

05. 지 반



화재안전 / 도로 / 첨단교통 / 구조교량 / 지반 /
수자원 / 하천해안항만 / 건설환경 / 건축계획환경 / 건축구조자원 /
설비플랜트 / 건설관리경제 / 건설정보 / U-국토 / 기타 /



유동화토의 개발과 활용

김주형 (지반연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 지반구조물 재해, 방재, 환경, 안전 대응기술
- >> 2차분류 | 인공섬, 해양공간, 해안매립등에 관한 연구

키워드

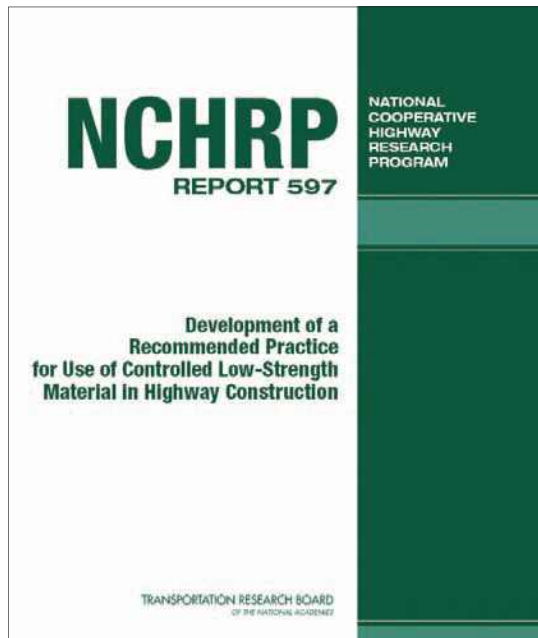
유동화토, 석탄회, 매립

05

지
반

유동화토란? 유동화토란 초기에는 슬러리 상태로 유동성이 매우 높은 흙이지만 시간이 경과함에 따라 서서히 경화하여 궁극적으로는 다짐을 수행한 흙 정도 굳기의 지반이 형성되어 다짐공정을 따로 수행하지 않아도 다짐효과를 얻을 수 있는 신개념의 지반 재료를 의미한다. 영어로는 flowable fills 또는 controlled low strength materials (CLSM) 등으로 통용되고 있으며 국내에는 아직 유동화토에 대한 연구가 많이 진행되지 않은 상태이다.

유동화토에 대한 연구가 가장 활발하게 진행되고 있는 곳은 미국으로 2008년에는 미국 TRB (Transportation Research Board) 에서 고속도로에 사용 가능한 CLSM의 개발과 활용에 관한 연구보고서 (NCHRP Report 597)를 펴낸바 있다.

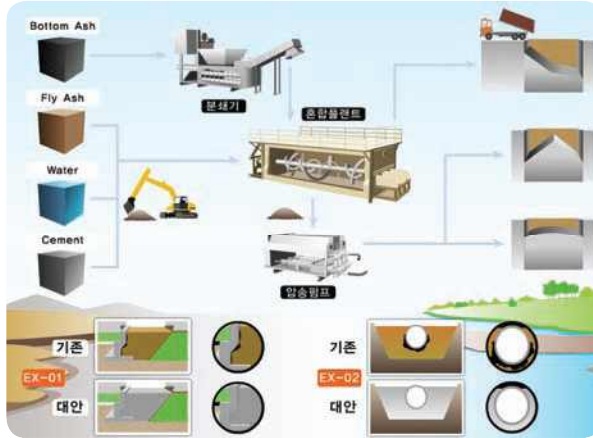


<그림 1> NCHRP Report 597

이 보고서에는 지난 수년간 미국에서 사용한 CLSM의 시험 및 적용 실적을 바탕으로 각 대상 구조물에 필요한 CLSM의 배합비, 배합방법 및 타설방법 등에 대한 많은 자료들을 포함하고 있다. 여기에서 언급하고 있는 CLSM의 조성은 화력발전소에서 나오는 폐기물인 비회, 모래와 같은 조립토 그리고 물과 함께 소량의 시멘트를 여러 형태의 비율로 혼합하여, 초기에는 유동성이 매우 큰 슬러리 상태로 구조물의 채움재로 시공하고 시간 경과에 따라 굳기 정도를 조절하는 다양한 방법을 제안하고 있다. CLSM의 적용은 다짐이 어려운 관거나 교량 접근로의 보수 등 <그림 2>에 가장 효과적으로 사용할 수 있음을 여러 시공 사례를 근거로 제시하고 있다.



〈그림 2〉 교량보수, TxDOT

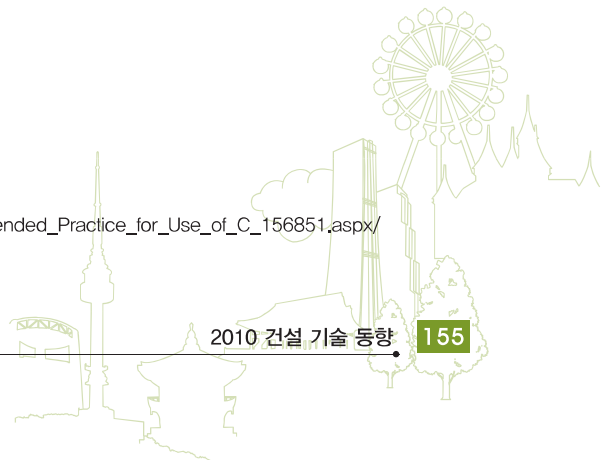


〈그림 3〉 Coal ash CLSM과 타설공법

최근 한국건설기술연구원과 한양대학교에서는 기존 CLSM에서 사용하고 있는 모래 대신 화력발전소에서 나오는 저회를 사용하여 폐기물을 대량 활용할 수 있는 Coal ash CLSM과 타설공법에 대한 연구를 진행 중에 있다. 이 연구에서 개발하는 Coal ash CLSM과 타설공법은 기존의 구조물 뒷채움재로의 사용뿐만 아니라 대규모 매립을 위한 타설공법도 함께 연구를 진행하고 있다.

■ 관련(참고)사이트

http://www.trb.org/Construction/Blurbs/Development_of_a_Recommended_Practice_for_Use_of_C_156851.aspx/



기초의 신뢰성 설계

박기석 (지반연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토공 및 기초구조물 기반기술 향상 기술
- >> 2차분류 | 토공 및 기초구조물 설계, 시공, 성능 향상 연구

키워드

신뢰성, 파괴확률, 저항계수

05

지
반

지반공학 분야에서의 신뢰성기반 설계법은 덴마크 지반공학협회의 Brinch Hansen에 의해 부분안전계수 개념이 제안되어 설계 기준에 적용된 것이 첫 사례이다. 이후 유럽연합위원회는 건설 및 토목구조물의 설계에 있어서 구조공학 및 지반공학 분야에 대한 체계적이고 합리적인 기술 기준을 제정하려는 노력을 기울여 국제 표준화 기구(ISO)에서 부분 안전계수 개념을 도입한 유로코드를 제정하였으며, 2010년 이후 유럽 전역에서 유로코드가 강제 의무화될 예정이다.

미국과 캐나다를 중심으로 한 북미에서는 유로코드와는 달리 지반의 총지 지력에 하나의 저항계수를 적용하는 하중저항계수설계법(LRFD)을 개발하였으며, 이는 구조물에 작용하는 하중과 지반의 저항력 그리고 이들의 불확실성을 고려한 하중계수와 저항계수의 유기적인 조합으로 구성된다. 따라서 하중저항계수설계법(LRFD)의 개발과 도입을 위해서는 신뢰성 있는 하중계수와 저항계수의 결정이 선행되어야 함은 주지의 사실이다. 미국의 경우 2007년 이후 교량설계 시 하중저항계수설계법의 사용이 의무화 되었다.



〈그림 1〉 각국의 신뢰성 기반 설계기준

이상과 같이 국제기술의 표준화 작업이 급속도로 이루어지고 있는 상황을 고려해 볼 때 신뢰성을 기반으로 한 한계 상태설계법으로의 변화는 필연적이며 연구개발을 통한 국내의 대비가 시급한 시점이다.

