



## 정수장 약품 최적 주입률 결정을 위한 지능형 제어기 개발

### Intelligent Controller for Optimal Coagulant Dosage Rate in Water Treatment Process

이호현\* · 신강욱\*\* · 홍성택\*\* · 전명근\*†

Ho-Hyun Lee, Gang-Wook Shin, Sung-Taek Hong, and Myung-Geun Chun<sup>†</sup>

\*충북대학교 제어로봇공학과, \*\*K-water 연구원

<sup>†</sup>Department of Control and Robot Engineering, Chungbuk National University

#### 요 약

정수장 유입수에 포함된 다양한 유기물을 제거하기 위하여 약품을 주입하고 있으나 적정 주입률 결정은 4~7 시간 후이나 탁도를 통하여 확인 가능함에 따라 실시간 피드백 제어가 불가하다. 또한 실험실에서 실시하는 Jar-Test 및 운영자의 경험에 따른 수동운전은 유기물 특성 및 수질 변화로 인하여 실험 및 휴먼에러가 발생할 수 있다. 특히 야간/주말 등에는 실험을 실시할 수 없어 운영자 판단에 의한 간헐적 변경만이 이루어지고 있다. 따라서 지능제어 알고리즘을 이용한 적정 약품 주입률을 학습하여 실시간 약품 주입과 주입량 감소로 원가절감을 달성코자 하였다.

**키워드** : 퍼지시스템, 지능제어, 정수장, 응집제 주입률

#### Abstract

Chemicals are injected in order to remove a variety of organic substances contained in the water purification plant influent. It can be determined with measuring sedimentation turbidity 4~7 hours later, whether the chemical dosage rate is proper or not, which make the real-time feedback control impossible. In addition, manual operation in accordance with the Jar-Test carried out in the laboratory and the operator's experience may cause the experimental and human error by the changes of organic characteristics and water quality. Especially at night ad weekend, the rate have been determined only by the operator judgment owing to environment engineer's absence. Therefore, the decision of optimal chemical dosage rate using proposed intelligent control algorithm is expected to result in real-time injection and cost reduction.

**Key Words** : Fuzzy System, Intelligent Control, Water Treatment Plant, Coagulant Dosage Rate

Received: Mar, 22, 2015

Revised : Apr, 5, 2015

Accepted: Jun, 12, 2015

<sup>†</sup>Corresponding author

mgchun@cbnu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

수돗물은 대개 하천수 등을 원수로 하여 여러 가지 물리적, 화학적, 생물학적 처리방법을 이용하여 정수 처리되며, 이때 화학적인 처리방법에 사용되는 약품을 수처리제라고 한다. 그 중에서도 응집제와 소독제는 정수처리에 있어서 가장 중요한 역할을 한다.

우리나라는 수돗물 원수의 90% 이상을 하천수로 이용하고 있고 이들 원수 중 91.6%는 2급수이하이어서 응집제 등 수처리제가 사용되고 있다. 정수처리에 사용되는 약품 중에는 독성이 높은 것도 있으며, 납, 비소, 수은 등의 유해물질을 함유하여 오히려 수질을 저하시킬 수도 있다. 주로 사용하고 있는 알루미늄계 약품의 경우 치매 및 파킨슨병을 유발할 수 있다고 알려져 왔다[1].

일반적인 정수처리 공정은 그림 1과 같으며, 최초 정수장에 도착한 물은 암모니아성 질소, 철, 망간, 조류(미생물), 기타 오물을 제거하기 위해 착수정(着水井)에서 응집제를 주입하고 혼화-응집공정을 거쳐 침전지에서 침강시키고 모래여과를 통하여 정수지에 저장하게 된다. 이러한 일련의 수처리 공정에 응집제 주입률 적정성을 실시간으로 파악하기 위한 계측기로서 SCD(Streaming Current Detector)가 존재하나 고탁도에 대응하지

못하여 국내에서는 널리 사용되지 않는다.

따라서, 원수에 포함된 유기물을 배제하기 위한 약품 주입률 결정은 운영자의 자의적 판단 또는 수질실험을 통하여 대부분 수동 주입하고 있다[2]. 하지만 원수의 성상은 갑자기 탁도가 상승하는 등 수시로 변화하기 때문에 상황에 맞는 주입률 제어가 실시간으로 이루어져야 한다[3]. 실제 정수처리에 있어서의 응집효과는 탁도, 유발물의 양과 종류, 입자의 크기, 특정 이온의 존재여부, pH, 알칼리도 등에 영향을 받게 된다[4].

