논문 2021-2-12 http://dx.doi.org/10.29056/jsav.2021.12.12

교육용 가상실험 라인 트레이서 모델링

기장근** . 권기영*

Line Tracer Modeling for Educational Virtual Experiment

Jang-Geun Ki*†, Kee-Young Kwon*

요 약

전통적으로 공학분야는 실험 실습 위주의 대면 교육이 주를 이루어 왔으나, IT 기술 및 인터넷 통신망의급속한 발전과 최근 COVID-19 등의 사회적 환경 변화로 인해 온라인 학습에 대한 수요가 급증하고 있다. 다른 분야에 비해 실험 실습의 비중이 상대적으로 높은 공학 분야에서 효율적인 온라인 교육이 이루어지려면실제 실험 실습을 대체할 수 있는 가상 실험실습 콘텐츠가 매우 필요하다. 본 연구에서는 전기전자 분야 뿐만 아니라 IT 융합이 이루어지고 있는 전반적인 공학 분야에서 필수적으로 사용되고 있는 마이크로프로세서의 효율적인 온라인 응용 학습을 위해 라인 트레이서 모델을 개발하고 이를 시뮬레이션 할 수 있는 가상실험소프트웨어를 개발하였다. 개발된 라인 트레이서 모델에서 사용자는 원하는 형태로 하드웨어 파라미터 값들을 다양하게 설정하고, 이에 따른 소프트웨어를 어셈불리 언어나 C 언어 등으로 작성하여 컴퓨터 상에서 동작을 시험해 볼 수 있도록 구성되었다. 개발된 라인 트레이서 가상 실험소프트웨어는 실제 수업에 활용하여동작을 검증하였으며, 앞으로 온라인 상에서 이루어지는 비대면 수업에서 효율적인 가상 실험 실습 도구가될 것으로 기대된다.

Abstract

Traditionally, the engineering field has been dominated by face-to-face education focused on experimental practice, but demand for online learning has soared due to the rapid development of IT technology and Internet communication networks and recent changes in the social environment such as COVID-19. In order for efficient online education to be conducted in the engineering field, where the proportion of experimental practice is relatively high compared to other fields, virtual laboratory practice content that can replace actual experimental practice is very necessary. In this study, we developed a line tracer model and a virtual experimental software to simulate it for efficient online learning of microprocessor applications that are essential not only in the electric and electronic field but also in the overall engineering field where IT convergence takes place. In the developed line tracer model, the user can set various hardware parameter values in the desired form and write the software in assembly language or C language to test the operation on the computer. The developed line tracer virtual experimental software has been used in actual classes to verify its operation, and is expected to be an efficient virtual experimental practice tool in online non-face-to-face classes.

한글키워드: 라인 트레이서, 가상실험, 마이크로컨트롤러, 공학교육, 시뮬레이션

keywords: line tracer, virtual experiment, microcontroller, engineering education, simulation

* 공주대학교 전기전자제어공학부

게재확정: 2021.12.20.

접수일자: 2021.11.25. 심사완료: 2021.12.17.

† 교신저자: 기장근(email: kjg@kongju.ac.kr)

1. 서 론

그동안 IT 기술과 인터넷 통신망의 급속한 발전으로 사회 전반적으로 많은 변화가 이루어져왔으며, 교육 분야에 있어서도 전통적인 대면 수업으로부터 탈피하여 다양한 온라인 도구들과 디지털 활용 교육이 점진적으로 확대되어왔다. 특히 최근에 발생한 COVID-19 으로 인한 급격한사회환경 변화는 이러한 온라인 교육에 대한 수요를 폭발적으로 증가시키는 계기가 되었다.

