

# 매스콘크리트의 온도균열 예측해석에서의 전후처리 시스템 개발에 관한 연구

(Pre- and Post Processing System on Prediction Analysis of  
Thermal Stress in Mass Concrete Structure)

김유석\*

강석화\*\*

박칠림\*\*\*

Kim, you Seok

Kang, Suck Hwa

Park, Chil Lim

## ABSTRACT

Until recently pre & post-processing of finite element model has been heavily relied on expensive graphic peripheral devices. But today, with the aid of inexpensive microcomputers, very effective pre & postprocessor graphics has been developed.

In this study, Pre & Post processor( MASSPRE, MASSPOST ) of prediction analysis of thermal stress in mass concrete structure is developed. The developed pre & post processors are raise to the efficiency in making input data for the main program and analysis of the results produced by the main program. This MASSPOST presents a stress contour graph, volume slice, time-temperature history graph, time-stress history graph, etc.

## 1. 서론

기존에는 유한요소 모델의 그래픽 전·후처리는 주로 대형컴퓨터와 이에 수반되는 고가의 도화장비에 의존할 수 밖에 없었다. 그러나, 최근에는 마이크로컴퓨터의 고기능화, 고성능화에 힘입어 마이크로컴퓨터를 이용한 효율적인 전후처리기 개발이 활발하게 연구되고 있다<sup>1), 2)</sup>.

당사에서는 최근에 구조물의 대형화 및 고강도화 추세에 따라 사용빈도가 늘고 있는 매스콘크리트구조물의 효율적인 온도균열제어를 위하여 수화열 및 온도응력해석 프로그램을 이미 개발한 바 있다<sup>3)</sup>. 또한 그 일환으로서 본 연구에서는 기 개발한 프로그램을 사용자가 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 도모하기 위하여 매스콘크리트 구조물의 형상 및 콘크리트 타설조건을 화면상에서 직접 바꾸어 가면서 해석할 수 있는 전처리시스템(Pre Processor System)과 해석결과를 모니터상에서 직접 확인할 수 있는 후처리시스템(Post Processor System)을 개발하여 데이터작성부터 수치해석 그리고 해석결과와 확

인까지 온도균열예측을 모니터상에서 일관되게 확인할 수 있는 매스콘크리트 온도균열예측 시스템(DWMASS)을 개발하였다.

따라서 본 논문에서는 개발된 DWMASS시스템에서 전·후처리프로그램의 개발상 제조건 및 시스템의 구성 및 기능 등에 대해서 설명하고자 한다.

## 2. 시스템의 개발배경 및 구성

본 연구에서 개발한 해석프로그램은 DOS기반의 Lahey Fortran으로 개발되었고 전처리 및 후처리는 Windows 3.1기반하의 Windows응용프로그램으로 개발 되었기 때문에 DOS기반 해석모듈과 Windows환경하의 전후처리기를 적절히 유기적으로 엮을수 있는 종합 셸프로그램(Shell Program)의 개발이 요구되었다.

또한, 본 연구에서는 기개발된 수치해석프로그램은 기본적으로 PC를 기본으로 하여 개발되었기 때문에, 시스템의 일관된 처리를 위하여 전후처리시스템 또한 PC로 개발이 되어야 할 필요성이 있었다. 또한, 이를 충족시키기 위해서는 기본적으로 다음과 같은 조건들이 요구되었다.

i) 범용성을 위해서는 특정 그래픽처리 하드웨어

\* 정회원 : (주)대우건설기술연구소 주임연구원

\*\* 정회원 : (주)대우건설기술연구소 책임연구원, 공박

\*\*\* 정회원 : (주)대우건설기술연구소 소장, 공박

에 의존하지 말아야 한다.

- ii) 많은 기억용량(RAM)을 사용하지 않아야 한다.
- iii) PC에 맞는 그래픽 알고리즘을 도입해야 한다.
- iv) 그래픽 해상도에 크게 구애 받지 않아야 한다.

이외에도 매스콘크리트 온도균열예측해석분야와 관련하여 다음과 같은 조건들이 추가적으로 요구되었다.

- v) 시공 공정별로 재료의 물성치 및 형상이 바뀐다.
- vi) 해석단계별로 데이터의 양이 달라진다.
- vii) 상대적으로 많은 해석단계를 요구하여 결과물의 양이 많다.

