

기하학적 관계를 바탕으로 한 가공공정 관리한계의 실시간 획득에 관한 연구

홍 준 희*

A study for the real-time acquirement of cutting process control limit based on geometrical relations

Jun-Hee Hong*

ABSTRACT

The purpose of this research is to develop a new real-time process control system. In this paper, a theoretical method for acquiring the control limit of cutting process(cutting surface) according to the required value(geometric tolerance) based on geometrical relations was proposed. In particular, the three following points are emphasized. Firstly, the process control was based on the cutting process, and the control limit was determined from the analysis of geometrical relations. Secondly, AMGD(Actual Measured Geometrical Deviation) was used as a new substitute value in process analysis. Thirdly, fuzzy reasoning was introduced to get the control limit flexibility according to the variations in the required value and general consideration of each measurement items.

Key words : cutting process(가공공정), process analysis(공정 분석), geometric tolerance(기하 공차), control limit(관리 한계), AMGD(Actual Measured Geometrical Deviation;실제형상값), geometrical relations(기하학적 관계), fuzzy reasoning(퍼지 추론)

1. 서 론

고도 정보화 사회의 발전에 의해, 다양화 하는 시장 환경의 변동에 유연하게 대응할 수 있는 생산 방식으로 CIM(Computer Intergrated Manufacturing)이 각광을 받고 있다. CIM에 있어서의 가장 중요한 목적

의 하나는, 고품질, 고신뢰성의 확보이다. 이와 같은 상황에 있어서 공정 관리를 생각할 때, 생산 시스템의 각 공정을 계획에 의해 평가하는 것이 중요하게 되고 있다. 그러나 각각의 공정에 있어서 필요로 되는 측정 항목은 다르고 측정 수단도 여러가지가 필요로 된다. 이와같이 서로 다른 측정 항목을 일반적으로 취급하여,

* 충남대학교

공정 관리를 행하는 과정에서 필요로 되는 공정의 상태를 평가하는 수법의 요구가 커지고 있다.⁽¹⁾ 또한 종래의 공정 관리 특히, $\bar{X}-R$ 관리도 등에 의한 관리 방법 등은 제품 중심적이며, OFF-LINE 관리 방법으로 요구의 변화 및 그에 따른 고품질의 생산에 유연성있게 대응할 수 없는 결점이 있다. 이러한 상황에 대응하기 위해서 품질 관리를 공정 중심적으로 행하는 반면, 신속한 ON-LINE 공정 관리가 가능한 새로운 공정 관리법의 필요성이 높아졌다. 그러므로 본보에서는 실제 공정의 요구값(기하 공차)에 대응하여 가공 공정의 관리 한계값을 각 공정마다 가공 공정 사이의 기하학적 관계에 바탕하여 ON-LINE 상에서 신속하게 구하여 관리에 임할 수 있도록 하는 새로운 공정 중심적 관리법을 제안한다. 더우기, 여러가지 기하학적 관계에 따른 서로 다른 측정 항목을 일반적으로 취급하기 위한 전지와 요구값(기하 공차)의 변화에 따라 유연성 있게 관리 한계값을 구하기 위한 전지에서 Fuzzy 추론에 의한 방법을 도입하기로 한다.

2. 공정 중심적인 ON-LINE 공정 관리의 기본 개념

모든 가공 부품은 가공면 사이에 기하학적 관계(직각

관계, 평행 관계 등)가 있으므로, 그 기하학적 관계를 고려 하면서 가공을 행한다. 따라서, 가공 공정에 있어서 각 공정 마다 관계하는 가공면 사이의 기하학적 관계는 여러가지이다. 이런 점으로부터 각 공정마다 관계하는 모든 기하학적 관계를 바탕으로 분석해서, 관리하고자 하는 공정(지금부터는 관리 공정이라 부른다)에 관한 관리 한계값을 ON-LINE 상태에서 신속하게 구하여 가공 공정에 정보를 제공함으로써 가공상의 고품질을 유지할 수 있도록 하는 공정 관리의 한 방법을 제안한다. 예를들면 Fig. 1(a)와 같이 직육면체 가공 부품의 가공 공정을 생각할 경우, 전부 6개의 가공 공정에 대한 가공면이 Fig. 1(b)와 같이 대응한다고 하자. 이때, 이들의 공정 중에서 관리 공정에 대해 관리 한계값을 구할 경우, 관리 공정에 대해 기하학적 관계를 갖는 다른 공정(지금부터는 관련 공정이라 부른다)과의 기하학적 관계를 하나의 관리 모델로 한다. Fig. 1(c)는 관리 공정에 있어서 관계하는 모든 기하학적 관계를 표시하고 있는 예이다. 이 예에 대해서 본 논문의 새로운 공정 관리 방법의 개념을 생각해 본다. 우선 가공 공정 중에서 관리 공정에 대하여 관계하는 3가지의 기하학적 관계를 모두 분석하여, 관리 공정에 대한 최적 관리 한계값을 구한다. 그리고 이 최적 관리 한계값을 가지고

