

# 대형구조물의 모니터링

김 성 곤\*

(서울산업대학교 구조공학과)

## 1. 머리말

건설분야에서 수행되는 계측 및 모니터링업무는 구조물 시공시의 시공오차 보정, 완공 후 초기 획득을 위한 건전도 시험, 향후 유지관리를 목적으로 하는 영구계측 그리고 내하력판정을 위한 현장계측 등으로 크게 분류된다. 계측시스템의 설치목적에 따라 정도의 차이는 있지만 이러한 계측시스템 운영과업은 센서를 포함한 현장 계측기기의 선정 및 설치, 수집된 시그널 데이터의 분석, 마지막으로 분석된 시그널 결과를 바탕으로 구조물의 현재 상태를 평가하는 단계로 구분되며, 이러한 일련의 과정은 전기, 전자, 신호처리 및 구조공학 등 다양한 지식이 동원되는 이른바 다분야 과제(multi-disciplinary project)로 종합적인 접근이 필요한 분야이다. 이 글에서는 이러한 구조물 계측/모니터링 시스템 구축에 필요한 사항들을 상기 구분된 세 가지 분야를 중심으로 개괄적으로 다루며, 실제 대형교량에 설치된 모니터링 시스템에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 개 요

### 2.1 정의 및 내용

구조물의 결함/손상 또는 현재의 상태를 탐지

하고자 하는 목적으로써의 구조물의 계측 및 모니터링 시스템 개발을 위하여 고려되어야 할 사항으로는 크게 센서 및 부가 계측장비, 신호처리 장비 및 기술, 그리고 정보처리 기술 등을 들 수 있다.

센서 및 계측장비는 구조물의 현재상태(current health condition)를 직접 측정, 전달하는 역할로 말미암아 그 선택 및 설치에 의한 오류/정확도는 계측관리 전반에 걸쳐 영향을 미치게 된다. 그러므로 동원될 센서의 성능, 수효 및 위치의 최적화와 측정치의 종류 및 부수 장비의 선택을 위한 면밀한 사전계획(usage scenario)의 수립이 필요하다. 또한 장기간 계측을 보장하기 위하여 사용된 장비들의 내구성 검토가 부수되어야 한다.

센서에 의해 측정된 정보는 전기신호형태(raw signal)로 전달되어지므로 이의 처리를 위한 일련의 처리과정이 필요하게 된다. 이 과정은 일반적으로 수집(acquisition), 변환(generation)으로 분류되어지며, 그 궁극적인 목적은 구조물의 현재상태 판단의 근거가 되는 신호의 특성치(signal features)를 얻어내는 데 있다. 신호오류(noise)의 처리 및 특성치 검출을 위한 알고리즘의 개발 등의 과제가 선행되어야 한다.

신호처리의 결과를 토대로 구조물의 현재상태를 판단하는 과정을 정보처리(information



\* E-mail : skkim@duck.snut.ac.kr Tel. (02)970-6571

processing)라고 하며, 이를 위해서는 구조물 자체에 관한 정보(physical information), 거동에 관한 정보(behavioral information) 및 진단(diagnostics)에 필요한 정보 등 전문가적 지식이 필요하게 되며, 더욱이 이를 컴퓨터화 하기 위해서는 AI(artificial intelligence) 기법을 동원한 지식모형(knowledge model)의 구축이 필수적인 요소가 된다.

이 글에서는 개략적이거나 시스템 구축에 필요한 세 가지 사항에 대해서 언급하고, 나아가 한단계 발전된 개념으로서의 지능구조시스템(smart structural system)에 대한 소개를 하기로 한다.

## 2.2 지능구조시스템

지능구조시스템 개발기술은 최근들어 센서, 신소재, 그리고 컴퓨터분야의 발전과 더불어 이를 구조물과 복합시킴으로써 다음세대 구조물을 지향하는 기술을 일컫는다. 지능구조시스템의 정의는 분야에 따라 견해의 차이는 있으나 대략, 한 구조물이 계측기능(self monitoring), 자기진단 기능(self diagnosis), 그리고 제어기능(self control)을 가짐으로서 자기 스스로 모니터링하고 평가하여 변화되는 상황에서도 예정된 자기 기능을 지능적으로 수행할 수 있는 구조물을 말한다. 포함되는 기능의 다양함으로 말미암아 지능구조시스템을 개발하기 위하여는 여러분야의 기술(multi-disciplinary technologies)이 적절히 복합되어야 한다. 즉, 계측기능을 수행하는 센서를 포함하는 계측장비의 개발, 개선 및 설치에 관한 기술과, 계측장비로부터 수집/전달되는 신호(signals)를 적절히 처리하고, 이를 토대로 구조물의 현재상태를 판단하는 신호 및 정보처리 기술, 그리고 구조물 자체의 특성을 바꾸어 현재상황에 대처토록 하는 제어 기술 등이 해당된다 할 수 있다.

센서 및 계측장비는 구조물의 현재상태를 직접 감지, 전달하는 역할로 말미암아 그 성능, 선택 및 설치에 의한 정확도/오류는 지능구조시스

템의 전반적 성능의 기본이 된다. 기존의 전기저항식 센서의 성능개선, 여러 가지 장점이 보장되는 광학적 센서의 개발, 계측신호의 실시간 유/무선전송 방법, 계측장비의 조합, 장기간 사용에 따른 내구성 향상 및 유지관리 등의 과제에 대한 연구가 필요하다. 특히 토목구조물의 경우는 그 규모와 설치환경등이 특수하므로 대상구조물에 맞는 사전 운용계획(usage scenario)의 수립이 매우 중요하게 된다.

