

부곡복합화력발전소 기계기초의 온도균열제어

Temperature Crack Control of Turbine Foundation in LG IPP Project

양 주 경* 조 경 연** 심 재 흥***
Yang, Joo-Kyoung Jo, Kyung-Yeon Shim, Jae-Heung

ABSTRACT

Nonuniform temperature distribution due to hydration heat induces thermal stress in mass concrete. At early ages, such thermal stress may induce thermal cracks which can affect on the durability and safety of the structure.

Steel fiber reinforced concrete may be useful when a large amount of energy has to be absorbed, when a high tensile strength and reduced cracking are desirable, or an improvement of thermal conductivity is desirable. In LG IPP Project, the upper part(50cm) of turbine foundation was replaced with steel fiber reinforced concrete to reduce the thermal crack induced by hydration heat. It was shown that the thermal crack control could be successfully achieved by steel fiber reinforced concrete.

1. 서론

최근, 건설분야에서 콘크리트 구조물이 특수화, 대형화 되어감에 따라 철근콘크리트 혹은 프리스트레스트 콘크리트 구조물을 시공할 때 수화열에 의한 균열이 자주 발생하여 구조물의 안전성, 내구성 및 방수성에 악영향을 주고 있다. 매스콘크리트에서의 수화열은 시멘트와 물의 화학적 반응으로 발생되며, 발생한 수화열은 콘크리트의 작은 열전도성으로 인하여 구조물의 내부에서 축적되어 큰 내·외부의 온도차를 유발시킨다. 이러한 온도차로 인한 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 넘어서게 되면 균열이 발생하게 된다. 일반적으로 이러한 균열은 콘크리트 균열원인을 잘 이해하지 못하고 시공단계에서 대책을 잘 수립하지 못하여 발생하는 경우가 대부분이므로 균열의 발생원인을 정확히 파악하여 시공단계에서 적절한 조치를 취하면 수화열에 의한 균열을 저감할 수 있다.

매스콘크리트의 시공시 발생하는 온도균열을 저감하기 위해서는 사용되는 재료를 선정할 때 콘크리트의 치기온도가 낮아지도록 하는 재료적인 저감방안 또는 배합상의 저감방안을 선택하거나, 콘크리트 치기 전이나 치기 후에 콘크리트의 온도를 저감시키는 시공적인 저감방안을 선택해야 한다. 본 연구에서는 콘크리트 배합시에 강섬유를 첨가하여 콘크리트의 열전도성을 증진시켜 부재의 내·외부 온

* 정회원, 청운대학교 토목환경공학과 조교수

** 정회원, LG건설기술연구소 과장

*** 정회원, LG건설기술연구소 대리

도차를 줄이며, 콘크리트의 인장강도를 증진시켜 균열발생 가능성을 감소시키는 방안을 부극복합화력 발전소 기계기초에 적용하여 그 적용성을 검토하고자 하였다.

2. 재료 및 재료시험 결과

시멘트는 내황산염시멘트(Type V)를 사용하였으며, 잔골재는 아산만의 강모래(비중 2.58, 조립율 2.7)를 사용하였고, 굵은골재는 충남 당진산의 부순골재(최대골재크기 25mm, 비중 2.77, 조립율 7.0)를 사용하였다. 기계기초의 설계기준강도는 240kg/cm²로 소요의 강도 및 작업성, 수밀성, 내구성 확보가 가능한 범위 내에서 온도균열 발생을 최소화 할 수 있도록 모형시험 및 현장시험실에서의 배합설계를 기초로 하여 배합비를 결정하였다. 기계기초에 사용된 강섬유보강콘크리트의 배합은 표 1과 같다. 사용된 강섬유는 B사 제품의 변태타입으로 성질은 표 2와 같다.

표 1 배합표

W/C (%)	s/a (%)	공기량 (%)	단위 재료량(kg/m ³)					
			W	C	S	G	AD	강섬유
47.8	46.5	3.0	175	366	818	973	1.83	20

표 2 강섬유의 성질

직경 (mm)	길이 (mm)	밀도 (kg/m ³)	탄성계수 (kg/m ²)	인장강도 (kg/m ²)	파괴시변형률 (%)
0.9	60	7.81×10 ⁵	200×10 ⁵	12,800	3.5

강섬유를 혼입한 경우와 혼입하지 않은 경우의 재령별 활렬인장강도 및 압축강도는 표 3과 같다. 두 경우 모두에서 압축강도는 재령 14일까지는 거의 차이를 보이지 않으나, 활렬인장강도는 모든 재령에서 약 1~3kg/cm² 정도 강섬유를 혼입한 콘크리트에서 크게 나타남을 알 수 있다.

