

# Cortex-A8 AM3352 MPU를 이용한 산업용 SoM 설계 및 구현

하성준\*<sup>1</sup>, 트란 민 덕\*<sup>2</sup>, 최준영\*\*

## Design and Implementation of Industrial SoM using Cortex-A8 AM3352 MPU

Sung-Jun Ha\*<sup>1</sup>, Minh-Duc Tran\*<sup>2</sup>, and Joon-Young Choi\*\*

본 연구는 산업통상자원부 (MOTIE) 및 산업기술평가관리원 (KEIT)연구비 지원에 의한 연구임 (No. 20012815)

### 요 약

본 논문에서는 낮은 전력 소모 및 다양한 통신 장치를 지원하는 TI사의 AM3352 microprocessor unit을 기반으로 산업용 임베디드 제어 시스템을 위한 System-on-Module(SoM)을 개발한다. SoM 기반 시스템은 요구되는 입출력 베이스 보드만을 설계하여 시스템을 완성할 수 있기 때문에 개발 기간과 비용을 줄일 수 있고 확장성 및 유연성이 단일 보드 시스템보다 우수한 장점이 있다. 다양한 반도체 소자, 커넥터, SD 카드 소켓을 장착함에도 8.6 cm × 5.5 cm 크기의 소형으로 설계하고 UART, Ethernet, I2C, SPI, 7개의 아날로그 입력, USB를 베이스 보드에 지원하여 활용도를 극대화한다. 산업용으로 사용할 수 있도록 RT Linux를 이식하여 실시간 응용프로그램 개발 환경을 구축한다. UART, Ethernet, I2C, SPI 장치를 동작시키는 Linux 응용프로그램을 작성 또는 활용하고 실험을 수행하여 Linux 운영체제 및 각 입출력 장치의 정상 동작을 검증한다.

### Abstract

In this paper, we develop a System-on-Module(SoM) for an industrial embedded control system based on TI's AM3352 microprocessor unit, which supports low power consumption and various communication devices. SoM-based systems can reduce development time and costs because they can complete the system development by designing only the required I/O base boards, and have the advantage of being superior to single-board systems in terms of scalability and flexibility. Even though the SoM is equipped with various semiconductor devices, connectors, and SD card sockets, it is designed to be compact with a size of 8.6 cm × 5.5 cm, and supports UART, Ethernet, I2C, SPI, 7 analog inputs, and USB for the base board to maximize usability. We establish a real-time application development environment by porting RT Linux for industrial use. Then, by writing or using Linux application programs that operate UART, Ethernet, I2C, and SPI devices and performing extensive experiments, we verify the normal operation of the RT Linux operating system and each I/O device.

### Keywords

industrial embedded systems, SoM, AM3352 MPU, I/O base board, RT linux

\* 부산대학교 전자전기공학과  
- ORCID<sup>1</sup>: <http://orcid.org/0009-0005-4139-475X>  
- ORCID<sup>2</sup>: <http://orcid.org/0000-0001-7652-6760>  
\*\* 부산대학교 전자공학과 교수(교신저자)  
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5160-3739>

• Received: Nov. 11, 2023, Revised: Dec. 20, 2023, Accepted: Dec. 23, 2023  
• Corresponding Author: Joon-Young Choi  
Dept. of Electronic Engineering, Pusan National University, San 30  
Jangjeon-dong, Geumjeong-gu, Pusan, 609-735, Korea  
Tel.: +82-51-510-2490, Email: [jyc@pusan.ac.kr](mailto:jyc@pusan.ac.kr)

## 1. 서 론

최근 산업, 가전, 의료 등 다양한 분야에서 특수 목적 수행을 위한 임베디드 시스템이 보편화 됨에 따라 높은 수준의 성능과 안정성이 요구되고 있다. 점차 까다로워지는 요구사항을 해결하기 위해 하드웨어 아키텍처와 임베디드 시스템 설계는 처리속도, 지연시간, 유연성, 비용 등의 균형을 최적화 하는 방향으로 변화하고 있다[1][2].

일반적으로 임베디드 시스템은 입출력 장치, RAM, Flash 등이 내장되어 있는 MPU (Microprocessor unit)를 사용하기 때문에, 제품 설계에 대한 자유도가 높은 것이 장점이지만 한번 설계가 된 제품은 수정 또는 변경이 어려워 새로운 요구사항이 발생했을 때, 재설계를 수행해야 한다는 단점이 있다. 재설계를 한다는 것은 인력 및 시간이 추가로 소요된다는 것이며, 이는 곧 산업용 임베디드 시스템의 상용화에 단점이 될 것이다[3]-[5].

이러한 문제점을 해결하기 위한 하나의 방법으로 다양한 입출력 인터페이스를 지원하는 SoM (System-on-Module)을 개발하는 것이다. SoM 기반 시스템은 요구되는 입출력 베이스 보드만을 설계하여 시스템을 완성할 수 있기 때문에 개발 기간과 비용을 줄일 수 있고 확장성 및 유연성이 단일 보드 시스템보다 우수한 장점이 있다. 또한 전원, MPU, 입출력 장치, 메모리 등의 하드웨어 개발의 구성요소가 단일 모듈에 구현되어 있기 때문에 소형 시스템 제작에 탁월한 장점이 있다[6].

