

IEC/ISA 필드버스 시스템에서 실시간 데이터 전송 특성 분석

Analysis on the Real-Time Data Transmission in the IEC/ISA Fieldbus

고성준*, 홍승호**

한양대학교 제어계측공학과(Tel:+82-345-400-4084; Fax:+82-345-406-6639; E-mail: intermzo@ccrs.hanyang.ac.kr)

**한양대학교 제어계측공학과(Tel:+82-345-400-5213; Fax:+82-345-406-4632; E-mail: shhong@hyunp2.hanyang.ac.kr)

Abstracts Fieldbus is the real-time communication network for process control and manufacturing automation systems. IEC/ISA fieldbus was proposed as an international standard of fieldbus network. This protocol is operated on the basis of token-passing and scheduling mechanism. In this paper, we analyze the performance characteristics of the 1996 version of IEC/ISA fieldbus systems.

Keywords Fieldbus, IEC/ISA, Performance, Simulation, Real-Time

1. 서론

필드버스는 ISO(International Standards Organization)에서 제시하는 OSI reference model의 7계층 가운데 산업 현장의 자동화 시스템에 적합한 구조인 물리 계층, 데이터 링크 계층 및 응용 계층의 3계층으로 구성된 모델이다[6]. 본 논문에서 다루는 IEC/ISA 필드버스는 토큰 순환에 의한 데이터 전송 방식과 스케줄링에 의한 데이터 전송 방식을 지원하는 네트워크로서 현재 필드버스의 국제 표준안으로 제정이 진행되고 있다. 표준 모델이 완성되면 사용자는 특정 회사의 필드 장비에 제한되지 않고 원하는 제품을 필드버스에 접속시켜 운영할 수 있게 된다.

최근 대부분의 생산 자동화 환경에서 필드버스는 공정 제어와 생산 자동화 시스템을 위한 하위 계층의 실시간 통신을 담당하고 있다. 필드버스에는 센서, 모터, PLC 등의 장비들이 접속되고 이러한 장비들은 주기적, 비주기적, 실시간 데이터들을 생성하게 된다. 필드버스에서 각종 데이터들은 메시지의 형태로 네트워크를 통하여 전달된다. 그러나 실시간 처리를 요구하는 자동화 시스템에서 네트워크로 인한 데이터 지연 시간이 허용 한계치를 초과하는 경우에는 응용 시스템의 기능과 성능에 영향을 미칠 수 있고 특히, 실시간 데이터는 제한된 시간 이내에 데이터의 전송이 완료되어야 하는 특성을 지니고 있다[3]. 따라서 생산 자동화 시스템에 필드버스를 도입하는 경우에 데이터 지연 시간과 단위 시간 당 데이터 처리량 등의 네트워크 성능을 미리 분석할 필요가 있다.

2. IEC/ISA 필드버스

IEC/ISA 필드버스는 현재 사용되고 있는 다양한 필드버스 프로토콜의 장점을 선별하여 새로 제안되고 있는 표준 모델이다. IEC/ISA 필드버스에 대한 성능 해석은 [5]에 나타나 있다. 그러나 [5], 1993년도 draft version을 토대로 수행되었으며, 1996년도 version은 1993년도 version에 비하여 프로토콜의 상당 부분이 바뀌었다. 본 논문에서는 프로토콜이 거의 완성 단계에 있는 IEC/ISA 필드버스의 1996년도에 제안된 draft[1,2]를 토대로 한다.

