

논문 2018-1-3

소프트웨어에 의한 다이내믹 LED 디스플레이의 밝기 조절에 관한 연구

권성열*, 이현창**†

A Study on the Controlling Brightness of Dynamic LED Display by Software

Sung-Yeol Kwon*, Hyun-Chang Lee**†

요 약

본 논문에서는 소프트웨어 알고리즘에 의해 다이내믹 방식 LED 디스플레이의 밝기를 조절하는 방법을 제시하였다. 제시한 방법은 본래의 다이내믹 방식 하드웨어에 추가적 하드웨어 없이 오직 소프트웨어에 의해서만 밝기를 조절하며, 특히 PWM과 동일한 방법으로 제어함으로써 PWM 제어의 장점이 그대로 적용될 수 있다. 제시한 방법의 효과를 확인하기 위해 다이내믹 방식 LED 회로를 구성하고, 제시한 소프트웨어 알고리즘을 4단계 밝기제어를 목표로 어셈블리 언어를 이용해 구현하였다. 실험결과 소프트웨어에서 설정한 대로 LED의 밝기가 단계별로 제어되었으며, 이에 따라 각종 고휘도 LED 디스플레이 장치들을 추가적인 하드웨어 없이 오직 소프트웨어에 의해 기기의 상황에 따라 적절한 밝기로 제어할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

In this paper, the method of controlling brightness for dynamic LED display by the software algorithm is proposed. Proposed method controls the brightness by software without additional hardware of dynamic driving, and it can take advantages of PWM control as it controls likely PWM. In order to verify the effectiveness of proposed software algorithm, experimental dynamic display circuit is designed, and realized the software algorithm for 4-step brightness control. Experimental results show that proposed software algorithm can control the brightness of dynamic LED display without additional hardware.

한글키워드 : 다이내믹 디스플레이, LED, 타이머 인터럽트, PWM, 조광

keywords : dynamic display, LED, timer interrupt, PWM, dimming

1. 서론

전자기기들은 사용자에게 기기의 각종 상태를 전달하기 위한 표시장치를 구비하고 있으며, 기기의 용도에 따라 LCD(Liquid Crystal Display), TFT-LCD (Thin-Film Transistor LCD), OLED (Organic Light Emitting Diode) panel, VFD (Vacuum Fluorescent Display) 등 다양한 장치

* 부경대학교 공과대학 전기과

** 공주대학교 정보통신공학부

† 교신저자: 이현창(email: hcleee@kongju.ac.kr)

접수일자: 2018.05.22. 심사완료: 2018.06.14.

게재확정: 2018.06.20.

들을 이용한다.[1,2] 각 표시장치들은 그 특징에 따라 사용되는데, 이들 장치들은 표시 세그먼트가 대형이면서 가독성이 높아야 하는 응용에는 적용하기 힘든 문제점이 있으며, 특히 비교적 소량 생산인 경우 더욱 적용하기 어렵다는 단점이 존재한다. 이러한 예로서는 자동판매기의 금액 표시용 장치나 엘리베이터의 층 수 표시용 장치, 디지털 벽시계 등이 있는데, 이들은 먼 거리에서도 쉽게 관독할 수 있을 정도의 가독성이 필요하고, 특히 각 표시 세그먼트가 대형으로 구성된다.

표시 세그먼트의 크기가 크면서도 가독성이 높은 고휘도를 표현하는 용도로는 단연 LED 세그먼트가 유리하며, 특히 최근에는 반도체 기술의 발달에 힘입어 고휘도 LED가 매우 저렴한 가격으로 생산되어 교통 신호등, 자동차 방향지시등을 비롯해 조명의 대상으로 사용되는 다양한 LED들이 생산되고 있다. 이에 따라 고휘도 LED를 내장한 7-Segment LED display 또한 휘도가 크게 향상되면서도 더욱 저가격화 되어 앞서 나열한 사용 예 외에도 택시의 요금 미터기, 버스의 번호 표시와 출발시간 표시 등 다양한 용도로 사용되고 있다.