대학 교육에 있어서도 최근 4차 산업혁명 시대에 걸맞는 경쟁력있는 유능한 인재 양성을 위해 전통적인 면대면 수업에서 탈피하여 블렌디드 러닝(Blended Learning)[1-3], 플립드 러닝(Flipped Learning)[4-5] 등 다양한 교육 패러다임의 변화가 도입되어 시행되고 있다. 특히 최근의 COVID-19로 인해 비대면 트렌드가 대두되어 대학에서는 온라인 수업이 주를 이루고 이에 따른인프라 구축 및 컨텐츠 확충과 플랫폼 고도화 등에 노력을 경주하고 있다.

현재 우리나라의 경우 세계적으로도 손꼽히는 우수한 IT 환경과 초고속 정보통신 네트워크를 구축하고 있어 하드웨어적인 교육 인프라는 매우 우수하나 효과적인 교육을 위한 우수한 컨텐츠의 부족으로 소프트웨어적인 인프라가 상대적으로 미비한 상태이다.

특히 대학에서 이루어지는 공학 분야 교육의 경우 실험 실습을 통해 이론적인 내용을 실증하는 교육이 많이 이루어지고 있는데, 최근의 코로나 사태로 인해 대면수업이 어려워 이에 대한 효과적인 대안 마련이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 전기전자제어 분야에서 뿐만 아니라 최근 화두가 되고 있는 IT 융합 산업 전 반에 걸쳐 필수적으로 많이 사용되고 있는 마이 크로프로세서나 마이크로컨트롤러의 응용[6-10] 에 대한 효과적인 온라인 교육을 위해 라인트레 이서 모델을 개발하고 이를 컴퓨터 상에서 가상 실험할 수 있는 소프트웨어 도구를 개발하였다.

현재 사용 가능한 마이크로프로세서나 마이크로컨트롤러에 대한 교육용 시뮬레이션 프로그램으로는 고가의 상용 프로그램인 Proteus[11]나온라인 웹상에서 무료로 사용 가능한 Tinkercad[12] 등이 있다. 그러나 이러한 프로그램들도 라인트레이서와 같은 구체적인 프로세서 응용회로의 시뮬레이션을 직접적으로 지원하지는 않고 있는 실정이다.

본 연구에서 개발된 가상실험 프로그램은 라인트레이서 좌우 바퀴의 반지름, 클럭당 바퀴의 회전각도, 양 바퀴 사이의 간격, 센서의 개수, 각센서의 센싱 영역 타입 및 위치와 면적 등 라인트레이서의 하드웨어적인 구조를 파라미터 값으로 설정해주고, 센서로부터의 입력을 받아들여바퀴 구동을 위한 클럭 펄스를 출력해주는 프로그램을 어셈블리 언어나 C언어 등으로 작성하여시뮬레이션 함으로써 라인트레이서의 동작을 시각적으로 확인해 볼 수 있도록 구성되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어, 2장에서는 본 논문에서 개발된 라인트레이서의 모델링에 관해 기술하고, 3장에서는 개발된라인트레이서 시뮬레이터의 시험 및 동작 검증에대해 기술하며, 4장에서 결론과 함께 기대효과를기술한다.

2. 라인 트레이서 모델링

라인트레이서에 사용되는 모터는 일반적으로 DC모터나 스텝모터가 사용되는데 본 연구에서는 보다 정밀한 제어가 가능한 스텝모터에 대해 시뮬레이션 모델을 개발하고, 추가적으로 스텝모터 2개를 사용해 구성되는 WHEEL 모델과 여기에 센서를 추가 장착한 WHEELwS (WHEEL with

SENSOR) 모델을 개발하고, 기능을 검증하였다.

개발된 스텝모터 시뮬레이션 모델은 클럭펄스당 회전하는 각도인 stepsize(기본값 1.8도)와 모터의 바퀴 반지름 motorRadix(기본값 20픽셀)를 파라미터로 지정해 줄 수 있으며, 그밖에도 모터의 동작여부를 결정하는 enable 입력단자와 모터의 회전방향을 지시하는 direction 입력단자를 가지도록 설계되었다.

