

고속충격 시험장치를 이용한 응용 연구 동향



허 신
(KIMM 신교통기술연구부)

- '87 전북대학교 정밀기계공학과(학사)
- '89 전북대학교 기계공학과(석사)
- '91 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



구 정 서
(KIMM 신교통기술연구부)

- '95 KAIST 기계공학과(박사)
- '87 - '91 KIST 기계시스템실 연구원
- '91 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



김 동 성
(KIMM 신교통기술연구부)

- '77 서울대학교 기계설계학과(학사)
- '90 창원대학교 기계공학과(석사)
- '96 Ecol Centrale de Nantes 기계공학과(박사)
- '77 - '79 코리아타코마(주) 기계기사
- '80 - 현재 한국기계연구원 책임연구원(그룹장)

1. 서 론

고속 충격하중은 장갑관 관통, 차량의 충돌 안전도, 고속 기계가공, 암석 발파 및 고속 성형과 같은 폭 넓은 응용분야에서 나타난다. 또한, 자동차 유리창에 충격을 주는 자갈, 우주선에 충돌하는 먼지입자 및 제트엔진에 빨려 들어가서 블레이드에 손상을 주는 조류 등 다양한 상황에서 발생하는 구조 부품의 모든 동적 파손에서 발생한다. 충격하중을 받는 재료의 거동은 정하중을 받는 재료의 거동과 현저하게 다르기 때문에 이에 대응하는 구조설계를 수행하기 위해서는 충격하중에 대한 재료의 기계적인 특성이 규명되어야 한다. 첫번째로 재료가 충격하중을 받으면 하중은 응력파의 형태로 재료 속을 전파하고 이 응력파에 의한 응력장은 대체로 정하중에 의한 응력장과 다르게 나타난다. 둘째로 충격하중을 받으면 재료는 높은 변형률속도(strain rate)로 변형되며, 재료의 변형 거동은 변형률속도에 의해서 현저한 영향을 받는다. 충격하중에 의한 재료의 변형률속도 의존성은 금속, 세라믹, 유리 및 고분자를 포함한 거의 모든 재료에서 관찰된다. 그리고 세번째로 파괴의 양상은 재료의 변형률속도에 의해서 다르게 나타난다. 이와 같은 재료의 동적 특성은 변형률속도, 응력상태, 온도 및 하중 이력의 함수인 응력-변형을 응답과 재료가 겪는 손상 및 파괴 모드를 포함하고 있다.

재료의 동적 특성을 결정하기 위한 기법들은 대개 변형률속도에 따라 결정되며, 이에 따른 재료의 물성을 결정하기 위한 시험 방법들은 표 1에서 나타나고 있다. 여러 가지 시험방법 중에서

표 1. 충격 시험 분류표

Strain rate (sec ⁻¹)		10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	10 ⁻²	10 ⁰	10 ²	10 ⁴	10 ⁶
Zone		Elastic			Plastic	Hypervelocity		
Impact		Multiple				Single		
Test		Creep	Quasistatic		Intermediate Strain rate	Bar Impact	Plate impact	
Loading method		Constant load or Stress Machine	Hydraulic or Screw machine		Pneumatic or Mechanical Machine	Mechanical of Explosive impact	Light gas gun or Explosive driven plate impact	
Inertia force		Neglected			Important			
Material	Ductile	Fatigue		Plastic flow	Adiabatic shear	Fluid-like behavior		Melting
	Brittle	Brittle Frature		Fracture & Plastic flow		Vaporization		
Plane stress							Plane strain	

고변형률속도(high strain rate) 하에서 재료의 동적 거동을 측정하는 방법은 Split Hopkinson Pressure Bar(SHPB) 또는 Kolsky bar와 평판 충격(plate impact) 시험이 있다. 각각의 시험 방법은 폭넓은 재료에 대해서 동적 거동 연구를 수행할 수 있도록 다양한 시스템으로 개발되어 있다. 초기의 경우, SHPB 시험장치는 10² s⁻¹에서 10³ s⁻¹까지의 변형률속도에서 단축 압축 상태에 있는 금속의 동적 소성응답을 연구하기 위해서 사용되었다. 그 후에는 인장 및 비틀림의 소성유동 뿐만 아니라 동적 파괴를 연구하는데 까지 이르렀다. 최근에는 더 높은 변형률속도(>10⁴ s⁻¹) 및 고온 영역에서 시험할 수 있도록 개조되고 세라믹과 같은 취성 재료와 고분자와 같은 연성재료를 시험할 수 있게 되었다. 그림 1은 SHPB 충격 시험장치의 구성을 보이고 있다.

