

04. 구조교량



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



프리캐스트 PSC 교량부재를 위한 자기다짐 콘크리트 가이드라인

박성용 (구조교량연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

자기다짐 콘크리트, 프리캐스트, PSC 교량

04

구
조
교
량

미국 국립학술원 산하의 교통연구원(Transportation Research Board, TRB)에서는 2009년 2월에 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트(PSC) 교량 부재에의 적용을 위한 자기다짐 콘크리트(Self-Consolidation Concrete, SCC)*의 권장 가이드라인 관련 연구보고서(NCHRP Report 628)를 발간하였다. 이 연구는 “NCHRP Project 18-12” 의 일환으로서 프리캐스트 PSC 교량 부재에 대한 자기다짐 콘크리트의 활용 가이드라인을 개발하고, 이와 관련된 AASHTO LRFD 시방서 규정에 대한 개정안을 도출하는 것을 목표로 하여, 캐나다 웨브룩대의 Khayat 교수와 맥길대의 Mitchell 교수에 의해 수행되었다. 이 연구의 성과로서 작성된 권장 가이드라인에는 자기다짐 콘크리트와 관련하여 구성 재료의 선정, 콘크리트의 배합비, 시험방법, 경화 전·후 콘크리트의 속성, 생산 및 품질관리 관련 쟁점 등이 다루어져 있다. 또한 이 보고서에는 AASHTO LRFD 시방서의 변경안과 자기다짐 콘크리트의 특성을 평가하기 위해 필요한 시험 방법이 제시되어 있다. 이 보고서는 재료 및 교량 기술자들이 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 교량 부재에 자기다짐 콘크리트를 적용하기 위하여 자기다짐 콘크리트 혼합물을 평가하고, 선정하며, 규격화하는 것을 안내해주고 있으며, 이로 인해 제작이 용이해지고, 제작 환경과 안전성이 향상되며, 비용 절감이 가능해진다. 이와 같이 이 연구보고서는 재료 및 교량 기술자들이 자기다짐 콘크리트를 도로교에 적용하기 위한 콘크리트 혼합물의 규격화 및 평가와 관련하여 흥미 있는 정보를 제공하고 있다.

참고로 이 보고서에서 제시하고 있는 자기다짐 콘크리트와 관련된 권장 가이드라인은 다음과 같다.

- Recommended Changes to AASHTO LRFD Bridge Design and Construction Specifications
- Recommended Guidelines for Use of Self-Consolidating Concrete in Precast, Prestressed Concrete Bridge Elements
- Recommended Standard Test Methods

자기다짐 콘크리트 : 경화되지 않은 콘크리트가 골재 분리 없이 거푸집 안과 철근 및 PS 강재 사이로 쉽게 흘러들
어갈 수 있도록, 수경성 시멘트(hydraulic cement)를 사용하여 제작한 콘크리트

■ 관련(참고)사이트
<http://www.trb.org/>

■ 출처
http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_628.pdf/



프리캐스트 콘크리트 바닥판 연결구조 가이드라인

김형열 (구조교량연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

프리캐스트, 바닥판, 연결구조

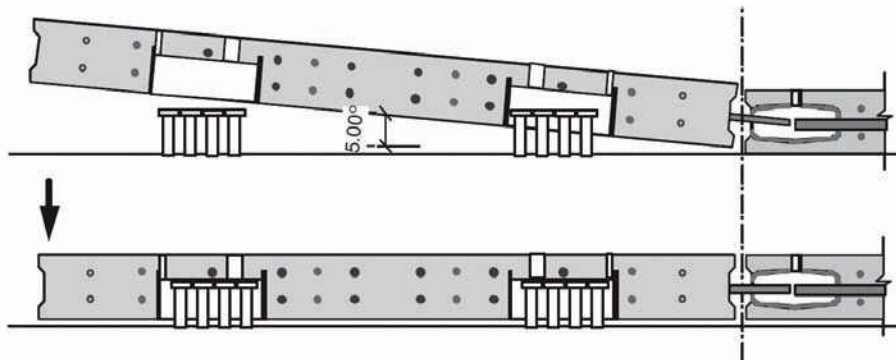
04

구
조
교
량

최근 거더교의 바닥판 가설기간을 단축시키기 위하여 프리캐스트 부재로 제작된 콘크리트 바닥판의 가설이 국외는 물론 국내 교량시공현장에서 적용되고 있다. 일반적으로 프리캐스트 바닥판은 일명 "전단포켓"에 의하여 거더와 연결하게 되므로 비합성 단면으로 설계하고 있다.

미국 국립학술원 산하의 교통연구위원회(Transportation Research Board, TRB)에서 시행한 NCHRP 프로젝트인 "Full-Depth Precast Concrete Bridge Deck Panel Systems"에서는 종래 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 비합성 거동 단점을 보완한 새로운 바닥판시스템을 소개하고 있다. 미국 PCI Bridge Design Manual의 편집자인 네브라스카대학 Tadros교수와 그 연구팀에서 개발한 일명 "NUDECK" 바닥판 시스템은 바닥판-거더 연결부 구조에서 거더 상단면적 전체에 대응하는 바닥판 단면을 중공으로 형성하여 거더에 배치된 전단연결재를 수용할 수 있도록 하였다. 또한 프리캐스트 바닥판의 거더방향 연결방법은 프리캐스트 바닥판 단부에 종방향으로 배근된 철근을 바닥판 일측면에 형성된 중공포켓 내부에 삽입시켜 연결되도록 하여 교축방향 후긴장을 최소화 할 수 있도록 하였다.

한편, 보고서 제2장에는 관련문헌 조사결과가 상세하게 기술되어 있으며, 부록 C에는 프리캐스트 바닥판의 설계, 상세, 제작, 설치 가이드를 제공하고 있으므로 유사 연구수행에 좋은 참고자료가 될 것으로 기대된다.



■ 관련(참고)사이트
<http://www.trb.org/>

■ 출처
http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_584.pdf/



대지진에 대비한 도로·하천 시설의 내진기술

이영호 (구조교량연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 내진기술

키워드

대지진, 내진, 보수보강, 도로시설, 하천시설

04

구
조
교
량

일본 국토교통성 산하의 일본토목연구소(Public Works Research Institute, PWRI)의 중점프로젝트 연구사업 중 하나로, 대지진에 대비한 도로 및 하천시설물에 대한 내진진단, 보강기술 및 지진후의 급속복구를 연구목표로 하여, 10개의 세부과제를 수행하고 있다. 세부과제별 연구수행 기간은 조금씩 차이가 있으며 전체적인 연구종료는 2010년으로 설정되어 있다. 2007년도까지의 주요 연구 성과는, 다음과 같다.

(1) 기존 도로교의 내진진단·보강기술의 개발

- 높이별 휨강성이 다른 기존 교각에 대한 내진보강 공법의 제안 및 검증
- 보강이 곤란한 기존 특수교량·장대교량을 대상으로 현재의 내진성능 평가방법 및 내진보강이 필요한 교량에 대한 에너지 흡수장치에 의한 내진보강법 개발
- 기존 도로교 기초의 내진성능 평가 및 기초의 내진 취약도 판정순서도 제안
- 잔류변위가 교량 전체에 미치는 영향 평가 및 교대의 보강 유무의 판정을 위한 액상화 지반위의 교대의 이동량 판정식 제안

(2) 산악 성토부의 내진진단·보강기술의 개발

- 산악도로 성토부의 합리적이고 경제적인 내진진단법 및 대책공법 제안
- 산악 성토의 동적원심모형실험에 의해 성토부의 수위를 낮추게 되면 피해를 저감할 수 있는 것으로 판명

(3) 도로교의 지진 피해 급속복구 기술 개발

- 지진에 의한 피해 판정방법의 고정밀화
- 진동대 실험에 의해 설계기준과 구조형식에 응답 연성율과 손상 관계 규명
- 초속경 재료 및 탄소섬유시트를 이용한 복구공법 제안 및 검증

(4) 기존 댐의 내진진단·보수·보강 기술의 개발

- 댐의 안전관리를 위한 계측방법, GPS 변위계측시스템과 대변형 거동 계측시스템 개발
- 댐 종류별 위치별 보수보강 공법 선정 방법 제안
- 지진동에 의한 콘크리트 댐의 균열관통 후 지진동에 의한 댐 동적거동 파악

(5) 하천구조물의 내진진단·보강기술의 개발

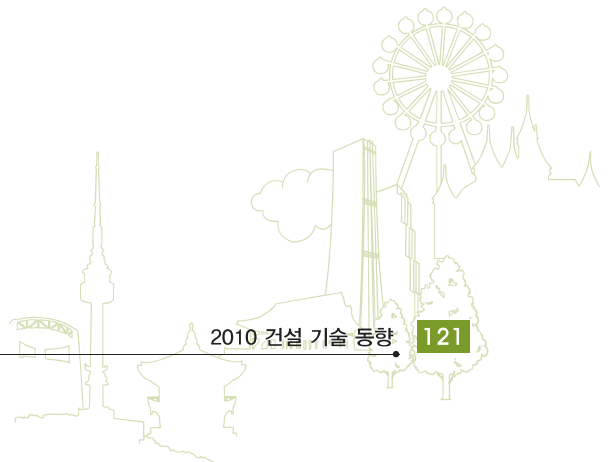
- 지진시의 액상화에 의한 하천제방 붕괴를 막기위한 내진보강 공법 개발
- 하천제방 지진피해사례 분석 및 각 피해 패턴별 보강공법 제안

■ 관련(참고)사이트

<http://www.pwri.go.jp/>

■ 출처

<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/project/2007/pdf/2007-3.pdf/>



미국 IDEA 프로그램의 하이브리드-합성 빔 시스템

박경훈 (구조교량연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

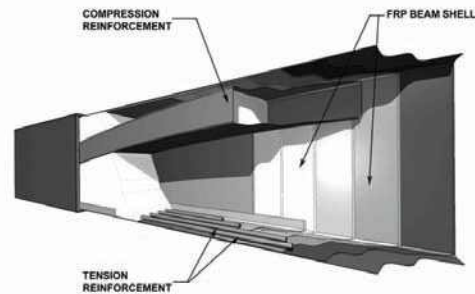
Hybrid, 합성빔, 교량, 철도

04

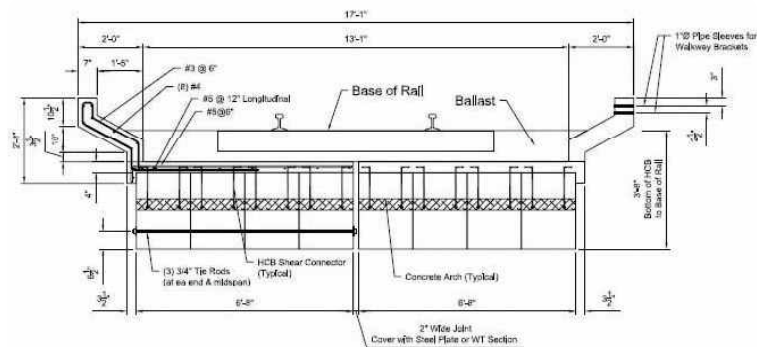
구
조
교
량

미국 NRC(National Research Council)의 TRB(Transportation Research Board)가 관리하는 IDEA(Innovations Deserving Exploratory Analysis) Programs의 대표적인 우수사례로 꼽히고 있는 하이브리드-합성 빔 시스템(Hybrid-Composite Beam System)에 대하여 간략히 소개한다.

