

정보화시공 연구 및 기술동향

정보화시공기술위원회

1. 서론

국가전략 6대분야는 IT(정보기술), BT(생명공학기술), ET(환경기술), NT(극미세기술), ST(우주항공기술) 및 CT(문화기술)로 정부 및 민간부문에서 최근 집중 육성되고 있다. 이 중에서 IT는 정보시스템의 계획, 분석, 설계, 구축을 위한 일련의 연결된 형식기법을 통칭하는 용어로 광통신, 디지털방송, 무선통신, 소프트웨어, 차세대 인터넷, 컴퓨터 등을 주요 전략품목으로 삼고 있다. 지반공학에서의 IT는 '계측'이라는 다소 시대에 처지는 듯한 용어를 사용하고는 있지만 나름대로 컴퓨터 및 통신기술의 발달과 함께 성장하고 있다.

1969년 9회 Rankine Lecture에서 Peck이 정보화시공의 필요성을 제기한 이래 시공관리와 시공시의 안정성 확보를 위해 계측기술이 적극적으로 활용되었으며 근자에는 완성된 구조물의 재해예방을 위한 유지관리 측면에서 정보화시공에 대한 연구가 활발하다. 특히 기계, 전자 및 통신 등의 기술이 비약적으로 발전함에 따라 광섬유센서, TDR(Time Domain Reflectometry), GPS(Global Positioning System)등과 같이 새로운 형태의 계측 hardware가 개발되었으며 측정된 데이터를 자동으로 취합관리 할 수 있는 자동계측시스템이 속속 개발되고 있다. 이밖에도 시각적으로 현장을 감시할 수 있을 뿐만 아니라 정량적인 변위량의 계측도 가능한 영상감시시스템이 개발되어 산사태, 사면붕괴 및 해안침식 등의 거동감시에 활용되고 있다.

본고에서는 장비분야의 최근연구동향으로 TDR과 자동계측시스템에 대해 간략하게 소개 하였으며 정보화시공이 우리가 전혀 상상하지 못하는 분야까지도 확대하여 적용될 수도 있는 정보화시공의 미래를 예측하여 보았다.

2. TDR(Time Domain Reflectometry)

TDR을 굳이 우리말로 번역을 하면 시간영역 반사법이라고 할 수 있다. 이 시간영역 반사법은 원래 동축전송케이블의 불연속 지점을 찾아내는 기술이었다. 이 기술이 점차 발전하면서 토양내의 수분함량, 송유관 및 수도관의 누수지점 등과 같은 동축케이블이 매설된 주변 물질의 특성을 측정하는데 까지 응용되게 되었다. 특히 지반공학 분야에서는 1990년대 초반부터 토목공학에 응용되어 지반의 변형이 일어나 케이블이 끊어진 지점을 찾아내는데 사용되었다. 동축케이블의 강성 때문에 적용

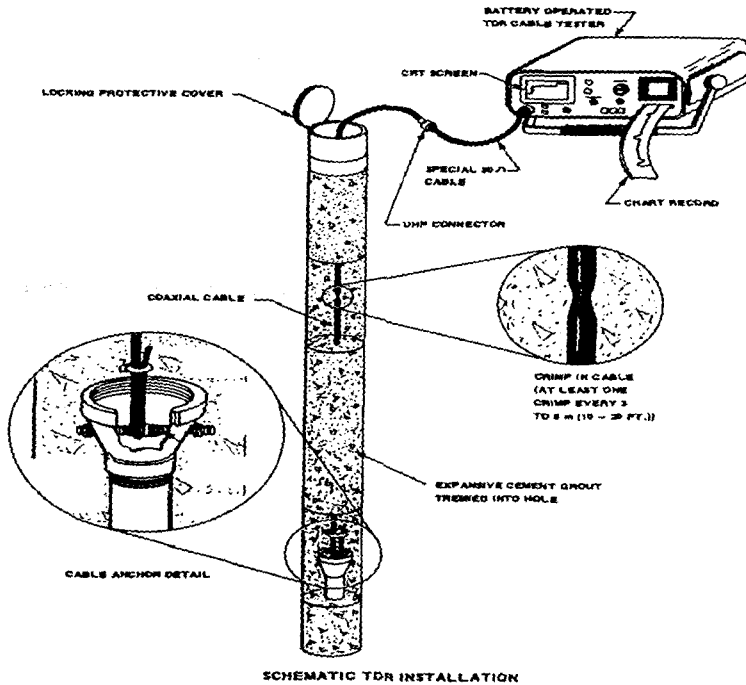


그림 1. 지반변형 측정을 위한 TDR시스템의 설치도

성의 한계가 있기는 하지만 최근에는 미국의 연약지반 거동분석에도 적용된 실적이 있는 것으로 보고되고 있다. 국내에서는 1996년 강원도 통리지역, 고사리 일대 및 화전지역 등에 산재한 폐광의 붕락으로 인한 지반침하의 가능성을 판단하기 위해 TDR을 이용한 것이 최초 적용사례이다.

그림 1과 같이 지반내 시추공에 동축케이블을 삽입한 후 시멘트로 그라우팅하여 케이블과 지반이 일체가 되게 하면 지반내에서 발생되는 전단변형이나 인장변형이 그라우트 부분에 전달되고 이는 다시 케이블에 변형을 일으키게 되며 케이블의 변형은 그 지점에서 국부적인 전기적인 capacitance의 변화를 일으키고 이때 케이블 테스터에 나타나는 펄스의 반사파형이 변하게 된다. 따라서 이때 발생하는 반사파형을 모니터링하면 변위가 일어나는 위치, 형태 및 변위량을 계산할 수가 있다.

TDR은 기존의 계측방식에 비해 시스템의 설치가 쉽고 모뎀이나 무선통신으로 데이터의 수집이 가능하므로 원거리에서 지반내부의 변화를 연속적으로 파악할 수 있으며, 전단변형 발생위치와 변위의 증감여부를 즉시 알 수 있다는 장점이 있다. 그러나 동축케이블에 발생한 전단변형의 절대적인 크기를 정확히 알기는 힘들다는 단점이 있다. 경사계와 비교하여 TDR은 국부적인 변형으로 인한 jamming 가능성이 없으며 multiplexing system을 이용하면 다수의 시추공에 설치된 동축케이블을 1대의 TDR시스템에 연결하여 자동화 계측을 실시할 수 있으므로 지반변형의 측정을 위한 여러 가지 계측기술의 하나로 추가될 수 있을 것으로 예상된다. 특히 암반사면이나 암반의 공동 주변에서 발생하는 전단변형의 측정시 경사계를 TDR로 보완 또는 대체할 수 있으므로 산사태나 암반사면의

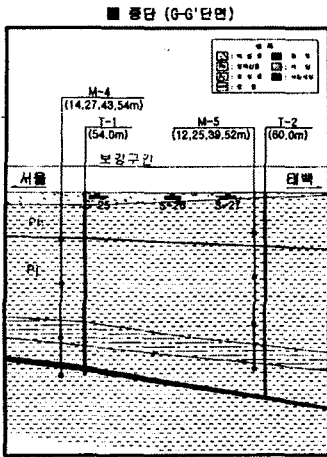
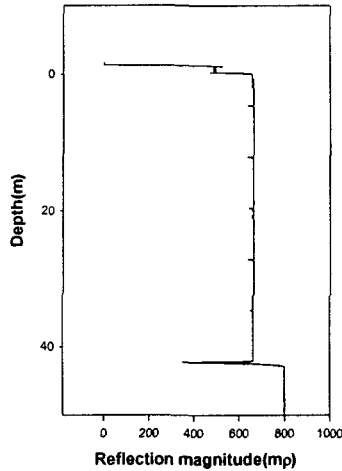


