

# DCS 시스템에서 CRA를 이용한 PID 이득 Tuning에 관한 연구

## Study On PID Gain Tuning Using CRA For DCS System

이상훈\*, 강윤복\*, 박옥득\*\*, 김현수\*\*, 원황휴\*\*, 원필룡\*\*, 김한실\*\*\*

Lee Sang-Hoon, Kang Yun-Bok\*, Park Ok-Deuk\*\*, Kim Hyun-Su\*\*, Nguyen Phi Long\*\*, Nguyen Hoang Hieu\*\*, Kim Han-Sil\*\*\*

**Abstract** - 산업현장에서 가장 많이 활용되고 있는 PID제어기의 이론적인 배경을 토대로 실제 DCS 기반 플랜트에서 PID Tuning Method에 의한 PID제어기를 구현하고 제어성능을 확인한다. 또한 DCS(Distribute Control System)의 PID Controller를 분석하고 전 공정제어 System 중 일부분을 ARMA Modeling하여 만족스런 성능이 구현되도록 최적의 PID gain Parameter를 찾는다.

**Key Words** : PID, CRA, DCS, Controller, gain tuning

### 1. 서론

석유화학공장에서의 공정제어System은 일반적으로 매우 복잡하며 대부분 비선형이기 때문에 그에 대한 정확한 수학적 모델을 구하는 것은 매우 어렵다.

따라서 실험 데이터나 조업자료를 근거로 하여 공정을 보다 쉽고 간편한 1차나 2차의 모델식으로 근사화하여 나타내는 방법이 널리 이용된다.

실제 화학공정에 사용 되고 있는 제어기는 대부분 PID (Proportional-Integral- Derivative) 제어기로서 대상 플랜트로부터 PID계수를 결정하는 여러 방법들이 제안, 활용되고 있으나 일장일단을 가지고 있으며 플랜트의 특성과 제약에 따라 방법을 달리한다.

날로 격심해지는 제품의 경쟁, 엄격해지는 안전 및 환경규제는 효율적인 조업은 물론 보다 안정적인 조업이 요구되고 있는 실정이다. 이에 따라 제품의 품질향상, 생산성 향상, 조업의 안정성 확보를 지향하는 공정제어 문제는 날로 중요성을 더해 가고 있다.

따라서, DCS(Distribute Control System)의 PID Controller를 분석하고 전 공정제어 System 중 일부분을 ARMA기법을 통해 Modeling하여 만족스런 성능이 구현되도록 최적의 PID gain 이용 Modeling하여 PID Parameter가 만족스런 성능이 구현되도록 Tuning 되었는지도 모사해 보고 최적의 Parameter를 찾아보려 한다.

#### 저자 소개

이상훈 :蔚山大學校 電氣電子情報工學部 碩士課程

\* 강윤복 :韓國 카프로락담 繼電科 次長

\*\* 박옥득, 김현수, 원황휴, 원필룡:

蔚山大學校 電氣電子情報工學部 碩士課程

\*\*\* 김한실 :蔚山大學校 電氣電子情報工學部 教授

### 2. DCS PID Controller

전형적인 분산제어 계통은 제어 및 감시 운전인터페이스 및 진보된 응용 소프트웨어등과 같은 광범위한 특징 및 기능을 제공한다.

이들 기능 중 공정제어 및 감시기능은 DCS제어기, 입출력(I/O)계통 및 관련 현장기기에 의해 수행된다.

DCS제어기는 가장 단순한 레벨, 압력 온도, 유량 루프에서부터 상호 연관된 루프가 있는 복잡한 제어 전략 수립과 최신의 공정계산 기능까지의 제어 기능을 수행한다.

운전원 또는 엔지니어는 I/O 지정 또는 제어되는 지점에 관한 정보만을 제공하면 되며 DCS내부 소프트웨어가 제어기능을 수행한다.

분산제어계통은 단일제품, 단일유체공정에서부터 다중제품, 다중유체공정에 이르기 까지 일괄공정처리를 위한 최신의 시퀀스 및 일괄 제어기능을 가지고 있다. 이들 기능에는 최신 논리 및 시퀀스기능, 연속제어, 이산 및 연속기능의 통합, 조직관리 및 일괄처리, 일정관리 및 보고기능이 포함된다.

