특수교 유지관리센터 소개
Introduction of Long Span Bridge Management Center

김 규 선
한국시설안전공단
특수교유지관리센터 처장
공학박사
gskim@kistec.or.kr

유 동 우
한국시설안전공단
특수교유지관리센터 센터장
공학박사/구조기술사
ydw@kistec.or.kr

1. 서 론

1994년 성수대교 및 1995년 삼풍백화점 붕괴이후,『시설물의 안전관리에 관한 특별법』이 제정되었고 시설물의 유지관리에 대한 중요성을 인지하여 체계적인 점검 · 보수 등 유지관리업무가 적극적으로 수행되고 있다. 그러나 유지관리분야의 선진국인 미국의 경우, 오랜 유지관리 역사 및 체계적인 시스템을 갖고 있으나, 2007년 미네소타주에서 8차선 교량이 붕괴되어 수십명의 사상자를 발생한 사례는, 시설물의 위험도를 사전에 파악하여 구조물을 지속적으로 안전하게 사용할 수 있는 적극적이고 과학적인 유지관리가 필요하다는 점을 시사하고 있다. 국내의 경우에도, 2014년 이순신대교의 와류진동발생, 2015년 서해대교의 낙뢰로 인한 케이블파단 사고 등 특수교량의 과학적 유지관리 및 재난대응체계 중요성이 최근 대두되고 있는 실정이다.

교량의 유지관리는 기본적으로 엔지니어의 직접적인 육안점검을 통해 이루어져 왔다. 이러한 점검방식은 구조물 상태에 대한 장기적이고 지속적인 관리가 힘들며, 구조물의 이상거동에 의한 긴급상황을 사전에 파악할 수 없기 때문에 신속한 조치가 어려운 문제점이 있다. 특히 사장교, 현수교 등 특수교량의 경우, 구조계가 복잡해서 신속한 육안점검으로 전체 구조계를 파악하기 어렵다. 따라서 이러한 문제점을 보완하고자 중요 부재에 대한 국부거동을 분석할 수 있는 계측센서를 설치하여 전반적인 구조거동을 파악할 수 있는 계측시스템이 확대 · 설치되고 있다. 이와 같은 시스템의 운용은 IT기반 분야와 접목되어 계측된 정보를 기반으로 한 합리적이고 과학적인 구조상태 분석을 가능하게 해준다.

최근까지의 국내 · 외 특수교량의 계측시스템 연구결과의 분석한 바에 따르면 교량구조물의 유지관리는 단순한 육안점검만이 아닌, 계측센서에 의해 취득된 데이터를 분석하여 교량 전반에 걸친 구

조거동을 평가하는 방향으로 발전되고 있다. 특히, 통신망 및 IT 기술의 발전으로 원격 계측관리가 가능해짐에 따라, 유지관리의 효율성 및 전문성을 확보할 수 있다. 반면, 현재까지는 서해대교, 영종대교 및 광안대교 등과 같이 대상교량의 관리주체가 한 · 두개의 관리대상교량에 대해서만 원격 계측시스템을 설치 · 운용 중인 경우가 일반적이다.

최근 일반국도상 케이블지지교량(Cable Supported Bridge)은 개소수가 증가하여 관리대상교량이 다수일 경우 교량별로 계측시스템을 운영할 경우 직 · 간접적 운영비용의 증가, 교량별 상이한 분석기법 및 평가에 따른 의사결정에 어려움, 교량 유지관리 정보 분석의 유연성 결여 가능성, 환경재난 발생에 대한 신속한 대처 불가 등의 문제점이 발생할 가능성이 있다.

본 논고에서는 다수의 국도상 특수교의 유지관리상 문제점을 해결하고, 대상교량을 체계적으로 통합 관리할 목적으로 2009년 한국시설안전공단 내에 설립된 "특수교 유지관리센터"의 현황 및 주요업무를 소개함으로서 이를 통한 특수교량 유지관리업무의 합리적이고 과학적인 방향을 제시하고자 한다.

2. 특수교 유지관리센터

2.1 현 황

국토교통부에서는 일반국도에 지속적으로 증가예정인 사장교, 현수교 등 케이블지지교량을 효율적으로 관리하기 위해 2008년 특수교 통합유리관리체계를 수립하였으며, 유지관리분야 전담 공공기관인 한국시설안전공단을 주관기관(한국건설기술연구원:공동기관)으로 특수교 유지관리센터를 설립하고, 국도상 특수교의 계측시스템을 통합 관리할 수 있는 "특수교 통합관리계측시스템"을 구축하도록 조치하였다.

