

고속 전력선 통신을 이용한 섬유기계 원격제어 시스템

차주현*, 전 성⁺

(논문접수일 2010. 11. 18, 심사완료일 2011. 1. 14)

Remote Control System for Textile Machinery using High Speed Power Line Communication

Joo-Heon Cha*, Sung Jun⁺

Abstract

This paper describes the high speed PLC-based remote control system that can monitor and control textile machineries bi-directionally through Internet. There are many textile machineries without network functions in the factory. We apply the PLC technology in order to give a network function to them in which the existing electric power line is used with network communication lines without separate wiring constructions. In order to realize this system, we have implemented a protocol for network communication of system, high-speed PLC modules, and Ethernet-to-UART modules. Finally we confirmed the effectiveness of system by applying actual test environments.

Key Words : Textile Machinery(섬유기계), Internet-Based Remote Control(인터넷 기반 원격제어), Power Line Communication(전력선 통신), Factory Automation(공장자동화), HomePlug(홈 플러그)

1. 서론

최근 기계 및 전자분야 등 전반적인 산업분야에 걸친 과학기술의 획기적인 발전에 따라 자동차, 항공기 등을 비롯한 기계류는 물론 발전소, 제철소, 석유화학 플랜트에 이르기까지 상급 기계류 및 시스템들의 예기치 않은 고장방지 및 이로 인한 사고 방지를 위하여 예방정비 혹은 최적 보수 관리 기술의 필요성이 급격하게 대두되고 있다. 이러한 목적을 효과적으로 달성하기 위해 도입된 컨디션 모니터링(Condition Monitoring) 기술은 기계장치 및 설비, 부품의 원활한 운전을 유지하도록 예기치 않은 고장 또는 부품의 파손 등에 의한 막대한 경제적 손실이나 이로 인한 인명피해를 최소화하기 위해 기계시스

템의 운전 상태를 지속적으로 혹은 정기적으로 감시함으로써 이상 발생 유무를 사전에 감지하여 예방조치를 취하는 첨단 기술이다. 이 기술은 미국을 비롯한 영국 등 선진국들에서 1980년대 후반에 걸쳐 본격적으로 개발되어 채택되고 있으며, 진동 모니터링 기술과 함께 기계 컨디션 모니터링 기술의 핵심을 이루고 있어 상급 기술의 산업계 도입과 이용이 절실하게 요구된다^(1,2).

이와 같이 다양한 산업분야의 원격 제어 모니터링 시스템 개발의 필요성에도 불구하고 지리적, 공간적 한계와 비용 문제 때문에 직접적인 개발에 있어 시스템 효율성의 극대화를 피하기 어려운 상황이다.

최첨단 섬유기계 개발을 위한 기술을 살펴보면 크게 기계설

* 국민대학교 기계시스템공학부 (cha@kookmin.ac.kr)

주소: 136-702 서울시 성북구 정릉동 861-1

+ 국민대학교 대학원 기계설계학과

계, 조립기술과 자동제어 기술 그리고 최적의 조업기술 및 생산 관리 시스템으로 나눌 수 있다. 이들 요소 중 최근에 회자되는 의미로 해석해보면 기계의 가동조건, 최적의 조업기술 및 생산 관리 시스템이 반영된 자동화시스템(특히 네트워크기술)으로 귀결된다고 볼 수 있다.

그러나 국내외에서 개발 시판되고 있는 섬유기계의 자동화시스템을 살펴보면, 거의 대부분이 독립 제어시스템을 채용하고 있으며 하나의 기계 제어를 주목적으로 하고 있다. 조업 및 관리 또한 기계에 부착된 간이 HMI(Human Machine Interface)를 이용하여 기계의 근거리에서 숙련된 조업자의 경험에 의존하는 구조이고, 고장발생 시 처리시간이 과다 소요되는 등의 근본적인 문제점을 갖고 있다.

