

# 熱流體工學과 마이크로 프로세서의 應用

鄭明均\*·金炅天

〈韓國科學技術院 機械工學科·\*工博〉

## 1. 序 論

製品의 高級化, 精密化, 生産性的 向上, 그리고 原價節減이 要求되는 요즈음 컴퓨터를 利用한 온라인計測, 데이터처리 그리고 制御가 기계공학에서 차지하는 重要性이 점점 더 크게 認識되고 있다. 더욱 動力費와 燃料費가 계속 上昇하고 있기 때문에 건물에너지시스템, 화학공정 시스템과 기타 에너지事用시스템의 온라인 모니터링(on-line monitoring)과 最適制御(에너지使用費節減)을 爲한)가 어느 때 보다도 重要性이 高潮되고 있다. 본 解説을 통해서 마이크로프로세서 應用的 重要性和 一般的方法을 잠시 생각해보고자 한다.

잘 알려진 바와 같이  $\mu$ -p(마이크로프로세서의 略號)의 역사는 1969년 Intel에서 실리콘 칩에 몇개의 일반적인 制御論理回路를 集積시킴으로서 시작되었으며 1971년에 4 bit  $\mu$ -p. 4004, 1972년에 8 bit 8008이 市販되기 시작하였고 곧 이어 8 bit  $\mu$ -p로서 8080(1974), 8085(1976), Motorola의 6800(1975), MOS technology의 6502(1975)와 Zilog의 Z-80(1976)이 開發되었다. 16 bit  $\mu$ -p로는 Intel의 (8086(1978), 8088(1980), Motorola의 68,000, 6809(1980), Zilog의 Z-8000(1980)이 나왔으며 Intel에서는 1981년에 32bit  $\mu$ -p를 내어 놓음으로서 지금까지 미니컴퓨터가 갖고 있는 각종 기능을 遂行할 수 있는 水準까지 發展되었다.

한개의 실리콘 chip에 보다 많은 論理回路를 集積시키는 傾向은 (V)LSI(Very Large Scale Integratron)기술이 發展됨에 따라 加速되고 있다. 지금까지의 增加率は  $10^{0.25}$  乘/1年의 정도로 論理回路의 數가 늘어가고 있다. 여기에 比해서  $\mu$ -p의 칩의 價格은 소비량이 많아질수록 감소되고 있는 경향인데 지금까지 연간 약 28%의 비율로 저렴해 지고 있다.  $\mu$ -p의 原價는 크게 하아드웨어와 소프트웨어 費用으로 區分되는데 一般的으로 하아드웨어 價格은 生産量의 증가에 따라 減少하지만 소프트웨어는 高級人件費의 上昇과 함께 增加되기 때문에  $\mu$ -p 製作者들은 가능한 한 基本的인 소프트웨어 例를 들면 parallel or seial I/O, Direct memory access (DMA), 基本數值論理回路 등을 하아드웨어화시켜 자기자신의  $\mu$ -p에 적절하게 開發提供하고 있다. 따라서 어떤  $\mu$ -p를 使用할 것인가를 決定할 때는  $\mu$ -p 그 自體보다는 그것을 中心으로 보조해 주는 주변 칩들이 얼마나 잘 設計되고 提供되는가를 考慮하여야 한다.

마이크로 프로세서 技術은 1785년에 제임스 와트의 증기기관의 發明보다도 더 충격적인 것으로 왕왕 표현되고 있을 程度로 未來文明과 産業社會에 미칠 영향이 클 것이 기대되고 있음에도 不具하고 많은 사람들, 특히  $\mu$ -p 기술을 直接的으로 應用하여야 할 機械工學者들이 無關心하게 지나치고 있음은 크게 反省하여야 하리라고 思料된다. 1970年度 初期에 들어서서 大部分의 科學者들과 哲學者들은 놀라운 宇宙産業技

