

매스콘크리트의 온도균열제어를 위한 시공방법

Construction Method for the Thermal Crack Control in Mass Concrete Structures



강 석 화*

〈편집자 주〉

매스콘크리트의 온도균열 문제는 예전에는 콘크리트댐이나 부재치수가 큰 구조물에서만 발생하는 것으로 생각되어져 왔지만, 최근에 구조물이 점차로 대형화 및 고강도화 되어 감에 따라 주변에서 많은 매스콘크리트공사가 이루어지면서 더욱 부각되고 있다. 이러한 매스콘크리트 공사는 일반콘크리트공사와는 달리 충분한 균열제어대책을 세워놓지 않으면 구조물의 내력에도 영향을 미칠 수 있는 균열이 발생되어 여러 가지 문제를 야기시키기 때문에 균열 발생에 대한 원인을 철저히 파악해놓고 이에 대한 대응방법을 수립해 놓을 필요가 있다. 그러나, 최근 많은 대형SOC관련공사가 발주되면서 매스콘크리트에 관한 관심사는 매우 높아졌지만, 실질적으로 온도균열은 왜 발생하며 온도균열발생에 대하여 어디서부터 대책을 수립해나가야 하는지, 또한 그와 같은 대책을 수립할 경우 어느 정도 균열발생을 줄일 수 있는지에 대한 개념이 부족한 듯하다.

따라서 금번 특집호에서는 온도균열 문제의 해결 때문에 어려움을 겪고있는 건설현장의 여러분들에게 다소나마 도움이 될 수 있는 자료를 제공하기 위하여 “매스콘크리트의 온도균열제어대책”이라는 주제를 가지고 매스콘크리트에서의 온도균열의 발생 메카니즘과 제어대책을 중심으로 이 분야에서 연구를 계속해오고계시는 여러 필자들에게 귀중한 원고를 부탁해 소개를 할 수 있는 기회를 가지게 되었다.

제한된 시간에도 불구하고 특집원고를 집필해 주신 필자 여러분들에게 감사를 드리며 특히 다년간 매스콘크리트분야에 연구를 수행해 오신 일본 東急建設의 石川雅美(Ishikawa Masami) 박사에게는 다시 한번 감사드린다. 아울러 본 특집호가 매스콘크리트에 관계되는 관계자 여러분들에게 좋은 참고자료로 활용될 수 있기를 기대하는 바이다.

(특집주간 : 동양중앙연구소 건설재료연구실장
강석화)

* 정회원, 동양중앙연구소 건설재료연구실 실장

1. 서론

최근에는 콘크리트구조물이 점차 대형화 및 고강도화 되어감에 따라 콘크리트에는 다량의 시멘트가 혼입되고 초기강도가 많이 요구되어 초기에 수화열에 의한 온도균열이 발생하여, 구조물설계에 무시할 수 없는 영향을 일으키는 경우가 빈번히 일어나고 있다. 온도균열은 보통 그 폭이 크고 구조물을 관통하는 경우가 많으며, 구조물의 내력, 내구성, 수밀성 및 미관 등의 요구 품질을 손상시키기 때문에 문제가 되는 경우가 많다.

매스콘크리트에서는 온도상승시에는 단면내의 온도차에 의해 발생하는 내부구속응력이 주로 문제가 되지만, 최대온도에 도달한 후 온도강하시에는 외부구속과 내부 구속에 의한 두 가지의 응력이 겹쳐진 복합응력이 문제가 되며, 각각의 성분의 대소에 따라 온도균열의 발생시기 및 발생양상도 달라진다¹⁾²⁾.

온도균열에는 구조물의 내력에도 영향을 미쳐 반드시 대책수립이 요구되는 균열도 있는 반면에 비록 균열이 발생했다하더라도 무시할 수 있는 균열이 있다. 또한, 구조물의 종류와 크기에 따라서는 1회의 타설높이를 결정하는데 있어서 낮게 타설하는 것이 균열제어에 효과적인 경우가 있는 반면에 타설높이를 높게 하는 것이 효율적인 경우도 있다. 다시 말해서 온도균열의 제어대책을 적절히 수립하기 위해서는 온도균열의 발생원인 및 영향인자들의 영향도에 대해 충분히 인식한 후에 각 시공조건에 따라 이에 맞는 시공대책을 수립할 필요가 있다.

따라서, 본 고에서는 매스콘크리트의 온도균열의 특징을 간단히 기술하고, 온도균열을 야기시키는 온도응력에 영향을 미치는 많은 요인들 중에서 몇 개의 주요한 요인들에 대해서 균열제어 효과를 검토하고 최종적으로 시공적인 측면에서 이러한 영향도를 줄여 온도균열의 발생을 적절히 제어할 수 있는 방안에 대해서 기술하고자 한다.

2. 온도균열의 발생원인 및 특징

매스콘크리트의 온도균열에는 구조체의 내부의 온도분포 차이에 의해 발생하는 균열과 온도 상승에 의해 팽창되었던 콘크리트가 온도강하시에 수축이 일

어나면서 수축이 방해받거나 발생하는 균열 등 두 가지가 있다.

그러면 온도균열의 발생양상을 온도응력의 발생기구에 의거하여 조금 더 상세하게 알아보도록 하자.

1) 내부구속응력이 탁월한 경우

내부구속이 탁월한 경우는 주로 압반 또는 구속체의 탄성계수가 새롭게 타설한 콘크리트에 비해 현저히 낮은 경우나, L/H(블럭의 길이와 높이의 비)가 작은 경우 또는 구속체와의 경계에서 미끄럼이 발생하는 경우 등 외부구속이 비교적 약한 경우에 나타난다. 내부구속이 탁월한 경우에 단면내부의 온도응력의 경시변화를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

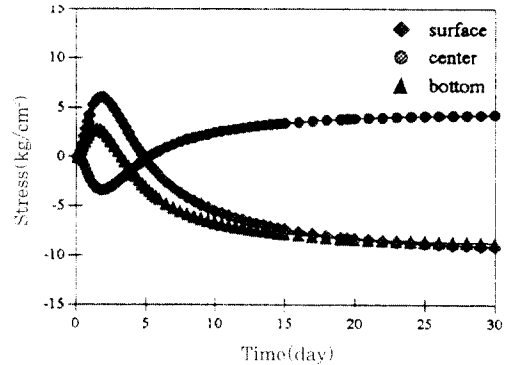


그림 1 내부구속응력이 탁월한 경우의 온도응력의 경시변화

내부구속응력이 탁월한 경우에는 온도응력의 양상이 거의 일정하고 또한 온도분포형상에 크게 의존하기 때문에, 단위시멘트량이나 타설온도 그리고 타설높이 등 콘크리트 타설계획에 의해 주로 정해지는 값만 정해지면 온도분포로부터 온도응력을 어느 정도 용이하게 파악할 수가 있다.

