

# 생산공정을 위한 지능제어 이론의 응용과 추세

조형석 · 박영준 · 김영선

## Trend and Application of Artificial Intelligence-Based Control for Manufacturing Processes

Hyung-Suck Cho, Young-Jun Park and Young-Sun Kim



- 조형석 (한국과학기술원 정밀공학과)
- 1944년생
- 제어 및 자동화를 전공하였으며, 인공지능을 이용한 제어 및 계측분야에 관심이 있다.



- 박영준 (한국과학기술원 정밀공학과)
- 1965년생
- 공정제어를 전공하였으며, 인공지능을 이용한 제어분야에 관심이 있다.



- 김영선 (한국과학기술원 정밀공학과)
- 1967년생
- 공정제어를 전공하였으며, 인공지능을 이용한 제어분야에 관심이 있다.

### 1. 머리말

최근 들어 인간의 두뇌나 유전자의 생물학적 기능들을 모사한 지능제어 기법의 급속한 발전에 힘입어 이를 생산 현장에 응용하고자 하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 이 지능 제어기법은 인간이 지닌 학습능력은 물론 추론능력과 인식능력 등을 구현하고자 하는 것으로, 이의 대표적인 것으로는 신경회로망이나 퍼지 논리, 전문가 시스템, 유전자 알고리즘 등이 있다.

생산공정에서 사용되는 거의 모든 제어대상 플랜트나 시스템들은 비선형적이고 불확

실한 특성을 내포하고 있다. 종래의 제어기법들은 이러한 시스템들을 수학적으로 단순화시켜, 그 단순화된 모델을 바탕으로 제어하는 것을 기본으로 하고 있는데, 이러한 방법은 시스템의 여러가지 정보의 손실을 초래하여 제어기 전체의 성능을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 지능 제어 기법을 생산현장 플랜트에 적용함으로써, 종래의 제어기법들에 비해 향상된 제어 성능을 기대할 수 있다.

이 글에서는 이러한 기법들에 대한 이론의 소개 및 용접, 조립, 레이저 경화 등과 같은 생산공정과 로봇 제어분야 등에 적용한 사례 연구를 살펴보고, 이를 통하여 지능 제어 기

법의 유용성을 살펴 보기로 한다.

## 2.2 퍼지제어

### 2. 지능 제어 이론

#### 2.1 신경회로망 제어

일반적으로 제어기를 설계하기 위해서는 시스템의 입출력 특성에 대한 정확한 정보가 필요한데, 대부분의 경우에 앞에서 설명한 바와 같이 주어진 시스템의 특성을 정확하게 안다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 선형적인 모델을 토대로 설계된 제어기에서 좋은 성능을 기대하기는 매우 어렵다.

위의 문제점을 극복하기 위하여, 신경회로망을 이용한 제어 기법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>(1,2)</sup> 이 신경회로망은 대규모 병렬 처리 능력, 많은 자유도, 비선형 특성, 그리고 적응 학습능력, 시스템 모사(identification) 등의 장점을 가지고 있고, 대부분의 제어 문제에서 수학적 모델이 없는 시스템이라 하더라도 입출력이 명확히 정의될 경우에는 제어 목적에 따라 처리하는데 필요한 뉴런의 수가 비교적 작아도 되므로 신경회로망을 이용한 제어는 점차 확대되는 추세에 있다.

신경회로망을 이용한 제어 분야는 크게 다음 네 가지 기능들로 나누어 볼 수가 있다. 첫째는 여러 개의 센서로부터 들어오는 정보를 이용하여 대상 공정의 고장 상태를 진단하거나 또는 특성이나 구조를 모델링하는 기능이고, 둘째는 인간이 하는 행동들을 기계가 따라 하도록 학습시키는 기능이며, 셋째는 대상 공정의 특정 변수들이 원하는 값을 유지 할 수 있도록 하는 기능이고, 마지막으로 넷째는 어떤 목적 함수 값을 최대 또는 최소로 하도록 하는 최적화 기능으로 생각할 수 있다. 또한, 제어 시스템에서 신경회로망 제어기의 학습 구조로는 간접 학습 구조, 일반 학습 구조, 특별 학습 구조<sup>(1)</sup>와 오차 교환 학습 구조<sup>(2)</sup> 등이 알려져 있다.

퍼지 논리는 1965년 Zadeh 교수에 의해 제창된 이후 입출력 관계의 정량적인 분석이 어려운 여러 가지 공정의 제어에 도입되고 있다.<sup>(3)</sup> 퍼지 논리는 기존 논리 체계보다 인간의 사고나 자연어의 특성과 많은 유사성을 가지고 있으므로 이를 이용한 퍼지 제어기는 수학적 모델을 적용하기 어렵지만 경험에 근거한 법칙이 유용한 플랜트나, 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없는 경우에 기존 제어기들보다 우수한 제어 결과를 나타낸다.

