

# 콘크리트 强度의 早期判定에 관한 研究 (1)

## A Study on the Early Evaluation of Concrete Strength

全 贊 基

〈富川工專 土木科 助教授, 工博〉

### 目 次

第 1 章 序 論	4.2 加熱에 의한 溫度上昇量의 特性
第 2 章 콘크리트强度의 早期判定方法의 研究動向	4.3 養生條件과 壓縮强度의 發現性狀
2.1 研究沿革	4.4 養生方法의 最適條件 選定
2.2 早期判定方法의 現況	第 5 章 콘크리트强度의 早期判定方法 最適化에 대한 考察
第 3 章 實驗 概要	5.1 促進强度의 變動特性
3.1 使用材料 및 實驗器具	5.2 早期强度와 28日强度의 回歸分析
3.2 實驗方法	5.3 早期强度判定式의 設定方法
3.3 養生사이클의 選定	5.4 早期强度判定式의 適用
3.4 配 合	5.5 養生方法과 養生條件의 評價
第 4 章 加熱養生 콘크리트의 水和 및 强度 特性	5.6 最適의 早期判定方法의 提案
4.1 概 說	第 6 章 結 論
	參考文獻

### 第 1 章 序 論

콘크리트의 品質은 일반적으로 壓縮强度로 나타내며 施工時 現場에서 채취한 供試體를 28日間 濕潤養生하여 構造物의 安全性을 判定하고 있다. 즉 콘크리트는 木材나 鐵材 등 다른 建設材料와 달리 납품시 完제품이 아니기 때문에 그

品質을 즉시 확인할 수 없다. 따라서 콘크리트의 試驗結果를 公사에 신속히 반영할 수 없는 결점을 수반하게 된다. 이런 이유로 試驗結果가 所要强度에 이르지 못할 때는 安全의 문제뿐만 아니라 經濟的·行政的인 문제까지 발생한다. 또한 검사結果가 所要强度를 훨씬 上廻하면 非經濟的이 되는 것을 면치 못할 것이다.

이러한 문제를 해소하기 위해서는 콘크리트의 강도가 早期에 判定되어야 하며, 더우기 각종 공사가 機械化·迅速化·大型化되어가는 最近의 추세에 비추어 볼 때 콘크리트의 品質檢査 및 判定方法의 改善은 시급한 과제라 아니할 수 없다.

콘크리트 強度의 早期判定에 관한 실험과 연구는 이미 1920년대부터 시작하여 그동안 많은 방법이 제안되었으며, 일부 국가에서는 規準化하여 실제 공사현장의 品質管理 手段으로 이용하고 있는 실정이다.<sup>(1)~(9)</sup> 그러나 우리나라에서는 이 분야의 연구가 미흡한 상태이고, 또한 이제까지의 연구는 早期判定 方法의 단순한 提案에 그쳤기 때문에, 養生條件이 콘크리트의 水和 및 強度에 미치는 영향이나 促進強度의 變動特性 考察 및 回歸式의 確率論的 考察 등 早期判定의 基本條件을 고려한 연구는 거의 없는 실정이다. 즉 早期判定方法을 標準化하기 위해서는 養生條件의 영향을 고려하여 最適의 試驗方法을 선택해야 하며 또한 시험결과와 적절한 평가방법을 결정하는 것이 중요한 과제이다.

따라서 本 研究에서는 加熱養生에 의한 強度 促進法을 중심으로 하여, 먼저 加熱養生 條件이 콘크리트의 水和 및 強度에 미치는 영향을 검토하여 強度發現의 메카니즘을 규명하였다. 또한 그 결과를 적절한 早期判定方法을 선정하는 기준으로 하여 3種類의 養生溫度를 우선 결정하였다. 즉 55°C의 溫水法과 70°C의 熱水法, 100°C의 沸騰水法을 基本養生法으로 하였으며, 養生사이클의 변화 등 다양한 養生方法을 시도하여 最適의 養生方法을 제안하고자 한다.

다음으로 早期判定方法을 콘크리트 品質判定의 基準이나 品質管理로 사용할 수 있는지의 尺度가 되는 促進強度의 變動特性을 검토하였다. 또한 實驗結果의 評價는 促進強度와 28日強度의 分布 및 評價基準의 適合確率을 고려한 推定式으로 검토하였다. 마지막으로 實驗結果가 早期判定의 基本條件과 현장여건에 어느 정도 적합한가의 여부와 回歸式의 특성을 종합평가하여 強度促進法에 의한 最適의 早期判定方法을 선정하였다.

## 第 2 章 콘크리트 強度의 早期判定 方法의 研究動向

### 2-1 研究 沿革

콘크리트를 打設한 후 콘크리트의 潛在強度를 早期에 파악하고자 하는 시도는 콘크리트를 사용하기 시작한 때부터라고 할 수 있다. 그 뒤 각종 공사가 大型化·迅速化되어가는 추세에 따라 早期判定의 필요성이 증대되어 왔으며, 많은 연구자들이 여러 방법을 시도하였다. 이들 早期判定方法들은 크게 「강도측진법」과 「분석법」으로 분리할 수 있다.

먼저 물-시멘트비 등의 分析法에 의한 경우를 보면 1931년 W. M. Dunagan 이 셋기 분석법을 발표한 것이 효시이다.<sup>(9)</sup> 이는 굳지 않은 콘크리트의 각 재료를 구하는 것으로 ASTM에서 規準化되었지만 시험이 복잡하고 추정오차가 크다는 이유로 현재는 폐지되었다. 그러나 韓國과 日本에서는 規準化하여 분석에 이용하고 있다. 영국에서는 1976년에 굳지 않은 콘크리트를 自動으로 분석하는 장치인 RAM (Rapid Analysis Machine)이 개발되었으나 高價인 단점이 있다.

