번역 기사

구조공학에서의 통합 자동화 시스템

Integrated Automation System in Structural Engineering

김 문 영*

1. 개 요

본고에서는 구조 공학과 관련된 분야에서 유용하게 사용될 수 있는 최근의 통합 자동화 시스템에 대하여 소개하는 내용을 담고 있는 Song Fong Jan박사가 1994년 6월에 발표한 논문(ASCE Proceedings of the First Congress of Computing in Civil Engineering)을 번역하여 소개한다.

통합 자동화 시스템은 기본적으로 CAD 그래픽 소프트웨어와 지능 구조 데이터베이스(intelligent structural database)로 구성되고, 이러한 소프트웨어는 구조물의 모델링과 해석, 설계 및 도면 작성과 합성과정에서 통합적인 운용이 가능하도록 사용된다. 현재 사용되고 있는 여러 가지 상업용 구조설계용 소프트웨어를 통합함으로써 구조물 설계분야에 보다 효율적인 시스템을 만들 수 있을 것이다. 여기서는 여러 가지 다양한 시스템을 사용할 때의 장단점이나 적절한 프로그램 검증과 품질의 확보문제(quality assurance) 그리고 구조공학 자동화분야의 미래 발전방향에 대하여 논의해 보고자 한다.

2. 서 론

구조공학 소프트웨어는 모델링, 구조해석, 설계 그리고 CAD 도면시스템과 같이 크게 네개의 영역으로 분류될 수 있다. PC에서도 운용에 가능한 우수한 상업용 구조해석 프로그램은 GTSTRUDL, STAAD-III, SAP90, ECOM 그리고 Image3D 등이 있으며 이러한 프로그램들은 일반적으로 강이나 콘크리트 구조물에 대한 설계가 가능하다. 또한 메뉴나 그래픽을 이용하여 유한요소모델을 자동적으로 생성할 수 있는 성능도 갖추고 있으며, 도면을 작성하기 위한 Microstation, Auto CAD 그리고 VersaCAD등과 같은 CAD시스템과도 상호 호환이 가능하도록 되어 있다. 그러나 이러한 해석 프로그램들은 설계 결과에 따라 구조물의 형상을 변화시킨 경우에 이를 반영하여 나타낼 수 있도록 해석 모델과 도면을 자동적으로 개선(update)시킬 수 있는 장치가 마련되어 있지 않다. 이러한 이유로 모델링, 구조 해석, 설계 그리고 CAD시스템의 네 분야를 통합한 지능 데이타베이스가 요구되어진다고 할 수 있다.

* 정회원, 성균관대학교 토목공학과 부교수

UNIX workstation 상에서는 구조설계를 위한 보다 진보된 통합자동화 시스템인 Intergraph MicasPlus Structural Products가 구축되어 있다. 이에 본 논문에서는 자동화 시스템에 대한 논의와 설명을 위하여 대표적인 산업 구조물 설계 소프트웨어인 MicasPlus에 대하여 소개하고자 한다. 그리고 여러가지 다양한 시스템을 사용할 때의 장단점, 프로그램 검증의 타당성 및 품질의 확보문제 그리고 구조공학 자동화분야에 대한 미래의 발전방향 등에 대하여도 논의되어질 것이다.

3. 통합 자동화 구조설계 시스템

통합 자동화시스템은 기본적으로 구조해석, 설계 그리고 도면 작성을 위한 CAD그래픽 소프트웨어, 지능 구조 데이타베이스, 구조 모델링을 위한 소프트웨어 등으로 구성되어진다. 그림 1에서는 통합시스템에 의한 자동화 과정을 보여주고 있다. 이제 이러한 시스템의 각 분야에 대한 기본적인 성능 또는 기능들에 대하여 설명해 보기로 한다.

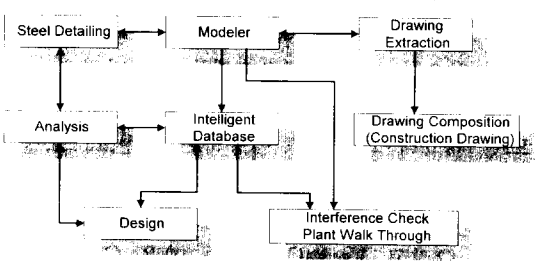

그림 1 Integrated automation structural design system

3.1 지능 구조 데이타베이스

지능 구조 데이타베이스는 완전한 구조 데이터는 물론 최신의 정보를 유지하도록 항상 개선되어져야만 하며, 구조물의 기하학적 형상, 부재 특성, 설계 유형 그리고 변경된 기록도 내장하고 있어야 한다. 모델링과 구조해석 그리고 설계 프로그램들은 이러한 데이터베이스에 의해 통합적으로 운용되어진다.

