

PC를 이용한 사출성형에서의 CAE기술

—C-FLOW/Micro-STANS를 중심으로—

김 상 국

한국과학기술연구원 CAD/CAM연구실



● 1955년생
● 고분자 가공, 사출 제품 및 금형 설계를 전공하였으며 평가 시스템, 금형공장의 CIM, 자동화 등에 관심을 가지고 있다.

허 용 정

한국과학기술연구원 CAD/CAM연구실



● 1958년생
● 사출성형, 사출제품 및 금형설계를 전공하였으며 평가시스템에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

공학설계 및 해석분야에서의 유한요소법을 이용한 구조해석, 유체 및 열전달 해석은 주로 대형컴퓨터와 중형컴퓨터에서 개발되어 왔으나, 최근 마이크로컴퓨터와 관련 소프트웨어의 혁신적인 발전에 힘입어 설계자에게 보다 가깝고 친근한 설계도구로 이용될 수 있게 되었다. 최근의 CAE와 관련된 연구추세는 통합적 설계시스템을 구축하려는 방향으로 연구들이 활발히 이루어지고 있으며, 아직 마이크로컴퓨터 수준에서는 실현이 어렵고, 주로 워크스테이션 수준에서 개발이 이루어지고 있는 실정이다. 그러나 현재의 기술발전 추세로 보면 멀지않은 장래에 워크스테이션 수준의 마이크로 컴퓨터가 등장하게 될 것이며, 이로 미루어 볼때 마이크로컴퓨터가 CAE에 활용될 수 있는 잠재력은 무한하다고 할 수 있다. 구조해석 분야에서 처음으로 시도된 CAE기술은 사출 및 프레스금형의 설계에 이르기까지 부분적으로 개발

되어 1980년대 초부터 실제적인 제품설계에 응용되기 시작하였다.

여기서는 마이크로 컴퓨터상에서 제공될 수 있는 사출제품 및 금형설계를 위한 CAE패키지를 간단히 소개하고 이러한 프로그램들이 어떻게 실제적인 제품설계에 응용될 수 있는지를 응용예를 통하여 설명하기로 한다. 소개하려는 프로그램은 사출제품의 성형성을 검토하기 위해 이용되는 유동해석 프로그램인 C-FLOW와 사출제품의 강도해석을 위해 이용될 수 있는 구조해석 및 열응력 해석용 프로그램인 Micro-STANS이다^(1,2).

사출제품 설계자가 과거의 설계경험 및 설계공식을 이용하여 초기설계를 한 후 C-FLOW 프로그램을 이용하여 설계된 제품의 성형성을 평가하고 Micro-STANS프로그램을 이용하여 강도적 조건을 평가해 볼 수 있다. 이러한 CAE기술을 통한 설계평가는 시제품 제작이 없이도 이루어 질 수 있으며, 설계자의 시행착오를 최소화할 수 있다는 장점이 있다. C-FLOW프로그램은 미국의 코넬 대학에서 개

발된 사출금형의 설계 및 해석용 프로그램이며 Micro-STANS는 KIST CAD/CAM 연구실에서 개발되어 졌다.

2. C-FLOW

2.1 C-FLOW 소개

사출성형제품의 설계를 위해서는 사출성형의 특성상 공정에 관한 지식이 필수적으로 요구된다. 이러한 지식은 과거에는 사출전문가의 경험과 직관에 전적으로 의존해 왔으나, 사출성형분야에서의 CAE기술의 발전에 따라 초점성 유동의 3차원 유동해석이 가능하게 되었다⁽³⁾.

사출성형 공정의 복잡성을 고려하여 볼때 아직 개선의 여지가 남아 있으나 사출제품의 성형성평가를 위한 대단히 우수한 프로그램으로 알려져 있다⁽⁴⁾.

이 프로그램은 IBM PC/AT 호환기종으로서 640KB RAM, 20MB 하드 디스크, DOS 3.3 버전이상의 기능을 갖춘 마이크로 컴퓨터와 386 개인용 컴퓨터로서 5MB RAM, 40MB 하드 디스크, DOS 3.3 버전이상의 기능을 갖춘 기종에서 사용이 가능하다. C-FLOW는 사출성형 공정중에서 충전과정을 해석하는 프로그램으로서 이 프로그램에서 얻어질 수 있는 정보로서는, 충전과정중 임의의 시간에서의 유동 선단위치, 온도, 압력, 전단력, 전단률, 속도, 제품표면 및 중앙부에서 방향성, 유량변화, 임의의 노드(node)에서의 압력, 온도의 시간에 대한 플롯(plot), 두께방향의 온도, 압력, 속도, 전단력, 전단률등이 있다. 이러한 정보들은 사출제품설계 및 금형설계시 사출공정상의 제반문제점을 규명하는데 도움을 줌으로써 금형제작 이전에 최적의 설계선수 및 성형조건을 결정할 수 있게 한다. 그 뿐 아니라, 게이트 및 런너의 설계까지 최적화할 수 있다. 플라스틱은 일반적인 유체와는 다른 방식으로 유동이 진행되기 때문에 금형의 캐비티(cavity)는 바닥에서 위로 충전되지도 않고 압력이 캐비티 전반에 걸쳐 균일하게 전달되지도 않는다. 플라스틱은

연속적으로 확장되는 게이트로부터의 유동선단에 의해 점차적으로 캐비티를 채워 나가다가 장애물을 만나면 유동이 분리되고 두개의 선단을 형성하게 되는 데 이 두 선단이 다시 만나면 웰드라인이 형성된다. 플라스틱의 유동이 일어날 경우, 유동은 캐비티의 벽에 의해 냉각되고 그 벽상에서 유동하지 않는 적층을 형성하게 된다. 이 층이 통로를 좁게하고 유동을 방해한다.

