

대용량 조명연출을 위한 마스터-슬레이브 구조와 동기화 방안

최성철^{1*}, 이원호¹, 문병구¹
¹아주자동차대학 자동차계열

The Master-Slave structure and Synchronization Method for a higher-Capacity Lighting Performance

Seong-Cheol Choi^{1*}, Won-Ho Lee¹ and Byung-Koo Moon¹

¹Division of Automobile, Ajou Motor College

요약 현재의 실내 실외의 조명 산업은 반도체 LED를 이용한 R(빨강), G(초록), B(파랑)를 각각 제어 연출하여 대형화, 시스템화 되어가고 있다. 조명 산업의 통신 제어 표준인 DMX512(ANSI E1.11) 프로토콜은 최대 512개의 조명등 또는 24bit 트루 칼라로 표현할 경우 최대 170개의 조명등을 연출할 수 있다. 요즘 100개 이하의 조명등 연출은 소규모 연출로 분류되고 있어 본 논문은 1000개 이상의 대용량 조명 연출을 위하여 1대 마스터 컨트롤러에 최대 32대의 슬레이브 컨트롤러를 연결할 수 있는 마스터-슬레이브 구조를 제안한다. 또한, 슬레이브 컨트롤러들이 설계된 하나의 연출을 달성하기 위한 동기화(synchronization) 방안도 제안한다. 제안하는 방안은 마스터가 400ms마다 동기화 신호를 송신하고 슬레이브들은 이 신호를 수신하여 DMX512 출력의 기본이 되는 타이머를 초기화하여 동기화를 구현하였다. 제안된 방안으로 설계 제작되어 상용화된 운영 사례를 소개한다.

Abstract The indoor and outdoor lighting industry has become the bigger and more systemized using the semiconductor LED with each control R(Red), G(Green), B(Blue). The communication standard DMX512(ANSI E1.11) protocol of it can control and perform max. 512 lightings, especially 170 lightings in 24 bit true color. As the performance of below 100 lightings is distinguished small-size, this paper proposes a bigger capacity lighting performance above 1,000 using connection to 1 master to 32 slaves. Also, this paper proposes the synchronization method in order to accomplish a designed performance. In proposed method, the master sends the synchronization signal to slaves every 400ms. Slaves receive this signal and use to initialize the timer becoming the basis of DMX512 output. The example of the developed products using proposed method and the operation is introduced.

Key Words : DMX512, Master-Slave, Synchronization, Timer

1. 서론

친환경, 고효율, 에너지 절감의 반도체 LED가 조명산업으로 급격히 확산되고 있다. 이러한 조명 산업은 실내 조명인 형광등, 백열등, 다운라이트, 팬던트등 등과 실외의 가로등, 수목등, 벽부등, 수중등 투광등 등이 LED로 개발되어 상용화 되어 있다. LED 조명은 장점은 다른 어떠한 매질로 개발된 조명등 보다 에너지가 소모가 작고, 수명이 길다(반도체 LED의 수명은 최소 5년에서 10년).

기존의 할로겐, 네온, 나트륨 등의 가스 이용한 조명등 연출은 단순하며 다양한 연출 특히 충전연색의 연출은 거의 불가능하다. 반면에 반도체 LED의 기술 개발이 급격히 발전하며 와트 당 120루멘(lumen)을 초과하여 다른 매질로 개발된 조명등보다 와트 당 루멘[1]이 우수할 뿐만 아니라 R(Red), G(Green), B(Blue) LED 부품을 각각 제어하여 다양한 연출이 가능하다. 또한 반도체 R, G, B를 한 개의 패키지(package)에 장착하거나 각각 R, G, B를 금속 PCB(Printed Circuit Board)에 실장[2], 제어함으로

*교신저자 : 최성철(csc@motor.ac.kr)

접수일 10년 04월 28일

수정일 10년 05월 18일

게재확정일 10년 07월 06일

서 다양한 문자, 모양 나아가 동영상 또한 가능하다.