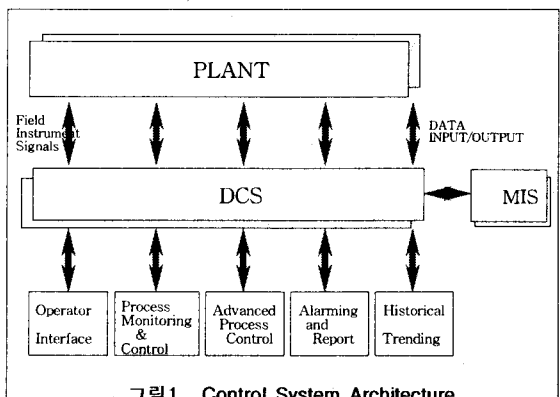


그림1 Control System Architecture

원하는 제어전략을 구성하기 위해 엔지니어 데이터 포인트의 파라미터들 사이에 Connection을 구축한다.

이러한 구성은 Soft-wired 연결이고 기본 소프트웨어에 의해 프로세스 연결장비나 모듈에서 수행된다.

두 개나 그 이상의 데이터 포인트가 상호연결 될 때 그것을 캐스케이드 제어전략의 일원이라 한다. 그림2는 Flow-Control 전략을 구성하는 데이터 포인트 사이의 상호연결 예를 보여준다.

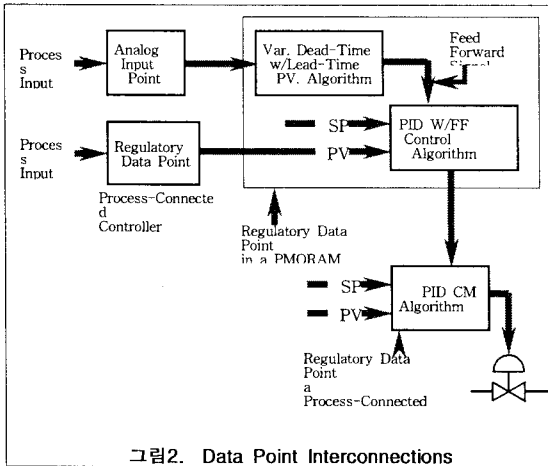


그림2. Data Point Interconnections

### 3. ARMA 기법을 이용한 시스템 모델링 및 Application

석유 화학 공정 중 증류 공정에서 시계열이 어떠한 특성을 보이는가를 규명하기 전에 일반적인 시계열 자기상관 모형인 ARMA (Auto Regressive Moving Average)에 고찰하고자 한다. 시계열(Time Series)  $X_t$ 가 AR(Autoregressive) 모형과 MA(Moving Average) 모형의 일반적 형태로 이루어졌을 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_t = \sum_{j=1}^p a_j X_{t-j} + \sum_{j=0}^q b_j \epsilon_{t-j} \quad (1)$$

여기에서  $\epsilon_t$ 는 평균이 0인 백색잡음(white noise)을 말한다. 만약 시계열  $X_t$ 가 식(1)처럼 표현되어진다면  $X_t$ 는 ARMA 모형을 따른다고 하고 일반적으로  $X_t \sim \text{ARMA}(p, q)$ 라고 표현한다. 이때 Time Delay Operator인  $z$  ( $Z$  변환의 함수  $z$ )를 사용해서 식(1)을 다시 표현하면,

$$a(z)X_t = b(z)\epsilon_t \quad (2)$$

여기에서  $a(z)$ 과  $b(z)$ 은 차수가 각각  $p$ 와  $q$ 인 다항식 (polynomial)이라고 부른다. 만약 시계열  $X_t$ 가 비정상적 (nonstationary) 이어서 적분된 상태(integrated process)라면 식(2)는 다음의 식(3)처럼 표현할 수 있다.

$$a(z)(1-z)^d X_t = b(z)\epsilon_t \quad (3)$$

$X_t$ 의 시계열이 식(3)의 경우처럼 이루어졌다면,  $X_t \sim \text{ARIMA}(p, d, q)$ 라고 표현한다. 물론 이때 시계열  $X_t$ 를 다시

$d$ 번 차분변환하면 시계열  $X_t$ 는 다시 정상적인(stationary) ARMA( $p, q$ ) 모형으로 환원된다.