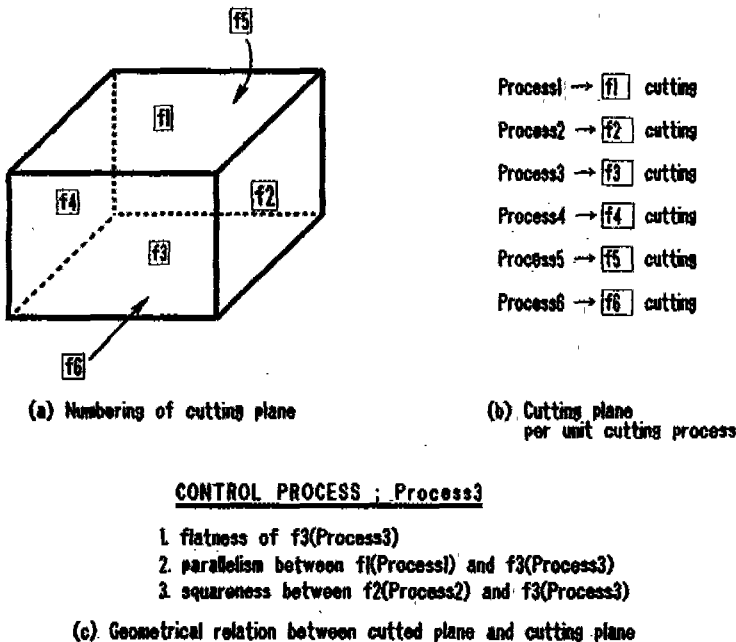


Fig. 1 All geometrical relations in cutting processes of a cubic workpiece

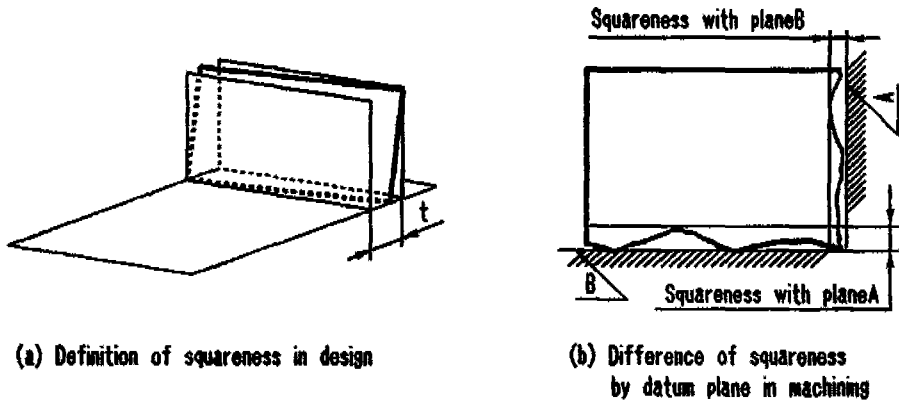


Fig. 2 Difference of squareness between design process and cutting process

관리 공정의 가공면의 최적 가공 절삭 조건을 선택하여 가공을 행하고 이에 따른 가공면의 절삭 상태를 최적 관리 한계값을 가지고 체크하면, 가공에의 최적화도 이를 수 있고, 동시에 고품질의 제품을 생산할 수 있는 공정 관리를 할 수도 있다.

가공에 있어서의 모든 형상은 설계 등 인간의 머리속에서 생각되는 이상적인 형상으로서의 「점, 선, 평면, 원통면, 구, 그 밖의 2차곡면, 자유곡면」 그 자체가 아니고, 실제로는 불규칙한 파형, 표면 거칠기를 갖는 부품 형상으로서 실현된다. 이것은 공작 기계의 정도나 가공 환경등의 영향이고, 부품 형상은 이상적인 형상과 어느 정도의 오차를 피할 수는 없다. 따라서 ISO, KS의 체계에서는 설계상의 각 기하 공차(평면도, 직각도, 평행도, 원통도, 원심도 등)를, 예를 들면 직각도를 Fig. 2(a)와 같이 정의하고 있다. 그러나 실제의 가공 형상에 있어서, 어느 가공면을 데이텀으로 나타내고 있는가에 따라서 직각도 공차가 틀림을 나타내고 있는 것이 Fig. 2(b)이다. 이와같은 기하 관계에 대응하기 위해서, 공정 관리에 있어서의 새로운 대응값으로서 실제 형상값을 도입하기로 한다.