퍼지 제어기의 핵심적인 부분은 일련의 언어적 형식의 제어 규칙이며, 여기에는 퍼지 연관 관계가 포함되어 있고, 퍼지 합성 규칙에 의해서 제어 입력이 생성된다. 퍼지 제어기는 그림 1에서 보는 바와 같이 퍼지화 부분, 규칙 베이스 부분, 의사결정 부분, 그리고 비퍼지화 부분으로 구성되어 있다. 여기서 퍼지화 부분은 제어기의 입력 변수의 값을 받아들여 이것을 퍼지화하여 적절한 언어적인 값으로 변환시킨다. 규칙 베이스에는 제어 규칙이 저장되어 있으며, 의사결정 부분에서는 이 제어 규칙을 바탕으로 퍼지 논리의 추론 규칙을 도입하여 인간의 의사결정 방식을 모사하여 퍼지제어 출력을 구해준다. 마지막으로 비퍼지화 부분은 퍼지 출력 값에 상응하는 실제 값으로 변환시켜 주는 역할을 한다.

#### 2.3 뉴로-퍼지 제어

표 1에서 보는 바와 같이 신경회로망 제어와 퍼지 제어는 각각 장단점을 가지고 있다. 즉, 신경회로망은 학습의 기능이 있어 수학적 모델을 구하기 어려운 시스템이라 할 지라도 시스템의 입출력 특성을 모사함으로써 제어기로 사용할 수 있는 장점이 있는 반면에 논리적인 처리는 어렵다는 단점이 있

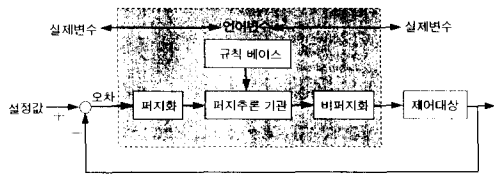


그림 1 퍼지 제어기의 구성

표 1 신경회로망과 퍼지 논리의 비교

	신경회로망	퍼지논리
차이점	학습기능 (learning)	논리성 (logicality)
공통점	뉴런의 비선형 출력특성 (sigmoid)	membership 함수
	일반화 특성 (generalization)	추론기능 (inference)
	뉴런의 신호전달 과정 (multiplication/ addition)	MAX-MIN operation

고, 퍼지 제어는 논리적인 처리가 가능하여 전문가의 지식을 표현함으로써 시스템의 제어기 구성이 용이한 반면에 시스템의 파라미터들이 변하여 특성이 바뀌는 경우에는 이를 보정해줄 수 있는 능력이 없다는 단점이 있다. 따라서 신경 회로망과 퍼지 논리의 장점을 최대한 살리고 단점은 서로 보완하고자 하는 연구가 많이 시도되었다. (4~8)

이러한 시도의 일환으로 퍼지 제어기로의 입출력 즉, 시스템의 오차와 오차의 변화량과 제어 입력 사이의 관계를 다층 신경회로망으로 학습하게 함으로써 단순한 다층 신경회로망이 퍼지 입출력 관계를 나타낼 수 있도록 하는 연구가 있었다. (5) 그러나 이후에는 표 1에서 보는 바와 같이 신경 회로망과 퍼지 제어 사이에는 내부적으로 볼 때 유사한 공통점이 많다는 것에 기초하여 신경회로망의 각 노드간의 연결 강도에 퍼지 제어기

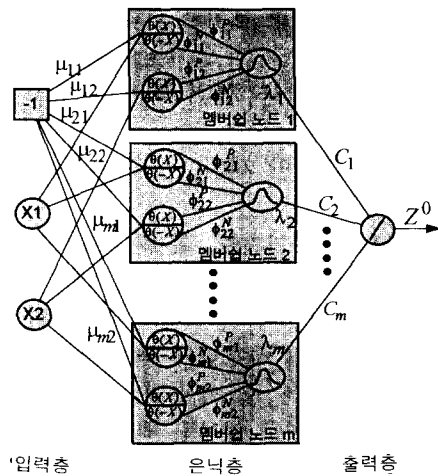


그림 2 뉴로퍼지 제어기

의 각 파라미터를 포함시키고, 각 노드의 활성화 함수를 퍼지 멤버십 함수의 형태가 되도록 만들어 줌으로써 신경회로망과 퍼지제어기가 보다 완벽한 접목이 이루어지도록 하였다. (6~8) 이러한 신경회로망과 퍼지제어기의 접목에 의한 뉴로-퍼지 제어기는 여러 가지 장점을 가지게 되는데 첫째는 퍼지규칙이 상황의 변화에 따라 적응적으로 변화되어 제어 성능이 개선되어 진다는 점이고, 둘째는 신경회로망을 통하여 퍼지논리를 구현하므로 신경회로망의 병렬 처리 성능으로 인해 계산 시간이 빨라진다는 점이다. 마지막으로 신경회로망의 학습에서 문제가 되는 국부극소점 (local minimum)으로의 수렴 문제가 어느정도 해결 될 수 있다는 것이다.

