

## 재 료 및 파 괴 부 문

이 글에서는 원전기기 평가분야, 전자 패키징 신뢰성 분야, 계산역학 분야, MEMS & NANO 신뢰성 분야, 동적거동, 파괴 및 피로, 신뢰성공학 등 재료 및 파괴 분야의 2004년도 한 해 동안의 연구 동향에 대해 소개한다.

황 재 석 부문회장(영남대학교, 교수)

e-mail : jshawong@yu.ac.kr

### 원전기기 평가 분야

원전기기 평가분야의 분석대상은 원전에서 배관, 압력용기, 압력관, 증기발생기 세관, 기기열화 등이며, 기기별로 분석해 보면 배관이 30% 정도를 점유하고 있고, 압력관 및 압력용기에 관한 평가가 30%를 차지하고 있다. 주 수행기관 측면에서는 학계에서 50%, 연구소 및 산업계에서 각각 30% 및 20% 정도를 발표하여, 2003년보다 학계에서 활발한 발표를 행하였다. 특히 산학 또는 학연이 연계된 논문이 전체의 75%를 차지하고 있어 원전기기 평가 분야 연구는 산업계 및 연구계에서의 문제 정의와 함께 이를 해결하려는 학계의 시도로 인해 발전하고 있는 양상을 보인다. 발표된 내용중 중요한 것을 요약해 보면 다음과 같다. 원자력 분야에서 특수하게 사용되는 재료인 지르코늄 합금에 블러스터 성장에 측을 위하여 유한요소법에 의해 수소확산 예측(허남수, 김윤재, 김영진, 김영석, 정웅)이 연구되었고, 파손평가선도를 이용한 압력관 결함의 확률론적 건전성 평가(곽상록, 왕종배, 박운원, 이준성)가 수행되어 파단전누설개념 적용의 타당성을 입증하였으며, 증수로 압력관의 수화물이 LBB평가에 미치는 영향(오동준, 김영석)을 인장 및 파괴인성 실험을 통하여 분석하였고, 압력관 재질에서 수소지연파괴(DHC)와 줄무늬선 간격 관계를 분석(최승준, 안상복, 박순삼, 최영석)하여 수소확산 속도 및 수소 농도구배는 각각 온도와 항복강도에 의해 지배 받음을 규명하였다. 증기발생기 전열관에 대한 연구로는 T-형 복합

균열에 대한 파열실험 및 해석(신규인, 박재학, 김홍덕, 정한섭, 최영환)을 통해 파열압력을 추정하는 방법을 제시하였고, 관통균열이 존재하는 증기발생기 전열관의 파열압력 평가(김현수, 김종성, 진태은, 김홍덕, 정한섭)를 수행하여 직관 및 곡관에서 축방향 및 원주방향 관통균열에 대한 파열압력 예측식을 제시하였으며, 축방향의 다중관통균열이 존재하는 전열관 평가법(문성인, 장윤석, 김영진, 이진호, 송명호, 최영환)이 제시되기도 하였다. 배관에 대한 연구로는 흰 광폭평판 시험을 이용하여 파괴거동을 예측(허남수, 김윤재, 최재봉, 김영진, 임혁순, 정대울)하는 새로운 방법론이 제시되었고, 엘보 배관에서 붕괴모멘트에 미치는 국부감육결함의 영향(김진원, 김태순, 박치용)이 유한요소해석을 통해 감육결함의 형상, 곡관의 곡률반경, 결함 위치 등의 인자에 대한 영향을 체계적으로 분석하여 건전성 평가 기반을 확보하였고, 국부감육배관에 대한 응력집중계수(손범구, 김윤재, 김영진)를 다양한 유한요소해석을 통해 제안하기도 하였으며, 공학적 파단전누설해석을 위한 균열열림 변위 계산(허남수, 김윤재, 장윤석, 최재봉, 양준석) 방법이 새롭게 제시되기도 하였다. 원전가동 연수가 길어짐에 따른 재료의 열화 현상에 대한 연구 또한 2003년에 이어 활발히 발표되었는데, 2상 주조 스테인리스강의 열화로 인한 2축 피로수명의 변화와 예측(권재도, 박중철) 실험을 수행하여 열화관련 유용한 데이터를 생산하였고, 주조 스테인리스강의 열취화 민감도를 인경신경망(김철, 박홍배, 진태은, 정일석)을 이용하여 평가하는 방법론을 제시하고