실제 형상값은 Fig. 3과 같이 3차원 측정기를 이용해서 이산적으로 측정하고, 통계적인 수법에 의해 구하는 최소 자승면에 대해서 $\pm 2\sigma$ (σ : 표준 편차)인 곳을 실제 형상면으로 하여, 이 실제 형상면 사이의 폭을 가리키는 것으로 한다. 이러한 실제 형상값을 관련 공정의 가공면(지금부터는 관련 가공면이라 한다)에 적용하여 직각도에 관한 관리 공정의 가공면(지금부터는 관리 가공면이라 한다)의 관리 한계값을 고찰해 보자. 직각도

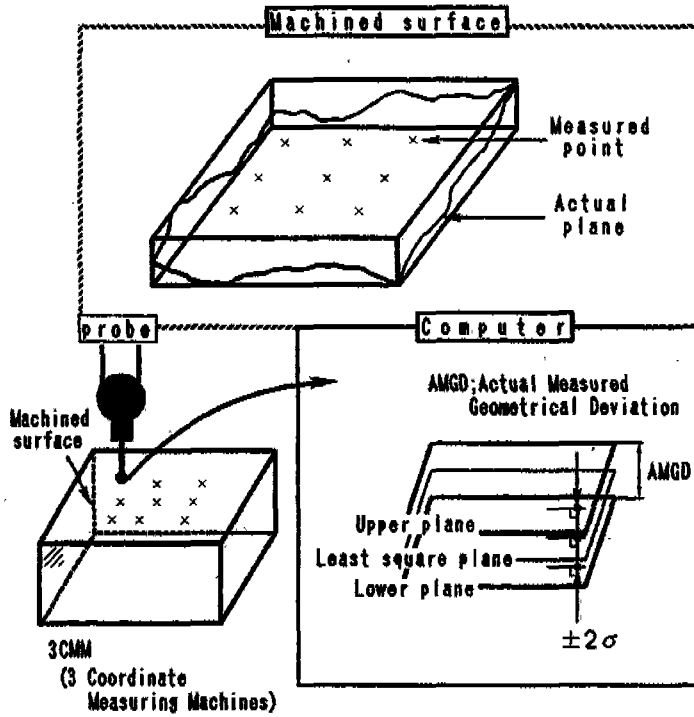
관계의 경우에 대해 예를들어 본다. Fig. 4에서와 같이 관련 가공면이 데이텀(A면)이 될 경우, 관련 가공면의 실제 형상값이 다르더라도 같은 직각도 공차 내에 들어갈 수 있는 관리 가공면의 관리 한계값은 Fig. 2의 직각도 공차 정의에 따르면 같아야 한다.

그러나 데이텀이 되는 가공면의 가공 상태에 따라서 그 가공물의 실제 직각도 오차가 상당히 다르게 되는 것을 Fig. 4(a)와 (b)를 보면 직감적으로 알 수 있다. 이러한 직각도 오차가 가공이 진행됨에 따라 누적되면 가공품 전체의 형상 오차도 크게 되어 가공품의 품질을 저하시키는 원인이 될 수 있다. 이러한 것이 대량 생산의 경우는 그다지 문제로 대두되지 않았지만, 소량 생산이면서 다양성을 추구하는 CIM과 같은 생산 시스템에 있어서는 치명적일 수도 있다. 이 때문에 데이텀이 되는 가공면(여기서는 관리 공정에 대한 관련 공정이 다)을 항상 참고 하면서 전체적인 가공품의 품질을 고려한 공정 관리를 생각하기로 한다. 다시 말하면, Fig. 5와 같이 같은 설계 데이터에서도 관련 공정의 가공 상황에 따라 관리 공정의 최적 관리 한계값을 유연하게 대응시켜 가면서, 공정 관리하는 방법을 생각하기로 한다.

