

논문 2007-44SD-6-11

# PLI를 이용한 OLED 드라이버 IC의 기능 검증 방법

## ( Functional verification method of OLED driver IC using PLI )

김 정 학\*, 김 석 윤\*

( Jung Hak Kim and Seok Yoon Kim )

### 요 약

본 논문에서는 유기발광다이오드 구동 IC의 기능을 검증하기 위하여 PLI(Programing Language Interface)를 이용한 검증 방법을 제안 한다. 기능 검증을 하기 위하여 HDL(Hardware Description Language) 시뮬레이터와 PLI, GUI(Graphic User Interface) 환경의 이미지 뷰어를 이용한다. 본 논문에서 제안하는 유기발광다이오드 구동 IC의 기능 검증 방법을 이용 할 경우 종래의 기능 검증 방법을 이용 할 때 보다 40배의 실행 시간 이득을 얻을 수 있다. 제안한 방법을 이용할 경우 디스플레이 구동 IC의 설계 단계에서 기능 검증을 효율적으로 할 수 있을 것이다.

### Abstract

In this paper, we propose the function verification method of the OLED(Organic Light Emitting Diode) drive IC using PLI verification method. This method uses the HDL(Hardware Description Language) simulator, PLI(Programing Language Interface), and GUI (Graphic User Interface) image viewer. This method improves the execute efficiency 40 times than conventional function verification methods. The proposed method can be used efficiently for function verification of DDI(display driver IC) design step.

**Keywords :** PLI, Verification, OLED, Design, Driver IC

### I. 서 론

최근 들어 이동 통신 단말기를 비롯한 휴대용 정보통신 기기들의 수요가 폭발적으로 증가함에 따라서 평판 디스플레이의 수요가 급격하게 증가 하고 있다. 이러한 추세 때문에 소형 디스플레이에 대한 관심이 고조 되고 있으며 디스플레이의 신속한 정보 전달의 필요성을 만족시키기 위하여 고성능 고효율의 소자 특성과 빠른 응답속도 등을 요구 하고 있다. 또한 휴대형에 필수적인 저 소비전력, 소비자를 충족시킬 수 있는 색감 및 시인성, 그리고 경량 및 박형에 대한 요구도 증가 하고 있다. 현재 휴대 기기용 디스플레이를 포함한 소형 디스

플레이 시장의 주력 제품은 액정 디스플레이(LCD: Liquid Crystal Display)이다. 그러나 액정 디스플레이는 동작 속도가 느리고 시야각이 좁다는 단점을 갖고 있기 때문에 최근에는 평판 디스플레이 가운데 넓은 시야각과 저 전압 구동, 자 발광이라는 장점을 갖는 유기 발광 다이오드(OLED:Organic Light Emitting Diodes)가 평판 디스플레이에서 각광 받고 있다<sup>[1][2]</sup>. 유기 발광 다이오드는 전류 구동 표시 소자로써 양극(Anode)과 음극(Cathode)으로 구성된 2전극에 전류와 전압을 인가하여 시간을 조절하여 밝기를 제어하는 방식으로 구동 된다. 위와 같이 구동되는 유기 발광 다이오드에 정적 영상이 입력된 경우 유기 발광 다이오드에 인가되는 전류에 의해서 특정 부분의 픽셀(Pixel)만 열화가 가속화 되는 현상(image sticking)이 발생한다. 이 문제를 해결 하기 위하여 유기 발광 다이오드 구동 IC(Integrated Circuit)에 스크린세이버(Screen Saver)기능을 추가 한다. 스크린 세이버 기능은 정적 영상을 동적 영상으로 바꾸어 특정 픽셀에 열화 현상을 최소화 하는 기능과

\* 정희원, 숭실대학교 컴퓨터학과  
(Soongsil university, Graduate school of computer science)

※ 본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어졌습니다.

접수일자: 2006년7월18일, 수정완료일: 2007년5월10일

디스플레이의 시각효과를 높이는 기능을 수행 하는 것으로 유기 발광 다이오드 구동 IC에서 없어서는 안 될 중요한 기능 중에 하나이다. 구동 IC에서의 스크린 셰이퍼 기능과 같은 복잡한 디지털(digital) 설계에서 기능의 검증(functional verification)은 과다한 개발비용의 방지와 기능의 오작동 문제들을 해결하기 위하여 반드시 수행 해야만 하는 중요한 부분이 되었다. 일반적으로 기능 검증에 이용되는 시뮬레이션 방법 중에서 널리 쓰이는 출력 파형을 확인대상으로 하는 형태의 시뮬레이션 방법은 기능의 변화에 대한 결과를 파형으로 출력하기 때문에 시뮬레이션에 이용되는 기능이 증가하면 시뮬레이션 시간과 시뮬레이션에 필요한 자원이 증가하고, 출력으로 저장된 파형을 분석하는 검증 단계에서도 많은 시간이 소요되는 단점을 갖고 있다.

