

IEEE 802.4 매체 접근 제어 방식과 IEEE 802.3 물리 계층 규격을 결합한 분산제어시스템 제어 통신망의 구현

Implementation of a Distributed Control Network by Combining the IEEE 802.4 Medium Access Control Protocol and the IEEE 802.3 Physical Layer Specification

°윤명현*, 문홍주*, 신창훈*, 이병윤*, 이성우*, 이재영**, 신수용**, 권옥현**

* 한국전력공사 전력연구원 (Tel : (042) 865-5640; Fax : (042) 865-5504; E-mail: yoon@kepri.re.kr)

** 서울대학교 제어계측공학과 (Tel : (02) 873-2279; Fax : (02) 878-8933; E-mail: whkwon@cisl.snu.ac.kr)

Abstract : A control network of the distributed control system for nuclear power plants requires real-time property and high reliability in data transmission. In this paper, a new control network architecture of a distributed control system has been proposed and implemented for the nuclear power plant control. It is implemented by combining the IEEE 802.4 token-passing bus access method on the IEEE 802.3 physical layer. A physical layer service translator has been designed to translate the symbols of the IEEE 802.4 token-passing bus access method into the messages of the IEEE 802.3 physical layer and vice versa. The proposed communication network protocol was implemented and applied to a distributed control system for nuclear power plant.

Keywords : IEEE 802.4, IEEE 802.3, Industrial communication system, Distributed control system

1. 서론

분산제어시스템에서 분산된 제어기들은 제어용 통신망을 통하여 연결된다. 제어용 통신망은 데이터의 전송에 있어 실시간 성능과 고신뢰성을 제공해야 한다. 또한 긴급한 메시지들은 미리 지정된 제한 시간 내에 전송되어야 하며, 통신망에 대한 비용도 동시에 고려하여야 한다. 특히 원자력 발전소와 같은 고도의 신뢰성과 안전성이 요구되는 제어시스템의 경우, 엄격한 실시간성과 고신뢰성을 요구함과 동시에 장기간에 걸쳐 안정적이고 효과적인 유지보수가 제공되어야 한다[5].

IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식[1]은 실시간 성능과 결정적 데이터 전송 성능을 얻을 수 있어, 분산제어시스템을 위한 제어용 통신망에 널리 사용되고 있으나, 그 구현과 유지에 많이 비용을 필요로 하는 단점이 있다[3,4]. 반면에 IEEE 802.3 통신 방식[5]은 널리 사용되고 있어, 통신망에 대한 구축비용이 저렴하며 지속적이고 저렴한 유지보수 비용이 기대되나, 매체 접근 제어 방식이 실시간 응용에 적합하지 않다[3,4]. 본 논문에서는 엄격한 실시간성 및 고신뢰성과 안정적이고 경제적인 유지보수가 제공되는 분산제어시스템의 제어용 통신망의 구성을 위하여, IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식과 IEEE 802.3 통신 방식의 물리 계층을 결합시킨 효율적인 통신망 구조를 구현하였다. 이를 위해, 두 통신 방식을 결합하기 위한 효율적인 물리 계층 서비스 변환기를 제안하고 구현하였다. 제안된 방식을 사용하여 원전용 분산제어시스템을 구축하고 제안된 통신 방식을 검증하였다. 제안된 통신망은 공정제어기, 운전원 스테이션, 데이터 게이트웨이등을 서로 연결하여 분산제어시스템을 구성한다.

2장에서 분산제어시스템용 통신망의 요건을 설명하고, 3장에서 분산제어시스템용 제어통신망 구현방법을 제안한다. 4장에서 결론을 맺는다.

2. 분산제어시스템용 통신망의 요건

분산제어시스템은 공장, 발전소 등의 산업 현장에서 많이 사용되는 중요한 설비이다. 분산제어시스템을 구성하는 요소인 제어 통신망은 그 중요도가 매우 크다[5]. 분산제어시스템용 제어 통신망은 크게 주기적인 상태 전송을 중심으로하는 데이터 수집 기능위주의 통신망 시스템과 이벤트성 데이터 처리 중심의 통신망 시스템으로 구분하여 생각할 수 있다.