국내 배관에 대해 적용하여 열취화 민감도를 평가한 바 있다. 또한, 배관재인 CF8M과 압력용기 재질인 SA508 이중 용접재의 열화거동과 기계적 특성(권재도, 우승환, 최영환) 실험을 수행하여 열화에 따른 기계적 특성을 분석하였다. 이외에도 원전1차 계통 주요기기에 대한 웹기반 피로수명 평가시스템이 개발(서형원, 이상민, 최재봉, 김영진, 최성남, 장기상, 홍승열)되어 보고되었고, 가압열충격에 의한 원자로 압력용기의 파손확률에 미치는 해석변수의 영향(장창희, 정명조, 강석철, 최영환)을 분석하여 확률론적 파괴역학 해석시 변수에 대한 신중한 고려가 필요함을 확인하기도 하였다.

전체적으로 원전기기평가의 방향은 해석적 접근과 함께 실험 Data를 기반으로 한 연구가 60%를 차지하고 있는 것은 고무적인 현상이다. 다만 평가 대상기기가 2003년도와 유사한 범위를 가지는 것은 원전에서의 재료파괴적 대상이 한정되어 있음을 의미하기도 한다. 전체적인 연구 방향이 산업계 문제를 근원적으로 해결 시도하고자 하는 깊이 있는 연구가 주류를 이루고 있는 현상은 재료 및 파괴분야에서 실질적인 산학연 협력이 이루어지고 있음을 대변하는 것으로 분석할 수 있는 한 해였다. [박치용, 한전전력연구원]

### 전자 패키징 신뢰성 분야

기술의 다변화, 정밀화, 첨단화에 발맞추어 증진되고 있는 사회 전반의 정보기술력(IT:Information Technology)은 반도체 산업의 발전과 더불어 더 많은 양의 정보를 경박단소화된 제품에 넣고자 하는 소비자의 요구를 증폭시켰다. 더불어 휴대용 전자기기기능의 향상과 다양화에 따라 더 많은 반도체 소자를 보다 작은 전자제품 안에 집적하기 위해 MCP(Multi Chip Package), MSP(Multi Stack Package), SIP(System in Package), SOC(System on Package)와 같이 새롭고 복잡한 형태의 전자 패키지 구조가 양산에 적용되고 있다. 이러한 다양한 전자 패키지 개발은 기존에 대두되지 않았던 새로운 형태의 기계적 신뢰성 문제를 야

