

# Zynq EPP를 이용한 모터 제어기의 하드웨어 구현

문용선\* · 임승우\*\* · 이영필\*\*\* · 배영철\*\*\*\*

## Hardware Implementation of Motor Controller Based on Zynq EPP(Extensible Processing Platform)

Yong-Seon Moon\* · Seung-Woo Lim\*\* · Young-Pil Lee\*\*\* · Young-Chul Bae\*\*\*\*

### 요 약

본 논문에서는 기존의 DSP, MCU, FPGA 기반의 모션 제어기들의 구조적인 문제점을 개선하기 위하여 최신 All Programmable SoC 인 Zynq EPP를 이용한 FPGA + 임베디드 프로세서 기반의 모터 제어기에 대한 하드웨어를 구현하였다. 구현한 모터 제어기는 FPGA와 임베디드 프로세서의 장점을 융합한 제어기로서 고속의 모터 제어용 신호처리 부분은 FPGA 기반의 모터 제어기가 수행한다. 복잡한 소수연산 등의 알고리즘 처리가 요구되는 모션 프로파일 및 기구학 계산 등은 듀얼 코어 기반의 임베디드 프로세서에서 처리하여 하나의 칩에서 분산처리 효과를 실현할 수 있는 구조적인 장점을 가진다. 또한 FPGA 상에 구현된 모터 제어 IP 코어의 추가를 통하여 손쉬운 다축 모터 제어기로의 구성이 가능한 장점도 가진다.

### ABSTRACT

In this paper, we implement a hardware for motor control based on FPGA + embedded processor using Zynq EPP which is All Programmable SoC in order to improve a structural problem of motion control based on such as DSP, MCU and FPGA previously. The implemented motor controller that is fused controller with advantage of FPGA and embedded processor. The signal processing part of high velocity motor control is performed by motor controller based on FPGA. A motion profile and kinematic calculation that are required algorithm process such as operation of a complicate decimal point has processed in an embedded processor based on dual core. As a result of a hardware implementation, it has an advantage that has can be realized an effect of distribution process in one chip. It has also an advantage that is able to organize as a multi-axis motor controller through adding the IP core of motor control implemented on FPGA.

### 키워드

Motor Controller, FPGA, All Programmable SoC, Embedded Processor, AXI  
모터 제어기, FPGA, 모든 프로그램가능 SoC, 임베디드 프로세서, AXI

### 1. 서론

오늘날 산업용시스템, 사무용 기기, 가전제품, 로봇 틱스 분야 등 다양한 영역에 걸쳐 가장 많이 적용이 되고 있는 자동화 컴포넌트 중의 하나는 모터이며, 이러

한 모터를 구동 및 제어하기 위해 필요한 기술이 모터 제어기술이다. 모터 제어와 관련된 기술은 다양한 분야에서 매우 많은 연구를 수행해왔었다[1-10] 현재 국내 일부 기업을 제외한 국내 대부분의 모터 및 모터 제어 기 개발업체들이 모터 구동 및 제어를 수행하는 핵심

\* 순천대학교(moon@sunchon.ac.kr),

\*\* 동강대학교 전기에너지과(lsw5482@hanmail.net),

\*\*\* 레드윈테크놀로지,

\*\*\*\* 교신저자(corresponding author) : 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터 공학부(ycbae@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2013. 09. 23

심사(수정)일자 : 2013. 10. 21

게재확정일자 : 2013. 11. 15

제어 칩을 독자적으로 생산하는 것이 아니라 외산 모터 제어 칩을 사용하거나 범용의 MCU 및 DSC 등을 적용하여 모터 제어를 구현하는 형태를 가진다. 이러한 구조는 모터 제어의 효율을 극대화 할 수 없으며, 칩 내부에 고정적으로 임베디드화된 모터제어 블록들을 그대로 사용하므로 다양하고 유연한 모터제어가 어렵다는 문제를 가지고 있으며, 또한 칩 단종과 같은 예기치 못한 사태가 발생하였을 경우 칩 변경 및 제어 로직의 포팅 과정에 상당한 시간이 소요되는 등 유연한 대처가 어렵다는 문제가 있다[11,15].

이에 본 연구에서는 FPGA 기술과 임베디드 프로세서 기술이 융합된 최신 All Programmable SoC 기술을 적용하여 모터 제어기의 구조를 FPGA와 임베디드 프로세서 레벨로 분산하여 적용하는 방법을 제시한다.

