

특징형상기반의 측정계획시스템 개발에 관한 연구

정석우*, 윤길상*(인하대 대학원 기계공학과), 조명우**(인하대 기계공학부)

A Study on the Development of a Feature Based Inspection Planning System for On-Machine Measurement Process

S. W. Jeong*, G. S. Yoon*(Grad. School, Inha University), M. W. Cho**(Dept. of Mechanical Eng., Inha University)

ABSTRACT

The purpose of this paper is to establish an effective featured based inspection planning system for OMM(On-Machine Measurement) process. In this system, an effective inspection process planning is accomplished by determining the number of measuring points, their locations and probing paths using fuzzy logic, Hammersley method and TSP problem. Also, an effective collision-free algorithm is proposed based on the EZ-map analysis. All the inspection planning processes are performed based on the defined inspection features those are derived from the CAD database. Proposed inspection planning method is simulated for the given sample wrokpieces, and the results are analyzed. The results show that the proposed method can be successfully implemented in real OMM process.

Key Words : OMM(기상측정, On-Machine Measurement), Collision-free Algorithm(충돌회피 알고리즘), EZ-map(에지맵, Edge_Z-map)

1. 서론

일반적인 기계가공은 CAD/CAM 소프트웨어를 사용하여 주어진 형상 데이터로 공구경로를 결정하여 가공작업을 수행한다. 이렇게 가공된 제품을 측정하기 위해 3 차원 측정기(CMM: Coordinate Measuring Machine)나 기타 비접촉식 측정장비가 널리 사용되고 있다.

그러나, 일반적인 기계가공에서 가공물 대부분의 기하학적 형상은 CNC 공작기계에서 결정되기 때문에, 이 단계에서 의도하지 않았던 과도한 결삭이 발생하여 요구되는 형상과 공차범위를 벗어나는 오류가 발생하였을 경우에 후속 공정을 계속 진행하는 것은 시간과 경제적인 손실로 이어진다고 할 수 있다. 따라서, 기계가공 단계에서 원하는 형상으로 가공이 진행되고 있는지를 판단할 수 있는 측정방법이 필요하나, CMM 를 이용하여 측정을 수행할 경우 대상을 가공기에서 측정기로 이동하여야 하므로, 의도하지 않은 좌표계의 변화에 따른 오차를 발생시키게 된다. 이를 보다 효율적으로 대처하는 방법으로 CAD 데이터 베이스로부터 최적의 측정 조건을 도출하기 위하여 CAD/CAM/CAI 통합에 기초한 측정기술에 관한 연구가 이루어져 왔다.^{[1][2][6]}

또한, 이러한 이유로 정밀도는 CMM 에 비하여 떨어지나 그 효율성에 의하여 기상측정(OMM: On-Machine Measurement)에 관한 연구가 진행되고 있다. 기존의 NC 공작기계는 많은 기계 가공의 경험적 지식을 보유한 숙련자를 요구하였지만, 현 추세는 NC 의 경험이 적은 작업자도 간단하게 작업을 수행할 수 있는 작업환경을 연구, 개발하는 하는 추세이기 때문에 측정 또한 현장에서 보다 손쉽게 적용이 가능한 모듈이 필요하게 되었다.

본 연구에서 개발한 특징형상에 기초한 기상측정 모듈은 기존의 수동적인 형태의 측정방법에서 측정형상에 따라 측정점의 수와 위치, 그리고 최적의 측정 경로를 능동적으로 대처할 수 있으며, 각 측정경로마다 프로브 및 프로브 홀더와 공작물과의 충돌을 피하는 경로를 만들고, 공정 중에 또 는 공정을 완료한 후에 측정 작업을 수행하여 가공 중인 대상물에 대한 정밀도 판정작업을 가능하게 하였다.

2. 특징형상 측정시스템

2.1 특징형상분류

측정형상은 일반적으로 CAD 데이터에서 기하정보를 이용하거나, 가공 단계에서 분류할 수

있는 특정 형상에 의존하는 경우가 대부분이다. 그러나 접촉식 측정 장비인 CMM 이나 기상측정에 적용하려면 세부적인 면 정보로 더 분류되어야 하므로 적합하지 않다고 판단되어, 본 연구에서는 특정형상분류를 각 일반 형상에 대해 측정 해야 할 면 정보로 다시 분류하였고, 두개의 특정 형상의 연관성도 알 수 있도록 하였다.