이러한 반도체 기술의 발달에 힘입어 조명 연출 산업 또한 발전하여 대용량화 시스템화 되어 가고 있다. 현재, 조명 산업에서 100개 이하의 조명 연출은 소규모, 100 ~ 1000개 까지 중규모, 1,000개 이상의 조명등 제어 연출하는 것을 대규모로 분류하고 있다. 조명 산업의 통신 표준은 250Kbps의 전송속도를 갖는 DMX512 조명 제어용 표준 통신 프로토콜이 사용되는데, 데이터 스트림은 8비트씩 최대 512바이트가 전송된다. DMX512 통신에서 1 바이트에 하나의 조명등을 연결한다면 서로 다른 512개의 조명등을 연결할 수 있다. 반도체 LED 조명등은 R, G, B를 각각 제어하여 이 3색을 섞음으로써 총 24bit ($2^{24} = 16,776,216$)의 다양한 색 표현이 가능하다. 또한, 하나의 색을 표현하기 위하여 3바이트(채널)가 필요하므로 DMX512에 연결될 수 있는 조명 단말기는 $170(512/3 = 170)$ 개가 된다[3]. 이러한 물리적인 제한은 조명 연출의 경우 많은 제약이 예상된다. 예를 들어 한강 다리의 길이는 1000m가 넘어 1m의 라인 바를 설치 연출할 경우 1000개 이상이 소요되어 DMX512 통신을 갖는 1대의 조명 컨트롤러로는 연출이 어렵다. 다만, DMX512 프로토콜을 임의로 수정하여 프레임 당 전송 바이트 수를 증가시키는 대신 초당 갱신 횟수를 줄이면 가능할 것이다. 즉, 색이 매우 느리게 변하는 연출이거나 일정한 특정한 색상으로 고정되어 있는 연출의 경우이다.

본 논문에서는 이러한 제한을 해결하기 위해 조명 컨트롤러들을 RS-485방식을 사용하여 한대의 마스터에 최대 32대의 슬레이브를 연결할 수 있는 마스터-슬레이브 구조를 제안한다. 이때 1byte 당 1 조명등의 경우 최대 16,384개(512×32), 3byte 당 1 조명등(칼라)인 경우 5,440개(170×32)가 가능한 대규모 조명 제어 시스템이 된다. 제안한 마스터-슬레이브 구조가 설계된 연출을 표현하기 위해 슬레이브 동기화 방안 또한 제안한다. 제안하는 동기화 방안은 마스터가 400ms마다 동기화 신호를 송신하고 슬레이브들이 이 신호를 수신하여 DMX512 출력의 기본이 되는 타이머를 초기화하여 동기화를 구현하였다.

2장에서는 DMX512 통신 프로토콜과, 마스터-슬레이브 동기화 전송을 위한 전송 방식 대해 알아보고 이에 따른 적합한 전송 방식의 선택, 3장에서는 이 동기화를 구현하는 소프트웨어, 4장에서는 구현 사례 및 상용화를 논의하며, 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대하여 논의한다.

2. DMX512 프로토콜과 마스터-슬레이브 통신방식

2.1 DMX512 프로토콜

슬레이브에서 조명 제어 및 연출에 사용되는 DMX512 조명 제어용 통신 프로토콜은 전송속도 250Kbps로 1프레임에 512바이트의 데이터가 연속되며 초당 24번 이상 전송이 가능하다. 통신 프로토콜에 의하면, 시작을 알리기 위한 BREAK, MAB(Mark After Break), Start Code, MTBF(Mark Time Between Frame), Channel Data(512 바이트) 그리고 MTBP(Mark Time Between Packets)로 구성된다. BREAK는 신호 레벨 'Low'를 88 μ s 이상 출력하여야 하며, MAB는 'High'를 8 μ s 이상 출력한다[4][7]. Start Code와 Channel Data는 8bit, 2Stop Bit, No parity로 사용된다. 특히 Start Code는 8bit 전부 'Low'로 정의한다. 따라서 1 Channel Data는 44 μ s가 된다. 아래 표 1은 DMX512 타이밍 차트를 그림 1은 프로토콜 타이밍을 보여준다.

2.2 동기화 전송

본 논문의 동기화 방안은 하나의 마스터가 400ms마다 동기 신호를 주기적으로 전송하면 32대의 슬레이브들은 동시에 수신하는 방식을 사용한다.