## II. 모터 제어 기술

현재 모터를 구동 및 제어하는 기술에는 다양한 방법들이 존재한다. 이러한 방법들을 큰 틀에서 구분해 보면 다음과 같은 4가지 방식으로 구분이 된다.

### 2.1 MCU(DSP) + Motor Controller 기반 모터 제어

가장 일반적으로 사용되는 모터 방식으로 MCU 내부에 모터 제어 및 모션 생성 소프트웨어가 내장되고 Motor Controller IC에서 모터를 구동하는 형태를 가지며 이를 그림 1에 나타내었다. 이러한 구조의 경우 비교적 손쉽게 모터 제어기의 구현이 가능하지만 Motor Controller IC의 기능에 종속되어 메인 MCU의 기능이 결정되며, 잦은 Motor Controller IC 칩의 단종으로 인한 문제점이 발생한다. 또한 한정적으로 제공되는 모터 신호 단자로 인하여 다축 모터 제어에는 한계를 가진다[11].

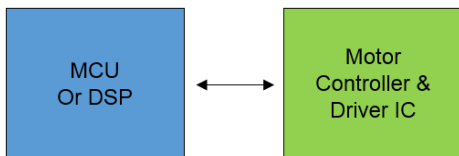


그림 1. MCU + 모터 제어기 IC 기반 모터 제어 구조  
Fig. 1 Structure of motor control based on IC of MCU+ motor controller

### 2.2 MCU(DSP) + FPGA 모션 제어기

MCU 내부에 모션 생성 및 지령 소프트웨어가 내장되고 FPGA에서 모터 제어기의 일부를 분담하여 처리하는 방식으로 고성능 모터 제어기의 구현이 가능한 방식으로 그림2와 같은 구조이다. 그러나 2개의 메인칩을 사용함에 따른 가격적인 문제, 각각 칩들 간의 부수적인 회로 및 칩 간의 인터페이스 등의 문제로 인하여 보드 사이즈가 커지며 제어기의 구조가 매우 복잡해지는 단점을 가진다[11].

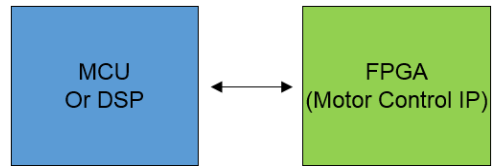


그림 2. MCU + FPGA 기반 모터 제어 구조  
Fig. 2 Structure of motor control based on MCU+FPGA

### 2.3 FPGA 기반 모터 제어

FPGA만을 이용하여 모터를 제어하는 방식은 다수의 로직 셀을 제공하는 FPGA와 모터 알고리즘 구현을 위한 CPU 코어, 모터 제어 IP를 동시에 구성하여 제어하는 방식으로 그림 3과 같은 구조이다. FPGA는 CPU 코어와 모터제어 IP를 동시에 구성하므로 다른 시스템에 비해 매우 효율적인 구조를 가지며, 성능 상에서도 매우 높은 수준의 모터 제어기의 구현이 가능하다[11-13]. 그러나 일반적으로 무료로 제공하는 CPU 코어의 경우 기능 및 성능 상에 한계가 와 고성능 CPU 코어를 구입함에 따른 비용적인 문제 등의 어려움이 있다[11].

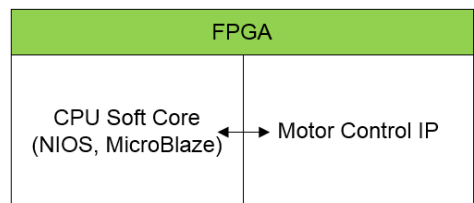


그림 3. FPGA 기반 모터 제어 구조  
Fig. 3 Structure of motor control based on FPGA

### 2.4. All Programmable SoC 기반 모터 제어기

하나의 프로세서 내부에 하드웨어적으로 고정된 CPU와 FPGA를 모두 제공하는 기술인 All Programmable SoC를 이용한 모터 제어기를 구현 방식으로 하드 픽스(Hard Fix)된 CPU 내부에 모션 생성기 및 어플리케이션을 내장하고 FPGA 영역에는 모터 제어기를 내장하는 형태로 모터를 제어하는 구조이다[12]. 최근에 출시되는 제품들의 경우 고성능 CPU를 내장하고 있기 때문에 구조적인 측면이나 성능적인 측면에서 우수한 모터 제어기의 구현이 가능하지만 최근에 출시되는 기술로서 칩 자체의 가격이 높은 편이다. 그러나 현재 양산 물량의 증가로 인하여 지속적으로 가격이 떨어지고 있어 가격적인 문제는 어느 정도 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

