



# 분산제어 및 자동화시스템과 필드버스

홍승호, 김기암, 김지용, 고성준

한양대학교 제어계측공학과

## 1. 필드버스의 출현 배경

최근 수년에 걸친 컴퓨터 및 통신기술의 발전과 더불어 제어 및 자동화기술은 급속하게 변화하여 왔다. 첨단 자동화 시스템에서는 각종 자동화 장비들을 수평적, 수직적으로 통합하여 전체 공정을 일관되게 관리함으로써 공정의 설계, 구축 및 유지 관리에 유연성을 제공하고 있다. 이러한 첨단 자동화 시스템을 구축하기 위하여서는 각각의 공정에서 생성되는 정보들을 수집, 분석, 가공 및 저장하고, 또한 각 공정에서 필요한 정보를 적시에 제공할 수 있는 정보의 통합화를 구현하는 것이 중요한 문제로 대두된다. 네트워크는 자동화 요소들 간에 정보 교환을 가능케 함으로써 첨단 자동화 시스템에서 중추 및 신경 기능을 담당하고 있다. 따라서, 궁극적으로 모든 공정의 통합화를 추구하는 미래의 분산제어 및 자동화 시스템에 있어서 네트워크 기술은 가장 핵심이 되는 기술 가운데 하나라고 볼 수 있다[1,2].

1980년대 초반부터 생산자동화 환경에서 이기종의 자동화장비들 간의 통신을 위한 표준화된 네트워크 시스템으로 MAP(Manufacturing Automation Protocol)[3-6]이 개발되었다. MAP은 공장 자동화 환경에서 매우 다양한 통신기능을 제공하는 네트워크 시스템이다. 그러나 MAP은 구조상 OSI(Open Systems Interconnection) reference model [7]에서 제시하고 있는 7계층을 모두 가지고 있어 생산현장의 필드에 설치된 각종 필드 장비들 간의 실시간 통신을 지원하기에는 적합하지 않은 시스템으로 인식되고 있다. 1980년대 후반부터는 생산현장의 필드에 설치된 각종 제어 및 자동화 관련 장비들에서 생성되는 데이터들의 실시간 통신을 지원하며 가격이 저렴한 네트워크 시스템의 필요성이 제기되었으며, 이러한 목적을 위하여 개발된 네트워크 시스

템이 필드버스이다. 필드버스는 필드에 설치된 각종 센서, 단일루프제어기, 소형 PLC, 모터, 밸브, 로봇, CNC 등의 동작기계를 비롯하여 이러한 장비들을 제어하는 다중루프제어기, 중대형 PLC 등의 자동화기기에서 생성되는 데이터를 실시간으로 처리하며, 따라서 첨단 생산시스템의 네트워크 구조상 가장 기본이 되는 네트워크이다[8].

계측 시스템이 공정에 도입되기 시작한 약 50여년 전에는 3-15psi의 공압 신호가 계측 신호의 표준으로 지정되었으며, 그후 4-20mA의 아날로그 전기 신호가 계측 신호의 표준으로 도입되었다. 1970년대부터 제어 및 자동화 시스템에 디지털 컴퓨터가 도입되기 시작하면서 아날로그 및 디지털 계측 제어 신호의 전송에 대한 요구가 증대되기 시작하였다. 초기의 디지털 제어 시스템에서는 필드에 설치된 센서의 계측 신호가 일-대-일(point-to-point) 통신 방식으로 중앙의 제어컴퓨터에 전달되었으며, 제어 컴퓨터에서 생성되는 제어 신호도 역시 일-대-일 통신 방식을 통하여 구동기로 전달되었다. 1980년대부터 마이크로프로세서 기술의 급속한 발전과 더불어 분산 제어 기술이 도입되기 시작하면서 중앙컴퓨터에 의하여 수행되던 제어 기능이 여러 대의 컴퓨터들로 분산되었다. 분산 제어 시스템에서는 시스템의 제어와 자동화 기능은 물론 각종 설비와 기기의 상태에 대한 모니터링 기능, 필드에서 발생할 수 있는 각종 사건에 대한 처리 기능, 자동화 설비 관련 데이터의 저장 기능 및 각종 데이터의 분석 및 보고 기능들을 제공하며, 이러한 기능들이 추가되면서 필드 기기들과 제어 컴퓨터들 간에 더 많은 통신 기능이 필요하게 되었다. 최근에 와서는 스마트센서와 PC를 기반으로 하는 제어시스템 기술의 연구와 개발이 활발히 추진되고 있으며, 따라서 앞으로는 기존의 4-20mA의 아날로그 신호를 대신하는 디지털 신호를 통한 계측

기기와 제어 및 자동화 장비들 간의 통신에 대한 필요성은 더욱 증대될 것으로 예상된다.

분산제어 시스템이 도입되기 시작한 1980년대 초반부터 각종 제어 및 자동화 설비에 네트워킹 시스템이 도입되기 시작하였다. 그러나 초기의 네트워킹 시스템은 설비를 공급하는 제어 및 자동화 장비 생산 업체(vendor)들이 그들 자신의 시장을 확보하기 위하여 개방화되지 않은 독자 모델의 디지털 버스를 사용하였다. 따라서 사용자(user)들은 장비 생산 업체에 기술적으로 종속 당할 수밖에 없었으며, 또한 서로 다른 생산 업체로부터 공급받은 장비들을 네트워킹을 통하여 접속하기 위하여서는 매우 고가의 프로토콜 변환 장치를 사용할 수밖에 없었다. 이러한 상황에서 사용자들은 "plug-and-play"가 가능한 표준화된 네트워크 시스템을 요구하게 되었으며, 시스템 공급 업체들은 그들 장비를 표준화하는데 엄청난 노력을 기울였다. 이러한 과정을 거치면서 출현한 네트워크 시스템이 필드버스이다.

필드버스 기술이 도입되기 시작한 초기 단계에서는 필드버스로부터 얻을 수 있는 가장 큰 장점은 배선의 절감이라고 생각되었다. 실제로 필드버스를 도입하는 경우에 배선에 소요되는 비용은 기존의 방식에 비하여 5:1 정도까지의 비용 절감이 가능한 것으로 보고되고 있으며, 이것은 엄청난 초기 투자 비용의 절감이다. 그러나 기술 선진국에서 필드버스를 도입한 사례에 대한 보고서에 의하면 필드버스의 도입 효과가 배선에 의한 비용 절감 효과보다는 필드에 설치된 센서들의 계측 기능의 향상에 의한 간접비용의 절감 효과가 더욱 큰 것으로 알려지고 있으며 이를 요약하면 다음과 같다.

- 4-20mA 아날로그 신호를 사용하는 기존의 방식에서는 주어진 계측 대상에 대하여 하나의 신호선을 통하여 하나의 신호만을 전송할 수밖에 없었다. 즉, 주어진 계측 대상에서 여러 신호를 동시에 전송하기 위하여서는 여러 개의 신호선을 사용할 수밖에 없었다. 그러나 필드버스를 사용하는 경우에는 같은 계측 대상에 대하여 각종 신호를 디지털화함으로써 동일한 twist pair선으로 여러 개의 중복 신호를 동시에 전송할 수 있다.
- 필드버스는 자동화 및 제어 기기들과 필드에 설치된 센서와 구동기 등의 필드 기기들 간에 예전에는 제공되지 않았던 양방향 통신을 제공한다. 따라서 네트워크를 통하여 각종 필드 기기들의 상태를 모니터링할 수 있을 뿐만 아니라 센서의 주기적 보정(calibration)과 같은 조치를 네트워크를 통하여 자동으로 수행할 수 있어 시스템의 운용 및 유지 보수에 소요되는 비용을 크게 절감할 수 있다.
- 필드버스에서는 마이크로프로세서가 내장된 스마트센서의 도입이 가능하다. 기존의 방식에서는 센서에서

측정된 raw data가 제어기에 도착하면 제어기에서 filtering, linearization, A/D 변환, engineering unit 변환 등의 계측신호에 대한 여러 전처리 과정을 필요로 하였으나, 필드버스를 사용하는 경우에는 이러한 전처리 과정이 스마트 센서 내에서 모두 이루어질 수 있으며, engineering unit의 측정값으로 모든 기기들에 대한 제어가 가능해져 전체적인 제어 성능을 향상시킬 수 있다.

