

실시간 교량 안전감시시스템 개발

남명우^{1*}, 양옥렬², 이영석³, 오명관⁴
¹해전대학 전자캐드과, ²해전대학 보건의료정보과,
³청운대학교 디지털방송공학과, ⁴해전대학 디지털서비스과

Development of Realtime Bridge Safety Monitoring System

Myung Woo Nam^{1*}, Ok-Yul Yang², Young-seock Lee³ and Myung-Kwan Oh⁴

¹Dept of Electronic CAD, Hyejeon College,

²Dept of Healthcare & Medical Information, Hyejeon College,

³Dept. of Digital Broadcasting and Electronics, Chungwoon University,

⁴Dept. of Digital Service, Hyejeon College

요약 본 논문에서는 교량의 구조건전도를 실시간 감시할 수 있는 안전감시시스템인 BMSWare를 개발하였다. 개발된 시스템은 웹을 기반으로 실시간 안전감시가 가능하며 다양한 규모의 교량에 사용할 수 있도록 범용성을 목표로 개발되었다. 또한 각 교량들이 위치한 다양한 환경에서 신뢰성 있는 데이터를 수집할 수 있도록 다양한 제품의 로거(logger)와 센서들을 접목할 수 있으며, 프로그램의 수정없이 수집된 데이터를 가공할 수 있는 기능을 포함한다. 개발된 시스템은 독자적으로 교량에서 데이터를 수집하여 운용할 수 있는 기능과 수집된 데이터를 관리사무실의 메인 서버에 주기적으로 백업하며 실시간으로 교량상태를 전송할 수 있는 기능 등 두 가지 형태의 기능을 가지고 있다. 또한 새로운 교량에 적용이 용이하며 위기상황에 적절히 대응할 수 있도록 개발되었다. 개발된 시스템은 무영대교에 설치되어 운영 중에 있으며 평가결과, 시스템의 안정성과 효율성을 입증하였다.

Abstract In this paper, we developed the BMSWare(Bridge Management System Middleware) for bridge safety surveillance in real time processing. The developed system operates on web and considers the general monitoring application for bridges. In various environments in geographical location of bridge, it can obtain reliably data from various logger and sensors without re-programming. The main functions of the developed system include the acquisition, processing, backup and transmission of the collected sensor data. It was proved to be the safety and effectiveness by application of Mooyeong bridge.

Key Words : BMS, Bridge Monitoring System, BMSWare, Mooyeong

1. 서론

최근 국내의 교량건설은 가파른 증가세를 보이고 있다. 국토해양부 발표에 따르면 2007년도 한 해 동안 1,118개의 교량이 증가하여 총 24,923개의 교량이 운영중으로, 이 같은 교량의 증가는 도로선형의 직선화와 절개지 최소화라는 친환경적 도로건설 사업의 결과 때문이다[1]. 이렇게 건설된 교량들은 지방도, 일반국도, 고속도로에 다양하게 위치하고 있기 때문에 거리, 관리주체, 접

근성 등에 의해 관리의 어려움이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 교량에 부착된 센서들의 실시간 정보 수집 및 실시간 모니터링을 위한 유무선 정보통신 인프라 기술이 필요하다. 국내에 신축되는 교량 및 기존의 주요 교량들에는 교량의 건전도를 측정하기 위해 수많은 센서들과 로거 및 네트워크 장비들이 설치되고 있다. 그러나 교량과 정보통신분야의 융합기술 접목은 초기 단계이며, 각 교량별 시공사와 관리기관이 다른 경우가 많아서 교량의 건전도 모니터링 시스템의 규격화가 이루

*교신저자 : 남명우(mwnam@hj.ac.kr)

접수일 09년 11월 25일

수정일 10년 01월 07일

게재확정일 10년 01월 20일

어지지 못하고 있다. 이러한 비규격화 시스템은 동일구조의 교량이나 지역적으로 인접한 교량들을 하나로 묶어 관리하는 클러스터링이 불가능하고, 시스템을 도입할 때마다 새로운 개발비용이 발생하는 등 자원 낭비의 문제점도 야기된다. 또한 현재 안전감시시스템들은 비용 문제로 인하여 대형 교량들에만 설치되고 있을 뿐, 실질적으로 안전에 취약한 규모가 작고 시공품질이 떨어지는 교량들에는 설치가 어려운 것이 현실이다.

