

객체 지향 방법론을 이용한 상위 지능형 제어 시스템 개발에 관한 연구

이봉국 황재기 신용학  
LG산전 중앙 연구소

A Study on the Development of the Upper Intelligent Control System using the Object Oriented Method

BongKuk Lee JaeKi Hwang YongHak Shin  
LG Industrial Systems R&D Center

**Abstract** - 종합적인 공정 제어 자동화 시스템 구현을 위해 계층적이고 개방형 방식에 의한 시스템 구축이 이루어지고 있다. 상위 계층 시스템은 하위 계층 제어 시스템의 제어를 결정하는 방법으로 다양한 의사결정(Decision Making)방법을 도입하여 하위 계층 시스템과 연계하여 계층적인 종합 공정 제어 자동화 시스템 구축을 시도하고 있다. 본 연구에서는 상위 계층 시스템 구현을 위해 신경회로망 방식을 채택한 상위 지능형 제어 시스템을 제안하여 연속형 프로세스의 최적 의사 결정을 효과적으로 할 수 있도록 하였고, 이를 실현화 하는데 있어 UML방식의 객체지향 설계방식을 도입함으로써 시스템의 재 사용성 및 확장성을 가지는 개방형 상위 의사 결정 시스템을 개발 하였다. 개발된 시스템을 수처리 연속 공정인 약품주입 공정에 적용하였다..

방식을 도입하여 상위 계층 시스템을 지능형 방식으로 구성하였다. 신경회로망 방식은 역전파 방식을 사용하였다.

제어 시스템 구성시 고려할 부분은 시스템 Software 구성 및 개발에 관한 문제이다. 구조적인 방식이 종래의 제어 시스템 구성시 사용되었는데, 이는 변경 발생시 시스템의 수정이 효과적으로 이루어지기 어려운 문제점을 가지고 있다. 고객의 다양한 형태의 요구에 따라 유용성 있는 시스템을 구성하기 위해서 본 논문에서는 시스템 설계와 구현을 객체지향 방식을 도입하였다. 객체지향방식은 표준화 방식인 UML(Unified Methodology Language) 방식에 기초하고 있다. 개발된 시스템은 확장성과 재사용성을 고려하여 설계, 개발되었으며, 수처리 공정 시스템인 약품주입 공정에 시스템에 적용하여 효율성을 입증하고 있다.

1. 서 론

산업 공정 제어 시스템은 IT기술의 발달로 점점 다양한 시스템 구성을 이룰수 있게 되었다. 최근에는 기업의 전사적인 경영 시스템과 연결되어 시스템 구축 필요성이 대두 되고 있어서 제어-경영 시스템의 원활한 연결을 위한 기술들이 도입되고 있다. 기업의 MIS(Management Information System)과 연결되기 위한 중요한 연결고리는 적용하고자 하는 프로세스마다 다양한 형태를 취하고 있다. 이러한 요구는 이전부터 계속되었는데, 시스템구축을 위해 실제 시스템 구축에 있어 계층적인 구조의 시스템 연결이 중요한 방법론으로 대두되었다[1]. 선진제어 시스템 Maker들은 각자의 시스템 구축에 있어서 계층적인 구조의 형태를 취하고 있다. 계층적인 시스템 구성은 크게 하위 제어 시스템과 상위 계층의 의사 결정 시스템으로 구성된다. 하위 계층의 제어 시스템으로는 PLC(Programmable Logic Controller)나 DCS(Distributed Control System)과 같은 단위 제어기 및 제어 시스템을 통하여 제어를 수행하고 있으며, 이를 위한 대표적인 제어기로써 PID 제어기를 사용하고 있다. 상위 계층 시스템은 주로 의사 결정에 관한 문제를 다루고 있는데, 이러한 시스템은 적용하고자 하는 응용 시스템별로 다양한 형태의 알고리즘 및 방법론을 채택하고 있다. 상위계층 시스템의 구성은 고 부가가치의 특징을 가지고 있으며, 상위 계층 시스템으로는 문제 지향 전문가 시스템(Problem Oriented Expert System), 고급제어 시스템(Advanced Control System), 최적제어 시스템(Optimised Control System)등으로 이루어져 있으며 주로 생산관리 최적화에 관한 문제와 하위 제어 시스템의 제어 설정치를 결정하는 것을 과제로 하고 있다. 본 논문에서는 연속 공정에 대한 하위 제어 시스템의 제어 설정치를 효율적으로 결정하기 위한 의사 결정 방법으로 신경회로망