공단에서는 특수교 유지관리센터의 구축·운영을 통하여, 특수교의 효율적이고 체계적인 유지관리업무와 특수교 계측자료 DB의 과학적 분석, 유지관리업무의 표준화로 안전사고 예방 및 교량 유지관리 예산을 효율적으로 집행하도록 함으로서 특수교의 유지관리 체계를 개선 및 발전 중에 있으며, 주요 업무범위는 다음과 같다.

① 일반국도 특수교 유지관리센터 운영
② 특수교 지역사무소 운영 및 순회점검
③ 신설교량 계측시스템 구축지도
④ 상시계측시스템 운용 및 관리

⑤ 계측 데이터베이스 구축 및 분석
⑥ 일반국도 특수교 유지관리 매뉴얼 정비 등

Fig. 1은 특수교 유지관리센터의 주요업무 및 조직체계를 나타내었다. 현재 센터는 총괄운영파트와 4개 지역사무소로 구성되어 있으며, '15년 1월 현재 일반국도 19개소와 지자체 관리교량 2개소 등 21개소 특수교량을 관리 중에 있다. 센터의 총괄운영파트는 센터의 계획·운영업무를 담당하고 있으며, 상시 운영·관리 및 분석업무와 기술지원 업무를 총괄하고 있다. 또한 지역사무소가 없는 동강대교(강원도 영월)와 동이대교(경기도 연천)의 순회점검업무도 담당하고 있다. 4개 지역사무소는 사무소 별로 지정된 관리대상교량의 수시, 정기, 정밀점검업무를 담당하고 있으며, 점검대차, 제습설비, 점검용 주탑 엘리베이터, 등 유지관리설비의 순회점검 및 재난상황 발생시 초동대응업무를 담당하고 있고, Fig. 2에 제시된 바와 같이 육안점검과 병행하여 계측기반 유지관리체계를 수립하여 특수교량의 유지관리업무를 수행하고 있다.

2.2 관리대상교량

현재 특수교 유지관리센터에서 위탁관리중인 특수교량은 총 21개소로써, 국토교통부가 관리하고 있는 일반국도상 특수교 19개소와 사천시 관리주체인 삼천포대교와 접속교량 등 2개소를 관리하고 있다. 교량형식은 사장교, 현수교, 닐센아치교, 강상형교, PSB교 등 이며 1973년에 준공된 우리나