데이터 수집을 위한 통신망 시스템에는 데이터 수집 시스템이나 주기적 또는 반복적으로 데이터를 내보내는 시스템이 연결되며, 연결된 시스템을 통해 필드의 데이터가 데이터 수집 시스템으로 모인다. 이 통신 시스템의 통신 특성은 네트워크상의 데이터의 길이가 비교적 짧으며, 주기적으로, 혹은 비주기적이더라도 계속적으로 데이터 수집 시스템으로 데이터가 이동한다. 또한, 데이터가 계속 수집되므로 한두번의 데이터 소실은 크게 영향을 주지 않는다. 이러한 통신의 내용 및 특성과 관련하여 분산제어 시스템용 제어통신망이 갖추어야 할 요건은 다음과 같다.

- 주기적 데이터 처리시 일정 수준의 주기의 보장이 가능해야 한다.
- 기본적으로 전송해야 하는 데이터의 길이가 길지 않으므로 데이터를 전송할 때 필요한 부수적인 오버헤드가 크지 않아야 한다. 즉 데이터 전송시 앞뒤로 붙는 부분의 길이가 길지 않아야 한다.
- 주기적이고 길이가 짧은 데이터를 효율적으로 전송해야 한다.
- 어느 정도 다양한 고급 서비스를 제공할 수 있어야 한다.

반면에 이벤트성 데이터 처리 중심의 통신망 시스템에는 중요

사건에 대한 통신, 정보 감시 등 데이터를 사건 기반으로 발생시키는 시스템이 연결된다. 이 통신 시스템의 통신 내용은 제어나 감시와 관련된 중요한 이벤트성 데이터가 주류를 이룬다. 여기에는 상위에서 내려오는 명령어를 하위로 내보내는 서비스, 필요한 변수의 읽기/쓰기 서비스, 필요한 시스템으로 프로그램 다운로드, 원격지 프로그램의 시작, 중단, 계속, 초기화, 종료, 그리고 긴급한 상황 발생시 경보 데이터의 전송 및 에러 상황 보고가 포함된다. 데이터의 양은 데이터 수집을 위한 통신망 시스템처럼 많지는 않다. 그러나 데이터가 소실될 경우 문제가 발생할 수 있는 중요 데이터들이 많다. 이러한 통신의 내용 및 특성과 관련하여 네트워크가 갖추어야 할 요건은 다음과 같다.

- 이벤트성 데이터 처리에 강해야 한다.
- 정보 감시 등의 긴급 데이터를 최대한 실시간으로 전송할 수 있어야 한다.
- 어느 정도 다양한 고급 서비스를 제공할 수 있어야 한다.

따라서, 분산제어시스템의 제어 통신망은 전체적으로 다음과 같은 기능을 가져야 한다[5].

- 1) 꼬임쌍선(twisted-pair cable), 동축케이블(coaxial cable), 광케이블 등을 필요에 따라 사용할 수 있어야 한다. 특히 전기적 간섭이 우려되는 지역에서는 광케이블을 사용할 수 있어야 한다.
- 2) 전송속도, 케이블의 최대길이, 통신망에 연결되는 노드의 갯수는 분산제어시스템이 설치되는 시스템의 특성 및 구성에 따라 필요한 범위를 수용할 수 있어야 한다. 예를 들어 높은 이용율(utilization)을 제공하는 프로토콜을 사용하여 제어 통신망을 구성하는 경우 일반적으로 5Mbps이상의 전송속도를 필요로 하며, 제어 통신망에서의 케이블의 길이는 일반적으로 수백미터 이내이면 되나, 원거리로 공정제어 유닛들을 설치하는 경우를 고려하면, 리피터나 변환기 등을 사용하여 수 km까지 확장할 수 있어야 한다. 제어 통신망에 연결되는 노드의 갯수는 일반적으로 수십개 이내이면 되나, 공정제어 유닛을 중심으로 분산성을 강화할 경우에는 백개 이상의 노드연결이 필요할 수 있다.
- 3) 통신망은 이중화할 수 있어야 하며, 자동으로 결합을 감지하여 빠른 시간내에 자동으로 전환하여야 한다. 결합이 발생한 경우 발생위치를 찾아내기 위한 기능이 제공되어야 하며, 결합이 발생한 부분을 동작중에 교체 등의 방법으로 수리가 가능하여야 한다.
- 4) 통신요구 발생의 주기/비주기성 및 실시간성/비실시간성을 기준으로 다음과 같이 구분할 수 있다.
 - 실시간성 비주기 통신: 경보, 사고조치 등의 긴급한 통신 등이 이에 해당될 수 있다.
 - 실시간성 주기 통신: 주요 공정 제어와 관련한 데이터 교환 등이 이에 해당될 수 있다.
 - 비실시간 주기 통신: 대표적인 예로 공정 감시와 관련한 데이터 수집 등이 이에 해당될 수 있다.
 - 비실시간 비주기 통신: 프로그램 및 구성정보 등의 다운로드/업로드 등이 이에 해당될 수 있다.
- 5) 경보보고, 사고조치 등의 긴급한 통신을 실시간으로 처리할 수 있어야 하며 필요한 경우 재전송이 가능하여야 한다. 주요 공정 제어와 관련한 데이터 교환 등은 실시간 주기 통신이 가능하여야 한다. 공정 감시와 관련한 데이터 수집 등을 주기적으로 전송할 수 있어야 하며, 비주기적으로 발생하는 프로그램 및 구성정보 등의 다운로드/업로드 등을 처리할 수 있어야

