

화학공정제어에 관한 고찰

이 원 규

한국과학원 화학공학과

1. 머릿말

화학공정 제어는 근래에 와서 논의의 대상이 되고 있는 분야이다. 특히 현대 제어방법 (modern control methods)들은 화학공정제어에 처음에 기대했던 것과 같은 큰 영향을 주지는 못했다. 이러한 문제점을 가지고 학계의 학자들과 현장에서 응용하는 사람들이 많은 논의를 해 왔었지만, 제어기술 응용자는 제어계 설계가 이젠 완숙된 상태이어서 재래식 방법과 설계경험으로 만족스러운, 또는 최적의 제어계를 설계할 수 있다고 하며 현대 제어이론은 실제 공정에 맞지 않는다고 믿고, 학계 학자들은 주로 항공 문제 때문에 동기가 되어 과거 20년 동안 발전된 제어이론이 제조공업에 유리하게 이용될 수 있다고 믿고 제어기술 응용에 관련된 사람들이 이론을 이해하지 못하고 있다고 생각한다.

그 이유가 어떠한 화학공정제어에 있어서 이론과 실제 응용 사이에 큰 틈이 있음은 분명한 사실인 것 같다.

화학공정제어 문제들은 다른 분야의 제어문제들과 달리 특이한점이 많이 있다고 생각되며, 화학공정제어가 당면한 난관은 크게 둘로 나눌 수 있다. 첫번째는 공정을 이해하는 것과 관련되며, 두번째는 이론을 실제 공정에 응용하는 것과 관련되는 것이라 하겠다.

실제로 사용되고 있는 공정제어 기술들은 화학공정제어계를 설계하는데 성공적이었으며, 대

부분의 공정제어계가 실패한것은 간단하면서도 잘 알려진 기술 cascade 나 feedforward 를 적절히 사용하지 못 한데서였고, 그리고 공정을 연구하기 위해 simulation을 제대로 사용하지 못 한데 있겠다. 본판에서는 화학공정 제어의 문제점과 실제로 공정제어계가 어떻게 설계되고 있나를 기술하고자 한다.

2. 전형적인 제어계 설계법

화학공정에서의 제어계 설계는 측정할 수 있는 변수를 정하는데서 부터 시작된다. 표준 단일회로 제어기들 (standard single-loop controller)로 쉽게 조절할 수 있는 변수 (다시 말해서 유량)를 조작함으로써 이러한 측정변수들이 제어된다. 필요하다고 생각되면 단일회로 개념을 cascade, ratio, feedforward, 비선형 요소를 사용하여 변경시킬 수도 있다. 운전 개시 때 휘드백 (feedback) 제어의 모드 (mode)는 시행착오법으로 조절이 된다.

제어계 설계는 같은 공정의 그 전 (前)설계 혹은 시험공장에 사용된 제어계에 의존되고 있다. 이 처럼 제어계 설계가 존재할때 계측 (Instrument) 기사는 공정의 부식성 또는 오물이 가득찬 환경에서도 정확히 신뢰있게 작용할 수 있는 sensor 나 제어발보를 선택, 주문하는데 바쁘고 또 이러한 이 계기들의 설치상세, 제어실 설계, 제어 panel 배치에 사로잡혀 있게 된다.

단일회로 제어법은 운전공, 정비사와 단위 조작의 신뢰있는 운영면에서 장점이 있다. 단일회

로 제어는 고장이 났을때 운전공이 단시간에 그 고장을 이해할 수 있고 조정을 할 수 있게하는 반면, 다변수 제어계를 사용하면 단하나의 고장이 제어계를 통해서 공정의 다른부분으로 전파 되어 운전공이 교정하기가 무척 어렵게 된다.