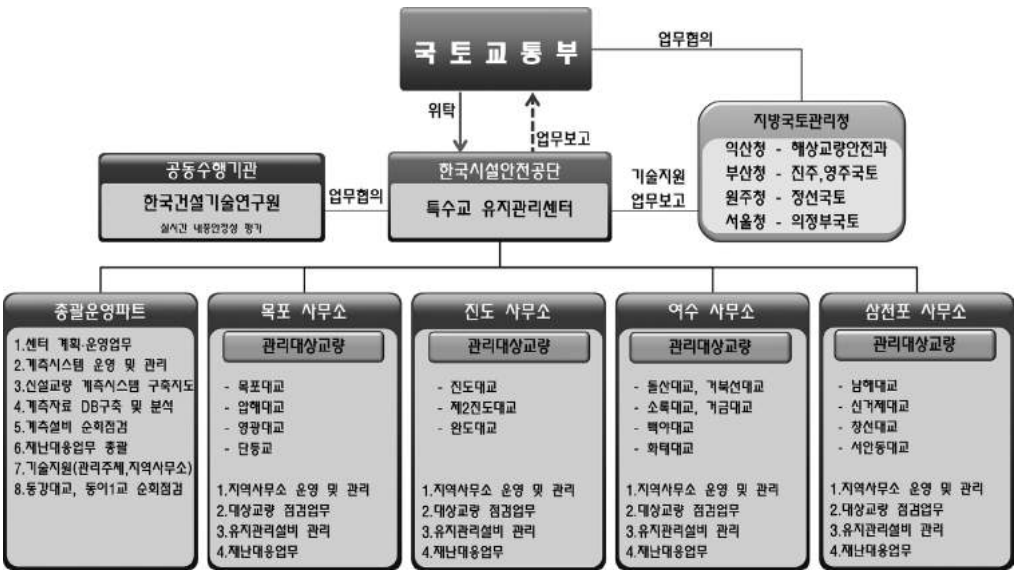


Fig. 1 특수교 유지관리센터 조직체계

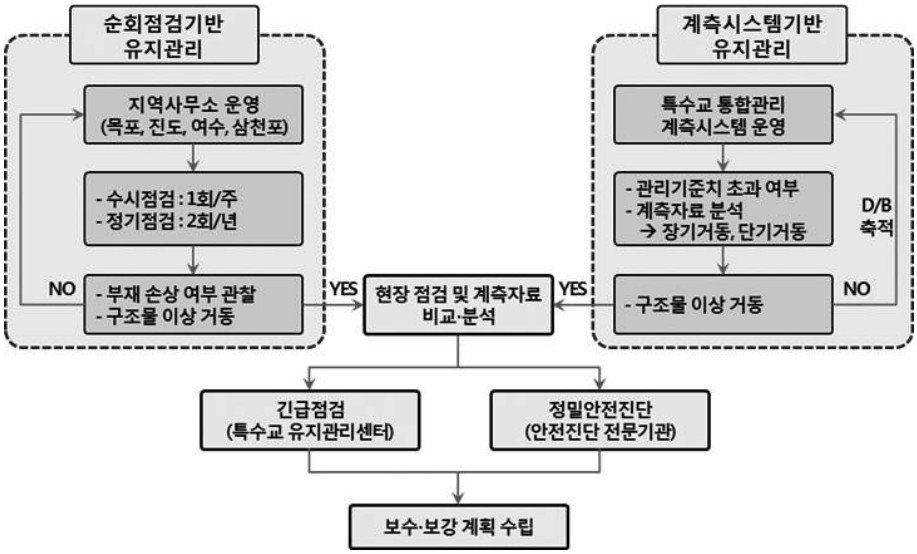


Fig. 2 점검 및 계측기반 유지관리체계

* : 사천시 관할교량

노선	교량명	형식	교량 연장(m)	준공 시기
1	목포대교	사장교	3,060	'13. 01
2	압해대교	아치교	1,420	'09. 01
18	진도대교	사장교	484	'84. 10
18	제2진도대교	사장교	484	'06. 04
13	완도대교	사장교	500	'12. 12
77	영광대교	사장교	590	'16. 02
4	단등교	현수교	757	'16. 02
17	돌산대교	사장교	450	'84. 12
17	거북선대교	사장교	744	'12. 06
27	소록대교	현수교	1,160	'09. 01
27	거금대교	사장교	2,028	'12. 04
77	백야대교	아치교	325	'05. 03
77	화태대교	사장교	1,345	'16. 02
19	남해대교	현수교	660	'73. 12
14	신거제대교	강상형교	940	'99. 12
3	창선대교	아치교	340	'03. 05
34	서안동대교	사장교	595	'15. 12
31	동강대교	사장교	460	'09. 07
37	동이1교	사장교	550	'16. 01
3	삼천포대교*	사장교	1,056	'13. 04
3	초양대교*	아치교	202	'13. 04

Fig. 3 관리대상교량 현황(16년 1월 현재)

라 최초의 현수교인 남해대교는 공용년수가 43년 정도로 가장 노후화된 교량이다. Fig. 3에는 관리 대상교량의 현황을 나타내었다.

3. 특수교 유지관리센터 주요업무

3.1 특수교 통합관리계측시스템 운영

일반국도의 특수교량 계측시스템은 1996년 남해대교, 진도대교, 돌산대교에 최초로 구축되었으며, 2000년대에 제2진도대교, 백야대교, 소록대교, 압해대교 등에 계측시스템이 구축되었다. 2020년까지 일반국도에 30여개의 현수교, 사장교에 계측시스템이 신설될 것으로 계획되어 효율적 관리를 위한 통합 필요성이 대두되었으며, 국토교통부는 이런 문제점에 대처하기 위하여 특수교 유지관리체계 개선방안(국토교통부, 2007)을 마련하였으며, 이를 토대로 2009년 일반국도 특수교량의 통합계측관리를 위하여 통합관리계측시스템을 구축하여 현재까지 운영 중에 있다.

또한, 09년 3월 시행된「지진재해대책법」시행령 제5조에 의거하여 현수교와 사장교의 지진가속도 계측이 의무화되면서, “지진가속도계측기 설치 및 운영기준”이 2010년 9월 고시(소방방재청 고시 제2010-30호)되어 시행됨에 따라 현재 국도상 사장교, 현수교 10개소에는 관련 규정에 따라 유지관리용 계측시스템과 별개로 지진가속도계측기가 설치되어 관련 데이터는 국민안전처에 연계되어 보내어지고 있다. 지진관련 계측데이터는 국민안전처로 연계될 뿐만 아니라 유지관리용 통합관리 계측시스템으로도 연계되어 교량의 구조건전도를 상시 모니터링 하는데 활용되도록 하고 있다.

