

# 모듈로봇 구현을 위한 네트워크기반 모터제어드라이버 개발

## The development network based on motor driver for modular robot implementation

문용선 · 이광석 · 서동진 · 이성호<sup>\*\*</sup> · 배영철<sup>\*\*\*</sup>

Yong-seon Moon · Gwang-seok Lee · Dong-Jin Seo<sup>\*</sup> · Sung-Ho Lee<sup>\*\*</sup> · Young-chul Bae<sup>\*\*\*</sup>

순천대학교 공과대학 정보통신공학부

\* 레드원테크놀러지(주), \*\* 생산기술연구원 광주연구센터

\*\*\* 전남대학교 공학대학 전기 · 전자통신 · 컴퓨터공학부

### 요약

본 논문에서는 지능형 서비스 로봇의 네트워크에서 제어의 실시간이 보장되면서 많은 데이터를 처리할 수 있는 개방형 표준 이더넷 호환성을 확보한 산업용 이더넷 프로토콜인 EtherCAT을 기반으로 하여 네트워크의 물리 계층을 100BaseFx인 광케이블 인터페이스 모듈을 설계하고 구현하여 센서 및 모터제어 시스템에 적용하고, 테스트를 통해 지능형 서비스 로봇 내부 네트워크로서의 적합성을 제시하고자 한다.

### Abstract

In this paper, we design, implement and apply network physical layer to 100 BaseFx optical cable interface module based on industrial ethernet protocol EtherCAT that has ensure its open standard ethernet compatibility which having been provided with real time of control in network of intelligent service robot, can process numerous data to sensor and motor control system. Through various tests, we try to propose suitability as internal network of intelligent service robot.

Key Words : 모듈 로봇, Network 제어, 광 EtherCAT, 모터 제어

### 1. 서 론

지능형 서비스 로봇은 인간과 교감하며 주변상황을 인식한 후 주행하거나 조작을 수행함으로써 인간에게 필요한 서비스를 제공하게 된다. 주변 환경을 인식하기 위해 사용하는 센서는 인간의 5감과 유사한 센서들을 사용해야하지만 현재의 센서기술은 인간의 5감 센서에 훨씬 미치지 못하기 때문에 현재의 지능형 서비스 로봇들은 여러 가지 센서들을 특정 위치에 분산한 후 이를 통합하는 하이브리드 방식을 사용하고 있다[1]. 주행 및 특정 조작을 위해 사용하는 모터의 수는 바퀴형 이동 로봇의 경우 사용하는 모터의 개수가 적지만, 휴머노이드 로봇의 경우 머리, 팔, 다리 등에서 사용하는 모터 수가 증가하게 된다. 휴머노이드 로봇의 모듈화를 위해서는 적어도 20개 이상의 모터 사용이 일반적이다. 따라서 제한된 공간의 로봇 내부는 센서, 모터, 모터 구동기 그리고 로봇 제어기 등의 전기적인 연결로 인하여 매우 복잡해지며, 이는 로봇 설계에서부터 생산 그리고 유지보수 측면에서 매

우 불리한 요소로 작용하게 된다. 또한 로봇의 오동작 시 인간에게 위협이 되는 동작을 줄이고 오류가 발생한 모듈을 미리 진단하여 이를 안전하게 처리하는 것이 필요하나[2,3] 현재까지는 지능형 로봇 구현 및 동작 제어에 대한 개발만 이루어지고 있으며, 로봇 내부 네트워크에 대한 안전진단 처리에 대한 인식이 부족한 상황이다.

이러한 문제점들은 공장 내부에 분포된 자동화 설비에 대한 중앙집중식 제어에서도 동일하게 나타나며, 운전석 주위에 배선이 집중된 자동차에서도 해결하고자 하는 문제점으로, 많은 영역에서 로봇 내부 시스템과 유사한 형태의 문제점이 나타나고 있다. 공장 자동화 시스템에서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 모든 자동화 설비를 하나의 버스에 연결하여 제어하는 필드버스 시스템을 도입하여 중앙집중식 제어의 문제점을 해결했지만 제어의 실시간성, 폐쇄적인 네트워크 구조, 낮은 전송속도 등에 대한 문제는 여전히 해결하지 못한 문제로 남아있으며[4] 이러한 문제점은 지능형 로봇의 네트워크 구조에도 동일한 문제점으로 남아있다.