- 필드버스의 표준안이 제시되는 경우에 모든 필드 기기들은 기본적으로 필드버스 접속 기능을 갖추게 될 것이다. 네트워크 사용자는 더 이상 게이트웨이나 브리지 등과 같이 복잡한 구조를 가지는 통신 장비를 사용하지 않고 필드 기기들을 단순한 구조의 필드버스에 접속시킴으로써 원하는 시스템을 구축할 수 있으며, 따라서 필드 장비들 간의 통신을 위한 하드웨어 및 소프트웨어 인터페이스에 대한 비용과 노력을 절감할 수 있다. 시스템은 복잡해질수록 오류 발생 가능성이 증가할 뿐만 아니라 시스템의 유지, 보수에 많은 노력과 비용을 필요로 한다. 따라서 필드버스에서 제공하는 하나의 단순한 twisted-pair wiring을 이용한 시스템의 구축은 매력적인 대안이 아닐 수 없다.
- 더 나아가서 필드버스의 사용자계층(user layer)인 필드장비의 기능들까지 표준화가 완료된다면 필드버스 사용자는 자신이 구축하려 하는 제어 및 자동화 시스템에 꼭 필요한 기능만을 선별적으로 구현할 수 있으며, 또한 필요한 경우에 새로운 기능을 추가하거나 또는 불필요한 기능을 삭제하여 시스템을 자유롭게 변형시킬 수 있다. 따라서 사용자는 더 이상 폐쇄적인 제어 및 자동화 장비를 공급하는 생산 업체에 기술적으로 종속 당하지 않고 자체적으로 다양한 시스템을 구축할 수 있다.

본 고에서는 차세대 분산 제어 및 자동화 시스템의 구축을 위한 핵심 기술로 부상할 것으로 예상되는 필드버스에 대하여 기술하기로 한다. 먼저 제2장에서는 필드버스의 구조에 대하여 기술하고, 제3장에서는 필드버스의 현황과 앞으로의 전망에 대하여 기술하며, 제4장에서는 현재 필드버스의 국제 표준안으로 제시되고 있는 IEC/ISA 필드버스에 대하여 기술한다. 제5장에서는 필드버스의 실시간, 주기적 및 비실시간 데이터 트래픽을 필드버스의 제한된 대역폭에 할당하기 위한 필드버스 설계 기법에 대하여 기술하고 마지막으로 제6장에 본 고의 결론에 대하여 기술한다.

## 2. 필드버스의 구조

필드버스에 접속되는 각종 제어 및 자동화 관련 기기들에서 생성되는 데이터들은 크게 실시간 데이터와 비실시간 데

이터로 나뉘어지며, 이러한 실시간 및 비실시간 데이터가 하나의 네트워크 미디어를 공유하게 된다. 실시간 데이터들은 일반적으로 데이터의 길이가 짧으며, msec 단위 이내의 매우 짧은 시간 내에 데이터의 전송 및 처리가 완료되어야 한다. 컴퓨터 통신망이 완전한 기능을 수행하기 위하여서는 OSI(Open System Interconnection)의 7계층 구조를 모두 갖추어야 하나, 필드버스는 앞서 언급한 실시간 동작에 대한 요구사항을 만족시키기 위하여 그림 1에 나타난 바와 같이 물리 계층(Physical Layer)과 데이터 링크 계층(Data Link Layer) 위에 바로 응용 계층(Application Layer)이 위치하고, 그 위에 사용자 계층(User Layer)이 위치하는 4계층의 구조를 가진다.

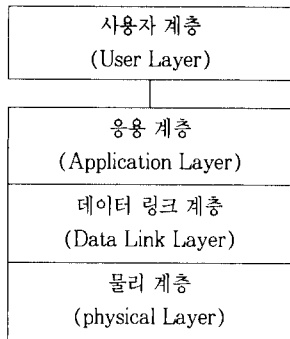


그림 1. 필드버스의 계층 구조.

물리 계층은 전선, 광섬유 또는 무선과 같은 미디어에 의해 전달될 데이터를 코딩하는 기능을 수행한다. 즉, 데이터 링크 계층으로부터 전달된 데이터를 받아서 이를 전기 또는 광신호로 변환하여 버스를 통하여 전송하며, 또한 버스를 통하여 수신된 신호를 데이터로 변환하여 데이터 링크 계층으로 넘겨준다. 데이터 링크 계층에서는 매체 접속 제어(Medium Access Control) 기능과 논리 링크 제어(Logical Link Control) 기능을 제공한다. 매체 접속 제어 기능은 여러 개의 노드들이 하나의 네트워크 미디어를 공유하는데 있어서 데이터간의 충돌을 방지하기 위하여 각각의 노드에 데이터를 전송하는 권한을 부여하는 기능을 말하며, 논리 링크 제어 기능은 통신을 하려는 노드들 간에 논리적 링크를 설정 및 해제하는 기능을 비롯하여 노드들 간의 통신 과정에서 발생할 수 있는 각종 오류를 처리함으로써 노드들 간에 신뢰할 만한 데이터 전송이 이루어지도록 하는 기능을 수행한다. 응용 계층은 원격 변수 입출력, 프로그램 및 데이터 파일 전송, 프로그램 원격 관리 및 각종 사건 처리 등과 같이 공정 제어와 공장 자동화 환경에서 요구되는 각종 응용 서비스를 제공한다.

필드버스는 응용 계층 위에 사용자 계층을 가짐으로써 단순히 통신을 위한 네트워크 시스템 이상의 기능을 제공한다. 필드버스의 사용자는 바로 필드 장비들이다. 필드버스의

사용자 계층을 표준화한다는 것은 바로 이러한 필드 장비의 기능을 표준화하는 것이다. 즉, 사용자 계층의 표준화는 개방화되고 집적화된 계층 및 제어시스템으로서 공정 제어 및 자동화의 전 영역에 대한 표준화를 포함하고 있다. ISA에서는 사용자 계층에 대한 기능을 ISA SP50 기술보고서[9]를 통하여 정의하였다. 이 보고서에서는 필드 장비들 내에서 수행되는 기능들을 다음의 표 1과 같이 32 개의 표준화된 기능 블록들로 분류하였다. 각각의 기능 블록은 “알고리즘” 영역과 “데이터베이스” 영역으로 나뉘어진다. 사용자 계층 표준안은 이러한 기능 블록의 알고리즘과 데이터베이스들을 표준화함으로써 필드 장비 공급자는 미리 정해진 알고리즘에 따라 기능 블록을 구현하여 필드 장비를 생산하고, 사용자는 필드 장비의 각각의 기능 블록에 대하여 표준화된 데이터 베이스 만을 구축함으로써 바로 기기를 구동할 수 있도록 하여 필드버스를 공장자동화 및 공정제어시스템에 활용될 수 있는 폭을 넓히도록 하고 있다. 이러한 사용자 계층에 대한 표준화가 이루어진다면 필드장비들은 진정한 개방화 환경에서 상호 접속성과 상호운용성(interoperability)이 완벽히 보장될 수 있을 것이다.

표 1. ISA 지정 필드버스 사용자 계층 표준 기능 블록.

Analog	Analog input, Analog output, Composition, Counter, Dynamic compensation, Interface, Math, On/off control, PID, Property conversion, Pulse width modulation, Signal capture, Signal characterizer, Signal selector, Splitter, Tank gauging, Timer, Totalizer, Tuner
Discrete	Batch controller, Device control, Discrete input, Discrete output, Discrete register I/O, Human interface, Interface(binary), Logic, Program control, Register interface
Serial	Serial communication Serial in conversion
Null Block	

### 3. 필드버스의 현황 및 전망

필드버스 기술에 대한 연구와 개발은 ISA(Instrument Society of America)와 IEC(International Electronics Committee)에서 필드버스에 대한 국제 표준안 제정을 공동으로 추진하면서 매우 활발히 추진되어 왔다. 필드버스의 변천 과정이 다음의 그림 2에 나타나 있다. 1980년대 초반부터 분산제어 및 자동화 시스템의 네트워킹에 대하여 독자적으로 연구와 개발을 추진하던 굴지의 제어 및 자동화 장비 생산 업체들은 필드버스의 국제 표준안 제정이 발표되면

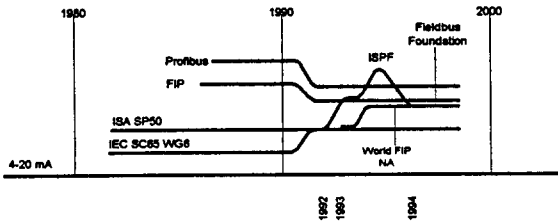


그림 2. 필드버스의 변천 과정.