평판 충격시험은 원래 어떤 재료에 대한 압력-체적-온도 관계 또는 상태방정식에 관한 데이터를 얻기 위해서 개발되었다. 그 후에는 작은 소성

변형 상태에서 재료의 전단저항 뿐만 아니라 인장강도에 관한 정보를 얻는데 적합하도록 개조되었다. 최근에는 합성 압력 및 전단 하중을 가할 수 있도록 개조하여 10⁵ s⁻¹에서 거의 10⁷ s⁻¹의 변형률속도에서 큰 전단 변형상태에 있는 재료의 동적 전단저항을 연구할 수 있게 되었다. 압력-전단 평판충격 시험장치의 개발로 시험영역은 동적 마찰의 연구와 고온 영역으로 확대되었다. 그림 2는 평판 충격시험 장치의 구성을 보이고 있다.

현재까지는 고속 충격시험장치를 이용하여 10² s⁻¹에서 5×10⁶ s⁻¹의 변형률속도 범위에 이르는 재료의 동적 비탄성 응답, 즉 동적 응용에서 대부분의 중요한 변형률속도 영역을 연구하는 것이 가능하다. 현재의 연구방향은 변형률 속도를 확대시키는 것보다는 측정된 응답을 설명하기 위한 기법 및 재료 모델의 개발에 집중되어 있다. 단순히 넓은 변형률속도 범위에 대해서 모든 재료를 시험할 수 없으며, 특정한 하중영역에서 예측이 가능한 응답을 줄 수 있는 기술을 개발한다는 것은 어렵

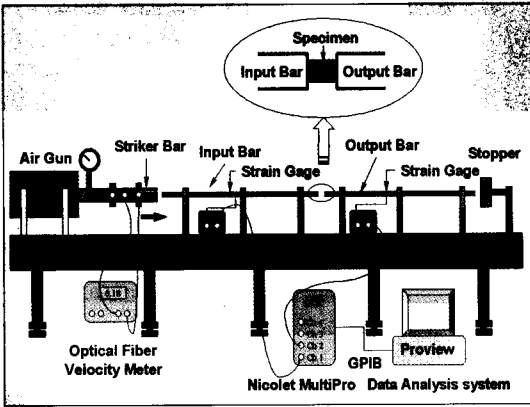


그림 1. SHPB 충격시험 장치

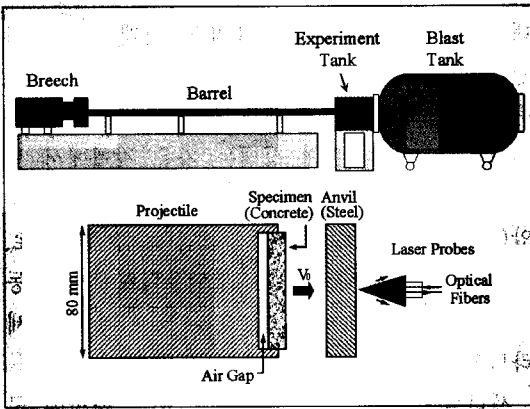


그림 2. 평판충격 시험장치

다. 대신에, 유용한 예측 도구를 개발하기 위해서는 수학적 재료 모델이 개발되어야 하고 개발된 재료 모델의 매개 변수는 시험 데이터로 결정되어야 한다.^[1] 표 2는 재료의 동적 거동을 나타내는 대표적인 재료 모델식을 나타내고 있다.^[2]

충돌안전도 해석, 고속기계가공, 관통 등에 대

한 수치 시뮬레이션은 동적 재료거동에 대한 지식을 필요로 한다. PAM-CRASH 및 DYNA-3D와 같은 상용 유한요소 프로그램은 특별한 소성 변형 영역에서 변형률속도 효과를 고려할 수 있는 몇가지 재료 모델을 제공하며, 사용자는 적절한 재료 모델을 선택하고 실험적으로 모델 매개 변수를 결정해야 한다.

2. 재료의 동적 거동 연구

2.1 금속

금속의 고변형률속도 응답에 대한 연구는 순 금속(pure metal)과 일반 구조용 합금으로 지향되고 있는데, 그 이유는 그런 금속의 응용분야가 다양하고 폭 넓게 사용되기 때문이다. 특히 구조용 합금 중에서도 고강도 알루미늄 합금재는 군수용 장갑재료 및 자동차, 항공기, 고속전철 등의 민수용의 구조재료로 광범위하게 사용되고 있다. 따라서 고강도 알루미늄 합금 소재의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 최신 고강도 알루미늄 합금의 강도, 내충격성, 인성 등에 대한 재료 특성에 대한 데이터는 거의 없는 실정이므로 이에 대한 연구가 필요하다.