2) 외부구속응력이 탁월한 경우

콘크리트내부의 온도차에 의해 발생하는 응력보다 타설블럭의 크기와 구속도의 영향을 더 크게 받아 내부의 온도응력이 외부구속응력의 크기에 지배받는 경우에는 구조물 내부의 응력이 초기에는 단면전체에 걸쳐서 압축응력을 나타내다가 재령이 경과함에 따라 단면전체가 인장응력으로 바뀌게 된다. 따라서 균열발생시 주로 구속면에 대하여 직각방향으로 발생하며 구조물을 관통하는 경우가 많으며 구조물의 내력에도 커다란 영향을 미치게 된다. 외부구속이 탁월한 경우에 단면내의 온도응력의 경시변화를 간단

히 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

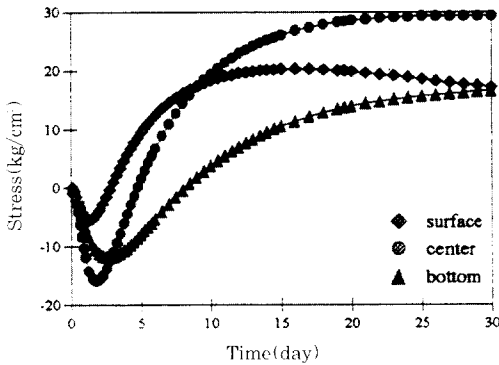


그림 2 외부구속응력이 탁월한 경우의 온도응력의 경시변화

외부구속응력이 탁월한 경우는 암반위에 콘크리트를 타설하는 경우나 기타설한 콘크리트 위에 덧씌워 콘크리트를 타설하는 경우가 이에 해당하는데, 구조물의 크기나 하부의 암반상태에 따라 온도응력의 발생양상이 크게 달라지기 때문에 온도균열의 발생시기나 위치 등에 대한 추정이 매우 곤란하다^{6),7)}. 이 경우는 평균온도강하량과 구속도의 크기에 크게 영향을 받기 때문에 프리쿨링이나 파이프쿨링 등 주로 내부구속응력을 줄일 수 있는 시공대책만으로는 온도균열의 발생을 제어하기가 어렵고, 최대온도에 도달한 후의 단위시간당의 온도강하량을 줄일 수 있는 방법이나, 연속타설시 양블럭 사이에 커다란 온도차가 생기지 않도록 타설간격을 짧게 하는 등 구속도를 줄이는 시공대책을 수립할 필요가 있다.

표 1 온도균열의 발생위치 및 발생시기

균열모드	지배응력	균열발생위치	균열발생시기
(Ⅰ)	내부구속이 탁월한 경우	표면에 분산해서 발생	1 ~ 3일
(Ⅱ)	내부구속응력과 외부구속응력이 공존	표면에 분산 또는 구조물 관통	8 ~ 15일
(Ⅲ)	외부구속이 탁월한 경우	구조물을 관통	15일 이후

현재로서는 외부구속이 온도응력에 미치는 영향에 대한 정확한 평가가 미비해 기존의 문헌상에 제시되어 있는 값을 그대로 인용 또는 임의로 가정해 사용하고 있는 실정이지만, 외부구속도를 어떻게 평가하는가에 따라 해석결과에는 커다란 차이가 나기도 한다.

3. 각종 영향요인들의 균열제어 효과

3.1 일반

초기재령시에 매스콘크리트에서 발생하는 온도균열을 제어하기 위해서는 먼저 온도 및 온도응력에 영향을 미치는 요인의 특성에 대하여 검토할 필요가 있다. 매스콘크리트의 온도 및 온도응력에 영향을 미치는 요인은 온도상승량에 영향을 미치는 요인과 외부구속에 영향을 미치는 요인 등 크게 두 가지로 분류할 수가 있다^{6),7)}.

온도상승량에 영향을 미치는 요인으로서 는 단위시멘트량, 시멘트의 종류 그리고 콘크리트온도 등을 생각할 수 있으며 외부로의 열 방출에 대해서는 콘크리트 두께 및 콘크리트 외부와의 경계 조건도 중요한 요인이 된다. 그리고 외부구속에 영향을 미치는 요인 으로서는 구속체와 피구속체간의 탄성계수의 차이와 피구속체의 크기가 큰 영향을 미친다.

본 절에서는 이와 같은 여러 요인 중 온도응력에 크게 영향을 미치는 요인들에 대해서 그 영향도를 검토해 보기로 한다.

3.2 단위시멘트량에 의한 온도상승량 저감효과

단위시멘트량은 콘크리트의 온도상승량에 가장 큰 영향을 미쳐 결과적으로는 구조체내의 온도응력 및 온도균열지수에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 매스콘크리트 시공시에는 소오의 품질을 확보할 수 있는 범위 내에서 이에 대한 적극적인 검토가 필

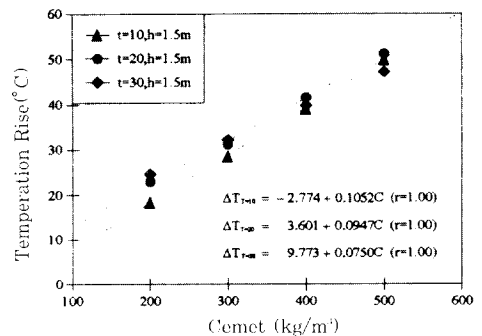


그림 3 단위시멘트량이 중앙부의 온도상승량에 미치는 영향

요하다. 콘크리트 타설계획 수립시 단위시멘트량을 조절하는 것은 균열제어면에서 볼 때 매우 효과가 있어 10kg/m³의 단위시멘트량으로는 그림 3과 같이 중앙부의 온도상승량을 대략 0.7~1.1℃ 정도 조절할 수가 있고, 내외부의 온도차는 0.3~0.4℃ 정도 조절이 가능하다.