한편 특정 시계열의 적정 ARMA 모형 설정은 바로  $p$ 와  $q$ 의 차수결정 및 계수추정이 가장 핵심적인 부분이다. 그런데  $p$ 와  $q$ 의 차수결정 방법에는 일반적으로 몇 가지의 방법이 있으나 그중 HR 방법론이 가장 과학적인 방법이다. 대부분의 경우에는 특정 시계열의 자기상관 그래프(autocorrelation graph)나 부분 자기상관 그래프(partial autocorrelation graph)의 모양을 보고  $p$ 와  $q$ 의 차수를 결정하나 이는 다분히 주관적이며 애매하다. 따라서 본 논문에서는 xx 공정에서의 자기상관 특성을 모형화하는데 HR 방법론을 사용하였다.

일반적으로 HR 방법론은 다음과 같이 3단계로 이루어진다. 첫째, 다양한 ARMA( $p, q$ ) 모형 중 AIC(Akaike's Information Criterion) 값을 이용해서 가능한 후보 ARMA 모형의  $p$ 와  $q$ 를 선택한다. AIC(Akaike, 1969) 값은 다음과 같이 계산된다.

$$\log \hat{\sigma}_k^2 + (2k/n) \quad (4)$$

여기에서  $\hat{\sigma}_k^2$ 는 최대우도법에 의한 잔차의 분산(maximum likelihood error variance)이고,  $k$ 는 선택된 AR항의 차수이고,  $n$ 은 전체 관측치를 각각 말한다. 이때 AIC 값이 작을수록 좋다.

둘째, ARMA( $p, q$ ) 모형에서 MA( $q$ ) 부분은 무시하고 순수 AR( $p$ ) 모형에 의해서 AIC 값을 다시 한번 계산한다. 이에 의해 예비적 AR( $p$ ) 모형의 적정 차수  $p$ 를 결정한다.

끝으로 셋째, 다음 식(5)에서 추정 오차항을 최소자승법(OLS)에 의해 구한다.

$$\hat{\epsilon}_t = X_t - a_1 X_{t-1} - a_2 X_{t-2} - \dots - a_p X_{t-p} \quad (5)$$

여기에서  $a_1, a_2, \dots, a_p$ 는 두번째 단계에서 선정한 예비적 AR( $p$ ) 모형의 추정 최대우도 예측치이다. 이렇게 구한 추정 오차항을 이용해서 다음의 식(6)을 결정한다.

$$X_t = a_1 X_{t-1} + \dots + a_p X_{t-p} + b_1 \hat{\epsilon}_{t-1} + \dots + b_q \hat{\epsilon}_{t-q} + \epsilon_t \quad (6)$$

이때 사용하는  $p$ 의 차수와  $q$ 의 차수는 각각 첫 번째 단계에서 선정한 후보 ARMA 모형의  $p, q$ 로 한다. 이제 식(6)을 최소자승법(OLS)으로 추정해서 잔차항의 분산을 산출한다. Hannan-Rissanen (1982)는 ARMA( $p, q$ )에서 적정  $p, q$ 를 선정할 수 있게 다음과 같이 식(7)을 HR기준으로 제안했다.

$$\log \hat{\sigma}_{p,q}^2 + \left(\frac{p+q}{n}\right) \log n \quad (7)$$

여기에서  $\hat{\sigma}_{p,q}^2$ 는 식(6)의 추정 잔차항 분산을 의미한다. 이때에도 식(7)의 HR 값이 작을수록 좋다. 따라서 첫번째 단계에서의 가능한 여러 ARMA 모형 후보중 HR 값이 가장 작은 것을 최적으로 선택하는 것이다. Granger와 Newbold(1986)는 식(7)의 HR 값이 항상 점근적으로 일정한 추정치(asymptotically consistent estimators)에 도달할 수 있는 최적기준이기 때문에 AIC 기준보다 우월하다고 알려져 있다.

본 연구에서 사용된 데이터는 xx 공정에서의 SP, PV, OP 값을 이용하여 ARMA( $p, q$ ) 모형에서  $p$  및  $q$ 의 차수를 결정하는 것이 무엇보다 중요하다.

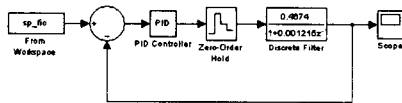
### 3. Simulation and Results

표1의 실제공정의 운전실측값 (SP,PV,OP)을 ARMA 기법을 이용해 Modeling하여 전달함수의 동특성을 구해 실제 운전되고 있는 PV값과 Modeling한 PV추정치와의 그래프를 비교하면 약 4분후(delay-time)에 거의 일치(그림4)함을 보인다.

