

# AUTODYN Interactive Nonlinear Dynamic Analysis Code

이 강 우\*

## 1. 개발사 소개

AUTODYN은 1985년에 설립된 미국의 CDI (Century Dynamics, Inc)사에 의해 개발된 hydro code이다. CDI사는 현재, 미국과 영국에 두 곳의 연구소를 두고 있으며, 충격, 관통, 폭발 등의 비선형이 강한 역학 문제들을 주요 해석대상으로 연구를 수행하는 전문회사로, 다년간의 기술자문을 통해서 축적된 기술력을 바탕으로 AUTODYN을 비롯한 다양한 해석프로그램을 개발하고 있다.

현재 CDI에서 개발하여 상용화한 프로그램으로는

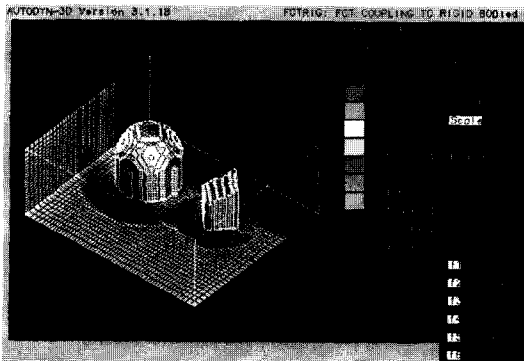


그림 1 General rigid bodies in 3D FCT

\* 프리즘 주식회사

AUTODYN, AutoReaGas, CD\_JetPen, CD\_SplitX, CD\_GSS등으로 방위산업을 비롯한 자동차, 우주항공, 원자력, 석유 화학 등의 분야에서 폭넓게 사용되고 있다.

## 2. AUTODYN의 소개

AUTODYN은 비선형 동역학 문제를 해석하기 위해 개발된 유체동역학 프로그램(Hydro Analysis Code)으로, 대변위 및 대변형, 고체-유체의 연성문제, 접촉, 관통, 폭발, 충돌처럼 일반 유한요소해석프로그램으로 처리하기 어려운 문제들을 쉽고 빠르게 해결할 수 있는 강력한 해석 솔루션이다.

AUTODYN은 프로그램의 효율을 높이기 위하여 2D와 3D로 구분되어 판매되고 있으며, 작업을 용이하게 할 수 있도록, Solver를 비롯한 전/후처리를 함께 포함한다.

## 3. AUTODYN의 장점

### 3.1 가상실험효과

AUTODYN은 수행된 시험에 대한 검증, 평가 및

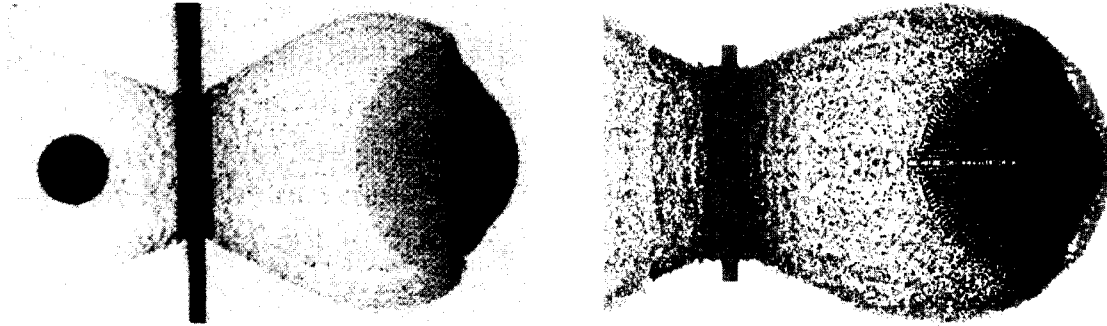


그림 2 실험결과와 해석결과 비교(Hyper Velocity Impact)

분석도구로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 현실적으로 실험이 거의 불가능한 현상들(초고속 충돌/관통 현상 등)에 대한 해석적 방법을 제공함으로써, 비싼 실험경비를 절감하거나 완전히 대체할 수 있는 가상실험효과를 제공한다.

