

制御工學 分野의 어제, 오늘과 내일

金 炳 國

韓國科學院電氣 및 電子工學科 博士課程

1. 머리말

인류복지를 위한 産業의 發達과 아울러, 制御工學의 重要性은 점차 높아지고 있는 실정이다.

이러한 것은 制御工學이 産業의 自由化의 필수요건인 機械·電氣的 시스템의 制御 뿐만 아니라, 일상 생활에서 흔히 접하는 엘리베이터의 昇降制御에서부터 宇宙船의 航海制御에 이르기 까지 널리 이용되고 있으며, 나아가서는 시스템 工學, 社會科學, 生體科學등의 제반 문제에 까지 널리 應用될 수 있는 분야이기 때문이다. 이러한 의미에서 現代를 第二次 産業革命이라 불리는 情報革命 또는 3C (computation, communication, control) 革命의 時代라고도 한다.

이러한 觀點에서 制御工學의 發展과정과 現在의 研究分野 및 問題點등을 記述하고자 한다. 먼저 自動制御 分野의 發展 과정에 대해 약술하고, 현재 理論의 研究의 초점이 되고 있는 周波數 應答 方法, 狀態方程式 記述方法 및 大規模 시스템 (large scale system) 에 대해 說明한 다음, 産業界에서 추구하고 있는 自動化問題에 對하여 간단히 言及하기로 한다.

2. 制御工學의 發展

2-1. 서보機構 (servomechanism) 의 시작
産業과 技術의 發展과 더불어 여러 종류의 自

動制御機器가 使用되어져 왔는데, 이러한 自動制御機器의 始初로써 Watt 의 回轉球를 利用한 制速器 (flyball governor) 를 들 수 있겠다. 이것은 그림 1 과 같이 막대끝에 달린 球體가 回轉함에 따라 發生하는 遠心力으로 지렛대를 움직여 引擎의 速度를 조절하는 것이다. 19 世紀 中반에 이르러 引擎 設計의 變化 및 生産技術의 向上에 따라, 보다 더 작은 플라이휠 (fly-wheel) 의 使用, 큰 증기밸브 (steam valve) 의 使用에 따른 回轉球 (flyball) 의 重量增加 등으로 인한 累積的인 非安定化 (destabilizing) 效果에 依해, 引擎 速度의 不安定이 큰 問題點으로 대두되었다. 이의 解決을 위해 Maxwell 은 “制速器에 對하여” (“On Governors”) 라는 論文에서 自動制御 시스템 理論의 基礎를 세웠다. 그의 根本的인 寄與로써 自動 피드백 (feedback) 制御 시스템의 平衡 상태 근처에서의 動作은 線型 微分方程式으로 나타낼 수 있다는 점, 그리고 制御 시스템의 安定度 (stability) 는 그 特性방정식 (characteristic equation) 의 根의 位置에 따라 論意 될 수 있다는 점 등을 들 수 있다. 이 安定度 問題는 후에 Routh, Hurwitz 등에 의해 알기 쉽게 說明되었다. 에 의해 알기 쉽게 說明되었다.

19 世紀 후반에 이르러, 自動制御 技術에 있어서 몇 가지 중요한 進前이 이룩 되었다. 回轉球를 利用한 制速器에서 원하는 主行 速度를 設定하기 위해 容수철의 탄성력을 조절하여 制速器의 遠心力과 容수철의 탄성력의 均衡을 유지함으로써

써, 自動制御에 있어서 可變目標設定(variable set point) 이라는 아이디어를 만들어 내었다.

또한 油壓增幅器(hydraulic power amplifier)의 使用과, 이에 수반하여 回路 시스템에서 PID (proportional - integral - derivative) 制御의 使用이 1870年代에 確立 되었다. Far - cot는 무거운 물체의 위치제어를 위해 피드백을 利用하였고, 그러한 기구를 서보機構(servomechanism)라 불렀다.

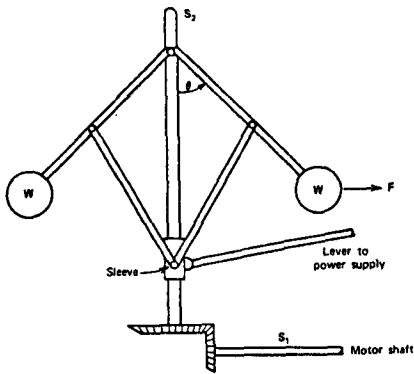


그림 1. 回轉球를 利用한 制速機
2-2. 負軌還 增幅器(Negative Feedback Amplifier)의 發達

制御工學의 初期 發展이 엔진의 制御에 의해 이룩되었듯이, 다음의 發展은 長距離 電話의 구현에 의해 이룩되었다. 通信 및 情報處理 分野에서의 革命은 1960년에 L. de Forest가 Fleming의 熱이온管(thermionic valve)에 전극을 하나 추가하여 三極眞空管을 고안한데서 出發한다.

機械 엔지니어들이 微分方程式을 利用하여서 서보機構(servomechanism)를 解析한 것에 비해, 電氣 엔지니어들은 基本的인 理論的 方面으로 交流回路網(AC network)의 解析을 위한 數學的인 方法을 모색하였다. 여러 사람에 의해

復素數 및 임피던스 圖(impedance diagram) 개념이 導入되었다. 이러한 발전과정에서 動的 시스템(dynamical system)에 對해 두 가지 接近方法이 使用 되었는데, 각각의 理論的 展開에 따라 "機械 엔지니어의 觀點"과 "通信 엔지니어의 觀點"으로 나뉘어진다. 機械 엔지니어는 微分方程式을 物理的·力學的 現象의 구체적 研究에 基本的 도구로 利用하여, 그의 시스템 모델을 실제적인 動作原理(mechanism)에 의거하여 만들었다. 通信 엔지니어는 이런 觀點과 比較하여 상당한 차이가 있었는데, 이들은 여러 장치를 "상자" (box)로 생각하여 한 信號가 入力되면 어떠한 상응되는 出力이 나오는가를 조사하였다. 즉, 실제 物理的인 部品이 장치된 기구를 信號가 지나감에 따른 效果를 나타내는 "상자"로 생각하였다. 이에 따라, 復素數를 적절히 使用하는 Fourier 해석방법(Fourier analysis)에 基礎를 둔 技術이 通信시스템의 動的 現象을 研究하는데 必要可缺한 것이 되었다.