센서로부터 수집된 각종 형태의 시그널은 증폭, 필터링, 변환의 과정을 거쳐, 필요한 공학적 의미를 갖는 데이터로의 탈바꿈이 필요하게 된다. 이러한 일련의 과정을 신호처리(signal processing)라고 하며, 다시 수집(acquisition)과 추출(generation)로 대별된다.

앞에서 언급한 세 가지 과정, 즉 증폭에서 디지털로의 변환이 수집에 해당되며, 주로 신호수집장치(DAQs : data acquisition system)의 성능과 기능에 좌우된다. 그러나 구조물의 형태, 측정치의 종류 그리고 목적에 따라 증폭률, 수집 빈도, 수집 기간이 달라져야 하며, 하드웨어의 고유 노이즈 및 환경 노이즈를 감안한 필터링 알고리즘의 개발 및 선택이 고려되어야 한다. 시간이력 형태로 수집 정리된 디지털 데이터로부터 추출과정을 거쳐 공학적 인자를 구하는데, 주로 모달해석에 바탕을 둔 동적 특성치들, 즉 진동 주기, 감쇠율, 모드 형상등이 얻어지며, 변형을 및 처짐 등이 주로 고려의 대상이 된다.

이렇게 얻어진 공학적 인자들(이들은 구조물의 현재 상태를 반영하고 있다)을 이용하여 시그널 자체의 이상유무 판단, 구조물의 손상 여부, 위치 및 원인, 그리고 구조물의 현재 상태를 파악하여 다음 상태를 예측하는 이른바 정보처리과정(information processing)이 필수적으로 따르게 된다. 이를 위해서는 센서, 수집장치, 손상 발견, 구조계 확인(SI), 구조공학, 시방서 등을 망라한 아주 다양한 전문가적 지식이 동원되어야 한다.

그런데 지능구조시스템의 목적상 이들 과정이 모두 실시간 자동화(real-time autonomous processing)되어야 하므로 이들 지식의 컴퓨터화가 필요하다. 이를 위해서는 인공지능(AI : artificial intelligence)기법을 동원해 지식 기반(knowledge base)의 구축이 필요하게 된다.

지능구조시스템을 구성하는 마지막 기능으로서 자기 제어기능(self control function)은 정보처리과정에서 도출된 구조물에 대한 현재상태를 바탕으로 구조계의 특성을 어떻게 여하이 변화시킬 수 있는가에 관한 것으로 주로 능동적 제어(active control) 기술이 이에 해당된다. 능동제어

기술은 주로 소형구조물에 적용, 발달되어 오다 최근에 들어 빌딩, 교량 또는 원전 구조물등 토목 구조물에도 응용되기 시작하였다. 제어 알고리즘의 개발, 효율적인 제어장치의 개발, 지능재료의 응용, 구조부재로의 제어장치 응용 등에 대한 연구가 필요하다. 특히 대형구조물에서의 제어 장치 배치의 최적화, 수동제어 장치와의 병행 사용 등이 토목구조물에의 적용전 선결과제이다.

그림 1은 지능구조시스템의 기능과 요소들을 개념적으로 나타낸 것이다.

이 그림에서 보듯이 지능구조시스템을 구성하는 중요한 요소는 센서 및 하드웨어, 신호처리,

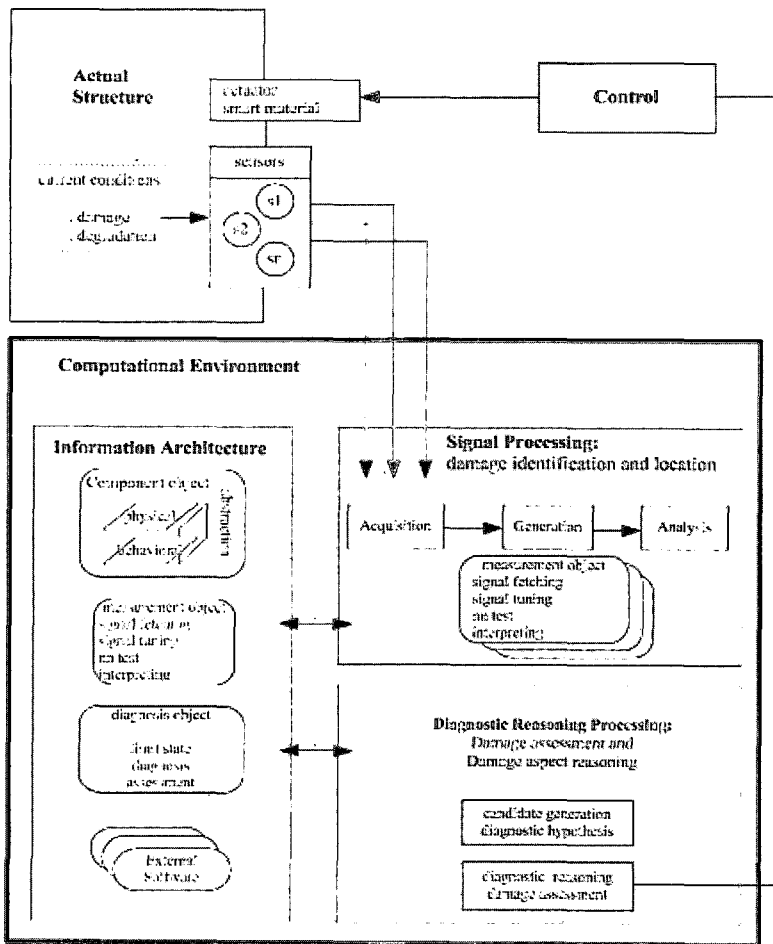


그림 1 지능구조시스템

정보처리 그리고 자기제어가 될 수 있다. 여기서 마지막의 자기제어 부분을 제외시킬 때 자동 자기진단 시스템(structural health monitoring system)이라 할 수 있으며, 궁극적으로 추구하는 구조물 모니터링 시스템이 된다.