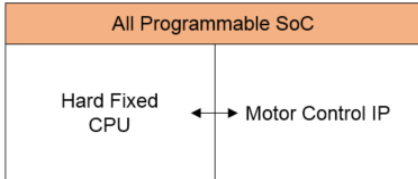


그림 4. All programmable SoC를 이용한 모터 제어 구조

Fig. 4 Structure of motor control using all programmable SoC

본 연구에서는 All Programmable SoC 칩 중 하나인 Xilinx 사의 고성능 CPU가 내장되어 있는 Zynq EPP (Extensible Processing Platform)[16-18]을 이용한 다축 모터 제어기에 대한 설계, 구현 및 실험을 통하여 모터 제어기로서의 적용 가능성을 검증하고자 한다.

### III. 제안하는 다축 모터 제어기

본 연구를 통하여 구현할 모터 제어기는 최신 All Programmable SoC 프로세서 중의 하나인 Zynq EPP의 Embedded Processor 기술과 FPGA 기술을 융합하여 설계를 하였다[12].

모터 제어기의 구조는 크게 FPGA 기반의 모터 제어 영역과 Embedded Processor 기반의 모션제어 영역으로 구분이 된다. 모터제어 영역은 모터의 위치,

속도, 전류 제어기 루프가 구성된 영역이며, 모션 제어 영역은 다축 모터에 대한 점대점 모션, 프로파일 모션, 보간 모션 등 다양한 모션을 생성하여 모터제어부에 지령하는 영역이다. 모터 제어기의 구조는 그림 5와 같다[12].

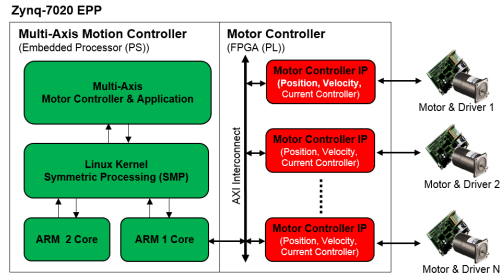


그림 5. Zynq EPP를 이용한 다축 모터 제어기 구조  
Fig. 5 Structure of motor control of multi-axis using Zynq EPP

개발한 모터 제어기 구조를 검증 및 테스트하기 위한 하드웨어를 제작하였다. 그림 6은 개발한 다축 모션 제어기 소프트웨어가 탑재할 메인 제어기 보드인 m.Controller v1.0 제어기로서 Zynq-7020 EPP를 적용하였다.



그림 6. 모터 제어기로 사용된 m.Controller v1.0 메인 제어기

Fig. 6 Main controller of m.Controller v1.0 used as motor controller

그림 7은 메인 제어기 보드에 탑재될 제작된 모터용 드라이버 보드 및 제어기 인터페이스 보드를 나타낸다.

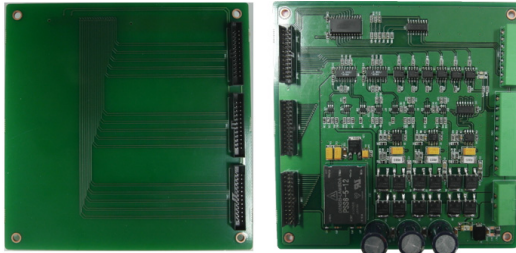


그림 7. 인터페이스 보드 및 드라이버 보드  
Fig. 7 Board of interface and driver

제작한 각각의 보드를 결합하여 최종적인 모션 제어기 보드를 완성하였다. 그림 8은 1축 모션 제어기 보드에 대한 결합 방법을 나타낸다. 다축 제어기 구현을 위해서는 드라이버 보드만 확장하여 결합해 주면 된다.

그림 9의 모터제어 영역은 Zynq의 FPGA 영역인 PL(Programmable Logic) 영역에 재구성 가능한 IP 코어 형태로 설계[12]하였기 때문에 IP 코어의 추가만으로 다축의 구성이 용이하게 되며, 메인 제어 프로세서의 부담을 획기적으로 줄일 수 있다는 장점을 가진다.