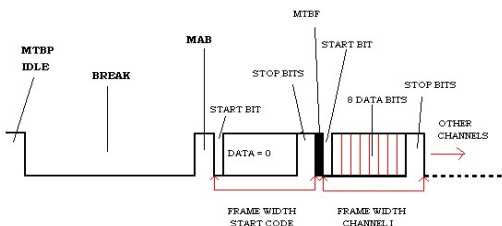
2.2.1 물리적 전송 신호

동기화 전송을 위한 물리 계층은 DMX512와 같은 RS-485 방식을 사용한다. 이 방식은 2선 differential 전송으로 잡음에 강하며 장거리 전송이 가능하다. [5]에 의하면 35Mbps일 때 10m 까지, 100kbps일 때 1200m까지 전송이 가능하다. RS-485 방식은 송신단과 수신단의 임피던스가 일치하지 않으면 반사파가 발생하여 전송 신호의 왜곡이 발생하고 심지어는 데이터 전송이 불가능하게 된다. 이 때 송신으로부터 가장 먼 수신단의 두 선의 양단에 약 120옴의 종단저항을 설치하면 해결된다. 종단저항 값은 선로의 특성, 신호의 주파수 등에 따라 보정이 필요하지만 이는 본 논문의 관점이 아니므로 논의를 자제한다.

[표 1] DMX512 타이밍 차트

Description	MIN	TYP	MAX	UNIT
BREAK	88	88	1000000	usec
MAB		8		usec
FRAME WIDTH		44		usec
START/DATA/STOP BITS		4		usec
MTBF	0	NS	1000000	usec
MTBP	0	NS	1000000	usec

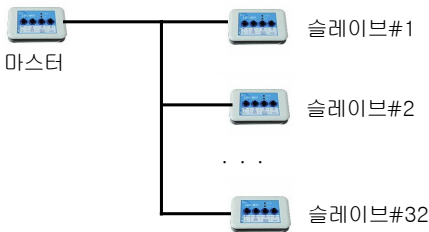
[Note: NS means Not Specified and is designer definable]



[그림 1]의 프로토콜 타이밍

2.2.2 네트워크 토폴로지(Network-Topology)

네트워크의 토폴로지는 버스형, 링형, 스타형, 멀티드롭형 등이 있다. 1대의 마스터가 32대의 슬레이브에게 동기 신호를 주기적으로 전송하면서 RS-485 신호 방식에 적합한 토폴로지는 [5]에서 스타나 링형은 신호 반사파로 인한 임피던스가 가변적이므로 추천하지 않고 멀티드롭(multi-drop)형이나 버스(bus) 형을 추천하고 있다. 본 논문에서는 중단저항을 사용함으로써 반사파의 제거가 용이한 멀티드롭형을 선택한다.



[그림 2] 멀티드롭(multi-drop) 연결

2.2.3 통신 방식

동기화 통신을 위하여 마스터는 슬레이브에게 주기적으로 동기용 신호를 전송하지만 슬레이브는 이에 대한 응답을 하지 않는다. 슬레이브 동기 신호는 선로 고장 또는 마스터 고장 등의 원인이 아니면 주기적으로 신호가 전송된다. 따라서 슬레이브가 동기 신호 한번 놓쳤다 하더라도 다음 동기 신호에서 복원이 가능하다. 이 부분은 다음 3장에서 자세히 논의한다.

1) 전이중 방식(Full-Duplex)

이 방식은 주로 1:1 방식으로 노드1과 노드2가 언제든지 송신과 수신이 가능한 방식이다. 본 논문에서 제안하는 방식은 한대의 마스터에 32대의 슬레이브이므로 적합하지 않다.

2) 반이중 방식(Half-Duplex)

이 방식은 노드1이 송신이면 노드2는 반드시 수신이고, 노드2가 송신이면 노드1은 반드시 수신이어야 한다. 한대의 마스터가 동기 신호를 송신하고 32대의 슬레이브들은 순서에 따라 그 응답 신호를 마스터로 송신할 수 있다. 반면 마스터는 송신 한 번에 최대 32번의 응답 수신 필요하다. 3장의 논의와 현재 각 조명제어 컨트롤러들을 화면으로 감시할 모니터링 시스템이 없는 상태에서 슬레이브의 응답을 받는 것은 네트워크와 컨트롤러의 부하를 증가시키는 것이다. 따라서 본 논문의 동기화 방식으로 적합하지 않다.

3) 단방향 통신 방식(Simplex)

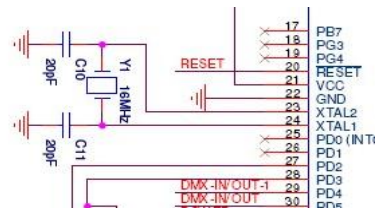
한쪽 방향으로만 통신이 가능한 방식이다. 즉 1대의 마스터는 일방적으로 동기 신호를 전송하고 32대의 슬레이브는 수신만 한다. 따라서 본 논문의 제안하는 방식에 적합하다.