IEC/ISA 필드버스는 기본적으로 중앙제어 방식의 프로토콜을 사용하고 있다. 전송과 수신 역할을 행할 수 있는 하나의 개체

를 DLE(Data Link Entity)라고 하며, 하나의 링크에 나타나는 각각의 DLE를 노드라 한다. 로컬 링크에는 한 개의 LAS(Link Active Scheduler) DLE, 한 개 이상의 LM(Link Master) DLE, 그리고 일반 DLE 등이 있다. LAS DLE는 링크를 초기화하고, 자신이 가진 데이터를 전송할 수도 있을뿐더러 각 로컬 링크에 존재하는 모든 DLE들의 토큰 분배와 타이머, 카운터 등을 관장하는 역할을 한다. LM DLE는 현재의 LAS가 고장났거나 LAS로서의 기능을 상실한 경우에 즉각적으로 LAS 기능을 백업하여 새로운 LAS 기능을 할당 또는 수행할 수 있도록 설정된 특별한 DLE이다. 로컬 링크에는 최대 32개의 노드가 있다. 또한 IEC/ISA 필드버스는 31.25kbit/s, 1Mbit/s, 2.5Mbit/s의 전송 속도를 지원한다[2].

IEC/ISA 필드버스에서는 Scheduler Token, Delegated Token, Reply Token의 3가지 토큰이 사용된다. Scheduler Token은 LAS가 보관하고 관장하며, LM DLE에게 현재 LAS 기능을 이전하기 위해 사용된다. 즉, LM DLE에게 LAS의 기능을 허가하는 토큰이다. Delegated Token은 LAS가 로컬 링크 내의 활성 DLE에게 전송을 허가하기 위하여 사용하는 토큰으로서 LAS가 생성하여 링크상의 각 DLE에게 전송하며 사용이 끝나면 반납되고, 반납되지 않으면 사용시간이 만료된 것으로 간주된다. Reply Token은 다른 DLE의 응답을 요구하기 위하여 사용하는 토큰으로서 현재의 Delegated Token 또는 Scheduler Token을 보유한 노드가 생성하며, 각 DLE에게 즉각적인 응답을 요구하기 위해 사용된다. 응답이 수신되면 반납되고 응답 주기 동안 반납되지 않으면 자동적으로 없어진다.

IEC/ISA 필드버스는 구현할 수 있는 기능의 관점에서 Basic Class, LM DLE Class, Bridge Class의 3가지 Class로 분류할 수 있다. Basic Class는 필드버스 기능의 최소 요구 사항을 수행한다. DLE간의 경로 설정, 해제 및 데이터 교환 기능 등이 여기에 해당한다. LM DLE Class는 같은 레벨의 DLE끼리 LAS 기능을 교환하고 검사하며 링크내의 다른 DLE들에게 동기화를 목적으로 내부 타이머를 제공한다. Bridge Class는 두 개 이상의 로컬 링크를 연결하여 상호간에 데이터 교환이 이루어 질 수 있도록 한다.

각각의 데이터는 DLPDU라고 하는 미리 정의된 구조로 생성되며 헤더와 데이터의 부분으로 구성되어 있다. IEC/ISA 필드버스에서는 1(Time Available), 2(Normal), 3(Urgent)의 3가지 우선 순위를 제공한다. 우선 순위에 따라 하나의 DLPDU에 실을 수 있는 데이터의 양을 제한하는데 우선 순위 1은 256 octet 이

하, 우선 순위 2는 128 octet 이하, 우선 순위 3은 64 octet 이하이다. 이 DLPDU를 통하여 각각의 DLE는 데이터를 서로 교환한다. 1996년도에 제안된 표준안에는 22가지 종류의 DLPDU가 표 1과 같이 정의되어 있다.