한편, 여러 자리로 구성되는 디스플레이에 7-segment LED를 사용할 경우 회로의 복잡성과 마이크로컨트롤러의 포트 수 제한 등으로 인해 주로 다이내믹 디스플레이(dynamic display) 기법을 이용하는데,[3] 이는 각 자릿수에 할당되는 표시 시간이 정확하지 않으면 표시에 얼룩이 발생하고, 시간을 정확히 유지하기 위해 타이머 인터럽트를 사용하면 제어 프로그램과 인터럽트 프로그램 사이에 데이터 교환에 어려움이 발생한다. 이에 따라 Lee 등[4]은 다이내믹 디스플레이를 더 쉽게, 그리고 정확히 구동할 수 있도록 타이머 인터럽트와 디스플레이 버퍼 메모리를 활용한 기법을 제시하였다.

기기의 상태표시를 위한 장치는 휘도가 높을수록 우수하지만, 상황에 따라서는 밝기를 어둡게 해야 할 필요성이 있는데, 예를 들어 디지털 벽시계의 경우 가독성이 높도록 밝게 동작하면 야간에는 상대적으로 지나치게 밝아 수면에 방해가 되는 등의 문제점이 발생한다. 따라서 Lee 등[5]은 LED를 이용한 다이내믹 디스플레이의 밝기를 필요에 따라 조절하는 여러 가지 방법에 관해 고찰하고, 각 방법들의 장단점을 비교하였으며, 그 결과에 의하면 PWM 방식이 전력효율 측면에서 가장 우수하지만 상당한 하드웨어의 추가가 필요하다는 요구조건이 발생한다.

본 논문에서는 다이내믹 방식 LED 디스플레이의 특성을 이용해 별도의 하드웨어 추가 없이 소프트웨어 알고리즘에 의해 밝기를 제어하며, 특히 PWM과 동일한 특성을 나타내는 기법을 제시하려 한다.

2. 소프트웨어에 의한 밝기 제어

2.1 다이내믹 디스플레이

여러 자리의 LED를 표시해야 할 경우 그림 1(a)에 나타낸 바와 같은 원리의 다이내믹 디스플레이를 적용하여 마이크로컨트롤러의 포트 수는 물론 전체적인 부품 수를 크게 줄이고, 소프트웨어에 의해 그림 1(b)와 같은 순서로 제어한다. 이와 같이 제어하는 경우 각 LED 유닛들은 전체 주기의 1/4만 동작하므로 밝기가 어두워지며, 따라서 이를 보완하기 위해 4배의 전류로 동작시킨다. 일반적인 7-Segment LED는 이러한 방법으로 사용할 수 있도록 대부분 최대 1/10 듀티에서 10배의 전류까지 허용하도록 제작되며, 오히려 LED를 구동하는 포트의 전류 상태에 따라 버퍼를 부가해야 할 필요성이 있다.

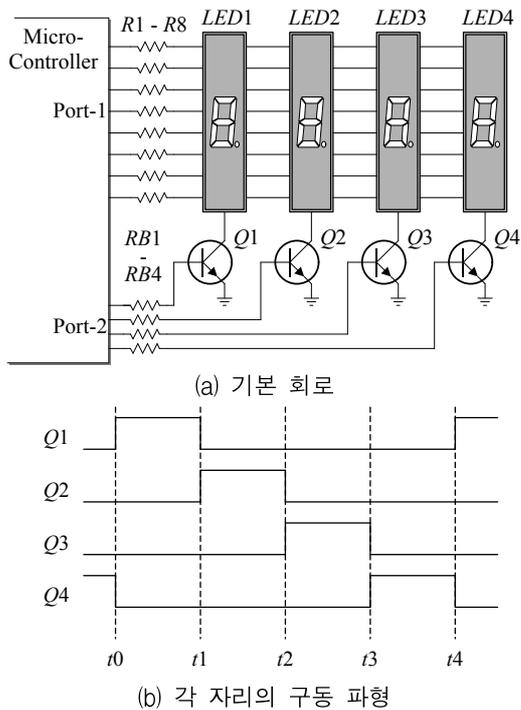


그림 1. 다이내믹 디스플레이 회로의 예
Fig. 1. Example of dynamic display circuit

또한 표시자리를 전환하는 시점인 t_0, t_1 등의 간격이 정확해야 각 자리수마다 밝기가 일정해지므로 타이머 인터럽트(timer interrupt)를 이용해 제어한다.

