규산칼슘水和物인 C-S-H(calsium silicate hydrate) gel의 생성이 이루어진 뒤 C₃S의 水和가 활발히 일어나는 上昇期로 접어들었기 때문이다. 결국 온도상승이 나타나는 시기는 (0+T)와 비슷하다라도 上昇速度가 크기 때문에 피크가 나타나는 시간이 빨라진다고 생각된다.

(24+T)의 경우는 70°C의 경우를 제외하고는 약 2~3시간 후에 피크를 나타내고 있는데, 이와 같은 사실은 (0+T), (3+T)와 相異하다고 할 수 있다. 그 이유는 70°C의 경우 피크에 도달하는 시기가 늦어지더라도 높은 水和溫度가 상당기간 지속되는 사실을 들 수 있지만 분명하지는 않다.

相對水和溫도의 피크는 그림 3(c)로부터 (0+T), (3+T)의 경우가 큰 편인데 이런 현상은 相對水和溫도의 피크特性을 나타낸 그림 3(d)로부터 더욱 분명해지며, 특히 90°C의 경우가 100°C의 경우보다 높은 것은 특이한 사실이라 하겠다. 이는 너무 급속한 水和反應이 일어나면 未水和 시멘트 粒子 주위에 다소 두꺼운 水和生性層이 형성되어 정상적인 水和進行을 방해하기 때문이라고 생각된다.

3.4 水和溫도의 上昇速度

養生溫度와 水和溫度가 같게 된 時期以後의 水和溫度上昇速度와 養生時間과의 관계에 대해 一例를 든 것이 그림 4이다. 이 그림으로부터 養生溫度가 높을수록 初期의 上昇速度가 큰 반면 급속한 速度低下를 나타내고 있음을 알 수 있다. 특히 이와 같은 현상은 그림 2와 비교해 볼 때 전체적인 양상이 매우 유사하다.

결국 이상과 같은 사실로부터 熱電對에 의한 水和溫度上昇量曲線 및 水和上昇速度曲線은 傳導式 熱量計를 이용한 水和速度曲線과 여러가지 特性이 유사함을 알 수 있다.

4. 養生條件에 따른 壓縮強度의 發現性狀

4.1 養生時間과 壓縮強度

養生時間에 따른 壓縮強度의 結果를 養生溫度別로 나타낸 것이 그림 5이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 (3+T)의 경우 전체 양생시간이 24시간 이내의 강도는 高溫일수록 크게 나

