

Intelligent material(知的材料)



최 영택 (KIMM 재료공정연구부)

- '72-'76 서울대학교 금속공학과(학사)
- '86-'90 경북대학교 금속공학과(석사)
- '76-'81 국방부조병창 열처리담당 선임연구원
- '81-현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서론

재료의 발전 및 변천과정을 개략적으로 볼 때 기능적 특성면에서는 단순한 소재로 부터 시작하여 구조재료로, 나아가서는 내마모, 내마찰, 내고온 등 수동적인 기능을 갖는 재료로 발전하였다. 그 후 더욱 발전하여 빛을 받으면 그 빛을 전기에너지 등으로 변환시킬려고 하는 능동적인 기능을 갖는 재료로 변천하여 왔다. 한편 구조적 면에서는 철은 철, 세라믹은 세라믹이라고 하는 분리형에서 부터, 금속과 세라믹, 반도체와 유기물과 같은 복합형 즉, 혼합(Hybrid)형으로 발전되어 왔으며, 향후는 이종물질간의 경계를 구분할 수 없는 일체화형인 융합(Monolithic)형으로 발전되어 갈 것으로 예상하고 있다.

한편, 생물체는 그 기능면에서 인간이 개발해 온 여러가지 재료와 비교해 볼 때 외부자극 등에 대응해서 스스로 변하는 능동적 기능을 갖고 있다는 점이 우수한 특징이다. 일반재료에 생물체와 같은 능동적 기능을 부여하여 재료 자체가 생물체와 같은 자발적 기능을 갖도록 하는 개념의 재료에 대한 연구개발이 추진되고 있다. 이와 같은 개념의 재료가 최근 선진국으로 부터 소개되고 있는 intelligent material이라고 하는 것이다.

Intelligent material은 종래 재료의 개념을 초월하며 한마디로 정의할 수 없는 신개념의 재료로 그 명칭도 intelligent material, smart material, intelligent material systems and structures, adaptive material 등 여러가지로 사용되고 있다. 또한 이 개념은 극히 최근에 구사된 것으로 향후 재료의 발전과정을 예상해 볼 때 지극히 중요한 사고방식을 기본으로 하고 있어서, 많은 기술자나 연구

자의 관심을 끌고 있는 것으로 소개되고 또한 연구되고 있다.

2. Intelligent material의 정의

우주 구조물에 대해서 연구를 하고 있는 미국 제트추진연구소의 Wada, Fanson, Crawley 등은 주로 우주에서 사용되는 구조물에 관한 기술과 그 성과를 분류하여, 향후 재료기술의 진보방향을 예측한 결과로부터 새로운 재료의 개념, 즉 Intelligent material에 대한 개념을 창출하였다. Wada 등은 intelligent material에 대한 개념을 그림 1과 같이 도식적으로 설명하고 있다.

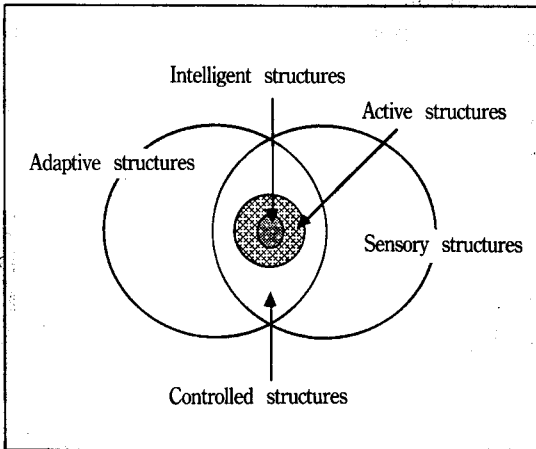


그림 1. Intelligent 구조의 정의

그림 1에서의 structures라는 것은 구조/재료라고 보면 intelligent 재료의 정의를 쉽게 이해할 수 있다. 여기서, adaptive structures는 시스템의 상태나 특성을 변화시킬 수 있는 actuator 기능을 갖는 구조/재료, sensory structures는 그 자체에 외부의 자극을 감지하는 기능을 갖는 구조/재료, controlled structures는 양자의 기능을 합친, 즉, sensor와 actuator 기능을 겸비하여, 시스템의 상태나 특성을 능동적으로 제어할 수 있는 기능을 갖는 구조/재료이다.

Active structures는 controlled structures 중에 포함된 개념으로, sensor와 actuator가 구조 재료 자체에 완전히 복합화되어 있어, 그 자체가 제어 기능과 구조기능을 겸비한 것으로, 종래의 구조

와의 차이는 2개의 기능이 재료 또는 구조에 완전히 내포되어 있는 통합된 제어구조라고 할 수 있다.

이러한 개념을 더욱 발전 전개시켜 그 자체에 고도의 복합화된 제어 system과 electronics를 내포한 개념의 것을 intelligent structures 또는 material이라고 정의하고 있다.

한편, 일본에서는 재료과학의 발전 추세가 구조재료에서부터 기능재료로 변천하고 있다는 것을 유추하여, 그러한 경향을 더욱 발전시켜서 재료자체에 지적기능의 일부를 갖추고, 자체의 열화를 진단하여, 억제 및 회복 또는 수명예측을 재료자체가 할 수 있는 기능을 갖는 구조/재료로 설명하고 있으며 어떤 의미에서는 生體를 능가하는 초기능재료로 정의하고 있다.

이외에도 아래와 같이 설명하고도 있다.