2. 본 론

2.1 상위 지능형 계층 시스템

연속형 시스템의 의사 결정을 위한 상위 시스템의 효율적인 구성을 위해 지능형 방식과 계층적 방식을 도입하였다. 산업 생산 분야에서 지능(Intelligence)란 계획(Plan)을 세우고 그 계획을 이루기 위해 효과적인 조치(Action)를 수행할 수 있는 센서 기반의 감시, 제어 시스템에 지식(Knowledge)과 제한(Feedback)기능을 통합(Integration)시키는 것을 의미한다[1]. 본 연구에서는 제한기능을 갖는 제어 시스템을 하위 시스템으로 하고, 상위 시스템으로는 경험 지식을 포함하고 있는 지능형 방식을 선택하였다. 다음 그림은 계층적인 구조의 요소들을 나타내고 있다. 지능형 방식은 기존의 공정 운전원의 경험적인 요소들을 이용하여 제어문제를 해결코자 하는 방식이다. 본 연구에서는 상위 시스템에 신경망 방

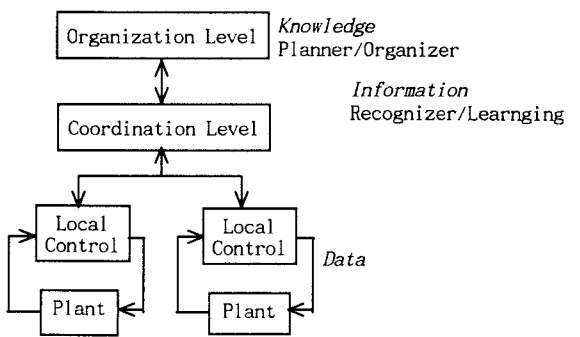


그림1. 지능형 계층 시스템

식을 도입함으로써 공정 운전원의 경험지식을 생산계획이나 조정에서 사용할 수 있도록 하였다. 실제로 연속 생산공정 제어기의 설정치를 상위시스템에서 주기적으로 결정하여 시스템을 운영토록 하였다.

### 2.2 객체 지향 방식에 의한 시스템 설계

상기에 언급한 시스템 구성을 설계하기 위하여 기존의 폭포수(Waterfall)방식이 아닌 반복적 방식(Iterative Method)의 한 개발 방법을 도입하였다. 시스템 설계는 객체 지향형(Object Oriented) 방식에 의한 방법을 선택하였다[2]. 반복적 방식은 시스템 제작중 변경사항을 용이하게 적용할 수 있도록 하는 특징을 가지고 있다. 객체 지향 방식은 표준화 된 UML(Unified Methodology Language)방식으로써 재사용의 효율성을 고려하였다.

다음 그림은 상위 시스템의 시스템 동작(System Behavior) 특성을 나타내는 Usecase 다이어그램이다 [3].

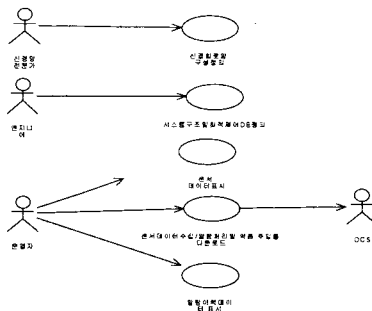


그림2. Usecase Diagram

Usecase 시스템의 Actor로써 하위시스템을 나타내는 DCS 시스템과 공정 운영자와 시스템의 Seup 및 관련 파라미터를 선택 조정하는 엔지니어, 전문가를 정의하였다. 각각에 따른 Usecase로써 신경회로망 구성정의, 시스템 구조 정의, 센서 데이터 표시, 알람 처리, 설정치 Download, 이력 데이터 표시등을 정의 하였다.