본 논문에서는 저비용으로 요구사항을 만족하면서 소형화 제작이 가능한 SoM 보드를 개발한다. MPU로는 MMU(Memory Management Unit)이 내장되어 있어 Linux OS를 실행할 수 있고 다양한 입출력 장치를 지원하는 ARM 사의 Cortex A8 계열 프로세서로서 저가인 AM3352를 선정한다. UART, Ethernet, I2C, SPI, 7개의 아날로그 입력, USB 인터페이스를 지원하는 SoM 보드를 설계 및 제작한다. RT Linux를 이식하고 각종 장치 드라이버를 구현하여 Linux 기반 응용 프로그램을 개발할 수 있는 환경을 구축한다.

본 논문의 전체 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MPU 선정 기준 및 사양에 대해 기술하고, 3장에서는 하드웨어 설계 및 제작에 대해 기술한다. 4장에

서는 U-boot와 Linux를 이식하고 응용 프로그램 개발 환경을 구축한다. 5장에서는 개발된 SoM 보드의 입출력 장치의 정상 동작을 실험하고 결과를 분석한다. 6장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

## II. MPU 선정

### 2.1 Cortex 계열 프로세서

ARM Cortex 시리즈는 크게 A, R, M 시리즈로 나눌 수 있다. Cortex-A 계열은 어플리케이션 프로세서로써, 2005년에 처음 출시하였다. MMU가 있어 Linux를 이식할 수 있고 3개의 연산 모듈을 지원한다. 또한, 고성능 멀티미디어, 캐시 메모리, 1GHz의 고주파 클럭 등의 기능을 제공한다. Cortex-R 계열은 리얼타임 프로세서로써, 2011년에 처음 출시되었다. MMU가 없기 때문에 Linux를 동작시킬 수는 없으며 memory protection unit, 캐시메모리, 밀착 결합 메모리 등을 지원한다. 일반적으로 자동차, 의료기기 등에 사용된다. Cortex-M 계열은 마이크로컨트롤러 계열로써, 2004년에 처음 출시되었다. Cortex A, R 시리즈 대비 더 짧은 파이프라인을 지원하기 때문에 초저전력으로 구동이 가능하다. 또한 memory protection unit, 중첩 벡터형 인터럽트 컨트롤러 (NVIC), Wakeup 인터럽트 컨트롤러(WIC) 등의 기능을 제공하기 때문에, IoT, MEMS 등에 사용되고 있다[7]-[10].

### 2.2 AM3352 MPU

ARM Cortex-A8 프로세서에 기반한 AM335x 계열은 이미지 및 그래픽 프로세싱과 Ethernet 등을 지원한다. 그림 1은 AM335x 기능 블록 다이어그램을 나타낸 것이다.

본 논문에서는 저비용으로 Ethernet을 포함한 주변장치 인터페이스가 가능한 SoM을 개발하는 것이 목표이기 때문에, AM335x 계열 중에 비교적 저렴한 AM3352 MPU를 선정한다. AM3352 MPU는 HDMI, EtherCAT 장치는 미지원이지만, 요구사항을 만족하는 부품 중 저가이면서, 산업용으로 성능이 우수한 모델이다.

AM3352는 기본적으로 2개 포트의 Ethernet, UART, I2C, SPI 등의 인터페이스를 지원하기 때문에, 산업용 임베디드 시스템에서 요구되는 다양한 입출력 장치를 지원할 수 있다[11]-[15].

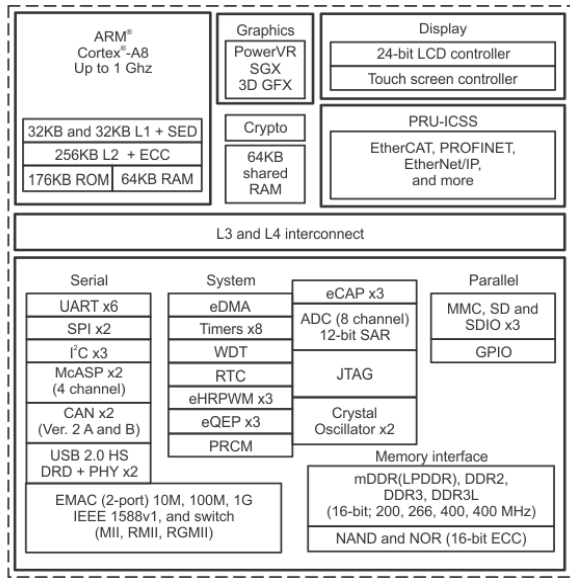


그림 1. AM335x 구조 및 구성요소  
Fig. 1. AM335x architecture and components

### III. 하드웨어 설계 및 제작

본 논문에서는 사이즈를 최소화 하고, 저비용이면서 Ethernet 통신 외 다양한 입출력 장치를 지원하는 SoM 개발하는 것이 목표이고, 표 1은 개발하고자 하는 SoM의 입출력 장치에 대한 요구사항이다.

표 1. 입출력 장치에 대한 요구사항  
Table 1. Requirements for input/output devices

No.	Device	Requirement
1	Ethernet	2 ch (100Base-T)
2	I2C	1 ch
3	UART	4 ch
4	USB	1 EA
5	SPI	1 ch
6	AIN	7 ch

SoM 보드에서는 Ethernet, I2C, UART, USB, SPI, AIN(analog input) 장치의 인터페이스를 구성하고, 필요한 입출력 장치를 확장헤더를 통해 베이스 보드에서 사용 가능하도록 하드웨어를 설계한다.

