



02

실시간 온도측정을 이용한 매스콘크리트 수화열 관리

Controlling Hydration Heat in Mass Concrete Using the Real-Time Measured Concrete Temperature

류종현 Jong Hyun Ryu
GS건설 기술연구소 기반기술연구팀
책임연구원

정진수 Jin Soo Chung
GS EPS(주) 4호기건설공사 토목구조물 담당
부장

1. 머리말

복합 화력발전소에서 가장 중요한 발전기계는 가스터빈(Gas Turbine)과 증기터빈 제너레이터(Steam turbine Generator)라 할 수 있다. 이 두 기계는 발전소에서 전기를 생산하는 핵심장비인 만큼 기계가 설치될 콘크리트 구조물의 중요도는 설계-시공-유지관리 면에서 토목공사의 핵심이라 볼 수 있다. 특히, 두 기계를 받치는 기초구조물은 두께가 2m가 넘는 매스콘크리트로 수화열 제어가 중요한 관리항목이며, 기계를 공급하는 업체에서도 매스콘크리트 구조물에 대한 수화열 관리를 까다롭게 요구하고 있다. 본 기사에서는 이러한 발전소시공 현장에서 발생하는 매스콘크리트 구조물에 대하여 보온양생과 실시간 수화열 모니터링을 통하여 수화열을 관리한 기술에 대하여 소개하고자 한다.

2. 현장개요

현재 건설중인 LNG 복합화력 발전소는 발전 효율이 60% 이상인 가스터빈을 장착하여 주변 산업단지 및 지역의 전력 부족 현상을 해소하고 안정적인 에너지를 공급해 지속적인 산업 발전을 이루는데 밑거름이 될 것으로 예상된다. 본 프로젝트는 국내외에서 발전사업을 하고 있는 GS EPS(주)에서 발주하였으며, 주요 장치인 가스터빈은 효율이 기존보다 우수한 H-Class(294.2MW) 2 기를 사용하고 있으며, 증기터빈은 재열복수식(314.4 MW) 1 기를 이용하는 발전소이다. 공사개요는 <표 1>에 나타내었으며, <그림 1>은 발전소의 전경을 나타낸 것이다.

표 1. 당진4호기 발전소 공사개요

구분	내용
사업주	GS EPS(주)
건설사	GS 건설(주)
주기기 공급사	SIEMENS(독일)
설비 규모	- 가스터빈(H-Class) : 294.2 MW×2 기 - 증기터빈(재열복수식) : 314.4 MW×1 기 - 배열회수보일러(Benson Type) : 2 기 총 : 902.8 MW
사용 연료	천연가스(LNG)
냉각수	해수(60,000 m ³ /hr)
공사 기간	2014. 7.~ 2017. 6.(36개월)



그림 1. 조감도

3. 콘크리트 구조물의 품질 요구조건

현장에서 요구되는 콘크리트의 주 성능은 충분한 설계 강도 확보 및 사용연한까지 사용 가능한 내구성이다. 이러한 요구에 따라 발주처에서는 시공회사에게 <표 2>과 같이 매스콘크리트 품질관리 요건 및 관리방안을 요구하였다.

콘크리트 최고온도를 제한하는 이유는 타설 시 콘크리트 온도가 68 ~ 74℃ 범위에서 DEF(Delayed Ettringite Formation)로 인한 균열이 발생될 수 있고, 88℃ 이상에서는 압축강도를 감소시킬 수 있기 때문이다. 중심부와 외부온도 차이에 대한 제한은 콘크리트가 충분한 강도를 발현하기 전에 발생할 수 있는 잠재적인 온도균열을 최소화하기 위한 것으로 온도균열은 콘크리트의 온도가 내려가면서 수축이 발생할 때 생기는 응력이 인장강도를 초과할 때 발생한다.

기초 구조물에 대한 설계강도는 24 MPa이고, 배합조건은 <표 3>에 나타낸 바와 같이, 수화열을 고려해 플라이애시를 10% 치환하여 사용하였다.

4. 수화열관리 방안

4.1 관리계획 수립

현장에서 수화열에 대한 관리가 필요한 구조물은 가스 터빈(Gas Turbine Generator, 이하 GTG)과 증기터빈 제너레이터(Steam Turbine Generator, 이하 STG)의 기초구조물이다. 두 부재는 중요장비를 지지해야 하고, 진

표 2. 매스콘크리트 구조물의 수화열에 대한 요구조건

온도 규정	내용
콘크리트 온도 관리	5 ~ 30℃ 이내
중심부 온도 관리	60℃ 이내로 제한함
중심부와 표면 온도차	20℃ 이내
온도 측정	- 최소 10 일 이상 측정 - 중심부와 표면온도가 동일 시까지 - 구조물의 3 곳에 상-중-하 부위측정

표 3. 기초 구조물에 사용된 콘크리트 배합 (단위: kg/m³)

