

센서네트워크를 이용한 FCM 교량의 처짐 관리 방안 연구

A Study on Method for Deflection Management in FCM Bridge using Sensor Network

조병완* · 태기호** · 권오혁***

Jo, Byung-Wan · Tea, Ghi-Ho · Kwon, Oh-Hyuk

Abstract

Ubiquitous technology is proposed which is used wireless sensor network for deflection management at casting and after casting of FCM bridge. Proposed method are analyzed which are sensor experiment and existing FCM bridge using ubiquitous sensor network. Wireless sensor network enables low-cost sensing of environment. As a results, the field application shows that USN is useful method for structural health monitoring system which long distance away.

Key words : FCM, Deflection, Ubiquitous, Sensor network

요 지

본 연구에서는 FCM 교량의 시공 시 발생하는 처짐과 시공 후 발생하는 처짐의 관리를 위해 센서 네트워크를 활용한 처짐 관리 기술을 제안하고자 하였으며, 센서에 의한 검증실험과 제안된 USN를 이용하여 실제 건설되어지고 있는 현장에 적용함으로써 그 효율성을 입증하였다. 향후, USN은 교량의 장거리 건전도 모니터링에 매우 유용할 것이라 생각된다.

핵심용어 : 캔틸레버 공법, 처짐, 유비쿼터스, 센서 네트워크

1. 서 론

프리스트레스트 콘크리트 교량의 가설공법 중 FCM 공법의 교량은 교량 하부에서 하중을 지지하는 동바리를 설치하지 않고 교각으로부터 좌우로 균형을 맞추면서 이동식 작업차(Form Traveler)를 이용하여 3~5 m 길이의 세그먼트를 순차적으로 시공한 후 경간 중앙에서 캔틸레버 주형을 연결시키는 공법으로 지면으로부터의 동바리 설치가 곤란한 깊은 계곡이나 하천, 해상 등에 장경간의 교량을 가설할 경우에 적합한 공법이다. 이러한 FCM교량에서 발생하는 처짐은 지중에 의한 하향 처짐과 프리스트레스에 의한 상향 처짐으로 나눌 수 있는데, 그 중 상향 처짐은 포스트텐션된 텐던의 긴장력에 의해 발생하며, 구조물의 자중에 의해 감소되기도 하지만, 최종 발생하는 상향 처짐을 무시할 수는 없다. 그 이유는 콘크리트의 경우, 크리프와 건조수축이 시간에 따라 변화하기 때문에 상향 처짐 또한 시간에 따라 변할 수 있기 때문이다. 실제 처짐과 계산된 처짐이 다르게 나타날 때 설계와 시공 모두 많은 문제점이 나타날 수 있기 때문에 처짐 발생과 성장은 설계 및 시공에 중요한 문제가 되고, 시공 시, 계산된 처짐에 따라 개략적으로 선형관리가 정해지고, 교량의

가설에 필요한 재료적인 문제도 정하여 진다. 주형의 처짐이 예측된 것과 다르게 될 때, 그 결과에 따라 설계변경이나 수정이 필요하게 되며, 이것은 경제적, 구조적인 문제로 남아있게 된다. 결국, 여러 가지 문제로 주형의 자중에 의한 하향 처짐, 프리스트레스에 의한 상향 처짐의 합리적인 평가는 필요한 실정이다. 현장에서 고려되는 처짐 관리는 측량에 의한 인력계측을 통한 방법을 사용하고 있으며, 시공이 완료 될 시점에 Key segment 시공 시 처짐오차의 발생 과다로 시공이 어려운 경우가 종종 발생하고 있다. 이러한 FCM 교량의 처짐관리는 현재 공사현장의 여건에 따라 주로 인력에 의한 측량결과(해뜨기 전 등)를 이용하고 있으나 현실적으로 어려운 점이 많아 인력에 의해 측정된 결과는 온도에 의한 오차를 반영할 수 있는 것으로 소개되고 있다(권오혁, 2007).

한편, 국내에서는 최근에 건설과 정보통신 기술의 융합을 통하여 과학적인 유지관리 및 시공을 이루고자 노력하고 있으며, 많은 정보통신 기술이 건설 분야에 도입될 수 있는 방안을 추진하고 있다. 건설분야에 도입될 수 있는 가장 기본적인 항목은 유지관리를 위한 계측이라 할 수 있으며, 몇 년 전부터 많은 연구자들이 연구를 진행하고 있으며, 국가핵심기술개발로 연구 중에 있다. 초기의 모뎀이나, 광통신을 이용한 교량, 터

*정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 (E-mail: joycon@hanmail.net)

**정회원 · ㈜유씨티 솔루션 연구소장 · 공학박사

***현대건설 토목사업본부 상무 · 공학박사

널 등의 계측은 전원장치 문제, 이상기후, 지면의 발생에 따른 계측 시스템의 손실 등 많은 문제점이 발생할 수 있지만, 무선 센서네트워크를 이용한 경우, 우선 데이터의 실시간 전송과 소형 PC 단말기 안내전송으로 관리자의 빠른 상황대처가 가능하다는 큰 장점이 있다,

이에 본 연구에서는 FCM 교량의 처짐 관리를 과학적인 방법을 이용하여 제안하고자 처짐센서 노드(Node)를 개발하였으며, 기존의 센서를 수정 및 보완하여 센서 간 네트워크 기술을 이용, 자동 처짐 관리 방안을 제안하였다.