그 반대로 매우 유량이 높을 경우에는 플라스틱의 점성은 전단감소(shar thinning)라고 하는 작용에 의한 마찰열로 인해 증가되게 된다. 아울러 고분자는 유동에 의해 방향성을 갖게 된다. 플라스틱이 유동함에 따라 발생하는 현상들을 나열해 보면 다음과 같다.

- 캐비티 벽과 용융된 플라스틱의 온도, 유량에 따른 캐비티벽으로의 열전달에 있어서의 차이
- 국부적인 전단률, 온도, 압력에 따른 점성 변화
- 벽에서의 플라스틱 층이 응고됨에 따른 캐비티 두께의 변화
- 벽에 형성된 응고된 플라스틱 층의 절연효과 변화에 따른 열전달률의 차이
- 캐비티 두께와 온도의 차이에 기인한 플라스틱 냉각률에 있어서의 차이
- 고분자 섬유강화재의 방향성, 냉각률, 온도와 압력차이 때문에 발생하는 수축률의 차이

이상과 같은 현상들이 종합적으로 발생되므로 사출공정은 대단히 복잡한 열전달, 유동, 점성등의 상호관계에 의존한다는 것을 알 수 있다. 사출전문가들은 오랜 경험에 의해 자신들의 머리속에 사출성형공정에 대한 경험적 모델을 소유하고 있어서 새로운 제품이 충전가능한지 여부를 판단하기 위해 이 모델을 사용한다. 과거에 경험했던 설계형상과 재료에 대해서는 이러한 경험적 모델이 상당히 좋은 결과를 줄 수 있으나, 이러한 전문가의 경험적 모델은 대개 정량적 정보보다는 정성적인 정보만을

주게 되기 때문에 신제품의 형상이 복잡하고 재료가 바뀌게 되면 상당한 시행착오를 겪지 않을수 없게 된다. 그래서 설계초기에 충전가능성, 플래쉬(flash)의 발생, 싱크마크(sink mark)의 발생, 공기포획(air trapping)의 발생, 변형의 가능성에 대한 정확한 예측이 불가능하게 된다. C-FLOW는 이러한 경우 물리적 법칙에 근거하여 열전달, 유체역학, 점성에 대한 과학적 접근등의 수단으로 비뉴우튼, 비등온유체로 초점성유동을 해석하고 있으며 실험치와 상당한 일치를 보여주고 있다⁽⁵⁾.

2.2 C-FLOW 구조

C-FLOW 프로그램은 간단히 대강의 게이트 위치를 산정해 보기 위해 사용하는 Analyze-

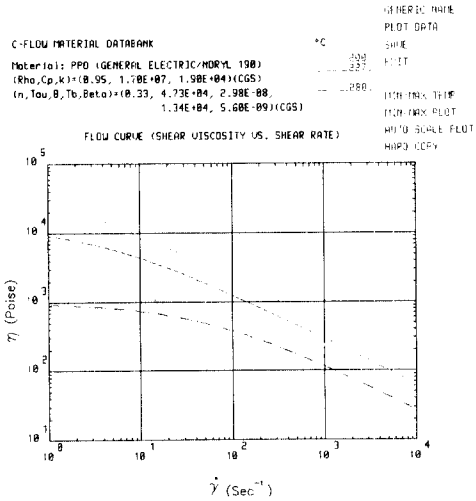


그림 1 유동곡선(점성 대 전단률)