고속 철도 IDEA 프로젝트의 하나로 철도와 고속도로 교량에 사용 가능한 구조부재인 HCB(Hybrid-Composite Beam)의 적용성에 대해서 고찰하였다. HCB는 셸(shell), 압축보강재, 긴장재의 세 가지 주요 구성 요소로 이루어져 있다. 빔의 외피에 해당하는 셸은 섬유강화플라스틱(fiber reinforced plastic; FRP) 상자 형태로 구성되어 있다. 압축보강재는 빔 외피에 의해 형성된 관형태의 내부에 채워진다. 긴장재는 압축보강재의 단부에 정착된 강연선으로 이루어져 있다. 본 보고서(HSR-IDEA 43)는 첫 번째 프로토타입 HCB 교량의 설계, 제작, 재하실험을 포함하고 있다.



〈그림 1〉 Fragmentary Perspective of HCB



〈그림 2〉 Cross-Section of Prototype HCB Bridge



〈그림 3〉 HCB Assembly with Compression

HCB는 최소의 가공비용으로 제작될 수 있으며, 미국철도 협회(AREMA)가 권장하는 교량 강도와 사용성을 만족하도록 설계가 가능하다. 비용측면에서도 기존의교량용 콘크리트 또는 강재 빔의 비용-효율적 대안으로 가능하다. 기존의 전통적인 재료들로 구성된 빔과 HCB가 구분되는 것은 FRP 재료가 보다 나은 부식 저항성과 수명연장 가능성을 제공한다는 것이다. 또한 중량이 적으므로 운반 및 가설 비용 측면에서도 장점이 있다. 이러한 고유의 장점과 함께, HCB는 새로운 철도 교량의 건설뿐만 아니라 기존의 교량의 개축에 있어 매력적인 대안을 제공한다.

비용-효율적인 제조 공정, 전형적인 빔에 대한 제작 및 실험, 합리적인 제작비용, 설계기준을 만족하는 피로 및 파괴 실험, 빔의 결합을 통한 교량용 거더의 적용성, 제조공정의 개선을 통한 제작시간 단축 및 품질 향상 등의 연구개발이 진행되었다. 또한 자외선, 화재, 측면 충격 등의 문제가 제기되었으며, HCB 교량의 서비스 성능을 모니터링하는데 사용될 비파괴시험(NDE) 기술이 논의 되었다.



〈그림 4〉 Setting HCB Unit on Bridge Substructure



〈그림 5〉 Live Load Tests on Prototype HCB Bridge

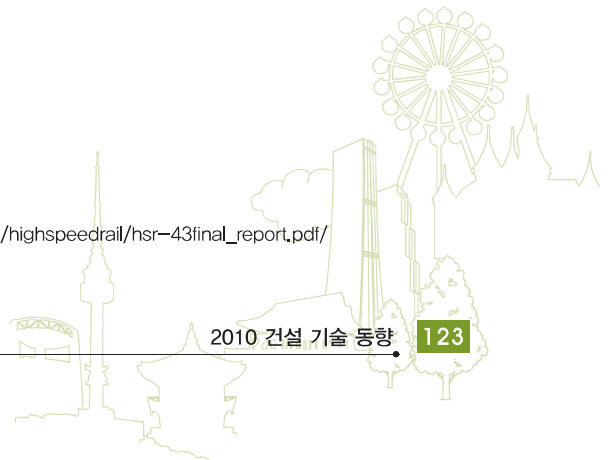
최종적으로 프로토타입 HCB 교량의 건설 및 현장실험이 진행되었다. 30foot의 프로토타입 교량이 건설되었고, 설계 활하중 재하실험이 수행되었다. 정적 재하실험 및 5~45mph의 주행을 통한 동적실험이 있었다. 프로토타입 HCB 교량의 응력과 변위에 대한 계측이 수행되었고, 예측된 거동을 보였다. 가까운 장래에 추가적인 실험과 수익 창출을 위한 활동이 수행될 것이다.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.trb.org/IDEAProgram/Public/IDEAProgram.aspx/>

■ 출처

http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highspeedrail/hsr-43final_report.pdf/



LTBP(Long-Term Bridge Performance) 프로그램 소개

박기태 (구조교량연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

교량, 내구성능, 장기거동이력

주요 내용

〈LTBP 프로그램 제안 연구 분야〉

분야	주요 제안 연구 분야
바닥판	● Performance of untreated concrete bridge decks
	● Performance of bridge deck treatments (membranes, overlays, coatings, sealers)
	● Influence of cracking on the serviceability of high performance concrete decks
	● Performance of precast reinforced concrete deck systems
신축이음	● Performance, maintenance and repair of bridge deck joints
	● Performance of jointless structures
콘크리트교량	● Performance of bare, coated or sealed concrete superstructures and substructures (considering splash zone, soils, or exposed to deicer run-off)
	● Performance of prestressed concrete girders (including AASHTO type I-girders, Adj. Box girders, and bulb tees)
	● Performance of embedded or ducted prestressing wires and post-tensioning tendons
강교량	● Performance of coatings for steel superstructure elements
	● Performance of weathering steels
받침	● Performance, maintenance and repair of bridge bearings
기초 및 세굴	● Performance of structure foundation types
	● Direct, reliable, timely methods to measure scour
	● Performance of scour countermeasures
기능성	● Criteria for classification of functional performance
위험도 및 신뢰도	● Risk and reliability evaluation for structural safety performance
설계분야	● Performance of alternative reinforcing steels
	● Performance of innovative designs and material

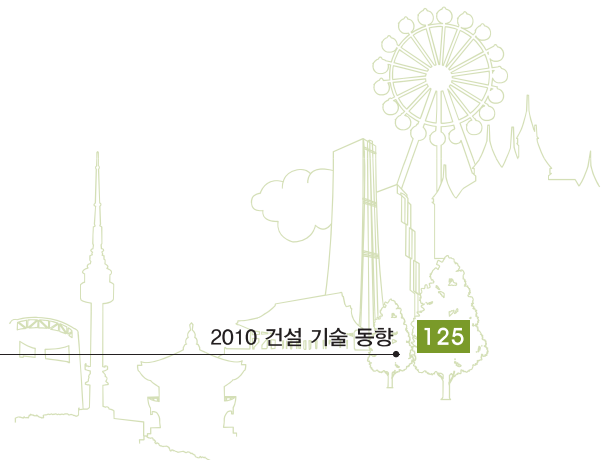
04

구조교량

2009년 1월 15일에는 미국 TRB(Transportation Research Board)의 제 88차 정기회의 프로그램의 일환으로 LTBP 프로그램에 대한 워크샵이 미국 워싱턴 D.C에서 개최되었다. 350명 이상의 FHWA, AASHTO, 기업, 공무원 등을 대표하는 전문가가 참석하여 진행된 이날 워크샵에서는 FHWA의 Hamid Ghasemi박사가 LTBP와 관련하여 교량 성능 평가 방안, LTBP 프로그램의 개념, 그리고 관련 개선 방안 등에 대하여 발표하였다. LTBP는 FHWA가 주도하여 2008년 4월부터 지금까지 계속적으로 진행되어 오고 있는 교량 거동 이력에 대한 데이터베이스 구축 및 활용을 목적으로 진행되어 오고 있는 프로그램으로써, 교량을 공용년수, 형식, 주변 환경 등에 따라 다양한 범주로 구분하여 대표적인 교량을 선정하고, 선정된 교량에 대하여 장기적인 계측 데이터를 확보한 후, 그 데이터를 이용하여 해당 범주에 속한 교량들의 유지관리 시 활용하고자 함을 목적으로 하고 있다. FHWA에서는 향후 5년간 LTBP 프로그램 운영방안에 대한 로드맵을 수립하였고, 현재는 첫 번째 시험 교량을 선정하여 LTBP 프로그램의 적용성을 확인하고 있으며, 교량 성능평가 기술과 관련하여 계속적으로 관련된 비파괴장비 개발을 계획하고 있다고 밝혔다.

■ 원문 사이트

<http://www.tfhrc.gov/ltpb/pubs.htm/>



미국 MCEER의 복합 재난 대비 교량 설계법 개발 동향

관심종 (구조교량연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

복합 재난(Multi-hazard), 교량 설계 원리, 설계 지침

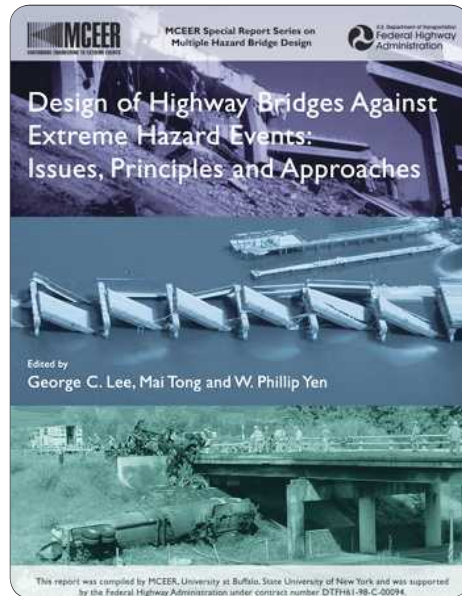
04

구조교량

미국 MCEER (Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research)에서는 복합 재난(Multi-hazard)에 대비한 교량의 설계 원리와 설계지침을 개발하기 위한 장기적인 계획을 추진하고 있다. 복합 재난이란 지진, 태풍, 각종 사고, 테러에 의한 공격 등 주요 자연재난 및 인위 재난이 복합적으로 교량에 영향을 미치면서 구조활동, 복구작업, 지역경제활동에 지장을 주는 상황을 의미한다. MCEER은 이에 관한 사전 기획의 일환으로서 지난 2년간 복합 재난에 대비한 교량 설계와 관련된 주요 쟁점들을 탐색하는 연구를 수행하였다. 여기에는 다음과 같은 내용이 포함되어 있다.