2.2 구동 소프트웨어

다이내믹 디스플레이 구동을 위한 인터럽트 주파수는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 f_D 는 전체 표시 주파수, D 는 표시 자릿수이다.

$$f_{INT} = f_D \times D \quad (1)$$

예를 들어 그림 1과 같은 4자리 표시의 경우 전체적인 표시 주파수는 최소 $70Hz$ 이상이어야 깜빡임이 발생하지 않으므로, $100Hz$ 를 목표로 한다면 식 (1)에 의해 $400Hz$ 의 인터럽트 주파수가 필요하다. 이러한 타이머 인터럽트를 생성한

후 그림 2에 나타난 소프트웨어에 의해 각 인터럽트 시 해당 자리를 구동한다.

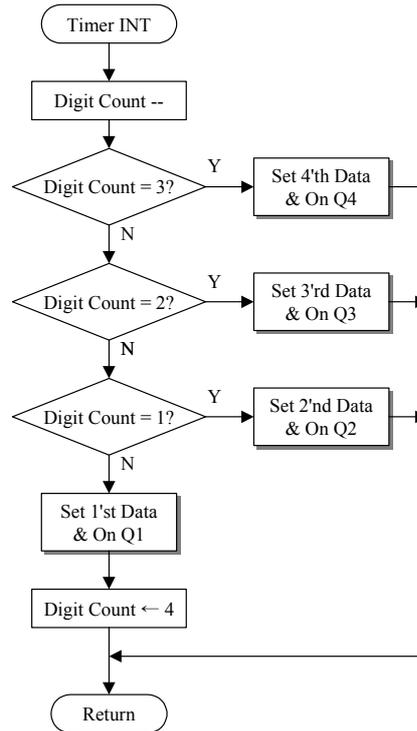


그림 2. 인터럽트 소프트웨어 플로차트.
Fig. 2. Flowchart of interrupt software

2.3 밝기 제어 기능의 제시

2.3.1 밝기 제어의 원리

앞서 고찰한 그림 1(b)의 디스플레이 자리구동을 위한 인터럽트를 그림 3에 나타난 바와 같이 2배 주파수로 인가하고, 이 때 자리 전환시점 t_0, t_1 사이의 인터럽트 t_0-1, t_1-1 에서 프로그램의 설정에 따라 그대로 통과하거나 LED들을 off할 경우 정상적인 밝기와 절반의 밝기로 제어할 수 있다. 그림 3의 t_0-1 과 t_1-1 은 그대로 통과한 경우, t_2-1 과 t_3-1 은 off한 경우로서, 각각 LED가 켜지는 시간에 따라 밝기가 변화할 수 있음을 알 수 있다.

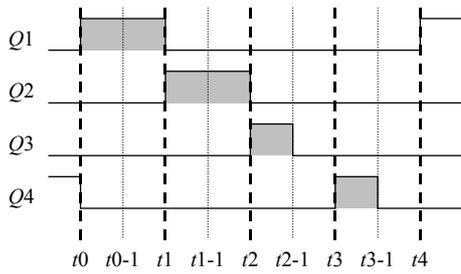


그림 3. 2단계 다이내믹 디스플레이 밝기제어의 원리

Fig. 3. Principle of controlling brightness of 2-step dynamic display

동일한 방법으로 그림 4와 같이 4배 주파수의 인터럽트를 이용한 경우 4단계로 밝기를 제어할 수 있다.

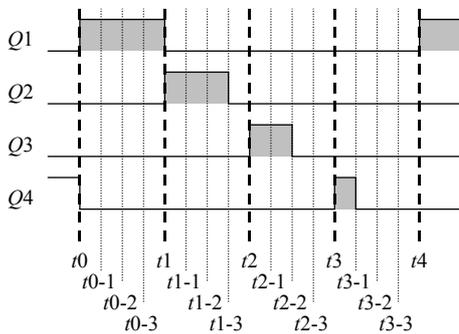


그림 4. 4단계 다이내믹 디스플레이 밝기제어의 원리

Fig. 4. Principle of controlling brightness of 4-step dynamic display

이와 같은 제어를 위해 필요로 하는 인터럽트 주파수는 식 (1)로부터 식 (2)와 같이 구할 수 있으며, 여기서 S 는 제어 단계 수(step)이다.

$$f_{INT} = f_D \times D \times S \quad (2)$$

2.3.2 소프트웨어 제어 알고리즘

이상에서 고찰한 바와 같은 제어를 위한 소프트웨어 알고리즘을 구성하기 위해 소프트웨어 카

운터의 값 변화를 그림 5에 히스토그램으로 나타내었다.