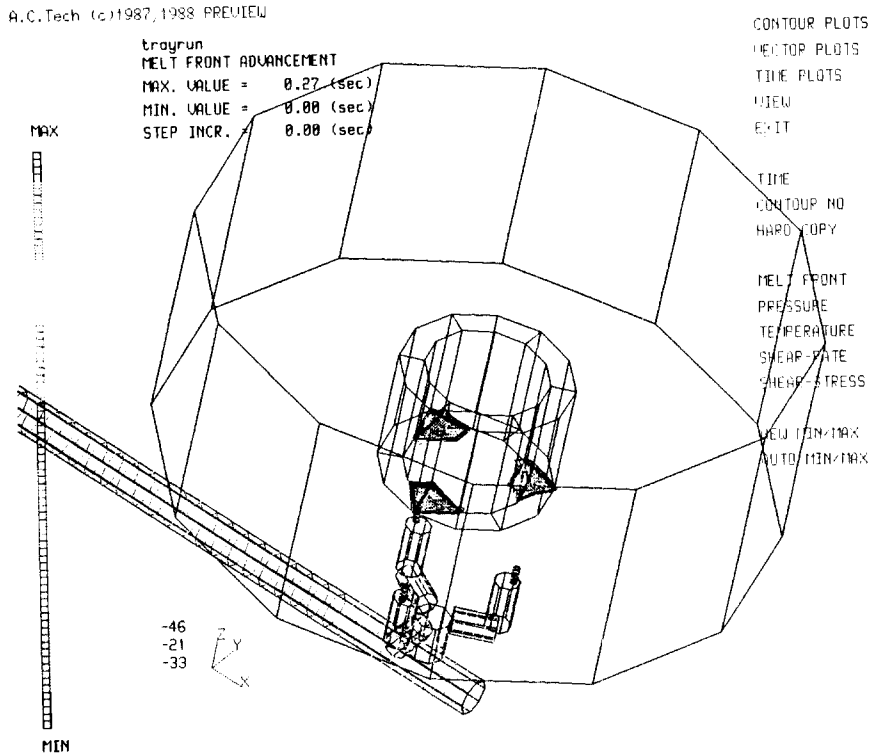


그림 2 0.27초에서의 등시선(3점 핀 게이트)

A.C.Tech (c)1987,1988 PREVIEW

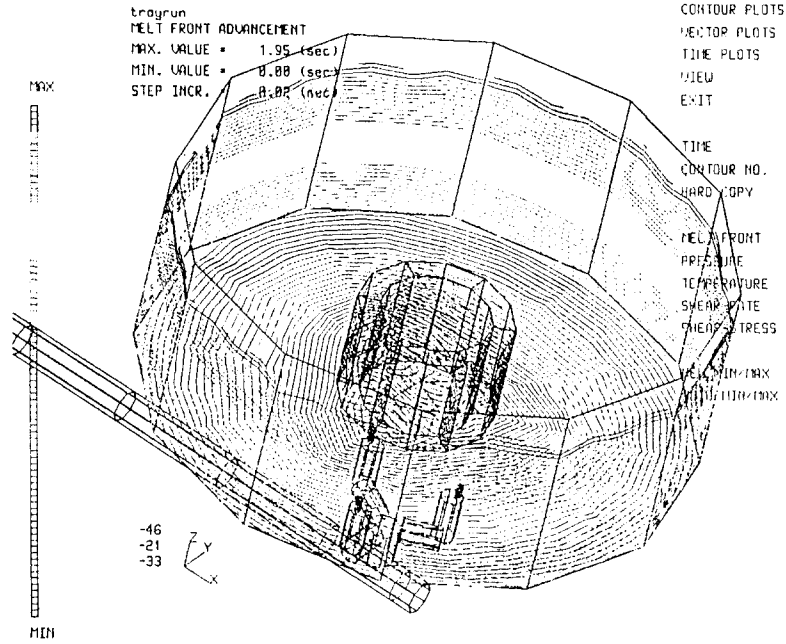


그림 3 1.95초에서의 등시선(3점 핀 게이트)

A.C.Tech (c)1987,1988 PREVIEW

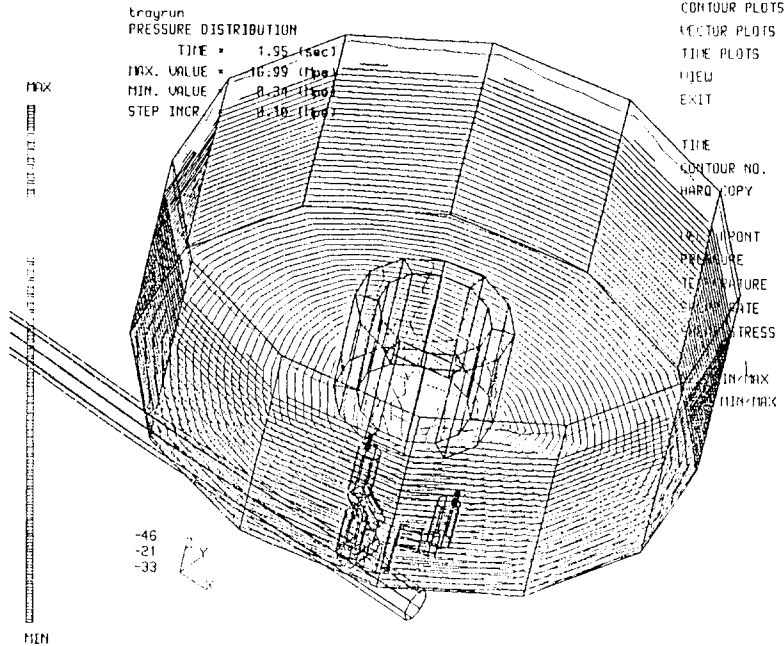


그림 4 등압선의 분포(3점 핀 게이트)