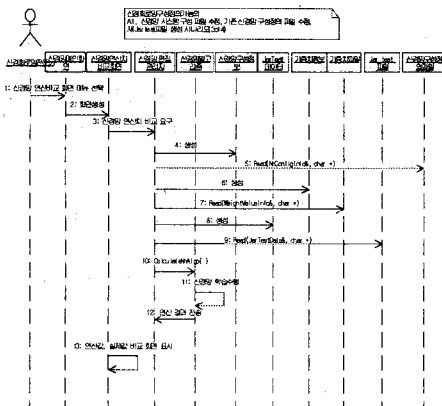


그림3. Sequence Diagram

다음은 시스템 동작을 표현한 Usecase로부터 상세한 내부 흐름을 파악하기 위하여 Sequence Diagram을 표시하였다. 그림3은 신경망 전문가가 Offline상에서 실

제로 기준이 되는 정보를 학습한 후, 기존 정보와 학습된 정보를 비교하는 기능에 대한 구현 절차(Flow of Events)를 효과적으로 나타내는 Message Sequence Diagram이다. 이를 통해 대상 객체들과 Class들을 추출할 수 있게 된다. 또한, 각 객체간의 Message들은 Class들의 Function을 정의할 수 있게 된다. 이 과정은 시스템의 분석과 설계를 연결시켜준다.

다음은 추출된 객체들과 Class들을 활용하여 시스템의 정적 구조를 표현하기 위한 Class Diagram을 설계한다. 그림4는 Class Diagram을 나타내고 있다.

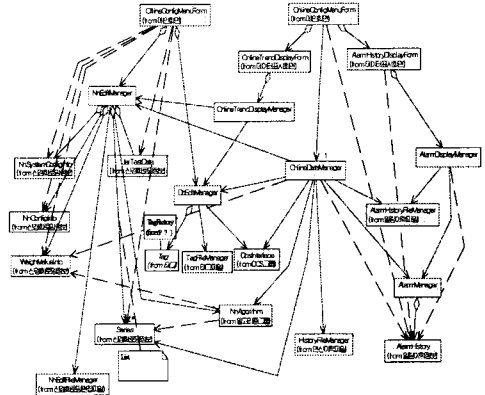


그림4. Class Diagram

업무 그룹(Business Group) Class들에 대한 관련 내용을 표현하고 있다. 각 Class들은 Association, Aggregation, Inheritance의 관계로 관계를 맺고 있다.

이러한 과정을 통하여 시스템 설계는 정형화될 수 있고, 추후 변경에 반복적으로 수정 가능토록 해준다.

### 2.3 신경회로망

신경회로망은 기존의 공정 데이터의 입출력관계가 비선형적이고, MIMO(Multi-input multi-output)의 경우에 효과적인 표현 특징을 보이고 있어서 모델링 및 제어에 응용된다. 과거의 경험적인 정보들의 집합에 기초한 의사 결정을 효과적으로 하는데 유용하다. 본 연구에서는 공정 운전원들의 경험 정보를 Off-line상에서 학습하고, 연속 공정의 운전상에서 On-line적으로 PID제어기의 설정치로 결정하기 위해 신경망 방식을 적용하였다. 본 연구에서 적용한 신경회로망은 일반적으로 안정화 특성이 좋은 역전파 방식을 채택하였다.

신경회로망의 출력  $O(k)$ 과 이상값  $T(k)$ 의 차이를 비용함수(Cost function)  $J$  또는 성능지표(Performance Index)로 하고 이를 최소화할 경우이다.

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (T(k) - O(k))^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N e(k)^2 \quad (1)$$

이러한 경우에 신경망 하중(Weighting Factor)에 대하여 해를 구하면 다음과 같다.

$$\bar{W}(k) = \bar{W}(k-1) - \eta_1 \frac{\partial e^2(k)}{\partial W(k-1)} - \eta_2 \frac{\partial e^2(k)}{\partial W(k-1)} \quad (2)$$

여기서는  $\eta$ 는 학습율(Learning Rate)이며,  $\eta_1$ 은 출력 오차에 대한 학습율이고,  $\eta_2$ 은 오차의 변화율에 대한

학습율이다.[4].

## 2.4 상위 지능형 제어 시스템 구현

계층적이고 지능형의 상위 시스템 구현은 아래와 같은 시스템 계층으로 구성되었다.

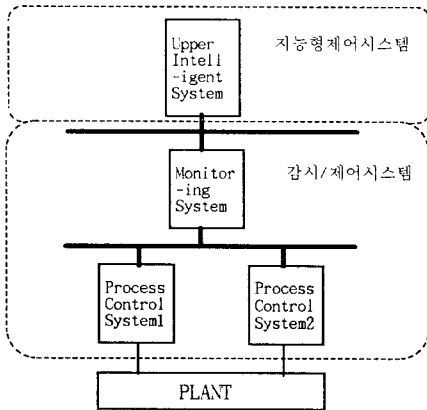


그림5. 실현된 상위 지능형 계층 시스템

그림5에서 하위 제어 시스템은 기존에 개발된 감시, 제어 시스템인 DCS(Distributed Control System)을 나타내고 있다. 본 연구에서 제안된 상위 지능형 제어 시스템은 상위 의사 결정 시스템으로써 Windows NT4.0의 운영시스템 위에 구성되었다. 시스템 구현은 Visual C++ 언어를 사용하였다.