### 3.1 SoM 구성

개발하고자 하는 SoM 시스템의 하드웨어 구조 및 구성은 그림 2와 같다. PMIC에서 SoM 보드에 있는 각 소자들에 필요한 전원을 공급하고 내부 필터를 적용하여, 전원부 Noise를 감소시킬 수 있도록 설계한다.

MPU의 외부 메모리 인터페이스를 이용해 DDR3 4GB를 추가하였으며, GPIO 기반 외부 Watchdog, SD카드 소켓, MPU 디버그 환경을 구축하기 위한 JTAG 인터페이스를 SoM 보드에 장착하였다. 그 외 Ethernet 통신을 위한 PHY칩을 장착하고, UART, SPI 등 주변 입출력장치 연결을 위한 확장헤더 등을 적용하여 확장성을 제고한다.

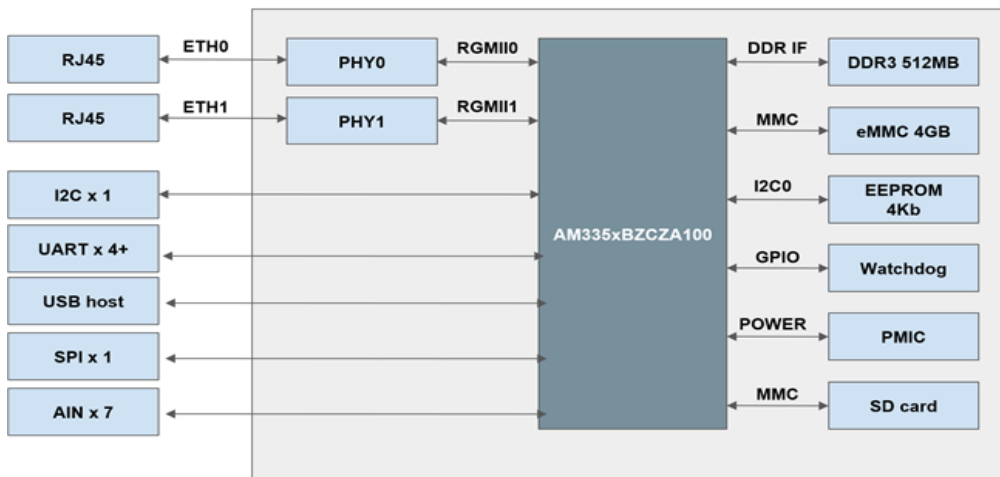


그림 2. SoM 보드의 구조 및 구성요소  
Fig. 2. Architecture and components of SoM board

### 3.2 SoM 세부 설계

전원부는 PMIC를 적용하여 설계하고 PMIC에 공급되는 외부 전원은 확장 헤더를 통해 연결되도록 설계한다. PMIC는 TPS65217CRSLR을 선정하였으며, Step Down 컨버터, LDO 레귤레이터, Undervoltage 차단 및 I2C 인터페이스 기능을 지원한다. 또한, PMIC 내부 LDO 전원 공급만으로 부족한 전원을 공급해주기 위해서 LDO 레귤레이터 TPS77733DR을 추가로 장착한다.

SoM 보드에서 지원하는 주변장치로는 UART, I2C, USB, SPI, AIN, Ethernet, EEPROM, DDR3, microSD, eMMC, Watchdog 등이 있다. 그 중 UART, I2C, SPI, AIN, Ethernet은 외부 확장 헤더를 통해 베이스 보드와 인터페이스 되도록 설계하며, 그 외 나머지 주변장치는 SoM 보드 내부에 설계한다.

SoM 보드에 적용한 Ethernet은 아래 표 2와 같이 2 Port로 1개의 MDIO를 이용하여 2개의 PHY 장치의 주소를 관리한다. 첫 번째 장치의 PHY 주소는 기본값으로 유지하고, 두 번째 장치의 PHY 주소는 RX-D2 핀에 풀업 저항을 사용하여, Strap8을 활성화해 PHY 주소를 구별한다. 또한, 클럭은 25MHz XTAL을 이용하여 공급하는데, 2 Port의 Ethernet 간 클럭 동기화를 위해 동기화된 멀티 클럭을 출력하는 CDCLVC1102PW 클럭 버퍼 장치를 사용하여 설계한 것이 특징이다.

표 2. PHY 장치의 주소 관리 테이블

Table 2. Address management table for PHY devices

PIN name	Strap name	PIN no.	Default	Mode	Function
RX_D3	Strap7	13	1		PHY_AD D0
				0	0
				1	1
RX_D2	Strap8	14	0		PHY_AD D1
				0	0
				1	1
RX_D1	Strap9	15	0		PHY_AD D2
				0	0
				1	1

SoM 보드는 정상 동작을 외부에서 감시하기 위해 Watchdog Timer Supervisor 장치를 적용하였으며, 해당 장치는 오류 발생에 의해 소프트웨어 동작이 중단되면 전체 SoM을 Reset하는 기능을 수행한다. Watchdog 감시 장치로 STWD100NYWY3F를 사용한다.

### 3.3 SoM 제작

설계한 회로도를 바탕으로 PCB를 제작하는데 Artwork 설계시 부품 최적화 배치로 PCB 사이즈는 8.6 cm x 5.5 cm의 작은 크기로 설계한다. PCB 작업시 전자기적 간섭 문제를 고려하는 것을 매우 중요한 요소인데 이를 위해 SoM 보드의 PCB Layer는 4층으로 설계하며, Noise의 영향을 최소화 하기 위해 클럭 신호 사이에 전원 접지를 충분한 크기로 구성한다.