術의 發展과 거의 無限한 原子力에너지기술, 그리고 萬能에 가까운 컴퓨터技術의 開發로 더 이상의 産業革新은 없을 것이며 지금까지 發展된 그리고 確立된 技術의 소프트웨어 應用技術에 따라 未來社會文明이 展開되리라고 豫言하였지만 1975年 이후  $\mu$ -p의 급속한 發展과 應用分野의 팽창은 分明히 새로운 自動化 産業革命을 誘發시키고 있으며 그동안 空想으로 그리던 完全自動化時代가 具體적으로 實現될 조짐이 보이고 있다. 더우기 매장량의 限界를 가진 化石資源에 依한 過去의 産業革命과는 달리 無限한 可能性을 지닌 人間의 두뇌에 기초를 두는  $\mu$ -p는 革命이며 동시에 進化(endless evolution)라고 表現하고 있다. 여기서 endless라는 表現에 對한 論據로 Mori(1981)는 아래와 같은 것을 例로 들고 있다. 즉 지금 우리가 사용하는 일반기계들, 자동차, 선박 그리고 항공기는  $10^0 \sim 10^4$  정도의 기계 要素로 構成되어 있고 요즈음의  $\mu$ -p는  $10^4 \sim 10^6$ 이며 대용량 컴퓨터는  $10^6 \sim 10^8$  정도의 기억容량을 갖고 있으나 人間頭腦는 약  $10^{26}$ 개의 細胞要素로 構成되어 있기 때문에 1년에  $10^{0.25}$  배씩 增加하는 現在의 發展속도로는 腦胞水準까지  $\mu$ -p가 도달하려면  $10^{19.75}$ 년이 걸리므로 人類歷史로 볼때 無限한 進化로 볼 수 있다. 그동안 發展한  $\mu$ -p 기술은 이미 人間頭腦의 一部機能에서처럼 自體內的 機能障碍를 스스로 診斷하고 스스로 處方하는 능력까지 갖춘 것도 開發되어 있다. 이것은 수백만개 이상의 論理要素를 外部에서 診斷, 處方하는 것은 事實上 不可能하기 때문에 內藏된 回路의 一部分이 이러한 機能을 갖도록 하지 않을 수 없다. 現在  $\mu$ -p技術에서 開發目標로는 man-machine 커뮤니케이션을 音聲으로 하는 技術開發로서 debugging과 프로그래밍을 容易하게 하는 捷徑이 될 것이다. 아직 이러한 水準까지 到達하려면 여러가지 解決해야 할 問題點들이 있으나 이 技術만 確立되면 名實公히 自動化社會는 열릴 것이다.

## 2. 마이크로프로세서의 應用形態

$\mu$ -p가 원래는 單純한 制御용으로 誕生하였지만 지금까지 記述한 바와 같이 그 應用範圍가 크게 擴張되고 機能이 커져서 現在는 미니컴퓨터나 大型컴퓨터가 과거에 갖고있던 거의 모든 性能을 갖게 되었다. 따라서 현재는 데이터의 計測, 處理, 연산분야에서도 큰 공헌을 하고 있다.  $\mu$ -p의 運用形態는 크게 制御와 計測으로 나누고 있으며 본 解說에서는 주로 計測分野에 對해서 論하기로 한다.

온라인 컴퓨터測定(Computer Aided Measurement, CAM)은 데이터수집, 기록, 데이터연산처리, 결과해석, 동적모델링(dynamic modeling) 그리고 측정장치제어 등으로 구분하여 생각할 수 있다. CAM에서 가장 기본적인 作業은 데이터 저장으로서 實時間(real-time)으로 데이터 수집을 하는 이유는 측정하고자 하는 물리현상이 대단히 빠르게 변하고 있고 이것을 어느 特定한 目的에 맞도록 制御하거나 瞬間的인 狀況을 解析해야 할 필요가 있을 때 주로 사용된다. 데이터 처리는  $\mu$ -p응용의 핵심을 이루고 있고 가장 프로그램이 중요한 작업으로서 정확을 기하기 위해서는 信號處理論을 이해하고 프로그램을 작성하여야 한다. 예를 들면 특정한 물리적 현상에는 어느 特定한 動的 주파수 特性이 存在하기 때문에 우선 그 周波數特性을 사전에 어느 정도 알고 있어야 그 대상에 따라 sampling 간격과 sample 개수 그리고 cut-off filter를 쓸 수 있고 원하는 精密度를 얻기 위해서는 적절한 digital bit數를 決定해야 한다. 이러한 基本的인 理解가 되어 있지 않으면 aliasing이라든지 기타 잡음 문제, 또 計算時間문제가 發生하게 된다.  $\mu$ -p를 結果解析까지 初用範圍를 擴張한 한가지 例로는 神經外科醫가 使用하고 있는 裝備로서 硬動脈 수술시  $\mu$ -p를 中心으로한 온라인 컴퓨터가 있다. 動作原理는 硬動脈 주위에 타이콘을 매어 놓고 血壓을 낮춘후 수술을 하게 되는데 수술간에 팽창된 뇌혈관의 파괴를 방지하기 위