국내 지반공학 분야에서의 연구는 신뢰성 해석에 기초한 말뚝기초의 설계를 중심으로 이루어져 왔으며, 최근에는 비선형 구조물에 대한 추계학적 신뢰성 해석, 신뢰도에 근거한 말뚝의 항타제어 및 지지력 평가 연구, 지반-구조물의 동적 상호작용 해석에 확률론적 방법을 적용한 연구 등이 이루어지고 있다. 그동안의 연구개발 노력과 시기적인 연구 개발의 필요성을 바탕으로 한국건설 기술연구원에서는 국토해양부 국가 R&D 사업에 “LRFD 기초구조물 설계를 위한 저항계수 결정 연구” 과제를 제안 및 수행하여, 현재 토목구조물의 기초로 범용화되어 있는 항타강관말뚝, 현장타설

말뚝, 직접확대기초 등 일부 기초구조물을 대상으로 LRFD 기초설계법을 개발하였다. 이를 위해서 국내 전역에서 실시된 2000여개 이상의 기초구조물 현장재하시험 및 지반조사 자료를 수집하여 엄격한 신뢰성 평가를 바탕으로 국내 지반특성 및 기초구조물 설계·시공 특성을 반영한 저항계수를 국내 최초로 제안하였다(표 1).

이러한 노력을 바탕으로 현재 개정중인 ‘구조물기초설계기준’에서는 유로코드와 LRFD설계법을 소개하여 차후 신뢰성기반 설계의 계기를 마련하였으며, 도로교설계기준 해설집에서는 표 1의 저항계수를 함께 소개하여 현장기술자들이 기초 설계시 국내에서 개발된 하중저항계수설계법을 적용할 수 있는 길을 열었다.

〈표 1〉 말뚝기초의 저항계수

(a) 항타강관말뚝의 저항계수

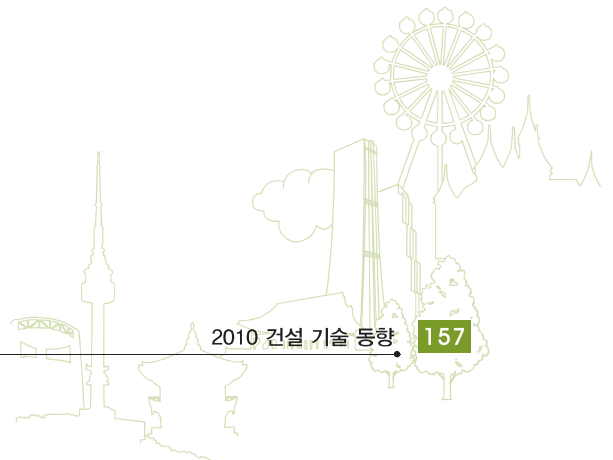
구분	선단부 평균 N치 50 미만		선단부 평균 N치 50 이상	
	정역학적 지지력공식 (구조물 기초설계기준 해설, 2003)	Meyerhof(1976)	정역학적 지지력공식 (구조물 기초설계기준 해설, 2003)	Meyerhof(1976)
2.0	0.44	0.47	0.39	0.37
2.33	0.38	0.38	0.34	0.30
2.5	0.35	0.33	0.32	0.26

(b) 현장타설말뚝의 저항계수

목표신뢰도지수	AASHTO(1996)	FHWA(1999)	Meyerhof(1976)	Cohesionless IGM(1999)
2.5	0.88	0.29	0.60	0.46
3.0	0.69	0.23	0.46	0.33

이러한 노력을 바탕으로 현재 개정중인 ‘구조물기초설계기준’에서는 유로코드와 LRFD설계법을 소개하여 차후 신뢰성기반 설계의 계기를 마련하였으며, 도로교설계기준 해설집에서는 〈표 1〉의 저항계수를 함께 소개하여 현장기술자들이 기초 설계시 국내에서 개발된 하중저항계수설계법을 적용할 수 있는 길을 열었다.

■ 출처
LRFD 기초구조물 설계를 위한 저항계수 결정 연구 보고서



터널 · 지하공간 분야의 최대 연구사업인 유럽의 “Tunconstruct” 프로젝트

장수호 (지반연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 지하구조물 및 지하공간 대응기술
- >> 2차분류 | 지하구조물 해석, 설계, 시공 연구

키워드

Tunconstruct, IOPT, 유럽공동연구 프로젝트

주요 구조

“Tunconstruct” 프로젝트는 유럽의 11개국 41개 기관이 참여하는 유럽 공동 연구 프로젝트로서, 현재까지 최대 규모의 터널 · 지하공간 관련 연구 프로젝트이다. 유럽위원회(European Commission)에서 총 연구예산 2,600만 유로(연구기간: 4년) 가운데 약 54%를 지원하였다.

“Tunconstruct” 프로젝트는 다학제적인 연구 프로젝트로서, 각종 지하구조물들의 공사위험, 공사비용, 공사기간 및 환경피해를 최소화하면서 내구성을 향상시킬 수 있는 혁신적인 기술 대안들을 개발하는데 목표를 두고 있다. 특히, 계획부터 유지관리까지 지하구조물의 모든 생애주기를 고려한다. 이상과 같은 터널 · 지하공간의 최적 활용을 통해 도시환경에서 삶의 질 향상과 지속가능한 발전에 기여하는 것을 비전으로 제시하고 있다. 또한 최신 기술의 소개와 지속적인 교육 제공 등 현장 기술자들에 대한 교육에도 큰 비중을 두고 있다.

오스트리아 그라쯔공과대학(Graz University of Technology)의 Gernot Beer교수가 “Tunconstruct” 프로젝트의 코디네이터 역할을 맡고 있으며, 프로젝트는 “설계(design)”, “기술(technology)”, “프로세스(process)” 및 “서비스(service)” 등 4개의 세부 프로그램으로 구성 · 운영된다.

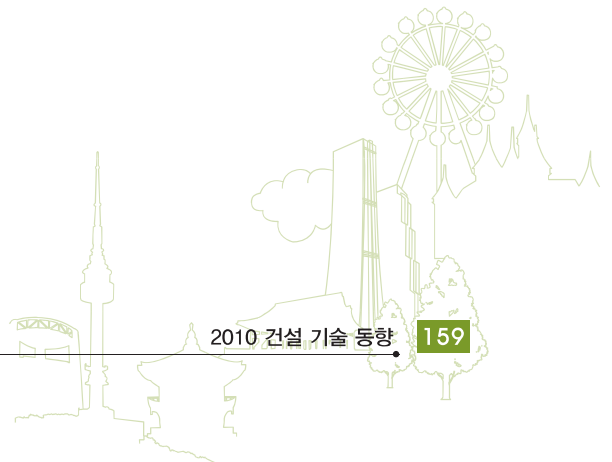
“설계” 세부 프로그램에서는 설계자의 최적 의사결정 과정을 지원할 수 있도록 인공지능망 등이 적용된 통합 시뮬레이션 컴퓨터 S/W 개발을 목표로 하고 있으며 대표적인 연구성과로는 IOPT(Integrated Optimized Platform)을 들 수 있다. “프로세스” 세부 프로그램에서는 터널 설계 · 시공 데이터들의 최적화 · 표준화에 목표를 두고 있으며, 구체적으로는 가상현실 기법이 적용된 실시간 계측, 시뮬레이션 및 지질정보 가시화 기술들이 개발되고 있다. “기술” 분야에서는 주로 하드웨어에 대한 분야로서, TBM 디스크커터의 마모 계측, TBM 전방 지반조사 기술, 최신 로드헤더(roadheader)의 개발, 슛크리트 및 콘크리트 라이닝용 신재료 개발 등의 기술개발이 이루어지고 있다. 마지막으로 “서비스” 세부 프로그램은 유지관리 및 보수 · 보강에 대한 분야로서, 무선센서 및 로봇을 활용한 터널 조사 · 유지관리 최적화 기술 개발에 목표를 두고 있다.