2. FCM 교량의 처짐관리체계

처짐 관리는 특히, FCM 교량에서는 중요하게 된다. 실제 처짐 양상이 구조계산에 의한 예상 처짐 량 보다 큰 경향이 나타나므로 시공 중 Key-segment의 연결 시 문제점 발생으로 안정성에도 영향을 미치게 될 수 있다. 현행 처짐관리체계를 살펴보면 그림 1과 같고, 이러한 처짐 관리에 영향을 주는 요인을 정리하면 다음 그림 2와 같다. 처짐 관리에 영향을 주는 요소는 크게 내적인 요소와 외적인 요소가 있으며, 일반적으로 내적인 요소는 구조적인 영향에 의한 처짐으로 콘크리트의 재료적 특성, 프리스트레스의 영향, 하중의 영향 등과 관련이 있는 요소이고, 외적인 요소의 경우, 이동 작업 차에 의한 영향, 교각과 교대의 침하문제, 예정공기의 적정성 등의 문제로 처짐 관리 시 직접적인 요소가 이동작업차의 경우를 제외하곤 무시되어 질 수 있다(김주연, 박찬민 2001).

현 처짐 관리 체계는 그림 1과 같이 현장용 처짐 관리도를 작성하여 시공 별로 측량에 의한 계획고를 작성, 계산 치와 비교하는 관리를 하고 있다. 그러나 이러한 방법은 인력에 의한 측정이라는 문제와 주변 환경에 따라 정확한 값을 얻기 힘들다는 단점도 있고, 측량의 결과 값이 인력의 횡수 마다 다를 수 있다는 단점이 지적되고 있다. 결국, 처짐 관리의 단계는 결과적으로 4가지로 분류되는데, 주두부에서 각 Segment를 타설하여 Key-segment 연결 직전까지의 단계, Key-segment 접합 단계에서의 처짐 관리, 최종시공단계에서의 처짐 관리, 마지막으로, 장기 처짐(추가 처짐) 관리로 나눌 수 있다. 이러한 처짐관리에 대한 계측은 캔틸레버 완공 시까지의 하향거동, Key-segment 시공 시까지의 하향거동, Key-segment 시공 시까지의 상향거동, 구조물 완공 후에 발생하는 크리프와 의한 하향거동 등의 주요거동을 계측하여야 하며, 이것이

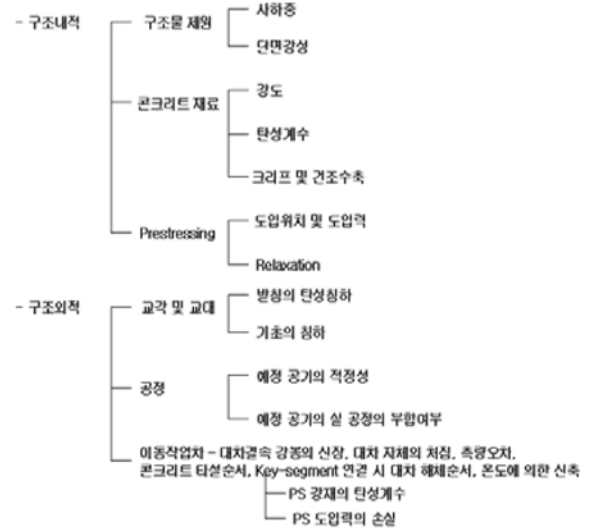


그림 2. 처짐관리 영향 요소

처짐 관리 시 중요한 변수이고, 특징이 된다. 특히, FCM 교량에서는 매우 중요한 요소이므로 처짐 관리 시 관점 대상이 되고 있다.

3. 센서 네트워크를 이용한 처짐관리 제안

3.1 시스템 개요

최근 정보산업과 이동통신 기술이 발전함에 따라 퍼스널 컴퓨터의 개념을 넘어 컴퓨터의 개념이 매우 빠르게 확장되고 있으며, 새로운 패러다임으로서 우리 주변에 있는 모든 물체에 컴퓨터를 내장하여 서로 네트워크로 연결하고 상호간에 협조와 타협을 해 가면서 인간의 삶에 보이지 않게 컴퓨팅을 제공한다는 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)의 개념이 대두되고 있다. 이러한 컴퓨팅 환경은 고정 및 이동노드의 단순한 제어가 아닌 통합적인 관리와 상호연동을 필요로 하는 네트워크 환경으로의 발전을 의미한다. 유비쿼터스 네트워킹을 위해 우선적으로 필요한 것은 사용자가 처한 환경을 컴퓨터가 인식하는 것로부터 시작된다. 그럼으로써 사용자에게 대한 통신이나 응용을 지원할 수 있다(박충명 등, 2001, 전호인 등 2003).