3.3 타설시의 콘크리트 온도 영향 및 프리쿨링 효과

배합이나 시공조건을 조절하여 발열을 억제해 수화열로 인한 온도균열을 방지할 수 있다면 좋지만, 여러가지의 시공조건 때문에 채용이 곤란한 경우에는 프리쿨링이라 하여 인위적으로 타설시의 콘크리트 온도를 낮추는 방법이 효과적이다. 콘크리트의 타설시 온도는 타설후의 온도상승속도, 최고온도, 온도강하속도 등에 큰 영향을 미치고 이러한 것이 균열발생의 유무, 균열폭 등에 직접영향을 미치게 되므로 가능한 한 비빔 온도를 낮게 유지하는 것이 바람직하다.

콘크리트의 온도를 낮추어 온도상승량을 줄이는 방법은 단위시멘트량의 조절만큼 큰 효과를 기대할 수는 없지만, 타설온도가 낮아질 수록 식 (1)로 나타내지는 단열온도상승식속의 수화반응속도계수 α 가 점차로 작아져 수화반응이 지연되어 결과적으로 온도균열이 발생하는 시기가 점차 늦어지고 단위시멘트량으로 제어할 수 있는 온도량이 약간씩 커지며, 단위시멘트량이 적을 수록 그리고 저온으로 갈수록 제어효과는 크다.

$$T = K(1 - e^{-at}) \quad (1)$$

한편, 콘크리트를 프리쿨링하는데 있어서 과연 타설하는 구조체 전체를 프리쿨링할 필요가 있는지에 대해서는 한 번 생각해 볼 필요가 있다. 필자가 수치해석법을 이용해 해석한 결과에 의하면, 중앙부만을 프리쿨링하는 방법은 전혀 프리쿨링을 하지않은 경우보다도 발생응력이 더 커진다는 결과가 얻어졌고, 구조물 전체를 프리쿨링하는 방법보다는 표면부만 프리쿨링하는 것이 보다 효과적이라는 결과를 얻었다(그림 4 참조).

이것은 표면부만을 프리쿨링하게 되면 그 부분의

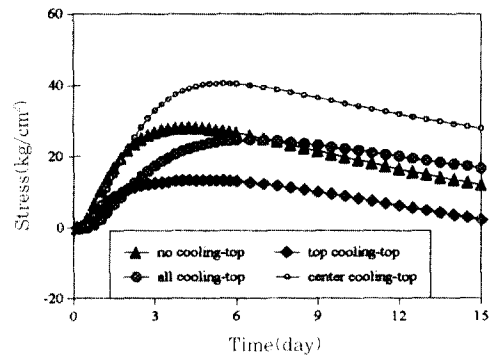


그림 4 프리쿨링방법 차이에 따른 표면부의 응력변화

콘크리트의 수화현상이 지연되어(단열온도상승식에서 α 값이 작아져) 온도상승기간이 길어지고 외기온도와의 온도차가 커져서 외부로부터의 열유입이 발생하여 표면부의 온도가 증가하여 중앙부와와의 온도차가 줄어들었기 때문에 이와 같은 결과가 얻어진 것으로 사료된다. 이러한 결과에 대해서는 실제로 사용실적이 없기 때문에 단정적으로 말하기는 곤란하지만, 충분히 타당성이 있는 검토결과로, 이에 대해서는 추후 실증적으로 검토해 볼 필요가 있다고 생각한다.

3.4 타설블록 크기와 하부 구속체의 구속 영향

1회에 타설하는 콘크리트 블록의 크기는 그 자체만으로는 결정이 곤란하고, 하부구속체의 탄성계수와 관련하여 검토되어져야 한다.

매스콘크리트의 온도응력은 하부 구속체의 탄성계수 영향을 크게 받기 때문에 시공시에는 이에 대한 철저한 검토가 필요하다. 하부의 압반이 연암인 경우에는 내부구속상태가 되어 초기에 표면부에서 균열의 발생가능성이 가장 높아지게 된다. 그러나 경암이거나 하부에 이미 타설한 콘크리트가 있을 경우에는 완전한 외부구속상태가 되어 온도균열의 발생위치가 표면부에서 중앙부로 바뀌고, 발생시기도 15일 이후가 된다(표 1 참조). 이러한 균열발생모드는 구조물의 크기(L/H)와 구속체탄성계수의 영향을 받지만, 바닥체 탄성계수는 이미 시공조건에 의해 정해져 있는 상태이므로 L/H의 값을 줄이는 쪽으로 시공대책을 수립하여 균열모드를 (1)로 하도록 할 필요가 있다(표 2 참조).

그림 5는 구속체 탄성계수와 L/H를 바꾸어가면서

해석하여 표면부와 중앙부에서의 온도균열지수와 그때의 시점을 구속체 탄성계수의 크기에 따라 나타낸 그림이다.

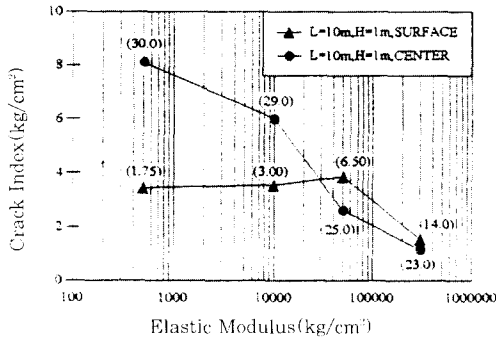


그림 5 구속체 탄성계수와 온도균열지수의 관계

그림-5를 보면 구속체 탄성계수가 작을 때는 중앙부보다는 표면부의 온도균열지수가 작아 표면부의 응력상태가 온도균열 발생을 지배하고 있지만, 구속체의 탄성계수가 커지게 되면 점차 외부구속응력이 커져서 중앙부의 응력상태가 온도균열발생을 지배하고 있는 것을 알 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 구조물에서 발생하는 온도균열을 L/H 와 구속체 탄성계수의 크기에 따라 분류하면 표 2와 같다.

표 2 온도균열 발생모드

인 자	L/H	구속체 탄성계수 E, (kg/cm ²)			
		500	10,000	50,000	300,000
인 자	2	I	I	I	I
	4	I	I	II	II
	6	I	I	I	II
	10	I	I	III	III

*) 표중의 I, II, III 은 표 1 참조

따라서 벽체구조물과 같이 길이가 긴 구조물은 L/H 를 줄이는 방향, 즉 타설길이를 줄이고 높이를 크게 하는 방법이 균열제어에 효과적이다.

