

원격모니터링: 개념 및 사례연구

Remote Monitoring: Concept and Pilot Study



박 규 식^{1)*}

Park, Kyu Sik



성 택 룡²⁾

Seong, Taek Ryong

이번 호에 실린 해외번역기사는 2012년에 이탈리아 마조레 호수(Lake Maggiore)의 서쪽 스트레사(stresa)에서 열린 국제학술회의 IABMAS 2012 (6th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management) 주제 강연 발표내용의 일부분으로, 저자는 미국 캘리포니아대학교(Univ. of California, Irvine)의 M. Shinozuka, M. Torbol, K. G. Papakonstantinou이다. 본 내용의 원문기사는 Proceedings of IABMAS 2012 : Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability, pp. 114-121에 수록되어 있다. 본 기사에서는 발표 전문중 중요한 부분을 중심으로 내용을 구성하였다.

요약문

본 논문은 “구조물의 실시간 원격 모니터링 및 제어(Remote Structural Monitoring and Control in Real Time)”로 언급되는 융합기술에 초점을 맞추고 있다. 이러한 기술은 대형의 복잡한 인프라구조물의 복구나 지속성을 향상시킬 수 있다. 이러한 관점에서 본 논문은 기존의 구조물 모니터링 기술을 실시간 원격 모니터링 및 제어로 확장하고자 한다. 이는 유틸리티(Utility)의 안정적인 운영을 위한 기존 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) 시스템을 발달시켜 차세대 SCADA 시스템을 개발하는 것으로 확보할 수 있다. 본 논문에서는 차세대 SCADA 시스템을 활용한 물공급 네트워크에 대해 설명하고 이를 교량이나 다른 시스템에 적용하고자 한다.

1) RIST 강구조연구소 책임연구원, 공학박사

2) RIST 강구조연구소 수석연구원, 공학박사

* E-mail : kyusikpark@rist.re.kr

1. 개요

인프라구조물의 노후화는 세계적인 관심사이다. 미국 토목학회의 2009년도 미국 인프라구조물 보고서에 의하면 현재의 물공급 및 구조물 상태는 다음과 같이 요약될 수 있다. “고체 폐기물에 대해 C+ 등급에서 식수, 내륙 수로, 제방, 도로, 폐수에 대해 D- 등급까지 분포되어 있다. 과거 4년동안 미국의 지표 및 항공운반 시스템은 D+ 등급에서 D 등급으로, 도로는 D 등급에서 D- 등급으로 감소했다. 지난 보고서 이후 의미있는 개선이 이루어지지 않았기 때문에, 미국의 교량, 공원, 휴양시설, 철도시설은 C 등급으로 유지되고 있다. 이러한 반면 댐, 유해폐기물, 학교는 D 등급을, 식수와 폐수는 D- 등급을 유지하고 있다. 최근에 추가된 제방은 D- 등급을 받았다. 오직 한 개의 범주(에너지)만이 2005년 이후 D 등급에서 D+ 등급으로 개선되었다.” 여기서 “D 등급”은 저품질, “C 등급”은 중간품질을 의미한다.

본 논문은 최근 연구결과와 기존 연구를 통합하였으며, 미국 캘리포니아대학교(UCI)에서 개발한 차세대 SCADA 시스템의 일부인 Duramote를 소개하고자 한다.

2. 문제정의

2.1 실시간 원격 모니터링 및 손상평가

지반 하부 또는 상부의 관로와 같은 도심의 물공급 네트워크 구성요소는 지진, 부식, 추운 날씨, 표면의 교통하중 등과 같은 요인으로 인해 손상에 노출되어 있다. 이러한 모든 경우에 대한 손상은 재앙이 될 수 있다. 예를 들어 고압에서의 누수는 주변 건물기초를 쇠굴시켜 안전에 위협이 될 수 있으며, 교통혼잡 지역에서의 관로

파괴에 의한 홍수는 교통혼잡을 일으킬 수 있다. 또한, 지진으로 인한 관로 손상은 수두를 저하시켜 화재 진압을 위한 물공급이나 식수원 공급이 원활하지 않을 수 있다. 그러나 현재의 기술은 국부적인 손상을 즉시 발견할 수 없으며, 이로 인해 부상, 불편함, 질병 발생 가능성을 줄이기 위한 신속하고 효율적인 복구가 어렵게 된다. 이러한 이유 때문에 특히 강진이후 “구조물의 실시간 원격 모니터링 및 제어”가 필요하다.