그림 2. 설치위치

TDR#1(Jul/10/98)



TDR#1(Apr/22/99)

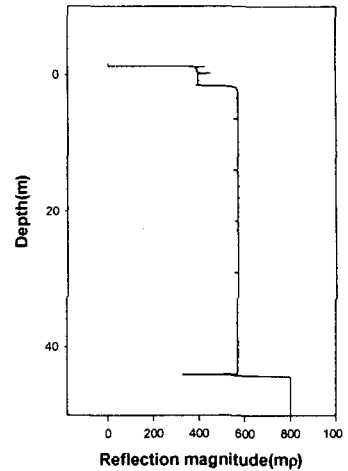


그림 3. 측정 1년후의 신호비교(T-1)

거동을 조기에 포착하여 보강대책을 강구하거나 피해를 최소화 할 수 있는 경제적인 기술로 많이 활용될 전망이다.

다음은 강원도 태백지역에서 TDR을 이용하여 지반의 변위거동을 측정한 사례이다. 설치위치 및 지반조건은 그림 2와 같다. 설치지점은 T-1 및 T-2 두지점이며 설치심도는 각각 54m 및 60m 였다. 측정값의 신뢰성을 검토하기 위하여 인접한 곳에 침하계를 별도로 매설하여 측정값을 비교하였다.

그림 3은 T-1지점의 측정결과로써 측정후 약 1년이 경과한 후의 신호를 비교한 것으로서 절대값의 차이는 있으나 기준점으로 비교해보면 신호의 차이가 거의 나지 않는다는 것을 알 수 있으며 결국 지반의 변형이 거의 없음을 나타내고 있다.

그림 4는 인접한 곳에 설치한 T-2의 결과를 나타내고 있다. 10월 이후에는 7월의 계측결과에 비하여 상대적으로 신호의 불규칙한 변화가 두드러지고 있다. 특히, 그림 4(d)는 99년 10월의 결과를 나타내고 있으며 심도 5m를 중심으로 그림을 확대하면 약 3.2m 내외에서 취득한 신호는 전단파괴의 형상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 T-2의 경우는 하부지반의 변위에 의하여 3m 내외의 지점에서 동축케이블이 완전히 절단되었음을 유추할 수 있다.

따라서 강원도에 산재한 폐광채굴적에 의한 철도, 도로 및 터널의 안정성 검증을 위하여 설치한 TDR케이블의 계측사례에 의하면 지반의 변형이 발생하는 위치 및 변형의 증가를 알아낼 수 있다. 변형의 종류를 명확히 판단하는 것은 다소 곤란하지만 다른 종류의 계측결과와 비교하면 상당히 신뢰성이 있다고 할 수 있다.

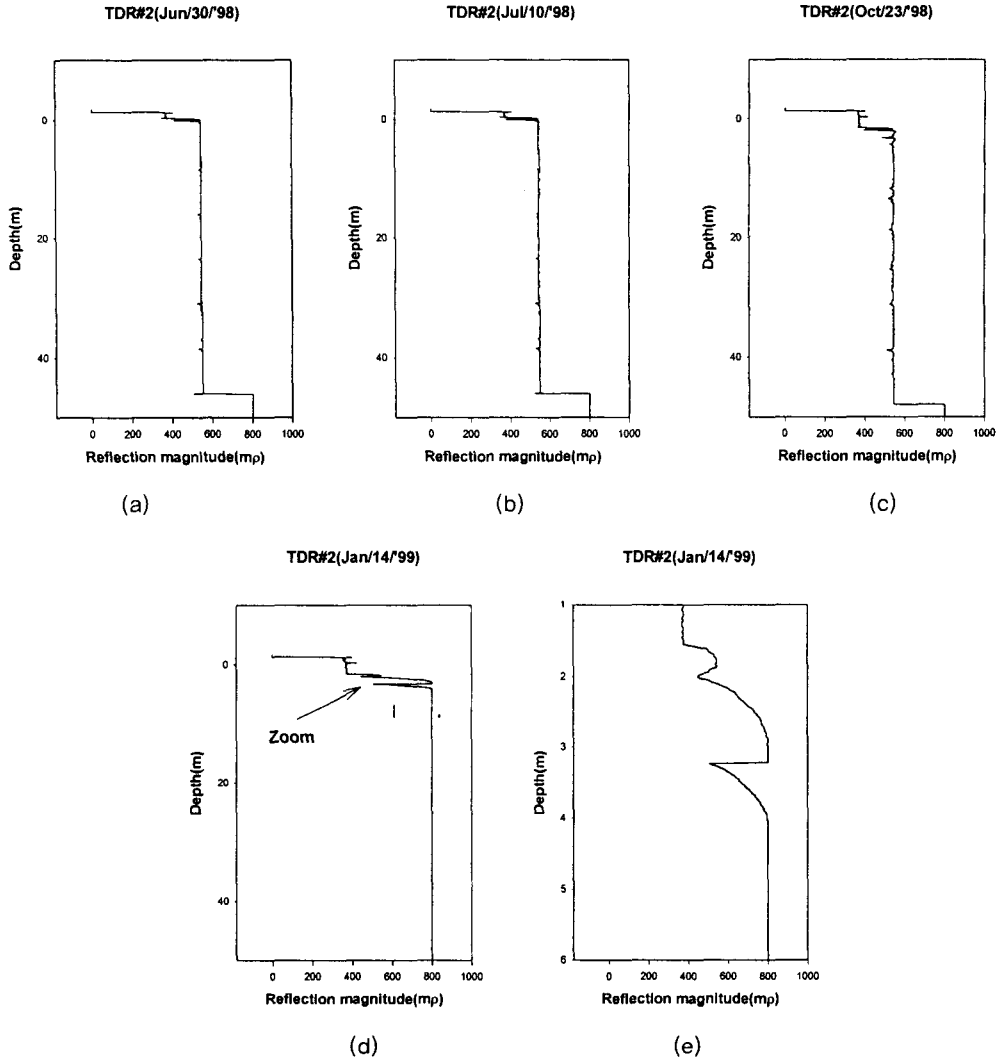


그림 4. T-2의 계측결과

3. 자동계측 시스템

3.1 서론

일반적으로 현재의 계측관리는 수동 계측이 주를 이루고 있지만 컴퓨터 및 통신장비의 발달로 점차 자동 계측에 대한 관심이 높아지고 있다. 종래의 계측 관리 시스템은 숙련된 계측 인원이 필요하고, 현장에 상주하여야 하며, 현장 규모에 따라 상주 인원의 인건비와 출장비가 지출되며, 계측자의 숙련도에 따라 측정값이 다를 수 있어 계측 오류가 발생하는 문제점이 있었다. 또한 하루 측정횟수가 한정되어 있으며 데이터 측정 후 결과값을 얻기까지 시간이 소요되는 등 측정 시간에 제약을 받게 되고, 기상 요건에 따라 계측이 불가능할 경우가 있으며 지리적 요건으로 상시 계측이 불가능한 경우

가 발생하는 등 외부환경 요인에 영향을 받게 된다. 따라서 측정자가 계측지점에 접근하여 직접 측정하지 않고 전천후로 작동하는 자동계측시스템에 의한 측정 방안이 필요하게 된다.