3.5 연속타설시의 타설간격과 타설높이의 영향

콘크리트 타설시 적당한 높이로 콘크리트를 타설하게 되면 시공도 용이하고 공사기간도 단축시킬 수가 있지만, 온도균열의 발생을 피하기 위해서는 타설간격 및 타설높이의 결정이 매우 중요하다.

본래 1회 타설높이의 크기 및 타설간격의 결정문

제 등은 동일한 콘크리트 배합이라 할지라도 구조물의 종류와 하부의 구속상태에 따라 크게 달라지기 때문에 일률적으로 정할 수가 없고, 온도해석 및 온도응력해석을 통해 온도균열지수를 구하여 가장 안전한 방법을 선택해야 한다. 온도균열의 발생양상은 내부구속응력이 지배적인가 외부구속응력이 지배적인가에 따라 크게 다르기 때문에 시공대책을 수립하는데 있어서도 어느 응력이 지배적인가를 먼저 확인할 필요가 있다.

먼저, 1회에 타설한 콘크리트의 두께와 온도상승의 관계를 알아보면 그림 6과 같이 부재두께가 두꺼워질수록 온도상승량이 커지지만, 2.5m 전후에도 달하면 최고온도상승량은 단일온도상승시험의 최대치에 거의 가까워져 부재두께가 그 이상이 되어도 별로 변하지를 않는다.

따라서 두께 2.5m까지의 범위에서는 1회의 타설

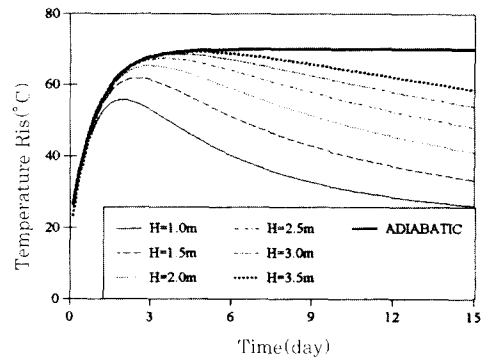


그림 6 타설높이와 온도상승량의 관계

높이를 낮게 하는 것이 온도상승량을 저감시켜 균열 발생을 방지할 수 있는 하나의 대책이 된다. 이러한 의미에서 1회의 타설높이는 작을수록 온도상승량이 작아져 바람직하지만, 외부구속이 비교적 작은 경우에는 역으로 수m 높이의 블럭을 한번에 타설하는 것이 균열제어에 유리한 경우도 있다. 이러한 경우에는 콘크리트의 표면부근에만 내부구속에 의해 균열이 발생하기 쉽기 때문에 표면온도에 대해서는 적절한 조치를 취하면 된다.

그러나 이것을 높이방향으로 수회에 나누어 타설하게 되면 새롭게 타설한 콘크리트가 이미 타설된 콘크리트에 의해 외부구속을 받아 균열이 발생하기 쉬워진다. 이 때에 다음 콘크리트를 타설하는 시기를

언제로 할 것인가가 매우 중요한 요인이 된다. 분할하여 타설하는 경우 타설간격이 길어지게 되면 기타 설한 콘크리트의 탄성계수가 증가하여 새롭게 타설한 콘크리트를 구속하게 된다. 이 구속은 신규 콘크리트간의 탄성계수 및 온도차가 클수록 커진다. 그림 7은 1회 타설높이가 1.5m인 경우에 다음 타설시기를 3일 후, 5일 후, 7일 후로 하여 계산한 결과를 온도균열지수로 나타낸 것이다.

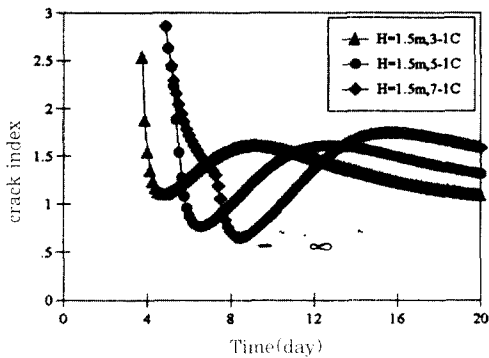


그림 7 타설간격과 온도균열지수의 관계

해석조건에 따라서는 타설조건과 온도균열지수의 관계가 그림 7과는 또다른 결과도 얻어질 수 있지만, 그림 7만을 보면 타설간격이 짧을수록 온도균열지수가 커져 균열발생가능성이 적어진다는 것을 알 수 있으며, 이 결과는 앞에서 언급한 내용과 충분히 부합되는 결과라 할 수 있다.

3.6 줄눈 설치

매스콘크리트 구조물에서 초기에 발생하는 온도응력은 타설되는 블록의 크기에 큰 영향을 받는다. 이 구조물의 크기를 나타내는 L/H가 작은 강한 경우에는 외부구속 응력성분이 작아지지만, L/H가 클 경우에는 외부구속 응력성분이 커져서 타설한 콘크리트에 나쁜 영향을 미칠 수가 있다. 따라서 줄눈 등을 설치하여 L/H를 작게 하는 것이 균열제어에 효과적이다.

그러나 줄눈 설치가 온도응력을 줄여주어 균열제어에는 확실히 효과가 있지만 보 형태나 슬래브 형태 구조물에는 일반적으로 설치가 곤란한 경우가 많다. 따라서 줄눈은 옹벽, 수조벽, 터널의 복공 콘크리트,

box culvert 등과 같이 주로 면외력을 받는 벽체형 구조물에 주로 설치한다.

줄눈에는 신축 줄눈과 균열유발 줄눈이 있다. 신축 줄눈은 수화열에 의한 열 신축 외에 온도변화, 건조 수축, 침하 등에 의해 구조물에 나쁜 영향이 미치는 것을 피하기 위해 구조물을 두 개 이상으로 독립시키기 위해 설치하는 것이다. 일반적으로 신축줄눈은 15m정도 간격으로 설치하지만 수화열에 의한 온도 균열이 특히 문제가 되는 구조물에는 그 간격을 짧게 하는 것이 바람직하다.