1948년에는 L. J. Murdock 이 比重計를 이용한 시멘트量 측정방법을 발표하였다.<sup>(10)</sup> 1955년에는 W. G. Hime 이 遠心 및 重液分離에 의한 물-시멘트비 測定方法을 발표하였으나 적당한 필터가 없어서 실용화하지 못했다. 1962년에는 D. O. Covault 가 中性子 活性化 分析에 의해 Ca 로 시멘트량을 測定하는 方法을 발표했다.<sup>(11)</sup> 1971년에는 R. T. Kelly 가 炎光 光度計를 이용한 시멘트量 測定方法을 발표했다.<sup>(12)</sup> 1972년에는 神田衛가 鹽酸反應熱 測定에 의한 시멘트量 測定方法과 空氣中 水中重量 測定에 의한 水量 測定을 組合한 물-시멘트비 測定法을 발표하였다.<sup>(13)</sup> 이러한 分析法들은 시험결과와 정확성에 대한 객관적 평가가 이루어지지 않았으며, 시험결과를 콘크리트 강도와 직접 관련시키기에는 무리가 있다. 이런 이유 때문에 셋기 分析法만 일부 국가에서 規準化하여 배합을 확인해 보는 정도

이다.

한편 促進強度에 의해 強度를 早期에 判定하는 방법으로는 1927년 M. S. Gerend에 의해서 시작되었다.<sup>(1)</sup> 즉 美國 開拓局의 후버담 공사에서 48시간의 蒸氣養生에 의해 28일강도를 추정하였다. 그러나 그 뒤 1950년대까지 중요한 연구의 진행이나 보고가 없었으며 1960년대에 들어서 캐나다의 연구자들이 이 분야의 연구를 재개하였다. 1968년 이후 미국, 캐나다, 영국 등에서 規準化가 진행되었으며, 일본의 池田尚治는 1.5시간의 超早期強度로 判定하는 방법을 제안하였다.<sup>(4)</sup> 국내에서는 1982년부터 토목학회에 발표되기 시작하였다.<sup>(15~31)</sup>

早期判定方法에 대한 개인연구와 더불어 각국의 學會 및 協會에서도 연구 및 지원을 시작하였다. 먼저 1971년 ASTM에서 C 684-71로 早期判定法을 規準化하기 시작했으며 현재는 C 684-74로 되어있다.<sup>(4)</sup> 1974년에는 日本 콘크리트 工學協會에서 콘크리트 品質管理試驗에 관한 심포지움을 개최한 바 있다.<sup>(3)</sup>

日本 土木學會에서는 일찍부터 早期強度에 의하여 品質을 관리하도록 콘크리트 표준 시방서에 반영하고 있으며, 「콘크리트의 品質管理 試驗方法」을 간행한 바 있다. 또한 日本 建築學會에서는 1975년에 「콘크리트의 簡易試驗方法에 관한 報告書(案)」를 간행하였다. ACI 214 위원회에서는 1975년에 促進試驗에 대한 研究 支援을 시작하였으며, 28日強度에 의한 品質管理의 불합리성을 인식하고 새로운 방법을 모색하였다. 1976년에는 同委員會에서 촉진강도시험에 대한 국제 심포지움에는 미국, 캐나다, 브라질, 벨기에, 인도, 멕시코 등에서 연구된 19편의 논문이 발표되었다. 국내에서는 1978年版 「콘크리트 표준시방서」의 해설에서 早期判定에 의한 콘크리트의 品質管理를 언급하고 있다. 日本에서는 1977년 JCI에서 「콘크리트品質의 早期判定에 관한 研究委員會」를 설치하였다. 또 일본의 JCI에서는 「콘크리트 品質의 早期判定을 위한 심포지움」을 1979년과 1985년에 개최하여, 27편의 연구 논문과 JCI 指針에 대한 토

의 및 현장적용의 경우를 발표하였다. 이 指針은 1985년 「콘크리트 品質의 早期判定指針」(JC I R2)로 간행되었다.<sup>(8)</sup>

한편 콘크리트의 品質을 早期에 判定하고자 하는 초기의 목적은 28日強度 또는 91日強度를 예측하는 것이었으나, 앞으로 早期判定方法을 이용할 수 있는 범위는 보다 넓어질 것이다. 즉 促進試驗에 의해 얻어진 促進強度를 品質特性으로써 品質管理에 사용할 수도 있고, 促進強度를 檢査特性으로써 사용할 수도 있다. 또한 骨材나 다른 재료의 品質을 早期判定하는데 이용할 수도 있고 配合決定을 위해서 試驗 配合를 할 때 이용할 수 있다. 이와 같은 적용 이외에도 Maturity 개념을 이용한 거푸집 除去時期의 결정이나 P.C에서 Prestress 導入時期 결정 등에 사용될 수도 있다. 레디믹스드 콘크리트나 대규모 공사의 배치 플랜트에서는 每日 每日의 변동이나 배치 사이의 변동을 검토하여 均一性을 관리하는 데도 이용될 수 있을 것이다. 이때는 셋기분석 등과 같은 분석법에 의해서도 가능할 것이며, 측정 및 생산과정과 補正의 自動化를 이루면 간편하고 신속한 品質管理를 할 수 있을 것이다.