2.2 차세대 SCADA

일반적으로 유틸리티 네트워크는 다양한 지점에서 운영과 관련된 주요변수의 측정 데이터를 수집하기 위해 전체 네트워크를 모니터링 하는 SCADA 시스템을 적용하며, 측정된 자료는 시스템 운영과 제어를 위해 활용된다. 물공급 네트워크의 주요 변수는 유속, 수두, 온도, 화학적 품질이다. SCADA 시스템은 이론적으로 손상탐지의 목적으로 활용될 수 있다. 그러나, 펌프장과 같은 특정 지점에서 수집된 자료의 빈약성으로 인해 시기 적절한 복구를 위한 정확하고 신속한 관로의 손상을 탐지하기 어렵다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 차세대 SCADA 시스템을 물공급 네트워크를 위해 개발하였다.

3. 방법론 및 모니터링 시스템

3.1 방법론

물공급 시스템은 관로 파괴에 의해 발생하는 갑작스러운 국부적인 수리학적 변화를 동반한다. 차세대 SCADA 시스템은 이러한 물공급 시스템의 특징을 이용해 경제적인 손상탐지 절차를 개발할 수 있다. 이러한 절차의 핵심은 갑작스러운 관로파괴에 따른 수두변화율에 있으며, 이는

수두경사(Water Head Gradient, WHG)의 절대 최대값을 이용한다. 수두경사는 각 측정지점에서 쉽게 계산할 수 있으며, 이후로는 이러한 수두경사를 D로 나타내기로 한다. 본 논문에서 제안된 방법은 손상위치를 파악하기 위해 네트워크의 두 연결부 사이 링크를 포함할 수 있도록 모든 연결점에 설치된 센서(압력게이지)를 통해 D값을 측정하게 된다. 여기서 링크는 두 연결점 사이의 관로를 의미한다. 3.2 “손상탐지를 위한 수치예제”의 결과를 통해 관로의 손상은 D값이 최대가 되는 두 연결점 사이의 링크사이에서 탐지될 수 있음을 확인하였다. 또한, 전체 서비스 지역의 D값 등고선을 통해 이러한 링크를 자동적으로 검출해 낼 수 있다. D값의 크기는 손상 정도와 매우 연관성이 있다는 것을 예상할 수 있으며, 이들의 정확한 관계를 파악하기 위해서는 향후 추가적인 연구가 필요하다. 현장실험을 통해 검증된 앞서 설명한 방법은 비상시 가장 효율적으로 물공급 네트워크를 유지하기 위한 경제적인 모니터링 방법의 기초를 제공한다. 제안된 절차는 각 공급망에 특성을 반영한 신속하고 강한 자료 전송이 가능한 고밀도의 측정 네트워크 및 손상을 식별할 수 있는 소프트웨어가 통합되어야 한다.

앞서 설명한 비정상 흐름에 기초한 손상탐지 방법은 적절한 수정을 통해 다른 공급망에 적용될 수 있다. 물공급 네트워크를 고려할 때, 관로 수두의 변하는 관로의 가속도 변화로 나타낼 수 있다. 따라서, 압력변화를 측정하기 위한 압력게이지 대신 가속도계를 관로 표면에 부착하여 사용할 수 있다. 이는 제안된 손상탐지 방법을 실무에 적용하기 위해 매우 중요하다. 압력과 가속도의 상관관계는 3.3의 실험예제를 통해 검증되었으며, 이는 현장에서 손상탐지를 위한 방법으로 사용되었다.

3.2 손상탐지를 위한 수치예제

앞서 설명한 방법을 검증하기 위해 물공급 네트워크에서 일반적으로 사용되는 비정상 흐름 해석 프로그램인 HAMMER를 이용해 관로의 갑작스러운 파괴에 따른 비정상 거동을 모사하였다. 이를 위해 HAMMER 사용자 매뉴얼 (www.haesad.com)에 제시된 가상의 수리 시스템을 이용하였다. Fig. 1에서 보듯이 본 예제에서 고려한 물공급 시스템은 약 40km×60km에 걸쳐 있으며, 2개의 저수지, 1개의 펌프, 1개의 밸브, 38개의 노드 및 54개의 관로 링크로 구성된다.