특수교 유지관리센터에서 담당하고 있는 특수교 계측분야 주요업무는 특수교 통합관리계측시스

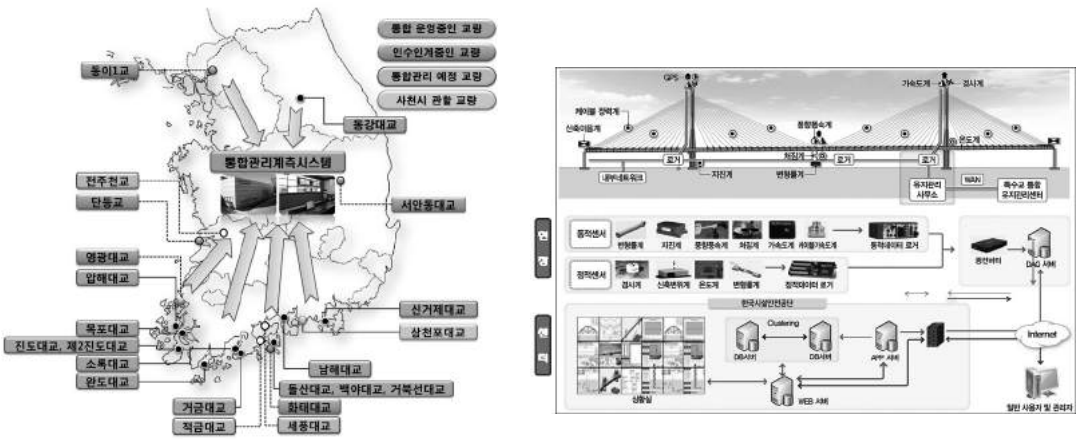


Fig. 4 특수교 통합관리계측시스템 개요

템의 운영·관리, 신설교량 계측시스템 구축지도, 계측 DB분석, 지진가속도 계측시스템 운영관리 등이며 Table 1과 같이 구분할 수 있다.

Table 1 계측업무의 범위 및 주요내용

업 무	업무 내용
통합관리계측시스템 운영 · 관리	• 현장 계측시스템 유지관리, 점검, 보수, 기능개선 • 통합관리계측시스템을 활용한 구조 건전도 상시 모니터링 • 태풍과 같은 재난 상황시 초동대응 근거 자료 확보(교통통제 풍속 모니터링, 구조물 진동 및 안전성 모니터링) • 계측시스템 검증재하시험을 통한 계측데이터의 신뢰성 확보
계측DB 분석	• 교량의 장기거동 및 교량에 작용하는 하중(풍하중, 온도) 분석 • 이상거동 발생시 교량의 사용성 및 안전성 판단
신설 계측시스템 구축지도	• 신설교량 계측시스템 구축시 표준화 및 컨설팅
지진가속도 계측시스템 운영 · 관리	• 지진가속도 데이터의 국민안전처 연계 • 지진가속도계측기기 정기 점검 • 지진시 안전성 평가

3.2 지역사무소 운영 및 순회점검

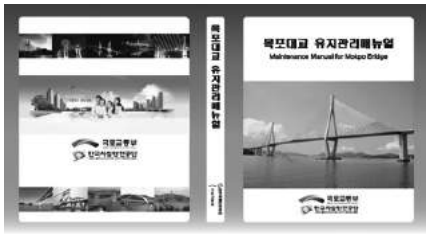
특수교 유지관리센터에서는 관리대상교량의 체계적인 육안점검 및 재난상황 발생시 신속한 재난대응을 위해 삼천포, 목포, 진도 및 여수사무소 등 4개 지역사무소를 운영하고 있다. 지역사무소의 주요업무로는 수시점검 등 일상관리업무와 관리대상교량의 정기, 정밀점검 등 교량의 점검업무를 담당하며, 특수교량에 설치되어 있는 점검대차, 제습설비, 엘리베이터, 비상발전기 등 유지관리설비의 수시점검 및 보수 또한 주요 업무이다. 특히 재난상황(태풍, 폭설, 사고발생시 등)발생시 교통통제 지원, 긴급점검 등 재난대응업무도 담당하고 있다. 또한 대상교량의 하자처리 및 보수방안 검토 등 관리주체의 기술지원도 중요한 업무 중 하나이다.

Fig. 5 특수교 유지관리센터 지역사무소

점검업무는 수시점검(교량별/주1회), 정기점검(2회/년)을 실시하고, 정밀점검해당시 정기점검을 대체하여 점검을 실시하도록 하고 있다. 교량의 점검업무와 별도로 교량에 구축되어 있는 유지관리 설비의 점검 및 보수는 전기분야 상주엔지니어가 담당하여 실시한다. 상기 점검결과에 따라 국토교통부에서는 보수예산을 수립하여 순차적으로 보수 · 보강을 실시하게 된다.