A.C.Tech (c)1987,1988 FFEUEWJ

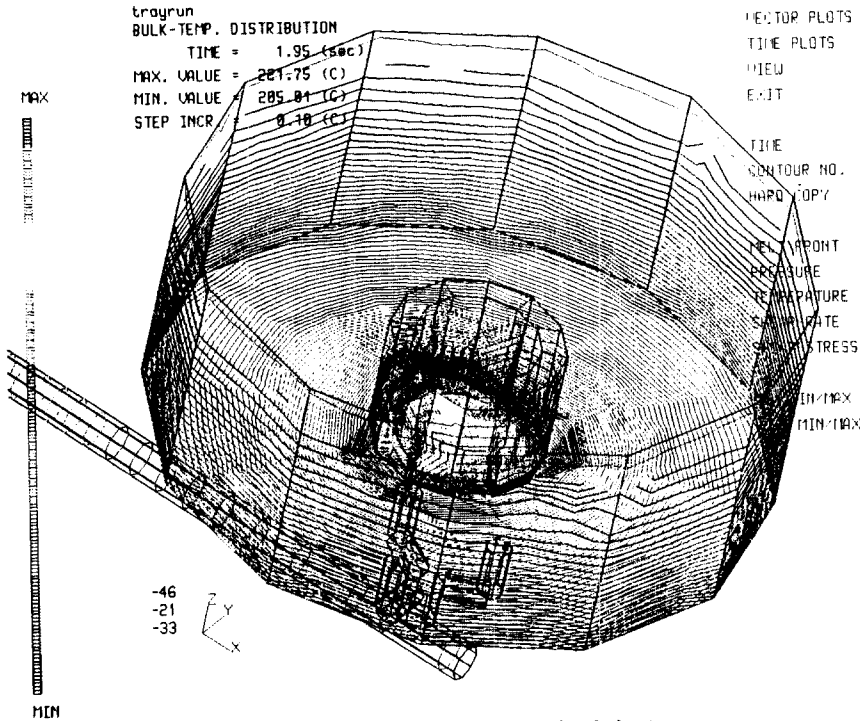


그림 5 등온선의 분포(3점 핀 게이트)

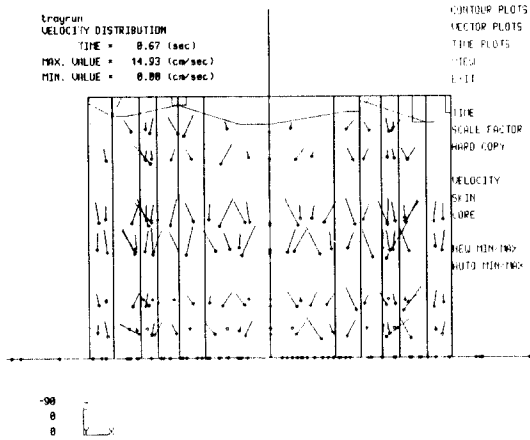


그림 6 0.67초에서 측면에서 본 속도분포 (3점 핀 게이트)

EZ프로그램과 정확한 결과를 최종적으로 얻기 위해 사용하는 Analyze프로그램으로 구성되어 있으며, Analyze-EZ는 뉴우튼, 등온유체

Analyze는 비뉴우튼, 비등온 유체로 해석을 수행한다. Analyze프로그램으로 해석하기 위하여는 소재를 선택하고 'C-FLOW의 모델러 또는 Auto-CAD등 다른 이용가능한 모델러를 이용한 형상정의, 메쉬(mesh)의 자동발생, 공정조건의 선정등의 작업이 선행되어야 한다.

2.3 해석사례

(1) 문제의 정의

플라스틱 베어링 하우징(housing)의 경우 가장 중요한 관건은 다른 부품과의 조립이 예상되는 부분의 진원도이다. 사출성형의 경우 공정중에 이러한 부분에 불균형한 유동패턴이 나타나거나 온도차이가 크게되면 최종제품에 비틀림이 심하게 발생하게 되어 조립자체가 어려워지고 조립을 강제로 하게 되면 강도상의 문제가 발생할 수 있다. 이러한 경우 유동해석 프로그램이 설계에 어떠한 도움을 줄 수 있는

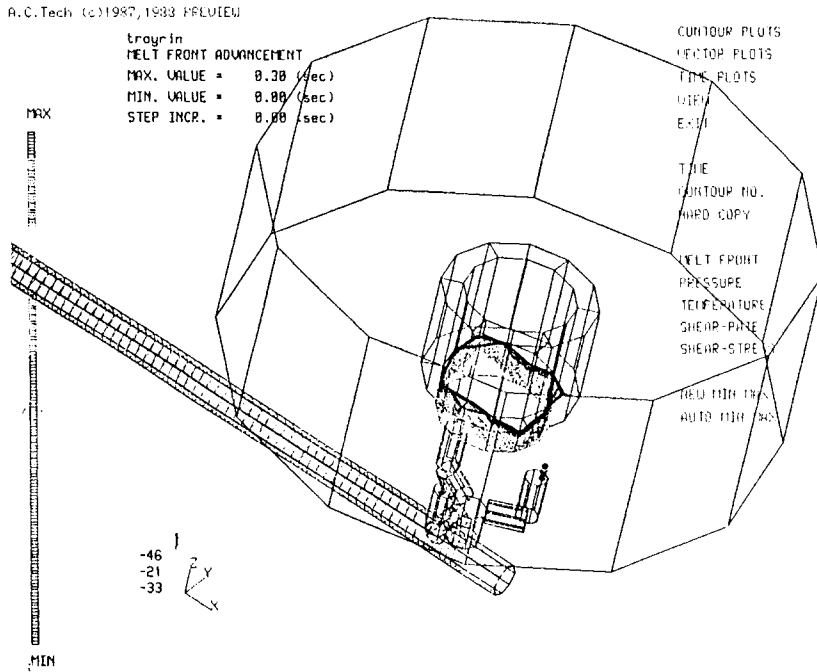


그림 7 0.3초에서의 등시선(링 게이트)