## 2-2 早期判定方法의 現況

### 1) 強度促進法

콘크리트 또는 콘크리트 중의 모르타르強度를 촉진시켜서 早期에 강도시험을 행함으로써 28日強度를 추정하는 방법이다. 이 방법은 시멘트의 水和反應을 촉진시켜서 촉진강도로 판정하기 때문에 콘크리트의 強度特性을 직접 측정하는 것이 되어 測定의 信賴度는 당연히 높으나 測定하는데 약간의 時間이 소요된다. 각국에서 발표된 방법들은 그림 2-1에 보인 바와 같다.

(1)~30

#### (1) 沸騰水法 (Boiling Water Method)

이 방법은 100℃의 끓는 물에서 강도를 촉진시키는 방법으로써, 溫水나 自体水和熱에 의한 방법보다 같은 시간에 얻어지는 강도가 크다. 또한 定溫管理를 위한 장치가 불필요하고 온

그림 2-1 각국에서 발표된 조기판정방법 (강도축진법)

No.	연구자 (국명) (연도)	0	5	10	15	20	25	30	材令(時間)
①	M. S. Gerend (1927) 美 國						(160)	飽和水蒸氣 6~7kg/cm <sup>2</sup>	
②	O. G. Patch (1933) 美 國 Hoover Dam	90	沸騰水	80					*浸水の 同時에 熱源을 滿는다.
③	B. Bukowski (1936) 폴 란 드							蒸氣 + 沸騰水	
④	J. W. H King (1955) 英 國 (1957)	85	電氣爐						
⑤	T. N. W. Akroyd (1956) 英 國		沸騰水						*最初の 水温은 손을 넣을 수 있는 程度
⑥	J. S. Cornwell (1956) 오스트라리아			沸騰水					
⑦	T. B. Nicol (1957) 오스트라리아	75	溫水						
⑧	N. N. B. Ordman (1958) 英 國					85	電氣爐		
⑨	A. F. L. FALK CO. (1958) 이 테 리		80			蒸氣			
⑩	坂 村 昆 本 (1959) 日 本	60	赤外線爐						
⑪	J. Vuorinen (1961) 핀 란 드	80	電氣爐 또는 溫水						
⑫	T. N. W. Akroyd (1961) 英 國	60	沸騰水						
⑬	同 上							沸騰水	
⑭	M. S. Thomson (1962) 英 國	35	溫水						
⑮	P. Smith (1963) 카 나 다			沸騰水					콘크리트가 어느 일정한 응결 상태에 도달하고 부터 20분 후에 양생 개시
⑯	V. M. Malhotra (1964) 카 나 다							沸騰水	
⑰	C. A. P. Boundy (1964) 오스트라리아	88	蒸氣						압축試驗值 대신에 Test hammer로 推定
⑱	J. W. H. King (1970) 英 國 BS 1881 : 3			溫水					
⑲	Smitf (1974) CSA, ASTM			자기수화열				46hr	
⑳	Thomson (1974) ASTM C 684-74	35							23.5±0.5hr 온수(축진물드사용)
㉑	Malhotra (1974) ASTM C 684-74, CSA	21				100	3.5hr		
㉒	신현목, 전찬기 (1983) 한 국	20						100 끓는물	
㉓	신현목, 전찬기 (1983) 한 국	21						90 항온항습조	
㉔	신현목, 전찬기 (1983) 한 국	21				50		온수 24hr	
㉕	JCI-SE 4 (1985) 日 本	21			18±6hr	70		24±1hr	
㉖	JCI-SE 14 (1985) 日 本	21	55						(축진물드사용)

도관리가 쉽기 때문에 일반적으로 경제적이다. 그러나 高温에 의한 熱膨脹의 영향을 검토해야 하고 취급에 주의가 필요하다.

沸騰水法에 의한 規準은 ASTM과 CSA 및 IS가 있으나 ASTM과 CSA는 促進養生時間이 너무 짧아 強度增進의 효과가 작다. 또한 規準化된 방법들은 대부분 시험에 소요되는 시간이 2일이 되는 단점이 있다.

#### (2) 溫水 및 熱水法

溫水 및 熱水法은 일반적으로 35~80℃ 정도의 養生溫度로 강도를 촉진시키는 방법으로서, 50℃부근의 온도에 의한 것을 溫水法(Warm Water Method), 70℃ 부근의 온도에 의한 것을 熱水法(Hot Water Method)이라 한다.

이 방법들은 비교적 온도충격이 작기 때문에 前置時間을 줄일 수 있으며 分散이나 變動係數도 작다. 또한 50℃정도의 溫水法은 火傷의 위험이 없으며, 70℃ 정도의 熱水法은 1일 정도의 양생시간에서는 100℃에서보다 큰 強度發現이 되는 장점이 있다. 그러나 이들 방법은 溫度制御裝置 및 管理가 필요하고 양생시간이 길게 되는 단점이 있다.

이들 방법에 의한 規準은 ASTM 및 BS, IS, JCI 등이 있으나 ASTM의 35℃법은 너무 낮은 온도이기 때문에 강도촉진의 효과가 거의 없다. 또한 BS, IS, JCI의 55℃법은 촉진모듈드만 사용하게 되어 있으며 시험기간이 2일 이상 소요되는 단점이 있다. JCI의 70℃법은 시험에 소요되는 시간이 3일이 되어 早期判定法으로 의미없다.

