

## 고도정수처리설비에서 오존접촉조의 반응 특성에 대한 모델 설계

(Designing a Reaction Model for Ozon Contactor in Advanced Water Treatment Systems)

박정호\* · 이진락\*\* · 서종진\*\*\* · 이해영\*\*\*\*

(Jung-Ho Park · Jin-Rock Lee · Jong-jin Seo · Hai-young Lee)

### 요 약

본 논문에서는 고도정수처리설비에 활용되는 오존접촉조의 반응 특성을 퍼지 모델 형태로 표현하는 방법을 제안한다. 퍼지모델에 사용될 입력 및 출력 변수들은 오존처리의 목적과 정수장의 수질관리항목을 기준으로 선정하였다. 제안된 입력 변수들은 용존유기탄소농도, UV<sub>254</sub>흡광도, 과망간산칼륨소비량, 주입오존농도, 수온 및 접촉시간이며, 출력변수들은 용존유기탄소농도, UV<sub>254</sub>흡광도 및 과망간산칼륨소비량이다. 입력변수들에 대한 소속도 함수들은 삼각형 형태로 설계했으며, 파이롯플랜트에서 취득한 조업데이터를 참고하여 소속도를 결정했다. 퍼지모델의 결론부는 선형식 형태로 설계하였으며, 선형식에 포함되는 상수들은 조업데이터를 이용하여 최소자승법으로 구했다. 또한 출력 변수들간에 상호 영향이 없다는 특성으로부터 전체 퍼지모델을 각 변수별로 독립적인 기능을 갖는 3개의 부분 퍼지모델로 분할하여 설계함으로써 계산과 이해의 편리를 도모하였다.

모의실험을 통해 제안된 퍼지모델의 타당성을 확인해 본 결과, 모델의 튜닝시에 사용한 입력 데이터에 대해 퍼지모델의 출력이 조업데이터와 거의 동일함을 알 수 있었다.

### Abstract

This paper presents a fuzzy model of describing reaction features for ozon contactor in advanced water treatment systems. Input and output variables are chosen by considering the object of ozon processing and several parameters related to management of water quality. Dissolved organic carbon concentration, UV<sub>254</sub> absorption and KMnO<sub>4</sub> consumption are proposed as common variables in input and output variables. Furthermore ozon concentration, raw water's temperature and contact time are suggested as input variables. Membership functions for input variables have triangular type shape and the grades in each membership function are determined by investigating process data gathered at pilot plant. The decision parts of fuzzy model have linear combination form of input variables and coefficients included in such linear equations are computed with process data in the sense of least square error. Also fuzzy model suggested in this paper is partitioned by 3 independent fuzzy models using the characteristics of having no interactions among output variables. As a result, such fuzzy model has merits in computation and comprehension. According to simulation results, fuzzy model's outputs give almost similar data to process output under same input conditions.

\* 정회원 : 영남대 전기공학과 석사과정  
\*\* 정회원 : 영남대 전기공학과 박사과정  
접수일자 2000년 10월 28일

\*\*\* 정회원 대구광역시 상수도 사업본부  
\*\*\*\* 정회원 : 영남대 전자정보공학부 부교수 · 공박

## 1. 서 론

본 논문에서는 고도정수처리설비에서 오존접촉조의 특성을 퍼지 모델로 표현하는 방법을 다룬다.

고도정수처리설비란 재래식 정수처리설비로는 제거가 곤란한 물질인 악취 유발물질, THMF(Trihalomethane formation potential : THM 전구물질), 암모니아성 질소, 음이온 계면활성제와 산업폐수로부터 유입되는 페놀, 벤젠 또는 톨루엔 및 각종 농약류 등을 오존처리 및 활성탄처리기법등으로 제거하고, 색도도 개선하여 양질의 물을 공급하는 설비이다[1].

국내 정수장들은 원수를 하천 표류수로부터 공급 받는 비율이 높아 생산되는 물의 품질이 오염원의 증가에 따라 민감하게 영향을 받으며, 돌발적인 사고에 의한 오염문제가 발생할 가능성이 높은 특성을 가지고 있다. 예를 들면 정수장의 THM문제(1990년), 낙동강 페놀사건(1991년) 및 정수장 악취사건(1994년)등을 들 수 있다. 따라서 국내 정수장에는 이와 같은 오염문제가 발생하더라도 이를 처리할 수 있는 고도정수처리설비가 계속 도입되고 있으며[2], 생활수준의 향상에 따라 그 필요성이 더욱 증가하고 있다. 그러나, 같은 고도정수처리설비라도 원수의 특성 등과 같은 여러 가지 환경조건에 따라 운영기준이 달라질 수 있는데, 국내의 정수장에는 주어진 환경에 적합한 운영 기준이 아직 갖추어져 있지 않다.

고도정수처리설비에 포함되는 오존처리설비는 오존의 강력한 산화력을 이용하여 미생물 및 세균의 살균, 조류의 살균, 철이나 망간과 같은 무기물질의 산화, 산화분해 반응에 의한 유기물질의 제거 및 계면활성제와 같은 난(難)분해성 유기물질을 이(易)분해성 유기물질로 변환시키는 것을 목적으로 하며, 설비의 구성은 오존발생부, 오존접촉부 및 배오존파괴부의 세 부분으로 나누어지고, 활성탄처리등과 같은 다른 처리기법과 조합하여 더 나은 처리 효과를 기대할 수 있는 설비이다[1][3][4].

오존처리설비를 운영하는데서 가장 중요한 문제는 오존접촉조에 주입되는 오존의 양, 즉 주입오존농도를 적절하게 결정하는 것이다. 만약 주입오존농도가 적절한 값보다 높을 경우엔 오존의 발생비용과 배오존파괴비용이 증가하고, 주입오존농도가 적절한 값보다 낮을 경우엔 물속의 오염물질들이 잘 제거되지

않아 오존처리의 목적을 달성하지 못하게 되는 문제점이 있다.