3.2 구조 모델러

구조 모델러는 구조물의 거동특성을 정확하게 반영할 수 있는 3차원 구조모델을 만들기 위한 프로그램이다. MicasPlus와 같은 보다 향상된 모델러는 실제적인 3차원 그래픽이 가능한 Microstation 이나 AutoCAD와 같은 그래픽 소프트웨어와 강력한 인터페이스 기능을 갖추고 있다. 또한 그래픽 모드에서 보, 기둥, 브레이싱, 보강재, 슬래브, 벽체, 기초 그리고 방화구조물 등과 같은 구조부재들을 효율적으로 배치, 복사, 회전, 이동, 수정 및 삭제할 수도 있다. 부재단의 축소, 고정단 offset, 작업 포인트의 세목들에 대한 그래픽작업을 통하여 도면작업과 오류 검토 그리고 부재의 제거 등에 대한 실제 구조물의 형상을 자동적으로 도출할 수 있다. 구조부재의 작업을 위한 fence 와 view 명령군에는 zoom, fit, rotate 등과 같은 것이 있으며, 동시에 사용가능한 8개의 관찰 화면과 63개의 그래픽 레벨은 모델을 조정하는 경우 매우 편리하게 사용되어 진다. CAD 그래픽 라이브러리에는 계단, 사다리, 승강기, platform, 트러스 등과 같이 반복되어 사용되어지는 잡다한 구조세목들에 대한 효율적 처리를 위하여 구조 모델러에 의한 매개변수 모델링기법(parametric modelling technique)이 개발되어 있다. 이러한 기법으로 위와 같은 잡다한 구조물들 또는 그 밖의 구조 부재들을 2차적인 또는 특별하게 분류하여 해석 모델링이나 도면작업시 배제되도록 하고 있다.

보통 구조 모델러는 meter단위와 English단위 모두로 표현된 AISC, EURO, AUST 그리고 CHINESE 등에서와 같은 다양한 구조단면 도표를 내장하고 있으며, 이러한 단면도표는 구조해석과 설계 그리고 도면작업 프로그램 등에서 효율적으로 사용된다.

통합 자동화 구조 모델러는 지능 구조 데이터베이스에 대하여 read, write기능이 있어 이에 대한 version-up이 가능하도록 되어있다.

3.3 구조 해석

통합 구조해석 프로그램은 구조 모델러에 의해 만들어진 구조 데이타베이스를 읽어 들임으로써

해석모델을 만들어 낸다. 2차적인 또는 특별한 구조물로 분류된 잡다한 구조물들과 같은 부재들은 차별 매개변수(discriminatory parameters)를 이용하여 구조해석에서 제외시킬 수도 있다. 또한 고정단 offset, 부재 축소 및 작업 포인트 등을 무시하므로써 보다 명확한 유한요소 해석모델을 유지할 수 있도록 하기도 한다.

보다 정교해진 최근의 해석 프로그램들은 강력한 CAD 그래픽엔진을 탑재하여 부재를 화면상에서 추가, 수정 및 삭제하므로써 벽체, 슬래브 그리고 기초 등과 같은 구조부재에 대한 유한요소 분할을 자동적으로 수행할 수 있으며, 하중과 경계조건도 그래픽 모드상에서 효율적으로 배치할 수도 있다. 사용되어지는 기본적인 유한요소에는 보/기둥 유형의 선 요소, 삼각형 그리고 4각형의 판요소 그리고 3차원 솔리드요소와 같은 것들이 있으며, 압축만을 받는 스프링 요소나 대변형을 일으키는 케이블 요소 역시 종종 사용된다.

본 프로그램의 기본적인 해석 범위는 선형 정적해석, 고유 진동수 해석 그리고 정적 안정 상태의 동적 진동해석 등이다. 응답 스펙트럼과 시간 이력특성에 대한 해석도 가능하며 이는 지진응답 계산시에 주로 사용되어진다.

통합 자동화 구조해석은 해석 모델에 대한 어떠한 수정사항에 대하여 이에 대응되는 지능 구조 데이터베이스를 개선(up-to-date)시키도록 하고 있다.

