

제조 환경에서 MAP 네트워크 체제의 FDDI 효율과 적용 해석

김 정 호* 이 민 남** 이 상 범***

요 약

광전송에 의한 광통신 기술의 사용이 보편화 되면서 MAP 3.0 규격은 광 파이버의 전송시 잡음 여유, 열악한 환경에서의 정상 동작, 안정성, 고속 전송의 장점 등으로 전송 매체로서 선택 사양에 규정하고 있다. 이러한 특성들은 제조 환경에서 광 네트워크를 구축하는 것에 유용하다. 본 논문에서는 버스와 스타 구조의 사용을 포함한 광 파이버 802.4의 MAP 네트워크 시스템 구축에 대하여 해석하고 광 패시브 스타 네트워크와 FDDI 네트워크 모델을 제안 하였다. 그리고, MAP 규격의 물리 및 데이터 링크 계층 구조에서 100 Mbps의 이중 링 구조의 FDDI 프로토콜을 제조 환경에서의 특성을 해석하였다. 또한 제조 환경에서 제안된 두 모델에 대하여 응용 서비스, 실시간 처리성, 토폴로지면에서 비교하고 평가하였다.

FDDI Throughput and Application Analysis of MAP Network Construction in Manufacturing Environment

Jeong Ho ·Kim*, Min Nam Lee** and Sang Burm Rhee***

ABSTRACT

An appendix to the MAP 3.0 specification notes that there are primary advantages to use of fiber optics: noise immunity, ability to run in difficult electrical environments, safety and high data rates. All of these may be quite useful in various manufacturing environments. In this paper, we study on construction schmes for a fiber-based 802.4 MAP system including the use of both bus and star topologies. We suggest passive star network and FDDI network for manufacturing environment. And then, we propose the FDDI protocol including the use a dual ring topology running at 100 Mbps to physical and datalink layer of MAP specification and analysis it's protocol and topology for abilities in manufacturing environments. We evaluate about applications service, time-critical processing and topology of two models in manufacturing environment.

1. 서 론

제조 환경에서 독립적으로 운영되는 여러 종류의 프로그램식 단위 제어 기기들에 대한 네트워크를 위하여 MAP(manufacturing automation protocol)이 제안되었다. 제조 환경에서 네트워크 구축은 실시간 처리와 응답 시간의 제한성에 대

한 대처와 공정 데이터 프레임의 에러율을 줄이고 이의 신뢰성과 안전성이 요구된다. 광전송 기술이 열악한 제조 환경에서 매우 유용하게 적용될 수 있음을 인식한 MAP 태스크 포스(task force)는 MAP 3.0을 발표하면서[1], 동축 케이블과 아울러 광파이버를 전송 매체의 선택 규격으로 규정하였으나 광파이버에 적절한 MAP 계층의 규격에 대하여서는 결정을 유보하고 있다. 본 논문에서는 광통신 체제를 응용한 MAP 즉, IEEE 802.4 토른 버스 운영 방식의 네트워크 구

* 중신회원: 한국전자통신연구소 실장
 ** 정 회 원: 건설공제조합 전산부장
 *** 정 회 원: 단국대학교 컴퓨터공학과 교수
 논문접수: 1994년 9월 29일, 심사완료: 1995년 1월 6일

성에 대하여 100 Mbps의 전송 속도를 지원하며 이중 링 구조를 가지는 FDDI(fiber distributed data interface)의 효율을 분석하여 FDDI가 제조 환경에서 네트워크의 중요한 요소들 즉, MAC(media access control) 프로토콜의 실시간 처리성, 응답 시간, 네트워크 토폴로지의 신뢰성, 확장성과 전송 효율을 해석함으로써 광통신 네트워크가 제조 환경에서 구축이 가능함을 제시하였다 [2, 3, 4, 5].

2. FDDI의 토큰링 효율성

FDDI의 토큰링의 효율을 해석하기 위하여 FDDI 망에 설치된 스테이션의 수를 n 이라 하고 스테이션 당 접속은 한 포인트로 가정한다. FDDI 망에서 스테이션들 간의 입찰 과정을 거쳐 토큰의 로테이션 시간을 제어하는 운용 토큰 로테이션 시간(operational value of target token rotation time)을 T_{Opr} 이라 한다. 스테이션 i 에서 동기 데이터를 전송할 수 있도록 f_i 만큼 할당하려면 이는 시스템 초기화 과정에서 반드시 할당되어야 한다. 이러한 값은 망 용량을 규정화한 값으로 표현하였을 때 $\sum f_i < 1$ 이어야 한다. 또한 FDDI의 MAC 프로토콜은 타이머 제어에 의한 토큰 패싱 프로토콜이므로 이에 따른 전송에 대한 표현은 식(1)과 같이 표현할 수 있다. 식(1)에서 앞의 첨자는 토큰의 사이클을, 그 다음 첨자는 토큰이 도착한 스테이션을 나타내어 사이클 ω 의 스테이션 x 로부터 사이클 y 의 스테이션 z 까지의 전체 서비스 시간을 나타낸다.

$$\sum_{k=\omega x}^{x+z} S_{i,k} = S_{\omega, i} + \dots + S_{\omega, j} + S_{\omega-1, i} + \dots + S_{j-1, \omega} + S_{j, i} + \dots + S_{j, j} \quad (1)$$

여기서 $S_{i,k}$ 는 j 번째 사이클에서 스테이션 k 에 대한 서비스 시간을 나타내고, n 은 FDDI 네트워크에 연결된 스테이션 수를 나타낸다.

FDDI의 링 활용도를 계산하기 위하여 다음과 같이 파라미터를 정의한다[5, 6].