따라서 본 논문에서 사용될 동기화 방식의 네트워크 토폴로지는 멀티드롭형, 물리적 신호는 RS-485, 단방향 통신을 사용한다. RS-485의 물리적 특성에 따라 최대 32대의 슬레이브를 연결할 수 있다.

3. 소프트웨어 설계

3.1 주파수 발진기

컨트롤러의 가장 핵심은 마이크로프로세서이다. 본 논문에 사용된 마이크로프로세서는 ATMEL사의 ATMEGA2561을 사용하였다.



[그림 3] 크리스탈 회로

주파수 발진기는 16MHz의 크리스탈을 사용하였으며 그 특성은 [6]와 같다. 특히 주파수 허용오차(frequency tolerance)는 $\pm 50ppm$ 이다. 즉, 1MHz마다 $\pm 50Hz$ 의 오차가 발생할 수 있으므로 1초에 최대 800Hz의 오차가 발생할 수 있다. 만약 한 슬레이브가 1초에 최대 +800Hz 오차가 발생하고, 다른 한 슬레이브가 -800Hz의 오차가 발생한다면 두 슬레이브 사이에는 초당 최대 1,600Hz의 오차가 발생한다. 1분이면 최대 96,000Hz 6ms, 10분이면

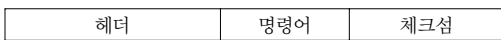
960,000Hz 60ms의 오차가 발생한다. 조명 연출 특성상 최소 초당 24회(약 41ms) 이상 데이터가 갱신되어야 사람의 시각이 피로하지 않고 번쩍임을 느끼지 못한다. 따라서 60ms의 시차는 경우에 따라서 사람에게 인지되어 조명 연출의 번쩍임 또는 부자연스러움으로 느껴질 것이다. 만약 주파수 발진기를 더욱 안정된 오실레이터로 교체한다 할지라도 역시 허용 오차는 존재한다. 그러므로 부자연스러운 시간이 지연될 뿐이지 이를 보정하지 않고는 해결되지 않는다.

3.2 동기화 소프트웨어 설계

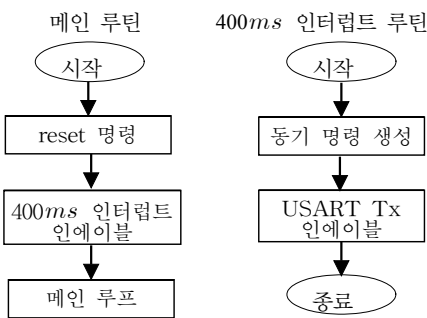
3.2.1 마스터 동기신호

마스터는 동기 신호를 주기적으로 발생하여 슬레이브로 전송한다. 그러나 모든 시스템을 동시에 전원을 투입하여도 각 컨트롤러(마스터, 슬레이브)의 리셋 회로 캐패시터 허용 오차에 의해 리셋 시간이 달라 프로그램의 시작 시각에 차이가 발생한다. 특히 슬레이브의 경우 주파수 발진기의 허용 오차에 의해 32대 사이에 10분당 최대 60ms의 연출 시차가 발생할 수 있다. 따라서 마스터는 동기 신호 이전에 모든 슬레이브가 동시에 리셋이 되도록 리셋 명령을 전송하여 슬레이브 전체를 소프트웨어 리셋을 한다. 이후에 마스터는 400ms마다 슬레이브 동기 명령을 전송한다.

마스터와 슬레이브 사이의 통신 속도는 안정성을 위하여 9600bps, 2stop bit, odd parity로 설정하였다. 또한 헤더는 3바이트, 명령어 1바이트, 체크섬 2바이트를 사용하였다. 아래 그림 4는 프레임 구조와 마스터 프로그램 플로우차트를 보여준다.



(a) 동기화 프레임 구조



(b) 마스터 플로우차트

[그림 4] 마스터 프로그램

3.2.2 슬레이브

32대의 슬레이브들은 각각 최대 512개(칼라 연출일 경우 170개)의 조명등 색 데이터를 DMX512 통신을 통하여 전송한다. 이때 초당 최소 24회 이상 색 데이터를 갱신한다. 본 논문의 컨트롤러는 초당 25회, 40ms 마다 한번 씩 색 데이터를 갱신한다.