또한 금속에 대한 최근의 연구방향 중의 하나는 고온 상태에서 재료의 동적 응답을 모델링하는 것이다. 금속재료는 고변형률속도 하에서 열이 전도될 수 있는 충분한 시간의 부족과 소성 일(plastic working)과 관련된 열로 인해서 자연

표 2. 대표적인 재료의 구성방정식

모델명	모델식	매개변수
Cowper-Symonds (1967)	$\sigma = 1 + \left[\frac{\dot{\epsilon}}{D} \right]^{1/m}$	D, m
Johnson-Cook (1983)	$\sigma = (A + B \cdot \epsilon^n) (1 + C \cdot \ln(\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_{ref})) \left[1 - \frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}} \right]^m$	A, B, C, n
Zerilli-Armstrong (1987)	$\sigma_{fcc} = C_0 + C_2 \cdot \epsilon^n \cdot \exp(-C_3 \cdot T + C_4 \cdot T \cdot \ln \dot{\epsilon})$ $\sigma_{bcc} = C_0 + C_1 \cdot \epsilon^n \cdot [\exp(-C_3 \cdot T + C_4 \cdot T \cdot \ln \dot{\epsilon}) + C_5 \cdot \epsilon^n]$	C_0, C_2, C_3, C_4 if fcc C_0, C_1, C_3, C_4, C_5 if bcc

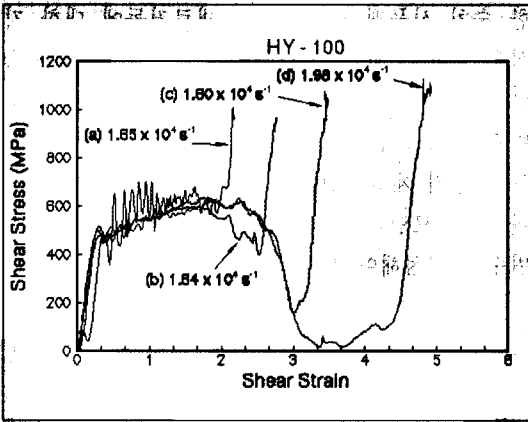


그림 3. 전단 변형률 대 전단 응력(HY100강)

스럽게 온도가 상승한다. 온도가 상승하면 열적 연화(thermal softening)로 인해 유동 응력이 감소하고 금속의 소성 유동에 대한 불안정 특성인 전단밴드(shear band) 형성이 용이하게 되어 국부적인 전단 변형을 일으킨다. 이런 이유 때문에 온도 상승 및 고변형률속도에서 온도에 대한 유동 응력의 의존성은 고속 기계가공, 고속 성형, 유정 케이싱의 관통, 장갑용 강철판의 관통과 같은 응용 분야에서 소성 유동의 열가소성 불안정을 이해하는데 극히 중요하다. 또한 동적 파괴는 크랙의 선단과 가까운 영역에서 상당한 열이 발생하여 생성된다. 그림 3은 SHPB를 이용하여 시험을 수행한 변형률속도에 따른 HY-100강의 전단 변형률-전단 응력 관계를 보이고 있다. 그림 4는 HY-100강의 전단밴드 형성을 보이고 있다.^[3]

2.2 유리 및 세라믹

고변형률속도에서 유리의 동적 응답은 유리의 충격 응답과 세라믹의 충격 응답 모두를 위해서 중요하다. 소결물로 첨가되는 유리는 세라믹 결정립 사이의 얇은 층, 즉 이웃하는 결정립이 탄성을 유지하고 있는 반면에 소성적으로 변형을 시작할 수 있는 층을 형성한다. 그리고 그 층은 변형 유발온도가 증가함으로써 더 한층 연화된다. 유리의 전단저항 또한 중요하다. 그 이유는

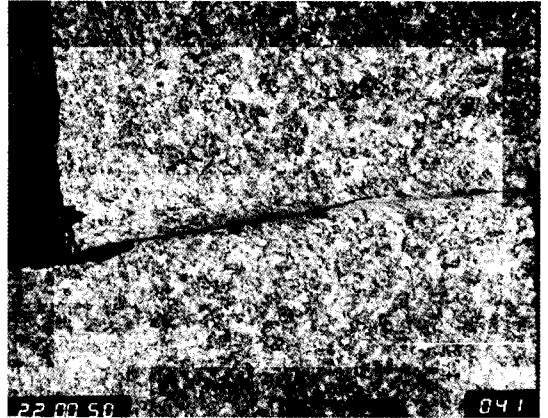


그림 4. 전단변형률=2.5에서 전단밴드 형성

대부분의 응용분야에서 유리의 기계적 파손이 인장 파괴에 의해서 발생되기 때문이다. 그러나, 충격 시나리오에서 전방을 향해 전진하는 발사체의 바로 앞의 응력 상태는 자유 경계에서 도달하는 파를 제하(unloading)하기 전에 큰 정수압(hydrostatic pressure)을 가진다. 결론적으로, 인장 파괴는 억제되고 큰 전단응력하에서 유동하기 위한 유리의 저항은 유리 또는 소결된 세라믹의 관통 저항에 중요한 역할을 한다.

세라믹은 높은 경도와 가벼운 무게 때문에 군사용 및 민간 방호복 모두에 매력적인 재료이다. 고온에서 고강도와 경도를 함께 갖춘 세라믹은 엔진부품, 연마재, 공작기계에 응용하는데 매우 유용한 재료이다. 장갑판 또는 주요 부하가 준정적인 다른 응용을 위해서든지 주어진 응용분야에서 세라믹을 사용하기 위해서 결정하는 중요한 고려사항 즉, 주요 설계 목적 또는 사고로 인한 손해를 예방하기 위한 요구조건 중의 하나는 충격에 대한 세라믹의 저항력이다.