이에 본 논문에서는 지능형 서비스 로봇의 네트워크에서 제어의 실시간이 보장되면서 많은 데이터를 처리할 수 있는 개방형 표준 이더넷 호환성을 확보한 산업용 이더넷 프로토콜인 EtherCAT[5]을 기반으로 하여 네트워크의 물리 계층을 100BaseFx인 광케이블 인터페이스 모듈을 설계하고 구현하여 센서 및 모터제어 시스템에 적용하고, 테스트를 통해

접수일자 : 2007년 11월 10일

완료일자 : 2007년 12월 5일

교신저자 : 배영철

감사의 글 : 이 논문은 "2007 순천대학교 산학중심대학·기술개발사업에 의해 지원받았음

지능형 서비스 로봇 내부 네트워크로서의 적합성을 제시하고자 한다.

## 2. 지능형서비스 로봇 제어 네트워크 분석

### 2.1. 독일의 ARMAR

그림 1에서 보여주는 독일의 Karlsruhe University에서 개발한 모듈형 서비스 로봇인 ARMAR는 팔 모터 제어 네트워크 위해 RS232 통신 네트워크를 사용하여 저 레벨에서 DC 모터를 마이크로프로세서로 제어하고 있다. RS232는 엄밀한 의미에서 통신 네트워크가 아닌 1:1방식의 데이터를 전송하는 통신 프로토콜로 전송속도가 낮으며, 중앙집중식 제어의 문제점을 그대로 가지고 있다[6].

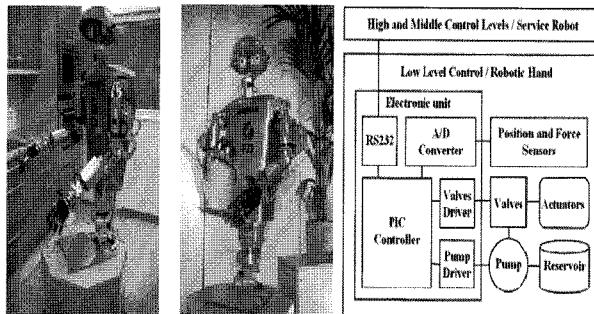


그림 1. ARMAR의 팔 제어 네트워크  
Fig. 1 Arm control network of ARMAR

### 2.2. 독일의 HERMES

그림 2에서 보여주는 독일의 Bundeswehr University에서 개발한 모듈형 서비스로봇인 HERMES은 상위 제어 컴퓨터 내부의 멀티-프로세서 시스템과 CAN 통신 네트워크로 연결된 하부의 센서리스 모터 모듈로 구성하여 멀티축 제어가 가능하고, 우수한 데이터 신뢰성을 가질 수 있는 센서와 모터를 하나의 모듈로 구현하여 간결한 로봇 시스템 구현 및 고장수리가 필요할 때 모듈만을 교체하는 장점을 가지는 로봇으로 알려져 있다[7]. 이러한 장점에도 불구하고, 센서와 모터 제어를 위한 멀티-프로세서 구조로 인하여 제어 프로세서 레벨의 수평적인 네트워크 통합이 어렵고, CAN의 단일 통신 매체만을 지원하므로 다양한 로봇 응용 어플리케이션 환경에 따른 능동적인 네트워크 연결 및 구성에 대한 제약이 발생하게 된다. 또한 CAN 통신의 낮은 전송속도로 인하여 로봇의 실시간 제어의 제약요소로 작용하는 것으로 인식되고 있다.