1. 기존 교량의 물리적 상태, 현재의 교량 설계법과 교량 점검 및 보수에 관한 이해
2. 복합 재난이 교량에 미치는 하중 효과를 다루기 위한 현재의 접근 방법
3. 전형적인 교량 모형에서 다양한 재난 하중에 의해 발생 가능한 피해 시나리오 분석
4. 재난 유형별 하중 효과를 서로 비교할 수 있는 다양한 방법 탐색
5. 서로 다른 형태의 재난을 비교함에 있어서 재현 주기를 근간으로 사용하는 것의 적절성
6. 재난 모형들에 대한 불확실성 분석의 수행

이러한 탐색 연구를 실시한 결과, 복합재난에 대비한 교량 설계 원리를 정립하는 것은 매우 복잡하고, 중요도와 우선순위를 고려하는데 있어 규명되어야할 상관변수가 매우 많으며 재난 발생 자료, 재난이 교량에 미친 피해 자료가 불충분한 것으로 드러났다. 연구 의제를 설정해 나가기 위하여 경험 많은 설계기술자, 교량 시설 관리자, 설계기준 집필자, 교량 관련 다양한 연구자 등이 참여하는 특별 워크샵이 조직되었으며 참석자들이 제시한 핵심 쟁점에 대한 견



<그림 1>

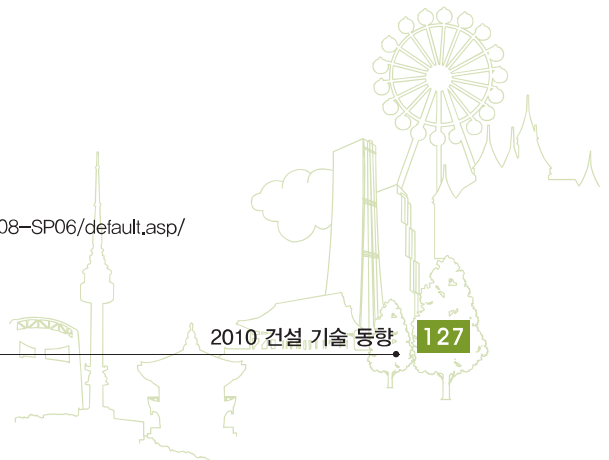
해와 논문을 바탕으로 하는 보고서를 발간하였다. 이 보고서는 교량 설계 관계자에게 복합 재난에 의한 하중효과를 어떻게 반영할 것인지 해답을 제공하는 것은 아니며, 대신 연구 관계자가 복합 재난 관련 연구 프로그램을 계획하는데 도움을 줄 수 있는 대강의 기초 자료를 제공하는 역할을 하고 있다. MCEER에서는 특별 워크숍을 통해 수렴된 토론 내용과 전문가들의 권고를 바탕으로 향후 연구 계획을 수립하려고 하고 있으며, 향후의 보고서에는 복합 재난이라는 주제에 대해 훨씬 상세한 내용을 담는 것은 물론 AASHTO T-3, FHWA, MCEER, 그 밖의 핵심 전문가 등 다양한 구성원이 참여할 예정이다.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.mceer.buffalo.edu/>

■ 출처

http://mceer.buffalo.edu/publications/Bridge_and_highway_Reports/08-SP06/default.asp/



OpenSees 소개

조정래 (구조교량연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

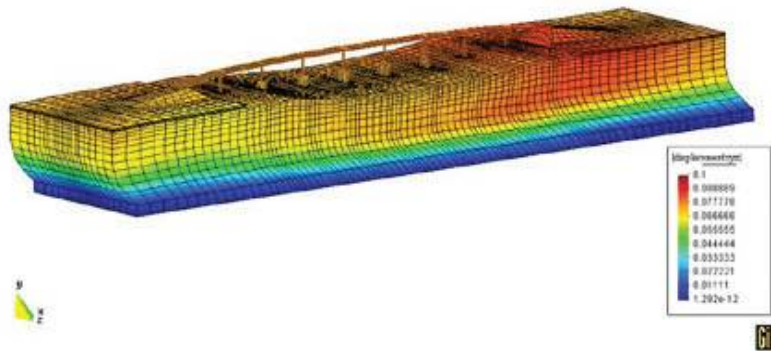
유한요소, 내진해석, 객체지향프로그래밍

04

구
조
교
량

OpenSees(The Open System for Earthquake Engineering Simulation)는 태평양 지진연구센터(PEER, Pacific Earthquake Engineering Research Center)의 지원으로 미국 버클리대학교에서 개발하고 있는 공개 유한요소해석 플랫폼으로서 특히 내진해석 분야에 특화되어 있다. OpenSees는 2004년부터 NEESit(The George E. Brown Network for Earthquake Engineering Simulation Cyberinfrastructure Center)의 시뮬레이션 도구로 채택되었다. OpenSees와 관련된 NEESit 도구는 SimPortal과 OpenFresco 등이다. SimPortal은 원격지에서 고성능 컴퓨팅 그리드에서 OpenSees를 구동할 수 있는 서비스이고, OpenFresco는 하이브리드 시뮬레이션을 위한 소프트웨어 프레임워크이다.

소프트웨어 공학 관점에서 OpenSees는 객체지향프로그래밍으로 설계되어 있다. 따라서 OpenSees는 기존의 절차지향 프로그래밍으로 설계된 유한요소해석 시스템에 비해 새로운 해석기법, 유한요소, 재료모델 등의 추가가 용이하다. OpenSees는 객체지향프로그래밍을 이용하는 유한요소 프레임워크와 비교해서 가장 세련되게 설계되어 있고 범용유한요소 프로그램에 근접하는 유한요소, 재료모델, 해석기법 등을 제공하고 있다. 특히 내진해석분야에 특화되어 있기 때문에 유연도법에 근거한 비선형 보요소와 포화된 지반모델을 포함한 지진시 지반의 시뮬레이션과 관련된 최신 연구 결과가 반영되어 있다.



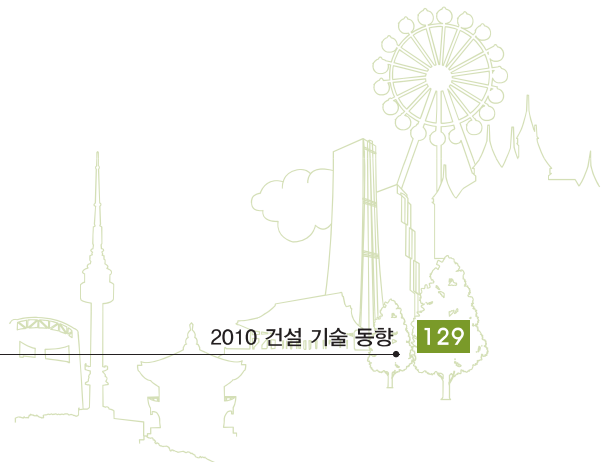
OpenSees는 그 자체만으로도 내진해석을 포함한 다양한 해석을 수행할 수 있지만, 연구자들이 새로운 해석기법 · 유한요소 · 재료모델을 추가하여 시험해보고자 할 때 유용한 연구용 테스트베드로서 활용될 수도 있다.

■ 관련(참고)사이트

<http://opensees.berkeley.edu/>

■ 출처

<http://opensees.berkeley.edu>, <http://www.nees.org/>



전력 자립형(self-powered) 무선 센서

이상윤 (구조교량연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

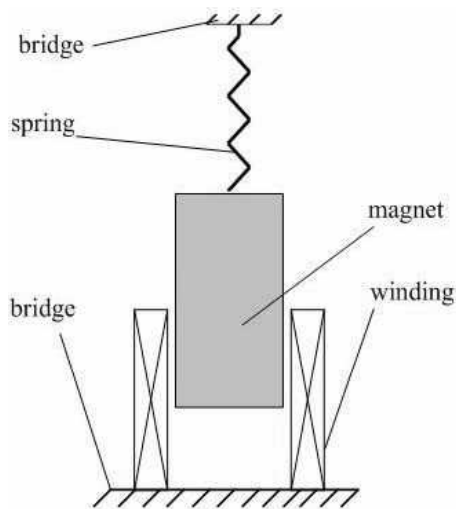
모니터링, 무선 센서, Energy Harvesting

04

구
조
교
량

미국 Clarkson 대학교에서는 미국 교통원규원(TRB)의 IDEA(Innovations Deserving Exploratory Analysis) 프로그램의 지원으로 "Self-powered Sensors and Actuators for Bridges(NCHRP-IDEA 117)"라는 프로젝트를 수행하여 무선 센서 기술을 개발하였다. 이 프로젝트는 2007년 12월에 종료되었으며, 다음은 이 프로젝트에서 개발된 주요 기술을 요약한 것이다.

최근 무선 기술이 크게 발전함에 따라 교량의 모니터링에 무선 시스템을 적용하기 위한 시도가 증가하고 있다. 무선 시스템의 결정적인 결점은 전원의 공급을 위해 유선 케이블을 사용하거나 무선 장치의 작동을 위한 배터리가 필요하다는 점이다. 이 연구 프로젝트에서는, 이러한 문제를 해결하기 위해, 통행 차량에 의한 진동을 이용하여 계측 장치에 전력을 공급할 수 있는 전력 자립형 무선 센서의 프로토타입 시스템을 개발하였다. 전력 자립형 시스템은 외부로부터의 전력공급이 필요 없고, 구조물과 일체화 시킬 수 있어서 배터리를 이용한 시스템에 비해 많은 장점을 갖는다.



<그림 1> Simple Tubular Linear Generator

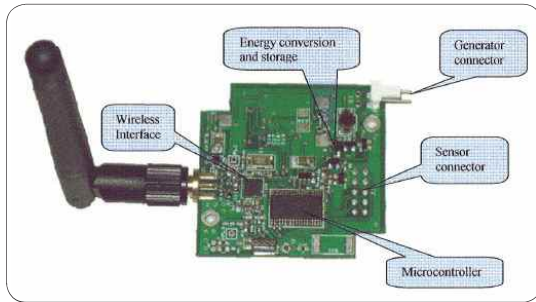
전력 자립형 시스템은 세 가지 주요 구성 요소를 기반으로 개발되었다

1. 교량의 진동에너지를 전기적인 에너지로 변환하기 위한 전자기 에너지 수확장치(energy harvester)
2. 수확장치에서 저장장치로의 전력 전달을 최대화 할 수 있도록 설계된 에너지 변환 및 저장 회로
3. 다양한 에너지 수확 조건에서도 안정적으로 작동할 수 있는 무선의 초저전력 센서(ultra-low power sensor) 플랫폼

전자기적 에너지 수확장치는 교량의 진동을 가용한 전기적인 에너지로 변환시킬 수 있는 선형 발전기(linear generator)를 기반으로 설계되었다. 발전기는 스프링, 자석, 와인딩 코일, 그리고 추가적인 질량물로 구성되며, 코어를 구성하는 자석의 공진에 의해 전기적인 에너지로 변환된다. 발전기의 바닥(base)은 거더의 하부에 부착되어 교량과 함께 진동하며, 발전기의 고유진동

수가 교량의 기본 진동수(primary frequency)에 가까워지면 공진 효과로 인해 자석의 변위가 발전기 바닥의 변위보다 크게 발생한다. 이러한 공진 효과를 이용하여 보다 높은 전압을 발생시킬 수 있으며, 더 많은 양의 진동 에너지를 전기 에너지로 수확할 수 있다.

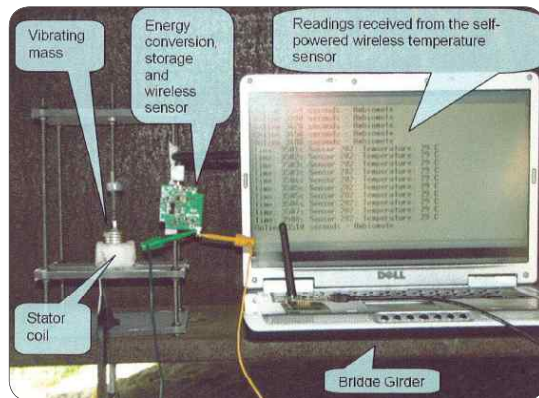
에너지 수확장치는 정류(rectification)와 조절(conditioning) 기능을 수행하는 에너지 변환 회로에 연결된다. 이 회로는 저장되는 에너지의 양을 400%까지 증가시킬 수 있도록 하여, 더 많은 에너지를 필요로 하는 기능을 수행하거나 계속 빈도를 늘릴 수 있도록 한다.