3. 기하학적 관계에 바탕한 공정 분석 시스템

3.1 관리 모델

실제 형상값에 의한 기하학적 관계 예를 들면 각도 관계에 의한 관리 공정의 관리 한계값을 구하기 위한 공정 분석 시스템의 관리 모델을 Fig. 6과 같이 정의한



(a) Measuring by 3CMM (b) Output of AMG by computer

Fig. 3 Expression of machined surface and definition of AMG

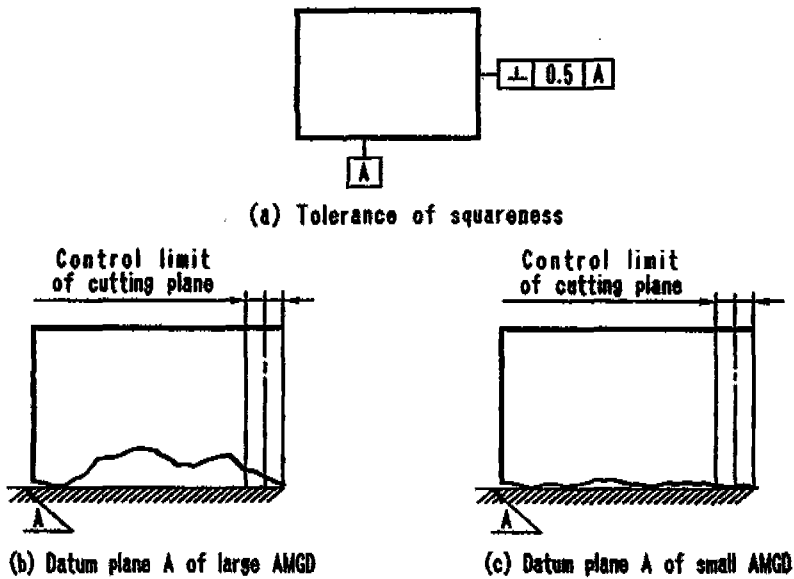


Fig. 4 Difference of squareness in the same tolerance

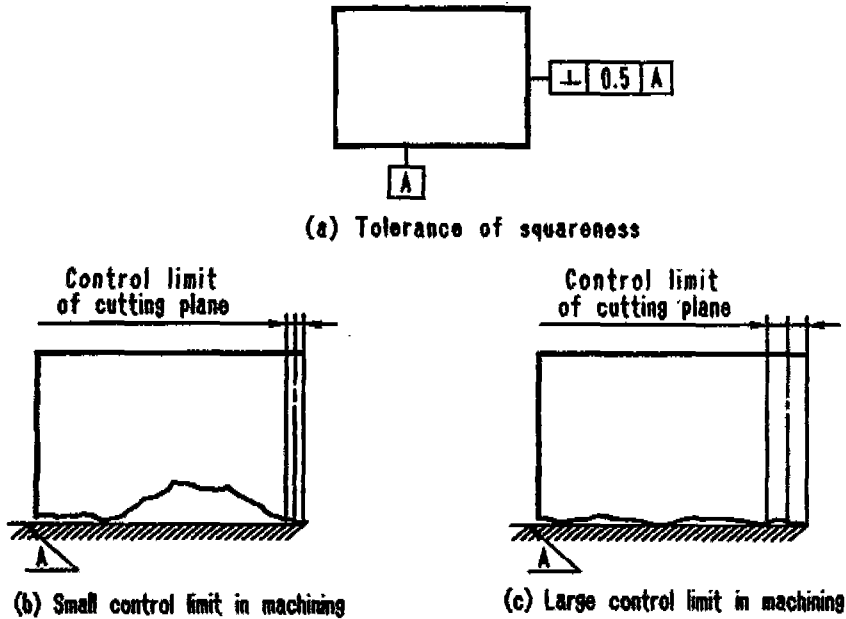


Fig. 5 Difference of control limit according to cutting condition of datum plane A

다. 그리고 각도 관계에 관한 최소 자승면의 교점 범위는 高增⁽⁹⁾의 시뮬레이션 결과에 의해 Fig. 6의 오른쪽 그림과 같이 나타내며, 이것을 추론 관리값의 참고값으로 취하기로 한다. 시뮬레이션 결과에 의하면 x_i (관련 가공면의 실제 형상값)과 x_j (관리 가공면의 관리 한계값)가 같은 경우에 r (최소 자승면의 교점 범위)이 최대

로 됨을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 관련 가공면의 실제 형상값과 관리 가공면의 관리 한계값이 같은 경우에 가장 이상적인 관리 모델이 되는 것으로 간주하고, 이 관리 모델을 바탕으로 관리 한계값을 구하는 것으로 한다. 즉, 이상적 관리 모델을 바탕으로 요구값 u 와 관련 가공면의 실제 형상값 x_i 로부터 관리 가공면의

