



# 양생자동화시스템을 이용한 매스콘크리트 온도균열 제어

## Thermal Crack Control in Mass Concrete using Automated Curing System

**하주형** Ha, Ju Hyung    **이근주** Lee, Kewn Chu    **임창근** Lim, Chang Keun    **서태석** Seo, Tae Seok    **조윤구** Cho, Yun Gu  
 현대건설 연구개발본부    현대건설 연구개발본부    현대건설 연구개발본부    현대건설 연구개발본부    현대건설 연구개발본부  
 부장대우    대리    과장    과장    부장

### 1. 머리말

최근에 대규모 해양구조물, 장대교량, 발전소, 초고층 빌딩 등 토목, 건축 구조물이 대형화되면서 부피가 큰 매스콘크리트의 온도균열이 문제가 되고 있다. 매스콘크리트에서 온도균열은 콘크리트의 품질을 결정하는 가장 중요한 요소이기 때문에 연구자와 실무자들에게 관심도가 큰 분야이며, 온도균열을 제어하기 위한 수화열 저감대책이 강구되고 있다.

일반적으로 콘크리트는 경화과정에서 수화열이 축적되어 콘크리트의 내부온도가 상승하게 되고, 낮은 콘크리트의 열전도율로 인하여 내부와 외부의 온도차가 발생하게 된다. 이러한 온도차는 내·외부 구속 작용에 의하여 매스콘크리트 부재에 인장응력이 발생하게 되고 인장응력이 콘크리트의 인장강도에 도달하게 되면 균열이 발생하게 된다.

매스콘크리트의 온도균열을 방지하기 위해서는 콘크리트에 발생하는 수화열을 제어해야 하며, 매스콘크리트에서 발생하는 수화열을 억제하기 위해서는 프리쿨링법, 파이프쿨링법 등이 있다. 프리쿨링법은 배합수나 골재, 시멘트 등의 사용재료를 냉각시키는 방법이고, 파이프쿨링법은 콘크리트 타설 전에 파이프를 설치하여 냉각수를 통과시켜 내부에 발생하는 수화열을 낮추는 방법이다. 특히 파이프쿨링법은 초기재령에서의 콘크리트의 수화열을 낮추어 균열을 제어하는데 효과가 있으며, 부재의 내부온도를 빠른 시간에 외부 온도까지 강하시킬 수 있기 때문에 대규모 공사에서 주로 이용되고 있는 방법이다. 하지만 이 방법은 공사비용이 증가하게 되고, 시공과정이 복잡해서 공기가 증가하게 되는 문제점이 있기 때문에 보다 효율적으로 온도균열을 제어하기 위한 방안이 요구되고 있는 실정이다. 따라서 본 고에서는 기존의 파이프쿨링 공법보다 효율적인 방법으로써 매스콘크리트에서 발생하는 온도균열을 제어하기 위해서 온도제어시스템을 통해 적정온도의 양생수를 자동으로 공급하여 내·외부 온도차가 온도균열제어 기준 온도를 초과하지 않도록 하는 양생자동화시스템 기술과 실제 현장에 적용한 결과를 소개하고자 한다.