〈그림 2〉 Wireless self-powered sensor

이 프로젝트에서 설계된 프로토타입의 전력 자립형 무선 센서 시스템은 뉴욕주 포트담에 위치한 RTI bridge에 설치되어 일주일간의 실험을 통해 현장조건에 대한 성능이 검토되었다. 실험 결과, 에너지 수확 조건이 요일과 시간에 따라 변화하였지만, 센서는 평균적으로 24시간 동안의 모니터링을 수행할 수 있는 능력을 가지고 있었다. 이 결과는 에너지 수확에 대해 제안된 접근 방법의 타당성을 입증해주며, 전력 자립형 센서에 의한 교량 구조물의 지속적인 모니터링의 가능성을 보여주고 있다.

무선 센서 시스템은 에너지 변환 회로, 센서 인터페이스 및 무선 인터페이스로 이루어진다. 센서 플랫폼은 전력 관리 알고리즘에 의해 작동하여 센서에 충분한 에너지를 공급할 수 있도록 하며, 무선 인터페이스에 의해 습득된 데이터를 전송한다. 무선 센서 시스템은 전력 소모량이 적으며 매우 낮은 전력의 RC 발진기(RC oscillator)를 사용하여 시동 시간(start up time)이 매우 짧은 마이크로 프로세서를 탑재하고 있어서 진동이 발생하는 즉시 에너지 수확이 이루어지도록 해준다.

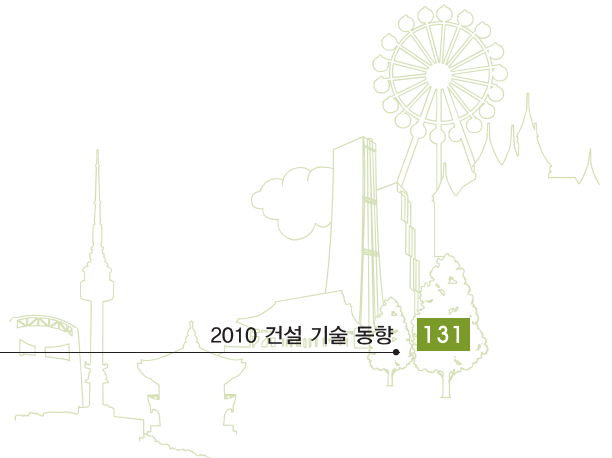


〈그림 3〉 Prototype of the self-powered wireless sensor

국내에서도 교량의 상시 모니터링에 관한 연구가 수행되고 있으며, 유선형 모니터링 시스템의 이용에 따른 고비용의 문제를 해결하기 위해 무선형 센서 시스템의 활용에 대한 관심이 높아지고 있다. 여기서 소개한 프로젝트는 무선형 센서 시스템이 가지고 있는 상시 전력 공급에 대한 한계를 극복하기 위한 기술 개발 과제로서 우리나라의 상시모니터링 시스템의 구축을 위해 관련 연구를 준비하거나 수행할 때 참고할 만한 가치가 있다고 판단된다.

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

■ 출처
<http://www.trb.org/>



지오폐리머 콘크리트 기술 개발 동향

고경택 (구조교량연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

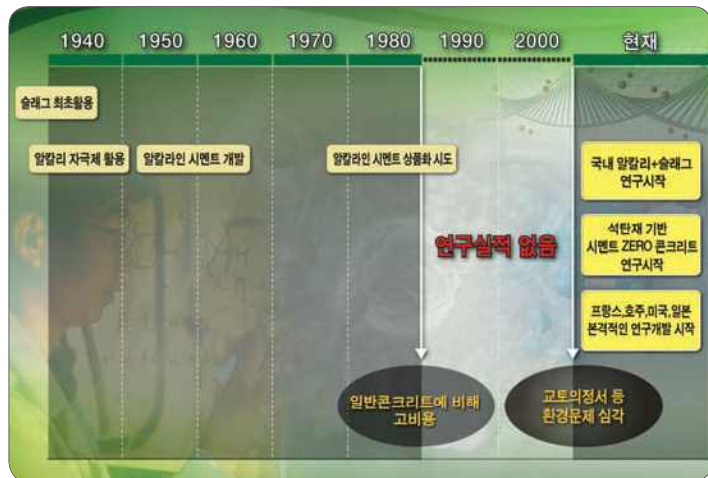
키워드

자기다짐 콘크리트, 프리캐스트, PSC 교량

04

구
조
교
량

콘크리트 제조 시 시멘트를 전혀 사용하지 않은 지오폐리머(geopolymer) 콘크리트는 1978년 Davidovits(프랑스)가 세계 최초로 카올리나이트 광물질을 사용하여 중합반응(polymerization)에 의해 제올라이트와 유사한 구조로 개발하였다. 1983년에는 핀란드에서 알칼리 활성 슬래그 시멘트를 'F-Cement'라는 브랜드명의 상품으로 출시하기도 하였고, 1980년대 중반에서 1990년 중반까지 러시아, 우크라이나 등 동유럽에서 20층 이상의 고층빌딩에 알칼리 활성 시멘트 제로 콘크리트를 적용한 사례가 있다. 최근 진단결과에 의하면 이 콘크리트는 압축강도가 30MPa 이상, 탄산화 깊이 3~5mm 정도로 상당히 낮고 균열도 발생하지 않는 등 성능이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 이러한 시멘트 제로 콘크리트는 제조상의 문제와 경제성 등의 이유로 인해 1990년대에 연구가 거의 이루어지지 않았다.



〈그림 1〉 연구개발 동향

2000년 이후 환경문제가 사회적으로 이슈화됨으로써 2001년 미국에서는 'Vision 2030: A Vision for the U. S. Concrete Industry'에서 친환경 콘크리트를 만들기 위한 계획을 발표하면서 본격적인 연구를 시작하였고, 호주에서는 2001년부터 'Low-Calcium Fly-Ash Based Geopolymer Concrete' 프로젝트를 수행하기 시작하여 개발, 제조, 활용기술 개발을 목표로 활발한 연구가 진행되고 있다. Monash대학의 Sanjaya 교수팀은 50~70MPa의 고로슬래그 활성 콘크리트를 개발하였고, Curtin 대학의 Rangan 교수팀은 플라이애시를 기반으로 하여 소듐실리케이트와 NaOH으로 구성된 활성화제를 사용하고 90℃ 정도의 고온양생을 걸쳐 압축강도 30~70MPa의 지오폐리머 콘크리트를 개발하고 있다. 또한 Melbourne 대학의 Deventer 교수는 기술개발 결과를 토대로 Zebond라는 회사를 창립하여 20~50MPa 정도의 지오폐리머 콘크리트를 레미콘에서 생산하는 기술을 개발하였으며, 여기서 생산되는 지오폐리머 콘크리트는 일반 포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트에 비해 CO₂ 배출을 80% 이상 저감시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 일본의 야마쿠치대학의 Ikeda 교

수는 플라이애시 등의 활성 필러, 석영 및 산화철 등의 비활성 필러 그리고 쇼돔실리케이트 등의 알칼리 활성화제를 이용하여 상온양생으로 20~30MPa의 지오폴리머 콘크리트를 개발하여, 습도 및 온도 조절 기능을 가진 건설재료로써 활용하고 있다.



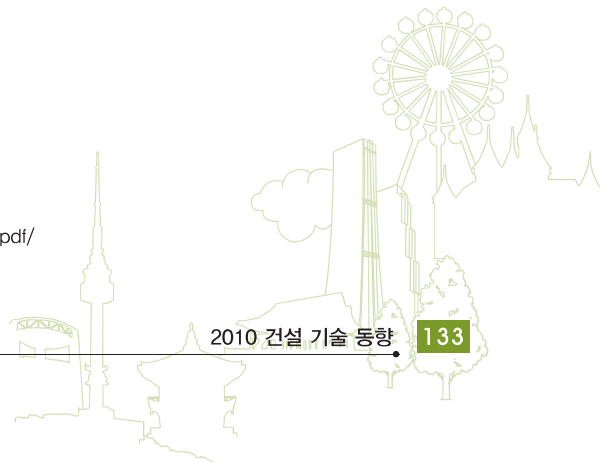
■ 관련(참고)사이트

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

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

■ 출처

Geopolymer Chemistry & Applications ebond_Engineering_Summary.pdf/



고주파 해머를 사용한 용접부의 피로수명 향상기술-HiFIT

송재준 (구조교량연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

용접, 피로수명, 고주파, 해머

04

구
조
교
량

용접이음은 강구조물의 연결에 보편적으로 사용되는 방법이다. 용접이음 구조물의 피로강도 또는 피로수명은 용접부의 품질에 의하여 결정되는 것이 대부분이다. 이 용접부의 품질을 향상시키기 위한 기존의 연마 또는 재가열과 같은 후처리 방법은 강구조물의 피로강도를 향상시키는 데 한계가 있다.

DYNATEC사에서 개발된 HiFIT(High Frequency Impact Treatment) 해머는 용접부의 후처리를 통하여 교번하중이 재하되는 강구조물의 피로강도와 피로수명을 현저히 높일 수 있는 장비이다. HiFIT 장비의 앞에 달린 핀은 볼펜모양으로 정해진 곡률로 제작되어 있으며, 장비에서 조작한 펄스가 이 핀을 통하여 구조물에 전달된다. 이와 같은 작업에 의하여 용접부의 끝부분의 날카로운 부분을 변형시키거나 부드럽게 해 줌으로써 품질이 향상되는 원리이다.



<그림 1> HiFIT-장비

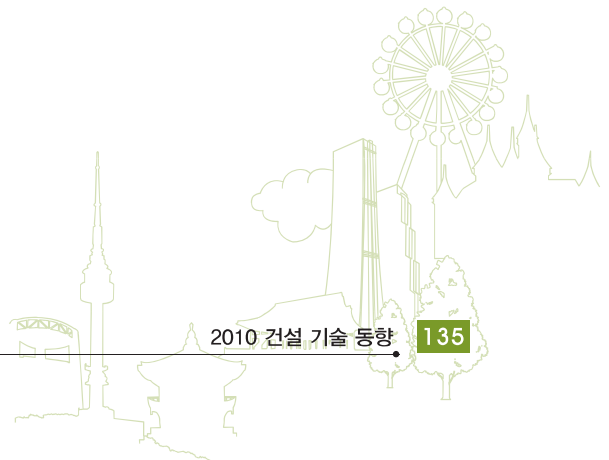
HIFIT를 사용한 용접부 후처리 방법은 강구조물의 수명을 연장하여 용접구조물의 경제성을 현저하게 향상시킬 수 있는 기술로서 강구조물의 경쟁력을 높이는데 큰 역할을 할 것으로 기대된다.