#### (3) 自体水和熱法 (Autogenous Method)

이 방법은 시멘트의 自体(또는 自己)水和熱을 이용해서 공시체를 촉진 양생시키는 방법이다. 즉 養生裝置로서 斷熱性이 좋은 容器가 있으면 콘크리트 自体가 熱源이 되는 방법이다. 따라서 이 방법은 高價의 양생장치가 필요하지 않으며 溫度管理의 필요가 없어 실험이 단순해진다. 또한 成形에서 시험까지 복잡한 순서가 없고 中央試驗所로 운반하는 경우도 그 시간이 양생기간으로 된다. 그러나 斷熱을 보증하는 확실한

容器가 필요하며, 강도에 영향을 미치는 因子가 많으면 강도의 분산이 심하게 된다. 또한 水和熱이 높지 않기 때문에 강도증진이 작은 것이 큰 단점이다. 이 방법은 ASTM과 CSA에서 規準化하고 있다.

#### (4) 急速硬化方法

急速硬化方法은 굳지 않은 콘크리트 중의 모르타에 急結劑를 가하여 2시간 정도의 高温養生을 실시한 促進強度로 28日強度를 推定하는 방법이다. 이 방법은 急結劑와 高温養生과의 組合에 의한 上昇效果로 인해서 시멘트의 水和反應이 단시간에 현저하게 촉진되는 장점이 있으나, 사용재료나 배합에 따라 변동이 커질 위험이 있다.

#### (5) 蒸氣養生法

蒸氣養生法은 常壓蒸氣로 養生하는 恒溫恒濕槽方法과 高壓蒸氣로 養生하는 Autoclave方法이 있다. 恒溫恒濕槽는 100%의 相對濕度로 100℃까지 양생이 가능하며, 高壓蒸氣養生槽는 100℃ 이상이 가능하다. 그러나 溫度管理가 쉽지 않고 水分蒸發을 보충하는 注水 때문에 장시간 양생이 어려운 단점이 있다.

#### 2) 分析法

굳지 않은 콘크리트의 물-시멘트비, 單位시멘트量 등이 硬化後 콘크리트의 力學的 特性을 지배하므로 이들의 값을 早期에 判定하는 것이 分析法이다. 分析法의 결과로 콘크리트의 강도를 직접적으로 추정하는 데는 무리가 있으나, 配合比 등을 확인함으로써 배합의 변동을 손쉽게 파악할 수 있다. 또 물-시멘트비 등으로 28일 강도를 간접적으로 추정할 수도 있다.

#### (1) 씻기 분석법

굳지 않은 콘크리트를 물로 씻어서 콘크리트 중의 각 재료량을 구하는 방법이다. 이 방법은 KS F 2411로 規準化되어 있고 또 自動씻기分析機(RAM)에 의한 방법도 있다.

KS F 2411의 規정은 №.4 (4.76mm), №.30 (0.59mm), №.170 (0.088mm)의 3가지 체를 이용하여 굵은골재와 잔골재 및 시멘트량을 체가름하고 중량을 측정하게 되어 있다. 이 방법은 시

험에 소요되는 시간이 비교적 짧고 精密度도 높은 편이다.

RAM은 셋기분석이 5분 정도로 신속하게 이루어질 수 있으나 高價인 것이 단점이다.

#### (2) 遠心脫水方法

이 방법은 遠心脫水機를 이용하여 모르터나 콘크리트 중의 물을 일정한 상태까지 脫水해서 脫水 前後의 重量差로 水量을 구하고, 脫水物을 특수한 천 위에 놓고 물을 부으며 다시 脫水해서 脫水 前後의 重量差로 시멘트량을 구하는 방법이다. 이 방법은 日本에서 일부 발표되고 있으며 所要時間이 짧고 精密度가 높은 편이다.

#### (3) 溶解熱方法

이 방법은 굳지 않은 콘크리트를 分析하는 데 있어서 시멘트와 염산에 의한 反應熱을 이용하기 때문에 溶解熱法 또는 鹽酸溶解熱法이라고도 한다.

시멘트 測定의 원리는 간단한 斷熱容器를 사용해서 모르터 시료를 일정량의 물로 얹게 한 稀釋液에 염산을 가하면 그 때 생기는 發熱量이 시멘트량에 比例한다는 데 근거를 두고 있다. 이 방법은 소요시간이 30분 정도이고 비교적 높은 信賴度를 나타낸다. 그러나 잔골재에 石灰石이나 조개껍질이 함유된 경우는 원칙적으로 적용이 불가능하다.

#### (4) 比重計方法

比重計方法은 굳지 않은 콘크리트에서 체분 석한 모르터를 일정량의 물로 稀釋해서 懸濁狀態로 한 混合液(懸濁液)으로 만든 뒤 比重을 구해서 모르터나 콘크리트의 시멘트량을 迅速하고 용이하게 구하는 방법이다. 이들 방법의 종류는 L. J. Murdock 방법, 水野方法, 常山方法, 柳田方法, 増田方法 日本 시멘트社 研究所의 방법 등이 있다.

#### (5) 化學分析法

化學分析法은 시멘트량을 定量하는 데 있어서 칼슘수에 의한 方法과 酸에 의한 소비량을 가성 소다로 逆滴定하는 방법이 있다. 또 칼슘량의 定量에는 과망간酸칼슘에 의한 滴定과 炎光光度計에 의한 방법 등이 있다. 한편 水量을

化學分析에 의하여 구하는 것으로서 염화칼슘의 濃度變化를 硝酸銀溶液으로 滴定하는 방법도 있다.

#### 3) 기타 방법

강도측진법과 분석법 이외에 中性子 活性化分析에 의한 방법, 시멘트 懸濁液의 電氣傳導率에 의한 방법, 重液分離와 遠心分離에 의한 방법, 과망간酸 칼리에 의한 시멘트粒子的 表面吸着量에 의한 방법, 酸中和法<sup>61)</sup>, 壓力과 熱에 의한 方法, 電氣抵抗法, 超音波速度法<sup>62)</sup> 등이 제안되고 있다.