따라서 이와 같은 문제점들은 앞에서 언급한 수요자들의 요구를 충족하기에는 역부족이며, 나아가 핵심기술인 네트워크 기술(원가절감, 생산성향상 및 효율적인 설비가동을 가능하게 하는 원격제어·감시·진단 시스템 개발을 위한 핵심기술)을 접목하기 위해서는 많은 시스템의 개선과 인터페이스 장치 개발이 필요하며 사실상 새로운 자동화시스템의 개발을 의미한다고 볼 수 있다⁽³⁾.

기존의 모니터링, 제어 기술과 고속의 PLC(Power Line Communication, 전력선통신)^(4,5) 기술을 접목시켜 보다 차원 높은 원격 On-line 모니터링 및 제어 시스템을 개발하는데 그 목적을 두고 있으며, 이를 위해 고속 PLC 모듈의 개발과 통신 모듈을 이용한 원격 제어 시스템을 제안하고 구축함으로써, 새로운 패러다임의 가능성을 제시하고자 한다.

즉 기존의 공장 내의 모든 기기들은 전기를 동력원으로 사용하므로 이미 어느 곳이나 전력선이 배설되어 있다. 여기에서는 이 전력선을 이용하여 전기는 물론, 시스템 모니터링 및 제어를 위한 통신라인으로 사용할 수 있다⁽⁶⁻⁸⁾.

본 연구를 위해서 (재)한국섬유기계연구소 내에 실제테스트 환경을 구축하고 실제 환경에서의 데이터 수집 및 제어를 진행하였다. 본 연구는 산업 현장에 고속의 데이터 송수신이 필요한 원격 제어 및 모니터링 시스템을 구축할 때 경제적이고 시스템 설치가 용이한 전력선 통신(Power Line Communication, PLC) 기술을 이용하는 고속 PLC 기반의 원격 감시 및 제어 시스템의 개발을 목적으로 한다.

2. 고속 PLC 기반 원격 제어 시스템

2.1 시스템 구성

본 연구에서는 모니터링 데이터를 수집하고 제어명령을 전송하기 위한 네트워크로서 별도의 배선이 필요 없는 전력선 통신을 이용한다. 기존의 공장 내부에는 이미 어느 곳이나 전력선이 들어가 있어서 이 전력선을 이용하여 전력은 물론 통신라인

으로도 이용이 가능한 점을 이용한다. 여기에서는 미국의 Intellon사의 INT5200 칩 기반의 고속 PLC 모듈을 개발하였다. Table 1은 저속 PLC의 미국 표준인 CEBus 규격^(9,10)과 고속 PLC의 규격인 HomePlug⁽¹¹⁾의 사양을 참고적으로 비교한 자료이다.

Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 고속 PLC 기반의 섬유기계 제어 및 모니터링 시스템 구성도를 나타낸 것이다.

네트워크 구성방식이나 사용하는 프로토콜에 관계없이 네트워크를 연결 하여 한 통신망에서 다른 통신망으로 통신할 수 있도록 도와주는 하드웨어와 소프트웨어 장치로 패킷을 전송하는 일을 담당하는 라우터(Router)와 제어대상 기계와 신호변·복조장치의 하나인 PLC 모뎀(Modem), 모뎀과 인터페이

Table 1 Comparison of low and high speed PLC technology

특성	Low Speed PLC Technique	High Speed PLC Technique
Frequency	100~400 KHz	1~25 MHz
Modulation Type	Spread Spectrum Modulation	OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
Communication Protocol	CEBus (U.S.A Standart, Domosys사)	Home Plug 1.0 (Standard, Intellon사)
Communication Speed	10 Kbps	14 Mbps
Communication Succeed Rate	>99% ± 0.1%	>99% ± 0.1%
Power Supply	Collector: 220V ± 20% 50/60Hz Gateway: 220V ± 20% 50/60Hz	Collector: 220V ± 20% 50/60Hz Gateway: 220V ± 20% 50/60Hz
Environment	Collector: -10 + 50°C Humidity < 90% Gateway: -25 + 55°C Humidity < 95%	Collector: -10 + 50°C Humidity < 90% Gateway: -25 + 55°C Humidity < 95%
Communcation Distance	Max 2Km	Max 2.5Km

