

# 매스콘크리트 수화발열 특성의 정량화를 위한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Quantification of Hydration Heat Evolution in Mass Concrete

이장화 \* 변근주 \*\*

### Abstract

Recently, construction of mass concrete structures except Dam are increased very often. Generating heat due to the hydrating reaction of mass concrete is generally larger than the heat released to the air, foundations and the exist structures. Therefore, internal temperature of mass concrete is remarkably risen and temperature gap between center and surface is extended by various effect. If this gap get large, the crack may be occurred. This crack must be controlled as little as possible to ensure the soundness and durability of structure. Firstly, Temperature rising history of Mass concrete is expected correctly to constrain the crack of mass concrete. So, objectives of this research is to quantify the effects of hydration temperature for the purpose of evaluating accurately the temperature history of mass concrete.

### 1. 서론

최근 콘크리트 구조물이 대형화, 특수화 되고 이로 인한 시공법의 발전에 따라 대량급속 시공이 증가되고 있으며 과거보다는 상대적으로 고강도의 콘크리트 시공이 빈번해 지고 있다. 이에 따라 콘크리트의 경화과정에서 발생하는 시멘트 수화열로 인해 구조물에 온도응력이 발생하게 되고 경우에 따라서는 구조물에 균열을 발생시키며 이러한 균열이 내구성에 지대한 영향을 미치는 경우도 자주 일어나고 있다.

과거에는 이러한 현상은 콘크리트 댐 또

는 부재치수가 수미터 이상으로 특별히 큰 콘크리트 구조물에만 적용되는 것으로 고려해왔다. 그러나 사용재료, 콘크리트의 설계강도의 시공조건 등에 따라서는 부재의 최소치수가 비교적 작은(100cm 내외) 구조물일지라도 매스콘크리트 범주에서 설계 시공하도록 규정되어 있다.

매스콘크리트(Mass Concrete)의 경우 대기중, 기초지반, 기존구조물 등으로 방출되는 열량에 비해 시멘트의 수화반응에 따른 발열량이 크기 때문에 콘크리트의 내부 온도가 상당히 높아지게 된다. 이때 부재치수에 따라 중심부와 표면부의 온도차가 커지게 되며, 상승한 온도가 하강시에 생기는 표면부 혹은 접속부의 수축변형이 암반이나 기존 구조물 등에 의해 구속되거나 내부구속이 될 경우 균열이 발생하게 된

\* 정회원 한국건설기술연구원 수석연구원

\*\* 정회원 연세대학교 토목공학과 교수

다.

매스콘크리트에 발생하는 균열은 일반적으로 폭이 크고 구조물의 내력, 내구성, 수밀성 및 미관 등의 소요품질을 손상시키기 때문에 시공전 콘크리트 구조물 내부의 온도를 예측하고 온도상승량을 작게 하는 대책이 반영되어야 한다.

매스콘크리트 구조물의 시공시에 댐콘크리트를 제외하면 대부분의 경우 기존의 연구에서 주대상으로 한 설계상의 요인과 배합상의 요인 외에 외기온도, 양생계획 및 조건, 거푸집 존치기간 및 제거시기 등의 영향을 크게 받는다.

따라서 균열제어가 가능한 매스콘크리트의 타설계획을 수립하기 위해서는 위의 영향을 다각도로 고려하여 각 조건에 따른 온도이력을 적절히 예측하는 것이 필요하게 된다. 그러나 기존 연구에서 개발된 온도해석 프로그램의 대부분이 매스콘크리트 타설후의 위와 같은 시공상 요인과 환경상의 요인을 실제 조건에 맞게 반영하기 곤란하다.

따라서 본 연구에서는 최근 건설빈도가 많아지고 있는 구조물의 매스콘크리트 타설시 효과적인 균열제어를 위해 타설후 시공상 요인과 환경상의 요인을 실제조건과 가능한 적합하게 반영하여 재령에 따라 온도이력을 정확히 예측할 수 있도록 각종 영향요인을 실험을 통해 정량화하고, 이를 합리적으로 해석할 수 있는 프로그램을 개발하여 사전분석 및 적용이 가능하도록 하고자 한다.

## 2. 매스콘크리트의 정의 및 적용대상

댐콘크리트를 제외한 매스콘크리트의 정의와 범위는 표 1과 같이 국가별, 학회별로 약간의 차이는 있지만 구조체단면이 비교적 크고 시멘트 수화열에 따른 콘크리트

온도가 높아질 것으로 예측되는 구조물에 적용된다.