해서 뇌혈관의 유량을 계속 감지하여야 한다. 측정방법이 직접적이 아니고 센서로부터 나온信號를 대단히 複雑한 연산처리를 거쳐서 流量을 計算하게 되는데 이들을  $\mu$ -p를 이용한 마이크로컴퓨터로 온라인 처리를 해서 피의 流量과 그 狀態에서의 위험여부를 即時판단해서 標示板에 나타나게 함으로써 外科醫의 判斷을 容易하고 正確하게 해 주는 것이다. 測定과 데이터處理에 있어서  $\mu$ -p가 重要하게 運用될 다른分野는 시스템의 動的 모델링이다. 실제 工學的問題에 있어서 시스템의 入力條件은 測定할 수 있으나 出力狀態를 모르는 境遇가 흔히 있으며 또는 出力狀態는 計測할 수 있지만 入力條件을 모르는 경우도 흔하다. 또 어떤 경우는 入力과 出力條件 뿐만 아니라 入-出力 사이의 내부시스템에서의 作動狀態를 評價해야 할 必要가 있는 경우도 있다. 이러한 경우 우리는 物理的 現象 또는 化學的 現象에 따라 적절한 모델을 設定해서 入力條件에 따른 全體 프로세스를 컴퓨터로 시뮬레이션시킴으로서 出力狀態를 評價하거나 制御하게 된다. 이것은 特別히 對象이 되는 過程이 非線型的 關係를 갖고 있거나 非定常狀態 또는 random한 要素를 갖고 있는 경우에 必要한 것으로서 온라인 마이크로컴퓨터를 사용함으로써 프로세스의 最適制御와 해석이 容易하여 진다. 좋은 예로는 비행기가 自身の 速度와 位置를 알기 위해서 여러 種類의 測定器를 갖고 있는데 이들 測定裝置에 入力되는 信號가 상당한 雜音과 誤差를 포함하는 경우 마이크로컴퓨터로 動的 모델에 kalman filtering을 해서 속도와 위치를 正確하게 決定할 수 있다. 이러한 방법으로 우리는 운영오차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 오차의 原因을 糾明할 수 있다.

또 다른 예로는 에너지를 複合적으로 사용하는 대형 건물이나 화학공장, 기타 공장에서 objective function을 주고 적절한 프로그램을 하던 動的 모델링에 依해서 最適運用條件을 決定하여 에너지使用 스케줄링과 制御를 함으로서 全體에너지 資源의 節約을 戒할 수가 있다.

마지막으로 測定 센서의 원격제어와 지시된

대로 데이터의 수집이 가능하고 원하는 장소에서의 필요한 動作을 프로그램에 의하여 수행할 수 있기 때문에 보일러의 燃燒狀態의 지속적인 모니터링과 제어, 에너지관리시스템의 자동조정, 각종 데이터의 수집이 어려운 高溫, 高壓下의 측정센서의 scanning 등으로 편리하게  $\mu$ -p를 應用할 수 있다.

以上과 같은 目的에 使用되는  $\mu$ -p는 必要한 解得精度와 處理速度에 따라 8 bit, 16 bit를 選擇하게 되며  $\mu$ -p를 기존의 測定裝備, 예를 들면 Voltmeter, Potentiometer, Spectrum 분석기 Hot-wire Anemometer, Tape-Recorder, Correlator, 등과 연결하는데, IEEE-488, RS-2 등 Universal Interface를 使用하면 보다 便利하게 데이터處理를 遂行할 수 있다. 이分野에서  $\mu$ -p가 갖는 長點은 가격이 대단히 저렴하기 때문에 과거에는 수십만원의 실험 데이터처리 장비가 필요하던 것이  $\mu$ -p를 使用함으로써 수천불 또는 수백불로도 충분히 실험을 끝낼 수 있으며 장시간이 소요되던 실험도 수시간내에 끝나칠 수 있는 長點이 있다.

### 3. 信號處理 및 制御方式

溫度, 壓力, 速度, 流量 또는 濕度計 등으로 부터 나온 信號는 電流나 電壓의 形態로 되어 있는데 이들 아날로그信號를 디지털變換器를 거쳐 discrete한 디지털信號로 바꾸어  $\mu$ -p에 入力시키게 된다.  $\mu$ -p에서 적절한 연산처리가 끝난후 연산결과를 프린터나 카세트테이프, 또는 디스크에 기록하며 必要한 경우는 디지털信號를 내어 보내어 on-off 스위치나 stepping 모우터를 구동시키며 또는 digital-to-analog(D/A)변환기를 거쳐 전류나 電壓으로 바꾸어 DC 모우터를 作動시킨다. 入力側에서 측정센서가 많은 경우는 병렬로  $\mu$ -p에 연결할때도 있으나 大部分 multiplexer라는 아날로그 스위치를 使用하여 필요한 信號를 選擇적으로 入力시키며 A/D 변환의 精度를 높이기 爲해서 A/D 이전에 Sample & Holder를 使用하는 경우가 흔히 있다. 마찬가지로

