

# 지능재료 시스템과 구조물을 이용한 국가 기간 시설의 첨단화

최 승 복 · 최 영 태

(인하대학교 기계공학과)

## 1. 머리 말

최근 지능재료 시스템 및 구조물(intelligent material systems and structures)에 대한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 이는 새로 창출된 연구개발 분야로서 현재와 가까운 장래에 국가 기간 시설의 기능을 향상 시킬 수 있는 큰 잠재력을 갖고 있다. 지능재료 시스템 및 구조물은 시스템 성능의 극대화, 외부 환경변화에 대한 적응 능력 그리고 유지비용의 최소화를 꾀할 수 있는 공학적 시스템이다<sup>(1)</sup>. 따라서, 이 지능재료 시스템 및 구조물에 대한 연구 개발 및 구현은 국가 기간 시설 재건축과 기능 향상에 커다란 이득을 가져올 수 있다. 빌딩, 다리, 수송로의 설계에 있어서 지능재료 시스템 및 구조물은 기능의 향상과 더불어 전체적 유지비용의 감소를 가져올 수 있다. 지능재료 시스템은 형상기억합금 또는 압전재료와 같은 단일 재료를 말하기 보다는 이 재료들이 기능적으로 함께 통합된 시스템을 말한다. 기간 시설의 단순화와 시스템 건축비용의 감소 그리고 유지비용의 최소화를 위하여 지능재료 시스템 및 구조물은 설계와 건축에서 혁신적인 재료를 이용하여 구현되고 있다.

국가 기간 시설은 한나라의 사회복지에 근본으로 현대적인 생활과 경제성장에 필요한 기초 설비와 편의 시설을 말한다. 이 기간 시설로는 학교, 우체국, 경찰서 그리고 관공서와 같은 공공 건물과 사람, 상품, 에너지 그리고 정보를 전달하고 전송하는 수송 설비 등이 있다. 중요한 수송 설비로는 전력, 가스, 석유, 통신, 그리고 상수도 와 하수도 등을 들 수 있다. 이와 같은 시스템은 일반적으로 교점(node), 구성요소 그리고 연결 링크로 구성된다. 예를 들어 고속도로 시스템은 교차로, 다리, 도로로 구성되어 이

러한 기간 시설 시스템과 구성요소의 예가 표 1에 열거 되었다. '앞에 언급된 거의 모든 시스템은 이것이 시스템으로 작동하더라도 구성 요소와 구성 요소의 결합으로 설계된다. 본 글에서 최근 미국 NSF(National Science Foundation) 워크샵에서 발표된 지능재료 시스템 및 구조물에 대한 내용<sup>(2)</sup>을 바탕으로 이 기술이 국가 기간 시설 첨단화에 어떻게 적용되는가를 기술하고자 한다.

## 2. 지능재료 시스템과 구조물이란 ?

수십년동안 엔지니어들과 과학자들은 진보적인 로봇이나 기계 시스템 설계에 자연(nature)을 영감으로 이용해 왔다. 오늘날 자연은 완전히 새로운 단계의 재료 시스템 즉, 지능재료 시스템에 대한 영감이 되고 있다. 노화되는 공정과 변화하는 환경을 수용하기 위해 물질의 구조, 조직형상 그리고 특성 등을 적용시켜가는 자연의 능력과 생물학적인 유사성은 특수한 기능을 갖춘 재료를 설계하는데 이용되어져 왔다. 이러한 재료는 스스로 형태를 변화시킬 수 있고 자신의 작동 상태를 감시하고 진동을 제어하며 일반적으로 외부 환경 변화에 능동적으로 적응할 수 있는 특성을 갖고 있다. 지능재료 시스템과 자연과의 유사성은 거의 전반적으로 일치한다. 즉, 자연과 살아있는 시스템으로부터 배우고 그 지식을 적용하여 인공 시스템이 자연을 통해 보아 왔던 적응 특성을 가지도록 하는 것이다. 여기서 지적해 두고 싶은 것은 지능 재료 시스템과 지능 구조물과의 차이점은 구현되는 규모의 차이 외에는 없다는 것이다.