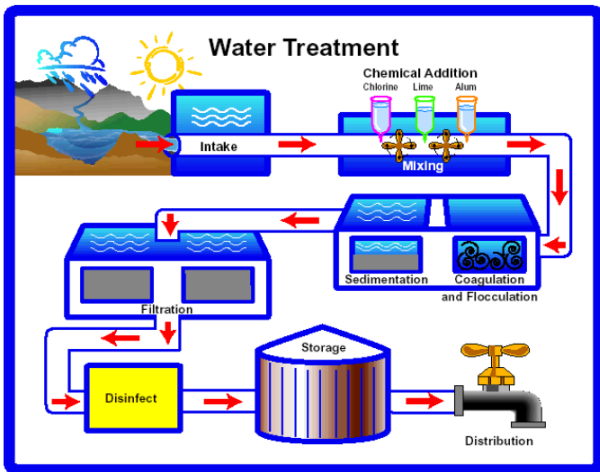


그림 1. 일반적인 정수처리과정  
Fig. 1. General water treatment process

이러한 수질변화에 따른 최적 주입률 결정 연구로 Sugeno 등은 운전자의 경험을 바탕으로 퍼지 규칙을 구성하여 제어 하였다[5]. Baba 등은 응집결과를 영상으로 분석한 기능을 추가하였으며[6], Enbutsu 등은 퍼지 제어 규칙을 만드는 과정에 신경망 학습이론을 도입하여 개선된 퍼지 규칙 추출방법을 제안하였다[7]. 국내의 응집제 주입에 관한 연구를 보면 뉴로-퍼지 모델이나 신경망 모델을 적용한 사례들이 있다[8].

본 논문에서는 원수 약품제어를 위하여 독립변수들에 대한 통계학적 분석을 진행하고, 운영자의 Know How를 접목한 Fuzzy와 뉴로퍼지 모델을 비교분석하여 정수처리공정의 경제적인 운영을 도모코자 하였다.

## 2. 약품 공정 제어 알고리즘

약품 주입률 결정은 1~2 개의 수질 인자로 예측하기는 불가능하다. 통상 수질시험실에서 실험을 통하여 주입률을 결정하기는 하나 급격히 변화하는 수질 및 야간/주말 등에 대응하는데 한계가 있다. 따라서 숙련된 근무자의 주입률 자료를 통계적 기법으로 학습하기 위하여 Fuzzy, Multi Linear Regression, Neuro Fuzzy 알고리즘을 검토하였다[9].

## 2.1 약품 공정제어의 문제점

### 2.1.1 Plant Modeling 어려움

약품 주입률 결정을 위해서는 원수에 포함된 유기물 및 수질변화에 대하여 물리적인 이해를 바탕으로 Modelling 하여야 하나 명확한 모델이 없어 현재의 단순 유량비례제어 방식으로는 안정적인 수질을 유지하는데 어려움이 있다[10].

### 2.1.2 피드백 제어 불가

피드백 제어가 이루어지기 위해서는 약품 주입 후 주입 결과에 대한 신속한 계측이 이루어져야 하나 이를 판단할 수 있는 침전지 후단의 탁도계는 체류시간으로 인해 4~7시간 후에나 계측된다. 또한 일부정수장에서 SCD(Streaming Current Detector) 계측기를 통하여 Feedback 제어를 시도한 바 있으나 탁도가 높은 구간에서 신뢰성이 저하되어 사용사례가 매우 드물다. 이로 인해 운영자의 경험에 의해 대부분 투입하는 실정이다.

### 2.1.3 Human Error

약품 주입률은 대부분 운영자의 경험에 의존하며 근무자의 숙련도에 따라 상황이 나아지거나 더욱 악화될 수 있다. 또한 취수원, 정수장, 관로, 수용가에 이르는 광범위한 데이터를 24시간 지속 감시제어 하는 운영자가 수질변화를 상시 모니터링하고 이에 대응하는 것이 사실상 불가하여 오차가 발생할 수 있다.

표 1에서는 정수장에서 수질변화에 따른 약품주입률 조건표이며, 수질변화에 따라 간헐적으로 운영 근무자가 참고하여 수동조작 하고 있다.