따라서, 본 논문에서는 PLI(Programing Language Interface)를 이용한 시뮬레이션 방법을 제안한다. PLI를 이용한 시뮬레이션은 출력 결과를 파형이 아닌 이미지(image)로 저장하기 때문에 최소한의 자원을 이용하여 시뮬레이션을 할 수 있으며, 저장된 출력 이미지를 별도의 이미지 뷰어(image viewer)를 이용하여 입력 데이터와 출력 데이터의 변화를 빠르게 검증 할 수 있다.

본 논문에서는 다양한 이미지를 처리하는 구동 드라이버의 특성에 맞는 기능 검증을 하기 위하여 PLI를 이용한 시뮬레이션 검증 방법을 선택하였고, 구동 IC의 디지털 설계에 이용된 HDL(Hardware Description Language) 코드와 C 언어로 작성된 시뮬레이터를 서로 연동 가능 하도록 PLI를 적용 하였으며, 시뮬레이터를 이용하여 출력된 데이터는 윈도우 프로그램을 이용하여 확인하는 방법으로 구현하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서 검증 환경의 구성 방법에 대하여 논하고, 제 III장에서는 제안한 검증 방법과 검증 실행 방법에 대하여 논한다. 제 IV장에서는 본 논문에서 제안한 방법을 적용한 구동 IC를 이용한 실험을 보이고, 마지막으로 제 V장에서 결론을 도출한다.

## II. PLI를 이용한 검증 환경의 구성

본 논문에서 제안하는 PLI를 이용한 검증 환경의 구성은 그림 1과 같이 HDL 시뮬레이터와 GUI(Graphic User Interface) 환경의 이미지 뷰어, PLI로 구성 할 수 있다. 검증 환경 구성에 이용한 HDL 시뮬레이터는 Verilog-HDL로 작성하였고, 이미지 뷰어는 윈도우 프

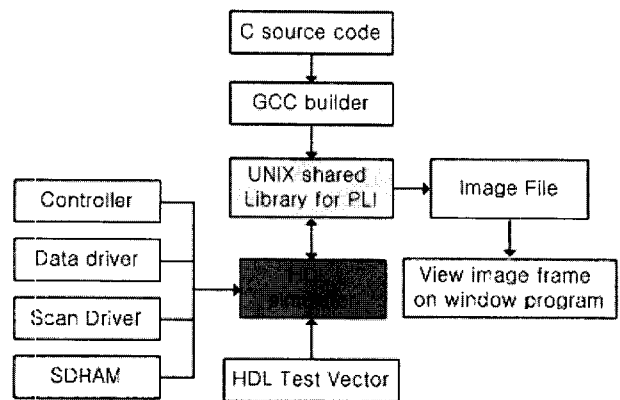


그림 1. PLI 검증 환경의 전체 구성

Fig. 1. Verification environment using PLI.

로그램을 이용하여 작성하였다. 시뮬레이터와 이미지 뷰어의 정보 교환은 네트워크(network)를 이용하여 이루어진다.

### 1. HDL 시뮬레이터

HDL 시뮬레이터는 유기 발광 다이오드의 드라이버 IC와 동일한 기능을 하는 컨트롤러(controller) 블록과 데이터 드라이버(data driver) 블록, 스캔 드라이버(scan driver) 블록, SDRAM(Synchronous Dynamic Random Access Memory) 블록을 모델링 하여 구성하였다. 컨트롤러 블록에서는 유기 발광 다이오드에서 중요시되는 스크린 셰이퍼 기능을 지원하는 부분이 설계 되어 있다. 데이터 드라이버 블록은 메모리 출력단(Red, Green, Blue)의 6비트 데이터를 각 채널(channel)에 쉬프트(shift)하여 전달하고, 각 채널에 해당하는 이진 데이터를 펄스폭으로 변환한 후 펄스폭에 해당하는 아날로그(analog) 신호를 생성하는 역할을 수행 하도록 설계 하였다. 스캔 드라이버 블록은 인터리브(interleave) 방식을 적용한 것으로 좌측(left)과 우측(right)의 스캔 드라이버로 구성 할 수 있다. 각각의 스캔 드라이버는 데이터 드라이버의 신호에 동기화 되어 스캔 라인을 순차적으로 선택하는 역할을 하도록 설계 하였다. SDRAM 블록은 IC의 프레임 버퍼(buffer)를 위한 메모리 역할을 수행 하도록 설계 하였다.