한다.

- 6) 통신요구는 그 중요도에 따라 우선순위를 설정할 수 있어야 하며, 경보보고나 사고조치 등과 같이 중요한 통신요구가 중요하지 않은 일반 통신요구에 의해 불필요하게 지연되어 처리되는 일이 발생하지 않아야 한다.
- 7) 통신중에 문제가 발생하면 적절한 조치를 취한 후 사용자에게 정확한 처리결과를 알려주어야 하며, 이상상태나 통신문제 발생 등으로 인하여 통신 traffic의 폭주가 일어나지 않도록 해야 한다.

3. 분산제어시스템용 제어 통신망의 구현

국내 분산제어시스템의 여건은 자체적인 제어 통신망의 설계 기술을 제대로 확보하지 못하고 있는 실정이다. 분산제어시스템의 제어 통신망으로 많이 사용되는 표준으로 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 통신 규약[1]과 IEEE 802.3 충돌 검출을 이용한 반송자 감지 다중 접근 통신 규약[2]이 있다. 이들 중 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식은 실시간 성능과 결정적 데이터 전송 성능을 얻을 수 있으나, 구현과 유지에 많은 비용이 소모된다. IEEE 802.3 통신 규약은 널리 사용되고 있어 통신망에 대한 비용이 저렴하나, 매체 접근 제어 방식이 실시간 응용에 적합하지 않다[3,4]. 본 논문에서는 IEEE 802.4와 IEEE 802.3 물리계층 규격을 결합함으로써 실시간 성능을 만족하고 통신망 비용이 저렴한 산업용 제어 통신망을 구현하였다.

3.1 IEEE 802.4 매체 접근 제어 방식과 IEEE 802.3 물리계층 규격의 결합

실시간 성능을 만족하고 통신망 비용이 저렴한 산업용 통신망을 구현하기 위하여, 실시간 성능과 결정적 동작을 제공하는 IEEE 802.4 표준 규격의 토큰 전달 버스형 매체 접근 제어 방식과 통신망 구축 및 유지 비용이 저렴한 IEEE 802.3 표준 규격의 물리 매체 규격을 결합함으로써 두가지 표준의 장점만을 결합시킨다. 서로 다른 두 통신 방식을 결합하기 위해, IEEE 802.4 토큰 전달 버스 통신 규약의 매체 접근 제어 부계층과 IEEE 802.3 표준 규격의 물리 계층을 연결시키는 물리계층 서비스 변환기를 구현하였다. 그림 1과 같이 물리계층 서비스 변환기(physical layer service translator, PST)②는 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 통신 규약의 매체 접근 제어 부계층①과 IEEE 802.3 충돌 검출을 이용한 반송자 감지 다중 접근 통신 규약의 물리 계층③ 사이에 존재한다.