표 1. 수질조건 변화에 따른 약품주입률 조건표.  
Table 1. Chemical injection by water quality variation

Water Quality			PAHCS (mg/L)	Poly Max 1070 (mg/L)	ALUM (mg/L)
Turb. (NTU)	Al. (mg/L)	pH			
5	50~65	7.5~9.5	12	12	18
8	50~65	7.5~9.5	14	14	20
10	50~65	7.5~9.5	15	15	23
12	50~65	7.5~9.5	16	16	28
15	50~65	7.5~9.0	18	18	32
20	45~60	7.5~9.0	21	21	36
25	45~55	7.5~8.5	24	24	-
30	40~55	7.5~8.5	28	28	-
40	40~50	7.5~8.5	30	30	-
50	35~45	7.5~8.5	35	35	-
60	35~45	7.5~8.5	38	38	-
70	30~40	7.0~7.5	42	42	-
80	30~40	7.0~7.5	48	48	-
90	25~35	7.0~7.5	52	52	-
100	25~35	7.0~7.5	56	56	-

110	25~35	6.9~7.5	60	60	-
120	25~35	6.9~7.5	62	62	-
150	25~35	6.9~7.5	65	65	-
180	25~35	6.9~7.5	68	68	-
200	20~30	6.7~7.3	72	72	-
230	20~30	6.7~7.3	76	76	-
250	20~30	6.7~7.3	80	80	-
300	-	-	83	83	-

### 2.2 약품 공정제어 알고리즘

위와 같은 문제점을 극복하고자 정수장 과거자료를 분석하고 운영형태를 조사하고자 하였다. 그림 2에서는 정수처리공정 중 착수정에 계측되는 수질 5항목(탁도, 수온, 알칼리도, pH, 전도도)과 약품(응집제) 주입률 관계를 분석하기 위한 모식도이며 SCD는 참고자료로 활용하기 위하여 설치 운영 중이다.

일부 정수장에서는 원수수질 5개의 계측항목을 이용하여 선형분석으로 약품 주입률을 결정하는 정수장이 있으나 개별 수질항목과 약품주입률과 선형적이지 않음에 따라 이에 대한 신뢰도가 저하되었다. 이를 근무자의 경험에 의존한 전문가 시스템인 퍼지를 고려하였고, 과거 데이터를 근간으로 하는 뉴로퍼지 알고리즘을 검토해 보았다.

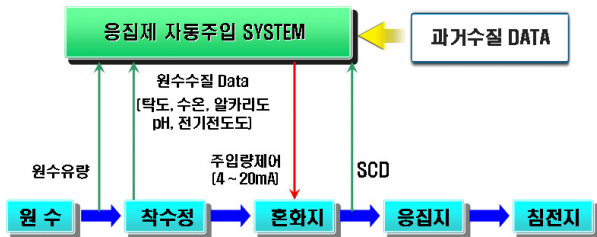


그림 2. 약품 주입률 결정방법 모식도

Fig. 2. Configuration of Pre-chlorination Process

#### 2.2.1 데이터 분석

기초자료 분석을 위하여 원수수질데이터의 상관관계 분석을 실시하였고 차원 축소를 위하여 주성분 분석을 실시하였다. 상관분석(Correlation Analysis)은 확률론과 통계학에서 두 변수 간에 어떤 선형적 관계를 갖고 있는지를 분석하는 방법이다. 두 변수는 서로 독립적인 관계로부터 서로 상관된 관계일 수 있으며 이때 두 변수간의 관계의 강도를 상관관계라 한다[11]. 일반적으로 많이 사용되는 Pearson 상관관계식을 수식 (1)에 표현하였으며 변수 x, y간 관계정도(r)를 -1 ~ 1사이의 값으로 표현해 준다.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

독립변수와 종속변수의 상관관계 및 독립변수 상호간 분석을 위하여 통계프로그램으로 널리 사용되고 있는 Minitap

을 이용하였으며, 그림 3의 분석결과를 보면 종속변수인 주입률을 예측하는데 탁도가 0.697로 가장 영향을 받고, 온도, pH가 순으로 영향을 미치고 있다. 여기에서 알칼리도, pH, 전도도는 상호 의존성이 커 이중 영향력이 큰 pH만 고려하고 두 항목은 제외하였다. 입력변수 중 알칼리도만 주입률에 반비례하고 다른 요소들은 비례함을 나타내고 있다.

상관: 탁도, 온도, 알칼리도, PH, 전도도, 1단계주입률

온도	탁도	온도	알칼리도	PH	전도도
	0.467 0.000				
알칼리도	-0.184 0.001	0.266 0.000			
PH	0.214 0.000	-0.355 0.000	-0.735 0.000		
전도도	0.105 0.068	0.661 0.000	0.743 0.000	-0.744 0.001	
1단계주입률	0.697 0.000	0.318 0.000	-0.198 0.001	0.208 0.000	0.131 0.023

셀 내용: Pearson 상관 계수  
P-값

그림 3. 상관관계 분석결과

Fig. 3. Correlation analysis of input variables

통계학에서 차원 축소를 위해서 주로 사용되는 방식인 주성분 분석, 혹은 PCA(Principal component analysis)는 데이터 집합을 분석하는 기법 가운데 하나이다. 주성분 분석은 데이터를 한 개의 축으로 사상시켰을 때 그 분산이 가장 커지는 축이 첫 번째 좌표축으로 오고, 두 번째로 커지는 축이 두 번째와 같은 방법으로 차례로 놓이도록 새로운 좌표계로 데이터를 선형 변환한다[12]. 그림 4의 주성분 분석 결과 첫 번째 고유치로 0.559의 가중치를 가지고 두 번째 고유치 누적이 0.853으로 많이 개선되었으며 세 번째 고유치 누적은 0.927으로 나타났으며 이후 개선은 미흡하므로 3차원으로 차원축소 가능하리라 판단된다.

