

퍼지 추론 네트워크를 이용한 절삭 가공 공정의 품질 관리를 위한 공정 분석 시스템

홍 준 희,* 大園成夫**

A process analysis system using Fuzzy reasoning networks for quality control of cutting

Hong Jun-Hee,* Ozono Sigeo**

ABSTRACT

The objective of this paper is to realize an analysis system that is capable of controlling the quality of an entire cutting process by including a 3 coordinate measuring machine in the process line. Fuzzy reasoning networks based on fuzzy associative memories has been introduced in the measuring process, the control limits for the control process have been obtained, and the efficiency and reliability of the system have been determined by examining the simulated reasoning control values.

Key words : 3 Coordinate Measuring Machine(3차원 측정기), Cutting Process(절삭 가공 공정), Quality Control(품질 관리), Process Control(공정 분석), Fuzzy Associative Memory(퍼지 연상 기억), Fuzzy Reasoning Networks(퍼지 추론 네트워크), Control Limit(관리 한계)

1. 서 론

생산 방식은 사회가 점점 고도로 정보화됨에 따라 다양화하는 시장 환경의 변동에 유연하게 대응할 수 있는 형태로 변해가고 있다. 사용자가 요구하는 것도 다양화되고, 다품종의 제품을 필요로 할 때 필요한 만큼 고도로 안정된 레벨로 공급하는 것이 요구된다. 이런 생산 방식으로 각광을 받고 있는 것이 CIM(Computer

Integrated Manufacturing)이다. 이러한 CIM에 있어서 가장 중요시되는 것은 고품질, 고신뢰성의 확보이다. 이러한 상황에 비추어 볼 때, 공정 관리 분야에서는 생산 시스템의 각 공정을 계측에 의해 평가하는 것이 중요시되고 있다.⁽¹⁾

그러나, 각각의 공정에 있어서 필요로 하는 측정 항목은 틀리고, 측정 수단도 여러 가지로 요구된다. 현재 다품종 소량 생산 체제로 바뀌고 있는 상황에서는 종래

* 충남 대학교 기계공학과

** 일본 동경대학 정밀기계공학과

의 관리 수법, 예를 들면 $\bar{X}-R$ 관리도 등을 그대로 이용하기가 어렵게 되었다. 더우기 ISO9000 시리즈⁽²⁾ 등의 영향으로 품질 관리를 통합적으로 행하고 도큐멘테이션(documentation)에 의한 관리의 필요성이 높아져 가고 있다.

이런 상황에 대응하기 위해 3차원 측정기를 온라인, 온더 머신에서 사용하는 것이 제안되고 있다.⁽³⁾ 3차원 측정기는 범용 적으로 가공면의 치수, 위치, 자세, 형상 편차 등을 측정할 수 있으며, 컴퓨터와 접속함으로써 측정값으로 부터 여러가지 데이터 처리를 행할 수 있다. 3차원 측정기를 종래와 같이 별실에 놓고 사용할 것이 아니라 온라인에 놓고 사용함으로써 3차원 측정기의 장점을 충분히 활용할 수 있으며, 다 품종 소량 생산에의 대응이나 품질 공학적인 수법으로 생각할 때에도 측정 데이터의 처리 및 품질 관리면에서도 여러 가지로 유리하다. 이러한 점을 감안하여 3차원 측정기를 이용한 실제 형상값과 각 절삭면 사이의 기하학적 관계에 바탕한 관리 한계값을 구하는 방법에 대해 연구가 행해져 왔으며,⁽⁴⁾ 그 유효성도 확인 되었다.

본 논문에서는 절삭 가공을 행하기에 앞서 관리 공정의 관리 한계값을 앞으로써 예방적인 공정 관리를 할 수 있도록 하며, 또한 3차원 측정기를 생산 라인에 도입함으로써 각 공정마다 측정기를 이용한 이상 여부를 판단하고 이상이 없을 경우는 다음 공정으로 넘어가게 하여 절삭 가공 공정 전체의 품질 관리를 행할 수 있도록 하는 공정 분석 시스템을 구현하는데 목적을 둔다.