세라믹의 동적 응답을 이해하는 것은 금속과 유리에 대해서 미리 언급한 고려요소들을 포함하고 있다. 세라믹 장갑판에 충격을 가하는 긴막대 관통자의 전방에서 초기에 발생하는 구속 응력(confining stress)이 충분히 클 경우, 세라믹 입자는 금속에서와 같이 전위 운동에 의해 소성적으로 변형할 수 있다. 구속응력이 작을

경우, 자유표면이 존재하는 대부분의 응용분야에서와 같이, 다결정질 세라믹은 핵 생성과 입자 경계를 따라 발생하는 미소 균열의 성장으로 파손되는 경향이 있다. 평판 충격의 평면과 부하가 조건에 따라 발생하는 구속조건에서조차, 다결정질 세라믹의 동적 응답은 일반적으로 입자 경계를 따라 파손이 발생하는 것으로 이해된다.^[4] 그런 파손은 미소 구조의 불균일성, 상대적으로 입자의 높은 전단저항, 불순물 및 공동 또는 유리층의 존재로 인한 계면의 약화로 인한 것일 수 있다. 그림 5는 세라믹바 대 세라믹바의 충돌시에 대해 실제 시험과 해석 결과를 비교한 것이다. 세라믹의 동적 변형과 파손의 과학적인 토대의 모델 개발을 위해서는 특별한 가정의 타당성을 고찰하거나 또는 특별한 재료 특성을 측정하기 위한 특수 설계된 시험이 수행되어야 한다.

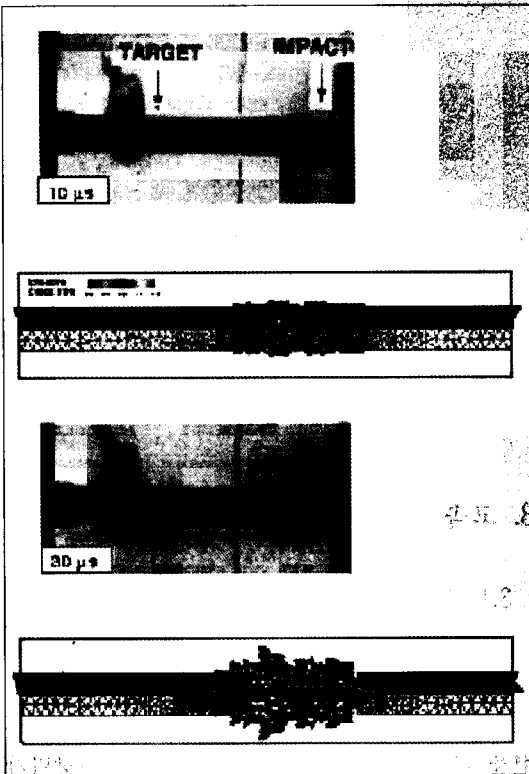


그림 5. 세라믹 바의 충격 손상 해석

2.3 콘크리트

고변형률속도 충격 하중을 받는 콘크리트 거동에 대한 이해는 민간 및 군사 응용의 범위에서 매우 중요하다. 충격 하중에 의한 콘크리트 재료의 거동은 다리, 항만, 탱크, 화학공장 및 발전소 등의 콘크리트 구조물 위에서 운행하는 차량, 철도, 선박 및 비행기의 우발적인 충격 또는 폭발과 같은 상황에서 구조물의 안전 요건에 매우 중요하다. 지진, 폭풍, 파도와 같은 자연의 힘으로부터 발생하는 콘크리트 구조물에 대한 동적 하중도 실제적인 관심 대상이다. 또한 군용의 콘크리트 구조물에서 군사 목표의 성공적인 파괴와 방호 구조의 효과적인 보호에도 중요하며, 핵발전소의 보호용 콘크리트 셀은 미사일 등의 충격 부하로부터 견제해야 하므로, 민간과 군에서 함께 관심을 가질 수 있는 분야이다.

동적 하중을 받는 이런 재료의 초기 실험적 데이터는 기존의 발표된 데이터에도 불구하고, 실험적인 데이터와 고변형률속도 및 고압을 받는 콘크리트 거동에 관한 이해가 여전히 부족하다. 초기에는 진자식 시험기, drop weight 시험 등에서 시험 데이터를 얻었으나, 이런 시험 장치들을 사용하여 얻은 시험 데이터를 비교한 결과, 시험 데이터 사이에 큰 차이를 보였다. 그 이유는 콘크리트의 이종성과 시편 제원이 서로 다르고, 작용 하중과 측정 장비의 부정확성 때문이다. 따라서 최근에는 요구되는 시험 하중과 정수압을 얻기 위해서 SHPB장치 및 Plate impact 장치를 사용하여 시험한다.