이에 본 논문에서는 비용절감뿐 아니라 다양한 교량에 쉽게 적용 및 관리가 가능하도록 시스템을 규격화하여 경제성을 확보하고 교량들 간에 클러스터링을 고려한 확장성을 갖춘 실시간 교량 안전감시시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 규격화된 데이터 수집이 가능하고 센서, 로거, 그리고 네트워크 추가와 유지보수가 용이하며 교량들 간의 클러스터링이 가능하도록 다양한 기능들을 포함하여 개발하였다.

2. 시스템 개요

기존 교량의 안전진단 방식은 변형률 게이지와 가속도계, 광섬유 등을 부착하고 교량에 대한 정·동적인 특성을 예측하여 그 결과값을 분석하는 것이다. 결과값은 미리 설정된 임계값을 초과할 시 경보를 발생하게 되며, 관리자는 경보발생시 결과값들을 종합하여 교량의 이상 유무를 판단하게 된다. 현재 개발되어 교량에 사용되고 있는 건전도 모니터링 시스템들은 많은 수의 센서와 로거 뿐 아니라 계측관리 전용 프로그램을 별도로 개발해야 했기 때문에 시스템 구축에 많은 비용이 소요되었다. 따라서 규모가 크고 건설비가 많이 발생하는 대규모 시설물들에 국한되어 적용되어 왔으며, 시설물의 안전성 확보 외에도 교량 설계 시 사용한 매개변수에 대한 검증에 중점을 두고 구축되었다. 본 논문에서 개발한 BMSWare(Bridge Management System Middle -ware)는 기존 시스템의 기능들을 포함하고 있으면서도 규모가 작은 교량에도 적용할 수 있도록 경제성과 확장성을 고려하여 설계하였다.

2.1 시스템 구조

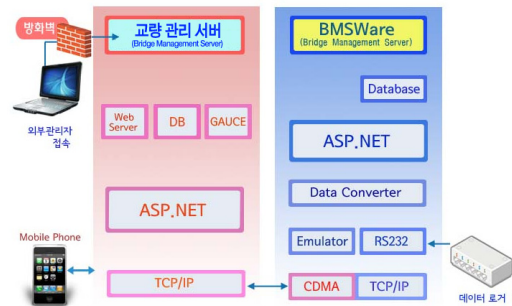
개발된 BMSWare는 교량내부에 설치되며 네트워크 및 전력, 온도, 습도 등의 열악한 환경에서 구동될 수 있도록 설계되었다. BMSWare와 연결된 전체 하드웨어 시스템 구조는 그림 1과 같다.

BMSWare 프로그램은 마이크로소프트사의 닷넷 프레임워크 상에서 개발하였고, 관리사무실의 웹서버 및 데이터베이스와의 연동을 고려하여 설계되었으며, 단독으로도 구동이 가능하도록 개발하였다. 그림 2는 BMSWare의 소프트웨어 구조도를 나타낸다[2-6].

임워크 상에서 개발하였고, 관리사무실의 웹서버 및 데이터베이스와의 연동을 고려하여 설계되었으며, 단독으로도 구동이 가능하도록 개발하였다. 그림 2는 BMSWare의 소프트웨어 구조도를 나타낸다[2-6].



[그림 1] BMSWare와 전체 하드웨어 시스템 구조도



[그림 2] BMSWare 소프트웨어 구조도

[표 1] 센서 용어의 규격 정의

No.	센서명	센서영문	
		센서약어1	센서약어2
1	변위계	Displacement	
		DP	DIS
2	처짐계	Deflection	
		DF	DEF
3	변형률게이지	Strain Gauge	
		SG	STR
4	경사계	Tilt Meter	
		TM	TLM
5	가속도계	Accelerometer	
		AC	ACC
6	온도계	Themometer	
		TH	THM
7	3축가속도계	3 Axis Accelerometer	
		3A	3AC