주성분 분석: 탁도, 온도, 알칼리도, PH, 전도도

상관 행렬에 대한 고유 분석

고유값	2.7937	1.4693	0.3739	0.2408	0.1223
비율	0.559	0.294	0.075	0.048	0.024
누적	0.559	0.853	0.927	0.976	1.000

변수	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
탁도	0.022	-0.762	0.578	-0.291	-0.011
온도	0.393	-0.525	-0.592	0.243	-0.401
알칼리도	0.504	0.272	0.554	0.441	-0.413
PH	-0.517	-0.252	0.090	0.794	0.172
전도도	0.569	-0.079	-0.022	0.175	0.799

그림 4. 주성분 분석결과

Fig. 4. PCA analysis of variables

#### 2.2.2 Fuzzy 제어기

퍼지이론은 애매하고 불분명한 상황에서 여러 문제들을 두뇌가 판단 결정하는 과정에 대하여 수학적으로 접근하기 위하여 1965년 미국 버클리대학교의 L. A.자데(Zadeh) 교수에 의해 도입된 퍼지집합의 사고방식을 기초로 하고 있다.

퍼지집합의 개념은 각 대상이 어떤 모임에 속한다 또는

속하지 않는다는 이진법 논리로부터, 각 대상이 그 모임에 속하는 정도를 소속함수(membership function)로 나타냄으로써 수학적으로 표현할 수 있다. 그림 5는 일반적인 퍼지 로직 구성도이며 내부적으로 퍼지화기(fuzzifier), 규칙 베이스(rule base), 퍼지 추론기(fuzzy inference engine), 비퍼지화기(defuzzifier)로 구성되어 있다.

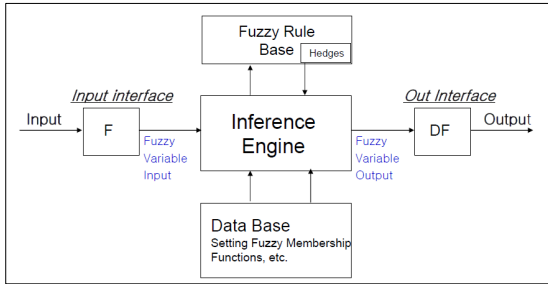


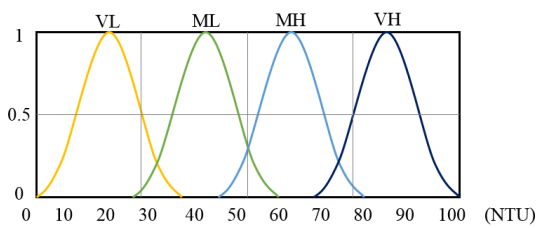
그림 5. 퍼지로직 구성도

Fig. 5. A membership function for input & output

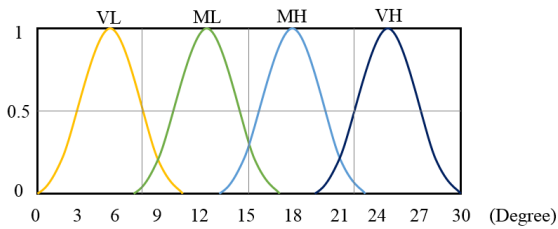
1) 소속함수

퍼지 제어기에서 입출력변수는 언어적인 값으로 표현된다. 언어적인 값은 퍼지 부분 집합으로 정의되며, 소속함수로 나타내어진다. 약품투입공정의 경우 상관관계 분석결과를 토대로 입력 변수로 탁도, 온도 및 pH 인자를 고려하였고 출력을 주입률로 설정하였다. 그림 6에서는 입력 멤버십 함수를 탁도는 0~100NTU, 온도는 0~30도, pH는 0~14 구간을 4개의 Fuzzy Set으로 구분하였으며, 출력은 0에서 최대 40mg/l 까지 주입할 수 있도록 4개의 Set으로 구분하였다.