현재 오존처리설비가 갖추어진 국내정수장에서 주입오존농도는 원수의 조건이나 생산되는 물의 품질 등의 평가에 의해 자동으로 적절한 값이 결정되는 것이 아니라, 오존처리설비를 처음 도입할 때 외국의 운영 사례를 기준으로 선정된 값을 입력한 후 고정시켜 운전하고 있다. 따라서 계절에 따른 원수의 상태 변화나 예기치 못한 오염원의 발생으로 인한 원수의 수질악화등에 따라 주입오존농도가 해당 원수를 처리하기에 적절한 값으로 적기에 변경되지 않고 있으며, 그에 따라 생산되는 물의 품질 저하 또는 오존처리설비의 과다 사용에 따른 설비 가동비의 증가로 생산 단가가 상승하고 설비가 조기에 노후화 되는 등의 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 주입오존농도를 원수의 조건 및 생산되는 물의 품질에 따라 적절한 값으로 변경시킬 수 있어야 하고, 이를 위해선 오존접촉조의 이론적인 모델이 필요하다. 그런데 오존접촉조내에서 발생하는 화학적 및 생물학적 반응은 수식만으로 간단히 표현될 수 없는 복잡하고 비선형적인 특성을 갖는다.

본 논문에서는 오존처리의 목적과 정수장의 수질 관리 항목을 기준으로 몇 가지 중요한 처리 대상 변수를 선정하고, 오존접촉조내에서 처리 대상 변수들의 반응 과정을 퍼지 모델로 표현하였다. 처리 대상 변수들로는 용존유기탄소(Dissolved organic carbon : DOC)농도, UV<sub>254</sub>흡광도 및 과망간산칼륨(KMnO<sub>4</sub>)소비량 등이 제안되었다.

또한 원수의 상태를 관정하는데 관련된 변수로는 수온, 생산량과 관련된 변수로는 오존접촉시간 및 투입되는 오존량과 관련된 변수로는 주입오존농도 등이 퍼지 모델에서 사용될 변수로 설계되었다. 설계된 퍼지 모델의 결론부는 선형식으로 표현되었으며, 선형식내에 포함된 계수들은 파이롯플랜트의 운전데이터를 이용하여 최소자승법으로 산출되었다. 본 논문에서 제안된 오존접촉조내의 반응에 대한 퍼지 모델은 각각의 처리 대상 변수들이 대개 독립적인 특성을 가지는 성질을 활용하여, 처리 대상 변수별로 따로 퍼지 모델을 만들어 계산 및 이해의 편리성을 도모한 장점이 있다.

설계된 오존접촉조 특성에 대한 퍼지 모델의 적용

타당성을 확인해 보기 위해 파이롯플랜트에 대한 운전데이터로 모델내의 각 상수들을 튜닝한 후, 같은 입력조건에서 모델의 계산 출력과 운전데이터를 비교한 결과, 설계된 퍼지 모델이 운전데이터와 거의 동일한 결과를 출력함을 볼 수 있었다

2장에서는 본 논문의 연구대상시스템인 대구 매곡 정수장의 오존접촉시스템에 대한 설명과 문제점을 언급하고, 3장에서는 제안된 퍼지모델의 입력 변수의 결정과 소속도 함수를 다룬다. 그리고 4장에서 제안된 퍼지모델의 타당성을 모의 실험을 통해 보인다.

## 2. 고도정수처리설비와 오존 처리 계통

고도정수처리설비는 오존처리를 처리 공정 중 어디에 위치시키느냐에 따라 여러 가지의 유형으로 나눌 수 있다[7]. 여기서는 본 논문의 연구대상인 대구 매곡정수장의 처리 계통에 대해 설명한다.

### 2.1 매곡정수장의 고도정수처리설비

매곡정수장은 사여과(沙濾過)이전에 오존 처리를 행하는 전(前)오존처리 기능이 없이 사여과된 물을 오존 처리하고, 마지막으로 생물활성탄소에서 활성탄 처리를 하는 방식으로 그림 1에 처리계통도가 보여져 있다.

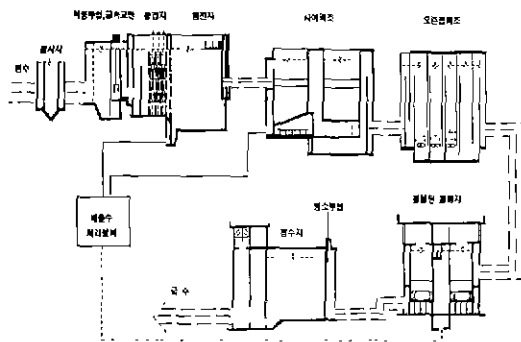


그림 1. 매곡정수장의 정수처리계통도  
Fig. 1. A Schematic Diagram of the Maegok's Water Treatment System

매곡 정수장은 하루 800,000톤의 물을 생산할 수 있도록 설계되었기 때문에, 오존접촉조가 4개로 분할

되어 있고, 오존발생기는 6대로 설계되었다. 이해를 돕기 위해 그림 2에 매곡 정수장의 주입오존농도 제어계통도를 보인다.

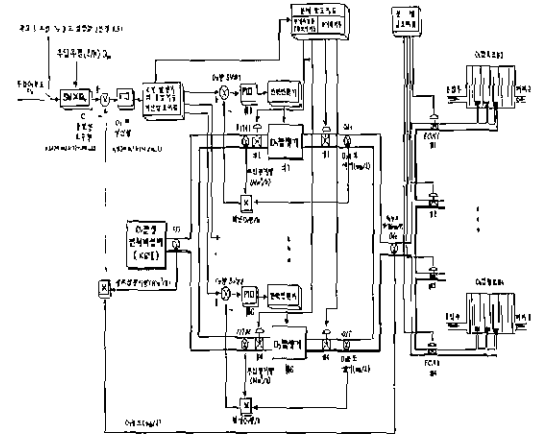


그림 2. 오존접촉조에서의 주입오존농도 제어계통도  
Fig. 2. The control system's scheme for ozone concentration in an ozone contactor

주입오존농도가 선정되면, 분담기능 계산알고리즘으로 각각의 오존발생기에서 생산되어야 할 오존의 양이 계산되고, 분배 알고리즘은 각 오존발생기에 투입되어야 할 공기의 양과 생산된 오존 중 오존접촉조로 투입될 오존의 양을 조절하는 역할을 한다. 생산되어야 할 오존의 총 양은 오존 접촉조에 유입되는 원수의 유량[ $l/h$ ]과 주입오존농도의 설정값을 곱하여 결정되는데, 현재 주입오존농도는  $0.5[mg/l]$ 로 고정되어 운영중이다.