05

지
반

■ 출처 : <http://www.tunconstruct.org/>

기
타
사
항



Ringtrac Geotextile-Encased Sand Column

이대영 (지반연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 지반구조물 재해, 방재, 환경, 안전 대응기술
- >> 2차분류 | 인공섬, 해양공간, 해안매립등에 관한 연구

키워드

연약지반, Ringtrac, Geotextile-Encased Column

Ringtrac Geotextile-Encased Columns for Foundation Support

05

지
반

최근들어 유럽에서 기존의 연약지반 개량공법인 모래기둥(sand column)공법의 대체공법으로 토목섬유 보강으로 횡방향 변형을 억제시켜 지지력을 향상시켜주는 GEC(Geotextile-Encased Sand Column)공법에 대한 관심이 높아지고 있다.

독일 HUESK사에서 개발하여 사용되는 토목섬유 보강재인 Ringtrac은 low-creep, high-strength의 polyvinylalcohol(PVA) 같은 폴리머 재질로 제작된

원형모양의 튜브형태로 제작된 지반보강재 이다. Ringtrac은 연약지반상에 축조되는 제방의 침하를 감소시켜주는 경제적인 기초시스템으로 사용되는 GEC공법에 사용되고 있다.

Ringtrac은 sand column을 보강하여 구속력을 증가시켜줌에 따라 횡방향 변형을 감소 및 하중지지력이 증가되어 연약지반의 강도를 증가시켜주는 원리로 기존의 공법으로 시공이 불가능한 초연약 지반에 시공이 가능하며 지지력의 증가로 인해 시공물량을 감소시켜 주는 경제적인 공법이다.



<그림 1> 독일 함부르크 GEC 적용현장(Huesker Report)

Ringtrac은 적용되는 현장의 연약지반 특성, sand column 직경 및 간격, 제방높이 등을 고려하여 산정한 설계강도, 강성 등의 파라미터를 고려하여 제작한다.

현재 적용되고 있는 Ringtrac은 단기 원형인장강도가 400 kN/m 이상, 직경 0.40m ~ 1.00m 이내로 제작된다.



<그림 1> Ringtrac 시공 모습(Huesker Report)

The advantages of the GEC system

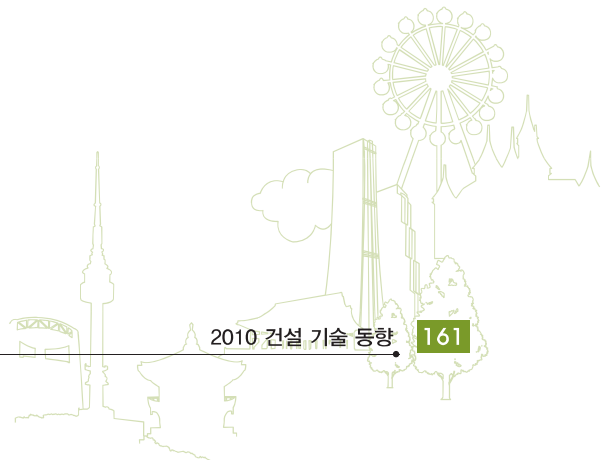
- 비배수전단강도 $C_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$ 이내의 연약지반에 적용
- 인접구조물에 발생하는 침하영향을 최소화
- 굴착토의 오염 또는 제거가 불필요(with soil displacement method)
- 지하수 흐름의 역류등 영향을 미치지 않음
- 공간 및 재료를 절감할수 있는 경제적인 공법
- 시공비와 시공기간을 감소

■ 관련(참고)사이트

<http://www.huesker.com/>

■ 출처

<http://www.hueskerinc.com/default.asp?id=10&objId=2&obj2Id=31/>



전국 전자지반도 작성과 지반방재에 대한 적용성 연구

백 용 (지반연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 지반구조물 재해, 방재, 환경, 안전 대응기술
- >> 2차분류 | 지반구조물안전 및 지반방재환경 기술

키워드

연약지반, Ringtrac, Geotextile-Encased Column

05

지
반

보링조사데이터를 수집하여 [지반정보데이터베이스]를 구축하는 것이, 전국각지로 확대되어가고 있다. 지역적으로 지반연구나 지진방재, 건설 등에, 지반조사정보를 활용하고자 하는 움직임이 예전부터 이루어져오고 있었다. 본 연구는 이와 같은 지반정보의 활용성을 확대하고, 지역간의 지반정보 교류를 추구하기 위하여 일부지역을 메쉬로 분할하고 대표적 지반정보를 데이터 베이스로부터 추출 모델화한 방법을 제안한 것이다. 이 작성방법은 규격을 통일화하고 전국적으로 확대하는 것을 [전국전자지반도]로 하고 지반정보의 활용 연대방안의 전개로 기대할 수 있다. 본 고에서는 수집된 보링데이터를 기초로하여 퇴적환경이나 지형등으로부터 수개의 데이터를 수집선택하고 합리적인 지반모델화를 작성하는 방법에 대하여 [관서권지반정보데이터베이스]를 이용하여 오사카 히라노지반에 적용한 파이로트 스터디의 성과를 나타낸 것이다.

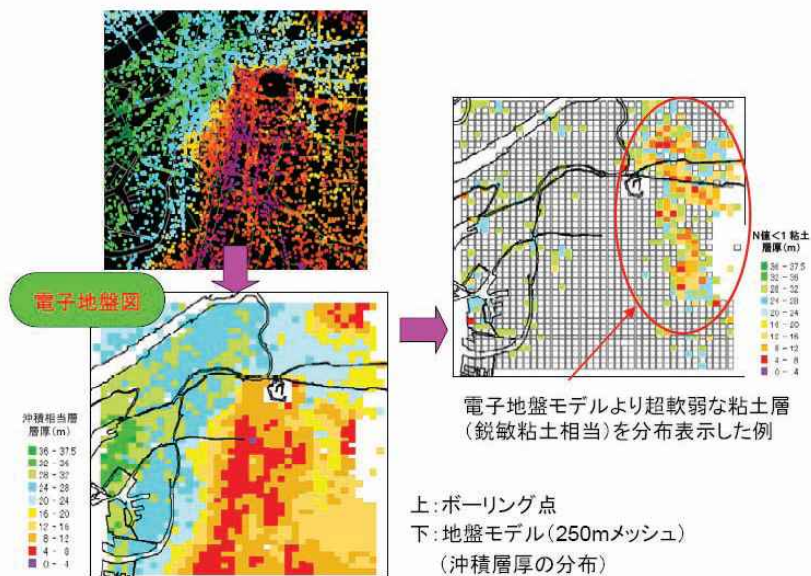


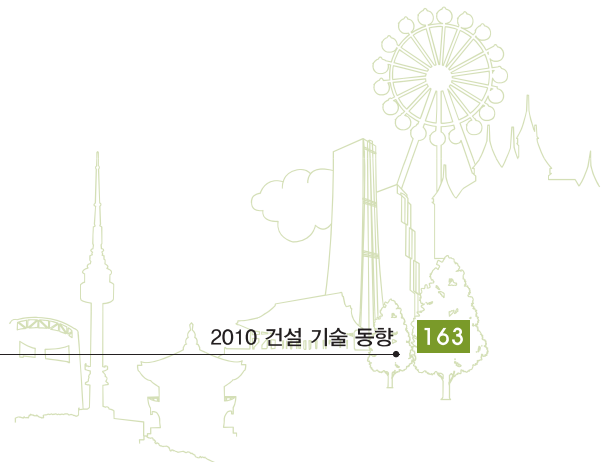
Fig. 7 Evaluation of the Performance of Representative Soil Profile Models for Osaka plains Area By Comparing the Derived Thickness of the Alluvial Deposits with the Original Data from the Database

■ 관련(참고)사이트

<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

■ 출처

교토대학방재연구소 연보



진동롤러의 가속도 응답을 이용한 실시간 성토다짐 관리기술

김영석 (지반연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토공 및 기초 구조물 기반 기술 향상
- >> 2차분류 | 성토다짐 관리기술 (IT융합)