표 1. 매스콘크리트의 정의 및 범위

· 분		정의 · 범위
한 국	콘크리트 표준시방서	· 넓은 슬래브는 두께 80~100cm 이상 · 하단이 구속된 벽의 경우 두께 50cm 이상
	건축공사 표준시방서	· 단면의 두께가 1m 이상 인 · 조물
일 본	토목학회	· 부재 또는 구조물 치수가 커서 수화열에 따른 온도 상승을 고려하여 시공하지 않으면 안되는 콘크리트
	건축학회	· 부재치수 80cm 이상으로서 수화열에 따른 내부의 최고온도와 외기온의 차가 25℃ 이상으로 예상되는 콘크리트
	塚山隆一	· 벽체등은 1.0m 이상 · 상판등은 1.8m 이상
미 국	ACI 207 위원회	· 열발생 및 이에따른 체적변화로 인해 발생하는 균열의 최소화를 위해, 대책을 필요로 하는 대용량의 현장 타설 콘크리트
	ACI 301 위원회	· 최소단면 2.5ft 이상의 콘크리트
	R. W. Carlson et. al	· 최소치수가 2ft 이상의 콘크리트

댐콘크리트를 제외하고 매스콘크리트로 시공되어야 할 대상 구조물로는 장기간 교량의 하부구조물, 원자력 발전소 격납건물을 비롯한 부대구조물, PS 콘크리트 박스 교량, LNG 탱크, 저장용 대형용기 구조물, 화력발전소나 제철소 등 대형시설의 기초 콘크리트, 초고층 건축물의 지중보 등의 철근콘크리트 구조물 또는 PS 콘크리트 구조물이 해당된다.

표 1의 기준을 적용하게 되는 구조물의 매스콘크리트는 대부분 부재의 최소치수가 80cm~2m 정도로 근래에 국내외적으로 건설빈도가 대단히 커지고 있는 구조물 들이다.

이들 구조물은 조기의 강도발현이 요구되어 단위시멘트량이 많고, 또한 철근량이 많기 때문에 골재 치수가 작게 되는 등, 구조물 규모, 설계조건, 콘크리트의 배합, 제조 및 시공방법 등이 댐 등 과거로 부터 시공되어온 매스콘크리트와는 근본적으로 큰 차이가 있다. 시공시의 온도관리에 있어서도 댐 등에서 중심부 온도관리가 중요했던 것과 달리, 표면부의 온도관리가 상대적으로 중요한 대상이 된다.

부재치수가 댐콘크리트에 비해 작은 이들 구조물의 매스콘크리트 시공시에는 콘크리트 부재 표면부와 대기온도, 양생 계획 및 조건, 거푸집 종류, 거푸집 존치기간 및 제거시기 등 타설후 시공적 요인과 환경적 요인의 영향을 민감하게 받는다.

즉, 부재중심부는 상대적으로 단열상태에 있지만 표면부의 경우 열방출로 인해 상승한 온도의 식는 속도가 빨라지게 되고 이에따른 급속한 온도변화는 표면부의 수축변형을 유발시켜 경우에 따라서는 내·외부 구속조건에 따라 균열이 발생하게 된다.

최근에는 이러한 문제점으로 인해 매스콘크리트 설계 시공시 발생하는 온도균열 평가방법, 온도관리, 강도관리 등 균열방지를 위한 효율적인 관리방법 제시를 요구하는 경우가 많아지고 있다.

따라서 본 연구는 위와같은 현실적 요구에 대응하기 위해 댐콘크리트를 제외한 매스콘크리트를 대상으로 한다.

### 3. 매스콘크리트 온도상승의 영향요인

매스콘크리트의 수화반응에 따른 온도상승에 영향을 미치는 요인은 대단히 복잡하고 다양하다. 매스콘크리트의 온도상승량을 측정하는 방법으로는 시멘트의 수화열을 측정하여 산출하는 방법과 해당 콘크리트의 단열온도상승량을 직접 시험하는 방법이 있다. 전자는 소량의 시료에 대해 실시하며 시료의 양생조건(20℃)이 일정하기 때문에 온도상승에 따라 수화반응이 가속되는 효과와 콘크리트의 배합, 타설온도 등이 무시되기 때문에 실제의 매스콘크리트의 온도상승을 예측하는데는 적절하지 않은 것으로 평가되고 있다. 대부분의 콘크리트 공사는 타설전단계의 각종요인과 타설후의 각종 요인을 일원화시킬 수 없다. 왜냐하면 실험실에서 여러가지 요인을 반영하여 설계하더라도 대부분의 시공현장은 실험실과는 전혀 다른 환경조건과 시공 조건에 처하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 현장에 타설한 매스콘크리트의 온도상승량을 해석하는데 있어 설계단계에서 대두되는 단열온도상승의 각종요인과 현장 타설 이후 콘크리트의 온도상승이력에 영향을 미치는 요인을 분리해서 분석하고 이를 정량화시키고자 한다.