그림 2는 이러한 뉴로-퍼지 제어기의 대표적인 예를 보여준다. (6) 이 뉴로-퍼지 제어기는 다음과 같이 표현되는 퍼지 제어기의 퍼지화, 비퍼지화, 그리고 퍼지 추론의 과정을 모사하게 된다.

$$R_i; \text{ IF } X \text{ is } A_i \text{ THEN } z \text{ is } c_i$$

$$z_0 = \sum_i \lambda_i c_i$$

$$\lambda_i = A_i(X) \quad (i=1, 2, \dots, m)$$

여기서,  $R_i$ 는  $i$ 번째의 제어규칙,  $X$ 는 입력

변수,  $c_i$ 는 출력 퍼지집합의 중심값,  $A_i(X)$ 는 비대칭 가우시안 함수로 정의한 다차원의 멤버십함수,  $\lambda_i$ 는 현재의 입력에 대한 전전부의 진리값, 그리고  $z_n$ 는 추론된 제어 입력이다. 이렇게 구성된 뉴로-퍼지 제어기의 학습은 기본적으로 다층 신경회로망의 구성을 가지고 있으므로 일반화된 오차 역전파법을 사용하고 학습을 위한 구조는 앞 절에서 설명한 신경회로망 제어기의 구조를 갖게 된다.

#### 2.4 전문가 시스템

전문가 시스템은 인간이 갖고 있는 지식과 추론 능력을 컴퓨터를 이용하여 구현한 대표적인 시스템으로, 지식 베이스와 규칙 베이스 그리고 추론 기관으로 구성된다. 실 시간 제어분야에서는, 제어 대상 시스템에 대한 정보를 모두 알지 못하여, 종래의 제어 기법으로 원하는 목적을 이룰 수 없는 경우에 대한 대안으로 사용하기 시작하였다.

전문가 시스템을 실 시간 제어에 사용하기 위하여는, 다음과 같은 사항을 고려해야 한다. 첫째는, 시간이 경과함에 따라 수치로 변하는 환경을 고려한 추론(temporal reasoning)이 요구된다. 둘째는 외부와 정보교환을 할 수 있어야 하고, 셋째는 비 동기적으로 일어나는 여러 가지 사건들에 대한 대처 능력이다. 마지막으로 비정상적인 제어로 인한 제어 대상 시스템의 고장이나 손상을 방지하기 위한 제어 안정성을 확보해야 한다.

이상과 같은 여러 가지 조건들 모두 만족하는 전문가 시스템은 아직 나와 있지는 않으나, 실 시간 제어를 위한 한 예를 들면 네덜란드에서 개발된 DICE를 들 수 있다.<sup>(9)</sup> 이 시스템은 크게 세 개의 부시스템(subsystem)으로 나뉘어져 있다. 첫번째 시스템은 비교적 간단한 규칙과 제어 타이밍에 관한 지식을 갖고, 수 밀리 초의 샘플링 시간내에 제어 대상 공정과의 통신 역할을 수행한다.

두번째 시스템은 공정에 관한 규칙 베이스와 제어에 필요한 추론 기관으로 이루어져 있다. 여기에서는 프로그래시브 추론기법(progressive reasoning)을 이용하였는데, 이는 여러 개의 추론 단계를 통해 이루어진다. 이 시스템이 시작되면, 처음 단계의 추론부터 시작하여 다음 단계로 추론이 이어진다. 만일 최종 단계까지의 추론이 끝나지 않은 상태에서 요구 시간이 경과하면, 최적의 결과가 얻어지지 않더라도 가장 최근의 단계에서 만들어진 결과가 제어 신호로 출력된다. 세번째 시스템은 퍼지 논리 시스템으로 구성되어 있다.

이상에서 간단히 실 시간 제어에 요구되는 전문가 시스템의 기능과 한 예를 살펴 보았는데, 이 분야에서 아직 해결해야 할 과제가 산적해 있다. 이러한 문제는 전문가 시스템 뿐만 아니라 종래의 제어 기법은 물론 최근에 활발히 연구가 되고 있는 인공 지능을 이용한 제어 기법과의 접목을 통하여 해결될 것으로 기대된다.