그러나 주입오존농도는 오존접촉조에 투입되는 원수의 성격과 요구되는 생산량 등에 따라 적절히 변경시켜 주어야 오존의 과다 또는 과소 투입으로 인한 여러 가지 문제점이 발생하지 않는데, 아직은 오존처리설비를 운영하는 조업기술이 정립된 단계가 아니며, 특히 오존접촉조내에서 오존과 원수와의 산화반응에 대한 변화 과정의 모델이 없기 때문에 주입오존농도를 적절히 조절하지 못하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 오존접촉조에서 주입오존농도의 적정값을 산출하는 데 도움이 될 수 있는 오존접촉조의 반응 모델을 퍼지 모델 형태로 제안하였다.

### 3. 오존접촉조의 퍼지 모델

#### 3.1 퍼지 모델의 구성

오존접촉조내에서 발생하는 오존과 유기물들과의 산화반응에 대한 변화 과정은 수학적으로 표현하기 어려우므로, 이런 경우에 시스템의 입력과 출력 데이터를 이용하여 미지의 시스템 내부 특성을 표현 할 수 있는 퍼지 모델로 오존접촉조의 특성을 파악할 수 있는 기법을 제안한다.

오존접촉조의 퍼지 모델을 설계하려면 먼저 각 규칙의 조건부와 결론부에서 사용될 변수들을 선정해야 하는데, 이를 위해서는 먼저 오존접촉조의 목적을 상기할 필요가 있다. 앞에서 언급한대로 매곡정수장은 후오존 처리 방식으로서 원수에 포함된 유기물 제거가 주된 목적이다. 따라서 오존접촉조의 특성을 표현하는 퍼지 모델에는 오존처리전의 물이 가진 유기물 특성과 오존처리후의 물이 가진 유기물 특성을 나타내는 물리량들이 포함되어야 하며, 유기물의 변화에 영향을 주는 요소인 주입오존농도, 수온 및 오존접촉시간등이 포함되어야 함을 알 수 있다[3]. 유기물의 함유 정도를 의미하는 지표로 널리 사용되는 물리량들은 용존유기탄소농도, UV<sub>254</sub>흡광도 및 과망간산칼륨소비량등이다[5][6]. 따라서 오존접촉조의 퍼지 모델에 포함될 변수들을 도식적으로 표현하면 그림 3과 같다.

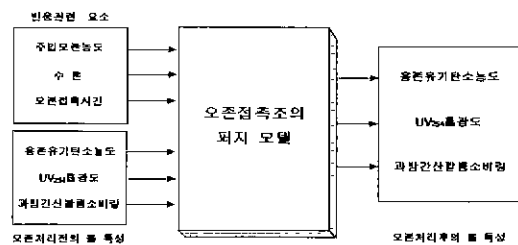


그림 3. 퍼지 모델의 입력 및 출력 변수들  
Fig. 3. Input and output variables of fuzzy model

그림 3을 보면 오존접촉조의 퍼지 모델이란 반응 관련 요소들의 값이 정해졌을 때, 오존처리전의 물이 가진 특성들이 오존 처리에 의해 어떻게 변화되는지를 알려주는 기능을 가지고 있다. 또한 그림 3에서 설계할 퍼지 모델의 입력 변수들은 반응 관련 요소

들 3개와 오존 처리전의 물 특성을 의미하는 물리량 3개로서 총 6개이며, 출력 변수들은 오존처리후의 물 특성을 알려주는 물리량 3개이다.

그런데 입력 변수가 6개이며 출력 변수가 3개인 형태로 퍼지 모델을 설계하면, 퍼지 모델의 구성이 복잡해져서 이해하기도 어렵고 조업데이터를 이용하여 모델 내부에 포함된 설계 상수들을 튜닝(Tuning)하는데 필요한 계산 부하가 너무 커지는 문제점이 있다. 따라서 퍼지 모델을 좀 더 단순화 시킬 필요가 있다. 이를 위해서 각 물리량의 특징을 살펴보면, 용존유기탄소농도, UV<sub>254</sub>흡광도 및 과망간산칼륨소비량등이 상호 영향이 거의 없는 독립적인 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 이런 고유한 성질을 이용하면 오존 접촉조의 퍼지 모델을 독립적인 기능을 갖는 세 개의 그룹으로 나누어 설계할 수 있고, 각 그룹들은 4개의 입력 변수와 1개의 출력 변수를 가지는 간단한 형태가 구성된다. 이를 그림 4에 보인다. 그리고 퍼지 모델의 형태는 결론부가 입력 변수들의 선형 결합 형태로 표현되는 선형식[8]을 사용함으로써 모델의 설계과정을 단순화시키고 계산을 편리하게 하였다.

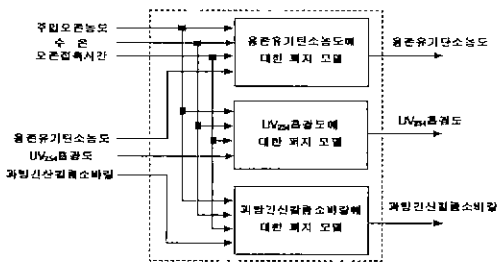


그림 4. 세개의 그룹으로 분할하여 단순화된 퍼지모델  
Fig. 4. A simplified fuzzy model partitioned by 3 groups

#### 3.2 퍼지 모델내 입력 변수들의 설계

이제 오존접촉조의 특성을 표현하는 퍼지 모델의 조건부 및 결론부에 사용될 입력 및 출력변수들을 선정하였고, 결론부는 선형식 형태로 제안하였으므로 조건부에 사용될 6개의 입력변수들에 대한 용어집합(Term set)[11]과 용어 집합내 각 요소에 대한 소속도 함수[11]를 설계하면 퍼지 모델이 완성된다.