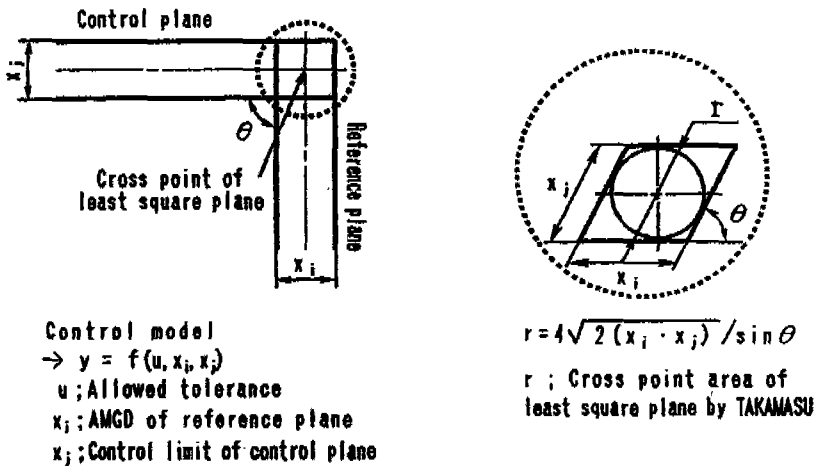


Fig. 6 Definition of control model in angle relation

에 대한 중간 관리 모델이 큰 관리 모델과 작은 관리 모델의 중간일 것이라는 추론은 되지만 사실상 기억되어 있는 모델은 아닌 것이다. 따라서, 이 상태로는 퍼지 추론에 의해 추론 가능한 것은 아니고, 중간 관리 모델에 대한 추론 틀을 제대로 추론 할 수 있는 형태로 완성한 후에 추론해야 한다. 이러한 이유로 본 연구에서는 2개의 크고 작은 관리 모델을 가지고 연상법에 의해 중간 관리 모델에 대한 중간 틀을 학습할 수 있는 LFNN법⁸⁾을 적용하여 중간 관리 모델에 대응한다. LFNN법에 의한 틀의 표현은 다음과 같다.

- Rule 1: ((IF u_1 is S with Cu_{11}) &
(IF u_2 is M with Cu_{12}) &
(IF u_3 is L with Cu_{13}),
THEN y is f_1 with Cf_1) with Cr_1
 - Rule 2: ((IF u_1 is S with Cu_{21}) &
(IF u_2 is M with Cu_{22}) &
(IF u_3 is L with Cu_{23}),
THEN y is f_2 with Cf_2) with Cr_2
 - Rule 3: ((IF u_1 is S with Cu_{31}) &
(IF u_2 is M with Cu_{32}) &
(IF u_3 is L with Cu_{33}),
THEN y is f_3 with Cf_3) with Cr_3
- (3)

여기서 $u_i(i=1,2,3)$ 는 관리 요구값이고, S, M, L 은 관리 요구값에 대한 퍼지 변수이며, y 는 시스템의 출력값이다. 그리고 $f_i(i=1,2,3)$ 는 관련 가공면의 실제 형상값 x_i 와 관리 가공면의 관리 한계값 x_j 에 의해 결정되는 퍼지 관리 함수이다. 또한 $Cu_{ij}(i=j=1,2,3)$ 는 IF부 명제에 대한 관련도(Connection), $Cf_i(i=1,2,3)$ 는 THEN부 명제에 대한 관련도, $Cr_i(i=1,2,3)$ 는 Rule부 명제에 대한 관련도이다. 여기서 말하는 관련도는 u_1, u_3 의 일반 요구값 및 u_1, u_3 의 중간값에 대응하는 퍼지 관리 모델에 대한 각 틀의 명제를 이상 개념으로 하여, 이 이상 개념과 관리 요구값에 따른 각 틀의 명제에 대한 실제 개념과의 관련을 가정한 것이고, (0,1)의 실수로 표현한다. 그러므로 관리 요구값에 대한 각 틀의 명제가 이상 개념에 완전히 일치하면 관련도는 1이 되게 된다.

Fig. 8은 식 (3)의 표현에 따라 구성되는 추론 넷을 기본 구성한 것이다.

3.3 관리 공간에 있어서 관리 요구값의 적합도

관리 공간에 있어서의 관리 요구값의 적합도는 추론 틀의 전반부(IF부)의 적합도이고, Fig. 9와 같은 뉴럴 넷에 의해 관리 요구값(관리 공간:10~20)에 대한

