

### 구조설계의 CAD화를 위한 설계지향 유한요소 프로그램의 개발에 관한 연구

(Development of Design Oriented Finite Element Program for CAD Integration)

○이 성 우 \*

#### ABSTRACT

To intergrate finite elements into CAD environment, design oriented structure of the finite element program is desirable. For this purpose a program called CFEP has been developed. Generation of geometry data is independently treated in the program to ease the modification of property or loading data. By conveniently handling the large number of load cases with various load combinations, and by comprehensively reporting the results through inclusive output for the multiple analyses, the program greatly facilitates the design process.

Interfacing with interactive graphic post-processor, the results of analyses and final designed values are obtained in a compact and comprehensive manner. The paper also describes necessary tasks for developing such program on the economical microcomputer. Sample output of printed and graphical form well illustrates the procedure.

#### 1. 서론

구조해석분야에서 유한요소법은 여러해동안 광범위하게 사용되어 왔다. 그러나 유한요소해석을 전 설계과정에 완전히 적용시키는데는 아직도 한계가 있는것 같다. 이는 주로 최종설계에 도달하기전 그 수행과정에서 요구되는 복잡하중에 대한 수치의 재해석에 소요되는 컴퓨터 비용과 이 과정에서 일어나는 많은 양의 데이터를 분석하고 관리하는데 필요한 작업비용 부담이 아직도 크기 때문인 것으로 풀이되고 있다. 그러나 근자에 와서 컴퓨터하드웨어 값이 크게 하락하고 있고 더우기 저렴한 소형 컴퓨터들이 등장함에 따라 비용면에서의 부담을 절대적으로 경감시키고있다. 따라서 유한요소해석을 종래의 최종설계에 대한 검토용이나 구조물의 붕괴가 일어난후 원인분석의 도구 정도만의 용도가 아니라 구조설계 전과정을 CAD화 시키는데 핵심요소로 발전시킬수 있게 되었다(그림 1 참조).

현재 널리 이용되고 있는 SAP<sup>(1)</sup>, COSMOS<sup>(2)</sup>, ADINA<sup>(3)</sup>, ANSYS<sup>(4)</sup>, NASTRAN, MARC등의 대형컴퓨터용 범용 유한요소 패키지들은 대부분 주로 해석위주로 되어있고, 설계 용도에 초점을 맞춘 설계 지향 유한요소 프로그램은 매우 찾아보기 힘든 실정이다. 따라서

CAD과정에서 중요한 역할을 하면서 설계편의를 제공하여 생산성을 향상시킬 수 있는 설계지향 프로그램의 개발은 필연적인 귀추이다. 더우기 소형 컴퓨터의 기억용량을 극복하고 효과적인 I/O기법을 쓰는 저렴한 고 경제적인 유한요소 소프트웨어 개발은 시대적인 요구사항이라 할 수 있겠다. 또한 유한요소해석의 전후처리와 설계도면 생산을 위하여 컴퓨터와 상호작용하는 그래픽 프로그램도 이러한 프로그램에 필연적으로 접속시켜야하고<sup>(5)</sup>, 이 과정에서 필요한 많은 양의 데이터 처리를 효과적으로 할 수 있는 데이터베이스의 구축도 대단히 중요한 관건이라 하겠다.

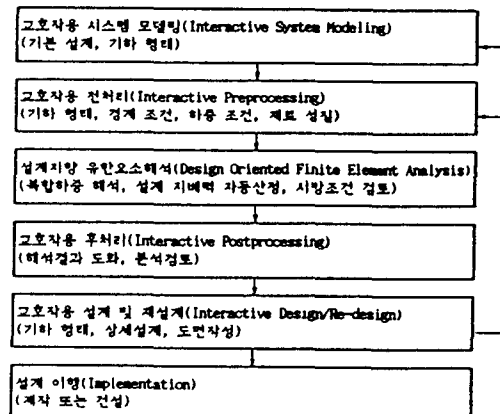


그림 1. 구조설계의 CAD화 과정에서 유한요소해석과 고호작용 시스템

\* 국민대학교 공과대학 토목공학과 조교수

본 연구에서는 이러한 목적을 추구하고 있는 유한요소 프로그램인 CFEP의(6) 사례를 중심으로 프로그램의 복합하중처리 방법, 재해석의 편의를 위한 입력 데이터의 분리방법, 그래픽 접속방법, 해석결과를 이용한 설계자동화등에 관하여 기술하고 소형 컴퓨터에 효율적으로 적용할수 있는 기법들을 검토하고자 한다.