서 자사의 제품을 국제 표준안으로 채택되도록 하기 위하여 심혈을 기울이기 시작하였다. 이들은 여러 기업들이 컨소시엄의 형태로 모여 사용자 그룹을 결성하고, 자체 개발한 프로토콜을 필드버스의 국제 표준안으로 채택하여 줄 것을 제안하였으며, 이러한 과정에서 출현한 시스템이 독일의 국가 표준으로 지정된 Profibus[10]와 불란서의 국가 표준인 FIP[11]이다. 필드버스의 국제 표준안은 그러나 표준화 작업에 참가한 여러 기업들의 이해관계가 복잡하게 얽히면서 기술적인 이유보다는 정치적인 이유로 인하여 계속 지연되어 왔다. 즉, 절대적으로 기술적 우위에 있는 필드버스 프로토콜이 제안되지 않은 상황에서 서로 비슷한 성능과 기능을 가진 프로토콜들 가운데 하나를 표준안으로 채택하는데 있어서 쉽게 합의가 이루어지지 않았다. 따라서 IEC/ISA에서는 독자적인 필드버스 프로토콜의 표준안을 제정하기로 결정하고, 현재까지도 표준안 제정 작업을 계속하고 있다. 그러나 IEC/ISA 필드버스 표준안은 위원회 구성원의 다양한 관점과 견해에 대한 합의를 도출하기 위한 개방적이고 민주적인 절차로 진행되는 과정에서 표준안 제정이 계속 지연되고 있다.

1992년에 ISA SP50.02 물리계층 규격서가 완성되었으나 상위 계층들의 표준안들이 계속 지연되었다. 이러한 상황에서 90년대에 들어서 산업 현장에서는 필드버스에 대한 요구가 점차 증대되기 시작하였으며, 이러한 분위기에 편승하여

기존의 필드버스 개발 업체들은 “시장을 선점하는 시스템이 표준이다”라는 의식 하에 필드버스 시장을 선점하려는 새로운 움직임이 일어나기 시작하였다. 즉, 완성된 물리계층의 표준안에 기존의 필드버스 프로토콜들의 상위 계층을 접목한 여러 가지 변종의 필드버스 프로토콜들이 출현하였다. Fisher-Reosemount, Siemens, Foxboro, ABB, Yokogawa, Johnson Controls, Hartmann & Braun, Toshiba등의 주도 하에 결성된 ISP(Interoperable Systems Project)는 물리계층으로 ISA 표준안을 채택하고 상위계층으로는 Profibus에 FIP의 일부 기능을 포함시킨 새로운 필드버스 프로토콜의 제안하였다. ISP의 활동에 대응하여 Honeywell, Allen-Bradley, Square D, Elsag Bailey, Masoneilan-Dresser 등의 회사들이 ISA 물리계층 표준안에 상위계층으로 FIP를 접목시킨 WorldFIP 프로토콜을 제안하였다. ISP와 WorldFIP는 모두 IEC/ISA 필드버스의 표준안이 완성되면 이를 수용할 것이라고 주장해 왔으며, 실제로 1994년 IEC/ISA 필드버스의 데이터 링크계층의 표준안이 가시화 됨에 따라 ISP와 북미 지역의 WorldFIP-North America는 Fieldbus Foundation이라는 새로운 기구를 창설하였다. Fieldbus Foundation의 필드버스 규격은 물리계층으로 IEC/ISA 표준안을 그대로 수용하였고, 데이터 링크 계층은 현재 진행되고 있는 IEC/ISA 표준안을 부분적으로 수용하였으며, 응용 계층으로는 Profibus의 응용계층인 FMS(Fieldbus Message Specification)를 채택하였다. Fieldbus Foundation의 필드버스는 그 동안의 beta test를 거쳐 1996년 3월에 표준안을 발표하였다.

Fieldbus Foundation의 필드버스 규격이 완성됨에 따라 필드버스의 국제적인 동향은 새로운 국면으로 접어들 것으로 예상된다. 만일에 앞으로 Fieldbus Foundation과 IEC/ISA 위원회가 통합 운영될 수 있다면 필드버스의 국제 표준화 작업은 의외로 쉽게 완료될 수 있을 것이다. 그러나 그렇지 않다면 Fieldbus Foundation 규격은 또 하나의 필드버스

표 2. 필드버스와 센서버스의 현황.

Network	Digital Code	Access	ISO Layers	Standard
Arcnet	NRZ	Token passing	1,2	Trade Association
ARINC 629	Manchester	CSMA	1,2	Trade Association
CAN	NRZ	CSMA	1,2	Proprietary
CEbus	NRZ	CSMA	1,2,3,7	National
Echelon LON	Manchester	CSMA	1,2,3,4,5,6,7	Proprietary
FIP	Manchester	Master/slave	1,2,7	National
IEEE 1118(Bitbus)	NRZI	HDLC	1,2,7	National
IEEE P1073	NRZI	Master/slave	1,2,7	National
IEC Fieldbus	Manchester	Token passing plus master/slave	1,2,7	International
MIL-STD-1553B	Manchester	Master/slave	1,2	NATO
Profibus	Manchester	Token passing plus master/slave	1,2,7	National

프로토콜로 남을 것이다. 그러나 현시점에서 분명한 것은 IEC/ISA 국제 표준화 작업은 앞으로도 상당 시간 지연될 것으로 예상되며, 그 동안의 필드버스 판도는 이미 유럽을 중심으로 하여 세력을 형성하였고 최근에 유럽 표준으로 지정된 Profibus와 WorldFIP의 필드버스 시장에 미국의 기업들의 주도하에 결성된 Fieldbus Foundation 프로토콜이 가세하는 3파전의 형태로 전개될 것이다. Profibus와 WorldFIP는 유럽에서 개발되어 이미 제품화가 완료된 필드버스 시스템으로 현재 전 세계적으로 널리 사용되기 시작하고 있으며, Fieldbus Foundation 필드버스는 앞으로 전세계의 필드버스 시장을 주도할 수 있는 잠재력을 가진 북미 지역에서 새로이 개발된 필드버스 시스템이다. 여기에 필드버스에서 제공하는 기능들에 비하여 축소된 기능(주로 변수의 입출력 기능)만을 제공하는 센서서비스들이 필드버스의 영역을 침범하는 형태로 전개될 것이다. 센서서비스로는 차량용 네트워크 시스템으로 개발이 되었던 CAN(Controller Area Network) 프로토콜을 기반으로 하는 DeviceNet과 SDS를 비롯하여 Phoenix사에서 개발한 Interbus-S와 Echelon사에서 개발하여 주로 빌딩 자동화용 네트워크로 활용되고 있는 LONworks 등의 네트워크 시스템이 있다. 이러한 센서서비스들은 제한된 기능만을 수행하는 단점에도 불구하고 이미 상품화되어 현장에서 기능과 성능에 대한 검증이 완료되었으며, 매우 저렴한 비용으로 네트워킹 시스템을 구축할 수 있다는 장점들로 인하여 앞으로 필드버스 시장에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다. 현존하는 각종 필드버스와 센서서비스들에 대한 현황이 다음의 표 2에 나타나 있다[8].

#### 4. IEC/ISA 필드버스

본 특집호의 원고[13]에는 Profibus와 WorldFIP를 포함하는 주요 필드버스들의 구조와 특성에 대하여서는 기술되어 있다. 따라서 본 고에서는 [13]에서 다루지는 않았으나, 현재 필드버스의 국제 표준안으로 제정되고 있는 IEC/ISA 필드버스의 구조와 특성에 대하여 간략하게 기술하기로 한다. IEC/ISA 필드버스 응용계층과 사용자 계층에 대한 표준안은 아직 작성 단계에 머물러 있으므로 본 고에서는 표준안이 완성된 물리계층과, 거의 완성 단계에 도달한 데이터 링크 계층만을 기술하기로 한다.