구분	C	F/a	W	G	S1	S2
25-24-120	291	32	168	967	338	525

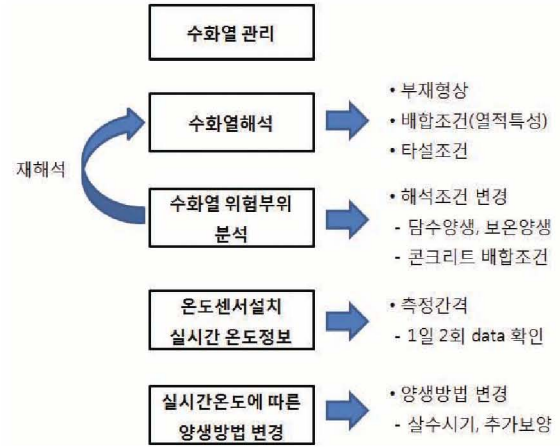


그림 2. 수화열 관리를 위한 순서도

동이 많기 때문에 특히 균열과 같은 결함이 적어야 한다.

본 기사에서는 GTG 기초 구조물에 대한 수화열관리를 기술하였다. GTG 기초 구조물은 두께가 2.5 ~ 3.0m 이상 되는 구조물로써 타설 전부터 수화열에 대한 사전 관리계획 및 시공관리계획이 필요하였다. 수화열에 대한 관리 계획은 <그림 2>와 같은 순서도에 나타난 바와 같이, 타설될 콘크리트 배합의 열적 특성을 이용하여 유한요소 프로그램으로 수화열 해석을 실시하였으며, 해석된 결과를 이용하여 수화열에 취약한 구조물의 위치를 사전에 확인한 후 실시간 온도계측에 의해 양생방법을 보강하였다.

4.2 콘크리트 생산 시 관리방안

배치플랜트(batch plant)에서 발생하는 콘크리트 온도를 현장에서 요구하는 20℃ 이하로 생산관리하기 위하여 냉각플랜트(chiller plant)를 가동하여 물 온도를 8℃까지 낮추어 사용하였고 골재 및 모래 야적장은 차양막을 설치하여 골재의 온도상승을 최소화 하였다.



사진 1. 보온양생을 위한 비닐 및 양생포 작업 장면

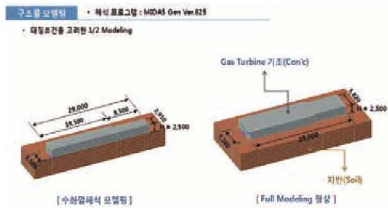


그림 3. 수화열 해석 모델링

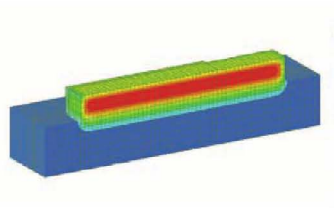


그림 4. 수화열 온도해석 결과

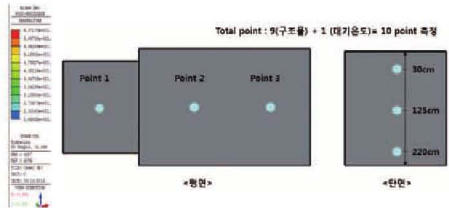


그림 5. 온도센서 위치

4.3 콘크리트 타설 및 양생

공장에서 현장까지 레미콘은 드럼에 외부 직사광선에 의한 온도상승을 저감하기 위하여 보온재가 있는 레미콘 차량만을 사용하여 운반하였다. 또한, 양생조건은 대기 온도의 영향을 최소화하기 위하여 <사진 1>과 같이 구조물의 노출부위를 비닐 한 겹과 양생포 한 겹으로 둘러싸는 보온양생(insulation curing)을 실시하였다.

5. 콘크리트 수화열계측 및 분석

5.1 콘크리트 온도계측

온도계측은 타설 1 시간 전부터 시작하였으며, 대기 온도 변화를 수시로 확인하여 생산하는 콘크리트 온도 관리에 활용하였다.

수화열에 대한 계측은 <그림 3>과 <그림 4>에 나타난 바와 같이 유한요소프로그램의 수화열 해석결과를 이용하였는데, 온도센서를 설치할 위치는 수화열이 가장 높을 것으로 예상되는 부위와 균열지수가 낮은 곳이며, <그림 5>와 같이 설치하였다. 이는 발주처에서 요구하는 위치와 동일하였다. 온도를 계측하는 주기는 10 분 간격으로 하였는데, 이는 수화열과 대기온도에 따라 변화는 콘크리트의 온도를 보다 세밀하게 측정하여 온

도변화 패턴을 분석함으로써 즉각적인 현장의 양생방법을 변경하기 위해서였다.

5.2 실시간 수화열 분석

수화열 관리를 위한 양생방법은 실시간 측정된 콘크리트 수화열을 주기적으로 확인하여 시간에 따른 수화열의 변화를 분석한 후 구조물의 온도상황에 맞는 적절하게 바꾸었다. <그림 6>은 타설 후 15 일간 구조물의 측정위치별 중심부와 표면부의 온도 차이를 나타낸 것이다.