그림 6은 SHPB 시험장치를 이용하여 압축과 인장의 충격하중이 작용할 때의 변형률속도 대 동적 강도를 시험한 것이다. 그림에서와 같이 콘크리트 동적 강도가 급격히 증가하는 임계 변형률속도는 인장하중에서는 2 /sec이고 압축하중에서는 60 /sec로 측정되었다. 그림 7은 결정된 콘크리트의 구성방정식을 토대로 상용프로그램을 이용하여 콘크리트 구조물의 관통 손상을 예측

한 예를 보여주고 있다.^[5]

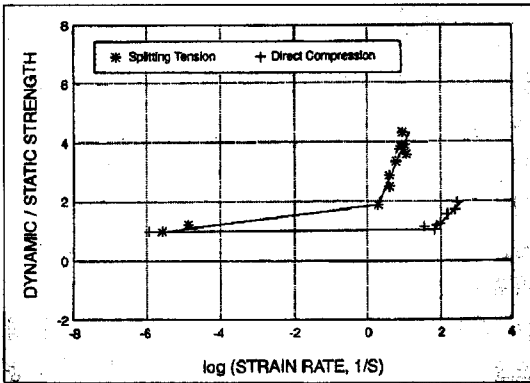


그림 6. 콘크리트 강도의 변형률속도 효과

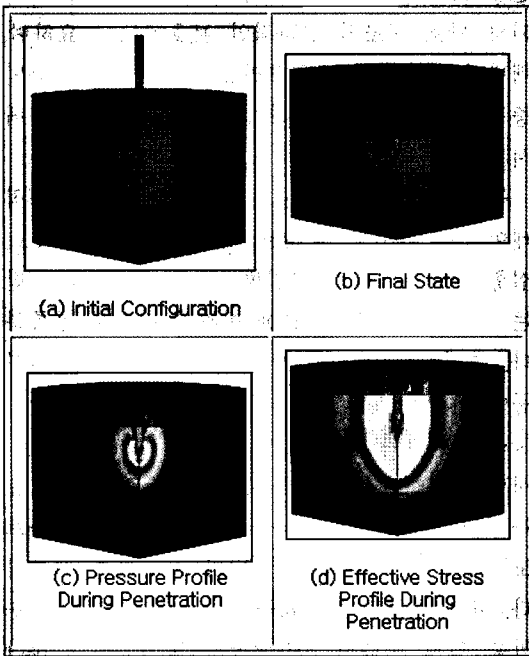


그림 7. 콘크리트 구조물의 관통 손상의 해석

2.4 복합재

복합재료는 자동차의 범퍼, 빔, 시트백(seat bak), 샤프트 등에 본격적인 구조 부품으로 폭 넓게 응용되고 있다. 또한 복합재료는 경량이고 높은 정적강도 및 피로강도를 가지고 있으며 대형 셀구조의 제조 등의 장점이 있으므로, 헬리콥

터, 경비행기, 글라이더 등의 항공기 재료의 주요 구조재로 사용되고 있다. 섬유강화 복합재료는 앞날개, 엔진, 프로펠러, 항공엔진 팬 블레이드와 같은 항공기의 주요 구조물에 사용이 증가하고 있으나 충격 손상에 취약하므로 고속 충격에 대한 검증 과정을 만족해야 한다. 이에 따라, 항공기 안전에 심각한 위험을 줄 수 있는 새의 충돌 또는 물체로부터 고속충격을 받기 쉬우므로 복합재료의 충격 특성에 대한 연구가 급격히 요구되고 있다. 그림 8은 항공엔진 팬 블레이드의 파편이 엔진 하우징에 충격을 가할 경우, 손상 예측을 위한 시뮬레이션을 보이고 있다. 그림 9는 복합재 앞날개에 조류가 충돌했을 때의 상황을 시뮬레이션하고 있다. 지금까지 조류 충돌 및 다른 파편 충격과 같은 문제에서 복합재 손상의 결정은 대부분 실험적인 시험 방법을 사용하여 결정되었다.

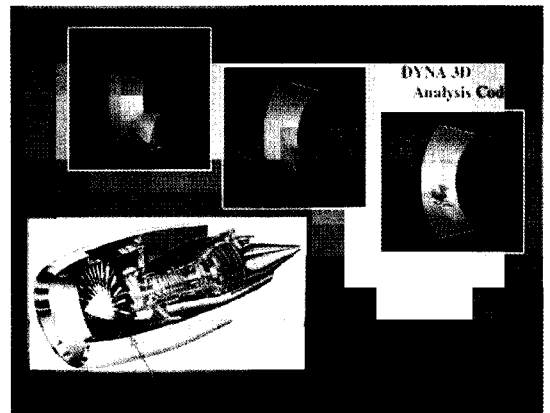


그림 8. 제트엔진 하우징의 파손 해석

3. 고속충격 시험장치의 응용분야

3.1 충격 및 충돌 해석기술

수송기계 개발의 경우, 일반적으로 실물과 같은 크기와 규모의 시험과 수치해석적 시뮬레이션을 근거로 하기 때문에 시간적 경제적 낭비가 많으며 안전도 향상과 실물 제작 및 시험 경비