## 2. 설계지향 프로그램의 구성

### 2.1 설계편의 입력방식

유한요소해석을 구조설계과정에 편리하게 도입시키기 위해서는 무엇보다도 먼저 입력방식을 종래의 해석위주의 프로그램들과는 다른방법을 택하지 않으면 안된다. 우선 요소망에 대한 기하학적인 데이터를 생성시키는 방법이 간편해야만 한다. 뿐만아니라 이

들 절차는 각 요소에 할당되는 재료의 성질이나 하중을 입력시키는 절차와는 완전히 독립적으로 이루어져야만 한다. 그 이유는 설계자가 유한요소 모델의 기하형태는 그대로 유지하면서 자유롭게 재료의 성질 또는 단면의 성질이나 하중등을 수정해가면서 해석 또는 재해석을 할 수 있게하여 원하는 바의 최종설계에 이룰 수 있도록 해야 하기 때문이다.

하중의 입력방식도 하중계수가 다를 수 있는 여러가지 하중에 대한 무제한의 복합처리가 가능하게 해야한다. 또한 입력가능한 하중도 점점하중은 물론이고, 보요소에서 집중 또는 부분분포하중을 다룰 수 있어야하고, 평면응력요소, 판요소 및 쉘요소에서 x, y, z방향의 압력하중등을 손쉽게 취급할 수 있어야한다. 이들은 요소망 데이터와 분리해서 적용시킬 수 있도록 해야만 설계자가 마음대로 쉽게 하중조건들을 변경시켜 볼 수 있게된다. 물론 이러한 하중들의 작용방향

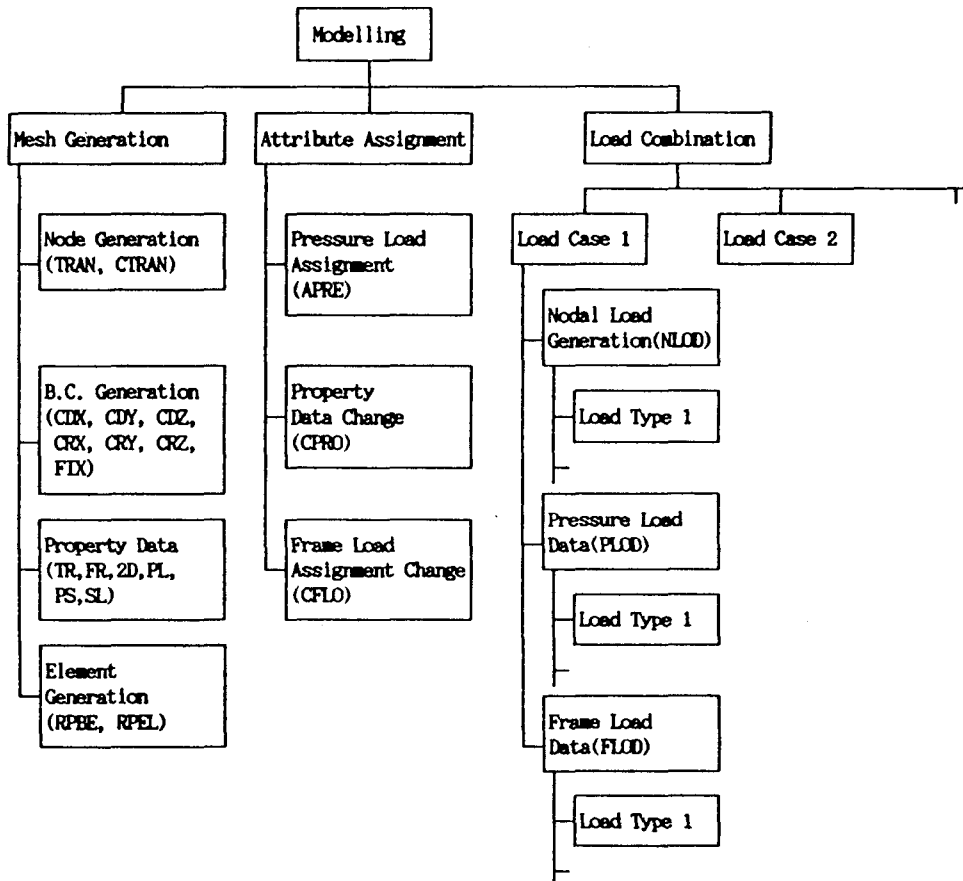


그림 2. CFEP프로그램의 설계지향 모델링 시스템.

