

# Intelligent material

## — 금속재료의 intelligent material화



최 영 택(재료공정연구부)

'72-'76 서울대학교 금속공학과 졸업(학사)  
 '86-'90 경북대학교 대학원 금속공학과(석사)  
 '76-'81 국방부조병창 열처리담당 선임연구관  
 '81~현재 한국기계연구원 책임연구원

### 1. 서 언

재료발전의 변천과정을 보면 기능적면에서는 단순소재에서 구조재료로, 나아가서는 내마모재료, 내마찰, 내고온 등 수동적 기능을 갖는 재료에서 한편으로는 더욱 발전하여 빛을 받으면 그 빛을 전기에너지 등으로 변환시키는 기능을 갖는 능동적인 기능재료로 변천해 왔다. 또한 구조적면에서는 철은 철, 세라믹은 세라믹이라고 하는 분리형에서, 금속과 세라믹, 반도체와 유기물같은 복합형 즉, 혼합(hybrid)형으로 발전되어 왔으며, 향후에는 이종재료간의 경계를 구분할 수 없는 일체화형인 융합(monolithic)형으로 전개되어 갈 것으로 예상된다.

Intelligent material은 재료자체가 환경변화를 감지(sensing)하고, 분석·판단(processing)해서, 응답(actuating)할 수 있는 기능을 갖고, 기억인식, 파괴방어, 손상복구 및 항상성 유지기능 등과 같은 생물체가 갖는 특유의 기능을 갖도록 하는 새로운 개념의 차세대 신소재로 1980년 후반 미국, 일본 등에서 제안되어 21세기의 신재료 창출에 있어 key technology로 큰 관심을 불러 일으키고 있다.

이러한 intelligent material의 연구에 있어 최근 macro적 수준에서는 기능적면과 구조적면을 혼합시킨 형태인 hybrid형 개념의 재료에 대한 연구가 많이 소개되고 있지만, 궁극적으로는 micro적 수준에서의 기능적면과 구조적면을 일체화시킨 monolithic형 개념의 재료 즉, 이상적

인 intelligent material 에 대한 연구개발이 계속적으로 추진될 것으로 전망된다.

본고에서는 이러한 intelligent material에 대한 연구동향과 금속재료에서의 intelligent material화에 대한 연구 현황을 소개하고자 한다.

## 2. Intelligent material의 연구동향

Intelligent material의 궁극적 모습은 자연이나 외적환경에 자율적 또는 유연하게 적응할 수 있는 재료 즉, 센서기능, processer기능, actuator 혹은 effect기능을 동시에 구비하고 또한 구조는 일체형구조의 것으로 구성되어 있는 재료를 말한다. 그러나 이와같은 이상적인 intelligent material은 아직 없다. 그렇지만 이러한 이상적인 intelligent material을 먼 목표로 하고 기초연구를 하고 있든가, 또는 한걸음이라도 가깝게 접근하기 위한 연구는 계속 추진되고 있다.

Intelligent material의 창조에는 재료구성 기능단위의 기준에 따라 micro수준에서 macro수준에 까지 표 1)에서와 같이 여러 분야에서의 시도가 예상된다. Micro수준의 연구는 재료의 원자 및 분자 수준에서의 일체화된 재료개발에 대한 것을 말하고, macro 수준에서의 연구는 기

존의 구조재료를 이용하여 sensor와 actuator기능을 동시에 갖도록하는 구조로 일체화 및 복합체화한 개념의 재료를 말한다. 전자는 주로 일본에서 시작한 개념의 방법이고 후자는 미국에서 많이 연구되고 있는 방법이다.

최근 intelligent material에 대한 연구발표 내용을 정리해 보면 표 2)와 같다. 표 2)는 intelligent material forum 주최의 재료심포지움이나 국제회의에서 공표된 연구를 분류 정리한 것으로 각종 재료 및 재료 이용분야에 걸쳐 광범위하게 연구되고 있는 것으로 소개되고 있다.