이러한 사용자가 처한 환경에서 사용자의 현재 위치 행동 및 작업등 사용자에 대한 정보 값과 그 정보들의 변화를 얻을 수 있다. 사용자나 컴퓨터가 내장된 센서에서 얻은 정보는 현 시스템에서 사용될 수도 있고 네트워크를 통해서 일반적으로 서버에 등록되거나 다른 곳에서 이용될 수도 있다. 서버에 저장된 정보는 필요에 따라 유비쿼터스 네트워크에 연결된 다른 단말기에서 이용되거나 실행된다. 또한 단말기에 대한 정보를 인식하고 실행을 위해 정보가 서버나 다른 단말기로 이동할 때 통신방식은 네트워크 형식을 가지게 된다. 본 연구에서 제안하는 교량 처짐 관리 시스템은 적합한 센서 노드의 개발과 센서네트워크를 이용한 처짐 량 평가 기술을 개발하는 것이 목적이므로 다음 그림 3과 같이 시스템 설계를 위해 흐름도를 작성하였다. 또한, 그림 4에 기존의 유선으로 관리하는 시스템을 무선통신을 이용한 위치와 시간의 관계없



그림 1. 현행 처짐 관리 흐름도

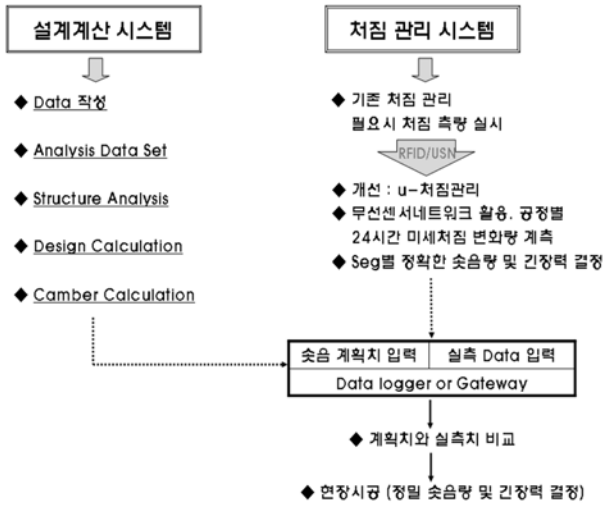


그림 3. 제안된 처짐 관리 체계 흐름도

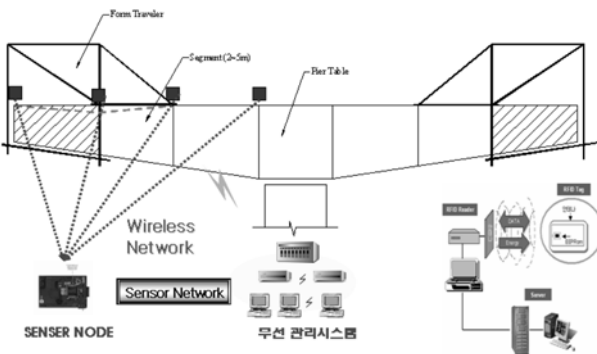


그림 4. 제안된 처짐 관리 시스템

이 현장의 처짐을 관리할 수 있는 시스템을 나타내었으며, 실제 현장에 계측센서를 설치하여 현장 사무실에서 무선통신에 의한 처짐 량을 확인할 수 있고, 오차 발생 시 이를 쉽게 보정할 수 있으리라 생각된다. 일반적으로 구조해석 후 설계 처짐 값을 산정하고 실제 시공 시 이를 보정하여 시공하는 기존의 체계를 센서를 이용하여 실제 현장에서 자동 계측되는 사항이 처짐 관리의 주된 핵심사항이다. 따라서, 주두부를 표점으로 하고 각 세그먼트의 상하부에 센서를 부착하여 처짐이 발생하면 이를 감지하여 인접 센서와 무선통신하고 이를 보정한 후 관리시스템으로 전송함으로써 실시간 감지하게 된다(문현석, 2004).

3.2 센서 노드 개발

센서 네트워크란 센서가 달려 있어 센싱이 가능하고 수집된 정보를 가공할 수 있는 프로세서가 달려있으며 이를 전송할 수 있는 무선 송수신기를 갖춘 소형장치, 즉, 센서 노드로 구성된 네트워크를 의미한다. 센서 네트워크의 일반적인 특징은 그 성향이 비슷한 애드혹(Ad-hoc) 네트워크에 비해 상대적으로 그 규모가 크고 많은 센서 노드들이 조밀하게 배치될 수 있다는 점이다. 센서 노드는 열악한 환경 속에서 동작하므로 쉽게 그 기능을 수행하지 못할 수 있고 네트워크 토폴로지가 매우 빈번하게 변경될 수 있다(Weiser, 1991). 기존의 네트워크는 일대일 통신이 고려 대상이었지만 센서 네트워크