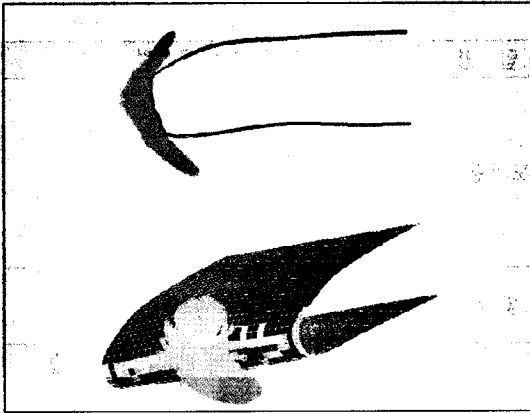


그림 9. 조류 충돌에 의한 복합재 날개의 손상 해석

등이 새로운 제품의 개발에 장애물이 되고 있다. 이 문제를 해결 할 수 있는 가장 중요하고 좋은 방법은 기계재료의 고변형률속도에 의한 부하상태에 대하여 수치해석적 시뮬레이션의 정확성을 증가시키며 개발비와 개발시간 절약 등 제반 경비를 절감시키는 것이다. 이러한 부하상태에 대하여 신뢰성 있는 예측 값을 얻기 위해서는 기계소재의 동적 거동을 묘사하는 응답특성을 적합한 시험방법을 통하여 얻고 이를 토대로 재료의 동적 특성 모델을 개발하며 이를 정확히 적용하는 것이 필수적이다.

현재 수송기계 중에서 대다수를 차지하고 있는 자동차의 경우, 충돌 안전도 설계는 소비자가 평가하는 자동차의 성능 중 가장 중요한 항목이며, 차체의 경량화와 더불어 충돌 에너지 흡수구조의 설계를 위해서 충격에 의한 재료의 특성을 정밀하게 규명하는 것이 매우 중요하다. 그림 10은 자동차의 측면 충돌 상황을 시뮬레이션 한 것이다.

국내의 경우, 철도 차량의 충돌안전도 설계는 법제화되는 단계에 있으므로 향후 철도차량 제작사에서 반드시 응용하여야 할 기본핵심기술로 사료되고, 특히 고속전철의 경우 고속주행시 이물질에 의한 충격 손상과 탑승자 보호를 위하여 이 분야의 기초연구가 절실한 실정이다. 그림 11은 객차가 50톤 질량에 60mph로 충돌하는 시뮬레이션을 보이고 있다. 수송기계의 충돌 안전도

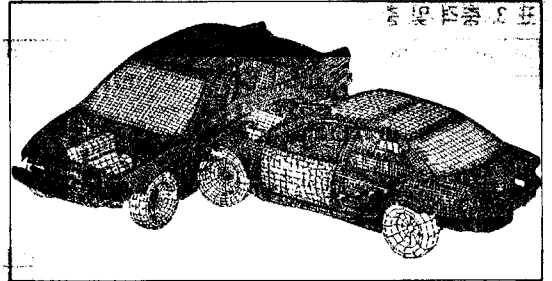


그림 10. 자동차 대 자동차 측면 충돌 해석

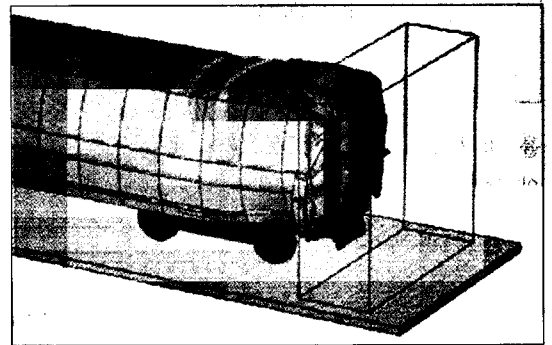


그림 11. 50 톤 질량과 객차의 60 mph 충돌시험

설계에 의한 기대효과는 신제품 개발 시 필요한 원형 시험의 회수를 줄일 수 있고, 기계 가공비와 개발 소요기간을 감소시킬 수 있으며, 또한 공공복리 측면에서는 신뢰성있는 설계에 의한 생산품의 안전성을 증가시킬 수 있다. 그 외에 다양한 응용에는 표 3에 제시되었다.