은 설계자가 극부좌포계나 전체좌포계에서 마음대로 적용할 수 있게 되어있어야한다.

그림 2 에는 이러한 점들을 감안하여 개발된 CFEP프로그램의 설계지향 모델링 시스템을 보여주고 있다. 이 그림에서 TRAN, CTRAN, APRE등 괄호속에 대문자로 표기된것은 각 모델링 임무를 수행시키는 명령어들로서 참고문헌(6)에 잘 기술되어 있다. 복합 하중 처리항에서 Load Type들은 예를 들면 사하중, 활 하중, 풍하중, 온도하중, 설하중, 지진하중등이 되겠고 이들에 대한 시방서의 하중계수들을 적용시킬수 있게 되어있다.

## 2.2 설계전역 출력방식

설계 전의 결과를 도모하기 위해서는 입력방식 뿐만 아니라 출력방식도 바뀌어져야 한다. 종래 해석위주 프로그램들의 출력방식은 대부분 한 하중 경우에 대해 해석한 결과를 모두 출력한후 다음 하중에 대한 데이터들을 출력하게 되어 있어서 많은 하중조합을 다루어야 하는 실세계에서는 매우 불편하였다. 예를 들어 어떤 점점의 처짐 또는 응력값을 두개의 하중 경우에 대해 비교해보고 싶으면 그 점점에 대해서 한 하중 경우의 해석결과가 나와있는 쪽과 다른 하중 경우의 해석결과가 나와있는 쪽을 두꺼운 출력화일을 들춰가면서 찾아서 비교해 보아야한다. 이 경우 복잡한 요소망일 경우 서로의 결과치가 있는 곳을 찾기가 용이하지 못할뿐 아니라 찾더라도 숫자 비교가 손쉽지 못하다. 더우기 여러하중의 경우에 대하여 비교해 보든지 설계를 위한 최대 또는 최소값을 찾기로 여간 귀찮고 번거로운 일이 아닐 수 없다. 이러한 불편을 제거하기위해 한 점점 또는 한 요소에 대해 해석한 모든 하중 경우에 대한 결과를 한꺼번에 출력시켜야할 필요성이있고 그에 따라서는 설계지배값을 자동적으로 찾아 출력해주므로써 설계자의 수고를 덜어 주어야 한다. 또한 설계 지배값들로만 구성된 별도의 설계용 출력 화일도 만들어줄 필요가 있다. 이러한 처리를 위해서는 데이터의 저장과 회수를 대단히 효과적으로 수행하는 디스크 I/O 수법이 강구되어야한다.

그림 3 에는 CFEP프로그램에서 출력되고 있는 FORMAT을 잘 보여주고 있다. 이 그림의 데이터는 R/C Flat Plate모델을 7개의 하중경우에 대하여 해석한후 설계한 결과이다.<sup>(7)</sup> 그림4에는 설계용 별도 출력화일을 보여주고 있고 이 결과는 후처리 그래픽프로그램을 이용하여 그림5와 같이 도화처리할 수 도있다.

## 2.3 해석결과 그래픽 후처리

해석결과의 후처리는 교호작용 컴퓨터 그래픽을 사용하여 이루어지며 CFEP프로그램은 MICRO-POST<sup>(8)</sup> 후처리 프로그램을 이용하고 있다. 이 프로그램으로 변형전후 모델도와 각 하중 경우에 따라 해석된 응력·단면력 또는 설계 결과들을 등고선도로 도화시킬 수 있다. 예를 들면 그림 3의 (2)에 나와 있는 출력 결과중 3번째 하중경우의 Mx모멘트 등고선도 등을 얻을 수 있다. 그림 5에는 7개의 하중경우에 대해 해석한 후 ACI시방서<sup>(9)</sup>에 맞게 최종 설계된 Y방향 상부철근 및 하부철근탕에 대한 등고선도를 보여주고 있다. 실제로는 완전설계를 위하여 X, Y 양방향에대한 상부 및 하부철근탕의 등고선도가 필요하고 이 등고선도에 맞추어 배근시킨 도면이 최종 설계도면이 될것이다. 이러한 배근도면까지 작성시키는 단계가 완성되었을때 구조설계의 완전 CAD화가 이루어질 수 있을것으로 생각된다.