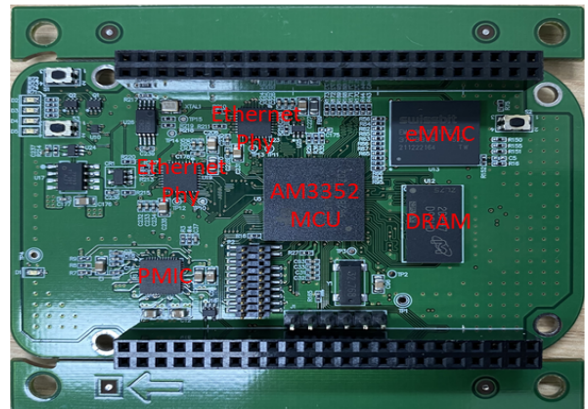


그림 3. 부품 조립된 SoM 보드 앞면

Fig. 3. Front side of part-assembled SoM board

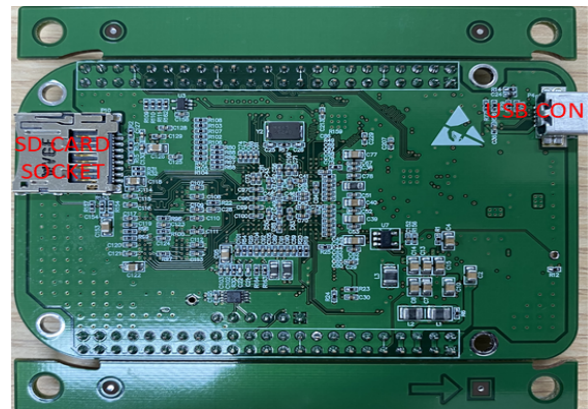


그림 4. 부품 조립된 SoM 보드 뒷면

Fig. 4. Back side of part-assembled SoM board

최종 제작된 PCB와 조립된 SoM 보드는 그림 3과 4의 사진과 같다.

#### IV. 소프트웨어 개발

##### 4.1 RT-Linux 이식

개발된 SoM 보드의 MPU는 TI AM3352이므로, TI사에서 제공하는 RT Linux SDK인 PROCESSOR-SDK-LINUX-RT-AM335x를 기반으로 RT Linux를 이식한다. 그림 5는 부트로더인 U-Boot 및 RT Linux를 개발된 SoM에 이식하고 이미지를 생성하여 SoM 보드의 eMMC에 저장하는 과정을 자세히 나타낸다.

개발된 SoM 보드는 TI사의 참조 보드와 하드웨어의 구조가 다르기 때문에 기존 RT Linux의 설정을 SoM에 맞도록 변경하여 이식하는 것이 필요하다. 우선 Pinmux 도구를 이용하여 개발된 SoM에 맞는 하드웨어 구성으로 Pinmux 파일을 수정한다. 이후 각 주변장치 별로 SDK에서 제공된 디바이스 드라이버 설정 파라미터를 적절하게 수정한 후 변경사항을 U-Boot 및 RT Linux 커널에 적용하기 위한 Rebuild를 수행한다. 빌드 완료 후 생성된 이미

지를 SoM의 eMMC에 저장하고 SoM을 RT-Linux로 부팅한다.

##### 4.2 동작 실험 프로그램 개발

UART, SPI, I2C, Ethernet 장치의 정상 동작을 검증하기 위해서 실험용 프로그램이 필요하다. UART, SPI, I2C 장치의 동작 실험 프로그램은 C 언어 기반의 Linux 응용 프로그램으로 작성하였으며, Ethernet 장치의 동작 실험은 웹서버 기능을 포함한 TI-15.4 Stack Gateway 프로그램을 활용한다.

UART 및 SPI 검증을 위해서 SoM 보드에서 UART와 SPI 장치를 통해 데이터를 송신하도록 프로그램을 작성하며, I2C 검증을 위해서는 SoM 보드에서 다른 임베디드 보드의 Slave 장치로 데이터를 송신하도록 프로그램을 작성한다. Ethernet 검증을 위해서는 SoM에서 TI-15.4 Stack Gateway 프로그램의 웹서버를 실행시키고 PC와 SoM을 일대일 Ethernet으로 연결한 후 PC에서 웹브라우저로 SoM의 웹서버를 연결하여 정상동작을 확인하는 방법을 사용한다.