타설 후 구조물에 발생되는 온도균열의 경우, 온도가 하강하는 시기에는 중심부 온도에 비해 대기에 노출된 표면부 온도하강 속도가 더 빠르게 나타나기 때문에 이에 대한 대책이 필요하게 된다. 중심부와 표면부의 온도차 관리기준인 20℃ 내에서 살수작업을 주기적으로 실시하였으며, 온도가 하강하는 시기에는 표면부의 하강온도를 느리게 하기 위하여 추가적인 표면 보양을 실시하였다. 이후, 중심부와 표면부의 온도하강 속도가 유사해지는 것을 확인할 수가 있었다. 온도하강 속도가 유지되는 것을 확인한 후에는 표면부에 실시한 보양을 제거하면서 살수작업을 유지하였다. 타설 12일 이후에는 중심부와 표면부의 온도하강 속도에 변화가 없음을 확인한 후, 거푸집을 단계별로 제거하는 것으로 구



그림 6. 온도관리를 통한 양생시간별 양생방법

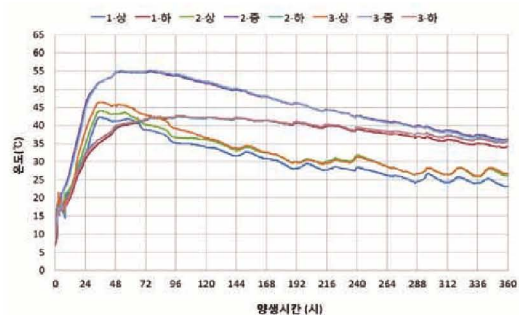


그림 7. GT 기초구조물의 측정된 수화열



사진 2. 실시간 수화열을 이용해 양생관리한 구조물 표면

구조물의 양생관리를 마무리하였다. <그림 7>은 GTG 기초 구조물의 최종 수화열을 측정된 결과이다. GTG 기초 구조물에 발생된 수화열의 최고온도는 60℃ 이하로 나타났으며, 중심부와 표면온도 차이는 20℃ 이하로 관리된 것을 확인할 수 있다.

<사진 2>는 최종 구조물의 표면상태를 나타낸 것이며, 수화열에 의한 균열은 발견되지 않아, 수화열에 대한 양생관리를 통하여 구조물의 성능과 안정성을 확보할 수 있었다.

6. 맺음말

최근 건설현장에서 시공되는 콘크리트 구조물의 대형화 되어 가고 있는 추세이다. 따라서 매스콘크리트 구조물이 증가하게 되는데 이에 따른 수화열관리는 구조물의 품질관리에 중요한 부분이라 할 수 있다.

본 기사에서는 현장에서 실시간으로 측정된 수화열을 분석하여, 매스콘크리트 구조물에 대한 양생을 최적

의 시기에 적절한 방법으로 대처함으로써, 구조물의 품질을 확보하는 방법을 제시하고 있다. 수화열 측정은 단순히 구조물의 온도이력을 확보하는 것이 아닌 구조물의 품질을 확보하기 위해서 반드시 사전에 계획하고 이를 수행하는 것이 중요하다고 볼 수 있다. □

담당 편집위원 : 김승직(계명대학교) sjkim4@kmu.ac.kr



류중현 책임연구원은 명지대학교 토목환경공학과에서 “혼화제를 이용한 숏크리트 터널 라이닝의 부식 저항성 향상에 관한 연구”로 박사학위를 취득하였으며, 도로교통기술원을 거쳐 현재 GS건설 기술연구소에 근무하고 있다. 콘크리트 내구성 및 특수 콘크리트 분야에 대한 연구를 수행하고 있으며, 국내외 현장에 대한 콘크리트 분야의 기술지원을 수행하고 있다.

ryujh7@gsconst.co.kr



정진수 부장은 토목시공기술사 및 토목품질기술사 자격을 소지하고 경북대학교 농공학과를 졸업하고 현대건설을 거쳐 국내외 발전소 및 원자력 공사 현장의 풍부한 경험을 가지고 있으며, GS EPS 근무 중으로 3호기 완공 후, 4호기 발전소 건설공사의 토목 및 건축공사의 사업관리 감독업무를 수행하고 있다.

2000cjs@gmail.com

도서 소개

콘크리트 구조물의 철근 부식 진단과 방지 대책

- 저 자 : 한국콘크리트학회
- 정 가 : 9,000원
- 출판사 : 기문당
- 회원가 : 7,200원
- 발행일/Page(판형) : 2014-12-30/73(판형 B5변형)

도서 소개

이 실무지침에서는 철근 부식의 기초 이론에서부터 조사 진단방법, 신설 구조물의 방식공법, 그리고 기존 구조물의 철근 부식 보수공법 등을 일목요연하게 정리하여 현장의 기술자들이 보다 쉽게 필요한 정보를 얻을 수 있도록 하고 있다.