Heaviside의 연산자方法(operational method)에 對한 선구적 研究에 뒤따라 적분변환方法(integral transform method)이 1920年代 말에서 1930年代 초에 걸쳐서 연구되었다.

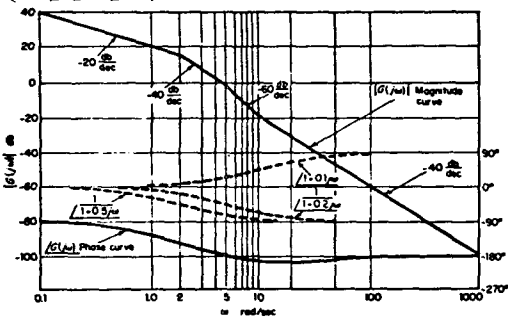
周波數 應答方法(Frequency response method)의 發展에 있어서 신기원을 이룩하는 것은 Nyquist의 피드백 增幅器의 安定度에 對한 論文(1932년)으로써, 長距離 電話에 대한 問題點에서부터 시작되었다. 搬送波(carrier) 시스템을 도입하여 可聽周波數 이상의 주파수 영역에서 動作시킴으로써, 電線의 가격을 經濟적으로 할 수 있었다. 그러나 전선의 감쇄현상에 의해 많은 중간增幅器(repeater)를 必要로 하고, 이에 따라 直線性이 좋은 增幅器가 요구됨에 따라, 피드백 增幅器가 Black에 의해 추진되었다. 여기에서 不安定性에 對한 問題가 야기되었고, Nyquist가 이것을 解決하였다. 이것은 피드백

理論에 새로운 분야를 열었고, 自動制御에서 새로운 章을 시작하게 하였다.

Nyquist의 論文 이후로 復素數 이론에 근거한 方法에 의한 制御理論의 發展이 微分方程式을 使用한 方法을 훨씬 能가하여 發展하게 되었다. Nyquist의 피이드백 安定度 問題에 對한 開回路利得 周波數 應答型態의 解析은 막대한 實用的 價値를 가지는 것으로써, 간단히 측정될 수 있는 양(利得)에 의한 式으로 표시될 수 있다. 이 實驗的 측정 결과와의 직접적 연결은 전혀 새롭고, 중대한 發展으로써, Nyquist의 安定度 기준 (stability criterion)은 시스템의 모델로써 微分方程式이나 特性方程式등에 의존하지 않고, 또한 Nyquist locus는 불안정한 정도, 감쇄(damping) 정도등을 직접적으로 明確하게 나타내 줌으로써, 시스템의 피이드백 성능을 開回路利得對 周波數 特性을 적절히 變化 시킴으로써 向上 시킬 수 있는 方法을 제시 하였다.

피이드백 理論에서 基本이 되는 다른 하나의 論文은 Bode에 의한 解析으로써, 利得對 周波數 함수와 位相對 周波數 함수의 관계에 의거하여, 피이드백 增幅器의 利得對 周波數 함수의 모양을 定하는 法則을 제시하였다. 그는 利得에 로그 尺度(log scale)을 周波數에 로그 尺度를 使用하여 로그 利得과 선형 位相對 로그 周波數 그림이 그의 이름을 따서 불리게 되었다.

(그림 2 참조)



$$\text{Bode plot of } G(s) = \frac{10(s+10)}{s(s+3)(s+2)}$$

그림 2. Bode plot

2-3. 化學工程의 피이드백 制御

化學工程 産業分野에서의 피이드백 制御의 導入은 機械·電氣 制御技術의 發展과는 별도로 進行 되었다. 工程産業의 하나의 주된 특징은 대부분의 制御하고자 하는 變數의 時間 스케일이 매우 느려서, 手動的인 피이드백 制御 조작이 충분히 타당하다는 점이다. 化學工業의 自動化는 工程狀態를 감시하는 측정기기의 導入, 이에 對한 기록장치의 부착, 더 나아가 이를 利用한 工程의 制御밸브등의 피이드백 制御등의 경로를 거쳐 進行 되었으며, 1930年代에 이르러 氣壓式 (pneumatic) 制御裝置가 開發되었다. 1940年 초반에 이르러 3項 制御方式 또는 PID (proportional, integral and derivative) 制御方式이 氣壓式 制御裝置에 導入되었다.

第二次 世界大戰에 의해 고성능의 서보機構에 대한 급박한 요구가 생기게 되어, 피이드백 制御 시스템의 設計·製作에 큰 進前을 보게 되었다. 그 結果, 방대한 노력과 경험을 토대로 기계·항공·항해 또한 化工分野에 周波數 영역의 方法을 널리 使用하게 되었다. 레이더 시스템의 특성으로 말미암아, 그 목표를 간헐적으로 표시하므로, 2次 大戰중 開發된 制御 시스템에 있어서 펄스(pulse) 또는 샘플(sample)된 형태의 데이터를 취급할 必要가 생겼다. 이것이 Hurwitz에 의해 sampled-data 自動制御 시스템의 기초가 되었다. 디지털 計算技術의 發展은 離散時間시스템 (discrete-time system)의 研究에 박차를 가하게 하였다. Z-변환(Z-transformation) 理論이 出現하게 되고, 기존의 연속시간시스템과의 관계에 대한 研究가 많이 進行 되었다.