Fig.1은 특정형상분류방법을 도시하였다.

2.2 측정점 수의 결정

측정점의 개수는 측정 정밀도와 측정 시간에 미치는 영향이 가장 크므로, 측정면을 원하는 정밀도를 측정할 수 있는 최소측정점수를 결정하는 것이 중요하다.

위의 사항을 고려하여, 본 연구에서는 공작 기계의 정밀도에 관한 정보와 측정면의 면적, 최대측정점수를 입력요소로 추가하였다. Fig.2 는 퍼지 논리를 이용하여 측정점의 수를 결정하는 방법을 도시화 한 것이다.

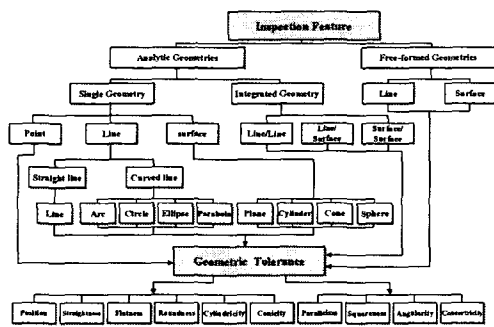


Fig.1 Geometric feature classification for inspection

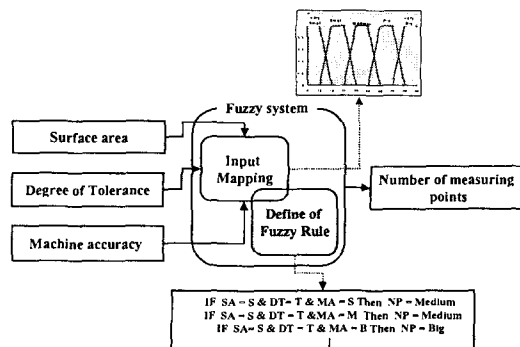


Fig.2 Fuzzy system structure

2.3 측정점 위치 선정

본 연구에서 개발된 기상측정 모듈에 적용된 측정점의 위치결정은 Hammersley 위치 결정법을 사용하였다. Hammersley 방법을 이용한 측정점 위치 결정 방법은 대상을 Hammersley 좌표계인 (s, t) 축으로 만들고, 2 차원 면이 사각형이면 직교 좌표계로, 원형이면 극 좌표계로 변환하여 사용한다. 각 형상에 대한 적용 함수는 Table.1 과 같으며, 여기서 s, t 의 값은 0 보다 크고 1 보다 작다. 또한 측정점의 수가 10 인 경우에 대하여 제시한 방법으로 측정점의 위치를 결정한 결과를 Fig.3에 도시하였다.

Table.1 Hammersley's algorithm for various features

Rectangle	$s_i = \frac{i}{N}, t_i = \sum_{j=0}^{i-1} \left(\frac{i}{2^j} \text{Mod} 2 \right) \times 2^{-j-1}$
Circle	$s_i' = t_i \times R, t_i' = s_i \times 360^\circ$
Cone	$s_i' = t_i \times R, t_i' = s_i \times 360, w_i' = -s_i \times h$
Hemisphere	$s_i' = \sqrt{R^2 - (R - w_i')^2} = \sqrt{1 - t_i^2} \times R$ $t_i' = s_i \times 360, w_i' = -t_i \times R$

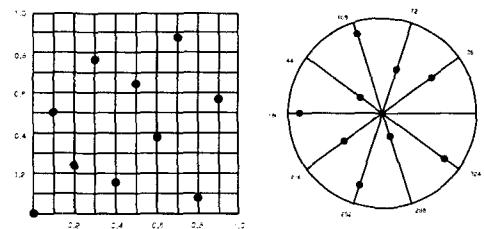


Fig.3 Distribution of ten Hammersley points on rectangular and circular surfaces

2.4 측정경로 결정

2.4.1 측정시간을 최소화하기 위한 경로생성

기상측정 모듈에 적용되고 있는 측정경로는 단순히 인접 측정점을 연결하는 방식이 아닌 모든 측정점에 대한 거리를 계산하여 최소 측정거리를 구하기 위해 TSP 알고리즘을 적용하였다. 함수는 식(1)과 같으며 측정점 간의 거리 E 가 최소가 되게 하는 것이 기본 구조이다.

$$E = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2} \quad (1)$$

2.4.2 충돌을 방지한 경로생성

본 연구에서는 앞에서 생성된 측정경로로 측정시 발생할 수 있는 프로브와 공작물의 충돌을 회피하기 위하여 Fig.4 에 도시한 방법을 사용하였다.