3.4 구조 설계

구조설계 프로그램은 구조해석 결과 얻어진 부재력에 대하여 시방규준을 만족하는 강이나 콘크리트 단면으로 설계하거나 검토할 수 있도록 해준다. 본 프로그램에서 적용되는 시방규준에는 강구조물 설계에 대해서는 AISC, BS 5950 그리고 DIN 18-800 그리고 콘크리트 구조물 설계에 대해서는 ACI 318과 BS 8110 와 같은 것들이 있다.

부재나 부재군에 대하여 시방규준에 대한 파라메타를 도입하고자 할 때에도 CAD기능을 이용한 도식적인 작업이 가능하도록 되어있으며, 타당하지 못한 설계 결과를 방지하기 위하여 보편화된 부재들에 대한 구룹화도 가능하다.

설계 하중에 대한 윤곽선(contour), 계산된 응력의 단위비 그리고 강 부재 단면, 콘크리트 보강철근 등과 같은 설계결과에 대한 디스플레이기능도 가능하도록 되어있다.

또한 통합 구조 설계 프로그램은 해석결과에 따라 변경되어지는 모델링이나 지능 구조 데이터베이스에 대한 up-date작업이 자동적으로 수행되도록 하고 있다.

3.5 도면 제작

도면 제작 프로그램은 크게 도면작성과 이에대한 합성작업분야로 구성된다. MicasPlus프로그램에서는 구조 모델러에 의해 만들어진 모델로부터 엔지니어링 도면을 작성하고 이것은 또한 구조해석과 설계에도 이용된다.

이렇게 만들어진 도면은 적당한 주석과 도면 테두리를 갖추므로써 엔지니어링 시공도면으로 작성된다. 이러한 도면작성과 합성 프로그램은 모델변화에 의한 영향을 고려하기 위하여 작성된 모든 도면을 자동적으로 수정해주는 능력을 갖추고 있다. 또한 이렇게 수정된 모든 사항들이 최종적인 설계변경단계에서 자동적으로 반영될 수 있도록 해주는 능력도 아울러 갖추고 있다.

3.6 호환성

통합 구조 시스템은 다른 프로그램과의 호환성을 가지는 그래픽 모델 화일과 보편적인 아스키 데이타 화일을 제공한다. 모델화일은 interference checking을 위한 기계적 모델러(mechanical modeller)와 다이나믹한 시뮬레이션과 3차원 묘사(rendering)를 위한 구조 프로그램으로서 만들어진다. 이러한 해석 프로그램은 제작자의 현장설계나 상세해석 프로그램과의 호환성을 유지하기 위하여 아스키 데이터 파일로 이루어져 있다.

3.7 품질 보증

엔지니어링 설계를 위하여 사용되어지는 모든 프로그램은 그 정확성이 검증되어야 하며, 또한 이의 운용을 위한 상세한 설명이 반드시 필요하

다. 이러한 설명은 사용자 설명서(user's manual), 이론 설명서(theoretical manual), 해석결과에 대한 검증보고서(verification report) 그리고 예제집(test problems) 등으로 구성된다. 해석결과에 대한 검증과 이를 위한 프로그램에 대한 안내지침서(guidelines), 특히 중요한 것으로 사용자들에게 에러를 해결하기위한 해설집과 같은 것들도 반드시 구비되어져야 한다.

ANSI 표준 ASME NQA-2a-1990은 컴퓨터 소프트웨어에 대한 품질보증을 위한 요구사항를 기술하고 있다. 이는 QA/QC 프로그램을 만드는 공정에 대한 일반적 안내지침서로도 사용될 수 있을 것이다.