IEC/ISA 필드버스의 물리계층[14]은 버스 토폴로지를 갖는다. 데이터 교환방식은 반이중(half-duplex)방식을 채택하였으며, 트위스트페어선과 Manchester 코딩방식을 사용한다. IEC/ISA 필드버스의 물리계층은 응용시스템의 특성에 따라 두 가지로 분류된다. 먼저 공정자동화(process automation)에 적합한 저속 방식은 31.25kbps의 데이터 전송 속도를 가지며 최대버스길이는 1900m이다. 버스당 최대 노드수는 신호선에 전력이 공급되지 않는 경우는 32개, 전력

이 공급되는 경우는 12개, 또한 전력이 공급되고 위험한 지역에서는 6개로 제한된다. 또한 공장자동화(factory automation)에 적합한 고속 방식에서는 버스길이에 따라 1Mbps(750m)에서 2.5Mbps(500m)의 데이터 전송속도를 가지며 신호선에 전력공급이 없이 버스 당 최대 32개의 노드를 수용한다.

IEC/ISA 필드버스의 데이터링크계층은 현재 드래프트 [15]만이 발표되었으며 올해 안으로 표준안을 확정시킬 예정이며, 응용 계층[16]은 아직 완성되지 않은 상태에 있다. 본 고에서는 드래프트[15]에 나타난 사항들을 요약하여 IEC/ISA 필드버스의 데이터링크계층 구조를 기술하기로 한다. IEC/ISA 필드버스에서 사용되는 주요 용어들이 다음에 나타나 있다.

- DLPDU(Data Link Protocol Data Unit) : 전송되는 프레임의 기본 단위로 프레임의 구별을 가능케하는 헤더와 데이터 부분으로 구성
- DLE(Data Link Entity) : DLPDU의 전송과 수신 역할을 수행하는 개체
- LAS(Link Active Scheduler) : 로컬 링크 내의 모든 DLE의 데이터 전송을 관리하는 DLE
- LM(Link Master) : 링크의 초기화와 스케줄링 등의 LAS 기능을 담당할 수 있는 DLE
- DeT(Delegated Token) : LAS가 링크 내의 DLE에게 프레임 전송을 허가하기 위하여 사용되는 토큰
- RT(Reply Token) : CD DLPDU를 수신한 DLE가 CD DLPDU에 대한 응답을 할 수 있도록 하기 위하여 사용되는 토큰
- ST(Scheduling Token) : 링크 내의 LM DLE에게 LAS 기능을 이전하기 위하여 사용되는 토큰
- DT(Data) DLPDU : 메시지 전송에 사용되는 DLPDU
- DU(Unitdata) DLPDU : 메시지 전송에 사용되는 Unit Data의 DLPDU
- CD(Compel Data) DLPDU : 토큰을 소유한 DLE가 다른 DLE로부터 메시지 전송을 요구하기 위한 DLPDU
- ES(Execute Sequence) DLPDU : LAS가 링크 내의 DLE에게 스케줄링된 만큼의 일정 시간동안 프레임 전송을 허가하기 위하여 DeT를 전달하는데 사용되는 DLPDU
- ET(Execute Transaction) DLPDU : LAS가 링크 내의 DLE에게 한 번의 프레임 전송을 허가 하기 위하여 DeT를 전달하는데 사용되는 DLPDU
- EE(End Execution) DLPDU : DeT의 사용이 종료된 DLE가 DeT를 LAS에게 반납하는데 사용되는 DLPDU
- TL(Transfer LAS) DLPDU : LAS가 링크 내의 다른 LM에게 ST를 전달하기 위한 DLPDU

VC(RR) : CD DLPDU를 전송한 DLE가 CD DLPDU에 대한 응답을 기다리는데 소요되는 시간을 제한하기 위한 타이머

VC(FD) : CD DLPDU를 수신한 DLE가 응답을 구성하는데 소요되는 시간을 제한하기 위한 타이머

VC(UC) : ES DLPDU를 전송한 LAS가 ES DLPDU를 수신한 DLE의 토큰 사용 허용 시간을 제한하기 위한 타이머

VC(RD) : ES DLPDU를 수신한 DLE가 자신의 토큰 사용 허용 시간을 제한하기 위한 타이머

IEC/ISA 필드버스에서 네트워크에 접속된 DLE들의 DU, DT DLPDU 프레임 전송은 링크 내에 LAS로 지정된 DLE에 의하여 관리된다. 즉, LAS는 링크 내의 DLE들에게 미리 스케줄링된 순서에 따라 DeT를 전달함으로써 데이터 전송 권한을 부여하고, 링크 내의 DLE들은 LAS로부터 DeT가 할당되면 전송큐에 대기하고 있던 데이터를 전송한다. DeT는 ET 또는 ES DLPDU를 통하여 전달된다. ET DLPDU를 통하여 DeT가 전달되는 경우에 DeT를 수신한 DLE에게는 한 번의 프레임 전송만이 허용되며, ES DLPDU를 통하여 DeT가 전달되는 경우에 DeT를 수신한 DLE는 미리 스케줄링된 만큼의 지정된 토큰 사용 허용 시간 동안 대기하고 있던 프레임을 전송한다. 이때 DLE의 토큰 사용 허용 시간의 제한은 LAS와 각각의 DLE에 설치된 VC(UC)와 VC(RD) 타이머들에 의하여 관리된다. 토큰 사용 권한이 종료된 DLE는 EE DLPDU를 통하여 DeT를 LAS에게 반납한다. 각각의 DLE에서는 Urgent, Normal, Time-Available의 3 종류의 우선 순위가 다른 메시지들을 생성할 수 있으며, 이러한 메시지들은 DeT에 지정된 우선 순위를 참조하여 전송된다. 즉, DLE가 DeT를 수신하면 DeT에 지정된 우선순위가 같거나 이보다 높은 우선순위의 데이터만을 전송할 수 있으며, 우선 순위가 높은 데이터들을 먼저 전송한다. DeT를 할당받은 DLE는 토큰 사용 권한을 가지고 있는 동안 CD DLPDU를 통하여 RT를 전달함으로써 CD DLPDU를 수신한 노드로부터 데이터 수신에 대한 응답을 요구할 수 있다. CD DLPDU를 수신한 노드는 프레임에 대한 응답과 함께 DeT를 소유한 DLE에게 RT를 반납한다. CD DLPDU에 대한 응답은 제한된 시간 내에 완료되어야 하며, 이는 송신단과 수신단에 설치된 VC(FD)와 VC(RR) 타이머들에 의하여 관리된다. 링크 내에는 LAS 기능을 수행할 수 있는 DLE들이 여러 개가 있을 수 있으며 이러한 DLE들을 LM DLE라 한다. 링크 내에서는 한 번에 하나의 LM DLE만이 LAS 기능을 수행하여야 하며, 현재 LAS 기능을 수행하는 DLE는 TL DLPDU를 통하여 ST를 전달함으로써 링크 내의 다른 LM DLE에게 LAS 기능을 이전할 수 있다.

## 5. 필드버스 설계기법

필드버스에는 각종 센서, 모터, 밸브, 카운터, 타이머, 단 일루프제어기, 소형 PLC 등의 필드기기와 이러한 장비들을 제어하는 다중루프제어기, 중대형 PLC, operator station 등의 장비들이 접속되며, 이러한 장비들에서 생성되는 데이터들은 크게 다음과 같이 주기적, 실시간 및 비실시간 데이터 트래픽의 세 가지로 구분될 수 있다.

(1) 주기적 데이터 : 주기적 데이터는 주로 피드백 제어 루프들로부터 생성된다. 제어 루프는 컨트롤러와 플랜트로 구성되며, 이러한 장비들은 일정한 샘플링 주기를 갖고 데이터를 반복적으로 생성한다. 샘플링된 데이터는 해당 노드의 전송큐에 삽입되어 네트워크 서버에 의하여 데이터 전송 권한이 주어질 때까지 기다린다. 이러한 전송큐에서의 대기 시간과 데이터를 전송하는데 소요되는 시간이 네트워크에서 데이터 전송 지연 시간을 야기한다. Ray et. al.[17]에 의한 시뮬레이션 연구 결과를 통하여 이미 보고된 바와 같이 네트워크를 통하여 데이터가 전송되는 경우에는 데이터 생성 주기가 일정하더라도 데이터 전송 지연 시간은 매번 데이터를 전송할 때마다 불규칙하게 변하는 특성을 가지고 있다. 데이터 전송지연시간이 데이터 샘플링 주기보다 길어지는 경우에는 다음의 그림 3에서 보는 바와 같이 두 개 이상의 센서 데이터가 컨트롤러 노드의 샘플링 주기 동안에 도달하는 경우가 발생할 수 있으며, 이 경우 마지막으로 도착한 (즉, 가장 최근에 생성된) 데이터만이 컨트롤러 데이터를 생성하는데 사용된다. 이 때 “데이터손실” 현상이 발생한다. 반면에 다른 샘플링 주기에서는 센서 데이터가 도달하지 않는 “공허샘플링” 현상이 나타난다. 데이터손실과 공허샘플링이 제어시스템에 미치는 영향에 대한 시뮬레이션 결과가 그림 4에 나타나 있다. 그림에서 실선은 데이터손실과 공허샘플링이 발생하는 경우이고, 점선은 이러한 현상들이 발생하지 않는 경우이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 이러한 현상들은 제어 시스템의 성능을 크게 저하시킬 뿐만 아니라 제어신호의 고주파 잡음으로 인한 jitter현상을 야기하여 액츄에이터의 급속한 마모를 초래한다[18]. 따라서 필드버스에 접속되는 제어 루프에서 주기적으로 발생하는 제어 데이터는 (i) 네트워크의 데이터 지연 시간이 제어 시스템의 샘플링 주기를 초과하지 않도록 하는 동시에, (ii) 센서에서 데이터를 샘플링한 시점에서 시작하여, 센서 데이터를 통하