먼저 표현을 간단히 하기 위해 몇 가지 변수를 정

의한다.  $X_1$ 을 주입오존농도,  $X_2$ 를 수은,  $X_3$ 을 오존접촉시간이라 하고, 오존처리전의 물에 대한 특성에서  $X_4$ 를 용존유기탄소농도,  $X_5$ 를 UV<sub>254</sub>흡광도 및  $X_6$ 을 과망간산칼륨소비량으로 약속한다.  $X_i, i=1,2,3,4,5,6$ ,의 용어집합과 소속도 함수들을 설계하기 위해서는 조업데이터가 필요하기 때문에, 본 논문에서는 1999년 1월부터 2000년 2월까지 파이롯플랜트에서 취득한 데이터를 이용하였다. 그림 5, 그림 6, 그림 7, 그림 8, 그림 9 및 그림 10에 각 변수의 설계에 사용된 조업데이터를 보인다.  $X_i, i=1,2,3,4,5,6$ ,의 용어집합과 소속도 함수의 범위는 조업데이터의 변동 범위를 고려하여 결정하였다.

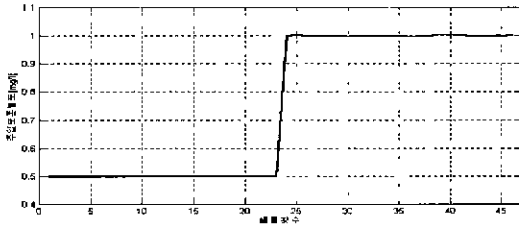


그림 5.  $X_1$ 에 대한 조업 데이터  
Fig. 5. Process data for  $X_1$

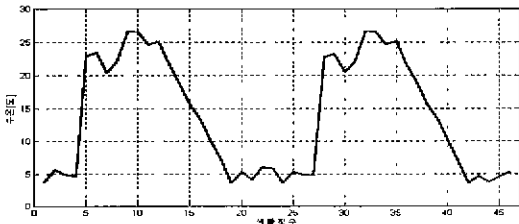


그림 6.  $X_2$ 에 대한 조업 데이터  
Fig. 6. Process data for  $X_2$

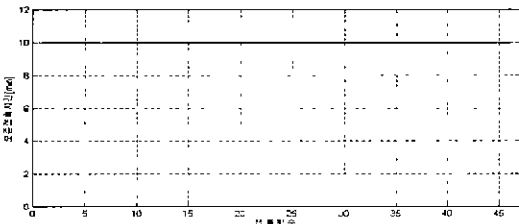


그림 7.  $X_3$ 에 대한 조업 데이터  
Fig. 7. Process data for  $X_3$

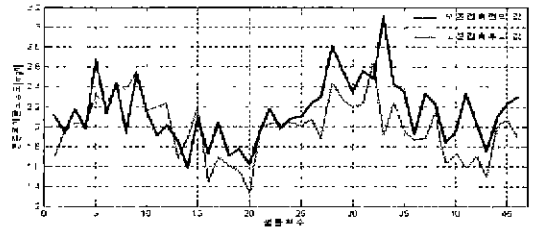


그림 8.  $X_4$ 에 대한 조업 데이터  
Fig. 8. Process data for  $X_4$

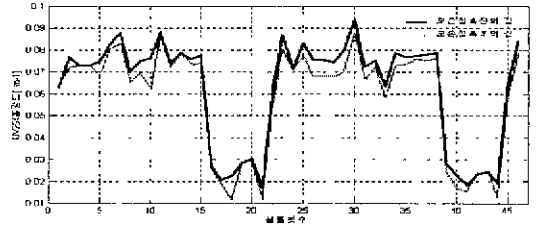


그림 9.  $X_5$ 에 대한 조업 데이터  
Fig. 9. Process data for  $X_5$

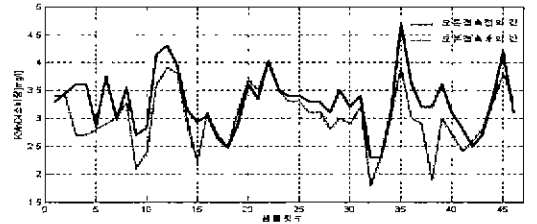


그림 10.  $X_6$ 에 대한 조업 데이터  
Fig. 10. Process data for  $X_6$

$X_1$ 의 용어집합은 (SA, LA)로 설계되었고, SA는 Small, LA는 Large의 약자이다.  $X_1$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수들은 그림 11에 보여져 있다.

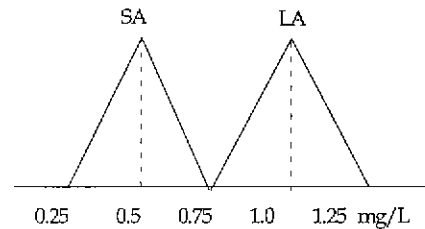


그림 11.  $X_1$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수  
Fig. 11. Membership function of  $X_1$

$X_2$ 의 용어집합은 (SA, MM, LA)로 제안되었으며, SA와 LA는  $X_1$ 과 동일하고, MM은 Medium의 약자

이다.  $X_2$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수는 그림 12와 같이 설계되었다.

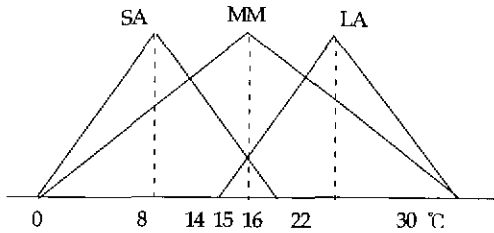


그림 12.  $X_2$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수  
Fig. 12. Membership function of  $X_2$

$X_3$ 의 용어집합은 조업 생산량의 변화가 거의 없기 때문에 주어진 데이터의 범위에 변동이 없어 한 개의 요소(NT)만으로 설계되었으며, NT는 Normal time의 약자이다. NT에 대한 소속도 함수는 그림 13과 같다.