표 2. Intelligent material 연구현황

연구분야	연구내용
기초연구	원자조작기술, 미세가공기술, Micro-machine, 미시적 위치제어, Neural network,
생체재료	단백질의 정보전달, 단백질공학, 생체초분자자기조직, 생체막, 뼈의 자기복구
고분자재료	분자 device, 비선형광학재료, Chemo-mechanical재료, LB막
세라믹스	입계기능센서재료, 압전재료, 자기복구재료
기계금속	자기진단재료, 자기복구재료,
구조물	Smart material, Smart structure

표 1 Intelligent material을 구성하는 기능단위의 물리크기

구분	기능단위의 크기	기능단위의 예
Intelligent 구조물	Macro	Macro 수준의 기능단위 (구조물, 전자부품, Micro processor, 광 fiber)
	↓	금속 및 세라믹에의 압전재료 도포
		복합재료, 경사기능재료수준의 기능단위 (탄소섬유 및 유리섬유의 복합재료, Ti합금 및 Zirconia의 경사기능재료 등)
		Nano, Mesoscopic 수준의 현상이용 (초미립자를 금속표면에 배속하는 것에 의한 변형측정의 성능향상 등)
	↑	분자·원자수준의 기능단위 (기능성분자, 원자수준에서의 hybrid 구조 등)
Micro		
Intelligent 재료		

한편, intelligent material 용 소재로 연구대상이 되고 있는 재료 및 관련 분야는 그림 1)과 같다.

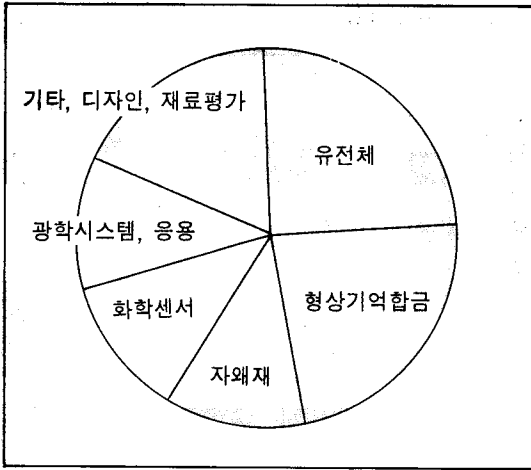


그림 1. Smart 재료 연구주제별 분포

그림 1)은 MRS 94 보스톤에서 스마트재료 (smart material)에 대해 발표된 연구주제별 비율이다. 여기에는 유전체, 형상기억합금, 자왜재료, 화학센서, 광학시스템·응용, 기타·디자인·재료평가 등에 관한 재료 또는 그러한 재료의 intelligent material화에 대한 내용이 발표되었다.

또한 MIMR 95 (International Symposium on Microsystems, Intelligent Materials and Robots) 샌다이 국제회의에서 발표된 내용 중에서 주관적으로 새롭다고 생각되는 intelligent material에 대한 연구내용을 예시하면, 광피에조 소자, 자왜배터플라이와 지진대책용 SMA, scrap free alloy와 거대자왜효과 등과 같은 주제가 특이하였다. 이 회의에서도 기존 재료의 개선형태만이 아니고 새로운 개념의 재료를 도출하려는 시도가 많았다. 즉, 공업재료를 기능면에서 한걸음이라도 생체재료가 가까운 기능을 갖게 할려는 시도가 점점 더 증가하고 있다는 것이다.

### 3. 기존재료에서의 intelligent material

Intelligent material의 개념을 좀더 쉽게 이해하기 위해 현재 사용되고 있는 재료 중 개념적으로 intelligent material이라고 고려되는 소재에 대해 柳田博明은 다음과 같은 것들을 예로 들어 설명하였다.

첫째, 고서나 보물을 보관하는 목조 건물에 사용된 목재다. 습도가 높을 때 목재는 팽윤해서 목재간 틈을 막아 습기가 바깥에서 건물 내부로 들어가지 않도록 하고, 건조시에는 목재간 틈이 생겨 건조공기가 실내로 들어가기 쉽게한다. 이렇게 해서 방습 유지가 자동적으로 되어 곰팡이도 생기지 않으며 보관물을 오랫동안 손상되지 않게 할 수 있는 것이다. 반면 현대의 첨단과학기술을 이용한 예를 보면 온도 습도를 감지해서 그 정보를 컴퓨터로 판단하여 공조기기를 적절히 작동시키는 방법으로 구성되어 있으나, 이것은 전력소비문제 및 정전시의 문제 등과 같은 점이 제기된다. 한편 전술한 목재는 불에 탄다는 것이 문제이다. 따라서 연소되지 않는 목재와 같은 재료 개발이 나름대로의 intelligent material이 될 수 있는 것이다.