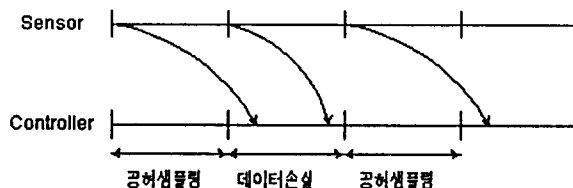


그림 3. 공허 샘플링과 데이터 손실의 예.

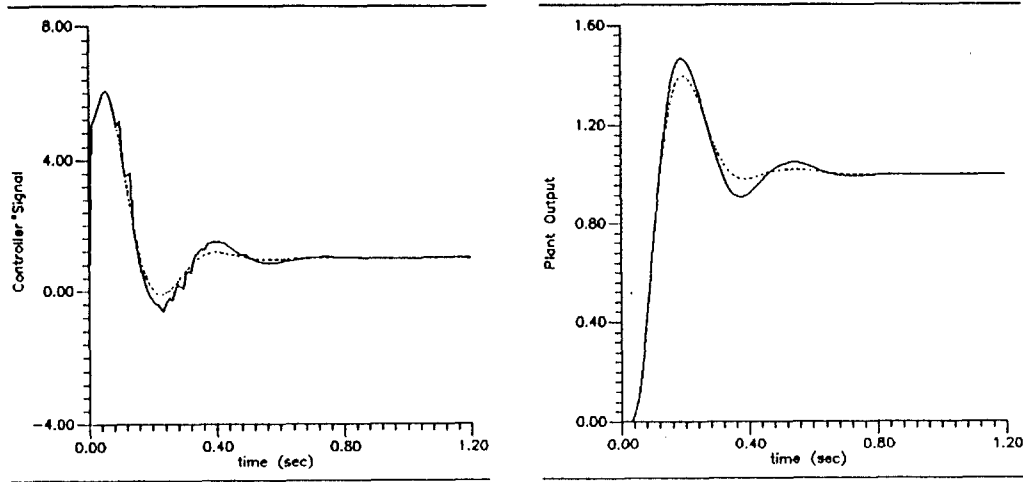


그림 4. 공허 샘플링과 데이터 손실에 의한 제어시스템의 성능 저하.

여 컨트롤러에서 생성된 제어 신호가 액츄에이터에 도달하는 시점까지의 경과 시간으로 정의되는 루프 지연 시간이 미리 정해진 한계치를 초과하지 않도록 설계되어야 한다 [19].

(2) 실시간 데이터 : PLC를 이용한 순차 제어 등에서 각종 사건의 발생을 알려주기 위한 센서 신호와 경고 신호 등과 같은 데이터들은 비주기적으로 발생한다. 이러한 데이터들은 길이가 짧으며, 매우 제한된 시간 이내에 전송이 완료되어야 하는 특성을 가지고 있다. 이러한 데이터들은 가장 높은 우선 순위를 가지고 전송되어야 한다.

(3) 비실시간 데이터 : 제어 및 자동화 관련 프로그램과 데이터 파일의 전송을 비롯하여 데이터 베이스 관리를 위한 메시지 전송 등과 같은 데이터들은 전송 지연 시간에 크게 구속을 받지 않는다. 이러한 데이터들은 비주기적으로 발생하며, 데이터의 크기도 상대적으로 매우 크다. 이러한 데이터들은 필드버스가 제공하는 네트워크 대역폭 가운데 실시간 데이터와 주기적 데이터에 할당되고 남은 대역폭을 사용하여 전송되어야 한다.

필드버스에서는 주기적, 실시간 및 비실시간 데이터들을 생성하는 여러 개의 필드 기기들이 대역폭이 제한된 하나의 네트워크 미디어를 공유한다. 따라서 각각의 노드에서 생성되는 데이터의 트래픽을 적절히 관리 및 제어하지 못하는 경우에는 실시간 및 주기적 데이터의 지연 시간이 미리 정해진 한계치를 초과할 수 있다. 즉, 데이터 지연 시간의 초과로 인하여 필드버스에 접속된 각종 응용 시스템들의 성능 요구 사항을 만족시키지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 경우에 대비하여 필드버스 네트워크의 대역폭은 실시간, 주기적 및 비실시간 데이터들에게 적절히 할당되어 필드버스에 접속되는 각종 응용 시스템들의 성능 요구 사항을 만족시키도록 설계되어야 한다.

본 장에서는 실시간, 주기적 및 비실시간 데이터 트래픽과 관련된 네트워크 파라미터의 값들을 적절히 설정 및 조정함으로써 (i) 실시간 및 주기적 데이터의 지연 시간이 지정된 한계치를 초과하지 않도록 하는 동시에 (ii) 네트워크의 이용도를 최대화하도록 하는 필드버스 설계 기법의 기본 개념에 대하여 기술한다.

대부분의 필드버스 시스템에서 채택하고 있는 매체 접속 제어 프로토콜은 크게 (1) WorldFIP에서 채택하고 있는 중앙 제어 방식의 폴링 시스템과 (2) Profibus에서 채택하고 있는 분산 제어 방식의 토큰-패싱 시스템으로 나뉘어질 수 있다. 폴링과 토큰 전달 방식은 모두 순환(cyclic)서비스를 기본 원칙으로 운용된다. 즉, 폴링신호 또는 토큰은 미리 정해진 순서에 따라 필드버스에 접속된 각각의 노드를 차례로 방문하며, 각각의 노드의 전송큐에서는 폴링신호 또는 토큰이 도착하는 순간에 대기하고 있는 데이터를 FIFO (First-In-First-Out)방식으로 전송한다. 본 고에서 제시하는 알고리즘은 폴링과 토큰-패싱을 포함하는 모든 순환 서비스의 매체 접속 제어 프로토콜에 적용될 수 있다. 본 장의 제1절에서는 필드버스 네트워크가 주기적 데이터만을 전송하는 비교적 단순한 경우에 필드버스 설계 기법에 대하여 기술하고, 제2절에서는 주기적 및 비실시간 데이터의 두 가지 형태의 데이터만을 전송하는 경우에 필드버스 설계 기법에 대하여 기술하며, 제3절에서는 1과 2절에서 제시된 설계 기법의 개념을 확장하여 주기적, 실시간 및 비실시간 데이터를 모두 전송하는 일반적인 경우에 대역폭 할당을 통한 필드버스 설계 기법에 대하여 기술한다.

### 5.1 주기적 데이터 트래픽

필드버스 네트워크에  $M$ 개의 제어 루프들이 접속된 경우에 대하여 생각하자. 각각의 제어 루프는 플랜트의 센서 노

드와 콘트롤러 노드의 두 개의 데이터 전송 노드를 갖는다 (플랜트의 액츄에이터 노드는 일반적으로 네트워크를 통하여 데이터를 전송하지 않는다). 제어 루프  $i$ 에 속한 센서와 콘트롤러 노드는  $T_i$ 의 동일한 샘플링 주기를 갖는다. 네트워크 내의 모든 제어 루프들에서 생성되는 주기적 데이터는 일정한 길이로 패킷화되어 전송되는 것으로 가정한다. 그러나 제어 루프마다 주기적 데이터의 패킷 길이가 다를 수 있으며, 이러한 경우에는 Hong[19]에서 제시한 packet pacing 방법을 사용한다. 제어 시스템에서는 가장 최근에 생성된 센서 및 콘트롤러 신호를 이용하여 시스템을 제어하여야 하므로 주기적 데이터 전송큐의 큐 용량은 하나로 제한한다 [17]. 주기적 데이터만을 전송하는 필드 장비들로만 구성된 필드버스 시스템에서 각각의 노드에서 생성되는 주기적 데이터 트래픽은 다음의 두 가지 조건이 만족되도록 설계되어야 한다.