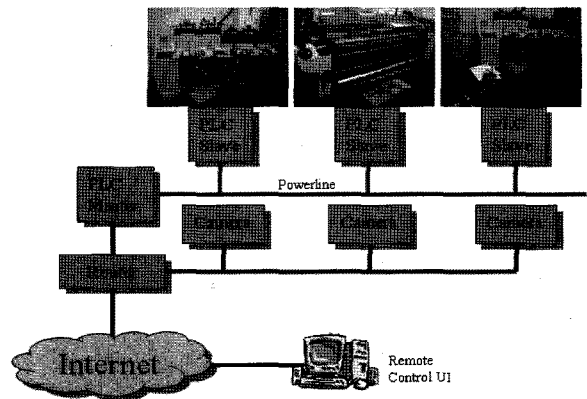


Fig. 1 Structure of PLC-based remote control system

스를 위한 기계제어시스템 그리고 원격제어·감시·진단을 위한 관리를 위한 윈도우기반의 HMI 시스템으로 구성된다. 상세개발 내용으로는 통신 속도 14Mbps급 Ethernet 기반의 PLC Master/Slave Modem 그리고 실험용 제어기 및 Internet 기반의 HMI 시스템 등이다.

2.2 HomePlug 기반 고속 PLC 모듈

일차적으로 고속 PLC에 대한 연구를 우선적으로 진행하였다. 실시간 모니터링 및 고속 데이터 수집을 위한 규격으로는 최소 14Mbps의 대역폭을 가지며 TCP/IP 호환 프로토콜 스펙을 가지고 있어야 한다. 이러한 기본사항을 토대로 하여 하드웨어 및 소프트웨어 스펙을 결정하면 다음과 같다.

우선 Ethernet을 전력선으로 변환할 수 있는 Bridge기능을 가져야 하며 일반적인 10BaseT 연결성을 지원해야 한다. 또한 가상 네트워크를 지원할 수 있어야 하며, 간단하면서도 안정적인 Front End 아날로그 인터페이스를 구성할 수 있어야 한다. 한편 추가적인 드라이버 지원이 없어도 사용 가능해야 하며 싱글 보드로서 구성되어야 한다.

Fig. 2는 HomePlug 기반의 고속 PLC 모듈의 시스템 블록도를 나타낸다. 최종적인 고속 PLC의 스펙은 최대 14Mbps의 Data Transfer Rate를 가지며 Data Reliability가 높으며 Quality of Service가 내장되어 있다.

실제 고속 PLC 통신을 위해서 가장 핵심적인 부분은 프로토

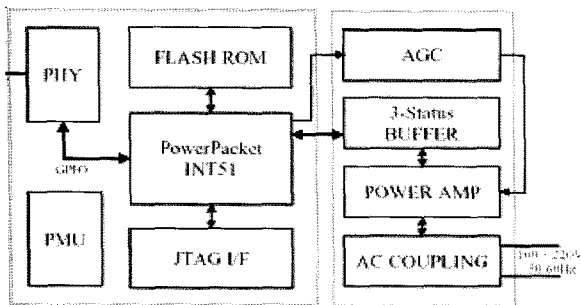


Fig. 2 Block diagram of HomePlug-based PLC module

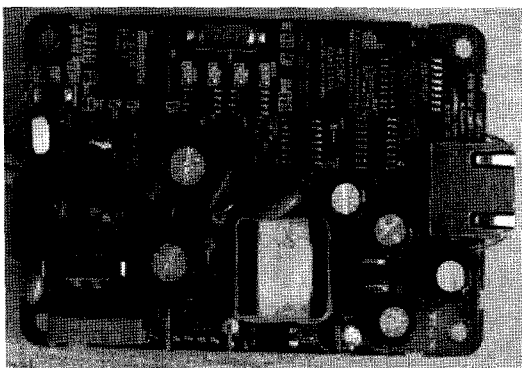


Fig. 3 High speed PLC module

콜 변환 부분과 아날로그 Front End부분이라고 할 수 있다. 프로토콜 변환 부분은 Power Line상으로 송수신되는 Power Packet을 Ethernet상의 TCP/IP로 변환해 주는 부분으로 대부분 INT51 Process에 의해 Protocol Stack Library를 이용한 Protocol Conversion Routine에 의해 처리되며 기본 Firmware에서 기본적인 프로토콜 처리를 포함한 모든 데이터 처리에 관계된 내용을 처리하고 있다.