그림 1에 개발된 스텝모터 소자를 2개(위쪽 소 자와 아래쪽 소자의 stepsize 각도는 각각 1.8도, 3.6도 이고 모터바퀴 반지름 motorRadix는 각각 20. 40 픽셀) 사용한 간단한 실험회로를 나타내었 다. 그림에서 스텝모터 소자의 좌측 입력핀 3개 는 위에서부터 차례로 enable, direction, clock 단 자이고 클럭이 입력될 때 마다 클럭의 상승모서 리에 맟추어 모터는 주어진 스텝각도 만큼씩 회 전한다. direction 입력이 0일 경우 그림 1의 위쪽 스텝모터 소자와 같이 반시계방향으로 회전하게 되며 소자 하단에 양의 x축을 기준으로 현재의 각도가 양의 값으로 표시(그림 1의 예에서 75.6 도)되며, direction=1인 경우 시계방향으로 회전 하게 되고 소자 하단에 양의 x축을 기준으로 현 재의 각도가 음의 값으로 표시(그림 1의 예에서 -151.2도)되며, 소자 중심점을 기준으로 주어진 스텝모터 바퀴 반지름 값에 해당하는 원호가 그 려진다.

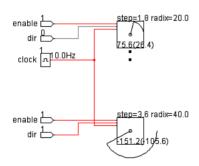


그림 1. 스텝모터 실험회로 Fig. 1. Step motor experimental circuit

그림 1에서 2개의 스텝모터 소자 사이(위쪽 소 자 바로 아래쪽)에 작은 검은 사각형의 2개 점들 을 볼 수 있는데. 각각의 점은 해당 모터가 회전 하면서 그리는 원호의 길이만큼 소자의 중심점으 로부터 위 또는 아래 방향으로 이동하도록 되어 있어서, 결국 모터의 바퀴가 이동한 총거리를 나 타내게 되고, 소자 하단에 표시되는 현재의 회전 각도 숫자 오른쪽 괄호안에 수치로 값이 표시 (26.4 와 -105.6 픽셀)된다. 그림의 회로에서 위쪽 소자와 아래쪽 소자는 모두 enable 상태에서 정 확히 42개의 클럭이 입력된 상태이며 위쪽 소자 의 이동거리는 아래 식과 같이 26.4 픽셀이고. 아 래쪽 소자는 같은 요령으로 계산하면 -105.6 픽 셀이 되며, 여기서 양수는 소자의 중심점으로부 터 아래쪽 방향으로 이동했음을 의미하고 음수는 위쪽 방향으로 이동했음을 의미한다.

$$2 \times \pi \times motorRadix \times \frac{clock \times stepsize}{360}$$
(1)
= $2 \times \pi \times 20 \times \frac{42 \times 1.8}{360}$
= 26.4

그림 2에는 앞에 설명한 스텝모터 모델 2개를 연결하여 동작하는 WHEEL 모델의 속성 값 입력 창과 WHEEL 모델을 이용한 실험회로를 나타내었다. WHEEL 모델의 심볼 모양을 보면 좌측과 우측에 각각 3개의 입력핀을 가지며 이 입력핀들은 각각 좌측과 우측에 위치한 스텝모터의 enable, direction, clock 핀(위에서 아래쪽 순)에 해당한다. WHEEL 모델의 속성값은 좌우측 2개의 스텝모터 각각에 대해 속성값인 stepsize 각도와 모터바퀴 반지름 motorRadix 값을 가지며, 추가로 모터와 모터 사이의 간격인 motorTread 속성값을 가진다. 그림 2(a)와 그림 2(b)로부터 WHEEL 모델 속성값에 따른 소자 심볼 모양의관계를 알 수 있으며, 그림 2(c)는 시뮬레이션이시작되어 WHEEL 모델의 입력선들에 적절한 논

리값과 클럭이 공급되어 바퀴 2개가 도킹 스테이션을 떠나 이동중인 모습을 보여주고 있다.