- $g_{c,i}$: c 번째 사이클에서 i 스테이션이 동기 데이터를 전송하는데 소요되는 시간
- $a_{c,i}$: c 번째 사이클에서 i 스테이션이 비동기 데이터를 전송하는데 소요되는 시간
- $t_{l,token}$: 토큰 전송 시간(전형적으로 0.00088 [ms])
- t_{lat} : 물리적 객체에 의한 지연 시간 (전형적으로 756 [nsec])
- t_{dir} : 토큰을 획득후 데이터를 전송할 때까지 소요되는 시간 (전형적으로 0.0035 [ms])
- t_{prop} : 광파이버에 의한 신호 전파 지연 시간 (전형적으로 5085 [ns/km])
- $t_{Opr,token}$: 비동기 데이터의 오버런 시간 (전형적으로 0.360 [ms])

만약 FDDI 네트워크가 n 개의 스테이션과 거리 l [km]의 광파이버로 구성했을 때 토큰이 각 스테이션을 방문할 경우의 오버헤드의 합은 식(2)로 표현되며 $c-1$ 번째 토큰이 사이클의 $i+1$ 스테이션에서 시작하여 c 번째 사이클의 토큰이 i 스테이션으로 돌아오는데 소요되는 사이클 시간은 식(3)으로 표현할 수 있다.

$$Z_{n,l} = n * (t_{token} + t_{lat} + t_{dir}) + l * t_{prop} \quad (2)$$

$$C_{c,i} = \sum_{j=k=c-1, i-1}^{i+1} (g_{c,i} + a_{c,i}) + Z_{n,l} \quad (3)$$

링의 요구에서 각 스테이션들은 자신의 동기 데이터를 전송하기에 충분한 TTRT(target token rotation time)을 요구하며 요구된 TTRT 값들 중에 최소의 것이 선택된 TTRT 값을 T_{Opr} 에 주게 된다. T_{Opr} 은 토큰의 로테이션 시간을 한정하는데 사용되는 링의 중요한 변수가 된다. 토큰의 로테이션 시간은 링위에 트래픽이 많으면 느려지고, 트래픽이 적어지면 빨라진다. FDDI 프로토콜에서 비동기 데이터는 방문 이전의 사이클의 길이가 T_{Opr} 보다 작을 때, 즉 $T_{Opr} < C_{c,i}$ 일 때 전송되도록 허락되며 이를 ‘빠름(early)’이라고 하고 이외의 경우는 ‘늦음(late)’이 되어 비동기 데이터

를 전송할 수 없게 된다. 여기서 L_c 를 스테이션 i 의 c 번째 토큰이 도착되었을 때를 '축적된 늦음' 이라고 하면, 이때 L_c 는 $\max [0, C_{c-1} + L_{c-1}, -T]$ 이고 모든 i 에 대한 L_c 이다. 여기서 $T-O_{pr} - C_{c-1} - L_{c-1} > 0$ 이면 비동기 데이터를 전송할 수 있다. 링에 오버헤드를 나타내는 시간은 동기 및 비동기 대역폭에 영향을 주며 $t_{prop} + t_{lat}$ 는 THT에서 고려되어야 한다[7]. 따라서 어떤 스테이션이든지 비동기 데이터를 전송하기 위한 THT의 상한값은 $T-O_{pr} - t_{prop} - t_{lat} + t_{overrun}$ 이 되어야 한다. 동기 데이터의 경우는 오버헤드에 해당하는 양이 필요 없으므로 $T-O_{pr} - t_{prop} - t_{lat} + t_{overrun}$ 이 된다. 이러한 방식으로 동기 및 비동기 대역폭을 할당하는 경우, 토큰의 최대 로테이션 시간은 $2 * T-O_{pr}$ 이하로 할당된다. 즉 토큰이 2배의 $T-O_{pr}$ 시간에 도착하지 않으면 링은 초기화 과정으로 가기 때문이다. 링위에 각 스테이션이 항상 전송할 데이터를 가지고 있는 경우 식 (4)와 같이 동기 대역폭 S 를 한정할 수 있다.

$$S = \sum_{j=1}^n f_j \leq 1 - \frac{Z_{n,i} + t_{overrun}}{2 * T-O_{pr}} \quad (4)$$

여기서 f_j 는 시스템의 초기화 상태에서 스테이션 i 에게 할당된 동기 전송의 대역폭을 나타내고 식 (4)에서 동기 대역폭을 결정하는 최소 토큰 로테이션 시간을 결정할 수 있다. 따라서 $T-O_{pr}$ 에 대한 하한값을 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

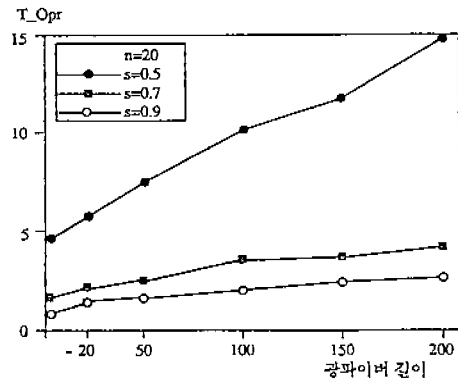
$$T-O_{pr} \geq \frac{Z_{n,i} + t_{overrun}}{1 - \sum_{j=1}^n f_j} \quad (5)$$

망의 부하가 적은 경우에는 비동기 오버런은 일어나지 않으므로 식(5)에서 $t_{overrun}$ 항은 무시할 수 있다.