HDL 시뮬레이터에서는 입력으로 들어온 테스트 벡터(test vector)값을 컨트롤러에 인가하고 인가된 값에 의해 컨트롤러는 스크린셰이퍼 기능을 수행한다. 이 과정에서 입력된 이미지 프레임은 컨트롤러에 인가된 신호에 의하여 일련의 과정을 거쳐 입력된 이미지 프레임과 다른 스크린 셰이퍼 기능이 적용된 새로운 이미지 프레임을 생성하여 출력하게 된다.

### 2. PLI(Programming Language Interface)

PLI는 Verilog 시뮬레이터를 만들 수 있는 기본 모듈과 기본 모듈에 새로운 기능을 추가 할 수 있도록 C언어 형식으로 제공되는 여러 함수들로 구성되어 있다<sup>[3][4][5]</sup>. 기본적으로 Verilog 시뮬레이터에는 '\$'로 시작되는 여러 가지 시스템 함수들이 정의되어 있는데 사용자가 새로운 시스템 함수를 만들려고 할 경우 Verilog-PLI에서 제공하는 라이브러리 함수들을 이용하여 제작할 수 있다. 화면에 'Hello'라는 문자를 출력하는 '\$Hello'라는 함수를 만들기 위해서는 그림 2와 같은 코드를 작성하여 컴파일 한 후 기존 Verilog 시뮬레이터의 기본 모듈과 함께 링크(link)하여 새로운 Verilog 시뮬레이터를 만들게 되는데 이 시뮬레이터를 사용할 때는 언제나 '\$Hello' 함수를 사용 할 수 있게 된다.

```
s_tfccl veriusertfs[] = {
    { usertask, 0, 0, 0, hello, 0, "$Hello" },
    { 0 }
};

void hello()
{
    printf("Hello\n");
}
```

그림 2. '\$Hello' 함수의 제작 예  
Fig. 2. A sample program for a function '\$Hello'.

```
s_tfccl veriusertfs[] = {
{ usertask, 0, 0, 0, seed_image, 0, "$seed_image", 1 },
{ usertask, 0, 0, 0, get_pixel, 0, "$get_pixel", 1 },
{ usertask, 0, 0, 0, put_pixel, 0, "$put_pixel", 1 },
{ 0 }
};

void seed_image(void)
{
    .....
}

void get_pixel(void)
{
    .....
}

void put_pixel(void)
{
    .....
}
```

그림 3. PLI로 구현된 함수  
Fig. 3. Functions implemented by using PLI.

그림 3은 본 논문에서 PLI를 이용하기 위하여 작성한 C 언어로 구성된 함수를 나타내었다. Seed image 함수는 시뮬레이션에 이용할 16진수로 변환한 입력 이미지 데이터를 생성하는 역할을 하고, get pixel 함수는 seed image 함수에 의해 생성된 이미지 데이터를 HDL 시뮬레이터를 이용하여 스크린세이버 기능을 수행하기 위한 입력 데이터로 받아들이는 역할을 수행한다. put pixel 함수는 HDL 시뮬레이터의 스크린세이버 기능의 일련의 과정을 거쳐 생성된 이미지 데이터를 이미지 뷰어에서 이용 가능한 이미지 데이터 파일로 저장하는 역할을 수행한다.

### 3. 이미지 뷰어

이미지 뷰어는 PLI 함수와 HDL 시뮬레이터가 서로 연동하여 생성한 이미지 데이터를 프레임 단위로 검증하기 위한 프로그램이다. 이미지 뷰어는 GUI 환경의 윈도우 프로그램으로 잘 알려져 있는 델파이를 이용하였다(그림 4). 이미지 뷰어는 프레임 단위로 저장된 이미지 데이터 파일을 이용하여 프레임의 개수와 프레임간의 동작을 시간으로 설정하면 구동 IC의 스크린세이버가 동작하는 기능과 동일한 동영상 기능을 수행 한다. 이미지 뷰어를 이용하면 설계 단계에서 구동 IC의 스크린 세이버 기능의 동작을 예측 할 수 있다.