### 2.3. 일본의 WAMOEBA03

그림 3에서 보여주는 일본의 Waseda 대학에서 개발한 WAMOEBA-3의 모바일 지능형 로봇은 데이터 전송속도가 빠른 이더넷을 사용하여 중앙의 컴퓨터와 모터제어기 사이에 데이터 전송속도가 매우 빠르며 모터제어기와 드라이버는 USB를 통해 조립 및 분해 할 수 있도록 네트워크를 구성하고 있다[8]. 이더넷 프로토콜은 가장 범용으로 사용되는 통신 네트워크로 현존하는 네트워크 중 가장 빠른 전송속도를 가지는 것으로 알려져 있지만, 제어를 위한 네트워크가 아닌 고용량 데이터의 고속 전송을 위한 네트워크로, 실시간 제어가 어려우며 데이터의 신뢰성 보장이 어렵고 IP를 기반으로

하는 통신 방식으로 개수가 한정된 IP에 많은 수의 센서와 모터 사용 시 문제가 발생하는 단점을 가지고 있다.

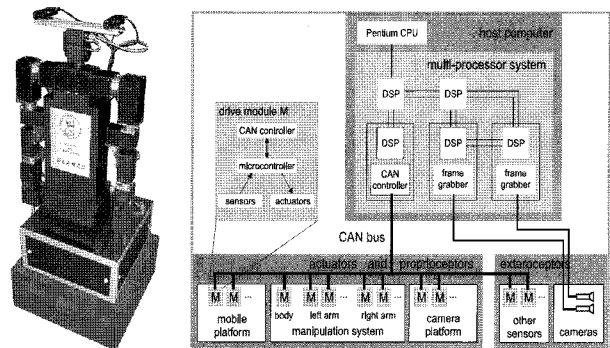


그림 2. HERMES의 내부 센서/액추에이터 제어 네트워크  
Fig. 2 Internal sensor/actuator control network of HERMES

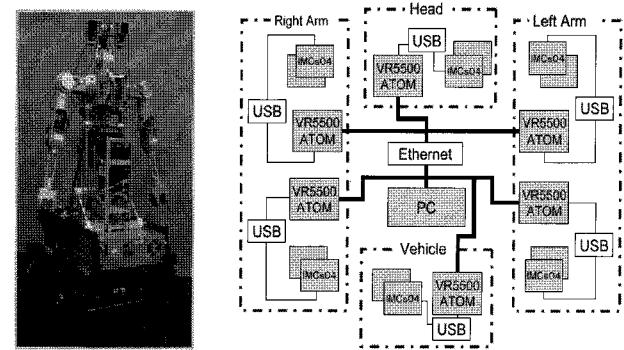


그림 3. WAMOEBA-3 제어 네트워크 구조  
Fig. 3 Control network of WAMOEBA

## 3. 광 EtherCAT기반 모터제어 네트워크 모듈

지능형 서비스 로봇은 인간에게 제공하는 서비스가 다양하기 때문에 제어 네트워크에 대한 변경이 쉬워야 한다. 또한 일반적으로 로봇 플랫폼의 크기는 제한되어 있으나 로봇의 자유로운 동작을 위하여 로봇 내부에서 사용하는 많은 모듈에 따른 센서 및 모터의 수는 증가되며 이에 따라 고속의 제어 데이터 전송속도와 각 모듈과 모듈사이 그리고 모듈내부의 모터와 모터 사이의 동기화가 필요하다. 100Mbps의 고속 네트워크인 EtherCAT은 이러한 지능형 서비스 로봇 네트워크의 필요조건을 만족하고 있고 로봇 내부의 각 컴포넌트들이 네트워크를 중심으로 독립적으로 모듈화 되어 있기 때문에 새로운 모듈의 확장성이 뛰어나며, 분산 클록(DC: Distributed Clock)을 지원함으로써 많은 모듈들의 동기화를 지원하고 있다. 일반적으로 4축의 구동용 모터, 4축의 조향용 모터, 5~6축의 매니퓰레이터의 제어에 있어서 매우 정밀한 제어를 부여하며, GPS, USN, 등의 여러 모듈에서의 데이터 수집의 로컬 타이밍에 대한 정확한 정보를 얻는 것이 가능하다. 일반적인 EtherCAT 프로토콜 전송 성능을 표1에 나타내었다.