#### 2.5 유전자 알고리즘(GAs ; Genetic Algorithms)

유전자 알고리즘은 다윈의 진화론에 그 기초를 두며, 적자생존과 돌연변이의 원리를 모방한 것이다. 이는 주어진 환경하에서 그 환경에 가장 적합한 개체만이 살아 남으며 이들 형질에 돌연변이가 작용함으로써 진화해간다는 학설이다. 이러한 과정은 주어진 조건에 대한 최적의 해를 구해나가는 일종의 최적화 기법이라고 볼 수 있으며, 이에 착안하여 공학에 응용하려는 시도가 80년대부터 이루어졌다.<sup>(10)</sup> 이후 최근 10여 년간 유전자 알고리즘은 자연계 상태의 관찰을 통하여 또한 기존의 여러 이론과의 결합을 통하여 많은 발전을 이루었다.

최근에는 시스템의 제어를 위해 유전자 알고리즘을 적용하려는 연구가 시도되고 있는

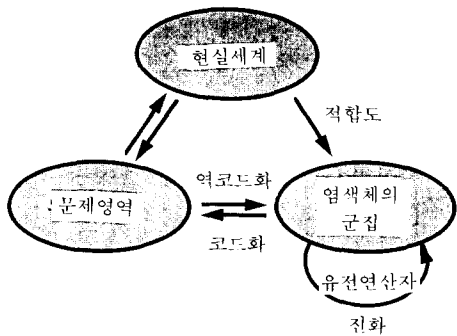


그림 3 유전자 알고리즘

데, 이는 시스템의 제어에 유전자 알고리즘이 직접적으로 이용되는 것이 아니라 제어기의 설계에 필요한 제어기의 변수들을 최적화시키는 데에 응용이 이루어지고 있다.<sup>(11)</sup> 이것은 제어기의 설계가 주어진 시스템에 대한 일종의 최적화 과정이므로 이러한 제어기의 설계변수들을 유전자 알고리즘을 이용하여 정하고자 하는 것이다. 이러한 유전자 알고리즘에서는 유전정보를 포함하는 염색체(chromosome)를 기본으로 하여 진화에 필요한 여러가지 작용을 하게 된다. 따라서 그림 3에서 보는 바와 같이 실세계에서의 문제를 그 문제의 정보를 포함하는 염색체의 형태로 바꾸고, 이들 염색체에 대해 교차(crossover), 돌연변이(mutation) 등의 재생산(reproduction)과정을 거쳐 다음 세대의 염색체들을 만들어내게 된다. 이때 염색체가 포함하고 있는 형질의 적합도를 판단하여 가장 적합도가 높은 순서대로 다음 세대에 영향을 미치게 된다. 이를 통해 최종적으로 주어진 환경에 가장 적합한 형태를 갖는 염색체를 얻게 되고 이것이 실제 세계로 표현되면 최적해의 형태가 되는 것이다.

### 3. 지능 제어의 필요성 : 생산공정의 특성

생산공정 작업의 최종적인 목표는 빠른 시

간 내에 균일한 양질의 제품을 생산하는데 있다. 예를 들면 사출 공정에서는 결함(방향성, 수축, 기포)이 없는 원하는 치수의 플라스틱 제품을 생산하여야 하며, 용접 공정에서는 기포가 없는 원하는 깊이의 용융지를 얻어야 한다. 그리고 절삭 가공에서는 치수 정밀도 및 표면 거칠기의 사양을 만족하는 가공물을 얻는 것이라고 볼 수 있다. 따라서, 어떤 생산공정이든 원하는 제품의 품질의 얻기 위해서는 생산공정의 동작 상태를 예측하고, 이에 관련된 정보를 제어기에 공급하여 필요한 순간에 공정의 조작 조건을 제어해야 한다. 이러한 과정을 요약하면 ① 공정 상태 변수 측정 (품질 관련 변수) 및 신호처리, ② 제환 제어기 설계, ③ 품질 평가의 단계로 나눌 수 있다. 위의 과정 중 공정에 따라 차이는 있지만 어느 과정도 쉽게 해결할 수 있는 것이 없으며, 특히 공정 제어기 설계는 더욱 어려운 문제이다. 이는 생산 공정에서 제품이 생산되어 나오는 과정이 매우 복잡하고 상태가 변수에 많이 좌우되기 때문이다. 즉 제어 대상인 생산공정과 외란의 동 특성이 극히 비선형적이고 복잡하고 불확실하고 다양하기 때문에, 이러한 시스템의 동 특성 모델을 정확히 구한다는 것은 매우 힘든 일이다. 따라서 이러한 특성을 갖는 생산공정을 효율적으로 제어하기 위하여는 동 특성 모델을 필요로 하지 않는 지능 제어의 적용이 불가피하다.<sup>(12)</sup>

