



# 재료 및 파괴 부문



이 글에서는 원전기기 평가, 계산역학, 피로강도 평가, 탄소성 파괴역학, 용접부 평가, 실험역학, 전자파키지, MEMS & Nano 신뢰성, 동적거동 등 재료 및 파괴 분야의 2003년도 한 해 동안의 연구 동향에 대해 소개한다.

글 · 권재도 부문위원장(영남대학교, 교수)  
e-mail · jdkwon@yu.ac.kr

## 원전기기 평가

원전기기 평가 분야의 전체적인 평가 대상은 배관, 압력용기, 압력관, 증기발생기 세관, 핵연료봉 등에 대한 기기 평가가 이루어졌으며, 배관이 40% 정도를 점유하고 있고, 압력관 및 연료봉에 관한 평가가 각각 20%씩을 차지하고 있다. 산업계와 연구소에서 각각 절반 정도의 논문을 발표하였으며, 2002년에 비해 학계에서 적극적으로 산업에 적용에 관심을 기울인 것으로 분석된다. 발표된 내용 중 중요한 것을 요약해 보면 다음과 같다. 원자력 분야에서 특수하게 사용되는 재료인 지르코늄 합금에 대하여 상온에서 수소취화에 따른 파괴인성시험을 수행하여 압력관 파괴인성 취화 특성에 석출된 수소화합물이 끼치는 영향과 원인을 규명하여 새로운 취화 판단 기준을 오동준, 부명환, 김영석 등이 제시하였고, 윤기봉, 박태규, 김영석 등은 압력관의 휘어진 CT 시편으로 측정된 J-저항곡선의 정확도에 대하여 연구하였다. 원전 배관 손상은 균열, 감육 및 구조 건전성 평가 등의 부분으로 분류할 수 있는데 2003년에는 상이한 세 기관에서 감육배관에 대한 연구결과를 발표하였다. 심도준, 임환, 최재봉, 김영진, 김진원, 박치용 등은 내압과 굽힘 모멘트가 동시에 작용하는 경우에 감육손상 형상, 감육부 응력상태 및 내압 등의 인자가 최대굽힘모멘트에 미치는 영향을 유한요소해석을 통해 예측하고 실험결과와 비교 검증하였으며, 안석환, 남기우, 김선진, 김진환, 김현수, 도재운 등은 배관 외부 감육부를 가공하여 굽힘하중이 작용하는 경우에 감육형상 및 감육량이 배관 강도 및 손상 모드에 미치는 영향을 실험으로 관찰하고 감육배관의 허용한계에 대해 조사하였다. 또한, 감육배관에 대한 건전성 평가방법 및 허용 두

께 기준 확립을 위한 선행연구로 배관배부에 노치형 감육부를 만들어 일정한 내압에서 굽힘 반복하중을 가한 실험을 수행하고서 실험 결과로부터 감육형상에 따른 손상 모드, 하중지지능력, 변형 수용능력 및 피로수명 평가 등의 연구결과가 김진원, 박치용 등에 의해 발표되었다. 김종성, 이승진, 진태은, 권순만 등은 스테인리스 316강인 배관에서 용접시 발생하는 고열에 의한 기계 및 재료적인 거동변화를 관찰하기 위한 선행연구로서 용접부 주변의 온도분포에 대한 이론식을 개발하고 상용코드와 비교하여 유용성을 확인하였다. 이영제, 임민규, 오세두 등은 증기발생기 세관 재질인 Alloy 690 재료의 마찰 및 마멸 특성을 파악하기 위해 상온의 공기와 물 분위기에서 프레팅 실험을 통한 연구 결과를 발표하였다. 고온에서의 마찰 및 마멸 특성 변화, 온도에 의한 영향 변화, 마멸 기구 분석을 위한 실험 등 추가적으로 활발한 연구가 기대된다. 가압열충격 발생시 원자로 용기의 손상 가능성을 확률론적 파괴역학 해석으로 수행한 일련의 논문이 2003년에는 잔류응력 및 파괴인성 특성의 영향에 대하여 평가한 연구결과가 정성규, 진태은, 정명조, 최영환 등에 의해 발표되었다. 배봉국, 송춘호, 석창성 등은 핵연료 피복관의 파괴 특성을 조사하기 위한 기초연구로서 재료 가공과 인장 방향에 따른 강도 특성 영향을 파악하기 위한 실험연구를 수행하였고, 최명환, 강홍석, 윤경호, 김형규, 송기남 등은 두 가지 경우의 핵연료 지지격자에 대한 핵연료봉 지지 성능을 비교하기 위한 진동 실험을 수행하고 유한요소해석과 비교분석한 결과를 발표하였다.