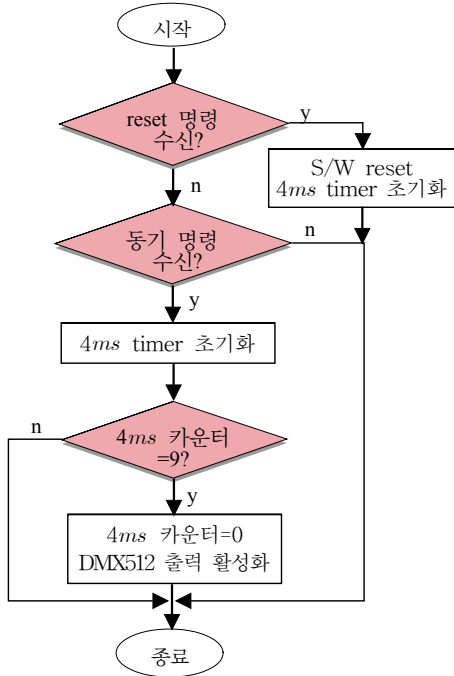
슬레이브들은 마스터로부터 리셋 명령을 수신하면 모두 소프트웨어 리셋을 수행하고, 조명등 색 데이터 갱신의 기본 타이머 값은 4ms로 모두 똑같이 초기화한다. 각각의 슬레이브들이 생성한 색 데이터는 4ms를 10번 카운트하여 40ms마다 DMX512 프로토콜을 이용하여 출력한다. 이때 400ms 경과 후에 마스터는 동기화 명령을 슬레이브에게 송신하고 이를 USART 인터럽트로 수신한 슬레이브들은 자신의 4ms 타이머를 무조건 초기화한다. 슬레이브의 16MHz 발진기 주파수가 마스터의 주파수 보다 상대적으로 높으면 10번째 DMX512 출력을 실행하고 있을 것이다. 반대로 낮으면 9번 출력을 하고 4ms 카운트가 '9'를 지시하고 있을 것이다(마스터와 슬레이브 사이의 클록 차이 = $800\text{Hz} \times 0.4 = 320\text{Hz}$, 최대 0.02ms 차이가 발생). 이때 슬레이브는 DMX512 10번째 출력을 강제로 활성화하여 다른 슬레이브들과 연출을 동기화 한다. 또한, 마스터 보다 주파수가 빠른 슬레이브는 최대 0.02ms 앞서고 있을 것이다. 결과적으로 마스터 400ms 주기적인 동기신호에 슬레이브들이 최대 0.04ms 내에서 전부 동기화되는 것이다. 만약, 동기신호를 한번 수신하지 못하면 마스터와 슬레이브 사이의 클록으로는 최대 640Hz 0.04ms, 슬레이브와 슬레이브 사이는 1280Hz 0.08ms 차이가 발생한다. 다음 동기신호를 제대로 수신한다면 위의 차이가 누적되지 않고 바로 보정 되므로 사람이 인지하지 못한다. 결과적으로 슬레이브들은 400ms 마다 모두 10번의 DMX512 출력을 수행하고 타이머가 초기화되어 전체적인 조명 연출이 동기화 된다. 그림 5는 USART 인터럽트 루틴의 슬레이브 동기화 플로우차트를 보여준다.

4. 구현 사례 및 상용화

4.1 구현

위의 방법을 사용하여 개발된 조명 컨트롤러를 실험실 내에 설치하여 시험하였다. 시험용으로 마스터 1대에 슬레이브는 2대만을 사용하였고, 연출을 위해 각 슬레이브에 LED 라인바를 2대씩 설치하였다. 2대의 슬레이브 컨트롤러는 같은 연출을 하도록 프로그램하였다.

시험 방법은



[그림 5] 슬레이브 동기화 플로우차트

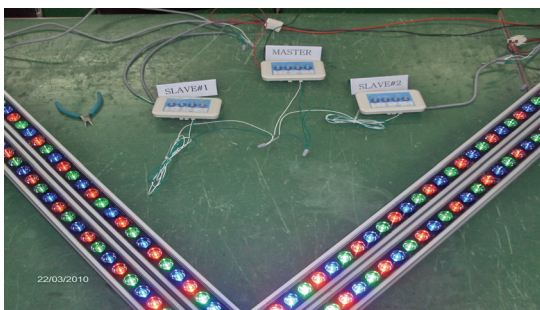
- 1) 리셋 명령을 시험하기 위해 슬레이브 2대의 전원을 각각 투입한 후 마스터 전원을 투입한다.
- 2) 24시간 동작 후 각 슬레이브의 LED 바 동작 상태가 동일한지 비교하였다.