(C1) 데이터 제거 및 공허 샘플링 현상이 발생하지 않아야 한다. 즉, 제어 루프  $i$ 에 대하여 센서(또는 콘트롤러) 노드에서 센서(또는 콘트롤러) 데이터가 전송큐에 삽입된 순간부터 같은 센서(또는 콘트롤러) 데이터가 콘트롤러(또는 액츄에이터) 노드에 완전히 수신할 때까지의 데이터 전송 지연 시간이 제어 루프  $i$ 에서의 샘플링 주기  $T_i$ 를 초과하지 않도록 하여야 한다.

(C2) 제어 루프  $i$ 에 대하여 센서 노드에서 데이터를 샘플링한 시점에서 시작하여, 샘플링된 센서 데이터를 통하여 콘트롤러 노드에서 생성된 제어 신호가 액츄에이터에 완전히 도달하는 시점까지의 경과 시간으로 정의되는 루프지연 시간  $D_i$ 가 미리 정하여진 최대 한계값  $\Phi_i$ 를 초과하지 않아야 한다.

주기적 구간에서 주기적 데이터들에 대한 네트워크 대역폭 할당 문제는 Hong[19]에서 제시된 윈도우 스케줄링 알고리즘을 사용할 수 있다. 윈도우 스케줄링 알고리즘에서는 먼저 루프지연시간의 최대 한계값  $\Phi_i$ 를 바탕으로 하여  $M$ 개의 제어 루프들 가운데 샘플링 주기가 가장 작은 제어 루프의 샘플링 주기  $T_1$ 을 결정한다. 다음에는 그림 5에 나타난 바와 같이 필드버스에서 제공하는 대역폭을  $T_1$ 의 일정 주기로 시분할(time-division multiplexing) 방식을 통하여 분할하며, 각각의  $T_1$ 구간을 다시  $\gamma$ 개의 윈도우로 나눈다. 윈도우 스케줄링 알고리즘에서 주기적 데이터는 각각의 윈도우에 실려 전송된다. 따라서 각 윈도우의 길이는 주기적 데이

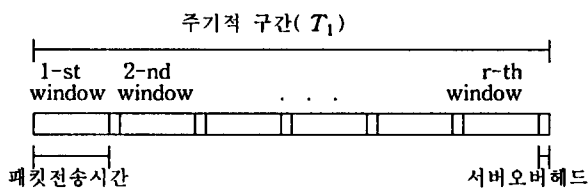


그림 5. 필드버스 대역폭 할당 : 주기적 트래픽.

터의 패킷 전송 시간과 동일하다. 그림 5에서 서버오버헤드는 네트워크 서버가 각 노드를 순환하는 과정에서 각 노드에서 서버 처리 시간과 서버 전송 시간을 나타낸다.

윈도우 스케줄링 알고리즘의 기본 개념은 필드버스 네트워크 내에  $N_p$ 개의 주기적 데이터를 생성하는 노드가 존재하는 경우에  $N_p$ 개의 노드가  $T_1$ 의 구간에서  $\gamma$  ( $\gamma \leq N_p$ )개의 윈도우를 서로 다이내믹하게 공유하도록 하는 것이다. 이를 위하여  $T_1$ 의 주기적 구간 동안 샘플링 되는 데이터의 개수가  $\gamma$ 개를 초과하지 않도록 하는 동시에 각 제어 루프에서 루프지연시간의 최대 한계값  $\Phi_i$ 를 초과하지 않도록 각 제어 루프에서의 샘플링 주기  $T_i$  ( $i=2$ 에서  $M$ )를 스케줄링한다. 이 경우에  $T_1$ 의 구간 동안에 생성된 모든 데이터들은 같은 시간 내에 모두 전송이 완료되며, 따라서 네트워크에 접속된 모든 제어 루프에서 데이터의 전송 지연 시간은 제어 루프들 가운데 최소 샘플링 주기인  $T_1$ 을 초과하지 않는다.

### 5.2 주기적/비실시간 데이터 트래픽

본 절에서는 5.1절에서 제시한 윈도우 스케줄링 기법을 주기적 및 비실시간 데이터 트래픽으로 구성된 필드버스 네트워크 시스템으로 확장한다[20]. 필드버스 네트워크에는  $M$ 개의 제어 루프들이 접속되며, 주기적 데이터의 생성 조건은 5.1절에 기술된 사항과 동일하다. 필드버스 네트워크는 주기적 데이터 전송큐 이외에  $N_p$ 개의 비실시간 데이터 전송큐를 갖는다. 비실시간 데이터의 길이는 일반적으로 매우 길며, 데이터 길이 또한 수시로 변한다. 이러한 비실시간 데이터 역시 전송단에서 일정 길이를 갖는 여러 개의 패킷으로 분리되어 한 번에 한 개씩의 패킷이 전송되며, 이러한 패킷들은 수신단에서 재조립된다. 비실시간 데이터 전송큐에서 데이터의 도착 주기는 불규칙하며, 비실시간 데이터 전송큐의 용량은 데이터 패킷이 전송큐 용량의 포화 상태인 한 메시지 제거 현상이 발생하지 않도록 충분히 크다고 가정한다.

본 논문에서 제시하는 설계 기법의 기본 개념은 필드버스에서 제공하는 네트워크 대역폭을 그림 6에 나타난 바와 같이  $M$ 개의 제어 루프들 가운데 샘플링 주기가 가장 작은 제어 루프의 샘플링 주기  $T_1$ 의 일정 주기로 시분할방식을 통하여 분할하며, 이를 다시 주기적 구간( $\tau_p$ )과 비실시간 구간( $\tau_n$ )으로 구분한다. 주기적 대역폭 구간에서는 주기적 데이터만이 전송되도록 하며, 비실시간 대역폭 구간에서는 비실시간 데이터만이 전송된다.

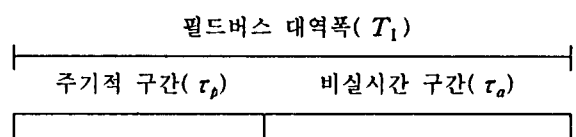


그림 6. 필드버스 대역폭 할당 : 주기적/비실시간 트래픽.



$T_1$ 의 시분할 대역폭 내의  $\tau_p$ 의 주기적 구간에서의 데이터 전송을 위한 대역폭 할당은 5.1절의 주기적 데이터 트래픽의 경우와 동일하다. 즉, 시분할 대역폭  $\tau_p$ 는 그림 7에 나타난 바와 같이  $\gamma$ 개의 윈도우로 나뉘어지며, 대역폭 할당 알고리즘은  $\tau_p$ 의 주기적 구간 동안 샘플링 되는 데이터의 개수가  $\gamma$ 개를 초과하지 않도록 하는 동시에 각 제어 루프에서 루프지연시간의 최대 한계값  $\Phi$ 를 초과하지 않도록 각 제어 루프에서의 샘플링 주기  $T_s$ 를 스케줄링한다. 그림 7에서 주기적 데이터 패킷 전송 시간과 서버 오버헤드를 각각  $L_p$ 와  $\sigma$ 라 하면, 주기적 구간의 최대값은  $\gamma L_p + R$ 이다. 여기서  $R = N\sigma$ 는 서버가 네트워크 내의 모든 노드를 한 번씩 방문하는데 소요되는 서버 순환 시간이다. 만일  $\gamma L_p + R > T_1$ 인 경우에는  $T_1$ 의 주기 동안에 생성된 주기적 데이터 가운데 일부는 같은 기간동안에 전송이 되지 못하고 전송큐에서 제거되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 주기적 트래픽이 안정화되기 위한 조건은  $\gamma L_p + R \leq T_1$ 로 주어진다. 만일에 필드버스 네트워크가  $\gamma L_p + R \leq T_1$ 의 조건을 만족하지 못하는 경우에는 네트워크 설계자는 필드버스에 접속되는 제어 루프의 개수  $M$ 을 제한할 필요가 있다.