## 3. 소형 컴퓨터용 프로그램

계산량이 많고 복잡한 요소망에도 적용할 수 있는설계지향 유한요소 프로그램을 경제적인 소형 컴퓨터에서 취급할 수 있도록 하기 위해서는 소형 컴퓨터의 제한된 기억용량을 극복할 수 있는 매우 효과적인 기법이 고안되어야만 한다. 이에 대한 연구개발은 현재 진행중에 있고 여기서는 다만 몇가지 짚언적으로 처리되어야할 사항들만 언급 하고자한다.

대형 컴퓨터에서는 Memory core에 수록하고 있던 점점좌표, 요소연결 정보, 경계조건 데이터, 하중 데이터나, 그밖의 계산중 쓰이는 데이터들을 소형 컴퓨터에서는 모두 디스크에 저장 시켰다가 효율적인 I/O기법을 통해 데이터를 회수 또는 재저장 시켜야한다. 이를 위해서는 효과적인 데이터베이스의 구축이 필요하게된다. 또한 강도 매트릭스나 질량 매트릭스의 조합 과정도 소형컴퓨터에 적합한 Blocking기법을 써야하고 연립방정식의 해법도 반드시 Out-of-core 해법을 사용해야만 한다. 계산작업이 끝난후 하중경우에 따른 해석결과들을 2.2항에서 기술한 바와같이 설계 전역방식으로 출력하기 위하여서는 데이터들을 디스크에 임시 보관하여야 하는데 이때도 역시 많은양의 데이터에 대한 효과적인 디스크 I/O를 수행 하여야 한다. 설계 지배값을 구하기 위하여 각 하중경우를 비교하여 최소 또는 최대치를 구하는 문제도 디스크

\*\*CFEP PCA EX 21-1, FLAT PLATE ( COMPLETE LOAD COMBINATION )

MODAL DISPLACEMENTS

MODE	X-COORD	Y-COORD	Z-COORD	LOAD CASE	X-DISPL	Y-DISPL	Z-DISPL	RX-DISPL	RY-DISPL	RZ-DISPL
C O N T I N U E										
418	285.3220	428.0040	0.0000	1	0.0000E+00	0.0000E+00	-0.1622E-01	0.8997E-08	0.4089E-03	0.0000E+00
C O N T I N U E										
417	331.0920	428.0040	0.0000	1	0.0000E+00	0.0000E+00	-0.1632E-01	0.8000E-05	0.7631E-07	0.0000E+00
C O N T I N U E										

(1) 하중경우별 변위값

\*\*CFEP PCA EX 21-1, FLAT PLATE ( COMPLETE LOAD COMBINATION )

STRESS AND FORCE RESULTS

ELEMENT STRESSES, FORCES AND MOMENTS IN GLOBAL X-Y COORDINATE. ( SLAB ELEMENT )

( MOMENT UNIT: FT-KIPS/FT, STEEL AREA : IN\*\*2/FT, SHEAR FORCE : KIPS/IN, SHEAR STRESS : KSI )

ELEM PROP	STRESS POINTS	X-COORD (GLOBAL)	Y-COORD (GLOBAL)	Z-COORD (GLOBAL)	LOAD CASE	MX-MOMENT	MY-MOMENT	TOP-AS X	BOT-AS X	ASMIN	ASMAX
						MY-MOMENT	MX-SHEAR	TOP-AS Y	BOT-AS Y	TAU(YZ)	TAUMAX
C O N T I N U E											
153	4	1	23.041	348.618	0.000	1	0.3929E+01	0.183 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						2	0.4789E+01	0.201 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						3	0.4520E+01	0.180 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						4	0.3390E+01	0.117 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						5	0.6909E+01	0.281 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						6	0.8255E+01	0.285 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						7	0.7985E+01	0.344 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						8	0.4284E+01	0.178 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						9	0.5845E+00	0.4054E-01	0.1790E+00	-0.7371E-02	0.1862E+00
C O N T I N U E											
						10	0.7985E+01	0.344 (O.K)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						11	0.1732E+01	0.071 (MIN)	0.000 (MIN)	0.151	1.058
C O N T I N U E											
						12	0.1116E+00	0.6225E-01	-0.2028E-01	0.1877E-01	0.1862E+00
C O N T I N U E											