- 외부의 자극 즉, 하중이나 환경의 변화에 대해서 재료자신의 고유기능을 구사하여 환경에 대한 적응능력을 갖는 재료
- 섬유강화복합재료가 특정 재료의 강인성을 설계자가 요구하는 대로 할 수 있다는 의미에서의 재료라고 하면, 경사기능재료는 이러한 사고를 한층 발전시킨 것으로 재료의 강인성뿐만 아니라, 재료의 다른 특성 즉, 열전도도 등과 같은 특성을 임의의 방향이나 임의의 크기로 분포되도록 할 수 있는 재료이다. 이에 대해, intelligent material은 재료자신이 주위 환경의 변화를 감지하고, 그 환경에 적응하도록 하는 제어기능 등을 재료자신이 보유하고 있는 재료이다.

이상과 같은 여러가지 정의를 요약해 보면 intelligent 구조/재료는 구조재료 자체에 sensor 기능과 actuator의 기능이 있음은 물론 내부 또는 외부에 이것과 연결된 processor가 있어, 주위 환경의 변화를 구조재료 자체가 감지하여, 적정 응답을 통해 그 자신을 제어해가는 개념의 재료 또는 구조라고 정리할 수 있다.

그러나, 이와 같은 설명에 의해서도 이 개념이 의미하는 것을 이해하기가 어려우나, 생물체를 예로들면 쉽게 이해할 수 있다. 즉, 인체의 경우는, 코 등 기관의 sensor에 의해 자신이 처한 상황을 감지하여, 두뇌라는 processor를 통해서 상황을

판단하고, 근육이라는 actuator에 명령하여 신체라고 하는 구조전체, 또는 손가락 등과 같은 신체 일부를 움직여 주위의 상황에 인체를 적응시키는 것이다. 따라서 생물체 그 자체는 intelligent 구조의 실례로 볼 수 있다. 이러한 점에서 intelligent material 또는 structures에 대한 연구 분야에서는 생체분야와 관련된 연구가 많다.

3. 연구현황

Intelligent material은 1980년대 미국에서 창안되고 먼저 연구가 시작되었으며, 최근에는 구라파에서도 workshop 등을 통해서 이러한 개념을 흡수도입하려는 추세에 있고, 일본에서는 1989년경부터 동 개념에 대한 연구가 시도되기 시작하였다.

Intelligent material에 대한 최근 세계의 연구현황을 보면 표 1에서 처럼 1989년 일본 쓰꾸바에서 개최된 국제 workshop을 기점으로 주로 미국과 일본이 주축을 이루었으나, 그 후 구라파 등에서도 주목되고 있음을 볼 수 있다.

여기서 알 수 있듯이 intelligent material에 관한 연구는 극히 최근에 시작되었으나 현재는 전세계적인 관심의 대상이 되고 있다는 점이다.

3.1 미국의 연구현황

미국의 경우는 여러분야에 대해서 보다 많은 연구가 추진되고 있다. 이 중 기계공학분야에 관한 연구내용의 일부를 보면 <비파괴평가/손상제어/진동과 음향제어/지적(adaptive) 재료/intelligent process>등과 같은 주제에 대한 연구가 많다. 이러한 연구의 목표는 우주항공분야에의 응용이지만 토목건축 분야에도 쉽게 활용할 수 있는 기술이다. 또한 이러한 기술 중에서 진동제어관련기술(active vibration control)과 관련된 지적재료 system에 대한 연구개발이 가장 많이 진전된 것으로 소개되고 있다.

여기서 미국의 연구현황을 보다 구체적으로 분석해 보기위해 1991년도의 심포지움 내용을 보면 주요 주제들은 능동재료, 스마트재료, 제어구조기술로 대별되고, 그 내용을 분류하면 표 2와 같다. 주제항의 1에서는 피에조세라믹 제진기술, 유연구조의 제어, 스마트구조의 능동제어 등, 2항에서는 광 fiber, 형상기억합금, 자왜시스템, 헬스모니터링, 전자점성유체 등, 5에서는 구조제어, 매물센서와 모재의 상호작용에서의 제어구조 등의 분야에 관한 연구내용이 많은 것으로 소개되었다.

표 1. Intelligent material에 관한 주요 국제회의

일자	회의명칭	개최국
1989. 3	International Workshop on Intelligent Materials	일본
1990. 11	First Japan-U.S. Conference on Adaptive Structures	미국
1991. 3	제1회 Intelligent Material Symposium	일본
1991. 6	International Forum on Aeroelasticity & Structural Dynamics 1991 Combined with a One-day Workshop on Smart Material Systems & Structures	독일
1991. 11	Second Japan-U.S. Conference on Adaptive Structures	일본
1991. 11	International Symposium & Exhibition on Active Materials & Adaptive Structures	미국
1992. 4	Conference on Recent Advances in Adaptive & Sensory Materials & their Applications	미국
1992. 5	First European Conference on Smart Structures & Materials	영국
1992. 11	First International Conference on Adaptive Structures	미국
1993. 2	SPIE's North American Conference on Smart Structures & Materials	미국

표 2. 미국의 심포지움의 주요 주제

순위	주 제	건수
1	진동과 음향의 제어	9
2	Smart 재료	4
3	적응/지적구조	7
4	Sensor와 Actuator	14
5	상호작용과 Integration	5
6	인지기술	3
7	로보트	3
8	Modelling, Neural network	2
9	우주항공, 유체	2

이상에서는 알 수 있듯이 미국에서의 intelligent 재료에 관한 연구는 항공, 우주, 기계공학 등과 그 관련 산업분야에 직접 연결되어 있고, 달성목표도 꽤 명확하게 정해져 있으며, 회의의 주제가 기초적인 것이지만 미국의 기술자, 연구자 및 기업의 흥미를 유도하고 있음과 함께 기존의 가능한 기술로서 intelligent material의 개발에 접근하고 있다는 점이 특징이다. 이러한 점에서 연구의 진전에 따라 공업분야에 있어서의 획기적인 발명이나 기술의 개혁을 얻을 수 있는 가능성이 높은 것으로 해석하고 있다.