표 1 IEC/ISA 필드버스에서 사용하는 DLPDU의 종류

Table 1 DLPDU Type of IEC/ISA Fieldbus

이 름	기 능
EC	전송의 초기화를 위해 상대방 DLE와의 경로 설정
DC	이미 설정된 경로 해제
RC	이미 설정된 경로 리셋
CA	제한된 양의 데이터 또는 Acknowledge를 요구
CD	데이터 응답을 요구
ED	DLE간의 데이터 상호 교환을 요구
DT	데이터
SR	전송시 에러 발생 여부를 알리거나 LAS 기능 전달 요구에 대한 응답에 사용
CT	링크내의 타이머 동기화를 요구
TD	링크내의 모든 노드에 동기화를 위한 타이머 분배
RQ	두 DLE간의 전송 지연 시간 계산 요구
RR	두 DLE간의 전송 지연 시간 계산값
PN	이전에 비활성이었던 DLE들에 대한 활성 여부 검사
PR	현재 자기 노드의 활성 여부를 LAS에 보고
PT	링크내의 DLE들에게 차례로 Delegated Token 전송
ES	미리 계획된 DLE들에게 Delegated Token 전송
RT	PT, ES를 통해 받은 토큰을 LAS에게 반납
RI	토큰 사용 기간의 연장 요구
CL	LM이 링크를 초기화하거나 현재 LAS가 고장난 경우에 LAS 기능 전송 요구
TL	현재의 LAS가 다른 LM에게 LAS 기능 전달
WK	비활성 상태의 DLE를 활성 상태로 전환
IDLE	현재 활성 상태의 DLE를 비활성 상태로 전환

IEC/ISA 필드버스에서 실제 데이터의 교환에 사용되는 토큰은 Delegated Token이며 LAS는 PT DLPDU나 ES DLPDU를 통하여 Delegated Token을 각 노드에 전송함으로써 데이터 전송 권한을 부여한다. PT DLPDU는 DLE 내의 데이터를 미리 지정된 순서에 따라 차례로 전송되도록 하는 순환 서비스를 지원한다. PT DLPDU를 통해 토큰을 받은 노드는 PT DLPDU에 기록된 PT duration을 토큰 사용 기간을 저장하는 카운터인 C(RD)에 복사하고 PT duration동안 노드에 있는 데이터중 PT의 우선 순위보다 낮지 않은 우선 순위를 가진 데이터를 전송하게 된다. 이 때 1 octet을 전송할 때마다 C(RD)는 1씩 감소하게 되고 0이 되면 데이터 전송을 중단한다. 토큰 사용이 끝나면 LAS에게 토큰을 반납하며 V(TCL)에 기록된 모든 노드를 한 바퀴 완전히 돌았으면 LAS는 토큰의 실제 순환 시간을 계산하여 다음번 PT 전송시에 PT의 우선 순위에 반영한다. ES에 의해 전송되는 토큰은 우선 순위를 갖고 있지 않으며, 미리 스케줄링된 순서에 따라 DLE 내의 데이터를 전송하는데 사용된다. 이 토큰을 받은 노드는 PT의 경우처럼 ES DLPDU에 기록된 ES duration을 C(RD)에 복사하고 ES duration동안 미리 계획된 작업들을 순차적으로 수행하고 작업을 완료한 후에 LAS에게 반납한다. 토큰을 반납받은 LAS는 다음으로 계획된 노드에 미리 계획된 시간에 ES를 전송하여 토큰을 인가한다.

3. IEC/ISA 필드버스의 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 IEC/ISA 필드버스의 데이터 링크 계층에 대한 성능을 시뮬레이션 기법을 통하여 해석한다. 이 연구를 위해 IEC/ISA 필드버스에서 제공하는 우선 순위 기능의 동작과 실시간 데이터의 전송 특성에 영향을 주는 파라미터를 파악하고, 제

안서를 토대로 데이터 링크 계층에 대하여 스케줄링 기능과 우선 순위 기능을 포함한 이산 사건 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이션 모델을 이용하여 IEC/ISA 필드버스가 구축될 수 있는 실제의 여러 네트워크 시스템 환경에 대하여 네트워크 파라미터의 변화에 따른 IEC/ISA 필드버스의 데이터 전송 지연 시간의 특성을 분석하였다. 이 시뮬레이션 모델에서는 Bridge Class의 개념은 생략하고 하나의 로컬 링크만 다루었으며, 데이터 링크 계층에서 프레임 전송을 위한 경로 설정 및 해제 등에 대한 논리 링크 제어 부분은 생략하였고 LAS 고장이나 프레임의 충돌 등 발생 빈도가 낮아 시스템에 큰 영향을 미치지 못하는 사항을 제외한 매체 접속 제어 부분에 대해 개발하였다.