(2) 하중경우별 응력, 단면력값

그림 3. CFEP프로그램의 설계 편식 출력방식

\*\*CFEP PCA EX 21-1, FLAT PLATE ( COMPLETE LOAD COMBINATION )

Z-DIRECTION DISPLACEMENT RESULTS

MODE	X-COORD	Y-COORD	Z-COORD	LOAD CASE 1	LOAD CASE 2	LOAD CASE 3	LOAD CASE 4	LOAD CASE 5	LOAD CASE 6
1	0.0000	887.8860	0.0000	0.1883E-02	0.1173E-02	0.1038E-02	0.1825E-02	0.1848E-02	0.2737E-02
2	11.9980	887.8860	0.0000	0.8899E-02	0.178 (O.K)	0.000 (MIN)	0.8094E-03	-0.8122E-03	-0.1119E-03
3	11.9920	887.8860	0.0000	-0.2001E-01	-0.1922E-01	-0.2199E-01	-0.8748E-01	-0.8748E-01	-0.3814E-01
4	113.0920	887.8860	0.0000	-0.3518E-01	-0.3534E-01	-0.7767E-01	-0.7581E-01	-0.7451E-01	-0.1059E-00
C O N T I N U E									

(1) 하중경우별 Z방향 변위값

\*\*CFEP PCA EX 21-1, FLAT PLATE ( COMPLETE LOAD COMBINATION )

FINAL DESIGN RESULTS

( DESIGNED STEEL AREA COMPARED WITH ACI 318-83 CODE MINIMUM REQUIREMENT OF TEMPERATURE AND SHRINKAGE STEEL FOR GROSS SECTION )

ELEMENT STRESSES, FORCES AND MOMENTS IN GLOBAL X-Y COORDINATE. ( SLAB ELEMENT )

( MOMENT UNIT: FT-KIPS/FT, STEEL AREA : IN\*\*2/FT, SHEAR FORCE : KIPS/IN, SHEAR STRESS : KSI )

ELEM PROP	STRESS POINTS	X-COORD (GLOBAL)	Y-COORD (GLOBAL)	Z-COORD (GLOBAL)	MX-MOMENT	MY-MOMENT	TOP-AS X	BOT-AS X	ASMIN	ASMAX
					MY-MOMENT	MX-SHEAR	TOP-AS Y	BOT-AS Y	TAU(YZ)	TAUMAX
C O N T I N U E										
123	4	1	63.419	417.297	0.000	0.000E+00	-0.1820E+01	0.000 (MIN)	0.151 (MIN)	1.058
C O N T I N U E										
						2	0.000E+00	-0.1678E+01	0.000 (MIN)	0.151 (MIN)
C O N T I N U E										
						3	0.000E+00	-0.3208E-01	0.5337E-01	-0.5835E-02
C O N T I N U E										
						4	0.000E+00	-0.1010E+01	0.000 (MIN)	0.151 (MIN)
C O N T I N U E										
						5	0.000E+00	-0.1407E+01	0.000 (MIN)	0.151 (MIN)
C O N T I N U E										
						6	0.000E+00	-0.1844E-01	-0.3338E-01	-0.2888E-02
C O N T I N U E										