정비사도 물론 꽤 복잡한 제어계를 이해하기가 어렵겠고 계측기를 잘못 보정한다든지, 영향을 받은 제어계를 수동으로 바꾸지 않은 채 중요한 부분을 절단 시킬 수 있다. 간단한 제어계는 부정확한 tune에 민감하지 않고 tune 하기도 쉬우며, 공정의 매개 변수가 변해도 다른 성능이 좋은 제어계에 비해 별문제를 야기 시키지 않는다. 그 예로써 증류탑 제어에 많이 사용되고 있는 feedforwd 제어계는 feed가 바뀔 때 제어를 개선시킬 수 있지만 feed의 유량 transmitter가 고장났을 때 운전공이 걸잡을 수 없는 큰 혼란이 공정에 생기게 된다.

feedforward 제어계를 사용해서 얻어지는 개선된 제어의 값어치가 유량 transmitter의 고장, 운전공의 실수, 정비공의 잘못으로 생기는 손해보다 크지 않는한 feedforward가 제어문제를 해결해 준다고는 말할 수 없다.

단일회로 제어가 많은 장점을 가지고는 있지만 처음 설계했을 때 만족스러운 제어를 해주지 못한다. 제어 설계자에게는 어떤 경우에 간단한 제어계로써 충분치 않은지를 결정하는 것과 간단한 제어계를 사용해서 정말 만족스러운 해결책을 얻을 수 있는지를 정하는 것이 어려운 일이다. 운전개시후 문제가 많겠지만 일반적으로 그 문제는 명백하나, 기존하는 공정기거나 제어계의 변경을 최소로 하는 단순한 방법으로문제를 해결해야 한다. 설계자가 문제가 있을 거라고 판단하는데 도움이 되는 정보나 지침은 별로 없다.

3. 측정 (Measurements)

대부분 측정은 변환기 (transducer)를 사용

하여 압력차, 압력, 액위, 온도등과 같이 비교적 측정하기 쉬운 변수를 측정하므로써 얻어지며, 어떤 경우에는 복잡하고 값비싼 측정측 무게, pH, 고체높이, 혹은 on-line에서 조성의 측정을 필요로 하게된다.

대부분의 측정은 단순히 기계적인 절차도 아니며 쉽지도 않고, 신뢰할 수도 없고 정확하지도 못하다. 또한 많은 변수들을 믿을 수 있을 정도로 정확하게 측정한다는 것은 불가능하며, 이처럼 정확한 측정을 할 수 없으므로써 많은 제어 문제들이 이야기되고 있다. 예로써 조성을 정확히 측정할 수 있으므로써 순환 (recycle)제어에 관련된 문제들을 제거할 수 있겠고, 또한 고분자 물질의 성질을 on-line에서 직접 믿을 수 있게 정확하게 측정할 수 있으므로써 고분자 반응기 제어문제들도 없어지게 될 것이다. 점성물질의 액위를 측정하기는 어려운 것으로 알려졌다. 그 이유는 액위를 측정하기에 필요한 표면이 잘 정의되어 있지 않기 때문이다. 이 문제가 또한 고분자 반응기 문제를 더욱 복잡하게 하고 있다.

가장 흔히 측정되는 것이 유량이며 orifice와 d/p cell이 가장 많이 유효하게 사용되고 있다. 그렇지만 여기에도 많은 문제들이 있다.

7) 파이프나 orifice의 기하학적 문제, d/p cell의 영점 변화등 때문에 정확도 (accuracy)가 3~5% 정도다.

ㄴ) orifice에서 생기는 교류 (turbulence) 때문에 잡음이 크다.

ㄷ) 제품관계 때문에 rangeability가 3:1 정도다.

ㄹ) 값이 비싸다.

ㅁ) 정비가 많이 요구된다.

ㅂ) 압력감소를 회수하지 못하기 때문에 에너지가 헛되게 소비된다.

ㅅ) 측정선에 차 있는 공정 유체때문에 안전문

제가 야기된다. 이런문제들이 있는 데도 불구하고 더 좋고 응용범위가 넓은 유량측정 기술이 가까운 장래에 나타날 것 같지가 않다. 최근에 나온 vortex-shedding meter는 정확도와 비용면에서 orifice meter보다 turndown ratio가 높기 때문에 우월하다고 할 수 있겠고, 설치비용도 orifice meter와 경쟁할 수 있다고 한다.

