

## 産業分野에서의 工程制御 新技術 및 發展動向

New Technology and Developing Trend for Process Control in the Industrial Field

朴 炳 海\*  
Park, Byung Hae

### 1. 序 論

未來 産業分野에서의 工程制御系統 構成을 위한 次世代 아키텍처는 美計器裝置協會(Instrument Society of America)에서 最近에 規定한 標準案(ISA SP50 Standards)인 플랜트 現場에 構築되는 데이터 버스線인 Field Bus(혹은 Field Instrumentation Network)을 基盤으로 하는 컴퓨터 네트워크와 시스템構成에 있어 하드웨어와 소프트웨어의 分散化를 追求하는 이른바 3C(Command, Communication, Control) 概念을 導入하여 그림 1에서의 經營情報시스템(Management Information System)를 頂點으로한 top-down 방식의 階層構造情報網形態를 갖는 制御方式으로 構成된다.

이러한 아키텍처는 現在 産業分野에 널리 適用되지 않았기 때문에 最近 計算機 制御方式인 分散制御(Distributed Control)와의 混同을 피하기 위하여 第5世代 工程制御方式으로 分類하여 通信網制御(Newtork Control)라고 命名하고 있다. 從來의 古典的 制御方式인 以前 世代에서도 効率的인 制御를 위한 運轉操作範圍(Operator's Span)의 擴大와 制御性 向上에 主眼點을 두어 發展되어 왔으나, 새로히 開發된 通信網制御에서는 마이크로프로세서를 根幹으로한 分散 디지털制御方式보다 進一步하여 實施間 性能分析과 高級制御理論의 適用과 高速데이터處理能

力으로 플랜트의 利用率과 効率을 極大化하기 이르렀다.

따라서 이러한 新技術의 向後 制御設備마케팅을 急速히 占有하게 되므로서 從來의 工程制御設備 製作社들은 生産體制을 新規 아키텍처에 맞추어 品目の 轉換을 서둘게 될 뿐만 아니라 大部分의 工程制御 主種方式인 空氣壓式과 電子式的 아날로그 制御시스템은 漸次 消滅될 것으로 豫見된다.

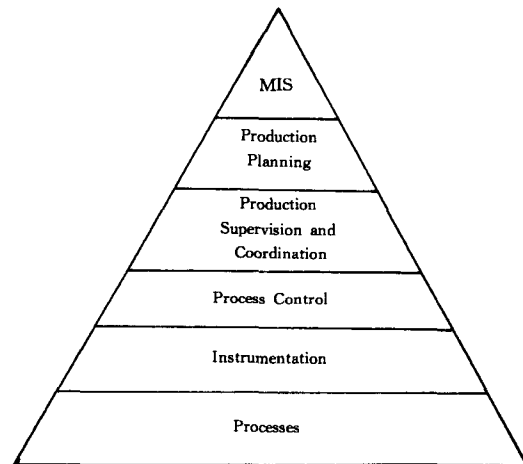


그림 1 總合工程制御階層構造

### 2. 工程制御 發展課程

일찌기 工程制御의 機能을 自動化하기 위하여

\* 電子技術士(工業計測制御), 韓國原子力研究所 計裝技術研究室, 前任技術員

試圖되었던 大多數 工程變數(Process Variable)는 溫度, 壓力, 液位 및 流量制御로서 이러한 파라메타값들을 위한 設定值(Set Point)는 프로세스 特性상 一定하였기 때문에 全적으로 熟練된 運轉員의 經驗에 依存되었다. 그당시 주로 使用되었던 工程制御器機는 그림 2에서와 같이 Direct-acting (혹은 Self-acting)方式의 制御器들로서 工程變數의 計測, 制御機能은 각기 分離된 單一裝置로서 運轉員의 知覺 및 手動操作에 의해서 運用되었다. 이러한 計器裝置는 대부분 現場에 設置되었기 때문에 直接 判讀의 다이얼 計器와 로컬에서의 設定值調整에 있어 運轉員 인터페이스 側面에서 負擔이 있었고, 특히 慎重한 調整이 要求되는 工程變數에 대하여서는 遠隔에서 判讀할 수 있는 地點까지 引出하여 運轉員이 直接計測裝置를 判別하여 밸브를 手動으로 操作하였다. 이러한 아키텍처가 Open-Loop 制御에 해당하는 第1世代 工程制御方式이라 할 수 있다.

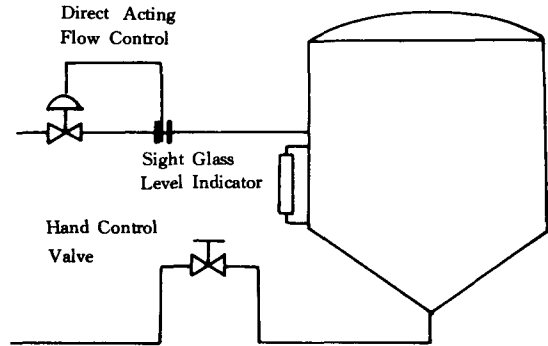


그림 2 第1世代 工程制御 : Direct-Acting 制御方式

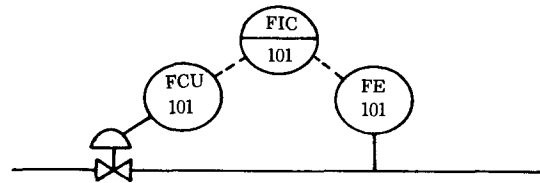


그림 3 第2世代 工程制御 : 아날로그制御方式

이후 空氣壓式 制御器의 出現으로 工程制御 시스템의 第2世代인 아날로그 制御方式이 登場하게 되었으며 初期의 아날로그 制御裝置는 制御 알고리즘을 演算하기 위하여 制限된 機能만이 賦與되어 각 計器들을 組合하므로써 그림 3에서와 같이 制御루우프를 構成하게 되었다. 이러한 制御方式은 Direct-acting 方式보다 制御性이 優越할 뿐만 아니라 열악한 플랜트 環境으로부터 保護된 制御室內에서 變數 값의 指示와 設定值 調整이 가능하게 되었다.

漸次的으로 空氣壓式 制御方式이 電子式 制御方式으로 代置되므로써 制御器 自體의 性能이 한층 더 改善되었고 計測信號의 傳送距離도 길어졌다. 이러한 第2世代 制御方式은 아직도 工業計測制御技術人에게 가장 보편화된 計裝設備로서 오늘날에도 小規模 플랜트의 制御機器品目으로서 프로세스 마아케팅에 상당한 市場性을 占有하고 있다.

從來의 制御設備方式을 脫皮한 그림 4에서와 같은 第3世代 工程制御 아키텍처에서는 時分割에 의한 多數의 制御루우프를 同時에 制御할

수 있는 機能을 隨行하기 위하여 디지털 컴퓨터의 使用이 切實히 要求되었다. 소위 制御工學의 專門用語로서 DDC(Direct Digital Control)이라고 불리우는 計算機制御시스템에서는 CRT가 運轉員 인터페이스로서 利用됨에 따라 運轉員 1인이 擔當하는 工程의 監視 및 制御의 範圍가 擴大되었다. 이에따라 第3世代 工程制御方式의 核心技術인 디지털 制御알고리즘과 人間-機械 (Man-Machine) 인터페이스 向上을 위한 칼라 그래픽機能의 디스플레이裝置의 技術開發이 加速化 되었다.

이러한 시스템에서의 構成素子들은 전체 制御 루우프를 分割하여 制御하고 耐故障性(Fault Tolerance) 機能이 追加되어 하나의 구성소자의 故障이 다른 制御系統으로의 波及效果를 防止할 수는 있었으나, 中央演算處理裝置의 故障은 全體 프로세스를 一時에 中止시키는 短點으로 인하여 系統의 信賴性 確保가 문제되었다.