한편, 균열유발 줄눈은 단면의 일부를 결손시키거나 응력을 집중시켜 균열을 특정한 단면에 발생시키기 위하여 설치하는 줄눈이다(그림 8 참조). 균열을 유발시키고자 하는 위치에서의 단면결손량은 전체 두께의 30~50% 정도로 할 필요가 있으며, 균열유발줄눈의 설치간격은 대략 1회 타설높이의 1~2배 정도가 좋다. 그러나, 구조물은 형상, 치수, 응력집중 부분의 유무, 배력근의 정도, 균열에 의한 악영향의 정도 등을 고려하여 적절히 증감시키고, 이 위치가 구조상 결함이 되지 않도록 배려해야 한다.

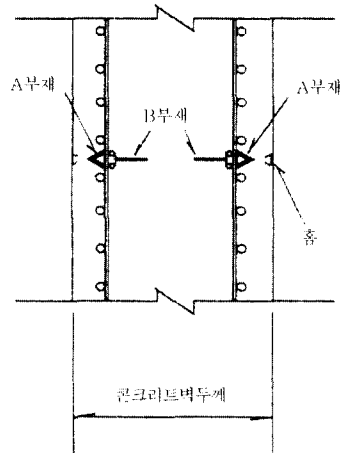


그림 8 균열유발줄눈의 설치예

또한, 균열을 유발시킨 후에는 필요에 따라서 홈 부분에서 지수 등을 목적으로 한 모르타 충전작업을 실시한다. 또한, 배력근의 양이 많은 경우에는 균열을 유발시키기 위한 위치 이외의 부분에서도 온도균열이 발생하는 것을 방지하기 위해 유발위치의 배력근을 감소시키던가, 감소시키지 않는 경우에는 그 부분의 배력근을 절단시키고 배력근에 상응하는 양의

Slip bar를 배치하는 것이 좋다.

3.7 온도철근의 배근

줄눈이나 시공이음의 간격을 작게 하는 것은 구속도를 완화시키고 온도응력이나 균열폭을 저감시키는 데에 매우 유효한 수단이다. 그러나, 줄눈이나 시공이음, 특히 시공이음을 작은 간격으로 설치하는 것은 내력, 수밀성, 내구성 등의 점에서 악영향을 미칠 가능성이 높아 시공의 신속화를 저해하거나 비경제적인 시공이 될 수가 있다.

그러나 구조물의 기능상 및 설계·시공상 지장이 없는 범위에서 줄눈이나 시공이음의 간격을 작게 한 상태에서, 보다 더 균열폭을 허용치 이내로 억제하려고 하는 경우에는 철근을 배근해서 균열을 제어하는 것이 효과적이다. 이 때에 철근의 배근간격은 작을수록 균열제어에 효과적이므로 직경이 작은 철근을 좁은 간격으로 배치하는 것이 좋다.

균열폭은 여러가지 요인에 의하여 결정되지만 특히 온도강하량, 외부구속도, 균열간격 등과 매우 관계가 있으므로 철근량 산정시에는 이러한 요인은 고려해야 한다. 따라서 균열폭 제어에 필요한 철근량을 구하기 위해서는 구속도와 밀접한 관계가 있는 줄눈 간격이나 타설계획에 대해서도 검토할 필요가 있다.

3.8 파이프쿨링 효과

파이프쿨링은 콘크리트의 타설전에 파이프를 적당한 간격으로 미리 배치해 놓았다가 콘크리트 타설후 물을 순환시켜 내부에서 발생하는 콘크리트 수화열을 장기간에 걸쳐 제거하는 방법이다. 이 방법은 일반적으로 댐구조물 시공시에 많이 사용되며, 교각시공시 종종 사용되기도 한다. 그러나 파이프쿨링의 효과에 대해서는 해석상으로도 충분히 입증되어 있는 상태이지만, 해석적으로는 3차원해석이 요구되기 때문에(의사2차원방법으로 간이해석도 가능) 계산이 매우 복잡하고, 해석시의 입력조건과 실제의 시공조건(예를들면, 파이프의 간격, 물순환속도 등)이 서로 일치하지않아 통수온도가 너무 낮거나 냉각기간이 적절치 않는 등의 시공착오가 발생할 경우에는 냉각관 근처의 온도경사가 커지거나 온도강하속도가 커져서 심각한 온도균열이 발생하는 경우도 있다. 따라

서 파이프쿨링을 실시할 경우에는 물 순환시의 파이프의 직경과 간격, 통수량, 통수온도 및 기간 등에 대해서는 사전에 면밀히 검토해 놓을 필요가 있다.

4. 콘크리트 타설계획 수립

4.1 일반

최근, 구조물의 대형화나 시공방법의 진보에 따라 토목,건축을 망라하여 한번에 대량의 콘크리트를 시공하는 경우가 늘고 있다. 콘크리트의 타설·다짐면에서는 대량시공이라는 것이 특히 기술적으로 어려운 것은 아니지만, 넓은 면적에 걸쳐서 확실하게 시공을 하기 위해서는 소규모공사에서는 문제가 되지 않았던 점에 대해서도 충분한 검토가 필요하다.

매스콘크리트의 온도균열을 제어하기 위해서는 이미 설계단계에서 검토한 제어계획의 목표가 충분히 달성될 수 있도록 시공시의 기상조건, 콘크리트의 제조능력 등을 감안하여 1회에 타설할 수 있는 블럭의 크기, 타설간격, 콘크리트의 제조, 운반, 타설, 다짐, 양생 등의 방법에 대하여 종합적으로 검토할 필요가 있다.

이상과 같은 항목에 대하여 시공시의 유의사항을 정리해 보면 아래와 같다.

4.2 콘크리트의 운반과 타설

콘크리트의 품질은 믹싱을 한 후부터 타설시까지 계속 변한다. 그 주원인은 수화반응의 개시에 따라 콘크리트가 굳어지기 때문으로, 시간이 경과함에 따라 슬럼프가 저하하거나 유동성이 저하하게 된다. 또한 운반중의 진동 등에 의해 블리딩이나 재료분리가 일어난다. 따라서 콘크리트타설작업시에는 이러한 운반에 따른 콘크리트의 품질저하를 파악하여 원하는 품질이 얻어질 수 있도록 사전에 충분히 검토할 필요가 있다.

콘크리트 운반 중에 공기량과 온도의 변화를 보면, 공기량은 전체적으로 약간 감소하는 경향이 나타나는데, 대략 1시간에 0.5~1.0%정도로 감소한다고 보는 것이 좋다. 그리고 콘크리트온도는 일반적으로 1시간에 1℃ 정도로 온도가 상승하는 것으로 보고있고 온도가 높을수록 더욱 커진다. 서중콘크리트타설

시에는 이 점에 유의할 필요가 있다.