전체적으로 원전기기평가의 방향은 해석적 접근과 함께 실험 데이터를 기반으로 한 연구가 대부분을 차지하고 있는 것은 고무적인 현상이며, 대상기기도



다양해지고 있는 추세이다. 현장 적용성이 높은 연구가 주류를 이루고 있음에도 불구하고, 원전기기에 대한 건전성 평가는 현장 적용 실례가 부재하며, 실제 기기평가 사례 분석에 대한 연구가 향후 더욱 활발히 수행되어야 할 여지가 있음도 볼 수 있고, 새로운 타 기술 분야와의 창의적 접목에 대한 노력도 이루어져야 할 것이다. [박치용, 한전 전력연구원]

## 계산역학

우선 응력강도계수(응력확대계수) 관련 연구들에 대하여 살펴보면, 원형 개재물과 균열들 간의 상호작용(이새봄, 최승태, 엄윤용, 정대철), 패칭으로 보수된 균열의 가중함수를 사용한 해석(김종호, 홍성구, 이순복), 전기장을 받는 강유전체 세라믹재료 내 균열(정경문, 범현규), 면외 진단을 받는 압전재료 띠에 존재하는 균열(신정우, 김태욱), 선형점탄성체 내의 균열에서의 변형에너지 방출률(박명규, 이상순, 서창민), 구름마찰 접촉하중을 받는 polyethylene tibia에 존재하는 표면균열(김병수, 문병영), 직교이방성 판 내의 다중 곡선균열(김만원, 박재학) 등이 있다.

사용된 균열 해석법들은 전통적인 복소응력함수를 사용하는 해석적인 방법과 함께, 유한요소법, 유한요소 교호법, 경계요소법, 경계배치법 등이 사용되었고, 새로운 해석 방법에 대한 연구로 메쉬리스법에서의 수치적분(조진연, 지영범), 혼합 체적-경계적분방정식법(이정기, 이형민) 등을 들 수 있다.

계면균열에 대한 논문이 비교적 많이 발표되었는데, 등속 진전하는 이방성 이중재 접합 계면균열(조상봉, 김진광, 유병국), 비균질성 경계역을 가진 접합된 재료에 임의 방향으로 존재하는 균열(정용문, 김철, 최형집), 항복강도가 불일치 하는 경우의 반타원 계면균열 선단에서의 응력장(최승, 이형일), 계면균열을 가진 연성접합체의 소성영역 크기(김동학, 강기주) 등의 연구들이다.

유한요소법을 사용한 응용성이 높은 연구로는 용접구조물의 잔류응력 해석절차(김종성, 진태은), 용접구조물의 피로설계를 위한 해석(김종성, 진태은), 감속배관의 파단(심도준, 최재봉, 김영진, 김진원,

박치용), 휘어진 CT시편으로 측정된 J 저항곡선의 정확도(윤기봉, 박태규, 김영석), 되풀이 소성영역 크기를 이용한 피로균열 단함 거동(최현창), 압력용기 스택트 암나사산의 건전성 평가(김문영, 정남용) 등의 연구가 보인다.

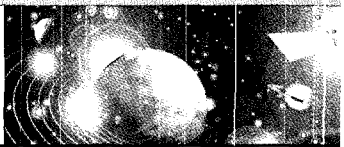
그밖에 탄소성 변형을 하고 모드 II의 하중을 받는 균열의 고유응력장을 구하는 문제(전인수, 이용우, 임세영), V 노치 균열의 응력장과 경계배치법에 의한 파괴변수 해석(배정배, 최성렬) 등이 있다.