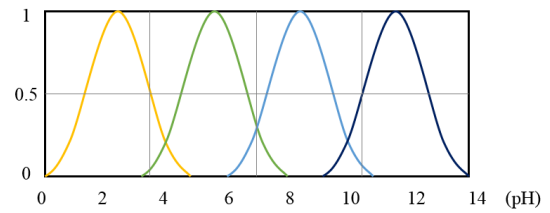
VL : Very Low, ML : Mid Low,  
MH : Mid High, VH : Very High



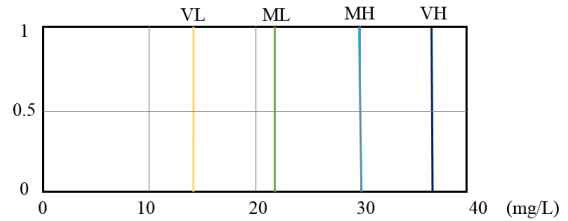
(a) Input Membership Function (Turbidity)



(b) Input Membership Function (Water Temp.)



(c) Input Membership Function (pH)



(d) Output Membership Function (Dosage Rate)

그림 6. 입출력 변수에 대한 소속함수 정의

Fig. 6. A membership function for input & output

2) 퍼지 제어규칙 및 추론

퍼지 제어기의 제어규칙은 전문가의 지식이나 경험에 의하여 언어진다. 퍼지 제어 규칙은 충분한 실험을 통하여 제어 대상의 특성을 파악하여 작성되어야 한다. 제어 규칙들과 사실들을 지식 기반에서 IF-THEN' 형식의 언어적인 규칙들로 구성되어 있다. 일반적인 형태는 다음과 같다.

규칙 IF x is A and y is B THEN z is C

여기서 x, y, z는 언어적 변수이고 A, B, C는 언어적인 값이다. 표 2의 잔류염소 제어를 위한 목표 값 설정 제어규칙은 다음의 기준으로 작성 하였다.

표 2. 약품공정제어를 위한 제어규칙

Table 2. Fuzzy rule for chemical injection

Turb. \ Temp	VL	ML	MH	VH
VL	VL	VL	ML	MH
ML	VL	ML	MH	MH
MH	VL	ML	MH	VH
VH	ML	MH	VH	VH

3) 비퍼지화기

퍼지 추론한 결과를 시스템에 입력하기 위해서는 물리적인 양으로 변환해야 한다. 본 논문에서는 비퍼지화 방법으로 식 (2)와 같이 무게 중심법을 사용하였다. 이 방법은 가장 일반적으로 사용되며 중첩되어 있는 면적이 있을 경우에 중첩되는 부분을 고려하여 다음과 같이 계산한다[13].

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

$w_i$  : 가중치,  $y_i$  = 개별규칙의 결과 값

### 2.2.3 Neuro Fuzzy Algorithm

정수장에서 약품 주입률 결정은 원수에 유입되는 수질에 영향을 받고 있어 과거 누적된 자료를 통하여 약품주입률을 예측하고자 하였다. 예측 알고리즘으로는 Neuro Fuzzy 알고리즘을 선정하였다. 뉴로퍼지 알고리즘은 Clustering 기법을 이용하여 변수가 적고, Matlab 프로그램을 이용하여 Fuzzy Set, Fuzzy Rule 등의 일련의 과정을 육안으로 확인할 수 있는 장점이 있다[14]. 뉴로퍼지의 구성은 그림 7과 같이 5단계로 구분되어지며 각 단계별 계산과정은 다음과 같다[15-16].

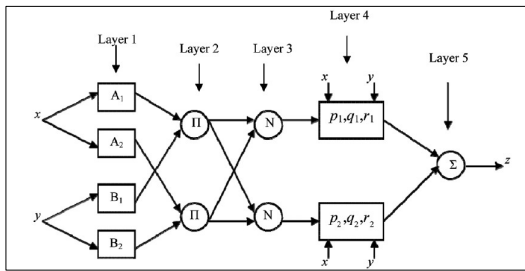


그림 7. 뉴로퍼지 구조도  
Fig. 7. Architecture of a neuro fuzzy

Layer 1. Determination of Membership Function

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x), \text{ for } i = 1, 2, \text{ or} \quad (3)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \text{ for } i = 3, 4 \quad (4)$$

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (5)$$

$\{a_i, b_i, c_i\}$  : *premise parameters*

기 결정된 a, b, c에 의해 각 Fuzzy Set 별 Membership Value를 계산하는 단계이다.

Layer 2. Computation of Compatibility

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

가중치 w는 각 변수의 Membership Value의 Product를 취하여 계산한다.

Layer 3. Normalization

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (7)$$

가중치 w를 Normalize 하여 각 Rule 별 가중치를 결정

하는 단계이다.

Layer 4. Rule based Output

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(p_i x + q_i y + r_i), \quad i = 1, 2 \quad (8)$$

$\{p_i, q_i, r_i\}$  : *consequent parameters*

기 결정된 p, q, r에 의해 각 Rule에 해당하는 Fuzzy Output Value 계산한다.