프로브와 공작물의 충돌을 방지하기 위하여 먼저 측정 경로가 차지하는 영역을 구하고, 그 영역에 있는 측정대상물에 대한 EZ-map 을 생성하고 판별점(checkpoint)에서 프로브의 높이 값과 EZ-map 의 높이값을 비교하여 충돌여부를 판별하는 방법을 사용하였다.^[6]

먼저 프로브 충돌여부를 판정하기 위하여 먼저 X,Y 평면에서 각 판별점 좌표에서 일정한 크기를 가지는 벡터를 결정하여 가상적인 공작물을 구성한다. 그런 다음 프로브가 포인트 벡터와 만나는 점의 Z 값을 구하면 된다.

프로브가 이동한 체적은 Fig.5 에서 보는 바와 같이 두 개의 프로브 위치점 a 와 b 의 좌표와 프로브반경 r 에 의해 정의되며, 이때, XY 평면에 투영된 프로브 궤적영역은 Fig.5 와 같이 정의된다. 판별점에서의 Z 값을 계산하기 위하여, 먼저 미리 설정된 판별점이 이 영역 내에 존재하는지를 판단하고, 만약 존재한다면 Z 방향의 포인트 벡터와 프로브 이동궤적의 교점을 구하여 Z 값을 구할 수 있다.

판별점 e 가 직사각형 1.2.3.4 내에 존재할 때, 판별점의 Z 좌표 z_e 를 구하기 위해 보조점 f 가 사용되었으며, 이 점 f 는 선분 7 과 8 의 교점이다.판별점 e 가 선분 8 위에 있으므로 점 f 에서의 Z 좌표 z_f 는 다음식에 의해 계산된다.

$$z_f = z_a + (z_b - z_a) \frac{(z_f - x_a)}{(x_b - x_a)} \quad (2)$$

여기에서, x_a, z_a, x_b, z_b 는 프로브위치 a 와 b 의 X 좌표와 Z 좌표를 각각 나타낸다.

판별점 e 의 Z 좌표 z_e 는 Fig.6 에 나타낸 바와 같이 프로브와 프로브 홀더에 따라 각각 구할 수 있다.