비탄성 재료의 해석에 관한 연구로는 선형점탄성체가 고려되었고, 비선형 이동경화를 고려한 점소성 재료(윤삼손, 이순복), 시간적분형 운동방정식에 근거한 동점탄성 재료(심우진, 이성희), 정확한 비선형 파괴역학 해석을 위한 Ramberg-Osgood 상수 결정법(허남수, 김윤재, 김영진, 최영환, 양준석) 등이 있다. [박재학, 충북대학교]

## 피로 강도 평가

2003년도에는 기계부품의 피로 수명 평가와 관련된 다양한 연구가 수행되었다. 먼저 잔류응력이 피로 수명에 미치는 영향 평가와 관련하여 한승호 등이 잔류응력 이완이 피로수명 평가에 미치는 영향 그리고 박경동 등은 잔류응력이 피로균열 진전 거동에 미치는 영향을 연구하였고 김종성 등은 용접구조물의 피로 설계를 위한 통합피로선도를 제시하였다. 송삼홍 등은 AIGFRP 적층재에 대해 미시구조, 하중형태(복합하중) 그리고 응력집중이 피로 거동에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하여 다수의 논문을 발표하였다. 프레팅 피로 분야에서는 크롬강의 열화가 피로거동에 미치는 영향(권재도 등), 균열 발생 위치 및 진전 방향 예측(허용학 등), 구름 마찰 접촉하중 시 피로 평가(김병수 등)와 같은 세 편의 논문이 발표되었고, 이 외 확률론적 피로 평가 해석(정현철 등), 균열단함 거동의 유한요소 해석(최현창), 랜덤하중하의 피로 평가(이학주 등, 김상태 등)과 같은 다양한 연구가 수행되었다.

피로 수명평가는 산업설비 및 기계부품의 신뢰성 평가에 중요한 분야라는 점을 감안하면 2004년도에는 더 많은 연구 결과가 발표되었으면 한다. [김윤



재, 고려대학교]

## 탄소성 파괴역학

2003년도에 발표된 논문 중 탄소성 파괴역학에 관련된 많은 논문은 원전 기기 건전성 평가와 관련된 논문으로 원전기기 평가분야에 정리되어 있다. 그 이외의 논문을 정리해 보면 다음과 같다. 먼저 균열 배관 평가와 관련해서는 3차원 유한요소 극한 해석을 통해 다양한 형태의 균열 형상과 하중 형태에 대해 극한 하중이 제시되었고(심도준 등), 참조응력법에 입각한 새로운 J-적분 평가식도 제시되었다(허남수 등, 심도준 등). 가장 활발히 연구된 분야는 구속 효과와 관련된 연구로서 김현중 등이 균열 진전 시 실험적으로 구속효과를 정량화하는 A2변수를 측정하는 연구를 수행하였고, 계면균열 선단의 구속 상태에 관한 연구(이형일 등)와 소성역 크기 평가에 관한 연구(김동학 등)가 수행되었다. 또한 김진수 등은 비표준 시편의 J-시험법 및 구속 상태를 유한요소 해석을 통해 제시하였다. [김운재, 고려대학교]

## 용접부 평가

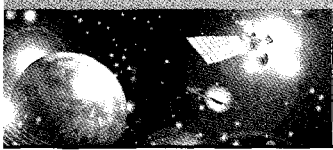
용접부 평가에 관한 2003년도 연구는 용접 특성, 잔류응력 해석, 용접강관의 손상으로 나눌 수가 있다. 사용온도가 점점 높아가는 보일러 설비의 열효율을 높이기 위하여 Mn-Ni-Mo계 강재의 합금설계와 용접성을 규명하였으며, 부식환경에 적용할 구조용강의 용접결함 발생기구의 규명과 대안이 제시하였다. Nd:YAG 레이저를 이용한 SM45C용접의 최적 공정변수를 도출하기 위한 연구 및 이종재의 맞대기 용접 특성을 비교 연구 되었다. 또한, 저합금강과 오스테나이트 스테인리스강의 버터링 이종 용접부에서 계면 및 기계적 특성을 고찰하고, 강도에 미치는 영향을 검토하였으며, 용접구조물의 피로 설계를 위한 유한요소 해석과 통합 피로선도 초안이 개발되었으며, 원자력 발전소에 사용되는 저방사화 페라이트강의 고온강도와 피로수명 특성 연구 등 다양한 연구 결과가 제시하였다. 자동차용 연료 탱크의 용