기시키고 있고, 현재 산업현장 전반에서는 빠른 시장 요구와 무결점(zero defect)에 대응하기 위한 더욱 효과적인 신뢰성 평가 기법의 개발을 요구하고 있다. 전자 패키지에서 발생하는 기계적 파손의 유형은 반복적 열응력에 의한 소더 조인트의 피로파손, 열변형에 의한 접합부의 층간 분리, 접착 계면에서의 균열 발생과 진전, 습기에 의한 다이 및 패키지 파손 등이며 설계단계부터 파괴역학 및 피로강도 해석기술을 고려하여 기계적 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다. 전자 패키지의 구조적 신뢰성을 향상시키기 위해서는 상기된 파손 양상을 유발하는 파손 기구를 명확히 이해하고 해석, 실험, 그리고 평가 기법을 통하여 이를 대변할 수 있는 파손 인자를 정확하게 모사하는 일이 중요하다. 최근의 전자 패키지에 대한 주된 연구는 SOC에 비해 상대적으로 개발 기간이 짧고 비용이 적게 들며 기능 확장이 용이한 SIP의 효과적인 구현과 기계적 신뢰성 평가/향상에 초점이 맞추어져 있고, 이와 더불어 마이크로 BGA, 웨이퍼 레벨 CSP, Flip chip 그리고 필름 형태의 접합 방식인 ACF/NCF 에 관한 연구등이 활발히 진행되고 있다. 기존의 Sn-Pb 소더를 비납소더로 대체하여 환경친화적 기술 요구에 대응하고 있고, 이를 위해 다양한 비납소더 재료에 대하여 물성측정, 피로-크리프 실험, 계면 파괴 인성 실험 등을 수행하고 있다. 기존의 패키지 연구는 재료의 열팽창계수 차이에 의해 유발되는 열응력이 주된 관심사였지만, 근래 들어 패키지의 공간활용률과 휴대용 전자기기의 보급률 증가에 따른 칩과 보드의 두께가 점점 얇아지면서 충격과 굽힘 응력에 대한 거동 평가가 관심사안으로 떠오르고 있다. 또한 패키지의 크기가 작아짐에 따라 측정 장비의 분해능을 향상시키기 위한 연구들도 활발히 이루어지고 있다. 기존에 변형량 측정을 위해 사용되던 He-Ne 레이저를 이용한 moire 간섭기를 UV 광원을 이용해 수 nm까지 분해능을 향상시킨 UV moire, 면내변위(in-plane displacement)와 면외변위(out-of-plane displacement) 측정이 모두 가능한 ESPI, 3차원 형상의 변형량을 동시에 측정할 수 있는 3D 간섭계 등을 이용하여 패키지의 휨 및 변형 양상을 평가

하는 연구들이 증가 추이를 보이고 있다. 또한 필름 형태의 패키지 재료의 물성치 측정, 접합강도 측정 그리고 열응력 거동을 평가하기 위하여 nano indenter와 AFM 등 초정밀 미세 실험기와 전자기 액츄에이터를 이용하여 개발된 미소 재료 시험기를 이용한 고주기 재료 실험이 진행 중이다. 마지막으로 이러한 실험 수행에 따른 고비용을 절감하고 다양한 설계 인자를 바꿔가며 모델링이 가능한 유한 요소 해석(finite element analysis)을 통한 기계적 신뢰성 해석과 예측도 활발히 수행되고 있다.

국내외에서 전자패키지 신뢰성 평가에 관한 많은 논문들이 발표 되었다. 특히 대한기계학회논문집을 통해 비납소더의 피로 수명을 평가한 김일호, 박태상, 이순복(KAIST)의 “무연솔더(SnAgCu)와 유연솔더(SnPb)의 피로 수명 비교 연구”와 미소 변형 측정기 개발에 관한 오기환(LG산전), 주진원(충북대학교)의 “무아래 간섭계 초정밀 변위장치의 설계 및 PBGA패키지 열변형 측정에서의 응용”, 김근우, 이강용(연세대학교), 김옥환(천안공업대학)의 “리플로 납땜과정에서 플라스틱 IC 패키지의 박리방지를 위한 응력 최적설계의 적용”이 발표되었고 이성철, 현충민(포항공과대학교), 이형만(전자부품연구원) 등의 “박막 광학 필터 디바이스의 패키징시 솔더 조인트의 피로 신뢰성 해석”, 남현욱(청주교육대학교)의 “이방성 전도 필름을 이용한 플립칩 패키지의 열 피로 수명 예측 및 강건 설계” 등이 발표되었다. 한편 지난 6월 미국에서 개최된 ECTCO4, SEMO4 그리고 12월 말레이시아에서 개최된 EMAP 2004 등 국제적으로도 전자패키지 관련 학술대회가 활발히 열려 국내외 전문가들이 적극적으로 참가 하였다. 뿐만 아니라 매년 전자패키지 관련 연구 성과가 증가함에 따라 2004년 10월 제주도에서 개최된 APCFS2004 국제 학술 대회에서는 3개의 전자 패키지 신뢰성 세션이 열리는 등 세계적으로 학술대회에서 전자패키지 관련 연구발표의 비중이 증가하고 있다. [이순복, KAIST]

## 계산역학 분야

예년과 비교하여 해석적인 방법으로 균열문제를 다룬 논문이 감소하는 경향을 보이고 있고 대신 유한 요소법 등의 수치적인 방법을 이용한 논문들이 상대적으로 많이 발표되었다.

