

지반공학 정보를 이용한 Interdisciplinary 분야의 개발

Development on Application of Geotechnical Concept in the Interdisciplinary Field

김상환¹⁾, Sang-Hwan Kim, 정혁일²⁾, Hyuk-II Jung

¹⁾(주)바우컨선탄트 상무, 공학박사, 기술사, Managing Director, Bau Consultant Co.

²⁾(주)바우컨선탄트 사원, 공학석사, Engineer, Bau Consultant Co.

1. 서론

기술의 발전은 우리인간이 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 우리인간은 끊임 없는 연구를 통해 잡힐 듯 한 해답추구하고 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 간과해오던 이 분야의 발전이 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 2 가지 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 연구 결과가 실제자연현상과 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.

본 논고에서는 지반공학분야의 발전 방향중 능동적인 접근으로 지반공학정보의 타 분야 적용에 대한 연구사례를 중심으로 우리 기술자의 향후 연구 방향을 제시 하고자 하는데 목적을 두고 있다. 그중 Biomechanics분야 적용을 소개, 분석하여 지반공학 정보의 무한함을 제시하고, 지반공학의 새로운 첨단분야로 발전시키고자 하는 동기를 제공하고자 한다..

2. 생체역학 (Biomechanics) 의미와 지반공학 정보의 적용기본

생체역학에 대한 지반공학 정보의 적용에 대하여서는 우선 생체역학의 기본적인 의미를 알아 둘 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 당연함 속에서 이 분야의 연구가 시작되는 동기가 되었다. 이 생체역학의 발전은 진단, 수술, 의료기 등의 개발에 연관되어 지속적인 발전이 되고 인간의 생명연장에 공헌을 하고 있는 실정이다.

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 도델링하며, 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.

이상과 같은 지반공학의 이론적 배경을 생체역학에 적용시킨 사례연구를 분석 정리 하면 다음과 같다.

3. 지반공학 정보를 이용한 Biomechanics 분야 개발

3.1 Movement analysis

이 연구는 인간의 보행, 운동, 관절의 움직임 등을 분석하고, 그 결과를 물리치료, Sports 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 그림1과 같

이 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 응용 분야가 등장하였다. 이 분야에서는 신발 Design 을 위하여 Gait modeling 분야의 결과를 활용하고, 좀 더 합리적이고 과학적인 분석 결과를 이용하여 공학적 관점에서 신발을 Design 하고 있다.