지능재료 시스템과 구조물은 성능을 최대화하고 적응 기능을 제공하며 유지 비용을 최소화하기 위하여 상당한 정도의 자율성을 가지고 있는 공학적 시스템이다. 생물학적 구조물의 생존은 강도, 경도,

표 1 기간 시설 시스템과 구성요소

시 스템	구 성 요 소
< 전 력 >	발전 설비, 변전소, 송전탑, 배전 설비, 전력 제어소, 통신 시스템, 건물 비상 발전 시스템, 보수 및 관리 설비
<가스 및 액체 연료>	송유 및 가스관, 제어 시스템, 통신 시스템, 펌프 및 압축 장치, 저장 탱크, 정유소(배관, 공정 설비, 제어 및 안전 장치), 저장용기
< 통 신 >	스위치 설비, 배선 설비, 전원 장치, 스위칭과 데이터 처리 장치, 난방장치, 환기 설비와 냉각 장치, 비상 전원 장치, 건물 송수신 타워, 중계소
< 교 통 >	
고속도로	차도, 다리, 터널, 제방, 비탈, 옹벽, 신호 등, 유지보수설비
철도	철길, 다리, 터널, 제방, 비탈, 옹벽, 신호 및 제어장치, 화물차량 유지보수설비
대중운송	승강기, 구조물, 다리, 터널, 지하철역, 플랫폼, 전기공급장치, 전선, 신호 및 제어 시스템, 유지보수설비
항구 및 수로	선창, 부두, 방벽, 임시 방축 제방, 건조 독, 운송 장치, 화물을 싣고 내릴 수 있는 구조물, 포장도로, 건물, 연료 저장 탱크
공항 시설	활주로, 관제탑, 다리, 제방, 항공 관제 장치, 연료 저장 시설, 건물 수화물 처리 시설, 신호 및 제어 시스템, 유지 보수 설비, 항공로 관제 설비와 이와 관련된 통신 시설
<상수도 및 하수도>	댐, 송수관, 터널, 수로, 운하, 저수지, 탱크, 우물, 펌프, 기계적 및 전자적 장비, 비상 발전 시스템

충격에 대한 저항 등과 같이 꼭 필요한 기계적인 특성과 함께 건축비용과 유지, 보수비용 사이의 경제적 균형을 유지하는 자연의 능력에 의존한다. 우리가 경제적인 생존 능력과 목적에 부합하는 성능을 동시에 만족하는 설계를 위하여 구조적 요구조건과 재료들을 상충 하고자 할때 이러한 경제적 균형은 반드시 고려 되어야 한다. 특히, 생물학적 시스템들의 매력적인 특징은 그들 구조에 대한 국부적인 손상을 자체 진단하고 (연속적으로 분포된 센서망을 통하여) 보수하는 독특한 능력이다. 이것은 지능 재료 시스템과 구조물에 요구되는 특성이다.

과학적인 사회의 흥미를 자아내게 했던 요소중의 하나는 "탄생에서 폐기까지라는 보전정책"과 함께 현대적 재료 시스템과 공학적 기간 시설을 제공할 가능성이 있다. "탄생에서 폐기까지"라는 말의 의미는 생산과정을 제어하기 위해 사용하고 있는 센서의 능력을 언급한다. 이와 같은 능력에 의해 처리된 제품은 품질을 보장하고 생산공정 자체를 최적화한다. 이러한 센서만으로 시스템의 작동 상태는 그 제품의 일생을 통해 감시될 수 있다. 그리고 작동기 시스템과 센서의 결합으로 국부적인 손상이 조정될 수 있으며 또한 손상을 제거하기 위해 구조물의 동작이나 성능이 될 수 있다. 이때 이러한 센서들은 노화되는 공정을 감시하고 언제 그 제품이 보수되고 폐기될지를 결정하기 위한 정보로 사용된다.

지능재료 시스템의 기본적인 전제 조건은 주어진

목적에 의해 설계 되어져야 하며 에너지 변환에 의해 일련의 유용성을 창출하도록 그들의 작동 상태를 수정할 수 있어야 한다는 것이다. 예를 들면 과부하가 걸릴지도 모르는 다리는 과부하 조건에 응답하여 그 구성 요소를 강화하거나 단단하게 하기 위해 전기적 에너지를 사용할 수 있다. 이 경우, 과부하 응답은 노화와 손상의 원인이 되는 다리의 실제 "생활 경험"(life experience)에 근거를 둔다. 그러므로 이 정보를 이용하여 다리가 하중을 받았을 때, 다리의 건강 상태를 결정할 수 있으며, 어떤 시점에 이르러서 그 다리가 정상 하중하에서는 더이상 기능을 수행할 수 없을때, 그 폐기에 대한 정보로도 사용될 수 있다.

제어특성을 갖는 지능 시스템이 현재 공공시설에 적용된 몇가지 예가 있다. 특히 많은 공공사업 회사들은 몇가지 초보적인 제어 기술을 전기나 도시가스 등의 소비 계측과 제어에 이용하고 있다. 만일 천연가스라인이 단절되거나 가스가 누설되면 센스 계측 시스템은 회사에 이 사실을 연락하고 그 동안 다른 계측 시스템이 작동되어 소비량을 검사하게 된다. 그러나 이러한 시스템 대부분은 최첨단 제어 이론과 통신기술이 사용되지는 않았다.