3.2 자동계측 시스템의 구성

자동계측 시스템은 그림 5와 같이 sensor, multiplex, data logger, 운영 PC 및 통신장비로 구성된다. multiplex는 data logger에 연결되어 여러 개의 센서를 측정할 수 있는 확장 모듈이다. Data logger는 multiplex를 제어하며 센서를 측정하고 측정데이터를 저장하고 전송하는 역할을 한다.

3.3 데이터 전송방법

데이터 전송방법은 다음과 같이 다양한 통신방법이 있으며 통신방법 선택시 고전압 및 유도장애, 누설전류, 온도, 습도나 주위 환경에 관계없이 정상작동이 되어야 하며, 유지 관리비도 고려하여 결정하여야 한다.

- ① 통신 케이블(RS-422, 485 등) : Data Logger 가까이 컴퓨터가 설치된 경우에 사용되며, 이 방법은 일반적으로 시공중에 공사 진행 상황을 동시에 계측할 경우나, 소규모 계측에 적합하다. 최장통신거리는 약 1.2Km, 최대 전송속도는 10Mbps 까지 가능하다.

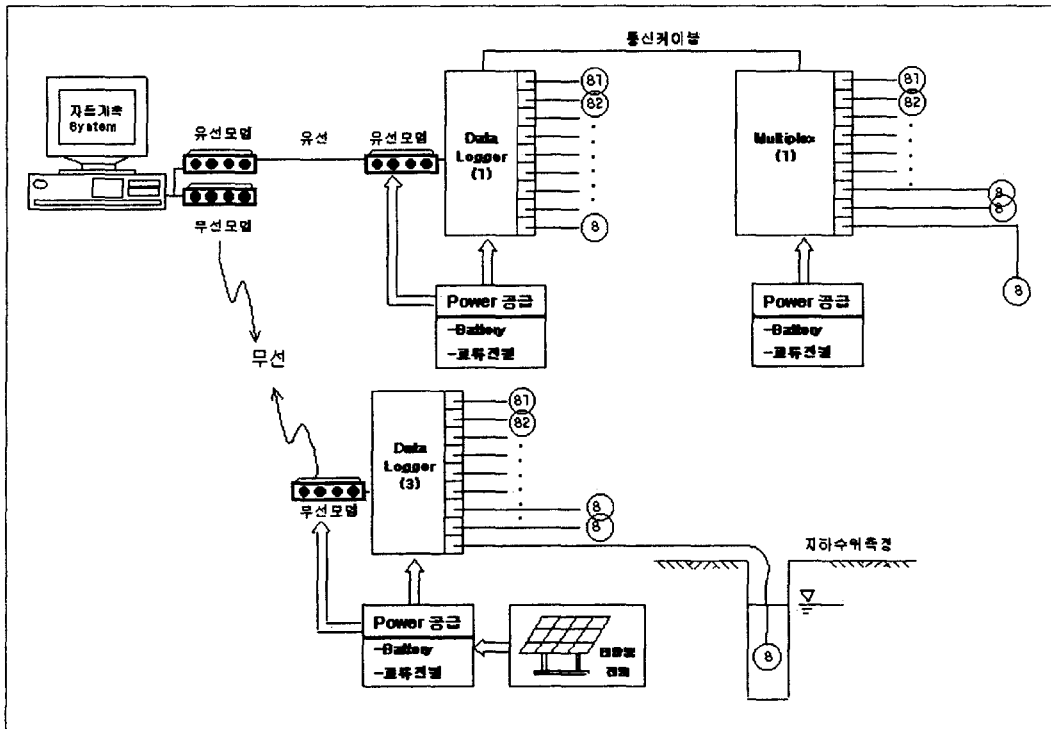
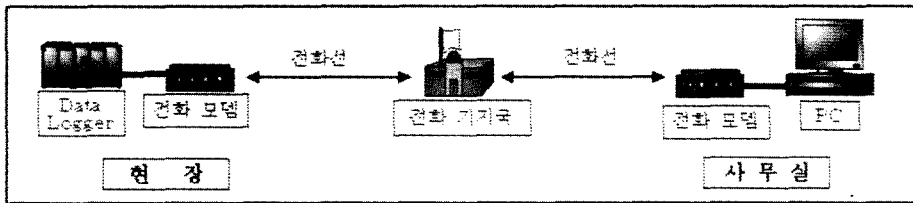
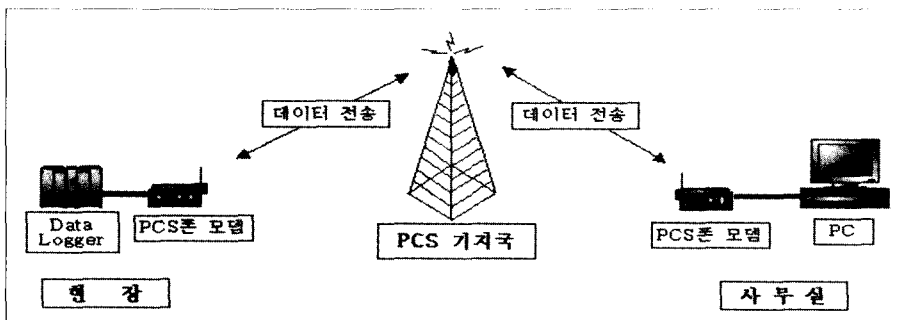


그림 5. 자동계측 시스템 구성도

- ② 저장 모듈 : Data Logger를 사람 접근이 용이한 지역에 설치할 경우 사용되며, 주기적인 현장 점검시 데이터의 수집이 가능한 경우에 사용된다. 일반적으로 데이터 로거에는 저장 기능이 내장되어 있어, 노트북 또는 PDA 등을 이용하여 저장 데이터를 수집할 수 있다.
- ③ 광통신 모뎀 : 광통신 케이블을 사용할 경우 최장 통신 거리는 약 5Km이내 이고, 외부노이즈의 영향이 매우 적으나, 케이블의 포설과 보호가 가능해야 하며, 광케이블 포설 비용이 고가인 것이 단점이다.
- ④ 유선전화 모뎀(PSTN) : 전화기지국을 이용하므로 국내·외 모든 곳에서 통신이 가능하나 전화선으로 유입되는 외부 노이즈에 취약하며, 전송속도는 느린 편이다.



- ⑤ 무선전화 모뎀(PCS 폰 모뎀) : 유선전화 모뎀 설치가 어려운 경우 사용되며, 제어 및 데이터 수집 빈도가 짧은 경우에는 통신 유지관리 비용이 증대되나, PCS 폰 기지국을 이용하여 측정 데이터를 디지털 자료로 전송하므로 통신에 따른 외부 노이즈 영향이 거의 없으며, 전송거리 및 장소에 대한 제약이 없다.