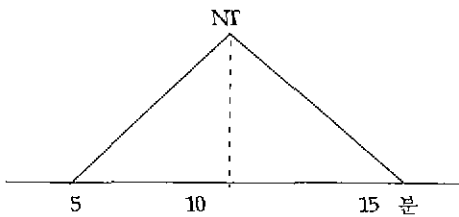


그림 13.  $X_3$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수  
Fig. 13. Membership function of  $X_3$

$X_4$ ,  $X_5$  및  $X_6$ 의 용어집합은 모두 동일하게 (SA, MM, LA)로 설계되었으며, 각 변수에 대한 소속도 함수들은 그림 14, 그림 15, 그림 16에 보인다.

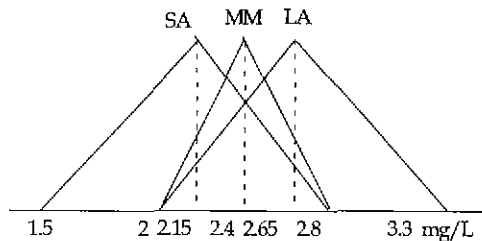


그림 14.  $X_4$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수  
Fig. 14. Membership function of  $X_4$

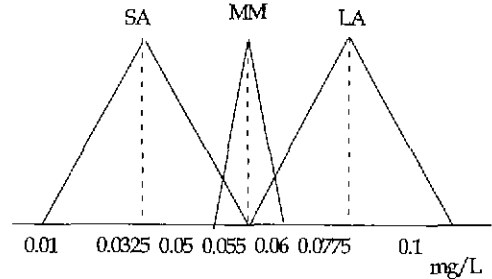


그림 15.  $X_5$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수  
Fig. 15. Membership function of  $X_5$

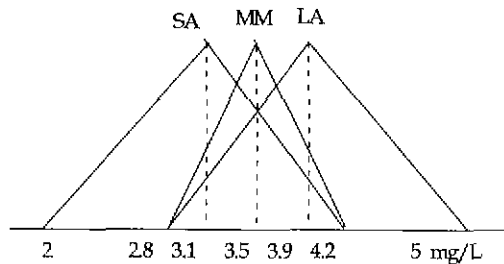


그림 16.  $X_6$ 의 각 요소에 대한 소속도 함수  
Fig. 16. Membership function of  $X_6$

### 3.3 설계된 퍼지 모델

먼저 오존처리후의 물에 대한 특성을 나타내는 변수들을 기호로 다음과 같이 약속한다.  $i=1, 2, \dots, 18$ , 에 대해  $D_i$ ,  $U_i$  및  $K_i$ 를 각각 퍼지 모델에서  $i$ 번째 규칙의 결론인 용존유기탄소농도, UV<sub>254</sub>흡광도 및 과망간산칼륨소비량이라고 정의한다. 그러면 앞의 그림 4에 보여진 것처럼 퍼지 모델은 세 개의 독립된 그룹으로 표현되므로 각 그룹에 대해 퍼지 모델이 독립적으로 설계될 수 있으며, 결론부를 선형식 형태로 제안했으므로, 용존유기탄소농도에 대해서는 표 1, UV<sub>254</sub>흡광도에 대해서는 표 2 및 과망간산칼륨소비량에 대해서는 표 3과 같이 퍼지 모델을 설계했다. 여기서 각 규칙 결론부의 선형식내에 있는 계수들은 앞에서 언급한 조업데이터를 가지고, 가장 널리 사용되는 최소자승법[9][10][12]으로 산출하였다.

표 1. X<sub>4</sub>에 대한 퍼지 모델  
Table 1. Fuzzy model for X<sub>4</sub>

Rule	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	결론부의 선형식	선형식의 계수들				
						상수항의 계수	X <sub>1</sub> 의 계수	X <sub>2</sub> 의 계수	X <sub>3</sub> 의 계수	X <sub>4</sub> 의 계수
R <sub>1</sub>	SA	SA	NT	SA	D <sub>1</sub> = a <sub>11</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>12</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>13</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>14</sub> X <sub>4</sub>	-234.2520	3387.4118	0.01028	0.51188	0.57946
R <sub>2</sub>	SA	SA	NT	MM	D <sub>2</sub> = a <sub>21</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>22</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>23</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>24</sub> X <sub>4</sub>	-411.1032	392.0005	0.0113	25.9076	3.1824
R <sub>3</sub>	SA	SA	NT	LA	D <sub>3</sub> = a <sub>31</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>32</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>33</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>34</sub> X <sub>4</sub>	-426.1032	392.0005	0.0113	25.9076	3.1824
R <sub>4</sub>	SA	MM	NT	SA	D <sub>4</sub> = a <sub>41</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>42</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>43</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>44</sub> X <sub>4</sub>	-48.9615	23.0669	0.0153	-0.7274	0.3721
R <sub>5</sub>	SA	MM	NT	MM	D <sub>5</sub> = a <sub>51</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>52</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>53</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>54</sub> X <sub>4</sub>	-46.1628	412.7432	0.0168	15.5918	0.5142
R <sub>6</sub>	SA	MM	NT	LA	D <sub>6</sub> = a <sub>61</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>62</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>63</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>64</sub> X <sub>4</sub>	-46.1628	412.7432	0.0168	15.5918	0.5142
R <sub>7</sub>	SA	LA	NT	SA	D <sub>7</sub> = a <sub>71</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>72</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>73</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>74</sub> X <sub>4</sub>	-119.5447	-115.4563	0.0161	17.8533	0.4543
R <sub>8</sub>	SA	LA	NT	MM	D <sub>8</sub> = a <sub>81</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>82</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>83</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>84</sub> X <sub>4</sub>	0.0034	200.1541	0.0070	-13.8597	0.4098
R <sub>9</sub>	SA	LA	NT	LA	D <sub>9</sub> = a <sub>91</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>92</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>93</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>94</sub> X <sub>4</sub>	0.0034	200.1541	0.0070	-13.8597	0.4098
R <sub>10</sub>	LA	SA	NT	SA	D <sub>10</sub> = a <sub>101</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>102</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>103</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>104</sub> X <sub>4</sub>	140.4478	620.9461	0.01039	-53.0683	0.5819
R <sub>11</sub>	LA	SA	NT	MM	D <sub>11</sub> = a <sub>111</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>112</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>113</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>114</sub> X <sub>4</sub>	212.2720	74.751	0.0052	-61.3300	-0.7545
R <sub>12</sub>	LA	SA	NT	LA	D <sub>12</sub> = a <sub>121</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>122</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>123</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>124</sub> X <sub>4</sub>	212.2720	74.751	0.0052	-61.3300	-0.7545
R <sub>13</sub>	LA	MM	NT	SA	D <sub>13</sub> = a <sub>131</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>132</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>133</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>134</sub> X <sub>4</sub>	255.4746	46.3575	0.0049	30.1196	0.9395
R <sub>14</sub>	LA	MM	NT	MM	D <sub>14</sub> = a <sub>141</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>142</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>143</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>144</sub> X <sub>4</sub>	26.1631	337.363	0.0102	-28.5448	0.2187
R <sub>15</sub>	LA	MM	NT	LA	D <sub>15</sub> = a <sub>151</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>152</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>153</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>154</sub> X <sub>4</sub>	275.7745	352.23	0.0163	-23.2424	-0.0674
R <sub>16</sub>	LA	LA	NT	SA	D <sub>16</sub> = a <sub>161</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>162</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>163</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>164</sub> X <sub>4</sub>	-52.1010	1.1770	0.0135	82.2270	0.0161
R <sub>17</sub>	LA	LA	NT	MM	D <sub>17</sub> = a <sub>171</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>172</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>173</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>174</sub> X <sub>4</sub>	-501.2655	3.7558	0.0230	90.0576	0.0725
R <sub>18</sub>	LA	LA	NT	LA	D <sub>18</sub> = a <sub>181</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>182</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>183</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>184</sub> X <sub>4</sub>	-501.2655	3.7558	0.0230	90.0576	0.0725