접부를 모의한 용접특성을 규명하여 설계의 기초 자료를 제공하고, TIG용접된 오스테나이트계 SS강의 파괴인성 조사와 접합부재의 계면균열에 대한 파괴인성 평가 방법을 제시하였다. 상용 유한요소해석 프로그램인 'ABAQUS'와 'ANSYS'를 사용하여 용접부의 잔류응력분포 해석과 변화를 파악하였고, 용접결함의 형상인식을 위한 특징을 추출하여 잔류수명의 예측과 안전성 문제를 해결하기 위한 연구가 있었다. 용접공정에서 발생하는 변태 소성을 수치적으로 구성방정식을 구현함으로써 잔류응력을 정확하게 계산하도록 하였다. 그리고 용접 구조물의 사용중 적합성을 평가하기 위한 잔류응력 해석 절차법이 개발되었다. 고압 환경하에서 고속의 액체나 증기류에 의한 erosion-corrosion에 의하여 감육이 발생한 에너지 관련 플랜트 배관계를 고려하여 용접부와 모재부의 손상모드와 강도를 비교·검토하였으며, ERW 탄소 강관 용접부의 손상에 관한 연구가 있었다. SS316강관 용접부의 이론적 온도해석을 실시하여 설계에 응용하고자 하였다.

상기와 같이 용접부의 평가에 대한 우수한 연구가 수행되어 좋은 결과가 도출되고 있으므로, 용접구조물의 안전설계와 건전성 평가에 기대감을 가지게 한다. [남기우, 부경대학교]

## 실험역학

원자력 발전소 등 대형 설비의 파괴역학적 거동의 중요성에 따라 이와 관련된 소재시험에 관한 연구가 올해에도 활발히 진행되었다. 전열관의 복합균열 파열압력시험, 핵연료 피복관의 링형 시험편을 이용한 원주방향의 인장특성평가방법, 압력관에서의 지체균열전파 시험, 핵연료 지지 격자의 기계적 성능 시험, CANDU Zr-2.5Nb 압력관에 장입된 수소량이 K1H에 미치는 영향, CANDU Zr-2.5Nb 압력관에서 수소화물의 재석출 거동, 경수로 원전 가압기 밀림배관의 저주기 피로수명 및 파괴특성 평가 등에 관한 연구가 이루어졌다. 배관 계통으로는 고온수화학 조건에서 주냉각 배관재의 부식피로특성, 원전구조재 TP316 스테인리스강의 NSW모델에 의한 크리프 균열성장속도 평가, 수정 하중비법을 이용한 배관



시험편의 균열길이 계산, SDSP 방법과 디지털 화상 관련법을 이용한 SA106 Gr.C 파괴시험편의 측면 함몰 측정 등의 연구가 진행되었다. 이들 연구를 분석해보면, 작동 환경과 균열의 크기 및 형상에 따라 재료의 거동을 분석하기 위하여 기존 시험기에서 얻을 수 있는 하중-변위에서의 관계에 대한 해석 및 고찰, 화상 정보 및 여러 측정기기를 수반한 해석 등으로 나뉘어진다.

미시/나노 스케일과 관련된 실험으로는 나노인텐테이션을 이용한 구리박막의 탄성계수 평가, NiTi 형상기억박막의 열기계적 물성 연구, 박막구조의 잔류응력 평가 등의 연구가 진행되었다. MEMS나 nano-scale의 부품에 대한 기본 물성치 특히 반도체의 연구 활성화에 따른 박막 구조의 물성 평가에 대한 연구가 많이 진행되었다. [석창성, 성균관대학교]