표 1 EtherCAT 프로토콜 전송 성능  
Table 1. Transmission performance of EtherCAT

Process Data	Update Time
256 분산 디지털 I/O	$11 \mu s = 0.01ms$
1000 분산 디지털 I/O	$30 \mu s$
200 아날로그 I/O(16bit)	$50 \mu s \leftrightarrow 20kHz$
100 서보 모터 (8 Byte의 입출력 데이터)	$100 \mu s$
1 필드버스 Master-Gateway (1486 Byte 입출력 데이터)	$150 \mu s$

또한, EtherCAT 네트워크는 모터 제어에 있어서 고속의 데이터를 전송하게 됨으로 인하여 상위 제어기단에서 모터의 위치, 속도, 토크제어가 이루어지는 방식인 네트워크 기반 소프트모터 제어를 시행할 수 있다. 네트워크기반 소프트 모터 제어란 기존의 모터제어 방식과 같은 하드웨어 레벨(모터 드라이버)에서 모터 제어가 이루어지는 것이 아니라 고속의 네트워크를 중심으로 상위 제어기 단에서 모터의 제어가 이루어지도록 하는 것을 의미한다. 이로 인한 장점은 모터 드라이버 단의 기능이 상위제어 단으로 이전함으로 그 기능이 대폭 줄어들어 모터 드라이버의 크기의 감소와 경량화가 가능하며, 하드웨어의 크기가 줄어들게 되어 컴포넌트의 모듈화가 쉽고, 여러 어플리케이션에 응용이 가능하게 되어 모터의 재사용성을 높이게 된다.

이뿐만 아니라 제어 네트워크의 특성상 고속의 데이터 전송뿐만 아니라 데이터 전송 시 높은 신뢰도와 외부 잡음에 강한 네트워크 요구에 대하여 네트워크의 물리계층을 기준의 전자식 케이블을 대신하여 광케이블을 사용함으로써 대체가 가능하다는 점이 장점으로 추가된다.

그림 4는 케이블의 종류에 따른 손실 및 전송속도를 표시한 것으로 기존의 전기선 케이블은 전송속도에서 어느 정도 한계를 가지고 있으나 광케이블은 그러한 한계가 없기 때문에 모듈 개수의 증가에 따른 통신 트래픽을 발생하지 않는다. 또한 외부의 전자기장의 영향을 받지 않고 데이터 전송 시의 오류는 1Gbit당 1bit로서 매우 높은 신뢰도를 제공하게 되며, 외부의 침입을 방지하고 모듈의 안전 및 진단처리를 통해 데이터의 보완성을 높일 수가 있다.

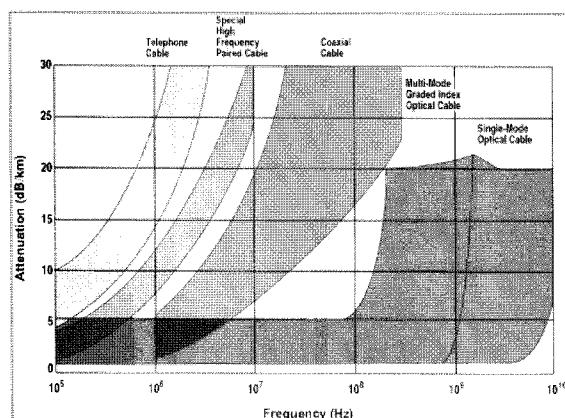


그림 4. 전송선로에 따른 전송속도 및 손실 비교  
Fig. 4 Comparison of transmission speed and loss of transmission line

이와 같이 고속의 데이터 전송이 가능하며, 실시간 제어 및 우수한 동기화 특성을 가지는 EtherCAT을 기반으로 데이터 전송에 있어서 신뢰성이 높은 광케이블을 사용하여 지능형 서비스 로봇의 네트워크로 구성하기 위해서는 로봇 내부의 각 모듈에서 광 EtherCAT과 인터페이스를 위한 장치가 필요하며, 이러한 인터페이스 장치를 그림 5와 같은 구조를 설계하고 구현하였다. 그림 5는 지능형 서비스 로봇의 머리(head), 팔(arm), 이동(mobile), 외부통신(external communication), 외부센서(external sensor) 등의 컴포넌트들과 각 컴포넌트 내부의 M/S(Motor/Sensor), S(Sensor), C(Communication)와 같은 모듈들을 오직 한 가닥의 광케이블로 연결된 네트워크 구조를 보여주고 있다. 또한 모터 제어를 위한 인터페이스 모듈의 구조는 광케이블을 위한 인터페이스와 모터 및 센서와의 인터페이스를 위한 블록, EtherCAT 통신의 동기화 및 물리 계층 등의 통신제어를 위한 블록들로 구성하였다.