둘째, 세라믹에는 그림 2)처럼 온도에 대해서 저항변화가 전혀 다른 2종의 반도체가 있다. 그림 2(a)와 같은 온도-저항의 관계를 갖는 반도체(저항의 온도계수가 음 : Negative Temperature Coefficient of Resistance :NTC)로 가열소자를 만든다고 해보자. 예를 들어 이 반도체를 가열해서 온도  $T_0$ 로 유지시키는 경우를 생각해보자. 먼저, 지금 온도가  $T_0$ 보다 높은가 낮은가를 측정할 필요가 있다. 측정온도가  $T_0$ 보다 높으면 가열소자에 흐르는 전류를 줄여서 그 이상 온도가 올라가지 않도록 해야 하지만, 온도가 올라가면 저항이 감소해 버리기 때문에 전류는 점점 증가하게 된다. 따라서 전류를 줄이지 못하면 온도가 올라가고 저항이 줄고 전류치는

증가, 점점 온도가 올라가서 단절되어 버린다.

이번에는 전류를 지나치게 줄일 경우를 생각해 보자. 온도는 즉시  $T_0$ 보다 낮게 될 것이다. 더 이상 온도가 낮아지지 않도록 급하게 전류를 증가해도 이미 저항이 증가해버려 전류가 좀처럼 증가하지 않는다. 전류가 증가하지 않으면 온도는 점점 낮아지고 저항치는 크게되고 전류는 차츰 흐르지 않게 된다. 이렇게 해서 제어가 잘 못되면 점점 차게 되어버려 가열소자로서의 역할을 못하게 된다. 따라서 NTC소자를 이용할 경우 어떤 system 에서의 온도를  $T_0$ 로 제어하기 위해서는  $T_0$ 에 가깝게 되기 전에 전류를 내리거나 올리기 시작해야 한다는 것이다. 게다가 예측을 잘 못한 경우를 고려해 보호회로도 필요하다. 이처럼 온도와 함께 저항이 감소하는 반도체를 저항가열소자로서 사용하면 온도제어가 어렵고 여러 가지 보완이 요구되므로해서 가열 system을 복잡하게 만든다.

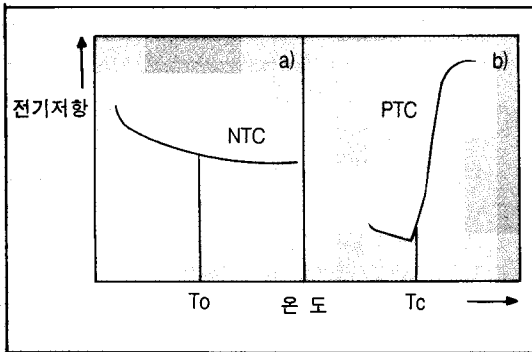


그림 2. 2종류의 感溫抵抗체

반면, 그림 2(b)처럼 어떤 온도  $T_c$ 까지는 저항이 작고, 그 온도에서 급격히 저항이 증가하는 것(저항의 온도계수가 정 : Positive Temperature Coefficient of Resistance : PTC)이 있다.

이 반도체를 저항가열소자로 사용하면 자동적으로  $T_c$ 부근에서 온도가 용이하게 제어되는 것을 이해할 수 있을 것이다. 이 소자는 자동조절 작용을 재료자신이 하는 것이다. 소자외에 어떠

한 부가장치도 필요없다.

이 PTC 소자의 발견은 콘덴서재료로  $BaTiO_3$ 를 연구개발하던 중 미량의 산화 La를 가해서 소성한 것이 반도체로 되고 또한 PTC 특성을 갖는다는 것을 우연히 발견하였다. 그러나 콘덴서재료는 도전성이 있어서는 안되기 때문에 이 연구는 실패였다. 실제 많은 사람이  $BaTiO_3$ 가 반도체로 되었던 것에 대해 알고 있었지만 대부분의 사람은 본래의 목적을 만족시키지 못해 실패라고만 생각하였다. 우연히 발견된 이것을 PTC 소자로서 우수한 특성이 있다는 것을 세계에 소개한 사람은 Verway등 (1951년)이고, 이 소자는 현재 가열소자로서 활용되고 있다. 이처럼 우연히 의외의 좋은 발견을 하는 재주를 Serendipity라고 하고, 과학의 위대한 발견은 대부분 Serendipity로 축복받은 사람에 의해 되는 것이 보통이다. 연구자는 이러한 은혜를 받기 위해 노력과 훈련을 하여야 한다.