키워드

실시간 성토다짐 관리, IT융합, 가속도 응답

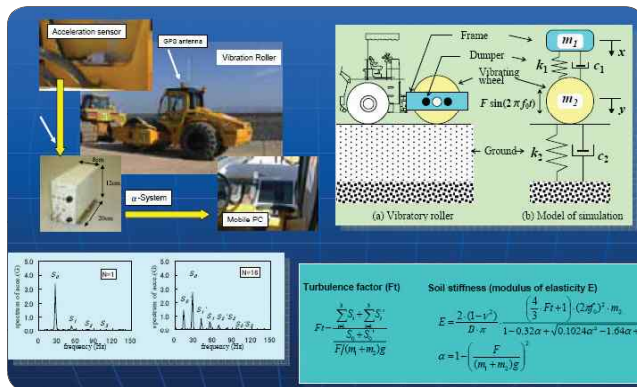
α 시스템을 이용한 다짐도 평가 기술

05

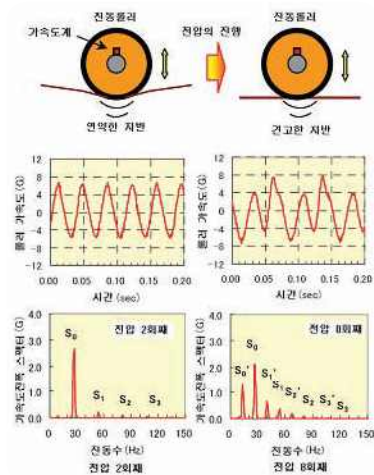
성토공사 (토지조성, 필댐, 도로토공 등)에서의 다짐 시공관리를 기존보다 정밀하면서 안전하게, 그리고 에너지 절감이 가능하도록 시스템이 개발되었다.

지
반

α 시스템은 진동롤러의 가속도가 지반의 다짐에 따라 변화하는 특성을 이용하여, 다짐 중에 진동롤러의 가속도 데이터로부터 지반변형계수와 밀도를 자동 검토 (판단)하는 시스템이다. 시공을 하면서 실시간으로 시공면 전체에 대한 지반품질을 검토 (판단)하기 때문에 기존의 평판재하시험 또는 R 시험법에 비해 효율적이면서 고정도의 성토품질관리가 가능하다.



〈그림 1〉 α 시스템의 개요

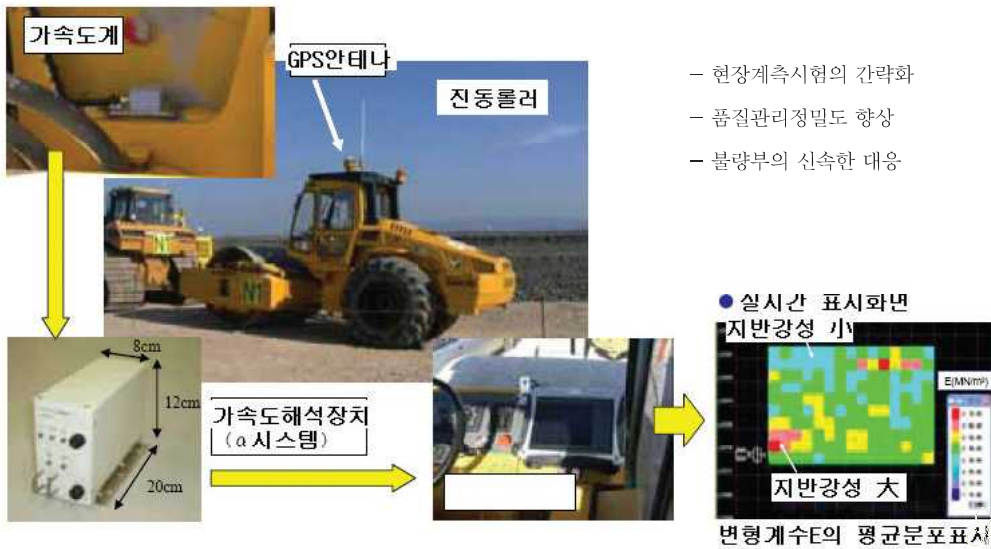


〈그림 2〉 α 시스템의 측정원리

측정원리는 다짐에 의한 지반강성의 증가에 따라 일반적으로 그림 2와 같이 진동롤러의 가속도 파형이 흐트러져, 그 주파수 해석에서는 진동롤러 진동수 이외의 성분이 탁월함이 관찰된다. 이러한 성질을 이용하여 “분산률 (흐트러짐의 정도)” 을 정의한다 (분산률이 커질수록 지반이 잘 다져져 있다는 것을 나타낸다). “분산률” 은 가속도 응답을 정량적으로 나타내는 지표이지만, 역학적인 의미는 없으므로, α 시스템에서는 분산률로부터 역학지표인 지반변형계수 E 로 환산하여 활용하고 있다.

α 시스템의 특징

- 토질조건 및 진동롤러의 기계조건과 관계없이 지반변형계수 E 를 정량적으로 평가 가능하다 (다짐시험에 의한 calibration 불필요).
- 분산률~밀도관계는 복수의 관계식을 활용하고 있다. 다짐시험에 의한 분산률~밀도관계를 calibration 하는 것으로 지반의 밀도도 실시간으로 평가 가능하다.
- 시간, GPS 좌표, 지반변형계수, 밀도를 1set로 하여, 2초간격으로 데이터를 취득하고 그것을 확실하게 CF 카드에 자동 보존한다.
- α 시스템은 폭 12cm×길이20cm×높이12cm, 중량 3kg의 콤팩트한 설계로 운전석내에서 아주 적은 공간만을 차지한다.
- 운전석에 노트북PC를 설치하는 것으로 시공중의 지반품질의 평가분포를 실시간으로 표시 가능하다. 또한, 무선 LAN을 통하여 현장감독자가 원격으로 결과를 확인하는 것도 가능하다.
- 노트북에는 GPS를 이용한 전압회수 관리 소프트웨어도 별도부착이 가능하다. 지반품질+전압회수를 동시에 확인/기록하여 확실한 시공관리가 가능하다.



■ 관련(참고)사이트 : α 시스템 연구회

■ 출처 : <http://www.alfa-system.jp/>

Simulations of the tsunami on Samoa

최창호 (지반연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 재해, 방재, 안전 대응 기술
- >> 2차분류 | 지진재해, 해양공간

키워드

- 스나미, 지진재해,
- 수치해석

Simulations of the tsunami on Samoa

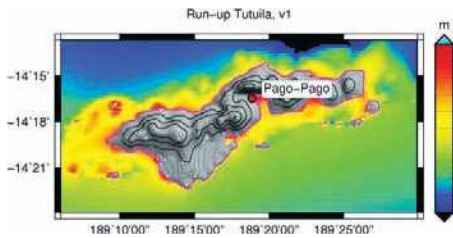
05

지
반

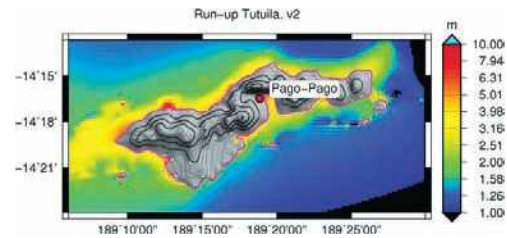
최근 태평양 사모아섬을 강타한 스나미의 발생과 지진파의 전달에 대하여 노르웨이 지반공학 연구소(Norwegian Geotechnical Institute)에서 수치해석 연구를 수행하였다. 수치해석은 기 관측된 서태평양의 지진파를 바탕으로 수행되었으며, NGI의 스나미 연구그룹에 의하여 수행되었다.

사모아섬에서 관측된 지진강도는 리히터 규모로 Mw 8~8.3, 모멘트 규모로 Mw 8.1로 보고되었으며, 해저지형은 "General Bathymetric Charts of the Oceans"를 활용하여 구현되었다.

해석은 지진이 발생한 후 잇달아서 바다 해수면의 고도가 올라간다는 가정과 지진강도 Mw 8.1을 기반으로 수행되었다.