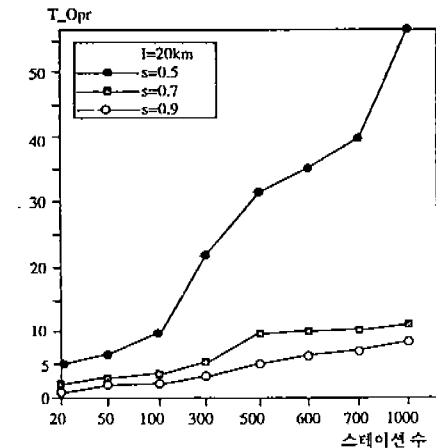
제안된 식(2)와 식(5)에서 FDDI 망에서의 링 운영을 위하여 광 파이버 길이, 스테이션 수, 동기 대역폭의 할당을 파라미터로서 설정하여 링의 효율을 해석하였다. 광파이버의 길이를 200 [km]까지 확장하였을 때 토큰 로테이션 시간의 변화를 (그림 1)에 나타내었다.

여기서는 스테이션의 수를 20개로 하고 광파이버의 길이를 200[km]까지 확장하였을 때 토큰 로테이션 시간의 변화를 나타내었다. 링의 동기 대역폭을 아래의 곡선으로 부터 각각 50%, 70%, 90%로 할당하였을 경우 광파이버 길이에 대한 최소 토큰 로테이션 시간은 16[ms] 내에서 광파이버 길이에 따라 일정하게 증가되며 또한 동기 대역폭에 의해서도 증가됨을 알 수 있다.

(그림 2)는 스테이션 수에 따라 토큰 로테이션 시간의 변화를 나타내고 있다. 이 경우 광파이버의 길이를 20[km]로 제한하고 링의 동기 대역폭을



(그림 1) 광파이버 길이에 따른 토큰 로테이션 시간의 변화 (Fig. 1) Variation of token rotation time versus fiber optic length

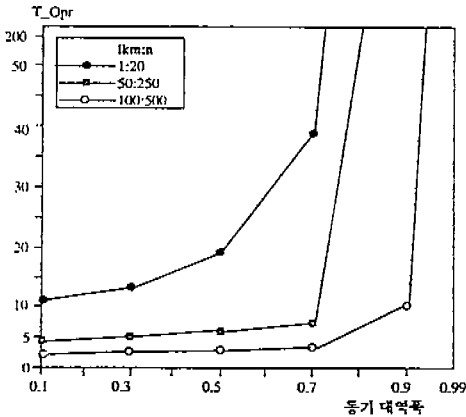


(그림 2) 스테이션 수에 대한 토큰 로테이션 시간의 변화 (Fig. 2) Variation of token rotation time versus station number

아래의 곡선으로 부터 각각 50%, 70%, 90%로 할당하였을 경우의 토큰 로테이션 시간의 변화를 나타낸다.

최소 토큰 로테이션 시간은 스테이션의 수와 동기 대역폭이 증가할수록 토큰의 회전 시간은 느리고 1000개의 스테이션의 수에 대해서도 토큰의 처리 시간은 60[ms]내에서 일정한 증가를 보이고 있다.

(그림 3)은 동기 대역폭의 할당에 대한 최소 토큰 로테이션 시간의 변화를 나타낸다. 아래의 곡선으로 부터 링의 스테이션 수와 광파이버의 길이는 각각 20개: 1[km], 250개: 50[km], 500개: 100[km]일 경우로 한다.



(그림 3) 동기 대역폭에 대한 토큰 로테이션 시간의 변화
(Fig. 3) Variation of token rotation time versus synchronization bandwidth

동기 대역폭이 70%이상 할당 되었을 경우 4 [km] 범위 내에서 토큰 로테이션 시간이 급격히 증가되고 있다. FDDI 토큰 링 프로토콜은 100 Mbps의 데이터 전송 속도를 갖지만 여러 제약 파라미터에 따라서 유효 전송 속도가 달라진다. 망의 유효 전송 속도는 링 활용도를 구하고 이에 채널용량을 곱하여 구할 수 있다. FDDI 망에서 링 활용도의 영향을 고려하면 한개의 토큰이 회전하는 시간은 링위에 있는 각 스테이션에 머무르는 시간을 합하여 구할 수 있다. 링 활용도는 링에 전송한 데이터의 양에 의하여 결정되며 어떤 스테이션이 토큰을 보유하고 계속해서 데이터

를 전송하는 경우 100% 까지 상승할 수 있다. 따라서 링 활용도는 토큰 로테이션 시간과 토큰 로테이션 시간에서 링 latency($t_{rot} + L * t_{prop}$)를 뺀 시간의 비로서 계산이 된다. 여기에서 링으로 데이터를 전송할 경우 MAC 레벨에서 링의 활용도를 구하면 즉 스테이션 i의 c-1번째의 토큰의 로테이션시 링 활용도는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

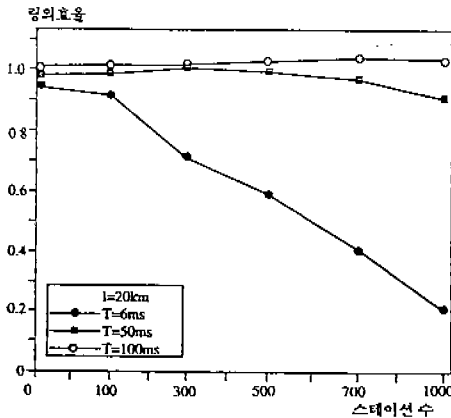
$$P_{c,i} = \frac{C_{c,i} - Z_{n,i}}{C_c} = 1 - \frac{Z_{n,i}}{Z_c} \quad (6)$$

이는 스테이션 i의 위치에서 C_c 번째의 토큰이 로테이션 하는데 걸리는 시간이고 이 시간과 $C_c - Z_{n,i}$ 와의 비가 c-1번째의 토큰이 로테이션 하였을 때 MAC 레벨 링 활용도가 됨을 알 수 있다. 평균 링 효율은 충분히 큰 수(>0)에 대하여 P_c ($c=2, 3, 4, \dots, M$)를 각각 구하여 평균값을 계산하여 구할 수 있다. 그런데 토큰의 평균 로테이션 시간은 T_{Opr} 값보다 작거나 같고 최대 로테이션 시간은 $2 * T_{Opr}$ 값보다 작거나 같다. 따라서 C ($c=2, 3, 4, \dots, M$)의 평균값은 T_{Opr} 값에 근사하게 되며 평균 효율은 식(7)과 같이 간단한 형태로 표현할 수 있다.