8	종방향변위계	Vertical Displacement Meter	
		VD	VDM
9	풍향계	Anemoscope	
		AS	ANS
10	풍속계	Anemometer	
		AM	ANM
11	균열계	Crack Meter	
		CL	CKM
12	광섬유변형률계	Optical Fiber Strain Gauge	
		OS	OSG
13	지점변위계	Spot Displacement Meter	
		SD	SDM
14	장력계	Tension Meter	
		TN	TNM
15	배터리	Battery	
		BT	BAT
16	음향방출계	Acoustic Emission Meter	
		AE	AEM

위의 표 1은 국내 교량에 사용되는 센서들의 2차 약어 및 3차 약어 규격 정의이다. 이는 현재 구축된 건전도 모니터링 시스템들이 센서들에 대한 규격화된 용어 설정이 되어 있지 않기 때문에 BMSWare 개발 시 모든 교량에서 공통으로 사용되는 센서들을 분석하여 16개의 센서에 대한 용어설정 및 2차 약어, 3차 약어로 규격화 하였다. 이를 통해 데이터베이스 설계 및 구축과 웹의 센서 뷰(view) 화면 표시에서도 규격화된 센서 정보를 확인할 수 있게 되었다.

2.2 시스템 주요 기능

BMSWare가 가지고 있는 기능들은 표 2와 같다.

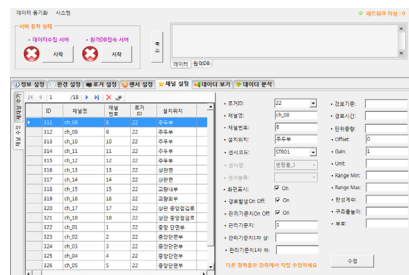
[표 2] BMSWare 시스템 기능들

	센서	로거	네트워크
확장 기능	○	○	유선/무선
관리 기능	○	○	×
데이터 가공 기능	○	×	×
실시간 계측 기능	○	×	×
데이터 분석 기능	○	×	×

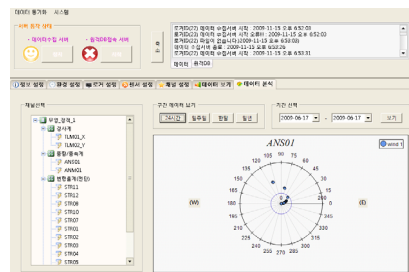
표 2에서 정의된 다양한 센서들은 교량의 내구성과 연식에 따라 센서의 추가 및 삭제가 가능하도록 확장성을 고려하여 설계하였고, 센서로부터 데이터 수집을 담당하는 다양한 로거에 대한 범용성 드라이버를 프로그램에 내장하는 방식을 채택하여 프로그램 수정 없이 간단히 로거의 추가가 가능하도록 설계하였다. 로거에서 수집된

데이터는 BMSWare에 의해 가공되어 로컬 데이터베이스로 저장되는데, BMSWare에 입력된 센서 게인(gain) 및 오프셋 값(offset value)과 연산 과정을 통해 교량의 안정/경고/위험 상태의 분석결과로 출력이 가능하도록 구성하였다. 교량에 설치되는 로거는 크게 동적로거(dynamic logger)와 정적로거(static logger)의 2가지 형태로 구분할 수 있다. 동적로거는 실시간으로 센서의 정보가 스트림 형식으로 도착하여 처리하는 방식인데, 실제 데이터 수집 시간은 임의로 정해 일정 시간의 값을 채택하는 방식이다. 정적로거는 보통 1분에서 5분 사이에 1회씩 센서의 결과측정값을 입력받는 방식으로 각 센서별로 누적된 정보를 데이터베이스에 저장하여 지속적인 관리 정보로 사용할 때 필요로 하는 로거이다. 따라서 본 시스템에서는 동적로거가 설치된 경우 로거와 통신을 통해 실시간으로 계측된 결과를 볼 수 있도록 설계하였다.

그림 1에서와 같이 교량 내부에 설치된 데이터 수집용 서버는 쉽게 접근이 용이하지 않기 때문에 시스템 이상이 발생했을 때 인터럽트 프로그램을 통해 시스템을 재시동하거나 로거의 초기화가 필요하다. 비교적 관리가 양호한 관리사무실의 웹서버와 데이터 수집용 교량내부 서버간의 가장 큰 문제는 통신장애이다.