### 2. 양생자동화시스템

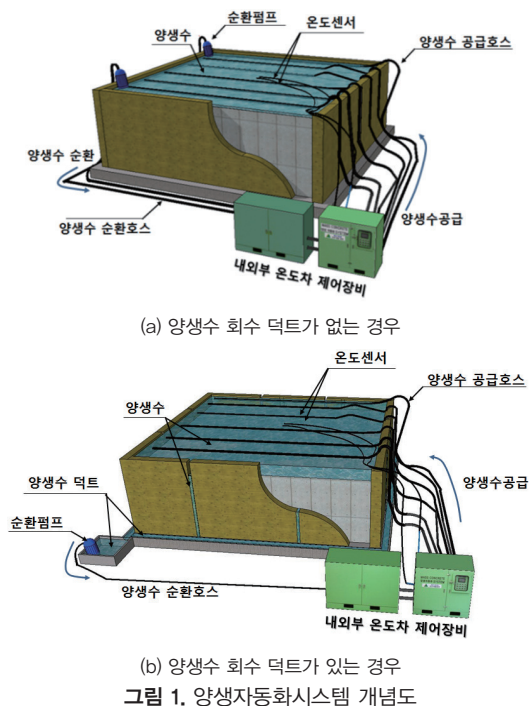
#### 2.1 공법의 개요

양생자동화시스템은 온도변화를 모니터링할 수 있는 데이터로거와 양생수를 저장하기 위한 저장 탱크(메인탱크, 보

조탱크) 그리고 양생수를 가열하기 위한 가열장치로 구성되어 있다. 본 시스템은 매스콘크리트에 발생하는 온도균열을 제어하기 위해 타설 예정 매스콘크리트 구조체 중심부와 표면에 온도센서를 매립한 후 콘크리트를 타설하고, 온도제어시스템을 통해 내·외부 온도차가 균열제어 기준 온도(일반적으로 20℃)를 초과하면 온도차를 그 이하가 될 수 있도록 자동으로 구조체 표면에 적정온도의 양생수를 공급한다. 본 기술은 양생수 회수 덕트의 설치유무에 따라 <그림 1>과 같이 적용방식이 구분된다.

2.2 특징

본 시스템은 자동양생을 통해 효과적으로 온도균열을 제어하는 것 이외에도 다음과 같은 특징이 있다. 첫째, 본 시스템은 사용되는 양생수의 지속적인 재순환이 가능한 환경친화적 구조로 만들어져 있어 경제적이며, 둘째, 매스콘크리트의 분할 타설을 줄여서 공기단축뿐만 아니라 자동화로 인한 인력절감 및 품질향상효과가 있다. 마지막으로 콘크리트 표면부를 지속적으로 습윤 상태로 만들어 열풍기 등을 이용한 급열양생의 결점이었던 건조수축 균열도 제어가 가능하다.



2.3 장비 구성 및 용량

이 기술의 양생자동화장비는 메인장치와 보조 장치로 구성되며, 장비상세와 작동원리는 <그림 2>에 나타내었으며, 장비의 용량은 <표 1>과 같다.

2.4 시공절차

본 기술의 시공절차는 <그림 3>과 같이 6단계로 나눌 수 있으며, 본 기술의 고유영역은 온도센서 설치, 내·외부 온도차 제어장비 설치, 내·외부 온도차 제어장비 이용한 양생 등으로 구성된다. 이 기술은 주요 시공절차와 동시에 진행되므로 전후 공정에 영향이 없어 공기 지연이 발생되지 않는 장점이 있다.

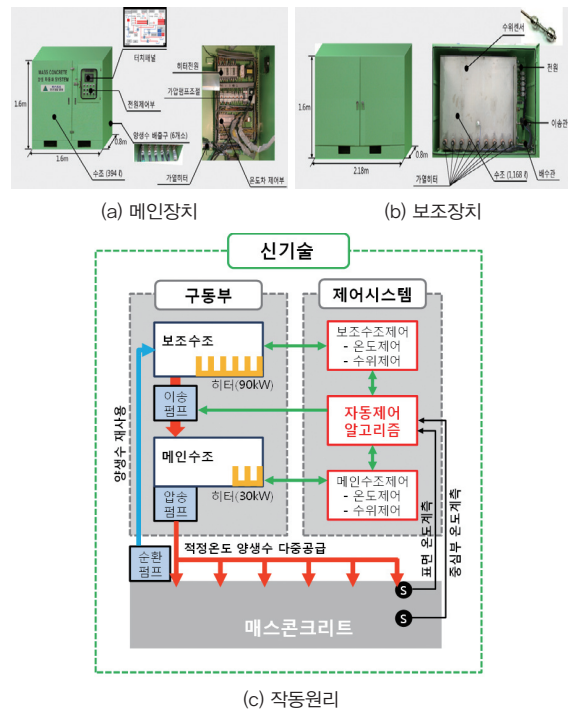


그림 2. 양생자동화시스템 구성 상세

표 1. 기술 적용범위

조건	범위
필요공급전압	380 ~ 400V
공급 양생수 최대가열온도	70 °C
외기환경별 최대 적용가능 구조체 면적	20 ~ 30 °C(여름철) 900 m <sup>2</sup> 이하
	10 ~ 20 °C(봄, 가을철) 800 m <sup>2</sup> 이하
	-5 ~ 10 °C(겨울철) 700 m <sup>2</sup> 이하