### 3. 센서 및 계측장비

#### 3.1 개요

일시적 계측과는 달리, 장기 계측의 경우 센서의 내구성과 유지 관리가 강조되고 이는 센서 및 부수장비의 선택, 설치방법, 위치 그리고 수효에도 많은 영향을 미친다. 센서는 열악한 환경(온도변화, 습기, 화학물질 침입 등)에서도 장시간 동안 그 기능이 보장되어야 하며, 가능한 한 교체 설치될 수 있어야 하고, 노이즈의 영향이 최소화 되도록 설치되어야 한다. 대규모 구조물의 측정에 필요한 많은 포인트 센서의 수효를 감당할 수 없으므로 수효와 위치 선택에 관한 최적화 계획이 필요하다. 이를 위해 광섬유 센서 등의 연속 측정(distributed sensing)이 가능한 센서 또는 측정 방법의 응용도 고려할 만하다. 센서 이외의 신호 수집장치(DAQs : data acquisition system), 이를 연결하는 케이블, 전력 공급/안정장치, 온도보존장치, 그리고 신호 전송 장치(remote signal transmission) 등에 대한 세심한 고려가 필요하다. 센서와 DAQs를 연결하는 케이블의 경우 가격, 설치도 문제이러니와 노이즈의 안테나 역할을 하므로 가능한 한 그 길이를 최소화함이 바람직하다. 이를 위해 여러 개의 전용 DAQs를 제작, 배치하고 이들을 LAN으로 연결한 후 시그널을 원격 전송하는 방법이 가능하다. 신호수집장치의 경우, 기 제작, 판매되는 실험실용 DAQs는 그 성능과 가격이 검증되어 신뢰도를 확보할 수 있으나, 장기간 현장 배치에 따르는 신뢰성 저하와 가격이 문제가 된다. 수집되는 시그널을 원격지의 중앙처리장치로 전송하기 위한 방법으로는

전용회선을 통한 실시간 전송, 그리고 무선전송 방법을 들 수 있다.

#### 3.2 센서의 원리 및 종류

센서의 종류는 크게 그 측정원리에 따라 광학식, 전기저항식, 각종 에너지파식 및 기계식으로 분류된다. 광학식 센서는 빛의 전파의 원리, 즉 주로 굴절과 반사 및 투과 원리를 이용하는 것으로 레이저 및 방사선을 이용하는 형태의 센서이다. 이러한 빛 매개체를 직접 구조물에 전파시키는 방법(예를 들어, laser penetration method)과 중간 포인트 센서를 이용하는 방법(각종 광섬유 센서)이 있다. 전기 저항식 센서는 가장 일반적으로 쓰여지고 있는 형태로서 구조부재의 길이 변화에 따라 센서의 저항 값이 바뀌는 원리를 이용한다.

각종 형태의 에너지파, 즉 응력파, 음파, 초음파 등을 구조물에 전파시켜 전달되는 특성 또는 시간의 변화를 측정하여 구조물의 이상을 측정하는 방식이 강재의 부식이나 균열 또는 콘크리트의 열화정도를 탐지하는데 주로 응용되고 있다. 그 외 전기 또는 광학을 사용하지 않고 기계적인 방식으로 측정하는 것으로 대표적인 센서는 처짐을 측정하는 기계식 다이얼 게이지, 데맥 게이지 등을 들 수 있다.

#### 3.3 계측항목과 센서

구조물을 적절히 계측/모니터링 하기 위하여는 먼저 무엇을 계측할 것인가를 결정하는 계측치 선정이 필요하며, 이에 따라 적합한 센서의 선택이 이루어져야 한다. 토목구조물의 계측에는 주로 응력을 구하기 위한 하중, 변형률(strain), 처짐(displacement), 가속도(acceleration), 기울기(tilting), 온도(temperature) 및 풍향/풍속(wind)등이 대표적인 측정치이다. 이 외에도 부식정도나 균열 등이 측정되고 있다. 표 1은 토목 구조물중 요즘 빈번히 건설되고 이는 특수교량에 대하여

표 1 교량형식별 계측내용

구분	계측장치	설치부위	측정항목
사 장 교	광과측정기 케이블장력계 변위계	지상계측실 케이블 정착부 주경간 중앙부 신축이음부	주탑높이, 주형 처짐, 캠버 케이블 장력 주형의 연직, 수평변위 교량의 신축량
	온도계	주탑, 주형 케이블	주탑 · 주형의 온도(온도변형) 케이블 온도(길이, 장력변화)
	지진계	지중부, 주탑기부	지반의 3방향 지진가속도
	풍향풍속계 반력측정계	주탑 및 주경간의 중앙 교좌장치	주탑정부와 주경간중앙부의 난류 및 층류의 풍향 · 풍속 각 교좌장치의 반력
	가속도계 변형도계	주탑, 케이블, 주형 주형 및 주탑	각 부재의 3방향 가속도(동적하중, 변위) 각 부재의 주요부위 응력
	광과측정기 케이블장력계 변위계	지상계측실 주탑기부, 케이블 정착부 주경간 중앙부	주탑높이, 주형 처짐, 케이블 Sag 앵커볼트 축력, 케이블 장력 주형의 연직, 수평변위
	온도계	주탑, 주형 케이블	주탑 · 주형의 온도(온도변형) 케이블 온도(길이, 장력변화)
현 수 교	지진계	지중부, 주탑기부	지반의 3방향 지진가속도
	풍향풍속계 반력측정계	주탑 및 주경간의 중앙 교좌장치	주탑정부와 주경간중앙부의 난류 및 층류의 풍향 · 풍속 각 교좌장치의 반력
	가속도계 변형도계	주탑, 케이블, 주형 주형 및 주탑	각 부재의 3방향 가속도(동적하중, 진동, 변위) 각 부재의 주요부위 응력

형식별로 측정이 요구되는 측정항목을 열거한 것이다.