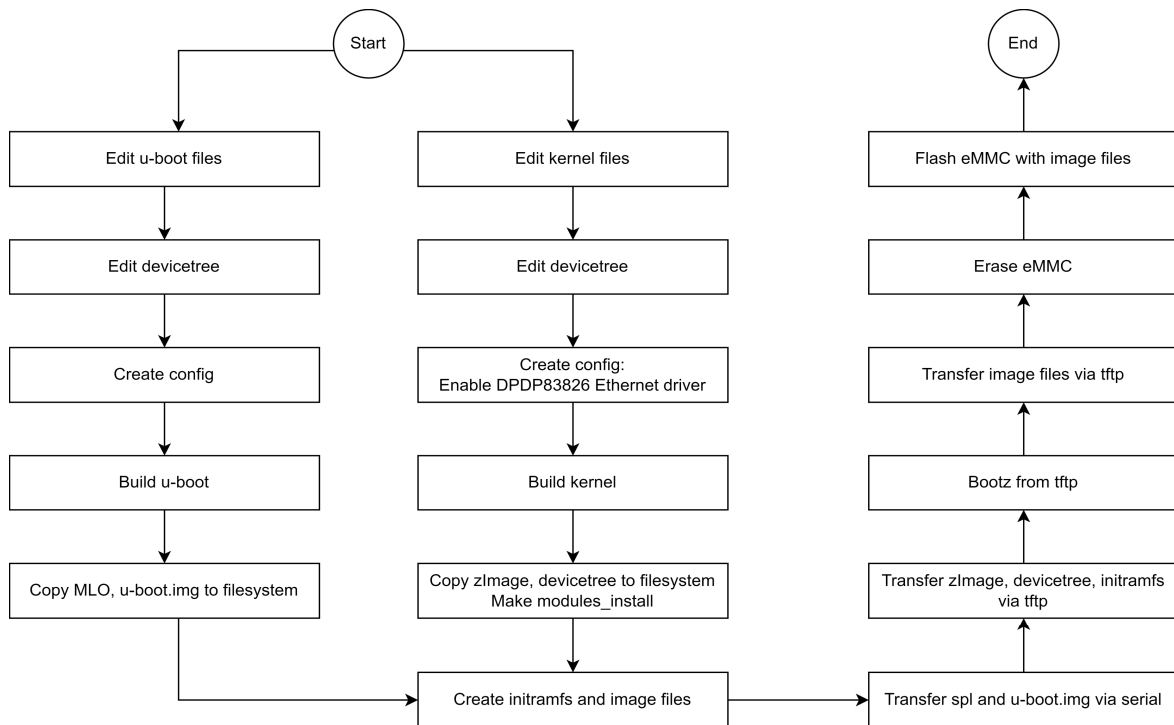


그림 5. U-Boot 및 RT-Linux의 이식과 eMMC 저장 절차  
Fig. 5. U-Boot and RT-Linux porting and eMMC storage procedure

## V. 동작 실험

### 5.1 동작 실험 환경 구축

개발한 SoM 보드의 동작 실험을 위해 확장 헤더의 전원 핀에 외부 전원을 인가하고 확장 헤더 핀맵을 확인하여 UART, I2C, SPI, Ethernet 장치의 입출력 핀을 식별한다. 동작 실험 결과를 확인하기 위해서 UART, I2C, SPI는 오실로스코프를 이용하여 각 장치의 입출력 신호를 측정한다.

한편 개발된 SoM에는 RJ45 커넥터가 장착되어 있지 않기 때문에 Ethernet 실험을 위해서는 그림 6과 같은 RJ45 커넥터 모듈을 사용한다. 해당 제품은 Ethernet RJ45 커넥터와 PCB가 일체형 모듈로 제작되어 별도로 커넥터를 납땜하거나, 별도의 회로를 설계할 필요가 없는 제품이다.

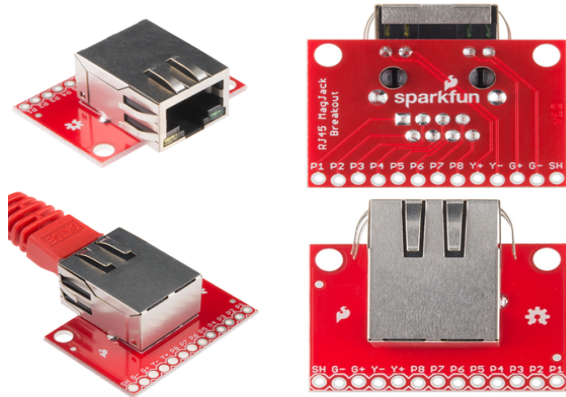


그림 6. Sparkfun RJ45 Magjack breakout 모듈  
Fig. 6. Sparkfun RJ45 Magjack breakout module

그림 7과 같이 RJ45 커넥터 모듈 2개를 SoM 보드의 외부 확장 헤더와 연결해 실험 환경을 구성한다. 그림 7에 있는 별도의 만능 기판 회로에는 PHY 칩과 RJ45 커넥터 간 신호선 연결을 위한 저항과 커패시터가 장착되어 있다.

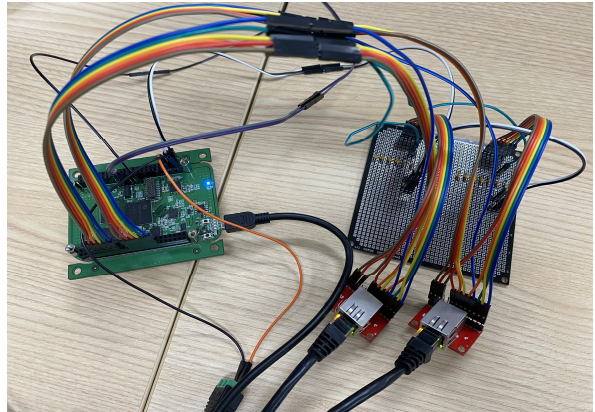


그림 7. Ethernet 동작 실험 구성  
Fig. 7. Ethernet performance experiment configuration

### 5.2 실험 결과

UART 통신 검증을 위해 SoM의 UART4 장치에 0x40, 0x00, 0x95를 지속적으로 전송하는 Linux 응용프로그램을 실행시키고 오실로스코프로 해당 확장 헤더 핀의 신호를 측정하여 UART4가 정상 동작하는 것을 확인한다. 그림 8은 정상 상태의 UART4의 Tx 핀 신호를 오실로스코프로 측정한 결과이다.