표 2. X<sub>5</sub>에 대한 퍼지 모델  
Table 2. Fuzzy model for X<sub>5</sub>

Rule	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	결론부의 선형식	선형식의 계수들				
						상수항의 계수	X <sub>1</sub> 의 계수	X <sub>2</sub> 의 계수	X <sub>3</sub> 의 계수	X <sub>4</sub> 의 계수
R <sub>1</sub>	SA	SA	NT	SA	D <sub>1</sub> = a <sub>11</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>12</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>13</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>14</sub> X <sub>4</sub>	9.14075	23.7925	0.0132	-2.4589	1.3615
R <sub>2</sub>	SA	SA	NT	MM	D <sub>2</sub> = a <sub>21</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>22</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>23</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>24</sub> X <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
R <sub>3</sub>	SA	SA	NT	LA	D <sub>3</sub> = a <sub>31</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>32</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>33</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>34</sub> X <sub>4</sub>	15.4236	-7.741	0.0005	1.8115	0.0795
R <sub>4</sub>	SA	MM	NT	SA	D <sub>4</sub> = a <sub>41</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>42</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>43</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>44</sub> X <sub>4</sub>	0.7675	23.7925	0.0002	-2.4055	1.3617
R <sub>5</sub>	SA	MM	NT	MM	D <sub>5</sub> = a <sub>51</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>52</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>53</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>54</sub> X <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
R <sub>6</sub>	SA	MM	NT	LA	D <sub>6</sub> = a <sub>61</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>62</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>63</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>64</sub> X <sub>4</sub>	0.7615	23.7925	-0.0001	-0.8657	1.0543
R <sub>7</sub>	SA	LA	NT	SA	D <sub>7</sub> = a <sub>71</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>72</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>73</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>74</sub> X <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
R <sub>8</sub>	SA	LA	NT	MM	D <sub>8</sub> = a <sub>81</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>82</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>83</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>84</sub> X <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
R <sub>9</sub>	SA	LA	NT	LA	D <sub>9</sub> = a <sub>91</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>92</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>93</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>94</sub> X <sub>4</sub>	0.5931	27.510	-0.0003	1.2387	1.1472
R <sub>10</sub>	LA	SA	NT	SA	D <sub>10</sub> = a <sub>101</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>102</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>103</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>104</sub> X <sub>4</sub>	0.1638	2.8689	-0.0007	-0.3010	1.5209
R <sub>11</sub>	LA	SA	NT	MM	D <sub>11</sub> = a <sub>111</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>112</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>113</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>114</sub> X <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
R <sub>12</sub>	LA	SA	NT	LA	D <sub>12</sub> = a <sub>121</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>122</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>123</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>124</sub> X <sub>4</sub>	-197.2897	15.8655	-0.0076	0.7381	1.5761
R <sub>13</sub>	LA	MM	NT	SA	D <sub>13</sub> = a <sub>131</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>132</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>133</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>134</sub> X <sub>4</sub>	0.1638	2.8689	-0.0007	-0.3010	1.5209
R <sub>14</sub>	LA	MM	NT	MM	D <sub>14</sub> = a <sub>141</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>142</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>143</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>144</sub> X <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
R <sub>15</sub>	LA	MM	NT	LA	D <sub>15</sub> = a <sub>151</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>152</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>153</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>154</sub> X <sub>4</sub>	1.1138	0.2501	-0.0000	-0.1461	0.9119
R <sub>16</sub>	LA	LA	NT	SA	D <sub>16</sub> = a <sub>161</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>162</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>163</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>164</sub> X <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
R <sub>17</sub>	LA	LA	NT	MM	D <sub>17</sub> = a <sub>171</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>172</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>173</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>174</sub> X <sub>4</sub>	0	0	0	0	0
R <sub>18</sub>	LA	LA	NT	LA	D <sub>18</sub> = a <sub>181</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>182</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>183</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>184</sub> X <sub>4</sub>	4.9530	0.2746	0.0000	-0.5218	0.8823