특히 미국에서 구조적인 제어 연구의 경우 주로 기계 시스템과 항공우주 시스템에 초점을 맞추어 수행되어 왔다. 단지 지난 10년전 부터 이러한 몇가지 기술이 건축공학 분야에 도입 되었는데 이 분야에서

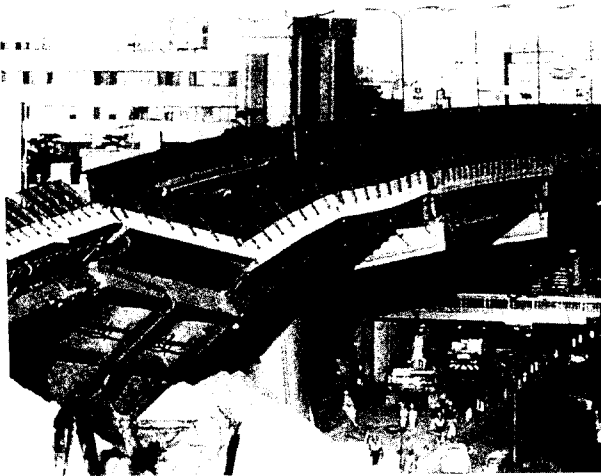


그림 1 1995년 일본 고베지진시 파괴된 도로의 사진: 지능시스템 개념을 이용하면 빌딩, 다리 그리고 도로 등의 피해를 예방 혹은 감소시킬 수 있다.

는 전형적으로 지진이나 바람에 의한 빌딩의 바람직하지 못한 진동에 대한 제어방법이 제안되어 왔다. 이러한 제어는 공공시설의 다른 구성요소에도 약간 제안 되었는데 이는 다리, 생명라인(예, 파워라인, 파이프라인, 그리고 다른 수송 시스템) 등이다. 그림 1은 1995년 일본 고베에서 발생한 지진으로 파손된 도로의 사진이다. 이러한 다리와 생명라인의 손상은 재난과 위기 상황에서 사회에 엄청난 혼란과 위험을 안겨 주게 된다. 지진 발생시, 천연가스 라인의 파괴로 인한 가스의 누출과 소화전에 물을 공급하기 위한 상수도 라인의 파괴로, 화재는 가장 큰 피해를 줄 수 있는 요인이다.

지금까지 지능재료에 대한 연구는 이 재료를 구조물의 요소로 어떻게 사용할 것인가와 어떻게 하면 좀더 효과적이고 낮은 비용의 구조물을 건축하기 위해 우리 주변의 재료를 잘 사용할 수 있는가이다. 이를 위해 많은 과학자들과 엔지니어들은 통합시스템이 자체처리 능력을 갖도록 새로운 재료의 개발, 센서 특성과 제어특성을 갖는 재료 그리고 에너지를 저장하고 변환할 수 있는 장치 개발에 혼신에 힘을 다하고 있다.

### 3. 어떤 문제를 해결할 수 있는가?

이러한 기술의 원류는 1980년대 중반에 다음의 세 가지 응용에 대한 문제 해결 수단으로서, 급속히 연구되기 시작되었다. 첫째는 미국 NASA 등에 의해

제작되는 대형 우주 구조물의 진동 제어, 둘째는 광섬유를 사용한 항공기 작동 상태 진단 그리고 마지막으로 잠수함으로부터 나오는 음파의 확산을 막는 구조물 소음제어이다. 수많은 기업이 최근 설립되면서 차량실내의 소음제어와 자동차 머플러의 소음제어, 터보프롭기 객실의 소음 및 진동제어에 군사적 기술을 이용하게 되었다. 또한 압전세라믹 재료와 작동기에 중점을 둔 많은 연구는 점차 관심이 고조되어 능동 진동제어와 절연분야의 새로운 시장으로 확대되고 있다.

앞에서 제시된 세 가지 문제의 기초적인 부분의 대부분은 최근 지능 재료의 발전과 함께 해결할 수 있게 되었고, 향후 상업화에 많은 기회를 갖게 될 것이다. 상업화 가능성의 예를 들면 다음과 같다.