3.2 일본의 연구현황

일본에서는 과학기술청장관의 자문에 대한 항공전자 등 기술심의회 보고서인 "환경조건에 지적 재료의 창제에 관한 총합적인 연구개발의 추진에 대해서"가 1989년 11월에 발표된 것을 기점으로 하여, 1990년에 workshop, 1991년에 제1회 심포지움 등이 추진되었다. 특히 1991년에는 "Intelligent 재료의 연구개발"(예산: 2억7천백만엔, 과학기술청 주관)이라는 주제로 대국적인 견지에서 정부주도형 연구사업으로 추진되고 있음이 그 특징이다.

일본의 경우 intelligent material과 관련한 심포지움('91)에서 발표된 내용을 분류하면 금속계 2건, 세라믹스계 2건, micromachining계 2건, 고분자 및 생체재료계 16건 등으로 주로 화학 및 생체 등의 분야가 압도적으로 많은 것이 특징이며 이

러한 분야에서의 연구성과도 보고되고 있다. 그러나, 미국에 비해 일본의 경우는 기본적으로, 또 고분자 생체재료계에 편중되어 있어서 이 분야에서의 신기한 발견이나 진전이 기대되지만 다른 면에서는 총괄적이고 기초적인 점이 많고, 항공, 우주, 기계 등의 공학분야와 관련된 연구가 적은 점이 그 특징이다.

4. 연구 실례

4.1 Intelligent material과 구조재료

재료의 손상제어를 목적으로 할 때의 intelligent화 내지는 smart화 재료의 실현방법으로서 첫째, 재료자체의 구성요소에 그 기능을 부여하는 방법 즉, 그림 2와 같은 개념으로 원자, 분자 또는 그 집합체를 정교하게 조립구성하는 것에 의해 재료에 손상이 발생한 경우 재료자신이 그것을 감지하고, 특정한 방법으로 자체의 손상을 외부로 표시함과 함께 자기회복하게하는 개념의 것으로 본래 의미의 intelligent 재료의 창출개념에 해당한다.

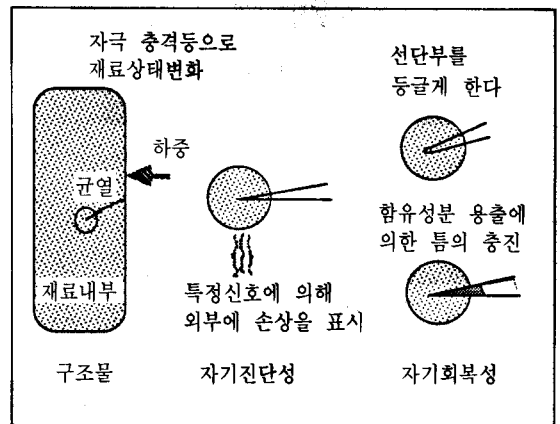


그림 2. Intelligent 구조재료 개념의 일례

이 경우는 현실적으로는 불가능하나 High-Tech의 입장에서 sensor 층, 논리회로층, memory층을 적층한 3차원구조의 "생각하는 소자"의 개발과 관련하여 볼 때, 최근 원자 분자 수준에서의 재료제어나 신재료의 창출 및 다른 기능을 갖는

층의 구별이 없이 일체화된 재료로서 설계하여 새로운 기능을 갖는 재료를 인공적으로 창출하는 것이 가능하게 되어가는 과학기술단계인 점에서 볼 때 머지않은 장래에 가능할 것으로 예상된다.

일례로 그림 3(a)는 생체의 정보처리단위인 뉴런과 같은 1개의 단위로서 각 기능이 융합화된 것을 인공적으로 만들어 나가는 접근방식이다. 이와 같은 개념을 이온 공학기술, 레이저 가공기술 등을 구사하여 원자 분자의 수준에서 인공적으로 제어된 기능성 극박 다층막을 적층하여, 각 중간층의 결합상태를 더욱 제어하므로써 재료 내에서의 자유자재한 정보전달 기구를 구축하는 접근방식을 구상한 것으로 그림 3(b)에서의 같은 층이 수십, 수백 Å의 두께로 되면 1개의 재료로 볼 수 있으며, 이러한 재료/구조가 엄밀한 의미에서의 intelligent material and structures라고 말할 수 있다.