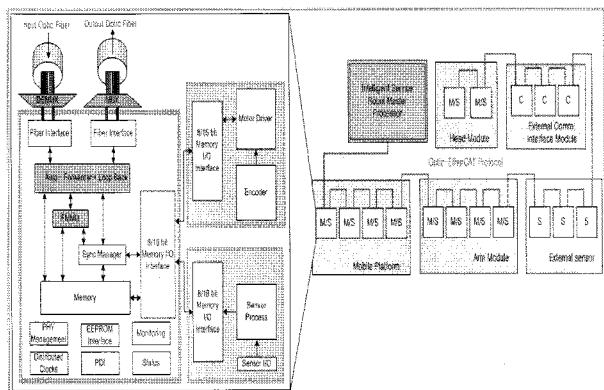


그림 5. 광 EtherCAT 기반 모터제어 인터페이스 모듈구조  
Fig.5 Motor control interface module structure based on photonic EtherCAT

#### 4. 광 EtherCAT기반 모터제어 네트워크 모듈 구현 및 성능 평가

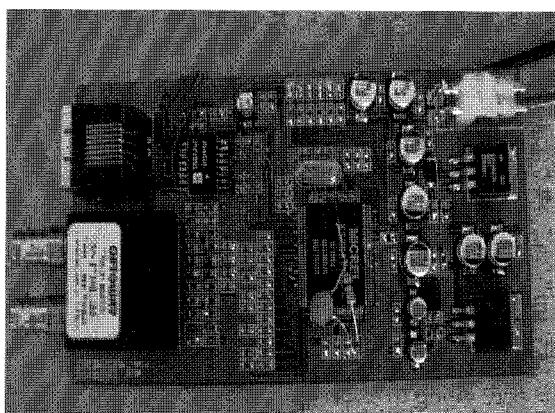
##### 4.1 모듈 구현

모듈로봇 모터제어 시스템을 개발하기 위해 광케이블, 광트랜시버, 미디어 컨트롤러를 사용하여 EtherCAT Slave Controller의 MII 인터페이스와 연결하고 EtherCAT 프로토콜의 물리계층에서 전기신호를 광 신호로 광 신호를 전기신호로 인터페이스 가능하도록 설계하고 이를 구현하였다. EtherCAT 프로토콜의 데이터 링크 계층에 해당하는 EtherCAT Slave Controller는 100BaseT/Tx 방식의 이더넷 인터페이스 MII(Media In-dependant Interface)를 지원하는데, MII 인터페이스는 MAC(Media Access Control)와 물리 계층 간의 상호 연결을 제공하며 이는 송신과 수신방향에 대해 4bit의 병렬 데이터를 송수신하게 된다. 이러한 이유로 빛/전기 신호 전환이 가능한 미디어 컨트롤러를 MII 인터페이스에 4bit의 병렬 데이터를 송수신에 맞게 하드웨어를 구성하면 EtherCAT 프로토콜의 물리계층을 광통신으로 전송할 수 있게 된다. 실제 하드웨어로 구현된 광 EtherCAT 기반 모터 제어 네트워크 모듈을 그림 6에 나타내었다.