초기 수리학적 경계조건은 저수지 1에서 물이 공급되며 모든 물소비 지점에서 물이 일정하게 소비된다고 가정하였다. 본 수치예제에서는 2가지 손상 시나리오를 고려하였다. 첫 번째 시나리오인 관로 111이 파괴된 경우이며, 두 번째 시나리오는 관로 111과 관로 24가 파괴된 경우이다. Figs. 2와 3은 두 손상 시나리오에 대해 9번 연결점에서의 수두 시간이력 곡선을 나타낸 것이며, 이때 수두는 수면에 따른 효과를 고려한 것이다. 그림에서 보듯이 수두는 초기 정상상태에서 시작하여 손상에 따른 수두손실 이후 손상 이후의 정상상태 수두로 수렴하는 것을 알 수 있다. Figs. 4와 5는 첫 번째 및 두 번째 손상시나

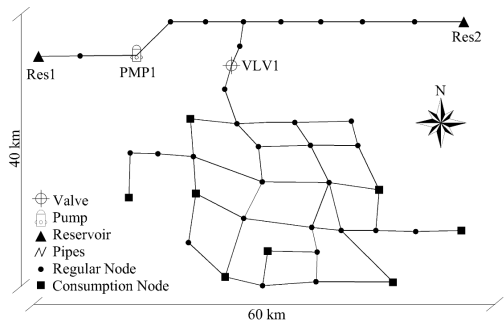


Fig. 1 물공급 시스템

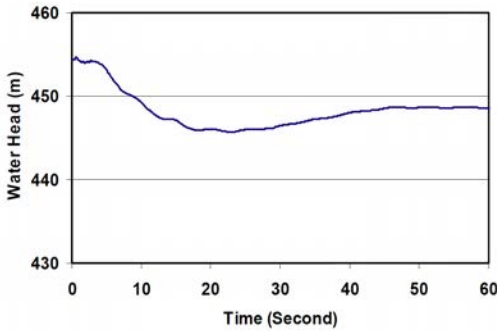


Fig. 2 9번 연결점 수두시간이력 곡선 (손상시나리오 1)

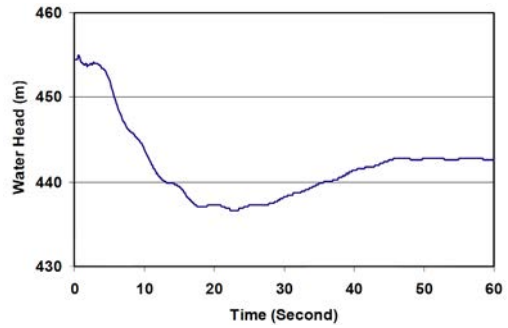


Fig. 3 9번 연결점 수두시간이력 곡선 (손상시나리오 2)

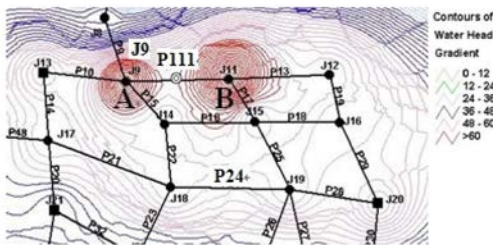


Fig. 4 관로 111 파괴에 따른 D값 등고선

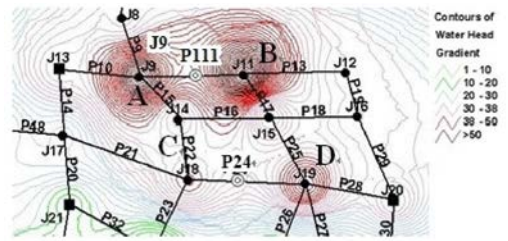


Fig. 5 관로 111 및 관로 24 파괴에 따른 D값 등고선

리오 대해 각 연결점에서의 최초 30초 동안 계산된 절대 최대 수두경사값 및 전체 네트워크 분포를 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 보듯이 관로 111의 노드 A (9번 연결점) 및 노드 B (11번 연결점)에서 최대 D값을 나타내며, 이러한 국부 최대값으로 이 링크에서 관로의 파괴지점을 탐지할 수 있다. 이와 유사하게 Fig. 5에서 보듯이 두 개의 국부 최대 D값을 이용해 관로 111 및 관로 24의 파괴를 탐지할 수 있다 (관로 111: 노드 A (연결점 9) 및 노드 B (연결점 11), 관로 24: 노드 A (연결점 18) 및 노드 B (연결점 19)). Figs. 4와 5에서 보듯이 손상탐지는 전체 영역에서 최대 D값을 가지는 두 개의 연결점으로 둘러싸인 관로를 탐지하는 것과 같다. 이러한 탐지는 실시간 및 자동적으로 계산할 수 있다.