쉽게 측정할 수 있는 변수로부터 측정하기 어려운 공정변수를 계산하는 방법을 이용함으로써 측정문제를 상당히 개선할 수 있지만, 반면에 이방법은 측정할 수 있는 변수의 더 높은 정확도를 요구하게 되고 복잡한 제어계가 지니고 있는 단점을 내포하게 된다. 즉 운전공이 공정매개 변수가 바뀔 때 잘못 이해할 수 있겠고 민감해진다.는 것이다.

4. 제어기 (Controllers)

보통 많이 사용되고 있는 제어기의 algorithm은 비례와 적분이다.

반면 비례만 사용되기도 하고 미분이 포함될 때도 있다. 부가적으로 anti-reset-windup, output limiting, derivative on process variables only, derivative before reset 등이 전자제품값이 저하되고 기술자가 이러한 것들에 익숙해지므로써 더 많이 사용되어 지고있다. 공정의 변수와 연관시켜 경험에서 얻은 지식으로 제어기의 매개변수를 정하는 도표들이 있기는 하지만 너무 간단해서 그 유효성이 제한되고 있다. 쉽게 얻을 수 있는 정보를 이용하여 기술자에게 좀더 자세한 지침서를 제공하는데 아직도 성과가 별로 없다.

Ziegler-Nichols가 맨 처음 좋은 tuning 절차를 제시했고 그 후 많은 논문들이 더 좋은 tuning에 관해서 발표되었지만 별로 큰 향상은 얻지 못하고 있는 형편이다. 실제로 대부분의 회로들은 시행착오법으로 tune 되고 있다. Dead time

이 큰 공정은 공정의 모델을 이용하는 제어기로 잘 제어 할 수 있다.

대부분의 공정은 표준 three-mode algorithm으로 만족스러운 제어를 할 수 있다. 머릿말에서도 언급했듯이 최적 휘드백 제어 (optimal feedback control)이론이 제어기의 algorithm을 개선 시키지 못했다는 것은 흥미로운 일이며 한편으로는 실망적인 일이다.

공정을 변경하므로써 어려운 제어문제를 해소하거나 혹은 제어 성능을 향상 시킬 수 있다.

반면 최신 기술을 요하는 공정제어 문제들도 많이 있다고 생각된다. 그 예로써 선진국에서 종이, 시멘트, 금속처리 공정등에 최신 제어기술을 성공적으로 응용하고 있으며, 화학공정 제어에도 성공적으로 이용하고 있긴하지만 회사의 기밀관계로 발표되지 않았을 뿐이라고 생각되기도 한다. 더욱이 micro-computer의 혁신적인 신뢰도와 융통성 때문에 앞으로 최신 제어이론이 더욱 많이 실제공정에 응용 되리라는데 주목할만 하다.

5. 공정변경

공정을 변경하므로써 disturbance의 근원을 제거할 수도 있고, 좋은 제어를 hardware 사용시보다 값싸게 얻을 수 있다. 더욱이 제어제를 운영하고 정비하기에 간단하다는 장점을 그대로 보유할 수 있다. surge tank를 사용해서 disturbance의 전파를 방지할 수 있지만, 어떤 경우에는 disturbance를 증가 시키기도 한다. 직렬로 연결되어 있는 공정의 tank들은 그 크기가 달라야만 윗 부분 탱크의 특성 주파수의 disturbance가 아랫 부분 탱크에서 줄어들 수 있다. 단일 utility나 원료로부터 여러 장치가 물질을 가져 갈때 간섭 (interaction)이 있게 된다. 이 경우 각장치에 bypass를 이용하여 파이프 설치를 하면 장치에 들어가는 유체량과 bypass된 양의합이 같게 되어 간섭을 제거 할 수 있다.