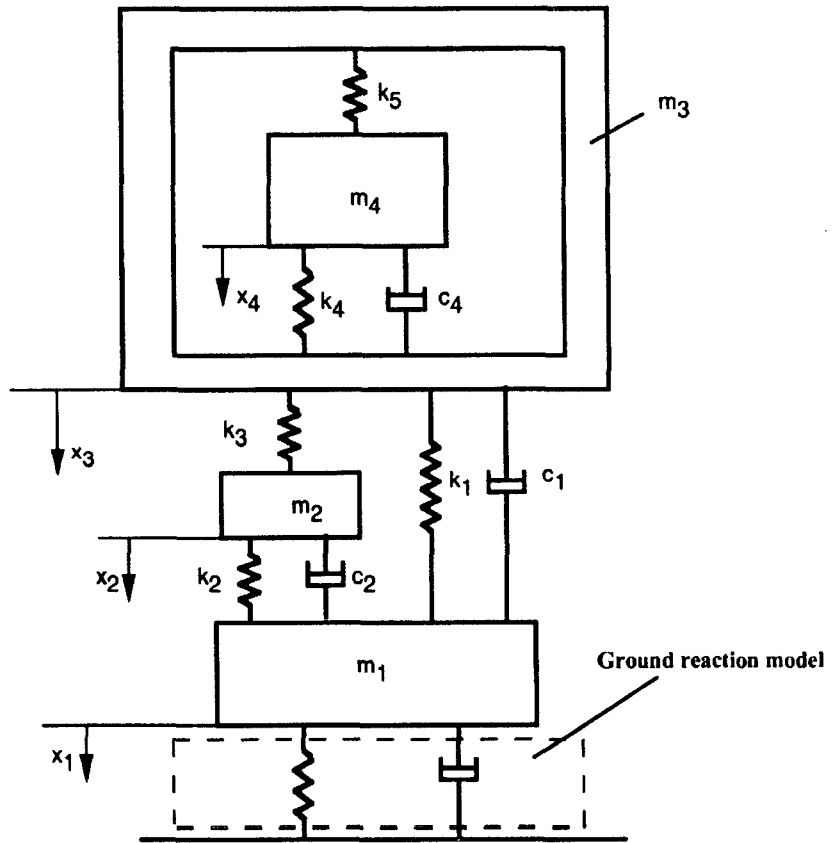


그림 2 인체 모델링

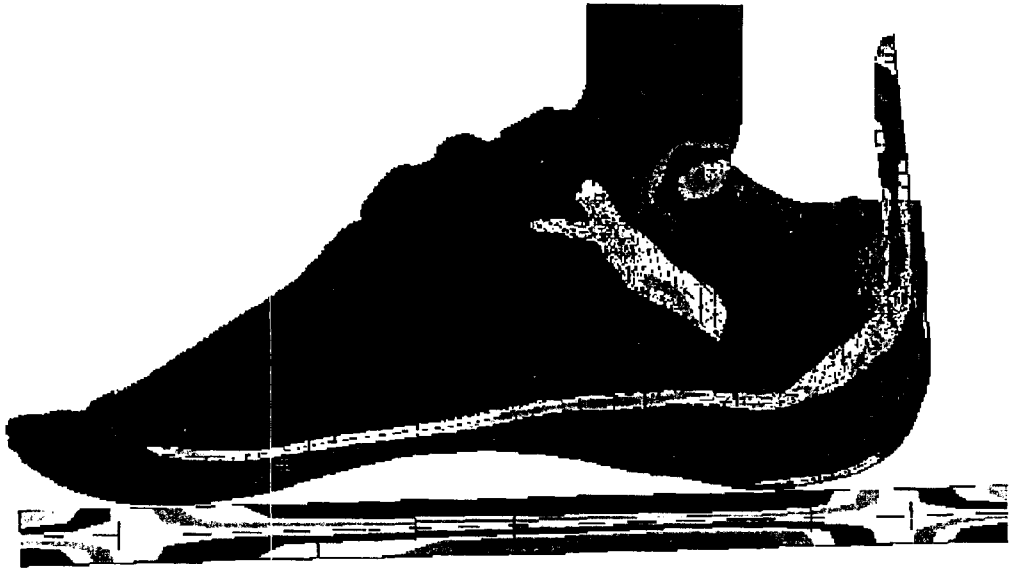


그림 2 정지상태에서의 발의 유한요소 모델링

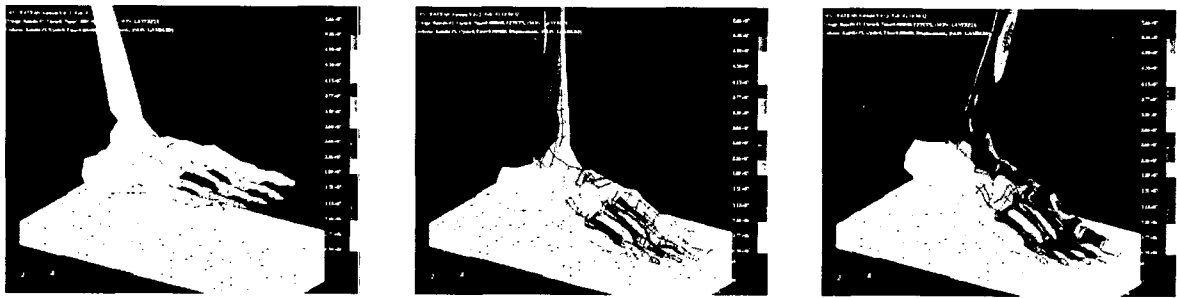


그림 3 보행시 발의 유한요소 모델링

지반공학적 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 지반공학적 개념을 인간의 보행분석(Gait analysis)에 접목시킨다면 지반공학의 새로운 응용분야로서 자리잡을 수 있을 것이다.

3.2 Bone & Cartilage mechanics

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.