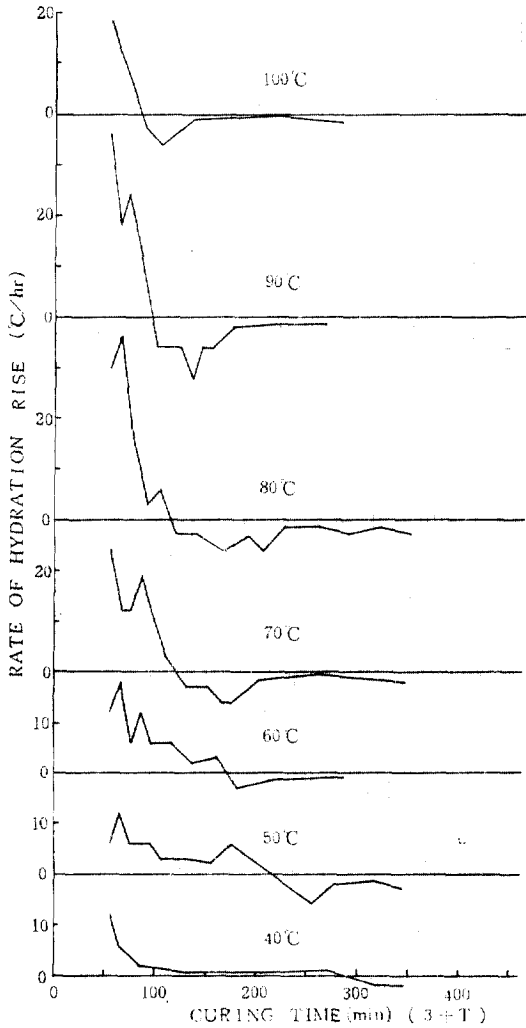


그림 4. Relation between Curing Time and Rate of Hydration Tem. Rise

타나는 반면, (24+T)의 경우 初期에는 80~100°C의 高溫에서 높지만 전양생시간을 포함한 全體材습이 2日정도가 되면 70~80°C의 경우에 오히려 높은 강도를 나타낸다. 이것은 그림 1의 水和溫度 結果와 비교해 보면 당연한 사실이지만 水和溫度가 클수록 콘크리트의 強度가 커져 水和溫度와 強度는 직접적인 관계가 있음을 알 수 있다.

한편 그림 5에서 알 수 있는 또 하나의 현상

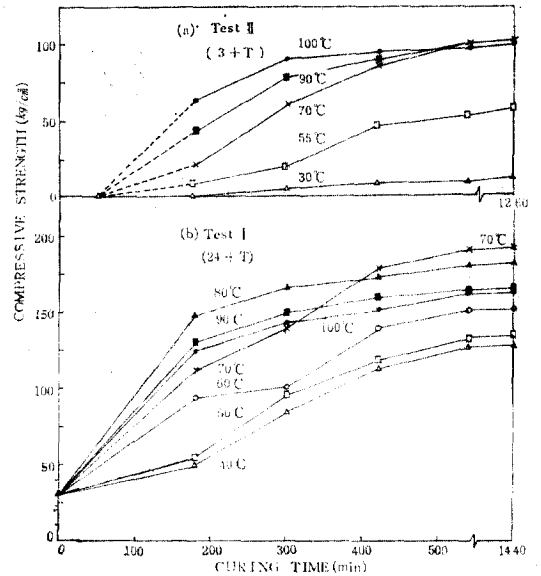


그림 5. Relation between Curing Hour and Compressive Strength

은 (3+T), (24+T) 모두 촉진양생시간이 약 500分 정도를 지나면 강도의 증진이 거의 없다는 加熱養生에 의한 콘크리트 強度의 증진이 加熱初期에는 상당히 크지만 점점 그 영향이 약해져서 약 10時間 정도 이후에는 加熱의 효과가 크지 않음을 나타내는 것이다.

4.2 養生溫度와 壓縮強度

그림 6은 養生溫度에 따른 壓縮強度 結果를 養生時間別로 나타낸 것이다. 그림 6(a)로부터 (0+8), (3+5)와 같이 全養生時間이 8시간인 경우는 高溫일수록 強度가 높아진다. 특히 (0+8)은 70°C 이상에서, (3+5)는 80°C 이상에서 거의 같은 강도를 나타냄을 알 수 있다.

한편 (0+24), (3+21)과 같이 全養生時間이 24시간인 경우는 (0+8), (3+5)에 비하여 養生溫度에 따른 강도변화가 작음을 알 수 있다.

전양생시간이 24시간인 그림 6(b)를 보면 促進養生時間이 3시간 정도로 짧은 경우는 콘크리트의 強度가 80°C에서 가장 높고 90~100°C에서 비교적 높게 나타난다. 그러나 促進養生時間이 9시간을 넘어 24시간이 되면 70°C의 양생 온도에서 가장 높은 강도를 나타낸다.