- 시스템 작동수명의 평가
- 파이프 시스템의 부식 탐지
- 수중 구조물의 부식 탐지
- 화재 감지
- 작업환경 개선(공기의 질, 소음 수준, 진동 제어, 온도)
- 센서와 작동기를 이용한 재료 가공(인공 지능을 이용한 가공과 제조)
- 급커브 및 비탈의 안전성 감시와 진흙의 흘러내림 감시
- 에너지 사용의 최적화 - 에너지 창출에서 소멸까지
- 바람, 지진, 수용 인원과 기계적 하중으로 인한 빌딩, 다리, 수송로의 진동제어와 성능향상
- 공해 탐지와 방제
- 재료와 구조물의 물성 저하 감지와 함께 구조물의 안전 상태 진단

다른 중요한 점은 지능 재료 시스템이 원료 가공 기술에 응용될 수 있다는 점이다. 재료의 가공상태를 진단하여 재료의 수명을 평가할 수 있는 미소 입자 기술이 지금 가능하게 되었다. 광섬유 센서나 압전세라믹 센서가 구조물의 재료나 구성요소에 삽입되어 재료의 상태를 연속적으로 감시할 수 있기 때문이다<sup>(3)</sup>.

새로운 기술이 건축분야에 사용되지 못하는 문제점 중에 하나는 재료 비용의 증가이다. 최근 미국은 건축재료분야에서 상당한 정도의 시장 점유율을 잃었다. 1981년 건축재료분야에서 무역흑자를 낸 반면, 1989년에는 비목재 건축재료분야에서 상당한 무역적자를 보았다. 명백하게 건축재료는 건축물의 성능과 비용에 중요한 영향을 미친다. 건축재료분야에 새로운 기술의 구현이 경쟁력 있기 위해서는 그 비

용이 비싸지 않아야 한다. 따라서 새로운 기술과 지능 재료 시스템은 우리의 시장 점유율과 경쟁력 그리고 이익을 증가시키기 위해 현재의 건축 재료와 연계되어 사용되어야 한다.

#### 4. 지능 구조물의 기본 구성요소는 무엇인가?

지능재료 시스템은 유체, 겔(gel), 또는 고체로 이루어진 하이브리드(hybrid) 복합 시스템이다. 자연 시스템에 지능을 주입하기 위해서는 적응 능력을 갖도록 하는 많은 재료의 상호 협동작용이 필요하다. 인공 지능 시스템도 많은 재료의 상호 협동작용이 필요하다. 다음은 과학과 공학분야에 혁신을 가져올 기술, 재료, 장치 그리고 개념을 설명하고자 한다. 이러한 혁신이 구조물 시스템, 즉 지능 구조물에 커다란 진보를 가져다 줄 것이다.

지능시스템에 일반적으로 사용되는 몇가지 기술을 설명하기 앞서, 토목 및 건축분야에서 매우 기본적이라고 생각되는 많은 기술이 사실은 지능 구조물에서는 매우 중요한 부분이 된다. 상기 해야될 사항은 지능재료 시스템의 목적은 시스템이 어느 정도 자체 처리 능력을 갖어 성능의 극대화, 유지비용의 최소화 그리고 적응 능력을 갖도록 하는 것이다.

저항 스트레인 게이지, 유압작동기, 전기모터는 지능 시스템에 중요한 구성요소이다. 엔지니어의 목적은 질량과 에너지를 줄이고 적응 능력을 갖는 최적의 기술을 선택하는 것이다. 지능 시스템의 적합한 기술적 구성 요소를 선택하는 것이 첫단계로 중요하다. 지능 시스템의 모든 구성요소의 통합에 많은 연구를 수행 하더라도, 우리는 여전히 지능 시스템의 구성 요소인 센서, 작동기 그리고 제어분야에 기술적 진보를 이루려는 노력이 필요하다.

##### 4.1 작동기

지능 또는 스마트 구조물에 외부 환경 변화로부터 적응할 수 있는 능력을 제공하는 재료를 작동기(actuator)라 부른다. 이 재료는 온도, 전기장 또는 자기장에 반응하여 형상, 강성, 위치, 공진주파수, 댐핑, 마찰, 유속 그리고 다른 기계적 특성을 변화시킬 수 있는 능력을 갖고 있다. 가장 일반적인 작동기 재료로는 형상기억합금(shape memory alloy), 압전 재료(piezoelectric material), 자성 재료(magnetostrictive material), 전기유동 유체(electrorheological fluid) 그리고 자성유체(magneto-rheological fluid)가 알려져 있다.

