

# Mass Concrete의 균열 제어 방법

과거의 Mass Concrete는 Load Bearing Capacity보다는 Weight를 제공하기 위하여 텁 등에 주로 적용되어 왔다. 그러나 최근에 보다 높은 시멘트량을 가진 Large Pour의 사용이 Mat 기초, 원자로 Wall, Slab와 같은 구조체에 일반적으로 점차 증가되고 있다.

## Mass Pour란 무엇인가?

Dimension과 Column의 항으로 Massive Pour의 엄격한 정의는 할 수 없으나, 일반적으로 두께 500mm를 초과하는 경우는 Pouring시 수화열과 관련하여 특별히 고려하여야 한다. 또한 Mass Pour시에는 다음과 같은 특별한 사항들을 고려해야만 한다.

Concrete Supply

Casting Sequence

Cold Joint

Plastic Settlement

Heat of Hydration

## Mass Pour의 이점

이러한 형태의 시공의 주요한 이점은 Stop End의 수를 줄이거나 탈설을 신속하게 하기 때문에 결과적으로 비용 절감에 있다. 그 이외에 Construction Joint에서의 잠재적 균열을 줄일 수 있어 Monolithic한 구조체를 형성시킬 수 있다.

## 고려해야 할 사항

Massive Pour의 성공적인 시공을 위해서는 아래와 같은 사항에 유념해야 한다.

### 1. 기술적 고려 사항

- Plastic Settlement

## - 수화열

- 재료의 선택과 배합설계

2. 콘크리트 강도와 내구성에 영향을 주는 Temperature Cycle의 중요성 인식

3. Cold Joint를 방지하기 위한 Delivery, Transporting 계획

## 수화열

Mass Pour와 관련한 중요 문제중의 하나가 수화열이다. 시멘트의 수화작용은 발열성의 반응이고 수화기간 동안의 열은 50°C 이상 온도 상승을 일으킬 수 있다. 이러한 온도 상승과 관련하여 구속에 의한 온도 응력이 유발된다.

예를 들면 내부 구속의 중앙부는 뜨거운 상태인 반면에 Massive Pour의 표면은 대기 온도에 의하여 냉각된 경우 상이한 온도 변형에 의하여 야기된다. 또한 외부 구속은 Rigid Base, Ground Rock, 또는 인접 선타설 부분과 같은 주변 상황에 의하여 신설 Pour에 부가되는 것이다.〈그림 1, 2 참조〉

## 온도 상승

온도 상승에 영향을 주는 요인은 다음과 같다.

## 시멘트 블록의 영향 Resist formwork

- 시멘트 형태는 콘크리트의 Thermal Expansion 계수를 반영하는 시멘트 블록으로 표기된다.
- 총 Cementitious Material의 양
- 포틀랜드 시멘트의 Type 및 Source
- Flyash, Blast Furnace와 같은 대체 물질의 비율
- Pour의 크기(특히 최소치수)
- 콘크리트 내부와 주위 온도
- Form의 형태

## 시멘트량

두께 2.0m를 초과하는 Massive한 단면의 중심부에서의 온도 상승은 거의 시멘트 양에 비례한다.

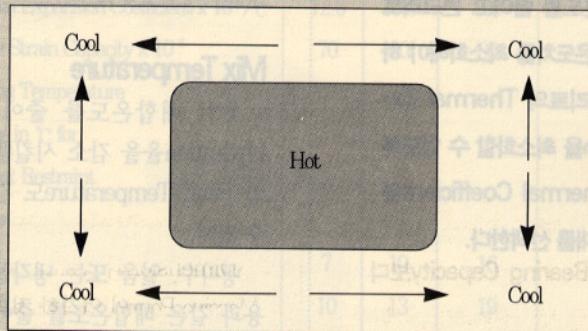
포틀랜드 시멘트에 의해 발생되는 열의 양과 비율은 시멘트의 입도와 화학성분에 아주 밀접하게 관계된다. 어떤 한 가지 요인의 영향력을 정량적으로 규정하기는 어려우나, 높은 C<sub>3</sub>A 함유량을 가진 시멘트가 보다 신속히 수화하고 높은 온도상승을 나타내는 경향이 있다.

낮은 온도 상승을 성취하기 위한 가장 직접적인 방법은 시멘트량을 줄이는 것이다. 하지만 때때로 높은 강도를 요구할 경우에는 시멘트량을 줄이는 것도 한계가 있다.

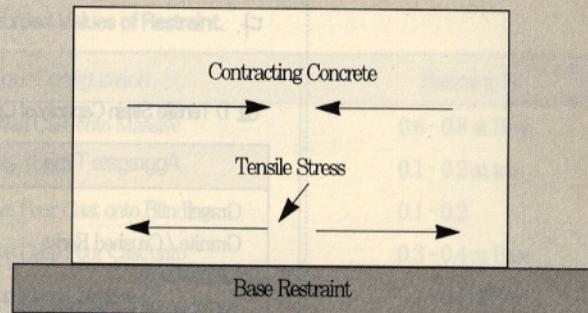
이러한 경우에 아래와 같은 방법이 문제 해결에 도움이 된다.

- 반응을 보다 천천히 유도하거나 온도 상승율을 감소시키는 Flyash

Tensile Stress



〈그림 1〉 내부구속



〈그림 2〉 외부구속

Blastfurnace Slag와 같은 OPC 대체 물질의 사용.

- 가능한 한 보다 쉽게 열을 발산할 수 있도록 Pour 두께를 줄인다.
- 온도 상승율을 줄이기 위하여 배합 온도를 낮춘다.