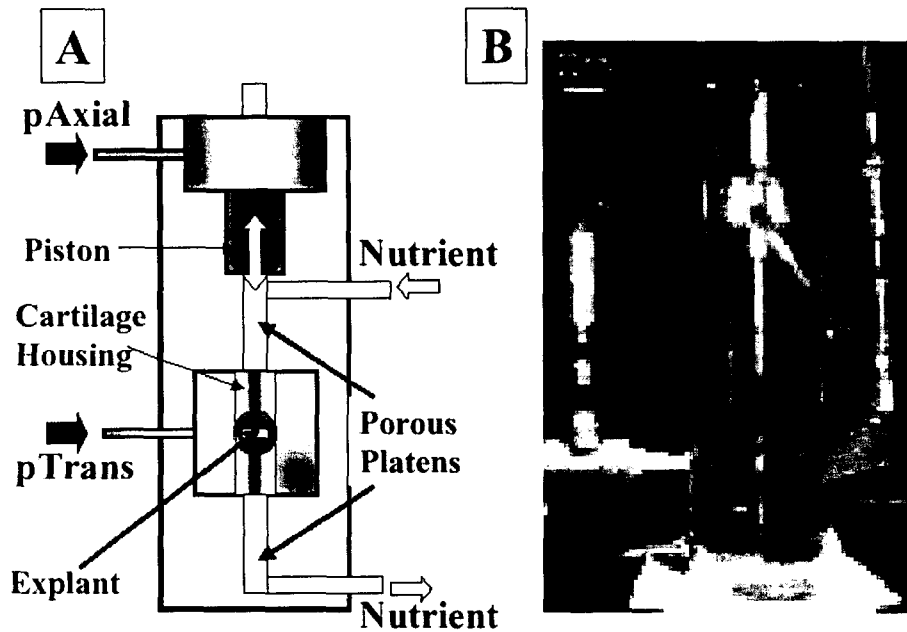


그림 4 Biomechanics 분야에서 사용되는 삼축시험기

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, 충격 하중, 추락 등)을 받는 경우의 인체골격의 응력변화를 Simulation 하고, 이들 결과를 활용하여 인체 보조기구의 개발 등에 활용한다.

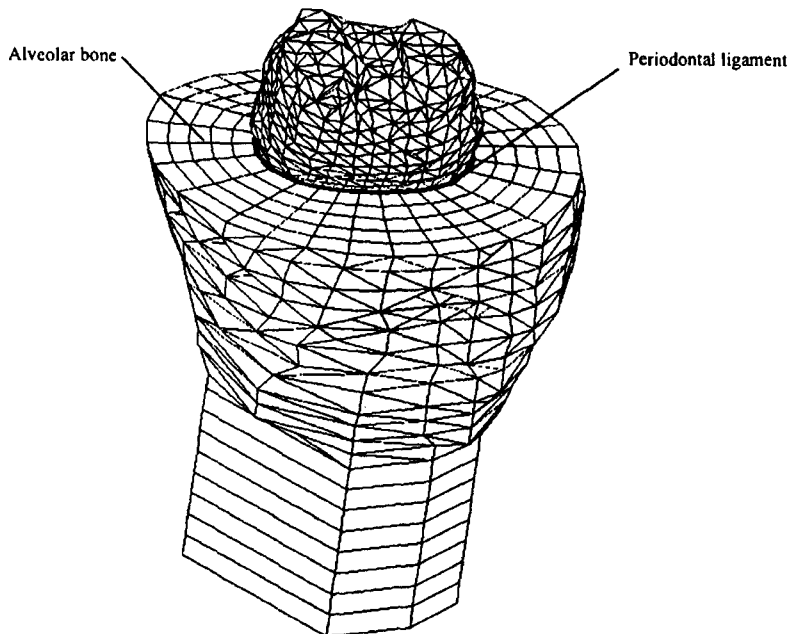


그림 6 뼈의 유한요소 모델링 예

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 연구 결과가 많이 발표되고 있다.

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 지반 공학적 관점에서 뼈의 유한요소 모델링에 적용 가능한 아이템들은 상당히 다양할 것이다.

연골과 같은 조직은 뼈와는 약간 다른 접근방법이 이루어지고 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 실내시험과 수치 모델링 등에 의한 연구가 진행되고 있다.