### 3.2 높은 생산성

AUTODYN은 현대적인 사용자 인터페이스, 메뉴방식의 구조와 대화식 그래픽, 상세한 on-line 도움말등을 채용하므로, 다른 유체 동역학 프로그램에 비해 사용하기 쉬운 환경을 제공한다. 편리한 사용환경은 비선형 해석기법 자체에 대해 깊은 지식이 없는 사람들도 쉽게 자신의 문제를 정의/해석할 수 있도록 하며, 자신의 프로그램이나 EOS(상태방정식), 물성치 등을 AUTODYN에서 제공하는 기능과 접목하여 사용할 수 있는 open architecture 기능은 프로그램 자체를 사용자의 해석목적에 맞도록 커스터마이징할 수 있게 한다.

### 3.3 폭 넓은 적용분야

여러 분야의 복잡하고 다양한 비선형 문제들은 AUTODYN에서 제공하는 여러 가지 솔버, 절점 제거기능(erosion), 자동/대화식 재요소 생성기능등을 적절히 사용함으로써 효과적으로 쉽게 해결될 수 있다.

### 3.4 다양한 사용 플랫폼

AUTODYN은 PC(Window 9x, 2000, NT, Linux),

워크스테이션, 슈퍼컴퓨터에 이르는 다양한 플랫폼에서 사용가능하며, 플랫폼에 관계없이 동일한 사용자 인터페이스를 제공한다. 또한 최근 각광을 받고 있는 병렬처리기능(MPP/SMP)도 함께 제공한다.

## 4. 주요 특징

### 4.1 다중 프로세서(solver) 제공

AUTODYN의 가장 큰 특징은 기존의 프로그램과 달리 해석대상이 되는 하나의 문제에 여러 가지의 솔버를 선택적으로 적용할 수 있다는 점이다. 따라서 하나의 솔버만을 적용하여 해석할 수 없는 복잡한 형태의 문제를 효율적으로 처리할 수 있다. 예를 들어 고체와 유체가 함께 포함된 형태의 문제를 해결하고자하는 경우 고체 부분에는 Lagrange solver를, 기체, 유체 그리고 대변형을 갖는 고체부위의 해석에는 Euler solver를 사용하여 해석을 수행하는 것으로, 이러한 방법을 사용하면 여러 가지의 물리현상이 복합된 Multi-physics 문제를 쉽게 해결할 수 있다.

현재, AUTODYN에서 제공하는 솔버로는 구조물과 같은 연속체의 해석에 적합한 Lagrange솔버, 유체, 기체등의 해석에 적합한 Euler 솔버(물론, Lagrange 솔버를 기체, 유체등의 문제를 해석하는데에도 사용할 수 있으며, Euler 솔버를 사용하여 고체로 구성된 문제를 해결할 수도 있다.), 요소의 자동 재분할(rezoning) 기능을 제공하는 ALE(Arbitrary Lagrangian-Eulerian) 솔버등이 있다.

Lagrange솔버의 특별한 종류로, 얇은 형상의 구

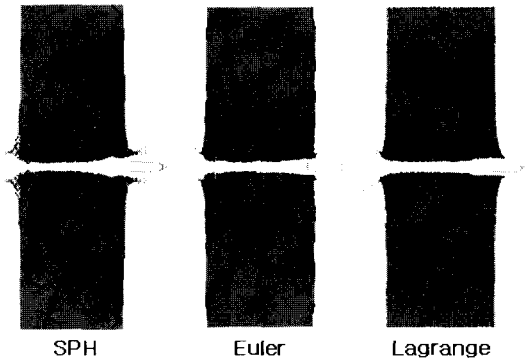


그림 3 Comparison of result for SPH, Euler and Lagrange targets

조물 해석에 유용한 shell 솔버, 보형상의 해석에 사용되는 beam 솔버도 제공하고 있으며, 최근 많은 주목을 받고 있는 SPH(Smooth Particle Hydrodynamics; 입자완화 유체동력학) 솔버도 제공한다. SPH의 경우, Lagrange의 특성을 갖으나 무요소(meshless) 기법을 사용하므로 Lagrange 솔버를 사용할 때 발생하는 요소의 왜곡에 따른 요소 재생성의 부담을 근본적으로 피할 수 있다. SPH의 경우, 계산시간이 많이 소요되는 단점이 있으나, Lagrange와의 연성기능을 제공하여 고정도의 해를 단시간에 얻도록 하고 있다.

