≪總 說≫

Process Control의 最近動向

金 永 旭*

1. 序 論

近代機械文明의 發達과 함께 automatic control이라는 이름으로 mechanical engineer와 electrical engineer들에 依해서 保護育成 되어온 이 分野는 最近에 이르러 chemical engineer들에게 process control이라는 이름으로 소개 되었다. 그러나 옳바른 의미에서 이 process control은 그 approach가 在來의 automatic control과는 다른 面이 있고 그 範圍도 넓다고 본다. 近代式 大規模 chemical plant의 建立, information theory의 發展, 電子計算器 等의 開發로 因한 必然的인 結果로 우리 chemical engineer 들이 다루어야 할 이 control study는 在來의 automatic control의 領域을 벗어나지 않으면 안되게 되었으며, 거기에 따라 우리 chemical engineer 한테는 process control이라는 이름이 더욱더 적절한 느낌을 주는것도 事實인 것이다. 筆者의 見解로는 이 process control이란 Process Dynamics and Automatic Control Study의 約稱으로 보는것이 옳을것 같이 생각된다. 그런 만큼 이 分野의 廣範圍性과 重要性은 말할 나위도 없거니와 그 control study의 方向은 process의 dynamics를 理解하고 그에 맞는 controller를 構想하자는데 또한 그 焦點이 있는 것이다. 例를들어, 大規模의 chemical plant의 한 unit에 對한 control problem을 생각해 보자. 보다 合理的이고 效率的인 control을 在來式의 discompose된 立場에서 部分的인 control의 集大化로 全體의 균형이 잡힌 control을 할 수 있을 것인가의 問題이다. 그리고 control할 process를 "Black Box"로 두고 loop gain이나 알고 single varlable controller들의 綜合으로 과연 distillation tower 같은 큰 unit의 control이 可能할 것인가를 생각할때 이제 control의 discomposition의 타당 부당을 再論할 必要는 없다고 본다. 그러므로 unit의 overall control concept로 그 control study의 方向을 돌린다면 우선 그 process의 study가 優先的인 位置에 서는 것인데 이 process study는 在來式 flow sheet의 study state에 關한 study라기 보다 "Study of Dynamics"를 意味하는 것이다. 그러기에 process control과 chemical engineer는 不可分의 關係이며 이는 chemical engineer 가지고 나갈 重要한 課題인 것이다. 이 새로운 Tread를 說明하기 爲하여 이 control 分野의 現況을 간단히 review해 보기로 하자.

2. 本 論

2. 1 Automatic controller의 general review

A) Hardware 面으로 본 controller의 種類

現在 널리 사용되고 있는 controller를 hardware 面에서 分類하면 大略 아래와 같이 볼 수 있다.

1. Mechamical
2. Pneumatic
3. Electrical
4. Electronic
5. Analog computer
6. Digital computer
7. Combination

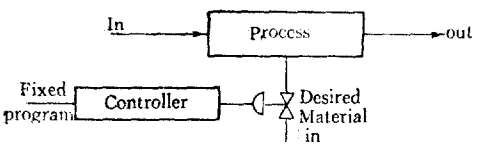
그리고 이 controller들을 그 mechanism의 面에서 大別하면 또한 아래와 같게 될 것이다.

B) Mechanism 面에서 본 controller의 種類

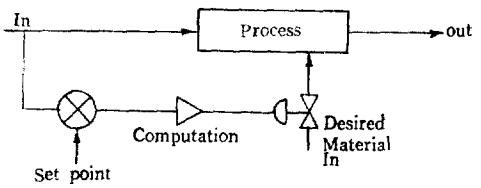
1. Open loop control
2. Close loop control

前者의 open loop control은 事前 program에 依한 control이 그 主목적인데 比較的 간단하고 効果的이며 價格面으로도 有利한 長點을 지니고 있으나 또한 短點도 많다. 即 program의 error가 result의 error로 carry되며 豫感치 않았던 variable change에 對한 對備가 안된다는 것이다. 가장 쉬운 例로서는 Fig. 1-a. 에서 보는바와 같은 washing machine의 control이 그 한 例인 것이다. 거기에 比해서 closed loop control은 그 control mechanism이 약간 복잡하다. 이 close loop control 안에서도 大體로 두 種類로 나누어 볼 수

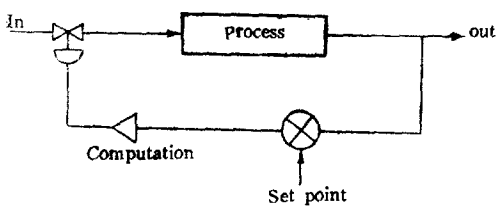
*高大理工大



(a) Feed Forward (open loop)