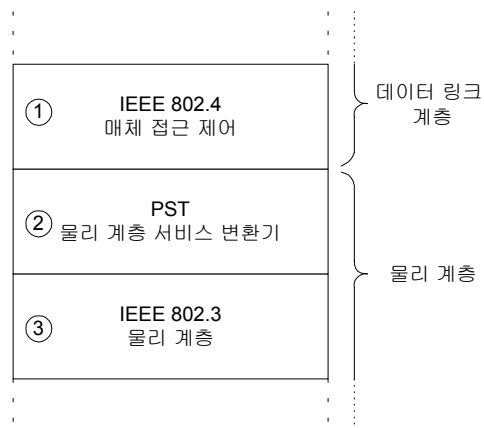


그림 1. 통신망의 구성

물리 계층 서비스 변환기는 연속적인 두 개의 IEEE 802.3 물리 계층의 부호를 결합하여 하나의 IEEE 802.4 매체 접근 제어 부계층 부호를 구성한다. 즉, 각각의 지속시간이 100ns이고 그 주파수가 10MHz인 연속된 IEEE 802.3 물리 계층의 부호는 그림 2의 (가)와 같이 결합되어 각각의 지속시간이 200ns이고 그 주파수가 5MHz인 하나의 IEEE 802.4 매체 접근 제어 부계층 부호를 구성한다. 이 때, 연속적인 두 개의 IEEE 802.3 물리 계층의 부호의 순서가 바뀌면 잘못된 IEEE 802.4 매체 접근 제어 부계층 부호가 생성되므로(그림 2 (나)), 물리 계층 서비스 변환기는 연속적인 두 개의 IEEE 802.3 물리 계층의 부호의 올바른 순서를 찾을 수 있어야 한다. 이를 위해 물리 계층 서비스 변환기는 부호화(encoding) 방식 및 복호화(decoding) 방식을 사용하여 두 통신 방식의 부호를 순서에 맞게 결합한다.

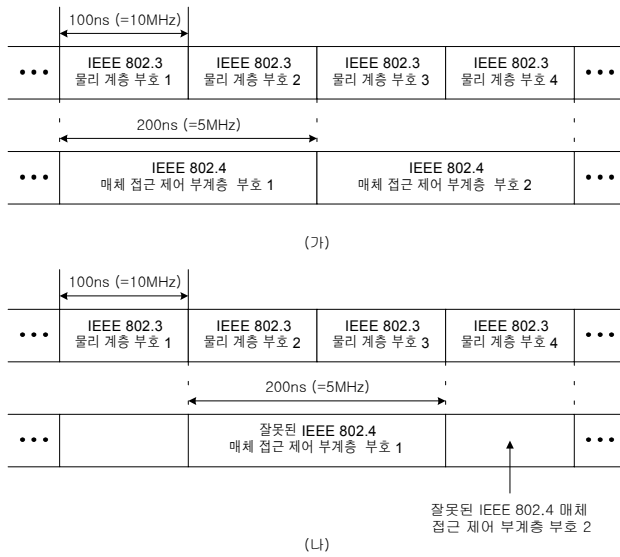


그림 2. 연속된 두 IEEE 802.3 물리계층 신호의 결합

부호화 방식은 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 통신 규약의 매체 접근 제어 부계층의 부호 silence, pad_idle, zero, one, non_data를 IEEE 802.3 표준 규격의 물리 계층에서 사용하는 부호인 IDL(idle), CD1(clocked data one), CD0(clocked data zero)로 변환하는 규칙이다. 복호화 방식은 IEEE 802.3 표준 규격의 물리 계층 부호인 IDL, CD1, CD0 및 CARRIER_STATUS, SIGNAL_STATUS를 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 통신 규약의 매체 접근 제어 부계층의 부호인 zero, one, bad_signal, non_data, silence로 변환하는 규칙이다.

3.2 물리계층 서비스 변환기의 구현

앞에서 제안한 물리 계층 서비스 변환기는 두 통신 방식을 연결하기 위해 그림 3과 같은 구조를 가진다. 스테이션 관리 제어기 SMANAGER(①)는 통신망의 모드인 스테이션 관리 모드와 매체 접근 제어 모드를 제어한다. 수신 및 송신 클럭 제어기 CLKCTRL(②)는 수신 클럭을 생성하기 위해 클럭 입력원로부터 수신 클럭을 선택하고, 수신 데이터의 위상(phase)을 제어하며 송신 클럭을 생성한다. 매체 접근 제어 모드 송신기 MACTX(③)는 매체 접근 제어 부계층의 요구 신호를 부호화하여 송신기를 위한 물리 계층 신호를 생성한다.