2. 공정 분석에 있어서의 기하관계

2.1 단독 형체의 관리 모델

실제의 부품 형상은 공작기계의 정도나 가공 환경 등의 영향으로 어느 정도의 오차를 피할 수는 없다. 3차원 측정기에 의한 측정에서는 각 측정면으로 부터 이산적인 측정점이 얻어진다. 측정점은 일반적으로 측정면이 갖는 자기 상관이 문제가 되는 측정 간격보다 충분히 떨어져 있다. 또한 측정점에는 측정 오차가 포함되어 있지만, 3차원 측정기의 측정 정도를 생각하면 표면 조도등의 고주파로 작은 형상 요소를 분리하여 측정할 수 없다. 이와 같은 것을 고려하여 3차원 측정에서는 측정 점으로 부터 측정 형상(substitute features)을 최소 제곱법으로 계산하여 그 결과를 평가하여 계측을 행하는 것이 제안되고 있다.⁽⁵⁾ Fig. 1에는 3차원 부품

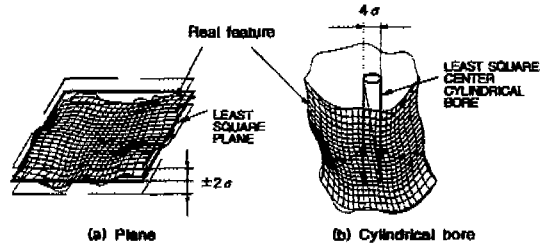


Fig. 1 Definition of AMG in plane and cylindrical bore

의 기본이 되는 평면 및 원통구멍에 있어서의 기하 관계인 평면도 관계 및 원통 구멍 축심의 진직도 관계에 관한 관리 모델을 나타내고 있다. 그림에서 나타냈듯이 측정점으로 부터 계산된 최소 제곱 형상으로 부터의 표준 편차(σ)를 측정된 면을 단독 형체로 볼 때의 형상 편차로 간주할 수 있다. 또한 이 값을 이용하여 관련 형체 간의 기하 공차를 통계적으로 평가하는 방법도 제안 되어 있다.⁽⁶⁾ 본 논문에서는 평면의 경우 최소 제곱 평면으로 부터 표준편차 $\pm 2\sigma$ 인 2평면 사이의 거리를 평면에 대한 실제 형상값(AMGD; Actual Measured Geometrical Deviation)으로 표현하고, 원통 구멍의 경우 최소 제곱 중심선으로 부터 표준 편차 4σ 의 지름을 한 원통을 원통 구멍의 중심에 대한 실제 형상값으로 표현하여 단독 형체의 공정 관리 한계로 사용한다.

2.2 관련 형체의 관리 모델

모든 가공 부품은 가공면 사이에 기하학적 관계로 이루어져 있다. 관련 형체란 단독 형체(평면 형체, 원통 형체 등)에 대응하여, 2개 이상의 단독 형체가 서로 기하학적 관계를 가지고 있을 때의 형체를 일컫는 말이다.

관련 형체의 기본적인 기하공차에는 직각도, 경사도, 평행도 및 위치도 등을 들 수 있다. Fig. 2에서는 이와 같은 관련 형체의 기본적인 기하공차를 바탕으로 기하학적 관계의 관리 모델을 나타내고 있다. Fig. 2의 (a)는 두평면 사이의 직각도를 포함하여 경사도를 나타내는 각도 관계의 관리모델이고, (b)는 평면과 원통 구멍 사이의 직각도를 포함한 경사도를 나타내는 각도 관계의 관리 모델이다. Fig. 2의 (c)는 두 평면으로 부터 원통 구멍 사이의 위치도를 나타내는 위치 관계의 관리 모델이다. 또한, Fig. 2의 (d)는 두 평면 사이의 평행도를 나타내는 평행 관계의 관리 모델이고, (e)는 두 원통 구멍 사이의 평행도를 나타내는 평행 관계의 관리 모델이다.