(b) Feed Forward(Closed loop)



(c) Feed Back(Closed loop)

Fig. 1. Types of Controller

있다.

a. Feed forward control

Feed forward control 을 흔히 open loop control 로 간주하는 경향이 있는데 음밀한 의미에서는 이는 당연히 closed loop control로 간주해야 할 것이다. 그 例를 Fig. 1-b에 표시했는데 이는 그림 1-a의 경우를 좀더 發展시킨 경우이다. input variable 을 측정해서 desired material의 量을 조절토록 했다(Fig. 1-b 참조) 이는 比較的 새로운 形態의 control system 이며 open loop control의 長點을 살리면서 unexpected input variable change에 充分히 對備할 수 있으므로 그 control의 신빙성이 높다. 그러나 이도 process 自體의 disturbance 나 測定이 可能치 않은 input variable 등의 變化에는 어쩔 수 없는 것이다. 以上의 問題를 비교적 쉽게 해결해주고 있는 control type 이 바로 feed back control 이다.

b. Feed back control

이는 그 criterion 을 final result 에 두고 제반 input condition 을 再조절토록 하므로 신빙성이 높고 現在 第一 많이 보급된 control type 라고 본다. (Fig. 1-c 참조) 이 feed back controller의 種類도 多樣하나 根本的인 原理는 공통되어 있다고 생각한다. 即 trial and error를 그 特色으로 하므로 比較的 安定되고 값이 싸며 손쉽게 구할 수 있다는 點과 一斷 steady state에 到達하면 operator가 자리를 떠도 無妨할 만큼 stable한 경우가 많으나 control 이 efficient 하지 못하고 transient effect 가 커서 값비싼 product 의 loss 가 많으며 tuning 을 잘못하면 ascillation 하는 等의 단점도 지니고 있다. 이 feed back controller의 mode도 갖가지 인데 그 種類를 들어보면

a. On-off
b. Proportional (P)
c. Proportional Integral (PI)
d. Proportional-Integral-Differential (PID)

그 外에도 特殊한 形態로 간주되는 것은

e. Cascade
f. Ratio
g. Cut back
h. Application of nonlinearity
   i. Dead zone
   ii. PH controller

等等의 여러가지가 開拓되어 現在市場에 소개되고 있다. 以上에 列擧된 controller control 을 간단히 說明하기 爲하여 흔히 드는 例로서 反應槽의 溫度 의 경우를 생각해 보자.

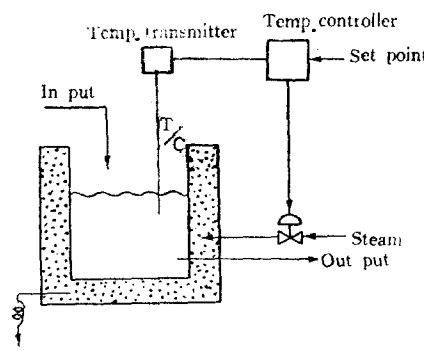


Fig. 2-a Simple Feed Back

Fig. 2-a의 경우는 一般的인 feed back control의 표본形인데 steam 의 valve openning을 反應槽 溫度를 測定해서 조절토록 했다. 이 control mode가 on-off로도 되고 PID로도 무방할 것이나 Fig. 2-b의 경우는 보다 복잡한 것이다. 이것을 cascade control 이라 부르는 control mode로써 steam의 up stream pressure change에 依한 Fig. 2-a 의 control difficulty를 除去해

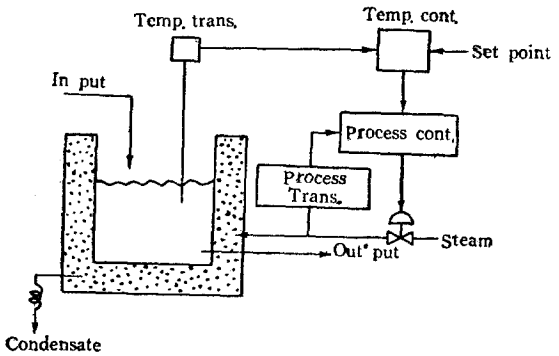


Fig. 2-b Cascade

주는 loop가 補强되어 있다. (Fig. 2-b 참조) 故로 이는 反應槽의 溫度와 steam의 enthalpy 를 各各 測定해서 steam의 들어가는 量을 조절해 주고 있다.