가치 이유로 出力側에는 Demultiplexer 라는 보낼수도 있다. (그림 1)  
 디지털 스위치를 써서 選擇的으로 信號를 내어

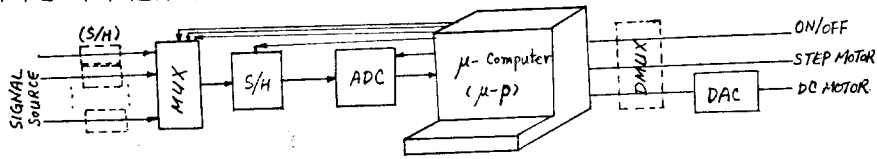


그림 1 마이크로 컴퓨터를 사용한 온라인 측정 및 제어 시스템 계통도

### 3.1. A/D, D/A 變換器

A/D變換器는 積分方式과 二進法傾斜方法(Binary Ramp), 連續近似(Successive Approximation)方式이 主로 使用되고 있다. 이들 回路自體는 비교적 簡単하지만  $\mu$ -p 와의 연결과 變換 범위를 여러가지로 選擇할 수 있도록 하려면 回路가 複雜하여지므로 一般的으로는 pin-to-pin 연결로 사용이 가능하도록 hybrid 形態의 A/D 變換器가 主로 製作供給되고 있으며 이 hybrid A/D는 연속근사식을 대부분 使用하고 있다. (그림 2)

D/A 變換器는 크게 두가지 方式 즉 binary weighted 와 R-2R 로 구분되는데 binary weighted 는 简单한 反面 bit가 8개 이상인 경우 high bit(MSB) 또는 경우에 따라서 low bit(LS B)가 나타나지 않는 短點이 있어서 higher resolution D/A는 거의 언제나 R-2R 回路를 使用하고 있다(그림 3). D/A 또한 hybrid 形式으로 市販되고 있는데 사용 voltage, D/A 變換속도, resolution 과 價格을 고려하여 選擇하는데 一般的으로는 \$20 에서 부터 比싼 것도 \$250 까지 다양하다.

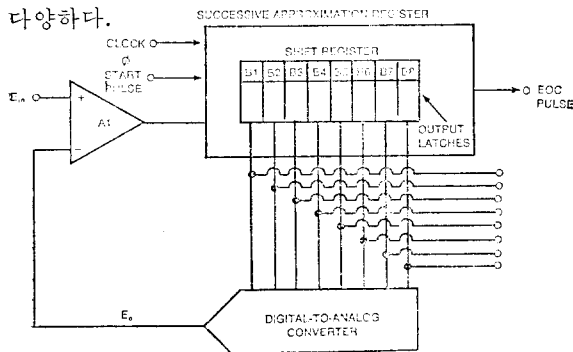


그림 2 연속근사식 analog-to-digital 變換기

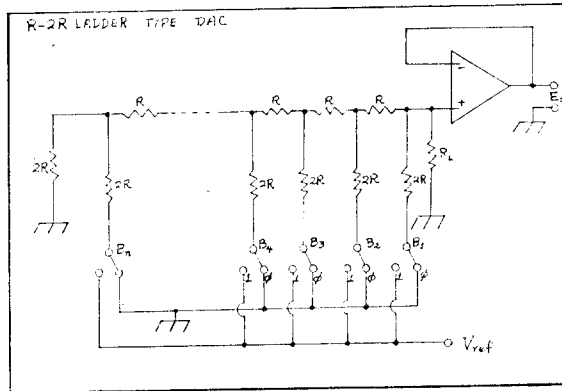


그림 3 R. 2R Ladder 型 digital to analog 變換기

### 3.2. Sample & Holder, Analog multiplexer, Demultiplexer

A/D 變換器가 變換을 하고 있는 동안 아날로그 入力信號가 變하게 되면 A/D 變換器의 出力은 線型性이 매우 나쁘게 된다. 이것은 연속근사방식을 使用하는 A/D에서 더욱 큰 誤差를 주게 된다. 이 문제를 해결하기 위해서 入力信號를 어느 一定한 時間동안 유지해야 하는데 이 目的으로 使用하는 것이 sample and holder 로서 (그림 4), 回路의 基本要素는 아날로그 스위치와 capacitor( $C_H$ ), 出力증폭기이다. 作動原理는  $\mu$ -p 로부터 S & H에 sampling 命令이 오면 즉시 아날로그 스위치가 닫히고 capacitor의 電氣量도 入力信號에 따라 變하다가 어느 一定時間이 경과된 후 스위치를 내리게 되면 Capacitor에 積렸던 電壓은 尙당시간 一定하게 유지된 狀態로 出力側증폭기를 통해서 一定한 signal이 나가게 된다. 여기서 重要한 것은 부하저항이 變하더라도 capacitor의 전압이 變하지 않도록 出力증폭기의 入力임프던스는 매우 큰것을 使