센서네트워크를 이용한 FCM 교량의 처짐 관리 방안 연구

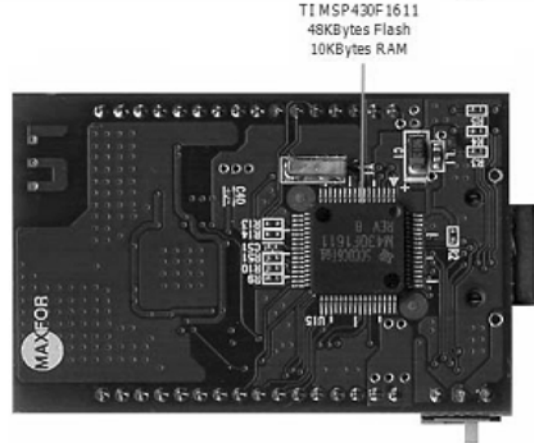
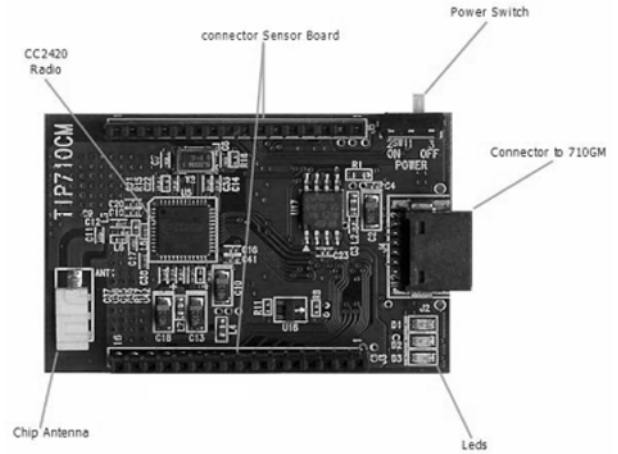


그림 5. 개발된 센서 모듈

에서는 브로드캐스팅 패러다임이 주로 이용된다(그림 5참조).

FCM 교량을 시공하는 경우 시공방향과 연직이 되는 선은 지중의 영향으로 인해 경사를 갖게 된다. 따라서, 시공 시 주두부에서 세그먼트 당 센서를 설치하여 측정지점의 기울기를 측정하고 설계 기준치와 비교하여 교량의 처짐량을 검토하여 적절한 조치를 취할 수 있도록 하였다. 그림 6은 개발된 시스템의 구성을 나타낸다. 시스템은 FCM 교량의 처짐을 감지하는 센서, 감지된 아날로그 신호를 센서 노드로 전달하는 MCU(Micro Controller Unit)와 수신된 데이터를 처리하는 호스트 PC로 구성되어 있다.

시스템 구성은 교량 구조물의 경사 및 변형상태를 감지하기 위해 기존의 경사 감지 센서인 Tiltmeter(BTM-5)를 사용

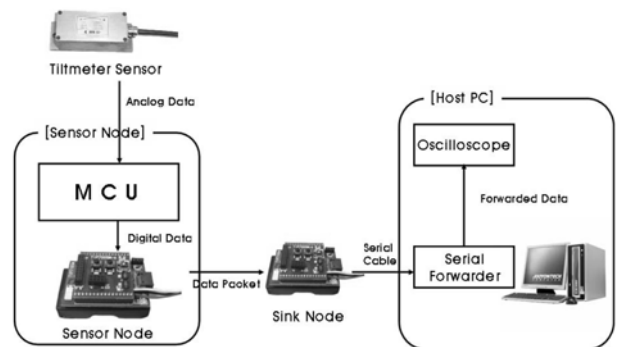


그림 6. 센서 네트워크 체계도

하였다. 경사계의 일반원리인 서보가속도계(servo accelerometer) 원리를 이용하여 그림 7과 같이 로서 감지기 (position detector)의 자기장내에 한 개의 진자(mass)가 놓여 있고 이는 중력의 작용을 받으면 중력의 작용 방향으로 기울어지게 되고 이로 인하여 위치감지기에 전류의 변화가 일어나게 된다. 이 전류가 서보증폭기(Serve-amplifier)를 통해 복원코일(restoring coil)로 들어오게 되고, 진자는 처음의 변하려는 중력과 전자기력을 반대방향으로 가지게 되므로 평형이 이루어져서 움직이지 않는다. 이때, 전류가 저항을 통과할 때의 전압을 측정할 수 있으며 이 전압은 진자를 평형상태로 유지하려는 힘과 정비례한다. 2축형(biaxial type)경사계의 감지기(probe)내에는 90° 방향으로 각각 하나씩 가속도계가 들어 있으며 그림 7에서 보는 바와 같이 감지기(probe)는 경사계관(access tube)의 흡을 따라 이동하며, 이때 감지기의 기울기는 진자를 평형으로 유지하려는 힘과 정비례하므로 연속 축으로부터의 기울기는 측정된 전압에 비례상수를 곱하여 구할 수 있다.

발생된 전기 신호는 모트의 ADC채널에 연결된다. 모트는 7개의 ADC 채널을 가지고 있으며 각 채널은 12 bit Analog/Digital converter이며 초당 24KB로 샘플링하게 된다.

Tiltmeter 센서의 최대 출력 전압은 $5.0V \pm 0.2\%$ 이므로 더 자세하고 민감한 데이터를 출력하기 위해 모트의 ADC 전압 레벨(2.5V)에 맞추어야 할 필요가 있다. 따라서 Op-Amp를 이용한 Non-Inverter Amplifier를 구성하여 tilt sensor와 모트 사이에 연결하였다.

그림 8은 Non-Inverter Amplifier의 회로도이며, 모트의 전원(3V)을 그대로 사용하기 위해 Rail-to-Rail방식의 앰프인 LMV931을 사용하여 10의 gain으로 센서에서 출력되는 voltage를 증폭시켰다.