Layer 5. Overall Output

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (9)$$

각 Rule의 가중치와 결과 값을 토대로 최종 Output 결정한다.

표 3에서는 위의 계산과정을 거쳐 Neuro Fuzzy 알고리즘의 Forward Pass와 Backward Pass의 Parameter 추종 과정을 나타내었으며 Forward에서는 LSE방법을 사용하고 Backward에서는 Gradient Descent 기법을 사용한다.

표 3. Neuro Fuzzy 파라미터 추종방법  
Table 3. Parameter estimation of neuro fuzzy

Parameter	Forward Path	Backward Path
Premise parameters	Fixed	Gradient descent
Consequent parameter	Least square estimator	Fixed
Signals	Node output	Error Signal

## 3. 지능형제어기 구현 및 실험결과

### 3.1 지능형 제어기 개발

지능형 알고리즘 구현을 위해 약품공정 제어로직 프로그램을 개발하였다. 우선 데이터 취득을 위하여 현재 사용 중인 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition) System과 범용 프로토콜인 OPC(OLE for Process Control)로 인터페이스를 구현하였다. 이를 통해 다양한 SCADA 시스템과 인터페이스가 가능하게 되어 별도의 개발비 부담없이 여러 정수장에 이용할 수 있도록 하였다.

지능형 제어기 구성은 크게 제어로직을 관리, 설정하는 Configuration Manager와 이중화 관리를 담당하는 Task Manager로 구분되어진다. 그림 8에서는 제어로직 설정화면으로서 현장 계측데이터는 SCADA에서 사용하고 있는 Tag 정보만 입력하면 데이터가 취득되며, 설정된 제어로직의 변수, Parameter값과 연산을 통하여 계산된 결과 값을 출력하게 된다. 이때 제어로직 연산식, 변수들은 탄력적으로 변경할 수 있도록 개발하였다.

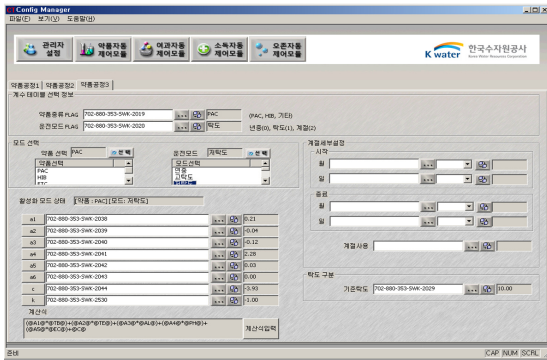


그림 8. 제어로직 설정화면  
Fig. 8. Configuration Manager of Control Logic

그림 9의 이중화관리 프로그램은 약품주입물 변경과정을 표시하여 운영자에게 알려주고 이중화된 제어로직 프로그램 중 네트워크, SCADA System 이상 등으로 Fail이 발생하는 경우에도 동작할 수 있도록 Primary, Secondary 형태의 Dual System을 지원해 준다.

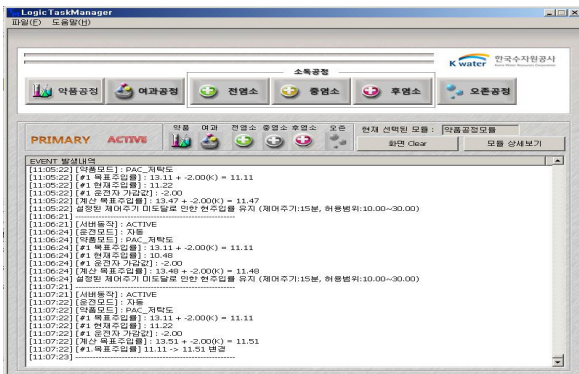


그림 9. 이중화 관리 프로그램  
Fig. 9. Task Manager of Control Logic

개발된 제어로직 프로그램은 정수처리공정운영의 안정성 확보를 위하여 검증된 개선 알고리즘을 지속 적용하고 고도 정수처리공정, 배출수 공정 등의 추가 제어로직 개발 플랫폼으로 활용될 예정이다.

3.2 실험결과

데이터 분석을 위하여 2011년에서 2013년까지 일별 수질 측정값에 따른 약품 주입물 데이터를 확보하였다. 이를 통해 선형, 비선형 알고리즘에 의한 데이터 특성 분석 및 2013년을 기준으로 2011년과 2012년 약품 주입물을 비교하여 보았다. 표 4에서는 2013년 데이터셋에 대한 회귀분석, 퍼지, 뉴로퍼지 알고리즘에 대한 학습과 테스트 결과 값이다. 근무자의 지식에 의한 알고리즘인 퍼지가 12%로 가장 오차가 컸으며, 과거데이터에 기반한 회귀분석이 9%, 뉴로퍼지가 5%로 가장 좋은 결과값을 얻었다. 이를 통해 약품공정이 비선형 특성이 있음을 간접적으로 증명해 주고 있

다.