한편 intelligent material적 측면에서 생각해 보면 이 PTC가 최초의 “자기제어” 재료 즉, 인공적인 intelligent material의 효시로 보고 싶다고 일본의 柳田博明은 말하고 있다.

셋째, 광학재료 중에 intelligence가 있는 것으로 빛에 따라서 변색하는 유리가 있다. 이것을 photochromic glass라고 한다. 스파게티증후군에 사로잡힌 사람이라면 이같은 mechanism을 얻기 위해서는 광 센서로 광량을 판단해서 광의 투과성을 제어하기 위해 2매의 편광판의 각도를 변화시키는 복잡한 기구를 생각할 것이다. 그러나 photochromic glass는 재료자체가 광의 투과성을 조사된 광량에 따라서 변화시킬 수 있는 특징을 갖고 있다. 즉 photochromic glass는 미세한 할로젠화는 결정이 함유된 것으로 빛이 닿으면 할로젠화은이 분해해서 은(Ag) 콜로이드가 생기고 이것이 광을 흡수하기 때문에 변색되는 것으로 설명되고 있다. 반대로 빛이 닿지 않으면 은은 다시 할로젠과 결합하여 할로젠화은으로 되어 원래의 상태로 돌아간다는 것이 변색의

원리이다.

넷째, 호주의 Garvie(1975)가 발견한 것으로 세라믹스틸이라고 하는 것이 있다. 이것은 세라믹이 취약하다는 상식과는 달리 steel과 같이 인성이 있는 것이 특징이다.

ZrO<sub>2</sub>는 원래 내열성이 있고 화학적으로 안정해서 내화물로 이용되어 왔다. 그러나 이 재료는 그림 3(a)와 같이 1100℃ 부근에서 급격한 체적변화(체적이 큰 저온형의 결정상 L(단사정계)과 체적이 작은 고온형 결정상 H(정방정계)와의 사이에 상전이에 의한 것)를 하기 때문에 어렵게 소성시킨 것도 이 온도 부근에서 가열하거나 냉각하거나 하면 가루로 붕괴되어 버리는 결점이 있다.

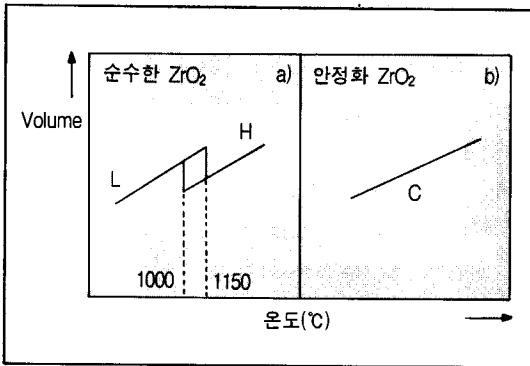


그림 3. Zirconia의 온도와 체적의 관계

이 결점을 보완하기 위해 첨가된 것이 CaO나 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이고 적정량 첨가하면 그림 3(b)와 같은 온도-체적의 관계를 갖는다. (결정형은 C(입방정계)로 된다) 또 1100℃ 부근에서 가열하거나 냉각하거나 해도 붕괴되지 않는다. 이것을 안정화 ZrO<sub>2</sub>라고 하고 첨가제에 따라 각각 Calcia Stabilized Zirconia(CSZ), Ytria Stabilized Zirconia(YSZ)라고 한다. 안정화 ZrO<sub>2</sub>는 내화물로서의 특성은 없고 산소이온 도전성이 있어서 가혹한 조건에서의 산소 센서(자동차 배기가스 정화용 센서, 용광로내 석탄/철광석 비의 분석센서)로 주로 사용되고 있다.