#### 4.2 대화방식의 환경

AUTODYN는 대화식의 그래픽 환경으로 구성되어 있다. 문제를 구성하는 전체 과정을 대화식의 그래픽을 통하여 쉽게 확인하고, 수정할 수 있으므로 잘못된 문제설정으로 인한 해석오류를 피할 수 있으며, 해석이 진행되는 동안 그 결과를 화면으로 실시간 모니터링을 할 수 있다. 따라서, 사용자는 언제든지 프로그램의 실행을 중단하고 그 때까지 구해진 해석결과를 상세히 검토 후, 해석이 잘못된 경우에는 오류를 수정한 후에 계속해서 해석을 진행할 수 있다.

대화방식의 후처리 과정은 사용자가 계산된 결과를 쉽게 검토할 수 있도록 하며, 그래픽과 텍스트로 구성된 프리젠테이션 파일, 동영상 파일을 쉽게 생성할 수 있다.

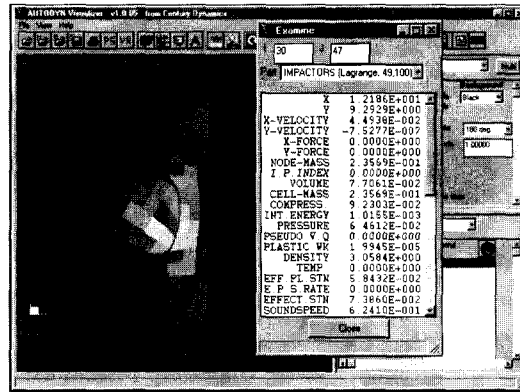


그림 4 AUTODYN Visualizer

AUTODYN에서 새로 개발하여 제공하는 Visualizer는 첨단 그래픽기능을 사용하는 후처리기로, 이전의 결과 파일들과 완전히 호환되며, AUTODYN에 내재된 후처리기 이상의 다양한 기능을 제공한다.

#### 4.3 물성 라이브러리 및 물성모델

AUTODYN에서는 다양한 종류의 물성라이브러리와 물성모델을 제공하고 있으며, 사용자는 자신의 물성라이브러리와 물성모델을 추가로 만들어 이를 저장, 참조, 수정할 수도 있다.

AUTODYN에서 제공하는 표준 물성 라이브러리에 Elements, Compounds, Alloy, Synthetics, SESAME, Tillotson, HULL, Zerilli-Armstrong, Puff, Steinberg-Guinap, Johnson-Cook, Lee-Tarvar, 등이 있으며, 재료의 거동을 표현하는 물성모델로는 상태방정식, 강성모델, 파손모델, Erosion 모델등의 네가지 형식을 제공한다.

재료의 상태 방정식으로는 잘 알려진 Linear, Polynomial, Shock, JWL, Ideal Gas, Orthotropic, Porous, Tillotson, Puff 모델등을 제공하고 있으며, 강성모델로는 Hydrodynamic, Piecewise hardening, Mohr-Coulomb, Von Mises, Johnson-Cook, Zerilli-Armstrong, Brittle, Elastic, Steinberg-Guinan 모델 등을 제공한다. 이들 대부분의 강성모델은 열연화 영향뿐만 아니라 변형률 또는 변형률 경화도 함께 고려한다.

파손모델에는 주응력이나 주변형률, 혹은 재료의

물성방향에 대한 응력이나 변형률을 기준으로 모델의 파손을 결정할 수 있으며(hydro tensile limit, bulk strain, directional failure 등과 같은 bulk failure criteria), 누적파손모델(cumulative damage model)과 같은 특별한 형태의 파손모델도 포함된다.

AUTODYN에서 제공하는 물성모델이 불충분한 경우, 사용자는 자신의 물성모델을 정의하는 서브루틴을 직접 작성하여 사용할 수도 있다.

#### 4.4 요소생성

AUTODYN에서는 다양한 요소생성 방법을 제공하므로써 복잡한 기하학적 형상의 모델의 요소생성을 쉽고 효과적으로 수행할 수 있도록 한다. 사용자가 해석모델의 요소데이터를 별도의 외부파일 형태로 갖고 있는 경우, 사용자 정의 서브루틴을 이용하여 읽어 들일 수도 있으며, 또한 전용 요소생성기인 TrueGrid에서 만들어진 요소데이터의 경우, 별도의 처리없이 바로 읽어 사용할 수 있다.