형상기억합금은 마르텐사이트 상변화에 의하여 자기 형상을 기억하여 다시 되돌아 가려는 특성을 나타낸다. 형상기억합금은 상변화온도 이상의 열을 가하면 최대 8%의 변형이 발생할 수 있다. 여기서 상변화 온도는 합금의 구성에 따라 달라지게 된다. 높은 전기적 저항을 갖는 형상기억합금은 전기적 전류를 가함으로써 상변화에 필요한 열을 발생시킬 수 있게 된다. 이렇게 발생된 열에 의해 형상기억합금은 기억된 자기 형상으로 다시 돌아가며 매우 큰 힘을 발생시키게 된다. 그러나 작동기가 가열 그리고 냉각에 따라 반응하므로 반응 시간은 다른 작동기에 비하여 느린 단점을 가지고 있다<sup>(4)</sup>. 1960년대에 형상기억합금을 이용한 응용장치의 특허등록이 많더라도, 이 응용장치의 생산은 1970년대에 비로소 시작하였다. 형상기억합금의 원래 적용 온도는 용접부가 없는 파이프 커플링이다. 또한, 이 형상기억합금은 물이 든 종이 칩을 조심스럽게 잡을 수 있는 그리퍼의 작동기로도 사용되고 형상기억합금 와이어를 복합재료에 심어 재료에 걸리는 응력을 제어할 수 있는 장치로도 사용된다. 이 경우, 복합 재료에 심어진 작동기는 부분적으로 압축 응력을 발생시켜 노치 부근에 걸리는 집중 응력을 완화시켜 재료의 피해를 줄이게 한다.

압전재료는 부하되는 전압에 반응하여 기계적 힘을 발생시키게 된다. 압전재료의 경우는, 상변화라기보다는 재료에 부하되는 전기장에 따라 재료 내부의 전기적 쌍극자(dipole)들이 나란히 정렬되어 결정 구조가 변형되어 압전재료의 형상을 변화시키게 된다. 이 경우, 최대 200~300 마이크로의 변형이 가능하다. 압전재료는 이렇게 작은 변형을 발생시키지만 만일 어떤 구조물에 구속되게 되면 빠른 응답속도를 갖고 부하되는 전압에 비례하는 큰 힘을 발생시키게 된다. 압전 작동기들이 사용된 예로는, 광학 추적장치, 자기헤드, 적응 광학시스템, 미소위치 이동로봇, 잉크젯 프린터, 스피커 등이 있다. 최근에는 능동음향 감쇠제어, 능동구조 감쇠제어, 능동손상 제어를 구현하기 위한 연구에 초점을 맞추고 있다.

자성체 재료는 압전재료와 유사하나 전기장 대신 자기장에서 반응을 하는 성질이 있다. 자성체 내부의 자기영역들이 자기장 안에 위치하였을 때 자기장과 정렬될 때까지 회전하게 되어 재료의 팽창을 발생시키게 된다. 지구상에서 희귀한 요소인 테르븀(terbium)을 포함한 터페놀-디(Terfenol-D)는 자기장과외의 정렬작용에 의해 1400 마이크로 변형이상의

팽창이 가능하다. 상대적으로 이런 새로운 재료는 저주파수, 고출력 수증음파 탐지변환기, 큰 힘을 내는 선형모터, 높은 토크와 낮은 회전속도를 갖는 모터 그리고 유압작동기들에 사용되어 왔다. 터페놀-디는 현재 능동진동 감쇠시스템의 사용을 위해 검토되고 있다.

전기유동유체와 자성유체는 각각 전기광과 자기장에 반응하여 유동학적 성질(점성, 가소성, 탄성)의 가역변화를 나타낸다<sup>(6)</sup>. 이러한 유체들은 마이크로미터 크기의 입자와 오일로 구성되며 부하되는 전기장과 자기장에 반응하여 유체의 가점성을 현저히 증가시키게 한다. 또한 이 유체들은 운동부분이 없이 작동기로 작동되므로 유압 밸브시스템 설계의 단순화를 가져올 수 있다. 다른 응용 장치로는 조화 감쇠기, 진동 절연시스템, 클러치, 브레이크, 마찰장치 그리고 보룻 팔 등을 포함하고 있다.

#### 4.2 센서

지능재료 시스템과 구조물의 구성요소 중 중요한 기능의 하나는 센서이다. 피해감소제어, 진동감쇠 그리고 음향제어 등 일련의 모든 지능 제어과정들은 재료시스템이나 구조물의 상태를 나타내는 센서에 의해 제공된 정확한 정보가 필요하다. 감지하는 능력은 외부에 센서를 부착하거나 또는 구조물안에 센서를 삽입함으로써 구조물은 그 감지 능력을 갖게 된다. 이러한 목적을 위해 사용된 센서재료로는 광섬유(optical fiber), 압전 재료 그리고 태깅(tagging) 입자 등이 있다.