본 논문에서 개발한 시뮬레이션 모델은 이산 사건 시뮬레이션 전용 언어인 Arena/Siman[4]을 사용하였다. 시뮬레이션 모델은 크게 데이터 발생 부분과 전송 부분으로 나뉜다. 데이터 발생부는 각 노드에 균일한 분포로 생성되는 일반 데이터와 ES 서비스를 통해 전송될 스케줄링 데이터로 구성된다. 각 노드는 우선 순위 1, 2, 3의 데이터 큐와 ES 데이터의 큐를 가지고 있다. 데이터의 길이는 일반 데이터의 경우 제한사에서 제시하는 최대 길이를 가지고 있고, ES 데이터의 경우는 데이터의 길이가 최소값인 1 octet부터 256 octet까지의 길이에 오버헤드 12 octet을 더한 길이를 균일 분포로 하여 생성한다. 스케줄링 메시지의 경우에 LAS는 ES를 모든 노드에 동등한 빈도로 전송한다. 시뮬레이션에 사용된 변수, 카운터, 파라미터는 다음과 같다.

표 2 시뮬레이션 모델에 사용된 변수, 카운터, 파라미터

Table 2 Variables, Counters and Parameters

이 름	기 능
V(ST)	링크의 Slot Time을 기록. 1~4095 octet duration
V(TTRT)	로컬 링크에서 토큰이 한 바퀴 돌아올 시간의 상한치를 정의하는 네트워크 파라미터. 1~60 sec
V(ATRT)	로컬 링크에서 토큰이 네트워크 내의 활성 노드들을 한 바퀴 순환하는데 걸리는 실제 시간
V(DTA)	Delegated Token이 마지막으로 전송된 주소 기록
V(TCL)	토큰 순환 리스트
V(MRD)	응답에 걸리는 시간의 최대치. 1~11 slot time
V(LN)	현재 LAS Node의 주소 기록
C(RD)	ES나 PT를 받아서 데이터 전송권을 가진 DLE의 남아있는 Delegated Token의 허용 시간을 기록
PT duration	PT DLPDU를 통해 인가할 Token의 사용 기간
ES duration	ES DLPDU를 통해 인가할 Token의 사용 기간
Macro Cycle	LAS 스케줄링 작업이 반복되는 주기

본 논문에서는 노드의 수가 32개인 하나의 로컬 링크를 모델링 하였으며, 네트워크의 전송 속도는 1 Mbit/s로 하였다. 네트워크 상에 발생하는 메시지들의 전체 트래픽 부하와 우선 순위별 트래픽 부하는 다음과 같이 정의된다.

$$G = \sum_{i=1}^3 G_i = \sum_{i=1}^3 \frac{N_i \cdot L_i}{B \cdot T_i} \quad (1)$$

여기서 G_i 는 각 우선 순위별 트래픽 부하이며, i 는 우선 순위를 구분한다. N_i 는 우선 순위 i 노드의 수, L_i 는 데이터의 길이, B 는 전송속도, T_i 는 데이터 발생 주기의 평균값이다. 특히 발생 주기 T_i 는 전체 트래픽 부하에서 우선 순위 1, 2, 3이 차지하는 비율이 각 33.3%씩 되도록 조정하였다.

4. 시뮬레이션 결과 분석

이 장에서는 앞에서 구성한 시뮬레이션 모델을 이용하여 IEC/ISA 필드버스의 성능을 분석한다. 본 논문에서는 IEC/ISA 필드버스에서 사용하는 두 가지 토큰 할당 방식을 사용하여 다음과 같은 3가지 방법으로 전송 지연 시간을 비교하였다.