### 3.4 설치 및 유지관리

센서의 안전한 설치는 계측의 성공 여부에 직결되므로 설치 및 유지관리에 만전을 기하여야 한다. 구조물에 손상을 주지 않는 범위에서 최대한의 보호장치가 제공되어야 하며, 노이즈를 막기 위한 장치 또한 필요하다. 센서의 경우 습기, 온도 등 외부 환경에 의해 영향을 받지 않도록 가능한 한 밀폐되어야 하며, 연결하는 케이블 또는 와이어의 경우는 노이즈의 안테나 구실이 되는 것을 피하기 위하여 적절한 그라운드, 쉴딩이 필요하고 가급적 그 길이를 짧게 하는 것이 바람직하다. 특히 매립형 센서의 경우는 한번 설치한 후에는 교체 등이 불가능하므로 내구성이 센서의 주된 선택기준이 되어야 한다. 계측기기는 일

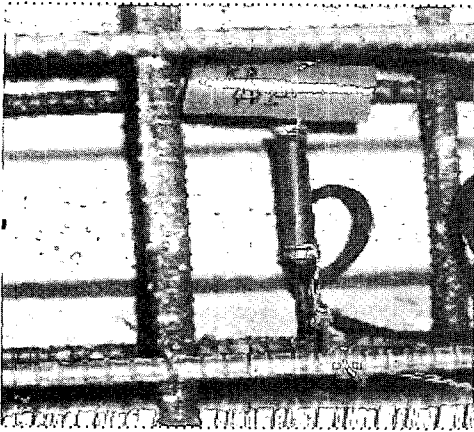
반적으로 온도, 습도 및 전원상태에 아주 민감하므로 이의 안정을 위해 즉 전원 안정기, 항온/항습기 등 별도의 장치를 하는 것이 바람직하다.

그림 2는 이러한 보호장치에 의한 센서 및 계기의 설치 예를 보인 것이다.

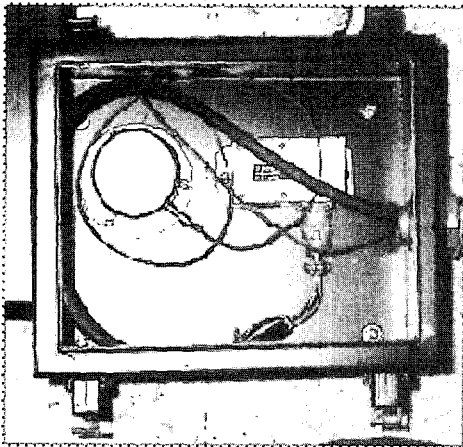
### 3.5 계측 장비

센서 및 이를 연결하는 케이블을 이외의 필요한 하드웨어로는 신호수집장치(DAQs : data acquisition system)과 주변기기로 대별된다. 신호수집장치의 기능으로는 센서로부터 전달되는 전기신호의 증폭(amplification), 필터링(filtering), 그리고 A/D변환(analog-to-digital conversion)을 들 수 있다. 센서에서 측정/전달되는 전기신호는 크기가 매우 작으므로 일정한 크기로 증폭시켜야 하며, 원하지 않은 노이즈가 섞여 있으므로 이를 걸러내는 필터 기능이 필요하고, 마지막으로 전





(a)



(b)

그림 2 (a) 매립형 변형률계 (b) 2-2 가속도계

달되는 전기신호는 파형 그대로의 아날로그 형태이므로 수치적 전산처리를 위하여 이를 숫자 배열형태의 디지털 데이터로 변환시켜야 한다.

이러한 기능들이 한 기기 안에 모두 포함시켜 놓은 복합형 DAQ과 분산된 형태의 component type으로 나뉘어 진다. 그 외 동원되는 몇가지 계기로는 정적 변형률 측정장치, 동적장치의 경우 아날로그 형태로 수집하는 테이프 레코더, 응력 범위와 산정하는 히스토그램 분석기, 통과차량의 축중 하중을 평가하는 WIM(weigh-in-motion)장비, 동적 시간이력 데이터를 주파수 영역의 데이

터로 변환 시켜주는 FFT 해석기 등이 있다. 부속 장비로는 전원 공급장치, 전원 자동 차단기(timer), 콘트롤용 퍼스널 컴퓨터 등이 있다.