표 4. 알고리즘별 학습 및 테스트 데이터 분석결과  
Table 4. Analysis Result of Dataset by Algorithms

Method		MLR	Fuzzy	Neuro Fuzzy	Remark
T r a i n	MAPE	9.36	12.75	4.48	2013
	MAE	1.42	2.13	0.65	
	RMSE	2.25	3.73	2.74	
T e s t	MAPE	9.65	12.20	8.87	2013
	MAE	1.49	1.98	1.29	
	RMSE	2.54	3.32	2.74	

표 5에서는 2011년도와 2012년의 일별 수질상황에 따라 운영자에 의한 실제 주입물과 각 알고리즘별 주입물의 차이를 평균값으로 비교하여 보았다. 2011년도에 대한 시뮬레이션 결과 회귀분석의 경우 주입률이 1.29ppm 감소하였고 뉴로퍼지의 경우 4.12ppm을 절감되었으며 2012년도에는 회귀분석 2.43ppm, 뉴로퍼지 1.57ppm 절감하였다.

표 5. 실제 주입물과 제안 알고리즘 주입물 비교  
Table 5. Comparison of Real and Proposed Method

Method	Man. Operation	MLR	Fuzzy	Neuro Fuzzy	Remark
Dosage Rate (ppm)	16.67	15.38	15.96	12.55	2011
	16.35	13.92	14.17	14.78	2012

표 6에서는 이를 연간 절감량으로 환산한 결과이며 2011년 평균 주입물 16.67ppm을 제안된 알고리즘으로 주입한다면 12.55ppm이므로 약품량을 약 25% 절감된다. 이는 10만톤 정수장으로 환산한다면 연간 15만리터의 약품을 절약하여 30백만원을 절감 할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 2012년의 경우에도 5.7만 리터를 절약하여 약 11백만원 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

표 6. 수처리제(응집제) 자원절감 효과  
Table 6. Effect of Chemical Dosage Rate

Method	2011 year	2012 year	Remark
Manual Operation	16.67	16.35	ppm
Proposed Method	12.55	14.78	ppm
Difference	4.12	1.57	ppm
Reduced liter/year	150,380 l	57,305 l	10000 (m <sup>3</sup> /d)
Reduced cost/year	30 million won	11 million won	(200won/liter)

#### 4. 결 론

정수장 유입수에 포함된 다양한 유기물을 제거하기 위하여 약품을 주입하고 있으나, 적정 주입률 결정은 4~7시간 후에나 탁도를 통하여 확인 가능함에 따라 실시간 피드백 제어가 불가하고, 간헐적인 수질시험 또는 운영근무자의 경험에 의해서 이루어지는 경우가 대부분이다.

약품주입의 중요성을 감안한다면 보다 과학적이고 일관된 주입률을 산정해야 하며 이를 위해 제안된 지능제어 알고리즘을 도입하여 정확한 주입률 결정을 실시간으로 반영하여야 한다. 2013년을 기준으로 2011~2012년 자료를 비교 분석한 결과 약품량을 10~25% 가량 절감하여 연간 수천만원의 원가절감을 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

제안된 기법과 같은 데이터 마이닝 기법을 플랜트에 적용 시, 안정적인 데이터 취득이 매우 중요하며, 현장에서 자주 발생하는 센서 이상, 네트워크 오류, SCADA 설비 고장 등에 대한 조치방법을 추가적으로 고려한 후 설치가 이루어져야 한다.

#### Reference

[1] Paul F. Gooda, C.W. Olanowb, Daniel P. Perl, "Neuromelanin-containing neurons of the substantia nigra accumulate iron and aluminum in Parkinson's disease", *Elsevier Brain Research*, vol. 593, issue 2, pp. 343-346, 1992.

[2] H Bae, S,S Kim, D.W Choi, S,T Lee, Y,J Kim, "Application of data mining method to determine coagulant type and dosage rate in accordance with raw water conditions", *Journal of the korean institute of intelligent systems*, vol. 15, No 1, pp. 53-58, 2005.

[3] K-water research institute, "Study of system development for automatic coagulant dosage rate," , Technical report by K-water, pp. 14-17, 1977.

[4] A. P. Black and S. A. Hamnah, "Electrophoretic Studies of Turbidity removal Coagulant with Aluminum Sulfate," *J. AWWA*, vol. 53, no. 4, pp. 438-452, 1961.