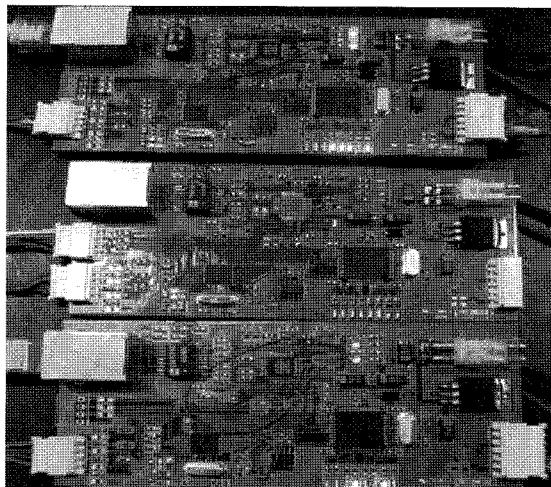
#### 4.2 성능 평가

PIC 마이크로프로세서를 이용하여 PWM 발생과 3상 인버터만으로 구성된 드라이버를 EtherCAT 프로토콜의 응용계층으로 구현하고, EtherCAT Slave Controller로 광통신기반의 EtherCAT 프로토콜의 물리계층과 응용계층사이에서 수신된 EtherCAT 프레임에서 모터제어용 데이터를 추출하여 응용계층으로 전송하고 응용계층의 모터 제어결과 및 이상 정보를 물리계층인 광케이블을 통해 컴퓨터로 전송하는 기능을 수행하였다.

그림 7은 AC 서보 모터 구동을 위한 모터 드라이버 블록도를 보여주고 있다. 두 개의 PIC 프로세서를 각각 모터 프로세서와(motor processor)와 건강(health processor)로 구분하여 AC 서보모터의 구동제어와 모터 및 드라이버 상태정보를 획득하여 컴퓨터에서 모니터링 할 수 있도록 전송하는 역할을 각각 수행하도록 하드웨어를 설계 및 구축하였다.



(a) 광 EtherCAT 물리계층  
(a) Photonic EtherCAT Physical layer



(b) 광 EtherCAT 데이터 링크 계층  
(b) photonic EtherCAT data link layer

그림 6. 광 EtherCAT기반 모터제어 네트워크 모듈 물리 및 데이터 링크계층 구현

Fig. 6 Implementation of physical and data link layer of motor control network based on photonic EtherCAT

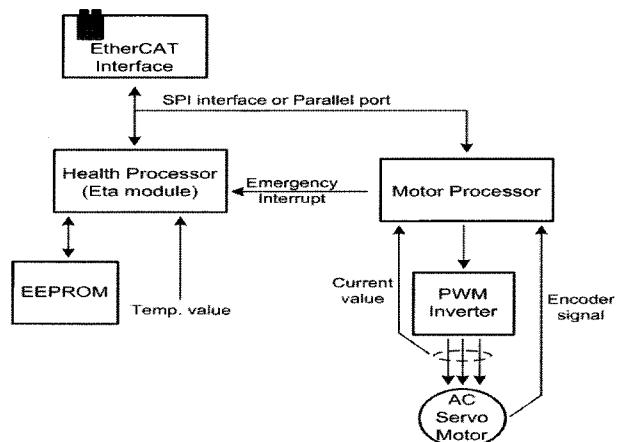


그림 7. EtherCAT 응용계층인 모터 드라이버 블록도  
Fig. 7 Motor driver diagram of EtherCAT application layer

#### 4.3 특성 실험

광 EtherCAT기반 네트워크 기반 모터제어 시스템을 그림 8과 같이 구현하고 지능형 서비스 로봇 내부 네트워크로서 적용 가능한지 여부를 확인하기 위해 광기술원에서 물리계층의 특성 실험 검증을 수행하였다.

광기술원에서 실행한 실험 장비는 QTE-1000 (Qualification test equipment for passive optical components)이며, 측정 장비의 정도는 IL(Insertion Loss) =  $\pm 0.05\text{dB}$ , RL(Retrun Loss) =  $\pm 2\text{dB}$ , PDL(Polarization Dependent Loss) =  $\pm 0.05\text{dB}$ 이며 Fiber integrity test system은 10kN을, Vibration test System은 V790-185을 사용하였으며 물리계층 시험을 위한 조건은 다음과 같다.

- Measure IL, RL, PDL, PMD for each sample.
- Fiber Flex test
  - Before/After fiber flex test : Measure IL,
  - Fiber flex test : Apply 0.45kg during 30 cycles
- Vibration test
  - Before vibration test : Measure IL
  - Vibration test : 1.52mm Amplitude, 10Hz~55Hz Vibration Frequency, 3 axes for 1 hour
- Temperature Cycle test
  - $-40^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$
  - 10 cycles for 1 hour
  - Before/After at  $25^\circ\text{C}$  measure IL

모터제어 시스템의 광 케이블 물리계층을 통해 제어 및 데이터 전송 시 광케이블의 각 특성 결과는 표 2-4와 같다. 표 2는 광케이블이 가지고 있는 IL, RL, PDL, PMD의 기본 특성을 테스트한 결과를 나타내고, 표 3은 광케이블의 굽힘, 진동, 온도에 대한 테스트를 수행한 결과를 보여주고 있다. 그리고 표 4는 광케이블의 굽힘 특성에 의한 흐름 손실의 결과를 나타내고 있다.