이러한 지침은 간단하지만 반면 어떻게 하면 쉽게 공정을 제어할 수 있는 것에 관한 더 좋은 지침은 거의 없다. 특히 각 장치의 특징들이 제어성에 어떠한 영향을 미치는가에 관해선 자료가 더 없다. 공정설계 초기에 system design을 자세히 할 시간이 거의 없다. 공정설계는 기본적으로 정상상태 조건에 기초를 두고 하며, 제어는 나중에 첨가하는 경향으로 계속되고 있다. 이러한 이유로 현존하는 지침을 개선할 필요성이 크며 공정의 제어성을 정성적으로 정하기 위하여 최적 피드백 설계를 응용할 수 있는 있을지도 모르겠다.

6. Disturbance 제어

어떻게 하면 제어를 개선시킬 수 있는가에 관한 정보가 제어성을 향상시키기 위하여 공정을 어떻게 변경할 수 있는가에 관한 자료보다 더 많이 있다. 제어제의 개선은 일반적으로 비선형 항목을 제어에 고의로 첨가시켜서 행해진다.

제어의 성능이 좋지 못한 큰 원인의 하나는 제어기가 disturbance를 인식하여 제어하기 전에 용납할 수 없을 정도로 큰 제어오차를 일으키기 때문이다. disturbance는 일반적으로 어떤 특정한 근원에서 시작하며, step이나 ramp 형태를 취한다. 그렇지만 disturbance가 다른 장치에 의하여 filter되었거나 시간적으로 서로 밀접해서 거의 random하게 보인다. 어떤 경우에는 disturbance가 다른 제어 회로에서 생기는 진동에서 올 수도 있으며 이때는 거의 sinusoidal하다.

만약 어떤 중간 변수를 측정하여 disturbance가 존재함을 빨리 알아 낼 수 있다면 cascade 제어가 유용하겠다. ratio 제어는 한 변수의 제어를 제어할 수 없는 변수와 연결시키기 때문에 이 변수들의 ratio에 오차가 생기지 않는다. 이러한 제어방법은 feedback control matrix

의 열 (row)에 non-zero 항목을 부가시키는 효과를 갖고 있다.

disturbance 그 자체를 측정할 수 있다면 공정 변수에 미치는 영향을 최소화하기 위해 측정된 disturbance와 공정모형을 기초로한 feedforward 제어를 사용할 수 있다.

feedforward 관계식은 비선형이다. 1960 년경 feedforward 제어가 처음 소개 되었을 때는 multiplier 나 divider 들이 공정제어제에 보통 사용되지 못했다.

많은 공정에서의 동특성은 대개 서로 상쇄된다고 할 수 있다. 그 예로서는 steam boiler drum의 액위 제어를 위한 feedforward와 공정의 pH 조정에 사용되는 feedforward가 있다. 증류탑에서 처럼 동특성이 상쇄 되지 않는 경우에는 lead-lag unit가 필요하게 된다.

많은 feedforward model에서 lead-lag은 간단하며 실제 동특성에 비해서 미숙한 모델이지만 거의 항상 이것으로 만족스런 제어를 하고 있다. lead-lag를 시행착오법으로 tune한다면 복잡한 동특성을 지닌 공정에는 조정할 것이 너무 많아진다. lead-lag의 설정치들을 모델링에 의해서 한다면 모델에 요구되는 정확도 때문에 복잡한 동특성을 정당화 할 수 없다. 복잡한 동특성 모델이 한때 정확했을지라도 후에 공정의 매개변수가 변할 수 있기 때문에 사실상 정상상태 gain이 feedforward의 정확한 동특성보다 더 중요하게 된다.