## 4. 신호 처리 (Signal Processing)

### 4.1 신호 수집(Acquisition)

센서로부터의 신호를 전달/수집하는 과정으로써 신호의 특성이 왜곡되지 않도록 신뢰성 있는 수집과 전달이 보장되어야 한다. 수집과정은 보통 센서의 특성과 예상측정치에 맞도록 계수들을 조정하는 작업과(acquisition mode), 이를 전달하는 작업으로(signal transmission mode) 구분된다. 수집과정에서 고려되어야 할 사항으로는 정/동적 공히 증폭률(gain)과 센서 계수에 대한 보정이 필요하고, 특히 동적계측의 경우 우선 수집빈도(sampling rate) 즉, 일초에 몇 개의 데이터를 기록할 것인가를 결정해야 하는데 보통 Nyquist Frequency라고 하여 구조물의 예상진동수의 최소한 2배 이상을 필요로 하며, A/D 변환장치의 분해성능(resolution)과 밀접한 관계가 있다. 불가피하게 섞여있는 기계 또는 환경 노이즈를 제거하기 위하여 필터링을 실행하는데 보통은 low-pass filter로 일정하게 선택된 주파수 이상의 신호를 제거시키는 방법이다. 이러한 기준 주파수를 선택하기 위해서는 시험계측을 통해 시그널상에 섞여있는 노이즈를 확인한 후에 결정하는게 보통이다.

원격계측일 경우, 다음단계로써 수집된 시그널을 원거리에 있는 신호처리 장치로 보내야 하는데 유, 무선에 의한 방법이 있다. 전용회선에 의한 전송방식으로는 고속전송이 가능하나 설치에 따를 추가 비용 그리고 회선 자체의 성능에 아직 문제점이 있다. 무선에 의한 전송(telemetry)을 들 수 있는데 아직 장비가 고가이고, 공중 전파관리 규제문제가 있다.