4. 자동화 설계과정의 설명

여기서는 통합 자동화 설계과정을 설명하기 위하여 Intergraph 구조해석 프로그램인 MicasPlus를 예로 들었다. MicasPlus는 그래픽 CAD엔진(MicroStation)에 의하여 강력한 성능을 발휘하는 MicasPlus ModelDraft (MPMDR), MicasPlus Analysis (MPA) 그리고 MicasPlus Design (MPD)라고 하는 3개의 주요 프로그램으로 구성되어 있다. MPMDR은 도면작업 기능도 가지는 구조 모델링 프로그램이다. 그림 2에서 강으로 구성된 상부구조, 콘크리트 지지프레임, 경사진 벽, 바닥기초를 포함하고 있는 전형적인 구조물에 대하여 MPMDR에 의한 모델링을 예로 들고 있다. MPMDR에서 제공되는 효율적인 매개변수 모델링기법(parametric modeling technique)을 설명하기 위하여 이 구조물에는 사다리나 핸드레일 등과 같은 잡다한 구조요소들도 포함하고 있다. 3차원 물리적 모델링을 위한 Project Structural Database(PSD)는 MPMDR에서 만들어지고, 그 이후에 MPA에 의해서 읽혀지므로써 유한요소해석 모델을 자동적으로 생성한다. 효율적인 유한요소해석 모델링을 위하여 차별 매개변수로 지정된 강 바닥판, 사다리 그리고 핸드레일과 같은 잡다한 구조요소들은 MPA에 의하여 PSD가 읽혀지는 동안 해석모델로 부터 제외되며, 또한 이러한 구조요소들은 해석모델에서 추가, 삭제 또는 수정할 수도 있다. 바닥기초에 대한 유한요소의 분할은 도식적으로 자동 생성된다. 정적 및 동적해석을 위한 하중과 경계조건이 구조모델에 적용된다. 그림 2에서는 해석모델, 변형후의 모델형상 그리고 모멘트 분포의 윤곽선도(contour) 등도 보여주고 있다. MPD에 의하여 AISC와 ACI 시방규준을 만족하는 강 또는 콘크리트 구조물의 설계작업도 가능하다. 강 단면이나 콘크리트 보/기둥단면 그리고 바닥기초 배근상태에 대한 그림도 그림 2에 제시되고 있다. 마지막으로 엔지니어링 도면을 작성하기 위한 물리적 모델을 만들어야 하는데 이를 위하여 해석모델과 PSD는 MPMDR에 의해 최종적으로 읽혀들여 진다. 그림 2는 이렇게 작성된 도면을 보여주고 있다. 작성된 도면은 해석모델의 모든 변경사항들이 자동적으로 반영되어 있다.

MicasPlus는 Intergraph 클리퍼를 운용하는 UNIX Workstation이나 PC의 Windows NT환경에서 작업이 가능하다. 또한 MicasPlus는 현장설계와 상세프로그램들과의 호환성을 위하여 ASCII파일을 제공한다. MicasPlus는 Intergraph에 의해 광범위한 테스트를 거쳤지만 방위산업에서 요구하는 것과 같은 엄격한 품질보증이 부족한 면도 지니고 있다.

5. 상업용 구조 시스템의 통합

PC에서의 통합시스템의 구축도 가능한데 이는 GTSTRUDL, STARDYNE, STAAD3, ECOM/SES를 이용하여 구조해석이나 설계를 하고, 또한 이로부터 DXF 그래픽 데이터파일을 생성하여 AutoCAD에 의한 도면제작을 함으로써 이루어진다. AutoCAD의 DXF 화일은 구조해석 프로그램에서 해석모델을 자동적으로 생성하는데 사용된다. GTSTRUDL 과 STARDYNE는 매우 유용한 범용프로그램이지만 복잡한 3차원 구조에 대한 모델링은 MPMDR/MPA과 비교하여 볼 때 매우 힘들다. 브레이싱 부재나 부재단의 제거 등과 세세한 부분을 고려한 실제구조물의 형상을 나