매스콘크리트의 시공에서는 통상의 경우와 비교하여 낮은 슬럼프의 콘크리트를 대량으로 타설하는 경우가 많다. 따라서 레미콘차로 콘크리트를 운반할 때는 콘크리트 배출에 통상의 경우보다 오랜 시간이 걸리는 경우가 있으므로, 이러한 점에서 배차계획을 검토할 필요가 있다.

한 블록의 시공면적이 넓은 매스 콘크리트에서는 한층의 콘크리트를 타설하는데에 시간이 걸리는 경우도 길다. 이러한 경우 콜드조인트가 발생하지 않도록 한 블록의 면적, 콘크리트의 공급속도, 콘크리트의 타설이음 허용시간 등을 고려해서 타설순서를 정한다.



사진 1 원자력구조물의 subbase 부분 콘크리트 타설장면

콘크리트의 타설이음 허용시간은 시멘트의 종류, 혼화제의 종류 및 사용량, 외기온, 콘크리트의 운반 시간 등의 영향을 받지만, 대략 운반시간이 1시간인 경우를 기준으로 해서 일반적인 경우 외기온이 25℃ 미만에서는 2.5시간, 25℃ 이상에서는 2시간으로 하고 있다. 시공계획시에 이와 같은 타설이음 허용시간이 지켜지지 않을 염려가 있을 때는 응결지연제를 이용하거나 한 층의 타설높이를 줄이는 등의 대책을 세울 필요가 있다.

콘크리트 타설은 벤키티를 사용하는 것이 가장 좋지만 어쩔 수 없이 폼프를 사용하는 경우에는 가능한 한 낮은 슬럼프로 하고 콘크리트가 분리하지 않도록 타설량에 따라 배출위치를 이동시키면서 시공해야 한다. 콜드 조인트가 생기지 않도록 콘크리트의 타설 전면을 너무 넓히지 않도록 해야 한다.

폼프압송에 있어서는 낮은 슬럼프에 대한 배려가 요하고 폼프의 성능, 배관길이, 배관직경, 배관방법

등을 적절히 평가하여 계획을 세울 필요가 있다. 타설시에는 작업원이 배치, 바이브레이타, 필요기구수 등을 콘크리트의 타설속도는 균형을 맞출 필요가 있다. 그리고 콘크리트 타설시에는 콘크리트의 표면이 거의 수평에 가깝도록 타설하고 한 층의 높이는 40~50cm를 표준으로 해서 각층마다 충분한 다짐작업을 실시한다. 윗층의 콘크리트를 다짐할 때는 위·아래 층이 일체가 되도록 바이브레이타를 아래층의 표면에서 10cm 정도까지 투입해서 충분히 다짐작업을 실시한다.

4.3 타설시의 온도관리

타설시의 콘크리트 온도는 프리쿨링등의 조치를 전혀 취하지않은 경우에는 기온보다 3~5℃ 정도 높아지고 기온의 변화에 따라 변화한다.

기후가 따뜻한 지방에서는 콘크리트의 타설온도는 그다지 큰 문제는 되지않지만, 1) 소요의 슬럼프를 얻는데 필요한 단위수량이 증가하고, 2) 슬럼프의 경시변화가 커지며, 3) 타설후의 응결이 빨라지고, 4) 수화열에 의한 온도상승이 커지는 등의 악영향이 나타나고 역으로 너무 낮으면 콘크리트가 응결하거나 강도발현이 늦어지는 등의 품질이나 시공에 지장을 가져온다.

한여름에 콘크리트구조물을 시공할 경우의 타설시의 콘크리트온도에 대해서는 통상 35℃이하를 유지하도록규정하고 있다. 그러나 콘크리트온도가 30℃를 넘게 되면 사용하는 배합에 따라서는 슬럼프로스나 응결이 빨라지는 등의 영향이 나타나 신속히 시공을 행할 필요가 있다. 이를 위해서 타설시의 콘크리트온도는 가능한 한 30℃이하가 되도록 한다.

현장에서 간편하게 콘크리트의 타설 온도를 낮추는데 사용할 수 있는 방법으로는 일반적으로 다음과 같은 방법이 있다.

- ① 골재 저장소에 직사량이 닿지 않도록 방호한다.
- ② 시멘트의 계획구입에 의하여 온도가 높은 시멘트의 반입은 피한다.
- ③ 굵은 골재에 물을 뿌려둔다.
- ④ 야간 또는 아침에 콘크리트를 제조, 타설한다.
- ⑤ 배합수로는 가능한 한 저온의 물을 이용한다.

그러나 이러한 방법만으로는 소요의 제어계획의

목표를 달성할 수 없다고 판단되는 경우에는 재료 또는 콘크리트를 적극적으로 냉각할 필요가 있다. 적극적으로 냉각하는 방법을 정리하면 표 3과 같다.

표 3 재료의 적극적인 냉각방법

냉각단계	냉각대상	냉각수단			
		냉수	어름	냉풍	액화질소
믹싱전에 재료를 냉각	물	○			○
	물의 일부 또는 전부를 얼림으로 대체		○		
	모래	○		○	○
	자갈	○		○	○
	시멘트			○	○
믹싱중에 콘크리트를 냉각	콘크리트				○
믹싱후에 콘크리트를 냉각	콘크리트			○	○

4.4 콘크리트 양생 및 거푸집 존치기간

콘크리트의 타설후에는 통상의 콘크리트 공사와 마찬가지로 여러 기상조건으로부터 보호하기 위해 적절한 양생을 실시해야한다.

매스콘크리트의 양생을 위해서는 콘크리트의 내부와 외부의 온도차를 작게 할 수 있는 열전도율이 작은 목재 거푸집을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 겨울철에는 단열 거푸집을 사용해도 된다. 그러나 목재 거푸집을 이용하면 콘크리트의 온도가 상승하기 때문에 부재두께가 1m 정도인 벽체구조물에서 외부 구속이 탁월한 경우에는 오히려 균열이 발생할 위험성이 높아지기도 한다.