4.1 PT를 통해 각 노드에 순서대로 토큰을 전달하는 방법

이 방법에서는 LAS가 ES DLPDU를 사용하지 않고 PT DLPDU만 이용하여 V(TCL)에 정의된 활성 노드에 순차적으로 Delegated Token을 전송한다. 이 때 토큰의 우선 순위는 LAS가 최초로 인가할 때 Normal (우선 순위 2)이 되며, 토큰이 네트워크 내의 활성 노드들을 한바퀴 순환할 때마다 미리 지정된 V(TTRT)의 값과 실제 토큰이 한 바퀴 도는데 소요한 시간인 V(ATRT)를 서로 비교하여 $V(ATRT) > V(TTRT)$ 인 경우에는 PT DLPDU의 우선 순위를 높이고, 반대의 경우에는 우선 순위를 낮춘다. 네트워크 부하는 $G=0.72$ 이며 각 노드에서는 우선 순위별로 고정된 길이의 데이터가 지수분포의 주기로 발생한다.

먼저 PT duration을 500 octet duration으로 고정시킨 상태에서 V(TTRT)의 변화에 대한 전송 지연 시간의 변화를 계산한 결과가 그림 1에 나타나 있다. 그림에서 V(TTRT)가 커질수록 우선순위가 Time Available인 데이터와 Normal인 데이터의 전송 지연 시간은 감소하고 Urgent 데이터의 전송 지연 시간은 증가하며, V(TTRT)가 감소할수록 우선 순위 간에 데이터 전송 지연 시간의 차이는 증가한다. 그림 1에서 보면 Time Available, Normal 데이터의 전송 지연 시간 증가량에 비하여 Urgent 데이터의 전송 지연 시간 감소폭은 매우 작음을 알 수 있다. V(TTRT)가 증가하다가 어느 지점에 이르면 각 우선 순위 데이터의 전송 지연 시간은 더 이상 변하지 않고 일정한 값이 유지된다.

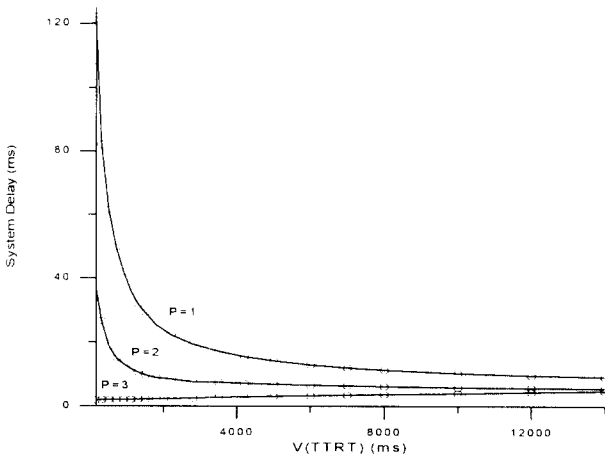


그림 1 V(TTRT)의 변화에 따른 전송 지연 시간의 변화
Fig. 1 System delay as the V(TTRT) varies

다음으로 V(TTRT)=500ms 일 때, PT duration의 변화에 대한 전송 지연 시간의 변화가 그림 2에 나와 있다. PT duration이 아주 작은 경우에 각 우선 순위 데이터의 전송 지연 시간이 증가·감소를 반복하다가 어느 값 이상이 되면 더 이상의 변화 없이 일정한 값을 유지함을 알 수 있다. 이 때 한 우선 순위 데이터의 지연 시간이 증가 (또는 감소)하면 다른 우선 순위 데이터의 지연 시간은 감소 (또는 증가)한다. 다른 여러 가지 조건에서 실험을 수행한 결과 각 우선 순위 데이터의 전송 지연 시간이 증가·감소를 반복하는 현상은 V(TTRT)와 PT duration이 작을수록 더욱 현저히 나타났다.