#### 4.5 Interactive Rezoning

대변형이 발생하는 문제에 Lagrange프로세스를 적용할 경우, 계산 중 왜곡되는 요소의 형상은 중대한 문제를 유발하곤 한다. 따라서, 이를 방지하기 위해서는 eroding 옵션을 사용하거나 왜곡된 요소를 다시 요소분할해야 할 필요가 있는데, AUTODYN는 이를 위해 독특한 대화식 재요소생성 기능을

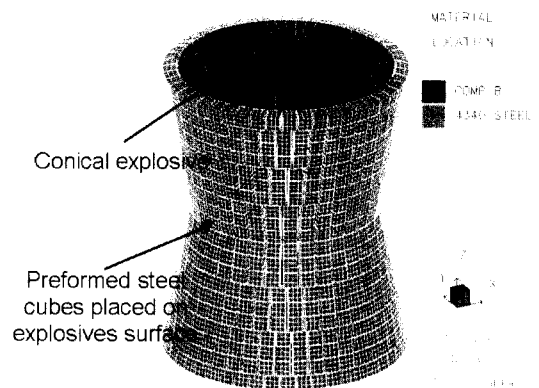


그림 5 AutoDyn-3D model of Fragmenting Warhead

제공한다. 재요소생성기능은 해석 도중에 새로운 요소를 쉽고 빠르게 재정의 할 수 있도록 하며, 이전에 저장된 요소들의 모든 변수값들(밀도, 압력, 속도 등)을 새롭게 생성한 요소로 자동으로 매핑된다. 이러한 모든 과정은 그래픽을 사용한 대화식 환경에서 이루어지며, 사용자는 매핑된 요소에서의 질량, 모멘트, 에너지와 같은 중요한 물리량의 보존상태를 확인할 수 있다.

#### 4.6 Automatic Rezoning

AUTODYN는 사용자가 정의한 기준을 기반으로 해석중인 요소의 형상을 자동으로 재생성하는 ALE(Arbitrary Lagrange Euler) 솔버를 제공한다. ALE를 사용할 경우, 물질의 운동에 따라 요소가 함께 움직이도록 정의하면 그 부분의 요소는 Lagrange 솔버를 지정한 것처럼 해석되며, 요소는 공간상에 고정된 채 단지 물질만이 운동을 하는 것처럼 지정하면 그부분은 Euler 솔버를 적용한 것처럼 거동한다. 자동으로 요소를 생성하는 데에는 등간격, 등포텐셜등의 다양한 알고리즘을 사용할 수 있으며, 필요한 경우 사용자가 자신이 작성한 기준으로 요소를 재배치시킬 수도 있다. ALE 프로세서는 특히 유체-구조물의 연성 문제에 매우 효과적이다.

#### 4.6 Impact-Slide Logic

해석모델이 여러개의 Lagrangian subgrid로 구성되어 있는 경우, 이들의 접촉 또는 분리는 Impact-Slide surface를 통해서 인지된다. AUTODYN에서는 subgrid들의 충돌을 감지하기 위해, subgrid의 주위에 접촉인식영역이라고 작은 gap을 자동으로 설치하여 사용하며, 이러한 독특하고 안정적인 impact-slide logic은 subgrid들이 언제 어디서 접촉하는지를 자동으로 확인함과 동시에 신뢰성 있는 결과를 제공한다.

#### 4.7 Erosion Algorithm

Erosion Algorithm을 Lagrange솔버를 사용할 경우 발생하는 요소의 왜곡을 피하기 위해서 사용

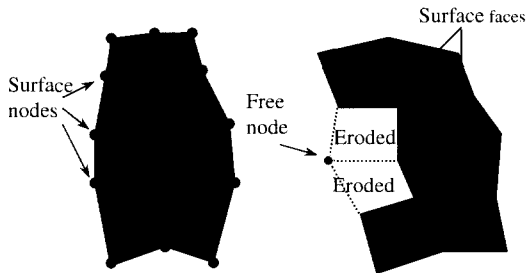


그림 6 Interaction with eroded nodes

되는 하나의 방법으로, 요소의 왜곡이 지정된 양보다 클 경우 왜곡을 일으킨 절점을 모델에서 제거 시킴으로써 계산이 계속 수행될 수 있도록 한다. Erosion Algorithm은 어떠한 물성 모델과도 함께 사용할 수 있으며, 이를 이용하면 아주 큰 변형이나 재료의 관통등을 갖는 현상도 Lagrange 솔버를 적용하여 해석할 수 있다. 탈락된 절점은 모멘트를 유지한 채 하나의 절점으로 계산에 계속 사용 될 수도 있으며, 그냥 해석에서 제외될 수도 있다. 모멘트를 유지하도록 한 경우, 이 절점들은 갱신된 Impact-sliding face를 구성하는 모델과 2차 충돌을 일으킬 수 있다.