7. 설정치 변화 추적

(Tracking Set - point Changes)

어떤 공정에서는 제어기가 servo로 운용되어야 하며 설정치 변화를 추적해 가야 한다. batch 공정에서 운영정책 (operating policy), 운전개시 순서, 최적 감독제어 (optimizing supervisory control)에서 설정치 변화에 관한 응답이 이러한 예들이다.

batch 반응기에서 batch 온도가 외부 회로의 변수이고 압력이 내부회로의 변수인 cascade 제어계에서는 온도 profile 을 계속 새로운 설정치로 제어계에 제공해 주어야 한다. 압력보상 온도 제어계는 온도 profile 을 빠른 외부 압력회로로 제공해 주는 간단한 방법이며, 좋은 servo 응답을 얻을 수 있었다 한다.

overshoot 를 야기 시키지 않고 빠른 응답을 얻기 위하여 많은 노력을 해 왔다. 이렇게 하므로써 reset windup 같은 analog 제어기와 digital 제어방법의 결점을 제거할 수도 있겠다.

PVC (poly vinyl chloride) 의 운전개시에 사용되었던 reset kick 제어계는 우선 batch 반응기의 온도 제어기의 출력을 포화시키지만, 온도가 설정치를 접근할 때의 압력 값이 온도 설정치와 교체하기로한 적분 제어시간전에 불포화하기 시작한다.

운전개시를 위해서 시간 최적 제어법이 많이 제안되어 왔지만, 실제로 별로 사용되지 못하고 있는 실정이다. 반면 쉽게 조정 할 수 있고 공정 변화에도 민감하지 않은 reset kick 제어로 거의 최소시간 제어를 할 수 있다.

8. 비선형성 (Nonlinearity)

화학공정 전반에 걸쳐 비선형성이 존재하며, 부가로 제곱유량, PION 등과 같은 비선형 sensor, 포화되고 reset-windup 된 제어기, 비선형 제어발브 등으로 비선형성이 첨가된다. 흔히 비선형성은 견딜 수 있을 정도의 작은 문제를 일으키며, 문제가 심할 때는 비선형성을 찾아내어 공정을 변경하거나 제어 신호길 (signal path) 에 보조 비선형성을 첨가하여 제거하여야 한다. 비선형성을 제거해 주는 hardware 가 많은 데 그 중 pH 를 위한 비선형성 제어기, controller with remote mode adjustments, override 제어기, multipliers, dividers, square root extractors, high - low selectors, arbitrary

function generators 등이 있다. digital computer 를 사용하여 비선형성 보정을 무제한으로 할 수 있다.

매개변수가 측정 할 수 있는 변수의 기지 함수로 변하는 공정에서도 위의 방법을 사용하여 개선할 수 있다.

9. 단일 회로 간섭 (Single Loop Interaction)

한 회로의 조작변수의 변화가 다른 회로의 제어변수에 변화를 초래할 때 coupling 이 존재한다고 말한다. 이 coupling 이 크게 되면 처음 회로의 조작변수가 변할때마다 다른 회로에 큰 disturbance 가 생기게 된다. 두 회로가 서로 coupling 을 초래할 때 간섭 (interaction) 이 존재한다고 한다. 이러한 간섭 때문에 진동 (oscillation) 과 불안정성 (instability) 이 야기 된다.

간섭을 피하는 가능한 해결책은 Bristol의 방법에 의해 단일회로를 다시 배열하는 것이다.

이 방법은 화학공정에 꽤 많이 유용하게 사용되고 있다.

Bristol의 방법은 여러 path 의 동특성이 비슷한 두 회로에는 좋은 정보를 제공해 주지만 회로수가 많든지 혹은 동특성이 다를 때는 좋은 정보를 주지 못한다.

단일회로를 다시 배열 했는데도 간섭을 충분히 줄일 수 없을 때는 제어 변수의 하나를 두 다른 변수의 비 (ratio) 로 다시 정의하는 것과 같은 간단한 변경을 하므로써 많은 경우 간섭을 제거할 수 있다.

일반적으로 decoupling 설계방법은 흔히 더 복잡한 제어계를 초래하기 때문에 더 간단한 방법이 없을 때만 사용하는게 좋겠다.