다음은 시스템 기능을 구현한 중요 화면들을 통해 설명한다. 그림6은 Offline상에서 기존 학습 데이터(.nif 파일)를 입력하고, 관련 파라미터를 설정한 후, 학습을 수행하고 수행오차 결과를 확인하고 결정하는 화면이다. 입,출력에 관련된 정보를 설정할 수도 있다. 여기서 Offline이라고 하는 것은, 하위 시스템과 연결되지 않은 상태를 나타내고, Online은 하위 시스템과 통신 연결이 확립, 개통된 상태를 나타내고 있다. 학습된 데이터는 정의된 가중치 파일(.wgt 파일)로 저장되어 Online 계산에서 사용하게 된다. 입, 출력 변수의 지정은 시스템 자체에서 정의된 데이터 베이스 변수를 사용할 수 있도록 하였다.

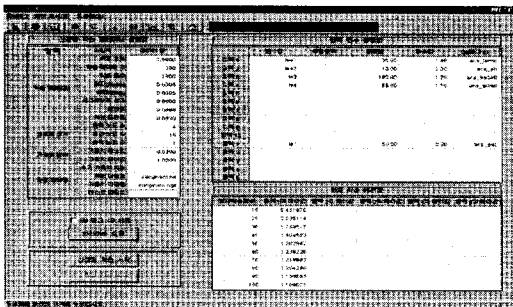


그림6. Offline 학습 화면

다음의 그림7은 Offline학습에서 학습된 정보 결과와 기존 정보를 비교함으로써 연산 결과를 상세히 비교할 수 있는 기능을 가지고 있다. 여기서는 임의의 정보를 Offline적으로 입력하고 결과를 확인함으로써, 실제로 시스템에 입력되는 정보 없이도 실험적으로 운영자가 모의실험을 할 수 있도록 하였다. 상단의 그림은 연산 결과치를 비교하여 표시한 것이고, 하단의 표는 기준이 되는 학습 데이터와 연산 결과치를 실제로 나타낸다.

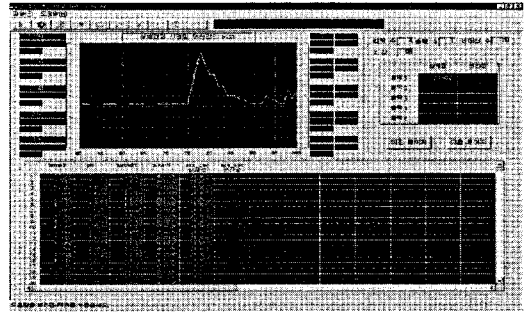


그림7. 신경망 연산 비교 화면

그림8은 시스템의 데이터 베이스를 운영하는 화면이다. 자체의 데이터 베이스는 MS-Access를 사용하였다. 하위 계층 시스템인 DCS와의 연결은 RPC통신을 통하여 수행하고 있으며, DCS시스템의 Tag 이름 데이터를 수집한 후, 연결하고자 하는 자체 Tag와 DCS Tag를 연결한 함으로써 연결 지정을 할 수 있다. 데이터 편집이 종료되었으면, 저장된 Source 데이터를 이용하여 Compile한 후, Online에서 사용할 수 있도록 필요에 따라 Reload할 수 있다.