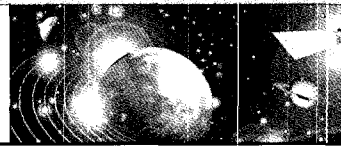
## 전자패키징

전자 패키징은 반도체 소자, 저항체, 축전체 등을 둘러싼 전기 하드웨어 구조물을 일컬으며, 전력 공급 및 신호의 분산, 회로의 보호, 열 발산 등의 목적으로 회로의 실장에서부터 최종 상품화에 이르기까지의 제작되어진 거의 모든 제품 외형을 아우른다. 지난 수 십년 간 눈부시게 발전해온 반도체, 통신, 사무 자동화 기기, 가전 제품 등 전자 제품기술에 발맞추어 전자 패키징 기술 역시 소형화, 직접화, 다기능화의 시장 요구에 끊임없이 직면해 왔으며, 많은 기술 개발이 이루어져 왔다. 현재 반도체의 전자 패키징 기술은 1세대 표면실장형 반도체 패키징에서 마이크로 BGA, 웨이퍼레벨 CSP, ACF/NCF, 그리고 MCM 등의 개발로 가속화를 늦추지 않고 있으며 기존의 Sn-Pb 소더를 비납소더로 대체하여 환경친화적 기술 요구에 대응하고 있다.

2003년 주된 연구 초점은 무연 소더의 기계적 신뢰성 평가와, 플립 칩 소더 접합부의 신뢰성 향상이 주를 이루고 있으며 칩크기 패키지(CSP, Chip Size Package), 필름형 패키지[ACF/NCA (Anisotropic Conductive Film/Non Conductive Adhesive), SIP(System in

Package)]와 같은 차세대형 패키지의 기계적 신뢰성에 관련된 연구도 활발히 수행되었다. 예로 무연 소더의 크리프 특성 및 저주기 피로(이순복, 한국과학기술원), Sn 기반의 무연 소더의 크리프 특성 평가[유진(한국과학기술원) 이택영(한밭대학교)], 무연 소더 미세 조직 및 접합계면의 특성 평가[이혁모(한국과학기술원)], 소더 범프와 금속 패드 사이에 형성되는 금속간 화합물이 파손에 미치는 영향분석[김영호(한양대학교)], 무연 소더의 Electromigration에 의한 신뢰성 평가[오태성(홍익대학교)] 등이 각각 연구되고 있다. 또한 박막구조의 점탄성을 고려한 박막의 휨, 박막 응력(film stress), 계면 해석에 관한 연구[엄윤용(한국과학기술원)], BGA 패키지의 모아레 간섭계를 이용한 열변형 해석에 관한 연구들[주진원(충북대학교), 이순복(한국과학기술원)] 등에 의해 보고 되었다.

외국의 경우, 미국 조지아 공대의 패키지 연구 센터(PRC), 미국 매릴랜드 대학의 CALCE EPSC, 싱가포르 진틱기술원 등 세계 각지에서 전자 패키지 신뢰성과 관련된 연구 개발 및 표준화 작업이 진행중이며 ASME나 IEEE에서 주관하는 InterPACK, ECTC, EMAP 등과 같은 국제 학회를 통해 연구 성과와 비전을 활발히 공유하고 있다. 국내에서는 전자 패키지의 기계적 신뢰성 연구와 관련되어 KAIST CARE의 '전자 패키지 신뢰성 평가 기술'(NRL), CEPM의 4총괄 과제인 '전자 패키지의 기계적/열적 신뢰성 평가 기술 연구'(ERC) 등의 연구 과제가 수행되어 기계적 신뢰성 평가 기준 확립과 전문가 시스템 개발 등에 주력하고 있고 학술적인 가치가 있는 결과물들을 지속적으로 발표하고 웹 서비스를 통해 제공하고 있다. 그 밖에도 이러한 결과물들이 산업체에 즉시 적용될 수 있도록 KAIST CARE에서 개최하는 '전자 패키지의 신뢰성 평가 기술' 단기강좌, 전자패키지 연구센터(CEPM)에서 주관하는 'CEPM 정기 세미나', '외국인사 초청 강연' 등이 정기적으로 열려 기술이전과 기술지원을 유도하고 있으며 IMAPS-Korea에서도 주기적으로 신뢰성 관련 강좌를 개최하여 이 분야를 배우고자 하는 연구자들을 위한 교육의 장을 마련하고 있다. [이순복, KAIST]