2-4. 狀態變數 記述法과 最適制御 理論

1950年代 초반까지 周波數 영역의 解析方法이 모든 制御分野 全般에 걸쳐 우세하게 지배하였다. 블럭선도(block diagram)와 그에 수반하는 전달함수(transfer function)가 여러 가지 現實的인 線型 시스템을 解析하기 위한 모델로 사용되었고, 그것은 융통성있고 直觀的인 方法이었다. Evans의 root-locus 方法은 상당히 高次인 線型 피이드백 시스템의 設計에 있어서 적절한 도구로 판명되었다. 즉, 상황은 1920年代 후반의 時間 영역(time domain response) 方法의 전성기에 비해 완전히 역전되었다. 그러나, 그 시계추는 다시 반대방향으로 급속하게 흔들리고 있었다.

1950年 후반에 이르러 프로그램式的 디지털 컴퓨터가 工學的으로 신뢰성·보편성을 갖추게 되면서, 自動制御 시스템의 解析 및 設計에 또 다른 進歩를 要求하게 되었다. 制御理論에 있어서 더욱 심오하고 포괄적인 研究가 大型 컴퓨터의 다양한 計算力에 의해 가능하게 되었고, 동시에 소형의 신뢰도 높은 특수한 용도의 디지털 컴퓨터의 개발은 情報處理裝置를 利用한 보다 야심적인, 前無한 計算能力을 가진 다양성있는 制御方式을 實現可能하게 하였다. 그러므로, 여러 相互連關된 變數의 同時制御, 상이한 종류의 制御目標, 즉 연료소비의 最小化등의 研究에 周波數 영역의 解析은 매우 부적합한 것이었다.

制御理論의 과거의 主要한 發展과 마찬가지로, 또 하나의 다음 發展 역시 重要한 技術의 問題에서 야기 되었다. 즉, 宇宙船의 發射, 航海, 가이던스 그리고 航路 추적에 對한 問題에 대해 美·蘇 兩國에서 막대한 研究·開發 努力을 경주한 바 이 分野의 급진전을 보게 되었다.

이러한 發展은 制御理論上 다음과 같은 두 가지 特徵을 지닌다.

1) 制御 對象物이 本質的으로 彈道에 대한 것

이므로 制御하고자 하는 裝置의 正確한 機械的인 모델이 一般的으로 얻어질 수 있고, 또한 關連된 시스템에 매우 精確한 測定機器를 부착시킬 수 있다는 점.

2) 最終 制御方式에 對한 性能平價基準(performance criterion)이 경제성을 고려한 것이라는 점, 예를들어 위성의 位置制御 方式에 있어서 규정된 航海를 연료를 最小로 사용하면서 수행하여야 하는 것등.

이러한 觀點에서의 必然的인 結果로 制御에 있어서 常微分方程式의 使用에 對해 다시금 注意를 맞추게 되었다. 한 시스템에 있어서 全體的인 性能에 대한 어떤 특정한 함수(performance index 또는 criterion)가 最大 또는 最小값을 가져야 한다는 점에서 Lagrange나 Hamilton에 의한 變分法(variational calculus)과 명백히 유사점을 가지게 된다. 소련에서 Pontryagin은 最適制御理論(optimal control theory)이라 불리는 理論의 기초를 수립하였다. 動的 시스템에 대해서 狀態空間(state space) 方法을 사용하게 됨으로써, 制御分野에 있어서 科學的·數學的인 깊은 研究가 1950年代 中반부터 1960年代 말기에 걸쳐 이루어진 것도 특기할 만한 일이다.

Pontryagin의 最大原則(maximum principle)은 시스템의 制御에 있어서 財源의 제약이 있을 경우의 問題에 대해 必要不可缺함이 立證되었고, 이 새로운 微分方程式에 기초를 둔 方法에서 그 역량과 위력을 나타내었다.

Bellman의 動的 프로그래밍(dynamic programming)에 대한 研究는 주어진 제약조건에서의 動的 最適化(dynamic optimization)에 대한 것이었다. 이러한 時間 영역方法을 復活시킴으로써, 宇宙計劃의 가이던스 問題를 解決하는데 重大한 공헌을 하였다. 그와 함께 周波數 영역의 方法이 현저히 쇠퇴하는 結果를 가져왔다.

2-5. 周波數 應答方法의 再發達

最適 피이드백 制御와最適 피이드백 필터 (filter) 理論은 航空·宇宙 産業의 問題에 매우 成功的으로 적용되었으며, 이러한 結果,地上的 광범위한 産業工程에 適用하려는 시도가 행하여지기 시작했다. 그 결과 最適制御理論이 보다 適用됨이 발견되었는데, 이것은 精確한 플랜트 모델의 缺餘 및 요구되는 性能測定指標가 宇宙船의 경우보다는 결정적이 아니라는 점, 또한 制御方法의 복잡성등에 기인한다. 대부분의 産業工程에 있어서 요구되는 것은 플랜트를 安定化시키는 비교적 간단한 制御裝置로써, 복잡한 最適制御方法은 부적합함이 나타남으로써, 物理的인 直觀 및 간편한 制御技術이 가능한 周波數 應答 方法이 復活되기 시작하였다. 그런데, 여러 産業界에서 응용되는 古典的인 단일회로 周波數 應答 方法과 宇宙産業 應用에 의해 發展된 多變數 時間應答 方法에는 技術的으로 커다란 격차가 있음은 명확한 일이었다. 이러한 격차를 해소하기 위한 노력으로 最適制御理論과 時間應答 方法을 加味한 周波數 應答方法이 再發達하기 시작하였다.