[그림 3] 개발된 BMSWare의 센서와 채널 관리



[그림 4] 개발된 BMSWare의 데이터 분석

네트워크 설치는 유선 전화망이나, CDMA 모뎀을 사용하여 통신하도록 설계하였으며, 만일, CDMA모뎀에 문제가 발생할 경우 매번 교량 접근이 용이하지 못한 점

을 고려하여 네트워크 이상이 일정시간 이상 지속될 때 시스템을 재시작하고 시스템 복구를 시도하도록 인터넷 프로그램을 내장시켰다.

2.3 시스템 구성 알고리즘

센서, 로거를 거쳐 전송되는 계측신호는 전압이나 전류의 변화 값을 의미하며, 구조물의 상태에 대한 의미 있는 정보뿐만 아니라 분석 시 장애가 되는 전기적, 환경적인 잡음(white noise)이 포함되어 있다[7,8]. 특히 동적데이터는 일반적으로 잡음에 비하여 계측신호가 미약하게 나타나는 특징이 있어 계측신호가 잡음에 묻혀 정확한 계측데이터를 얻기 곤란한 경우가 있다. 따라서 신호처리 과정을 거쳐 이러한 계측데이터의 신뢰도를 향상시켜야 한다. 개발된 시스템은 실시간으로 데이터의 계측이 이루어지므로 BMSWare에서 구현되고 있는 신호처리과정은 실시간 처리 모듈과 웹서버에서 구현되어 계측데이터 조회 시 사용자의 요구에 따라 데이터를 가공하는 모듈로 나누어진다. BMSWare에 사용된 신호처리 기법은 아래와 같다.

- ① 직류성분 제거 : FFT 연산 시 수반되는 누수(leakage) 현상 방지
- ② 스펙트럼의 왜곡현상(distortion) 방지 : Hamming Window를 사용하여 연속신호의 스펙트럼 왜곡 최소화
- ③ 노이즈성분 제거 : 시간별로 측정된 데이터의 스펙트럼을 평균하여 노이즈 제거 및 대역필터를 이용
- ④ 케이블 장력 추정 : 가속도계를 이용한 간접 계측 방법인 진동방정식법을 (식 1)과 같이 사용하였다. 이 진동방정식법은 적용이 복잡하나 복수의 고차 모드 이용 시에 신뢰도가 우수하다는 특징을 가진다.

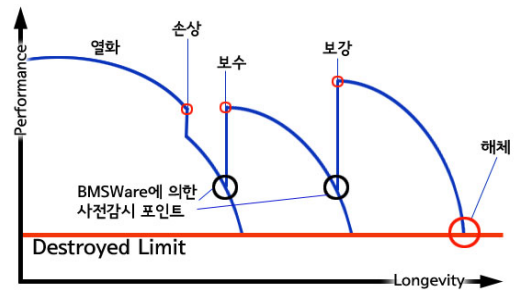
$$\left(\frac{f_n}{n}\right)^2 = \frac{Tg}{4wL_{eff}^2} + \frac{EF\pi^2g}{4wL_{eff}^4}n^2 = b + an^2 \quad (식 1)$$

단, $T = \frac{4wL_{eff}^2}{g} \times b$, $EF = \frac{4wL_{eff}^2}{\pi^2g} \times a$

- w : 단위 케이블 중량 (tonf/m)
- g : 중력가속도 (m/sec)
- z : 케이블의 처짐량 (m)
- E : 케이블의 휨강성(tonf m²)
- T : 케이블 장력 (tonf)
- L_{eff} : 케이블의 유효길이 (m)
- n : 진동모드의 차수
- f_n : n차 모드의 진동수 (Hz)

3. BMSWare의 현장 적용

지진, 강풍, 강수량, 케이블 장력, 교량 내부와 외부의 온도차, 교량 기둥의 상하좌우 움직임 등의 계측정보는 교량 모니터링 시스템을 통해 미세한 움직임까지 확인할 수 있는데 이는 사람의 육안으로 확인하기는 어렵다. 따라서 시설물의 성능저하와 함께 발생하는 이상거동은 육안으로 확인될 만큼 손상이 발생하였다면, 이는 손상의 정도가 심각하여 본래의 성능으로 회복하는데 많은 비용을 필요로 한다. 모니터링에 의한 시설물의 유지관리는 이러한 개념 하에 사람이 육안으로 확인하기 어려운 정도로 미소한 이상거동을 미리 감지함으로써 교량 손상 초기단계에서 본래의 성능으로 회복하기 위해 사전 조치를 위한 정보제공에 목적이 크다[9-10]. 그림 5는 모니터링 기법을 이용하여 교량의 유지보수 비용을 절감하고 교량 수명을 연장하는 방법을 보여주고 있다[11-13].