<그림 1> 사모아섬 스나미 수치해석결과



<그림 2> 사모아섬 스나미 수치해석결과

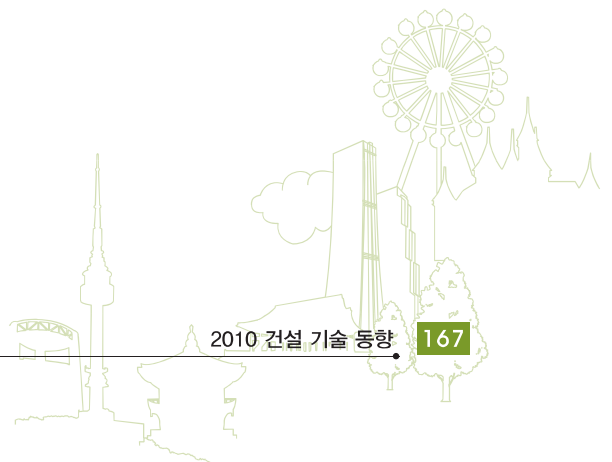
그림 1과 그림 2는 사모아섬의 일부인 American Samoa(Tutuila)섬의 스나미 발생규모를 보여준다. 수치해석 모델 결과를 통해 정확한 스나미 발생규모를 예측하기는 어려우나 정성적으로 스나미의 영향이 큰 지역을 구분할 수 있다.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.ngi.no/> (노르웨이 지반공학 연구소)

■ 출처

<http://www.ngi.no/en/News/Simulations-of-the-tsunami-on-Samoa/>



Reactive Core Mat (RCM)의 개발과 적용성에 관한 연구

이장근 (지반연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 지반구조물 재해, 방재, 환경, 안전 대응기술
- >> 2차분류 | 인공섬, 해양공간, 해안매립등에 관한 연구

키워드

압밀, 오염물 이동, 퇴적물, 캡핑, RCM

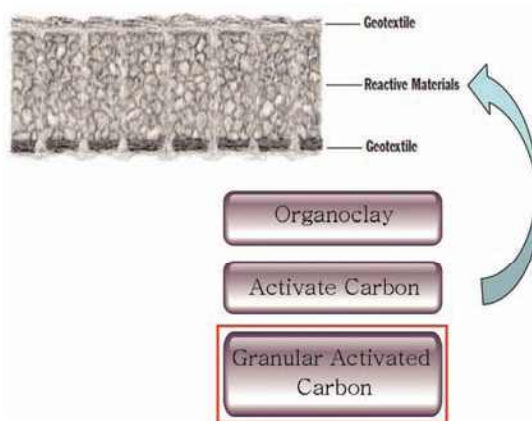
05

지

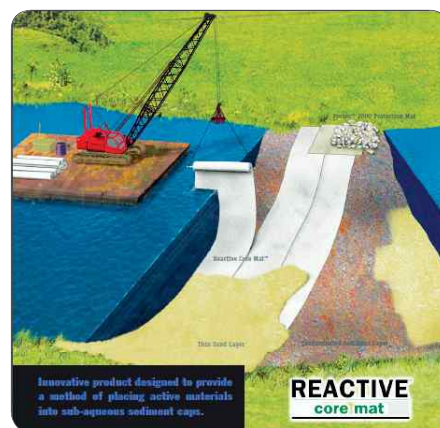
반

하저 또는 해저에 오염된 퇴적물로부터 오염물질의 용출 저감을 위한 방법으로는 준설/매립과 현장 캡핑(In-Situ Capping)이 있다. 준설 후 매립의 경우 오염물질을 효과적으로 제거할 수는 있지만 준설/매립으로 인한 공비가 높고 매립지 선정이 어려운 단점이 있다. 반면에 현장 캡핑은 오염된 퇴적물을 모래로 덮어 오염물질을 격리시키는 방법으로 고안되었으나 오염물질은 캡핑(capping)에 사용된 모래의 자중과 오염된 퇴적물의 높은 초기 함수율로 인해 압밀이 발생하고 이로 인한 간극수의 흐름은 오염물질의 이동을 가속화 시킨다. 이와 같은 현장 캡핑의 문제점을 보완하기 위해 Reactive Core Mat (RCM)이 개발되었다.

RCM의 구조를 살펴보면 두개의 Geotextile 사이에 반응성 물질(Reactive Material)이 채워져 있으며 현장 캡핑이 용이하도록 융단형으로 제작되어 있다. 현장 캡핑에서 우선 오염퇴적물을 RCM으로 덮고 모래로 캡핑을 실시하면, 모래 자중에 의한 압밀로 간극수의 흐름과 함께 이동하는 오염물질은 RCM을 통과하면서 반응성 물질에 흡착하여 효과적으로 오염물질을 격리시킨다. 이밖에도 RCM은 물리적 여과기능도 있어 현장 캡핑 중에 발생하는 오염퇴적물의 교란으로 인한 하천 오염도 예방할 수 있다.



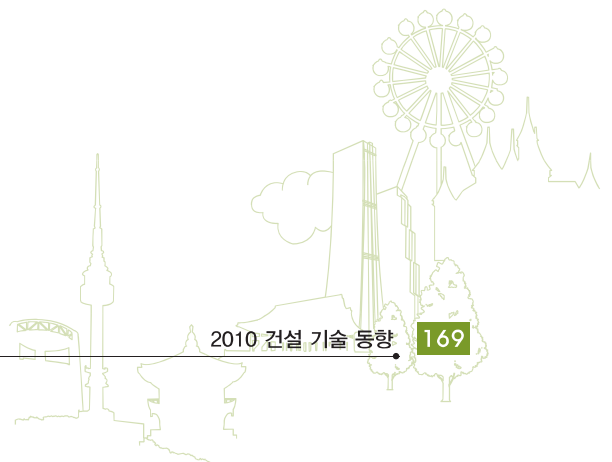
<그림 1> RCM의 구조



<그림 2> RCM을 활용한 현장 캡핑

■ 출처

<http://www.sedimentremediation.com/ReactiveCoreMat.aspx/>



SMART 터널 프로젝트

이성원 (지반연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 지반구조물 재해, 방재, 환경, 안전 대응기술
- >> 2차분류 | 지하구조물 해석, 설계, 시공 연구

키워드

복층터널, SMART, 홍수, TBM

05

지
반

SMART(Stormwater Management and Road Tunnel) 프로젝트는 정부 기관인 말레이시아 수리국과 고속도로공사 그리고 민간 joint-venture인 MMC Berhad-Gamuda Berhad의 합작으로 이루어진 터널 건설 프로젝트이다.

이 프로젝트의 주목적은 말레이시아 쿠알라룸푸르 시내 중심에 있는 빈번히 발생하는 홍수문제를 해결하기 위한 것으로 2003년에 시작하여 2007년에 완공, 약 4년에 걸쳐 수행되었다.

터널의 총 건설비용은 미화 약 5억 천4백만 달러로 구성은 총길이 약 9.7km이며 내경 11.83m로 3층 구조로 구축되었다. 터널의 굴착을 위해서는 직경 13,26m의 이수식 쉴드TBM(Shield Tunnel Boring Machine)이 사용되었으며 아시아에서는 두 번째로 큰 크기이다.

이 터널의 독특한 특징은 범람하는 물을 1,000,000m³ 저장할 수 있는 전체 터널 중에 약 3km의 double-deck 4차선 자동차 전용도로가 존재한다는 것이다. 즉 기본적으로는 전체 터널을 범람한 물을 저장·방출하는 기능으로 사용할 수도 있으며 일부 구간에서는 자동차 도로로서의 기능과 범람한 물을 저장하는 기능을 병행할 수 있다는 장점을 가지고 있다.



<그림 1> 터널단면도



<그림 2> SMART motorway

당초 프로젝트를 제안하는 단계에서는 말레이시아 수도인 쿠알라룸푸르의 반복적인 홍수에 의한 범람을 완화하기 위한 목적뿐이었으나 설계하는 단계에서 시내 중심가의 교통 혼잡도 같이 해결하고자하는 아이디어가 덧붙여져 두 가지 기능을 할 수 있는 새로운 개념의 세계 최초의 터널로 완성되었다.

SMART 시스템은 3가지 모드로 작동이 되며 첫 번째 모드는 낮은 강우량 또는 홍수범람이 전혀 없는 평상시이며 이 이상이 될 때는 두 번째 모드 전환되어 제일 하부 층으로 범람한 물이 유입된다. 이때 1층, 2층의 도로는 계속 사용한다. 마지막 3번째 모드는 교통이 통제되고 마지막 차량이 나온 후 자동으로 수문이 열려 터널내로 물이 유입되게 하여 홍수를 조절할 수 있다.