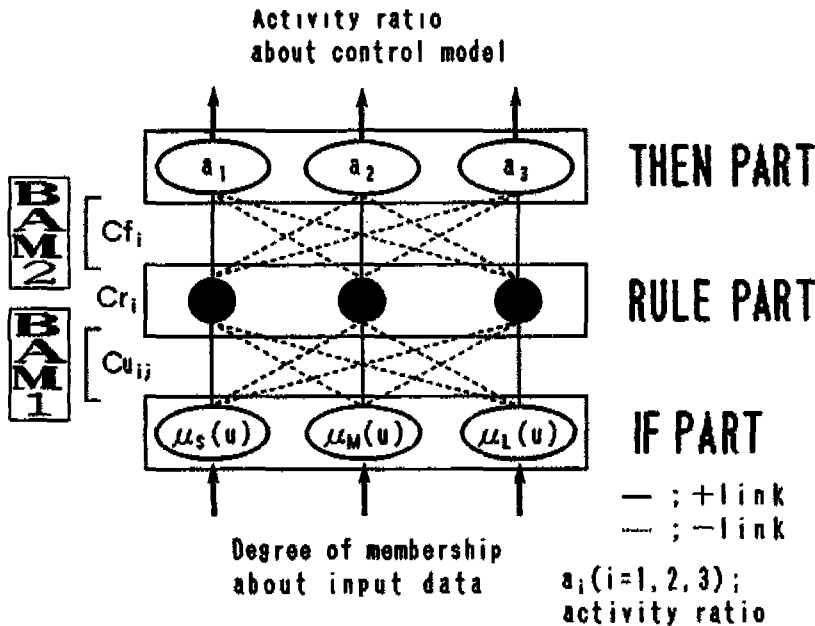


Fig. 8 Structure of reasoning networks by LFNN

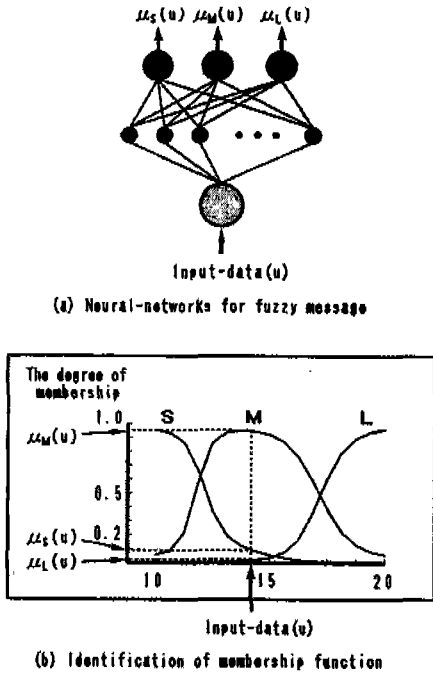


Fig. 9 Expression of membership function with input-data

각 멤버십 값을 동정하는 것으로 한다. 이 관리 요구값에 대한 각 멤버십 값은 Fig. 8의 IF PART의 입력값으로 된다.

3.4 관리 공간에 있어서 관리 모델의 적합도

퍼지 추론 룰은 전반부(IF 부)와 후반부(THEN 부)의 퍼지 공간 내의 퍼지 집합 매핑(mapping)에 관한 것이라고 할 수 있다. 따라서 전반부와 같이 후반부도 퍼지 공간 내의 각 퍼지 모델의 적합도로 표현해야 매핑이 가능하게 된다. 본 논문에서의 관리 공간은 퍼지 공간이므로 후반부의 관리 모델에 대한 적합도도 3.3항에서와 마찬가지로 뉴럴 네트워크를 구성하여 퍼지 관리 모델에 대한 멤버십 함수의 동정을 행하기로 한다. 다만 전반부의 관리 요구값에 대한 적합도를 알고 있는 상태에서, 후반부의 퍼지 관리 모델에 대한 적합도는 관련 가공면의 실제 형상값과 관리 가공면의 관리 한계값 만에 의해 좌우되므로, 시스템의 관리 모델은 식(1)을 다음과 같이 고쳐 쓸 수 있다.

$$y = \sum_{k=1}^3 a_k \cdot f_k \tag{4}$$

여기서 y 는 시스템의 출력값, a_k 는 u (관리 요구값)에 따른 추론 네트워크의 출력값으로 f_k 에의 기여도이다. f_k 는 x_i (관련 가공면의 실제 형상값)과 x_j (관리 가공면의 관리 한계값)에 의해 결정되는 퍼지 관리 함수이다. 이 f_k 에 대한 추론값을 알기 위해서는, 먼저 퍼지 관리 함수에 대한 멤버십값을 구하면 된다. Table 2는 Table 1의 관리 공간 10~20에 있어서의 관리 데이터 베이스의 데이터를 기초로 하여 뉴럴 네트워크를 구성한 후, 임의의 값을 입력해서 얻은 각 관리 모델의 적합도 결과이다. 이와 같이 관리 모델에 대한 멤버십 함수의 동정을 뉴럴 네트워크에 의존하게 된다.