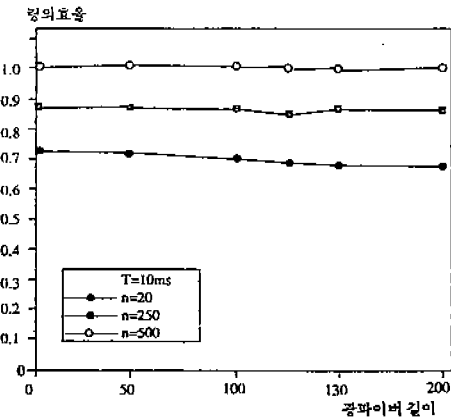
$$P = 1 - \frac{Z_{n,i}}{T_{Opr}} \quad (7)$$

이 식은 링 활용도가 단지 링 latency와 T_{Opr} 에 의하여 결정됨을 알 수 있다[7, 8]. 이 값들에 영향을 주는 파라미터의 변화에 대한 링 활용도를 해석하면 다음과 같다. 스테이션 수에 대한 MAC 위치에서의 링의 효율 변화를 (그림 4)에 나타내었다.

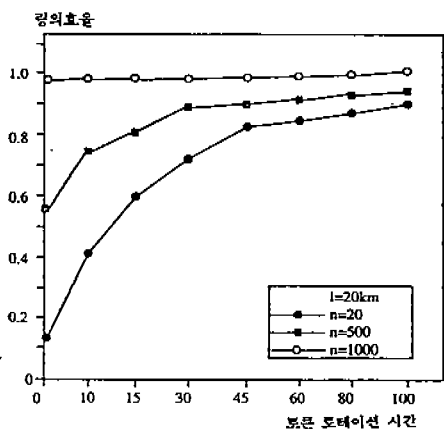
광 파이버의 길이를 20[km]로 하고 위의 곡선으로 부터 각각 100[ms], 50[ms], 6[ms]의 T_{Opr} 을 주었을 경우에 대하여 나타내고 있다. 링의 효율은 스테이션의 수에도 영향을 받지만 토큰의 최소 로테이션 시간에 영향을 크게 받음을 알 수 있다. 광파이버 길이에 대해 MAC 위치에서의 링의 효율 변화를 (그림 5)에 나타내었다.



(그림 4) 스테이션 수에 대한 링의 효율 변화
(Fig. 4) Variation of ring efficiency versus station number



(그림 5) 광파이버 길이에 대한 링의 효율 변화
(Fig. 5) Variation of ring efficiency versus fiber optic length



(그림 6) 토큰 로테이션 시간에 대한 링의 효율 변화
(Fig. 6) Variation of ring efficiency versus token rotation time

스테이션의 수를 20, 250, 500개로 하고 토큰 로테이션 시간을 4[ms]로 하였을 때 스테이션의 수나 광파이버 길이에 대하여 링활용도가 일정하게 감소하고 있음을 알 수 있다. 스테이션의 수가 많거나 광 파이버의 길이가 긴 경우 혹은 모두 해당되는 경우에 링이 효율적으로 사용되기 위해서는 $T \cdot Q_{\text{max}}$ 의 값은 충분히 커야한다. 이때 링의 효율은 광파이버의 길이와 스테이션의 수에 대하여 일정하게 감소함을 알 수 있다. (그림 6)에 광 파이버의 길이가 2[km]이며 스테이션의 수가 위의 곡선으로 부터 20, 500, 1000개일 경우 최소 토큰 로테이션 시간에 대한 링의 효율 변화를 나타내었다.

링의 효율은 스테이션의 수가 적다면 최소 토큰 로테이션 시간에 대하여 큰 영향을 받지 않으나 스테이션의 수가 많을 경우 최소 토큰 로테이션 시간은 링의 효율에 매우 큰 영향을 미치며 최소 토큰 로테이션 시간이 30[ms] 이상이면 매우 큰 스테이션의 수에 대해서도 이의 효율이 80% 이상이 되며 이 이상일 경우에는 링의 효율이 매우 완만하게 증가됨을 알 수 있다. 반대로 링의 효율이 극히 낮은 경우에는 스테이션들이 데이터를 전송하지 않고 다음의 스테이션에게로 토큰을 넘겨준 것으로 해석할 수도 있다. 즉 이는 토큰이 데이터를 전송하기 위하여 각 스테이션이 지연되지 않는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 링의 효율이 계속 유지된다면 모든 스테이션들이 항상 전송할 데이터를 가지고 있는 상태라고 할 수 있다.

3. 제조 환경에서 광 네트워크 적용 해석

3.1 적용 해석 범위

컴퓨터 통합 생산 구축을 위하여 ISO는 1988년 ISO/TC 184에서 CIM 표준안으로 정보의 흐름에 대한 계층 구조를 채택하여 최하위 레벨을 장치(equipment), 그 다음으로 스테이션(station), 셀(cell), 에어리어(area), 플랜트(plant) 그리고 최상위 레벨은 엔터프라이즈(enterprise)로 권고하

였다[9]. 산업용 네트워크로서의 실시간 처리가 요구되는 계층인 셀 레벨의 경우 mini MAP이나 혹은 장치 레벨의 필드 버스(field bus) 등의 서브 네트워크가 구축되고 있다[10]. 네트워크에서 실시간 처리성은 계층 선정, 토폴로지와 데이터의 처리율에 따라 구현 방법이 좌우된다. 본 논문에서는 네트워크 프로토콜을 제조 환경에 적용하기 위하여 응용 서비스, 실시간 처리성, 토폴로지의 세가지 면으로 나누어 해석하고 FDDI 프로토콜이 적용 가능함을 검증한다.