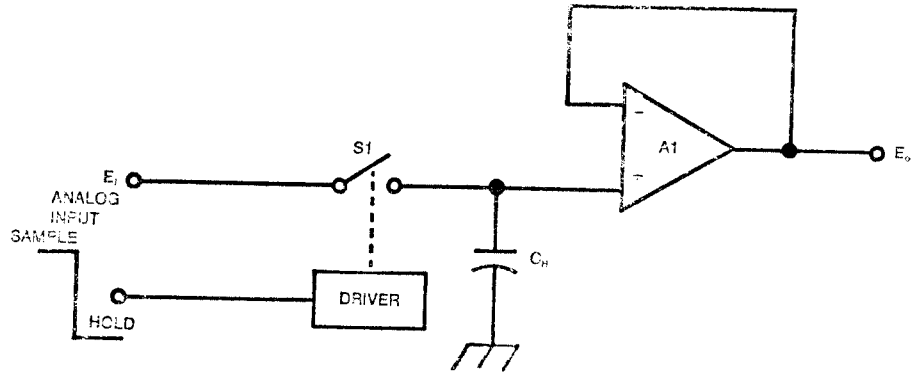
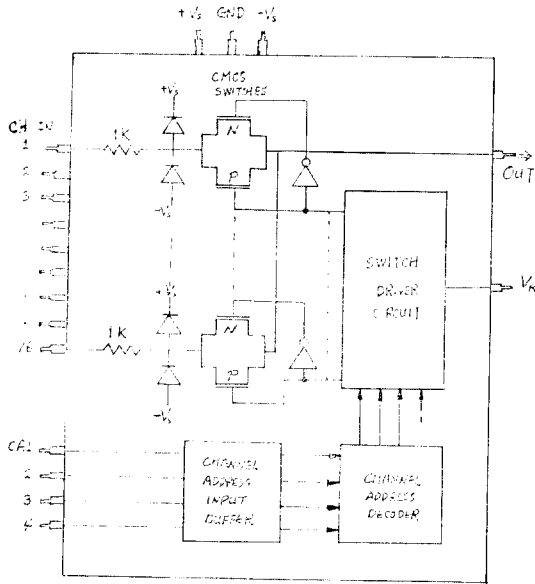


그림 4 Sample and holder 회로의 간략도



MULTIPLEXER INTERNAL STRUCTURE

그림 5 16-Channel multiplexer 의 내부구조

用하여야 한다. sample & holder는 settling time, aperture time, switching transient와 Drooping으로 因하여 誤差가 發生하기 때문에 하고자 하는 實驗이나 測定對象에 알맞는 S & H를 選擇할 필요가 있다. Analog Multiplexer (MUX), Demultiplexer는 前述한 바와 같이 한개의 A/D, 또는 D/A를 使用하여 여러개의

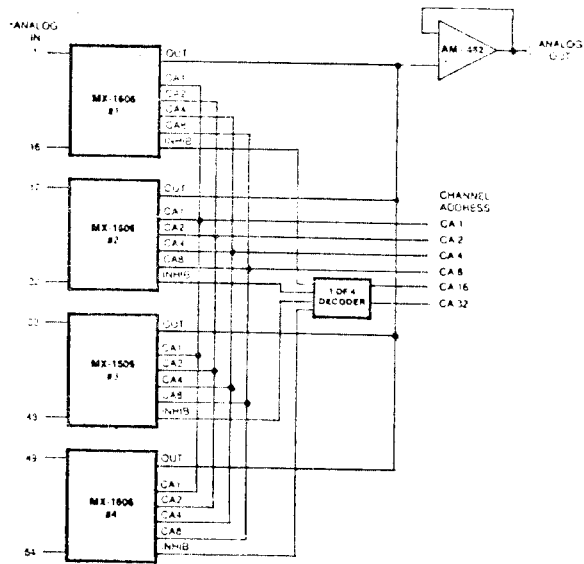


그림 6 16-Channel multiplexer로서 64-channel을 스위칭하는 연결 방법

信號源이나 制御器를 處理하기 爲하여 使用되는 것으로서 거의 언제나 간단한 칩의 形態로 市販되기 때문에 價格도 저렴하고 使用이 쉽다.

그림 5는 16 channel multiplexer의 내부구조를 나타내고 있으며 그림 6은 이 multiplexer를 4개 사용하여 64 channel을 스위칭하

## 解 說

기 위한 연결도이다.