- ⑥ RF(Ratio Frequency) 모뎀 : 외국의 경우 일반적인 방법이나, 국내는 산악 지형이 많아 별도 중계소 설치가 필요하고, 전파사용이 엄격하게 규제되어 사용 허가를 취득하여야 하며 무허가 조건으로는 약 2Km 이내 통신은 가능하다.
- ⑦ ADSL(인터넷 통신)모뎀 : 기존의 구리선 전화선을 이용하여 전화국과 1:1로 연결되어 고속 데이터 통신(최저 1.5Mb 이상)을 가능하게 하는 통신수단으로 언제 어디서나 인터넷망을 통한 시스템제어 및 관리가 가능하며, 유지비가 상대적으로 저렴하다.

3.4 계측시스템 설계시 고려사항

자동계측 시스템에서 주로 문제가 발생하는 것은 노이즈(noise) 및 낙뢰 등에 의한 surge 그리고 전원의 공급문제이다.

3.4.1 노이즈 발생원인 및 방지대책

1) 노이즈의 발생원인

노이즈란 계측목적을 달성하기 위한 정량적 정보 획득의 시그널 신호를 방해하는 잡음을 말한다. 이런 잡음은 외부 전자파 간섭, 전자유도, 내부불량 부품에 의하여 발생할 수 있으며, 그 증상이 시스템에 미치는 영향은 잘못된 데이터출력, 시스템 오작동, 시스템다운 등 계측시스템 전반에 걸쳐 치명적인 영향을 줄 수 있다.

2) 노이즈 해결방안

● 외부 전자파 간섭 대책

잡음은 그 발생원에서 잡음을 내는 측과 피해를 받는 회로의 결합정도를 나타내는 결합계수를 거쳐서 감도를 가지고 있는 장치로 수신되며, 다음과 같은 방법으로 제어할 수 있다.

- 발생 원인과 피해를 받는 장치를 최대한 이격시켜 감도를 Zero화 하는 방법
- 잡음에 대한 감도를 최소화 시켜 시스템의 내잡음성을 높이는 방법
- 시스템 내부의 섬세한 부분에 필터나 쉴드를 치밀하게 하여 결합도, 즉 결합계수를 작게 하여 잡음의 영향을 배제하는 방법 등이 있다.

● Hardware 상의 잡음 대책

- Noise를 발생시키는 부분 자체를 차폐하는 하드웨어적인 방법으로 내잡음 설계 · 전원대책 · 부품 선택 · 계측 시스템내의 대책으로 구분하여 수행한다.
- 계측관리 및 시스템 설치 대책으로 측정과 사용 환경의 정비, 잡음원 배제와 접지대책, 저 잡음과 잡음 내구성이 강한 기기 등의 선택으로 Noise 발생원인을 제거한다.
- 또한, 주파수 영역별 잡음 저감 대책은 그 Noise 필터 종류를 다양화하며 즉, 저역 통과형, 고역 통과형, 대역 통과형 및 제거형으로 구분하여 세부적으로 시스템에 적용한다.

● Software 상의 잡음 대책

- 측정 데이터 집합 영역에 대한 잡음 저감 방법으로 계측된 정보를 디지털화하고, 전압과 전류 신호를 길게 하여 Noise에 노출되는 것을 방지한다.
- 계측데이터 정보처리를 수치적으로 제어하고 최소 단위에 Error correction data를 삽입하여 노이즈에 의한 잘못된 데이터를 근본적으로 차단한다.
- 측정 데이터 정보 송 · 수신 상태를 이중으로 확인할 수 있는 Protocol방식을 사용하고, Noise가 장시간 지속될 때는 계측 Timing을 유동적으로 조절하는 Intelligent Software를 사용한다.

● 계측관리상의 잡음 대책

- 기본적인 대책은 기기 운영자가 운용하는데 필요한 잡음관리 요령을 숙지하도록 교육한다.
- 모든 장비는 현장 상황에 적합한 접지를 실행하고, 계측용 통신케이블은 반드시 Twist Pair Shield Cable을 사용하여, 낙뢰에 따른 피해를 방지하기 위한 피뢰기 등을 설치한다.
- 현장계측 전담인원을 전문화하여 항상 현장 상황을 모니터링하고, 그 현장에서 공사 중 발생하는 상황과 향후 예견되는 상황에 구체적으로 대응할 수 있도록 인원을 구성한다.

3.4.2 Surge의 정의 및 방지대책

1) Surge의 정의

Surge란 쉽게 표현하여 고전압 고전류의 Impulse를 총칭하는 전기적 잡음의 일종이다. 발생원은 낙뢰, 전기적인 차단기와 유도성부하의 개폐에 의해 발생되며 이로 인한 피해는 전원과 통신, 신호선로를 통하여 장비측으로 유입되어 장비를 손상시키거나 오동작을 유발하며, 장시간에 걸친 장비의 스트레스로 인하여 장비의 수명을 단축시키며, 수시로 내부소자의 손상 및 기능저하 등을 초래한다. Surge는 전압의 크기 파형의 지속시간, 파형의 형태에 따라 Transient(순시 과전압)와 Surge(지속 과전압)으로 분류된다.

2) 낙뢰 보호대책

- 직격되는 피뢰침에 의하여 보호
- 전원은 전원용 TVSS(Surge보호기:Transient Voltage Surge Suppressor)에 의한 유입 Surge를 제거
- 계측 System은 신호 및 통신 선로 보호용 TVSS를 양측에 부착하여 보호.

Surge 보호기는 케이블 배선사이에 유도뢰에 의한 유도 전압과 전류를 보호하는 목적으로 설치하며, 매설기기의 지상부 케이블이 올라오는 부분(Junction Box)과 계측System의 접속측(Scanner)양단에 삽입하고, 연장케이블에 발생한 고전압과 고전류를 대지에 방출해 센서 및 계측기기를 보호한다.

3) 접지의 기준

접지의 목적은 낙뢰 등으로 발생한 Surge 전류의 신속한 방전으로 전기기기류 및 인체를 전기적 충격으로부터 보호하여 주는 역할과, 동작기준 레벨의 통일, 감전의 방지 등이다. 접지가 안 된 상태에서는 측정신호가 불안하고, 이상 전압이 도래한 때의 시스템 전체의 안정성도 달라진다. 이런 전압 또는 전류가 수신기기의 속에 들어가기 전에 지면에서 흘러나가게 하는 것이 접지이다.

효율적이고 안정적인 접지를 하기 위해서는 다음과 같은 기준을 준수하여야 한다.

- 전원접지 및 신호 통신 접지는 Mash접지에 저항값은 10Ω 이하로 접지한다.
- 원거리 장비의 접지로 접지봉을 약 3M간격으로 삼각형이 되도록 매설하고 접속하여 10Ω 이하로 접속하여야 저항값을 유지토록 접지한다.
- 피뢰침의 접지 : 피뢰침의 접지는 접지 저항계로 측정하여 10Ω 이하로 접속하여야 하고 대지전위 상승이 500V를 초과하여서는 안된다. 피뢰침의 접지와 전원접지, 통신, 신호접지사이는 최소한

7.6M이상을 이격하여야만 유도뢰로부터 피해를 면할 수 있다.