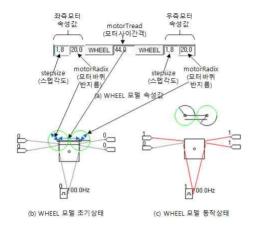


그림 2. WHEEL 모델링 Fig. 2. WHEEL modeling

WHEEL 모델에서 clock 입력단자로 인가되는 클릭의 상승모서리 시점마다 스텝모터는 stepsize 각도 만큼씩 바퀴가 회전하게 되고 따라서 각 바퀴의 회전 거리는 바퀴의 원호길이 구하는 공식에 따라 구할 수 있다. 만일 좌측바퀴에 클릭이 하나 인가되어 좌측바퀴가 stepsize만큼 회전하게 되면 이에 따라 왼쪽바퀴의 회전길이는 $2 \times \pi \times motorRadixL \times \frac{stepsizeL}{360}$ 이 된다. 따라서 두 바퀴의 축이 우측바퀴를 중심으로 좌측바퀴가 이 식의 거리만큼 이동하게 되며, 이는 우측바퀴의 위치를 원의 중심으로 하고 좌측바퀴가 원호를 그리며 이동하는 형태로 생각할 수 있고 따라서 아래 식이 성립한다.

$$2 \times \pi \times motorRadixL \times \frac{stepsizeL}{360}$$
 (2)
= $2 \times \pi \times motorTread \times \frac{stepsize}{360}$

위 식에서 stepsize는 오른쪽 바퀴를 중심점으로 하고 두 바퀴 사이의 거리가 반지름에 해당하

는 원에서 두 바퀴 사이의 축(원의 반지름 선)이 회전한 각도에 해당한다. 위 식을 정리하면 stepsize는 아래 식과 같이 구할 수 있고, 따라서 좌측바퀴에 하나의 클럭이 인가될 때 좌측바퀴의 위치는 우측바퀴를 중심점으로 좌측바퀴를 아래 식의 stepsize만큼 회전시킨 점의 위치로 계산할수 있다.

$$stepsize = \frac{motorRadixL}{motorTread} \times stepsizeL \quad (3)$$

아래 식은 p1을 기준점으로 해서 p2점을 stepsize 각도 만큼 회전시킨 결과인 p3점의 위치를 계산하는 공식이다.

$$p3.x = (p2.x - p1.x)\cos(stepsize) - (p2.y - p1.y)\sin(stepsize) + p1.x$$

$$p3.y = (p2.x - p1.x)\sin(stepsize) + (p2.y - p1.y)\cos(stepsize) + p1.y$$

$$(4)$$

WHEEL 모델에서 좌측과 우측의 스텝모터의 direction이 반대로 동작하도록 설정해 주어야 직진을 할 수 있으며, 이는 실제 자동차 등에서 그림 3과 같이 좌측과 우측의 바퀴를 구동하는 모터가 서로 반대 방향으로 위치하고 있는 것을 그대로 모델링 하였기 때문이다. 만일 두 모터의 direction을 같은 값으로 주면 한쪽 바퀴는 위쪽으로 다른 한쪽 바퀴는 아래쪽으로 이동하는 형태가 되어 회전을 하게 된다.



그림 3. WHEEL 모델의 모터 바퀴 구조 Fig. 3. Motor wheel structure in WHEEL model

그림 2의 WHEEL 모델 경우, 시뮬레이션이 시작되어 WHEEL 모델에 클럭이 인가되면 녹색 의 원으로 표시되는 스텝모터 바퀴의 회전에 따라 양바퀴가 축이 화면상에서 이동하게 된다. 그림 4에는 위에서 언급한 WHEEL 모델에 센서를 추가한 WHEELwS (WHEEL with SENSOR) 모델을 나타내었다. WHEELwS 모델은 WHEEL 모델의 파라미터들에 추가해서 센서의 개수와 각 센서별로 표 1과 같은 파라미터들을 설정해 주도록 설계되었다.