最適 制御方法과 古典的인 周波數 應答方法의 격차를 해소하는 첫번째 시도으로써, Kalman 에 의해 周波數 영역에서의 最適性에 대한 研究가 있었다. 多變數 피이드백 시스템에 대한 周波數 應答 解析方法의 開發에 대한 체계적인 研究가 Rosenbrock 에 의해 수행되었다. 多變數制御 (multivariable control)에 있어서, 상호 연관성이 없는 변수 또는 부분적 상호연관성만 갖는 변수를 시스템으로 변형하여 조사하는 Rosenbrock 의 方法의 根本的 의도는 設計의 最終 단계에서 古典的인 單一回路 周波數 應答方法을 適用하자는 것이었다.

다른 하나의 시도방법은 전달함수 행렬(trans-

fer function matrix)를 도구로 하여 Nyquist diagram 및 root-locus 등을 연장·발전시키는 방법이었다. 여러 研究가 代數的·幾何的의 그리고 複素數를 利用한 方法등으로 이루어졌으나 적절한 유일한 방법은 아직 발견되지 않은 상태이다. 그러나, 古典的 周波數 應答方法의 再發展과 아울러 狀態空間 모델과 여러가지 代數的·幾何的의 그리고 複素數를 利用한 여러 技術的 方法 및 結果와의 상호연관성에 대한 研究 結果, pole, zero와 root-locus의 점근선과, 狀態공간에서 기술된 기본 연산자(operator)사이에는 깊고도 중요한 연관성이 있음이 발견되었다. 이러한 發見이 급격히 발전하고 있는 代數, 幾何的인 制御研究에 重要性을 더욱 강조하게 되었다.

周波數 應答方法 研究의 많은 동기가 實驗的 데이터에 의거한 모델에 의해 기술된 플랜트의 제어에서 기인하므로, 여러가지 設計方法이 모색되었고, 이러한 記述중의 많은 부분이 컴퓨터에 의한 相互作用하는 그래픽스(interactive graphics)를 이용하여, 設計者가 컴퓨터에 연결된 터미널의 디스플레이(display) 裝置와 상호접촉하며 설계를 하게 되었다. 이러한 觀點에서, 경험을 쌓는 設計者에 의해 발휘될 수 있는 직관 및 통찰에 더욱 중요성을 부가하게 되었다. 이런 점이 最適制御의 解가 주어진 定格에서부터 종합·설계하는 設計方法과 크게 대조를 이루는 점이다.

또한, 인공위성과 우주탐사용 로켓에서 지구로 보내지는 圖像의 面質을 向上시키기 위하여 영상신호의 多次元여과(multidimensional filtering)가 연구되기 시작하였는데, 이것은 하나 이상의 空間的 次元에 대한 영상신호의 同時 필터를 말한다. 이러한 動的여과(dynamic filtering) 問題의 一般化와 아울러 多次元 피이드백 필터의 安定度와 이에 따른 周波數 應答技

術의 적절한 確大發展이 現在 이루어 지고 있다.

2-6. 마이크로프로세서의 制御工學에의 應用 技術의 歷史上, 革命的이라는 단어를 사용할 수 있는 發展은 그리 많지가 않고, 더욱 그 眞價를 발휘한 것은 드문 形편이다. 그러나 수년전에 출현한 (1970년의 Intel 社의 4004가 시초임) 마이크로프로세서에 대하여는 革命的이란 말을 할 수가 있다. 마이크로프로세서를 정의하자면 디지털 컴퓨터 시스템에서의 中央處理裝置 (central processing unit)를 集積回路化(integrated circuit化)한 것이라고 할 수 있다. 컴퓨터라 함은 2진법수의 숫자(bit)들로 구성된 데이터 정보를 처리하는 시스템으로써, 기본적으로 이러한 시스템은 그림 3에 보인 바와 같이 데이터 저장용의 記憶裝置(memory), 데이터를 처리하는 處理裝置(central processor), 入·출력을 담당하는 入出力裝置들로 構成되어 있는 順序적 기계(sequential machine)라 할 수 있다.

回路를 集積化的 發達は 마이크로프로세서의 주변 시스템의 發達과 함께 計算能力的 增加를 가져다 주었다. 예를 들어 기억소자(memory)의 集積化에서 매년 2배의 集積率의 增加를 하여, 現在 32768 bit의 기억소자가 시판되고 있고, 곧 65536 bit의 기억소자가 出現할 것이다.

현재 추세는 보다 적은 수의 IC(集積回路)를 이용한 마이크로컴퓨터화에 있고, 한 IC內에 마이크로프로세서와 메모리와 clock을 집약시킨 간단한 마이크로컴퓨터 소자도 시판되고 있는 실정이다. 集積化的 發達は 入出力裝置에도 波及되어 여러가지 보편적인 入出力裝置를 위한 LSI(large scale integration) 소자가 만들어지고 있다.

이러한 發展의 結果로 電子 시스템 應用에 根

元的이고 불가피한 변화가 생기게 되었다. 集積化的 增加에 따라 통상적인 電子工學의 素子の 연결에 의한 하드웨어(hardware)적 設計에서 소프트웨어(software)적인 측면에서의 프로그램(program)에 의한 設計方法으로 變化가 일어나고 있다. 수많은 應用分野에서, 凡用 하드웨어에 각각의 특수용도의 소프트웨어를 利用하여 그 결과 하드웨어의 大量生産이 가능하게 되어 가격면에서 싸지게 되고, 더욱 특수한 용도에 도 이러한 방법을 사용함이 가능하게 되었다. 이러한 革命이 아직 초기단계에 있어서, 마이크로프로세서의 應用이 어디에까지 확장될지 예측하기 어려우나, 소형 전자제산기나 손목시계에의 응용과 같이, 종래의 미니컴퓨터의 응용범주에 속하는 工程制御나 情報處理등의 영역에 까지 확대 될 것이 확실시 된다.