다중절차를 이용한 교각점검

유지관리설비 점검 예시



교량별 유지관리매뉴얼

Fig. 6 특수교 유지관리센터 지역사무소 주요업무

3.3 재난대응 관리기준 정립

특수교 유지관리센터에서는 통합관리계측시스템 및 지역사무소를 운영함에 있어, 태풍, 강설, 지진, 충돌(선박, 차량충돌사고로 인한 화재) 등의 예기치 않은 재난상황에 대한 예방대책 및 피해 발생시 상황보고 및 전파, 시설물 점검 등 신속한 대응을 실시하고 있다. 재난상황 발생시 재난등급 구분 및 대응요령은 “특수교 유지관리센터 재난대응매뉴얼”에 따라 실시하고 있으며, Table 2에는 자연재난시 재난등급 구분 및 관련 조치사항에 대하여 제시하였다.

3.4 계측DB분석업무

실시간 안전감시를 실시하고 있으며, 이와 별도로 수집된 계측DB를 활용하여 특수교 유지관리센터에서는 통합관리계측시스템을 통해 대상교량의 장기거동분석을 실시함으로서 육안점검결과와 비교를 토대로 대상교량의 유지관리업무시 기초자료로 활용하고 있다. 특히 풍거동 분석자료, 온도하중, 교량의 동특성 분석자료 등은 특수교량의 설계에 적용되고 있는 국내 설계기준의 적정성 검토 및 업데이트에 활용 될 수 있도록 기초자료를 제공하고 있다.

계측자료를 활용하여 대상교량의 구조거동을 분석하기 위해서는 대상교량의 구조거동을 표현할 수 있는 엄밀한 유한요소 구조해석모델이 필수적임으로 센터에서는 관리대상교량 전체에 대한 유한요소해석모델 구축 작업을 수행한 바가 있으며, 완공계 해석모델 뿐 만 아니라, Fig 7에서 제시한 바와 같이 시공단계가 고려된 해석모델의 구축작업도 진행 중에 있다. 완성된 모델은 모델검증을

Table 2 특수교 유지관리센터 재난등급 구분(자연재난 예시)

재난등급 구분		분 류 내 용	조치사항
A 등급	태풍	• 평균풍속1) 25m/s 이상	• 통행제한 요청(경찰서) • 통행제한 보고(관리주체) • 보행자 및 차량통제 지원 • 수시점검(필요시 긴급점검) 실시
	지진	• MMI진도 계급기준 7 이상(100gal이상)	
B 등급	태풍	• 평균풍속 20m/s이상	• 통행제한 예고(경찰서) • 통행제한 예고 보고(관리주체) • 제한속도의 50% 감속유도 ※VMS활용 정보제공 • 수시점검(필요시 긴급점검) 실시
	지진	• MMI진도 계급기준 6 이상(60gal이상)	
C 등급	태풍	• 평균풍속 15m/s이상	• 비상연락망 확인 • 수시점검 실시
	지진	• MMI진도 계급기준 5 이상(30gal이상)	
기타	보강거더 진 동	• 평균풍속 25m/s 미만에서의 편진폭 • 사장교 : 50gal(보강거더 중앙) • 기 타 : 교량별 진동 관리기준2)	• 통행제한 요청(경찰서) • 통행제한 보고(관리주체) • 보행자 및 차량통제 지원 • 수시점검(필요시 긴급점검) 실시
	적설	• 대설 주의보 및 경보 발령시	• VMS활용 정보제공 • 적설 10cm이상시 통행제한 협의
	안개	• 관심 : 안개주의보 발령시	• VMS활용 정보제공(안개주의보)
		• 주의 : 가시거리 250m 이하	• VMS활용 정보제공(20% 감속)
		• 경계 : 가시거리 100m 이하	• VMS활용 정보제공(50% 감속)

1) 도로법 시행령 제78조(긴급 통행제한의 기준 및 절차)에 따라 교량에서의 10분간 평균 풍속이 초당 25미터 이상인 경우 차량의 통행을 일시적으로 금지 또는 제한
2) 남해대교 : 241gal(2010년~2012년까지 계측된 가속도의 극치분포를 이용한 50년 빈도 가속도)소록대교 : 50gal(케이블강교량 설계지침의 사용성 기준 가속도)

위해 재하시험결과와 비교를 통해 모델 업데이트를 실시하였으며, 완성된 구조해석모델은 계측자료 분석시 활용되게 된다.