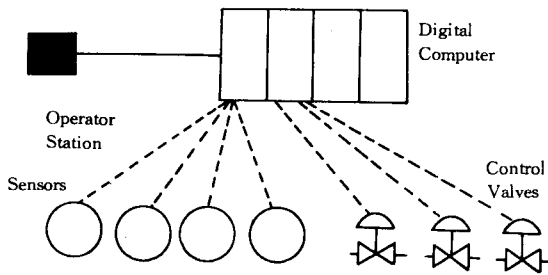


그림 4 第3世代 工程制御: 計算機制御方式

現在の 第4世代 工程制御 아키텍처는 第3세대 工程制御 方式의 問題點을 補完한 分散制御 (Distributed Control)으로서 最初로 工程制御 시스템에 마이크로프로세서가 利用되었다. 이러한 아키텍처상의 마이크로프로세서의 機能으로 다수의 Multiple-Loop 을 分擔하는 制御器로서 그림 5에서와 같이 하나 혹은 그 이상의 CRT 로 構成되는 運轉員워크스테이션(Operator's Workstation)에 버스로 連結되는 直列 디지털 데이터通信網(Serial Digital Communication Network)의 使用이었다. 다수의 裝置들에 대한 分散制御概念은 工程制御를 위한 革新的인 技術 變革으로서 第3世代의 計算機制御方式의 短點을 克服할 수가 있었으며 다수의 分離된 CRT 디스플레이의 使用은 制御系統의 信賴性 및 效率性을 向上시켰다. 실제로 分散制御方式은 第3世代의 計算機制御로부터 發展되었고 以後, 그림 6의 計裝設備 發展推移에서와 같이 이의 아키텍처를 急速히 代置시켰다. 이와 더불어 PLC(Programmable Logic Controller)의 入出力點 容量向上과 特殊한 制御機能이 부과됨에 따라 그림 8과 같은 第5세대 工程制御 아키텍처인 通信網制御의 核的인 構成要素로서 階層構造의 下位레벨에서 直接 入出力 計測制御機器를 관장하므로써 大規模 Batch Process 制御에 크게 寄與하게 되었다. 이러한 機能을 갖는 PLC가 分散制御 시스템의 하나의 構成機器로서 Sequential Logic 과 大規模 Batch Process 에 適合된 追加設備로서 分類되는 반면에, 分散制御시스템의 構造特性 상 總合된 同一系統으로 分類되는 경우도 있다.

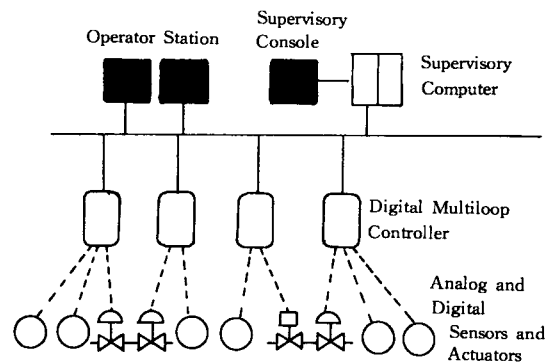


그림 5 第4世代 工程制御: 分散制御

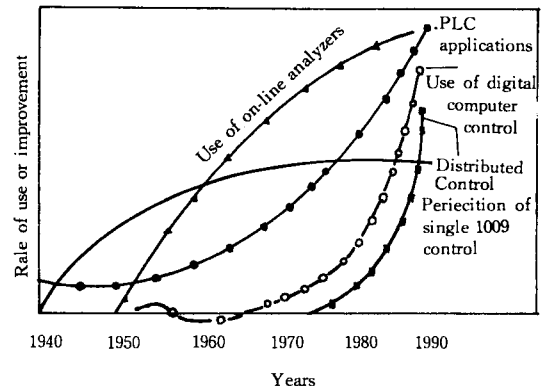


그림 6 計裝設備 發展推移

### 3. 아키텍처별 分析

第1세대 工程制御아키텍처는 計裝費用이 低價인 반면에 運轉員의 操作性和 制御性이 結如된 시스템이었고, 第2세대 아키텍처는 第1세대 工程制御方式에 比較하여 設置費는 높은 편이나 制御의 集中化에 있어서 改善된 시스템이라 할 수 있다. 第3세대에서의 디지털 제어 방식의 出現과 高解象度의 CRT 디스플레이技術은 차세대의 工程制御의 基盤이 되었으나 制御設備가 高價이고 高度의 專門的인 運用技術이 要求되며 多重性의 결여로 成功的인 制御方式이 되지 못했다. 第4세대 아키텍처인 分散制御方式은 初期의 計算機制御의 短點을 補完하였을 뿐만 아니라

最近에 이르러 第2世代 아날로그制御方式을 急速히 代置하여 産業分野에 適用되게 되었다.

이러한 第4世代 制御方式이 아날로그 制御方式에 比較하여 상당히 높은 價格의 制御設備임에도 불구하고 實用面에서 그토록 成功的인 理由로서 既存의 制御設備 交替에 割當되는 初期投資費用에 비하여 向後 制御設備의 再構成과 擴張性이 容易할 뿐만 아니라 初期의 컴퓨터 制御方式보다 管理制御側面에서 効率的인 프로세스의 集中監視 및 制御範圍 擴大로 多數의 制御루우프에 대한 運轉員의 操作性(More Loop Per Operator) 이 向上되어 새로운 플랜트建設의 計裝프로젝트에 必然的인 工程制御設備로서 確固한 位置를 占有하고 있다.

#### 4. Fieldbus

産業工程에 컴퓨터를 利用하여 工程處理에 自動化를 推進하고 각 스테이션 機能을 수평, 수직적으로 統合하여 全體工程을 一관되게 管理 制御함으로써 工程管理에 柔軟性을 두어 生産計劃과 工程등의 急激한 變化에 대하여서도 적절히 對處하고 情報의 統合化를 위해 데이터링크상의

高價의 裝備들을 共有化하는 體系인 統合生産自動化(Computer Intergrated Manufacturing)의 階層構造上 가장 下位 階層인 生産Field의 分散工程制御(Distributed Process Control)에 있어서 센서, 工程制御器, 액츄에이터, 計測器機, 스위치 등과 같은 制御機器들 間에 通信을 위해서는 그림 7의 構成圖와 같은 MAP(Manufacturing Automation Protocol)같이 高價이면서도 복잡한 構造를 갖는 下位の 네트워크보다는 比較的 低價이고 데이터通信에 필요한 最小限度의 機能을 隨行할 수 있는 그림 8과 같은 第5世代 工程制御用 아키텍처를 갖는 새로운 네트워크를 필요로 하게되었고, 이를 위하여 Fieldbus라는 새로운 概念의 下位 Network Protocol이 提案되었다. Fieldbus는 현재 世界 여러 機關에서 標準化를 推進하고 있으나, 國際標準機構(International Standards Organization)의 OSI (Open Systems Interconnection)의 基準모델과 比較하여 일반적으로 Mini-MAP과 같이 그림 9에서와 같은 Physical, Data Link 및 Application의 3階層으로 構成되어 있으며 각 계층에서 요구되는 機能들은 다음과 같다.