시험 결과를 아래 표 2에 정리하였다.

[표 2] 시험 결과

시험 항목	판정
리셋 시험	정상
24시간 동기화 시험	정상

아래 그림 6 시험 장면을 보여준다.



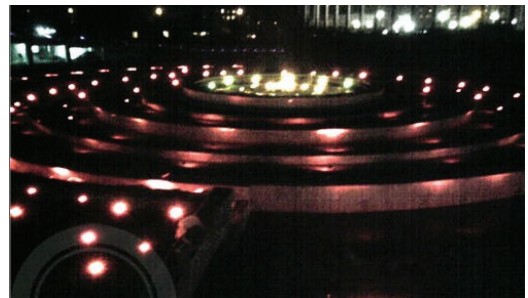
[그림 6] 시험 사진

4.2 상용화

조명 컨트롤러 마스터-슬레이브 구조와 동기화 기법을 이용하여 마스터 1대에 슬레이브 4대가 적용되어 K국에 설치된 사례를 그림 7에 보여준다.

[표 3] K국 설치 사례

슬레이브 번호	조명 종류	설치 댓수
1	수중등, 라인바	80
2	수중등, 라인바	134
3	수중등, 라인바	130
4	수중등, 라인바	72



[그림 7] 적용 사진

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서 조명제어 컨트롤러의 마스터-슬레이브 구조와 이에 따르는 동기화를 제안함으로써 조명제어 프로토콜인 DMX512의 제어 조명등 수 제한의 한계점을 극복하였다. 그러나 이러한 한계는 DMX512 프로토콜 자체의 문제점으로 앞으로 프로토콜을 수정 보완하는 학문적 연구가 필요할 것으로 판단되고, 본 논문에서 언급하지 않은 마스터가 슬레이브들의 상태를 확인할 수 있는 방안의 연구도 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 송연진, 문형장, “조명의 현재와 미래”, 한국조명설비학회 학술대회 논문지, 2002.11.6, pp77~81
- [2] 최금연, 어익수, “LED 감성조면 장치 개발을 통한 뇌파분석”, 한국산학기술학회논문지, vol. 11, No. 1, pp. 61-66, 2010
- [3] 최성철, 이원호, “DMX512 프로토콜에서 자동주소를 갖는 지능형 조명 단말기 개발”, 한국산학기술학회논문지

문지, vol. 11, No. 4, pp. 1233-1238, 2010.

- [4] 웹사이트 <http://www.luminary.kr> 기술자료실
- [5] 웹사이트 <http://en.wikipedia.org/wiki/EIA-485>
- [6] http://www.chelcom.co.kr/pdsfolder/KSNC_IR.pdf
- [7] "USITT DMX512-A - Asynchronous Serial Data Transmission Standard for Controlling Lighting Equipment and Accessories", Entertainment Services and Technology Association, 2000.

최 성 철(Seong-Cheol Choi)

[정회원]



- 1988년 5월 ~ 1998.2 : LG산전 선임연구원
- 1998년 2월 : 연세대학교 공학대학원 전자공학과 (전자공학석사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수
- 2002년 2월 : 아주대학교 전자공학과 박사 수료

<관심분야>

자동차임베디드 시스템, 자동차 네트워크, 자동차전기전자정보통신, LED 조명제어

이 원 호(Won-Ho Lee)

[증신회원]



- 1992년 2월 : 아주대학교 전자계산학과(공학사)
- 1994년 2월 : 아주대학교 전자계산학과(공학석사)
- 1998년 2월 : 아주대학교 전자계산학과(박사수료)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 아주자동차대학 부교수

<관심분야>

정보화 경영체제, 홈네트워크, 정보보호, 자동차임베디드 시스템, 자동차 네트워크

문 병 구(Byung-Koo Moon)

[정회원]



- 1990년 11월 ~ 1998년 4월 : 삼성SDS 책임연구원
- 2005년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 1998년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부(박사수료)
- 2007년 8월 ~ 현재 : ~ 현재 : 아주자동차대학 조교수

<관심분야>

자동차전기전자, 자동차전자제어, 지능형교통시스템, 자동차동력시스템