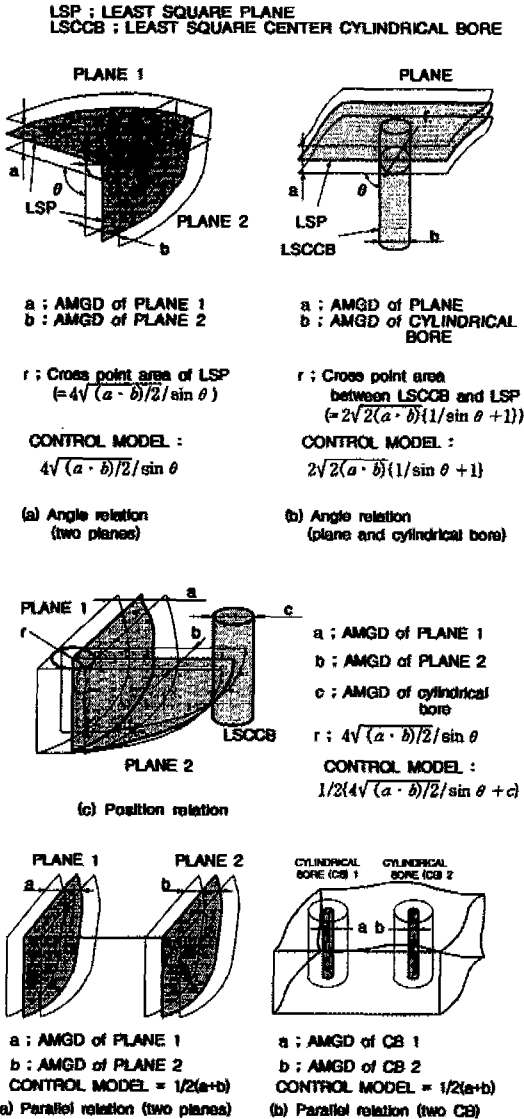


Fig. 2 Control model of geometrical relations

2.3 가공 공정 순서에 의한 기하관계

본 공정 분석 시스템에 있어서의 대상 부품은 각진 3차원 물체 및 축 종류의 물체를 대상으로 하지만, 본 논문에서는 각진 3차원 물체 만을 대상으로 한다. 본 절에서는 각진 3차원 가공 부품에 대한 공정 관리를 생각할 때 공정마다 생기는 기하 관계를 설계 공정과 공정 설계의 정보에 근거하여 작성하는 기본적 형식에 대해 서술한다. (Fig. 4, Fig. 5)

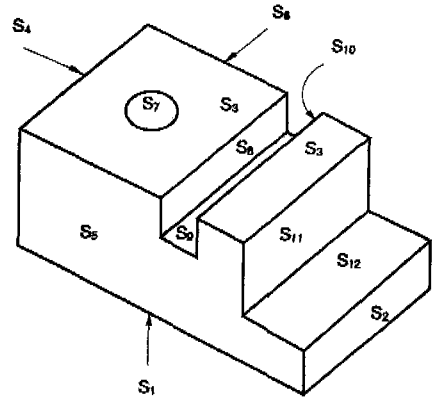


Fig. 3 Example of cutting surface number

| | | |
|-------------------|--------|--------------------------------------|
| ProcessNo : 7 | -----> | Process number |
| CutFaceNo : 1 | -----> | Total number of Cutting surface |
| FaceNo : 7 | -----> | Cutting surface number |
| EvalPatternNo : 3 | -----> | Total number of geometrical relation |
| Pattern : 1 | -----> | Relation 1 |
| GeomtName : cyot | -----> | Cylindricity |
| Tolerance : 15.0 | -----> | Value of tolerance |
| RelNumber : 1 | -----> | Total number of relation surface |
| RelFace : 7 | -----> | relation surface number |
| Pattern : 2 | -----> | Relation 2 |
| GeomtName : perp | -----> | Perpendicularity |
| Tolerance : 14.0 | -----> | Value of tolerance |
| RelNumber : 1 | -----> | Total number of relation surface |
| RelFace : 3 | -----> | relation surface number |
| Pattern : 3 | -----> | Relation 3 |
| GeomtName : posd | -----> | Positional deviation |
| Tolerance : 12.0 | -----> | Value of tolerance |
| RelNumber : 1 | -----> | Total number of relation surface |
| RelFace : 4 | -----> | relation surface number |
| RelFace : 5 | -----> | relation surface number |

Fig. 4 Example 1 of geometrical relations writing format for process analysis (cutting surface S7 in Fig. 3)

3. 공정 분석 시스템

3.1 공정 분석에 있어서의 측정 공정

제조 공정에 있어서의 측정 공정은 가공 공정 순서에 따라서 지정된 관리 공정에 관한 설계 공정상의 기하 공차(Geometrical tolerance)를 바탕으로 한 가공 공정으로 부터의 관리 공정과 또한 기하 관계에 있는 관련 공정의 실제 형상값(AMGD)에 의해 관리 공정의 가공 관리한계값(Control limit)을 얻는 과정이라고 단순화된 모델로서 생각한다. (Fig. 6)