Garvie는 안정화 zirconia가 그래도 열팽창율이 크고 급열 및 급랭하면 깨지기 쉬운 결점을 개선하기 위해 여러 가지 연구를 하였다. 그중 하나가 온도-체적의 관계에 대해서 그림 3(a) 특성을 갖는 ZrO<sub>2</sub>와 그림 3(b)의 특성을 갖는 안정화 ZrO<sub>2</sub>를 혼합하는 것으로서 2종류 zirconia의 결점을 상호 보완 개념의 완성된 재료로 그 특성이 보다 개선되었다. 그리고 파괴될 것 같으나 좀처럼 파괴되지 않고 취약하지 않은 재료로 된 것이다. 그 원인은 완전히 규명되지 않았지만 공통적인 견해로는 steel처럼 tough하게 된 ZrO<sub>2</sub>는 안정화된 부분의 결정계 C에 안정화되어 있지 않은 고온형 상 H가 함유되어 있는 것으로 외력을 가하면 체적이 큰 저온상 L로 결정구조가 변해버린다는 것이다. 즉, 가해진 외력을 이러한 결정구조의 변화가 흡수해버리기 때문인 것으로 검토되고 있다. 다시말하면 외부의 응력에 대해 자체적인 변신 즉, 자기조정에 의해 파괴를 막는 것이다.

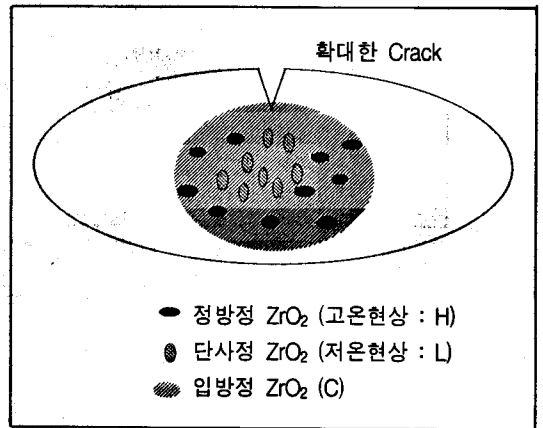


그림 4. Zirconia가 tough한 이유

이상과 같이 기존의 재료들 중에 개념적으로 intelligent material로 고찰되는 투습성자기제어 재료인 목재, 온도 자기제어 재료인 PTC소자, 빛의 투과를 자기조절하는 photochromic glass, 변신에 의해 충격을 흡수하는 부분안정화 ZrO<sub>2</sub>

등과 같은 것을 예로 들고 있다. 이들 재료의 주요특성은 구동을 위한 여분의 전력을 쓰지 않고, 부가적인 센서가 없고, 구조가 간단하고, 스스로 응답 및 제어하고, 환경친화적 특성인 recycle 성 등과 같은 특성이 있다는 것이다.

#### 4. 금속재료의 intelligent material화

이상적인 intelligent material은 원자조작이나 리소그래피 등에 의한 미세가공기술을 구사하여, IC기술 등에 있어서와 같은 집적효과에 의해 생물체가 갖고 있는 intelligence라고 하는 고

도기능을 재료 구조의 미시적 수준에서 실현하도록 하는 것이다. 그러나 구조재료 특히 구조용 금속재료에는 이와같은 micro적 개념을 적용시키는 것이 상당히 어렵다. 그것은 구조용 금속재료의 특징으로는 양산공정이 확립되어 염가이고, 균일성이나 표준화가 되어있고, 강도 인성 내환경성 등이 우수하고, 재료특성의 평가기술이나 설계 가공방법이 확립되어 있다는 것이다. 따라서 이러한 특징중 하나라도 모자라면 구조재료로서 성립되기가 어렵다. 그래서 구조용 금속재료의 intelligent material화는 기존의 완성된 재료의 특징, 주로 생산공정과 강도 특성을