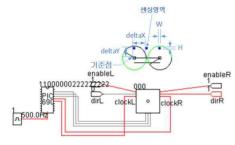


그림 4. 센싱 파라미터 $(\Delta X, \Delta Y)$ 와 (W,H) Fig. 4. Sensing parameter $(\Delta X, \Delta Y)$ and (W,H)

표 1. 센서 파라미터 Table 1. Sensor parameter

<u> </u>						
파라미터		기본값	의미			
sensorNo		3	센서 개수			
센 서 별	sensortype	0	센서 타입(0=사각형, 1=원, 2=부채꼴)			
	sensingareaDeltaX sensingareaDeltaY	(0,-20) (22,-20) (44,-20)	센 싱 영 역 이 WHEELwS 기준점(좌 측바퀴 중심)으로부터 떨어진 거리(ΔX,ΔY)			
	sensingareaW sensingareaH	4, 4	센서영역 폭과 높이 (W,H)			
	sensingareaA1	45	센서 타입 2=부채꼴 경 우 센싱영역 시작각도			
	sensingareaA2	90	센서 타입 2=부채꼴 경 우 센싱영역 시작각도 와 마지막각도 차이값			

그림 4에 라인트레이서를 시뮬레이션하기 위해 작성한 회로에서 센싱영역의 ($\Delta X, \Delta Y$), (W,H) 값을 표시하였다. 그림에서 녹색으로 표기된 2개의 원(바퀴)과 그들의 중심을 잇는 직선축과 바로 아래에 있는 직선은 라인트레이서를 의미하며, 위쪽부분(앞쪽에 해당)에 3개 센서의 센싱영

역이 파란색 작은 사각형으로 표시되어 있음을 볼 수 있고, 시뮬레이션이 시작되어 라인트레이서가 도킹 스테이션(가운데 작은 원이 그려진 정사각형 부분)에서 위쪽으로 이동해 있는 상태이다. 도킹 스테이션은 PIC칩[6]으로부터 clockL과 clockR 신호를 전달받아 라인트레이서의 좌측과우측 바퀴를 돌리게 되고 이에 따라 라인트레이서는 도킹 스테이션으로부터 떨어져 빈 공간을이동하게 된다. 라인트레이서 앞쪽에 위치한 3개의 센서는 임의의 소자를 검출하면 도킹 스테이션 하단에 위치한 출력선 3개중 해당 출력선으로 1을 내보내게 되고,이를 입력받은 PIC 칩은 사용자가 작성한 프로그램에 따라 반응하여 clockL와 clockR 값을 조절하게 된다.

그림 5에는 라인트레이서를 구동시키기 위한 어셈블리 프로그램 예를 나타내었다.

	LIST P=16F690, F=INHX8M						
	#include <pre><pre></pre></pre>						
	config (_INTOSCIO & _WDT_OFF & _PWRTE_OFF & _MCLRE_OFF & _CP_OFF						
	& _CPD_OFF & _BOR_OFF & _IESO_OFF & _FCMEN_OFF)						
	errorlevel -302 ;suppress "not in bank 0" message						
l BA	NK0	E0U	0x0000				
BA	NK1		0x0080				
BA	NK2	EQU	0x0100				
BA	NK3	EQU	0x0180				
		ORG	0x0000		nunciana unant vicatan		
		banksel		,	; processor reset vector		
		clrf			digital I/O		
		clrf			digital I/O		
		banksel.		,	digital i/o		
		movlw	0xFF	:	: 포트A 전체를 입력으로 지정		
		movwf	TRISA	_			
		clrf	TRISC	;	; 포트C 전체를 출력으로 지정		
		banksel					
		clrf	PORTC		; 포트C 초기화		
lo	ор	movf	PORTA,W		; read PORTA into W		
		andlw		;	; RA2-RA0만 남김		
		call	table		=15131 =		
		movwf		;	; 리턴값 W를 PORTC로 출력		
		clrf					
1	hle	goto addwf	loop		: PCL < PCL + W		
l ta	nre	retlw	PCL,F b'00000011'	;	; PUL < PUL + W		
		retlw	b'00000011				
			b'00000010				
			b'00000011				
			b'00000010				
			b'000000011'				
			b'00000011				
		retlw	b'00000011'				
		END					
$\overline{}$							