그림 9는 센서로부터 데이터를 샘플링하는 과정을 나타내는데, 초기과정에서 타이머 컴포넌트를 초기화하며 프로그램이 시작한다. 타이머는 정해진 시간마다 이벤트를 발생시키고 이벤트 발생시 ADC(Analog to Digital Converter) 컴포넌트에서 GetData 함수를 통해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한다. 데이터 샘플링이 완료되면 이벤트가 발생하며 이벤트 처리 루틴에서 패킷에 데이터를 적재하고 데이터 버퍼를

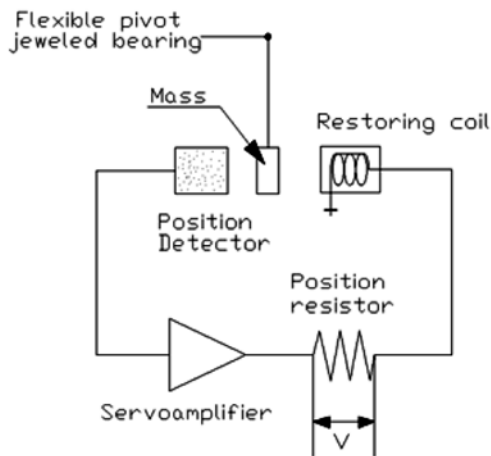


그림 7. 개발된 센서의 작동원리

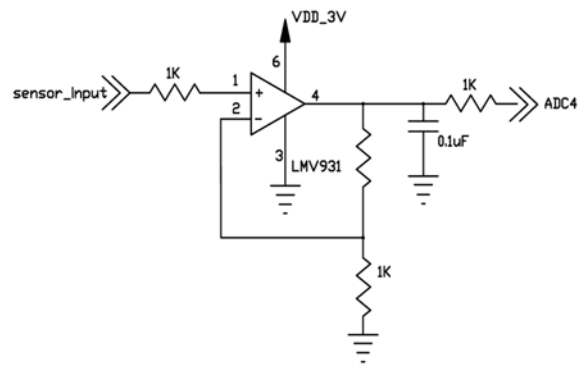


그림 8. 개발된 센서의 증폭회로도

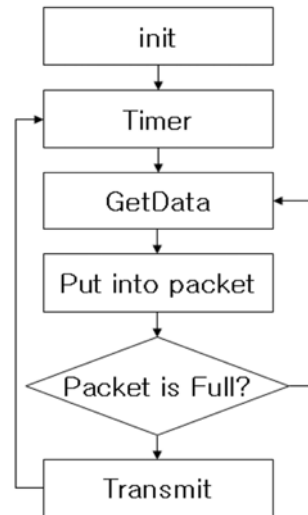


그림 9. 데이터샘플링과정

채운 후 베이스 스테이션으로 전송한다. 그리고 사용되는 프로그램은 일반적으로 센서설계 시 많이 사용되는 TinyOS로 Active Message를 사용하였는데, Active Message란 패킷 내에 메시지 타입을 포함하고 있어, 수신측에서 타입에 따라 명령을 수행하는 방법이다.

본 연구에서는 TinyOS의 Active Message 구조체인 TOS_Msg 패킷의 데이터 영역에 호스트 PC의 모니터링 툴인 오실로 스코프의 메시지 패킷(OscopeMsg)을 포함시켜 패킷을 구성하였다(박석균, 2003).

오실로 스코프는 호스트 PC에서 수신된 데이터를 그래프를 통해 보여주며, 데이터를 데이터베이스에 저장하는 역할을 한다.

그림 10은 시스템의 자료 흐름도를 나타낸다. 시스템 초기화시에 ADC 컴포넌트의 샘플링 레이트와 타이머가 결정되고, 타이머 구동 시 TIME_REPEAT 파라미터를 설정해 특정 시간마다 반복하여 이벤트를 발생시키도록 한다. 컴포넌트에서 타이머 이벤트가 발생하면, 이벤트 처리 루틴(Timer.fired)의 ADC 컴포넌트는 모트에 연결된 MCU의 아날로그 채널을 통해 Tiltmeter 센서의 데이터를 샘플링하고, 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환한다. 변환된 데이터는 컴포넌트에서 RF를 이용해 베이스 스테이션으로 전송된다. 베이스 스테이션은 수신된 데이터를 Serial Forwarder 인터페이스를 통

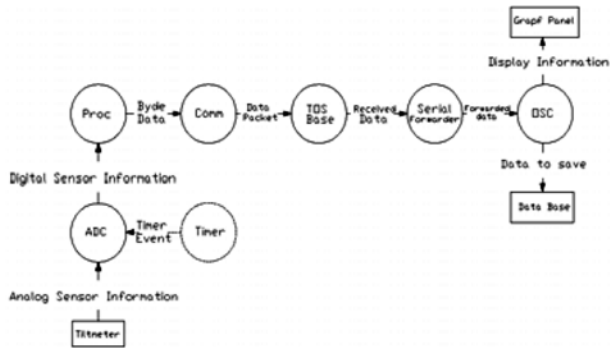


그림 10. 데이터 연산 흐름도

해 호스트 PC로 전달하고, 호스트 PC의 오실로스코프 프로그램에서 데이터를 수신하여 그래프로 출력함과 동시에 데이터베이스에 저장한다.

4. 개발된 센서 검증실험

4.1 예비실험

실제 FCM 교량에 적용하기 전에 개발된 센서모듈 검증으로 자체 모형으로 부재를 제작하여 단계별 하중재하에 대한 처짐을 측정 각각 비교하였다. 모형부재에 사용된 재료는 H-Beam(100 × 100 × 5.7/7.5) 8 m이며 하중은 10 kg의 강재블럭 5개를 사용하였으며, 경간중앙에 재하 하여 측정하였다. 모형 시험체는 그림 11과 같이 하였으며 시험체 제작에 사용된 강종은 일반 구조용 강재로써 SS41를 사용하였다.