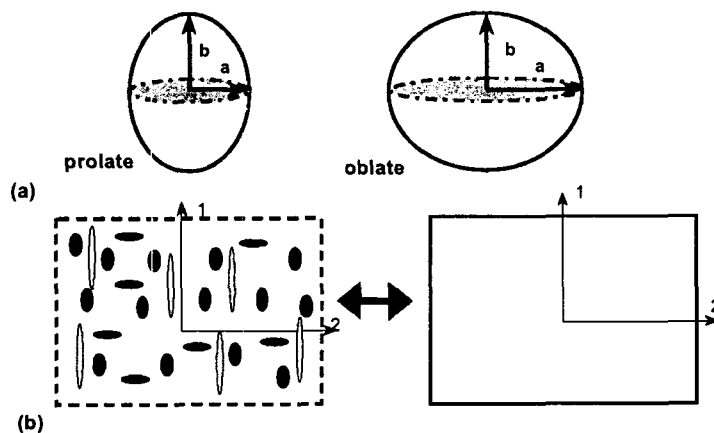
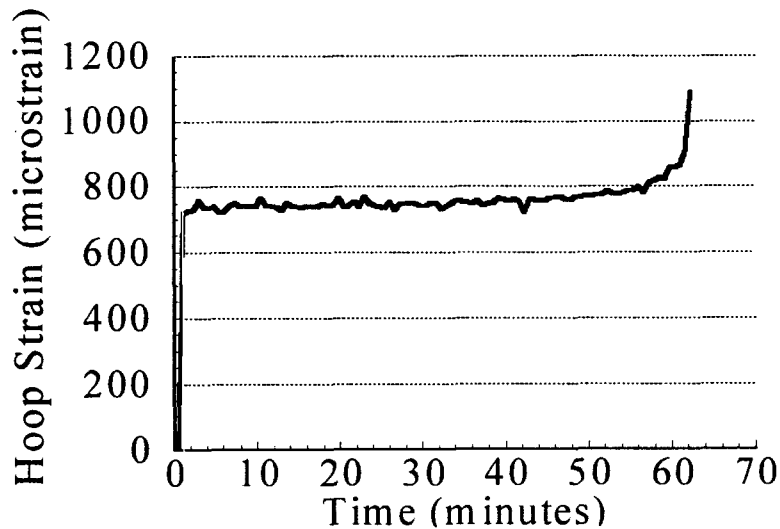


그림 6 연골의 Creep 시험 결과와 이방성 모델 개념도

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.

3.3 Muscle(Tissue) Mechanics

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 제외한 대부분의 기관이라고 볼 수 있다.