앞에서 언급한 바와 같이 센터에서는 수집된 계측자료를 토대로 다양한 계측DB 분석업무를 실시하고 있다. 이러한 분석업무와 관련하여 분석결과를 소개하면 Fig. 8에는 관리대상교량별로 계측된 보강거더 10분 평균풍속자료를 활용하여 제시한 교량별 100년 빈도 추정풍속과 도로교설계기준의 기본풍속, 케이블교량설계지침(LRFD)의 기본풍속의 비교결과를 나타내었으며, Table 3에는 교면풍속 계측DB를 활용하여 산정한 주요 교량 위치별 거스트계수를 나타내었다.

Fig. 9~Fig. 10은 제2진도대교의 온도계측자료를 분석한 결과로서 Fig. 9는 2009년~2015년까지 평균온도변화를 나타낸 것이며 Fig. 10은 보강거더 상하면 수직온도분포와 그 결과를 고려한 구조해석사례를 나타낸 것이다.

(a) 거북선대교 (b) 제2진도대교

(c) 소록대교 (d) 목포대교

Fig. 7 관리대상교량 FEA 모델(RM)

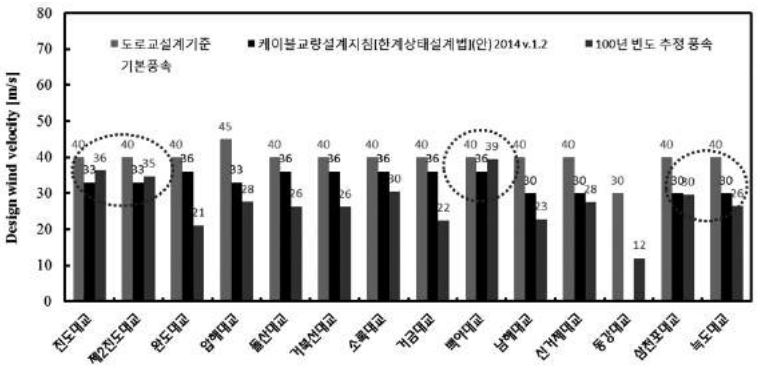


Fig. 8 풍속계측자료를 활용한 관리대상교량별 100빈도 추정풍속

Table 3 계측DB통계자료에 기반한 주요 교량별 거스트 계수 산정결과(교면)

풍속범위	돌산	남해	진도	소록	완도	백야
5~10 m/s	1.714	1.846	1.828	1.733	1.617	1.803
10~15 m/s	1.536	1.440	1.710	1.498	1.494	1.504
15~20 m/s	1.510	1.446	1.564	1.408	1.449	1.398
20~30 m/s	1.449	1.400	1.502	1.376	1.431	1.350
30~35 m/s	–	–	1.398	1.242	–	1.347
35~40 m/s	–	–	1.343	–	–	1.307
평균	1.552	1.533	1.558	1.452	1.498	1.451