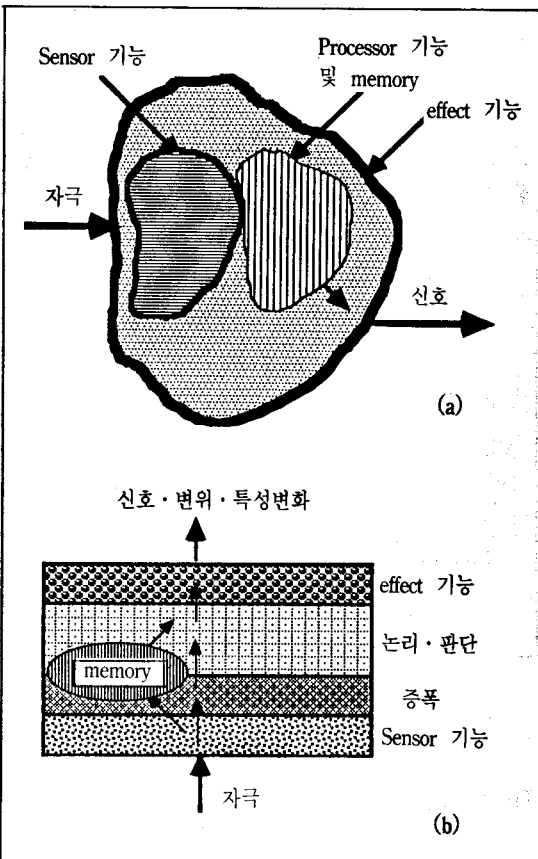


그림 3. Intelligent 재료창출을 위한 2개의 접근 방법

둘째, 재료 중에 sensor와 actuator를 매입시켜 재료나 구조체의 smart화를 실현하는 방법으로 재료에 목적하는 기능을 부여하는 개념의 것으로 현실적으로 가능한 방법이다. 이러한 개념의 재료를 smart material and structures라고도 한다.

지적구조재료로서의 복합재료

전술한 바와 같이 후자의 방법이 현재의 과학 기술 수준으로 볼 때 실현가능한 것으로 이 경우에는 모재에 sensor와 actuator를 매입시키는 기술이 필요하다. 이에 대한 방법으로는 복합재료, 콘크리트 및 고분자재료 등과 그러한 기능재료와의 복합재료화이다. 이러한 방법 중에서 가장 용이한 방법으로는 적층식복합재료화 방법으로 적용대상모재로는 강도가 높고 경량이며 성형이 용이한 복합재료가 적합하며 많이 연구되고 있다.

그리고, sensor 및 actuator와 같은 기능성 발현 재료로는 형상기억합금, 압전재료, 전기점성 유체 (ER유체), 실리콘 및 광 fiber 등이 연구개발의 대상이 되고 있다.

한편, 매입법에 의한 재료/구조의 smart화에는 1) 사용 sensor의 종류와 특성 및 그 개선법, 2) 사용 actuator의 종류와 특성 및 그 개선법, 3) 사용 damper의 종류와 특성 및 그 개선법, 4) 사용 모재의 종류와 특성 및 그 개선법, 5) sensor와 actuator의 모재에의 매입법, 6) 모재와 sensor/actuator의 상호간섭 및 처리후의 복합재의 강도평가법, 7) processor를 포함한 system 전체의 구성법, system 전체의 감지 및 응답특성과 그 개선법 등과 같은 연구분야가 고려되어야 한다.

복합재료는 강도에 비해 경량인 것이 큰 이점이어서 항공기 및 우주구조물 등에 많이 활용되고 있는 것은 주지의 사실이며, 이 점에서 구조재료의 smart화도 이러한 경향을 무시할 수 없는 것이다.

복합재료를 모재로 할 경우에 재료/구조의 smart화를 위해 전술한 바와 같은 고려사항을 항목별로 검토해 보면, sensor로서는 광 fiber가 최고로 유력하다. 이것은 현재까지 주로 통신용에 사용되었으나 극세선으로 경량이어서 복합재 중에 매입이 용이하고, 전자적 노이즈에 민감하지 않은 점과 아울러 전 길이에 걸쳐 어떠한 부위에서도

감지부가 될 수 있어 많은 연구가 되고 있다. 종래의 sensor가 접촉 방식이고 또한 면측정도 실험실적으로만 가능한 상태이고 보면 광 fiber는 차세대 sensor로서 큰 기대가 예상된다.

actuator로서는 형상기억합금 (SMA), 압전재료 (PZT) 의 전왜자와 재료 및 전기점성유체가 연구되고 있다. SMA와 PZT는 sensor로서도 사용된다. 이러한 것들의 용도는 응답주파수, 기계적 출력의 크기 및 사용목적에 따라 결정되고, 전기적 출력을 가하는 것에 의해 작동하는 것과 동시에 소형 경량인 것이 좋다.

모재와 sensor/actuator의 상호간섭은 적층복합체에 대해 매입된 sensor/actuator가 강도평가상으로는 이물질에 해당하는 것으로 부터 발생하는 문제이다. 이때 sensor/actuator 매입시 주위에 발생하는 void, 수지 rich 부분 등은 매입법의 개선에 의해 감소시킬 수 있다. 그러나 이러한 파생적이질부의 발생 외에 복합재의 섬유직경이 5-10 μm인 반면 광 fiber는 120μm, SMA는 50-150μm

정도라는 점과 섬유의 배향각에 대한 sensor/actuator wire의 각도가 다른 점 등이 강도에는 어떠한 영향을 미치는가, 또 적층의 일부를 절단해내고 sensor/actuator를 매입할 때 복합재의 강도평가방법 등과 같은 근본적인 문제점에 대한 연구가 필요하며 또한 연구가 진행되고 있다.

마지막으로 system 전체의 구성방법에서는 현재 취급되고 있는 actuator가 전기구동방식의 것이기 때문에 소요출력과 중량 등과 같은 점에 유의하여 system을 구성하여야 한다.