(2) 설계치배값 및 설계철근량

그림 4. 설계용 철도 출력화일의 구성

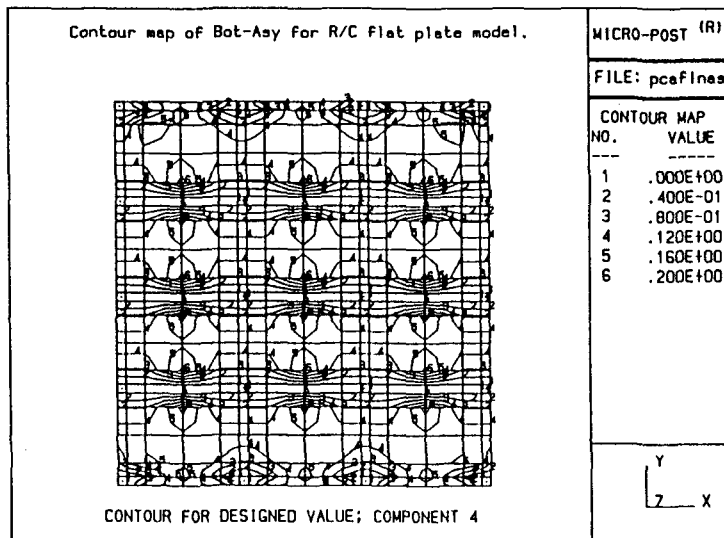
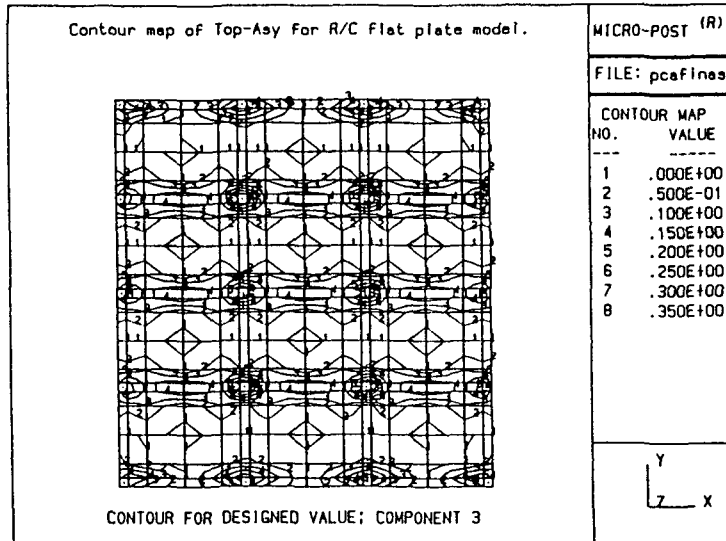


그림 5. R/C Flat Plate 모델의 Y방향 상부철근 및 하부철근 등고선도.  
(단위  $in^2/ft$ )

사용이 불가피하게 된다.

#### 4. 결 론

유한요소법의 사용이 일반화함에 따라 유한요소 해석이 구조설계 전과정의 CAD화에서 필연적인 도구로 되고 있다. 본 논문에서는 이러한 추세에 따라 종래의 해석위주가 아닌 설계지향 유한요소 프로그램의 개발에 관하여 기술 하였다. 이러한 프로그램의 구비 조건으로서 설계편의 입력방식과 출력방식이 요구되고 고호작용 컴퓨터 그래픽을 이용한 후처리 과정이 필수적으로 접속되어야하며 CFEP프로그램의 사례를 들어 설명하였다. 또한 저가의 하드웨어로 대형 컴퓨터와 동일한 결과를 얻을수 있는 경제적인 소형 컴퓨터용 프로그램의 개발에 도입되어야할 기법들도 기술 하였다.

#### 5. 참고 문헌

- 1) SAP Users Group, "SAP6, SAP7-Structural Analysis Program," University of Southern California, Los Angeles, California, 1986.
- 2) Structural Research and Analysis Corp. "COSMOS7-Structural Analysis System," Santa Monica, California, 1988.
- 3) ADINA Engineering Inc., "ADINA-Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis," Watertown, Massachusetts, 1986.
- 4) Swanson Analysis System, Inc., "ANSYS-General-purpose Finite-element Program for Structural, Heattransfer, and Static-electromagnetic Analyses," Houston, Pennsylvania, 1986.
- 5) Abel, J. F. et al., "Interactive Computer Graphics for Finite Element, Boundary Element, & Finite Difference Methods," Unification of Finite Element Method, Elsevier Science Publishers, North Holland University, 1984.
- 6) Sung Woo Lee, "CFEP-Compact Finite Element Program," University of Southern California, Los Angeles, California, 1987.
- 7) Sung Woo Lee, "Design of Reinforced Concrete Slab Systems Using the Finite Element

Method," Ph.D. Dissertation, University of Southern California, Los Angeles, California, 1987.

- 8) 이 성우, 대림엔지니어링(주) "MICRO-POST-유한요소 프로그램을 위한 PC용 후처리 그래픽 프로그램," 과기처 프로그램 등록 제 1499호, 서울, 1989.
- 9) "Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI318-83)," American Concrete Institute, Detroit, 1983.