## 4. 생산공정에서의 응용 사례

### 4.1 GMA용접 공정

GMA용접 공정은 가장 널리 알려진 금속 결합 방법의 하나로서, 모재와 용접봉 사이에 높은 전류를 통과시킬 때 발생하는 아크에 의해 모재와 용접봉을 용융시켜 접합시키는 방법이다. 이러한 용접 공정에서는 품질을 대변하는 변수로 용융부의 비드 폭과 용

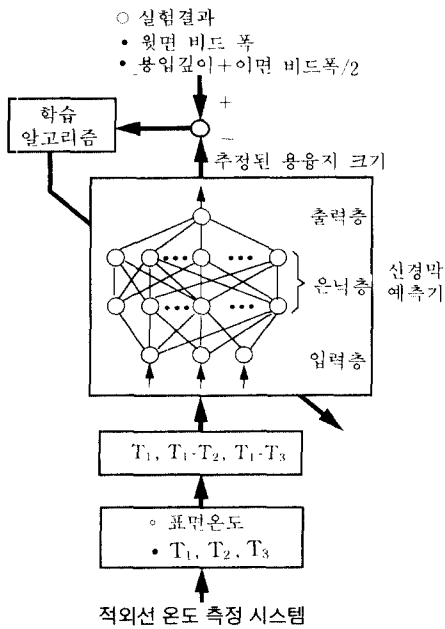


그림 4 신경회로망 예측기의 학습

입 깊이를 들 수 있다. 이러한 용접 변수중 모재 내부에 형성되는 용입 깊이는 실시간으로 측정이 불가능한데, 표면의 온도를 이용하여 용융부의 크기를 간접적으로 예측하는 방법이 연구되었다.<sup>(13)</sup>

용접 중 용접물의 내부에는 열 유동에 의한 온도 분포가 야기되고, 이러한 분포는 재료의 표면으로 이어지며, 따라서 표면에서 측정된 온도 분포는 용융지의 형성과는 깊은 관련이 있다. 그러므로 용접물 표면에서의 온도 분포를 알면 이를 이용하여 용융부의 크기를 간접적으로 추정할 수 있다. 그러나 온도 분포와 용융지의 크기와는 매우 비선형적인 관계를 가지고 있어서 수학적인 모델을 만들기가 매우 어렵기 때문에, 신경회로망을 이용하여 이러한 비선형을 극복하고 입출력 관계를 사상하였다. 그림 4에 다층 신경회로망을 이용하여 용융지의 크기를 예측하는 방법을 나타내었다. 신경회로망은 다양한 용접 조건으로 행한 실험으로부터 72개의 표면 온도와 여기에 상응하는 용융지의 크기 지수를

사용하여 학습되었고, 학습된 신경망 예측기는 다소 학습 패턴과 차이가 있더라도 입력에 상응하는 출력으로서 좋은 정밀도를 가지고 용접부 크기를 추정하였다. 용접 중에 이와 같이 추정된 용접부의 크기를 이용하여 용접부의 크기를 제어하는데 이용되었다.

## 4.2 조립 공정

조립자동화는 조립될 부품에 대한 매우 정교한 위치 정밀도와 주변환경에 대한 정확한 정보를 필요로 한다. 그러나 실제 조립작업은 위치오차, 마찰 등과 같은 불확실성과 비선형성을 내포하고 있으며, 위치오차와 힘정보간의 관계는 매우 애매하고 부정확하다. 더욱이 정밀을 요구하는 조립 작업에서는 일반 조립과는 달리 로봇만을 사용해서 두 부품간의 위치를 조정한다고 해서 조립이 성공적으로 이루어질 수 없다. 이는 부품간의 허용 위치 오차가 매우 작기 때문에 현재 상용화된 로봇의 정밀도로는 불가능하기 때문이다.