自動化와 制御分野에 있어서 마이크로프로세서는 특히 重要性 및 關心이 集中되고 있다. 약 20여년간 디지털 컴퓨터를 計算 또는 制御의 도구로 사용하여 왔던 바, 이러한 觀點에서 이의 堯가의 마이크로컴퓨터로의 代치는 용이하게 이루어 지리라 예상된다. 마이크로프로세서가 제공하는 가장 큰 長點중의 하나는 컴퓨터를 利用한 시스템을 매우 경제적으로 구현 가능하게 한다는 점이다. 또한 종래에 하드웨어에 의해 구현된 順序적(sequential), 논리적 制御分野에 많은 應用이 가능하게 되었다.

하드웨어의 저렴한 가격에 의한 응용의 증가에 따라, 그 기술적인 점에서의 숙달은 그 기술을 가정에 應用하게 되어, 종래의 機械的인 方法을 代置하여 재봉, 요리, 세탁등의 제어가 가능하게 될 것이다. 산업계에서 소형의 工作機械까지도 마이크로프로세서를 사용함이 경제적 이 되고, 制御裝置에 使用된 프로그램이 간단해야 할 必要는 없고, 진보된 이론을 이용할 수도 있다. 또한, 약간의 경비추가로 이러한 制

御裝置가 人間과의 또는 다른 制御裝置와의 通信을 위한 裝置를 부착함이 가능하게 되고, 그 結果 分散制御方式과 分業화된 自動化가 可能하게 된다.

마이크로프로세서의 成功의 要因은 電子機器 設計에서 凡用 하드웨어에 특수용도의 소프트웨어를 結合 시킨다는데 있다. 이러한 觀點에서 엔지니어의 역할에 變化를 초래하게 된다. 回路集積化의 結果 작은 시스템을 集積化하여 이것들을 相互 연결시켜서 큰 시스템을 設計하게 되었고, 마이크로프로세서의 出現은 이 현상을 더욱 촉진시켰다. 그 結果, 制御門題를 프로그램으로 變化시키는 소프트웨어의 技術이 요구되게 되었다. 應用面에서 볼때, 과거의 하드웨어적 도구만큼이나 소프트웨어의 도구가 중요성을 띄게 되었고, 시스템을 設計·製作하려면 이것을 完全히 이해해야 하게 되었다. 이것은 수요자의 變化하는 요구에 따라 언제, 어떻게 적절한 소프트웨어가 사용되어야 하는가 하는 것, 그의 기본 원리, 기본 도구의 적용성, 새로운 도구의 도입 가능성등을 고려해야 하며, 이러한 소프트웨어의 도구가 프로그래밍 言語의 觀點에서와 함께 問題를 프로그램으로 變化시키는 과정에서도 도움을 줄 수 있도록 고려되어야 한다. 이러한 것이 이루어지려면, 특히 電子工學의 教育·訓練에 큰 變化가 요구되며, 또한 새로운 개념에 대한 기술자의 再教育이 必要하다.

人間이 그의 物理的 能力의 限界를 넓히는 것이 에너지를 制御하는 能力이었듯이, 그의 精神의 能力의 영역을 확장하는 기제를 창조하는데 精銳의 制御가 必要하게 되었다. 社會的 측면에서 볼때 先進工業國家가 되기 위하여 마이크로 프로세서를 產業的 용도에 광범위하게 使用하고, 이를 위한 폭넓은 투자가 요구된다. 產業 및 常用分野에의 應用으로 말미암아 自動化가 이루어져 반복적인 작업의 일을 대치하게 하여 사회에

서의 노동과 여가에 대한 재분배가 이루어져야 할 것이다.

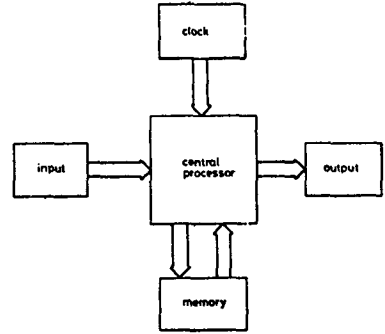


그림 3. 기본 컴퓨터 시스템

2-7. 大規模 시스템 (large scale system)의 制御

大規模 시스템이란 통상 기존의 確立된 方法으로 効果的으로 解析·制御되기에는 너무 복잡한 시스템을 말한다.

구체적인 예를 들어 설명하고자 하는데, 펄프 및 製紙 工程은 생산량에 비해 에너지가 많이 투입되어야 하고, 복잡한 에너지의 피이드백이 존재하기 때문에, 이러한 大規模 시스템을 制御하는 것이 중요한 문제가 된다. 외부에서 투입되는 에너지에 앞서, 플랜트내에서 생기는 에너지를 효율적으로 관리하여야 함이 중요한데, 그 이유는 요구되는 에너지의 절반가량이 펄프 製造工程의 副産物로 만들어지기 때문이다.