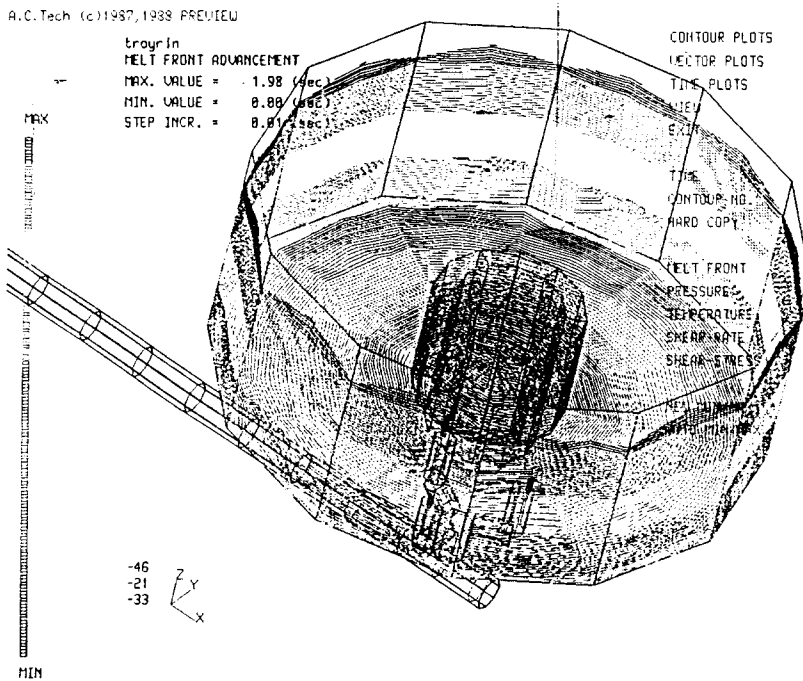


그림 8 1.98초에서의 등시선(링 게이트)

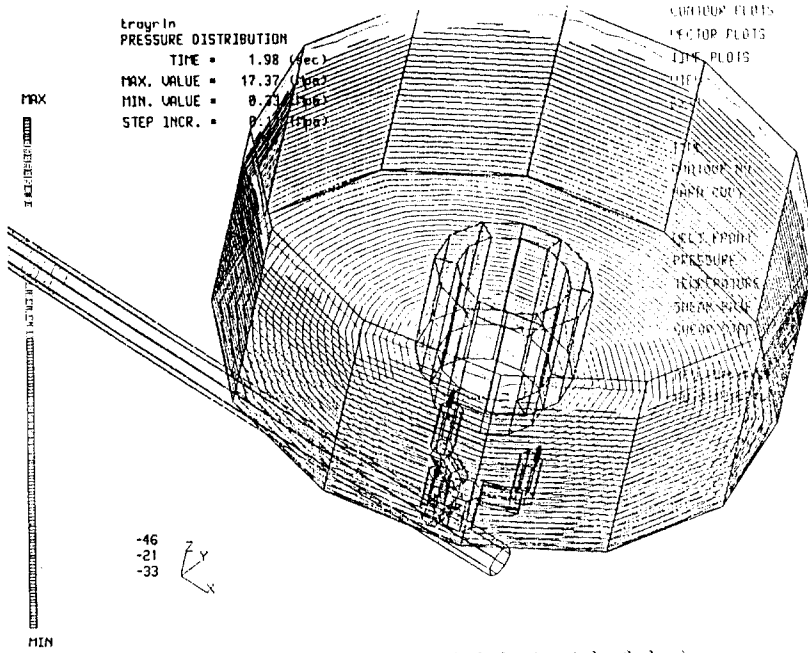


그림 9 1.98초에서의 등압선의 분포(링 게이트)

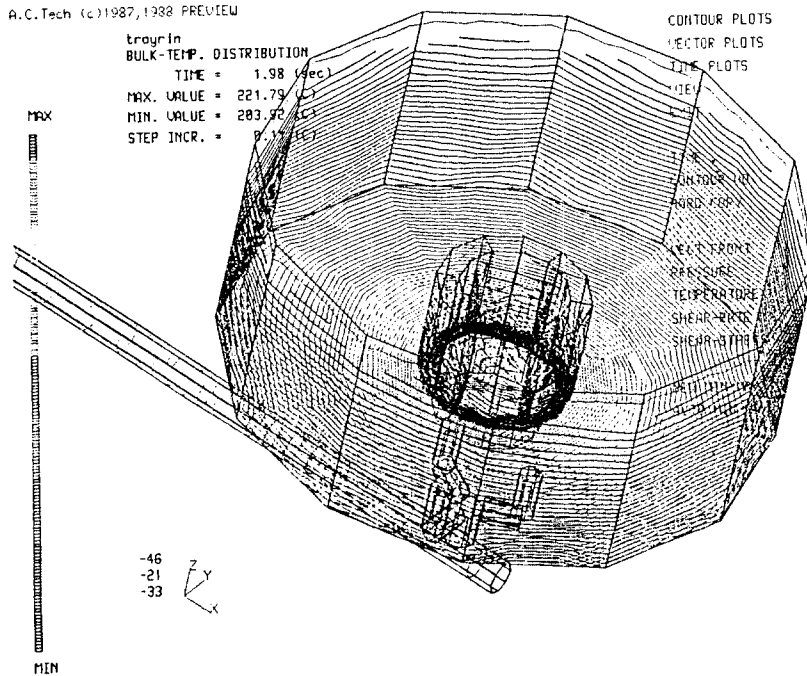


그림 10 1.98초에서의 등온선의 분포(링 게이트)