[5] O. Yagishita, O. Itoh, and M. Sugeno, "Application of fuzzy reasoning to the water purification process," *Industrial Application of Fuzzy Control*, pp. 19-39, 1985.

[6] K. Baba, I. Enbutu, H. Matuzki, and S. Nogita, "Intelligent support system for water and sewage treatment plants which includes a past history learning function-coagulant injection guid-

ance system using neural net algorithm," *IAWPRC*, pp. 227-234, 1990.

[7] I. Enbutsu, K. Baba, N. Hara, K. Waseda, and S. Nogita, "Integration of multi AI paradigms for intelligent operation support systems-fuzzy rule extraction from a neural network," *IAW Water Science & Technology*, vol. 28, no. 11, pp. 333-340, 1993.

[8] B.J Lee, "Study of modelling to determine the optimal coagulant dosage rate using neural network," *M.D paper of Jeon-nam Univ.*, pp. 34-41, 1992.

[9] Guan-De Wu, Shang-Lien Lo, "Predicting real-time coagulant dosage in water treatment by artificial neural networks and adaptive network-based fuzzy inference system", *Elsevier Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 21, issue 8, pp. 1189-1195, Dec. 2008.

[10] Claude Gagnon, Bernard P.A. Grandjean, Jules Thibault Lienert, "Modelling of coagulant dosage in a water treatment plant", *Elsevier Artificial Intelligence in Engineering*, vol. 11, issue 4, pp. 401-404, Oct. 1997.

[11] Jacob Cohen, Patricia Cohen, Stephen G. West, Leona S. Aiken, "Applied multiple regression/ correlation analysis for the behavioral sciences," *Routledge*, pp. 19-31, 2013.

[12] Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stoke. "Pattern Classification," Wiley, pp. 114-125, 2012.

[13] J.H Seol, Y.D Lim, "Study of position control for DC servo motor using neuro fuzzy system," *Korea institute of intelligent system*, vol. 7, no. 5, pp. 51-59, 1997.

[14] H.H Lee, S,B Jang, S,T Hong, M,G Jeon, "Intelligent Controller for Constant control of residual chlorine in WTP", *Journal of korean institute of intelligent systems*, vol. 24, no. 2, pp. 147-154, 2014.

[15] Jyh-Shing Roger Jang, Chuen-Tsai Sun and Eiji Mizutani. "A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence," *IEEE Transactions on automatic control*, vol. 42, no. 10, pp. 1482-1484, 1997.

[16] B.H Wang, Short-term electrical load forecasting using neuro-Fuzzy model with error compensation, *Journal of korean institute of intelligent systems*, vol. 9 no.4, pp. 327-332, 2009.

저 자 소 개



**이호현(Ho-Hyun Lee)**

1998년 : 원광대학교 전자공학과 공학사  
2010년 : KAIST 로봇학제 공학석사  
2013년~현재 : 충북대학교 대학원  
제어로봇공학과 박사과정

관심분야 : Fuzzy, Pattern Recognition, Optimization  
Phone : +82-42-870-7683  
E-mail : LHH@kwater.com



**신강욱(Gang-Wook Shin)**

1987년 : 동국대학교 전자공학과 공학사  
1993년 : 홍익대학교 전자공학과 공학석사  
2005년 : 홍익대학교 전기공학과 공학박사  
1993년~현재 : 한국수자원공사 K-water  
연구원 수석연구원

관심분야 : Modelling, Machine Learning, Process Control  
Phone : +82-42-870-7680  
E-mail : gwshin@kwater.or.kr



**홍성택(Sung-Taek Hong)**

1993년 : 한밭대학교 전자공학과 공학사  
1995년 : 한밭대학교 전자공학과 석사  
2007년 : 충북대학교 전파공학과 박사수료  
1993년~현재 : 한국수자원공사 K-water  
연구원 책임연구원

관심분야 : Satellite, Intelligent Control, Recognition  
Phone : +82-42-870-7681  
E-mail : sthong@kwater.or.kr



**전명근(Myung-Geun Chun)**

1987년 : 부산대학교 전자공학과 공학사  
1989년 : KAIST 전기 및 전자공학과  
공학석사  
1993년 : KAIST 전기 및 전자공학과  
공학박사  
1996년 : 삼성전자 자동화연구소  
선임연구원

1996년~현재 : 충북대학교 전자공학부 교수  
2007년~현재 : ISO/IEC SC27 정보보호 표준화 전문위원  
2008년~현재 : TTA PG505 전문위원

관심분야 : 지능시스템, 정보보호, 영상처리  
Phone : +82-43-261-2388  
E-mail : mgchun@cbnu.ac.kr