일례로 항공기의 경우에는 항공기의 기체나 기타의 system에 대해 사람이 하나하나 검사 및 보수를 하기가 어렵기 때문에 보수검사의 자동화와 정량화가 중요한 기술이다. 이러한 경우 항공기의 기체, 조종계통 등을 광 fiber화하고 이와 함께 1개의 전산기로 모든 특성을 제어할 수 있도록 하여 전체구조의 건전성과 변형발생부분의 발견 및 화재발생 등을 감지하는 system을 예로 들 수 있다.(그림 4)

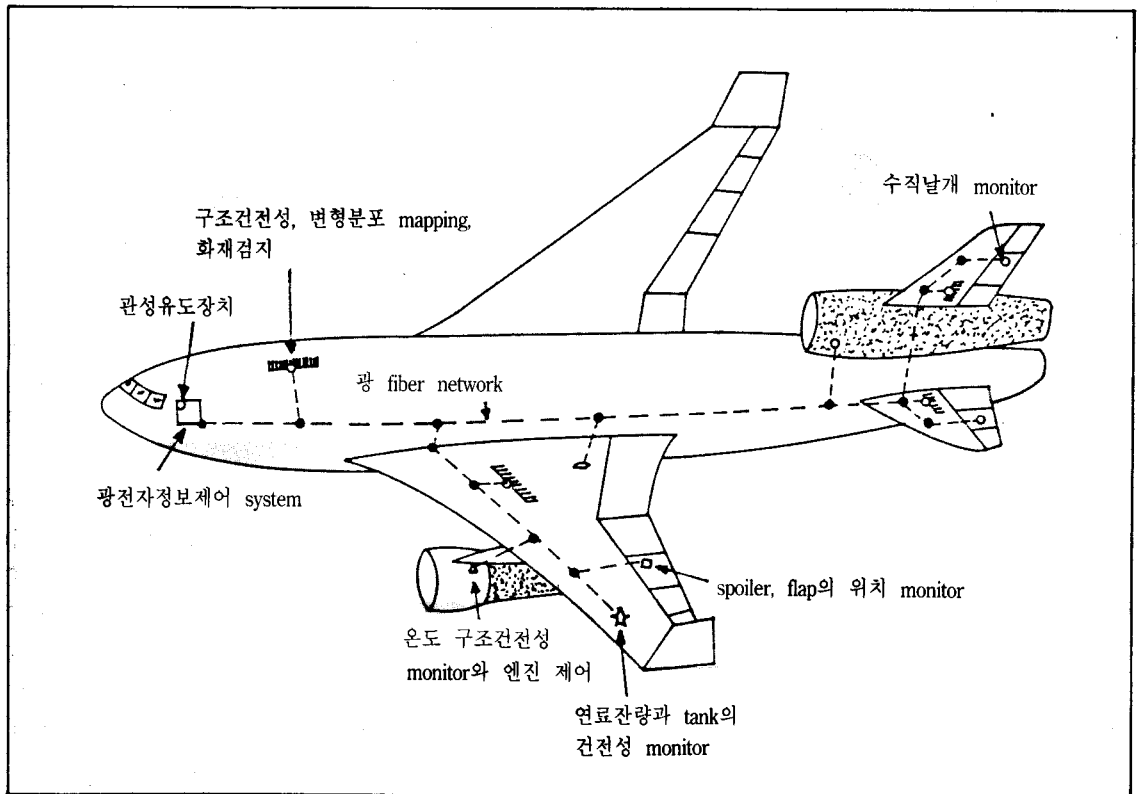


그림 4. 광 fiber 감시형차세대항공기의 개념

이러한 개념을 더욱 발전시킨 것이 health monitoring 항공기이다. 이것은 복합재의 성형시부터 매입시킨 광 fiber로 성형조건을 제어 기록하고, 조립시에도 전부분의 자료를 주전산기에 입력되게 하므로 해서 공장출하시에는 1 기마다의 자료가 전부 주전산기에 입력 및 통제되어 있는 상태이다. 그 후 운반시의 구조건전성 문제, 변형, 가속도, 화재, 낙뢰 및 조종실수 등에 의한 사고도 기존의 자료와 함께 전산기에 입력 통제되어, 돌발사고 발생시에는 CRT 상에 경고를 전달함과 함께 위험부위를 표시하고, 운항의 가부를 나타내게 하는 개념의 것으로 미래형 차세대 항공기의 개념으로 볼 수 있다.

형상기억복합재료

형상기억재료는 재료자체가 온도 sensor와 actuator, 방진성 등 기계구조용재료의 구성요소로서 다양한 기능을 갖고 있고, 온도 변화에 따라 원래의 기억형상으로 회복하는 성질과 함께, 온도나 응력에 따라 전기저항이 변하는 특성을 보유하고 있다. 또한, sensor와 actuator가 기능을 하는 강유전체나 압전소자는 소변형, 저응력, 고주파응답성에 적합한 것에 비해 형상기억합금은 대변형, 고응력, 저주파응답성에 적합한 장점이 있다.

따라서 형상기억재료는 지적재료로서의 재료기능조건을 본래 부터 가지고 있어서 지적재료/구조체를 설계할 때의 구성재료로서 가장 적합한 재료소자이다. 이 때문에 지적재료의 차세대적인 구성요소재료로 형상기억합금을 예로드는 경우가 많다. 이러한 점에서 형상기억재료는 미국을 비롯한 선진국에서 다시 주목의 대상이 되고 있다.