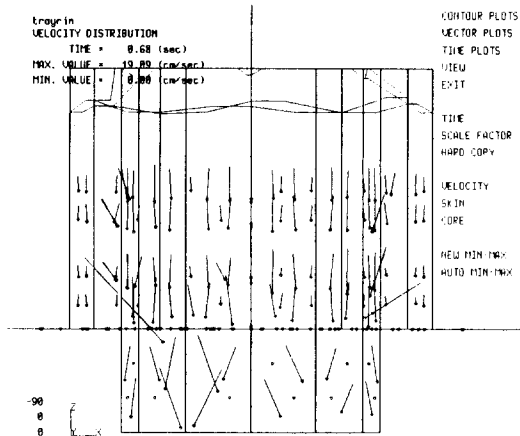


그림 11 0.68초에서의 측면에서 본 속도 분포 (링 게이트)

지를 예시해 보기로 한다. 제품의 기하학적 형상은 대략 그림 2에서 보는 바와 같으며, 맨 바깥쪽 원통이 반경 50mm, 높이 40mm이고, 안쪽은 각각 반경 10mm, 14mm인 원통은 강도를 보강하기 위해 6개의 리브로 연결되어 있다.

(2) 고분자 재료 및 공정조건 선정

고분자 재료로는 GE Plastics사의 Noryl/190을 선정하였으며 점성과 전단률간의 특성곡선이 온도별로 그림 1에 도시되어 있다. 금형의 온도는 60°C, 용융수지 온도 220°C, 최대 사출 압력 100MPa, 충전시간 2초, 금형 탈착시의 온도 70°C로 선정하였다.

(3) 해석결과 및 검토

우선적으로 제품바닥의 제일 안쪽 원통 밑면에 3점 핀게이트를 채택하여 해석을 수행하였다. 그림 2는 사출직후 게이트 부근에서의 유동을 나타내고 있고, 그림 3은 좀 더 시간이 흐른 후의 유동패턴을 보여 주고 있다. 이와같은 복잡한 패턴의 유동은 변형등의 문제점을 야기시킬 가능성이 대단히 높다. 그림 4와 그림 5는 각각 등압선과 등온선을 나타내고 있으며 그림 6의 속도 분포는 이 부분에서의 유동이 균일하지 못함을 단적으로 보여주고 있다.

(4) 재설계 및 검토

유동패턴을 균일하게 해 주기 위해 링게이트

를 채택하여 재해석을 수행하였다. 그림 7과 그림 8을 보면 가운데 부분의 유동이 균일하게 개선된 것을 알 수 있으며 특히 그림 11을 보면 속도분포가 거의 균일하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그림 9와 그림 10은 각각 링게이트로 해석했을 경우의 등압선과 등온선을 나타낸다. 이와같이 초기의 제품설계에 유동해석을 통하여 시제품제작이 없이도 사출공정상의 제반 현상을 예측하여 정량적 결과를 얻을 수 있으며 적절한 사출조건, 런너 및 게이트 설계가 아울러 가능하게 된다.

3. Micro-STANS

3.1 Micro-STANS 소개

Micro-STANS는 Prime750 기종에서 실현된 전, 후처리 및 선형정적해석 시스템을 마이크로컴퓨터에서 사용가능 하도록 변화한 것이다. Micro-STANS는 Auto-CAD와의 연계가 가능하며 CAD시스템에서 설계된 부품의 형상 정보를 구조해석시스템에서 넘겨 받아 설계해석을 수행하고 결과를 얻을 수 있다. 사출제품의 경우는 C-FLOW를 통해서 성형성이 확인된 제품 모델을 다시 Micro-STANS에서 넘겨 받아 구조해석을 수행할 수 있다. 이와같은 방법으로 사출제품설계가 효율적으로 진행될 수 있으며 결과적으로 제품설계의 시간을 단축하고 제품의 성능과 신뢰성을 확인할 수 있게된다.

3.2 Micro-STANS 구성

(1) 소프트웨어

프로그램언어는 Fortran-77이며 변환시 중점을 둔 사항은 Prime 750과 마이크로컴퓨터간의 Fortran언어상 차이의 해소, 그래픽 모니터를 구동하는데 필요한 루틴의 개발, OS에 의존하는 루틴의 개발등이다. Micro-STANS의 해석능력은 선형정적 해석과 열응력해석에 국한되어 있으며, 앞으로 모우드해석과 동적해석기능이 첨가될 예정으로 있다. 요소의 개수는 소프트웨어 상으로는 제한을 두지 않았으며,

표 1 "STANS"의 유한요소 종류

유한요소	기능
TM3	Constant strain triangle
QM4	Isoparametric quadrilateral membrane
TM6	Linear strain triangle
QM9	Bi-Quadratic isoparametric quadrilateral membrane
TB3	Triangular bending plate
QB4	Quadrilateral bending plate
ROD	Truss
BEAM	Generalized beam
SPRING	Linear & torsional spring
LAG	Lagrangion constraint

전적으로 하드웨어의 제한에 달려있다. 현재 이용 가능한 유한요소의 종류는 표 1에 나타나 있다.