[그림 5] 모니터링에 의한 시설물 안전감시 그래프

개발된 BMSWare는 전라남도 무안군과 영암군을 잇는 무영대교에 적용되었다. 현재 시점까지 교량이 완공되지 않은 상태이기 때문에 설치되어진 센서들만을 연결하여 시스템의 안정성과 정확성을 검증하고 있다. 준공 이전 시점에서부터 모니터링 시스템을 가동하는 이유는 설계시점에서 발생할 수 있는 기술적인 문제의 사전조치의 역할도 모니터링 시스템이 수행하기 때문이다. 무영대교에 설치된 센서로는 온도계 2개, 가속도계 3개, 레이저식 처짐계 2개, 장력계(가속도계) 12개, 음향방출계 10개, 변형률계 6개, 풍향풍속계 1개, 경사계 2개, 변형률계(전단) 2개, 지진계 1개, 신축변위계 2개가 설치되었으며 현재 변형률계 등 약 70%의 센서가 시공되어 운영되고 있다. 그림 6은 관리사무실에 설치되어 운영되는 웹서버와 데이터베이스 서버 초기화면이다.



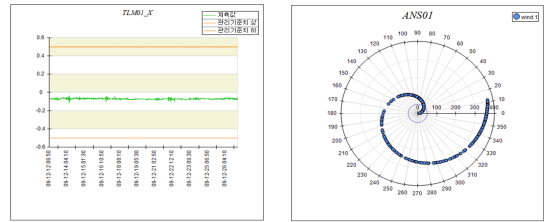
[그림 6] 무영대교 웹서버 초기 화면

개발된 BMSWare는 교량내부에서 독립적으로도 운영이 가능하며 CDMA 모뎀을 통해 웹서버와 통신하여 실시간으로 교량 상태를 웹서버로 전송할 수 있다. 그림 7은 웹서버에 실시간으로 전송되는 교량에 설치된



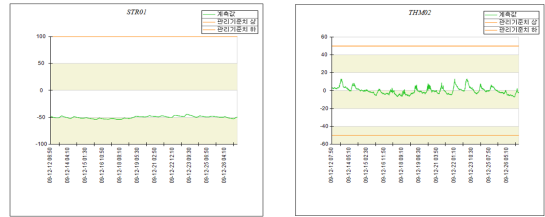
[그림 7] 무영대교 웹서버 교량 관리화면

센서 데이터 목록을 보여주고 있다. 센서에서 보내온 결과값이 관리기준치를 초과하면 화면상에 경고 메시지를 표시하고 알람 및 SMS가 관리자에게 즉시 발송된다. 그림 7의 화면 위쪽 부분은 무영대교의 도면과 부착된 센서의 위치를 마이크로소프트사의 Silverlight 기술을 이용하여 구현하였다. Silverlight는 웹에서 차세대 .NET 기반 미디어 환경 및 풍부한 대화형 애플리케이션(RIA)을 제공하기 위한 다중 브라우저, 다중 플랫폼 플러그인으로 이미지의 확대와 축소가 자유롭다. 따라서 화면에 표시된 센서정보를 클릭하면 센서 설치정보가 확대되어 보이도록 설계하였으며 화면 아래쪽 부분은 센서값 표시 테이블로 Ajax기술을 적용, 웹페이지의 재전송 없이 실시간 업데이트가 가능하여 24시간 교량감시가 편리하도록 개발하였다.