특히 고속 프로세싱에 의해 AGC 관련 루틴도 포함되어 있는데, 이 부분은 하드웨어적인 인터페이스에 있어서 물리적 드라이버와 더불어 아날로그적으로 가장 중요한 부분 중에 하나이다. AGC 루틴은 OFDM의 신호에 따라 10bit의 AGC Parameter를 이용하여 아날로그 송수신 신호에 있어서 최적화 역할을 수행해 준다. 이 부분은 각 대역의 Time Slot에 대한 Channel 할당과 연관되어 중요한 부분으로 전력선의 환경에 따라 갈라지는 많은 변수에 강력하게 적응할 수 있도록 해준다. Fig. 3은 이와 같은 설계 기준에 의해 설계 및 제작된 고속 PLC 모듈을 나타낸 것이다.

2.3 Ethernet to UART 인터페이스 모듈

기존의 섬유기계나 현재 생산되고 있는 대부분의 섬유기계들은 LAN 포트를 내장하지 않고 있으며, 다른 기기와의 통신을 위한 UART 포트만을 갖고 있다. 이와 같은 이유로 PLC 기반의 통신 패킷을 UART 통신 데이터로 변환해줄 Ethernet to UART 인터페이스 모듈을 개발하였다.

Fig. 4는 Realtek사의 RTL8019칩과 Micronics사의 16F877A를 사용하여 개발한 Ethernet to UART 인터페이스 모듈이다. 이 모듈은 Fig. 5에서 보이는 바와 같이 고속 PLC 모듈을 통해 전송된 TCP/IP 패킷에서 데이터영역을 추출하고 이 데이터를 UART 포트를 통해 섬유기계로 전송한다. 그리고 이와 반대로 섬유기계로부터 UART포트로 데이터를 받아 TCP/IP 패킷으로 가공하여 PLC 모듈로 전송한다.

본 연구에서 개발한 고속 PLC모듈은 최대 14Mbps의 대역폭을 갖고 있고 실제의 전력선 통신망에서는 6~7Mbps의 속

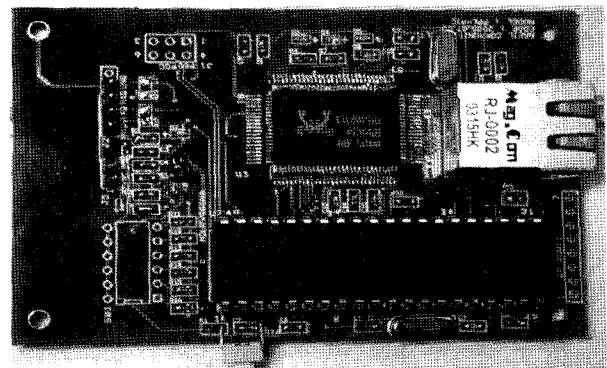


Fig. 4 Ethernet to UART interface module

도로 통신이 이루어지지만 Ethernet to UART 모듈과 섬유기계 사이에서는 38.4Kbps의 속도로 통신이 이루어진다.

2.4 데이터 통신 프로토콜

섬유 기계와 원격 제어를 수행 할 컴퓨터 사이에는 제어와 모니터링을 위한 데이터들이 서로 올바르게 인식하기 위한 데이터 통신 프로토콜이 정의 되어야 한다. Table 2는 이러한 필요성에 의해 정의된 데이터 통신 프로토콜을 나타낸 것이다.

통신 프로토콜은 제어 명령과 현재의 상태를 나타내는 모니터링 데이터를 정확하게 표현해야 한다. Command 1은 사용자에 의해 설정되는 명령 리스트를 나타내는 기호이다. Command 2는 제어 또는 모니터링 데이터의 속성을 나타낸다. Data 1은 한대의 섬유기계에 같은 속성을 갖는 여러 개의 제어 대상이 있을 때 이를 구분하기 위해 번호를 부여하는 영역이며 Data 2는 목표치나 현재 값 등의 데이터를 기록하는 영역이다.