〈그림 2〉 기존의 도로선형과 도로다이어트 이후의 도로선형

■ 관련(참고)사이트
<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/home/>

■ 출처
Stahlbau/2009/09



탄소나노튜브(CNT) 보강 시멘트 복합체 개발 동향

강수태 (구조교량연구소 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조재료기술

키워드

탄소, 나노튜브, 시멘트, 복합체

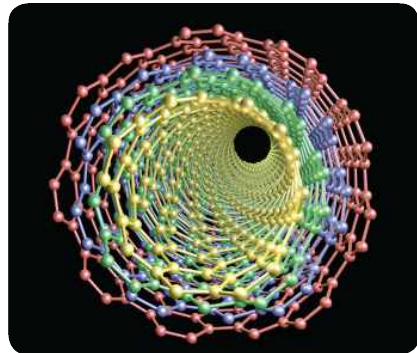
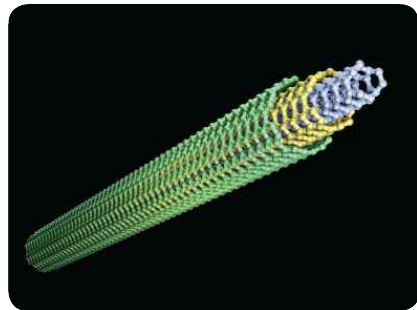
04

구
조
교
량

탄소나노튜브(Carbon Nanotubes, CNT)는 1991년 처음 발견되었다. CNT는 탁월한 역학적, 열적 및 전기적 특성을 가지고 있어서, 현재, CNT는 디스플레이, 컴퓨터 하드드라이브, 센서, 스포츠 장비, 페인트, 정유공정 등 매우 다양한 분야에서 활용되고 있다. 최근에 들어서는 건설재료로서의 활용에까지 그 영역을 넓히려 하고 있다.

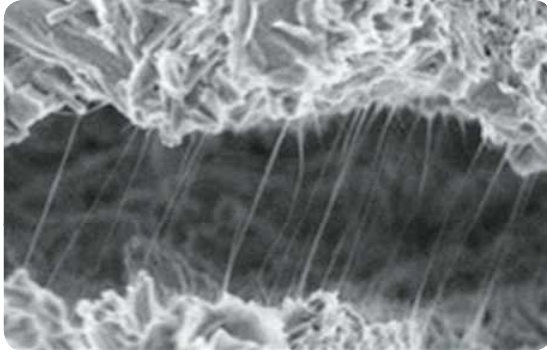
CNT는 그래파이트(graphite)의 변형된 형태로, 한 겹 또는 여러 겹의 그래파이트가 튜브 구조로 말려져 있는 상태로 생각할 수 있다. 한 겹으로 구성된 것을 SWNT(Single-Walled Nanotubes)라고 하고, 여러 겹으로 된 것을 MWNT (Multi-Walled Nanutubes)라고 부르고 있다. 아래 그림은 MWNT를 나타낸다.

역학적으로, CNT는 지금까지 발견된 재료 중에 가장 강한 재료라고 말할 수 있다. 탄성거동을 나타내며, 탄성계수가 1TPa 이상의 값을 가지며, CNT의 극한강도와 극한변형률은 측정이 힘들 정도이다. SWNT의 경우, 항복강도가 20에서 60GPa에 이르고, 측정된 항복 변형률은 10%까지 이르는 것으로 보고되고 있다. 이와 같은 CNT의 탁월한 역학적 특성은 건설 산업에서도 큰 관심을 불러 일으키기에 충분하다.



<그림 1>

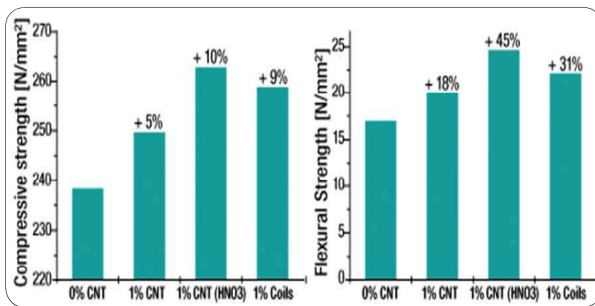
CNT는 탁월한 강도특성과 함께 매우 높은 형상비(길이/직경, 1000 이상)를 가지고 있어서 시멘트 복합체의 보강 섬유로서 매우 이상적인 재료라고 할 수 있다. CNT의 직경은 일반적으로 SWNT는 1~3nm, MWNT는 10~40nm 범위를 나타내는데, 이와 같은 CNT의 나노 크기 직경과 매우 높은 형상비는 일반적으로 사용되는 보강 섬유에 비해 더욱 치밀하게 매트릭스 내에 분포될 수 있음을 의미한다. 따라서 매트릭스 내 균열 진전을 억제하는 효과가 훨씬 크고, 균열폭을 줄일 수 있는 효과가 있으며, 결과적으로 지금보다 훨씬 강하고 인성이 우수한 복합체의 제조가 가능하다.



〈그림 2〉

하지만 아직까지 이에 관한 연구는 극히 초기단계에 머물러 있으며, 예상만큼의 성과를 얻고 있지 못하는 것이 현실이다. 그 원인으로, 첫 번째는 매트릭스 내 CNT의 고른 분산을 얻는 데 있어 매우 큰 어려움이 있기 때문이다. 이를 해결하기 위해 계면활성화, 초음파 처리 등으로 많은 노력들이 이루어지고 있지만, 아직 만족할만한 단계까지 이르지 못하고 있다. 두 번째는 CNT와 매트릭스 사이의 부착력을 확보하는 것이다. 이 또한 현재 원하는 수준의 부착력을 얻기 위해 지속적으로 연구가 진행되고 있다.

최근 독일의 Bayer 사에서는 고성능 콘크리트에 CNT를 보강한 복합체에 대한 역학적 성능 연구 결과를 발표하였는데, 그 결과에 따르면 약 45% 정도 휨강도가 향상됨을 보였다. 또한 Siegen대학에서는 콘크리트 카누를 만들어 CNT 보강 시멘트 복합체의 다양한 기능성을 보이기도 하였다.



〈그림 3〉



〈그림 4〉

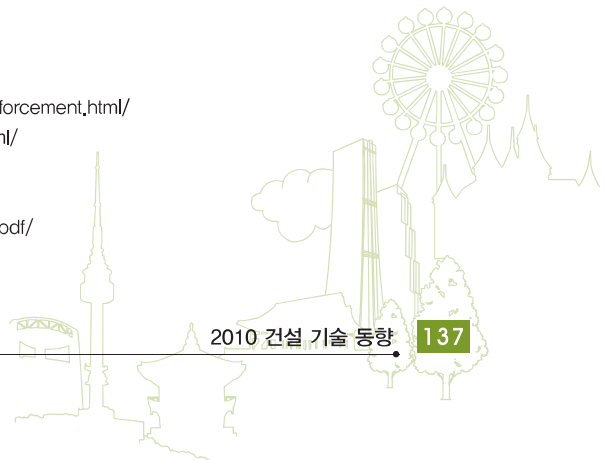
이 외에도 CNT는 합성방법에 따라 전기적으로 도체와 반도체의 성질을 가질 수 있으며 전기적으로 비등방성을 가질 수도 있다. 또한 열전도성도 매우 우수하기 때문에 일반 콘크리트와는 차별화된 목적으로 다양하게 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

■ 관련(참고)사이트

http://www.baytubes.com/research_and_development/concrete_reinforcement.html/
<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/projects/irc/nanotube-composite.html/>

■ 출처

<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc46618/nrcc46618.pdf/>



극한환경 대응 구조물 건설기술 개발 동향

신현섭 (구조교량연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

극한환경, 저온 인성, 강재 선정기준, Jacking System

04

구
조
교
량

최근 아라온호가 제2남극기지 구축을 위한 건설후보지 조사를 성공적으로 수행하고 귀환한 것이 각종 언론 매체를 통해 대대적으로 보도되고 있는 것처럼 남극대륙과 같은 극한환경에서의 구조물 건설은 빠른 속도로 구체화 되고 있다. 그동안 인간이 거주하기에 부적합한 것으로만 여겨졌던 남극대륙에 새로운 기지를 구축하고 연구활동을 수행하고자 함은 급속도로 진행되고 있는 지구 온난화에 의한 환경변화를 평가함에 있어서 남극대륙의 연구가치가 매우 높기 때문이다. 또한, 에너지와 식량문제 해결을 위한 극지자원의 필요성과 첨단 과학기술 발전에 따른 극지개발의 가능성이 증대됨에 따라 세계 각국은 국가차원의 지원 하에 기득권 확보를 위해 남극연구 및 탐사에 집중적인 노력을 기울이고 있다.

2007년에 완공된 미국 Amundsen-Scott 기지는 3,200m 두께의 빙상 위에 건설되었다. 이 기지는 돔 형태의 구기지가 빙상의 흐름과 적설로 인해 눈에 묻히는 점을 극복하기 위해 Jacking System을 이용하여 원래 길이의 두 배까지 연장이 가능한 36개의 기둥을 설치하고 본기지 건물을 강관 기둥 위에 얹힌 고상식 구조를 취하고 있다. 암반이 아닌 빙상 위에 구조물의 건설이 가능했던 것은 지중보 역할을 하는 가로 610mm, 세로 710mm의 강박스 거더들로 구성된 격자구조를 빙상에 거치함으로써 36개의 기둥으로부터 전달되는 건물 하중을 빙상에 분산시킬 수 있었기 때문이다. 이때 기둥 위 상부구조물에 ASTM A572 Gr.50 강재가, 그리고 기둥에는 저온에서도 인성이 우수한 API5LX 강재가 사용되었다. 기둥에 API5LX 강재가 사용된 것은 -51.7℃까지 내려가는 기온에서 기지 차량의 충돌로 발생할 수 있는 강재의 취성 파괴를 방지하기 위함이다. 국내 도로 교표준시방서에서는 기온이 현저하게 저하되는 지방에서의 강종의 선정에는 특별한 주의를 기울이도록 하고 있으며, 2008년 9월 1일의 중간 개정판에서는 교량용 강재의 경우 -15℃, -25℃, -35℃ 등 3가지 온도 구역별로 적용이 가능한 강재 및 최대 허용 두께에 대한 기준을 마련하였다. 그러나 국내의 경우 극한 저온에 대한 우려가 없으므로 -50℃까지 내려가는 지역에서 구조용 부재로 어떠한 강재가 사용되어야 한다는 기준은 없으며, 일본의 경우에도 시방서에는 극한냉지 강재선정 기준에 대해 규

<그림 1>



정이 없고, 다만 지역별로 선정 기준을 별도로 정하여 사용하고 있다.



〈그림 2〉

2009년 2월 남극대륙 빙상 위에 완공된 독일의 Neumayer III 기지 또한 강설량이라는 제한요인을 극복하기 위하여 특수한 Jacking System을 도입하였다. 자중 및 적재하중을 포함하여 2,555 톤에 이르는 건물 하중은 특수하게 제작된 Hydraulic Jacking System에 의해 지지되며, 이에 의해 기지 건물은 최대 3m까지 상승이 가능하다. 이는 기둥마다 일정한 길이의 새로운 강관 기둥을 삽입함으로써 건물 높이를 조절하고 있는 미국의 Amundsen-Scott 기지에 비해 강설량에 의해 기지가 묻히는 경우뿐만 아니라 구조물에 부등침하가 발생했을 때에도 내부에 설치된 유압장치를 사용하여 구조물의 레벨을 조정할 수 있도록 설계되었다. 또한, 구조물에 발생하는 부등침하는 자동 계측시스템에 의해 모니터링 되고 있다.