$$z_e = z_f + r - \sqrt{r^2 - r_e^2}$$

$$r_e = \sqrt{(x_f - x_e)^2 + (y_f - y_e)^2} \quad (3)$$

$$z_e = z_f + r_2 - \sqrt{r_2^2 - (r_e - r_1)^2} \quad r_e > r_1$$

$$z_e = z_1 \quad r_e \leq r_1 \quad (4)$$

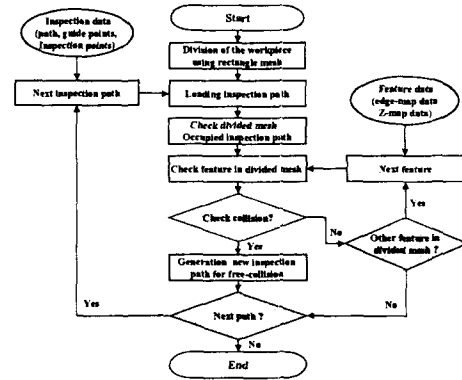


Fig.4 Proposed collision checking diagram

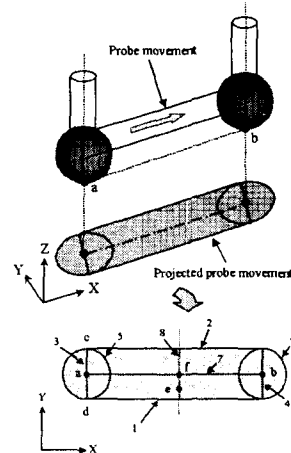


Fig.5 Probe movement and projected boundary lines on XY-plane

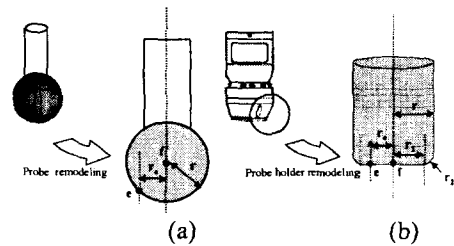


Fig.6 Probe & Probe holder remodeling

또한, 프로브 홀더와 공작물이 충돌하는 경우는 Fig.9 와 같이 Z 방향의 법선벡터를 갖는 면 위의 측정점으로 이동하는 경우와 Z 방향의 법선벡터를 갖지않는 면 위의 측정점으로 이동하는 경우로 나눌 수 있다. 프로브홀더의 충돌회피방법은 Fig.10 과 같이 Z 방향면의 측정점으로 프로브가 이동 시는 측정대상물을 프로브홀더 반경만큼 오프셋 하여 측정점과 오프셋곡선과 최단 거리 방향으로 대칭 이동하고, Z 방향의 법선벡터를 갖지않는 면 위의 점으로

이동시는 프로브 길이만큼 +Z 방향으로 측정점을 이동한다.

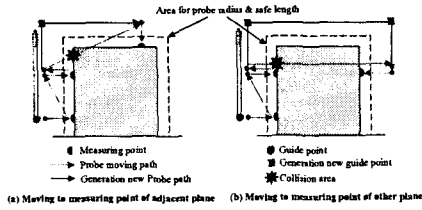


Fig.7 Example of Probe Collision

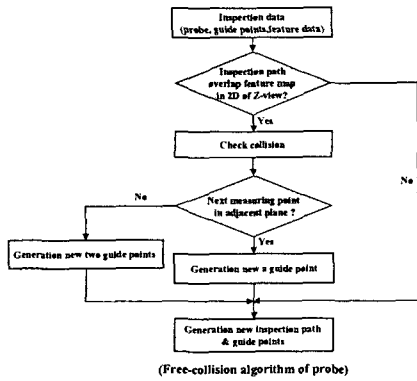


Fig.8 Proposed collision-free algorithm for probe

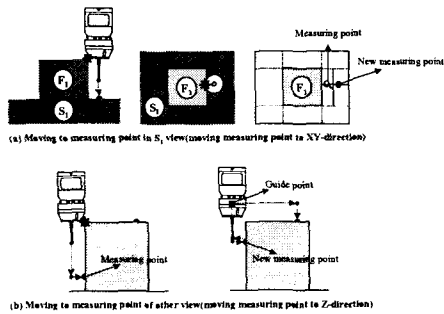


Fig.9 Examples of probe holder collision

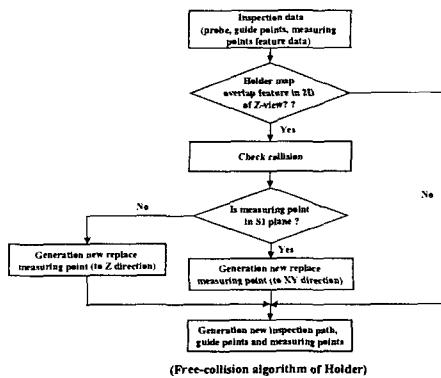


Fig.10 Proposed collision-free algorithm for probe holder

5. System & Simulation

본 연구에서 제시한 측정방법은 Visual C++ 6.0 을 이용하여 기상측정 프로그램하여 모의 가공 및 측정을 실행하였고, 시스템 구성은 Fig.11 과 같다. 개발한 기상측정 프로그램을 테스트하기 위해 시편을 Fig. 12 와 같이 설계하였다. 본 알고리즘을 이용 하여 측정 작업을 수행하기 위해 대상물을 Fig.1 에서 제시한 바와 같이 분류 작업을 수행하였다. 대상물은 Fig.12 에 도시한 것과 같이 각 측정면은 F_1, F_2, F_3 로 분류되며, 이는 현재 연구가 진행되고 있는 가공곡면 분류 방법과 일치한다. 하지만 이후 측정 작업에 효과적인 곡면으로 다시 분류되는 데 이는 단일 곡면으로 분류됨을 의미한다. 분류된 곡면은 Fig.12 의 STEP 2 의 곡면이다. STEP 1 단계에서 분류되는 곡면을 제외한 시편의 Block 에 잔재하는 곡면에 측정점을 분포시킬 때 측정점은 접촉하지 않는 측정점이 존재하기 마련이다. 이런 경우 기존의 인접 곡면과의 관계에서 삼각망으로 전개하여 인접 삼각망에 측정점을 다시 분포시키는 방법이 있으나, 이는 측정점이 전체 곡면에 한 지역으로 집중되는 현상이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 삼각망을 형성하지 않고 블록 내부에 존재하는 곡면을 이용하여 사각망을 형성하여 측정점을 다시 분포시켰으며, 우선 순위는 사각망의 면적에 비례한다. 만약 하나의 사각망에 측정점이 두개 이상 분포할 경우, 기존의 사각망의 무게중심에 측정점이 존재하는 경우는 측정점을 이용하여 사각망을 다시 2 개를 생성하여 주변 사각망에 존재하는 측정점과의 거리가 먼 하나의 사각망에 측정점을 분포 시킨다. 그리고 사각망에 원래의 측정점이 존재하며, 그 사각망에 측정점이 추가되는 방법은 사각망의 무게중심을 기준으로 정 반대 쪽에 측정점이 분포하게 된다. 이 방법은 측정점이 측정 곡면에 대해 산발적으로 분포시키기 위한 것으로 이를 적용한 것을 Fig.13 에 도시하였다. 이와 같이 측정점을 분포 시킨 후, 시편의 EZ-map 을 생성한 것을 Fig.14 에 도시하였고, 2.4.2 에서 언급한 EZ-map 을 이용한 방법으로 충돌 검사한 것과 충돌 위치를 Fig.15 에 도시하고, TSP 방법을 통한 경로와 충돌회피 경로를 Fig.16 에 도시 하였다