#### 3.1 단열온도상승에의 영향요인

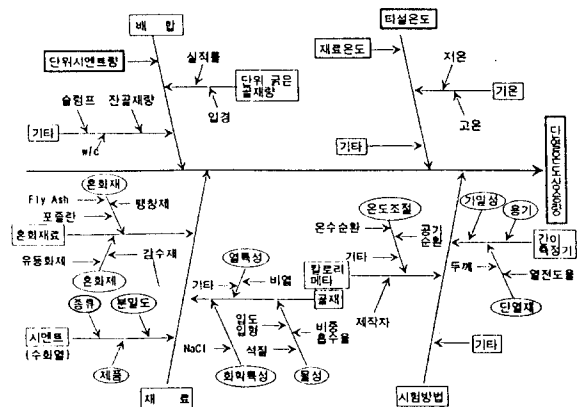


그림 1. 단열온도상승에의 영향요인

콘크리트의 단열온도상승에 영향을 미치는 것은 그림 1에 나타난 바와 같이 많은 요인이 있다.

그림 1에서 나타난 요인중에서 단위시멘트량, 타설온도, 시멘트의 종류 및 상표, 혼화재료, 골재의 열특성, 단열온도시험장치 등의 영향이 큰 것으로 보고되고 있다.

### 3.2 시공이후의 온도상승 영향요인

매스콘크리트 구조물 시공시 현장 콘크리트를 타설한 이후 콘크리트의 온도상승에 영향을 미치는 요인은 그림 2와 같다.

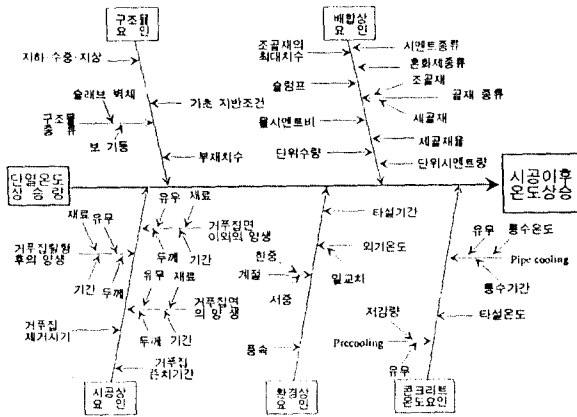


그림 2. 시공이후 온도상승의 영향요인

그림 2에서 보는 바와 같이 현장의 콘크리에 영향을 미치는 요인은 대단히 다양하고 복잡하다. 실험실에서 특정한 콘크리트 배합에 대한 단열온도상승 및 이력곡선을 구하면 그림 1의 영향요인에 따라 그림 3과 같이 최고온도에 수렴하는 형태로 된다.

그러나 실제 구조물 현장에 타설한 콘크리트 중심부의 온도상승 및 이력곡선은 그림 2와 같은 현장의 여러가지 요인이 작용되어 어떠한 최고값에 도달한 후 온도가 서서히 떨어지는 그림 4의 형태로 변화한다.

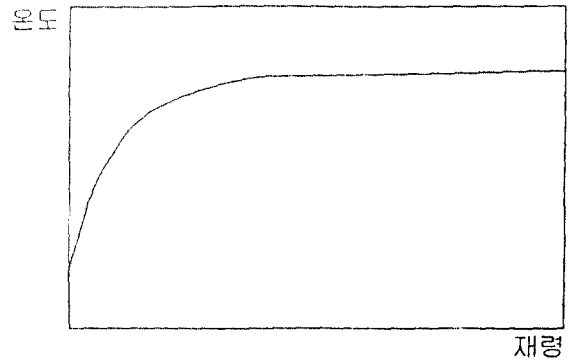


그림 3. 단열온도 상승이력곡선

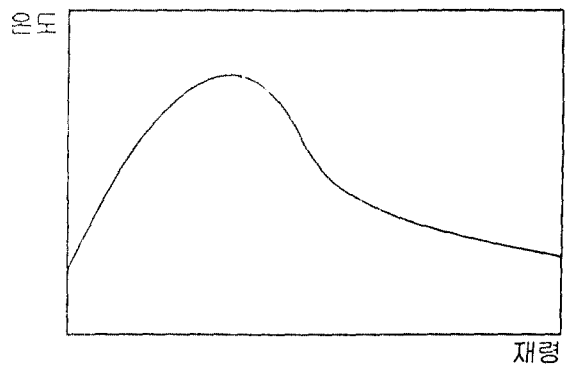


그림 4. 현장타설시 온도상승 이력곡선

### 3.3 영향요인의 정량화

매스콘크리트의 온도상승에 영향을 미치는 여러가지 요인 중에서도 일반적으로 사용되는 콘크리트에서의 영향 정도는 각기 다르다. 따라서 본 연구에서는 주로 현장 시공이후의 온도상승이력에 영향을 미치는 요인중 영향정도가 큰 요인을 중점적으로 정량화시키고자 하며, 정량화 대상요인에 대해 간략히 기술하면 다음과 같다.