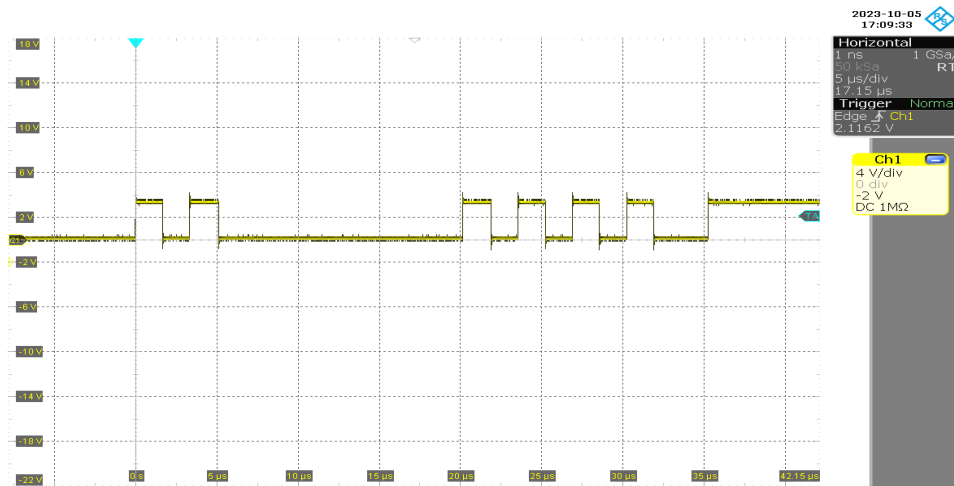


그림 8. UART 4 동작 실험 결과  
Fig. 8. UART 4 performance experiment result

SPI 통신 동작을 검증하기 위해 SoM의 SPI 장치에 지속적으로 0x40, 0x95를 전송하는 Linux 응용프로그램을 실행시키고 오실로스코프로 해당 확장 헤더 핀의 신호를 측정하여 SPI가 정상 동작하는 것을 확인한다. 그림 9는 정상상태에서 SPI 장치의 Clock과 MOSI 신호를 오실로스코프로 측정한 결과이다.

I2C 통신 검증을 위해서 TI사의 TMS320F28379D 임베디드 제어 카드를 별도로 마련해 I2C Slave 장치를 주소 0x60로 구현하고 SoM의 I2C 장치와 연결한다. SoM I2C 장치는 Master로 설정하고 외부의 I2C Slave 장치로 데이터 0x35(Ascii 코드 '5')를 지속적으로 전송하는 Linux 응용프로그램을 실행시키고 오실로스코프로 해당 확장 헤더 핀의 신호를 측정하여 I2C 장치가 정상 동작하는 것을 확인한다. 그림 10은 I2C 동작 실험 결과로서 SCL 클럭 신호와 SDA 데이터 신호가 정상적으로 출력되는 것을 확인 할

수 있으며, SDA신호에서 Slave 주소 '110 0000' (0x60)와 전송 데이터 '0011 0101' (0x35)이 정상적으로 출력됨을 확인할 수 있다.

Ethernet 장치 검증을 위해 SoM과 PC를 일대일로 연결하고 TI-15.4 Stack Gateway 프로그램을 SoM에서 실행하여 웹서버를 활성화 시킨다. SoM의 Eth0에 192.168.0.150, Eth1에 192.168.0.200 IP 주소를 할당한다. 이후 PC에서 웹 브라우저를 실행하여 SoM에서 동작중인 웹서버를 접속하여 그림 11과 12와 같이 웹서버 접속 화면이 PC 브라우저에 정상적으로 표시되는 것을 확인한다. 동시에 Ethernet을 통해 데이터 패킷이 정상적으로 송수신되는 것을 확인하기 위해 Wireshark 도구를 사용하여 데이터 패킷을 캡처하여 확인한다. 그림 13과 14는 SoM의 Eth0와 Eth1 장치와 주고 받은 데이터 패킷을 각각 표시한 결과이다.