광섬유는 감지하는데 있어 비본질적으로 또는 본질적으로 사용할 수 있다. 비본질적으로 사용하였을 때 광섬유는 센서로서 작용하지 않고 단지 빛을 전달하기만 한다. 비본질적인 광섬유센서의 예는 근원(source)으로부터 빛을 모으기 위해 광섬유를 사용한 위치센서를 들 수 있다. 로봇 응용 장치의 경우, 광섬유에서 발생시킨 빛의 단락으로부터 작업공간의 위치를 정확하게 결정할 수 있다. 안전시스템의 경우, 외부로부터의 침입자를 막아내기 위해 이런 기술을 사용한다. 본질적인 감지기능은 광섬유의 빛 전달성격을 변화시킨다. 1979년 NASA Langley 연구센터에서는 유연구조물에 있어서 본질적인 감지기능을 이행하기 위해 광섬유를 최초로 사용하였다. 이런 초기 연구에 광섬유는 저온도 복합재료의 변형률을 측정하는데 사용되었다. “지능피부”(smart skin)라고 불렀던 광섬유의 초창기 연구에 NASA Langley 연구 센터는 다양한 광섬유 센서 개발의 기

폭제 역할을 해왔다. 광섬유는 비파괴 검사, 사용중인 구조물의 안전 진단, 피해 검색 및 평가 그리고 복합적인 보수 감독의 용도로도 연구되었다. 엔지니어들은 광섬유를 자기장 센터, 변형 및 진동 센서, 가속도계 그리고 분사 시스템에서의 센서로 사용할 것을 검토하고 있다. 유해한 환경에 대한 저항성과 전기적 혹은 자기적 외란에 강건한 특성은 광섬유센서의 여러 가지 장점들 중의 하나이다.

압전재료는 또한 지능 재료 시스템에서 센서로서의 폭넓은 용도를 제공해 왔다. 압전세라믹과 중합체는 기계적인 응력에 반응해서 측정 가능한 전하를 발생시킨다. 세라믹의 취성으로 인해 PVDF(polyvinylidene fluoride)같은 압전 중합체가 센싱하는데 주로 사용된다. PVDF는 얇은 필름 형태로 만들어져서 여러 가지 형태의 표면에 붙여질 수 있다. 전기적으로 한 방향으로 극화된 단축형 필름은 오직 그 축방향을 따라서만 응력을 측정할 수 있는 반면, 양축형 필름은 평면에서의 응력을 측정할 수 있다. 압력 변화에 대한 PVDF 필름의 민감도는 Braille식 점자를 판독하고 사포의 등급을 구분할 수 있는 접촉식 센서로 사용될 수 있을 정도이다. 매우 얇은(약 200~300 $\mu$ m 두께) PVDF 필름으로된 접촉식 센서는 로봇 응용장치의 용도로 계획되었다. 압전 세라믹의 취성과 압전 중합체의 온도 제한 문제를 극복하기 위해 압전 복합 재료(piezoelectric composite materials)가 개발되었다. 중합체를 모체로 압전 세라믹 봉들을 함유한 유연한 복합 재료 센서(flexible composite sensors)는 수중 청음기와 의학 적 용도의 초음파 변환기로 사용되는데 이는 원래의 압전 세라믹에 비해 향상된 민감도와 기계적 성능을 갖는다. 현재 개발 중인 압전 페인트와 코팅제는 복잡한 형상을 가진 물체에 도포되어 구조물의 응력과 안전도 상태에 대한 정보를 제공할 수 있다.

수동 혹은 능동 태깅은 일종의 센싱 기술로 “tagging” 입자들을 특정한 물질에 첨가해서 특정 측정 부위에 대한 측정 감도를 향상시키는 것을 의미한다. 압전, 자성, 또는 자기 입자들은 모체인 접착제와 중합체에 더해져서 사용중인 모체의 상태에 대한 중요한 정보를 제공하게 된다. 태깅은 분포형 센싱의 이점을 나타내는데 이는 많은 형태의 센서들에서는 불가능한 것이다. 수동 센싱 기술은 그 입자들의 분포를 감지하는 것을 의미한다. 그 예로 자기입자들은 접착제에 첨가시키고 비접촉식 변위측정계를 사용해서 태깅된 접착층 내에서의 빈공간을 검출하는 것이 이에 해당한다. 능동 태깅기술은 감지 입자

들을 활성화시켜 그 모재의 반응을 측정하는 것으로, 변화하는 자기장을 자기 물질이 태깅된 중합체에 가하고 그 결과로 나타나는 힘을 측정하는 것이다. 수동 그리고 능동 태깅기술의 응용은 접착제, 보수, 감독, 지능 처리, 비파괴 검사, 피해 검출 그리고 사용 중의 안전도 감시를 포함한다.

### 4.3 정보처리, 통신 그리고 제어

생물학적 지능에서 컴퓨터를 기저로 하는 지능으로의 천이과정중 인류는 촉매작용을 하는 효소라고 Gerard Bricone는 밝힌 바 있다. 이러한 촉매작용은 정확하게 우리가 지능 재료시스템 공학에서 추구하는 바이다. 지능재료 시스템은 시스템의 탄생과 폐기의 과정에서 인간에 도움이 되는 촉매를 의미한다. 즉, 공학적인 기법을 통해 시스템의 창조를 돕고, 시스템의 안전도와 성능에 대한 경험과 이러한 경험 결과로부터 학습하여, 시스템이 작동중 적절한 시기에 시스템의 재충전, 보수 그리고 폐기를 돕는 것이다.