한 개의 부품을 가공하는 것을 생각할 경우, 가공면 j에 관한 평행도, 평면도 등의 제한 조건을 가공 공정에 요구되는 값이라는 의미에서 요구값 $u_{i,k}$ 로 표현한

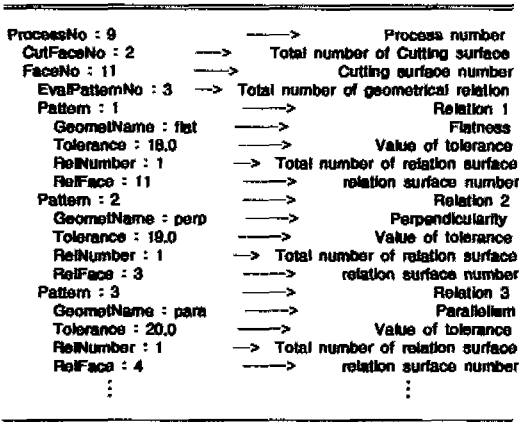


Fig. 5 Example 2 of geometrical relations writing format for process analysis (cutting surface S₁₁ in Fig. 3)

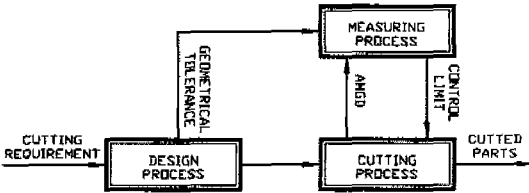


Fig. 6 Relation between Measuring process and other process

다. 여기서 k 는 각 제한 조건(평면도:flat, 평행도:para, 직각도:perp, 치수:size)등에 대응한다. 이때 이미 가공이 끝나 있는 프로세스(Process 1, Process 2, ..., Process j-1)에서 가공된 면의 실제 형상값 (x_1, x_2, \dots, x_{j-1})은 3차원 측정기에서 측정되고 있다.

함수 f_k 는, 요구값과 그때까지 가공된 면의 실제 형상값으로부터 다음 프로세스에서 가공되는 면의 실제 형상값 x_j 에 대한 위의 한계값 $\hat{x}_{j,k}$ 를 계산하는 함수이며, 가공 공정의 관리 모델을 표현하고 있다. 각 제한 조건에 관한 $\hat{x}_{j,k}$ 가 구해지면 그의 최소 값에 의해 그 가공 공정의 관리를 행할 수가 있다. 그러므로 이 최소 값을 관리 한계값 \hat{x}_j (Control limit)라 부르기로 한다. (식 (1)~(3))

$$\hat{x}_{j,k} = f_k(u_{j,k}, x_1, x_2, \dots, x_{j-1}) \quad (1)$$

$$\hat{x}_j = \min(\hat{x}_{j,k}; k = flat, para, \dots) \quad (2)$$

$$x_j \leq \hat{x}_j \quad (3)$$

만약, \hat{x}_j 를 가공할 수 있는 최소의 형상 편차 보다

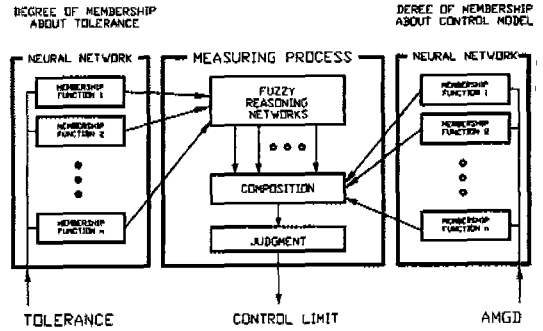


Fig. 7 Relation of input-output data in measuring process

작게 하면 그 부품은 이미 불량품이고, 지금까지 완료한 프로세스의 어디인가를 고칠 필요가 있다.

3.2 측정 공정에 있어서의 추론 모델

측정 공정에 있어서 입력력 데이터의 관계를 Fig. 7과 같이 나타내며, 퍼지 추론 네트워크에 의한 추론 모델을 행한다.