다음 ratio control은 不均一한 stream 을 一定한 stream 과 적절하게 그 ratio 를 定해주어 out flow 를 一定히 하는 control mode 이다. (Fig. 3 참조) 그 外에도 우리 control engineer 가 되도록 피하려고 하는 nonlinearity 를 오히려 이용하므로 smooth 한 control 을 할 수 있는 特殊한 경우의 例를 들어봤다. 即 Fig. 4의 경우 1st reactor 의 out put의 flow 가 不均一하더라도 2 nd reactor 의 feed rate 를 一定하게 하기 爲하여 serge tank의 liquid level 이 upper limit 와 lower limit 內에 있는 限 그 flow controller 를 freeze 시키므로 (dead zene 을 설치하므로) 比較的 順調로운 control 이 可能하고 그림 5에 보는 例는 pH 7 근방의 급격한 slope 와 그 外部分에 완만한 slope 를 그 controller gain 에 이 pH curve 와 흡사한 장치를 加하므로 pH 를 일괄적으로 조절할 수 있는 controller 가 最近 Foxboro 에 依해서 고안된 것이다. 그 外도 Process time constant가 大端히 긴 경우 或은 그 sampling 自體가 간헐的인 경우(GLC 의 경우) 에 적절한 sampled data control 等을 예로 들어 봤다. (그림 6 참조) 이 경우의 說明은 紙面關係로 省略하나 그 外에도 特殊한 controller 는 그 數도 헤아릴 수 없이 많을 것이다.

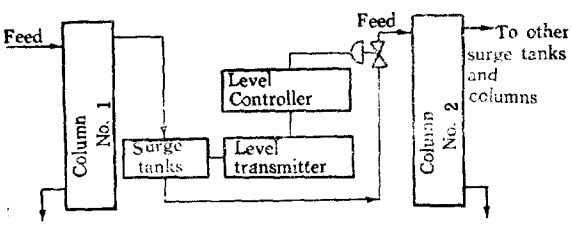


Fig. 3. Ratio Control.

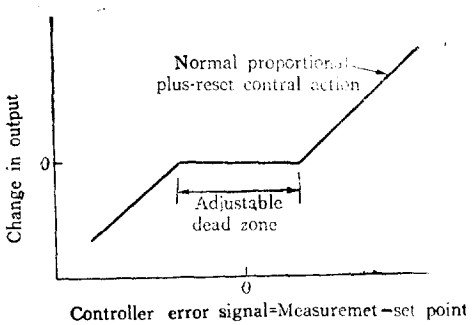
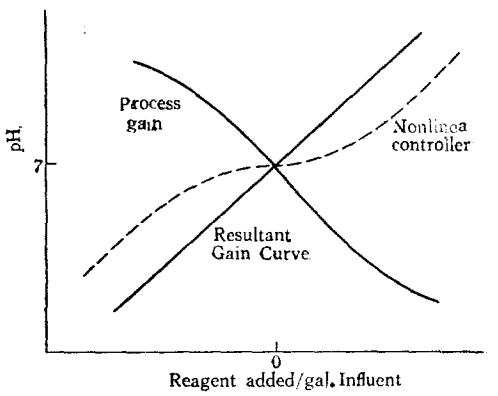


Fig. 4. 4Gap-Action Cantrol



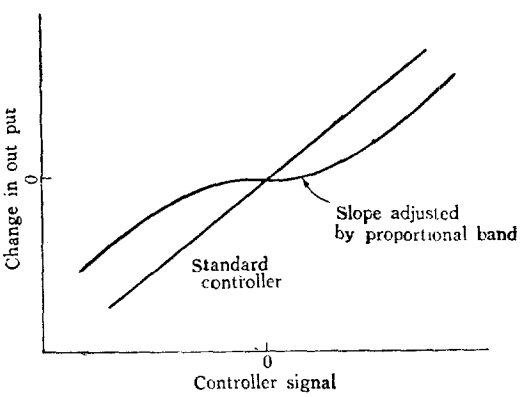


그림 5 Foxboro pH Controller (Linearization)