Physical階層은 일반적으로 그림 10과 같은

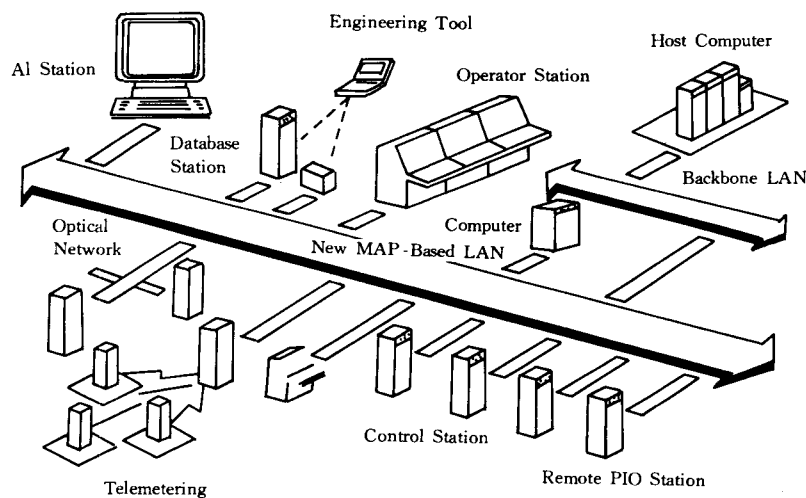


그림 7 MAP 概念 構成圖

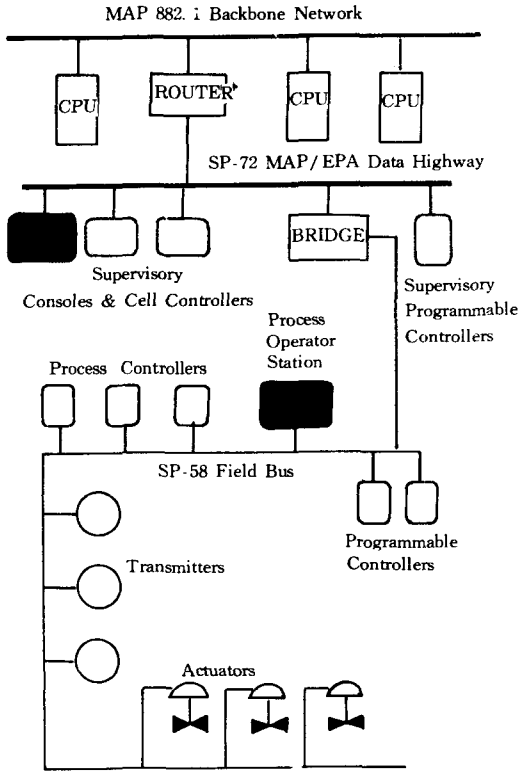


그림 8 第5世代 工程制御: 通信網制御

그림 9 OSI 기준모델과 Fieldbus 모델 계층비교

	OSI 기준모델	Field bus 모델
LAYER 7	Application Provides Messaging Service	좌측과 동일
LAYER 6	Presentation Translates Data	없음
LAYER 5	Session Controls Dialogue	없음
LAYER 4	Transport Ensures Message Integrity	없음
LAYER 3	Network Routes Transmission	없음
LAYER 2	Data Link Determines Access & Delivers Message	좌측과 동일
LAYER 1	Physical Transmits Physical Symbols	좌측과 동일

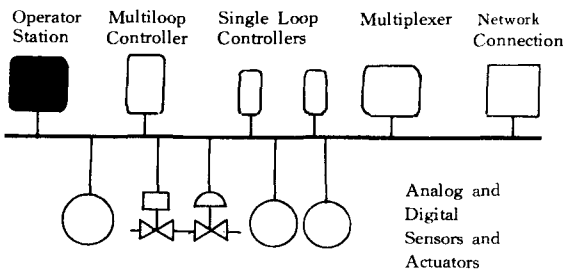


그림 10 Fieldbus with Bus Topology

Bus Topology 形態로서 Segment 當 30~32 개 정도의 Node 를 受容할수 있어야 한다. 傳送媒體로는 주로 低價의 Twisted Pair 케이블을 使用하나, 경우에 따라서는 同軸線(Coaxial Cable) 또는 光纖維(Fiber Optics) 케이블을 선택적으로 使用한다. Bus 길이와 Data Rate의 要求條件은 標準化推進機關에 따라 다르나 일반적으로 버스 길이가 짧은 境遇에서는 높은 데이터 傳送率을 要求하고 버스 길이가 긴 경우에는 낮은 데이터 傳送率을 許容한다. 또한 Fieldbus는 作業現場에 設置되기 때문에 溫度, 濕度 및 電氣的인 影響 등 周圍環境에 대한 安全性을 갖추어야 한다.

Data Link 階層의 下部構造인 그림 11 과 같은 MAC(Medium Access Control)계층의 표준모델로는 하나의 Master Node가 여러개의 Slave Node들의 데이터 傳送을 統制하는 Master/Slave Access 방식과 MAP에서의 IEEE 802.4와 같은 Token Passing Access 방식 중의 하나가 고려되고 있다. Master/Slave(혹은 Centralized Access) 방식에서는 Master Station이 네트워크내의 모든 스테이션들 간의 相互通信(Traffic)을 管掌함으로서 네트워크 管理면에서 長點이 있으나 Master Station에 故障이 生길 경우에는, 트래픽이 완전히 中斷되는 등의 시스템 信賴度 면에 있어서 결점이 있다. 이와 같은 缺點을 補完하기 위하여 두개 이상의 스테이션들이 主 스테이션의 役割을 週期的으로 돌아가면서 隨行하는 Multi-master 방식이 提案되고 있다. Token Passing Access(혹은 Distributed Access) 방식에서는 그림 12의 動作原理에 따라 Logical Ring을 구성하는 스테이션들이 어느 정도의 Intel-

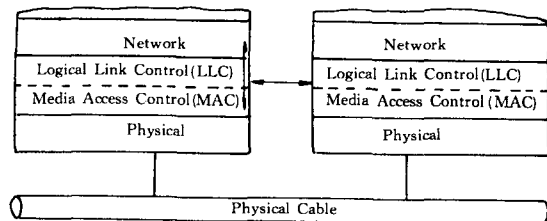


그림 11 MAC의 데이터링크 制御仕樣

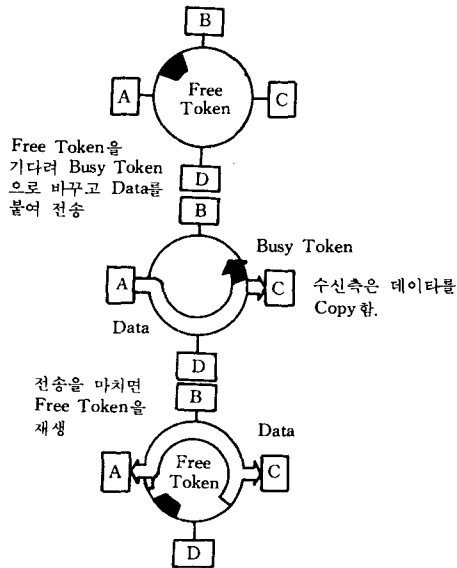


그림 12 Token Ring의 동작원리

ligence 를 가지고 있어 각 스테이션의 상태에 따라 언제든지 Logical Ring 을 再構成할 수 있고 토큰이 넘겨질 때마다 每回の 토큰패싱 상태를 점검하는 機能 등으로 인하여 信賴度 면에서 Master/Slave Access 방식보다 越等하나 이러한 기능들을 隨行하기 위하여서는 각 노드가 Master/Slave Access 방식의 Slave Node 보다는 복잡한 構造를 가져야 한다.

Data Link 階層의 上部構造인 LLC(Logical Link Control) 계층은 SDN(Send Data with No acknowledgement), SDR(Send Data with Response), RDR(Request Data with Response) 및 SDR(Send Data with Response) 등의 서비스를 提供할 수 있도록 하고 있다. SDN 은 하나의 Remote Station 또는 Broadcast 어드레싱 방법을 사용하여 네트워크 내의 모든 스테이션들에 데이터를 傳送하는데 사용되며, SDA 는 하나의 원격 스테이션에 데이터를 전송한 후 전송한 데이터의 受信을 確認할 필요가 있을 경우에 사용된다. RDR 은 Remote Station 을 Polling 하여 데이터의 傳送을 要求하는데 使用되며 SDR 은 SDA 와 RDR 을 統合한 것으로 데이터

의 送受信을 한번에 處理할 필요가 있을 경우에 사용된다.