3.2 고속 기계가공 성능 예측기술

금속 절삭을 더 자세히 예측하기 위해서는 유동 응력 또는 온도과 같은 재료 특성이 더 정확히 요구된다. 절삭력은 유동응력에 대한 의존도가 높고, 유동응력은 온도, 변형률, 변형률속도 및 그 이력(history)에 크게 영향을 받는다. 금속 절삭 공정 시뮬레이션을 위한 응력-변형률 곡선을 얻는 방법은 SHPB시험장치를 이용하고 시편 온도는 고주파 유도 가열기에 의해서 급격히 가열하여, 특정한 변형률속도 및 온도에 대한 응력-변형률 곡선을 얻을 수 있다. 이 시험 데이터

표 3. 충격 및 충돌 기술의 응용 분야

산업명	제품 또는 공정명	산업명	제품 또는 공정명
자동차	- Side member - Bumper - Hood - Steering column	철도차량	- Coupler - Headstock - Side buffer - Driver's cab - Window
항공기	- Explosive welding - 내외장 부품	전자 및 가전	- 내충격성 설계 - 내구성 향상 기술
회전기계	- Turbine blade - Housing case - High speed flywheel	방산	- Ballistic impact와 Protection 기술 - 핵무기 및 폭약에 의한 파괴기술

를 바탕으로 그림 12와 같이 열-탄소성 FEM에 의하여 절삭 역학을 계산한 다음, 절삭 온도, 칩의 형상 등을 얻는다. 이것으로부터 칩이 파단되는지 여부와 칩이 파단되는 경우의 칩 형상을 예측한다. 그리고 절삭력, 칩 파단성, 공구마모, 공구파괴 신뢰성, 절삭 정확성, 절삭된 제품의 품질을 고려하여 공구성능 평가 및 고속 기계가공 성능을 예측한다.^[6]

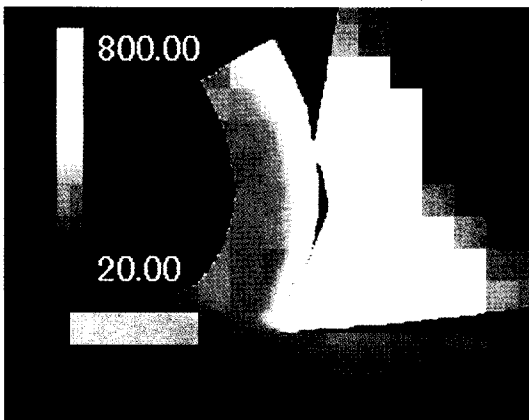


그림 12. 고속 기계가공의 해석

4. 외국의 주요 연구 현황

4.1 Euro-Crash

ECN(Ecole Centrale de Nantes)에 있는

Laboratoire Mécanique et Matériaux의 Euro Crash 실험실에는 SHPB 시험장치, 200kJ 용량의 Catapulte 및 그림 13의 1 MJ 용량의 Catapulte를 보유하여 고속 충돌 및 충돌시 구조물 및 부품의 동적 거동을 규명하고 각종 구조물 및 신소재 개발을 수행하고 있다. 그림 14는 차세대 철도차량용 구조물 및 신소재 개발을 위한 충돌 후의 시험편을 보이고 있다.

4.2 HICAS

HICAS(High Velocity Impact of Composite Aircraft Structure)는 유럽의 연구개발 계획으로서 목적은 복합재 비행기 구조의 고속충돌 응답에 대한 수치 예측 시뮬레이션 방법과 설계 방법론을 개발하는 것으로 세부 계획은 SHPB를 비롯한 여러 종류의 시험기를 이용하여 복합재 파괴 데이터의 데이터베이스를 구축하고, 변형률 속도 효과를 포함하는 기존 파괴 모델을 개선하며, 시험 및 시뮬레이션을 통해서 이런 모델을 산업에 유용하게 사용될 수 있도록 하는 것이다. 프로젝트 조함은 기체 및 엔진 제작자, 연구 수립 및 소프트웨어 전문가로 구성된다. 산업계는 복합재료 시스템을 지정하고, 구조물을 정의하며 충격시험을 수행하고, 연구기관 및 대학에서는 고속 변형률속도 시험, 복합재의 응력-변형률의



그림 13. 1 MJ 용량의 Catapult

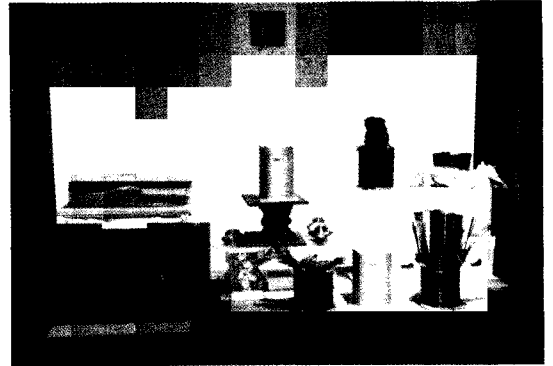


그림 14. 충돌시험 후의 시험편

모델링, 파괴거동을 연구한다. 또한 이 연구는 소프트웨어 전문가에 의한 상업 유한요소 프로그램으로 수행되는 새로운 변형률속도 의존 손상모델의 개발을 위한 기반을 제공한다.^[7]

주요 연구활동으로는

- 큰 변형률, 고변형률속도 하에서 선정된 항공기 복합재료의 기계적 특성을 측정하기 위한 절차 개발
- 400m/s 에 이르는 고속 충격하중 하에서 구조 복합재 및 첨단 복합재에 대한 재료 구성방정식의 개발
- 외연적 동적 유한요소 코드(PAM-CRASH, B2000 및 DYNA-3D)에서 고변형률속도 구성 재료 및 파괴 모델의 구현
- 이상적인 복합재 구조물에 대한 고속 충격 및 연구실 수준의 고변형률속도 시험을 모의시험하여 유한요소 방법론을 확인함.