(1) 응용 서비스

FDDI는 IEEE 802 구조와 같으며 FDDI LLC는 IEEE 802.2로 구성된다. 따라서 OSI 계층에 따라 MAP의 물리 및 데이터 링크 계층을 FDDI 프로토콜로 대체가 가능하며 응용 서비스인 MMS(manufacturing message service), ACSE(association control and service elements) 등을 수정없이 사용할 수 있다. 그리고 FDDI는 분산 처리 환경에서 음성, 화상, 센서 처리 신호, 패킷 데이터의 통합을 요구하는 광범위한 응용의 지원이 가능하다.

(2) 실시간 처리성

제조 환경에서 액세스 방식의 특성은 서브 네트워크의 실시간 처리성과 백본 네트워크의 과부하에서의 일정한 응답 시간이다. FDDI는 타임 설정 토큰 프로토콜을 사용하므로 링 구조에서 요구되는 부하를 능동적으로 대응할 수 있으며 토큰 로테이션 타이머(TRT: token rotation timer)를 관리하고 상한 시간 범위내에 스테이션으로 성공적인 토큰의 도착을 보장한다. 토큰의 평균 로테이션 시간은 TIRT값보다 결코 크지 않으며 최대 로테이션 설정 시간도 설정된 네트워크에서 만약 토큰이 도착되지 않을 때 링에 중대한 고장이 발생된 것으로 간주하여 링이 초기화 과정으로 수행되도록 하기 위하여 $2 * TIRT$ 값보다 작거나 같다[7, 14]. 따라서 수백대의 스테이션이 접속되는 백본 네트워크에서 비록 과부하일 경우라도 링이 정상 운영되면 FDDI 프로토콜에서는

일정한 응답 시간이 제공된다. FDDI 성능 해석으로서 (그림 3)의 결과로 볼 때 500대의 스테이션과 100[km]의 광파이버로 구성된 링에 90%의 동기 대역폭을 할당하였을 경우 최소 토큰 로테이션 시간은 30[ms] 정도가 된다. 또한 링의 초기화 과정에서 최소의 TIRT가 선택되므로 어떤 스테이션 이든지 자신이 희망한 TIRT안에서 토큰을 획득할 수 있으며 이 토큰이 제약된 것이든 아니든간에 할당된 동기 대역폭 만큼 데이터를 전송할 수 있어 실시간 처리에 유용하게 사용될 수 있다. 이는 (그림 1)에서 스테이션의 수가 20개이고 대역폭에서 동기 대역폭으로 90%를 할당 하였을 경우 광파이버 길이가 1[km]일 때 최소 토큰 로테이션 시간은 5[ms]이내이며 이 경우 그림 6에서 링의 효율이 90% 이상임을 알 수 있다. 이것은 20대의 스테이션들이 전송할 데이터를 항상 가지고 있으며 5[ms] 이내에 이 데이터를 전송할 수 있음을 나타내고 있다.

(3) 토폴로지

제조 환경에서 광 네트워크의 구조는 안전성과 공평성을 목적으로 전송 거리에 따른 확장성, 전송의 투명성, 신뢰성, 응답 시간, 이상 발생 진단, 스테이션 추가 보장성, 경제성을 검토한다.

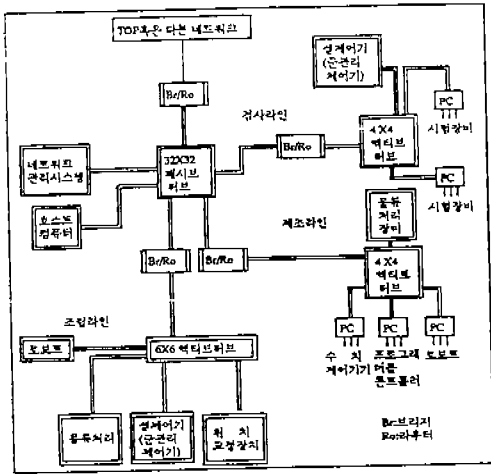
3.2 제안된 광네트워크 모형

제조 환경에서 광 네트워크 해석 범위를 고려하여(그림 7)과 같은 802.4 패시브 스타(passive star) MAP(그림 8)과 같은 FDDI MAP의 모형을 제안하고 이를 비교함으로써 FDDI 네트워크 구조의 활용성을 해석하였다.

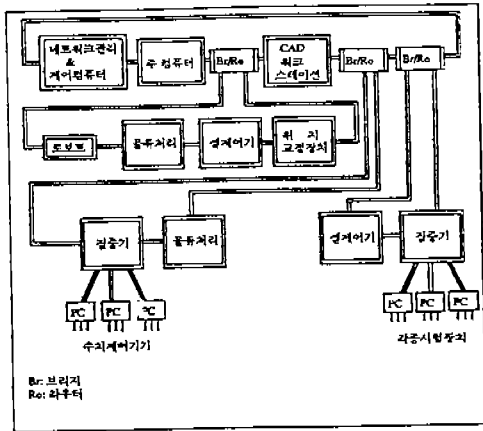
(그림 7)과 (그림 8)은 광파이버를 전송 매체로 사용하여 802.4 스타 네트워크와 FDDI 이중 링 네트워크로 다시 구성하였으며 스테이션간의 물리적 링크는 두개의 광파이버로 구성되며 각 네트워크의 논리적 의미는 같다.