기계의 지능 제어를 위해 사용되는 이론, 시뮬레이션 그리고 몇몇 하드웨어의 개발에 엄청난 노력이 진행되어오고 있다. 적응 제어, 신경망, 정보처리 그리고 전문가와 지식에 근거한 시스템은 현재 많은 관심의 대상이다. 그러나 지능 재료군이 만들어 내려하는 지능의 특징은 공학 분야에서는 전혀 경험해보지 못한 것이지만, 생물학 분야에 있어서는 단순하고 호의적으로 받아들여지는 것이다. 바꾸어 말하면 다수의 센서, 작동기 그리고 그와 관련된 동력원의 공급은 위에서 언급된 방법들로는 불가능하다는 것이다.

자연은 구조 기술을 이용해서 아주 제한적이고 강건합과는 거리가 먼 재료의 사용을 가능하게 하였다. 또한, 자연은 구조 기술을 이용해서 복합 통신, 정보처리 그리고 기억작동을 비교적 간단한 기기를 사용하여 수행할 수 있다. 우리가 신경세포라 일컫는 전기 화학적인 도구는 결코 최신의 반도체 만큼 빠른 것은 아니다. 그러나 자연은 이 신경세포로부터 얻은 정보를 처리하기 위한 복합 구조 체계를 개발해서 엄청난 속도로 더 복잡한 임무를 실행할 수 있게 하였다. 여기서 핵심은 계층적 구조 기술인 것인데, 여기에서는 신호 처리와 이로 인한 효과가 중앙처리장치로부터 아주 동떨어지거나 그보다 저급인 단계에서 어느 정도 결합에 대해서도 작동이 가능하게 한다. 시스템의 신뢰성은 에너지 절감에 중요한 요인이다. 실패작인 시스템은 자원과 에너지의 심각

한 낭비이다. 그리고 제어 시스템은 한 시스템이 그것의 어떤 구성 요소들보다 더 긴 수명을 갖도록 보장하는 것이 중요하다.

오늘날의 제어 시스템은 학습할 수 있고, 필요에 따라 변화될 수 있고, 필요를 예측하며 그리고 실수를 바로 잡을 수 있다. 제어시스템의 구성은 앞으로도 지능 재료를 이용한 시스템의 구성에서 중요한 요소로 남을 것이다. 왜냐하면 우리의 시스템이 얼마나 복잡해질 수 있느냐는 전적으로 연산 하드웨어와 제어 알고리즘에 달려있기 때문이다. 다시말해, 얼마나 많은 센서를 이용할 수 있느냐, 또한 얼마나 많은 작동기를 사용할 수 있느냐는 전적으로 연산 하드웨어와 제어 알고리즘에 달려있다.

우리가 흔히 생각하는 시스템이나 구조물을 만들기 위해 사용되던 기준들이 제어 시스템을 구성하는데 사용될 수 있다. 즉 질량과 에너지를 줄일 수 있는 설계가 시스템의 적용성과 작동 목적 등을 만족시키기 위해서 필요하다.

### 5. 무엇이 지능구조물의 실용화에 장애가 되는가?

주된 장애요인중의 하나는 사회 기간 사업에 대한 연구 개발비의 부족 특히 기업체들의 투자가 부족하다는 것이다. 국가 정책상의 문제이겠지만 일본의 경우 사회의 근간이 되는 부분들을 새롭게하고 그 범위를 늘이거나, 자본의 바탕을 효율적이고 근대화 하기에 중요하다고 생각되는 연구 개발분야에 지속적인 투자의 증가를 보여주고 있다. 기업과 정부 그리고 대학은 대부분의 경우 독자적으로 움직이지만 특정한 분야의 선결과제에 대해서는 협조 차원의 협력이 그들 상호간의 이익을 위해서 잘 이루어지고 있다.

특히 중요한 것은 일본 건설업체는 조직내부에서의 연구와 개발프로그램들을 잘 정립시켜왔고, 자신들의 재원으로 미국 내에서는 찾아 볼 수 없는 수준의 시설을 갖춘 연구소들을 운영하고 있다. 일본 기업들의 연구결과 적용으로 연약한 지반에서의 터널 공사나, 인텔리전트 빌딩의 설계와 건축, 저지반 공사, 건설 로봇, 폭이 넓은 다리의 건설 그리고 주위에 적은 영향을 미치는 도시 공사의 수행 등의 분야에서 일본은 미국과 선진 유럽나라에 우위를 점하고 있다. 그리고 거의 전 분야에 걸쳐 일본 기업들이 연구개발비의 투자를 점점 더 늘리고 있기 때문에 앞으로 그 격차가 점점 더 커질 것으로 예상된다.