우리나라의 세종과학기지가 위치한 남극 킹조지섬의 연평균기온은 $-3.0\sim-0.5^{\circ}\text{C}$ 이고, 기록된 가장 낮은 기온은 -25.6°C 로서 남극대륙의 -50°C 를 넘나드는 지역에 비하면 비교적 온난한 지역에 건설되었으나, ENEIDE 기상관측 자료에 의하면 제2남극기지 후보지로 선정된 Terra Nova Bay의 경우 월평균 최저기온이 -28.2°C , 관측 최저기온은 -40°C 전후의 분포를 보인다. 이러한 극한환경에서는 급속시공이 가능한 모듈화 조립식 공법의 적용이 필요하며, 특히 건설재료의 선정에 있어서 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

■ 관련(참고)사이트

<http://www.nsf.gov/od/opp/support/southp.jsp/>
http://www.awi.de/en/infrastructure/stations/neumayer_station/

■ 출처

http://pub.dibral.at/Interessantes/Technisches/Justierbare_Fundierung.pdf <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA443397&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf/>



콘크리트 부유식 LNG 터미널 건설 동향

정연주 (구조교량연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

부유구조체, 콘크리트, LNG 터미널, 해양구조물

04

구
조
교
량

가까운 미래의 세계 에너지 시장에서 LNG(Liquefied Natural Gas, 천연액화가스)가 차지하는 중요도는 오늘날의 석유에 버금갈 것으로 전망되고 있다. 이러한 배경 하에 최근 LNG 터미널 건설이 세계적인 흐름을 타고 있으며 LNG 터미널에 대한 수요가 5년 이내에 두 배 이상에 이를 것이란 전망이 나오고 있다.

LNG 터미널은 일정 지역에 수입되는 많은 양의 LNG를 소비지에 분배시키는데 중요한 역할을 담당하는 에너지 네트워크의 일환이며, 시장의 증가하는 에너지 수요를 충족시키기 위해 미국, 멕시코, 이탈리아, 서아프리카, 동티모르 등에서 신규 LNG 터미널 건설을 계획하고 있다.

LNG 터미널의 입지 선정 시에 육상 부지도 많이 검토되고 있지만, 최근에는 해상에의 설치가 주된 관심사이며 이를 실현하기 위한 노력이 지속되고 있다. 이는 세계적으로 천연가스전이 대부분 해상에 위치하고 있고, 해상 무역에 절대적으로 의존적이며, 육상 터미널은 건설비용, 환경, 보안 및 항구 접안시설 등의 문제점으로 해상에의 설치가 보다 경제적이기 때문이다.



<그림 1>



<그림 2>

콘크리트 LNG 터미널에서는 콘크리트 부유구조체에 의한 부유식 또는 착저식을 채용하고 있는데, 부유식은 아시아, 서아프리카 등과 같은 온화한 해상에 적합하고, 착저식은 북해, 대서양과 같은 험한 해상과 얇은 수심에 적합한 구조 형식으로 알려져 있다.

콘크리트는 극저온에서 오히려 압축강도가 증가하고 취성이 없는 재료특성으로 우수한 거동을 나타내어, 극저온(-160℃)의 LNG에 가장 적합한 재료로 알려져 있다. 또한, LNG 무역이 한국, 일본, 호주 등의 온화한 바다 중심에서 벗어나서 사할린, 바렌트해 등의 극지 해양으로 점차 확대됨에 따라 콘크리트는 이들 험한 해양 환경에도 적합한 구조재료로서 각광을 받고 있다.

이외에도 부유식 LNG 터미널 건설에 콘크리트의 장점은 많이 있지만 강재 대비 현저하게 무겁다는 단점이 있다. 콘크리트의 무거운 중량은 상대적으로 큰 흘수를 필요로 하고 이는 경제성뿐만 아니라 설치 해역의 수심에 종속적인 요인으로 작용하기도 한다. 이러한 단점을 극복하기 위해 2007년부터 획기적인 기술적 진전을 가져온 초고성능 콘크리트(Ultra High Performance Concrete)를 적용하려는 시도가 진행되고 있다. Keppel O&M사는 초고성능 콘크리트를 이용하여 대형 콘크리트 부유구조체 건설이 가능한 새로운 부체(Hull) 형식을 개발하였으며, 이는 포스트 텐서닝 기술과의 결합으로 가벼우면서도 내구성과 구조성능이 향상된 콘크리트 부유구조체 건설을 가능하게 한 것으로 평가받고 있다.

또한, 현재의 해양 LNG 터미널용 콘크리트 부유구조체는 육상의 LNG 터미널과 해양 구조물 설계기준을 바탕으로 설계·시공되고 있는데, 부유구조체의 특징상 도크에서 제작되고 설치 해역까지의 해상 인양 및 해상에서의 사용 등에 따라 특별한 기준을 충족시켜야 한다. 대표적으로 DNV(Det Norske Veritas)에서는 험한 해역에의 설치를 위해 파랑에 대한 부유구조체의 흔들림 제어, 내부 액체의 출렁임에 대한 충격력(Sloshing), 극지의 낮은 온도와 빙하 충돌에 대한 문제점들을 해결하고 이를 설계기준에 반영하려는 노력을 진행 중에 있다.

이미 사용 중인 Adriatic(이탈리아 2008), Nkossa(콩고 2004), Adijuna Sakti(인도네시아 1994) 등의 콘크리트 부유식 LNG 터미널을 포함하여, 여기에서 파생된 콘크리트 부유구조체 건설 기술은 신개념 항만, 해상 신재생 에너지 단지 등 해양 구조물의 설계에 지대한 영향을 미칠 전망이다.



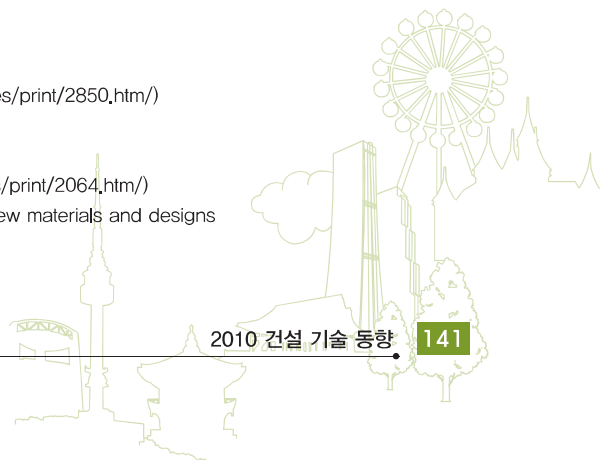
〈그림 3〉

■ 관련(참고)사이트

Concrete concepts for offshore LNG (<http://www.epmag.com/archives/print/2850.htm/>)

■ 출처

- Safety drives concrete LNG sites (<http://www.epmag.com/archives/print/2064.htm/>)
- Offshore structures in the arctic Keppel meets the challenge with new materials and designs (<http://www.oilandgaseurasia.com/articles/p/100/article/915/>)



미국의 UHPC 교량 연구 동향

김영진 (구조교량연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

고강도콘크리트, UHPC, 교량

04

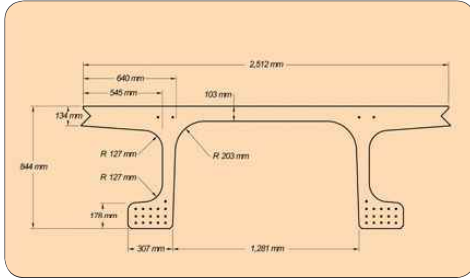
구
조
교
량

UHPC(Ultra High Performance Concrete)는 낮은 물-시멘트 비율을 가지고 있고, 높은 비율의 실리카퓌름과 약 2%vol. 비율의 강섬유를 포함하고 있다. UHPC는 높은 점성 및 큰 자기수축 특성 등 일부 단점을 지니고 있지만, 보통 콘크리트(40MPa)와 비교하여 압축강도는 4배 이상, 인장강도는 3배 이상을 보인다. 따라서 이를 구조 부재에 적절히 활용하면 효율적인 단면 설계에 따른 경제적인 구조물 건설이 가능할 것이다. 이에 주목하여 미연방도로국(Federal Highway Administration, FHWA)에서는 2001년부터 차세대 콘크리트 기술로서 UHPC에 대한 연구를 시작하여 Mars Hill Bridge, Cat Point Creek Bridge, Jakman Park Bridge 등 3개의 교량을 건설하였다.

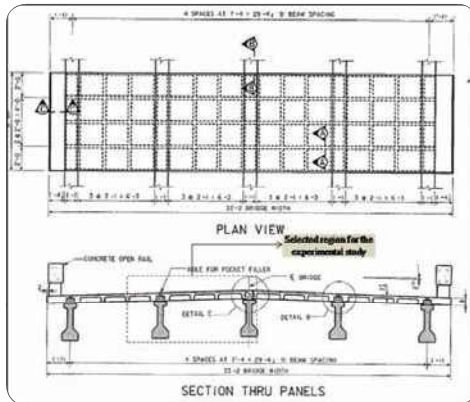
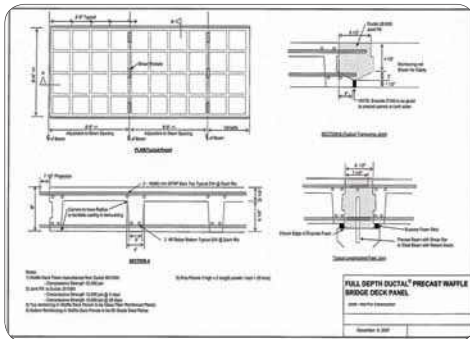
Mars Hill Bridge는 Iowa주의 Wapello County에 2006년 건설된 미국 최초의 UHPC 교량으로서 경간 길이는 33m이고 거더 높이는 3.5m이다. 이 교량의 설계는 프랑스의 설계지침을 따랐으며, 실험실에서 길이가 22m인 거더 실험체의 실증 실험을 통해 안전성을 확인한 후 시공되었다. 특징적으로는 UHPC에 포함된 강섬유의 역할을 고려하여 별도의 전단보강을 하지 않았다. 2번째 UHPC 적용 교량으로서 Virginia주 Richmond County에서 2008년 10월 Cat Point Creek Bridge가 개통되었다. 10경간 중에서 지간 길이가 24.8m인 하나의 경간에 UHPC가 적용되었으며 거더 높이는 1.1m로서, 기존의 PSC 거더를 하나씩 교체하여 가설되었다. UHPC의 높은 허용인장 특성을 감안하여 여기서도 전단 보강 철근을 배근하지 않았다.



FHWA와 Iowa DOT는 2세대 UHPC 거더 모듈을 이용하여 3번째 교량을 설계하였다. 2세대 UHPC π 형 거더는 1세대 프로토타입과 유사한 형태이지만 제작성 및 현장 조립성이 개선되었으며 구조적인 성능이 대폭 향상되었다. 바닥판의 두께와 폭이 증가되었고, 복부의 간격이 좁아졌으며 바닥판과 복부간 연결부가 곡선으로 처리되어 보강되었다. 지간 길이 26.5m에 대해 2.54m의 폭과 0.84m의 거더 높이를 가지고 있으며, 거더 당 16개의 스트랜드로 긴장력을 도입하고 있다. FHWA는 UHPC 구성요소의 개념설계를 실시하고 Iowa DOT는 나머지 전체 설



계를 진행한 후 2008년 11월 Iowa주 Buchanan County에 이 차세대 π 형 거더 교량을 건설하였다. 처음 2개의 교량보다 UHPC의 장점을 적극 활용한 최적구조를 적용하였는데 의미가 있다고 판단된다. 2010년 4월 Iowa State University에서는 Full depth UHPC Waffle Bridge Deck과 그 연결부를 개발하고 Iowa Wapello County의 기존 교량에



적용하기 위해 설계를 완료하였다. 이와 같이 프리스트레스트 거더 및 바닥판을 좀 더 길고 가벼운 상부구조로서 적용할 수 있는 장점을 수용하여 미국에서는 UHPC를 활용한 교량이 지속적으로 시도되고 있으며 향후 더욱 증가할 것으로 예상된다. Florida와 Georgia, New York 등에서도 고속도로 교량에 UHPC의 활용을 적극 검토하고 있으며, 일부 DOT에서는 고내구성이 요구되는 포장과 교량 바닥판 사이의 접속슬래브, 프리캐스트 모듈의 연결부 등에 대해서도 UHPC를 적용하려는 시도가 진행되고 있다.