모든 섬유기계의 속성을 파악하여 프로토콜의 속성에 반영하는 것은 거의 불가능하며 시간과 노력이 많이 드는 비효율적인 작업이다. 이 프로토콜은 제어대상, 속성, 데이터를 정확히 표현할 수 있는 틀을 제공한다. 그래서 사용자는 섬유기계의 종류

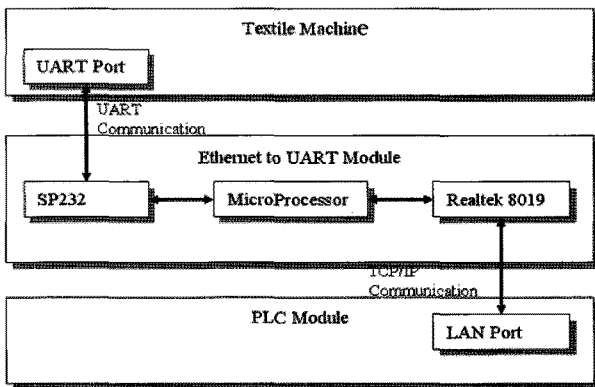


Fig. 5 Block diagram of ethernet to UART module

Table 2 Protocol for remote control of textile machinery

No	Decryption	comm1	comm2	Data1 (Hexa)	Data2 (Hexa)
01	Power	k	a	0~99	0~1
02	Actual Wire velocity	k	b	0~99	0~9999
03	Desired Wire velocity	k	c	0~99	0~9999
04	Actual Tension	k	d	0~99	0~9999
05	Desired Tension	k	e	0~99	0~9999
06	Actual RPM		f	0~99	0~9999
07	Desired RPM	k	g	0~99	0~9999
08	Virtual I/O	k	h	0~99	0~9999

에 따라 직접 명령 리스트를 작성하고 저장할 수 있다.

3. 시스템 개발 및 통합

개발 시스템의 실험과 평가를 위하여 섬유기계 중 비교적 많은 기계가 동시에 설치되어 네트워크 구성이 용이한 장력 제어 장치, 권사기, 워터젯 직기 등을 적용 대상으로 정하고 실험용 전력선통신시스템 및 원격제어·감시·진단시스템 제작 후 실험을 수행하고 그 결과를 분석함으로써 개발된 시스템의 평가와 실용가능성을 확인한다.

3.1 고속 PLC 기반의 통신 네트워크

시스템은 UART 포트를 갖고 있는 섬유기계, Ethernet to UART 모듈, 고속 PLC 모듈, 전력선 라인, 라우터, 원격 제어를 위한 사용자 인터페이스로 구성된다. 여기에 사용자에게 기기의 작동 상태를 시각적으로 제공하기 위한 카메라가 추가된다. 여러 대의 카메라와 섬유기계들이 연결된 전체 구성도는 Fig. 1에 나타나 있다.

시스템은 UART 포트를 갖고 있는 섬유기계, Ethernet to UART 모듈, 고속 PLC 모듈, 전력선 라인, 라우터, 원격 제어를 위한 사용자 인터페이스로 구성된다. 여기에 사용자에게 기기의 작동 상태를 시각적으로 제공하기 위한 카메라가 추가된다. 여러 대의 카메라와 섬유기계들이 연결된 전체 구성도는 Fig. 1에 나타나 있다.

섬유기계는 사속(wire velocity), 장력 그리고 권취기의 RPM 등 현재 상태를 각각 초당 3회 측정한다. 그리고 매회 측정된 데이터는 본 논문에서 소개한 데이터 통신 프로토콜에 의해 데이터 패킷으로 가공된 후 UART 포트를 통해 Ethernet to UART 모듈로 실시간 전송된다. UART 통신 속도는 섬유기계가 지원하는 속도를 사용해야 하므로 Ethernet to UART 모듈의 UART 통신 속도를 섬유기계의 UART 통신 속도에 맞추었다. 구현된 시스템에서 사용된 UART 통신 속도는 38,400bps 이다.