- 접지용 전선은 될 수 있는 한 굵게 하여야 하며 최소한 전원선의 굵기보다는 굵은 것을 사용하여야 한다. 가능한 건물의 철 구조물 등은 전기적으로 접속하여야 하고 정기적으로 접지 저항을 측정할 수 있는 시험단자를 설치하여야 한다.
- 접지의 저항값 기준치(최소한) 및 필요조건
 - 전원접지 : 10Ω이하(mash접지)
 - 통신접지 : 10Ω이하(mash접지)
 - 피뢰침접지 : 10Ω이하 또는 대지 전위상승 500V이하
 - LOCAL접지 : 10Ω이하(접지봉 접지)
 - 접지선의 굵기 : 사용하는 전원선의 굵기 보다 굵어야 한다.
 - 시험단자함 설치
 - 건축물의 철 구조물은 전기적으로 접지와 접속

3.4.3 전원공급대책

1) AVR(Automatic Voltage Regulator)

AVR은 입력전압의 변동이나 부하 변동에 관계없이 안정된 출력 전압을 만들어 주는 것으로 이를 실현하기 위해서는 여러 가지 방법이 있으나 다음과 같은 조건을 만족시킬 수 있는 제품을 설치한다.

- 반응속도가 빠르고 효율이 높을 것
- Spike, Surge성 Noise에 대한 대책을 가질 것
- 고 주파수 발생률이 낮을 것

2) UPS(Uninterruptible Power Supply)

- UPS는 CVCF(Constant Voltage Constant Frequency)의 기능을 정전 때에도 유지시켜 줌으로써 안정된 전원을 항상 공급하여 줄 수 있다.

- 마이크로프로세서가 내장된 장비는 결국 모든 종류의 전원변동이나 Noise등 정적으로부터 필히 보호되어야 하므로 전원이 공급되는 시스템의 경우에는 항상 UPS를 사용하여야 한다.

- UPS는 사용하고자 하는 기기의 전원교란에 대한 보호기능이나, 보호 내력, 출력 파형, 출력 안정도, 정전보상기간 등에 따른 성능, 신뢰성, 크기 등에 따라 매우 다양한 장비들이 개발되어 보급되고 있다.

- 이를 크게 나누어 보면,

가) 반도체 소자를 사용한 경우와 발전기를 사용한 경우

나) ON-LINE 방식과 OFF-LINE 방식

다) 출력전압 파형이 정현파인 경우와 구형파인 경우

라) 입출력이 절연되어 있거나 그렇지 않은 경우로 나눌 수 있다.

따라서 사용하고자 하는 목적에 부합된 제품을 선택하여 사용한다.

3) Solar Battery

- 시공 초기에는 계측시스템을 설치하는 현장까지 전원이 공급되지 못하는 경우가 많다. 이러한 경우 태양열 전지판 등 대체 전력을 마련하여 계측관리에 문제가 발생하지 않도록 하여야 한다.
- 그러나, 계측시스템이 설치된 현장까지 전원이 공급될 경우 전술한 A.V.R과 UPS 등을 설치하여 보다 안정적인 전원 공급으로부터 원활한 계측관리가 될 수 있도록 해야 한다.

3.5 결론

인류의 역사와 함께 건설된 모든 구조물들은 인류를 좀더 편리하고 풍요롭게 라는 염원과 함께 산업, 사회 그리고 인류의 삶의 질을 향상시키기 위하여 끊임없이 창조되어 왔다. 현대의 건설기술은 Hi-Tech화 되어가고 있으며, 지구촌의 각종 장벽이 사라진 무한 경쟁시대인 오늘날 기술과 품질의 중요성은 날로 높아지고 있습니다. 이제는 선진국의 기술 독점을 벗어나 진정한 우리의 독자적 기술을 만들고 가꾸어야 할 때이다.

자동계측관리는 인건비 절감과 계측 오류를 최소화 하고 데이터의 가공성을 높이는 데 많은 기여를 하고 있지만, 계측장비 및 계측 PC가 모두 현장에 집중되어 있는 현장 중심의 계측관리만 이루어지고 있고, 이에 대한 개선점이 다음과 같이 시급히 마련되어야 한다.

- ① 측정데이터 활용을 위한 통합 DB가 구축되어야 한다.
- ② 다양한 방법으로 측정데이터를 실시간 분석처리 할 수 있는 통합프로그램의 개발, 구축되어야 한다.
- ③ 공간의 개념을 극복할 수 있는 인터넷망을 이용한 자동계측시스템 및 측정 자료 활용 네트워크 구축되어야 한다.

4. 지반정보의 미래적용 기술

4.1 서론

기술의 발전은 우리 인간이 자연에 도전하여 인간위주의 편리함을 추구하고, 모든 재해로부터 해방되어 안전을 끝없이 요구하려는 인간의 본능이 없어지지 않는 한 지속될 것이라는 것은 누구나 알고 있는 사실이다. 특히, 자연의 현상을 광역적인 의미에서 규칙적이고 정교한 물리적인 현상이라고 동감하는 우리 인간은 끊임 없는 연구를 통해 잡힐듯한 해답을 추구하고 있다. 따라서, 고대에는 모든 학문이 철학적으로 통합적인 접근을 통하여 자연현상의 해답을 얻으려고 노력하였다.

그러나, 현대에 들어와 세부분야로 분류되면서 기술 발전은 급속도로 성과를 얻었다는 평가는 할 수 있으나, 급속도로 발전하는 가운데 우리는 전체를 연관시키는 안목이 줄어들고 세부적인 항목에 치우쳐 자연의 신비로움을 망각하며 인간이 판단하는 이론 개발에 만족을 느끼고 있다는 지적이 최근 공감대를 형성하고 있다.

특히 세부적인 분야들 사이에 존재하는 Interface분야에 대한 간과됨을 지적할 수 있다. 이러한 분야를 일명 “Interdisciplinary Field” 라고 최근 알려져 있으며, 지금까지 망각해오던 이 분야의 발전

이 21세기를 들어와 상당한 연구가 급속도로 수행되고 있는 실정이다. 또한 이들 연구에서는 고대 및 18세기 모든 분야를 통합적으로 접근하였던 학자들의 과거 제안들이 최근에 매우 중요한 자료로 이용되고 있는 사실이다.

상기 언급내용으로 볼 때, 지반공학분야에 있어서도 기술적 발전을 위하여서는 우선적으로 2가지 방향에서 지반공학 기술발전을 도모하여야 할 것으로 판단된다. 첫째로는 타 분야의 이론의 도입 적용하는 수동적인 접근방식과, 둘째로는 지반공학 정보의 타 분야 적용하는 능동적인 접근방식이다. 전자의 경우 지반공학분야 또한 대자연에 도전하는 분야의 하나로써 지반에 대한 거동을 이해하고 예측하려는 인간의 한계에 도전하는 학문이라고 볼 수 있기 때문에 통합적인 의미에서 타 분야의 이론 적용에 노력하여야 할 것이다. 이는 지반공학의 연구결과가 실제 자연현상과 비교 검증하여 볼 때 이론과의 일치성에 있어서 항상 제고되는 등 22세기를 바라보는 이 시점에 있어서도 해결해야 할 문제점이 존재하고 있어 지속적인 발전이 요구되는 학문이기도 하기 때문에 타 분야의 유사이론에 적용과 검증이 필요하다고 판단되기 때문이다. 후자의 경우, 지반공학정보의 타 분야 적용은 지반공학의 이론들 중에는 인간과 함께 하는 동식물들의 본능적인 기능을 모방하여 지반공학 발전을 위한 기술적인 기본개념으로 이용했던 경우가 적지 않다는 점에서 개발된 이론을 타 분야에 역으로 적용시키는 것도 매우 중요하다는 것이다. 이는 향후 통합적인 개념의 기술발전 뿐만 아니라 우리 지반공학기술자의 활동범위를 확장하는데 크나큰 공헌을 할 수 있을 것이라는 점에서 의미가 크다고 볼 수 있다.