표 3 구조용 금속재료의 intelligent material화 연구사례

연구 방향	연구 사례
자기복구재료	-자기복구성 BN 및 TiC 표면피막형 stainless steel -균열전파억지기능형 ZrO <sub>2</sub> 분산 Mo -Pb 입자분산에 의한 피로균열 전파 억지기능 합금강 -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 입자분산에 의한 산화막 밀착성 향상에 의한 균열성장 억지효과 -Creep void 표면에서의 BN 석출에 의한 성장 억지기능 -Alumina 피복 TiC-Ni기 경사기능재료 -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Al 다층부동태 피막강 -자기복구성 SiC·Glass 복합피막
자기진단재료	-압전성 피막coating에 의한 진동센서 기능부여 -압전 고분자를 도포한 Aluminum 판재 -광 fiber를 매입한 Al-plate -압전 film coating에 의한 균열 검출기능을 갖는 구조 -광 fiber를 배향시킨 내열합금 -광도피막에 의한 균열검출기능
자기조절재료	-형상기억합금 fiber 배향 제진감쇄합금 -형상기억합금 fiber 배향 역온도특성 Al-alloy -형상기억합금 및 압전세라믹 복합피복 제진재료 -압전재료를 이용한 제진구조요소 -전기점성유체를 봉입한 shock absorber -압전센서·actuator를 배치한 진동제어 구조요소 -기계적 성질을 자기조정하는 비조질강
능동기능재료	-능동적 음향반사 저감 coating -FeRh 감온자성을 이용한 광열자기모터 -형상기억합금을 이용한 암온열요법용치침

대로 유지하고, 거기에 보다 유효한 기능을 부가하는 것이 현실적인 접근방법으로 고려되고 있다.

Intelligent material의 본보기인 생물체가 갖고 있는 기능과 인공구조물과의 기능을 비교하면 생물체가 우수하다는 것은 자기보존에 관한 기능이다. 즉 생물체에서는 DNA 손상에 의한 유전정보의 차이를 바르게 인식하는 시스템, 생체조직의 이상을 파악하는 시스템, 외부로부터 몸을 보호하는 면역기능, 상처를 자기치유하는 시스템 등이 준비되어 있다. 따라서 구조용재료에 이러한 개념과 유사한 자기복구기능이나 자기진단기능을 부여하는 것이 가능하다면 원시적인 것이라고 생각되는 방법도 대단히 유용할 것이다. 즉, 이러한 자기복구기능 및 자기진단기능 등이 많은 인명을 앗아가는 항공기 사고, 사회불안을 유도하는 원자력발전 등의 대규모 플랜트의 파손사고를 미연에 방지할 수 있는 유효한 방법으로 생각되기 때문이다.

금속재료의 intelligent material화 연구 사례를 목적 기능별로 분류하면 표 3)과 같다. 이러한 연구사례의 내용은 금속재료의 제조 공정을 그대로 유지하고, 거기에 새로운 기능을 부가하는 시도가 대부분으로 intelligent화의 방향을 지향하고 있다고는 해도 좋으나, intelligent의 정도는 높다고 말할 수는 없다. 그러나, 구조용 금속재료의 유용도나 신뢰성을 높이는 연구일 뿐 아니라 intelligent화에 대한 접근방법의 개척임에는 틀림이 없다. 표 3)에 소개된 금속재료의 intelligent material화 연구사례 중 자기복구기능과 자기진단기능에 관한 연구례를 각각 한가지씩 간략히 소개한다.

#### 4.1 자기복구적기능 부가예

내열강을 장시간 creep하면 creep void라는 공동이 결정입계에 생성된다. 이 creep void의 수 및 크기 등은 시간과 함께 증대하여, 서서히

creep void가 연결되고 균열상으로 되어 파괴된다. 이같은 파괴는 연성이 낮고 외관상 갑자기 파괴되기 때문에 위험하다. 이 creep void의 성장은 공공이 입계를 통해, creep void 표면에 흘러들어가서, 원자가 역으로 creep void 표면에서 입계를 지나 흘러나가는 것으로 생긴다.

유황함량을 철저히 감소시킨 오스테나이트계 스텐레스강인 304 BNTi 강을 용제하여 creep 특성을 조사하였다. 이 강은 creep 파단강도 파단연성도 크고 우수한 특성을 나타내었고, creep void의 생성수 및 크기도 작았다. 한편, creep void 내는 진공상태로 고찰되기 때문에 진공 용기 표면과 같이 creep void 표면에 BN을 석출시켜, 피복막을 형성하는 것이 가능하고 BN은 고온에서도 안정하기 때문에 creep void 표면의 확산을 억지하여, creep void의 성장을 저지하는 것으로 기대된다. 따라서 이러한 creep void 생성의 억제가 파단강도나 연성의 개선 이유이다. 통상의 304강에 생성된 creep void 표면에는 유황의 편석이 분석되고 있는 것으로 보고되고 있다. 반면 304 BNTi 강은 입계파괴를 일으키기 어렵고 creep void의 생성량도 적기 때문에 보통의 304 강과 같은 분석자료를 얻을 수 없다. 여기서 304 BNTi 강은 경우 인장시험에 의해 void 를 생성시켜 열처리한 후 void 표면을 조사한 결과 void 표면에는 BN이 석출되어 있는 것으로 확인되었다. 이 점으로 볼 때 creep void 표면에도 creep 중에서도 같이 BN가 석출하여, creep void 생성을 억제하고 있음을 시사하는 것으로 볼수 있다.