그림 5. 라인트레이서를 위한 어셈블리 프로그램 Fig. 5. Assembly program for a line tracer

그림 5의 프로그램은 PIC칩의 포트 A를 디지털 입력으로, 포트 C를 디지털 출력포트로 초기

화 한 후, 센서 3개의 물체 검출여부 값을 포트 A로 입력받고 이 값에 따라 포트 C에 연결된 2 개의 모터를 적절히 구동시키기 위해 1 또는 0 값을 내보내도록 작성되었다. 이 예에서는 MPASM 어셈블리 언어로 프로그램이 작성되었지만, C언어를 이용해 프로그램을 개발하여도 상관없으며, 개발된 소스 프로그램을 크로스 컴파일(또는 크로스 어셈블)하고, 생성된 기계어 프로그램(hex 코드 형식)의 파일을 시뮬레이터에 로드하여 시뮬레이션을 수행하면 된다.

3. 실험 및 기능 검증

그림 6에는 위에서 개발한 라인트레이서 구동 프로그램을 시뮬레이션 하기 위한 회로도 및 동작 상태를 나타내었다. 그림의 위쪽 부분은 회로 도를 나타내며, PIC칩과 clock 그리고 WHEELwS 소자 등으로 구성되어 있고, 녹색의원들은 라인트레이서가 따라갈 라인을 의미하며, 녹색 LED들을 촘촘하게 배치하여 라인을 구성하였다. 본 연구에서 개발된 라인트레이서에 달여있는 센서는 센싱영역에 어떤 소자는 상관없이소자가 발견되면 출력을 1로 해준다.

그림 6의 회로에서 WHEELwS 소자의 좌측과 우측 enable 및 direction 신호는 input 소자를 이 용해 공급해 주도록 하였지만, 이 단자들을 PIC 칩의 가용한 핀에 연결하고 프로그램을 이용해 이 신호를 적절히 내보내도록 조절할 수도 있다.

그림 6에서 아래쪽 창 맨 우측의 ROM[x] 부분이 프로그램 메모리 내용을 보여주는 부분으로 작성된 프로그램의 각 명령어들을 16진수로 보여주고 있다. 참고로 왼쪽의 RAM[x][y]는 PIC 칩내부의 데이터 메모리 영역의 값을 이진수로 보여주고 있다.

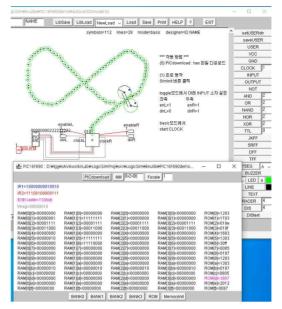


그림 6. 라인트레이서 시뮬레이션 Fig. 6. Line Tracer simulation

그림 6의 회로에서 시뮬레이션을 시작하면 라인트레이서가 도킹 스테이션을 떠나 LED로 구성된 8차 모양의 트랙을 따라 도는 것을 확인할수있고, 실시간으로 경로를 변경하면 변경된 경로에 대한 센서 입력에 따라 라인트레이서가 적절히 반응함을 확인할수 있어서, 주어진 경로에따라 사용자가 라인트레이서의 하드웨어 구성 파라미터(바퀴 지름, 바퀴 간격, 센서 개수 및 위치, 센싱 영역의 모양 및 크기 등)를 원하는 값으로설정한 후, 이에 따른 적절한 제어 프로그램을 작성하고 이를 시뮬레이션 해 봄으로써 정상 동작여부를 실시간으로 확인해 볼 수 있다.

개발된 라인 트레이서 가상실험 프로그램의 정상 동작 여부를 검증하기 위하여 그림 6의 회 로를 구성하고, PIC 마이크로 컨트롤러에 그림 5 프로그램의 HEX 코드를 다운로드하여 실험한 결과 그림 6의 라인 트레이서가 녹색의 LED들로 구성된 트랙을 따라 잘 이동해 감을 확인하였다.