V(TTRT)와 PT duration에 대해 다양한 실험을 한 결과, 일반적으로 V(TTRT)의 변화가 우선 순위 데이터들의 성능에 미치는 영향은 PT duration의 변화에 의한 영향보다 현저하다. 따라서 IEC/ISA 필드버스의 우선 순위 기능은 V(TTRT)로 조정하는 것이 효과적이다.

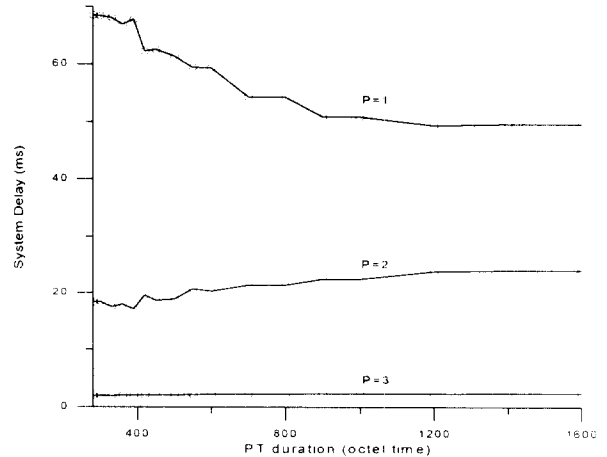


그림 2 PT duration 변화에 따른 전송 지연 시간의 변화
Fig. 2 System delay as the PT duration varies

4.2 ES를 통해 계획된 노드에 토큰을 전달하는 방법

이 방법은 PT에 의한 토큰 할당 방식을 사용하지 않고 LAS의 계획된 노드에 ES를 통해 토큰을 할당하는 방식만 이용한 경우의 전송 지연 시간의 변화 추이를 알아본 것이다. IEC/ISA 필드버스에서 ES를 통한 토큰 전달 방식에서는 데이터의 우선 순위가 없으며, 본 시뮬레이션 실험에서는 각 노드에서 데이터가 주기적으로 생성되는 것으로 하였다. 또한 LAS는 ES duration의 주기를 가지고 각 노드에 토큰을 분배하는 것으로 설계된 바 있었다.

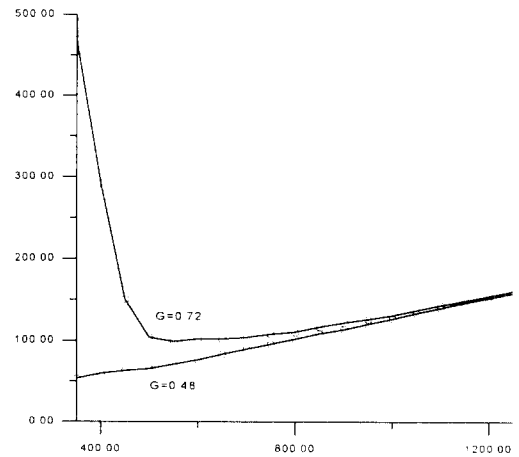


그림 3 ES duration 변화에 따른 전송 지연 시간의 변화
Fig. 3 System delay as the ES duration varies

그림 3은 3가지의 트래픽 부하에서 ES duration에 대한 전송 지연 시간의 변화를 나타낸 것이다. 트래픽 부하가 $G=0.72$ 인 높은 부하의 경우에 ES duration이 증가할수록 전송 지연 시간이 급격히 감소하다가 어느 값 이상이 되면 다시 서서히 증가하는 형태를 보인다. 높은 부하의 경우에는 ES duration이 작으면 큐에 쌓여 있는 데이터로 인해 데이터 지연 시간이 크지만, ES duration이 증가함에 따라 한 주기 동안에 전송할 수 있는 데이터의 양이 증가하면서 전체적인 전송 지연 시간은 줄어들게 된다. 그러나, 큐에 쌓인 데이터를 모두 전송할 수 있을 정도 이상의 ES duration을 갖게 되면 필요 이상으로 큰 값의 ES duration에 의해 링크 용량을 낭비하게 되어 다시 전송 지연 시간이 증가한다. 트래픽 부하가 $G=0.48$ 인 낮은 부하의 경우에는 ES duration이 작더라도 큐에 남아 있는 데이터를 모두 전송하기에 충분하므로 ES duration이 증가함에 따라 전송 지연 시간