거푸집의 탈형은 콘크리트 온도와 외부기온과의 차가 클 때에 실시하게 되면 내외부온도차가 커져서 균열발생 위험성이 높아지므로, 거푸집의 존치기간에 대해서도 충분한 검토를 해야 한다. 온도의 상승과정에서는 온도 상승속도 및 최대온도, 최대온도까지 도달하는데 걸리는 중요한 측정 데이터가 된다. 온도가 최대가 되는 시간은 콘크리트의 배합, 부재의 두께, 콘크리트의 타설온도 등에 따라 다르지만, 일반적으로 벽체 구조물에서는 1~2일 이내이고, 슬래브 구조물에서는 1~5일로 조건에 따라 상당히 다르다. 따라서 거푸집은 적어도 이 정도의 기간은 존치를 해 놓는 것이 좋다.

내부구속이 강한 구조물에서는 구조물의 내외부 온도차가 균열발생에 가장 큰 영향을 미치므로 콘크리트가 최고온도에 달한 후에도 표면의 온도를 급격히 저하시키지 말고 가능한 한 완만하게 콘크리트 온도와 외기온이 평형에 도달할 수 있도록 배려해야 한다. 이를 위해서는 콘크리트 타설후 급격한 온도변화나 건조작용을 받지 않도록 보호해야 한다. 따라서, 타설후 표면을 시트로 싸고, 햇빛에 직접 닿거나 한기에 노출되지 않도록 해야 하며, 살수양생이나 담수양생 등을 실시하는 것이 바람직하다. 이러한 조치는 표면을 냉각시키지는 차원이 아니고 표면을 어디까지나 보온한다는 차원에서 실시하는 것이다. 특히 한철기의 시공시에는 보온을 유지할 필요가 있으며, 외기와의 온도차가 클 경우에는 균열이 발생할 가능성이 높으므로 열풍기를 사용하는 것도 효과적이다.

기타 매스콘크리트양생시의 유의사항을 정리하면 아래와 같다.

- (1) 거푸집에 이용되는 재료의 선정 및 거푸집의 탈형, 부재의 표면부근의 온도경사가 커지지 않도록 배려해야 한다.
- (2) 콘크리트 타설후에는 직사광선, 바람, 급격한 건조 및 한기에 대해서 보호할 수 있도록 적절한 양생을 실시한다.
- (3) 부재의 내부와 표면의 온도차, 또는 부재의 온도강하속도가 클 경우에는 적절한 보호대책을 수립한다

4.5 시공이음부의 시공방법

한 번에 타설할 수 있는 콘크리트의 양은 구조물의 형상이나 철근량, 콘크리트 플랜트의 제조능력, 거푸집의 양, 시공기계의 능력 외에 작업원 수 등의 제약을 받는다. 따라서 구조물 시공시에는 콘크리트를 몇 회로 나누어 타설하고 시공이음을 설치하는 것이 일반화되어있다.

콘크리트의 시공이음은 합리적인 시공을 하지 않으면 구조물의 구조상 그리고 기능상 취약부가 되기 쉬우므로 그 위치나 구조를 정할 때에는 구조물의 구조나 균열발생에 미치는 영향을 충분히 고려할 필요가 있다.

시공이음의 위치와 구조를 결정하는데 있어서 철

근콘크리트 구조물의 특성상 시공이음부는 전단력에 대해서 약점이 되기 쉬우므로 이음부는 가능한 한 전단력이 작은 위치에 설치하고 이음면은 부재의 압축력을 받는 방향과 직각으로 해서 이음면의 전단저항을 크게 하는 등의 배려가 필요하다. 시공이음에는 크게 수평이음과 연적이음이 있다. 각 이음부의 시공법에 대한 상세는 아래와 같다.

4.5.1 수평이음부의 시공

수평이음부의 시공에는 신콘크리트와 구콘크리트가 일체가 되도록 신콘크리트를 타설하기 전에 이음면을 청소하고 구콘크리트 표면의 레이턴스, 폼질이나 뽕 콘크리트나 잘 부착되지 않은 골재 등을 제거하는 등의 이음면 처리를 충분히 실시한다.

이음면의 처리방법에는 콘크리트경화전에 실시하는 방법과 경화후에 실시하는 방법이 있다. 경화전에 실시하는 방법은 소위 green cut라 불리우고 있으며 콘크리트의 경화가 어느 정도 진행된 시기에 7~10kg/cm² 정도의 고압공기로 불어서 레이턴스를 제거하는 방법이다. 이 방법은 넓은 면적을 효율적으로 처리하는데에는 적합하지만, 표면처리를 행하는 시기, 방법 등이 적절치 않으면 굵은 골재의 부착을 저해할 염려도 있으므로 주의가 필요하다.

최근 새로운 표면처리공법으로서 경화전의 콘크리트표면에 지연제를 살포하여 표면부만 콘크리트의 경화를 지연시켜 그 밑의 콘크리트 강도가 충분히 발현된 뒤에 표면부분만을 불세척하여 비교적 간단하게 처리하는 방법도 사용되고 있다. 그러나 이 방법도 살포하는 지연제의 양이 너무 많거나 살포한 후 이음면에서 노출되어 나온 철근을 움직이거나 하면 철근이나 거푸집을 따라 지연제가 침투하여 철근의 부착을 떨어뜨리거나 거푸집에 접하는 콘크리트면을 더럽히는 경우도 있으므로 주의가 필요하다.

4.5.2 연적이음부의 시공

연적이음부 타설시 타설영역의 경계부는 철근이 거푸집을 통과하고 있기 때문에 거푸집 작업이 매우 번거롭고 다짐작업을 할 때는 진동의 영향으로 모르타가 유출되어나올 가능성도 있으므로 사전에 철근 배근문제를 고려해서 거푸집을 제작할 필요가 있다. 경우에 따라서는 철망을 이음부의 거푸집으로 사용하는 경우도 있는데, 이러한 경우에는 철망의 눈금을 5mm이하의 가는 망을 사용하는 것이 좋다.

벽체구조물 등에서 새롭게 타설하는 콘크리트의 길이가 길고, 콘크리트의 온도변화나 건조수축등에 기인하는 수축에 의해서 이음부에 인장응력이 작용하는 경우에는 이음부시공시 만전을 기해도 완전히 일체화시키기가 어렵다. 이음부의 일체성을 확보하기 위해서는 구콘크리트면을 chipping하여 거칠게 만든 후 신콘크리트를 타설하기 직전에 모르타나 습윤면용 에폭시수지등을 도포하기도 한다(사진 2 참조). 구콘크리트의 처리방법으로서는 수평이음부와 마찬가지로 특수한 지연제를 거푸집면에 바른 후 콘크리트를 타설하여 거푸집 면에 접하는 콘크리트이음결을 지연시켜 탈형시의 처리를 용이하게 하기도 한다.