(1) 광 패시브 스타 네트워크 모형

광파이버는 코어의 직경이 100 마이크로인 멀티 모드 광파이버를 사용하며 감쇄성은 5[dB/



(그림 7) 패시브 스타 네트워크를 이용한 MAP 네트워크 모형
(Fig. 7) MAP network model using passive star network



(그림 8) FDDI를 이용한 MAP 네트워크 모형
(Fig. 8) MAP network model using FDDI

km)이다. 광원은 LED를 사용하며 광 송신 파워는 $-3 \sim -7$ [dBm]이다. 광검출기는 PIN을 사용하며 최소 수신 파워는 -35 [dBm]이다. 이는 IEEE 802.4의 규격에 따라 10Mbps의 전송속도를 제공하기 위한 것이다. 구성된 패시브 스타 네트워크는 다음의 수신파워의 제한 조건을 만족시켜야 한다. 즉, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{송신 파워 [dBm]} - \text{최소 수신 파워 [dBm]} > \text{결합기의 손실 [dB]} + \text{결합기에서 노드까지의 파이버 길이에 대한 두번의 감쇄 [dB]} + \text{부분적 연결기의 손실 [dB]} + \text{운영 마진 [dB]}$$

이때의 결합기의 손실(coupler loss)은 다음 식 (8)과 같다.

$$\text{Coupler Loss} = 2C + E + 10 \log N \quad (8)$$

여기서 C는 연결기의 손실로서 1.5[dB]를 나타내며, E는 결합 과정에서 소모되는 광손실로 1~4[dB] 정도이며, N는 결합기의 광 포트의 갯수를 나타낸다.

(2) FDDI 네트워크 모형

광파이버는 코어 직경과 클래드 직경과의 비가 62.5/125 혹은 85/125인 그레이드 인덱스 파이버를 선택하며 이것은 최소 400[MHz/km]의 모델 대역 폭과 최대 2.5[dB/km]의 감쇄성을 제공한다. 광원은 LED를 사용하며 광검출기는 PIN을 사용한다. FDDI 규격에 따르면 최소 송신 파워는 -16 [dBm]이며 최소 수신 파워는 -27 [dBm]이다. 이 선택은 FDDI에서 요구되는 2.5×10^{10} 의 전송 비트 중 한 비트의 오류율을 제공하기 위한 것이다. 따라서 두 스테이션 간의 광 손실은 11[dB]를 초과할 수 없으며, 두 스테이션 간의 거리가 2[km]일 경우 광파이버의 광 손실이 5[dB]이므로 스플라이스, 연결기, 교환 기등의 광 손실이 6[dB]를 초과하지 않도록 링이 구성되어야 한다.

3.3 해석과 고찰

제안된 제조 환경에서의 광네트워크 모델에서 설정된 파라미터에 따른 해석은 다음과 같다.

(1) 전송 거리의 확장성

광 패시브 스타 네트워크의 경우 패시브 허브(passive hub)에 액티브 허브(active hub)를 직렬로 연결함으로써 확장성을 만족시킬 수 있다. 그런데 단순히 하나의 32 by 32 패시브 허브를 사용하여 네트워크를 구성할 경우 식 (8)에서 결합기의 광 손실은 21[dB]가 되며 운영 마진이 4[dB]가 되어 광 파이버의 부분적인 연결이 없다고 가정하였을 경우 수신 파워의 제한 조건에 의

하여 $(-5[\text{dBm}]) - (-35[\text{dBm}]) > 21[\text{dB}] + 2 * \text{광파이버 길이} * 5[\text{dB/km}]$ 을 만족하여야 한다. 따라서 허브에서 노드까지의 길이는 최대 500 [m]로 한정되며 단일 네트워크가 지원하는 지리적 확장성은 0.79[km]로 제한된다.

FDDI의 경우에는 링의 구조상 점대점 연결선 상이며 모든 스테이션들이 반복기의 기능을 가지고 있다. 그래서 이상적으로는 거리의 제한을 받지 않으나 광파이버의 광손실과 시스템의 효율을 고려하여 인접한 두 스테이션간의 거리는 2 [km], 500개의 스테이션의 접속된 단일 네트워크의 전체 광파이버 길이는 200[km] 정도로 구성된다.

(2) 투명성

광 패시브 스타 네트워크는 통신 노드를 네트워크에 설치하고자 할 경우 반드시 허브를 통하여 네트워크에 연결되어야 하며 또한 연결하고자 하는 허브에 반드시 여분의 포트가 있어야 하며, 만약 없다면 네트워크를 다시 재구성하여야만 한다. 반면 FDDI의 클래스 A 스테이션은 집중기나 링에 직접 연결하면 되지만, 클래스 B 스테이션은 반드시 집중기를 통하여 연결되어야 하는 제약 조건을 지니고 있어 투명성은 우수하다고 볼 수 없다.

(3) 신뢰성

광 패시브 스타 네트워크에 허브가 아닌 다른 노드에서 고장이 발생되었다면 시스템 전체에 영향을 결코 미치지 않는다. 실제 수백개의 스테이션을 지원하는 광 패시브 스타 네트워크를 구성하기 위해서는 결합기의 광 손실로 인하여 패시브 허브 만으로는 구성할 수가 없으며 반복기를 사용하거나 액티브 허브를 패시브 허브와 직렬로 연결하여 네트워크를 구성하여야 한다. 그런데 FDDI는 이중링의 구조를 가지므로 한 부분의 고장은 시스템 전체에 최소의 영향을 미치며 또한 고장의 원인은 이중링을 이용한 논리적 링의 재구성 과정을 통하여 자동적으로 논리적 링에서 고립된다.