그림에 명확히 나타나 있다. Pour Size 가 2.5m 이상 증가하면 Max 온도 상승은 Pour Size에 큰 영향을 받지 않으나 0.5m에서 1.5m 범위에서는 Max 온도 상승의 변화가 상당하다.

## Pour Size

온도 상승과 관련한 두께의 영향은

## Form Work의 형태

콘크리트 표면의 단열을 위해 Plywood Formwork이 사용되는 경

**콘크리트의 균열 발생을 감소시  
키기 위해서는 콘크리트의  
Peak 온도를 줄이고 콘크리트  
내외부 온도차를 최소화해야 하  
며 콘크리트의 Thermal Ex-  
pansion을 최소화할 수 있도록  
낮은 Thermal Coefficient를  
갖는 부재를 선택한다.**

우에는 Form이 제거 될때 온도 충격  
을 피하기 위하여 특별히 주의를 해  
야한다.(특히 동절기)

## Thermal Strain

### 골재 형태의 영향

골재가 콘크리트 중량의 75%까지  
함유하게 되면 콘크리트의 Thermal  
Expansion 계수는 주로 골재 형태에  
의존한다.

그러므로 초기 Thermal Cracking  
의 가능성을 최소화하기 위해서는 골  
재선정에 주의해야 한다.

일반적으로 사용되는 골재 중  
Limestone은 이러한 관점에서 매우  
양호한 골재이다. 경량골재 또한 결  
과적으로 낮은 Thermal Expansion  
계수를 가진 콘크리트를 만들수 있  
다.

### Mix Temperature

초기 배합온도를 줄이는 것은  
Hydration율을 감소 시킬뿐만 아니  
라 Peak Temperature도 감소 시킬  
수 있다.

냉각수, 얼음 또는 냉각골재의 사  
용과 같은 배합온도를 줄이기 위한  
다양한 방법이 있으나 가장 효과적인  
방법은 갠얼음을 사용 하는 것이다.

그러나, 콘크리트가 타설되기 전  
에 모든 얼음이 녹도록 주의해야 한  
다.

〈표 1〉 Tensile Strain Capacity of Concrete with Different Aggregates

Aggregate Type	Tensile Strain Capacity $\times 10^{-6}$
Gravel	70
Granite / Crushed Rocks	80
Limestone	90
Lightweight Aggregate	110

〈표 2〉 Typical Thermal Expansion Coefficients for Aggregate and Concrete

Rock Type	Typical Thermal Expansion Coefficient $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	
	Aggregate	Concrete
Chert	11.8	13.2
Quartzite	10.3	12.1
Glacial Gravel	10.3	12.0
Sandstone	9.3	11.4
Silicious limestone	8.3	10.7
Granite	6.8	9.6
Dolerite	6.8	9.6
Basalt	6.4	9.3
Limestone	5.5	8.6
Lightweight Aggregate	4.5	7.0

## 시멘트 형태의 영향

시멘트 형태는 콘크리트의 Thermal Expansion 계수에 영향을 주는것이 아니라, 균열에 저항하는 콘크리트 능력에 영향을 준다. 주어진 강도에 대하여 Blended 시멘트 콘크리트가 일반 포틀랜드 시멘트보다 덜 Ductile 한 경향이 있다.

이것은 결과적으로 영계수는 증가되고 Creep과 파괴에서의 변형능력은 감소되게 한다.

이 결과 온도 증가를 감소 시키는 이점은 있으나, Strain Level에서 균열이 발생되는 단점을 지니게 된다.

(표 3) Limiting Temperature Changes and Differentials to Avoid Cracking

Aggregate Type	Gravel	Granite	Limestone	Light-weight
Thermal Expansion Coefficient $\times 10^6 / ^\circ\text{C}$	12.0	10.0	8.0	7.0
Tensile Strain Capacity $\times 10^{-6}$	70	80	90	110
Limiting Temperature				
Change in $^\circ\text{C}$ for Different Restraint Factors:				
1.0	7	10	16	20
0.75	10	13	19	26
0.50	15	20	32	39
0.25	29	40	64	78
Limiting Temperature Differential $^\circ\text{C}$	20	28	39	55

## 균열발생 가능성의 예측

### 균열 예측식

$$\alpha > 0.8 \cdot \Delta\theta \cdot a \cdot R$$

$\alpha$  = Tensile Strain Capacity

$\Delta\theta$  = 온도변화

$a$  = 콘크리트의 온도팽창계수

R = Restraint

0.8 = Factor Which Takes into Account Creep and Sustained Load Failure

(표 4) Recorded Values of Restraint.

Pour Configuration	Restraint, R
Thin Wall Cast onto Massive Concrete Base	0.6 - 0.8 at Base 0.1 - 0.2 at top
Massive Pour Cast onto Blinding	0.1 - 0.2
Massive Deep Pour Cast onto Existing Mass Concrete	0.3 - 0.4 at Base 0.1 - 0.2 at Top
Suspended Slabs	0.2 - 0.4
Intill Bays, i.e. Rigid Restraint	0.8 - 1.0

이러한 균열 예측식으로부터 균열 발생 가능성을 감소시키기 위해서는 아래와 같은 사항들에 유의하여야 한다.

1. 콘크리트의 Peak 온도를 줄이고 콘크리트의 내부 또는 외부의 온도 차 이를 최소화 한다.

① Thermocouple을 이용한 콘크리트 내부온도 측정

② 온도차이의 최소화위한 Insulation

### ③ Peak 온도 감소위한 콘크리트 배합설계

2. 콘크리트의 Thermal Expansion을 최소화 할 수 있도록 낮은 Thermal Coefficient를 갖는 부재를 선택한다.

3. Thermal Movement에 의한 구 속을 최소화 한다.

4. 콘크리트의 균열저항성 즉 Tensile Strain Capacity를 증가시킨다. 