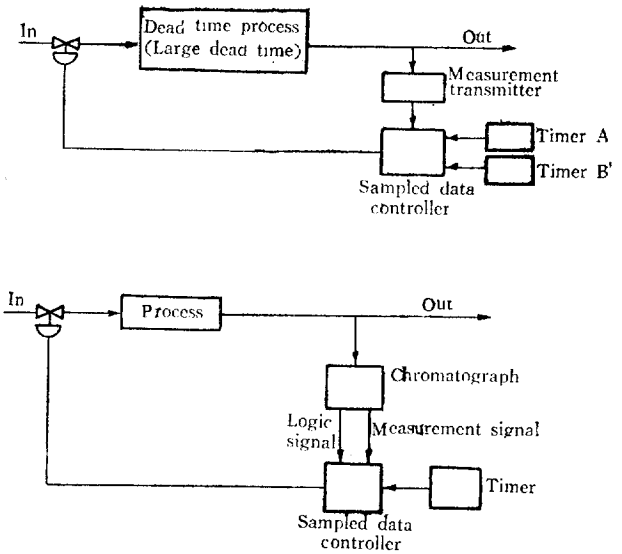


Fig. 6 Sampled Data Control

2. 2. Control Comept의 새 경향

a. Feed foreward or feed forward heed back controller

以上 說明한 feed back controller의 tromsient effect나 hunting process에서 오는 제반 不便點을 개선하고 feed forward의 長點을 살리려는 새로운 control concept 인 것이다. 그런만큼 그 mechanism이 좀 복잡하다.

이는 process model을 通해서 computer control을 그 方法으로 하는 경우가 많은데 여기에 바로 chemical engineer의 重要性이 있는 것이다. 우선 process modeling에 우리 chemical engineer가 배운 engineering principle을 最大限 利用하고 나아가서 그 dynamics를 study 하여 거기에 맞는 control algarithm을 program 해야 하는 重大한 使命을 지닌 것이다.

우리가 배운 Navior-stock equations Roult's law, Daton's law mcCabe-Thicle Methed, Multicomponent multi stage, Thermodynamic principles, Chemical reaction kineties ····· 等等 숱하게 많은 法則들을 過然 어떻게 現實에 맞게 利用할 수 있을 것인가?

여기 우리 chemical engineer는 과감히 engineering judgement를 通해서 간편하고도 신빙성 있는 process의 dynamic model을 만들 수 있어야 하겠다. 여기 지난 十餘年間의 chemical engineer의 역활은 괄목할만 했던것이다. 그런만큼 이 dynamic model과 automatic control을 雙壁으로 이 process control은 그 process 自體와 control algorithm의 복잡성으로 말미암아 computer control이라는 새 分野로 그 전망을 넓히지 않을 수 없는 것이다. 要略하면 이제 process control은 hybrid 나 analog computor의 model study와 digitol computer control이 必然的인 trend라고 볼 수 있다.

b. Computer control과 chemical engineer

前述한 바와 같이 이제 computer control로의 進路에 우리 chemical engineer가 지고있는 使命은 우선 다루어야 할 process의 dynamics를 充分히 理解해야 겠다. 말하자면 process dynamics를 理解치 못하고는 그 control을 생각할 수 없는 必然的인 데 그 原因이 있는 것이다. 그렇다고 해서 우리 chemical engineer의 使命이 process simulation에서 끝나느냐 하면 결코 그렇지 않다. 이제 한 unit의 process control은 그control

approach가 "composed" 된 立場에서 computer control을 企圖 한다면 우리 chemical engineer는 再整備해서 새로이 system engineer 로 登場해야 할줄 믿고 筆者는 이 點을 特히 强調하고 싶다. 現在 chemical engineer-敎育을 重點的으로 區分해 보면 process study, equipment design과 system engineering 의 세 部分으로 나누어 생각할 수 있다. 이를 아직도 時期尙早라 許할 사람도 있겠지만 이는 또한 必爲的인 歸結이 아닐까 생각한다. 그런만큼 우리 chemical engineer들의 system engineer 로써의 將來가 더욱 기대 되는 事實이다.

그 例로써 現在 歐美先進國의 control group 가 活動하는 動向을 筆者의 경험을 綜合해서 圖表로써 나타내어 보았다.