펄프 製造工程은 통나무를 분쇄하여 나무토막 (chip)과 껍질 (bark)을 만든후에 나무껍질 (bark)들은 보일러의 연료로 사용되어 나무조각 (chip)을 펄프로 만드는데, 必要한 蒸氣를 發生시키거나, 나무조각을 분쇄하는 모터동력용의 발전기를 돌릴 수 있다. 약 $\frac{1}{3}$ 정도의 보일러용 연료가 이 나무껍질에 의해 공급될 수 있고, 또 $\frac{1}{3}$ 정도의 연료가 다른 부산물인 「black liquor」

에 의해 공급되며, 나머지 $\frac{1}{3}$ 이 석탄·석유등에 의존한다.

에 限界가 존재하게 되며, 이러한 限界가 大規模 시스템에서는 그 設計에 관련된 모델의 不正

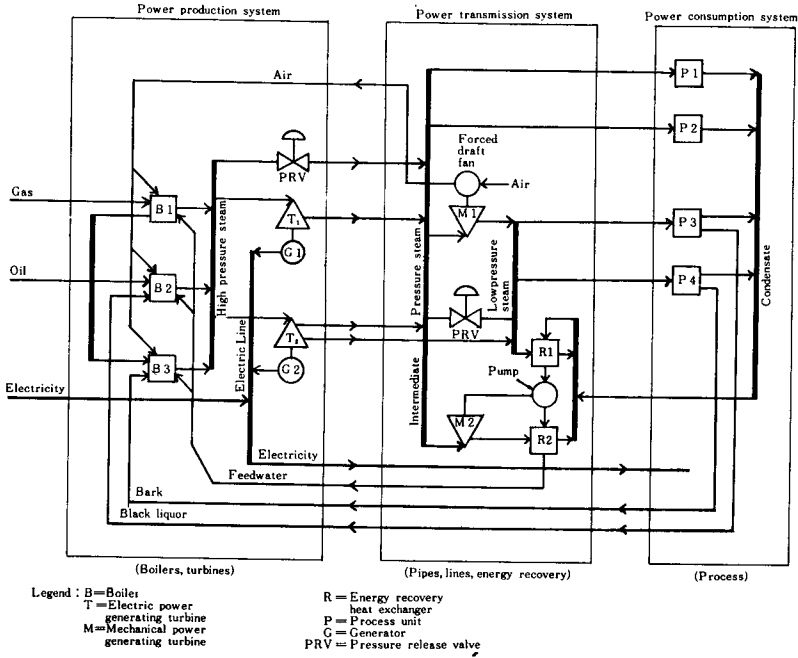


그림 4. 펄프製造 工程의 에너지 유통과정

펄프 製造工程의 에너지의 유통과정을 그림-4에 보였다. 에너지 生産시스템은 보일러, 전력 發展用 터빈등으로 구성되며, 에너지 전달 시스템은 蒸氣가 보일러에서 어떻게 펄프 製造工程으로 전달되는가를 보여준다. 이러한 에너지의 흐름을 效果적으로 制御하기 위해서, 그림 5와 같은 컴퓨터에 의한 계보적인 제어구조가 요구되며, 각 작은 시스템 사이의 연결은 온-라인의 데이터 전송로에 의해 수행된다.

위의 예에서 본 바와 같이, 大規模 시스템은 특징적으로 많은 수의 相互 연관성이 있는 작은 시스템 또는 素子들로 構成되며, 完全히 正確한 모델을 만들기가 매우 어려운 형편이다. 게다가, 大規模 시스템의 피이드백 制御에서 그 制御法則의 複雜도와 構成(情報의 傳達)에 어떠한 制約條件이 가해지게 된다. 制御問題 전반에서와 같이 閉回路 시스템이 制御 되어져야 하는 精確도

精確性때문에 더욱 심각하게 된다. 그러므로, 大規模 시스템 理論에서의 主目標은 그의 複雜度, 모델의 不正確性, 情報의 傳達, 시스템 出力의 制御精確度 등에 대한 數學的 연관성 및 數式化에 (Hierarchical control) 대한 것이다.

이러한 目標은 다음과 같은 方法에서 얻은 知識과 통찰을 통해서 얻어질 수 있다. 기존 大規模 시스템에 대한 경험적 관찰, 古典的인 周波數 應答方法에 의한 解析 및 設計方法, 그리고 추상 함수공간에 의한 시도방법(abstract function space approach)등을 통한 安定度, 複雜性, 그의 체계적 集合등의 問題에 대한 研究 등이 바로 그런 것들이다.

첫째로, 기존의 大規模 시스템의 動作에 對한 조사에서 얻어지는 經驗적 知識은 이것을 理解하는데 必要不可缺한 要素이다. 여러 自然的(生物學的)인 시스템에서와 같이 人間이 만든 大規模