측정 공정 상의 퍼지 추론 네트워크의 퍼지 물의 기술법으로서는 물의 기술 능력이 높다고 알려져 있는 美의 퍼지 모델의 형식⁽⁷⁾을 도입한다. 다만, 美의 퍼지 모델은 후반부가 선형 함수로 되어 있는데 반해 본 논문에서는 신경 회로망을 사용하여 비선형적으로 다룬다. 신경 회로망을 사용하여 비선형 멤버쉽함수의 소속도 (Degree of membership)을 간단히 구할 수 있는 방법이 제안되어 있으며 이 방법의 유용성이 발표되어 있다.⁽⁸⁾ 추론 네트워크의 중심 개념은 퍼지 연상 기억법 (FAM; Fuzzy Associative Memories)이며, 퍼지 연상 기억법의 입력 데이터는 소속도가 된다. 따라서 측정 공정의 입력 데이터는 신경 회로망에 의한 요구값의 소속도이다.

3.3 공정 분석에 있어서 관리 파일

3.3.1 관리 데이터 파일

일반 요구값, 즉 기하 관계에 있어서의 일반 요구값을 만족할 때의 가장 이상적인 실제 형상값 및 참고 관리값을 저장해 놓은 파일이다. 여기서의 참고 관리값은 기하 관계에 바탕한 일반 요구값에 대해서 高增의 근사식⁽⁵⁾에 의해 구한 관리값이다. 관리 데이터는 관리 공간의 정의 및 Fig. 7의 앞 뒤부분의 소속도를 구하는데 참고값으로 사용된다. Fig. 8은 직각도 관계에 관한 파

| Data No. | GRV | RCV | allowed AMGD1 | allowed AMGD2 |
|----------|------|---------|---------------|---------------|
| 1 | 1.0 | 5.657 | 1.0 | 1.0 |
| 2 | 10.0 | 39.596 | 7.0 | 7.0 |
| 3 | 20.0 | 84.853 | 15.0 | 15.0 |
| 4 | 30.0 | 124.451 | 22.0 | 22.0 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |

GRV : General Requars Value , RCV : Reference Control Value

Fig. 8 Example of control data file format

일 상의 사양을 나타내고 있다.

3.3.2 기하 관계 데이터 정의 파일

공정 마다 생기는 기하 관계를 정의한 파일이다. 이 파일의 내용은 공정 분석 때의 기하 관계의 총수, 관리 공정의 가공면의 수, 중점을 둘 가공면의 번호, 관리 공정의 가공면에 대한 기하 관계의 수, 기하 관계의 종류, 요구값으로서의 설계상의 기하 공차, 관리 공정과 관련 공정의 가공면의 수등의 내용이다. 2.3절에서의 Fig. 4와 Fig. 5가 그 예이다.

3.3.3 관리 공간 정의에 관한 가중치 데이터 파일

관리 가공 부품의 모든 공정에 관한 기하 관계 데이터로부터 각각의 관리 공정마다의 지정에 의해 발취되는 관리 요구값에 대한 공정 분석을 위해 관리 공간을 정하지 않으면 안된다. 이 때 필요한 것이 관리 공간 정의에 관한 가중치(weighting factor) 데이터 파일이다.

3.3.4 관리 개념에 관한 가중치 데이터 파일

관리 공정의 요구값이 관리 공간에서 어떠한 개념인가를 인식하기 위해 필요한 데이터이다. 이 부분은 측정 공정의 입력값에 속하는 것으로 입력값의 내용은 퍼지 멤버십 함수에 대한 소속도이다.

3.3.5 관리 모델에 관한 가중치 데이터 파일

공정 관리에 있어서의 관리 모델은 요구값과 관련 공정의 실제 형상값에 의해서 좌우된다. 이 데이터 파일은 관리 모델에 있어서의 실제 형상값에 의한 관리 상의 퍼지 명제의 진리값을 구하기 위해 이용된다.

3.3.6 관련 공정의 실제 형상값 파일

가공이 끝난 공정에서의 가공면에 대한 관리 상의 실제 형상값을 3차원 측정기를 이용하여 구하고, 그 데이터를 전 공정이 끝날 때 까지 일시적으로 그 파일에 저

장해 놓는다. 이 데이터는 관련 공정의 데이터로서 발취되어 관리 모델에 대한 명제의 진리값을 구하는데 이용된다.