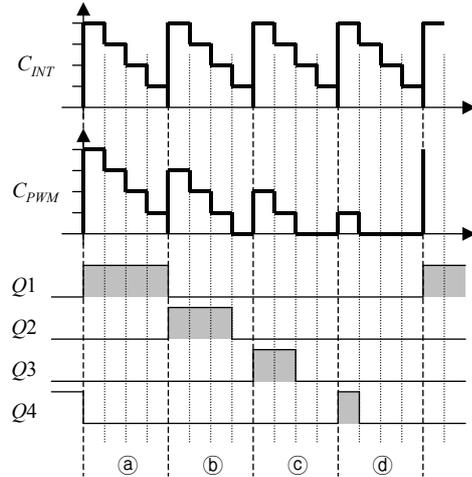


그림 5. 밝기 제어를 위한 히스토그램

Fig. 5. Histogram for the controlling brightness

그림 5에서 C_{INT} 는 인터럽트 수를 계수하기 위한 카운터로서, 매 인터럽트마다 감소하고 4단계 제어 시에는 그림과 같이 4부터 1까지 진행하며, 0이 될 때 마다 표시 자릿수를 전환한다. C_{PWM} 은 PWM 제어를 위한 카운터로서, 이 또한 매 인터럽트마다 감소하고 0이 되면 표시를 off 시킨다. 그림 5의 ㉑ 영역은 C_{PWM} 을 C_{INT} 와 동일하게 4로 설정한 경우로서, C_{PWM} 값이 0이 되는 시점은 표시 자리를 전환하는 시점과 동일하므로 $Q1$ 의 전 영역이 동작한다. 이에 비해 ㉒영역은 C_{PWM} 이 3부터 시작한 경우로서, 이는 C_{INT} 보다 한 스텝 일찍 0에 도달해 LED를 off 하므로 $Q2$ 와 같이 3/4 기간 on, 1/4 기간 off된다. 이와 동일한 원리로 ㉓영역은 2/4 on, ㉔ 영역은 1/4 on으로 제어될 수 있다.

이와 같은 원리에 의해 C_{PWM} 의 초기값을 조절하면 디스플레이의 밝기를 PWM과 동일한 방법으로 제어가 가능하다. 이로부터 그림 6과 같

은 제어 알고리즘을 구성할 수 있고, 이를 구현한 플로차트를 그림 7에 나타내었다.

1. 인터럽트 카운터 C_{INT} 는 매 인터럽트 때마다 감소한다.
2. C_{INT} 값이 0에 도달하면 초기값으로 재설정하고 제어 자리를 전환한다. 재설정 값은 표시 자리수 숫자와 동일하다.
3. PWM 카운터 C_{PWM} 는 매 인터럽트 때마다 감소한다.
4. C_{PWM} 값이 0에 도달하면 LED를 off 한다.
5. C_{PWM} 의 초기값은 C_{INT} 가 0에 도달했을 때 재설정한다. 재설정 값은 프로그램에서 제어한다.

그림 6. 밝기 제어 알고리즘
Fig. 6. Algorithm for controlling brightness

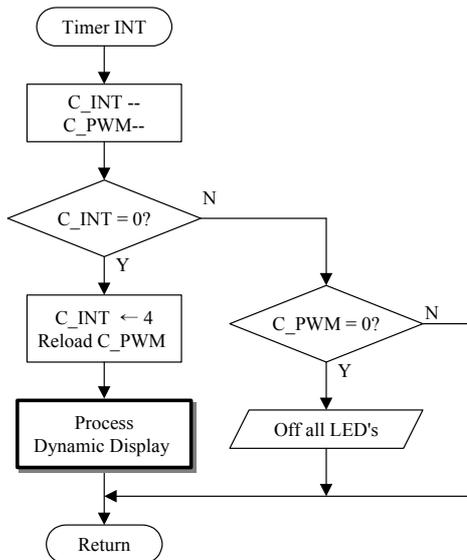


그림 7. 알고리즘을 구현한 플로차트
Fig. 7. Realized Flowchart for algorithm

타이머 인터럽트가 발생하면 인터럽트 카운터 (C_{INT})와 PWM 카운터(C_{PWM})를 모두 감소

시키고, 인터럽트 카운터가 0에 도달한 경우 인터럽트 카운터와 PWM 카운터를 모두 초기화하고 굵은 선으로 나타낸 루틴으로 진행하는데, 이 부분은 그림 2에 나타낸 다이내믹 디스플레이 처리 루틴이다. 만약 인터럽트 카운터가 0에 도달하지 않았다면 PWM 카운터가 0에 도달했는지 확인해 아직 도달하지 않았다면 그대로 종료하고, 0에 도달했다면 모든 LED를 off시키고 종료한다.