### 3. 3. 制御出力信號處理

$\mu$ -p에서 신호처리가 끝나면 必要에 따라 制御信號를 出力시키게 되는데 出力 port로부터 나가는 펄스信號를 그대로 制御에 使用하는 境遇와 D/A 變換器를 거쳐 아날로그信號로 制御하는 경우가 있다. on-off 스위치나 솔레노이드 밸브, 또는 스텝핑모우터(stepping motor)는 펄스信號로 制御하며 D/C 모우터는 디지털信號 그대로 使用하거나 D/A 變換器를 거친 후 電壓 또는 電流로 變換하여 制御한다. 스텝핑 모우터는 回轉方向信號와 한 回轉前進信號 등 두개의 펄스가 必要하며 信號 펄스 한개에 正確하게 한 스텝 進行(즉 일정한 각도 예를 들면  $0.9^\circ$  회전)하며 누적오차를 없었기 때문에 원하는 만큼의 펄스信號만 보내주면 正確한 거리를 움직여 주므로 피이드백信號가 必要없으며  $\mu$ -p와의 연결에 대단히 용이하고 간편하다. 단점으로는 速度의 制限이 있고, 높은 周波數의 진동을 발생하며 가격이 비싸다. D/C 모우터는 入力信號의 파우어에 따라 回轉速度가 定해지기 때문에 電流의 電壓의 變化로 制御하기 爲하여 D/A 變換을 거치든지 아니면 pulse-width modulation 방식(그림 7, a)이나 pulse-frequency modulation 방식(그림 7, b)을 使用하게 되는데 후자의 境遇는 變換器를 거침이 없이 소프트웨어 프로그램에 依해서 serial pulse信號로 制御가 可能하다.

D/A를 거치든 안 거치든 DC 모우터 制御에서는 회전속도와 회전한 角度가 계속 측정되어야만

현재 측정 sensor의 位置가 決定되고 制御되기 때문에 피이드백信號가 必要하다. 一般的으로는 回轉軸에 tacho generator를 부착시키고(photo-diode, photo-transistor를 主로 使用함) 피이드백信號를  $\mu$ -p에서 積分함으로서 現在의 位置를 決定하던가 별도로 acclerometer를 設置해서 使用하기도 한다. 아래 그림들은 pulse-width modulation과 pulse-frequency modulation 방식을 그리고 tacho generator의 한 形態를 보이고 있다(그림 7, c).

### 4. 응용 예(熱, 流體 시스템)

熱, 流體 시스템에  $\mu$ -p를 應用한 예는 여러 가지로 들 수 있겠지만 여기서는 韓國科學技術院에서 實際로 應用한 네가지의 事例를 說學하고 說明하겠다.

그림 8은 化學反應 프로세스에서 원하는 溫度로 變化시키면서 反應을 持續시켜야 할 때 溫度의 動的 特性이 敏感할 경우 溫度를 感知하여 그信號를 A/D 變換器를 거쳐 마이크로컴퓨터로 피이드백시키고 실험자가 제공한 기준치와 비교하여 프로그램에 記憶된 制御法則에 의해 계

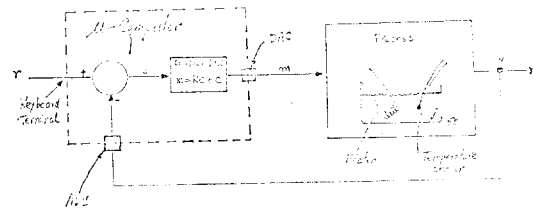
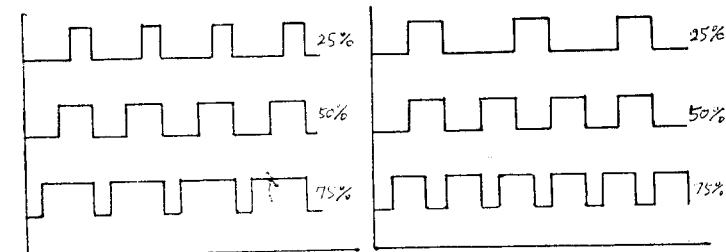
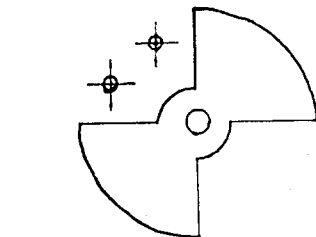


그림 8 마이크로 컴퓨터를 이용한 온도 제어 시스템



(a) Pulse-Width Modulation Time

(b) Pulse-Frequency Modulation Time



(c) Tachometer Disk with two Photo-diode/Photo-transistor pairs

그림 7 (a)

그림 7 (b)

그림 7 (c)