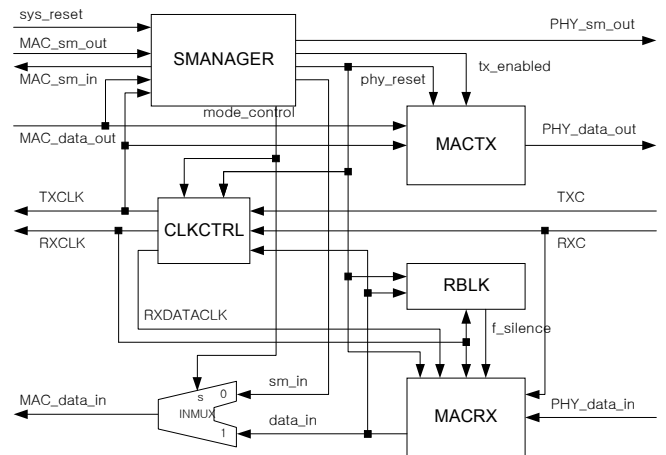


그림 3. 물리계층 서비스 변환기의 구조

- ① SMANAGER: 매체 제어기와와의 접속 기능을 제공하는 모듈
- ② CLKCTRL: 시간 동기화 및 속도차이를 조절하는 모듈
- ③ MACTX: 고유한 부호화 방식을 사용하여 전송신호를 생성하는 모듈
- ④ MACRX: 고유한 복호화 방식을 사용하여 수신신호를 해석하는 모듈
- ⑤ RBLK: 매 전송완료후의 처리를 담당하는 모듈
- ⑥ INMUX: 통신상태에 따른 수신 데이터의 선택을 조절하는 모듈

표 1. 물리 계층 서비스 변환기의 입출력 신호 이름

| 신호 이름 | 신호원 | 목적지 | 설 명 |
|--------------|--------|-----|--|
| sys_reset | 상위 시스템 | PST | 물리 계층 서비스 변환기의 초기화를 위한 입력 신호 |
| MAC_sm_out | MAC | PST | IEEE 802.4 매체 접근 제어 부계층의 모드를 결정하는 신호 |
| MAC_sm_in | PST | MAC | 물리 계층 서비스 변환기의 모드를 표시하는 신호 |
| MAC_data_out | MAC | PST | IEEE 802.4 매체 접근 제어 부계층의 전송 부호를 표시하는 신호 |
| MAC_data_in | PST | MAC | IEEE 802.4 매체 접근 제어 부계층의 수신 부호를 표시하는 신호 |
| TXCLK | PST | MAC | 전송 클럭 |
| RXCLK | PST | MAC | 수신 클럭 |
| PHY_sm_out | PST | PHY | IEEE 802.3 물리 계층에 대한 제어용 신호 |
| PHY_data_out | PST | PHY | IEEE 802.3 물리 계층의 부호로 부호화된 전송 신호 |
| PHY_data_in | PHY | PST | IEEE 802.3 물리 계층의 부호로 부호화된 전송 매체로부터의 수신 신호 |
| TXC | PHY | PST | IEEE 802.3 물리 계층 전송 신호의 동기용 클럭 |
| RXC | PHY | PST | IEEE 802.3 물리 계층 수신 신호의 동기용 클럭 |

* PST: 물리 계층 서비스 변환기 (physical layer service translator)

* MAC: IEEE 802.4 매체 접근 제어 부계층

* PHY: IEEE 802.3 물리 계층 부분

매체 접근 제어 모드 수신기 MACRX(④)는 반 클록 상 신호에 따라 물리 계층 신호를 복호화하여 매체 접근 제어 부계층의 신호를 생성한다. 수신기 공백 신호 생성기 RBLK(⑤)는 매체 접근 제어 모드 수신기 MACRX(④)가 수신기 공백 기능(receiver blanking logic)을 수행할 수 있도록 한다. 지시 신호 다중화기 INMUX(⑥)는 모드에 따라 관리 모드 지시 신호와 매체 접근 제어 지시 입력을 선택한다.

여기서 구현된 물리 계층 서비스 변환기의 입출력 신호는 표 1과 같다.

3.3 분산제어시스템 제어 통신망의 구현

위에서 구현한 IEEE 802.4 매체 접근 제어 방식과 IEEE 802.3 물리 계층 규격의 결합한 새로운 통신망 설계 방법은 분산 제어시스템의 제어 통신망에 그림 4와 같이 구현된다. 분산 제어시스템의 제어 통신망 구조에서 IEEE 802.4 매체 접근 제어 부계층(④)과 물리 계층 서비스 변환기(⑤) 및 IEEE 802.3 표준 규격 물리 계층(⑥)은 데이터 링크 계층(③)과 물리 계층을 구성하며, 응용 프로그램 접속부 API(①)와 응용 계층 AL(②)은 통신망 관리 NM(⑦)과 함께 분산제어시스템의 제어 통신망을 구성한다. 제안된 통신망구조를 사용하여 분산제어시스템의 통신망을 구축하는 경우, 그림 5와 같이 버스, 스타, 혼합형의 다양한 구조를 사용할 수 있고, 상용의 이더넷용 케이블링 관리 기기를 사용하여 손쉽게 구축이 가능하다. 또한, 이더넷용 광변환 모듈을 사용함으로써 손쉽게 광통신망의 구축이 가능하다.