손상탐지를 위한 역해석 과정은 항상 유일해

를 주지 않는다. 예를 들어 사각 네트워크의 각 모서리를 나타내는 연결점 1, 2, 3, 4를 고려한다면, 이 네트워크의 링크는 1-2, 2-3, 3-4, 4-1이다. 이 예제에서 일반적으로 최대 D값은 각 연결점에서 주어지기 때문에 위에서 설명한 간단한 방법으로 손상이 있는 링크를 결정할 수 없다. 그러나 실제 적용에서 이러한 상황은 지진과 같은 외부하중에 대해 링크들이 손상을 입은 것과 같기 때문에 비록 유일한 손상 링크를 탐지하지 못하더라도 손상된 링크들을 탐지한다면 긴급복구의 개념으로 볼 때 매우 유용하다. 왜냐하면 이러한 손상 링크들의 탐지는 복구팀을 신속하게 파견해서 손상된 링크 복구가 가능하도록 하기 때문이다.

3.3 실험을 통한 검증

압력저하와 관벽 진동과의 관계를 살펴보기



Fig. 6 실험 셋업

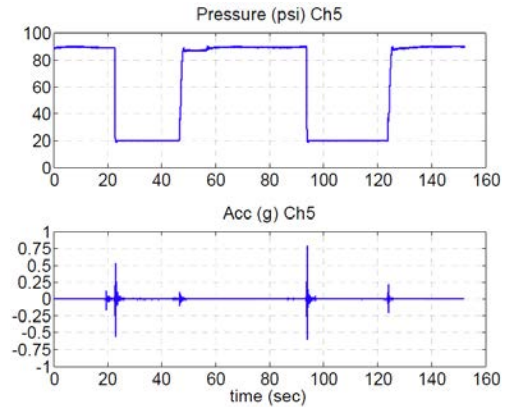


Fig. 8 압력 및 가속도 시간이력 곡선

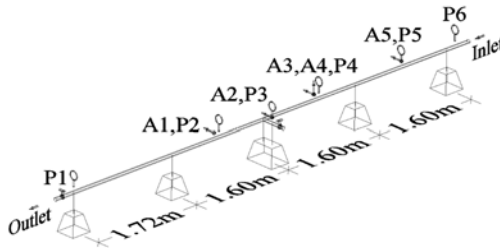


Fig. 7 센서 배치도

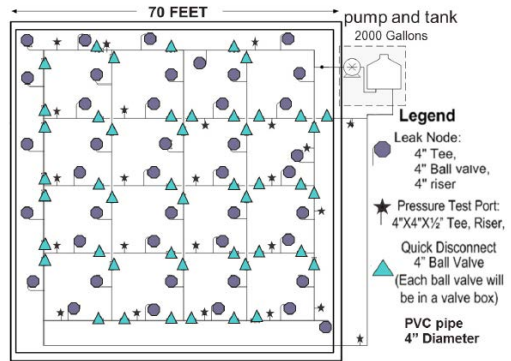
위해 실험실에서 시험을 수행하였다. 관로의 길이는 15 ft이다. Figs. 6과 7에서 보듯이 6개의 압력센서 및 5개의 가속도계를 관로에 설치하였다.

관로에 2개의 밸브가 설치되었으며, 주입구는 건물의 물공급 시스템과 연결되어 있다. 시스템의 압력은 80 ~ 90 psi로 측정되었다. 실험을 수행하는 동안 밸브의 개방이나 건물내 물 사용에 따른 경계조건 변화에 따라 다른 압력변화가 관찰되었다. 압력변화는 항상 관로의 진동을 의미하는 가속도의 변화와 함께 나타난다. 이러한 계측데이터의 예가 Fig. 8에 나타나 있다.

따라서, 전체 네트워크에 설치된 가속도계를 통해 물공급 시스템의 압력저하 지점을 찾는 것이 가능하다. Fig. 9와 같이 Irvine Ranch Water District (IRWD)에서 설치된 대규모 모델을 통해 실험을 수행하였다. 이 대규모 시설을 이용해



(a) 모델



(b) 도면

Fig. 9 IRWD 물공급 시스템

현재까지 수행된 실험결과를 바탕으로 수두변화와 관로 가속도 변화에는 매우 높은 상관관계가

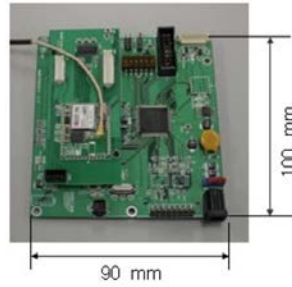
있음을 확인하였다. 모든 실험에서 상관관계를 확인하기 위해 Duramote 시스템에 기반한 가속도계와 일반적인 압력게이지가 사용되었다.