3.4 시스템 구성 프로그램

본 공정 분석 시스템은 기하 관계 작성 서버 시스템, 분석 서버 시스템 및 실제 형상 서버 시스템의 3가지 서버 시스템으로 구성되었다. 기하 관계 작성 서버 시스템은 설계 공정과 공정 설계 공정을 참고로 하여 자동적으로 작성하도록 시스템을 구성할 수도 있지만, 본 논문에서는 자동적인 공정 관리 시스템의 완성 보다 예방적인 공정 관리의 제안으로서의 시스템 구성이므로 기하 관계 작성을 수동적으로 행했다. 또한 실제 형상 서버 시스템도 실제로는 가공 공정 라인에 3차원 측정기를 집어 넣어 자동적으로 실제 형상값을 구하는 것이 바람직하지만 제반 여건의 불충분으로 가상적으로 행했다. 이러한 이유에서 본 논문에 있어서의 공정 관리 시스템은 분석 서버 시스템을 중심으로 해서 그 밖의 서버 시스템은 가상적으로 구성했다.

이 시스템에서 사용한 언어는 C언어이고, 계산기는 퍼스널 컴퓨터인 PC-9801RA를 사용했다.

Fig. 9는 시스템 구성 프로그램의 흐름을 나타낸다.

3.5 추론 관리값에 의한 시스템의 고찰

본 절에서는 본 시스템에 사용한 퍼지 연상 기억법(FAM)의 유효성을 입증하기 위하여 관리 모델에 도입한 高増⁽⁶⁾의 근사식에 의한 값과 본 시스템에 의한 추론 관리값을 비교 검토한다. 직각도 관계를 예로 들어 Table. 1에 나타낸다.

Table 1에서 알 수 있듯이 高増의 근사식에 의한 값과 본 시스템의 추론에 의한 값이 거의 일치하므로, 본 시스템에 의한 추론 결과는 유효함을 알 수 있다. 또한, 신뢰성을 입증하기 위해 요구값에 대한 추론 관리값의 통계적 흠여짐을 검토해 본다. 요구값이 일정할 경우 관련 공정의 가공면 상태에 따라 관리 공정의 관리 한계값은 변하지만, 그에 따른 관리값은 같아야만 한다. 그러나, 퍼지 추론에 의한 추론 관리값이므로 이상적인 관리값에 될 수 있는대로 근접할 필요가 있다. 따라서 각각의 추론 관리값이 통계학적 평균값으로부터 흠여짐이 작아야 그만큼 정밀도가 높아지며 신뢰성도 높아진다. 이것도 직각도 관계를 대상으로 검토해 본다. 요구값이 12(μm)이고 관련 공정의 가공면의 실제

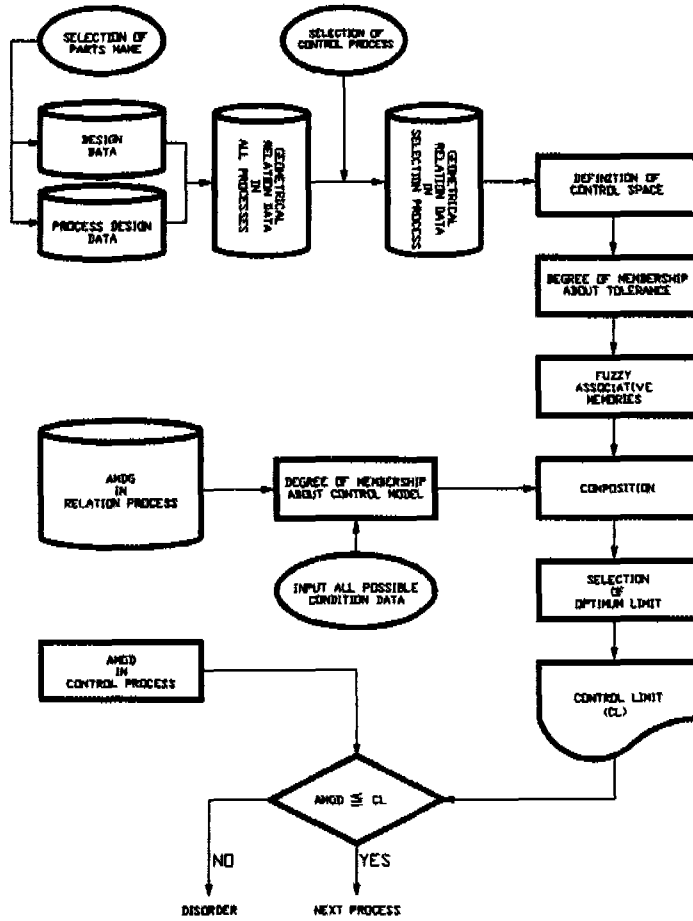


Fig. 9 Flowchart of process analysis

형상값이 5가지 경우, 즉 $7.3(\mu\text{m})$, $7.8(\mu\text{m})$, $8.3(\mu\text{m})$, $8.8(\mu\text{m})$, $9.3(\mu\text{m})$ 일 때 각각의 추론 관리값은 6.309745, 6.348627, 6.423787, 6.460042, 6.495401이다. 이 5가지 결과를 평균해서 표준 편차를 구하면 0.0689이다. 이것은 거의 흠어짐이 없다고 할 수 있으며, 따라서 본 시스템의 신뢰성은 입증되었다.