먼저 전·후처리시스템의 개발에 있어서는 시스템이 특정 그래픽처리 하드웨어에 의존하게 되면 속도 및 성능은 향상될 수 있지만 특정 하드웨어가 구비된 PC에서만 실행시킬 수 있으므로 이식성이 떨어지는 단점이 있기 때문에 기본적으로 Graphic Accelerator나 Z buffer등 하드웨어에 의존하지 않는다는 것을 기본 전제로 하였다.

또한, 전후처리시스템은 GUI(Graphic User Interface)를 구현할 수 있는 Windows 응용프로그램으로 개발되었다. 사용언어는 C언어이며, 많은 양의 데이터 처리를 위해서 32bit Compiler인 Watcom C/C++ v9.5를 사용하였다. Watcom C/C++은 메모리가 허용하는 최대한의 배열을 잡을 수 있기 때문에 출력물이 많은 해석데이터도 쉽게 다룰 수 있으며 수행속도와 안정성이 우수하다.

해석시스템과 전후처리시스템과의 일관된 처리를 위해서는 동일화면상에서의 연속작업이 가능해야 하지만, Windows 3.1은 Multi-Tasking 기능을 갖고 있으며 DOS기반하의 프로그램을 Windows에서 수행시키기 위해서는 속도저하등의 문제가 있다<sup>4)</sup>. 따라서, 처리시간의 단축을 위해서 Windows에서 전처리작업을 수행한 후 DOS로 나와서 해석모듈을 수행하고 그 결과를 다시 Windows기반하의 후처리를 사용하도록 하였다.

이와 같은 작업환경하에 개발된 DWMASS 시스템의 전체 구성도는 그림-1과 같다.

그림-1에서 보여주는 각종 데이터 가공도를 제외한 모든 입출력파일은 text file 형식으로 되어 있음

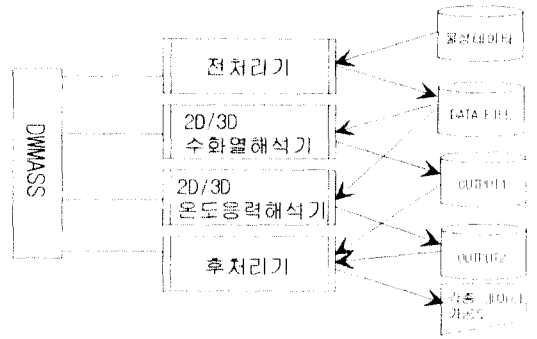


그림-1 시스템 구성도

며, 수화열해석기 및 온도응력해석기는 2차원 해석모듈과 3차원 해석모듈로 분리되어 있다.

해석순서는 우선 대상구조체내에 재령별 온도이력에 따른 수화열의 분포해석을 실시하여 온도이력 시간별 절점온도 데이터(OUTPUT1)를 얻게 된다. 이 데이터를 바탕으로 수화열분포에 따른 온도응력 해석을 실시하고, 해석시간 간격별로 Gauss Point에서는 응력값을, 절점에서는 변위값을 계산하여 OUTPUT2에 저장되게 된다. 후처리기는 이를 바탕으로 시간에 따른 변위도, 수화열분포 등온선도, 임의의 절점의 온도이력도, 주응력도, 등응력선도, 임의의 절점의 응력이력도, 균열지수도 등을 얻게 된다.

각 PC마다 해상도는 640 X 480, 800 X 600, 1024 X 768, 1280 X 1024등 여러가지를 지원하는데 본 시스템은 각 PC에서 지원하는 해상도에 따라 모두 구현할 수 있도록 하였다.

해석시스템은 대상구조체를 2차원으로 해석하는 경우 2차원평면요소, 3차원으로 해석하는 경우 Solid 요소를 사용한다. 또한 2 point gauss rule을 사용하였다.

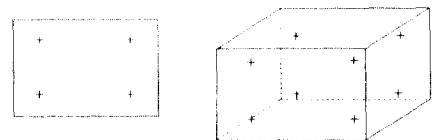


그림-2 DWMASS에서 사용된 요소

또한 전처리시스템에 사용되는 요소는 그림-2에서 보는 바와 같이 2차원요소인 경우에는 직사각형 모양을 가지며, 3차원요소인 경우에는 직육면체모양을 가진다고 가정하였다(그림-2 참조)<sup>5)</sup>.