## MEMS & Nano 신뢰성

1990년대 초반 국내에서 연구를 시작한 MEMS는 반도체 일괄공정으로 제작된 기계/전자 요소를 하나의 chip에 집적시킨 복합융합 기술의 산물이다. 그런데 제2의 실리콘 혁명이라는 MEMS의 실용화를 가로 막고 있는 가장 큰 요인 중의 하나가 신뢰성 기술이다. 반도체 등 전자제품에 이용되는 기술은 주로 전기공학 기술로서 평면적인 기술인데 비해서 MEMS는 전기, 기계, 광학 등 여러 가지 기술의 융합을 필요로 한다. 따라서 이미 확보된 전자제품 또는 기계 부품의 신뢰성 기술만으로는 MEMS 제품의 신뢰성을 확보할 수 없다. MEMS에서의 신뢰성 문제는 단순히 전자제품과 기계부품의 산술적인 합보다 훨씬 다양한 문제이다.

이에 따라, 국내에서도 기업체, 국가 연구소, 대학 등에서 MEMS 및 Nano의 신뢰성 분야에 대한 연구가 점점 활발해지고 있는 추세이다. 2003년도는 MEMS & Nano 신뢰성 분야에 대한 연구의 저변이 확대되어 연구 결과를 발표하는 분야도 다양해졌고, 연구자의 수도 늘어난 한 해였다. 기계학회 전체 또는 부문 학술대회에서 세션이 계속 만들어져 연구의 수준 또한 세계적인 수준에 도달되어 가고 있다. 이와 더불어 산학연 연구회도 2년 연속 활동함으로써 토론 내용이 점점 깊어지고, 주제 또한 다양해지고 있음을 연구회 보고서를 통해서 알 수 있었다. 또한 기업에서 현실적으로 직면하고 있는 문제를 가지고 토론함으로써 연구회의 토론이 점점 활발해지고 있음을 연구회 보고서를 통해서 알 수 있었다.

2003년도 MEMS & Nano 신뢰성 분야에 발표된 논문은 KSME International Journal에 4편, 학회 논문집에 1편, 학술 대회 19편이었다. 구체적인 연구 분야를 살펴보면, 잔류응력, 나노압입, 측정센서, 재료물성측정, 신뢰성 시험, 해석, 미세조직 등이다. 잔류응력 분야에는, 임영태 등의 논문 1편이, 나노압입 분야에는 6편의 논문이 발표되었다. 특히 나노압입 분야는 프론티어 사업인 나노메카트로닉스 기술 개발 사업의 재료물성분야에서 활발한 투자의 결과로써 괄목할 만한 연구 결과가 나온 것으로 판단된다. 측정센서 분야에는 2편, 재료물성측정 분야에

는 7편의 논문이 발표되었다. 재료물성측정분야는 2002년도에 이어 가장 많은 수의 논문이 발표되어 많은 연구자들이 관심을 지닌 분야라고 생각된다. 신뢰성 시험 분야에는 2편이, 해석 분야에는 4편이 발표되었고 미세조직 분야에는 2편의 논문이 발표되었다. 특히 미세조직과 재료의 마이크로 물성과의 연관성을 다루었다는 점에서 흥미를 끌었다.

또한 2년째 활동을 하고 있는 'Nano 및 MEMS 신뢰성 연구회'라는 산학연 연구회는 총 4회의 세미나를 각 지역에서 개최함으로써 이 분야의 연구 인력 간의 정보 교류를 통한 연구 저변확대를 하는 데 일조를 하였다. 이 연구회를 통하여 총 14편 연구 주제를 놓고 토론이 이루어졌다. 특히 나노메카트로닉스 기술 개발 사업과 공동으로 '제2회 나노구조재료 역학적 특성 워크샵'을 개최하여 총 16편의 논문이 발표되는 등 많은 연구자들이 참석하여 연구 교류를 할 수 있는 장을 만들었다.