3. 실험 및 고찰

제시한 다이내믹 디스플레이 밝기 제어 소프트웨어의 성능을 확인하기 위해 그림 1의 회로와 그림 7의 플로차트를 적용해 그림 8과 같이 4자리의 7-Segment 표시회로를 구성하였다.

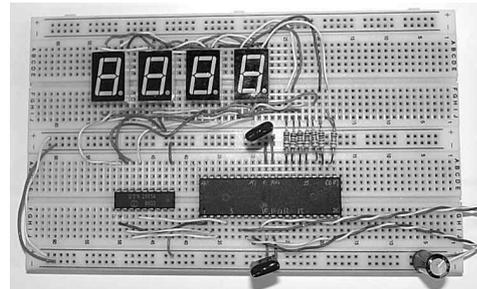


그림 8. 실험용 디스플레이 회로
Fig. 8. Display circuit for experimant

전체 표시 주파수는 깜빡임이 발생하지 않도록 $150Hz$ 로 충분히 높게 설정하였고, 이 때 타이머 인터럽트의 주파수는 식 (2)로부터,

$$\begin{aligned}
 f_{INT} &= 150Hz \times 4 \times 4 \\
 &= 2.4KHz
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

이다. 실험은 ATmega8535 마이크로컨트롤러

를 4MHz로 설정해 사용하고 7-Segment LED는 고휘도 Common-Anode형을, 구동 트랜지스터는 UDN2981 달링턴 트랜지스터 어레이를 사용하였다. 그림 7에 나타난 플로차트를 어셈블리 언어로 구현하고 실행했을 때 각 구동 트랜지스터의 베이스단 파형을 그림 9에 나타내었다.

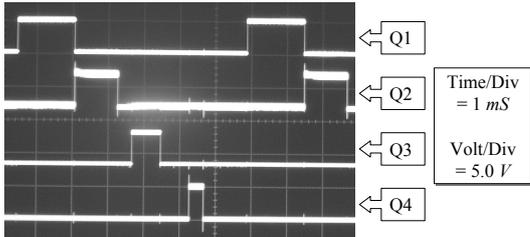


그림 9. 각 트랜지스터의 구동파형
Fig. 9. Driving waveform of each transistors

그림 9는 각 트랜지스터마다 4단계 PWM 듀티를 다르게 설정한 것으로서, Q1은 100%, Q2는 75%, Q3은 50%, Q4는 25%이다. 이와 같은 펄스를 이용해 7-Segment LED를 구동한 결과를 그림 10에 나타내었다. 단, 각 LED들의 밝기 비교를 위해 모두 동일한 8자를 표시하도록 하였다.



그림 10. 7-Segment LED의 표시상태
Fig. 10. Figure of 7-segment LED's

그림 10의 좌측부터 100%, 75%, 50%, 25%에 의한 구동 결과로서, 밝기의 변화가 확실하게 나타남을 알 수 있다. 사진은 어두운 환경에서 촬영한 관계로 모든 LED들이 선명하게 나타나 있지만, 실제 육안으로는 우측의 LED는 상당히 어둡게 관측된다.

정확한 밝기의 변화를 측정하기 위해 각

7-Segment LED에 CdS 센서를 밀착시키고 저항값을 측정하여 이를 CdS 데이터 시트에 의해 밝기로 변환한 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. 각 LED들의 밝기 측정 결과
Table 1. Measured result of each brightness of LED's

Duty [%]	CdS [KΩ]	환산 밝기 [mCd]	이론 밝기 [mCd]
100	8.2	473	600
75	11.5	337	450
50	15.1	259	300
25	21.3	196	150

실험에 사용한 7-Segment LED의 사양에는 최대 600 mCd이며, 이를 이용한 이론적 밝기와 측정결과를 그림 11에 그래프로 나타내었다.