이러한 어려움을 극복하기 위해 퍼지 알고리즘을 이용한 자기 학습규칙 조립방법이 제안되었다.<sup>(14)</sup> 이것은 강화학습 방법을 이용하여 조립작업이 효과적으로 잘 수행될 때까지 퍼지 규칙베이스를 개선시켜 나가는 방법이다. 그림 5는 제안된 조립 알고리즘의 블록선도를 보여준다. 이 조립 알고리즘은 크게 두 개의 부분으로 구성된다. 하나는 퍼지 제어기로서 작업시 발생하는 힘, 모멘트를 입력으로 받아 이에 대응하는 보정운동을 출력으로 생성해준다. 이러한 입출력 관계를 결정해주는 것이 퍼지 규칙 베이스이다. 또 하나는 학습메카니즘으로서, 이것은 두 개의 뉴런과 유사한 원소로 구성이 되며, 학습기능을 통하여 작업의 수행에 적합한 규칙베이스를 스스로 구축해준다. 따라서 조립작업시 원통과 구멍의 접촉에 의해 힘이 발생하면 학습이 완료된 퍼지 제어기는 이 힘에 대응

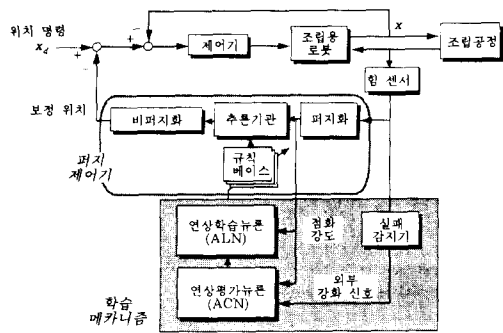


그림 5 피지논리를 이용한 조립공정의 블록선도

하여 보정운동을 생성한다. 그러면, 로봇은 새로운 기준입력에 따라 움직이게 되어 조립 작업은 원활히 수행될 수 있다.

제시된 알고리즘의 실험결과는 학습이 진행됨에 따라 작업이 수행되는데 필요한 단계의 수는 감소함을 알 수 있다. 이는 점진적으로 피지규칙이 조립공정에 알맞는 값으로 학습됨을 보여준다. 따라서 피지규칙은 조립에서 발생하는 불확실성을 극복할 수 있고, 또한 규칙학습 메카니즘은 학습기능을 통하여 작업의 수행에 적합한 규칙을 스스로 구축할 수 있음을 알 수 있다.

### 4.3 레이저 표면경화처리 공정

고출력의 레이저에 의한 강재의 표면 경화처리 공정은 재료의 표면에 레이저 빔을 조사시켜 재료 내부로의 열전도에 의해 표면의 국부적인 층만을 경화시키는 공정이다. 이 공정에서 사용하는 레이저는 단위면적당 입열량이 일정한 사각형의 형상을 가진 레이저 빔(rectangular LASER beam)을 사용한다. 이 레이저 빔을 재료의 표면에 조사시키면 표면의 온도는 재료의 용융 온도 부근까지 급속히 가열되고, 계속해서 레이저 빔이 이동하면 표면에 집속된 열은 치밀하게 연속된 지지 조직 내부로 급속히 전달되면서 표면층은 높은 냉각률을 갖게 되어 정상적인 고체

상태가 이루어지지 못하고 준 안정 조직인 마르텐사이트 조직으로 변태된다. 이렇게 경화된 표면의 얇은 경화층은 일정한 마르텐사이트 조직의 분포를 가지게 되고, 기저 조직은 거의 영향을 받지 않게 되어 기계적으로 우수한 특성을 지니게 된다.

그러나 레이저를 이용한 금속의 표면 경화공정은 금속 표면의 흡수체의 코팅 두께와 재료의 형상, 가공 속도 및 빔의 세기 등의 매개변수에 따라 가공의 재현성이 떨어지는 문제점을 지니고 있다. 따라서 이러한 난점을 극복하여 경화층의 질을 개선시키기 위해서는 공정의 제어가 이루어져야 하고 공정변수를 선정해야 한다. 경화층의 질을 대변할 수 있는 공정 변수로는 경화층의 깊이와 같은 기하학적 형상이 있는데, 이를 공정중에 실시간으로 측정한다는 것은 불가능한 일이므로, 측정 가능한 표면의 여러 점 온도를 이용하여 경화층의 깊이를 간접적으로 추정하는 연구가 있었다.<sup>(15)</sup> 그림 6에 다층 신경회로망을 이용하여 경화층의 깊이를 예측하는 방법을 나타내었다. 신경회로망은 다양한 가공 조건에 대해 3차원 비정상상태의 FDM 모델의 해석을 통하여 얻은 표면의 다점 온도 분포와 여기에 상응하는 경화층의 깊이의 값을 사용하여 학습되었다. 학습된 신경망