4.3 Northwestern university

노스웨스턴 대학의 동적 비탄성 연구실의 시험실은 동적 연구를 위해 그림 15의 1인치 Kolsky bar, 그림 16의 3인치 가스총 및 광학 기기를 보유하고 있다. 가스총 시설은 발사체 속도가 최대 1000 m/sec를 갖도록 설계되었다. 5 Watt Verdi laser(Coherent Co.)와 최대 샘플링 속도 4 Gs/sec, 1 GHz bandwidth 및 8 MB 메모리를 가지는 2대의 오실로스코프(LeCroy 9384L, Tektronix TDS 520C2M)로 구성되어 있는 광학기기는 Multi-point laser interferometry를 사용할 수 있다. 파동전파 시험에서 자유표면 속도측정에 사용되는 간섭계는 Normal Velocity Interferometer(NVI), Transverse Displacement Interferometer(TDI), Variable Sensitivity Displacement Interferometer(VSDI), Fiber Optic

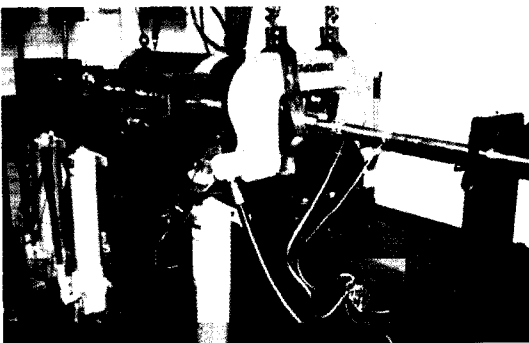


그림 15. Kolsky bar 시험장치



그림 16. 가스총의 평판충격 시험장치

Velocity Interferometer(VISAR) 등을 보유하고 있다. 고온 동적시험은 1400 °C까지 올릴 수 있는 Heat induction system(Lepel LSP 12-25-30, 25 KW)을 사용한다. -70 °C에 이르는 저온 시험은 특수 타겟 홀더와 액체질소의 순환을 이용하여 수행한다. 고속 8-CCD Cordin camera(1억 프레임/sec)는 동적 시험을 위해 사용된다.

주요 연구분야는 복합재의 동적 크랙전파 및 Visco-plasticity 모델링, 연성 및 취성 재료의 비탄성 응답을 모델링하기 위한 계산 코드 개발, 세라믹 등의 첨단 재료에 대한 미소역학 시뮬레이션, 발사체 관통에서의 에너지 소산 등에 대해서 연구하고 있다.^[8]

5. 결 론

지금까지 소개한 바와 같이 고속 충격시험장치를 이용한 응용 분야는 신소재 생산업체, 방산, 가전, 전자, 자동차, 철도차량, 항공 산업체에 기본적으로 필요한 기술이면서, 관련 제품의 성능 및 공정기술을 고급화 및 고도화하는데 필요로 하기 때문에 그 응용분야는 다양하다. 또한 고속회전체 산업설비분야 등의 안전도 설계, 일반적인 기계가공이 곤란한 분야의 기계적 가공, 탄도무기의 성능예측과 방탄 설계에도 응용할 수 있는 핵심기술이며, 전자제품의 내충격성 향상과 포장설계 기술향상 등에 다양하게 활용할 수 있는 핵심적인 기초 기술임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Rodney J. Clifton, "Response of materials under dynamic loading: Report from United States National Committee on Theoretical and Applied Mechanics", Int. J. of Solids and Structures, Elsevier, Pergamon, 37, pp. 105-113, 2000.
- [2] B. Langrand, P. Geoffroy J.-L. Petitniot, J. Fabis, "Identification technique of constitutive model parameters for crashworthiness modelling", Aerospace Science and Technology, no. 4, pp. 215-227, 1999.
- [3] Georgia Institute of Technology, The dynamic properties research laboratory, <http://diva.me.gatech.edu/index.shtml>.
- [4] Grady, D.E., "Shock-Wave Compression of Brittle Solids", Mechs. Matls, 29, pp. 181-203, 1998.
- [5] J.W. Tedesco, C.A. Ross, "Strain Rate Dependent Constitutive Equations for Concrete", Trans. of the ASME, vol. 120, pp. 398-405, 1998.
- [6] Tokyo Institute of Technology, Oblikawa Laboratory, <http://jenny.mes.titech.ac.jp/index.html>.
- [7] HICAS Project Homepage, <http://home.t-online.de/home/07131910742-0001/hicas.htm>.
- [8] Northwestern University, Dynamic Inelasticity Laboratory, <http://clifton.mech.nmu.edu/~espinosa/>.