각각의 Ethernet to UART 모듈은 고정 IP를 할당받는다. 한 대의 섬유기계에 한 대의 Ethernet to UART 모듈이 연결되므로 고정 IP는 시스템에서 섬유기계를 나타내는 주소의 역할을 한다. 섬유기계로부터 전달 받은 데이터 패킷은 Ethernet to UART 모듈에서 TCP/IP 패킷으로 다시 가공되어 PLC 모뎀으로 보내진다. PLC 모뎀으로 전달된 TCP/IP 패킷은 전력선 통신 패킷으로 변환되어 Analog- Front-End부 및 AC 커플링 회로를 통해 전력선 라인으로 전달된다.

전력선 라인은 일반적인 환경의 전력선이다. 본 시스템에서는 전력선 패킷 전송을 위한 매체로서 전력선 라인을 사용하기 때문에 전력 전송뿐만 아니라 정보 전송의 매체 역할을 담당한다. 전력선을 통해 인가된 전력선 패킷은 전력선이 연결된 모든

곳에 브로드캐스팅 되며 라우터를 거쳐 외부와 연결이 된다.

이 전력선 정보 패킷은 최대 14Mbps의 데이터 전송이 가능하나 헤더나 통신 흐름제어 패킷 등을 제외하게 되면 최적의 통신환경에서 6~7Mbps의 대역폭을 가진다. 이 대역폭에 관련된 요인으로는 전력선 전압 변동이나 노이즈, 전달 임피던스 등이라고 할 수 있다. OFDM 방식에 의해 각 채널 할당 및 재할당이 자동 조절되므로 최소 통신 대역폭은 1~2Mbps가 유지된다. 그리고 최대 전력 전달 거리는 1Km이며 상변환기가 있을 경우 위상이 다른 전력선 상에서도 통신이 가능하며 임피던스 터미네이터가 있을 경우에는 최대 전력 전송이 이루어진다.

구현된 시스템에서 카메라의 영상 데이터는 전력선 라인을 사용하지 않고 라우터에 직접 연결된다. 이는 전력선 통신망의 대역폭이 많은 대역폭을 차지하는 여러 개의 실시간 영상 데이터를 처리할 정도로 넓은 것은 아니기 때문이다.

3.2 사용자 인터페이스

원격 제어를 위한 사용자 인터페이스는 섬유기계에서 보낸 데이터 패킷을 읽고 사용자에서 디스플레이 한다. 또 사용자가 입력한 제어 명령을 데이터 패킷으로 가공하여 섬유기계로 보내는 역할을 한다. 본 시스템을 인터넷을 통해 원격으로 제어하기 위하여 Visual C#을 이용한 GUI(Graphic User Interface)를 구현하였다.

사용자는 섬유기계에 개별적으로 접속할 수 있으며 버튼, 텍스트 박스, 콤보 박스 등의 폼 객체들을 상황에 맞게 배치할 수 있다. 그리고 통신 데이터 프로토콜에 의한 명령 리스트를 작성한 후에 저장이 가능하다. 이는 사용자가 섬유기계 뿐만 아니라 다른 기기들에 응용할 수 있는 확장성을 제공한다. Fig. 6은 사용자 인터페이스를 통해 모니터링 데이터를 실시간으로 관찰하며 작동, 멈춤, 목표 값 수정 등의 원격 제어를 하는 장면을 보여준다. 명령 전송 후의 결과는 텍스트로 나타나는 데이터

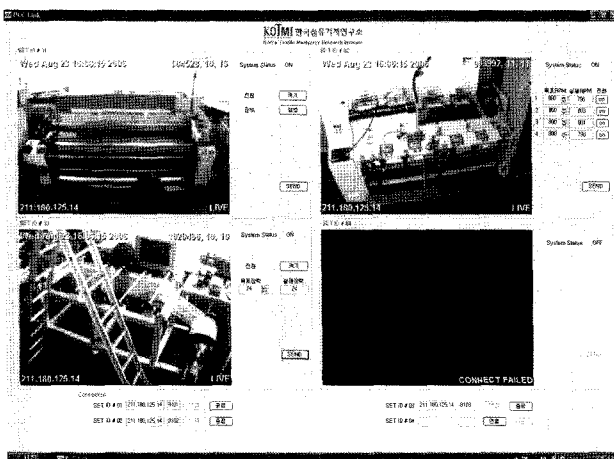


Fig. 6 User interface for remote control and monitoring

뿐만 아니라 영상을 통해 확인할 수 있다.