이와 같은 현상들은 그림 1에서 나타난 현상

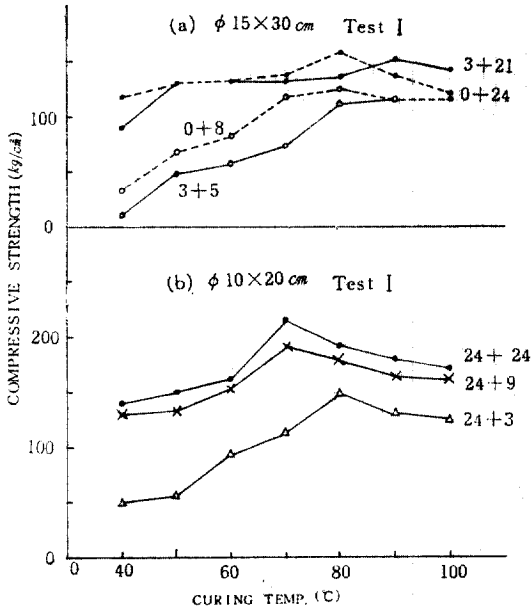


그림 6. Relation between Curing Temp. and Compressive Strength

에 대한 분석과 밀접하게 관련되고 있음을 알 수 있다. 또한 그림 6(b)로부터 促進養生時間이 9 시간을 지나면 그 뒤의 양생온도에 의한 강도의 증진은 거의 없음을 알 수 있다.

4.3 遲延養生의 영향

그림 6(a)로부터 (0+8)과 (3+5)의 경우는 全養生時間이 8 시간으로 같지만 (0+8)이 (3+5)에 비해 일률적으로 높은 강도를 나타낸다. 이는 앞에서 고찰한 바와 같이 양생시간이 짧으면 養生溫도의 영향이 커진다는 사실을 생각하면 당연한 일로서, 압축강도를 短時間의 促進養生으로 높이하고자 할 경우는 전양생시간 없이 바로 촉진양생을 실시하는 것이 바람직하다는 사실을 입증해 준다.

그러나 (0+24)와 (3+21)과 같이 全養生時間이 24 시간으로 상당히 긴 경우는 전양생시간의 영향을 특별히 발견할 수 없다. 또한 전양생시간을 24 시간으로 실시한 그림 6(b)의 경우는 養生初期부터 80°C 부근의 강도가 크게 나타나고, 後期에는 70°C 에서 큰 강도가 나타나는 것을 볼 때, 그림 6(a)와 같이 고온일수록 큰 강도가 나타나는 것과는 相異함을 알 수 있다.

따라서 高强度가 요구되면서 양생시간이 짧은 경우에는 전양생시간이 없는 것이 유리하지만, 양생시간이 24 시간 정도로 길면 안정된 水和률도모하기 위해서 3 시간 정도의 전양생시간을 두는 쪽이 좋다고 생각된다. 또한 전양생시간을 24 시간으로 한 경우는 70~80°C 로 양생하는 것이 높은 강도를 얻을 수 있다.

4.4 養生時間 및 養生溫도와 強度發現速度

養生時間에 따른 壓縮強度의 發現速度는 養生溫度別로 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)의 (3+T)는 高溫일수록 強度發現速度가 급하고 피크에 도달하는 시간이 빠르지만, 피크 이후의 強度下降速度도 高溫일수록 빠르다. 즉 고온일수록 압축강도상승속도는 初期에 높고 後期에 완만하지만 低溫일수록 初期보다 中期에 높아지고 있다.

그림 7(b)의 (24+T)는 100°C 보다 80°C 에서 강도발현속도가 빠르며 70°C 의 경우는 중간에 약간 떨어지는 경향이 있으나 다시 회복되어 상당시간 지속되고 있음을 보이고 있어, 70°C 정도가 지속적인 압축강도를 도모하는 데는 最適의 溫度임을 알 수 있다. 이상과 같은 現象은 그림 1로부터도 입증되었다.