선형 최적 다변수 피드백제어는 복잡한 제어계를 야기시키기 때문에 별로 사용되지 못하고 있고 또한 이 방법은 두 변수의 비를 사용하는 것과

같은 간단한 비선형 보정 만큼 힘이 미치지 못한다.

10. 랜덤하게 변하는 매개변수

(Randomly Varying Parameters)

매개 변수의 변화를 시간의 함수로 나타낼 수도 없고 혹은 다른 변수의 함수로도 알 수 없는 non-stationary 공정은 아주 어려운 제어문제를 제공한다. 다행히도 이러한 문제가 극심한 예는 거의 드물다. 한편 이 문제들이 극심해질 수 있어 운전개시제어, 최적감도제어 등은 제어가 computer 사용에 관한 지속적인 강조로 철저한 제어가 요구 된다.

위의 문제를 극복할 수 있는 임기응변 제어 (adaptive control) 가 많은 데 그중 실제로 사용할 수 있다고 생각되는 것은 진동의 유무에 따라 휘드백 제어기의 설정치를 계속 조절해주는 방법이라 하겠다.

화학공정 제어에 필요한 간단하고 그리고 문제거리가 없는 임기응변 제어의 개발은 중요한 일이다.

11. Batch (회분식) 순서와 운전개시 제어

비연속 공정에도 제어가 필요할 수 있다.

어떤 공정은 몇분에서 몇시간 내지는 몇일이라는 사이클 시간을 가지고 Batch 적으로 운영되고 있고, 더 정확한 sequencing 과 운전공 시간을 절약하기 위하여 발브, 모터, 솔레노이드 지시등 (indicator light) 의 sequencing 도 흔히 자동화 되고 있다. 가끔은 digital computer 가 이런 목적으로 사용되기도 한다.

최근에는 sequencing 논리에 programmable controller 가 많이 이용되고 있어 sequencing 문제는 잘 정의 되어 있고 제어문제를 초래하지 않는다.

많은 batch 공정은 근본적으로 한 cycle 동안에 정상상태에 도달하며 여기에도 연속공정과

같은 제어가 필요하게 되고 같은 문제가 생긴다. 반면 운전개시가 중요할 수 있다. 어떤 변수는 servo 응답이 중요하기 때문에 미리 정한 open-loop 정책을 추적해야만 한다.

단순히 관심있는 변수를 측정할 수 없기 때문에 open-loop 정책이 필요하게 된다. 과거에는 어떤 변수를 위한 open-loop 정책이 영리한 시행착오법에 의해서 정해졌지만 최근에는 off line 에서 최적제어법으로 정할 수도 있다.

물론 적합한 모델이 부족하기 때문에 최적제어의 응용이 제한되고 있다.

연속공정에서도 주기적으로 운전개시, 생산량변화, 운전정지가 필요하게 된다. 이런일들이 어렵거나 중요하다면 자동화 할 수도 있다.

일반적으로 모든 batch 공정제어의 특색은 과도기 동안 중요하다.

어떤 공정은 운전개시가 매우 복잡해서 제어를 여러 함수로 바꾸기 위하여 override 제어를 필요로 하게 된다.

12. 운전공을 위한 정보 제어실

Hardware 와 Digital Computer

여러가지 failure 나 upset 때 운전공이 수동식제어를 해야 하므로 운전공을 위한 정보계의 질이 제어에 큰 영향을 준다. 여러 종류의 analog feedback 제어기나 chart recorder가 있지만 거의 같은 정보를 전시해 주고 있다. 다만 크기나 배열이 다를 뿐이다.