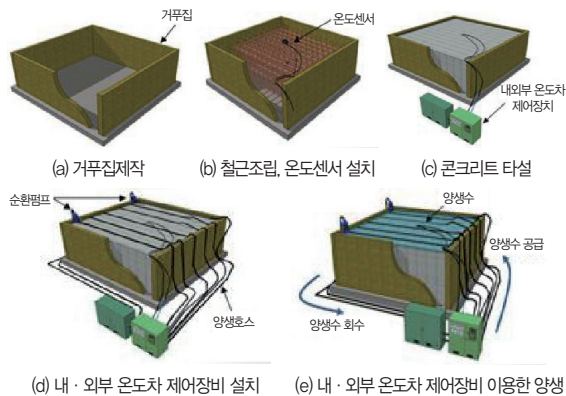


그림 3. 본 공법 시공절차



(a) 매립형 게이지 설치

(b) 콘크리트 타설



(c) 온수공급라인 시공

(d) 보온재 설치(보온양생기초)



(e) 양생자동화시스템 가동

(f) 기초 콘크리트 양생

사진 1. 울촌II복합화력발전소 가스터빈기초 적용사례

### 3. 국내외 건설공사 활용실적 및 전망

#### 3.1 활용실적

지금까지 국내에서 Mock-up 실험 1건, 현장적용 3건을 수행하였다<표 2>.

#### 3.2 적용사례 및 결과

여러 현장 적용사례 중에서 기존의 보온양생공법과 본 양생공법을 비교하여 시공한 울촌II복합화력발전소 사례는 다음과 같다. 현장적용대상은 34.3m×8.7m×2.0m의 울촌II복합화력발전소 가스터빈 기초 매스콘크리트로서 두 기초를 동시에 타설하여 기존 보온양생공법과 양생자동화 공법의 성능을 비교하였다. 타설 종료 10시간 이후에 콘크리트 표면에 양생수 공급용 호스를 설치하고 내외부 온도차를 설정하여 1주일간 양생자동화장

비를 가동하였고, 더불어 다른 기초에는 동일한 조건하에 스티로폼, 양생포 등을 활용하여 보온양생을 실시하였다<사진 1>.

두 공법을 비교하여 양생한 결과 <그림 4>에서 보여지는 바와 같이 기존 보온양생공법에서는 균열이 8개가 발생되었으나 양생자동화공법을 적용한 기초에서는 균열이 발견되지 않아서 본 공법이 기존 보온양생공법에 비해 온도균열 저감 효과가 우수한 것으로 나타났다.

표 2. 활용 실적

연번	공사명	발주자	시공사	공사기간	공사규모	현장위치	총공사금액 (신기술공사금액)
1	양생자동화 Mock-up 시험체 제작	현대건설(주)	페트라텍(주)	2012. 3. 12 ~ 2012. 4. 30	-	경기도 용인시 기흥구 마북동 102-4번지 일대	0.12억원 (0.12억원)
2	당진화력 9,10호 토건공사	한국 동서발전(주)	현대건설(주)	2011. 4. 1 ~ 2016. 6. 30	1,000 MW급	충청남도 당진시 석문면 일대	1,310억원 (11억원)
3	울촌II 복합화력발전소 (가스터빈기초)	MPC 울촌전력(주)	현대건설(주)	2011. 12. 29 ~ 2014. 6. 30	634 MW급	전라남도 광양시 광양읍 울촌산단 일대	7,104억원 (24.5억원)
4	울촌II 복합화력발전소 (스팀터빈기초)				312 MW급		