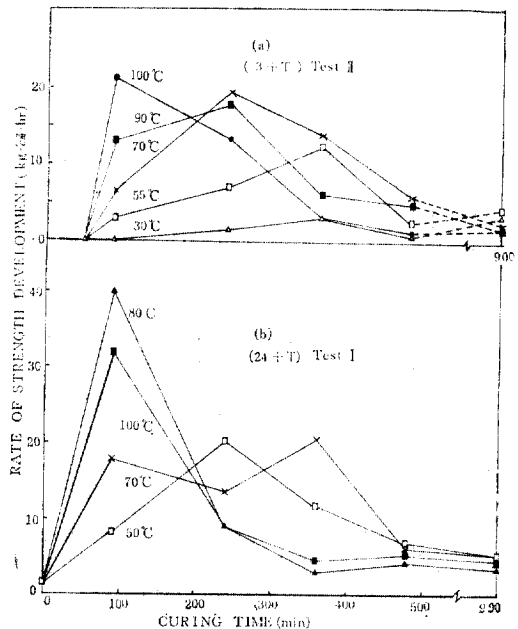


그림 7. Relation between Curing Hour and Rate of Compressive Rise

또한 그림 7은 양생시간이 약 500分 정도를 지나면 強度의 上昇速度는 극히 저조함을 나타내어, 高溫에 의한 強度增進의 영향은 약 10시간 정도까지가 비교적 크며 그 이후는 양생온도의 영향이 거의 없음을 의미한다.

그림 8은 養生溫度에 따른 強度發現速度를 養生時間別로 나타낸 것으로 (24+T)의 예를 든 것이다. 이 그림으로부터 養生初期에는 55°~75°C에서 큰 상승속도를 나타내고 低溫(40°C)과 高溫(80~100°C)의 영향은 작지만 養生時間이 길어질수록 60~70°C에서 높은 上昇率을 나타냄을 알 수 있다.

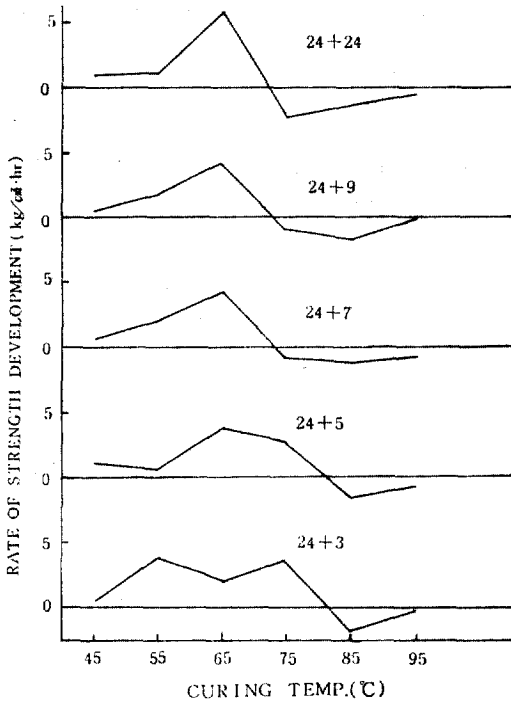


그림 8. Relation between Curing Temp. and Rate of Compressive Strength Rise

壓縮強度와 強度發現速度를 직접적으로 비교하기 위해 나타낸 것이 그림 9이다.

그림 9(b)로부터 (0+24), (3+21)의 경우 強度는 高溫일수록 커지면서 80~90°C에서 가장 크지만, 그림 9(a)의 강도상승속도는 고온일수록 둔화되는 반면, (24+24)의 경우는 70°C에서 높은 강도가 발현되고 또한 強度上昇速度도 60~70°C에서 높아진다.