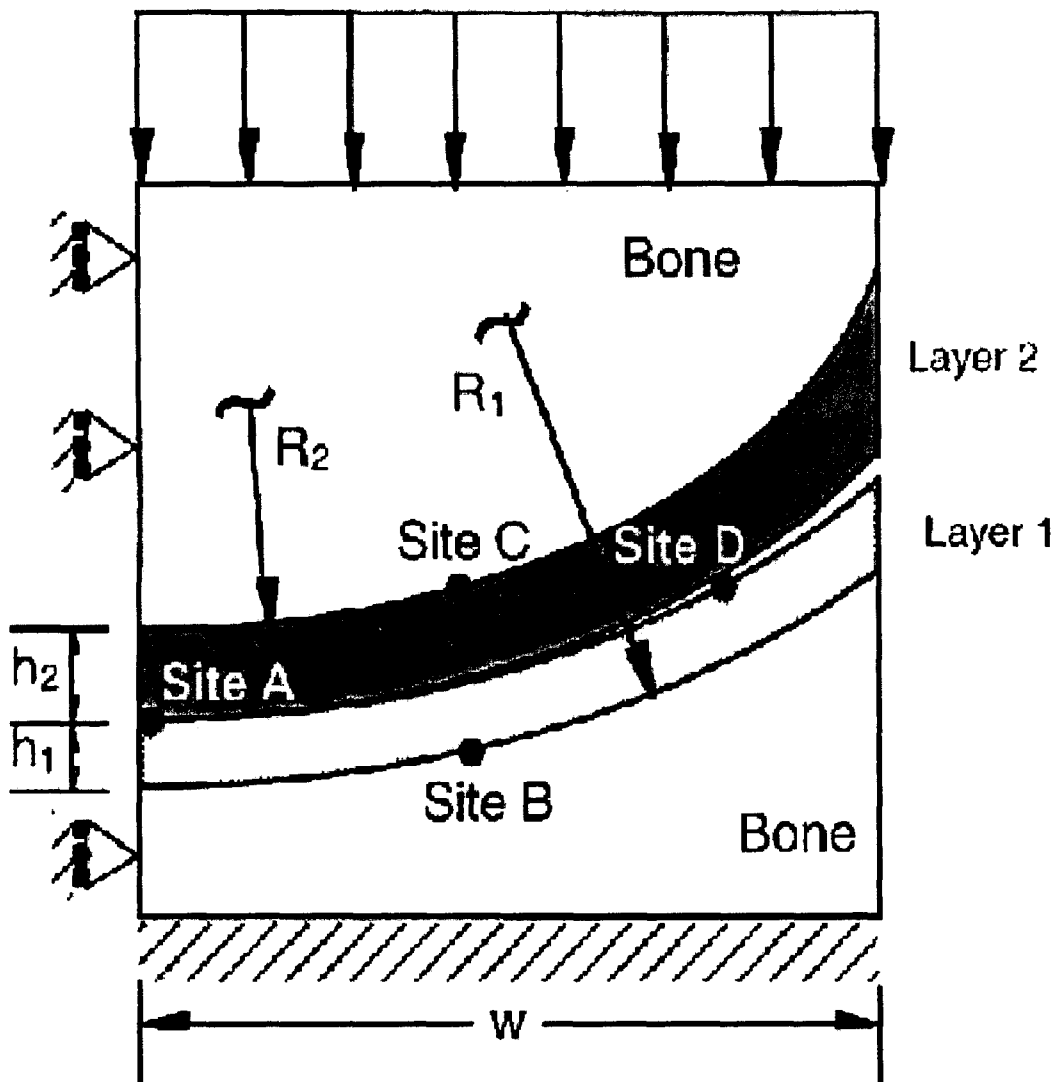


그림 9 피부조직의 유한요소 모델 및 경계조건

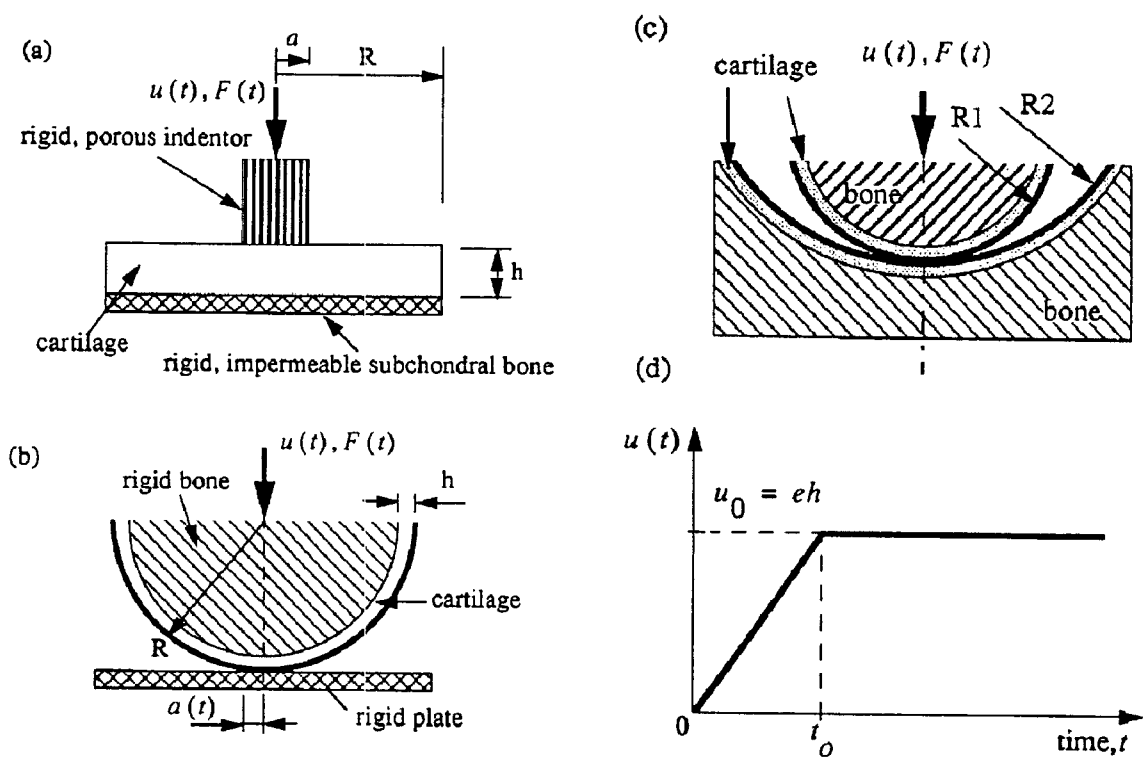


그림 8 인체관절의 ABAQUS 모델링 개념도

그림 7,8은 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.