표 3. X<sub>6</sub>에 대한 퍼지 모델  
Table 3. Fuzzy model for X<sub>6</sub>

Rule	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	결론부의 선형식	선형식의 계수들				
						상수항의 계수	X <sub>1</sub> 의 계수	X <sub>2</sub> 의 계수	X <sub>3</sub> 의 계수	X <sub>4</sub> 의 계수
R <sub>1</sub>	SA	SA	NT	SA	D <sub>1</sub> = a <sub>11</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>12</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>13</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>14</sub> X <sub>4</sub>	168.51	79.956	-0.01298	-172.33	0.10395
R <sub>2</sub>	SA	SA	NT	MM	D <sub>2</sub> = a <sub>21</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>22</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>23</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>24</sub> X <sub>4</sub>	3167.0	751.00	0.01434	-34.13	-0.05910
R <sub>3</sub>	SA	SA	NT	LA	D <sub>3</sub> = a <sub>31</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>32</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>33</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>34</sub> X <sub>4</sub>	3167.0	751.00	0.01434	-34.13	-0.05910
R <sub>4</sub>	SA	MM	NT	SA	D <sub>4</sub> = a <sub>41</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>42</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>43</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>44</sub> X <sub>4</sub>	1572.0	1073.23	0.00006	-151.07	0.26214
R <sub>5</sub>	SA	MM	NT	MM	D <sub>5</sub> = a <sub>51</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>52</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>53</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>54</sub> X <sub>4</sub>	2022.1	93.172	0.005210	-136.94	3.14952
R <sub>6</sub>	SA	MM	NT	LA	D <sub>6</sub> = a <sub>61</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>62</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>63</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>64</sub> X <sub>4</sub>	2022.1	93.172	0.005210	-136.94	3.14952
R <sub>7</sub>	SA	LA	NT	SA	D <sub>7</sub> = a <sub>71</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>72</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>73</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>74</sub> X <sub>4</sub>	1544.4	-55.83	0.011327	-150.30	0.92750
R <sub>8</sub>	SA	LA	NT	MM	D <sub>8</sub> = a <sub>81</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>82</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>83</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>84</sub> X <sub>4</sub>	1554.4	231.750	0.003240	-171.15	0.16391
R <sub>9</sub>	SA	LA	NT	LA	D <sub>9</sub> = a <sub>91</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>92</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>93</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>94</sub> X <sub>4</sub>	1554.4	231.750	0.003240	-171.15	0.16391
R <sub>10</sub>	LA	SA	NT	SA	D <sub>10</sub> = a <sub>101</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>102</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>103</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>104</sub> X <sub>4</sub>	116.42	-21.511	-0.059237	-34.30	0.53571
R <sub>11</sub>	LA	SA	NT	MM	D <sub>11</sub> = a <sub>111</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>112</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>113</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>114</sub> X <sub>4</sub>	624.78	-34.513	-0.042733	-35.97	0.77383
R <sub>12</sub>	LA	SA	NT	LA	D <sub>12</sub> = a <sub>121</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>122</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>123</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>124</sub> X <sub>4</sub>	624.78	-34.513	-0.042733	-35.97	0.77383
R <sub>13</sub>	LA	MM	NT	SA	D <sub>13</sub> = a <sub>131</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>132</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>133</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>134</sub> X <sub>4</sub>	1123.0	-41.236	-0.065943	-109.54	0.26767
R <sub>14</sub>	LA	MM	NT	MM	D <sub>14</sub> = a <sub>141</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>142</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>143</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>144</sub> X <sub>4</sub>	1156.4	-91.137	-0.022322	-110.25	0.83348
R <sub>15</sub>	LA	MM	NT	LA	D <sub>15</sub> = a <sub>151</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>152</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>153</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>154</sub> X <sub>4</sub>	1156.4	-91.137	-0.022322	-110.25	0.83348
R <sub>16</sub>	LA	LA	NT	SA	D <sub>16</sub> = a <sub>161</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>162</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>163</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>164</sub> X <sub>4</sub>	1772.9	-20.195	0.044220	-175.59	0.31261
R <sub>17</sub>	LA	LA	NT	MM	D <sub>17</sub> = a <sub>171</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>172</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>173</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>174</sub> X <sub>4</sub>	2353.7	-24.115	0.017490	-275.31	0.23982
R <sub>18</sub>	LA	LA	NT	LA	D <sub>18</sub> = a <sub>181</sub> X <sub>1</sub> + a <sub>182</sub> X <sub>2</sub> + a <sub>183</sub> X <sub>3</sub> + a <sub>184</sub> X <sub>4</sub>	2353.7	-24.115	0.017490	-275.31	0.23982

4. 모의 실험

본 논문에서 설계된 오존점촉조에 대한 퍼지 모델의 타당성을 확인해 보기 위해, 퍼지 모델의 결론부에 있는 선형식의 계수를 구할 때 사용한 입력 데이터들을 설계된 퍼지 모델에 넣어 용존유기탄소농도, UV<sub>254</sub>흡광도 및 과망간산칼륨소비량등이 어떻게 변화되는 지를 계산하여 보았으며, 그 결과를 각각 그림 17, 그림 18 및 그림 19에 보인다.