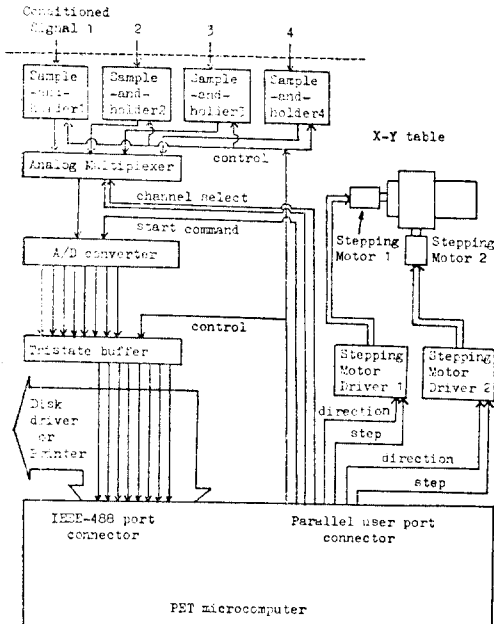


그림 9 마이크로 컴퓨터(PET)의 I/O port 를 이 용한 온라인 측정 시스템의 구성도

산된 出力信號를 D/A 變換器를 거쳐 히이더에 適切한 電流를 흘려 要求하는 溫度로 加熱 시켜 주는 시스템이다.

그림 9는 CBM社 제품인 PET 마이크로 컴퓨터의 IEEE-488 port와 parallel user port를 利用하여 實驗을 온라인으로 行하는 시스템의 개략도이다. 이 시스템은 實驗者의 프로그램에 따라 네가지의 서로 다른 信號가 sample & holder로 入力되고 있을 때 multiplexer의 채널선택 信號에 따라서 sample하여 "Hold"시키고 있으면 이 信號를 A/D 變換시키고 tristate buffer를 통해 安全하게 마이크로 컴퓨터로 入力시켜 데이터를 저장한다. 입력된 데이터는 프로그램 내에서 의미있는 물리양으로 계산되고 곧바로 디스크나 프린터로 내어보내는데 이때 出力이 A/D 變換기로 흐르는 것을 막기 위해 tristate butter가 쓰였다. 이와 같이 한 사이클의 實驗과 데이터 수집이 끝나면 X-Y Table에 附着된 스텝핑

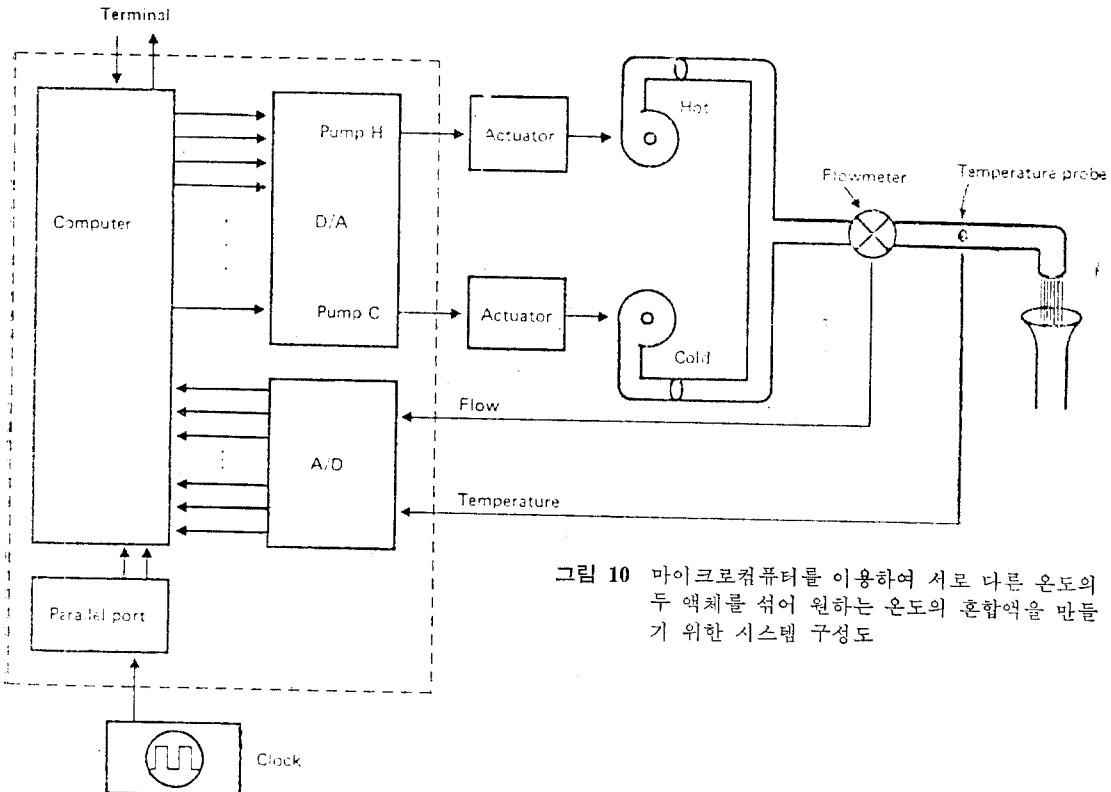


그림 10 마이크로컴퓨터를 이용하여 서로 다른 온도의 두 액체를 섞어 원하는 온도의 혼합액을 만들기 위한 시스템 구성도

## ■ 解 說

모터를 원하는 위치만큼 이동시키는 신호(펄스 신호)를 내어보내 측정부를 移動 시킨 후 다시 實驗이 계속 수행 된다.