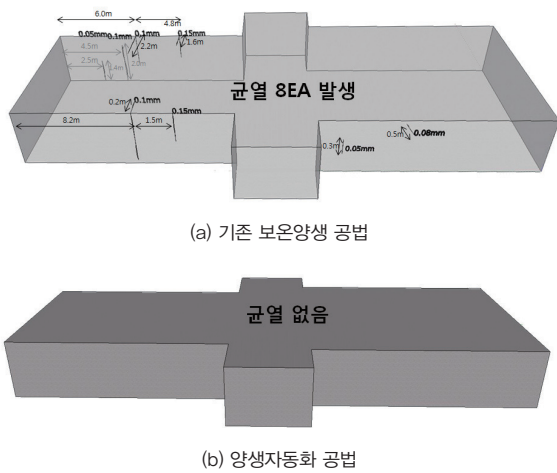


그림 4. 기존 보온양생공법과 양생자동화공법의 양생품질 비교

## 4. 기대효과

### 4.1 향후 활용전망

#### 4.1.1 국내외 기술과 수준 비교

국내외의 기초 매스콘크리트의 수화열 제어방법은 주로 외부의 온도를 상승시키기 위해서 열원을 사용하거나 콘크리트 표면 보온 양생방법, 또는 수화열을 저감시키기 위해서 혼화재를 활용하는 방법 등이 있다. 본 기술은 국내외 지재권 확보 및 현장적용을 통해 기술수준을 검증받았으며, 적정온도의 양생수를 콘크리트 표면에 공급하여 내외부 온도차를 능동적으로 제어하고, 습윤양생과정을 자동화시킨 체계적이고 효율적인 양생기술이다.

#### 4.1.2 건설시장에 미칠 파급효과

본 기술은 기초 매스콘크리트의 내외부 온도차를 실시간으로 상시계측하고 규정온도차 이내로 제어하여 온도균열 발생을 저감시키는 공법으로 공기지연을 최소화 할 수 있어서 토목, 건축, 해양플랜트 구조물 등의 기초 매스콘크리트 공사 시 활용되어질 것으로 예상된다.

### 4.1.3 국내외 기술 대비 경쟁력

최근 해외 건설시장에서 기초 매스콘크리트 공사시 내외부 온도차 관련 규정이 강화되고 있으며, 이에 대응하기 위해 플랜트 및 대형 인프라 공사의 기초 매스콘크리트의 온도균열저감 양생공법으로써 본 기술은 향후 국내외 건설시장에서 적극 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 4.2 경제적 기대효과

### 4.2.1 설계단가

본 기술의 표준품셈에 따른 설계단가는 <표 3>과 같다.

### 4.2.2 공사비

본 기술의 공사비는 상기의 표시된 설계단가와 동일하고, 콘크리트 품질확보로 인한 양생 후 균열보수보강에 필요한 비용절감 효과를 기대할 수 있다.

### 4.2.3 공사기간

본 기술은 매스콘크리트 시공시 주요 시공절차와 동시에 진행되므로 공기지연 요소가 없고, 콘크리트 품질확보로 인한 균열보수보강 공정을 생략함에 따른 공기단축 효과를 기대할 수 있다.

### 4.2.4 유지관리비

기초 매스콘크리트의 타설 후 품질관리를 위해 시방서에서는 별도로 온도계측을 설치하도록 규정하고 있다. 본 기술은 상시온도계측 및 내·외부 온도차 저감시키는 양생공법으로써 온도계측에 따른 추가비용이 발생하지 않는다. 또한 양생수는 사용 후 회수하여 재순환하거나 양생수로 재활용할 수 있기 때문에 폐기물처리 비용을 절감할 수 있어 LCC 측면에서 경제적인 공법이다.