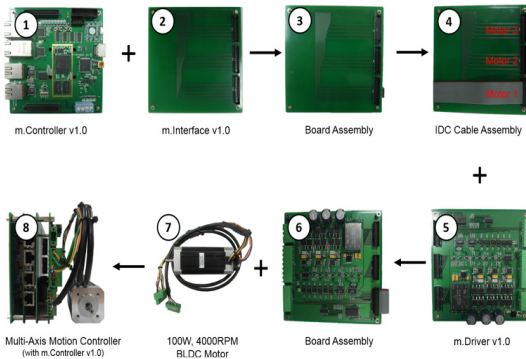


그림 8. 다축 모션 제어기 조립도 (1축 기준)  
다축 확장 시 드라이버만 추가 장착

Fig. 8 Assemble diagram of multi-axis motion controller(one-axis reference), we can add only driver when multi-axis extended

완성된 모터 제어기 보드의 외형은 그림 9와 같다.

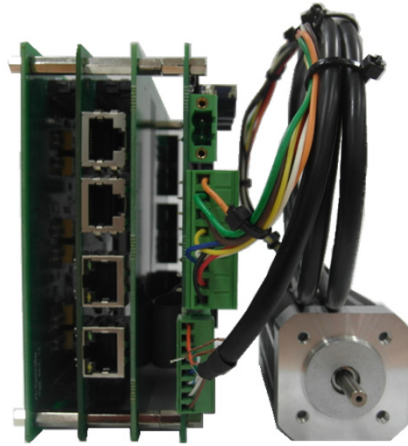


그림 9. 1축 모터 제어기  
Fig. 9 1-axis motor controller

그림 9의 1축 모터 제어기의 성능 평가를 위해 속도 제어 모드에 대한 속도 제어 응답 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 입력 지령 속도는 1,000RPM 이며 이에 대한 실험 결과는 그림 10과 같다.

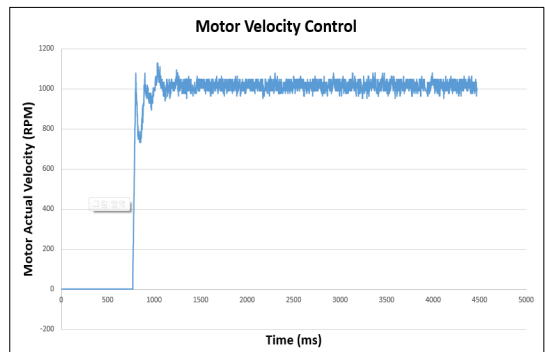


그림 10. 속도 응답 실험 결과  
Fig. 10 Experimental result of velocity response

700ms에서 1,000 rpm의 입력 지령을 주었을 때 250ms 이후인 1000ms부터 안정한 응답을 제공함을 알 수 있어 우수한 성능을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

#### IV 결론

본 연구에서는 기존의 DSP, MCU, FPGA 기반의 모션 제어기들의 구조적인 문제점을 개선하기 위하여 최

신 All Programmable SoC 인 Zynq EPP를 이용한 FPGA + 임베디드 프로세서 기반의 모터 제어기를 하드웨어적으로 구현하였다.

제안된 모터 제어기는 FPGA와 임베디드 프로세서의 장점을 융합한 제어기로서 고속의 모터 제어용 신호처리 부분은 FPGA 기반의 모터 제어기가 수행하며, 복잡한 소수연산 등의 알고리즘 처리가 요구되는 모션 프로파일 및 기구학 계산 등은 듀얼 코어 기반의 임베디드 프로세서에서 처리하게 함으로서, 결과적으로는 하나의 칩에서 분산처리 효과를 실현할 수 있는 구조적인 장점을 가진다. 또한 FPGA 상에 구현된 모터 제어 IP 코어의 추가를 통하여 손쉬운 다축 모터 제어기로의 구성이 가능한 장점도 가진다.

현재 본 연구를 통하여 구현한 모터 제어기는 FPGA 기반 모터 제어 IP의 구현은 완료하였으나, 임베디드 프로세서 상에 구현되는 모션 생성기는 PTP 모션에 대해서만 구현이 완료되었다. 이에 향후에는 미완료된 모션 생성기 알고리즘(보간 모션, 기구학 모션 등)에 대한 추가 구현 및 실험을 통하여 자동화 시스템, 매니플레이터, 로봇 등 다양한 어플리케이션에 최적화된 모터 제어기로서의 성능 검증이 과제로 남는다.