형상기억합금의 열탄성변태(형상기억효과)나 응력유기상변태(초탄성효과)에 따른 재료물리학적 정보(전기저항변화, 초음파 음속변화, 내부마찰, AE 발생)를 검지하여 외부환경에 의한 상변태로 재료의 강성을 변화시키므로써 재료의 강화, 균열발생제어에 의한 강인화 및 제진성 등을 재료에 능동적으로 부여하는 개념을 응용하여 intelligent material을 구사할 수 있다.

일례로 그림 5와 같이 광탄성 에폭시 수지제 인장시편에 1% 정도의 예비변형을 가한 TiNi fi-

ber를 매입시킨 후 인장응력을 가하면 균열선단부에서 응력집중이 생성된다. 이때 fiber를 통전 가열하면 fiber는 형상기억 효과에 의한 수축으로 압축응력이 도입되어 응력확대계수의 감소, 능동적인 파괴인성의 제어나 피로균열폐쇄에 의한 균열전파속도 저하 등으로 수명을 증대시킬 수 있는 개념의 것을 예로 들 수 있다.

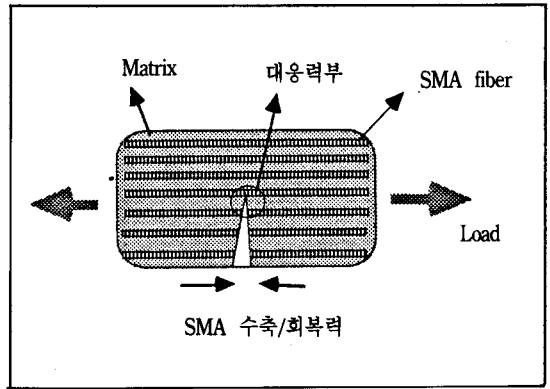


그림 5. 손상제어의 smart 화의 일례

한편, 능동적 진동, 소음 흡수기능재료에의 형상기억합금 응용예를 들면 그림 6과 같이 종래의 폴리머계 복합재료적층판과 형상기억합금 TiNi fiber를 매입 강화한 에폭시판을 이용하여 5종류의 적층복합재를 제작하고, TiNi fiber를 통전가열하여 상변태를 일으킨 상태에서 20-150Hz의 주파수 범위에서의 음향흡수능을 조사한 결과 주파수 영역에 따라 흡수능의 조정이 가능한 것을 알 수 있었다. 이러한 예에서 알 수 있듯이 재료의 상변태 현상에 따른 기본적인 물성변화를 조사 해석하여 그러한 특성을 인공적으로 제어하면 새로운 재료의 설계가 가능하다는 것이다.

금속기형상기억 복합재료로서의 지적재료에 대한 예를 들면 그림 7과 같은 system을 구사할 수 있다. 즉, 섬유자체의 형상기억 효과에 따른 체적변화를 이용하여 섬유강화작용과 함께 모재 내부에 압축잔류응력을 발생시켜 재료강도의 향상과 균열생성제어작용 등을 가능하게하는 형상기억 TiNi 섬유강화 AI기 복합재료에 대한 연구이다.

먼저 TiNi fiber를 매입한 AI 복합체를 만든 다음

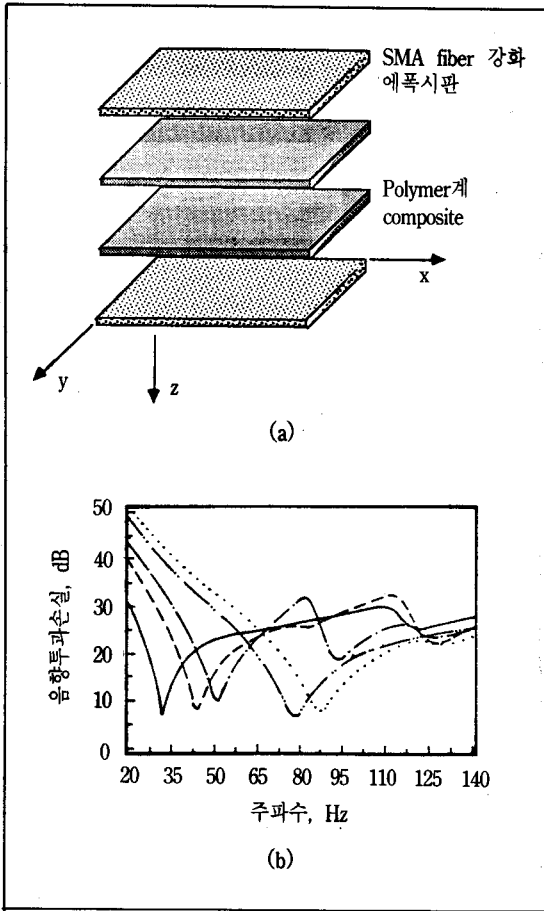


그림 6. 복합재료적층판과 SMA fiber 강화에폭시판을 이용한 hybrid형 composite(a)와 및 음향감쇠능변화(b)

TiNi fiber의 역변태종료온도 (A_f) 이상으로 가열한 후에 마르텐사이트 변태 종료온도 (M_f) 이하로 냉각한다. 이때 TiNi fiber는 마르텐사이트 상으로 되어 Al 기지보다도 연화된다. 이 상태에서 복합재에 인장 또는 압연가공에 의해 소변형을 부여하면 Al 모재는 소성변형 상태이고, TiNi fiber는 의탄성영역의 상태로 된다. 이것을 A_f 온도 이상으로 가열하면 모재내의 TiNi fiber는 형상기억효과에 의해 원래의 상태로 수축하려고 한다. 이때 Al 기지의 구속에 의해 fiber 내부에는 인장응력, 기지내부에는 압축응력이 발생하는 것으로 된다. 이러한 경우 Al 기지에 비해 TiNi 합금의 강도가 훨씬 높기 때문에 복합체 전체의 강도는 증가하고,

재료내부에 발생할려는 미세균열은 제어되어, 파괴저항이나 피로수명 등이 향상되는 것을 기대할 수 있다.