Table 2 Degree of membership by control limit in control model (squareness)

Parameter of control function		$U_{f_1}(x)$	$U_{f_2}(x)$	$U_{f_3}(x)$
Reference plane	Control plane			
x_i	x_j			
15.0	14.0	0.000	0.051	0.969
7.0	9.2	0.844	0.196	0.001
14.0	8.0	0.015	0.946	0.032
7.6	11.0	0.176	0.876	0.004

3.5 추론 룰의 학습에 의한 완성

공정 분석 시스템의 입력값(관리 요구값, 관련 가공면의 실제 형상값, 관리 가공면의 관리 한계값)에 대한 출력값을 y 로 하여 식(4)와 같이 표현했다. 이 식(4)를 그림으로 표현한 것이 Fig. 10이다.

관리 공간 내에서 관리 요구값에 대한 추론 관리 한계값이 신뢰성을 갖기 위해서는 추론 네트워크가 안정성이 있어야 한다. 그러나 3.2항에서 서술했듯이 관리 공간 내의 중간 관리 모델은 미지 상태이므로 추론 관리 한계값에 신뢰성을 주기 위해서는 추론 네트워크를 학습하여 안정성을 주어야 한다. Fig. 11은 직각 관계에 있어서 관리 공간 10~20을 대상으로 LFNN법에 의해 추론 네트워크를 학습한 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 중간 관리 모델에의 기여도는 추론 네트워크의 학습에 의해 중간 관리 모델에의 기여도(a_2)에 관계되는 영역이 커져 작은 관리 모델에의 기여도(a_1)과 큰 관리 모델에의 기여도(a_3)와 동등하게 된다. 이와같이 추론 네트워크를 학습함으로써 공정 분석 시스템의 추론 네트워크가 안정성을 갖게 되며, 추론이 정확하게 이루어질 수 있다.

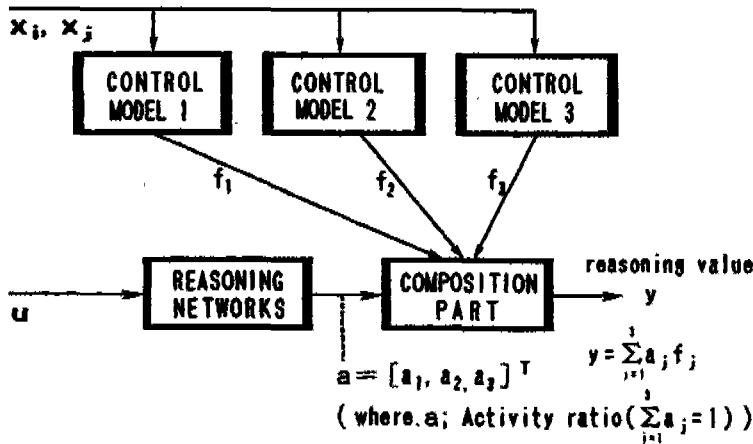


Fig. 10 Reasoning model in control system

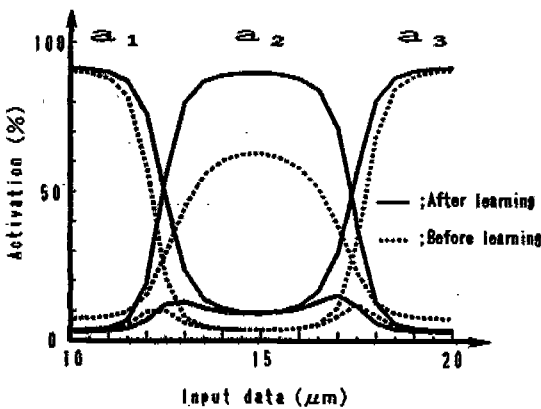


Fig. 11 Improvement of membership function by learning

3.6 추론 관리 한계값에 의한 고찰

관리 가공면의 관리 한계값은, 인과 관계로 연결된 추론 네트워크의 전반부와 후반부의 특징을 매칭함에 의해 구할 수 있다. 즉, 추론 관리 한계값은 기하학적 관계에 기초해서 관련 가공면의 실제 형상값에 의한 추론 네트워크의 후반부의 멤버십 값이 전반부의 멤버십 값과 가장 근접할 때의 관리 한계값이 된다. 예를들면 직각 관계의 관리 가공면의 관리 한계값을 구하는 경우를 생각하자. 관리 공간은 10~20이고, 관리 요구값이 12 및 관련 가공면의 실제 형상값이 7.3인 것으로 한다. 이때 추론 네트워크의 각 퍼지 관리 모델에의 기여도는 $a_1 =$

0.695, $a_2 = 0.123$, $a_3 = 0.084$ 이고, 전반부의 관리 요구값에 대한 멤버십 값이 $S = 0.706$, $M = 0.367$, $L = 0.001$ 이 된다. 따라서 관리 가공면의 관리 한계값은 전반부의 멤버십 값에 가장 가까운 것을 여러가지 가능한 추론 관리 한계값으로 부터 최적의 추론 관리 한계값을 선택하면 9.8이 된다. 이와같이 직각 관계에 대한 최적 추론 관리 한계값을 관리 요구값과 관련 가공면의 실제 형상값에 따라서 시뮬레이션으로 구한 값을 Fig. 12에 나타낸다. 직각 관계 이외의 기하학적 관계에 대해서도 같은 방법에 의해 구할 수 있다. Fig.