공정제어에서 digital computer 의 주요한 역할의 하나는 개선된 운전공 정보계에 있다. 열서넷 종류의 computer 는 다만 정보를 처리만 하고 feedback 제어는 전혀하지 않는다.

digital computer 는 물질수지계산 결과를 전시 또는 적합한 시간에 전시해 주므로써 인과 관계를 보여 줄 수 있기 때문에 운전공 정보를 더 많이 개선해야 한다. 특히 최근에 운전공정보를 단일회로 전시보다는 CTR 에 보여 주는 것이 보

전화 되어가고 있다. 물론 이렇게 개선된 운전공정보 전지에서 얻는 이득점도 많지만 더 효과적인 이용을 위하여 운전공이 정보들을 얼마나 효과적으로 이용하고 있는가에 관한 조사와 연구가 필요하다고 생각된다.

1 3. 맺는말

지금 사용되고 있는 공정제어 기술로 만족스럽게 대부분의 화학공정제어계를 설계할 수 있다. 많은 제어계가 실패한 것은 비교적 간단하면서도 잘 알려진 cascade 나 feedforward 제어를 적절히 사용하지 못한데서 야기되었고 공정연구를 위하여 simulation 을 하지 않는데도 있다 하겠다. 최근 미국 ISA 에서 발행하는 InTech 에 실린 전문가들의 panel 토의에 의하면 공정제어에 유효한 hardware 가 공학적 응용을 추월하고 있으며 앞으로 몇년 후면 계속전문가들이 새로운 것을 찾기 보다는 현존하는 장치와 기술을 process-oriented software 를 통해서 더 잘 효율적으로 이용할 것이라고 한다.

또한 계속기사 (instrument engineer) 들은 자기 맡은 바 책임을 다하기 위하여 공정자체와 제어이론에 더 조예가 깊어져야 한다고 말했다. 물론, 공정제어는 일개인이 모든 분야에 전문가가 되기에는 너무나 복잡한 과제라고 본다. 반면 아직도 공정제어에 개선할 바가 많으며 개선하는데 다음과 같은 점이 중요 하다고 본다.

ㄱ. 제어계는 가능한한 간단해야 한다. 간단할수록 시행착오법으로 쉽게 조절할 수 있고 운전공이나 정비공이 알기 쉬우며, 복잡한 제어계보다 공정매개 변수 변화와 disturbance 근원이나 종류에 둔감하다.

ㄴ. 동특적 성능은 가능하고 경제적이려면 공정과 장치를 변경으로 개선해야 한다. 이렇게 하므로써 간단한 제어계를 보유할 수 있고 또 이러한 공정변경은 제어만으로 보다는 더 많은 개선을 할 수 있다.

ㄷ. 제어계 설계에 있어서 난관은 어떤 성능 (performance)을 위하여 설계하느냐가 아니고, 얻고자 하는 성능을 결정하는데 있는 것 같다.

ㄹ. 간단하면서도 성능이 좋은 제어계 설계는 해석적 방법으로 보다는 공정 운영에 관한 이해와 좋은 제어를 위해서 무엇이 요구되느냐 관한 지식을 바탕으로 한 직감적 설계로 흔히 이루어진다.

ㅁ. 측정이 불가능 하거나 어려운 변수를 정확히 측정할 수 있으므로써 좋은 제어계를 사용하는 것보다 더 좋은 제어를 할 수 있다.

ㅂ. 학교 연구자는 현대 제어계 설계 방법을 실제 공정에 적용시켜 볼 기회를 가져야 되겠고, 공업계에서는 최근 현대 제어 설계방법으로 성공적인 제어를 할 수 있었을 때 세상에 발표함이 바람직하다.

參 考 文 獻

1. A. S. Foss, "Critique of Chemical Process Control Theory," AICHE J., Vol.19, No. 2, (1973), p. 209.
2. A. Krigman, "Instrumentation : Where are we going ?" Intech, Vol. 26, No. 1 (1979), p. 22.
3. W. Lee & V. W. Weekman, Jr., "Advanced Control Practice in the Chemical Process Industry : A View from Industry," AICHE J., Vol. 22, No. 1 (1976), p. 27.
4. C. L. Smith, "Liquid - measurement Technology," Chemical Engineering, April 3, (1978), p. 155.