Application 階層의 基本的인 서비스로는 現場機器들의 Parameter 값을 指定 및 變更하고 이의 變數들을 週期的으로 입출력할 수 있는 機能과 Clock 의 同期化(Synchronization) 등과 같이 시스템 運用을 위하여 週期的으로 隨行해야 하는 動作 및 네트워크를 効率的으로 運用하기 위한 네트워크 管理機能 등을 포함한다. 특히 Fieldbus 의 主目的이 通信機能을 통하여 應用시스템들을 制御 및 監視하고 工程을 處理하는데 있으므로 이러한 기능들을 隨行하기 위하여서는 MAP의 MMS(Manufacturing Message Specification : application 階層의 서비스機能의 하나로서 現場의 各種 機器裝置 간의 情報交換 및 處理機能을 隨行하기 위한 規定으로 ISO DIS 1506 을 採擇하고 있다.) 機能中 remote variable access (프로그램머블裝置 내의 變數 값들을 遠隔으로 生成, 削除, 入力 및 出力하기 위한 방법)와 Event Mangement 機能들을 採擇하는 것이 考慮되고 있다. Remote Variable Access 機能은 시스템 制御에 있어서 Sensor 데이터를 週期的으로 制御器에 傳送하고 制御器에서 計算된 制御命令을 액츄에이터에 주기적으로 提供해 주는 기능을 수행하며, Event Mangement 機能은 連續工程의 制御에 있어서 각 工程에서의 處理狀態를 점검하고 다음 工程으로의 遷移에 필요한 條件들을 만족시키고 있는가를 점검하는 일을 隨行한다. 그러나 이러한 기능들도 MMS에 定義된 모든 要求條件을 Fieldbus 의 Microcontroller 로 處理하기에는 容量이나 處理速度上 문제가 있으므로 fieldbus 運用상 반드시 필요한 機能들 만을 選擇하여야 할 필요가 있다.

위에서 언급한 Fieldbus 의 構造를 바탕으로 하여 世界的으로 많은 業體들이 自社製品을 開發하여 産業現場에 適用하여 試驗을 하고 있으며 試驗結果를 土臺로 하여 標準化 方案을 提示하고 있다. 또한 Fieldbus 標準化推進機關들은 現場試驗 결과와 자체의 研究結果를 綜合하여 標準化作業을 推進中에 있다. 이러한 Fieldbus 의 國際標

準化作業은 1985년 캐나다 몬트리올에서 개최된 IEC(International Electrotechnical Commission) TC 65C 會議에서 처음으로 始作되었으며 1986년과 1987년 사이에 fieldbus의 機能要求書를 製作하여 발표하였다. 현재 IEC에서는 그림 13과 같은 既存의 PROWAY(Process control data high way)을 위한 Working Group인 IEC TC65C WG6를 중심으로 生産業體들의 現場適用試驗을 통한 報告書와 이 分野에 從事하는 다른 그룹들로부터 標準化提案書를 취합하여 分析하고 字體研究를 통하여 標準化作業을 推進하고 있다.

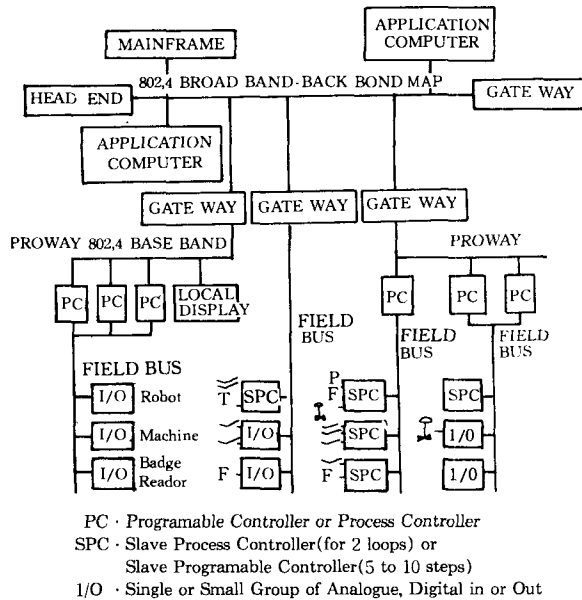


그림 13 MAP-PROWAY-FIELD BUS 네트워크

유럽에서는 Eureka를 중심으로 6개국 14개 會社들이 모여서 Fieldbus를 共同開發中에 있으며 1991년에 現場適用 示範을 計劃하고 있다. 佛蘭西에서는 여러 회사들이 모여서 FIP(Factory Instrumentation Protocol)이라 불리우는 fieldbus를 自國의 표준모델로서 開發中이며 IEC 및 fieldbus 標準化事業에 크게 寄與하고

있다. FIP는 Master/Slave Acces 方式을 채용하고 있으며 Polling시 Priority Service를 제공하도록 하고 있다. 또한 獨逸에서는 Profibus를 開發하여 자국의 표준모델로 指定하였으며, Token Passing Access 방식과 Master/Slave access 方式을 並行하여 使用하도록 한 것이 特徵이다. 英國에서는 ERA Technology의 主導下에 MIL-STD-1553B를 fieldbus의 要求條件에 맞도록 變形시켜 개발하고 있고, 스위스에서는 Phoebus 라는 Field bus 시스템을 개발하고 있다.

美國에서는 ISA SP50의 主管下에 Fieldbus의 標準化를 추진중이며 適用環境에 따라 H1, H2의 두가지 機能要求書를 定義하였다. 즉, H1은 기존의 4~20mA 시스템을 디지털 시스템으로 代替하는 것이고, H2는 H1의 概念을 擴張한 것으로 高速의 로직을 필요로 하는 高性能 시스템에의 適用을 위한 것이다.

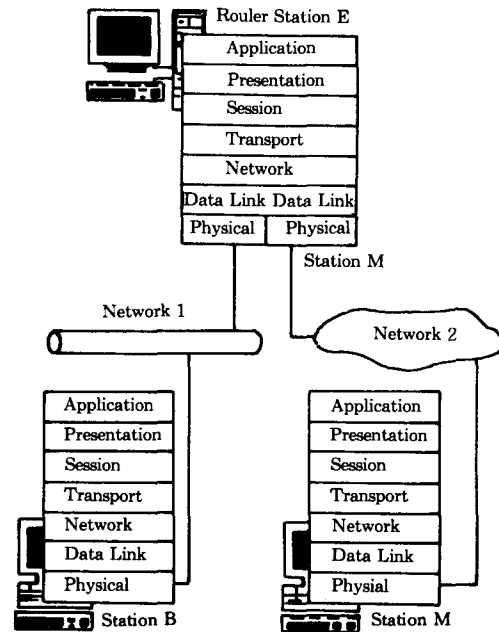
ISA에서는 fieldbus 기능요구서를 발표후, 각 標準化 推進機關 및 生産業體로부터 제안서를 받아 比較, 檢討하고 있으며 여기에는 위에서 언급한 FIP, Profibus, ERA Technology를 비롯하여 Data Link 階層에 HDLC를 사용하는 Foxboro 社의 제안서의 LLC 階層과 MAC 階層에 IEEE 802.2와 802.4를 각각 사용하는 Rosmount 社의 제안서 등을 포함한다. 또한 fieldbus의 기능요구서 따르지는 않으나 이와 유사한 것으로는 美國防省에서 航空機內의 데이터交換을 위하여 開發한 MIL-STD-1553B가 있고, IEEE P1118 委員會에서는 Intel社의 Bitbus를 變形시켜 microcontroller system用的 data bus의 標準化를 推進中에 있다.