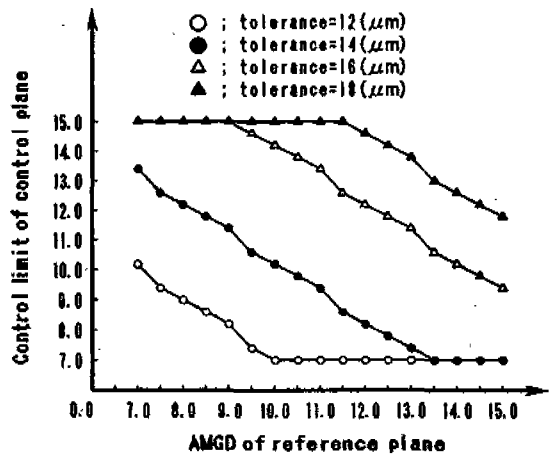


Fig. 12 Relation between AMGD of reference plane and control limit of control plane in squareness

12로 부터 알 수 있듯이 가공 부품의 기하 공차(관리 요구값)와 가공면의 상황(관련 가공면의 실제 형상값)에 의해서 관리하고자 하는 관리 가공면의 추론 관리 한계값이 전체적인 그래프의 경향으로 볼때 틀림이 없으므로, 추론 관리 한계값은 신뢰할 수 있다고 단정할 수 있다. 더우기 이 추론 관리 한계값은 약 2,3초에 구할 수 있으므로 ON-LINE 공정 관리에 충분히 대응 가능하다고 할 수 있다. 또한 가공 공정 마다 가공면의 상황에 따라서 유연하게 관리 한계값을 구할 수 있으므로 CIM 생산 시스템에 있어서 공정 관리의 중요한 포인트인 유연성 및 고품질의 확보를 충분히 만족할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 기하학적 관계에 기초한 공정 분석 시스템은 유효하다.

4. 결 론

본 논문에서는 ON-LINE 공정 관리 수법의 하나로써 고품질을 위한 공정 중심적인 관리 방법을 제안하고, 가공 공정 마다에 관리 공정의 관리 한계값을 기하학적 관계에 기초한 관련 공정으로부터 분석에 의해 신속하게 구하는 방법을 제안했다. 그 결과,

(1) 가공 형상 상태를 나타내는 실제 형상값이 기하학적 관계에 기초한 공정 중심적인 공정 관리의 관리 한계값을 구하는데 유용하다는 것을 나타냈다.

(2) 퍼지 추론과 뉴럴 네트워크에 기초한 추론 네트워크를 구성하여, 추론 관리 한계값을 구하는데 일반화를 시도했다.

(3) 관리 요구값(기하 공차)과 관련 가공면의 실제 형상값에 따라서 최적한 추론 관리 한계값을 구할 수 있다는 것을 나타냄으로써 본 공정 분석 시스템의 유효성을 명백히 했다.

(4) 관리 한계값을 실시간에 구할 수 있으므로 ON-LINE 공정 관리에 충분히 대응 가능하리라고 생각한다.

참고문헌

1. 大園 成夫, “生産システムにおけるこれからの測定技”, 機械と工具, 4號, 1989, pp.38
2. 高増 潔, “形狀 測定の自動化”, 東京大學博士論文, 1981
3. T.YAMAGUCHI, T.TAKAGI, and K.DOYA, “Fuzzy inference with an associative memory system”, 6th Fuzzy System Symposium, Tokyo, pp.93-96, 1990.
4. 菅野 道夫, “システムのアジャイモデリング, システムと制御チュートリアル講座 87 制御工学へのガイドライン”, 日本自動制御協會, pp.79-98, 1987.
5. 山口 亨, 今崎 直樹ら, “學習型ファジーニューラルネットの一實現法”, 5TH FUZZY SYSTEM SYMPOSIUM, KOBE, 1989.
6. 甘利 俊一, “神經回路網モデルとコネクショニズム”, 東京大學出版會(1989).
7. 坂本 碩也, “品質管理テキスト”, 理工學社(1987).