(4) 응답 시간

광 패시브 스타 네트워크에서는 스테이션 간의 연결은 허브를 중심으로 점대점으로 연결되므로 빠른 응답 시간을 제공한다. 따라서 네트워크의 토폴로지면에서 고려하면 링 구조보다 우수하겠지만, FDDI는 100Mbps의 전송 속도를 제공하므로 10Mbps를 제공하는 802.4의 응답속도보다 빠를 것이다.

(5) 이상 발생 진단

광 패시브 스타 네트워크에서는 허브를 통하여 스테이션들이 연결되어 어떤 스테이션에서의 전송 프레임은 허브에 연결된 모든 스테이션들에게로 브로드캐스트된다. 반면에 FDDI는 인접한 두 스테이션이 오직 하나의 물리적 링크로 연결된 점대점의 연결선 상에 있는 링 구조의 네트워크이므로 고장의 발생시 광 패시브 스타 네트워크에 비하여 네트워크의 문제 진단이 용이하다. 광 네트워크에서의 이상 발생 진단은 먼저 완전히 브로드캐스트 될 때 항상 불이행 상태에 있는 인터페이스 유닛을 선정하고, 그 허브에 연결된 지점들에 대하여 간단한 시험을 거쳐서 정당치 못한 채널 신호가 반전되어 돌아온 지점을 찾아낸 후 그 지점에서의 원격 허브에서 다시 위의 과정을 반복함으로써 해결할 수 있다.

(6) 스테이션의 확장성

광 패시브 스타 네트워크의 경우 만약 헤드엔드 허브(headend hub)에 여분의 포트가 있다면 다른 허브에 영향을 주지 않고 새로운 스테이션 혹은 스테이션들을 연결할 수가 있다. 그러나 만약 허브가 여분의 포트를 가지고 있지 않다면 네트워크를 재구성하거나 여분이 있는 다른 원격 허브에 연결하여야 하므로 다른 지역의 네트워크에게도 결국 영향을 미치게 된다. FDDI의 경우에는 새로운 스테이션을 추가하고자 할 때 광파이버 케이블이 그 위치까지 이르러 있으면 쉽게 추가할 수 있다. 그러나 만약 그렇지 않을 경우 기존의 네트워크 링크에서 새로운 스테이션을 연결하고자 하는 지역까지 광파이버 케이블을 연

결한 후 스테이션을 추가해야만 하는 번거로움이 있다.

(7) 네트워크 고립성

광 패시브 스타 네트워크의 경우는 고장 지역의 원격 허브를 폐쇄함으로써 다른 지역으로의 영향을 최소한으로 줄일 수 있다. FDDI 네트워크에서는 이중링 구조를 사용하여 고장시는 두 번째로 예비된 링을 이용하여 논리적 링을 재구성함으로써 자동적으로 오류로부터 복원이 되며 동시에 네트워크의 주된 고장 원인인 링크 혹은 노드에서 발생한 오류들은 재구성된 논리적 링에서 고립된다. 따라서 FDDI 네트워크의 어떤 한 지역에서의 오류는 다른 지역에 최소의 영향을 미치게 된다.

(8) 경제성

FDDI 네트워크에서의 시스템 가격 상승 요인은 보다 복잡하고 비싼 클래스 A 스테이션의 사용에 있다. 그러므로 두개의 링에 접속될 필요가 없는 노드들은 보다 가격이 낮은 클래스 B 스테이션으로 구성하여 이중링에 연결되는 하나의 집중기를 통하여 다수의 노드들을 네트워크에 연결함으로써 시스템의 가격을 하락시킬 수 있다. 이

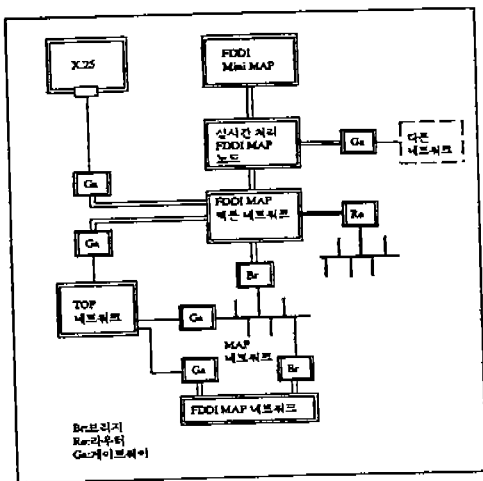
는 제조업 환경에서의 비용 요소는 네트워크의 신뢰성만큼 중요한 변수이다. 따라서 FDDI 네트워크의 뛰어난 신뢰성을 기반으로 운영비를 절감함으로써 클래스 A 스테이션 사용에 따른 시스템의 가격 상승을 감쇄할 수 있기 때문이다.

(그림 9)는 FDDI로 구성된 MAP 체계의 전체적인 구성을 나타낸다.

따라서 FDDI를 이용한 MAP과 802.4를 이용한 MAP은 서로 장단점을 가지고 있다. FDDI, MAP의 경우 사실상 물리적 링을 구성하므로 네트워크의 유연성은 802.4MAP보다 떨어지지만, 신뢰성이 우수한 반면에 802.4MAP은 논리적 링을 구성하므로 기기들의 물리적 연결 위치를 바꿀 필요없이 논리적 링을 재 구성할 수 있다. 그러므로 네트워크의 유연성은 매우 중요한 변수로 적용할 수 있을 것이다. 또한 FDDI는 MAP의 백본 네트워크로 사용될수 있으며 이 FDDI 네트워크에 802.4MAP 네트워크를 브리지를 사용하여 연결함으로써 802.4MAP 네트워크를 지원할 수 있다[11, 12]. 그리고 FDDI를 실시간 처리가 요구되는 mini MAP의 MAC 프로토콜로도 고려할 수 있을 것이다. 또한 802.4MAP 네트워크의 백엔드 네트워크로도 사용될 수 있으며 게이트웨이를 사용하여 TOP(technical and official protocol)과 연결이 가능하게 될 것이다[12, 13]. 이러한 경우 컴퓨터 통합 생산 체제로서의 접근이 가능할 것이다.