## 第 3 章 實驗 概要

### 3-1 使用材料 및 實驗器具

#### 1) 使用材料

실험에 사용된 시멘트는 3개 회사의 보통 포틀랜드 시멘트와 1개 회사의 中庸熱 포틀랜드 시멘트이다. 중용열 시멘트는 강도변동을 검토하는 2단계 실험에서만 사용되었다. 각각의 物理的 性質과 化學的 成分은 표 3-1 및 3-2와 같다.

잔골재 및 굵은골재는 漢江과 경남 黃江 및 경기도 부천에서 생성된 것으로 각각의 物理的 性質은 표 3-3 및 3-4와 같다.

混和劑는 安山 現場에서 減水 分散劑인 Swiss Sika(國產)를 사용하였고 합천댐에서는 포조리스 №.5L을 사용하였다. 3~5단계 실험에서는 일부 배합에서 포조리스 №.84를 사용하였다.

#### 2) 實驗器具

모울드는 標準모울드와 더불어 사진 3-1과 같이 뚜껑으로 밀폐할 수 있는 促進모울드를 사용하여 공시체 제작 후 즉시 양생이 가능하도록 하였다. 모울드의 크기는  $\phi 15 \times 30 \text{cm}$ ,  $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ 의 円柱形 콘크리트用과  $5 \times 5 \times 5 \text{cm}$ 의 立方形 모르터用을 사용하였다.

熱電對(Thermacouple)는 養生中인 공시체 内部溫度를 측정할 목적으로 사용한 것으로서 그 구조도는 그림 3-1과 같다.

표 3-1 시멘트의 물리적 성질

사용번호	시멘트종류	제조 회사	비 중	분말도 (Blain 방법) (cm <sup>2</sup> /gr)	응 결 시 간		압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
					초결(분)	종결(시간)	3 일	7 일	28일
C 1	보 통	A	3.15	3180	180	5 : 30	220	305	380
C 2	"	B	3.15	3190	275	8 : 00	158	232	293
C 3	"	C	3.15	3218	264	6 : 34	-	-	365
C 4	중용열	D	3.15	3000	220	7 : 30	-	-	330
KSL-5201	보 통	-	-	2800	60	10	127	197	281
KSL-5201	중용열	-	-	2800	60	10	105	185	281

표 3-2 시멘트의 화학적 성분 (%)

사용번호	시멘트종류	제조 회사	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	강열감량
C 1	보 통	A	20.95	5.41	61.88	3.80	2.50	2.17	1.59
C 2	"	B	22.0	6.50	59.90	2.90	3.60	2.0	-
C 3	"	C	21.80	5.60	-	3.40	3.30	2.4	1.20
C 4	중용열	D	23.20	4.80	-	3.60	3.00	-	1.60
KSL-5201	보 통	-	-	-	-	-	6.0	3.0	3.0
KSL-5201	중용열	-	21.00	6.0	-	6.0	6.0	3.0	3.0

표 3-3 잔골재의 물리적 성질

번호	생 산 지	사 용 처	비 중	흡수율 (%)	조 립 율
S 1	서울한강	3~5 실험	2.58	-	3.31
S 2	"	" "	2.58	0.95	2.93
S 3	"	" "	2.58	1.65	3.26
S 4	"	" "	2.60	1.50	2.87
S 5	"	" "	2.58	-	2.85
S 6	경남황강	2 "	2.58	0.99	2.86
S 7	서울한강	" "	2.62	0.82	2.86
KS 규정			2.5	1	2.3~3.1

促進養生用 恒温水槽(Water Bath)는 그림 3-2와 같이 1회에  $\phi 15 \times 30$ cm 공시체를 모울드째로 6~9개 양생할 수 있는 기구이다. 한편 恒温恒濕槽(Steam Curing Cabinet)는 95%의 相對濕度를 갖는 常壓蒸氣로 콘크리트 強度를 촉진시킬 수 있는 기구이다.

### 3-2 實驗方法

促進養生의 基本사이클은 그림 3-3과 같이 3

단계로 구분하였다. 여기서 前置時間이라고 하는 것은 促進養生을 실시하기 전에 大氣中에 방치하는 時間이며, 空冷時間은<sup>33)34)</sup>促進養生후 강도시험을 실시하기 전까지 冷却과 震盪을 위하여 公氣中에 방치하는 時間을 말한다.

한편 각 실험은 표 3-5와 같이 크게 5 단계로 구분하여 실시하였다. 각 단계별 실험에서는 養生사이클 및 使用모울드, 養生媒体를 다양하게 변화시켜 실시하였다.

표 3-4 붉은골재의 물리적 성질

※ G1, G4, G7, G8, : 채석

번 호	생 산 지	사 용 처	최대치수(mm)	비 중	흡 수 율	조 립 율
G 1	경기도부천	3~5 실험	25	2.64	0.50	5.31
G 2	한 강	" "	25	2.62	-	7.48
G 3	"	" "	25	2.58	1.47	5.41
G 4	경기도부천	" "	25	2.64	0.51	5.34
G 5	한 강	" "	25	2.62	1.03	4.37
G 6	"	" "	25	2.59	1.18	4.67
G 7	경기도부천	" "	25	2.59	0.62	5.12
G 8	"	" "	25	2.59	1.10	4.97
G 9	경남 황강	2 "	150	2.62	1.19	-
G 10	서울 한강	" "	40~50	2.63	1.02	7.4
KS 규정			-	2.6	2.5	6.8