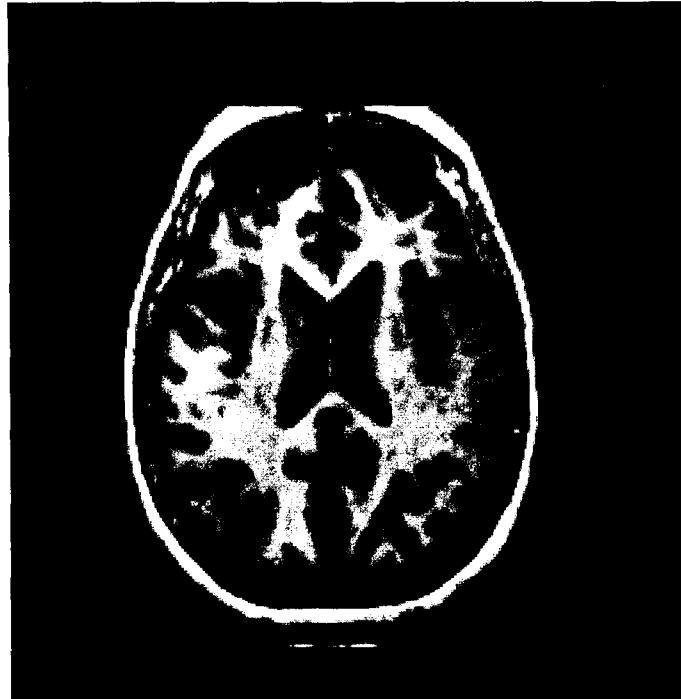
3.4 Brain Analysis

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 Modeling이 가능했다고

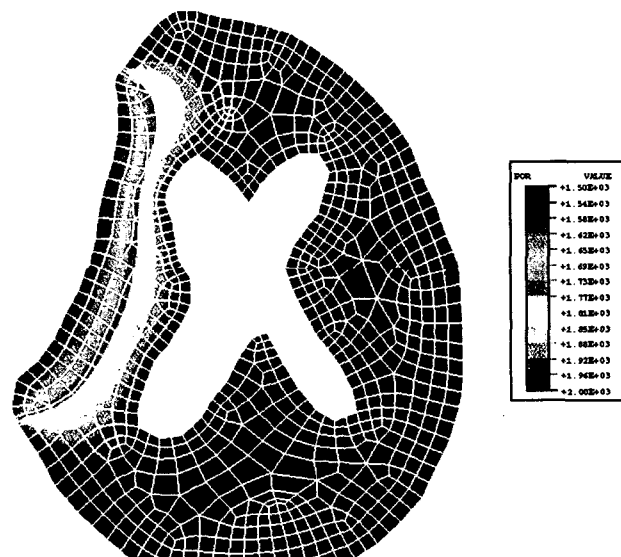


(a) 레오나르도 다빈치의 스케치

밝히고 있다. 또한 CRISP을 사용하여 종양의 성장과정을 모델링하였으며, ABAQUS를 활용하여 수술시 뇌의 응력변화, 변형을 모델링하는 기법을 연구중이다.



(b) MRI촬영에 의한 뇌의 단면



(c) 유한요소법에 의한 수술시 뇌의 응력변화

그림 9 뇌의 유한요소 모델링

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

3.5 Human Eye Analysis

또한 Oxford University의 Burd교수는 사람의 눈에 대하여 40세이상되는 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.

4. 결론 및 제언

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 부분으로써 향후 첨단 기술로써의 지속적인 연구와 발전이 있을 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

Burd et al., 'Numerical modeling of ocular accommodation', Invest Ophthalmology Vis Sci 450 (4),1999.

Fung Y.C., 'Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues', Springer-Verlag, 1993

Pena A., Bolton M.D., Whitehouse H. and Pickard J.D., ' The consequences of brain ventricular shape on periventricular biomechanics', Neurosurgery 1999.

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.