4. 결 론

제조 환경에서 산업용 네트워크인 MAP 3.0은 광파이버를 동축 케이블과 함께 전송 매체의 선택 사양으로 규정하고 있다. 이에 따라 광파이버를 사용한 MAP을 구축하기 위하여 10Mbps의 패시브 스타 네트워크와 FDDI를 이용한 네트워크 환경을 제안하고 이의 적용 가능성을 해석하기 위해 FDDI의 효율, 실시간 처리성, 과부하에서 일정한 응답시간의 제공성에 대하여 분석하였다. 또한 네트워크의 전송 거리의 확장성, 투명



(그림 9) FDDI를 이용하여 구성한 MAP 체계의 네트워크 모형

(Fig. 9) Network model of MAP configuration using FDDI

성, 신뢰성, 응답 시간, 이상 발생 진단과 경제성 등 제조업 환경에서 고려되어야 할 변수들을 정의하고 이 변수들에 대하여 광 패시브 스타 네트워크와 FDDI 네트워크 적용성을 해석하였다. 제안된 패시브 스타 네트워크는 비록 구조가 간단한 패시브 허브를 사용하므로 안전하고 802.4를 MAC 프로토콜로 사용하므로 네트워크의 유연성이 뛰어나지만 결합기 사용에 의한 광 손실로 인하여 제한된 갯수의 스테이션만을 접속할 수 있다. 또한 액티브 허브를 적절하게 사용하여 이와 같은 문제를 해결할 수는 있다. 또한 MAP의 MAC 프로토콜로 FDDI를 사용하였을 경우 파부하에서 일정한 응답 시간은 제공할 수 있으며 아울러 셀 레벨 네트워크의 MAC 프로토콜로도 사용될 수 있을 것이다. 또한 그 구조가 IEEE 802 구조와 동일하여 IEEE 802.2LLC를 가지므로 MAP의 MMS, ACSE 등과 같은 응용 서비스를 수정없이 사용할 수가 있다. 클래스 B 스테이션을 링에 접속시켜주는 집중기와 클래스 A 스테이션은 이중링에 연결될 수 있으므로 안전한 네트워크를 구축할 수 있다. 그러나 광 전송을 위한 MAP의 MAC 프로토콜로서 FDDI는 802.4에 비하여 네트워크의 유연한 구축에는 어려움이 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] GM Task Force, Manufacturing Automation Protocol Specification V 3.0, GM Corp., 1987.
- [2] S. J. Baily, "Fiber Optic Promise 1987: A Cohensive Force in Noise-Plant Network Design" Control Engineering, pp. 53-57, Aug. 1987.
- [3] Johnes, Vincent C. MAP/TOP Networking, McGraw-Hill Book Co., 1988.
- [4] W. E. Burr, "The FDDI Optical Datalink", IEEE Communication Magazine, Vol. 24, No. 5, pp. 18-22, May 1988.
- [5] J. N. Daigle, J. R. Pimentel, "Communication

for Manufacturing: An Overview", IEEE Network, Vol. 2, No. 3, pp. 6-13, May 1988.

- [6] W. B. Hatfield, F. W. Scholl, "Fiber Optics LANs for the Manufacturing Environment", IEEE Network, Vol. 2, No. 3, pp. 70-74, May 1988.
- [7] Iyer, Venkatraman, "FDDI's 100 Mbps Protocol Improves on 802.5 spec's 4Mbps Limits", EDN, pp. 151-160, May 1990.
- [8] J. M. Johnson, "Proof that Timing Requirements of FDDI Token Ring Protocol are Satisfied", IEEE Trans on Communications, Vol. 35, No. 6, June 1987.
- [9] Andrew Keusiak, Surderesh S. Heragu, "Computer Integrated Manufacturing: A Structure Perspective", IEEE Network, Vol. 2, No. 3, pp. 14-31, May 1988.
- [10] L. J. McGuffin, "MAP/TOP in CIM Distributed Computing", IEEE Network, Vol. 2, No. 3, pp. 23-31, May 1988.
- [11] S.Y. Shu, "Fiber-Optic Local Area Topology", IEEE Comm. Magazine, Vol. 24, No. 8, pp. 26-31, Aug. 1990.
- [12] 한국전자통신연구소, FA용 네트워크 시스템 개발에 관한 연구, 최종보고서, 1992.
- [13] 한국전자통신연구소, 고속 정보망 연동 시스템 구성과 성능 해석, 최종보고서, 1992.

김 정 호



1980년 2월 경북대학교 전자공학
학과(학사)
1983년 2월 경북대학교 대학원
전자공학과(석사)
1990년 8월 전자계산조작응용
기술사
1991년 8월 공업제측제어 기술
사

1992년 12월 전기통신기술사

1983년~현재 한국전자통신연구소 책임연구원/실장
관심분야: 컴퓨터네트워크, 실시간처리시스템.



이 민 남

1980년 2월 동국대학교 전자계산학과(학사)
1982년 2월 연세대학교 대학원 전자계산학과(석사)
1990년 8월 정보관리 기술사
1991년~현재 건설공제조합 전산부장

관심분야: 프로젝트관리기법, 컴퓨터네트워크, 데이터베이스 설계.



이 상 범

1974년 2월 연세대학교 전자공학과(학사)
1978년 8월 서울대학교 대학원 전자공학과(석사)
1986년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(박사)
1983년 10월~84년 12월 미국 IOWA 대학 컴퓨터 공학과

객원교수

1979년~92년 단국대학교 전자공학과 교수
1993년~현재 단국대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 컴퓨터구조, 마이크로프로세서 응용, 영상 처리시스템.