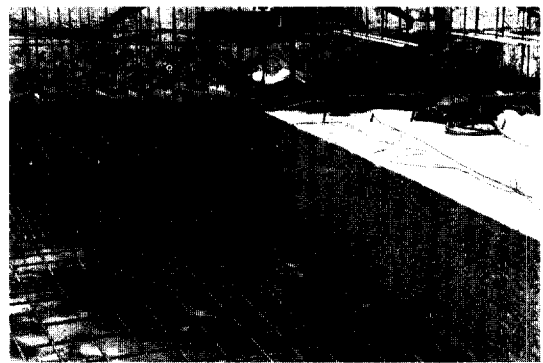


사진 2 연적이음부의 콘크리트면을 chipping 한 모습

4.5.3 수밀성이 요구되는 경우

수밀성이 요구되는 구조물의 이음부는 일반적으로 지수판을 설치한다. 지수판에는 금속제, PVC제, 고무제 등이 있는데, 구조물의 종류나 이음부의 종류에 따라 적절한 것을 선택해서 사용하도록 한다. 연적이음부에서는 기온이나 습도의 변화에 의해서 이음부의 간극이 계절적으로 신축하는 경우가 있으므로, 다소간의 길이변화에 대해서는 충분히 대응할 수 있는 제품을 선택해야 한다.

지수판을 이용해도 콘크리트타설시에 신중히 시공하지 않으면, 지수판이 휘거나 지수판주위에 공동이 생기거나 하여 오히려 수밀성을 해치는 경우도 있으므로 주의가 필요하다. 수밀성이 특히 요구되는 구조물에는 지수판을 설치하는 것 외에 불이 침투되어 들어오는 부분에 흙을 만들어 탄성실링재를 충전시키거나 아스팔트나 합성고분자의 루핑재를 도포하는 경우도 사용된다.

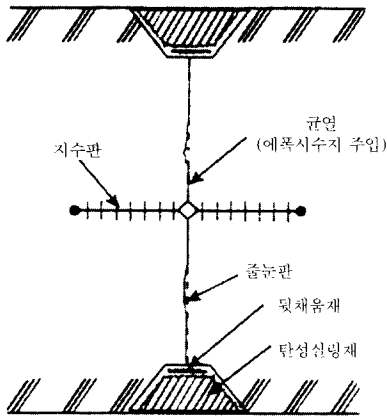


그림 9 지수관을 이용한 줄눈부 처리에

4.6 양생후의 관리

양생이 끝난 후에는, 콘크리트 온도가 외기온 가까이 까지 떨어진 것을 확인하고, 균열 발생상황을 조사해서 예측치와의 비교를 행하여, 이상이 없는가를 확인한다. 그리고 균열 발생상황에 이상이 있는 경우에는, 그 원인을 파악하여, 적절한 조치를 취한다. 콘크리트 온도가 외부기온 근처까지 떨어지는 것은 시멘트의 종류, 콘크리트의 배합, 구조물의 종류 규모에 따라 다르기 때문에 온도강하량을 확인하고, 균열 발생의 최종적 상황을 측정할 필요가 있다.

5. 맺음말

이상과 같이 매스콘크리트의 온도균열의 발생에 영향을 미치는 요인들의 특징과 균열제어에 있어서 시공적인 측면에서 유의할 사항을 대해서 정리를 해보았다.

최근 국내에는 시대적인 요구에 따라 고속전철관련공사, 대형교량공사 등 많은 SOC관련사업이 발주되어 공사가 진행되고 있는데 이러한 공사들 중에는 콘크리트타설시 온도균열의 발생을 염두에 두고 시공해야할 부분이 많이 있다. 현업에 종사하는 많은 건설기술자들 중에는 단지 수화열이 적게 나는 저발열시멘트를 사용하니까 괜찮겠지, 또는 예전에 비슷한 크기의 콘크리트를 타설했을때도 균열이 발생하지 않았으니까 이번에도 괜찮겠지 하는 사고를 가지고 있는 사람들이 있는 것 같다. 그러나 매스콘크리

트 공사는 일반콘크리트공사와는 달리 충분한 균열 제어대책을 세워놓지않으면 구조물의 내력에도 영향을 미칠 수 있는 균열이 발생되어 여러 가지 문제를 야기시키기 때문에 균열발생에 대한 원인을 철저히 파악해놓고 이에 대한 대응방법을 수립해 놓을 필요가 있다.

끝으로 본 고가 매스콘크리트공사를 담당하고 계신 분들의 콘크리트 타설계획 수립에 다소나마 참고 자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

6. 참고문헌

1. ACI Committee 207, "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures", Journal. of ACI, No.4, Vol.67, 1970. 4, pp.273-309.
2. 長瀧重義, 佐藤良一, "マスコンクリートにおける温度ひびわれ制御の動向", 콘크리트工學, Vol.26, No.5, 1988, pp.4-11.
3. 今枝靖典, 石川雅美, 西岡哲, 田邊忠顯, "溫度應力によるマスコンクリートの力學的舉動", 콘크리트工學年次論文報告集, 13-1, 1988, pp. 175-180.
4. 石川雅美, 今枝靖典, 高邊康, 前田強司, "マスコンクリートの外部拘束に關する檢討", 土木學會論文集, No. 460/V-18, 1993年 2月, pp. 13-22
5. 石川雅美, 前田強司, 西岡哲, 田邊忠顯, "マスコンクリートの外部拘束メカニズムに及ぼすL/Hの影響", 콘크리트工學年次論文報告集, 12-1, 1990, pp. 851-856
6. 小野 定, "マスコンクリートの溫度上昇に及ぼす各種要因の影響およびコンクリート溫度上昇計算法の提案", 土木學會論文集 第348號 V-1, 1984.8, pp.123-132
7. 泉滿 明, 傑久允, "マシン鐵筋コンクリート構造における溫度ひびわれ", 콘크리트工學, Vol.16, No.8, Aug. 1978, pp.18-27.
8. 田澤榮一, 松岡康訓, "マスコンクリートの施工法", 콘크리트工學, Vol.15, No.10, Oct. 1977, pp.1-7. 