■ 관련(참고)사이트

- <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/09069/index.cfm/>
- <http://www.fhwa.dot.gov/hfl/partnerships/coreslab/phase1/index.cfm/>

■ 출처

- UHPC Making Strides
- <http://www.fhwa.dot.gov/publications/publicroads/09janfeb/03.cfm/>



방사성 폐기물 처분시설의 공학적 방벽에 대한 실증실험시설 연구동향

김도겸 (구조교량연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

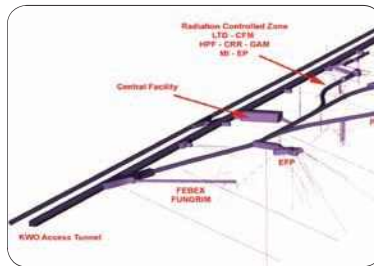
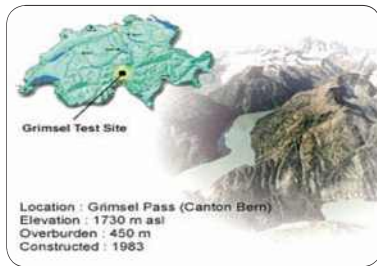
시멘트, 방사성폐기물, 공학적방벽

04

구조교량

1. Grimsel 실증 실험시설

현재 스위스는 Nagra시에 방사성폐기물 처분시설 관련연구를 수행하는 그림셀 실증실험시설(Grimsel test site)을 운영 중에 있다. 이 연구 시설은 스위스 중부의 화강암 암반내 지하 450m 깊이에 위치하고 있으며, 1983년에 동굴형태(carven type) 터널 굴착을 시작으로 1995년, 1997년, 2000년 3차례에 걸쳐 터널을 확장하고 총 연장 약 1Km에 달하는 방대한 연구시설을 구축하였다.



이곳에서는 스위스, 스페인, 독일, 미국, 일본, 대만, 핀란드, 프랑스, 유럽연합 등이 참여하는 국제공동연구단을 중심으로 20년 이상 지질, 지구물리, 수리, 암반 및 핵종이동과 관련한 다양한 실험과 연구가 수행되고 있다.

<그림 1> 셀 실증 실험실 개념도

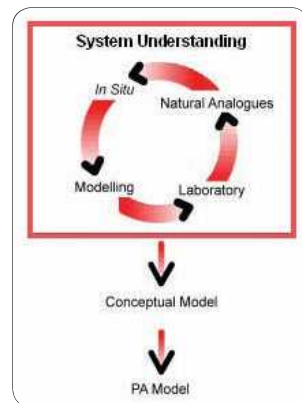
2. 시멘트 장기특성 연구

● 2.1 목적

그림셀 실증실험시설에서는 총 6 Phase에 대한 연구를 수행하고 있으며, 이중 콘크리트 재료 연구 분야로는 시멘트 장기특성 연구(LCS ; Long-term Cement Studies)가 있다. 이 연구는 중·저준위 방사성 폐기물 처분시설에 건설되는 공학적 방벽(Engineered Barrier)에 대한 장기열화(Aging)를 예측하기 위하여 진행되는 것으로, 실험실연구-모델링-실증연구가 유기적으로 결합된 연구체계를 구성하여 <그림 2 참조>, 콘크리트 및 시멘트 수화물의 장기반응성 및 열화에 대한 기초자료를 만들어 내고 있다.

방사성 폐기물의 처분은 일반적으로 천연방벽(암반)과 공학적 방벽(콘크리트)의 다중방벽개념을 적용하고 있으며, 공학적 방벽은 방사성 폐기물에서 발생하는 오

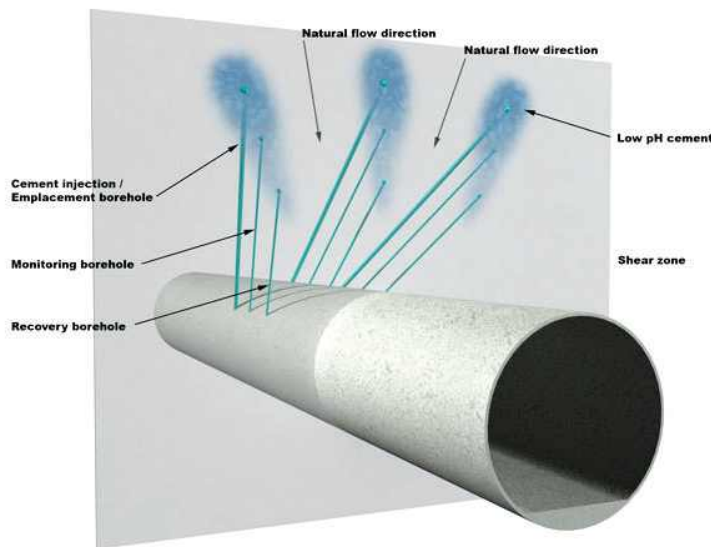
<그림 2> 연구 체계 구성



염물질의 생태계 유출을 억제하고 처분시설 내로의 지하수 침입을 방지하는 핵심적인 역할을 수행하기 때문에 그 수명은 중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 안전성평가에 있어서 핵심적인 입력변수가 된다. 공학적 방법은 콘크리트로 제작되기 때문에 수리전도도는 매우 낮지만 지하처분 개념 하에서 처분시설 주변 지하수와와의 반응을 피할 수 없기 때문에 장기간의 콘크리트-지하수 반응에 의해 열화가 진행되어 주위 생태계로의 핵종 유출을 야기할 수 있다. 따라서 장기간에 걸친 공학적 방벽과 지하수와의 반응, 특히 콘크리트-지하수 반응 및 이로 인한 콘크리트 방벽내 시멘트계 물질의 물리·화학적 변화특성을 예측할 수 있는 지하화 모델의 개발이 필수적으로 요구된다.

● 2.2 연구주제

연구 주제 별로 살펴보면, 실증실험 연구, 데이터베이스 확보, 열역학 모델링, 실험실연구 수행 등의 4가지로 구분할 수 있다. 실증실험연구의 경우에는 HPF (Hyperalkaline Plume in Fractured Rock) 연구를 통하여 경계조건과 수리구배에 대한 과학적인 해석을 시도하고 있으며, 보통포틀랜드시멘트뿐만 아니라 저 알칼리시멘트에 대한 다양한 핵종들과의 반응성 분석 및 장기열화손상에 관련된 다양한 실증실험을 실시하고 있다. 이러한 연구의 결과는 현존하는 열역학 데이터베이스의 확보 및 수정에 활용된다. 여기서 열역학 데이터베이스란 시멘트 수화물이 장기적으로 변화하는 특성을 열역학적 평형상태를 고려하여 구성된 열역학 모델에 의해 해석될 수 있도록 제공되는 기초자료를 의미한다. 열역학 모델링 연구는 처분시설내 공학적 방벽의 열화(aging)과정을 해석하는 것으로 자연상태에서는 수십년 동안의 열화과정을 실험하기에도 무리가 있으므로 축진실험 등의 실험실연구를 통하여 얻은 결과를 토대로 열역학 모델링을 실시하여 약 2만년까지의 열화과정을 해석하게 된다.



〈그림 3〉 실증 실험 개념도

● 2.3 실증실험 방법

borehole에 시멘트 페이스트 혹은 콘크리트를 설치하여 지하수와의 반응에 따른 변화 특성을 분석하고, 지하수 흐름방향에 추가적인 borehole을 설치하여 지하수 시료를 채취한 다음, 처분시설 주위의 지구화학적 특성변화를 분석한다.

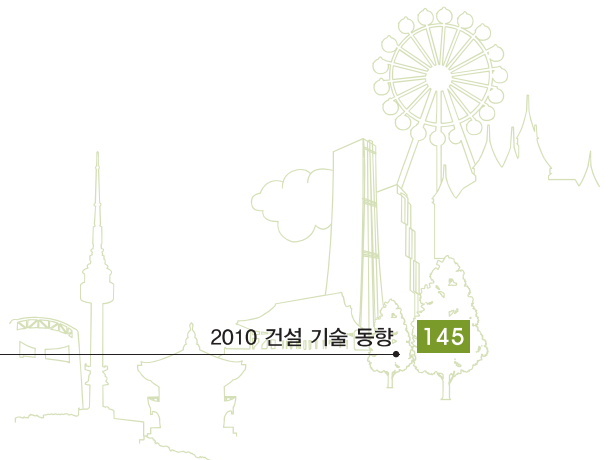
■ 관련(참고)사이트

<http://www.grimsef.com/index.php/>

■ 출처

<http://www.grimsef.com/gts-phase-v/hpf/hpf-introduction/>

<http://www.grimsef.com/gts-phase-v/febex/febex-i-introduction-/>



비파괴 평가 기법 기술 동향

정우태 (구조교량연구실 / 전임연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

자기다짐 콘크리트, 프리캐스트, PSC 교량

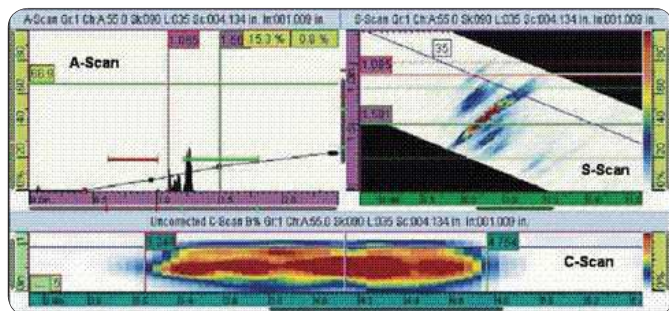
04

구
조
교
량

미연방도로국(FHWA) 산하의 비파괴평가센터(NDEC, Non-Destructive Evaluation Center)는 도로교의 점검을 개선시키기 위해 1998년도에 설립되었다. NDEC NEWS는 이 센터의 소식지이며, 2010년 3월호에서 강교의 피로 균열 및 RC 구조물의 부식 감지 비파괴 평가 기법에 대해 소개하고 있다.

Evaluation of NDE Technologies for Fatigue Crack Detection

강교에 대한 실험은 주로 피로 균열 감지 및 모니터링에 중점을 둔 프로그램으로서 균열의 위치, 형상 및 진행 상태를 알 수 있도록 개선했다. 현재까지 실험실에서 비파괴 평가기법을 평가했고 향후에 교량 현장점검을 수행할 예정이다. 비파괴 평가기법은 균열 탐지 기법과 균열 모니터링 기법으로 나뉘며, 이 프로그램에서 평가되는 균열탐지기법은 위상배열 초음파검사(PAUT, Phased Array Ultrasonic Testing) 시스템과 배열와전류센서(ECAS, Eddy Current Array Sensors)이다. 균열 모니터링 기법은 전기화학적 피로 센서(EPS)와 음향방출(Acoustic Emission) 시스템을 평가했다.