이 소개는 지반공학분야의 발전 방향 중 능동적인 접근으로 지반공학정보의 타 분야 적용에 대한 연구사례를 중심으로 우리 기술자의 향후 연구 방향을 제시 하고자 하는데 목적을 두고 있다. 그중 생체역학분야 적용을 소개, 분석하여 지반공학 정보의 무한함을 제시하고, 지반공학의 새로운 첨단 분야로 발전시키고자 하는 동기를 제공하고자 한다. 특히, 현재 지반공학분야에 있어서 정보화기술 분야로써의 가치성을 부여하여 지속적인 연구와 발전이 요구되어진다.

4.2 생체역학(Biomechanics) 의미와 지반공학 정보의 적용기본

생체역학에 대한 지반공학 정보의 적용에 대하여서는 우선 생체역학의 기본적인 의미를 알아둘 필요가 있다. 생체역학의 정의 및 구체적인 개념에 대하여서는 Y.C.Fung(1993)의 "Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues"저서에 잘 언급되어 있으나, 기본적으로 생체역학이란 Galileo(1638)가 정의한 힘, 운동, 강도등으로 나타내는 역학(Mechanics)을 생체학에 적용시킨 역학의 하나로 정의 될 수 있다. 생체역학의 주요 목적은 Living system의 역학적 원리를 규명하는데 있고, 공기역학을 모르고 비행기를 이해 할 수 없듯이, 생체역학을 모르고 생체학을 이해하기란 어렵다는 당연한 속에서 이 분야의 연구가 시작되는 동기가 되었다. 이 생체역학의 발전은 진단, 수술, 의료기 등의 개발에 연관되어 지속적인 발전이 되고 인간의 생명연장에 공헌을 하고 있다.

지반공학에 대한 이론적 정보의 생체역학분야내 적용에 있어서는 기본적으로 응력-변형거동이론, 유효응력이론, 침투이론 그리고 압밀이론 등 지반공학의 기본적인 이론의 대부분이 생체역학분야의 연구에 적용할 수 있다는 것이다. 인체조직의 응력-변형 해석은 유효응력과 간극비개념을 이용하고,

뼈의 연결부에 대하여서는 뼈와 연골과의 사이에 전달되는 응력의 분포 및 응력전달의 메카니즘 등에 대한 모델링하며, 혈액순환에 대한 침투이론을, 적혈구, 동맥과 정맥의 변형이론, 근육 및 기타조직 등에 대한 구성방정식 등을 발전시키는데 적용되고 있다.

최근 이러한 연구에 대하여 지반공학연구팀에서 실시하고 있는 대학으로는 Oxford대학의 Burd 교수팀과 Cambridge대학의 Bolton교수를 들 수 있다. 여기서는 지반공학의 이론적 배경을 생체역학에 적용시킨 사례연구에 대하여 소개하면 다음과 같다.

4.3 지반공학 정보를 이용한 생체역학분야 개발

4.3.1 활동분석

활동분석(Movement analysis)은 인간의 보행, 운동, 관절의 움직임 등을 분석하고, 그 결과를 물리 치료, 스포츠 등에 활용하기 위함이다. 이 중에서 인간의 보행(gait)과 관련되어서는 인간의 발에 전달되는 하중의 크기와 분포에 관한 연구가 유한요소법을 이용하여 활발하게 진행되고 있다.

그러나, 현재까지의 Biomechanics 분야에서는 인체의 모델링에 주된 관심사를 두고 그 발전이 진행되어 왔으며 지반에 대한 모델링에 있어서는 많은 관심을 두지 않았다. 다만, 최근의 연구 결과들을 살펴보면 GRF(Ground Reaction Force)의 개념을 도입하여 지반과 발 사이에서의 역학관계를 고려하려는 시도가 진행되고 있으나, 그러한 시도 역시 동적 움직임(달리기)을 고려하는 경우 그림 6과

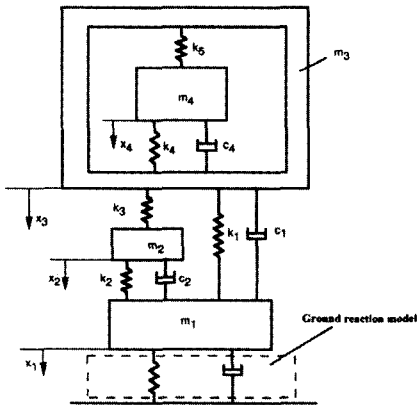


그림 6. 인체 모델링

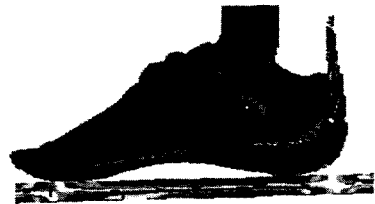


그림 7. 발의 FE 모델링

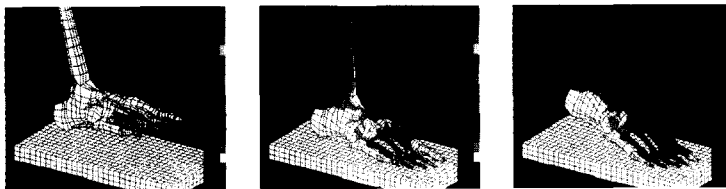


그림 8. 보행시 발의 유한요소 모델링

같이 Spring-Dash pot로 지반을 Modeling 하여 적용하고 있는 정도이며, 대부분의 경우에는 발과 접촉하는 지반을 강체로 Modeling 하고 있다.

또한 이러한 보행분석 결과를 적용하여 Footwear Biomechanics 라는 응용분야가 등장하였다. 이 분야에서는 신발 Design을 위하여 Gait modeling 분야의 결과를 활용하고, 좀 더 합리적이고 과학적인 분석 결과를 이용하여 공학적 관점에서 신발을 Design 하고 있다.

지반공학적인 관점에서 인간의 보행과 관련된 해석을 바라본다면 좀 더 다른 방향에서의 접근이 다양하게 이루어 질 수 있을 것이다. 지반의 종류(모래, 점토, 아스팔트 등)에 따라 접지압의 분포가 달라지고, 인간의 발 또한 Flexible한 상태로 볼 것인지 Rigid한 상태로 볼 것인지에 따라 발 하부에 전달되는 하중의 형태, 크기가 달라지게 되므로 지반공학적인 개념을 인간의 보행분석(Gait analysis)에 접목시킨다면 지반공학의 새로운 응용분야로서 자리잡을 수 있을 것이다.