3.3 시스템 통합 및 평가

본 논문에서 제안, 개발한 섬유기계 전력선 통신 시스템에 대하여 Fig. 7과 같이 각각의 실험 장치를 하나의 시스템으로 통합, 구성하여 그 성능평가를 수행하였다.

실험장치의 주요구성으로는 원격감시 제어를 위한 관리시스템, 전력선 통신을 위한 PLC 모듈, 감시용 카메라, 하위 제어대상을 제어하기 위한 DSP 제어보드, PLC 모듈과 DSP 제어보드 인터페이스를 위한 Ethernet to UART 모듈, 그리고 제어대상 섬유기계로 권사기, 워터제트직기, 장력제어장치 등으로 구성되어 있다.

본 시스템에서 데이터 통신의 핵심으로써 중점적으로 개발한 부분은 고속 PLC 모듈이다. 고속 PLC 모듈은 표준인 HomePlug 1.0에서 칩의 표준으로 지정한 Intellon의 INT5200을 사용하여 개발하였다.

고속 PLC 모듈은 실험 환경에서의 실제 속도는 Table 2에서와 같이 한 방향씩 100회 이상 측정하였다. 실험결과 고속 PLC 모듈의 통신 속도는 한 방향 5.5Mbps이었으며, 양방향으로 합산하면 11Mbps가 된다. 이는 하드웨어 사양인 14Mbps에 못 미치는데, 이는 사용되는 전력선 상에 존재하는 노이즈 및 임피던스의 영향을 받기 때문이다.

고속 Ethernet to UART 모듈과 섬유기계는 UART 통신이 적용된다. UART 통신 속도는 38400bps로 설정하였다. UART 통신은 기존 산업의 표준으로 사용되고 있었고 고속 Ethernet to UART 모듈과 섬유기계의 통신에도 어떤 문제도 발생하지 않았다.

본 시스템은 24시간 테스트 및 1일 60분 간격으로 2회씩 1주 14시간 동안 지속적으로 테스트하였으나, 통신 테스트과정에서 통신 지연이나 데이터 손실 등의 문제로 인한 문제는 한번

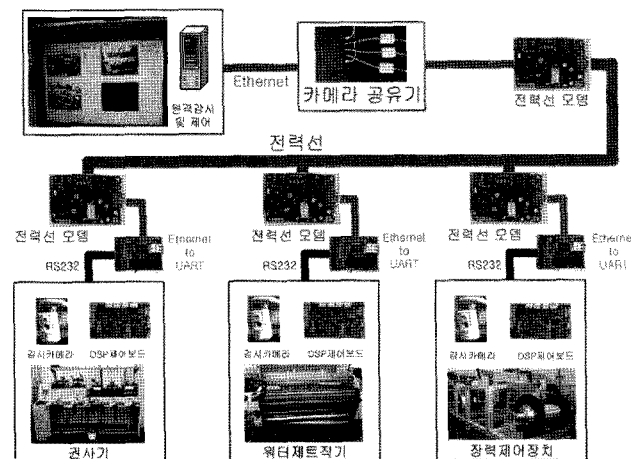


Fig. 7 System integration of sub-modules

Table 3 Throughput test of PLC module

순번	TX(Mbps)	RX(Mbps)
1	5.699	5.660
2	5.454	5.419
3	5.461	5.638
4	5.668	5.585
5	5.623	5.622
6	5.653	5.653
7	5.668	5.645
8	5.668	5.440
9	5.585	5.563
10	5.096	5.096
·	·	·
·	·	·
·	·	·
평균	5.55	5.53

도 발생하지 않았다. 이는 TCP/IP의 신뢰성 있는 연결과 PLC 링크 프로토콜의 승인 과정에 의해 완벽하게 통제되었기 때문이다.