해석적으로 복소응력함수를 이용하여 균열을 해석한 연구들로는, 등방성과 x방향 선형함수구배 재료로 이루어진 계면을 따라 전파하는 모드 III 균열의 해석(이광호), 정적 및 동적 하중을 받는 두 상이한 등방성 이종재료의 이종재료 상수에 대한 해석(신동철, 황재석), 두 상이한 등방성 이종재료 정지 계면 균열의 선단 응력장과 변위장에 대한 연구(신동철, 황재석, 남정환) 등이 있었다.

또한 적분방정식을 이용하여 접합된 경계층에 수직으로 존재하는 균열에 모드 III 충격이 작용되는 문제(김성호, 최형집), 탄성재료 사이에 존재하는 압전재료 내에 계면에 수직으로 존재하는 균열에 모드 III 하중이 작용하는 문제(권순만, 이강용), 디스크형의 압전재료 내에 존재하는 균열(권종호), 압전세라믹 띠 내에 존재하는 균열의 동적특성(신정우, 김태욱, 김성찬) 등이 해석되었다.

많은 연구가 수치적인 방법으로 이루어졌는데 수치적인 방법 중 대부분은 유한요소법을 이용하여 이루어졌으나 무요소법에 대한 연구가 몇 편 있었다. 무요소법을 이용하여 가상 균열단합법으로부터 에너지방출률을 구한 연구(장운석, 최재봉, 김영진, G. Yagawa)와 강소성 또는 탄소성 변형을 해석한 연구(권기찬, 연정흙, 윤성기)가 있었다.

유한요소법을 이용하여 많은 문제들이 해석되었는데, 양측균열인장 평판의 소성(계수(손범구, 심도준, 김운재, 김영진), 반타원 표면균열 선단을 따르는 참조응력 기반의 J 적분 예측(김진수, 심도준, 김운재, 김영진), 균열선단 부근의 측면 함몰로부터 응력삼축성 결정(김동학, 강기주), 나노 압입에 의한 균열방생 하한계 해석(구재민), SP 곡선과 인장물성과의 관계(이재봉, 김민철, 박재학, 이봉상) 등에 대한 해석이 있었다.

배관과 관련된 연구들로는 증기발생기 전열관에

T형 복합균열(신규인, 박재학, 김홍덕, 정한섭, 최영환), 관통균열(김현수, 김종성, 진태은, 김홍덕, 정한섭), 축방향 다중 관통균열(문성인, 장윤석, 김영진, 이진호, 송명호, 최영환) 등이 존재하는 경우에 대한 해석이 있었고, 또한 엘보의 붕괴모멘트에 미치는 국부감속 결함(김진원, 김태순, 박치용), 국부감속 배관에 대한 응력집중계수(손범구, 김윤재, 김영진), 천연가스 수송용 배관의 소성붕괴 해(백종현, 김우식, 심도준, 최재봉), 원자력 배관의 균열열림변위(허남수, 김윤재, 장윤석, 최재봉, 양준석), 참조응력법을 이용한 표면균열 배관 해석(심도준, 손범구, 김윤재, 김영진) 등의 연구가 있었다.

그밖에 IC 패키지의 납땜공정의 파괴역학적 해석(양지혁, 이강용, 이택성, Zhao), 피로 균열열림 해석(최현창), 구속을 고려한 벽개 파괴인성 궤적의 해석(장윤석, 김영진, Stumpfrock), 충격하중을 받는 점탄성 균열(심우진, 이성희) 등에 대한 연구가 행해졌다. [박재학, 충북대학교]

### MEMS & NANO 신뢰성 분야

1990년대 초반 국내에서 연구를 시작한 MEMS는 반도체 일괄공정으로 제작된 기계/전자 요소를 하나의 Chip에 집적시킨 복합융합 기술이다. 그런데, 제2의 실리콘 혁명이라는 MEMS의 상용화를 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 신뢰성은 단순히 전자제품과 기계부품의 산술적인 합보다 훨씬 다양하게 발생하는 특징이 있다.