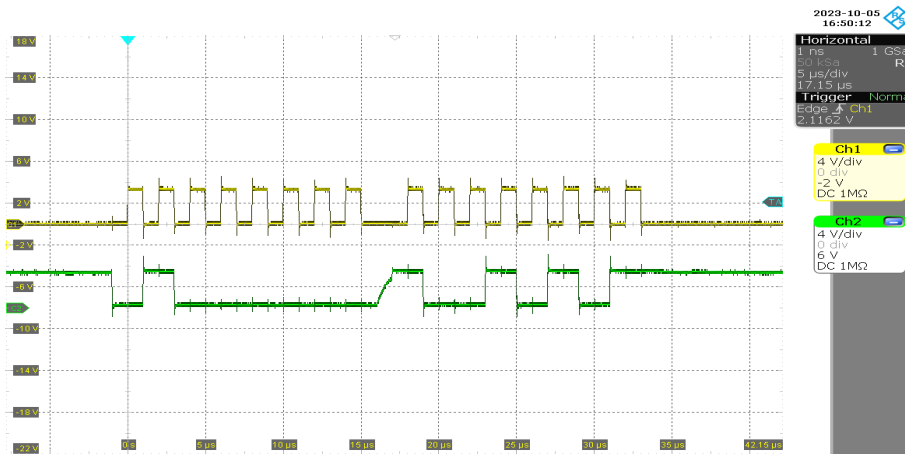


그림 9. SPI 동작 실험 결과  
Fig. 9. SPI performance experiment result

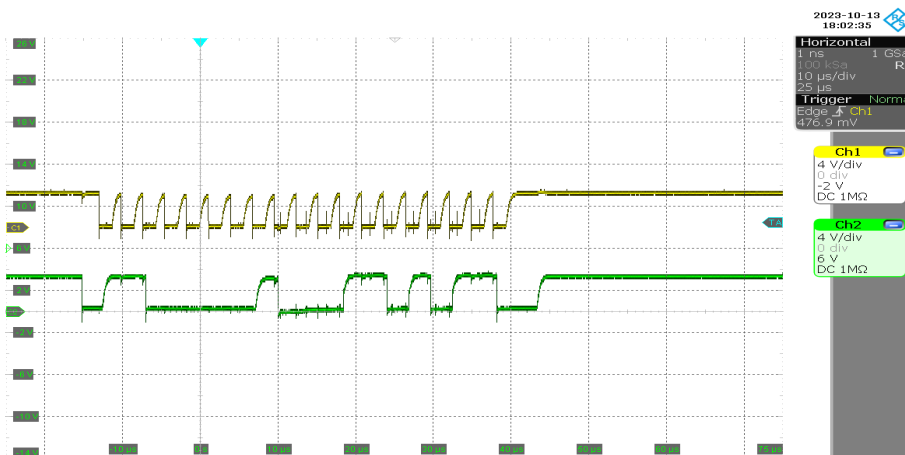


그림 10. I2C 동작 실험 결과  
Fig. 10. I2C performance experiment result

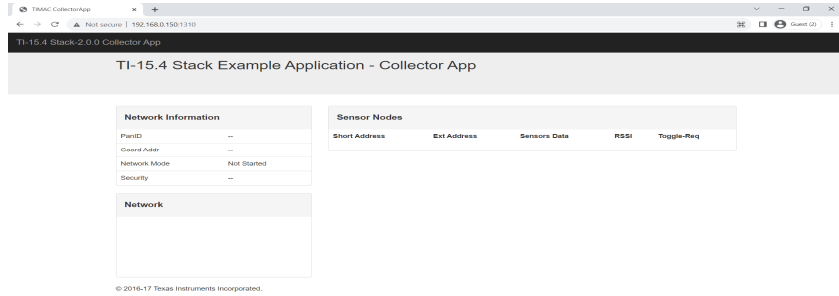


그림 11. SoM Eth0를 통해 접속된 웹서버 화면  
Fig. 11. Web server window accessed through SoM Eth0

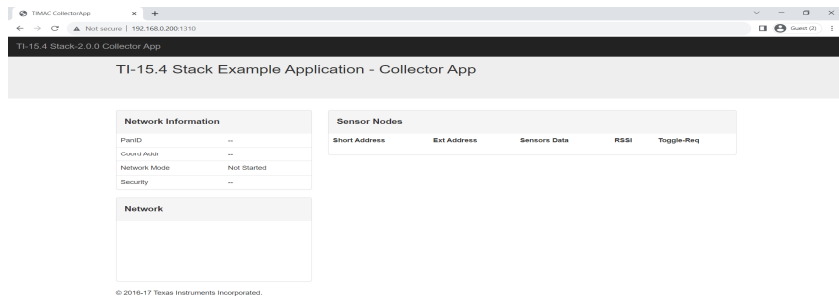


그림 12. SoM Eth1를 통해 접속된 웹서버 화면  
Fig. 12. Web server window accessed through SoM Eth1

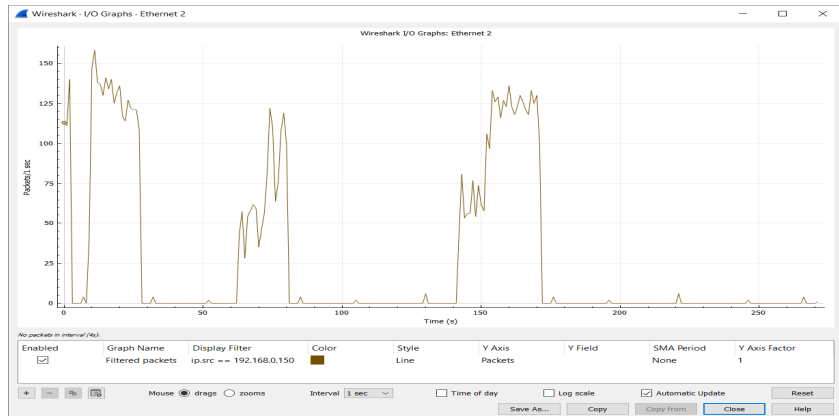


그림 13. Eth0 (192.168.0.150) 장치와 송수신한 패킷  
Fig. 13. Packets sent and received from Eth0 (192.168.0.150) device



그림 14. Eth1 (192.168.0.200) 장치와 송수신한 패킷  
Fig. 14. Packets sent and received from Eth1 (192.168.0.200) device



## VI. 결 론

본 논문에서는 8.6 cm x 5.5 cm의 작은 크기로, Ethernet 장치 외 다양한 입출력 장치 지원이 가능한 임베디드 시스템 기반의 SoM 보드를 설계 및 제작하였다. 프로세서는 Cortex-A8 계열의 AM3352를 사용하였고, RT Linux를 이식하여 산업용 응용 프로그램 개발 환경을 구축하였다.