IP 카메라에 의한 동영상 스트리밍은 CPU 점유율이 높아 시스템 불안함을 초래하지 않을까 우려 하였으나 정밀도 테스트와 같은 24시간 테스트 및 1일 60분 간격으로 2회씩 1주 14시간 테스트를 통해 화면의 끊김이나 연결 두절 등의 문제는 발생하지 않았다.

상기의 결과들로부터 제안된 시스템을 실제 테스트 환경에서 PLC 통신에 의해 다양한 종류의 섬유기계를 제어하고 모니터링 테스트를 함으로써, 본 시스템의 기능과 유효성을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 거의 대부분 독립 제어 시스템을 채용하고 있는 섬유기계에 고속의 데이터 송수신이 필요한 원격 제어 및 모니터링 시스템을 구축할 경우, 경제적이고 시스템 설치가 용이한 고속 PLC 기술을 이용한 원격 제어 및 모니터링 시스템을 제안하였다.

즉, 기존의 원격 제어 및 모니터링 기술과 고속의 PLC 기술을 접목시켜 보다 차원 높은 원격 On-line 모니터링 시스템을 개발하는데 그 목표를 정하였다.

이를 위해 고속 PLC 모듈 및 Ethernet To UART 인터페이스 모듈, GUI 프로그램 등을 구현하였으며, 섬유기계와 컴퓨터 간 통신을 위한 통신 프로토콜도 정의하였다.

개발 시스템의 실험과 평가를 위해 섬유기계 중 비교적 많은 기계가 동시에 설치되어 네트워크 구성이 용이한 장력 제어장치, 권사기, 워터제트 직기 등을 적용 대상으로 하여 실험용 전력통신 시스템 및 원격제어·감시·진단시스템을 개발하였다.

마지막으로 개발한 시스템에 대하여 실제 테스트 환경을 구성하고 그 성능 평가를 수행하였으며, 그 결과 본 논문에서 개발한 시스템의 유효성과 실용성을 확인하였다.

후 기

본 논문은 지식경제부에서 시행한 지역산업기초기술개발의 일부로 수행되었음.

참 고 문 헌

- (1) Lee, J., Seo, Y., Hong, D., and Lee, G., 2006, "Development of Internet-based Motor Monitoring System for Remote Controlling of Machine Tools," *Proceedings of KSPE Conference*, pp. 601~602.
- (2) Cha, J. H., Kong, H. S., 2002, Machine Monitoring System Using Distributed Object Technology, *Proceedings of JSME 12nd Intelligent System Symposium*, pp. 63~66.
- (3) Nam, S. H., Jeong, J. H., Kim, J. T., Seong, D. J., and Lee, S. W., 2009, "Technology of Network-Based HMI for Multi-Path e-CNC Machines," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 26, No. 4, pp. 33~38.
- (4) Klaus Dostert, 2001, *Power Line Communication*, PHPTR.
- (5) Klaus Dostert, 2005, Broadband Access by Powerlines: Performance, Cost, Challenges, Politica/Industrial Support, *31st European Conference on Optical Communication*, pp. 25~29.
- (6) Cha, J. H., Jeoun, H. Y., and Kim, J. D., 2001, Web-Based Remote Control System Using Power Line Communication, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 18, No. 10, pp. 26~33.
- (7) Cha, J. H., 2003, A Home Automation System Using the Power Line Communication, *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, Vol. 6, No. 9, pp. 18~23.
- (8) Kim, B. H., Hwang, C. H., and Kim, J. M., 2008, Development of Smart Home Network System Using the Power Line Communication, *Proceedings of ITFE Conference*, pp. 319~322.
- (9) CEBus Industry Council, n.d., viewed 10 January 2003, CEBus, <<http://www.domosys.com>>.
- (10) Grayson Evans, *The CEBus Standard User's Guide*, CEBus Industry Council.
- (11) HomePlug Powerline Alliance, n.d., viewed 20 May 2009, HomePlug, <<http://www.homeplug.org>>.