### 5. 産業用 네트워크 시스템의 接續

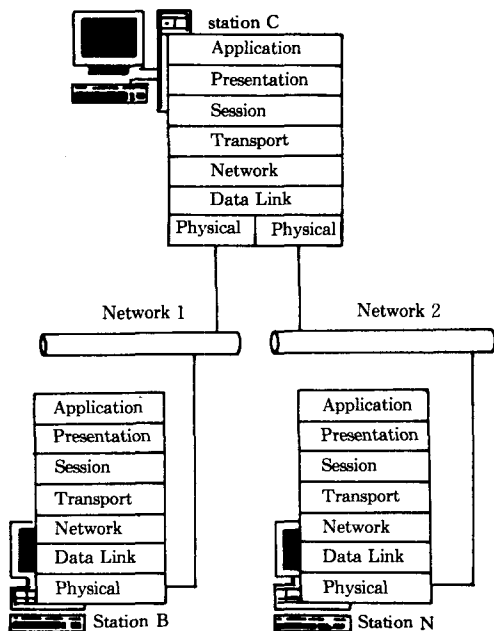
大型 플랜트 시스템에 있어서 會社의 經營管理 階層에서 現場의 計裝設備 階層사이의 모든 裝置들을 하나의 네트워크로 묶는다는 것은 네트워크 性能이나 시스템 運用面에서 볼때 매우 不合理하다. 따라서 위에서 提示한 바와 같이 産業用 네트

워크 시스템들을 각각의 適用分野에 따라 그 特性에 맞는 시스템을 선정하여야 하고 네트워크들 간에 情報交換은 네트워크 接續裝置(Network Interconnection Device)를 통하여 이루어 지도록 해야한다. 이러한 네트워크 接續裝置들에는 Bridge, Router, Gateway 등이 있으며 이들의 構造가 그림 14에 각기 나타나 있다.

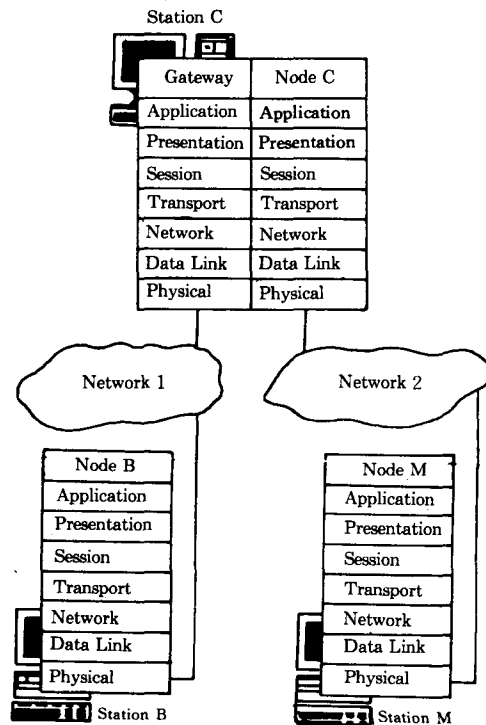
브리지는 같은 종류의 두개의 네트워크를 連結하는 裝置로서 OSI 階層構造上 Physical 계층과 Data Link 계층으로 구성된다. 따라서 연결되는 두개의 네트워크간에 MAC 階層까지는 다를 수 있으나 LLC 階層 이상부터는 같은 構造를 가져야 한다. 루터 역시 같은 構造를 갖는 두개의 네트워크를 연결하는 裝置로서 브리지와 같이 OSI 하위 2개 계층에 네트워크 계층을 追加시킨 3개의 階層으로 構成된다. 데이터가 하나 이상의 네트워크를 거쳐 다른 네트워크로 傳送될 필요가 있을 경우에, 經路選定을 위한 Routing이 必要하며 이러한 機能을 네트워크 階層에서 擔當한다. 게이트웨이는 완전히 다른 구조를 가진 두개의



(b) Router



(a) Bridge



(c) Gateway

그림 14 네트워크 接續裝置



그림 15 TOP과 MAP의 공통된 핵심적 프로토콜

OSI Layers	TOPV1.0 Protocols	MAPV2.1 Protocols
Application	ISO FTAM(DP) 8571 File Transfer	Protocol ISO FTAM(DP) 8571 File Transfer Protocol, Manufacturing Format Standard(MMFS), & Common Application Service Elements (CASE)
Presentation	NULL(ASCII and Binary Encoding)	
Session	ISO Session(S) 8372 Basic Combined Subset & Session Kernel, Full Duplex	
Transport	ISO Transport(TS) 8073 Class 4	
Network	ISO internet(DIS) 8473 Connectionless and for X.25-Subnetwork Dependent Convergence Protocol (SNDCP)	
Data Link	ISO Logical Link Control(DIS) 8802/2 (IEEE 802.2) Type 1, Class 1	
Physical	ISO CSMA/CD (DIS) 8802/3 (IEEE 802.3) CSMA/CD Media Access Control, 10 Base 5	ISO Token Passing Bus (DIS) 8802/4 (IEEE 802.4) Token Passing Bus Media Access Control

네트워크를 연결할 때 사용되며 OSI 7계층을 모두具備하여야 한다.

統合生産自動化(Computer Intergrated Manufacturing)에서 製造環境을 除外한 모든 부분은 하나 또 그 이상의 TOP으로 構成되고 이들 간의 連結은 브리지 또는 라우터를 사용한다. 製造環境의 backbone network으로는 MAP을 사용하며 TOP과 MAP의 연결은 그림 15에서의 각 프로토콜의 階層構造에 따라서 이미 前述한 接續裝置를 選別하여 사용한다. 또한 Cell단위의 制御에서 加工工程, 組立工程 등 單位 工程의 處理를 위한 네트워크로는 Mini-MAP을 사용하며 MAP과 Mini-MAP의 연결을 그림 16의 MAP/EPA가 담당한다. 가장 하위레벨의 機器裝置 및 工程制御用 네트워크는 Fieldbus가 담당하며 Mini-MAP과 Fieldbus 사이의 連結은 Fieldbus의 구조에 따라 接續方式을 달리 使用할 수가 있다.

### 6. 네트워크 시스템의 設計 및 管理

CIM과 같은 分散處理 시스템을 運用하기

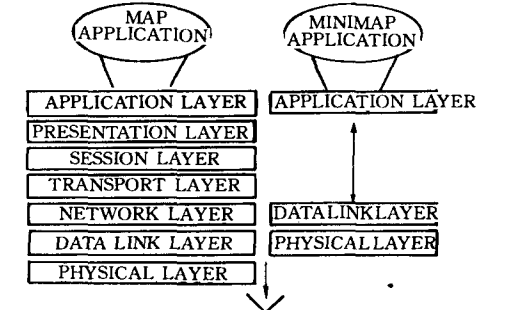


그림 16 MAP/EPA(Enhanced Performance Architecture)

위하여서는 각 스테이션에 필요한 모든 情報들이 適時에 傳達되어야 한다. 그러나 이러한 情報들을 處理하여야 할 네트워크의 容量에는 限界가 있으며, 따라서 限定된 네트워크의 容量을 最大한 利用하기 위해서는 네트워크를 効果적으로 設計하여야 할 필요가 있다. 특히 産業用 네트워크라는 特殊한 環境에서 프로세스 制御 및 安全系統 등에 관한 情報들은 mS~μS내에 전달되어야 한다. 또한 파일 傳送 및 工場에서의 CAD 데이터 傳送과 같이 많은 양의 情報를 處理해야 할 경우에는 情報傳送量의 觀點에서 네트워크가 設計되어야 한다. 따라서 각 스테이션에서의 要求條件을 充足시켜주기 위하여서는 그에 따르는 最適의 네트워크 파라메타들이 決定되어야 한다. 네트워크 파라메타들로는 네트워크내의 스테이션의 수, 각 스테이션에서의 데이터 길이 및 데이터 到着率과 Queue의 容量 등이 있으며, 이러한 파라메타들을 決定하기 위하여서는 네트워크의 性能을 測定하기 위한 적절한 모델이 필요하다.