### 4.2.5 환경부하 저감, 시장 확대, 고용창출, 타 산업 활성화 등 간접효과

본 기술은 기존기술인 이산화탄소를 발생시키는 열풍기나 갈탄 등을 사용하는 가열보온양생과 달리 직접적인

표 3. 설계 단가


(단위 : 원/1,000 m<sup>3</sup>)

구분	재료비	노무비	경비	일반관리비	이윤	총원가	부가세 포함가
신기술	74,983,000	9,297,502	8,975,754	5,595,375	3,580,294	102,431,925	112,675,117



이산화탄소 배출이 없는 환경부하저감형 양생공법으로써, 토목, 건축 공사의 기초 매스콘크리트 타설시 적용이 가능한 우수 기술이다. 장비제조 및 양생전문업체에 신 기술을 제공함으로써 시장 확대, 고용창출 등의 기업간 동반성장측면에서도 사회적 기여도가 높을 것으로 예상된다.

## 5. 맺음말

본 기술은 국내 토목, 건축공사의 기초 매스콘크리트 타설시 초기 양생품질을 향상시키고 온도균열을 저감시킬 수 있는 환경친화적 양생공법으로 국내외 건설공사에 폭넓게 활용할 수 있다. 또한 품질 신뢰도를 확보할 수 있어서 온도균열이 발생했을 때, 필요한 보수 시간을 최소화시키며, 조기강도의 조속한 확보를 통해 빠른 후속 공정이 가능하여 주요 구조물의 기초 매스콘크리트 고품질 양생에 효과적으로 활용될 것으로 전망된다. 

담당 편집위원 : 이종한(대구대학교) jonghan@daegu.ac.kr



**하주형 부장대우**는 연세대학교 토목공학과에서 외부 부착 복합재료를 이용한 콘크리트 구조의 방폭성능 증진에 관한 연구로 박사학위를 취득하였고, 2000년부터 현대건설 연구개발본부에서 근무하고 있으며, 토목구조기술사이다. 주요 관심 연구 분야는 구조용 고성능 경량콘크리트, 매스콘크리트 온도균열 제어, 건설자동화, 철근모듈화를 통한 공기단축 기술 등이며, 현재 우리 학회 영문논문집편집위원회 위원으로 활동하고 있다.  
jhha@hdec.co.kr



**이근주 대리**는 연세대학교 사회환경시스템공학부에서 석박사통합과정에 재학중이며, 2009년 한국건설생활환경시험연구원에 입사하여 근무하였고, 2012년부터 현대건설 연구개발본부에서 재직하며 콘크리트 재료분야 특히 슬래그 실용화, 경량콘크리트, 펌프압송 분야를 연구하고 있다. 현재 국내외 건설 프로젝트에 참여하고 있으며, 우리 학회 고성능콘크리트위원회 위원으로 활동하고 있다.  
kc.lee@hdec.co.kr



**임창근 과장**은 한국과학기술원 건설및환경공학과에서 박사과정에 재학중이며, 2009년부터 현재까지 현대건설 연구개발본부에서 재직하고 있다. 주 관심분야는 콘크리트 수화열과 내구성 부분이고, 현재 다수의 국내외 건설 프로젝트에 대한 기술지원을 수행하고 있으며, 콘크리트 분야 사내 강사로서도 활동하고 있다.  
cklim@hdec.co.kr



**서태석 과장**은 일본 오사카 대학에서 콘크리트 수축균열 예측 및 제어에 관한 연구로 박사학위를 취득하고, 2012년부터 현대건설 연구개발본부에서 재직하고 있다. 주 관심 연구분야는 매스콘크리트 수화열 제어 및 균열제어이며 현재 다수의 국내외 건설 프로젝트 업무를 담당하고 있다. 우리 학회 학회지편집위원회 위원으로 활동하고 있다.  
tsseo@hdec.co.kr



**조윤구 부장**은 서울대학교 토목공학과에서 박사학위를 취득하고 1998년부터 현재까지 현대건설 연구개발본부에서 재직하고 있다. 주 관심 연구분야는 콘크리트 재료, 특히 슬래그 활성화 분야와 내구성분야이고, 현재 다수의 국내외 건설 프로젝트의 콘크리트 재료분야 총괄업무를 담당하고 있으며, 우리 학회 매스콘크리트위원회 위원으로 참여하고 있다.  
yungu.chu@hdec.co.kr