국내에서도 도심지를 통과하는 총연장 149km의 대심도 지하차도 프로젝트인 이른바 'U스마트웨이' " 건설을 추진하고 있으며 강변북로 확장을 위해 기존 도로 따라 하저에 약 4km(왕복 약 8km)의 터널을 계획하는 등 도심지 터널 프로젝트가 늘어날 전망이다.

따라서 과거 하천 범람에 의한 지하철 침수, 늘어나는 교량으로 인해 높아지는 한강의 수위, 이상기후 등을 고려해 볼 때 우리나라의 도심지 터널에 대해서도 쿠알라룸푸르의 SMART 프로젝트와 같은 우수저장 시설을 터널과 병행 구축하는 방안에 대하여 검토할 필요가 있다고 하겠다.

■ 관련(참고)사이트
<http://www.smarttunnel.com.my/>



초장대 교량의 초대형 기초 건설동향

이주형 (지반연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토공 및 기초구조물 기반기술 향상 기술
- >> 2차분류 | 토공 및 기초구조물 설계, 시공, 성능향상 연구

키워드

초장대 교량, 해상기초, 주탑기초, 케이슨, 대수심

05

지
반

교량의 주경간장이 증가함에 따라 주탑기초가 대형화하고, 해협을 횡단하는 대형 프로젝트의 증가로 대수심 및 대심도에 기초를 설치해야 하는 경우가 많아지고 있다. 최근 건설되고 있는 대형 교량들의 주탑기초 형식을 살펴보면 케이슨기초가 주를 이루며, 말뚝과 케이슨 형식을 접목한 복합기초의 형태도 적용되는 추세이다. 본고에서는 세계적으로 주목할 만한 초장대 교량의 기초시공 현황을 소개하고자 한다.

■ 일본의 Akashi Kaikyo교

1998년에 완공된 Akashi Kaikyo교는 총길이 3,911m, 주경간장 1,991m로 현재까지 세계 최장의 현수교로 기록되고 있다. 트러스 형식으로 제작된 높이 283m의 주탑은 직경 80m, 길이 70m의 케이슨 기초에 의해 지지되고 있다. 일본 Akashi Kaikyo교의 경우 수중콘크리트를 개발하여 케이슨 내부에 콘크리트를 충전함으로써 초고성능 콘크리트의 개발을 도모하였다.

[Akashi Kaikyo교]



(a) 교량전경



(b) 주탑기초 시공

■ 덴마크의 Great Belt East교

1998년 완공된 Great Belt East교는 총길이 2,964m, 주경간장 1,624m의 현수교로 일본의 Akashi Kaikyo교 (1,991m)와 중국의 시호우멘교(1,650m)에 이어 세계에서 세 번째로 긴 현수교이다. Great Belt East교의 앵커리지 기

초는 길이 122m, 폭 55m, 높이 16m의 거대한 육상제작 콘크리트 케이슨을 쇠석 등으로 보강된 기초지반 위에 예인, 거치 후 내부에 콘크리트를 타설하여 완공하였다. 주탑은 20m 수심의 자갈층까지 내려진 대형 케이슨 기초에 의해 지지되며, 케이슨의 셀크기는 78×35m, 높이 20m, 중량 30,000톤이다.

[Great Belt East교]



(a) 교량전경



(b) 앵커리지 시공

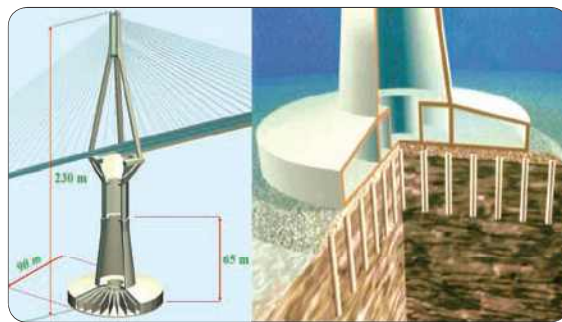
■ 그리스의 Rion-Antirion교

2004년 준공된 그리스의 Rion-Antirion교는 총길이는 2,252m이고, 주요경간의 길이는 560m이다. 주탑기초의 경우 Ø2000mm 말뚝기초로 보강된 지지층에 대형 케이슨 기초를 육상에서 제작하여 운반, 거치한 경우로서 리히터규모 7.0(재현주기 2,000년)의 지진 발생시 예상되는 2.5m 이상의 단층(fault)도 견딜 수 있도록 설계되었다.

[Rion-Antirion교]



(a) 교량전경



(b) 주탑기초 시공

■ 관련(참고)사이트

<http://www.longspanbridge.org/>

■ 출처

초장대교량 사업단 상세기획 보고서, 한국도로공사

미국 지반조사 성과 관리 현황

마상준 (지반연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토공 및 기초구조물 기반기술 향상 기술
- >> 2차분류 | 토공 및 기초구조물 관련 정책 및 제도개발

키워드

지반정보, Geotechnical data, GDMS, NGES

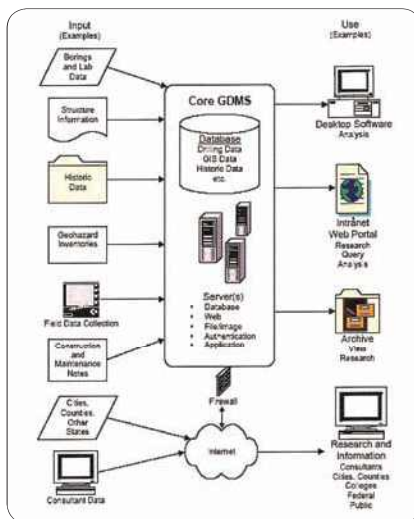
05

지
반

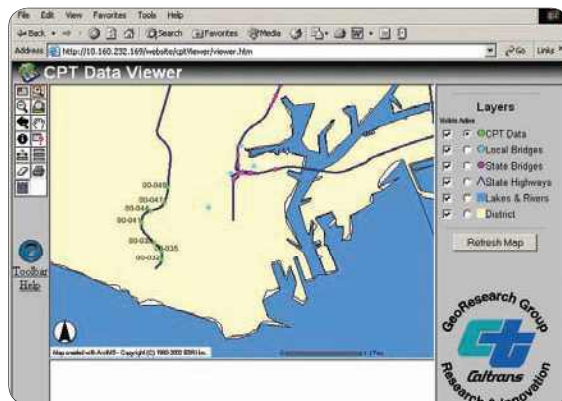
지반조사에 수반되는 관련 정보들에 대해 국가적 차원의 데이터베이스 체계를 구축하게 되면 무계획적인 시추에 의한 경제적 손실을 방지하고, 데이터베이스화된 지반정보를 사전에 파악함으로써 지반조사의 효율성을 높일 수 있다. 또한, 자료의 확대 적용을 통해 보다 신뢰할 수 있는 지반조사를 수행할 수 있으며, 기존 지반조사 자료 분석을 통해 신규 사업의 계획이 가능하다. 국외에서는 일찍부터 국가 SOC 건설 계획 수립, 지반재해 예방, 보강사업을 위한 국가 예산 계획 수립 등의 목적으로 지반정보 체계를 구축해 왔는데, 본 고에서는 미국의 지반정보 성과관리 체계를 소개하고자 한다.

■ 미 도로분야 지반정보 시스템

- 미국 도로분야에서 가장 범용적으로 사용되고 있는 지반정보 D/B체계에는 미연방고속도로청(FHWA, Federal Highway Administration)과 오하이오주 Department of Transportation이 주관으로 개발하여 운영하고 있는 Geotechnical Data Management System(GDMS)이 있으며, 일부 주에서는 GDMS 기반으로 주 도로



<그림 1> GDMS 구조



<그림 2> GIS 기반의 캘리포니아DOT의 지반정보 관리체계

조건에 맞게 독자적인 지반정보시스템을 운영하고 있다.

- 2004년 7월 캘리포니아 Newport Beach에서 열린 Geotechnical Data Management System Workshop에서 FHWA와 오하이오 DOT는 각 주에서 사용되는 GDMS의 연계와 범용화를 위해 GDMS 지반정보자료에 대한 표준화 데이터 형식과 데이터 정리방식에 대해서 제시하였다.
- 기존 자료에 대한 표준화된 형식 설정 등 지반 정보자료 형식의 통합에는 플로리다대, AGS, FHWA, 오하이오 DOT, Construction Industry Research and Information Association(CIRIA) 등 공공기관뿐만 아니라 민간단체와 학계가 공동으로 참여하였다.