이와 같이 2003년도는 MEMS 및 나노 분야에서의 신뢰성 연구에 대한 높은 관심과 더불어 다양한 분야, 깊이 있는 연구가 이루어진 의미있는 한 해였다. [박준협, 동명정보대]

## 동적거동

2003년도에 수행된 재료의 동적거동에 관한 연구는, 크게 취성재료에서 충격손상 거동, 벌크아몰퍼스합금의 동적변형 및 동적파괴거동, 금속재료의 동적 변형거동, 그리고 적층재의 저속충격, 고속충격에 따른 손상 및 최적설계와 관련된 연구로 나눌 수 있다. 다른 분야에 비하여 보고의 수가 많지 않지만, 꾸준하면서 다양한 변형률 속도 범위의 연구가 수행되어 오고 있다고 하겠다.

먼저 고속충격에 대한 방탄 특성 확립과 관련하여, Ti/Al 적층재와 하이브리드 복합재료에서 양극산화피막법에 의해 경화처리한 알루미늄 합금판/FRP적층재에 대한 관통거동에 대한 연구가 보고되었다. 한편 고속충돌과 관련한 대변형을 포함한 비선형 해석이 주로 군사적 응용 목적으로 행해져 왔다. 최근 우주왕복선, 초고속항공기 제작과 같은 민간산업분야로 확장하기 위해 경제적인 해석법의 사



용이 필요하게 되었다. 그러한 측면에서 다중판재의 고속충돌시 최적설계, 운석의 초고속 충돌 관통 현상 해석과 같은 시도는 충격현상의 응용분야 확대라는 측면에서 매우 의의가 크다. 또한 한국형 철도차량의 고속화에 따른 차량설계와 관련된 구조안전성 평가에 관해서도 보고되었다.

재료의 동적거동에 관한 연구로는, 변형률 속도 의존성을 파악하기 위하여, SHPB를 이용한  $10^3/s$ 의 변형률 속도 범위에서 CP-Ti, 황동과 쾌삭황동의 동적변형거동에 관한 연구가 수행되었다. 한편 벌크아몰퍼스금속(BAM)이 높은 강도 및 파괴인성, 우수한 내 마모성과 내식성을 나타냄에 따라, 구조용 부재로 적용하기 위해 동적 변형거동, 충격파괴시의 전단파 발생거동, 고온변형에 미치는 변형률 속도 의존성 등의 연구가 진행되었다. 이때 긴 봉을

사용하는 간단한 계장화 충격장치로 충격손상 거동의 정량적 평가는 의미가 있다고 생각된다. 유리와 세라믹 등 취성재에서 입자 충격 손상거동에 관련하여, 볼 충격을 받는 유리에 내부손상으로서 콘크랙 형성의 임계조건을 규명하여 응용하고자 하였다.

최근 산업의 다양한 분야에서 적층재가 널리 적용되면서, 섬유방향에 수직인 방향의 강도가 낮아 충격에 취약한 FRP의 단점을 보완할 수 있는 섬유금속적층판(FML)이 개발되어, 섬유의 적층각과 금속판의 특성에 따른 섬유금속적층판의 충격손상거동 및 충격손상에 따른 잔류강도를 평가에 관한 연구가 진행되어 오고 있다. 한편 직교이방성체 내의 균열 진전과 관련해, 동적 광탄성 하이브리드 실험법의 개발을 통하여 선단 응력장과 동적응력확대계수를 구하고자 하였다. [신형섭, 안동대학교]

### 스윙러각(Swirl Angle)

노즐 내부의 스윙러의 유입구를 따라 유체가 흘러 들어갈 때 스윙러의 수직중심축과 유입구가 이루는 각도를 말한다.

### 스윙실 형상비(Swirl Chamber Aspect Ratio)

노즐 내부의 스윙실에서 스윙실 지름에 대한 스윙실 길이의 비를 말한다.

### 에칭계수(Etching Factor)

에칭시 언더컷(Undercut) 또는 사이드 에칭(Side Etching)에 대한 수직방향으로의 에칭된 깊이를 나타내는 계수는 말한다.

### 와도 재분배(Vorticity Redistribution)

입자와법(Vortex Particle Method)을 이용한 유동장의 해석에 있어서 입자 강도 교환법(PSE : Particle Strength Exchange)에 의해 점성 확산항을 모사할 때, 대류속도에 의해 불규칙해 지는 입자간 간격으로 인해 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위하여, 적절한 시간 간격마다 미리 지정된 위치에 적절한 강도값을 가지는 입자와로 다시 표현하는 과정을 말한다.