4. 차세대 SCADA 시스템

관로의 누수나 파괴를 탐지하기 위한 차세대 SCADA 시스템의 일부인 Duramote는 gopher, roocas, 기지국 및 전송장치로 구성된다.

Gopher 은 Duramote 시스템의 주요 구성요소이다 (Fig. 10). 각각의 gopher는 1개 이상의 MEMS 가속도계를 포함하고 있다. 1개의 가속도계가 보드에 설치되었으며, 각 방향별로 가속도를 측정하기 위해 2개의 가속도계가 추가적으로 설치될 수 있다. Gopher는 수밀이 가능한 박스안에 설치되며 관로에 부착되어 지하에 매설될 수 있다. 앞서 설명한 것과 같이 침상식인 압력게이지에 비해 가속도계는 관로 손상이나 물 공급 서비스 중단없이 설치나 교체가 가능하다.

Roocas는 Duramote 시스템의 두 번째 구성요소이다 (Fig. 11). 각각의 roocas는 1개 이상의 gopher와 유선으로 연결되어 있다. Roocas는 지표면에 설치되며 그 목적은 gopher에 전력 공급, 가속도 신호 수집, 그리고 무선으로 자료



- Multi-Wireless Technologies:
Wi-Fi/ Xstream/ XBee/ Eco/ Media converter (TX to FX)
- Different topologies: P to P, P to MP, 3G network, mesh topology
- Data logging: nonvolatile storage (FRAM, HCSD)
- Time synchronization modules: GPS, RTC, WWVB
- Supports real time monitoring system: Server/Client program

Fig. 11 Roocas 디자인 및 특징

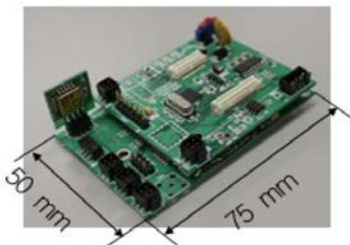
를 기지국으로 송신하기 위한 것이다. 각각의 roocas는 다중채널 및 다중 gopher를 지원한다. 현재 roocas는 건전지 또는 외부 전력원으로부터 전력을 공급받는다. 그러나, 현재 국부적인 에너지 수확을 위한 연구가 진행중이다.

무선네트워크는 저렴하고 경제적인 Wi-Fi 송신기를 사용할 수 있다. 이러한 무선네트워크의 목적은 roocas를 기지국과 동기화 시키고, roocas로부터 신호를 수집하고, roocas 및 기지국 사이의 신호를 주고 받는 것이다.

5. 프로토타입 개발

본 절에서는 Duramote 시스템의 프로토타입 (Prototype)을 개발하기 위해 수행된 미국 Vicent Thomas교 및 한국의 화명교 실험에 대해 설명하고자 한다.

앞서 설명한 것과 같이 전체 시스템은 가속도계를 포함하고 있는 gopher (Fig. 10), 자료전달을 위한 roocas (Fig. 11) 그리고 자료를 저장하고 해석하기 위한 기지국으로 구성된다. Roocas와 기지국의 연결은 다양한 방법으로 구성될 수 있다 (Fig. 12).



- CAN bus connection: Daisy chain connection up to 120 nodes
- Low noise figure accelerometers
- Supports 4th interface for a commercial piezoelectric accelerometer
- Built in tilt sensor, humidity sensor, temperature sensor
- Supports pigtail-type MEMs accelerometers

Fig. 10 Gopher 디자인 및 특징

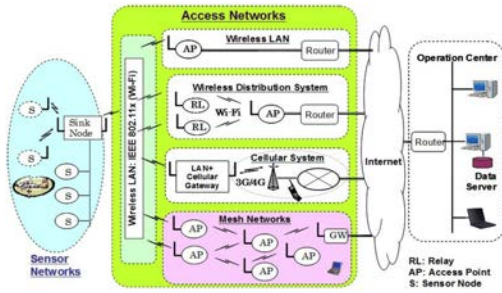


Fig. 12 차세대 SCADA 시스템



Fig. 13 미국 캘리포니아 대학교 실험 셋업

5.1 미국 캘리포니아 대학교 시설

Duramote 시스템의 장거리 무선통신 능력을 검증하기 위한 실험을 수행하였다. 이 실험에는 Engineering Tower, Parking Structure 및 Green Bridge 3개 지역의 시설이 이용되었다. 각 노드간의 거리는 150m~520m이다 (Fig. 13). 기지국은 Engineering Tower에 설치되었으며, 센서는 Parking Structure 및 Green Bridge에 설치되었다 (Fig. 14).