4.3.2 뼈와 연골거동 역학

인체의 골격을 유지하고 있는 뼈(bone)와 관절을 구성하고 있는 연골(Cartilage)을 유한요소법에 의해 Modeling하고, 여러 가지 시험을 통하여 그들의 역학적 특성을 규명하는 분야이다.

뼈나 연골의 역학적 특성을 규명하기 위하여 삼축압축시험과 같은 장비를 활용하기도 하며, 뼈에 작용하는 응력의 상태를 그대로 재현하기 위한 노력은 지반공학분야에서 현장상태의 응력을 재현하기 위해 노력하는 것과 같은 맥락에서 이해할 수 있다.

인체의 뼈와 연골에 대한 직접적인 시험을 통하여 그들의 역학적 특성(탄성계수, 강도, 밀도, 비중 등)을 규명하기도 하지만, 인체에 대한 직접적인 시험은 현실적으로 제한적이기 때문에 유한요소 모델링에 의해 다양한 하중(교통사고, 충격하중, 추락 등)을 받는 경우의 인체골격의 응력변화를 Simulation 하고, 이들 결과를 활용하여 인체 보조기구의 개발 등에 활용한다.

뼈의 유한요소 모델링에 있어서는 유기체인 뼈의 파괴기준을 어떻게 적용할 것인가에 관한 문제점이 대두된다. 현재 다양한 인체의 뼈에 대한 여러가지 파괴기준(von-mises, Tresca, Mohr-Coulomb 등)을 적용한 연구결과가 많이 발표되고 있다.

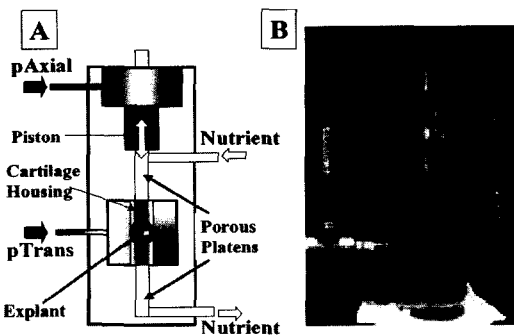


그림 9. 연골부 모델의 삼축시험기

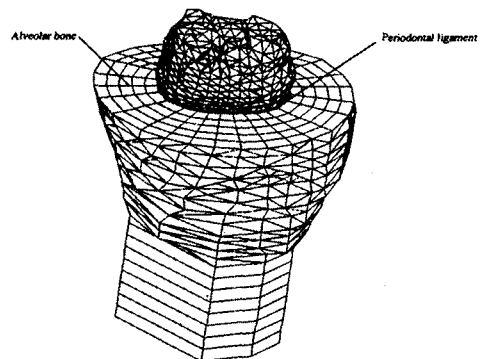


그림 10. 뼈의 유한요소 모델링

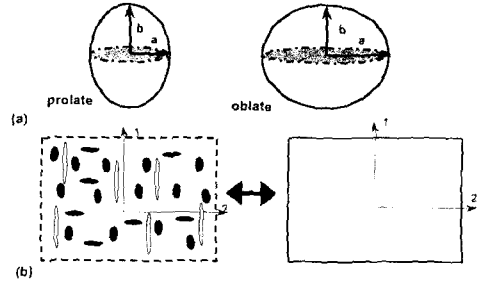
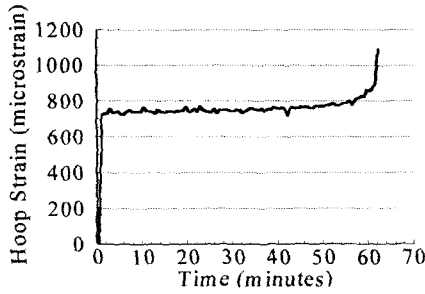


그림 11. 연골의 Creep 시험 결과와 이방성 모델 개념도

인체의 뼈는 다공성 매질이며 인체내의 여러가지 유체에 의해 포화(혹은 일부 포화)된 상태라는 것, 한번 골절을 경험한 뼈의 파괴기준에 골절을 경험하지 않은 뼈와 같은 파괴기준을 적용해도 될 것인가(Hoek-brown 파괴기준이 더 적절한 것이 아닌지) 등을 생각해 본다면 지반공학적 관점에서 뼈의 유한요소 모델링에 적용 가능한 아이템들은 상당히 다양할 것이다.

연골과 같은 조직은 뼈와는 약간 다른 접근방법이 이루어 지고 있다. 예를 들어 골격보형물에 의해 관절부위에 이전의 상태와 다른 응력상태가 장기간 지속된다고 하면 서로다른 두 방향의 뼈에 의해 전달되는 응력과 응력이 집중되어 만나는 연골의 Creep 거동 특성이 큰 관심사가 된다. 또한, 한쪽 방향에서 반복적으로 받는 응력을 효과적으로 흡수하기위해 연골조직은 이방성을 띠고 있으며, 이러한 연골의 Creep 거동특성, 이방성 역시 직접적인 실험시험과 수치모델링 등에 의한 연구가 진행되고 있다.

지반공학 분야에서 다루는 점성토의 거동이 Time-dependent 하고, 이방성을 가지며 비교적 압축성이 큰 응력-변형특성을 가지고 있음을 생각해 보면 이러한 인체조직을 모델링하는 데 있어서 지반공학에서 지금까지 다루어 온 재료들로부터 많은 접근방식을 찾아낼 수 있을 것이다.

4.3.3 근육조직역학

이는 인체의 조직 중 뼈와 같이 고정된 형상을 유지하지 않는 섬유조직을 갖는 인체의 여러 기관들을 공학적으로 연구하고 모델링하는 분야이다. 이러한 기관은 피부, 뇌, 안구, 근육 등 골격을 제외한다면 대부분의 기관이라고 볼 수 있다.

그림 12 및 13은 인체에 대한 모델링의 개념도를 보여주는 것으로써, 인체의 각종 기관들에 대한 구성방정식을 개발하고, 이들을 유한요소모델로 발전시켜 실험재료의 수와 적용에 제약이 많은 의료분야의 한계를 극복하면서 무한한 적용 가능성을 보유하고 있다. 수술 이전에 유한요소법을 적용하여 수술대상 부위의 응력의 변화 등을 Simulation 하여 사전에 문제가 될 수 있는 부분을 파악하거나, 인체의 절개 등에 의해 수반되는 인체 표면응력의 변화 등을 효과적으로 파악하여 인체의 피해를 최소화 하는 각종 수술기법들의 개발 또한 가능하다.