#### 4.8 Automatic Detonation Logic

AUTODYN에서는 다양한 종류의 폭약 모델을 제공하며, “wave shaper”를 갖는 것과 같은 복잡한 형상의 폭약에 있어서도 그 폭발순서를 자동으로 계산하여 준다. 폭발은 폭약의 에너지가 임계 에너지에 도달할 때 자동으로 발생한다.

#### 4.9 Jetting Option

AUTODYN는 shaped charge 설계를 위한 별도의 모듈을 제공한다. 강력한 이 모듈은 수치적방법과 해석적방법을 혼합하여 사용하므로 정확한 해를 단 시간내에 얻을 수 있도록 한다.

### 5. 부가 기능

#### 5.1 사용자 제공 서브루틴

사용자가 특별한 자신의 작업을 수행하기 위하여

AUTODYN에서 제공하지 않는 기능이 필요한 경우, 이를 위해 사용자는 자신이 만든 프로그램을 AUTODYN과 연결하여 사용할 수 있다. 이러한 Open-architecture 형태의 기능 제공은 원래의 프로그램을 수정하지 않기 때문에 오류가 발생할 가능성이 적으며, 소스 코드를 직접 수정하는 것보다 훨씬 유리하다.

AUTODYN과 사용자가 작성한 프로그램사이의 데이터 교환에 사용되는 커먼블록(commom block) 및 서브루틴들의 각종 인자들(arguments)은 잘 정리된 문서로 제공되므로 사용자는 쉽게 자신의 프로그램을 AUTODYN에 포함시킬 수 있다.

AUTODYN의 컴파일 언어로서는 Visual FORTRAN이 사용된다.

#### 5.2 후처리 기능

AUTODYN에서는 해석결과를 쉽게 검토할 수 있는 다양한 후처리 기능을 제공하고 있으며, 슬라이드 쇼 기능도 함께 제공한다. 슬라이드 쇼는 설명을 포함한 단순한 문자의 조합이나 모델의 형상 그림, 가시화된 해석결과등에 이르는 다양한 종류의 이미지로 구성될 수 있으며, 이러한 슬라이드는 동영상파일로 변환되어 프리젠테이션이나 기타 작업에 사용될 수도 있다.

#### 5.3 매크로 생성기능

AUTODYN에서는 수행된 일련의 명령어를 파일로 저장하여 다시 사용할 수 있는 매크로기능을 제공한다. 저장할 수 있는 명령어의 수에는 아무런 제한이 없으며, 이 기능은 반복적용을 위한 특정 기능의 저장, 슬라이드 쇼의 자동보기, 프로그램의 교육, 입력된 명령어의 상세 파일관리 등의 작업에 유용하게 사용될 수 있다.

### 6. 적용분야

AUTODYN는 현재 매우 다양한 산업현장과 연구소, 교육 기관 등에서 사용되고 있으며, 그 예를 보면 다음과 같다.

6.1 방위산업분야

충격 및 관통, 운동/화학에너지 탄두 해석, 폭발과 압력파에 대한 영향 평가, shaped charge 및 EFP 설계, 탄약고의 안전도 및 민감도 평가, 장갑 및 대장갑효과 분석(관통자 해석)등의 해석에 사용되며 AUTODYN이 가장 활발히 사용되고 있는 분야이다.

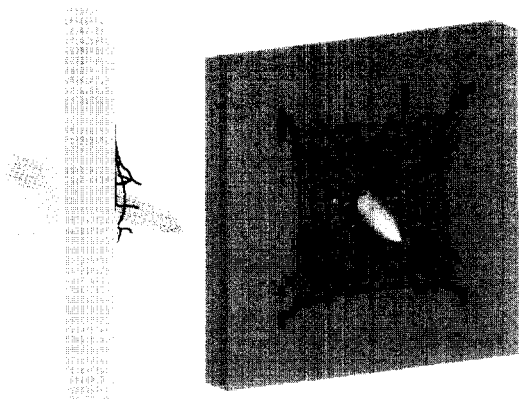


그림 7 Example KEP impact on reinforced concrete

6.2 우주항공분야

AUTODYN은 우주항공기의 진동현상, 새와의 충돌(Bird strike), 우주부유물(space debris)과의 초고속도 충돌, 유체-고체 연성문제, 가스동역학-구조의 연성 문제, 고속충돌 및 박리 현상, 단면 폭발, 난입/다중 타겟 충돌 등의 문제해결에 사용하고 있다.