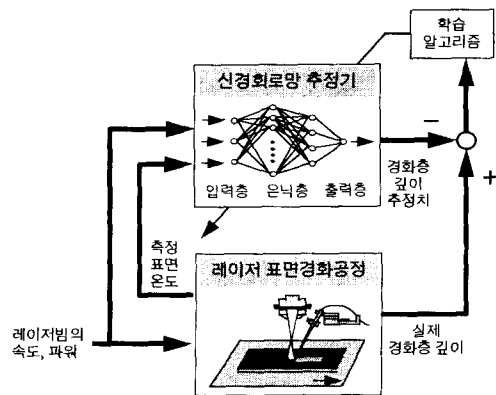


그림 6 레이저 표면경화공정 : 경화층깊이의 추정 신경망의 학습

예측기는 다소 학습 패턴과 차이가 있다라도 입력에 상응하는 출력으로서 좋은 정밀도를 가지고 경화층의 깊이를 추정하여 신경회로망 추정기가 경화층의 추정기로서 잘 동작되고 있음을 확인하였다.

#### 4.4 지능 제어 이동 로봇의 항법 알고리즘

최근의 이동 로봇 분야에서는 바닥에 설치된 자기테이프를 따라가는 기존의 단순한 공장형 로봇이 아니라 스스로 자기 위치를 파악하고, 주위환경을 인식하여 주어진 작업을 수행할 수 있는 지능화된 로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 로봇을 구현하기 위해서는 각종 센서 시스템에서 얻어진 정보를 이용하여 미지의 환경하에서 스스로 학습을 통하여 실시간으로 경로를 생성하는 지능적인 항법 알고리즘이 필요한데, 이러한 연구의 한 예로서 퍼지 이론과 강화 학습법을 이용한 이동 로봇의 항법 알고리즘을 들 수 있다.<sup>(16)</sup>

이동 로봇이 미지의 환경에서 주어진 작업을 진행하기 위해서는 여러 가지 센서를 이용하여 주위의 환경에 대한 입력 정보를 생성시키고, 이를 토대로 로봇의 거동을 결정하게 되는데, 이러한 로봇의 거동 결정의 논리로써, 퍼지 이론을 적용할 수 있다. 이동 로봇의 거동은 목적지 탐색 거동(goal-seeking behavior)과 장애물 회피 거동(obstacle avoidance behavior)으로 나눌 수 있다. 이러한 로봇의 거동은 조향 각도와 진행 속도등의 출력 형태로 나타나게 된다. 로봇은 센서로부터의 입력 변수와 로봇의 거동을 결정하는 출력 변수와의 관계를 논리적으로 연관시킨 지식베이스의 추론에 따라, 이러한 두 가지 거동을 적절히 선택하면서 주어진 작업을 수행하게 된다. 그러나 충분한 성능을 발휘할 수 있는 지식베이스를 구축하는 것은 매우 어려운 과제이다. 이러한 문제

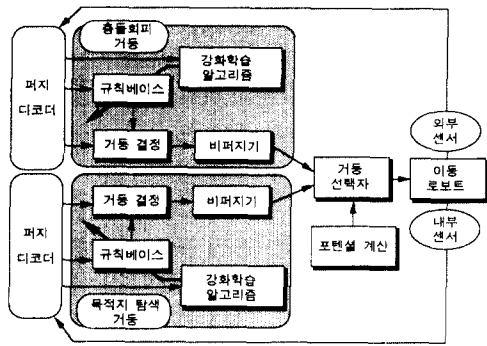


그림 7 퍼지논리와 강화 학습법을 이용한 이동 로봇의 항법 시스템

를 해결하는 한 가지 방법으로서는, 이동 로봇이 스스로 지식베이스를 학습하게 하는 강화 학습법이 적용되었다. 그림 7은 이러한 항법 알고리즘의 구성을 나타낸 것이다.

시간  $t$ 에서의 제어 지령에 따라 로봇을 구동하였을 때, 장애물과 충돌하거나 목표 지점으로부터 멀어지는 현상들이 발생하게 된다. 이러한 현상으로부터 제어결과의 성패를 판단할 수 있으며, 이 판단에 따라 강화 신호(reinforce-ment signal)가 생성된다. 강화 학습 알고리즘은 이 신호를 이용하여 규칙 베이스를 새로이 수정한다. 이러한 학습 과정을 여러가지 환경에서 반복하면, 충분히 학습된 규칙 베이스를 얻을 수 있다. 이러한 학습은 컴퓨터 시뮬레이션으로 진행할 수 있으며, 학습 결과 얻어진 규칙 베이스를 실제의 로봇에 적용하여 그 성능을 입증하였다.