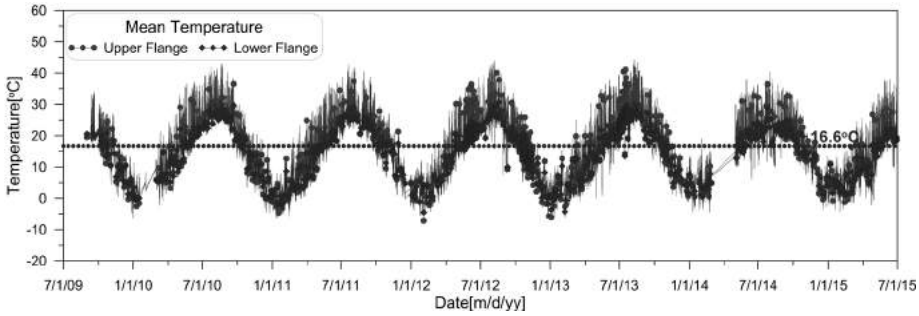
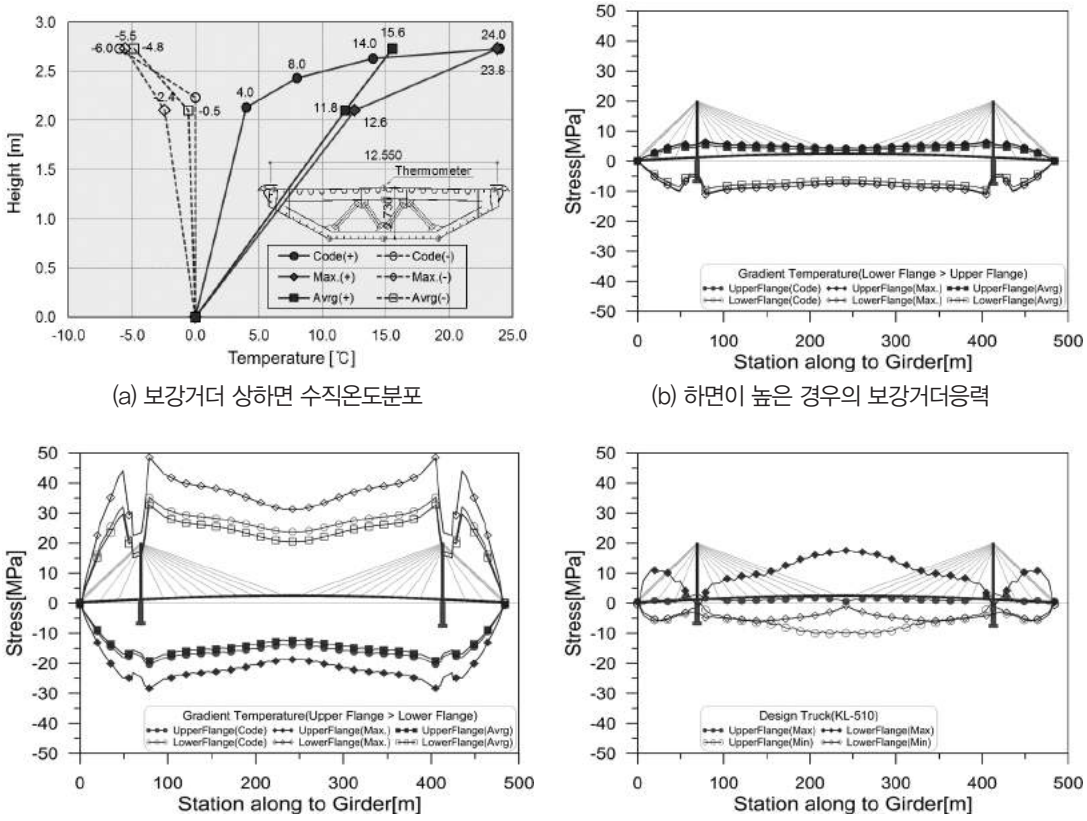


Fig. 9 제2진도대교 평균온도 변화



(a) 보강거더 상하면 수직온도분포

(b) 하면이 높은 경우의 보강거더응력

(c) 상면이 높은 경우의 보강거더응력

(d) 활하중(KL-510)에 의한 보강거더응력

Fig. 10 제2진도대교 보강거더 수직온도분포 및 응력

3.5 상시 안전감시 사례

특수교 유지관리센터에서는 통합관리 계측시스템을 활용한 계측DB의 장기거동 분석 뿐 만 아니라, 상시 안전감시기능을 수행한다. 본 고에서는 진도대교와 제2진도대교의 보강거더에 통항선박

의 상단에 설치된 안테나부가 충돌하여 계측시스템을 활용하여 간단한 거동분석을 수행한 사례이다.

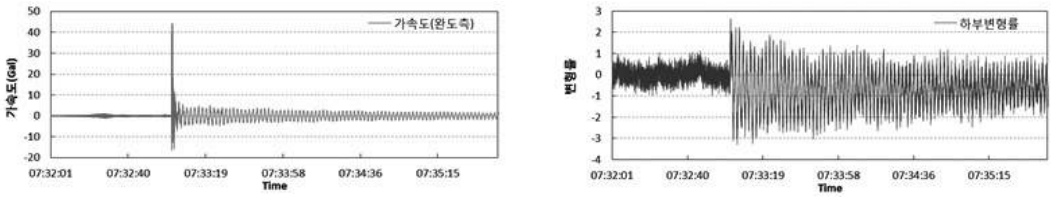
진도대교와 제2진도대교는 세계에서 3번째로 시공된 병렬 쌍둥이 사장교이며, 보강거더는 강박스형태이다. Fig. 11에서 제시된 바와 같이 해무가 자욱한 새벽시기에 선박이 대상교량을 통항하면서 선박의 상단에 설치되어 있는 안테나부가 보강거더 하면에 충돌한 사례이다.