이에 따라, 국내에서도 기업체, 국가 연구소, 대학 등에서 MEMS 및 NANO의 신뢰성 분야에 대한 연구가 점점 활발해지고 있는 추세이다. 2004년도는 MEMS & NANO 신뢰성 분야에 대한 연구의 저변도 확대되어 연구 결과를 발표하는 분야도 다양

해졌을 뿐만 아니라, 질적으로도 향상 된 한해였다. 기계학회 전체 또는 부분 학술 대회에서 세션이 계속 만들어져 연구의 수준 또한 세계적인 수준에 도달되어 가고 있다. 이와 더불어 산학연 연구회도 3년 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.

2004년도 MEMS & NANO 신뢰성 분야에 발표된 논문은 KSME International Journal에 4편, 학회 논문집에 6편, 학술 대회 13편이었다. 구체적인 연구 분야를 살펴보면, 잔류응력, 나노압입, 재료물성측정, 신뢰성 시험, 해석 등이다. 잔류응력 분야에는 논문 2편이, 나노압입 분야에는 7편의 논문이 발표되었다. 특히 나노압입 분야는 2003년도에 이어 프론티어 사업인 나노메카트로닉스기술 개발 사업의 재료물성분야에서 활발한 투자의 결과로써 괄목할 만한 연구 결과가 나온 것으로 판단된다. 특히 한국기계연구원이 이 분야의 연구를 선도하고 있음을 알 수 있다. 나노압입 방법 이외의 재료물성측정 분야에는 6편의 논문이 발표되었다. 국내도 나노 또는 마이크로 인장시험 방법이 정착되어 좋은 연구결과를 보여주고 있다. 신뢰성 시험 분야에는 3편이, 해석 분야에는 1편의 논문이 발표되었다. 신뢰성 시험 분야에서는 기업체에서 MEMS 장치를 개발과정에서의 신뢰성 문제를 다뤄 흥미를 끄는 논문을 발표했다.

또한 3년째 활동을 하고 있는 “Nano 및 MEMS 신뢰성 연구회”라는 산학연 연구회는 심층 세미나를 통하여 이 분야의 연구 인력간의 정보 교류의 고급화와 연구 저변확대를 하는 데 일조를 하였다. 이 연구회를 통하여 총 6편 연구 주제를 놓고 토론이 이루어졌다.

이와 같이 2004년도는 MEMS 및 나노 분야에서의 신뢰성 연구에 대한 높은 관심과 더불어 다양한 분야, 연구의 질이 향상된 의미있는 한 해였다. [박준협, 동명정보대학]

### 동적거동

지난해(2004년도)는 학회를 통해 재료의 동적거동, 충격관련 분야에서 20여 편의 논문이 발표되었다. 요약하면, 단상재료의 동적변형 및 파괴거동, 적층재의 저속, 고속충격에 따른 손상, 충격에너지 흡수 특성 및 최적설계, 이종재 접합계면에서 균열전파 해석과 관련된 연구로 나눌 수 있다. 특히 스포츠 용품 및 의용 보장구 개발과 관련된 충격력 해석에 관한 연구도 보고 되어, 최근의 다양한 사회 수요를 반영한 연구성과로 생각된다. 이런 충격 응용연구의 다양화는 재료 및 역학 분야의 매우 바람직한 현상으로, 특히 초고속화 시대에 안전성 즉 신뢰성 확보 측면에서 다양한 변형률속도 범위에서 연구가 수행되고 있다고 하겠다.

지난해와는 달리 방탄특성 확립 등 고속충격 현상에 보고는 본 학회에서 많지 않았지만, 고속충돌과 관련한 대변형을 포함한 비선형 해석이 주로 군사적 응용목적으로 행해졌다. 최근 우주왕복선, 초고속항공기 제작과 같은 민간산업분야로 확장하기 위해 경제적인 해석법의 사용이 필요하게 되는데, 이와 관련하여 SHP기법을 이용한 복합 적층판의 초고속 충돌 해석이 보고되었다.