그림 8 Hypervelocity Impact

6.3 석유 화학 분야

AUTODYN은 석유/가스시추, 정유 등의 자원관련 분야에서 사용될 수 있다. 주로 폭발에 대한 피해 및 안정성 평가, 블라스트이나 관널의 구조적 특성과 설계, 사고 시뮬레이션, 천공작업 시뮬레이션, Shape charge를 응용한 절단장비, 플랜트의 배치와 통풍장치의 최적화, 블라스웨이브와 구조물의 연성문제 해결에 사용되고 있다.

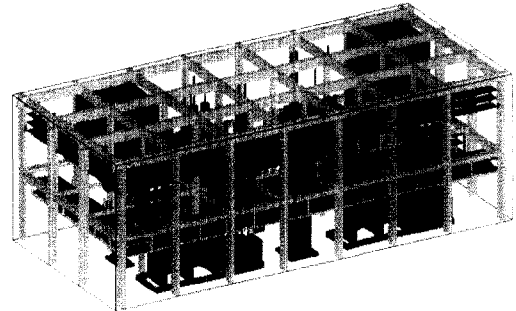


그림 9 Offshore process module geometry for analysis

6.4 기타 산업분야

진력 및 에너지, 수송, 제조분야, 원자로의 폐로 해석, Pipe break 및 whip, 차량의 내충격도 및 충돌 시 탑승자의 거동 해석, 선박의 충돌 해석, 터널 내부에서의 폭발, 성형 해석 등에서 사용되고 있다.

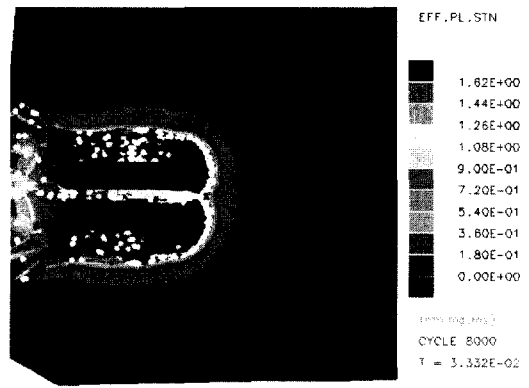


그림 10 Tungsten ROD impact on RHA

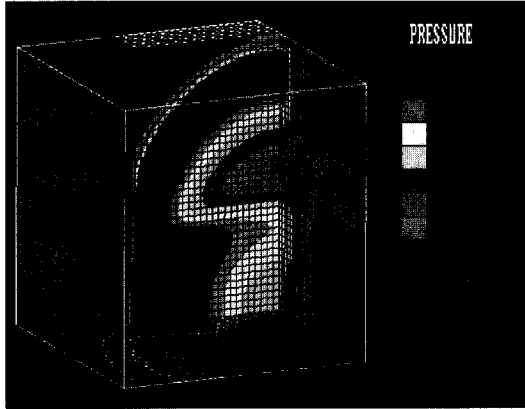


그림 11 Blast in a building

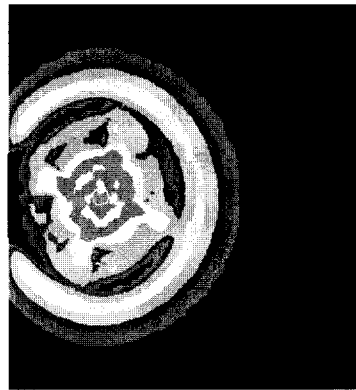
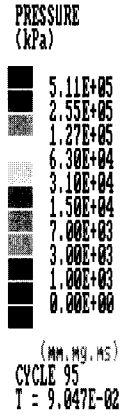



그림 12 Fracturing of Rock suing explosive



## 7. 국내배급처

AUTODYN는 프리즘(주)에 의해서 배포되고 있으며, 그 연락처는 다음과 같다. 

문의처 : 프리즘주식회사  
 주 소 : 경기도 성남시 분당구 구미동 18번지  
 시그마 II 오피스텔 D동 203호  
 담당자 : 이 강 우  
 전 화 : (031) 716-9578  
 팩 스 : (031) 713-8507  
 E-mail : admin@prism21.co.kr  
 PRISMCO@hitel.net  
 Home Page : http://www.prism21.co.kr