(a) 경사계

(b) 풍향/풍속계



(c) 변형률계

(d) 온도계

[그림 8] 무영대교 센서들의 입력 파형

그림 8은 교량에 설치된 각 센서들로부터 입력되는 신호파형들이다. 도시된 센서값들은 사전 테스트를 통해 얻어진 계인값과 오프셋값을 적용하여 수정된 결과이며 실제 측정값과 일치함을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 교량의 건전도 모니터링을 위한 BMSWare를 개발하였다. 개발된 BMSWare는 다양한 규모의 교량에 경제적으로 적용할 수 있고, 확장이 용이하여 교량들 간의 클러스터링이 가능하도록 다양한 기능들을 포함한다. 또한 센서 및 로거정보의 추가/삭제/수정이 가능하여 관리가 용이하며 교량에 설치된 센서와 로거들의 노후화에 따른 유지보수 비용을 절감할 수 있어 기존에 개발된 시스템과 차별성을 가진다. 현재 개발된 BMSWare는 사장교인 무영대교에 설치되어 현재까지 설치된 센서들에 대하여 시스템의 안정성과 효율성을 입증하였다.

BMSWare는 향후 다양한 교량들에 추가로 설치될 예정이며, 지속적인 기능 개선을 통해 BMSWare가 추구하고 있는 범용성과 확장성을 높여 나갈 예정이다.

참고문헌

[1] 2008년도 도로교량 및 터널 현황조사, 국토해양부, 2008.

- [2] 홍용표, 김상훈, "Visual Studio 2008 완벽가이드", 영진닷컴, 2008.
- [3] 하성광, "ASP.NET 2008", 대림, 2009.
- [4] 송민규, "제어 및 모니터링 시스템 구현을 위한 ActiveX 기반의 애플리케이션 설계", 한국산학기술학회논문지, v.7, no.6, pp.1237-1242, 2006년
- [5] 권대곤 외1, "데이터베이스를 활용한 센서 데이터 관리", 한국산학기술학회논문지, v.10, no.7, pp.1608-1613, 2009년
- [6] 이정석, "인터넷기반 구조건전도 모니터링 시스템", 한국시설안전기술공단, 2005.
- [7] 무영대교 구축보고서, 2007.
- [8] 이산영, "교량의 안전점검 방법에 대한 고찰", 한양대학교 공학대학원 석사학위 논문, 2008.
- [9] 이일근 외3, "사장교 구조 건전도 모니터링 시스템 최적 센서 설계", 고속도로. 제73호 (2006년 하), pp.87-99 한국도로공사, 2006.
- [10] 임화정 외2, "교량 감시를 위한 센서 네트워크 보안", 한국컴퓨터종합학술대회 논문집. 제32권 제1호(A), pp.112-114 한국정보과학회, 2005.
- [11] 송성근, "유비쿼터스 센서노드를 이용한 교량안전관리 지능화 기초연구", 한양대학교 대학원 석사학위 논문, 2007.
- [12] 유병수, "지방도 교량의 현황과 안전 및 유지관리 방안에 관한 연구 : 경기도를 중심으로", 경기대학교 산업정보대학원 석사학위논문, 2000.
- [13] 한국건설기술연구원, "유비쿼터스 환경의 지능형 시설물모니터링 기술개발" 한국건설교통기술평가원, 2006.

남 명 우(MyungWoo Nam)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서울시립대학교 제어측정공학과(공학사)
- 1994년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2003년 2월 : LG 이노텍(선임연구원)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 해전대학 전자캐드과(교수)

<관심 분야>

신호처리, 회로설계, 마이크로프로세서

양 옥 렬(OK-Yul Yang)

[정회원]



- 1995년 2월 : 원광대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1997 2월 : 원광대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2002년 2월 : 원광대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2000년 8월 : BNS MediaTech. (대표)
- 2003년 2월: (주)휴먼미디어테크 (연구소장)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 해전대학 보건의료정보과(교수)

<관심분야>

신호처리, 의료정보, Culture Contents, HIS, OCS, EMR

이 영 석(Young-Seock Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 서울시립대학교 전자공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1998년 8월 : 서울시립대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 청운대학교 디지털방송공학과(교수)

<관심 분야>

임베디드 시스템, SoC, 의용전자시스템

오 명 관(Myung-Kwan Oh)

[종신회원]



- 1993년 2월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (석사)
- 2002년 8월 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 (박사)
- 1993년 8월 ~ 1999년 2월 : 고려정보테크 (주) 정보통신연구소 연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 해전대학 디지털서비스과 부교수

<관심 분야>

영상처리, IT 서비스 등