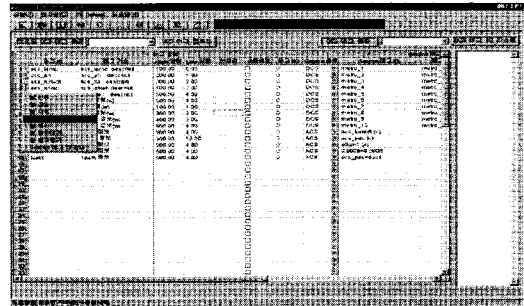


그림8. 데이터 베이스 및 하위 시스템 연결 화면

다음 그림9는 Online상에서의 연산결과를 시간적으로 추적하며 표시하는 기능을 가진다. 제안된 상위 지능형 시스템은 최소 1분의 주기로 하위 제어 시스템과 통신하며 데이터 수집하고 있으며, 수집된 입력된 데이터를 사용하여, 학습된 정보를 사용하여 출력치를 결정한다. 이 정보가 없을 경우에는 하위 제어 시스템으로 통신을 하도록 한다. 그림에서 위부분은 입력 정보를 Option별로 표시할 수 있도록 하고, 아랫 부분은 출력 정보를 표시할 수 있도록 하였다.

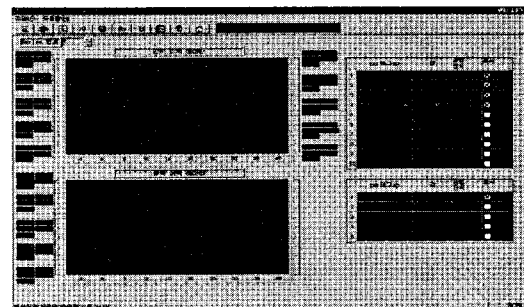


그림9. Online 연산결과 표시 추이화면

## 2.5 시스템 적용

상기에 구현된 시스템은 수자원공사 정수장에 설치되었다. 다음 그림은 상위 시스템에서 연산된 결과를 하위

제어 시스템인 DCS시스템 감시화면에서 상태 추이를 표시하고 있다. 여기서 사용된 시스템은 수처리 공정중 원수의 탁도를 조정하기 위한 약품 처리 과정의 약품 투입율 과정을 모델링 하였다. 입력 정보로는 원수의 온도, 알카리도, Ph, 탁도를 사용하고, 출력으로는 계산된 약품투입율이 된다. 계산된 투입율은 DCS의 RSV (Remote Set Value)로 연결되어 졌다. 그림에서 알 수 있듯이 현재 상태에서 계산된 투입율 연산 결과가 10,398 ppm으로써, 이 데이터는 PID제어기의 RSV로 사용되고 있다.

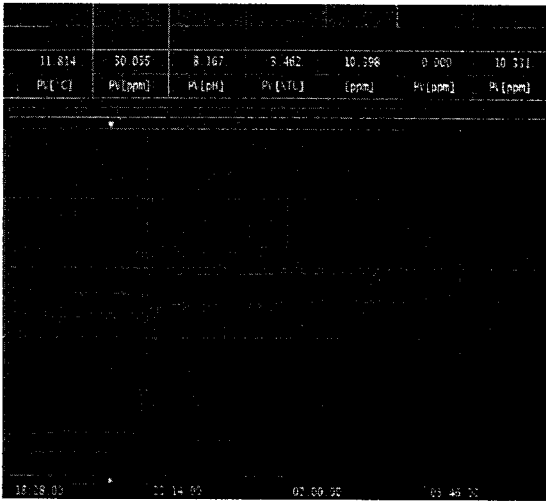


그림10. 제어 시스템 적용 결과

### 3. 결 론

본 논문에서는 종합적이고 효율적인 연속형 공정제어 자동화 시스템 구축을 위한 상위 지능형 계층 시스템의 구성을 제안하고, 실제적인 구현을 위해 객체지향방식의 설계방식을 도입하여 시스템을 실현하였다. 지능형 의사결정 방식으로는 신경회로망 방식을 사용하였다. 본 시스템의 효율성을 실제 시스템 적용함으로 보였다. 또한, 설계, 제작된 시스템은 고급제어 알고리즘을 추가하고 적용하기 용이하게 확장성과 일반성을 고려하였다. 본 시스템을 효과적으로 사용하기 위하여는 기준 학습데이터의 정확성과 충분성이 보장되어야 한다. 이를 위해 유용한 정보 습득을 위한 데이터 마이닝 기법 적용이 추후 연구되어야 할 내용이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Antsaklis Tapnos의 다수, "Defining intelligent control", IEEE Control Systems Magazine, 1994
- [2] "Object Oriented Analysis and Design With C++", Rational Software Corp.
- [3] 이봉국, "설계서 및 시운전 보고서", 수도권 5단계 사업 보고서, 1999
- [4] 남의석, "상수처리 시스템의 지능형 약품투입율 자동연산 Package개발", LG산전위탁결과보고서, 1996.