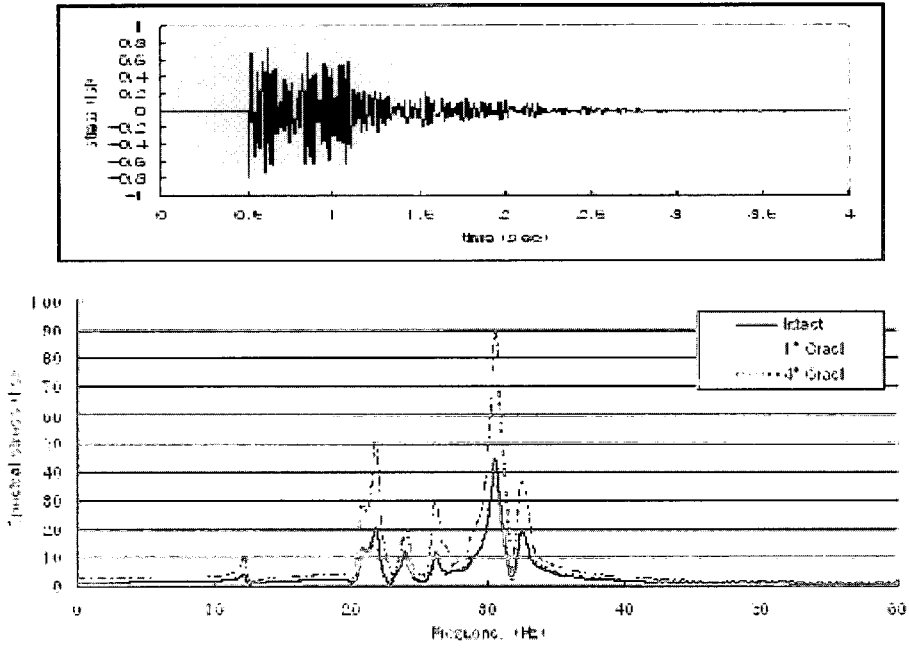


그림 3 FFT 예

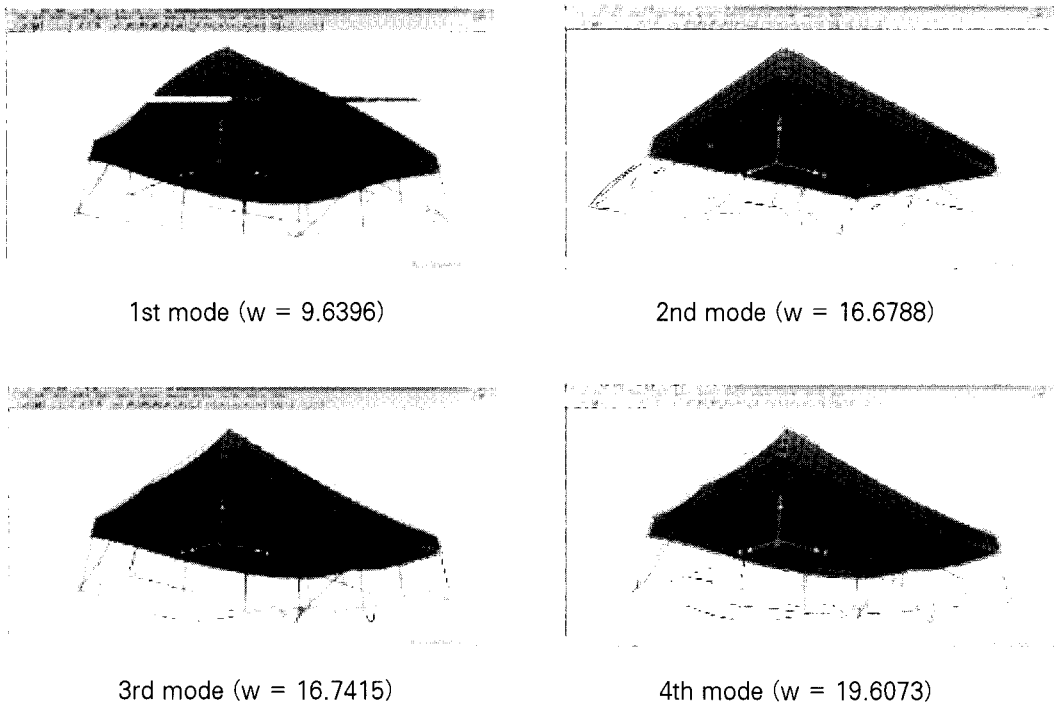


그림 4 진동모드 예

기초강좌

#### 4.2 신호 변환(Signal Generation)

수집/전달된 신호는 전기적 신호로 보통 전압(voltage)의 단위로 기록이 되어 있으므로 이를 공학적 의미를 갖는 단위로 변환하여야 한다. 즉, 스트레인 게이지로부터 수집 전달된 시그널 데이터는 변형률로, 가속기로부터의 시그널은 중력가속도 단위로 변환되어야 한다. 이 과정은 센서 인자와 수집시 선택해 놓은 계수들을 감안하여 실행되며, 기초적인 변환에 속한다. 다음 과정은 신호해석에 필요한 공학적 인자(engineering parameters)를 추출하는 과정으로 변형률에서 응력, 가속도에서 진동주기등을 추출해내는 작업이다. 이 과정은 보통 전용 프로그램을 사용하는 데 시간이 소모되는 긴 작업이다. 그림 3은 수집된 가속도 시그널과 이를 FFT 처리한 결과를 도시한 것이다.

#### 4.3 신호 분석(Signal Analysis)

신호 분석과정은 전 과정에서 추출된 공학적

인자를 바탕으로 구조공학적 계산을 수행하는 과정이다. 예를 들어 그림 4에서와 같이 추출된 응력치를 이용 응력 범위를 구할 수 있으며, 이는 다음 단계에서 피로해석에 이용된다. 또한 주파수 영역에서의 가속도데이터를 이용하여 그림 4에서와 보는바와 같이 진동모드에서 형상을 도출할 수 있다.

### 5. 구조물 평가(Structural Evaluation)

종합적인 구조물 평가는 전문가의 해석과 판단이 필요한 과정으로서, 신호분석 결과와 구조물 자체 관한 정보, 환경 정보, 공학적 지식, 시방서 규정 등 모든 지식이 동원되어야 한다. 이러한 이유로 이 과정을 정보처리 과정이라고 부르기도 한다. 그림 5에서 보듯이 이 과정에서 측정에 의한 신호해석 결과는 다른 정보와 마찬가지로 일부분에 지나지 않으나 구조물의 현재 상태를 가장 잘 나타내주는 정보로 활용된다. 그러나 계측에 의한 신호 정보는 센서가 설치되어 있는 위치에서의 상태를 나타내므로 센서간의 종합적인 상관관계를 고려한 평가가 필요하다.

이 과정에서 동원된 정보는 각기 다른 포맷을 가지고 있는데, 즉 구조물 자체의 정보는 다분히 수치적인데 반해, 시방서 규정등은 논리형태이고 평가 판단과정 또한 정성적이고 논리위주로 되어 있다. 그러므로 다양한 포맷의 전문가적 지식을 컴퓨터화하기 위해서는 단순한 수치해석의 경우와는 달리 AI 기법이 필요하다.

### 6. 교량 모니터링 시스템 운영사례

국내에서의 교량모니터링 시스템은 1995년 한강의 신해주대교 남해의 3개 교량(남해대교, 진도대교, 돌산대교)에서 시범적으로 설치, 운영된 이후로 신설된 약 50여개의 특수형태의 교량

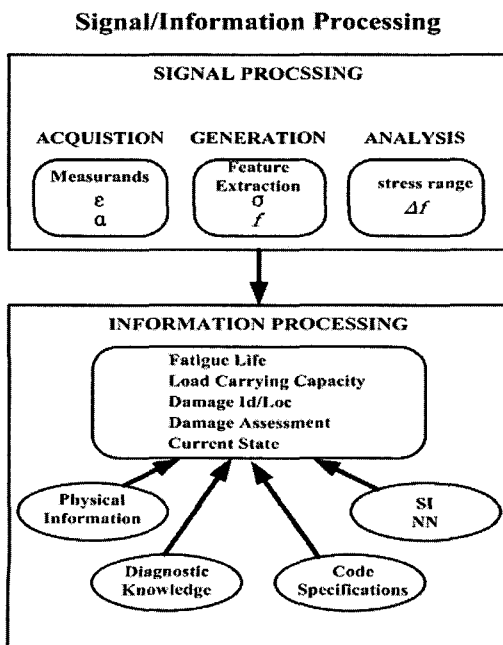


그림 5 정보처리 과정



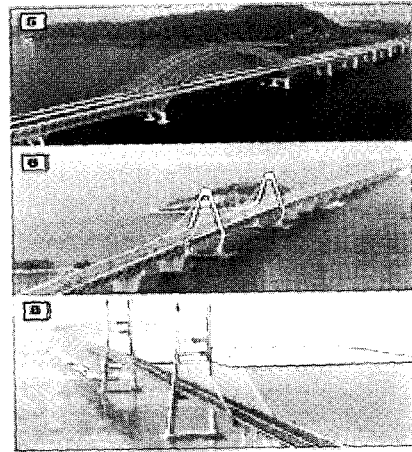
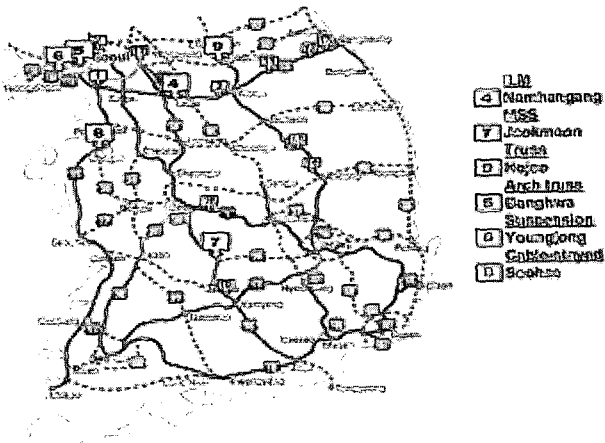