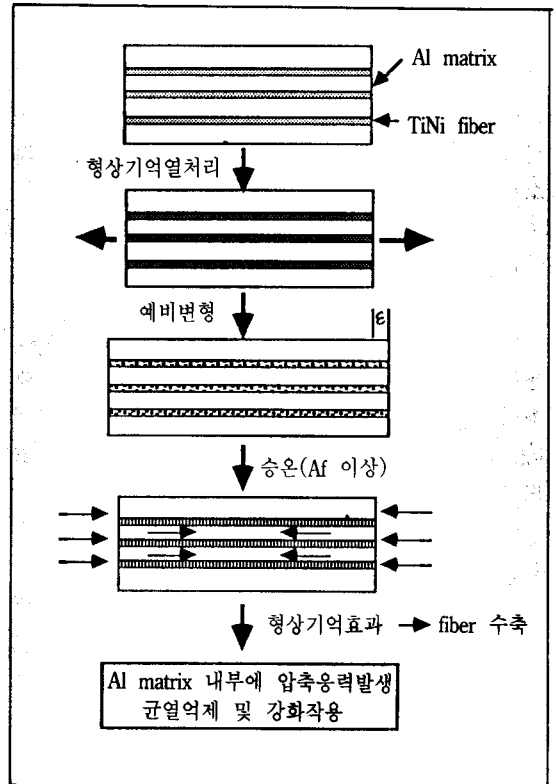


그림 7. 금속기형상기억복합재료의 설계와 process

이러한 형상기억 복합재료의 기본적인 설계개념은 고온에서 강도 등의 기계적 특성이 저하하는 금속의 경우 온도상승에 따른 SMA의 역회복력 강화작용에 의해 그러한 특성저하를 억제시키고, 모재와 SMA fiber의 강성율의 차이에 의해 생기는 제진 감쇠효과를 이용하려고 하는 것이다. 이 경우 Al 재에 비해 TiNi fiber/Al 복합체의 경우 Damping 특성이 2-3배 정도로 우수한 것도 검토되었다. 이상과 같은 점과 Al보다 내마모성이 보다 우수하다는 점에서 TiNi fiber/Al 복합재료는 진동제어와 경량화가 요구되는 차체용구조재료나 중온도역에서의 차량이나 엔진용재료로서 응용개발이 기대된다. 그러나, 이러한 복합체에서의 파괴의 주원인은 TiNi fiber와 Al 모재 계면에서의 박리

때문인 점으로 볼 때 계면상에서의 금속학적 해석과 함께 관련 제조공정에 대한 연구개발이 금속기형상기억합금재료의 실용화에 있어서 중요한 점으로서 실질적인 연구의 대상이 되고 있다.

이 외에도 형상기억합금을 이용한 지적재료의 연구에 있어서는 기능소자로서의 개발, 대변형 및 고강도로서의 특징이 있어 다른 금속이나 고분자재료 등과의 복합재료화에 의한 새로운 개념의 소재개발에 대한 연구가 진행되고 있다.

4.2 Intelligent material과 Bio

생체재료는 생체구조재료(인공뼈, 인공혈관 등), 생체기능재료(인공피부, 간장, 신장, 췌장등), 생체의료용재료(약물수송 system) 등으로 구분하여 intelligent material화에의 연구가 활발하게 추진되고 있다.

인공뼈로 사용되는 재료들은 stainless steel, Ti 합금, 다결정 세라믹 등에 반도체 제조기술을 이용한 이온주입 처리를 통해 근육이나 혈관과의 생체친화성을 양호하게 하는 방법이 연구되고 있다. 또, 뼈에 기계적, 전기적 자극을 주면 성장을 촉진시킨다는 것을 이용한 골절치료 방법도 있다. 이처럼 생체와 관련된 연구 분야에서는 생체내에 매입된 재료가 생체 친화성을 갖게 함은 물론, 생체의 성장 또는 치유상황에 따라서 성장 또는 소멸하도록 하는 개념을 갖는 인공적인 혈관, 뼈 등의 개발이 동분야에서의 연구개발 목표이다.

한편, 생물체의 특징의 하나로는 그 항상성에 있다. 즉, 더우나 추우나 체온은 일정하고, 당분은 과하게 취하여도 일정하게 유지된다. 이러한 관점에서의 생체기능재료분야에서의 smart structure의 예로 당뇨병 환자용의 인공췌장에 대해 구사해보면 그림 8과 같이 설계할 수 있다. 즉, 혈당 sensor로 혈당을 계측하고, 인슐린의 최적 방출량을 microprocessor로 계산하여, 인슐린을 저장장소로 부터 방출하여 혈당치를 일정하게 유지하게 한다는 개념이다.