Fig 11 진도대교 및 제2진도대교 전경

a) 선박 충돌전 b) 선박충돌후 c)제2진도대교 손상현황 d)진도대교 손상현황

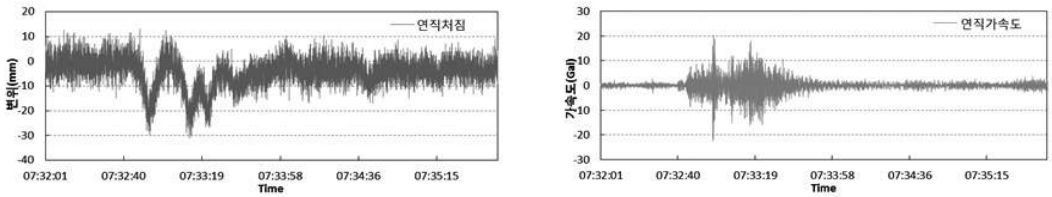
Fig 12 진도대교 및 제2진도대교 선박안테나 충돌 모니터링 사례

Fig. 12에 제시된 바와 같이 통항선박의 진행방향은 사진 좌측의 진도대교에서 우측의 제2진도대교로 운항하였다. 선박충돌 후, 보강거더 하면의 손상현황을 살펴보면 먼저 충돌한 진도대교의 경우, 보강거더 하부플랜지의 도장에 직선형태의 손상부가 발생하였으며, 이후 충돌한 제2진도대교는 보강거더 하부플랜지의 도장부 손상이 진도대교와 비교 시 미미하게 발생하였다. 두 교량의 보강거더에서 강재변형손상은 발생하지 않았으며, Fig. 11과 Fig. 12에 제시된 대상교량의 구조응답을 살펴보더라도 먼저 충돌한 진도대교 보강거더의 가속도는 최대 50gal 정도 발생하였으며, 제2진도대교의 경우 약 20gal 미만의 가속도응답이 발생하였다. 상기 응답은 선박의 본체와 충돌한 것이 아니라, 선박상단의 안테나부가 먼저 진도대교에 충돌하면서 꺽인 상태로 제2진도대교에 충돌하여 생긴 응답특성으로 분석되었다. 사고발생 시 계측된 가속도와 처짐의 응답은 관리기준치에 비교시 작은 계측값으로 알람은 작동하지 않았지만 CCTV로 촬영된 영상과 계측자료를 토대로 손상을 유발한 선박 관리회사에 보수를 요청하여 보수를 완료하였다.



a) 보강거더 1/2지점 수직방향 가속도계 응답　　b) 보강거더 1/2지점 하부플랜지 변형율계 응답

Fig. 13 진도대교 계측응답



a) 보강거더 1/2지점 처짐응답　　b) 보강거더 1/2지점 수평방향 가속도 응답

Fig. 14 제2진도대교 계측응답

4. 맺음말

최근 서 · 남해권을 중심으로 케이블지지교량의 가설이 크게 증가하고 있다. 특히 케이블지지교량은 구조적 특성이 복잡하고, 다양한 유지관리설비가 설치되어 있어 일반교량에 비해 많은 경험과 기술축적을 요구되고 있다. 국내의 경우 이러한 형식의 특수교량은 대부분 장대해상교량으로 건설되고 있고, 연육교 또는 연도교 특성상 재난상황 발생시 대체우회도로가 없어 효율적인 재난대응체계 수립하여 대응하는 것이 매우 중요하다.

2020년에는 국내 케이블지지교량 개소수가 70~80개 정도로 예상되고 있으며, 일반국도의 경우 30개를 상회할 것으로 예상되고 있다. 따라서 한국시설안전공단 특수교유지관리센터에서는 향후 급증하고 있는 특수교량의 예방적 유지관리 및 선제적 재난관리를 위해 지속적인 기술축적 및 유관기관과의 기술교류를 토대로 특수교량 유지관리 전문 공공기관으로 자리 매김할 수 있도록 노력하고자 한다.

참고문헌

1. 김성곤, 안상섭, 박민석, 김태연, 박희구, 김동성, 교량계측 모니터링시스템의 중앙통합 운영체계구축, 한국도로공사 도로교통연구원, 1999, 도로연 99-47-32, pp. 1~106.

2. H. Katsuchi, H. Yamada, and S. Kusuhara, Structural Monitoring and Design Verification of Akashi Kaikyo Bridge Proceedings of the 11th International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments, 2008, pp. 1~8.
3. Hongwei Li, Hui Li, Jinping Ou(A), Jinping Ou(B), Guohui Liu, Development and Implementation of a Remote Real-time Monitoring System for Cable Force of Tianjin Yonghe Cable-stayed Bridge, Proceedings of the 11th International Conference on Engineering, Science, Construction, and Operations in Challenging Environments, 2008, pp. 1~7.
4. Brent Vaughn, Brad Cross, and Nader Panahshahi, Experienced Gained and Lessons Learned from an Extensive Bridge Monitoring Research Project, Proceedings of the 2008 Structures Congress, 2008, pp. 1~10.
5. 특수교 유지관리센터 재난대응매뉴얼, 한국시설안전공단, 2015