다른 장애 요인은 국가 기간 시설 연구에 우선권

을 주기위해 모인 미국 특별위원회의 공동연구에서 지적된 것으로서, 그 위원회는 기간 시설에 대한 문제의 해결책은 아마도 5%는 기술적인 문제이고 그 나머지 95%는 사회적, 정치적 그리고 환경적이나 경제적인 문제라는 것이다. 엔지니어들은 이 95%의 문제들이 자신들이 어찌할 수 없는 문제인 것처럼 간과하고 오로지 자신들에게 부여된 5%만을 통하여 문제를 해결하려고 하는 듯하다. 그러나, 이 위원회에서 우선적으로 해결해야 한다고 주장한 것은 이 95%에 대한 것이다. 이에 대한 몇가지 이유는 명확하다. 즉, 고가이고 불확실한 직접비용, 공사가 수행중일 때 이웃과 상점에 미치는 불편과 손해비용 그리고 공사가 완료되었을 때 낮익은 환경과 삶의 질에 대한 영향, 자연 환경에 미치는 영향 등이 있다. 기술력은 이 문제들을 고려할 수 있고, 그리고 부정적인 효과 보다는 긍정적인 효과를 창출하는데 있어서 보다 나은 목표가 될 수 있다. 예를 들어 주위에 적은 영향을 주게 되는 터널 공사가 땅을 파내서 필요한 터널을 만드는 기존의 방법보다는 훨씬 주위의 혼잡을 막을 수 있다. 다시 말해서 비록 95%의 문제가 사회적, 경제적, 환경적 그리고 정치적인 분야의 것이라고 여겨 지지만 기술이 5% 이상의 해결책을 제공하여 줄 수 있다는 것이다.

지능 구조물 시스템은 그 95%의 문제에 큰 영향을 줄 수가 있다. 공정상태를 감시하기 위해 센서를 사용하는 것은 어떤 공정 시간을 반으로 줄일 수도 있고, 손실 에너지를 줄여서 효율을 90% 이상까지 높일 수 있다. 이런 식으로 큰 공사의 건설기간을 단축할 수 있고, 구조물의 안전성을 높일 수 있고, 구조물의 노화에 대한 많은 정보를 얻을 수 있다면 신뢰할 수 있는 법률적 근거와 자료를 얻을 수 있다. 새로운 재료 시스템과 구조물 그리고 그것들을 이용한 기간 시설 시스템의 완성을 위해선 보다 많은 그리고 다각적인 연구가 필요하다.

## 6. 맺 음 말

우리의 새로운 사회 기간 시설의 증대에 대한 국

가적 요구는 시기적절하고 필수적인 것이다. 그리고 지능시스템 및 구조물에 대한 연구와 개발은 국가 경쟁력을 가속화시키며, 보다 나은 삶의 질을 제공하고, 그리고 보다 안정된 작업환경을 제공할 수 있는 발전된 사회 기간 시설을 만드는 열쇠가 된다. 지능 재료 시스템 기술은 미래의 기술일 뿐 아니라 국가의 생산적인 기간 시설의 확보와 토목 및 건축 분야에서 경쟁력있는 위치를 유지하고, 21세기로 진입했을 때 노화된 기간 시설의 교체 요구를 대비하기 위한 시대적 요구이기도 하다. 따라서 이 기술에 대한 연구가 미진한 국내에서도 하루빨리 기간 시설과 연계된 체계적 개발 프로그램을 구축하여 집중적 투자와 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

- (1) Gandhi, M.V. and Thompson, B.S., 1992, Smart Materials and Structures, London: Chapman & Hall.
- (2) NSF Workshop Report, 1995, "Rebuilding and Enhancing the Nation's Infrastructure: A Role for Intelligent Material Systems and Structures", J. of Intelligent Materials Systems and Structures, Vol. 6, pp. 4~12.
- (3) 최승복, 1992, "지능 복합재료의 구성과 특성", 한국항공우주학회지, 제20권, 제4호, pp. 117~129.
- (4) 최승복, 정재천, 박노준, 1995, "형상기억합금(SMA)을 이용한 지능구조물 시스템", 한국소음진동학회지, 제5권, 제3호, pp. 284~291.
- (5) 최승복, 박용군, 1995, "전기유동유체(ERF)를 이용한 지능구조물 시스템의 구성 및 응용", 한국소음진동학회지, 제5권, 제3호, pp. 275~283.