#### 5. 맺음말

생산공정은 그 동특성이 극히 비선형적이고 복잡하며 또한 불확실하다는 특성을 갖고 있다. 이러한 시스템의 모델을 정확히 구한다는 것은 매우 힘든 일이다. 기존의 제어 기법으로는 이러한 시스템을 단순화시킨 모델에 의존하기 때문에, 원하는 제어 성능을 얻기에는 곤란한 경우가 많이 발생하게 된



다. 따라서 이러한 시스템을 제어하기 위하여는 수학적 모델을 필요로 하지 않는 지능 제어의 적용이 요구된다. 생산공정을 제어하기 위하여는 공정의 상태 변수의 측정과 제어기의 설계 그리고 품질 평가의 단계로 나뉘어진다. 이 글에서는 이러한 생산공정을 효율적으로 제어하기 위한 여러가지 지능제어의 이론들, 즉 신경 회로망, 퍼지 논리, 뉴로-퍼지 기법, 전문가 시스템 그리고 유전자 알고리즘에 대하여 살펴보았다. 그리고 이러한 지능 제어 이론을 용접 공정, 조립 공정, 레이저 표면처리 등의 생산 현장에 적용한 사례연구와 이동 로봇에 적용한 예를 통하여 지능 제어 기법들의 유용성을 살펴보았다. 이 사례연구들의 결과를 보면, 지능 제어 기법들이 기존의 제어 기법으로 해결 불가능한 복잡한 시스템의 제어에 효율적으로 사용됨을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- (1) Psaltis, D., Sideris, A. and Alan A. Yamamura, 1988, "A Multilayered Neural Network Controller," *IEEE Control Systems Magazine*, pp. 17~20.
- (2) Gomi, H. and Kawato, M., 1990, "Learning Control for a Closed Loop System using Feedback-Error-Learning," *Proceeding of the 29th IEEE Conference on Decision and Control*, pp. 3289~3294.
- (3) 조형석, 범희락, 차동혁, 1994, "퍼지응용 Multi-Loop Controller의 제어 알고리즘 개발," 한국과학기술원 위탁연구보고서.
- (4) 박철훈, 1992, "Neuro-Fuzzy 제어," 신경회로망 컴퓨터, 한국과학기술원, pp. 9. 1~9.11.
- (5) 이민호, 이수영, 박철훈, 1992, "신경회로망을 이용한 시스템의 퍼지모델링," 제3회 신경회로망 연구회 학술대회, pp. 137~142.
- (6) Kim, C. H. and Cho, H. S., 1993, "Design of a Neuro-Fuzzy Controller for Hydraulic Servo Systems," *KSME*, Vol. 17, No. 1, pp. 101~111.
- (7) Horikawa, S., Furuhashi, T., Okuma, S. and Uchikawa, Y., 1990, "A Fuzzy Controller Using a Neural Network and Its Capability to Learn Expert's Control Rule," *Int. Conf. on Fuzzy Logic and Neural Network*, pp. 103~106.
- (8) Nakanish, S., Takago, T., Unehara, K. and Gotoh, Y., 1990, "Self-Organizing Fuzzy Controllers by Neural Networks," *Int. Conf. on Fuzzy Logic and Neural Network*, pp. 187~191.
- (9) Krijgsman, A. J., 1990, "A Real-Time Intelligent Control Environment," *Proc. Europ. Simulation Symp.*
- (10) Maza, M., 1994, "The Fifth International Conference on Genetic Algorithms: Report," *AI Magazine*, pp. 83~85.
- (11) Wang, P. and Kwok, D. P., 1994, "Optimal Design of PID Process Controllers Based on Genetic Algorithms," *Control Eng. Practice*, Vol. 2, No. 4, pp. 641~648.
- (12) Kim, J. S., Cho, H.S., Lappe, W., Gao, S. and Budde, L., 1993, "A Quality Estimation Method for Clinching Processes via Neural Network," *ASME, '93 WAM*, New Orleans, U.S.A..
- (13) 임태균, 조형석, 부광석, 1994, "신경회로를 이용한 GMA 용접공정에서의 용융지의 크기 제어," 대한용접학회지, 제12권, 제1호, pp. 59~72.
- (14) Park, Y. K. and Cho, H. S., 1994, "A Self-Learning Rule-Based Control Algorithm for Chamferless Parts Mating," *Control Engineering Practice*, Vol. 2, No. 5, pp. 773~783.

- (15) 박영준, 우현구, 조형석, 한유희, 1993, "레이저 표면경화공정에서 신경회로망을 이용한 경화층깊이의 추정," 한국자동제어학술회의, pp. 212~217.
- (16) 범희락, 1994, "AI 기법을 이용한 이동로봇의 항법 및 장애물 감지에 관한 연구," 박사학위 논문, 한국과학기술원. 