〈그림 1〉 PAUT 시스템 복합 스캔 형상

NDE for Corrosion Detection in Reinforced Concrete Structures

NDEC에서는 콘크리트의 비파괴 평가를 위한 벤치마킹을 수행하고 있다. 본 사업은 콘크리트에서 부식 전파를 감지하기 위해 비파괴시험을 평가하는 것으로서 베를린공대, 버몬대, 캘리포니아대 등 미국과 유럽의 부식 및 비파괴 전문가들로 위원회를 구성했다. 평가를 위해 피복두께를 다르게 한 철근이 있는 교량 바닥판과 긴장재에 응력을 가하지 않은 박스 거더 플레이트 시편을 제작하였고, 평가 시에는 반자동 NDE 스캐너시스템을 적용하였다.



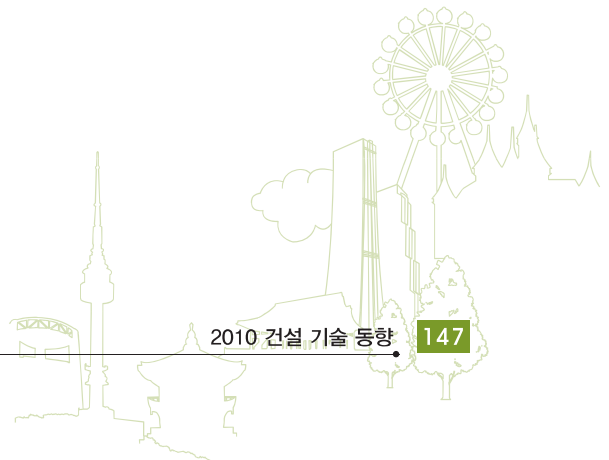
〈그림 2〉 반자동 스캐너 전경

■ 관련(참고)사이트

<http://www.tfhr.gov/hnr20/nde/home.htm/>

■ 출처

http://www.fhwa.dot.gov/publications/ndec/NDECNews_Mar10.pdf/



일본의 저소음 강철도교 개발 동향

강재운 (구조교량연구실 / 수석연구원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

철도교, 강교량

04

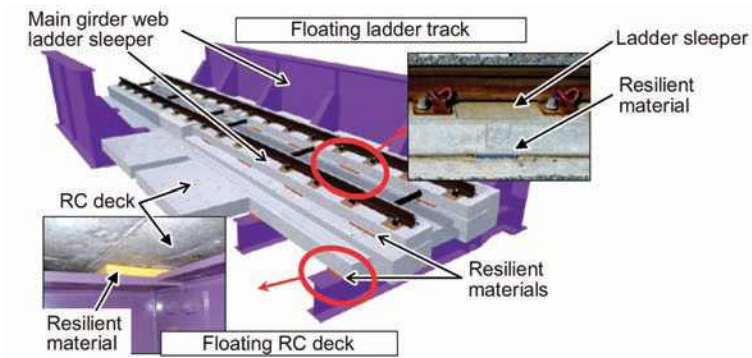
구
조
교
량

강철도교는 재료 강성을 이용하여 장경간화할 수 있고, 현장제작이 간편하다는 점과 품질관리가 용이하다는 장점이 있지만 박판(thin-plate)구조의 강교량은 많은 소음을 발생할 우려가 있다는 단점을 갖는다. 이에 일본 철도총합기술 연구소(RTRI)는 열차 주행시 소음 발생을 줄일 수 있는 신형식 강철도교를 개발하였다.

저소음 강철도교 구조 개요 그림 1은 저소음 강철도교의 구조 개념을 보인 것이다. 진동을 줄이기 위해 사다리형의 부유식 궤도(floating ladder track)를 채용하고, 콘크리트 바닥판을 탄성재료가 지지하도록 하여 강재 프레임 구조와 연결한 구조로서, 열차주행시 발생하는 진동과 충격량을 콘크리트 슬래브 바닥판과 강재지지궤도구조 사이의 탄성체가 흡수하도록 하였다. 이를 통해 콘크리트 강결 지지조건에 비해 진동가속도를 약 12% 정도 감소시킬 수 있으며, 진동 및 충격에 의해 발생하는 구조 소음(structure-borne noise)을 현저하게 감소시킬 수 있다. 이로 인해 차량 주행시 발생하는 소음으로 도심지 철도교 건설에 제약을 받는 경우에도 적용할 수 있으며, 낮은 형고를 갖는 장점을 통해 도심지 미관에도 긍정적인 효과를 거둘 수 있다.



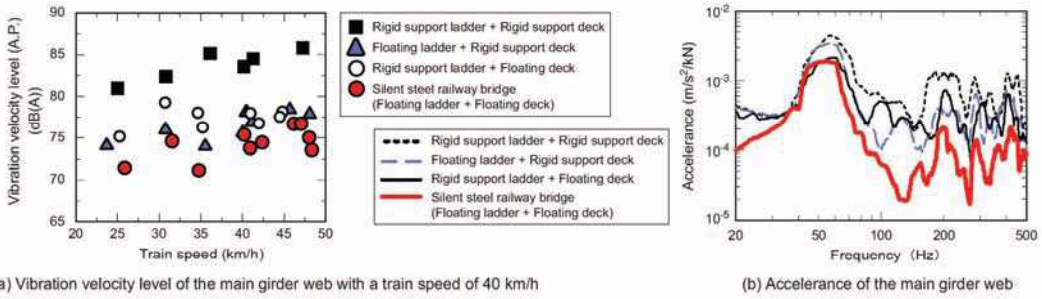
〈그림 1-1〉 저소음 강철도교의 개념



〈그림 1-2〉 저소음 강철도교의 개념

저소음 강철도교의 소음 감소 효과

RTRI 연구소내에 건설된 시험교량을 대상으로 차량주행 및 충격에 대하여 소음발생 수준과 진동가속도를 계측한 결과, 40km/h 주행시 강결지 지 구조에 비해 탄성체를 이용한 부유식 궤도구조가 약 10,1dB의 소음이 감소하는 것으로 나타났고, 주 거더의 진동가속도는 약 50Hz 정도 감소하는 것으로 나타났다.



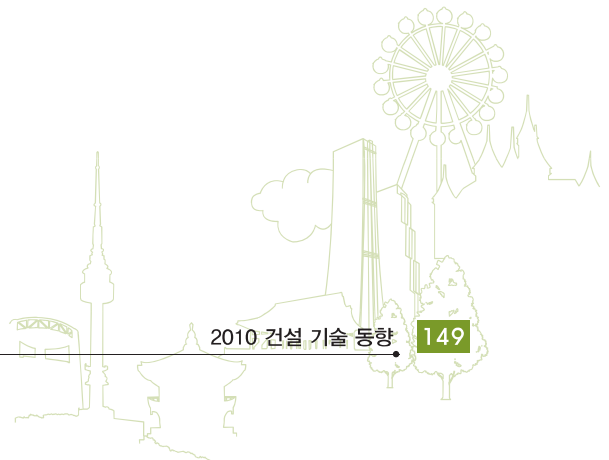
〈그림 2〉 열차 주행시(40km/h) 소음 수준 및 진동가속도 비교

■ 관련(참고)사이트

<https://webform.rtri.or.jp/ent/entry/backnumbers.html#32>

■ 출처

<http://webform.rtri.or.jp/ent/entry/backnumbers/32/RTA-32-190.pdf>



대만지진공학연구소(NCREE)의 대형 구조실험동 현황

김성욱 (구조교량연구실 / 연구위원)

- >> 1차분류 | 토목구조
- >> 2차분류 | 구조 및 교량기술

키워드

지진, 내진, 실대형 구조실험

04

구
조
교
량

1. 연구소 연혁 대만지진공학연구소(National Center for Research on Earthquake Engineering, 이하 NCREE)는 대만의 국가과학기술위원회와 국립대만대학의 협력 하에 1990년도에 설립되었으며, 2003년도에 대만의 국가 연구센터의 효율화 작업의 일환으로 개편된 10개의 국가실험실(National Applied Research Laboratories, NARL) 중 하나의 국가실험실이다.

2. 주요 기능 대만은 환태평양 플레이트의 가장자리에 위치하여 지진이 잦은 국가이며 최근 지진의 강도도 점차 높아지고 있다. NCREE는 지진발생 전, 비상 시 대비 및 지진 발생 후 복구 등의 상황에 관련하여 대학의 연구진과 함께 지진에 의한 인명과 재산의 손실을 최소화 할 수 있는 기술을 실증실험에 의해 정립하는데 전략적 목표를 설정하고 있다.

NCREE는 국제협력을 통하여 지진대에 위치한 국가 간의 국제적인 연구 및 기술협력을 독려하고 이를 통하여 NCREE의 국제적 위상을 높이며, 실대형 구조 및 내진 실험법을 개발하고, 이를 통해 건축 및 토목구조물의 설계를 개선하며 지진에 대한 구조물의 안전을 확보할 수 있는 기반 기술을 제공한다.

3. 주요 실험시설 (1) 진동대 (Shaking Table)

NCREE의 진동대는 3방향의 변위와 각 변위점에 회전 절점을 둔 6자유도를 지니고 있으며 이 자유 절점은 시뮬레이터에 의해 조정된다. 진동대의 크기는 5m×5m로 시험이 가능한 시험체의 최대 중량은 50톤 정도이다. 이 진동대는 박스형의 플랫폼을 지니고 있으며 이 플랫폼은 최대 시험하중 상태에서도 큰 힘 및 비틀림 강성을 지닐 수 있도록 설치되어 있다(사진 1).

(2) 반력대 (Reaction System)

NCREE에 설치된 반력대는 다양한 실대형 또는 축소모형 구조시험이 가능토록 설치되어 있으며, 이 반력 시스템을 이용하여 Multi, Large Scale의 정적 및 동적 구조실험이 가능하도록 설치되어 있다. L자 형의 반력벽은 단계별로 6m, 9m, 12m 그리고 15m 높이로 나누어 설치되어 있어서 실험의 종류에 따라 반력능력을 극대화할 수 있도록 설계되어 있다. 반력상은 60m×29m×1.2m의 고강도 철근콘크리트 구조로 구성되어 있으며 실대형 구조실험에 충분한 규모를 갖추고 있다(사진2, 3).

(3) 다축 구조실험 시스템 (Multi-Axial Testing System, MATS)

MATS 실험시설은 6절점 자유도를 지니고 있는 구조실험시설이다. MATS는 X, Y, Z 3방향으로 하중을 가력할 수 있으며 시험체에 대하여 실제 자연 상태에서 작용하는 하중을 재연할 수 있다. 또한 연직 방향의 하중을 극대화하기 위해서 프리스트레스 강봉으로 구성된 PSC 구조형식의 반력기둥(Reaction Column)을 도입함으로써 기존 UTM이나 Actuator 시스템에서는 구현이 어려운 구조계를 갖추었다. 최근은 내진과 관련된 VE 댐퍼, 강재 브레이싱 보강시스템, LRBs 및 RC기둥의 2축 하중 재하실험 등을 수행하고 있다(사진4).



<그림 1> 진동대 실험시설



<그림 2> 반력벽 실험시설



<그림 3> 반력시스템 활용 내진실험



<그림 4> 다축 구조실험시설 (MATS)

- 관련(참고)사이트
<http://www.ncree.org.tw/>
- 출처
NCREE Guide Leaflet