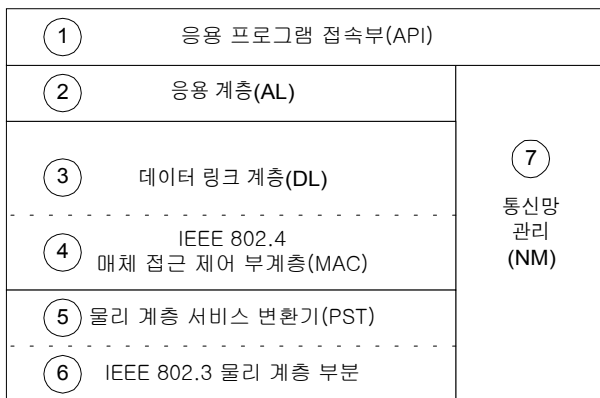


그림 4. 제안된 통신망 구조를 사용한 분산제어시스템의 제어 통신망

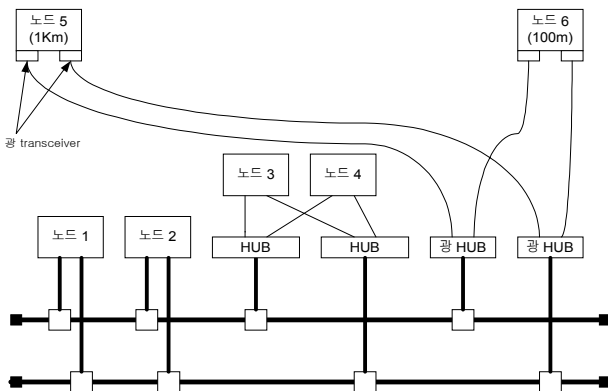


그림 5. 분산제어시스템의 통신망 구축예

4. 결론

본 논문에서 제안한 새로운 통신망은 일반적인 분산제어시스템에서 널리 사용되는 IEEE 802.3 통신 방식의 물리 계층을 사용함으로써, IEEE 802.4 통신망을 사용할 때보다 통신망의 설치, 유지, 보수 비용을 절감할 수 있다. 또한 매체 접근 제어 방식으로 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 방식을 사용함으로써, 산업용 통신망에서 요구되는 실시간 성능과 결정적인 동작 및 우선 순위(priority) 체계를 만족시킬 수 있는 기능성을 제공한다. 제안된 통신망 구조는 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식과 IEEE 802.3 통신 규약의 장점을 결합하여 효율적으로 제어 통신망을 구성할 수 있는 구조이다. 이러한 구조는 새로운 시도로써, 기존의 통신망에 대한 하드웨어나 소프트웨어와 같은 자원을 활용할 수 있다는 장점과 함께 통신망 시스템 설계에 있어 설계의 폭을 넓힐 수 있다. 마지막으로 새로운 통신망 구조는 분산 제어 시스템의 제어용 통신망 기술 확보에 많은 기여를 할 것으로 기대되며, 쉽게 산업 현장에 적용될 수 있을 것이라고 생각된다.

참고문헌

- [1] ISO, *ISO/IEC 8802-4 ANSIS/IEEE Std. 802.4 Information processing systems - Local area networks - Part 4 : Token-passing bus access method and physical layer specifications*, 1990.
- [2] ISO, *ISO/IEC 8802-3 ANSIS/IEEE Std. 802.3 Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - specific requirements - Part 3 : Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications*, 1996.
- [3] K. Tachibana, T. Sakamaki, T. Yamaguchi and N. Yokogawa, "Networking for DCS using the token-passing bus method," *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp. 432-435, 1994.
- [4] J. D. Wheelis, "Process control communications: Token bus, CSMA/CD, or token ring?," *Advances in Instrumentation, Proceedings*, pp. 1049-1055, Vol. 47, Pt. 2, 1992.
- [5] 문홍주, "발전소 적용을 위한 분산제어시스템의 요건과 현황", 제어 자동화 시스템 공학회지, Vol. 4, No. 6, 1998년 11월, pp. 19-26.