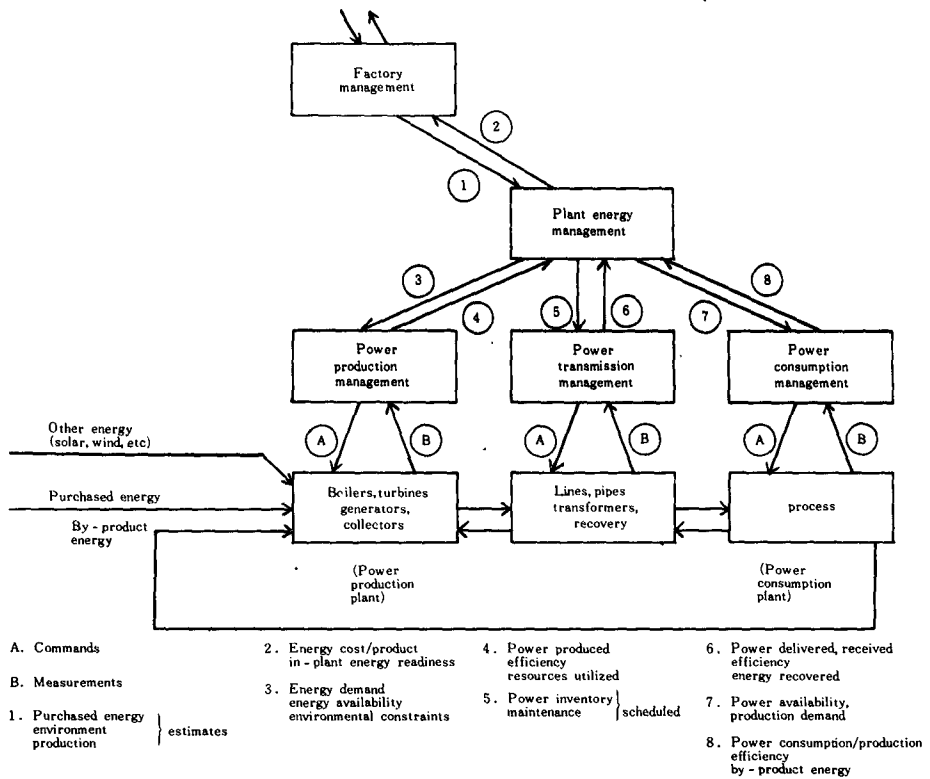


그림 5. 컴퓨터에 의한 계보적 제어

模 制御시스템에 있어서 그 기능이 계통적으로 분할되어 있다는 것을 알 수 있으며, 각각의 작은 시스템의 制御는 원칙적으로 그곳에 局限되고, 각 작은 시스템간의 상호연관은 통상적으로 몇몇의 비교적 천천히 變化하는 入·出力에 의해 이루어 진다. 예를 들어서, 事務處理 組織에 있어서 경영자는 정책과 生産目標를 設定하여, 개개 社員에게 時間的으로 數時間에서 數년에 걸치는 業務를 분담하게 하고, 또한 경영자는 그의 결정을 몇몇의 집약된 보고 - 구조계 통상의 下部構成員들에 대한 총체적 보고에 의해 내리게 된다. 그와 대조적으로, 하부구성원들은 그들의 각자 업무에 따르는 그때 그때의 細部的인 結定을 독자적으로 내리며 일을 수행한다. 기존의 大規模 시스템이 目標指向的이라는 면에서 이러한 계통조직으로 분화·구성 될 수 있다. 기존의 계통적 구조에서 많은 성질들을 研究함으로써

새 大規模 시스템의 複雜度, 情報流通, 制御精度 등에 대한 數式化에 기여할 수 있다. 계통적인 大規模 시스템의 피드백 제어는 획득가능한 制御精度와 모델의 不正確度와 構造의 制限에 의해 특징 지을 수 있음은 명백한 일이다.

두번째로, 周波數 應答方法에 의한 시스템의 數式化와 情報流通의 측정이 가능하다. 예를 들어, Nyquist diagram이나 Nichols diagram 등을 통한 線型 시스템의 피드백 制御設計에 있어서, 모델의 不正確度에 따른 周波數應答 變化, 閉回路 安定度 등에 대한 變化를 정량적으로 알 수 있다. 이러한 방법은 閉回路 시스템 모델과 制御精度 사이의 周波數 領域에 의한 연관성을 제시해 준다.

세번째는, 動的 시스템을 추상함수 공간에서의 觀點에서 보는 것이다. 이러한 아이디어는 安定度理論에서 情報理論에 이르는 여러가지 問題에

대한 통찰 및 새로운 결과를 얻는데 도움을 줄 수 있다. 함수공간 개념과 상호연관 시스템의 안정도에 의한 복잡도에 대한 측정등의 결과가 이러한 방향에서 시도되었다.

結論적으로, 복잡도에 대한 직觀적인 개념과 모델의 不正確度, 情報 流通, 制御精度와 相互關係에 대한 完全한 數式化가 가능하게 될 때에 大規模 시스템에 대한 解析 및 制御가 可能하게 되고, 分散制御方式(distributed control) 과의 연관성 및 컴퓨터 제어의 가능성등이 명확해 지리라 예상된다.

3. 産業의 自動化 問題

人間的 생활수준이라는 면에서 볼 때, 그 目標가 물질적인 풍요라고 생각되어지는 경우가 많으나, 좀더 광범위한 면에서 “선택의 자유”라는 것을 들 수 있다. 선택의 자유가 질적·양적인 면에서 많아질수록 생활수준이 높아진다고 할 수 있으며, 이러한 觀點에서, 技術社會의 物質的 側面은 궁극적으로 物理的 環境의 制約內에서 선택의 자유를 廣域化 하기 위한 수단이라 할 수 있다. 생활수준을 향상시키는데 있어서 큰 요구사항으로 商品을 양적으로 다양하게 生産해야 하는 점을 들 수 있는데, 이러한 것이 이룩되기에 人間的 能力이 限界가 있으므로, 이 限界를 타파하기 위해서 自動化가 絶실히 要求된다. 예를 들어서, 시멘트 生産의 컴퓨터에 의한 自動化, 工作機械의 數值制御등을 들 수 있겠다. 다른 하나의 요구사항은 보다 저렴한 서비스로써 우편업무의 自動化등을 들 수 있고, 또 다른 하나의 요구사항은 높은 임금에 관한 것이다. 경제학적인 면에서 볼 때 인플레이션을 방지하는 方法은 生産性的 增加, 고용인수에 비한 資本投資率의 증가등의 方法이 있다고 한다. 이러한 면에서, 人間能力的 限界의 解決에 自動化는 必要不可缺한 要素이다. 다시 말해서, 人間的 限

界와 人間的 欲求의 차이에 의한 문제를 해소시키기 위해 自動化가 絶실히 要求되는 것이다.