장거리 Wi-Fi 무선네트워크를 위한 장비는 다음과 같다.

- 무선 액세스포인트 (Access Point, AP): AP는 기존 네트워크와 관련된 다양한 Wi-Fi 클라이언트가 가능하도록 한다.
- 리피터(Repeater): 리피터는 수신된 신호를 다른 리피터 또는 AP에 전달한다.
- 브릿지(Bridge): 브릿지는 노드간 무선통신이나 다른 클라이언트 장비와 유선통신을 제공한다.

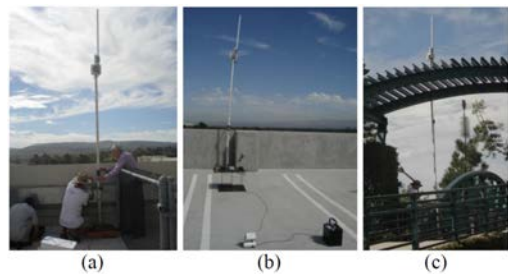


Fig. 14 (a) Eng. Tower: 기지국, (b) Parking Structure: 센서, (c) Green Bridge: 센서

Duramote 시스템은 Wi-Fi 및 수정된 Zigbee 무선통신기술을 적용할 수 있기 때문에 네트워크 형상에 대한 실험을 수행하였다. 각 노드에는 리피터나 브릿지가 설치되었다. 실험은 네트워크를 구성하는 노드를 제한하는 대역폭(bandwidth), 센서의 샘플링 주파수, 센서와 기지국 사이의 사용

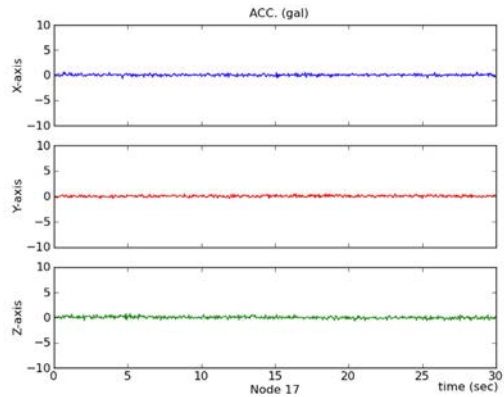


Fig. 15 Green Bridge의 실시간 가속도 신호

가능한 hop 개수를 포함한 Wi-Fi 기술의 성능에 초점을 맞추었다.

Fig. 14(a)의 기지국 모니터를 통해 각 지점의 가속도 신호를 실시간으로 관찰할 수 있으며, Fig. 15는 Green Bridge의 가속도 신호를 나타

낸 것이다.

5.2 시스템 유용성: Vincent Thomas교 실험

무선네트워크의 신뢰성과 강인성을 검증하기 위해 Vincent Thomas교가 실험에 이용되었다. Vincent Thomas교는 4차선 현수교로서 미국 캘리포니아 San Pedro에 위치해 있다. 1960년 미국 캘리포니아 교통국이 설계했으며 1963년 개통하였다. 현재 이 교량은 미국내에서 19번째, 캘리포니아주에서는 3번째로 오래된 현수교이다. 교량상판은 길이가 120m인 두 개의 주탑으로 지지되며, 주경간 길이는 457m, 측경간 길이는 154m이다.

첫 번째 실험 셋업은 강박스 거더 내에 위치한 관로내에 교량 전체에 걸쳐 가속도계를 부착하였다. 관로는 점검로와 평행하게 설치되어 있으며 이를 통해 손쉽게 접근이 가능하다. 3개의 가속도계가 관로에 설치되었다. 3개의 가속도계는 Fig. 16(a)와 같이 1개는 중앙에 나머지 2개는 주탑사이에 대칭으로 설치되었다.

실험결과 가속도신호의 고주파 및 저주파 영역에서 다양한 최대값들이 나타났다. 고주파 영역에서의 최대값은 관로의 진동과 관계된다. Fig. 16(b)와 같이 센서를 관로에서 제거해 교량에 직접 설치하였다. 관로 및 교량에 설치된 가속도 신호의 주파수 영역 비교를 통해 저주파수 영역의 최대값은 교량의 고유진동수임을 확인하였다.