네트워크의 性能은 Total System Delay와 Throughput으로 나타내진다. Throughput은 傳送된 데이터에 대한 성공적인 데이터의 도착율이고, total system delay는 데이터가 傳送 스테이션의 Transmitter Queue에 도착한 순간에서 같은 데이터가 受信 스테이션의 Receiver Queue에 완전히 도착한 순간 사이에 時間의 差異로

定義되며 이는 queueing delay. 데이터 傳送時間, 傳送遲延(Propagation Delay)의 합으로 나타내어 진다. 이중 데이터 傳送時間과 傳送遲延은 데이터의 길이 및 physical階層에서 어떤 傳送媒體를 使用하는가에 따라 固定的으로 결정되며 Total System Delay는 Queueing Delay에 크게 좌우된다. 이 절에서는 네트워크의 性能을 測定하기 위한 모델링의 種類와 이러한 모델들이 네트워크를 設計하는데 어떻게 利用될 수 있는가에 대하여 언급하였고, 또한 産業用네트워크 시스템에 있어서 데이터의 遲延에 크게 影響을 받는 시스템들의 實時間 處理와 同期化 및 네트워크管理 등에 관하여 敘述하였다.

## 7. 네트워크 모델링 및 設計

네트워크 시스템에서 生成된 데이터들은 OSI 階層構造上 Application 계층에서 부터 LLC 계층까지 데이터 形成課程을 거쳐 MAC 계층에서 傳送媒體에 接續될때 까지 queue에서 待機한 후 physical階層을 통하여 전송된다.

따라서 네트워크의 性能은 MAC 계층에서 어떠한 방식을 使用하는가에 따라 크게 좌우되며 네트워크 모델링도 MAC 계층에서의 queueing delay와 throughput을 測定하는데 주로 使用된다. 네트워크의 性能을 測定하기 위한 모델링方法으로는 Analytical Model, Simulation Model 및 Experimental Model 등이 있다.

네트워크 시스템의 分析的 모델은 하나의 데이터 傳送媒體(Medium)에 여러개의 queue가 接續된 Queueing System으로 나타낼 수 있다. 이러한 queueing 시스템에서 각 Queue의 상태를 Data Arrival Process와 Medium Access Process에 따라 항상 random하게 변하여 따라서 queueing delay도 不規則한 성격을 띄게 된다. 이러한 Queueing System의 解析은 Queueing Theory를 바탕으로 이루어진다. 그러나 네트워크의 queueing system에 있어서 가장 어려운 점은 서로 다른 機能을 隨行하는 스테이션들로 構成된 네트워크 시스템에서 각 스테이션에서 生成되는

데이터들은 각기 다른 데이터 길이와 데이터 到着率을 가지게 되고 이러한 스테이션들이 하나의 네트워크를 共有할 경우에 각 스테이션들에서의 데이터들의 Queueing delay는 그 스테이션의 Queue의 狀態 뿐만아니라 다른 스테이션들의 Queue 상태에 크게 影響을 받는다는 것이다. 이러한 Queueing System에서 모든 queue들의 相關關係를 精確히 數學的으로 表現한다는 것이 매우 어려운 일이며 精確한 수학적인 모델을 얻는다 하더라도 이를 利用하기 위하여서는 엄청난 計算量이 필요하며 이러한 計算量은 queue의 수가 늘어남에 따라 幾何級數的으로 增加하게 되어 實用的인 면에서의 意味가 없어질 수도 있다. 따라서 工學的인 側面에서 주어질 가정하에서 네트워크 性能의 근사치를 얻기 위한 많은 方法들이 提示되고 있다. 특히 産業用 네트워크 시스템으로서 MAP의 MAC으로 採擇하고 있는 token Passing 방식이나 polling access 방식과 같은 Cyclic Service System의 解析을 위하여서는 Queue들의 상태가 어느정도 獨立性을 維持한다고 가정하는 Independence Assumption을 비롯하여 Queue의 容量에 따라 Infinite Queue Capacity와 Single Queue Capacity 및 Polling시 데이터의 傳送方式에 따라 Single Service 또는 Exhausted/gated service system 등의 가정을 使用하며 대부분의 分析의 모델은 데이터의 도착이 Memoryless Process인 Markov Process라는 가정하에 이루어진다. 그러나 분석적 모델들은 이러한 가정들에도 불구하고 queueing delay의 평균값 또는 경우에 따라 표준편차 程度 밖에 豫測할 수 없다는 短點이 있다.

謀議的 모델은 네트워크 시스템내에서 일어나는 모든 현상을 컴퓨터를 利用하여 그대로 나타냄으로서 네트워크의 性能을 測定하는 방식이다. 네트워크는 event driven system이므로 이의 모델링을 위하여서는 Discrete-event simulation 방법이 使用된다. Event는 시스템의 상태가 순간적으로 바뀌는 現象을 말하며 네트워크 시스템의 event로는 새로운 메세지의 生成, 토큰패싱(또는 Polling), 메세지의 送信 및 受信 등이 있다. 이러

한 event 들은 非週期的으로 일어나며 Discrete-event Simulation 은 주어진 시간내에 發生하는 모든 event 를 追跡함으로써 시스템의 性能을 測定하는 方式이다.

Discrete-event Simulation 은 概念上으로는 手作業에 依한 計算이 可能하나 방대한 양의 데이터를 貯藏 및 操作해야 할 必要가 있으며 이러한 作業은 컴퓨터를 利用하여 쉽게 解決할 수 있다. 現在 이러한 作業을 손쉽게 解決해 주기 위하여 Discrete-event Simulation 을 위한 많은 소프트웨어 패키지가 나와 있으며 이들 중에는 SIMAN, SIMULA, SIMSCRIPT 11, SLAM, GPSS 등이 있다.

또한 제어시스템에 있어서 센서, 제어기, 액츄에이터에 關聯한 데이터들이 네트워크를 통하여 전달될 경우에 Network-induced Delay 가 제어 시스템에 어떠한 影響을 미치는가를 分析하기 위하여서는 네트워크 시스템을 위한 Discrete-event Simulation 과 제어시스템을 위한 continuous-time simulation 을 동시에 隨行하여야 할 必要가 있으며, SIMAN 과 같은 소프트웨어 패키지는 이러한 作業이 可能하도록 하였다.

謀議의 모델은 分析的 모델에서 要求하는 가정을 필요로 하지 않고 시스템을 그대로 모델링할 수 있으며 각 스테이션에서의 Delay 와 throughput 의 平均값, 最大값, 最少값은 물론 이들의 分布까지도 구할 수가 있으나 한번의 謀議實行으로는 하나의 Operating Point 에 關한 結果 밖에 얻을 수 없으며 시스템의 全體的인 性能을 파악하기 위하여서는 무시할 수 없을 만큼의 時間과 經費가 所要되는 등의 短點이 있다. 따라서 네트워크 시스템의 性能을 效果的으로 測定하기 위하여서는 근사적이긴 하나 분석적 모델을 사용하여 전체적인 傾向을 파악한 후 動作視點을 中心으로 하여 謀議的 모델을 使用하는 것이 바람직하다.