도 난조 증가한다. ES duration이 매우 크면 트래픽 부하의 영향을 거의 받지 않고 모든 트래픽 부하값에서 비슷한 지연 시간을 갖는다.

4.3 PT 서비스와 ES 서비스를 동시에 사용하는 방법

본 절에서는 앞 절에서 사용한 두 가지 방법을 혼용한 경우에 대하여 Macro Cycle과 ES duration을 변화시킴에 따라 PT 서비스만 사용한 4.1의 경우에 비해 ES 서비스를 추가로 사용함으로써 링크 용량이 LAS의 스케줄링 서비스에 의해 잠식당하는 경우에 대한 영향을 조사하였다. 트래픽 부하는 PT와 ES 서비스를 모두 포함하여 $G=0.48$ 이다.

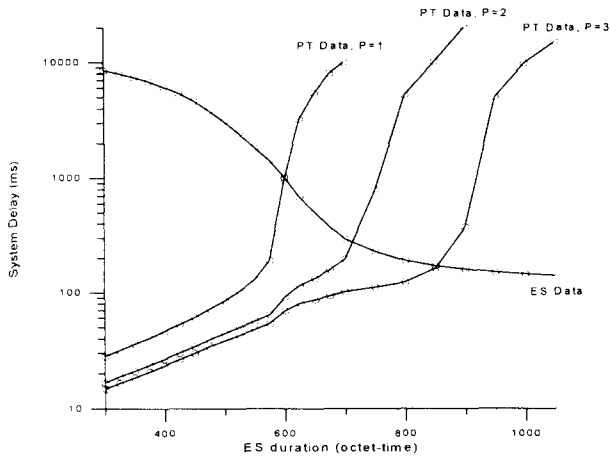


그림 4 ES duration의 변화에 따른 전송 지연 시간의 변화
Fig. 4 System delay as the ES duration varies

먼저 그림 4는 $V(TTRT)$, PT duration, Macro Cycle을 각각 100 ms, 300 octet time, 270 ms로 고정시키고 ES duration을 변화시킨 경우의 전송 지연 시간 특성이다. Macro Cycle이 고정되어 있으므로 ES duration이 증가할수록 미리 계획된 서비스를 ES를 통해 더 많은 시간 동안 수행할 수 있으며, 따라서 ES 데이터의 전송 지연 시간은 점차 감소한다. 그러나 PT 서비스의 경우에는 ES에 의해 링크의 용량을 잠식당하는 시간이 점점 많아지므로 PT 데이터의 전송 지연 시간은 계속 증가하는 추이를 보인다. 또한, ES duration이 어느 값 이상이 되면 $V(TTRT)$ 에 비해 $V(ATRT)$ 가 매우 커져 우선 순위가 낮은 데이터는 거의 전송 권한을 가질 수 없게 된다.

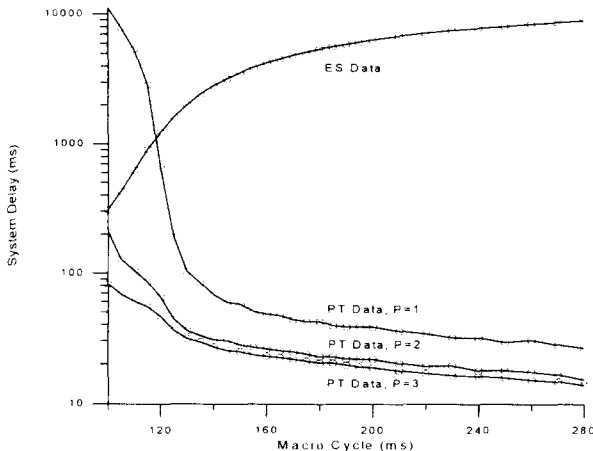


그림 5 Macro Cycle의 변화에 따른 전송 지연 시간의 변화
Fig. 5 System delay as the Macro Cycle varies