그림 10은 서로 다른 溫度의 두 液體를 混合하여 원하는 溫度의 混合液을 만들어 주기 위한 시스템이다. parallel port의 clock에서 레벨이 "high" 될 때마다 流量計와 溫度測定部로부터 오는 아날로그 信號를 디지털로 바꾸어 컴퓨터로 入力시키면 記憶된 計算方式에 의해서 펌프 H와 펌프 C의 流量을 決定하고 決定된 數値를 다시 아날로그 量으로 바꾸어 actuator의 구동 出力을 變化시키고 混合된 液體의 流量과 溫度는 다시 마이크로 컴퓨터의 制御 프로그램 속으로 피이드백 된다.

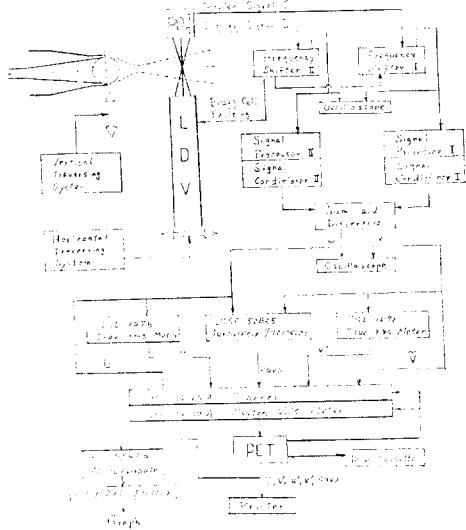


그림 11 마이크로 컴퓨터(PET)와 IEEE interfacing 방법에 의한 온라인 측정시스템 구성도

그림 11은 LDV(Laser Doppler Velocimetry)에서 測定되는 亂流信號의 두 方向 速度成分( $\bar{u}$ ,  $\bar{v}$ )을 PET 마이크로 컴퓨터와 IEEE interfacing이 가능한 計測器機인 HP社의 scanner와 HP 3437 A system voltmeter를 IEEE-488 interface bus로 연결하여 컴퓨터로 이 器機들을 구동시키고 出力을 받아 컴퓨터의 記憶素子에 데이터

를 저장시켜서 物理的인 量으로 計算하여 印刷하거나 Tape에 수록하는 시스템이다. 이때 注目할 것은 비록 서로 다른 회사의 製品들이라고 할지라도 IEEE-488 連結方式의 基本概念이 같기 때문에 기기의 지정된 固有번지수(address number)와 命令文만 찾아내면 便利하게 自由自在로 쓸 수 있다.

以上에서 살펴본 네가지 應用例에서 두드러지는 利點은 實驗者가 일일이 눈으로 읽고 記錄하여 處理하던 陳腐한 作業들이 마이크로 컴퓨터로 代替함으로써 實驗時間의 短縮, 正確한 데이터들을 多量수집, 그리고 精密한 測定과 우수한 時間 및 空間分解能을 얻을 수 있고 動力의 절약과 재미있는 實驗은 실제적인 큰 잇점이 된다. 또한 시스템 制御에 있어서도 敏感한 ダイナ믹 特性을 充分히 補償해 줄 起動性이 있으므로 精密한 制御가 保障된다.

## 참고 문헌

- (1) R. Shaw, J.A. Hardcastle, A.R.B. Jusoh & M.J. Bongkik, "Experimental data recording and analysis using a PET microcomputer" J. phys. E. Vol. 14, 1981.
- (2) A.R.D. Rodrigues & D.P. Siddons, "Inexpensive computer-controlled experimentation," J. phy. E., Vol. 12, 1979. p.403
- (3) S.L. Fornilli, "Simple microprocessor-based system for data acquisition and Control", J. phy. E. Vol. 13, 1980, p.34.
- (4) 정명균, 이정운, 이동인, "마이크로 컴퓨터를 이용한 on-line 측정시스템의 개발", 대한 기계학회 論文集, 第5卷 第4號, 1981, p. 274.
- (5) Ryoichi Mori, "General impacts of microprocessors on industry and civilization," The Tenth International Conference on the Unity of sciences seoul 1981.