#### 4.2 자기진단기능 부가예

구조재료에 압전도료를 도포하여 재료표면 전체에 진동센서기능을 부여하는 시도가 되고 있다. PZT 미분말을 안료로 하고 에폭시 수지를 바인더로하는 상온 건조형 도료를 재료표면에 도포한 후 실온 대기중에서 건조시켜, 그 도막

의 표면에 스크린마스크를 이용해서 은 페이스트의 전극과 리드선을 인쇄하여, 인쇄된 전극을 제 1 전극으로 하고, 구조재료자신을 제 2 전극으로 하여, 최고 450kV/cm까지의 고전계를 가하면 도막중에 분산한 PZT입자가 분극하여 그 결과 도막은 압전성을 갖는 것으로 된다. 이 도막을 알미늄판 표면에 도포하여 그 알미늄판을 진동시켜 진동에 따른 변형으로 압전성도막에 생기는 전압을 측정하였다. 변형계이지에 의한 측정결과와 비교하여 같은 변형변화를 측정할 수 있음이 확인되었다. 이와같은 압전성도료는 항공기의 기체, 차량, 교량 등에서의 이상을 진동변화에 의한 검출이 가능한 것으로 조기 실용화가 기대되는 기술이다.

## 5. 결 언

전술한 바와같이 intelligent material은 재료(구조)자체에 환경변화를 감지(sensing)하고, 분석·판단(processing)해서, 응답(actuating)할 수 있는 기능을 갖고, 기억인식, 파괴방어, 손상복구 및 항상성유지기능 등 생물 특유의 기능을 구비하도록하는 개념의 신재료이다. 따라서 intelligent material에 대한 연구개발은 기존 재료의 고성능화를 주축으로한 재료개발의 방향과는 질적으로 다른, 환경(정보)을 개입시킨 인간 활동과의 대응을 주체로 한 신재료설계를 목표로 한 것이다.

한편, 보다 가시적인 측면에서의 금속재료의 intelligent material화는 전술한 바와 같이 현재의 금속재료의 제조공정이나 당면의 실용화의 개념을 벗어나서, 장래 재료로서의 관점에서 보

다 intelligent한 기능을 추구하는 기초적 연구 즉, 금속재료에 분산시킨 입자나 섬유 그 자체를 보다 고기능화 혹은 intelligent화 시키도록하는 시도나 입자나 섬유를 자유롭게 assembling하는 기술 개발의 시도 등과 같은 macro적 면에서의 연구가 많은 비중을 차지하고 있고, 부가적으로 micro 적면에서의 결정의 방위나 입체 구조 등을 제어 연구하는 분야에 대해서도 시도되고 있음을 알 수 있다.

그러면 궁극적인 intelligent material이 정말로 가능할까하는 의문은 당연히 생길 것이다. 그러나, 최근 IC 기술, 초LSI 기술 등의 진보 과정을 미래까지 예상해보면 intelligent material 형태의 일부를 예상할 수도 있을 것이다. 즉, 센서층, 논리회로층, 메모리층을 적층하여 3차원 구조의 생각하는 디바이스의 개발과 원자분자수준의 제어가 가능하게 되어가고 있는 현재의 기술수준을 예상해 볼 때 이러한 다기능을 갖고 일체화 구조로 된 재료를 인공적으로 완성해내는 것이 가능할 것으로 전망된다. 이러한 면에서 볼 때 이상적인 intelligent material의 개념은 언젠가는 현실적인 intelligent material의 개발을 가져오게 할 것이다

## 참 고 문 헌

- [1] 柳田博明 : インテリジェント マテリアル, 東京, 1993
- [2] 古屋泰文 : 新素材, 1993. 8. p.63
- [3] 西義武, 大森裕司 : Boundary, 1996. 3. p. 4
- [4] 新谷紀雄 : Boundary, 1996. 3. p. 7
- [5] 谷 順二 : Boundary, 1996. 4. p. 16