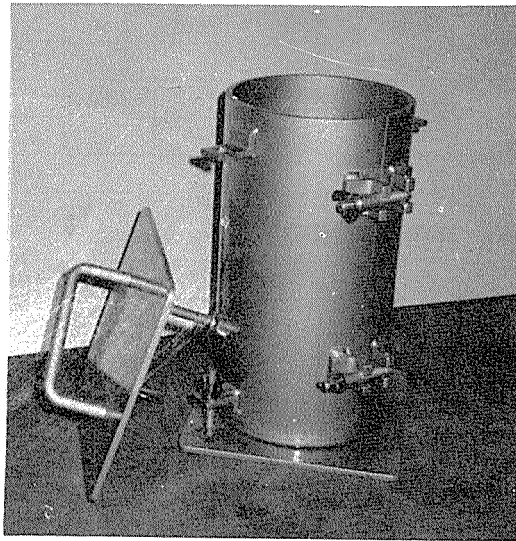


사진 3-1 축진모울드

Chromel (+) : 니켈 90%, 크롬 10%의 합금

Alumel (-) : 니켈 95%, 알미늄 2%, 망간 2%, 규소 1%의 합금

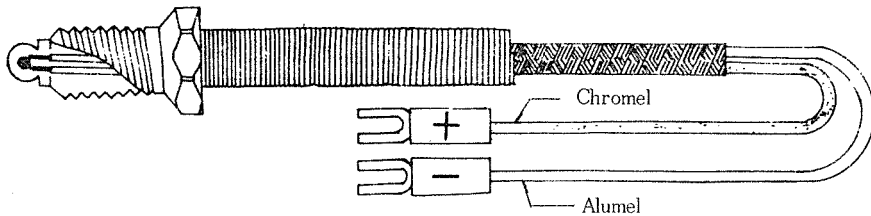


그림 3-1 Chromel-Alumel Thermocouple 구조도



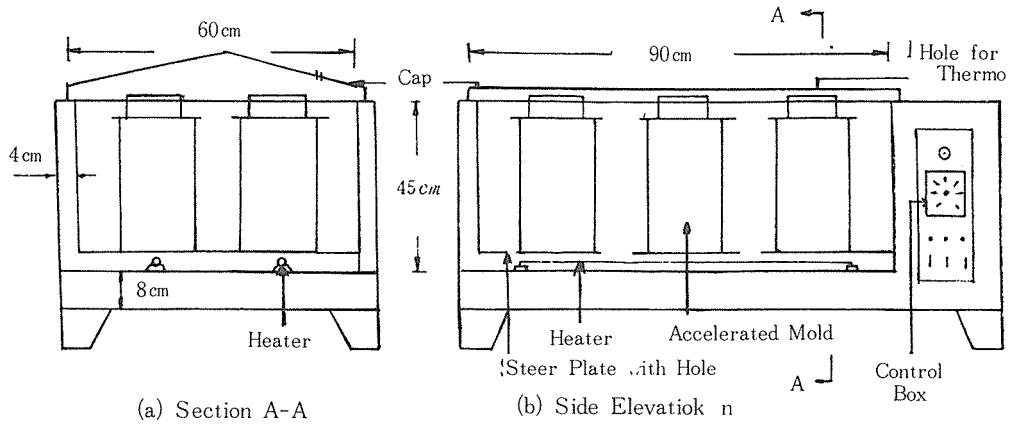


그림 3-2 항온수조

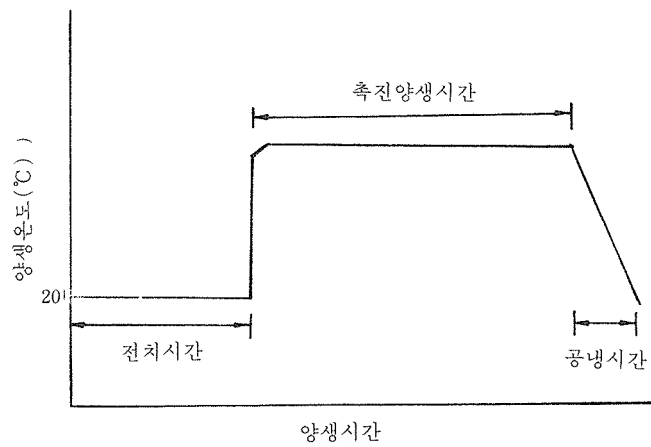


그림 3-3 기본양생 사이클

### 3-3 양생사이클의 選定

前置時間과 促進양생 및 空冷時間의 選定은 現場의 條件과 試驗室의 운영상태를 고려해서 결정되어야 한다. 또한 早期判定方法의 基本條件에 부합되는 방법을 선택해야 한다. 이러한 조건들을 고려해서 最適化된 방법을 찾기 위해 시도된 양생방법을 표 3-6에 나타내었다. 또한 실험번호의 표시방법을 통일시키기 위하여 표 3-7과 같이 나타내었다.