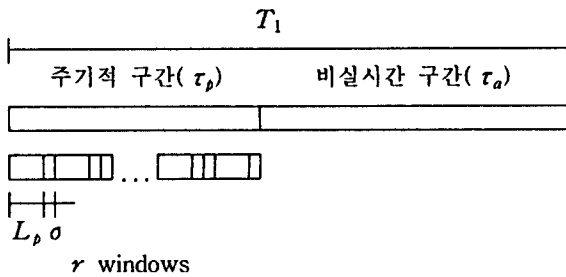


그림 7. 주기적 구간에서 대역폭 할당.

그림 6의  $T_1$ 의 대역폭 구간에서 주기적 구간  $\tau_p$ 를 제외하고 나머지 대역폭은 비실시간 데이터의 전송을 위하여 할당된다. 비실시간 구간  $\tau_n$ 에서는 비실시간 데이터들만이 전송되며, 이러한 데이터는 전송 지연 시간에 크게 구애를 받지 않으므로 주기적 데이터가 전송되고 남은 대역폭을 이용하여 전송되어야 한다. 따라서 어느 노드에서든지 주기적 데이터가 생성되면 비실시간 데이터의 전송은 즉시 중지되고 네트워크 대역폭은 다시 주기적 데이터 전송에 할당되어야 한다. 이를 위하여 서버의 FC(Frame Control) 영역에 1 바이트 길이의 PB(Periodic Byte)를 추가한다. PB의 첫 번째 비트 PSB(Periodic Service Bit)는 네트워크 내의 모든 노드들에게 비실시간 구간이 종료되고 새로운 주기적 구간이 시작되었음을 알리는데 사용되며, 나머지 7비트는 어느 노드로부터 주기적 구간이 시작되었는가를 기록하는데 사용된다.

서버(토큰 또는 폴링 신호)는 미리 지정된 순서에 따라 필드버스 내의 모든 노드들을 차례로 방문한다. 서버가 도

착하면 노드는 먼저 주기적 데이터 전송큐에 전송될 메시지가 대기하고 있는가를 검사한다. 만일에 서버가 도착한 순간에 주기적 데이터 전송큐에 데이터가 대기하고 있고 서버의 PSB가 0의 값을 가지고 있으면, 노드는 PSB를 1로 변환하고 PB의 나머지 7비트 영역에 해당 노드의 주소를 기록한다. 해당 노드는 비실시간 데이터 전송큐에 데이터가 대기하고 있는가에 관계없이 주기적 데이터만을 전송한 후 서버를 다음 노드(토큰-패싱 시스템의 경우) 또는 마스터 노드(폴링 시스템의 경우)에게 넘긴다. 서버는 네트워크 미디어를 통하여 전파되기 때문에 네트워크 내의 모든 노드들은 서버의 PSB를 통하여 주기적 구간이 시작되었음을 인지한다. 이때부터 주기적 구간  $\tau_p$ 가 시작되며, 네트워크 내의 모든 노드들은 서버가 도착하면 PSB가 다시 0으로 변환될 때까지 주기적 데이터만을 전송하고 비실시간 데이터는 전송하지 않는다. 주기적 구간  $\tau_p$ 동안  $N$ 개의 주기적 데이터 전송큐 가운데  $\gamma$ 개 이하의 데이터만이 생성되도록 스케줄링되어 있으므로 서버가 네트워크 내의 모든 노드들을 순환하는 동안에 이러한 주기적 데이터들은 전송이 완료된다. 네트워크 내의 각 노드는 서버가 도착할 때마다 PB에 기록된 주소와 자기 노드 주소를 비교하며, 서버가 PSB를 1로 변환한 노드로 돌아오게 되면 해당 노드는 PB의 모든 비트를 0으로 변환한다. 이 때부터 네트워크 내의 모든 노드들은 비실시간 구간이 시작되었음을 인지하게 되어 서버가 노드에 도착하면 대기하고 있던 비실시간 데이터 패킷을 전송한다. 이러한 동작은 서버의 FC 영역에 1 바이트 길이의 PB만을 추가하면 되므로 매우 간단히 구현될 수 있다.

본 설계 기법에서는 비실시간 데이터의 패킷 길이를 제한함으로써  $T_1$ 의 구간에서 생성된  $\gamma$ 개의 주기적 데이터의 전송 지연 시간이  $T_1$ 을 초과하지 않도록 한다. 그림 6에서 비실시간 구간  $\tau_n$ 의 길이는  $T_1 - \tau_p$ 이다. 네트워크 내에  $N$ 개의 노드가 있다면, 서버가 네트워크 내의 모든 노드들을 한 번 순환하는 동안에  $T_1 - \tau_p$ 의 시간 내에 전송될 수 있는 비실시간 데이터의 최대 개수는  $(N - \gamma)$ 이다. 그러나 주기적 데이터가 생성되는 순간에 비실시간 데이터 전송큐가 데이터를 전송하고 있는 중이라면 이미 전송이 시작된 데이터는 전송을 완료하여야 할 것이다. 따라서  $T_1$ 의 시간 동안에 실제로 전송될 수 있는 비실시간 데이터의 최대 개수는  $(N - \gamma + 1)$ 이 된다.  $T_1$ 의 구간에서 생성된  $\gamma$ 개의 주기적 데이터의 전송 지연 시간이  $T_1$ 을 초과하지 않도록 하기 위하여서는 여러 개의 패킷으로 분리되어 전송되는 비실시간 데이터의 패킷 길이는  $L_n \leq [T_1 - (\gamma L_p + R)] / (N - \gamma + 1)$ 의 조건을 만족하여야 한다.

필드버스에서 주기적 및 비실시간 데이터의 트래픽이 안정화되기 위하여서는 비실시간 데이터의 도착 빈도를 네트워크의 용량이 초과되지 않는 범위로 제한하여야 한다. 주기적 및 비실시간 데이터가 공존하는 필드버스 네트워크의

안정화 조건은 Ibe와 Cheng[21]이 제시한 순환 서비스 큐잉 시스템에서의 station backlog 기법을 이용하여 구할 수 있으며, 비주기적 데이터의 도착 빈도가 Poisson 분포를 가지는 경우에 필드버스 네트워크 시스템의 안정화 조건이 [20]에 나타나 있다.

### 5.3 실시간/주기적/비실시간 데이터 트래픽

본 절에서는 5.2절에서 제시된 필드버스 설계 기법을 실시간, 주기적 및 비실시간 데이터 트래픽으로 구성되는 일반적인 경우의 필드버스로 확장한다[20]. 필드버스 네트워크에서 주기적 및 비실시간 트래픽의 조건은 5.2절에 기술된 사항과 동일하다. 필드버스 네트워크는 주기적 및 비실시간 데이터 전송큐 이외에  $N_c$ 개의 실시간 데이터 전송큐를 갖는다. 실시간 데이터의 길이는 일반적으로 매우 짧으며, 따라서 일정 길이로 패킷화되어 전송되는 것으로 가정한다. 실시간 데이터의 도착 주기 역시 불규칙한 분포를 가지며, 실시간 데이터 전송큐의 용량 역시 데이터 패킷이 전송큐 용량의 포화 상태로 인한 메시지 제거 현상이 발생하지 않도록 충분히 크다고 가정한다. 실시간, 주기적 및 비실시간 데이터 트래픽으로 구성되는 필드버스 시스템의 대역폭 할당에 대한 기본 개념이 그림 8에 나타나 있다. 필드버스에서 제공하는 대역폭을 주기적 구간과 비실시간 구간으로 나누는 것은 5.2절에서의 경우와 동일하며, 각 구간에서 데이터 전송 방법 역시 동일하다. 그러나 실시간 데이터는 노드에 서버가 도착하는 즉시 전송된다. 즉, 하나의 노드에 실시간, 주기적 및 비실시간 데이터 전송큐가 공존하는 경우에 서버가 도착하는 순간에 실시간 데이터는 주기적 및 비실시간 데이터에 우선하여 전송된다.

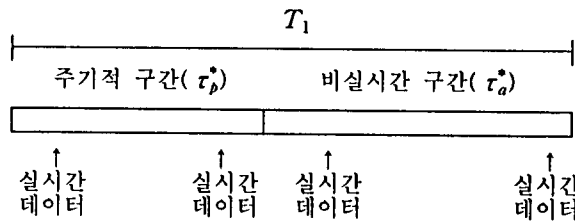


그림 8. 필드버스 대역폭 할당 : 실시간/주기적/비실시간 트래픽.