이식된 RT Linux가 정상적으로 동작하는 것을 확인하였고 이로부터 SoM 보드의 내부 소자인 MPU, eMMC, PMIC, DDR3 등이 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다. 또한 Linux 기반 응용프로그램을 이용하여 UART, SPI, I2C, Ethernet 장치가 정상 동작하는 것을 확인하였다.

결론적으로 개발된 SoM 보드는 기존 단일 보드 임베디드 시스템과 비교하여 확장성과 유연성이 우수하며 의료용 로봇, 산업용 임베디드 장비 등 고성능, 고효율이면서 소형화가 필요한 산업 분야에서 높은 활용도를 기대할 수 있다.

## References

- [1] G. Cabodi, et al., "Embedded Systems Secure Path Verification at the Hardware/Software Interface", IEEE Design & Test, Vol. 34, No. 5, pp. 38-46, Oct. 2017. <https://doi.org/10.1109/mdat.2017.2713393>.
- [2] D. N. Kim and K. S. Kim, "Development of Industrial Embedded System Platform", Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea CI, Vol. 47, No. 5, pp. 50-60, Sep. 2010.
- [3] H. M. Cho, H. W. Kim, and J. Y. Choi "Design and Implementation of Industrial Embedded Control System Based on AM3359 MPU", Journal of KIIT, Vol. 17, No. 2, pp 45-52, Feb. 2019. [<https://doi.org/10.14372/IEMEK.2017.12.89>]
- [4] W. J. Kim, D. G. Gwak, and D. H. Kim, "Development of DSP-based Modbus Communication Scheme and Control Module for Controlling Actuators in Industrial Equipment", Transactions of the KSME A, Vol. 41, No. 11, pp. 1109-1117, Nov. 2017. <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2017.41.11.1109>.
- [5] P. Prakash and B. Trinh, "Building Automation for Enhanced Energy and Operational Efficiency", Texas Instruments, 2013. <https://www.ti.com/lit/wp/spry247a/spry247a.pdf>.
- [6] J. Salter, "Arm's new Cortex-R82 is its first 64-bit real-time processor", Arstechnica, Sep. 2020. <https://arstechnica.com/gadgets/2020/09/new-arm-cortex-r82-real-time-cpu-to-bring-higher-storage-performane>.
- [7] L. Jayatilleke, K. Shin, J. Reeder, and S. Oak, "Optimizing the Industrial Design Cycle With Programmable Multiprotocol Industrial Communication", Texas Instruments, Jun. 2019. <https://www.ti.com/seclit/wp/spry291a/spry291a.pdf>
- [8] ARMv7-A Architecture Reference Manual; ARM Holdings, <https://developer.arm.com/downloads>. [accessed: Oct. 18, 2023]
- [9] AM335x Hardware Design Guide, Texas Instruments Inc., <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/am3352.pdf> [accessed: Oct. 18, 2023]
- [10] J. H. Lee, H. W. Kim, and J. Y. Choi, "Design and Implementation of Embedded System Hardware Using RM57L843 Microprocessor Based on Cortex-R", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 16, No. 4, pp. 57-65, Apr. 2018. <https://doi.org/10.14801/JKIIT.2018.16.4.57>.
- [11] AM335x Sitara Processors datasheet (Rev. J), Texas Instruments Inc., <http://www.ti.com/product/AM3352/technicaldocuments>. [accessed: Oct. 18, 2023]
- [12] Cortex-A8 Technical Reference Manual Doc., Texas Instruments Inc., <https://developer.arm.com/docs/ddi0344/latest/>. [accessed: Oct. 18, 2023]
- [13] D. G. Sun, S. J. Kim, J. H. Lee, and S. J. Kim, "A Network Module and a Web Server for Web-based Remote Control of Embedded Systems", Journal of KIISE : Computing Practices and Letters, Vol. 10, No. 3, pp. 231-242, Jun. 2004.

- [14] J. W. Park, H. C. Won, and J. Y. Choi, "Development of Embedded System for Controlling and Monitoring Tanks in Ships", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 9, No. 9, pp. 15-23, Sep. 2011.
- [15] S. W. Lee, J. Y. Sul, and J. H. Park, "Comparison of Ethernet-based Real Time Protocols and Improvement of EtherCAT Cycle Time", Proc. of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, Vol. 9, No. 10, pp. 1707-1708, Jun. 2010.

최 준 영 (Joon-Young Choi)



1994년 2월 : 포항공과대학교  
전기전자공학과(공학사)  
1996년 2월 : 포항공과대학교  
전자전기공학과(공학석사)  
2002년 : 포항공과대학교  
전자전기공학과(공학박사)  
2005년 3월 ~ 현재 : 부산대학교

전자공학과 교수  
관심분야 : 임베디드 시스템, 제어 시스템

저자소개

하 성 준 (Sung-Jun Ha)



2017년 2월 : 홍익대학교  
전자전기공학부(공학사)  
2022년 2월 ~ 현재 : 부산대학교  
전기전자공학과 석사과정  
관심분야 : 임베디드 시스템, 제어  
시스템

트란 민 덕 (Minh-Duc Tran)



2020년 8월 : Ho Chi Minh City  
University of Technology  
(HCMUT) 컴퓨터 과학 및  
공학과(공학사)  
2023년 2월 : 부산대학교  
전기전자공학과(공학석사)  
2023년 3월 ~ 현재 : 부산대학교

전기전자공학과 박사과정  
관심분야 : 임베디드 시스템, 제어 시스템