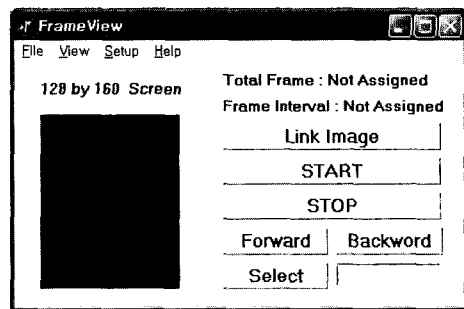


그림 4. 이미지 뷰어  
Fig. 4. Image Viewer.

표 1. 이미지 뷰어의 기능  
Table 1. Function of image viewer.

명령어	기능
Link Image	프레임의 정보가 담긴 파일을 연결
Start	연결된 파일 정보에 맞는 동작 실행
Stop	연속으로 동작하는 기능 일시 중지
Forward	현재 프레임의 다음 프레임을 실행
Backword	현재 프레임의 이전 프레임을 실행
Select	이용할 프레임을 선택적으로 실행

128(RGB)×160 해상도의 유기 발광 다이오드 패널(panel)을 구동하기 위한 구동 IC 시뮬레이션 즉, PLI와 HDL 시뮬레이터에 의해 생성된 스크린셰어 기능검증용 이미지 데이터의 검증을 위한 이미지 뷰어의 기능은 표 1과 같다.

### III. PLI 검증 환경을 이용한 시뮬레이션

#### 1. PLI를 이용한 검증 방법

PLI를 이용한 검증 시스템의 동작은 그림 5와 같은 구조를 갖는다. 동작 원리는 C 언어로 구현한 함수(seed image, put pixel, get pixel)를 정의하고, 정의된 함수는 HDL 시뮬레이터의 Top design에서 호출(call)을 받아 이미지의 생성, 이미지 입력, 그리고, 이미지 출력을 하게 된다. 출력된 이미지 데이터는 입력 이미지 데이터와 비교하여 동일 이미지인 경우에는 입력 이미지로 변환하여 다시 시뮬레이션을 수행하고, 동일 이미지가 아닐 경우에는 출력 이미지 파일을 저장한 후 출력 이미지를 입력 이미지로 업데이트(update) 한다. 시뮬레이션에 의해 저장된 이미지는 네트워크를 이용하여 PC에 전송하고 전송된 이미지는 이미지 뷰어를 이용하여 HDL 코드의 설계가 정확하게 되었는지 검증하게 된다.

PLI를 이용한 기능 검증 방법을 이용할 경우 표 2에서 보는 것과 같이 시뮬레이션에 필요한 저장 공간이 출력 파형을 분석하는 일반 시뮬레이션 방법 보다 약 21배 낮은 공간을 이용하며 검증시간은 일반 시뮬레이

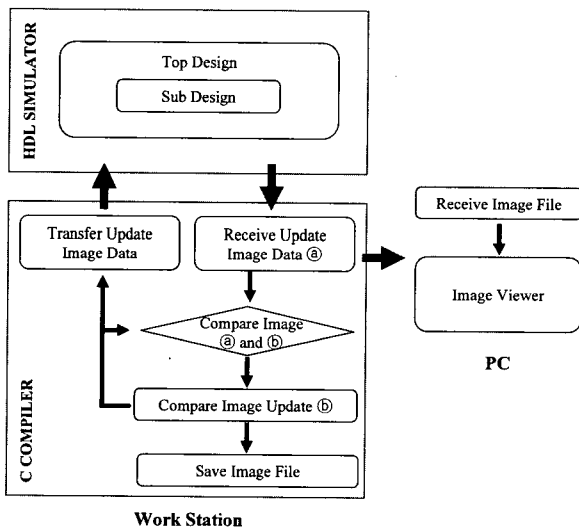


그림 5. PLI를 이용한 검증 방법  
Fig. 5. Verification method using PLI.

표 2. 제안한 방법의 시뮬레이션 결과

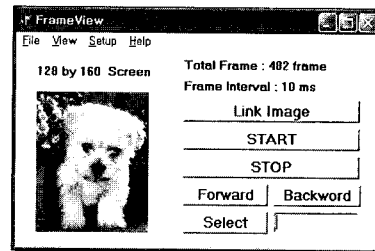
Table 2. simulation result of proposal method.