마지막으로 $V(TTRT)$, PT duration, ES duration을 각각 100

ms, 300 octet time, 300 octet time으로 고정시키고 Macro Cycle을 변화시킨 경우의 전송 지연 시간의 그래프가 그림 5에 나타나 있다. Macro Cycle이 작을 때는 우선 순위 1의 전송 지연 시간이 ES 데이터의 전송 지연 시간보다 크지만 Macro Cycle이 증가함에 따라 PT 서비스는 더 자주 수행되고 ES 서비스는 그만큼 서비스의 빈도가 줄어들기 때문에 전송 지연 시간에서 손해를 보게 된다.

5. 결론 및 추후 연구 사항

본 논문에서는 1996년도에 제안된 IEC/ISA 필드버스 규격서에 의거하여 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 본 연구를 통하여 수행된 시뮬레이션 결과에 의하면 IEC/ISA 필드버스에서 PT 서비스만을 수행하는 경우에는 서로 다른 우선 순위를 갖는 데이터의 지연 시간이 $V(TTRT)$ 에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, ES 서비스만을 수행하는 경우에는 데이터의 지연 시간을 최소화 할 수 있는 ES duration의 최적값이 존재한다는 것을 알아내었다. PT와 ES 서비스를 동시에 수행하는 경우에는 PT 서비스에서의 $V(TTRT)$ 와 ES 서비스에서의 ES duration과 더불어 Macro Cycle이 네트워크 시스템의 성능에 커다란 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 주어진 트래픽 부하에 대하여 IEC/ISA 필드버스에서 각각의 데이터들에 대한 성능 요구 사항을 만족시킬 수 있는 네트워크 파라미터 즉, $V(TTRT)$, ES duration, Macro Cycle 등의 최적값을 도출할 수 있는 방법을 제시하는 것이 추후 연구 과제로 남는다. 이에 덧붙여 센서, 모터, PLC 등으로 구성된 제어 시스템이 IEC/ISA 필드버스를 통하여 접속되는 경우에 여기에서 발생하는 제어 데이터들의 실시간 처리와 관련된 성능 분석을 수행하고, 이미 독일 국가 표준으로 채택되어 생산 현장에서 응용되고 있는 프로퍼버스의 우선 순위 기능과 IEC/ISA 필드버스의 우선 순위 기능의 성능을 상호 비교 분석하여 네트워크 시스템이 동작되는 서로 다른 각각의 환경에 적합한 프로토콜을 도출하기 위한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] "Data Link Protocol Specification" ISA/SP50:1996-360M (Draft Standard)
- [2] "Physical Layer Protocol Specification and service definition" ISA-S50.02-1992
- [3] S. H. Hong, "Scheduling Algorithm of data sampling times in the integrated communication and control systems", *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 255-230, June, 1995
- [4] C. Dennis Pegden, "Introduction to simulation using SIMAN", McGraw-Hill, U.S.A.
- [5] 이성근, 홍승호, "시뮬레이션 모델을 이용한 IEC/ISA 필드버스 시스템의 데이터 링크 계층 성능 분석", 제어·자동화·시스템공학회지 제2권, 제3호, pp. 209-219, 1996. 9
- [6] 홍승호, 김기암, 김지용, 고성준, "분산제어 및 자동화시스템과 필드버스", 제어·자동화·시스템공학회지 제2권, 제4호, pp. 19-29, 1996. 7