표 3 콘크리트의 압축강도 및 활렬인장강도

시험종류	재령	3일	7일	14일	28일
		인장강도 (kg/cm ²)	강섬유	19.52	24.09
	5종시멘트	18.57	22.39	28.44	32.89
압축강도 (kg/cm ²)	강섬유	173.25	236.52	296.82	347.77
	5종시멘트	169.85	237.37	296.39	335.88

3. 시공방법

본 공사는 LG부극 복합화력 발전소 건설공사로써 537MW의 LNG발전소 건설을 목적으로 한다. 발전 방식은 가스터빈/스팀터빈 복합발전 방식이며, 운영방식은 첨두 및 중간부하방식을 취하고 있다. 냉각수로는 해수를 이용하며 공업용수로는 아산호로부터 아산국가공단 용수관로에서 공급받는 것으로 하고 있다.

기계기초는 지속적으로 진동을 받는 구조물이므로 초기의 작은 균열이 진전되어 구조물의 안전성에 치명적인 악영향을 미칠 수도 있다. 이러한 균열의 발생을 억제하기 위하여 본 연구에서는 강섬유를 혼입하여 사용하기로 하였다. 그러나 강섬유를 사용하면 공사비가 증가하여 경제성이 떨어지므로 기초의 전체를 강섬유보강콘크리트로 시공하는 대신 기계기초 표면에서 50cm 깊이까지만 강섬유보강콘크리트로 시공하고 그 이후는 5종시멘트만을 사용한 콘크리트를 이용하여 시공하도록 하였다.

시공시의 기상조건, 조달 가능한 콘크리트의 재료, 콘크리트 제조 장치 및 콘크리트의 제조능력 등

을 고려해서 1회에 연속해서 시공하는 블록의 크기 및 순서를 정하였다. 콘크리트 1회 치기 높이는 40~50cm, 낙하 높이는 60cm 이하로 하여 재료 분리를 방지하도록 하였다. 또한 콘크리트 이어치기 허용시간은 콜드조인트가 발생하지 않도록 2시간 이내로 하였다.

거푸집으로는 보온성이 좋은 목재거푸집(유로폼)을 사용하였으며, 거푸집의 존치 기간은 7일로 하였다. 콘크리트 치기시 다짐 작업은 각 층마다 50~60cm간격으로 실시하였으며, 콜드조인트가 발생하지 않도록 하기 위하여 하층 콘크리트 표면 10cm정도까지 삼입하여 다짐을 실시하였다.

콘크리트 표면의 침하 균열을 방지하기 위해 1차 나무흙손 마무리, 2차 쇠흙손 마무리, 3차 쇠흙손 마무리 등의 순서로 표면 마무리를 실시하였다. 기계기초는 시공 면적이 넓어서 표면 마무리 후의 건조에 의한 소성수축 균열이 발생하기 쉬우므로 마감직 후 표면을 양생포로 덮고 살수를 하여 습윤양생을 실시하였다. 최고 온도에 도달한 후에 표면의 온도가 급격히 떨어지지 않도록 하기 위해 거푸집 제거 후에도 계속해서 습윤양생을 실시하였다.

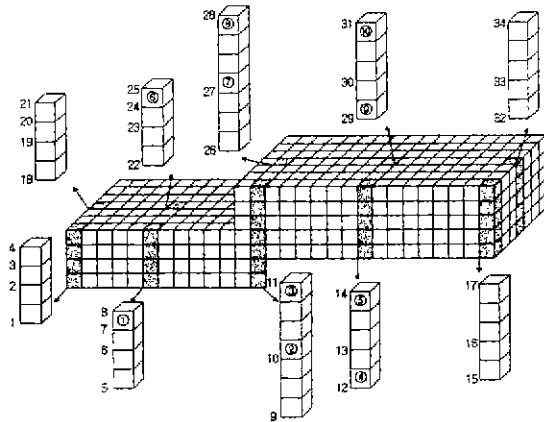


그림 1 해석부재의 모델링 형태

표 4 해석에 사용된 물성치

최대상승온도	45.6
반응속도	0.818
외기온도(℃)	26
외기대류계수(kcal/m ² h℃)	7
콘크리트 치기온도(℃)	30
열전도율(kcal/mh℃)	5중콘크리트 : 1.723 강섬유보강콘크리트 : 2.5

4. 해석 및 계측

4.1 해석 및 계측 방법

부곡복합 화력발전소 가스터빈 기계기초 콘크리트 구조물에서의 수화열에 의한 온도균열을 최소화하기 위하여 기초의 상부 50cm를 강섬유보강콘크리트로 치환하는 방법을 해석 및 계측을 통하여 검증하였다.