	일반시뮬레이션	제안한 방법
저장 공간	38Gbyte	1.8Gbyte
검증 시간	6hour	9min

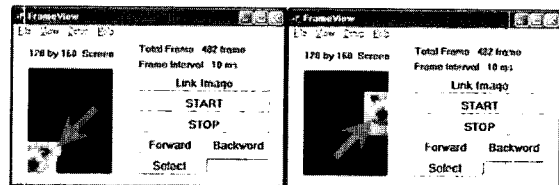
션 검증보다 약 40배 빠른 결과를 보였다. 이때의 시뮬레이션 조건은 동일하다.

#### 2. 이미지 뷰어를 이용한 시뮬레이션

이미지 뷰어를 이용한 시뮬레이션에서는 HDL 시뮬레이터와 PLI의 동작으로 생성된 이미지를 GUI 환경의 이미지 뷰어를 이용하여 실험 하였다. 그림 6은 원본 이미지와 시뮬레이터에 의해 수행된 이미지 파일의 동작을 나타낸다. 그림 6의 (a)는 시뮬레이션을 수행하기 위해 이용한 128(RGB)×160 크기의 이미지 원본을 프레임 단위로 불러온 것이다. 그림 6의 (b), (c), (d), (e),

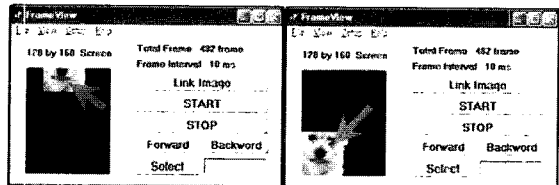


(a) Simulation Source Image



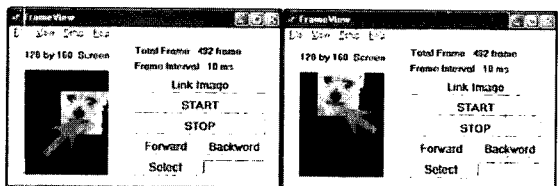
(b) Block Moving

(c) Block Moving



(d) Block Moving

(e) Block Moving



(f) Block Moving

(g) Block Moving

그림 6. 이미지 뷰어를 이용한 시뮬레이션  
Fig. 6. Simulation using image viewer.

(f), (g)는 스크린 세이버 기능 중 블록 이동 기능을 실행 한 것이다. 블록이동 기능은 전체 이미지에서 특정 좌표 값을 입력하여 입력된 좌표 값에 해당하는 영역 이외의 부분을 검은색으로 처리하고 선택 영역의 이미지는 상하좌우로 이동하며 시각 효과를 상승시킴과 동시에 유기 발광 다이오드 패널의 열화 현상을 방지하는 역할을 한다. 그림 6의 (b), (c), (d)는 구동 IC의 디지털 블록 중 컨트롤러 블록을 잘못 설계한 것으로 블록 이미지가 전체 이미지의 경계 부분에 맞닿으면 상하좌우로 이동 하여야 하나 블록 이미지는 경계선을 침범하여 IC 설계 단계에서 예상하지 않았던 문제점의 발생 예를 보인 것이다. 이러한 문제를 DB(Data Base) OUT 이전 또는 DB가 FAB(fabrication)에 투입되기 이전에 문제를 해결하여 개발 시간과 개발 비용의 낭비를 최소화 할 수 있다. 그림 6의 (e), (f), (g)는 그림 6의 (b), (c), (d)의 문제점을 해결한 것으로 정확하게 전체 이미지의 경계선에서 상하 좌우로 이동하는 블록 이미지를 확인할 수 있다.

#### IV. 실험

본 논문의 실험에서는 PLI 환경을 이용한 시뮬레이션 과정을 거쳐 기능 검증이 끝난 DB를 FAB에 투입하여 IC를 개발하고, 개발한 IC는 후 공정 과정을 거쳐



그림 7. OLED 구동 IC의 레이아웃  
Fig. 7. Layout of OLED driver IC.

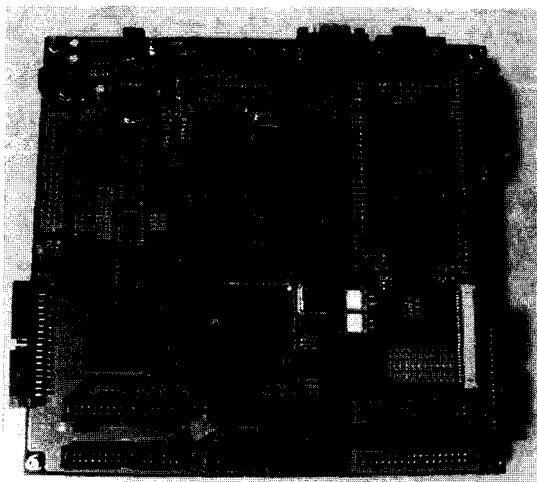


그림 8. OLED 구동 IC 평가용 보드  
Fig. 8. Evaluation board of OLED driver IC.