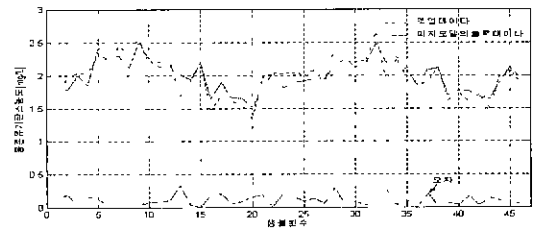


그림 17. X<sub>4</sub>에 대한 퍼지 모델의 출력  
Fig. 17. Output data of fuzzy model for X<sub>4</sub>

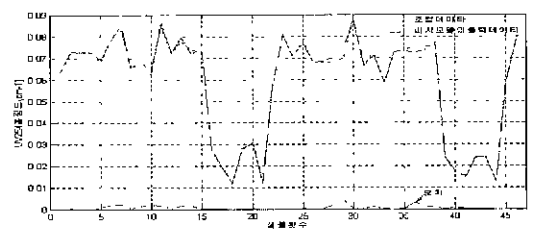


그림 18. X<sub>5</sub>에 대한 퍼지 모델의 출력  
Fig. 18. Output data of fuzzy model for X<sub>5</sub>

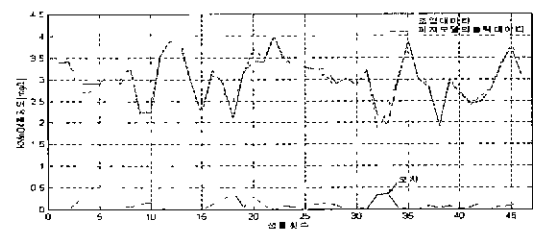


그림 19. X<sub>6</sub>에 대한 퍼지 모델의 출력  
Fig. 19. Output data of fuzzy model for X<sub>6</sub>

그림 17에서 그림 19까지의 결과를 보면 오존접촉조의 반응 과정을 운전으로부터 얻은 입력 및 출력 데이터를 이용하여 만든 퍼지 모델이 주어진 입력 조건에서 실제 오존 처리된 결과가 갖는 특성과 거의 일치한 출력을 제공함을 알 수 있다.

즉 본 논문에서 제안된 오존접촉조의 퍼지 모델이 오존접촉조내에서 발생하는 반응을 적절히 표현하고 있다고 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 퍼지 모델을 활용하면 용존유기탄소농도, UV<sub>254</sub>흡광도 및 과망간산칼륨소비량의 목표값과 원수의 조건 등이 정해졌을 때, 오존 처리의 목적을 달성하기에 적절한 주입오존농도를 모의 실험을 통해 찾을 수 있을 것이므로, 오존접촉조의 효율적인 운영에 도움이 될 것이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 고도정수처리설비에서 오존접촉조의 반응 특성을 결론부가 선형식 형태인 퍼지 모델로 표현하는 방법을 제안하였다. 퍼지 모델에 사용될 중요한 처리 대상 변수들은 오존 처리의 목적과 정수장의 수질 관리 항목을 참고하여 용존유기탄소농도, UV<sub>254</sub>흡광도 및 과망간산칼륨소비량이 선정되었고, 반응 조건에 관련된 변수들로는 수온, 접촉시간 및 주입오존농도들이 제안되었다. 또한 설계된 퍼지 모델은 각각의 처리 대상 변수들이 대개 상호 간섭 현상이 없는 성질을 활용하여 처리 대상 변수별로 독립적인 3개의 그룹으로 분할 설계되어 계산과 이해가 편리한 특징을 갖고 있다. 설계된 퍼지 모델의 결론부인 선형식내에 포함된 계수들은 파이롯플랜트의 운전 데이터를 이용하여 최소자승법으로 계산되었다.

본 논문에서 설계된 오존접촉조의 퍼지 모델에 대한 타당성을 확인하기 위해, 파이롯플랜트에 대한 운전데이터로 모델을 튜닝한 후, 튜닝시의 입력 데이터를 넣어 퍼지 모델의 출력을 계산해 본 결과 실제 데이터를 잘 추종함을 볼 수 있었다. 따라서 제안된 퍼지 모델은 오존접촉조에서 투입되어야 할 적절한 주입오존농도를 선정하는데 유용한 도구가 될 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 대구광역시 상수도사업본부, "고도정수처리시설의 효율적인 운영을 위한 실공정 및 Pilot Plant를 통한 연구조사", 1998.
- [2] 강제형 외, "실증 Plant규모의 오존-활성탄 공정에 의한 낙동강 지표수의 미량 오염물질 제거", 수도, 24권 제2호, 1997.
- [3] Bruno Langlais, David A. Reckhow, Deborah R. Brink, "Ozone in water treatment: application and engineering", Lewis Publishers, 1991
- [4] Francis L. Evans III, "Ozone in water and wastewater treatment", At The Science, 1972
- [5] James M. Montgomery, "Water Treatment Principles and Design", John Wiley, 1985.
- [6] J.Mallevialle & U.S.Chan, "Influence and Removal of Organics in Drinking Water", Lewis Publishers, 1992.
- [7] 양상현, "수질공학", 동지기술, 1989.
- [8] M. Sugeno, "Industrial Applications of Fuzzy Control", Elsevier Science Publishers B.V, 1985.
- [9] Lennart Ljung, "System Identification: Theory for the User", Prentice-Hall, 1987.
- [10] Karl J. Aström, "Computer controlled system", Prentice-Hall International, 1997.
- [11] H.J.Zimmermann, "Fuzzy Set Theory - and Its Applications", Kluwer-Nijhoff Publishing, 1985.
- [12] Terunide Niidome, "방연 Set-up model에의 Fuzzy제어의 응용", 計裝, Vol.30, No.10, pp.76-79, 1987.

## ◇ 저자소개 ◇

### 박 정 호 (朴正虎)

1974년 6월 6일생. 1999년 영남대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.

### 이 진 락 (李鎭洛)

1963년 5월 10일생. 1985년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 석사과정 졸업. 1987년~1994년 포항종합제철(주) 기술연구소 연구원. 현재 영남대학교 전기공학과 대학원 박사과정, 서라벌 대학 겸임교수 및 경주시의회 의원.

### 서 종 진 (徐鐘振)

1962년 12월 17일생. 1992년 방송통신대학교 법학과 졸업. 1999년 영남대학교 산업기술대학원 전기공학과 석사 과정 졸업. 현재 대구광역시 상수도 사업본부 매곡정수사업소

### 이 해 영 (李海榮)

1963년 7월 5일생. 1984년 부산대학교 전기기계공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기전자과 석사과정 졸업. 1990년 동 대학원 박사과정 졸업. 1990년~1993년 8월 포항종합제철(주) 기술연구소 연구원. 1993년 9월~현재 영남대학교 전자정보공학부 부교수.