시험을 위해 제작한 8 m의 모형보 중앙에 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, 50 kg의 5개의 하중을 단계별로 가한 후 처짐량 및 경사변형을 측정하였다. 여기서는 중앙단면의 처짐량을 비교하기 위해 모형교량의 대칭인 점을 감안하여 중앙부에서 1 m 간격으로 경사센서와 변위계를 부착하여 측정하였다.

실험 결과, 하중단계별로 측정된 센서의 변형은 표 1과 같이 일반적인 하중 증가에 따른 변형증가 현상이 나타나 센서에 의한 변형발생이 가능함을 알 수 있다. 또한, 일반적으로 사용되는 변위식 처짐계와의 비교검토를 표 2에 나타내었고, 이를 정리하여 그림 12, 그림 13에 나타내었다.

처짐계에 의한 처짐량 측정결과와 경사계에 의한 경사변형 측정결과로부터 산정한 환산처짐 결과를 비교한 결과, 해석결



그림 11. 센서검증 실험

표 1. 실험 결과

하중단계	위치	Sensor(Degree)
10 kg	0	-0.03050
	L/8	-0.02550
	2L/8	-0.01925
	3L/8	-0.01050
	Center	0.00150
20 kg	0	-0.05975
	L/8	-0.05425
	2L/8	-0.03875
	3L/8	-0.01900
	Center	0.00375
30 kg	0	-0.09050
	L/8	-0.07800
	2L/8	-0.06100
	3L/8	-0.02400
	Center	0.00300
40 kg	0	-0.12225
	L/8	-0.10300
	2L/8	-0.08275
	3L/8	-0.03200
	Center	0.00500
50 kg	0	-0.15350
	L/8	-0.13325
	2L/8	-0.09725
	3L/8	-0.04200
	Center	0.00675

표 2. 하중단계별 측정결과 비교

하중단계	위치	처 짐 (mm)	
		LVDT	센서
10 kg	L/8	0.530	0.532
	2L/8	0.980	0.977
	3L/8	1.290	1.313
	Center	1.470	1.497
20 kg	L/8	1.045	1.043
	2L/8	1.985	1.990
	3L/8	2.650	2.666
	Center	2.920	2.998
30 kg	L/8	1.590	1.580
	2L/8	2.955	2.941
	3L/8	3.970	4.006
	Center	4.340	4.424
40 kg	L/8	2.125	2.134
	2L/8	3.980	3.931
	3L/8	5.300	5.376
	Center	5.780	5.934
50 kg	L/8	2.660	2.679
	2L/8	4.980	5.005
	3L/8	6.630	6.702
	Center	7.230	7.435

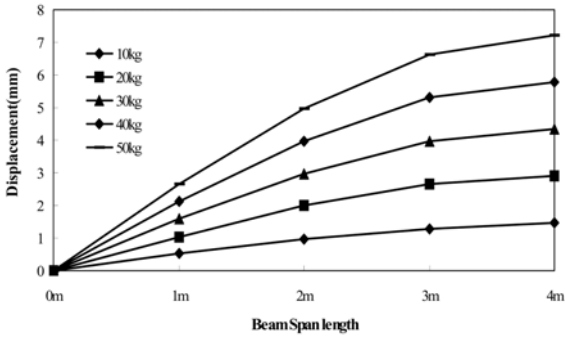


그림 12. 보의 위치별 변위 결과(기초처짐계)

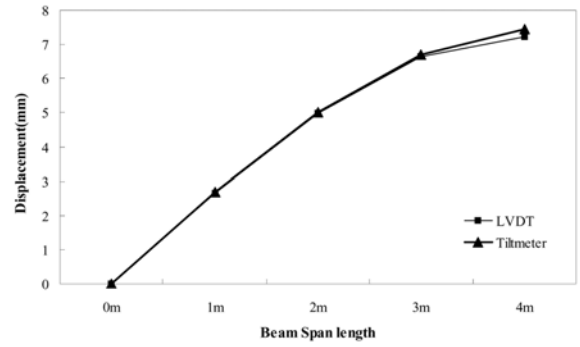


그림 16. 모형실험 재하시험결과 (5N)

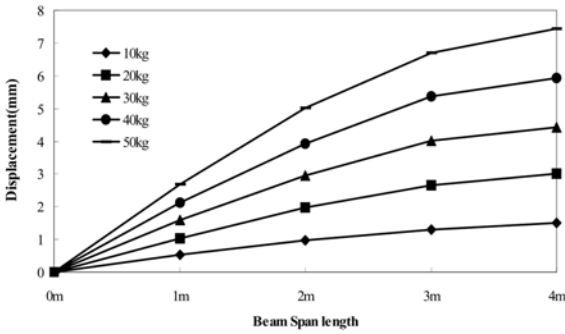


그림 13. 보의 위치별 변위 결과(센서)

과에 대한 측정결과의 오차비율이 최대 약 3%정도 발생하는 것으로 나타나 정확도를 만족하는 것을 알 수 있었다(그림 14, 그림 15, 그림 16 참조).