### 3. 전처리시스템

전처리 프로그램은 수화열해석시에 사용되는 데이터와 온도응력해석시에 사용되는 데이터를 동시에 생성할 수 있도록 개발되었고, 온도장과 응력장이 일치하지 않는 구조물의 해석을 위해서도 별도의 온도변환프로그램을 개발하였다.

개발된 전처리시스템의 주요기능은 다음과 같다.

#### 1) 유한요소망 생성

2차원, 3차원요소망 생성을 위해서는 구조체의 X, Y, Z방향에 따른 절점의 좌표값을 입력받는다(그림-3 참조). 절점의 좌표는 모든 요소에 대하여 입력받는 것이 아니고 해당 구조체에서 예들들어 Z방향에 대한 모든 요소들의 좌표값을 중복없이 입력( 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0m)하면 된다.

이렇게 설정된 대상구조물의 블록들을 마우스를 사용하여 적절하게 선택하여 시공단계별 유한요소망을 생성한다.

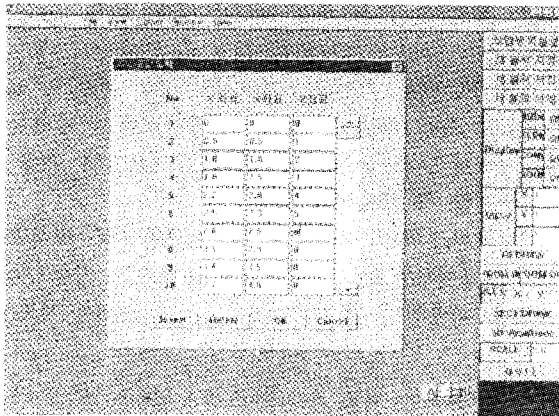


그림-3 전처리기 좌표입력 화면

#### 2) 물성치 및 열전달계수 입력

시공단계별 물성치 및 열전달계수는 선택된 블록별로 입력을 할 수 있도록 하였다. 사용자는 화면을 보면서 바로 입력 시키기 때문에 쉽게 작업이 가능하다(그림-5).

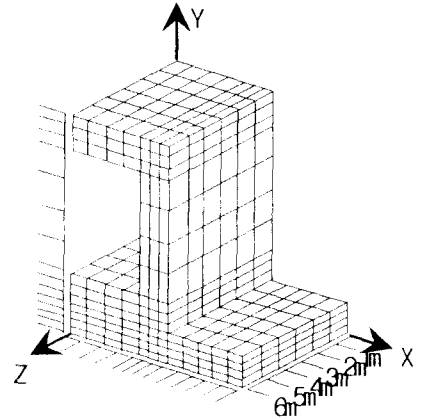


그림-4 구조체도

물성데이터 작성시 작업자의 입력오류를 줄이기 위하여 기본적인 물성데이터 파일을 작성하여 입력시 편리하게 사용할 수 있도록 하였다.

또한 수화열해석에 있어서 가장 중요한 입력데이터의 하나인 사용콘크리트의 단일온도상승식 입력을 위하여 Arrhenius Rule에 의거한 Two parameter 입력방식( $T = K(1 - e^{-\alpha t})$ 의 K,  $\alpha$  입력방식)과 Three parameter 입력방식( $T = K(1 - e^{-\alpha t^\beta})$ 의 K,  $\alpha$ ,  $\beta$  입력방식)을 채용하였고, 당면구조에서 그동안 수행하여 온 단일온도상승시험도 정식화하여 사용이 가능하도록 하였다.

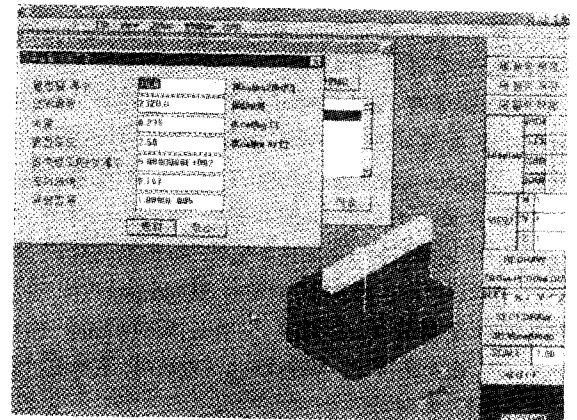


그림-5 블록별 재료물성치 입력화면

#### 4. 후처리 프로그램

본 연구에서 개발한 후처리 프로그램은 Pull Down메뉴와 Button메뉴로 되어 있으며, 해석시간 단계별로 응력의 분포상황, 온도변화상황, 특정 절점의 온도변화 등을 쉽게 알 수 있도록 되어 있다. 또한 임의 절점의 응력값은 이웃의 Gauss Point의 응력값을 평균하여 얻었다.