4. 결 론

IT 기술 및 인터넷 통신망의 급속한 발전과 최근 COVID-19 등의 사회적 환경 변화로 인해 교육 분야에 있어서 온라인 학습에 대한 수요가 급증하고 있다.

다른 분야에 비해 실험 실습의 비중이 상대적으로 높은 공학 분야의 경우 전통적인 대면 실험실습 교육을 대체할 수 있는 효율적인 온라인 교육이 이루어지려면 실제 실험 실습을 컴퓨터 상에서 시뮬레이션을 통해 수행할 수 있는 가상 실험실습 콘텐츠가 절대적으로 필요하다.

본 연구에서는 전기전자제어 분야뿐만 아니라 전반적인 모든 IT 융합 산업분야에 걸쳐 거의 필수적으로 사용되고 있는 마이크로프로세서의 효율적인 온라인 응용 학습을 위해 라인 트레이서 모델을 개발하고 이를 시뮬레이션 할 수 있는 가상실험 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 라인트레이서 모델에서 사용자는 바퀴 크기 및 축 간격, 센서 개수 및 센싱 영역 등에 관련된 하드웨어 파라미터 값들을 원하는 형태로 다양하게 설정하고, 이에 따른 소프트웨어를 어셈블리 언어나 C 언어 등으로 작성하여 컴퓨터 상에서 동작을 시험해 볼 수 있도록 구성되었다.

개발된 라인 트레이서 가상 실험 소프트웨어는 온라인 상에서 이루어지는 마이크프로세서 응용 관련한 비대면 수업에서 효율적인 가상 실험실습 도구가 될 것이며, 실험 실습에 따른 시간적, 공간적 자원 절약 및 비용 절감 등의 부수적효과를 가질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Kevin Lothridge, Jamie Fox, Eileen Fynan, "Blended learning: efficient, timely and cost effective", Australian Journal of Forensic Sciences, Vol.45, Issue 4, pp.407–416, 2013. https://doi.org/10.1080/00450618.2013.767375
- [2] Stefan Hrastinski, "What Do We Mean by Blended Learning?", TechTrends 63, pp.564–569, 2019. https://doi.org/10.1007/s11528-019-00375-5
- [3] Rachel Grieve, Christine R. Padgett, Robyn L. Moffitt, "Assignments 2.0: The role of social presence and computer attitudes in student preferences for online versus offline marking", The Internet and Higher Education, Vol. 28, pp.8–16, Jan. 2016. https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.08.002
- [4] Noora Hamdan, Patrick McKnight, Katherine McKnight, Kari M. Arfstrom, "Review of Flipped Learning", Aug. 2013. http://dx.doi.org/10.4236/ce.
- [5] Flipped Learning Network, "Definition of Flipped Learning", March 12, 2014. https://www.flippedlearning.org/definition
- [6] Microchip Technology Inc., https://www.microchip.com/
- [7] Texas Instrument, https://www.ti.com/
- [8] STMicroelectronics, https://www.st.com/content/st_com/en.html
- [9] NXP Semiconductor, https://www.nxp.com/
- [10] Renesas Electronics Corporation, https://www.renesas.com/in/en
- [11] Proteus, https://www.labcenter.com/, 2021.
- [12] Autodesk, Inc., https://www.tinkercad.com/, 2021.

---- 저 자 소 개 ·----



기장근(Jang-Geun Ki)



권기영(Kee-Young Kwon)

1981.2. 고려대 전자공학과 졸업
1983.2. KAIST 전기및전자공학과 석사
1988.2. KAIST 전기및전자공학과 박사
1988.3.-1991.2 ㈜삼성전자 기흥 반도체연
구소 선임연구원
1991.3.-현재 공주대학교 공과대학 전기전
자제어공학부 교수
2000.3.-2001.2. Southern Methodist
University 방문교수
<주관심분야> 반도체, 광통신