그림 6 고속도로상 교량모니터링 시스템

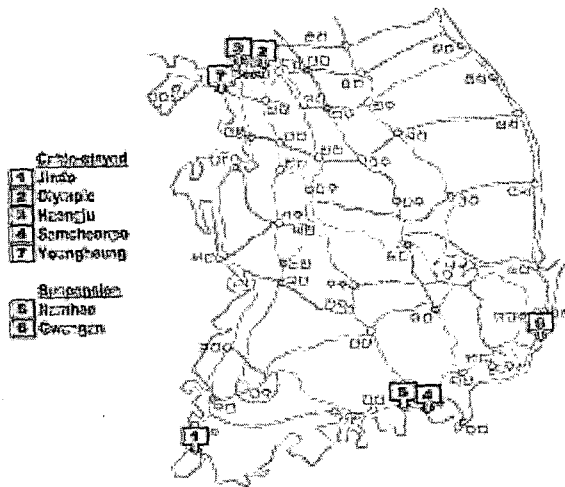
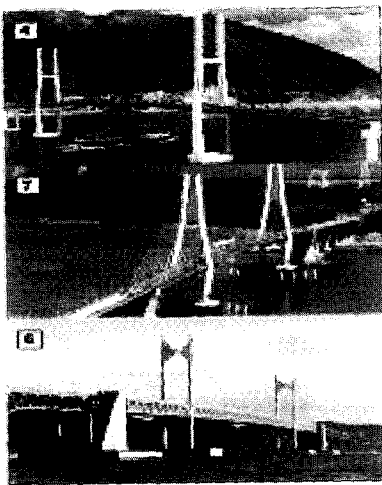


그림 7 국도상 교량모니터링 시스템

표 2 대표적 교량

Name	Type	Length(m)	Completion date	No. of sensors <sup>a</sup>	Managing authorities
Jeokmoon	MSS	1,000	2000.12	112(102+10)	KHC
Hojeo	Truss	80+120+80	2001.08	76(69+70)	KHC
Banghwa	Steel arch	540 of 2,559	2000.11	137(115+22)	NAH
Youngjong	Suspension	125+300+125	2000.11	380(209+171)	NAH
Seohaie	Cable-stayed	60+200+470+200+60	2000.12	183(44+139)	KHC
Samcheongpo	Cable-stayed	103+230+103	2003.04	66(15=51)	전교부
Gwanggan	Suspension	200+500+200	2000.04	51(21+30)	부산시

\*Total No. of sensors(No.of static sensors + No. of dynamic sensors)

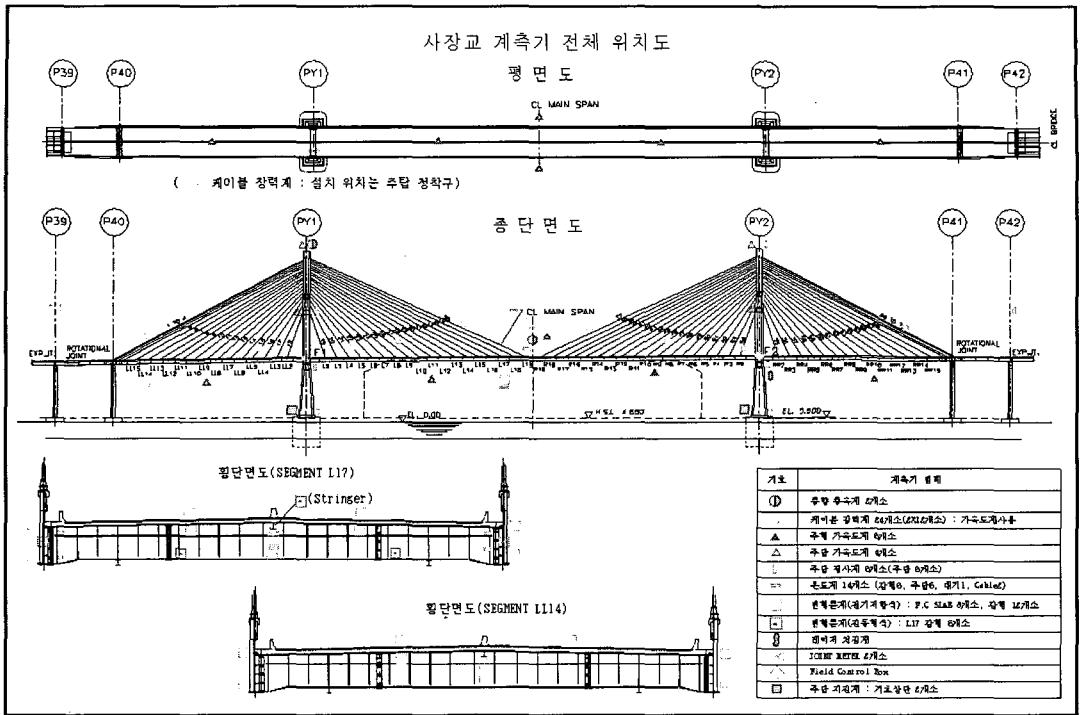


그림 8 사장교 단면 및 센서위치

표 3 센서 및 계측항목

Symbol	Sensor	Quantity	Symbol	Sensor	Quantity
Ⓣ	Anemometer	2Ea	□	Static Strain Gage	12Ea
⊙	Cable Tension Force(Accel.)	12Ea @ 2	⊙	Dynamic Strain Gage	82Ea
△	Accelerometer(Deck)	6Ea	⊗	Laser Disp. Sensor	4Ea
△	Accelerometer(Tower)	4Ea	↔	Jointmeter	10Ea
	Tiltmeter	6Ea	◇	Field Control Box	4Ea
—	Thermometer	14Ea	□	Accelerometer for Earthquake	2Ea