實際의 시스템을 하드웨어로서 具現함에 있어 네트워크의 性能을 測定하는 實驗的 모델이 가장 信賴도가 높은 데이터를 얻을 수 있는 長點이 있으나 모델을 開發하는데 있어서 많은 時間과 經費가 所要되고 여러가지 다른 條件에서 實驗하

기에는 柔軟性이 不足하다는 短點 등으로 인하여 실제로 거의 사용되지 않고 있다. 그러나 分析的 모델 또는 謀議的 모델에서 얻은 데이터의 信賴度를 測定하기 위하여서는 實驗的 모델을 사용할 必要가 있다. 그외에 네트워크의 性能測定을 위한 모델로는 많이 사용되지 않으나 새로운 네트워크 시스템을 開發할 境遇 시스템의 作動을 檢査하기 위하여 사용되는 것으로 Petri Net 등이 있다.

네트워크를 最適의 상태로 運用하기 위하여서는 그에 따르는 최적의 네트워크 파라메타들이 決定되어야 한다. 이를 위하여서는 分析的 모델을 既存의 最適技術로서 適用시키는 것을 考慮해볼 수 있다. 그러나 네트워크 固有의 不規則한 特性과 그로 인한 적절한 分析的 모델의 不在, 그리고 네트워크設計 기준의 모호성 등으로 인하여 네트워크의 設計에 있어서 많은 어려움이 따르며 이 분야는 앞으로 많은 研究가 수행되어야 할 必要가 있다. 産業用 네트워크 설계에 있어서 가장 우선적으로 고려해야 할 사항은 전체 시스템 遲延時間(time delay)과 不規則한 變數(random variable)로 나타내진다. 따라서 네트워크를 設計할 때 어떤 값을 基準으로 하여야 하는가에 대한 문제가 발생한다. 데이터의 지연시간에 敏感한 시스템의 경우에는 平均값 만을 基準으로 하여 設計할 수 없으며 安全設計를 위하여 最大値를 基準으로 하여 설계할 경우에 네트워크 利用側面에서 크게 減少하여 네트워크 容量의 많은 部分을 浪費하게 된다. 따라서 이들 간의 trade-off가 必要하며 이를 위하여서는 不規則한 變數의 2차 또는 그 이상의 모멘트들을 고려하여야 할 必要가 있다. 그러나 現存하는 대부분의 分析的 모델들은 遲延時間의 平均값만을 고려하고 있으며 Moment Generation Function 을 고려한 경우에도 모델의 正確도가 떨어지거나 2차 이상의 모멘트를 계산하기 위해서는 엄청난 計算量을 필요로 한다.

따라서 네트워크의 설계를 위하여서는 分析的 모델과 謀議的 모델을 적절히 混合하여 사용하는 것이 바람직하다. 네트워크의 데이터들은 일반적

으로 非線型 特性을 가지므로 分析的 모델을 Perturbation Analysis 技法 등에 適用함으로써 詳細設計을 얻어내는 것이 네트워크 설계를 위한 方法중의 하나이다. Perturbation Analysis 기법은 네트워크 파라메타들을 시스템의 性能이 增加하는 方向으로 바뀌가면서 simulation program 을 반복 수행함으로써 最適의 네트워크 파라메타들을 찾아내는 방법이나 일반적으로 많은 계산량을 요구한다. 이러한 방법들을 사용하기 위하여서는 시스템의 적절한 性能指數(Performance Index)를 選定하여야 한다. 네트워크의 使用目的이 應用시스템에 充分한 性能뿐만 아니라 네트워크의 性能이 應用시스템에 미치는 影響 등에 대하여서도 충분히 고려를 하여야 한다.

## 8. 産業用 네트워크 시스템의 實施間 工程處理

工場自動化에서 工程은 크게 處理되어야 할 時間의 限界를 基準으로 하여 實時間工程(Real-time Process)과 非實時間工程(Non-real-Time Process)이 分類될 수 있다. 실시간공정에서는 공정이 주어진 시간내에 처리되어야 하며 데이터 傳送時間의 遲延은 시스템의 性能 및 安定度에 絶對적인 影響을 줄 수도 있다. 實時間處理用 데이터로는 分散制御시스템의 센서, 制御器 및 액츄에이터 등에서 週期的으로 生成되는 데이터들과 豫期치 않은 상황의 發生時 이의 通報 및 措置事項을 傳達하기 위한 警報시스템用 데이터 등이 있다. 또한 정해진 作業順序에 따라 進行되는 連續工程에 있어서도 필요한 데이터들은 주어진 시간내에 전달되어야 한다. 傳達時間에 크게 구애를 받지 않는 비실시간처리용 데이터로는 工程處理와 關聯된 file 전송과 컴퓨터支援設計(CAD) 화일전송 및 Programmable Device 들에 關聯한 프로그램을 Down/up load 시키기 위한 데이터들이 있다. 限定된 容量을 가진 네트워크 傳送媒體를 실시간 데이터와 비실시간 데이터들이 共有할 경우 傳送時間遲延에 敏感한 실시간 데이터들을 우선적으로 처리한후 남은 네트워크

크 용량을 비실시간 데이터의 전송에 이용해야한다. 이를 위하여서는 실시간 데이터들을 우선적으로 처리할 수 있도록 네트워크에 優先順位機能(Priority Mechanism)을 부여하여야 한다. MAP의 MAC으로 採用하고 있는 토큰버스 프로토콜은 Messagebased 優先順位 機能을 가지고 있다. 토큰버스 프로토콜의 MAC은 네개의 다른 우선순위를 갖는 queue를 제공하며 각 데이터들은 정해진 우선순위에 따라 해당되는 Queue에서 待機한다. 각 Queue에서의 데이터 전송은 서로 다른 타이머들에 의해서 統制받는다. 즉, 그림 17의 토큰링 優先順位 作動原理에서와 같이 해당 스테이션에 토큰이 到達하면 最優先順位의 Queue는 정해진時間(THT: Token Holding Time)동안 대기하고 있는 데이터들을 전송한후 다음 우선순위의 Queue에게 토큰을 넘긴다. 下位 세계의 優先順位 Queue들에서의 데이터 전송은 각각의 Token Rotation Timer(TRT)에 의해 통제받으며 각 TRT는 해당 Queue에 토큰이 도달하는 순간에 Reset/Restart 된다. 하위 우선순위 Queue들은 TRT가 再開된후 토큰이 logical ring 내의 모든 스테이션들을 거쳐 다시 해당 queue에 도착했을때 TRT가 경과되지 않았으면 남은 TRT 동안 대기하고 있는 데이터들을 전송하고 만일 TRT가 경과되었으면 데이터 전송을 가한 후 다음 優先順位 Queue 또는 다음 스테이션의 최상위 우선순위 Queue에게 토큰을 넘긴다. TRT들에 통제를 받는 Queue들의 경우 상위 우선순위 Queue는 하위 우선순위 Queue보다 긴 TRT값을 가지게 되어 TRT가 경과될 확률이 작아져 토큰을 받았을 때 하위 우선순위 queue보다 데이터를 전송할 확률이 높아지게 된다. 토큰버스 프로토콜이 産業用 네트워크인 MAP의 MAC 階層으로 採擇된 理由中의 하나가 Message-based 우선순위 기능을 제공할 수 있다는 것이다.