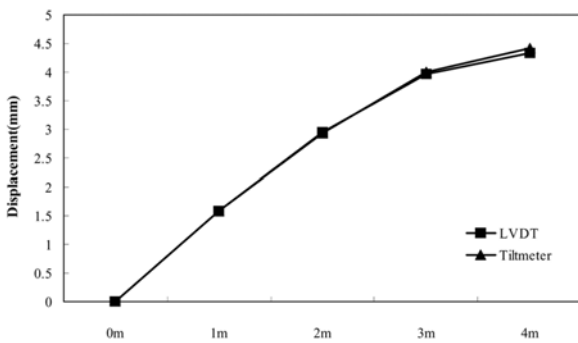


그림 14. 모형실험 재하시험결과 (3N)

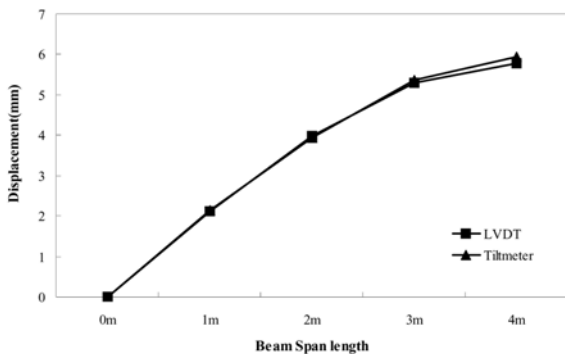


그림 15. 모형실험 재하시험결과 (4N)

4.2 FCM 교량 실험

4.2.1 대상교량 일반사항

개발된 센서를 이용하여 실제 교량의 적용성을 고찰하고자 서울-춘천간 고속도로의 일부 구간인 남양주 대교의 FCM 구간을 대상으로 센서에 의한 계측을 실시하였다. 남양주 대교는 2004년부터 시공 중인 총 연장 1,530 m로서 2종류의 가설공법을 적용하고 있으며 이에 대한 교량의 제원을 나타내면 다음 표 3과 같고 대상 교량의 일반제원을 나타내면 그림 17과 같다.

표 3. 대상교량의 제원

구분	제원
상부구조형식	P.S.C BOX GIRDER(F.C.M + F.S.M)
경간구성	F.S.M + F.S.M + F.C.M = 2@70 + 3@70 + 90 + @125 + 90 = 1,530 m
폭원	B = 16.20 m B = 16.370 m (방음벽 설치구간)
상부재료강도	콘크리트 : $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$ 철근 : $f_y = 400 \text{ MPa}$
P.S 강재	KS D 7002, SWPC 7B $\phi = 15.2 \text{ mm}$
종단경사	S = (-) 0.5%
편경사	S = (-) 3.0 ~ (-) 2.0%
기초형식	직접기초, 현장타설말뚝 및 강관말뚝

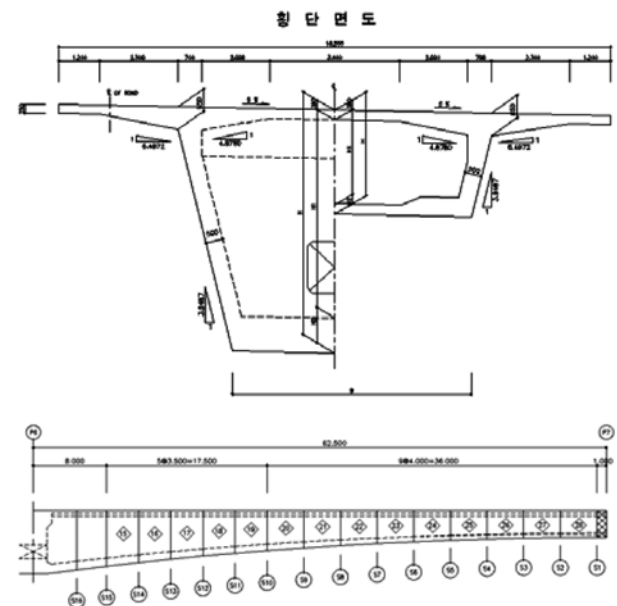


그림 17. 대상 교량 일반 제원

4.2.2 처짐 계측 및 결과

실제 FCM 교량의 처짐 관리를 검증하기 위하여 현장에서 센서 노드의 양방향 Network 통신 유무를 확인하였으며, 분할 시공된 콘크리트 상부에 개발된 센서를 부착하여 계측자료의 정확성 및 결과 값의 신뢰도를 알아보고자 하였다. 또한, 실제 현장에서 계측된 자료를 근거로 제안된 센서네트워크를 이용한 처짐 관리의 효율성을 제고 하였다. 본 연구에서 대상으로 한 교량의 현 시공단계를 그림 18에 나타내었고, 그림 19에는 부착된 센서 노드의 양방향 통신을 통해 구조물의 처짐 정도를 처짐 관리 시스템에 정보를 제공하는 과정을 보여주고 있다. 현재 본 현장의 시공 상황은 세그먼트 6,7,8 가설단계이고, 1일 2회씩 계측한 자료를 개발된 센서와 비교 및 분석하였다.