#### 감사의 글

본 연구는 정보통신산업진흥원의 2012~2013년 지역 SW융합사업의 사업비 일부를 지원받아 수행된 연구 결과임

#### 참고 문헌

- [1] Yong-Jin Kim, Kwang-Heon Kim, Young-Chul Bae, "An implementation of vector control of AC servo motor based on optical-EtherCAT network", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 8, No. 4, pp. 583-587, 2013.
- [2] Yong-Jin Kim, Young-Chul Bae, Kwang-Heon Kim, "Implementation of motor driver for control of AC Servo motor of robot", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 3, pp. 553-558, 2012.
- [3] Yong-Seon Moon, Sang-Hyun Roh, Kwang-Hun Jo, Young-Chul Bae, "Design of robot joint structure using multiple motors", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 7, No. 2, pp. 417-423, 2012.
- [4] Yong-Seon Moon, Sang-Hyun Roh, Young-Pil Lee, "Implementation of integration module of vision and motion controller using Zynq", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 8, No. 1, pp. 159-164, 2013
- [5] Yong-seon Moon, Young-chul Bae, Jong-kyu-Park, Sang-hyun Roh, "The Implementation of wire and wireless Integration Module of Zigbee and Optical Communication for Ship Area network(SAN)", The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Science, Vol. 5, No. 5, pp. 428-434, 2010.
- [6] Yong-Seon Moon, Young-pil Lee, Dong-Jin Seo, Sung-Ho Lee, Young-Chul Bae, "A study on Development of Soft-Motor Controller using EtherCAT", Journal of Korean Institute of Intelligent System, Vol. 17, No. 6, pp. 826-831, 2007.
- [7] Yongseon Moon, Nak Yong Ko, Kwangseok Lee, Youngchul Bae, Jong Kyu park, "Real-time EtherCAT Master Implementation on Xenomai for a Robot System, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 9, No. 3, pp. 244-248, 2009.
- [8] Yongseon Moon, Youngpil Lee, Youngchul Bae, "Implementation of Bi-directional Optical EtherCAT with Single Optical Core of WDM for Industrial Automation", SCIS-ISIS 2012, Kobe, Japan, November 20-24, pp. 928-934, 2012.
- [9] Yongseon Moon, Nak Yong Ko, Kwangseok Lee, Youngchul Bae, Jong Kyu park, "Real-time EtherCAT Master Implementation on Xenomai for a Robot System, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 9, No. 3, pp. 244-248, 2009.
- [10] Yong-seon Moon, Young-chul Bae, Sang-hyun Roh, "A Study on Implementation of Zigbee Module based on CC520", The Journal of The

Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 6, pp. 664-671, 2010.

- [11] Altera, "FPGAs Enable Energy-Efficient Motor Control in Next-Generation Smart Home Appliances", 2008.
- [12] Xilinx, "Zynq-7000 All Programmable SoC : Concepts, Tools, and Techniques(CTT)", 2012.
- [13] Christian Grumbein, "Fully Integrated FPGA-based configurable Motor Control", 2010.
- [14] Yue Ma, Rong Xiong, "Design of a FPGA-Based Multiple Motors Control System", 2012.
- [15] Actel, "Implementing a Brushless DC Motor Controller on an IGLOO FPGA", 2005.
- [16] Xilinx, "AXI Reference Guide", 2011.
- [17] Xilinx, "Zynq-7000 All Programmable SoC Software Developers Guide", 2013.
- [18] Xilinx, "Zynq-7000 Extensible Processing Platform - Technical Reference Manual", 2012.

저자 소개



**문용선(Yong-Seon Moon)**

1983년 조선대학교 전자공학과(공학사)  
 1985년 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1989년 조선대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1992년~현재 순천대학교 정보통신공학부 교수  
 2005년~현재 레드윈테크놀로지(주)기술이사  
 ※ 관심분야 : 산업통신망, 로봇, 실시간 모션 제어



**임승우(Seung-Woo Lim)**

1988년 조선대학교 전자공학과(공학사)  
 1990년 조선대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1996년 조선대학교 대학원 전기공학과(공학박사)  
 1991년~현재 동강대학교 전기에너지공학과 교수  
 ※ 관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어



**이영필(Young-Pil Lee)**

2006년 순천대학교 전자공학과(공학사)  
 2008년 순천대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 2008년~현재 레드윈테크놀로지(주)선임연구원  
 ※ 관심분야 : 아날로그 신호처리, FPGA, 로봇제어



**배영철(Young-Chul Bae)**

1984년 광운대학교 전기공학과(공학사)  
 1986년 광운대학교대학원 전기공학과(공학석사)  
 1997년 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)  
 1986년~1991년 한국전력공사  
 1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원  
 1997년~2006년 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수  
 2002년~2002년 Brigham Young University 방문교수  
 2006년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수  
 2011년~2011년 University of Utah 방문교수  
 ※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control etc.