Fieldbus에 있어서도 토큰방식을 채택할 경우에 MAP과 같은 우선순위기능을 제공받을 수 있다. 또한 polling 방식을 채택할 경우에 있어서도 主 스테이션이 從 스테이션들의 Polling 順序

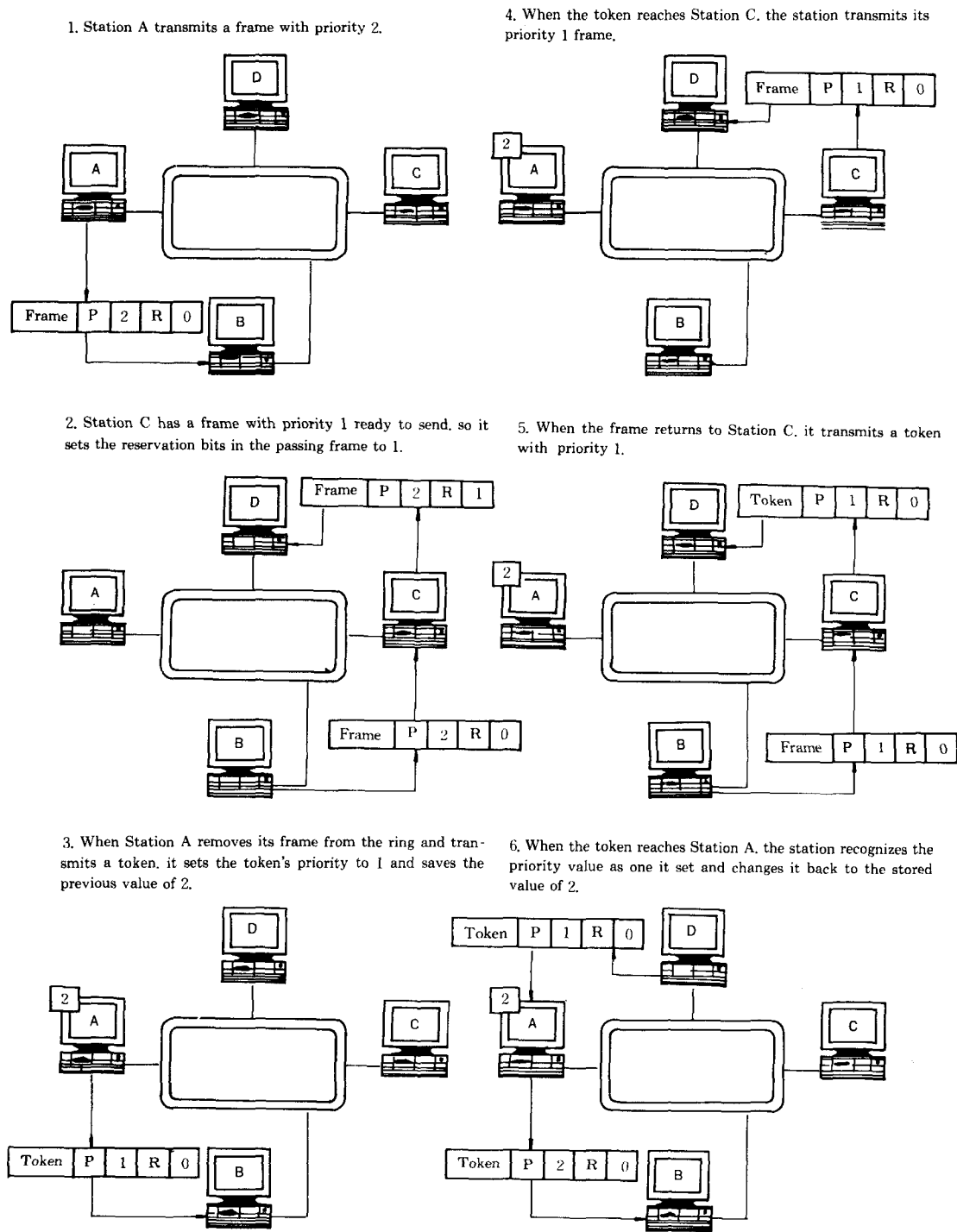


그림 17 토큰링의 동작 優先順位와 保存

를 임의로 調整함으로써 우선순위 기능을 제공할 수 있으나 縱스태이션들에서 생성되는 데이터들의 중요도가 어떤 형태로든지 主스태이션에 제공되어야 함으로 토큰방식보다는 우선순위 기능에 있어서 뒤떨어진다. 토큰방식의 우선순위를 채용할 경우 각 우선순위 Queue에서의 데이터 전송은 타이머 값에 크게 영향을 받으며 이러한 타이머 값들을 어떻게 지정하여야 하는 문제가 産業用 네트워크 시스템의 實施間工程處理에 있어서 연구되어야 할 중요한 과제로 대두되고 있다.

産業用 네트워크 시스템의 실시간 공정처리에 있어서 또 하나의 중요한 문제는 클럭 同期化(Synchronization)이다. CIM에 있어서 分散된 單位工程들을 서로 유기적인 관계를 가지며 따라서 이들은 같은 시간을 기준으로 하여 처리되어야 한다. 그러나 각 분산시스템들의 클럭의 不正確性으로 인하여 시간이 지남에 따라 시스템들간의 基準時間의 誤差가 增加하게 된다. 따라서 週期的으로 이러한 시간의 오차를 調整해주어야 한다. 특히 센서, 制御器, 액츄에이터들로 구성된 制御工程에 있어서는 基準時間의 誤差의 許容範圍가 밀리세컨드의 單位를 要求하기 때문에 더욱 正確한 클럭의 同期化 必要하다. MAP이나 Fieldbus 와 같은 Broadcast 시스템에서는 동기화를 위한 데이터를 주기적으로 broadcast 함으로서 이러한 문제를 해결할 수 있다. 그러나 同期化 데이터를 너무 자주 보내게 되면 다른 필요한 데이터들의 전송에 惡影響을 주게 됨으로 이들간의 Trade-off를 考慮하여 應用시스템에 따라 同期化 데이터의 傳送週期를 選定하기 위한 연구가 필요하다.

## 9. 結 論

産業分野에 있어서 工程制御를 위한 次期世代

의 情報網 制御技術의 發展過程과 이의 核心部分인 Fieldbus의 機能 및 産業用 네트워크 시스템의 種類와 構造 및 標準化 動向에 대하여 記述하였고 networking이 現場의 産業用 시스템에 適用될 때 考慮하여야 할 事項들인 네트워크設計, 實時間工程의 處理 및 管理技術 등에 관하여 言及하였다. 海外 先進國에서는 生産性 提高, 利用率 및 信賴性 向上 側面에서 이와 關聯된 産業用 네트워크 시스템을 위한 研究가 활발히 進行되고 있으나 國內에서는 必要性 認識과 專門人力 등의 不足으로 인하여 아직은 初歩的인 段階에 머무르고 있는 實情이다. 現在 國內의 大規模 플랜트를 保有하고 있는 각 企業體에서 自動化事業의 推進을 위한 産業用 네트워크 시스템의 要求가 增大되고 있으며 갈수록 치열해가는 國際 競争力을 克服하고 生産성을 向上시키기 위하여서는 國家的 次元에서 이 分野의 研究開發事業이 集中的으로 投資를 해야 할 必要性이 있다. 이를 위하여서는 産, 學, 研을 中心으로 서로 密接한 關係를 維持하고 이 事業을 推進해 나가야 할 것이다.

## 參考文獻

1. P.W. Murrill, Fundamentals of Process Control Theory, ISA. 1981.
2. T.G. Fisher 외. Applying Manufacturing Automation Protocol in the Process Industries, ISA Transaction. 1989.
3. P.N. Hirasaki 외. Programmable Controllers, ISA Transactions. 1990.
4. J. Martin 외. Local Area Networks—Architectures and Implementations. Prentice-Hall, 1989.
5. M.G. Rodd 외. Distributed Computer Control Systems, IFAC. 1986.
6. A.A. Conchiro 외. Real Time Digital Control Applications, IFAC. 1983.
7. H.M. Morris 외. Advanced Control in Computer Integrated Manufacturing. Purdue Research Foundation. 1987.