이러한 개념을 intelligent material로 구사하면 보다 간단한 구조로 고성능화 하는 것이 가능하다. 예를들면, boron 산기를 갖는 폴리머와 폴리비닐

알콜과의 고분자복합체로 인슐린을 함유한 microcapsule을 만든다. 이 복합막의 결합은 포도당과 치환되기 때문에 혈당치의 상승에 의해 결합이 열려 팽윤하면서 캡슐 내에 봉입된 인슐린이 포도당 농도에 비례하여 방출되므로서 혈당치를 항상 일정하게 유지시키는 개념의 것이다.

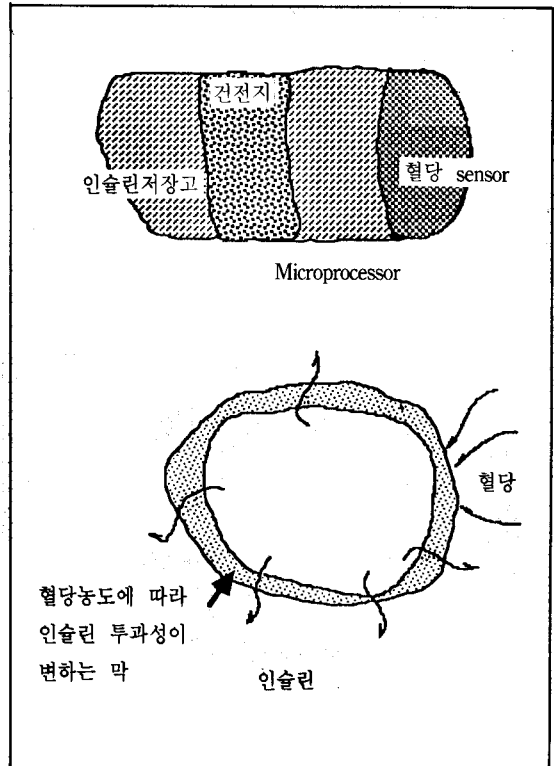


그림 8. 인공췌장(상: 개발중인 smart structure type, 하: intelligent material화)

생체의료용 재료에서는 약물수송 system의 개발이 활발하다. 고분자의 경우 외부로부터의 전기나 열의 자극에 의해 분자나 이온을 취하거나 방출한다는 특성을 활용하여 극히 얇은 박막형태로 구사하여 이것이 마치 펌프와 같이 움직여 환부로 약물을 보내게 하는 system을 구사할 수 있다. 또는 환부로 부터의 분비액을 약의 표면이 감지하여 환부로 이동, 환부와 밀착하여 작용하기 시작하면 효율도 좋고 정상세포에도 손상을 주지않고 치유되게 하는 system 등과 같은 분야에 대한 연구가 추진되고 있다.

5. 결론 및 전망

Intelligent material의 실현에는 먼저 그 기본적인 구성요소재료의 <물리화학적 특성→그러한 재료의 적층 및 복합화→정보전달처리→재료 system제어→능동적응답→복수기능(sensor, processor, effect) 발현>이라는 일련의 과정에 의한 재료설계의 개념이 요구된다.

이러한 점에서 기존 재료의 물성, 재료제조 및 가공공정 등에 주위 환경으로 부터 재료에 전달되는 각종 정보에 대한 재료내의 반응, 정보전달 처리 특성 등의 기능에 대한 기초연구나 계측기술 등과 같은 개념을 주는 “정보재료학”의 부가 및 종합에 의해 intelligent material의 실현이 가능한 것이다.

이를 위해서는 각종 기능재료의 “복합 system화”와 재료의 사용목적, 환경 및 상황 등을 포함한 “총합적 재료평가”에 대한 연구가 필요한 것으로 설명되고 있다.

따라서 intelligent material은 단순한 하나의 재료 또는 구조라는 개념의 것이 아니고 금속재료, 우주항공, 기계, 토목 건축, 생체, 바이오, 의료, 고분자 등 광범위한 영역에서의 복합화 및 일체화된 재료 또는 구조물의 개념으로 해석되어야 한다.

한편, intelligent material 관련 기술은 차세대에 있어서의 새로운 개념의 재료나 구조물의 창출에 대한 최첨단기술로 부각되고 있으며, 또한 광범

위한 영역에서의 무한한 응용과 활용이 기대되고 있다. 이러한 점에서 선진국에서는 이미 우주항공 및 자동차분야의 산업은 물론 차세대에 있어서의 첨단기술로 예상되는 micromachine 기술분야 등과 관련하여 정부주도하의 연구방향 설계 및 연구개발이 추진되고 있다.

우리나라의 경우 범국가적차원에서 2000년대 선진입국을 위해 대형국책연구사업 등으로 과학기술의 고도화를 위해 많은 분야에서의 연구가 추진되고 있으나, 전술한 바와 같은 분야에 대한 연구개발 및 투자는 거의 전무한 실정이다. 이러한 실정에서 향후 첨단과학기술 분야에 있어서 국제적인 기술우위확보 및 국제경쟁력 증대를 통한 선진입국의 기반을 보다 조기에 달성하기 위해서는 동분야에 대한 연구개발도 국가적 차원에서 추진되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

- [1] 高木俊宣：新素材, Vol.3, No.8, (1993) 51
- [2] 江川幸一：新素材, Vol.3, No.8, (1993) 57
- [3] 吉屋泰文：新素材, Vol.3, No.8, (1993) 63
- [4] 江川幸一：機械の研究, Vol.44, No.7(1992) 793
- [5] 吉屋泰文：機械の研究, Vol.44, No.10 (1992) 1090
- [6] 최승복：機械와 材料, Vol.2, No.4 (1990) 129