■ National Geotechnical Experimentation Site (NGES)

- USUCGER(The United States Universities Council on Geotechnical Engineering Research)는 미국 국토의 지반 및 지반환경에 대한 특성을 조사·분석할 목적으로 National Science Foundation와 FHWA의 재정 지원으로 1985년에 설립 되었는데, 처음에는 미 전역에 지반정보 데이터를 수집하는 45개의 수집기관을 두었으나 현재에는 5개 수집기관만이 지반조사 업체나 기관으로부터 지반정보를 제공 받거나 수집 및 조사·분석하고 있다.
- USUCGER내 지반연구 프로그램의 하나로 NGES(National Geotechnical Experimentation Site) D/B 시스템이 개발되어 다양한 지질공학 데이터를 보유하고 있으며, 다수 사용자 접속이 가능한 NGES 시스템은 최적화된 파일 사이트에 쉽게 접속할 수 있도록 구축되었고, 정보 교환을 쉽게 하기 위하여 설계된 DB는 중앙 데이터 저장소와 연계되어 있다.
- 현재 5개 조사기관에서 구축된 D/B는 중앙 D/B와 연결되어 있으며, 해당 DB는 다수 사용자 사이트로부터 데이터를 검색하고 수정 가능하도록 설계되어 있다. DB의 주요 내용에는 토사 상태, 토사 물성, 시험데이터 목록, 사이트 위치, 조건 및 서비스, 참고문헌, 기타 사이트 정보 등이 있다.



〈그림 3〉 5개 NGES 지반조사 자료 수집 장소 위치

■ 관련(참고)사이트

<http://www.unh.edu/nges/>

■ 출처

한국건설기술연구원 Washington University 연구연가 결과 보고서, 2010.1

3D 레이저 스캐너를 이용한 지반조사기술

김진환 (지반연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 지하구조물 및 지하공간 대응기술
- >> 2차분류 | 지하구조물의 안전 및 유지관리 연구

키워드

지반조사, 3D 레이저 스캐너, 절취사면, 터널

05

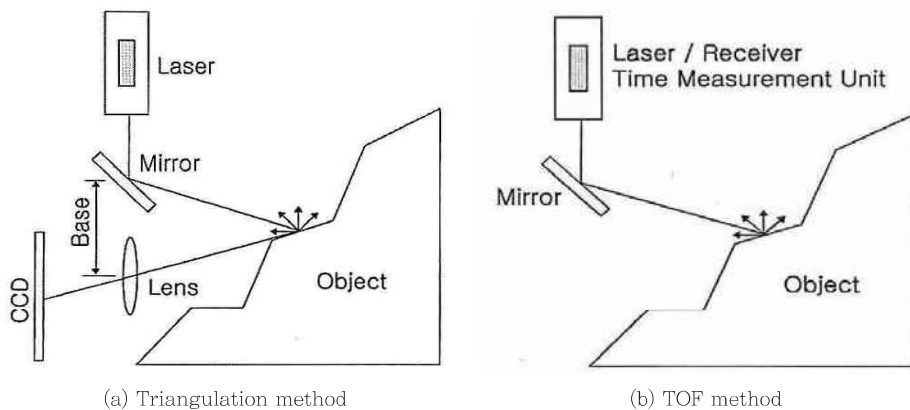
지
반

절취사면, 터널 등의 안정성에 큰 영향을 주는 요인으로는 지반 내에 존재하는 불연속면과 풍화정도, 지하수의 존재 여부 등이 있다. 그러므로 지반조사에 있어 불연속면의 특성, 풍화정도, 지하수 상태 등을 객관적이고 정확히 파악하는 것이 매우 중요하다. 그러나 기존의 조사방법은 조사자의 육안관찰에 의해 조사되는 경우가 많으며 현장 여건상 접근이 어려운 경우에는 정밀한 지반조사가 이루어지기 어렵다. 이와 같은 현장조사의 단점을 보완하고 보다 객관적이고 정밀한 현장조사 자료를 취득하기 위한 조사기술 개발이 국, 내외에서 이루어지고 있다. 본고에서는 기존의 지반조사 방법을 개선하기 위해 개발된 3D 레이저 스캐닝 방법을 소개하고자 한다.

■ 레이저 스캐너 원리

레이저 스캐닝이란 광을 매개로 한 3D 측정의 가장 기본적인 형태로서 기존 접촉식 프로브를 광학식 변위센서로 교체한 형태의 측정법이다. 레이저스캐너의 측정방식은 Triangulation 방식과 TOF방식(Time Of Flight)으로 분류할 수 있다. 전자의 경우 삼각측량법에 근거하고 있으며, 후자는 방출된 적외선 레이저펄스가 대상물체에 반사되어 돌아오는 이동시간(travel time)으로부터 거리를 역산하고 대상점 좌표를 인지하는 방식을 측정의 기본 이론으로 하고 있다.

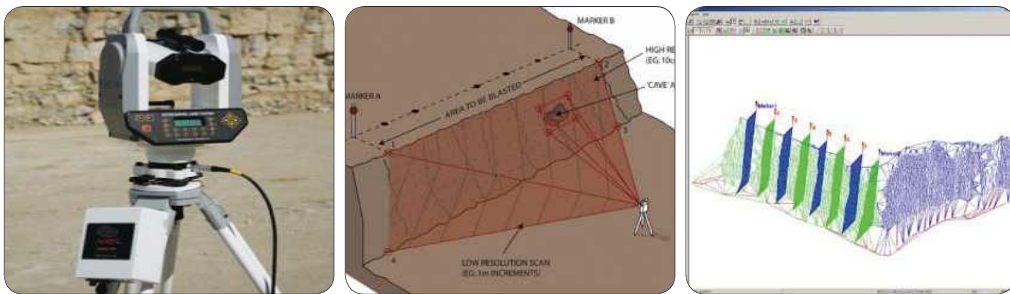
[레이저 스캐너 원리]



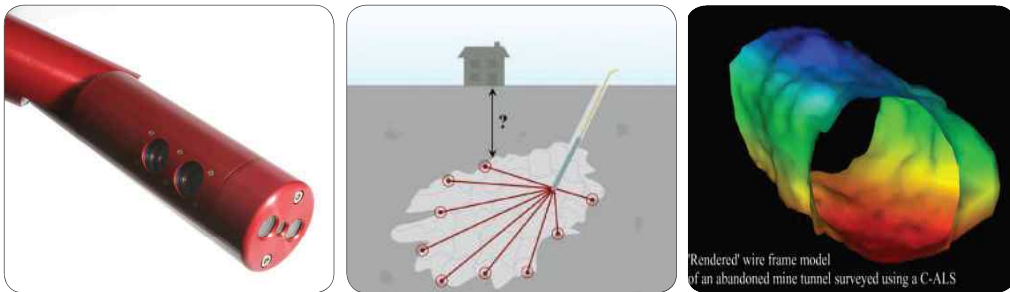
■ 레이저 스캐너 적용

3D 레이저 스캐닝 시스템은 여러 분야에서 다양한 목적으로 사용되고 있다. 기본적인 응용분야로서 교각, 댐, 건물, 대형 플랜트, 선박 같은 구조물의 3차원 측정, 터널, 도로 사면 등의 변위 측정 등에 활용되고 있다.

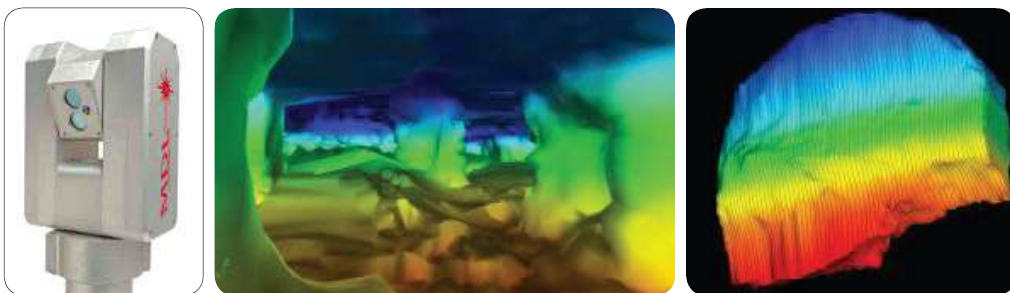
홍콩의 경우 도시 내 관리되는 사면의 효율적인 모니터링 및 피해 정도를 예상하기 위해 3D 레이저 스캐너를 활용하고 있으며 네덜란드에서는 지반에 레이저를 비췌할 때 나타나는 반사강도를 통해 암반의 상태 등을 파악하는데 활용하고 있다.