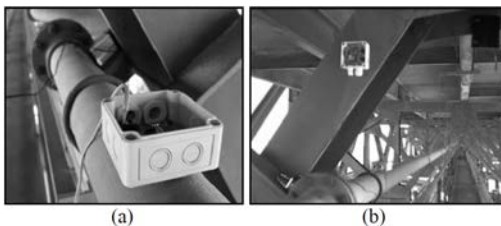


Fig. 16 Vincent Thomas교의 센서설치

관로와 교량의 고유진동수를 식별하기 위해 주파수 영역분해(FDD, Frequency Domain Decomposition) 기법을 사용하였다. 주파수영역분해 기법은 출력에만 기반하여 다자유도 시스템을 여러개의 단자유도 시스템으로 변화하는 간단하지만 정확한 기법이다. 주파수영역분해 기법은 근접한 고유진동수 추출 등의 문제가 있는 고전적인 주파수영역 접근방법의 문제점을 해결할 수 있으며 중요한 정보를 유지할 수 있는 간단하며 사용자 편의성이 높은 방법이다. 주파수영역분해 기법은 하중이 백색잡음이며, 구조물이 저감쇠의 경우 정확한 결과를 준다. 그러나 이러한 가정사항이 맞지 않는 경우에도 고전적인 주파수영역 접근방법에 비해 향상된 결과를 준다. Fig. 17은 주파수영역분해 기법을 이용해서 구한 교량의 고유진동수를 나타낸 것이다.

3개의 센서로부터 획득된 신호를 기반으로 4개의 수직모드만을 식별할 수 있었다. 교량과 관로의 차이는 크지 않았다. 실험결과를 통해 관로가 구조물에 설치된 경우 구조물의 고유진동수를 제거할 수 있도록 주파수 영역 해석을 수행해야 함을 알 수 있었다. 실험결과를 통해 교량과 같은 대형구조물의 건전성 모니터링에 Duramote

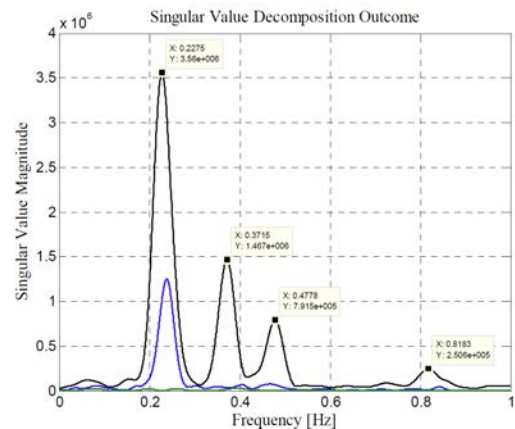


Fig. 17 수집된 신호의 특이치 분해

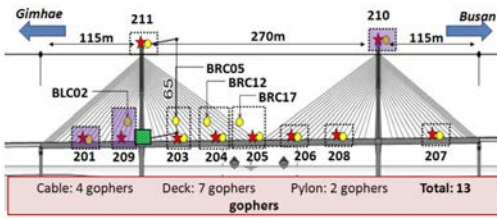


Fig. 18 화명교 및 센서위치

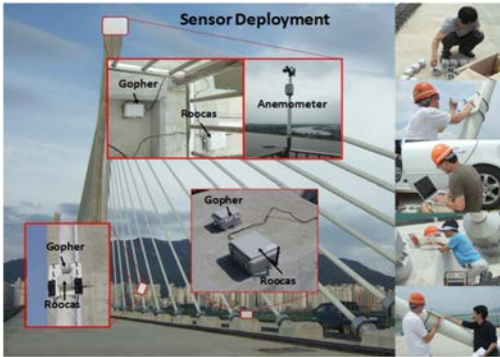


Fig. 19 화명교 센서 설치

시스템 성공적으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

5.3 화명교 실험

Vincent Thomas교 실험 이후, Duramote 시스템을 한국의 부산과 김해를 연결하는 화명교에 설치하였다. 본 실험의 목적은 시스템의 내구성 및 성능을 검증하는 것이다.