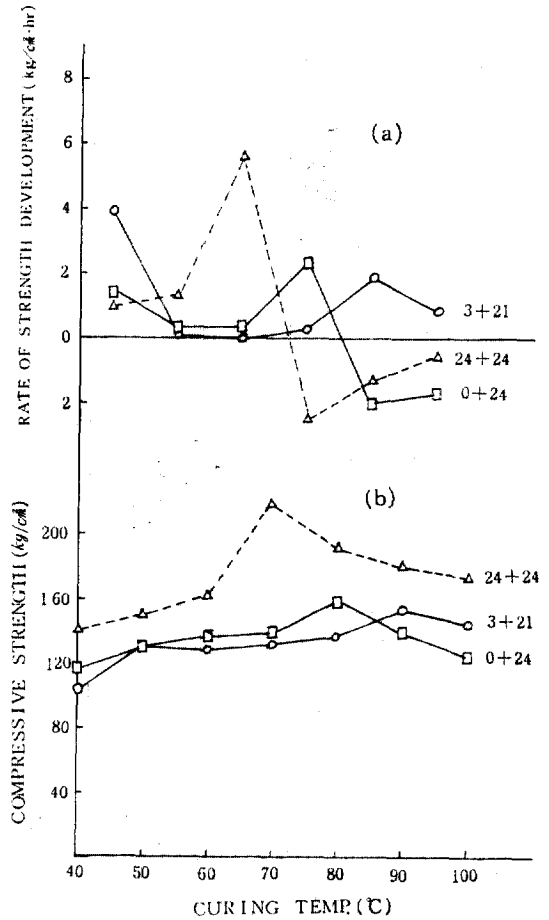


그림 9. Properties of Compressive Strength and Rate of Strength Development

4.5 水和特性和 強度特性和의 관계

이상에서 고찰한 바를 종합적으로 비교 검토하기 위해 養生時間에 따른 相對水和溫度와 壓縮強度 및 壓縮強度發現速度의 관계를 일부 나타낸 것이 그림 10이다.

이 그림은 相對水和溫度와 壓縮強度의 發現速度가 同一한 경향을 나타내고 있으며, 水和溫度上昇의 시작시간과 피크時間 및 피크는 強度發現速度의 그것들과 거의 同一한 形象임을 보여 주고 있다. 또한 相對水和溫度와 強度發現速度가 下降하기 시작할 때부터 壓縮強度의 增進은 둔화되며 약 500分 정도를 지나면 강도증진이 거의 없음을 보이고 있다.

따라서 콘크리트 強度發現의 主要因은 활발한 水和에 기인한 것이며 水和溫度가 높을수록, 높

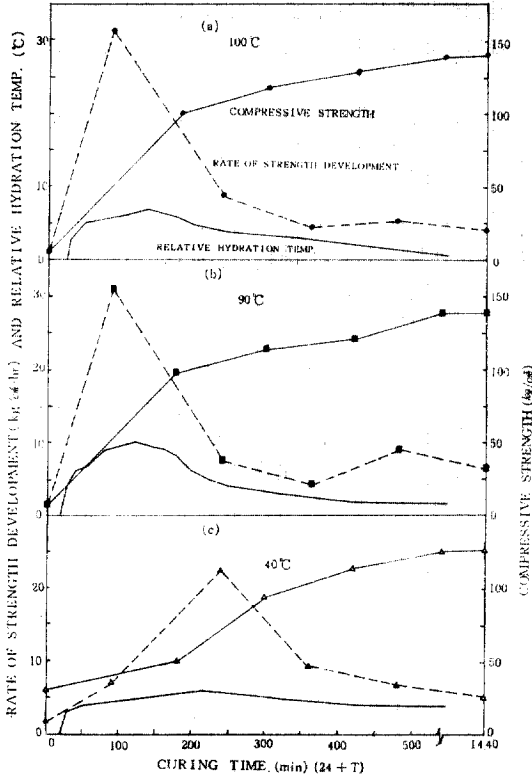


그림 10. Properties of Compressive Strength and Hydration Temp.

은 수와 온도가 지속될수록 강도증진이 크게 된다는 것을 알 수 있다. 또한 수와가 유도기를 지나서 활발히 진행할 때까지의 양생온도가 높을수록 강도의 증진이 크며, 그 이후는 양생온도의 영향이 거의 없음이 분명하다.

5. 結 論

이상에서의 實驗結果와 考察에 의하면 本 研究의 범위내에서는 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다.

(1) 加熱양생을 실시할 경우 수와가 시작되는 시기는 1시간 정도로서 常溫에서보다 빨라지며 24시간 전양생을 실시한 경우에는 20분 정도로서 더욱 단축된다.

(2) 전양생시간이 3시간 이하인 경우 수와가

가장 활발해지는 시기는 高溫일수록 빠르지만 피크는 90°C 정도에서 나타난다. 그러나 24시간 전양생을 실시한 경우는 相異한 현상을 보이고 있다.

(3) 수와溫도의 上昇速度는 初期에 高溫일수록 빠르며 또한 降下도 빠르게 이루어진다.