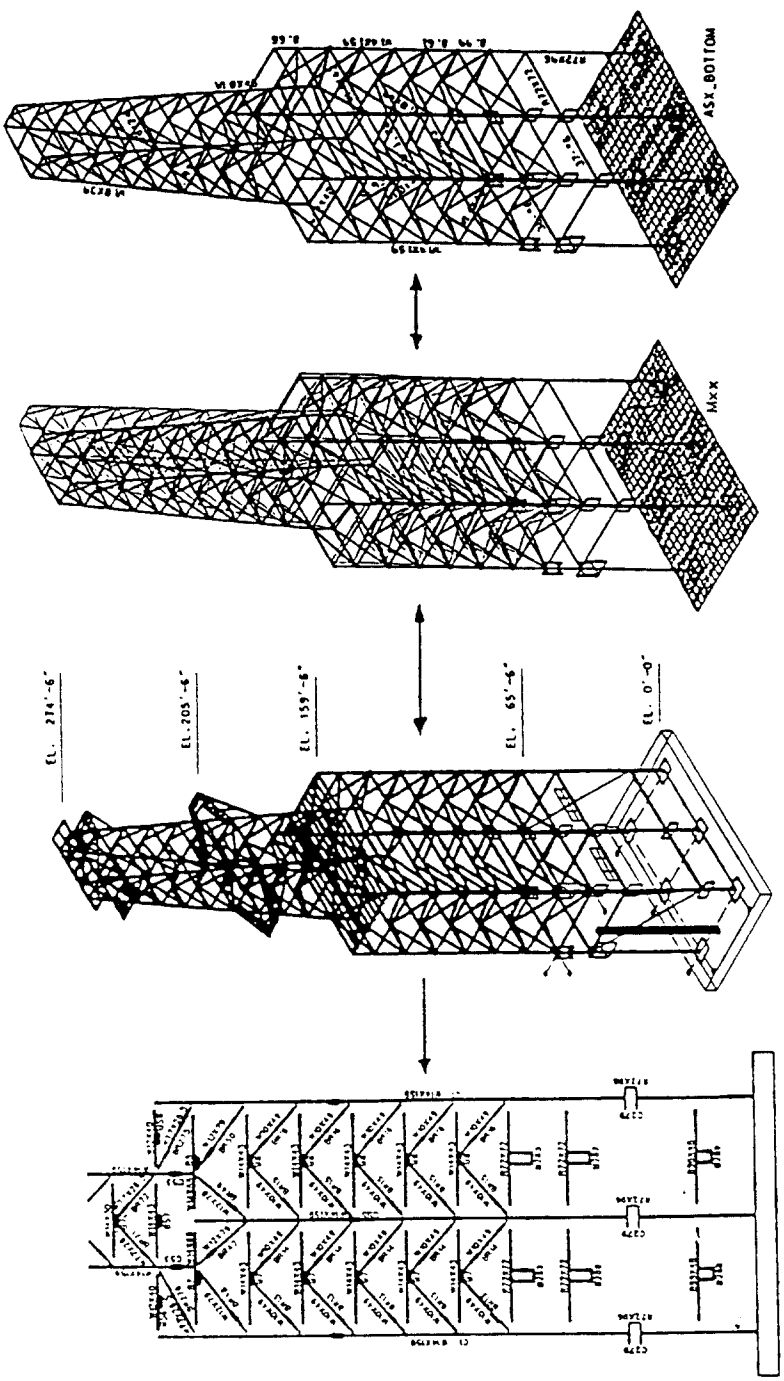

그림 2 MicasPlus automation structural design

타낸다는 것은 매우 어렵다. 게다가 해석모델과 DXF 데이터베이스간의 호환성은 일방향 흐름의 성질을 나타낸다. 또한 해석모델이 변경되었을 경우 이를 반영하기 위한 AutoCAD의 도면을 자동적으로 개선시켜 주는 장치도 없으며 경계조건과 하중조건도 변경된 사항에 맞도록 일일이 수정해야만 한다.

시스템 통합을 위한 또 하나의 방법은 구조해석과 설계를 수행하기 위하여 STAAD3 또는 GTSTRUDL의 모델링, 도면작업, 입력데이타의 생성과정 등이 자동적으로 이루어지도록 PCs에서 FrameWorks를 사용하는 것이다. 이러한 접근방법은 매우 효과적이고 경제적이지만 MicasPlus 시스템과 같이 프로그램의 호환성이 좋지 않다. 그리하여 시스템 통합방법은 해석모델이 반드시 FrameWorks에 의해서만 만들어진다. 해석모델에서 구조부재들은 설계 결과에 따라 자동적으로 수정되지만 FrameWorks과 해석 프로그램간의 적합성을 유지하기 위하여 부재를 추가하거나 제거할 수 없는 단점이 있다.

6. 결론과 개발에 대한 조언

구조공학 자동화를 위한 발전방향은 목적 지향적 데이터베이스(object oriented database)를 구축하여 분리되어 있는 여러 구조설계 단계 즉, 모델링과 구조해석 그리고 설계와 도면작업 등을 하나로 묶어 통합된 시스템으로 만드는 일일 것이다. 실제 구조물에 대한 모델링과 도면작업간의 정보는 서로 항상 일체화되어져야 하며, 역으로 설계결과에 따른 구조모델의 변경시 자동적으로 도면과 하중상태도 개선되어져야 한다.

이러한 구조물 설계 통합자동화 시스템의 개발은 Windows NT환경의 PCs를 이용하게 될 것이다.