Micro-STANS에서 사용된 Auto-CAD는 2.5차원의 처리능력을 갖고 있으므로 완전한 3차원 정보교환은 불가능하다.

그림 12는 다음 버전으로 구성될 Micro STANS의 소프트웨어 구성도를 나타낸다.

(2) 하드웨어

Micro-STANS를 운용하기 위한 하드웨어의 구성은

- (가) IBM PC/AT호환기종(DOS 3.0이상)
- (나) 20MB 하드 디스크드라이버, 1플로피 디스크드라이버

(다) 메테우스(metheus)컬러 그래픽모니터 (780×1024)등으로 되어 있다. 또한 디스플레이 모니터인 메테우스(metheus)가 고가인 관계로 저렴한 가격의 디스플레이 모니터 또는 Hercules보드에 의해 가동되는 루틴이 곧 개발될 예정이다. 그림 13은 하드웨어의 구성도이다.

(3) 해석절차

Auto-CAD시스템에서 모델의 도형정보를 구축하면 설계해석 시스템의 해독기가 구조해석을 위한 정보로 변환시킨다. 이들 정보는 구조해석용 전처리 프로세서에 입력되어 구조해석을 위한 모델의 생성에 쓰이게 된다. 즉 메쉬

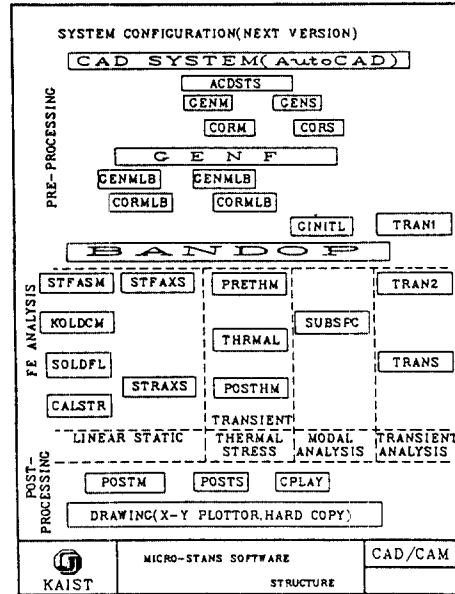


그림 12 Micro-STANS 2.0 소프트웨어 구성도

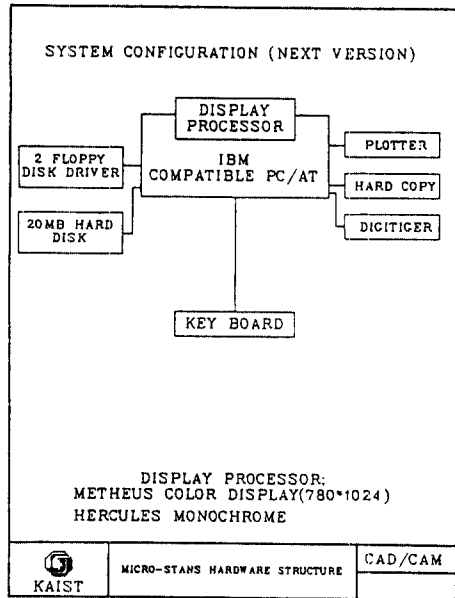


그림 13 Micro-STANS 2.0 하드웨어 구성도

발생, 경계조건, 하중조건, 재질특성의 입력이 대화식으로 이루어지게 된다. 전처리 시스템에서 생성된 모델을 이용하여 주해석기(main

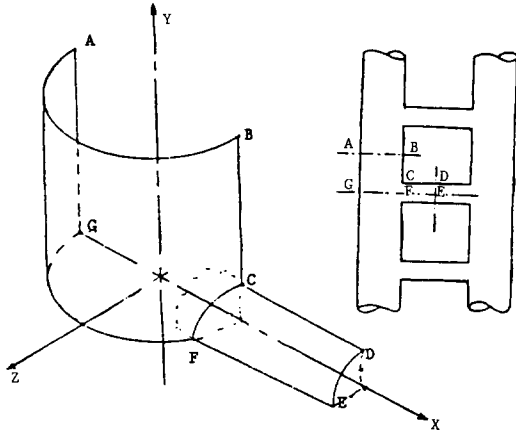


그림 14 구조물의 형태(파이프 연결부)