최초 교각에 경사센서와 노드(node)를 설치하고 그 점을 기준점으로 선택하였으며, 박스형 단면의 상하부 플랜지에 각각 센서를 설치하였다. 각 단계별로 계측한 결과 값을 평균하여 표 4에 나타냈으며, 그 결과 단계별로 콘크리트 타설 후 약 14~18 mm 표고차가 발생하였으며, 최종적으로 이동식 작업차 이동 후 콘크리트 단면에 발생하는 표고 차는 4 mm로 나타났다. 또한, 단면의 상하부에 측정된 값이 차이를 보이는 것으로 나타났는데, 이는 캔틸레버 구조를 이루는 동안에 발생한 박스 단면의 시공문제로 인한 처짐으로 생각되며, 양단고정으로 단면계가 완성되는 과정에 그 처짐 값은 작아지는 것을 알 수 있다. 따라서, 이 값은 다음 세그먼트 타설 후 강선 긴장 시 수정되어야 할 것으로 생각된다.



그림 18. FCM 교량 현장 시공도



그림 19. 센서 네트워크에 의한 계측

표 4. 단면 상하부의 측정된 계측치

Segment	계측 위치		타설 후(mm)		긴장 후(mm)		F/T 이동후(mm)	
	상부	하부	상부	하부	상부	하부	상부	하부
No. 6	-14.96	-7.56	-5.31	-5.91	-1.83	-1.33		
No. 7	-17.02	-10.66	-6.24	-7.04	-3.77	-2.45		
No. 8	-18.50	-14.19	-7.00	-8.93	-4.54	-4.35		

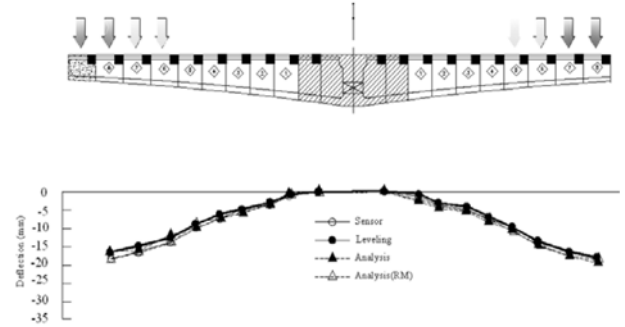


그림 20. 현장측정결과 비교

센서를 이용하여 각 세그먼트의 처짐 측정결과와 측량 레벨을 이용한 결과 및 구조해석을 통한 방법과 현행 설계 시 사용되는 범용 프로그램 RM를 이용한 결과를 비교하여 그림 20에 나타내었다. 그 결과, 센서에 의한 결과 값은 구조물의 처짐 값을 정확히 계측하는 것으로 나타났으며, 기존의 구조 해석 결과 값과도 일치하는 것으로 나타났다. 그러나, 개발된 센서는 주변의 가설장비나 기타 주변 환경의 변화에 민감하게 작용하므로 계측 시 이를 주의하여야 할 것으로 생각되며, 향후 가설공법 종류별로 상시계측을 통하여 특수교량의 가설 공법을 위한 계측관리에 유용한 자료를 제시할 수 있으리라 생각된다.

5. 결 론

캔틸레버 공법을 시공되는 FCM 교량의 지중 및 프리스트레스에 의한 상향 처짐을 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 이용하여 측정하고 분석한 결과, 기존의 계측관리 시스템을 수정하여 무선네트워크 기반의 처짐관리 방안을 제안하고자 하였으며, 기존의 경사계를 wireless 노드와 양방향 900MHz의 광대역 통신망을 갖는 센서 네트워크 시스템 개발하여 FCM 교량의 처짐 관리 방안으로 제안하였으며, 실제 교량에 적용한 결과, 실측치에 근접한 것으로 나타났으며, 향후 사장교 및 현수교와 같은 장대교량의 구조진단 기법에 적용하여 효율적인 유지관리방법을 제안하였다.

참고문헌

- 김주연, 박찬민 (2001), 서해대교 FCM 교량에서의 처짐 값 산정 및 적용. 한국콘크리트 학회지 제13권 6호, pp. 89-92.
- 박충명, 허난숙, 김동국, 서동만, 이좌형, 김윤, 정인범 (2005), 센서 네트워크를 이용한 교량 안전진단 시스템 구현. 한국정보처리 학회 춘계학술발표대회 논문집 제 12권 제 1호, pp.1511~1514.

박석균 (2003), 전자파 레이더 주파수대역별 시뮬레이션 해석에 의한 콘크리트내 층간 연속 공동의 검출 특성. Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, Vol. 23, No. 2, pp. 192~204.

문현석 (2004), 유비쿼터스 정보기술의 활용을 통한 교량유지관리 정보체계 발전 모델 구성. 경상 대학교 석사 학위논문.

전호인, 신용섭 (2003), 유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 위한 센싱 기술과 컨텍 스트-인식 기술의 연구동향 정보과학회지, Vol. 21, No. 5, pp. 115~121.

권오혁(2007), 골재체적비를 고려한 FCM 교량의 효율적인 처짐 산정 및 유비쿼터스 관리방안 연구, 한양대학교 박사학위 논문.

M. Weiser (1991), The Computer for the Twenty-First Century Scientific American, September Elsevier Ltd.

◎ 논문접수일 : 08년 06월 04일
 ◎ 심사의뢰일 : 08년 06월 23일
 ◎ 심사완료일 : 08년 07월 31일