에서 운영되고 있다. 최근에 계획되고 설치되는 시스템에는 새로운 센서나 센싱기법이 도입되고 통신위성을 사용하는 위치추적시스템(GPS: ground positioning system)을 응용한 구조물 거동 감시기법 등이 응용되는 등 최선의 기술들이 반영되고 있다. 또한 단순한 모니터링 시스템의 운영뿐 아니라 교량의 진단 및 점검과정을 전산화한 교량유지관리시스템(BMS: bridge

management system), 차량감시 시스템(VMS: vehicle monitoring system) 등이 유기적으로 결합된 종합교량관리 시스템을 개발, 운영하여 과학적, 합리적 교량유지관리를 수행하고 있다.

그림 6 과 7 및 표 2는 최근에 모니터링 시스템이 설치되어 운영중인 대표적인 교량을 나타낸다. 이 중 대표적인 2개 교량에 대하여 시스템 구성 중심으로 소개하기로 한다.

기초강좌

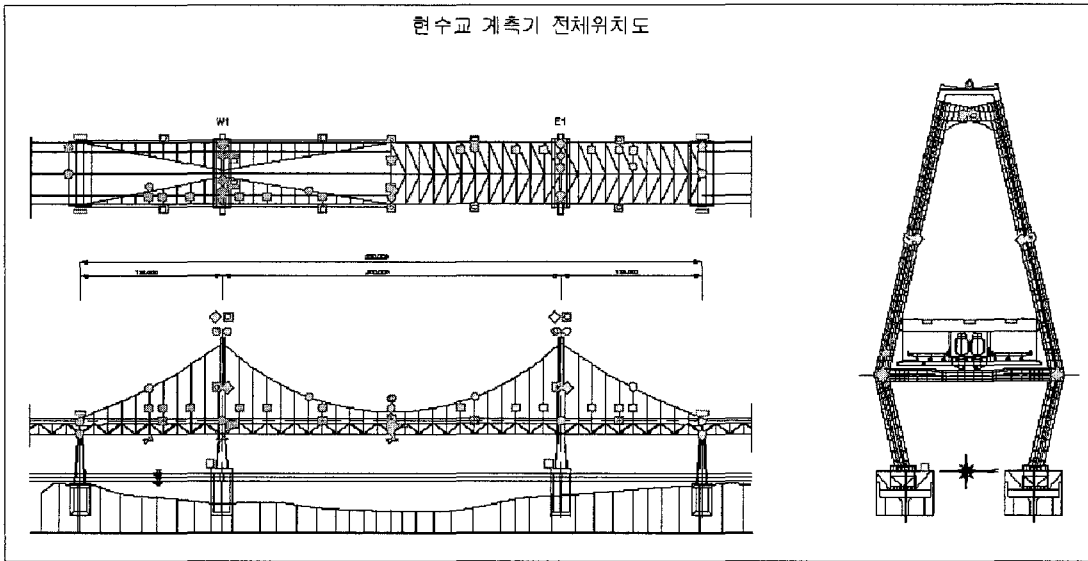


그림 9 현수교 및 센서위치

표 4 센서 및 계측항목

Symbol	Sensor	Quantity	Behavior	Symbol	Sensor	Quantity	Behavior
●	Thermometer	21Ea	Cable & Member	■	1-D Accelerometer	12Ea	Cable
		12Ea	Tower	□	2-D Accelerometer	4Ea	Tower Top & Deck
=	Static strain Gage	8Ea@4	Anchor Bolt			□	3-D Accelerometer
		42Ea	Deck. Cross Section	3Ea	Tower Foundation		
		10Ea@4	Anchor Plate	○	Anemometer	4Ea	Wind
		8Ea	Link Shoe	✱	Laser Disp. Sensor	3Ea	
—	Dynamic Strain Gage	76Ea	Deck. Cross Section	↓	Potentiometer	4Ea	Expansion Joint
		99Ea	Etc.	SL	Static Data Logger	2Ea	
◆	2-D Tiltmeter	10Ea	Tower Inclination	DL	Dynamic Data Logger	2Ea	

### 6.1 서해대교

서해대교는 서해안 고속도로상에서 당진과 평택을 연결하는 해상교량으로 총연장 7,310 m 이고 4 종류의 교량형식으로 건설되었다. 그 중 평택항의 주항로위를 지나는 사장교부분은 서해대교의 상징으로 현재 국내에서 경간이 가장 긴 990 미터로 2 주탑사이를 144개의 방사형 케이블로 연결하고 있다(그림 6의 8 번). 모니터링 시스템은 그림 8과 같이 주로 사장교 부분에 설치되

어 있다.

### 6.2 영종대교

영종대교는 인천공항과 서울을 잇는 공항고속도로상에 있는 교량으로 세계최초의 3차원 자정식 형식의 현수교이다. 도로 및 철도가 동시에 설치되는 복층식 교량으로 550 미터이다. 측정항목 및 센서의 위치는 그림 9와 표 4와 같다.☒