### 3-4 配 合

콘크리트의 배합은 1단계 실험의 경우 單位水量을 175 kg으로 정하고 물-시멘트비는 50%와 60%의 두가지로 하였다. 2단계 실험은 55°C 양생의 경우와 70°C 양생의 경우로 구분된다. 이 때의 배합은 각 양생온도에서 5가지의 물-시멘트비로 배합설계를 하여 각각 5배치씩 배합하였다. 이 때 사용된 모울드는  $\phi 15 \times 20$  cm로서 촉진양생은 모두 촉진모울드를 사용하였



표 3-6 실험번호별 양생방법

실험번호	양생온도 (°C)	양생매체	모울드 종류		실험사이클 (hr)					
					0	3	8	24	32	48
(DL 3.5) (EL 3.5)	55, 70	W. B	ACCEL.	φ 15× 30cm						
(DL 3.21) (EL 3.21) (FL 3.21)	55, 70, 100	W. B	"	"						
(DL 0.8) (EL 0.8) (FL 0.8)	55, 70, 100	W. B	"	"						
(DL 24.3) (EL 24.3)	55, 70	W. B	STAND.	"						
(DL 24.3S) (EL 24.3S)	55, 70	S. C	"	"						
(DM 0.8S) (DE 0.8S) (FM 0.8S)	55, 70, 100	S. C	ACCEL.	φ 10× 20cm						
(DM 24.3) (EM 24.3)	55, 70	W. B	STAND.	"						
(DM 24.3S) (EM 24.3S)	55, 70	S. C	"	"						
(DM 24.8) (EM 24.8) (FM 24.8)	55, 70, 100	W. B	"	"						
(DM 24.8S) (EM 24.8S) (FM 24.8S)	55, 70, 100	S. C	"	"						
(DM 24.24) (EM 24.24) (FM 24.24)	55, 70, 100	W. B	"	"						
(DS 0.8) (ES 0.8) (FS 0.8)	55, 70, 100	W. B	"	5×5× 5 cm						
(DS 0.8S) (ES 0.8S) (FS 0.8S)	55, 70, 100	S. C	"	"						
(DS 3.21) (ES 3.21) (FS 3.21)	55, 70, 100	W. B	"	"						
(DS 24.3) (ES 24.3)	55, 70	W. B	"	"						
(DS 24.3S) (ES 24.3S)	55, 70	S. C	"	"						
(DS 24.8) (ES 24.8) (FS 24.8)	55, 70, 100	W. B	"	"						
(DS 24.8S) (ES 24.8S) (FS 24.8S)	55, 70, 100	S. C	"	"						
(DS 24.24) (ES 24.24) (FS 24.24)	55, 70, 100	W. B	"	"	0					48

W. B : Water Bath, S. C : Steam Curing Cabinet  
 Accel : Accelerated Mold, Stand Standard Mold

本 콘크리트 工學 協會, 1985.  
 (9) W.M. Dunagan, A Study of the Analysis of Fresh Concrete, Proc. ASTM, Vol. 31, 1931.

(10) L. J. Murdock, The Determination of the Proportions of Concrete, Cement and Lime Manufacture, Vol. 21, No. 5, 1948.

표 3-7 실험번호의 표시방법

실험 단계	단계별 기호	실험장소	양생온도 (°C)	실험 번호 표시 방법					
				공시체크기	전치시간	축진양생시간	공냉시간	항온수조양생	항온항습조양생
1	A	시험실	20~100	L : $\phi 15 \times 30$ cm M : $\phi 10 \times 20$ cm S : $5 \times 5 \times 5$ cm	0, 3, 24	3, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 24등	별도의표시 없음	별도의표시 없음	S
2	B	안산현장	55						
2	C	합천현장	70						
3	D	시험실	55						
4	E	시험실	70						
5	F	시험실	100						

사용례  
 (0+8) : 전치시간 없음, 축진양생시간 8시간  
 (3+5) : 전치시간 3시간, 축진양생시간 5시간.  
 AL 0.8 : 양생온도와 강도발현 관계실험,  $\phi 15 \times 20$ cm 공시체 사용, 전치시간 없음  
 축진양생 8시간, 항온 수조 양생  
 BM 3.21 : 축진강도의 변동 계수 실험 (55°C),  $\phi 10 \times 20$ cm 공시체 사용, 전치 3시간  
 축진양생 21시간, 항온수조 양생  
 DS 24. 3S : 축진양생 본실험 (55°C),  $5 \times 5 \times 5$ cm 공시체 사용, 전치 24시간, 축진양생 3시간  
 항온항습조 양생  
 3D, 28D : 3일 (28일) 표준양생

(11) D. O. Covault, C. E. Poover, Use of Neutron Activation to Determine Cement Content of Portland Cement Concrete Bulletin, No. 340, Highway Research Board, Sep. 1962.

(12) R. T. Kelly, J. W. Vail, Rapid Analysis of Fresh Concrete, Concrete, Apr., May, 1968.

(13) 神田 衛, まだ固まらない 콘크리트의 수セメント比의 測定方法, セメント・コンクリート, No.300, 1972. 2.

(14) 池田常治, 急速硬化による 콘크리트 強度即時判定方法に 關する研究, 土木學會論文報告集, 255號, 1976. pp.103~112.

(15) 全贊基, 콘크리트 品質의 早期判定에 關한 研究, 富川工業專門大學論文集, 제 2 집, 1982.

(16) 全贊基, 同(II), 同, 제 3 집, 1983.

(17) 全贊基, 同(III), 同, 제 4 집, 1984.

(18) 全贊基, 元永壽, 温水養生을 이용한 콘크리트 強度의 早期判定에 關한 研究, 同, 제 6 집, 1986.

(19) 元永壽, 全贊基, 콘크리트 強度에 미치는 溫度條件의 影響에 關한 實驗的 研究, 同, 제 7 집, 1987.

(20) 申鉉默, 全贊基, 李壽喆, 콘크리트 品質의 早期判定에 關한 研究, 大韓土木學會 學術發表會 概要集, 大韓土木學會, 1983.

(21) 申鉉默, 全贊基, 同(II), 同, 1984.