[Reflectorless rock profiling and 3D laser scanning system]



[Cavity Autoscanning Laser System]



[Ruggedised Underground 3D Laser Scanner]

■ 관련(참고)사이트
<http://www.mdl.co.uk/>

■ 출처
 철취사면 조사·설계 기술 개발연구 및 사면통합관리 시스템개발 (소방방재청, 2008)

침매터널의 국내현장 적용사례

유 준 (지반연구실 / 2급 기술원)

- >> 1차분류 | 지하구조물 및 지하공간 대응기술
- >> 2차분류 | 해저지반 구조물에 관한 연구

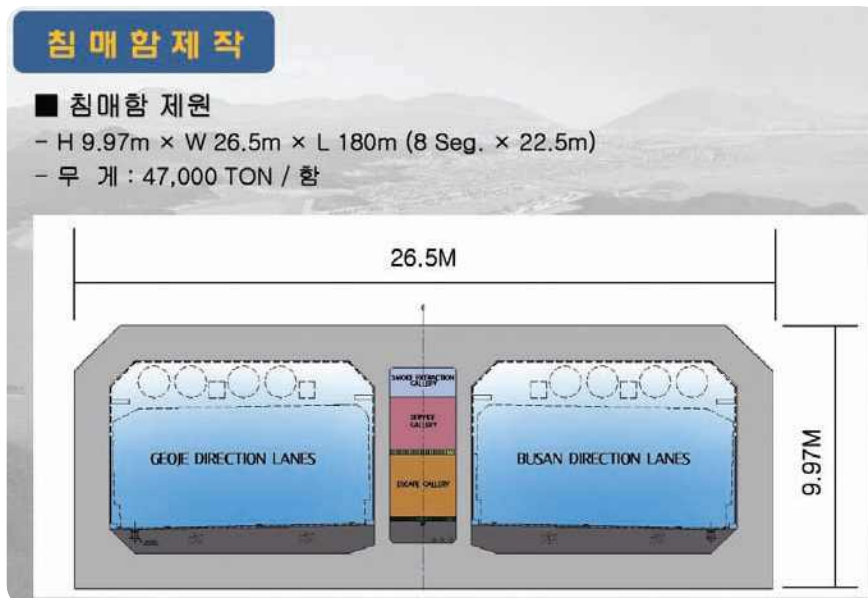
키워드

침매터널, 침매함체, 지수, 준설, 되메우기

05

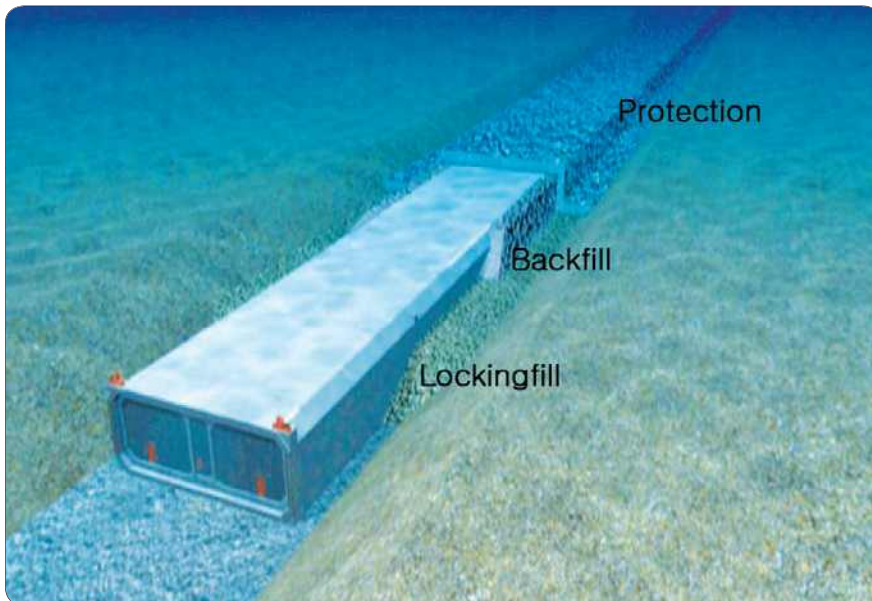
지
반

침매터널이란 지상 또는 수면상에서 제작한 함체를 물에 띄운채 원하는 위치까지 이동하여 준설선에 의해 미리 수중굴착된 하/해상의 제 위치에 침설 시킨 후 수중에서 함체들을 연결하고 그 위에 토사 등으로 되메우기를 하여 터널을 완성하는 공법으로 이런 공법을 Tench Method, Tube sinking Method 라고도 불리우며, 이 공법으로 건설된 터널을 침매터널(Immersed Tunnel)이라 한다. 부산~거제간 연결도로 건설공사의 침매함은 외부에 별도의 방수처리를 하지 않고 콘크리트 자체만으로 수밀성을 확보하는 구조물로서 관통균열을 제어하기 위해 콘크리트 박스를 한번에 타설하는 일괄타설 방식을 적용한다. 또한 염해에 대한 100년 내구년한 확보를 위해 내구성 설계가 반영된 특별한 배합설계를 사용한다. 함체의 제원은 폭 26.5m × 높이 9.97m × 길이 180m이다. 함체는 22.5m 세그먼트 8개로 구성되며, 각 세그먼트는주입창 지수판으로 연결되어 있다. 침하균열억제를 위해 타설시간을 20시간 이상으로 유지하는 것으로 계획하고 세그먼트 접근조립 및 콘크리트 타설에는 약 20일정도 소요될 것으로 예상된다.



〈그림 1〉 침매함체 제원

함체의 시공방향은 가덕도에서 중죽도 방향으로 진행하며, 준설방법은 토사의 경우 호퍼준설로 계획되어 있으며, 암 굴착부는 쇄봉암 또는 발파로 계획하고 있다. 본 공사구간 총 침매터널 구간은 주할로 구간으로 준설은 선박의 임시항로 확보를 위해 주 항로 구간을 2분할하여 가덕도측과 중죽도측으로 구분하며 시공순서를 따라 중죽도측에 임시항로를 확보한 뒤, 가덕도측을 먼저 시행하고 차후 가덕도측에 임시 항로 확보후 중죽도측의 준설을 시행한다. 준설 후 함체 침설 전 준설면의 균등한 level을 확보하기 위해서 자갈을 균등하게 포설한다. 자갈포설층의 두께는 약 1.0m로 수심이 깊은 구간에 적용사례가 있는 침매함의 전형적인 기초공법중의 하나이다. 계류장에서 의장을 마친 함체는 침설현장으로 운송된다. 운송거리는 약 34Km이며, 이동속도는 약 4Knot로 약 6시간 소요된다. 침설은 함체내부 물탱크에 물을 주입하여 초과중량이 발생하도록 하여 침설시킨다. 함체간 연결은 기설 함체의 콘크리트 단부에 신설함체의 GINA조인트를 밀착시킨 후 밀착시 두함체 Bulk head 사이에 유입된 물을 배제, 신설 함체의 끝단에 작용하는 수압을 이용하여 GINA조인트를 압착시켜 함체간 연결을 종료한다. GINA조인트의 압착으로 1차 지수를 하며 연결 후 내부에서 Omega Seal로 2차 지수를 한다. 침설 후에는 선박충돌, 침몰하중 및 선박의 닻에 의한 충격으로부터 함체를 보호하고, 침매함체가 부력으로 인해 부상하지 않도록 되메우기를 한다.



〈그림 2〉 되메우기 및 보호공

■ 관련(참고)사이트

<http://www.gkproject.co.kr/web/hongbo/Research/index.swi/>