화명교는 Fig. 18과 같이 주경간 270m의 최근에 건설된 사장교이다. 주탑 높이는 상판으로부터 65m이다. 10개의 노드에 각각 다른 조합의 센서가 설치되었다 (Figs. 18, 19). 7개의 센서가 상판 중앙에 설치되었으며 각각의 센서는 수직 및 횡방향 상판 진동을 측정하기 위한 2개의 가속도계를 포함하고 있다. 2개의 센서가 주탑 상부에 설치되었으며, 각각의 센서는 교축방향 및 교축직각방향의 주탑 진동을 계측하기 위한 2개의 가속도계를 포함하고 있다. 4개의 센

Table 1 고유진동수

Experimental ω_n	Analytical ω_n	Direction
0.413 Hz	0.476 Hz	transversal
0.465 Hz	0.484 Hz	vertical
0.752 Hz	0.833 Hz	vertical
0.797 Hz	0.797 Hz	transversal
1.072 Hz	*	vertical
1.134 Hz	1.165 Hz	vertical
1.276 Hz	1.219 Hz	vertical
1.478 Hz	1.238 Hz	transversal
1.522 Hz	1.561 Hz	vertical
2.270 Hz	2.299 Hz	vertical
2.475 Hz	2.112 Hz	transversal+torsional

서는 케이블의 거동을 측정하기 위해 케이블에 설치되었다.

측정된 데이터는 Wi-Fi를 통해 김해쪽 주탑에 설치된 기지국으로 송신되었다. 기지국은 데이터를 연속적으로 저장하였으며 샘플링 주파수는 450Hz이다. 교량을 모니터링하기 위해서는 450Hz보다 저주파수의 샘플링 주파수로도 충분하나 Wi-Fi에 대량의 패킷(Packet)을 발생시키기 위해 450Hz의 샘플링 주파수를 사용하였다. 기지국은 3G 인터넷으로 연결되었으며 원격으로 접속할 수 있다.

실험은 3번의 폭풍우를 포함하여 3개월동안 지속하였으며, 가속도 데이터 측정의 강인성을 검증하기 위해 그 이후로도 지속되었다. 실험을 통해 측정된 고유진동수 및 고유모드는 Table 1과 같이 유한요소모델을 통한 이론적인 고유진동수와 고유모드와 잘 일치하였다.

6. 결론

본 연구에서는 인프라구조물의 이상적인 거동을 원격으로 실시간 모니터링하고 제어할 수 있는 차세대 SCADA 시스템의 개발현황을 나타냈다. 첫 번째로 테스트베드로 사용된 물공급 네트워크

워크를 이용해 차세대 SCADA 시스템의 상세한 개념 및 방법을 설명하였다. 본 연구에서 고려된 차세대 시스템은 다음과 같은 3가지로 구성된다. (1) Duramote (UCI에서 개발된 MEMS 기반 센서 및 송신네트워크), (2) 데이터 송신을 위한 접속 네트워크 (가속도), (3) 관찰, 분석, 제어를 위한 실시간 데이터 관측 SCADA 운영센터. Duramote 네트워크 및 접속네트워크의 성능은 이론 및 현장실험을 통해 검증되었다. 현장실험은 UCI 캠퍼스내의 실험장소 및 Vincent Thomas 교, 그리고 한국의 500m 사장교인 화명교가 포함되어 있다. 모든 시스템의 성능은 우수했으며, 교량에 설치된 Duramote 시스템의 강인성을 확인하였다.

참고문헌

1. Kim, S., Yoon, E., Chien, T-C., Mustafa, H., Chou, P. H., Shinozuka, M., Smart wireless sensor system for lifeline health monitoring under a disaster event. Proceedings of SPIE Conference on Smart Structures and Materials / NDE, San Diego, USA, 2011.
2. Papakonstantinou, K. G., Shinozuka, M. and Beikae, M., Experimental and analytical study of water pipe's rupture for damage identification

purpose, Proceedings of SPIE Conference on Smart Structures and Materials/NDE, San Diego, USA, 2011.

3. Shinozuka, M. and Dong, X., Evaluation of hydraulic transients and damage detection in water system under a disaster event, Proceedings of the 3rd US-Japan Workshop on Water System Seismic Practices, Kobe, Japan, 2005.
4. Shinozuka, M., Chou, P. H., Kim, S., Kim, H. R., Yoon, E., Mustafa, H., Karmarkar, D. and Pul, S., Nondestructive monitoring of a pipe network using a MEMS-based wireless network, Proceedings of SPIE Conference on Smart Structures and Materials/NDE, San Diego, USA, 2011.
5. Shinozuka, M., Chou, P. H., Kim, S., Kim, H., Karmakar, D. and Lu, F., Non-invasive acceleration-based methodology for damage detection and assessment of water distribution system, Smart Structures and Systems, 2010.
6. Shinozuka, M., Kim, S., Chou, P. H., Fei, L. and Kim, H. R., A sensor network for real-time damage location and assessment, 6th Taiwan-US-Japan Workshop on Water System Seismic Practices, Taipei, 2010.

담당 편집위원: 박규식
 (RIST 강구조연구소 책임연구원)
 kyuusikpark@rist.re.kr