4. 3차원 가공 부품에 대한 공정 분석의 시뮬레이션 결과

원통 구멍과 풀이 있는면 및 단이 있는 면을 가진 3차원 가공 부품을 대상으로 공정 분석 결과를 알아 본다. Fig. 10의 (a)는 가공 부품의 가공면을 공정 설계에 바탕하여 나타낸 것이며, (b)는 설계 공정을 바탕으로

나타낸 기하 공차의 예이다.

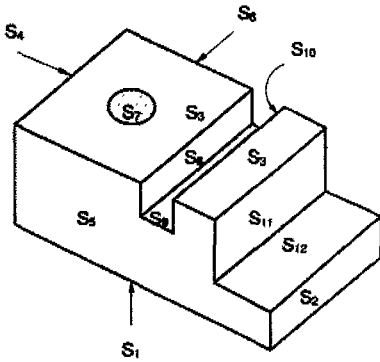
Fig. 11은 시뮬레이션 출력의 일부이다. 가공 순서에 응하여 각 가공면에 대해 적당한 형상 편차(실제 형상값)을 준다. 이 값에 바탕하여 다음의 관리 공정의 관리 한계값을 구한다. Fig. 11(a)는 원통 구멍 S_7 을 가공하기 전에 계산을 나타내고 있다. 평면 S_3 과 평면 S_4 및 평면 S_5 는 이미 가공이 끝났으며 각각의 실제 형상값으로서 $9.1\mu\text{m}$, $7.6\mu\text{m}$ 및 $7.4\mu\text{m}$ 가 주어져 있다. 이 값과 원통 구멍 S_7 의 구속 조건(직각도, 위치도) 및 원통 구멍 자체의 원통도로 부터 추론 네트에 의해 각각의 관리 한계값이 계산되어 그들의 최소값 $11.2\mu\text{m}$ 가 원통 구멍의 관리 한계값이 된다. 이 값에 근거하여 원통 구멍 S_7 이 가공된다.

Fig. 11(b)는 S_{11} 에 대한 계산 예이다. 이 경우도 평

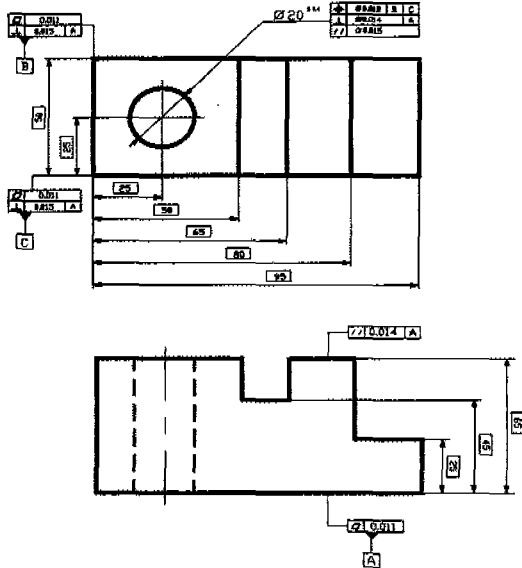
Table 1 Comparison between TAKAMASU formula⁽⁶⁾ value and reasoning control value

| AMGD1 | AMGD2 | TFV | RCV |
|-------|-------|--------|--------|
| 7.0 | 10.0 | 47.329 | 48.916 |
| 12.0 | 10.0 | 61.968 | 62.180 |
| 8.0 | 14.0 | 59.866 | 62.293 |
| 15.0 | 12.0 | 75.895 | 78.768 |

TFV:TAKAMASU Formula Value, RCV:Reasoning Control Value



(a) Surfaces S₁~S₁₂



(b) Drawing of geometrical tolerances

Fig. 10 Example of geometrical tolerances

면도, 직각도, 평행도에 근거하여 평면의 가공 조건(관리 한계값 13.4 μ m)이 결정 되어 있다.