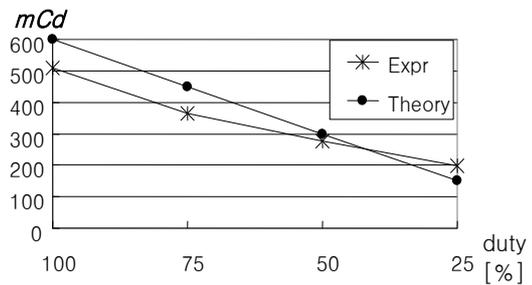


그림 11. 7-Segment LED의 밝기 측정결과 그래프
Fig. 11. Graph of measured result of brightness of 7-Segment LED's

실험 결과에 따르면 이론값과 실험값이 다소 차이가 있지만, 감소 추세는 확실하게 나타나며, 이론값과의 차이는 실제 LED의 밝기 오차와 이를 감지하는 CdS 센서의 차이에서 기인된 것으로 보인다. 또한 듀티가 감소함에 따라 밝기의 변화폭이 둔화되는 경향을 보이는데, 이는 어두울수록 실험 환경에서 존재하는 빛의 영향을 크게 받는 것으로 분석된다.

4. 결론

본 논문에서는 소프트웨어 알고리즘에 의해 다이내믹 방식 LED 디스플레이의 밝기를 조절하는 방법을 제시하였다. 제시한 방법은 본래의 다이내믹 방식 하드웨어에 추가적 하드웨어 없이 오직 소프트웨어에 의해서만 밝기를 조절하며, 특히 PWM과 동일한 방법으로 제어함으로써 PWM 제어의 장점이 그대로 적용될 수 있다. 제시한 방법의 효과를 확인하기 위해 다이내믹 방식 LED 회로를 구성하고, 제시한 소프트웨어 알고리즘을 4단계 밝기제어를 목표로 어셈블리 언어를 이용해 구현하였다. 실험결과 소프트웨어에서 설정한 대로 LED의 밝기가 단계별로 제어되었으며, 이에 따라 각종 고휘도 LED 디스플레이 장치들을 추가적인 하드웨어 없이 오직 소프트웨어에 의해 기기의 상황에 따라 적절한 밝기로 제어할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

[1] Steven F. Barrett and Daniel J. Pack; Embedded Systems - Design and Applications with the 68HC12 and HCS12, Pearson-Prentice Hall, 2005.

[2] Frank Vahid and Tony Givargis; Embedded System Design - A Unified Hardware/Software Introduction; John Wiley & Sons, 2002.

[3] Ronald J. Tocci and Frank J. Ambrosio; Microprocessors and Microcomputers : Hardware and Software, 6th Edition, Pearson-Prentice Hall, 2003.

[4] Hyun-Chang Lee and Sung-Yeol Kwon, "A Study on the Interrupt Software Technique for Driving Dynamic Display Circuit", The Journal of The Korea Software Assessment and Valuation Society, Vol.13, No.1, pp.57-64, Jun. 2017.

[5] Hyun-Chang Lee, Kyu-Tae Lee, Sung-Yeol Kwon and Min-Young Kim, "A Study on the Method of Controlling Brightness of Dynamic LED Display", 28'th Spring Conference of The Korea Software Assessment and Valuation Society, pp.59- 60, May 2018.

저자 소개



권성열(Sung-Yeol Kwon)

1990.2 수원대 전자재료공학과 학사
 1993.2 경북대 전자재료전공 석사
 2000.2 경북대 센서공학과 박사
 1994.3~1998 안동과학대학 전자계산과 조교수.
 2000.3~현재 국립 부경대학교 공과대학 전기과 교수.
 <주관심분야> MEMS sensor, 전자재료, 전기제어계측, 신재생에너지



이현창(Hyun-Chang Lee)

1986.2 단국대 전자공학과 학사
 1989.8 단국대 전자공학과 석사
 1996.2 단국대 전자공학과 박사
 1996.3~2004 국립 천안공업대학 정보통신과 부교수.
 2005.3~현재 국립 공주대학교 공과대학 정보통신공학부 교수.
 <주관심분야> 멀티미디어 회로, 전동기제어회로, 마이크로프로세서, 임베디드 소프트웨어