(22) 申鉉默, 金在奎, 全贊基, 徐光萬, 南仁, 温水養生을 이용한 콘크리트 品質의 早期判定에 關한 研究, 同, 1986.

(23) 申鉉默, 全贊基, 南仁, 加熱養生 콘크리트의 水和 및 強度에 關한 研究, 大韓土木學會論文集, 제 7 권, 제 3 호, 1987. 9.

(24) 申鉉默, 全贊基, 徐光萬, 콘크리트 強度의 早期判定에 關한 研究, 同 제 7 권, 제 4 호, 1987.12.

(25) 徐光萬, 温水養生에 의한 콘크리트 強度의 早期判定에 關한 實驗的 研究, 成均館大學校大學院 碩士學位論文, 成均館大學校大學院, 1986.

(26) 南仁, 養生條件이 콘크리트의 水和 및 強度에 미치는 影響에 關한 研究, 同, 1986.

(27) 申鉉默, 콘크리트 品質의 早期判定에 關한 研究, 瑞峰文化財團, 1986.

(28) 温水養生을 利用한 콘크리트 品質의 早期判定에 關한 研究, 産業基地開發公社 試驗研究所,

표 3-8 배합구분

사용번호	양생온도 (°C)	시멘트	굵은 골재의 최대치 (mm)	W/C (%)	실 험 수			비 고	
					φ 15×30 cm	φ 10×20 cm	5×5×5 cm		
A	A <sub>1</sub>	30-1001	1	25	60	5×1=5	5×1=5	-	CURING TEMP SERIES : 5
	A <sub>2</sub>	30-1001	1	25	60	11×1=11	7×1=7	-	" : 5
	A <sub>3</sub>	40-1001	1	25	50	6×1=6	9×1=9	-	" : 7
	A <sub>4</sub>	40-1001	1	25	50	3×1=3	7×1=7	-	" : 7
	A <sub>5</sub>	40-1001	1	25	50	3×1=3	7×1=7	-	" : 7
B	B <sub>1</sub>	55	1	40	49.1	5×5=25	5×5=25	-	σ CK = 210 kg/cm <sup>2</sup>
	B <sub>2</sub>	"	1	50	54.6	"	5×5=25	-	σ CK = 180 kg/cm <sup>2</sup>
	B <sub>3</sub>	"	1	50	68.0	"	5×5=25	-	σ CK = 130 kg/cm <sup>2</sup>
	B <sub>4</sub>	"	2	150	70.2	6×5=30	6×5=30	-	σ CK = 120 kg/cm <sup>2</sup>
	B <sub>5</sub>	"	2	150	59.9	"	6×5=30	-	σ CK = 180 kg/cm <sup>2</sup>
C	C <sub>1</sub>	70	1	40	49.1	5×5=25	5×5=25	-	σ CK = 210 kg/cm <sup>2</sup>
	C <sub>2</sub>	"	1	50	54.6	"	5×5=25	-	σ CK = 180 kg/cm <sup>2</sup>
	C <sub>3</sub>	"	1	50	68.0	"	5×5=25	-	σ CK = 130 kg/cm <sup>2</sup>
	C <sub>4</sub>	"	2	150	70.2	6×5=30	6×5=30	-	σ CK = 120 kg/cm <sup>2</sup>
	C <sub>5</sub>	"	2	150	59.9	"	6×5=30	-	σ CK = 180 kg/cm <sup>2</sup>
D	D <sub>1</sub> ~D <sub>8</sub>	55	1	25	40.70	6×1×5=30	5×1×5=25	4×1×5=20	실험수×배치수×W/C 수
	D <sub>9</sub> ~D <sub>14</sub>	55	1	"	"	3×1×5=15	7×1×5=35	9×1×5=45	실험수×배치수×W/C 수
E	E <sub>1</sub> ~E <sub>5</sub>	70	1	"	"	6×1×5=30	5×1×5=25	5×1×5=25	실험수×배치수×W/C 수
	E <sub>6</sub> ~E <sub>13</sub>	70	1	"	"	3×1×5=15	7×1×5=35	9×1×5=45	실험수×배치수×W/C 수
F	F <sub>1</sub> ~F <sub>3</sub>	100	1	"	"	3×1×5=15	7×1×5=35	9×1×5=45	실험수×배치수×W/C 수
배치수	A	31			실 험 수	139	219	6	
	B	25				135	135	-	
	C	25				135	135	-	
	D	70				240+90	200+210	160+270	
	E	65				150+120	125+280	125+360	
	F	15				45	105	135	
총 계	배치수	1	3	2	5	실 험 수		공 시 체 수	
	231				1054	1049	1046	3509×3 = 10527 SPECIMEN	

1986.  
 (29) 콘크리트 早期强度 豫測에 관한 연구, 工事用材料研究報告書, 農業振興公社 農業土木試驗研究所, 1986. 12. pp. 59~82.  
 (30) 콘크리트品質의 早期判定方法에關する概況, 콘크리트品質의 早期判定研究委員會, 콘크리트工學, Vol. 7, 1979.  
 (31) 韓千求, 酸中和法에 의한 콘크리트 强度의 早期判定, 레미콘, 1986. 12. pp. 2~11.

(32) 韓千求, 콘크리트 强度 早期推定研究의 概況, 레미콘, 1987. 12. pp. 33~42.  
 (33) 十代田知三, 樅田佳寛, 温水養生에 利用した 콘크리트 强度의 促進試驗에 關する實驗(ろ의 2), 日本建築學會論文硬概集, 1977.  
 (34) 十代田知三, 樅田佳寛, 高田義勝, 木村聰明, 同(ろ의 5), 同, 1978.

(다음호에 계속)