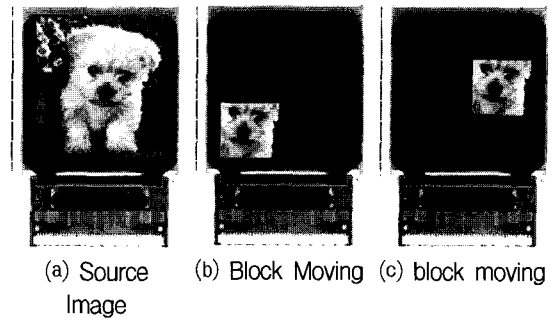


그림 9. 개발한 OLED 구동 IC를 이용한 실험  
Fig. 9. Experiment using OLED driver IC.

필름 상태로 완성된 모듈(module)을 유기 발광 다이오드 패널에 접합함으로써 실험을 진행 하였다. 그림 7은 개발한 유기발광다이오드 구동 IC의 레이아웃(layout)도면이다. 개발한 구동 IC는 수동형 유기 발광 다이오드 전용으로 26만 색상을 표현하고 128(RGB)×160 크기의 해상도를 지원한다.

그림 8은 개발한 구동 IC를 평가하기위한 평가 보드 로써 IC의 구동에 관련된 모든 기능을 검증하기 위해 이용한다.

그림 9는 개발한 IC를 이용한 스크린세이버 기능 실행 후의 그림이다. 그림 9의 (a), (b), (c)는 구동 IC의 스크린 세이버 기능 중 블록 이동에 관한 것으로 본 논문에서 제안한 PLI 환경을 이용한 시뮬레이션 결과와 동일한 결과를 보임으로서 설계 단계에서 실행한 시뮬레이터의 성능을 증명 할 수 있다.

#### V. 결 론

본 논문에서는 유기 발광 다이오드 구동 IC 설계 단계에서 반드시 필요한 기능 검증 방법을 제안 하였다. 또한 제안한 검증 방법에 대하여 일련의 동작 과정과 검증 과정을 소개 하였다. 제안한 방법은 PLI 환경과 HDL 시뮬레이터를 이용한 것이다. 제안한 검증 방법을 이용할 경우 유기 발광 다이오드 구동 IC 설계 과정에서 발생할 문제를 설계 단계에서 확인하고 수정하기 때문에 불필요한 개발비의 낭비를 막을 수 있고, 개발 기간의 단축이라는 효과를 얻을 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Mike Hack, R. Hewitt, "Performance of High Efficiency AMOLED Displays", IDMC 2000,

pp.435.

[2] C. W. Tang, "An overview of organic electro luminescent materials and devices", SID 96 Digest, pp.181-184(1996).

[3] Cadence, "Verilog Programming Language Interface", Cadence, 1994.

[4] Cadence Design Systems, "PLI 1.0 User Guide and Reference", February 1997.

[5] Kluwer Academic Publishers, "The Verilog PLI Handbook: A Tutorial and Reference Manual on the Verilog Programming Language Interface Second Edition 2002".

저 자 소 개



**김 정 학**(정회원)  
 2000년 청운대학교 인공지능 컴퓨터학과 학사 졸업.  
 2002년 숭실대학교 컴퓨터학과 석사 졸업.  
 2004년 숭실대학교 컴퓨터학과 박사 수료.

2004년~2005년 오리온전기 OLED연구소 연구원.  
 2005년~현재 오리온오엘이디 평판연구소 주임연구원.  
 <주관심분야 : VLSI 회로해석 및 설계, OLED 회로설계>



**김 석 윤**(정회원)  
 1980년 서울대학교 공대 전기공학과 학사 졸업.  
 1990년 University of Texas at Austin 전기, 컴퓨터학과 석사 졸업.  
 1993년 University of Texas at Austin 전기, 컴퓨터학과 박사 졸업.

1982년~1987년 한국전자 통신연구소 연구원.  
 1993년~1995년 Motorola Inc. Senior Staff Engineer  
 1995년~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수.  
 <주관심분야 : 설계자동화, VLSI 회로해석 및 설계>