후처리 프로그램의 주요 출력기능은 아래와 같다.

- ① 2, 3차원 구조체의 등온선도(그림-6 참조)
- ② 2, 3차원 구조체의 시간-온도 이력도(그림-7 참조)
- ③ 2, 3차원 구조체의 등응력선도
- ④ 2, 3차원 구조체의 시간-응력 이력도(그림-8 참조)
- ⑤ 2, 3차원 구조체의 균열지수도(그림-9 참조)

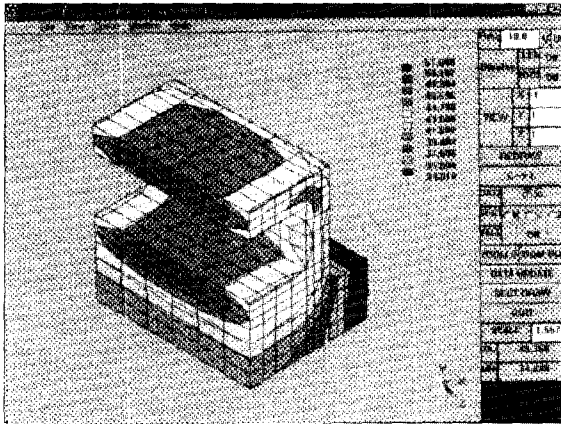


그림-6 등온선도

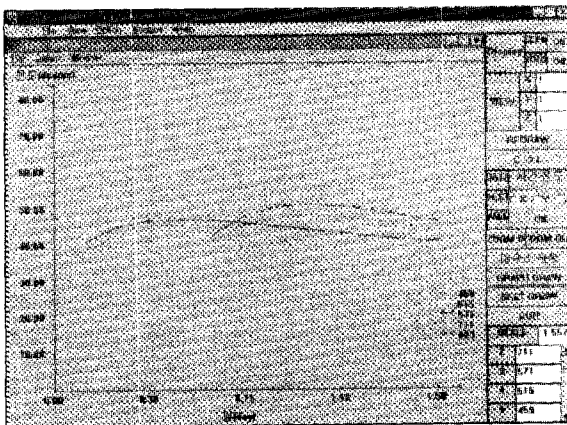


그림-7 시간-온도 이력도

- ⑥ 2, 3차원 구조체의 변위도(그림-10 참조)
- ⑦ 2차원 구조체의 주응력도(그림-11 참조)
- ⑧ 3차원 구조체의 경우, 단면별 변위, 등온, 등응력선도(그림-12 참조)