- (1) 구조물요인 : 부재치수, 구조물종류, 기초·지반조건
- (2) 배합상요인 : 시멘트종류, 단위시멘트량, 물시멘트비
- (3) 시공상요인 : 거푸집 재료·존치기간

- 제거시기, 양생조건·방법·기간, 양생온도
- (4) 환경상요인 : 외기온도·일교차
- (5) 콘크리트온도요인 : 타설시 콘크리트온도, 내부식힘(Cooling)

#### 4. 온도상승시험

##### 4.1 시험개요

대상요인중 일차적으로 단위시멘트량, 물시멘트비, 단위수량의 영향을 분석하기 위한 온도상승시험을 수행하였으며 대상 콘크리트의 배합표는 표 2와 같고 시험체 상세는 그림 5와 같이 제작하여 중심부의 온도를 측정하였다.

표 2. 콘크리트 배합표

구분	물시멘트비 (%)	슬럼프 (cm)	잔골재율 (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )			
				물	시멘트	잔골재	굵은골재
35-A	35	17	35	157.5	450	628.1	1153.1
35-B	35	17	35	210.0	600	535.2	982.7
40-A	40	17	37	164.0	410	670.2	1128.1
40-B	40	17	37	180.0	450	642.8	1080.8
45-A	45	17	37	166.5	370	680.3	1145.1
45-B	45	16	37	180.0	400	457.8	1107.2

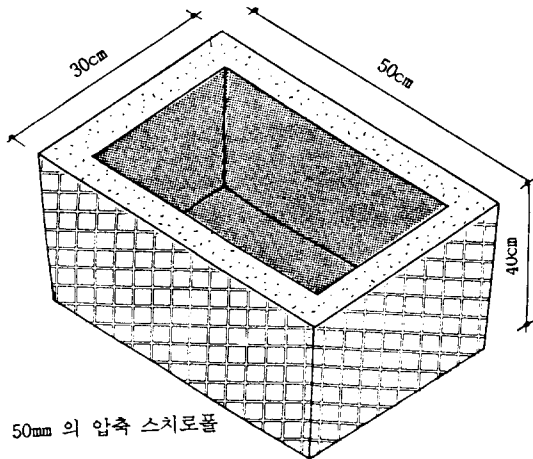


그림 5. 온도상승 시험체 상세

#### 4.2 시험결과 분석

위의 6개 시험체의 온도상승 이력곡선은 그림 6과 같고 최고상승온도 및 최고온도 도달시간 관계는 표 3과 같다.

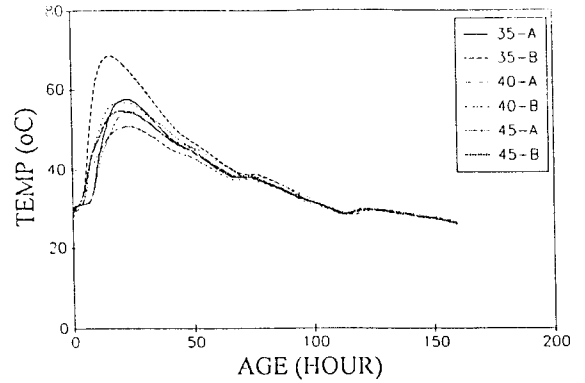


그림 6. 온도상승 이력곡선

표 3. 최고상승온도 및 도달시간

구분	단위시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	최고상승온도 (°C)	최고온도 도달시간 (hr)
35-A	450	157.5	57.6	25
35-B	600	210.0	68.4	18
40-A	410	164.0	54.1	25
40-B	450	180.0	57.0	23
45-A	370	166.5	51.0	26
45-B	400	180.0	54.7	22

표 3에서 보는 바와 같이 최고온도상승량은 물시멘트비의 영향은 거의 받지 않으며 주로 단위시멘트량의 영향을 크게 받는다. 또한, 동일한 시멘트량일 경우 물시멘트비가 작아지면 최고온도에 도달하는 시간은 대체로 길어진다.

#### 5. 결론

본 연구는 매스콘크리트의 수화온도(수화발열) 특성을 정량적으로 평가하기 위한 연구의 일부를 분석기술한 것이다. 차후 계속적으로 현장 매스콘크리트에 영향정도가 큰 여러가지 요인을 실험을 통해 정량화시키고 최종적으로는 온도상승 이력을 수치해석적인 방법으로 보다 정확히 평가할 수 있도록 추진하고자 한다.