주기적 구간에서 최악의 경우에  $N_c$ 개의 전송큐가 모두 전송할 데이터를 가지고 있을 수 있으므로 주기적 구간  $\tau_p$ 의 최댓값은  $\gamma L_p + N_c L_c + R$ 이다. 따라서 주기적 데이터의 전송큐에서 포화 상태가 발생하지 않도록 하는 안정화 조건은  $\gamma L_p + N_c L_c + R \leq T_1$ 로 주어진다. 또한, 실시간 및 주기적 데이터의 전송지연시간에 대한 요구사항을 만족시키기 위하여서는 비실시간 데이터의 패킷 전송 시간이  $L_n \leq [T_1 - (\gamma L_p + N_c L_c + R)] / (N - \gamma + 1)$ 로 제한되어야 한다. 필드버스 네트

워크에서 실시간, 주기적 및 비실시간 데이터의 트래픽은 네트워크의 용량을 초과하여서는 안된다. 각 노드에서 실시간 및 비실시간 데이터의 도착 빈도가 Poisson 분포를 가지는 경우에 실시간, 주기적 및 비실시간 데이터 트래픽으로 구성된 필드버스 네트워크의 안정화 조건이 [20]에 주어져 있다.

## 6. 결론

본 고에서는 분산제어 및 자동화 시스템에서 필드버스 기술의 필요성과 현황 및 앞으로의 전망에 대하여 기술하였다. 또한, 필드버스에 접속되는 장치들에서 생성되는 데이터들은 크게 주기적, 실시간 및 비실시간 데이터 트래픽의 세 가지로 나눌 수 있으며, 필드버스 네트워크의 제한된 대역폭이 이러한 데이터 트래픽을 수용하는 경우에 실시간 및 주기적 데이터의 전송지연시간에 대한 요구사항을 만족시키는 동시에 네트워크 대역폭의 이용도를 최대화할 수 있는 대역폭 할당에 의한 네트워크 설계기법을 소개하였다.

필드버스는 원래 공장의 생산 자동화시스템 및 제철, 석유화학, 식품, 시멘트 등의 공정의 분산제어 시스템에 사용하도록 고안되었으나, 그 외에 핵/전기 발전소, 쓰레기 소각 시설 및 폐수처리시설 등의 환경시스템, 빌딩자동화시스템 등 디지털 분산제어를 요구하는 거의 모든 분야에 널리 사용될 수 있다. 또한 필드버스 관련 기술의 확보는 항공기, 인공위성, 고속전철, 선박, 자동차 등의 고도의 제어기능을 요구하는 시스템의 제어장치에 바로 적용할 수가 있어 그 응용 범위 및 파급효과가 매우 크다고 할 수 있다. 필드버스 시스템은 고도의 첨단 기술을 요구하는 분야가 아니고 현재 국내에서 확보된 컴퓨터, 제어 및 통신 기술만으로도 충분히 관련 기술의 확보가 가능한 분야이다. 따라서 앞으로 엄청난 수요가 예상되고, 선진국에서도 출발 단계에 있는 이 분야에 국내 학·연·산이 협력하여 연구 개발을 수행함으로써 또 하나의 선진국에 대한 기술 종속 분야로 남기지 말아야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] J. R. Piementel, *Communication Networks for Manufacturing*, Prentice Hall, 1990.
- [2] Special Issue on Communication for Manufacturing, *IEEE Network*, Vol.2, May 1988.
- [3] *MAP 3.0 Specification 1993 Release*, World Federation of MAP/TOP Users Groups, 1993.
- [4] A. Valenzano, et al., *MAP and TOP Communications : Standards and Applications*, Addison Wesley, 1992.

- [5] A. H. McMillan and C. J. Gardner, *Mini-MAP '93*, Open I.T. Corp., 1994.
- [6] 홍승호, "MAP : 공장자동화를 위한 네트워크의 표준", 대한기계학회지, 35권, 5호, pp. 427-441, 5월 1995년.
- [7] International Organization for Standardization, Basic Reference Model for Open System Interconnection, ISO 7498, 1984.
- [8] J. R. Jordan, *Serial Networked Field Instrumentation*, John Wiley & Sons, 1995.
- [9] ISA-TR50.02, Part 9 TRI, *User Layer Technical Report for the Fieldbus Standard*, 1993.
- [10] DIN 19 245 *PROFIBUS Standard*, Version 4.0, August, 1987.
- [11] *FIP Club Functional Specifications*, Club FIP, Bp 850, 54011 Nancy, Cedex, France.
- [12] ISO 11898, *Road vehicles-Interchange of digital information-Controller area network (CAN) for high speed communication*, 1993.
- [13] 박홍성, 권옥현 "산업용 네트워크 그 응용", 제어·자동화·시스템공학회지, 7월 1996년.
- [14] ISA-S50.02-1992. *Standard for use in Industrial Control Systems. Part 2 : Physical Layer Specification and Service Definition*, 1992.
- [15] ISA-dS50.02, Draft Standard : *Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems, Part, 4 : Data Link Protocol Specification*, 1993.
- [16] ISA/SP50-1992-457C, *Fieldbus Application Layer Specification*, 1992.
- [17] A. Ray, S. H. Hong, S. Lee and P. J. Egbelu, "Discrete-event/continuous-time Simulation of Distributed Data Communication and Control Systems," *Trans. Society Comput. Simul.*, vol. 5, pp. 71-85, Jan. 1988.
- [18] A. Ray and Y. Halevi, "Integrated Communication and Control Systems : Part I-Analysis and Part II-Design Considerations," *ASME J. Dyn. Sys. Meas. & Cont.*, vol. 110, pp. 367-381, Dec. 1988.
- [19] S. H. Hong, "Scheduling Algorithm of Data Sampling Times in the Integrated Communication and Control Systems", *IEEE Trans. Contr. Syst. Technology*, Vol. 3, pp. 225-230, June 1995.
- [20] S. H. Hong, "Design of Fieldbus Networks by Bandwidth Allocation Scheme." *IECON 95*, Orlando, FL, 1995.
- [21] O. C. Ibe and X. Cheng, "Stability Conditions for Multiqueue Systems with Cyclic Service," *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 33, No. 1, pp. 102-103, January 1988.

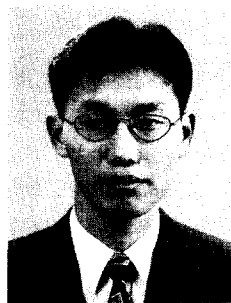
## 저 자 소 개



### 홍 승 호

1956년 5월 31일생 1982년 연세대학교 기계공학과 졸업(학사) 1985년 Texas Tech. University 기계공학과(석사) 1989년 Pennsylvania State university 기계공학과(박사) 1989년~1992년 한국전자통신연구소 선임연구원 1992년~현재 한양대학교 제어계측공학과 조교수 주관심분야 : 분산제어 및 자동화네트워크 시스템

(425-791) 경기 안산시 사1동 1271  
TEL. 0345)403-0726 / FAX. 0345) 406-4439



### 김 기 암

1972년 11월 26일생 1995년 한양대학교 공학대학 제어계측공학과 졸업(공학사) 1995년 3월~현재 한양대학교 공학대학 제어계측공학과 석사과정 주관심분야 : 분산제어, 필드버스

(425-791) 경기 안산시 사1동 1271  
TEL. 0345) 400-5665 /  
FAX. 0345) 406-6639



### 김 지 용

1970년 10월 1일생 1996년 한양대학교 공학대학 제어계측공학과 졸업(공학사) 1996년 3월~현재 한양대학교 공학대학 제어계측공학과 석사과정 주관심분야 : 필드버스, 실시간 시스템

(425-791) 경기 안산시 사1동 1271  
TEL. 0345) 400-5665 /  
FAX. 0345) 406-6639



### 고 성 준

1970년 11월 28일생 1996년 한양대학교 공학대학 제어계측공학과 졸업(공학사) 1996년 3월~현재 한양대학교 공학대학 제어계측공학과 석사과정 주관심분야 : 필드버스, Network Simulation

(425-791) 경기 안산시 사1동 1271  
TEL. 0345) 400-5665 /  
FAX. 0345) 406-6639