(4) 수와程度를 알아보기 위한 수와溫도의 測定은 熱電對를 이용하면 간편하게 실시할 수 있으며, 傳導式熱量計로 측정한 수와發熱速度와 유사한 결과를 나타낸다.

(5) 促進양생時間이 짧은 경우(약 10시간 이내)에는 高溫일수록 強度의 發現이 현저하지만 양생時間이 긴 경우(약 24시간 이후)는 70°C 정도에서 높은 強度를 나타낸다.

(6) 促進양생에 의한 콘크리트 強度는 수와의 유도기를 지나서 수와反應이 비교적 활발히 일어나는 시기까지인 약 10시간 동안의 양생溫度가 지배적이며 그 이후는 양생溫度가 強度에 미치는 영향은 작다.

(7) 前양생時間은 強度增進에 거의 영향을 미치지 않으므로 促進양생이 짧은 경우에는 지연시간 없이 양생시키는 것이 바람직하지만, 全體 양생時間이 24시간 정도이면 안정된 수와를 도모하기 위하여 3시간 이내의 전양생시간을 두는 것이 좋다.

感謝의 말

本 研究는 瑞峰文化財團 學術研究費의 支援에 의해 이루어 졌으며, 이에 同財團에 深甚한 謝意를 표한다.

參 考 文 獻

1. T.C. Powers, *The Chemistry of Cement*, edited by H.F.W. Taylor, American Press, London, 1964.
2. F.M. Lea, *The Chemistry of Cement and Concrete*, 3rd ed., Chemical Pub. Co., New York, 1971.
3. A.M. Neville, *Properties of Concrete*, 2nd ed., Pitman Press, Great Britain, 1977.
4. Concrete Manual, 8th ed., *U.S. Department of the Interior*, Bureau of Reclamation, 1979.

5. 近藤連一・後藤誠史・大門正機・保坂義公, セメントの水和におよぼす加熱着生の影響, セメント・コンクリート, No. 321, pp. 2~8, Nov. 1973.
6. 仕入豊和・地濃茂雄, コンクリートの凝結・硬化におよぼす温度条件(20~90°C)の影響—セメントの水和反応過程からの考察, 日本建築學會論文報告集, 第293號, 1980.7.
7. 仕入豊和・地濃茂雄, コンクリートの凝結・硬化におよぼす温度条件의 影響, 日本建築學會論文報告集, 第320號, 1982.10.
8. 鈴川論一, セメントの水和熱, セメント・コンクリート, No. 253, 1968.
9. 大井孝和, 養生温度の變動がコンクリート強度發現に及ぼす影響—積算温度方式の適合性に關連して—, 日本建築學會論文報告集, 第307號, 1981.9.
10. 大井孝和, コンクリート供試體におけるセメント水和の進行とコンクリート強度發現の關係, 日本建築學會論文報告集, 第343號, 1984.9.
11. 地濃茂雄・仕入豊和, コンクリート強度發現性状におよぼす温度履歴条件の影響, 日本建築學會論文報告集, 第337號, 1984.3.
12. 申鉉默, 콘크리트 品質의 早期判定에 관한 研究, 瑞峰文化財團 學術研究論文, 成均館大學校, 1986.11.
13. 申鉉默・全贊基・李壽喆, 콘크리트 品質의 早期判定에 관한 研究, 大韓土木學會 1983學術發表會 概要集, 1983.
14. 申鉉默・金在奎・全贊基・徐光萬・南仁, 温水養生을 利用한 콘크리트 品質의 早期判定에 관한 研究 1986. 大韓土木學會 學術發表會 概要集, 1986.
15. Accelerated Strength Testing, Publication SP-56, ACI, Detroit, 1978.
16. コンクリート 技術者のためのセメント化學雜論, p. 16, セメント協會, 1985.5.
17. 笠井順一, セメント化學概論(その4), コンクリート工學, Vol. 22, No. 2, pp. 50~53, Feb. 1984.

(接受: 1987. 7. 13)