5. 결론

본 논문에서는 3차원 측정기를 생산 라인에 도입하여 가공 공정 전체의 품질 관리를 행하기 위한 공정 분석

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Process No. | 7 |
| Surface No. | 7 |
| Relation No. | 3 |
| Relation 1 | 1 |
| Geometric Tolerance(k) | cylindricity |
| Value of tolerance(z) | 15.0 μ m |
| $V_{low} \sim V_{high}$ | 10.0 ~ 20.0 μ m |
| Relation 2 | 2 |
| Geometric Tolerance(k) | perpendicularity |
| Value of tolerance(z) | 14.0 μ m |
| $V_{low} \sim V_{high}$ | 10.0 ~ 20.0 μ m |
| AMGD of datum x_3 | 9.1 μ m |
| Relation 3 | 3 |
| Geometric Tolerance(k) | positional deviation |
| Value of tolerance(z) | 12.0 μ m |
| $V_{low} \sim V_{high}$ | 10.0 ~ 20.0 μ m |
| AMGD of datum x_4 | 7.6 μ m |
| AMGD of datum x_5 | 7.4 μ m |
| Control limit \hat{x}_7 | 11.2 μ m |

(a) Surface S₇ (cylindrical bore)

| | |
|------------------------------|---------------------|
| Process No. | 9 |
| Surface No. | 11 |
| Relation No. | 3 |
| Relation 1 | 1 |
| Geometric Tolerance(k) | flatness |
| Value of tolerance(z) | 18.0 μ m |
| $V_{low} \sim V_{high}$ | 10.0 ~ 20.0 μ m |
| Relation 2 | 2 |
| Geometric Tolerance(k) | perpendicularity |
| Value of tolerance(z) | 18.0 μ m |
| $V_{low} \sim V_{high}$ | 10.0 ~ 20.0 μ m |
| AMGD of datum x_3 | 9.1 μ m |
| Relation 3 | 3 |
| Geometric Tolerance(k) | parallelism |
| Value of tolerance(z) | 20.0 μ m |
| $V_{low} \sim V_{high}$ | 10.0 ~ 20.0 μ m |
| AMGD of datum x_4 | 7.6 μ m |
| Control limit \hat{x}_{11} | 13.4 μ m |

(b) Surface S₁₁ (plane)

Fig. 11 Output of control limit for surfaces 7 and 11

시스템을 구축하였다. 즉,

(1) 퍼지 추론에 바탕한 추론 네트워크를 구성하고, 추론 관리 한계값을 구했다.

(2) 高増의 근사식에 의한 값과 본 시스템의 추론값을 비교하므로써 본 시스템의 유효성을 확인했다.

(3) 요구값에 따른 추론 관리값이 통계학적 표준 편차로 부터 상당히 작은 흠어짐을 보였으므로 이 결과로 부터 그 신뢰성을 확인했다.

3차원 측정기의 측정 속도가 늦은 것만을 개선한다면, 3차원 측정기를 생산 라인에 도입하여 가공 공정 전체의 품질 관리를 하는데 새로 구현한 본 공정 분석 시스템이 유효하게 사용될 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. 大園成夫: "生産システムにおけるこれからの測定技術", 機械と工具, 33, 4, pp.38, 1989.
2. ISO9000-1987: "Quality management and quality assurance standards-Guidelines for selection and use".
3. T.Piefer: "Integrated quality control", Proc.13th IMEKO World Cong., 3, pp.1619, 1994.
4. 홍 준희: "기하학적 관계를 바탕으로 한 가공 공정 관리 한계의 실시간 획득에 관한 연구", 한국 정밀 공학회지, Vol.12, No.3, pp.82, 1995.
5. 高増 潔ほか: "計算機援用ゲージングの研究(第9報)-最小二乗法と最小領域法", 1985年精密工學會春季大會講演論文集, pp.344, 1985.
6. 古谷涼秋: "3次元形状の評価法", 精密工學會會誌, No.54, Vol.5, 1988.
7. 姜,菅野: "ファジイモデリング", 計測自動制御學會論文集, Vol.23, No.6, pp.650, 1987.
8. 山岡正人: "ニューラルネットワークを用いたメンバシップ関数の學習法", 6th Fuzzy System Symposium, Tokyo, Sep.6~8, pp.197, 1990.
9. 洪俊憲ほか: "測定工程へのファジイ理論應用の試み", 1991年精密工學會春季大會講演論文集, pp.319, 1991.