충격하중을 크게 받는 수직점프 등 동작분석을 통한 인체역학적 설계와 관련하여 코트 스포츠화의 착지충격력 평가와 전달특성 해석에 관한 다양한 연구 결과가 발표되었다.

여러 재료의 동적 시험을 통해 얻은 특성치 및 구성방정식을 사용한 부품이나 구조물의 동적 및 충격 해석에 관한 연구가 수행되어 오고 있다. 동합금의 조성비에 따른 동적거동을 바탕으로 전극개폐시 충격특성 해석, 고무재료의 충격실험을 통한 원통형 고무구조물의 충격해석 등을 들 수 있다. 한편 벌크 아몰퍼스금속(BMG)이 높은 강도 및 파괴인성, 우수한 내 마모성과 내식성을 나타냄에 따라, 구조용 부재로 적용하기 위해 동적 변형거동, 충격파괴시의 전단파괴 거동, 그리고 과냉각 액상영역에서 초소성 거동에 미치는 변형률속도 의존성을 이용한 마찰접합 연구가 진행되었다.

최근 산업의 다양한 분야에서 적층재가 널리 적용되면서, 경량 하이브리드 복합재료인 축하중을 받는 Al/CFRP 혼성 튜브의 압괴모드와 흡수에너지 특성, 그리고 모자형상 단면부재에 관한 압괴 거동에 관한 연구가 충돌시 등 충격하중의 흡수성능 연구결과와 보행보조기로서 족부 보장구의 판 스프링용으로 적용하기 위해 Glass/Epoxy와 Aramid/Epoxy의 충격속도 변화에 따른 손상거동 평가 결과와 보고되었다. 또한 섬유금속적층판의 충격손상 거동 및 충격손상에 따른 잔류강도를 평가에 관한 연구가 진행되고 있다.

한편 등방성체의 균열전파와 관련해, 정적 광탄성 하이브리드 실험법의 적용, 이를 통한 직교이방성체의 균열전파 기준 및 정지계면균열의 선단 응력장파동적 응력확대계수를 구하고자 하였다. 한편 이중 및 선형 구배 재료의 접합계면에서 모드 II와 III에서 균열의 전파특성을 광탄성 및 수치계산을 통해 해석하였다. [신형섭, 안동대학교]

### 파괴 및 피로

2004년도 기계학회를 통해 파괴역학 및 피로분야에서 많은 논문이 발표되었다. 파괴역학의 경우 요약하면 탄소성파괴역학의 응용분야로서 원자력분야에서 대부분의 논문이 발표되었다. 특히 최근의 동향을 본다면 다양하고 복잡한 형태의 결함을 고려한 탄소성 파괴역학에 대한 연구가 수행되고 있다는 점이다. 예로 최근 원전 기기 건전성 평가 분야에서 많은 연구가 수행되는 증기발생기 전열관의 경우 T-형 복합합금열(신규인 외 4인), 다중 관통균열(문성인 외 5인, 문성인 외 6인) 등 복잡한 균열형태를 고려하여 전열관의 파열압력을 평가할 수 있는 공학식을 제시하는 연구 뿐만 아니라 전열관의 경계조건을 고려한 파열압력을 평가할 수 있는 식(김진수 외 4인) 및 슛피닝으로 인한 잔류응력 영향을 고려한 전열관 평가에 관한 연구(신규인 외 3인)가 수행되었다. 또한 3차원 반타원 표면균열이 존재하는 배관의 정확한 공학적 탄소성파괴역학 기법을 제시하는 연구(심도준 외 3인, 김진수 외 3인)가 수행되었다. 반면 최근