先進國에서의 生産技術의 發展은 生産工程과 情報·物量의 流通에 대한 전문化, 自動化라 특정 지어질 수 있다. 生産工程은 기업의 경쟁력 및 성공을 좌우하는 重要한 要素로써, 수요의變化에 대해 적합한 代置가 가능하도록 융통성이 있어야 한다. 生産技術의 變경에 대한 要求는變化하는 生産物의 指定, 다른 機構로의 이동, 工具의 교환등과 生産計劃 및 生産制御에 대한 分野에 많은 自動化를 要求하게 되었다. 自動化의 主要點은 융통성이다. 즉, 시장의 변동에 따라 最小의 비용으로 즉시 生産체제를 적응시키는 데에 있다. 현대의 경제적 기술적 추세는 生産공학(production engineering)적인 면에서 장기적인 재구조화에 있다. 특히 生産性, 勞働과 資本의 융통성이 증가되어야 한다. 이것은 기술적인 計劃과 構成方法의 유기적 組成에 의해 可能하게 되며, 이러한 觀點에서 生産시스템의 自動化, 部品生産의 自動化 등이 컴퓨터의 發達과 함께 이루어지고 있다.

大型의 自動化 計劃에 있어서, 投資 決定에 對한 시야가 넓어져감에 따라, 國家的·國際的인 經濟動向에 영향을 받으므로 계획의 불확실성이 증가하게 된다. 기업의 安全을 위해서 市場變化에 따른 유연한 적응을 위해 生産계획에 대해 적절한 조사가 있어야 한다. 고도의 自動化와 융통성은 양립하기 어려운 경우가 있는데, 그것은 고도의 自動化가 많은 경우 대량생산의 경우에만 경제적이기 때문이다. 그러므로 소규모 또는 중간규모의 生産체제에 대한 自動化가 現在의 生産技術의 연구·발전에 중요한 과제이다.

이러한 면에서 볼 때, 보다 융통성 있고, 소량의 生産체제에도 적응할 수 있는 컴퓨터에 의한 制御가 바람직하다. 前章에서도 言及하였듯이 回路의 集積化와 마이크로프로세서의 發達は 이력

한 方向의 시도를 더욱 용이하게 하였다.

그러한 예로, 數値制御를 살펴 볼때, 이것이本質的으로 비교적 生産量이 많지 않은 경우, 특히 生産部品の 복잡도가 증가해 감에 따라 유리해짐을 그림 6에서 볼 수 있다. 근자에 이르러 마이크로프로세서와 LSI를 사용한 컴퓨터 數値制御(CNC : computer numerical control)의 현저한 發達이 이루어졌는데, 이와 아울러 工作機械의 가동율을 향상시키고 나아가서는 工場의 無人化를 위해 工業用 로봇과 數値制御 機器와 같이 사용하는 연구가 선진국에서 활발히 進行되고 있는 바, 급격한 産業發展 특히 重化學 分野의 발전과 아울러 이의 研究·開發이 절실히 요구된다.

開發途上國에서 先進國의 시스템을 그대로 도입한 경우 상당한 문제점이 따르게 된다. 첫째는 그러한 첨단의 기계장치를 관리·운용 할 수 있는 기술자의 부족으로 말미암아, 효율을 最大로 발휘하지 못하는 경우가 많다. 게다가, 그런 책임의 기술자가 있다고 하더라도 그 기계장치에 관련된 모든 정보를 이쪽에서 요구하지 않는 한, 선진국에서 기꺼이 제공하려 하지는 않는다는 점을 들 수 있다.

産業의 自動化와 아울러 이러한 문제점들을 해소하기 위하여 시스템工學 分野의 教育 및 訓練이 必要不可缺한 요소가 되고, 機械的·化學的·電氣的인 모든 技術을 망라하여 설계할 수 있는 人力開發이 시급하다.

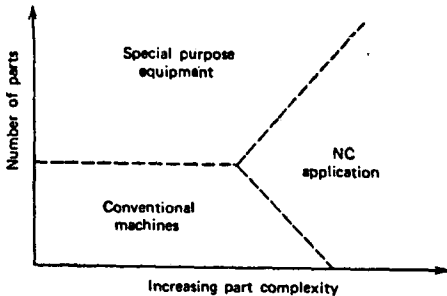


그림 6. 數値制御의 적용범위

4. 맺는 말

制御工學의 發展過程 및 現在의 研究趨勢에 대해 간단히 설명하였고, 開發途上國에 있어서의 産業의 自動化 問題와 研究 및 開發(research and development)의 중요성을 설명하였다.

參 考 文 獻

1. A. Mac Farlane, "The Development of Frequency-Response Methods in Automatic Control" IEEE T-AC, Vol. 24, no. 2, pp. 250-265, Apr. 1979.
2. H. A. Baker, "The microprocessor in Control", Proc. IEE, Vol. 126, no. 1, pp. 77-80, Jan. 1979.
3. M. G. Safonov, "Large scale systems research : A perspective", AESS Newsletter, pp. 29-31, March 1979.
4. A. Kaya, "Industrial energy control : the computer takes charge", IEEE Spectrum, Vol. 15, no. 7, pp. 48-53. July 1978.
5. P. L. Taylor, "The human necessity for automation", Proc. IEE, Vol. 117, no. 1, pp. 189-197, Jan. 1970.
6. H. J. Warnecke, "Possibilities and ways of automation in production engineering"
7. P. M. Larsen, "Trends in automatic control education", Automatica, Vol. 15, pp. 101-104, 1979.
8. M. Jamshidi, M. Malek-Zavarei, I. Vakilzadeh, "Problems of automatic control education in developing countries", Automatica, Vol. 15, pp. 105-112, 1979.