해석시 사용된 모델링의 형태는 그림 1과 같고, 사용된 물성치는 표 4와 같다. 가스터빈 기계기초의 온도 및 응력 계측을 위해 온도센서 27개 및 유효응력재 2개를 설치하고 데이터로거를 이용하여 자동 측정하였다.

4.2 해석 및 계측 결과

온도에 대한 해석 및 계측결과는 그림 2에 나타나 있다. 온도해석 결과, 콘크리트의 최고온도는 콘크리트 치기 후 약 2일 후에 30번(중앙부)에서 72℃ 정도를 보이고 있으며, 이때의 최고온도와 최저온

도의 차이는 33℃정도를 보이고 있다. 계측결과 역시 해석결과와 비슷한 양상을 보이고 있으나 기초의 표면부에서는 약간의 온도 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 표면부에서는 외기온도의 영향을 많이 받아 외기온도에 따라 표면부의 온도가 변화되나 해석시에는 외기온도의 변화를 고려치 않았기 때문인 것으로 추정된다.

응력에 대한 해석 및 계측결과는 그림 3과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 수화열에 의한 온도응력이 콘크리트의 인장강도보다 작게 발생하고 있음을 알 수 있다. 특히, 치기 후 10일 전까지는 계측 및 해석에서 모두 압축응력이 발생하고 있으며, 10일 이후에 인장응력으로 변화되나 그 값이 인장강도에 비해 매우 작음을 알 수 있다. 이로부터 기계기초에서 수화열에 의한 온도 균열은 발생되지 않는 것으로 예상할 수 있었고, 실제로 거푸집 제거 후 육안 관찰 결과 온도 균열은 발생하지 않았다.

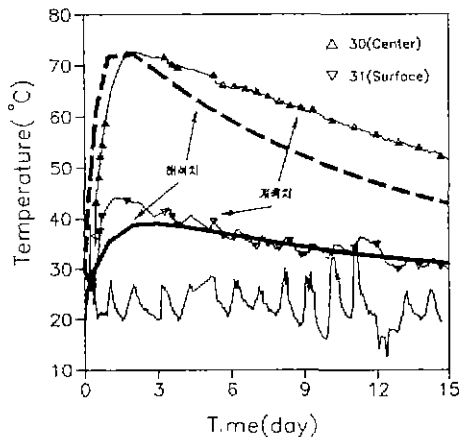


그림 2 온도에 관한 계측 및 해석결과

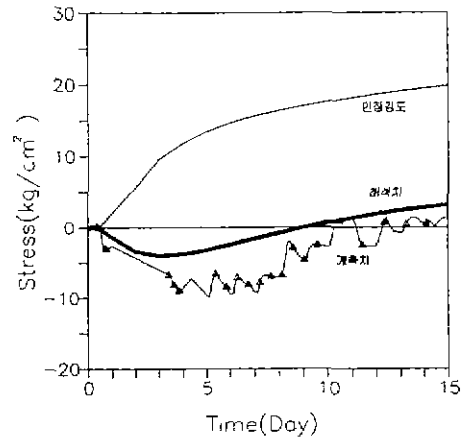


그림 3 응력에 관한 계측 및 해석결과

5. 결론

본 연구에서는 5종시멘트를 사용한 콘크리트에 강섬유를 혼입하여 콘크리트의 열전도성과 인장강도를 증진시켜 균열의 발생 가능성을 감소시키는 방안을 부곡복합화력발전소 기계기초에 적용하여 그 적용성을 검토하였다. 강섬유보강콘크리트를 기초의 전체에 사용하면 공사비가 증가하여 경제성이 떨어지므로 기초 표면에서 50cm 깊이까지만 강섬유보강콘크리트로 시공하고 나머지는 5종시멘트만을 사용한 콘크리트를 이용하여 시공하였다. 계측 및 해석 결과, 수화열에 의한 온도응력을 저감할 수 있었을 뿐만 아니라 강섬유 보강에 의한 인장강도의 증가로 균열의 발생 가능성을 감소시킬 수 있었다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, "최신 콘크리트공학", 1992, 681p.
2. 장석화 외 4인, "매스콘크리트구조물의 온도응력평가에 관한 연구," 한국콘크리트학회논문집, 제5권 제2호, 1995, pp.126-135.
3. 김진근 외 2인, "온도저감방법을 고려한 콘크리트의 수화열 해석기법에 관한 연구," 한국콘크리트학회논문집, 제7권 제6호, 1995, pp.176-185.