연구 동향 중 지적해야 할 중요한 점은 침부식에 의한 감육(local wall thinning) 평가와 관련된 연구이다. 이러한 감육은 기존의 균열과는 다른 체적결함이며 기존 파괴역학과는 다소 상이하나 상당히 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 감육에 대한 피로평가를 위한 응력집중계수 평가(손범구 외 3인) 및 감육부가 존재하는 곡관의 최대 지지 하중을 평가하는 기법(김진원 외 2인)이 제시되었다. 또한 최근 대두되고 있는 확률론적 평가기법을 이용한 파괴해석 분야에도 두 편의 논문(곽상록 외 3인, 김태원 외 1인)이 발표되었으며 향후 이 분야의 논문이 증가되리라 예상된다. 마지막으로 구조물의 탄소성파괴역학평가를 위해 필수적인 구조물 J-R 평가를 위한 다양한 비표준(non-standard) J-시험 시편에 대한 연구가 수행되었다. 양측균열을 가진 DE(T) 시편 시험법(손범구 외 3인)뿐만 아니라 원전 배관 평가를 위한 환광폭 평판을 이용한 J-시험법이 제시되었다.(허남수 외 5인)

피로분야에서는 총 15편이 넘는 논문이 발표되었고 그 연구 분야에 대한 스펙트럼도 상당히 다양하다. 먼저 구조물의 저주기 및 고주기 피로 평가와 관련된 연구를 살펴보면 다축피로 연구로 열화된 2상 주조 스테인리스강의 2축 피로 수명 평가 연구(권재도 외 1인), 온도가 냉간된 316L 스테인리스강의 저주기 피로에 미치는 영향 평가(홍성구 외 2인), 저

주기 피로 평가를 위한 근사적 변형을 예측 기법 제시 및 실험적 검증(임재용 외 2인) 그리고 429EIM 스테인리스강의 고주기 피로 평가(이금호 외 4인) 등과 같은 논문이 발표되었다. 또한 구조물 피로평가의 가장 중요한 문제 중 하나인 용접부 피로 평가와 관련된 논문으로 용접부 잔류응력을 고려한 피로 수명 평가 모델 개발(구병춘 외 1인), 십자형 플랫용접부의 다중 균열 피로 진전 수명 평가(한정우 외 3인) 그리고 노치변형률법을 적용한 용접구조상세 피로수명평가법(한정우 외 3인) 등이 발표되었고 철도차량 차륜에 대한 접촉에 의한 잔류응력을 고려한 피로 수명 평가 기법(서정원 외 3인)이 발표되었다. 또한 대형구조물 수명평가를 위한 IT응용으로 원전 1차측 주요기기 피로평가를 ASME Sec XI 코드에 입각하여 평가할 수 있는 시스템 개발(서형원 외 6인) 논문이 발표되었다. 복합재료의 경우 다양한 층으로 이루어진 특수한 경계조건으로 인해 층간분리 등의 현상이 중요하다. 이러한 현상을 규명하는 다수의 논문(송삼홍 외 1인)이 발표되었고 복합재료의 균열 진전과 A<sub>0</sub>평가에 미치는 하중 방향 영향(권오현 외 1인) 등이 연구되었다. 마지막으로 마이크로 패키징 신뢰성 평가와 관련된 논문으로 무연솔더와 유연솔더의 피로수명 평가와 관련된 연구결과가 발표되었다.(김일호 외 2인) [김윤재, 고려대학교]

## 기 계 용 어 해 설

### 벽면전단응력(Wall Shear Stress)

혈류유동에서 혈관벽에서의 전단응력을 말한다. 이 값은 혈관벽의 동맥경화의 생성과 진전에 영향을 미치는 것으로 널리 알려져 있다. 높은 전단응력, 낮은 전단응력, 한 주기 내에서 크기 변화가 심한 전단응력이 동맥경화에 관계하는 것으로 알려져 있다.

### 저자유도 병렬형 기구(Low-DOF Parallel Manipulator)

6자유도보다 적은 자유도를 갖는 공간 병렬형 기구를 의미한다. 여기서, 병렬형 기구란, 고정 플랫폼과 이동플랫폼을 다수의 직렬체인으로 연결한 구조를 갖는 기구이다.