횟수	경과시간(분)	2FIC-5802		
		SP	OP (input)	PV (output)
1	13	25.60	55.51	25.61
2	14	25.80	55.18	25.67
3	15	25.80	55.13	25.70
4	16	25.80	55.12	25.73
5	17	25.80	55.21	25.78
6	18	25.80	55.23	25.79
7	19	25.80	55.28	25.81
8	20	25.80	55.29	25.81
9	21	25.80	55.27	25.80
10	22	25.80	55.33	25.82

표1. 2FIC-5802 운전상황 --- Cascade 운전(10시부터)

Discrete-time model:  $A(q)y(t) = B(q)u(t) + e(t)$ 을 두었을 때  $\frac{B(q)}{A(q)} = \frac{0.4674}{1+0.001215z^{-1}}$ 라 둘 수 있다.



P gain: 0.85555 I gain: 2.6 D gain: 0.025

그림3. 모델링을 위한 Simulink 구성도

위 식을 Simulink를 이용하여 원래의 PID gain 값과 CDM을 이용한 PID gain 값을 비교하면 다음과 같다. 그림4는 공정에서 이미 주어진 PID gain을 이용한 것이다.

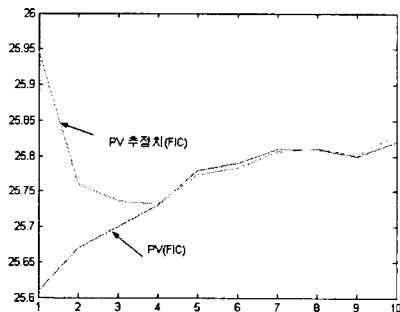
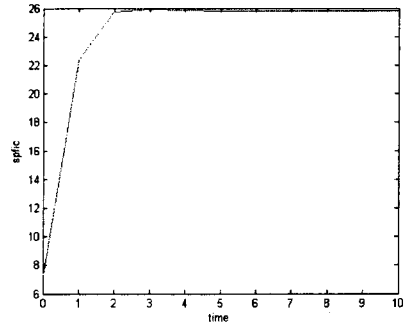


그림4. 실제 운전중인 FIC의 PV 와 모델링한 PV 추정치

그리고 다음은 CDM을 이용하여 PID gain을 이용한 결과이다.



P gain: 0.85555 I gain: 2.6 D gain: 0.025

그림5. 실제 PV를가지고 모델링한 System의 PV값

### 4. 결론

공정의 일부분인 증류공정(불순물 제거)중 현재 조업 되고 있는 한 Loop의 PID Controller(FIC-5802)의 조업자료 (SP,PV, OP값)를 사용하여 AMRA 기법을 이용한 Modeling을 한 결과 현재 운전되고 있는 FIC의 PV값과 Simulation에 의한 추정PV값이 일정 delay-time(약4분)이후에는 거의 유사함을 보였다.

이는 석유화학공장의 PID Controller Modeling이 잘 표현된 것으로 CDM(Coefficient Diagram Method)을 이용해 기 조업 중인 공정 Controller에 최적의 PID Parameter를 찾아내어 안정적이고, 효율적인 공정제어에 큰 도움이 될 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Honeywell corp, "APM control functions and Algorithm for DCS" Tech book 8-1, 2002 TATA Honeywell, "The HPM resident PID control auto-tuning and gain constant scheduling package" 16, 29, 1996
- [2] Sang Jin, KIM, "Instrument control system" trans YeonHak 413~453, 1998.
- [3] Sin Chim, Kang 'Chemical Process controls" Trans AJIN, 377~399, 2001.
- [4] O-KU, Kwon, and Sang Young, Lee., "PID controller design method" trans Inha, 151~222, 2003
- [5] Manabe. S (1998), "Coefficient diagram method," Proceedings of the 14<sup>th</sup> IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, PP. 199~210, Seoul, Korea
- [6] Y.C.Kim, L.H. Keel, S.P. Bhattacharyya (2002),
- [7] Manabe. S (1997), "The application of coefficientdiagram method to the ACC benchmark problem," 2<sup>nd</sup> Asian Control Conference, PP. II-135-138, Seoul, Korea
- [8] C.T. Chen (1999), "Linear system theory and design," Oxford University press, Inc, New York