표 2. 제어 및 데이터 전송시 광케이블 기본 특성  
Table 2 Basic characteristic of control and data transmission

	IL (dB)	RL (dB)	PDL (dB)	PMD (ps)
Bending Free Connector No1	0.56	55	0.04	0.05
Bending Free Connector No2	0.51	54	0.05	0.06
Standard Connector No.1	0.19	53	0.04	0.13
Standard Connector No.2	0.04	53	0.06	0.07

표 3. 광케이블의 굽힘, 진동, 온도 시험 결과  
Table 3 Result of bending, vibration, temperature of optical cable

IL (dB)	Fiber Flex		Vibration		Temperature	
	before	after	before	after	before	after
Bending Free Connector No1	0.47	0.62	0.56	0.47	0.62	0.47
Bending Free Connector No2	0.59	0.59	0.51	0.59	0.59	0.36
Standard Connector No.1	0.17	0.18	0.19	0.17	0.18	0.20
Standard Connector No.2	0.13	0.05	0.04	0.13	0.05	0.09

표 4 광케이블의 굽힘 결과  
Table 4 Result of bending loss test of optical cable

	Mandrel of 10mm	Mandrel of 20mm	Mandrel of 40mm
Bending Free Connector No1	-0.01	-0.01	-0.01
Bending Free Connector No2	-0.01	0.01	0.01
Standard Connector No.1	-3.92	-0.03	0.00
Standard Connector No.2	-3.59	-0.05	-0.01

표 2, 3 4의 시험 결과를 살펴보면, 조건을 달리하여 측정한 결과 굽힘, 진동에 대한 손실률은 미비한 편이며, -40

°C to +70°C에서 사용가능함을 알 수 있다. 그러나 광케이블의 휨 특성에 대한 굽힘 손실이 매우 민감한 결과를 보이고 있다. 이러한 특성을 가지는 광케이블을 이용하여 EtherCAT 프로토콜 상에서의 모터 제어 시 전송속도는 그림 8과 같이 56.59Mbps가 나오며, 대역폭 사용률은 68.92%의 결과를 보이고 있다.

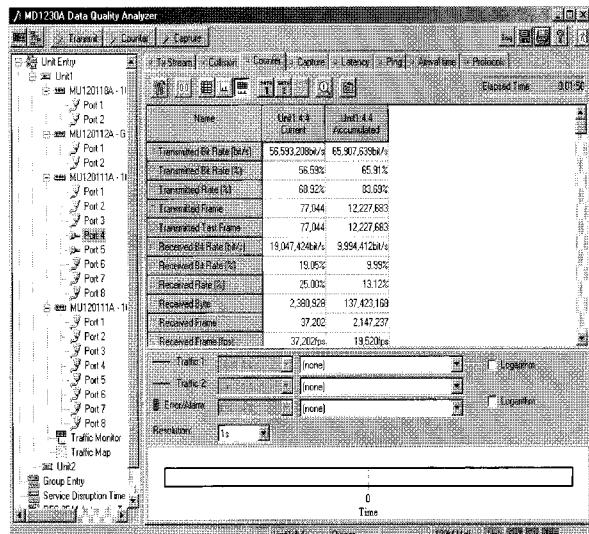


그림 8. 모터 제어 시 광 EtherCAT 기반 모터제어 네트워크 모듈 성능 테스트

Fig 8. Motor control network module performance test based on photonic EtherCAT when the motor control

## 5. 결 론

지능형 서비스 로봇을 위한 모터 제어 시스템을 구축함에 있어서 기존의 제어 시스템의 문제점을 분석한 후 제어의 실시간성이 보장되면서 대용량의 데이터 전송이 가능하며 표준 이더넷 호환이 가능한 산업용 이더넷 프로토콜인 EtherCAT의 물리 계층을 광케이블로 구현하여 실제로 모듈화된 지능형 서비스 로봇을 위한 네트워크로서의 적합성을 위한 테스트들을 수행하였다.