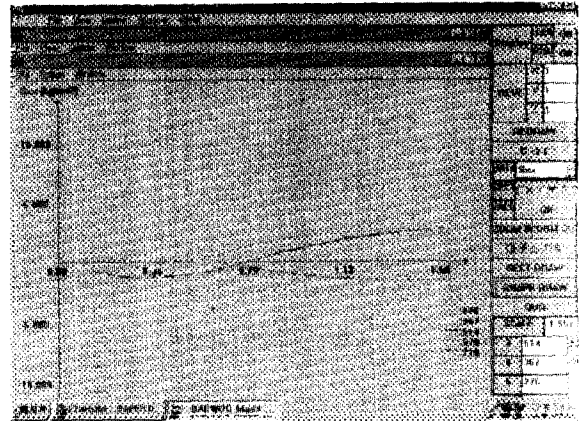


그림-8 시간-응력 이력도

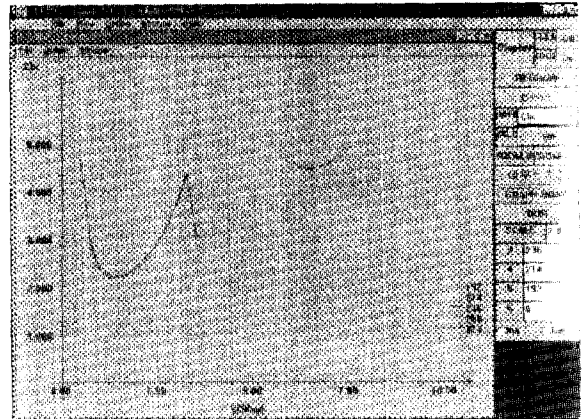


그림-9 균열지수도

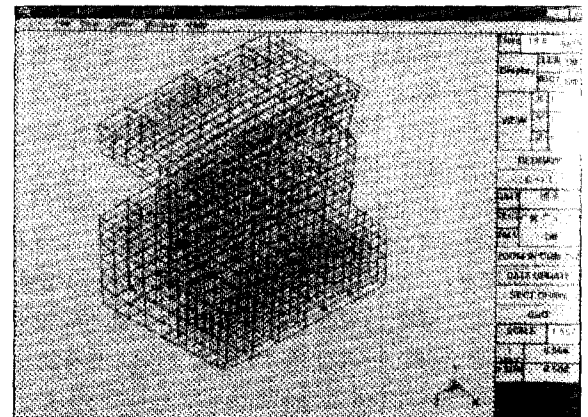


그림-10 변위도

위도, 주응력도 등을 표시하였다.

#### 참고문헌

1. 이재영, “마이크로컴퓨터를 이용한 유한요소해석의 효율적 Postprocessing”, 전산구조공학회 논문집, 제3권, 제2호, 1990.6.
2. 이성우, 이선구, 이태연, “대규모 유한요소해석에 활용되는 소형컴퓨터용 후처리 그래픽 프로그램”, 전산구조공학회 논문집, 제2권, 제4호, 1989.12.
3. 강석화, 이용호, 정한중, 박칠림, “유한요소법을 이용한 매스콘크리트 구조물의 온도 및 온도응력 해석에 관한 연구”, 콘크리트학회지, Vol. 7, No. 4, 1995. 8, pp. 137-148
4. Charles Petzold., 한수찬 역, “프로그래밍 윈도우즈 3.1” 3rd ed., 교학사.
5. E. Hinton, D. R. J. Owen., “Finite Element Programming”, Academic Press..

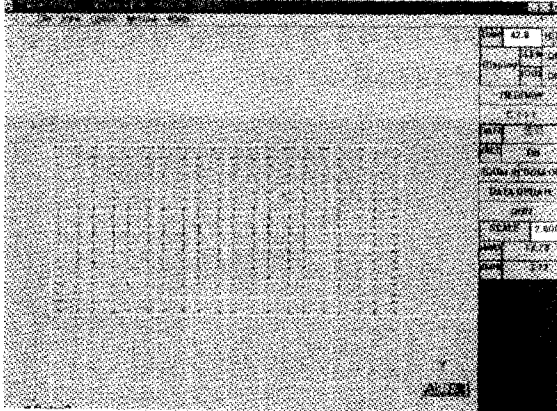


그림-11 주 응력도

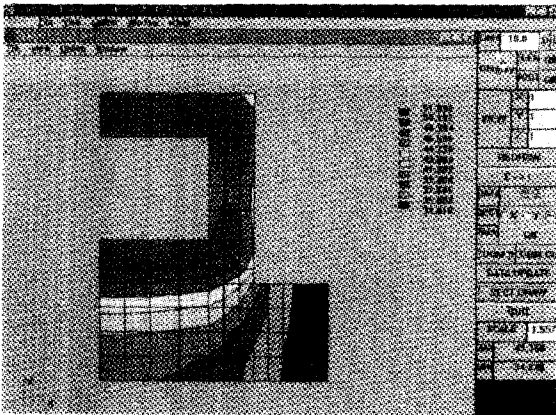


그림-12 3차원 구조체의 단면 등온선도

## 5. 결론

본 연구에서는 기 개발한 매스콘크리트의 수화열 및 온도응력해석 프로그램을 사용자가 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 하기 위하여 전처리프로그램과 후처리프로그램을 개발하여 PC를 기본으로 한 종합 시스템을 구축 하였다.

여기서 전처리 프로그램은 수화열해석시에 사용되는 데이터와 온도응력해석시에 사용되는 데이터를 동시생성할 수 있도록 개발하였으며, 시공단계별 요소망의 생성과 그에 따른 재료물성치 및 열전달계수를 입력 받을 수 있도록 하였다. 또한, 후처리 프로그램에서는 매스콘크리트구조물의 시공단계별 등온선도, 시간-온도 이력도, 등응력선도, 균열지수도, 변