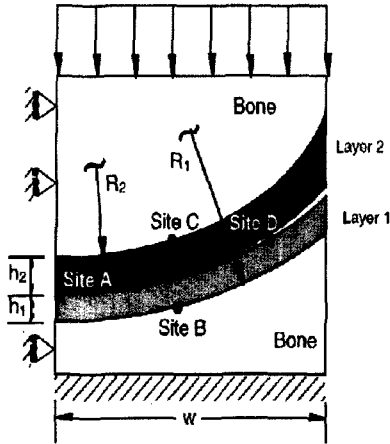


그림 12. 피부조직의 FE Model 및 경계조건

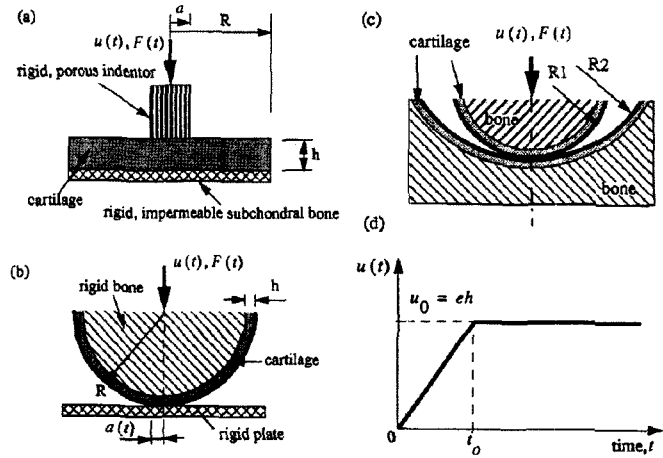
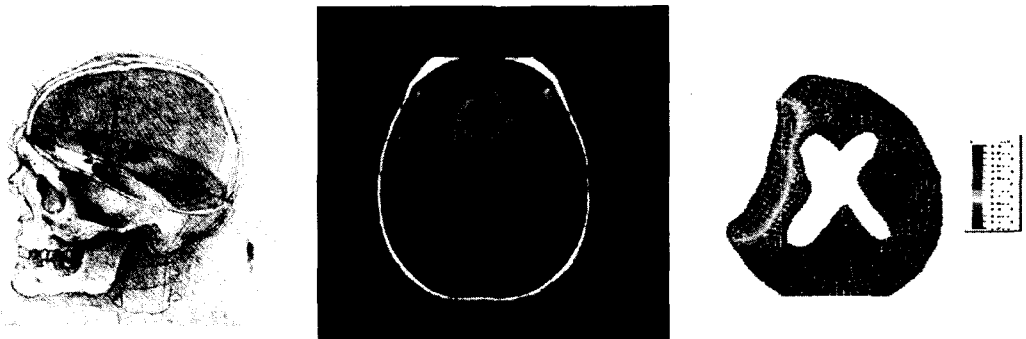


그림 13. 인체관절의 ABAQUS 모델링 개념도

4.3.4 뇌(골수)역학

최근 Cambridge University의 Bolton 교수는 뇌에 대한 유한요소법 적용에 있어서 지반공학분야의 접목을 수행하고 있으며, 유체가 가득찬 다공성 매질의 거동을 표현하는 데 있어서 토질역학적 개념을 적용하여 정확한 Modelling이 가능했다고 밝히고 있다. 또한 CRISP을 사용하여 종양의 성장과정을 모델링 하였으며, ABAQUS를 활용하여 수술시 뇌의 응력변화, 변형을 모델링하는 기법을 연구중이다.

인체의 다양한 기관들의 공학적 특성을 규명하고 그들에게 가장 적합한 구성방정식을 만들어 내는데 있어서 지반공학적 개념을 적용하는 것은 Biomechanics를 연구하고 있는 기존에 사람들에게는 전혀 새로운 방식의 접근방식이 될 것이며, 지반공학의 응용분야로서 자리잡을 수 있을 것이다.



(a) 레오나르도 다빈치의 스케치

(b) MRI촬영에 의한 뇌의 단면

(c) 유한요소법에 의한 수술시 뇌의 응력변화

그림 14. 뇌의 유한요소 모델링

4.3.5 시력조종역학(EYE)

또한 Oxford University의 Burd교수는 사람의 눈에 대하여 40세 이상되는 사람에 대하여 물체에 대한 시력 조종기능의 저하요인이 나이에 따라 어떤 관계가 있는지에 대하여 유한요소기법을 이용하여 분석 연구하고 있다. 이러한 연구의 기초적인 유한요소 모델링기법에 대하여 1996년 Numerical modelling of ocular accommodation 이라는 논문을 Burd 교수는 발표한바 있다.

또한, 눈 수술시 가끔 야기 되는 예견치 못한 수술적인 문제들에 대하여 성공적인 눈 수술방법 제시를 위하여 2000년 중반부터는 눈의 Lazer Refractive 수술과정에 대하여 유한요소기법을 통해 분석, 연구 하고 있다.

본 논고는 기술의 발전에 따라 간과할수 있는 분야별 사이의 Interdisciplinary Field에 대한 연구 개발의 의미를 부여하고 향후 첨단 분야로 발전 가능성을 제시 하였다

특히, 지반공학 이론적 정보를 타 분야에 적용한 사례중 Biomechanics분야 적용을 소개, 분석하여 지반공학 정보의 무한함을 제시하였다.

본 사례연구를 통해 지반공학 기술자의 활동 영역의 확장과 아울러 지반공학분야의 신기술 부분로써 향후 첨단 기술로써의 지속적인 연구와 발전이 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 정보화시공 (2000), 한국지반공학회, 지반공학시리즈 12, pp. 497-511.
2. 석탄산업합리화사업단 (1999), 화진지역정밀계측조사보고서, 기술총서 99-03.
3. Andrews, J. R. (1994), "Time Domain Reflectometry", Symposium and Workshop on Time Domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure, and Mining Applications, Northwestern University, Illinois, pp. 4-13.
4. Dowding, C. H., M. B. Su, and K. M. O'Connor (1989), "Measurement of Rock Mass Deformation with Grouted Coaxial Antenna Cables. Rock Mechanics and Rock Engineering", Vol. 22., No. 1, pp. 1-23.
5. Dowding, C. H., M. B. Su, and K. M. O'Connor (1988), "Principles of Time Domain Reflectometry Applied to Measurement of Rock Mass Deformation, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences", Vol. 25., No. 5, pp. 287-297.
6. O'Connor, K. M. and C. H. Dowding (1984), "Application of Time Domain Reflectometry to Mining", Proceedings of 25th Symposium on Rock Mechanics, Northwestern University, Evanston, Illinois, pp. 737-746.
7. O'Connor, K. M. and T. Zimmerly (1991), "Application of Time Domain Reflectometry to Ground Control in Potash Mining", Proceedings of the 10th International Conference on Ground Control in Mining, West Virginia University, Morgantown, WV., pp. 115-121.
8. Wade, L. V. and Controy, P. J. (1980), "Rock Mechanics Study of a Long Wall Panel", Mining Engineering, December, pp. 1728-1734.
9. 송정락 (1996), 연약지반 자동계측 및 분석시스템, 시설안전관리공단(진단기술교육교재), pp. 217-222.
10. 유충식·우종태 (2001), 지하철 유지관리계측 연구, 서울시 지하철건설본부.
11. Burd et al. (1999), "Numerical modelling of ocular accommodation", Invest Ophthalmology Vis Sci 450 (4).
12. Fung Y.C. (1993), "Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues", Springer-Verlag.
13. Pena A., Bolton M.D., Whitehouse H. and Pickard J.D. (1999), "The consequences of brain ventricular shape on periventricular biomechanics", Neurosurgery.
14. Wen Liu, Benno M. Nigg (2000), "A mechanical model to determine the influence of masses and mass distribution on the impact force during running", Journal of Biomechanics, Vol. 33, pp. 219-224.