광케이블의 특성은 굽힘이나 진동, 온도에 대한 데이터 손실률이 적어 광케이블 사용 시 문제점이 거의 없음을 확인했으나 광케이블의 휨에 대해 문제점이 발견되었음을 확인하였다. 앞으로 네트워크 기반 소프트웨어 모터제어를 통해 모터드라이버의 크기를 줄이고, 실제로 로봇의 팔이나 주행용 훈련 모듈단위로 실장한 후 주행 및 조작 실험이 과제로 남는다.

## 참 고 문 헌

- [1] B. Grinstead, A. Koschan, and M. Abidi, "Hybrid Self Localization for a Mobile Robotic Platform in Indoor and Outdoor Environments," in *Transactions of the American Nuclear Society*, Vol. 92, San Diego, CA, USA, pp. 52–53, June 2005.
- [2] "New robot safety standard", ANSI/RIA R15.06, 1999.

- [3] Ogorodnikova.Olesya, "Human-Robot Interaction Safety Problems", 15th International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region, June, 2006.
- [4] Digital data communication for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems. IEC 61158 Ed.3 CDV, Type 8, 2001.
- [5] Guido Beckmann, "EtherCAT Communication Specification, Version 1.0", EtherCAT Technology Group, 2004.
- [6] T. Asfour, D.N. Ly, K. Regenstein and R. Dillmann, "Coordinated Task Execution for Humanoid Robots", The 9th International Symposium on Experimental Robotics(IISER 04), Singapore, 18-21 June 2004.
- [7] Bischoff, R.Graefe, "Dependable Multimodal Communication and Interaction with Robotic Assistants", Proceedings 11th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN), 2002.
- [8] Yuki Suga, Hiroaki Arie, Tetsuya Ogata and Shigeki Sugago, "Development of Emotional Communication Robot, WAMOEBA-3", The Fourth International Conference on the Advanced Mechatronics (ICAM), 2004.
- [9] "Industrial automation Systems and integration -Open systems application integration framework", ISO/IEC 15745, 2002.
- [10] Guido Beckmann, "Overview safety over EtherCAT", Beckhoff automation GmbH, 12.02.2007.



서동진

2000년 : 조선대학교 제어계측공학과 졸업  
2002년 : 동 대학원 석사  
2004년 : 미국 카네기 멜론 대학 로보틱스 연구소 교환 연구원  
2006년 : 동 대학원 박사  
2006년 : (주)한국에센 연구원  
2007년~현재 : (주)레드원 테크놀러지 부설로봇연구소 책임 연구원

관심분야 : 충돌회피, 위치추정, 로봇 시뮬레이션, 패스플래닝, 다중로봇 동작조정



이성호

1997년 : 충남대학교 전기공학과 졸업  
1997년 : 동 대학원 석사  
2003년 : 동 대학원 박사  
2003~2007 : LG 전자  
2007~현재 : 생산기술연구원 광주연구센터



배영철

1984년 : 광운대 전기공학과 졸업.  
1986년 : 동 대학원 석사  
1997년 : 동 대학원 박사  
1986년~1991년 : 한국전력공사  
1991년~1997년 : 한국과학기술정보연구원  
1997년~2006년 : 연세대학교 교수  
2001년~2002년 : Brigham Young University 방문교수  
2006년~현재 : 전남대학교 공학대학 전기·전자통신·컴퓨터 공학부 교수

관심분야 : 로봇 제어, 카오스 제어 및 동기화, 비선형 제어, 산업통신망 제어



문용선

1983년 : 조선대학교 전자공학과 졸업.  
1989년 : 동 대학원 석·박사.  
1992년~현재 : 순천대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : 산업통신망 및 로봇



이광석

2006년 : 순천대학교 전자공학과 졸업.  
2006년~현재 : 동 대학원 석사 재학

관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 산업용통신망