Fig. 7. 에 그 procedure가 표시되었다. 그 구성인원은 그 project 의 규모에 따라 다르나 대개 큰 project에는 mechanical, electrical 과 chemical engineer 가 공동으로 맡거나 아니면 大部分이 chemical engineer가 담당하는 경우가 많다. 그 project 를 맡아서 完成단계에 이르기까지 直接間接으로 上部責任者에게 報告는 하나 大體的으로 engineer 의 自力에 依해서 수행한다고 봄이 타당할 것이다. 그 內容은 그림 자체가 充分히 설명하고 있으므로 그 설명은 생략하기로 한다

3. 結　論

Computer control 과 back up controller

以上 論한 바와 같이 digital computer control 의 理想的인 點이나 우리 chemical engineer의 進路는 重言할 여지가 없다. 그러나 實地에 있어서 우리 system engineer 가 process control 을 다룰때 반드시 理論的으로 digital controller 가 理想的이라 해서 반드시 그 價格高下를 莫論하고 digital computer control을 擇하게 되느냐 하면 그렇지는 못할 것이다. 그 controller 의 選定은 어데까지나 經濟性을 爲主로 생각해야만 할 것이다. process 의 복잡성에 의거해서 그리고 적절한 control 에 依한 收益性等을 감안해서 결정해야만 한다. 萬一 充分한 收益性이 있는 大規模의 plant 에 digital computer control 을 決定하는 경우에도 다음과 같은 문제를 생각 해야 될것 같다.

1. Computer 의 shut down

Computer 의 경험이 있는 사람은 누구나 절실히 느끼는 것으로 computer 使用時 不可能한 shut down과 soft ware 의 trouble 等을 잊어서는 안될 것이다. 그럴

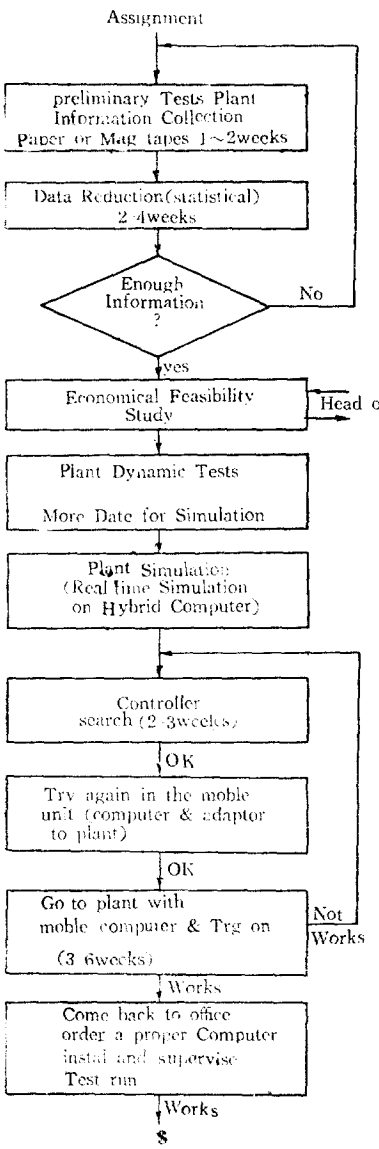


Fig 7.

때마다 全 plant를 shut down 할수는 없을 것이다. 그러므로 computer controller 뒤에는 항상 在來式의 (Analog type) controller가 stand-by 하도록 한다던가 아니면 switching station이 있어서 그 control을 manual 或은 다른 controller로 代置할 수 있는 시설을 구비해야만 할 것이다.

b. **Computer의 多角度利用**

周知하는 바와 같이 一般的으로 computer의 가격은 엄청나다고 해서 過言이 아닐 것이다. 그럼 비싼 computer를 plant control에만 完全히 매놓는 것은 어리석은 일이라 생각된다. 그리고 plant의 size에 따라 다르지만 대부분의 大規模 plant의 개개 unit의 time constant가 긴 경우 一斷 study state에 도달하면 특별한 disturbance가 없는 한 stable할 때는 굳이 computer를 거기에만 매어 놓을 必要가 없는 것이다. 이 비싼 digital computer의 다른 方面에의 利用은 지극히 중요한 문제인 것이다. 即 optimization study 나 accounting 그리고 process simulation study 等等 그 用途는 지대히 크다. 그外도 다른 plant의 control에도 割當할 수도 있을 것이다. 故로 우리 engineer들은 computer controller의 installation과 operation에만 그 범위를 局限하는 태도 即 off-line의 태도에서 지양해서 어데까지나 on-line controller로 그 computer를 항상 control에서 빼낼 수 있는 지식의 함양을 길러야 할 것이다. 即 computer controller가 control하는 習性을 배워 그 know-how를 增大함으로써 그 computer controller를 흉내를 낼 수 있는 低價의 analog type controller로 서서히 代替과 computer의 多角度 利用을 主題로 해서 自身을 試練해야 하며 computer controller의 control method를 조속히 습득하여 값싼 方法으로 control 할 수 있도록 계속 노력함으로 비싼 computer를 새로운 plant의 control 硏究에 利用토록 노력하여야 할 것이다.