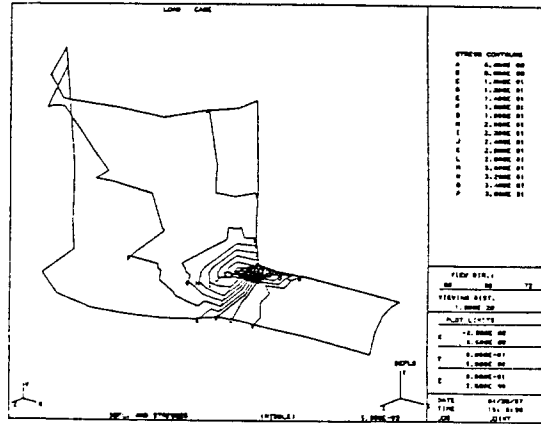


그림 16 변형된 모양과 응력등고선

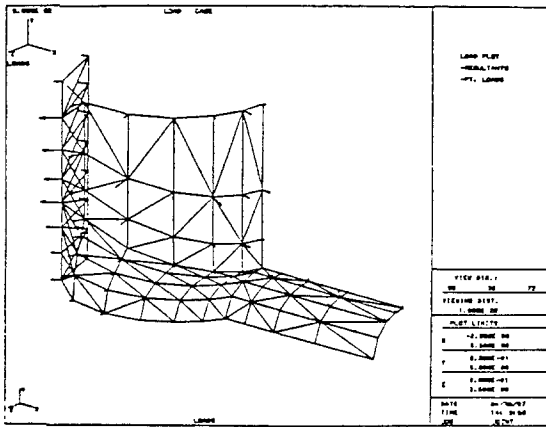


그림 15 하중조건

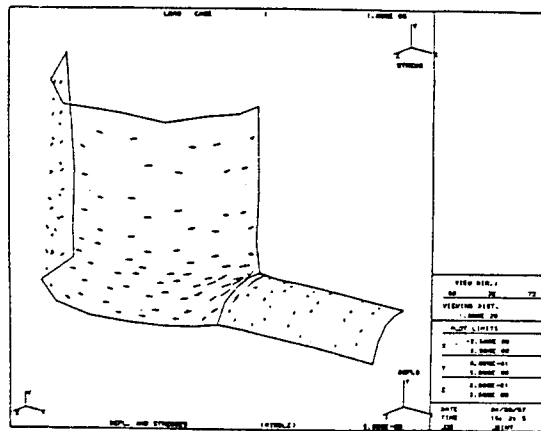


그림 17 변형된 모양과 주응력

solver)에서 구조해석을 수행하게 된다. 후처리 모듈에서 표현할 수 있는 것은 변형된 구조의 모양, 응력 등고선, 주응력의 크기 및 방향 등이다. 개발된 모든 모듈들은 각각의 독립된 기능을 갖고 있으며 이들의 통합은 통합 데이터 베이스(unified database)에 의해 이루어진다.

3.3 해석사례

(1) 문제정의

그림 14에서 보는 바와 같은 파이프 이음에

대한 해석을 수행한다.

· 재질

영 계수 (E) = 28.0×10^6 psi
 스테인리스 강 { 항복응력 (σ_y) = 7.0×10^4 psi
 프와송 비 (ν) = 0.28

· 단면특성 : 판 두께 (t) = 0.1 in

· 하중조건 : 내부압력 (P) = 500 psi

(2) 해석결과

그림 15에서는 모델에 적용된 하중조건이 나타나 있으며 그림 16은 해석결과 얻어진 파이프 이음의 변형된 모양과 응력 등고선을 보여

주고 있다. 그림 17은 주응력 값을 나타내고 있다.

4. 맺음말

과거 대형컴퓨터와 중형컴퓨터에서만 가능하던 유한요소법을 이용한 CAE기술들이 마이크로컴퓨터의 발달에 따라 개인용 컴퓨터에서도 가능하게 되었다.

여기서는 사출제품 설계 및 금형설계에 있어 필수적인 설계도구로 사용되는 CAE프로그램 중 구조 해석용 프로그램인 Micro-STANS와 사출공정 해석용 프로그램인 C-FLOW가 마이크로컴퓨터상에서 이용 가능함을 설명하였다. 이러한 CAE 소프트웨어들은 비용과 노력이 많이 소모되는 시제품제작이 없이도 사출공정에 대한 정보와 제품강도에 대한 정보를 얻을 수 있게 함으로써 초기설계단계에서 제품의 설계평가가 가능하게 하였다. 보다 높은 생산성, 보다 낮은 설계 납기단축, 비용절감을 도모해야 하는 사출제품 설계자들에게 초기단계에서 제품의 설계 및 가공에 대한 문제점을 미리 파악할 수 있게 함으로써 대단히 강력한 설계 도구로 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Wang, V.W. et al., 1989, C-MOLD User's Manual, AC Technology, November.
- (2) 이종원 외, 1987, "기계부품 설계용 Modular CAD Software 개발", KIST CAD/CAM 국책보고서.
- (3) Wang, K.K. et al., 1985, "Computer-Aided Design and Fabrication of Molds and Computer Control of Injection Molding", CIMP Progress Report, No. 11.
- (4) Manzione, L.T. et al., 1987, "Applications of Computer Aided Engineering in Injection Molding", Hanser Publishers.
- (5) Hieber, C.A. and Shen. S.F., 1980, "A Finite-Element/Finite-Difference Simulation of the Injection-Molding Filling Process", J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 7.
- (6) 김상국외, 1989, "사출제품 금형설계의 해석 및 평가시스템 개발에 관한 연구", KIST CAD/CAM 국책보고서.