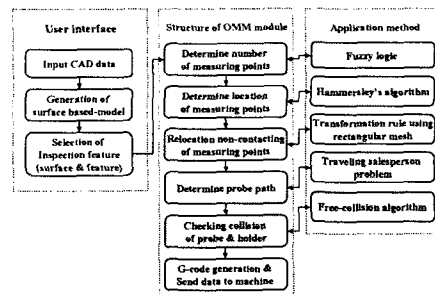


Fig.11 Structure of developed OMM module

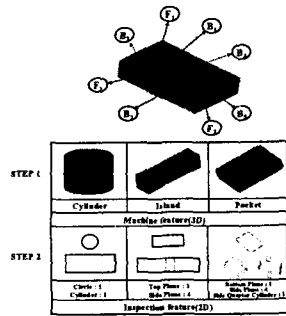


Fig.12 Inspection-Feature classification for Object Model

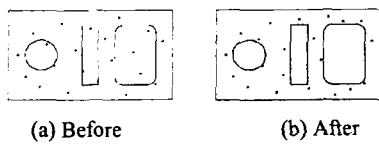


Fig.13 Relocation of non-contacting measuring points for S_1

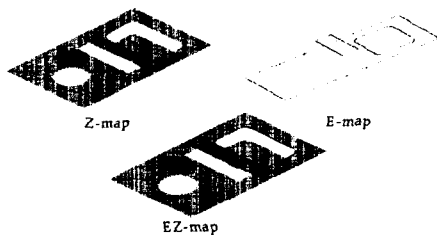


Fig.14 E-map, Z-map & EZ-map of workpiece

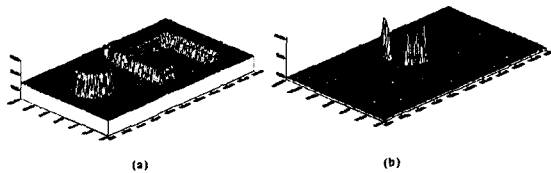


Fig. 15 Check Collision

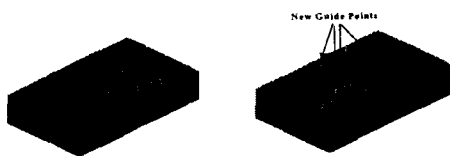


Fig. 16 Distribute Inspection path & Free-collision path

6. 결론

3 차원 공작기계를 이용한 기상측정에서의 해석적 곡면에 대한 효율적인 측정점 수와 위치를

결정할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 기존의 가공에 필요한 형상을 측정에 보다 효과적인 형상으로 분류하여 이를 모의 측정과 실험을 통해 검증하였다. 기존의 가공 후 3 차원 좌표 측정기에서 검사하는 공정에 비해 생산 공정중간에 원하는 형상을 검사 할 수 있는 방법을 제시함에 따라 생산 리드 타임을 줄일 수 있으며, 기계 가공 단계에서 발생하는 오차에 판별할 수 있어 사용자가 능동적으로 대처 할 수 있는 기반을 제공 하였으며, 다음과 같이 결론을 요약할 수 있다.

1. Fuzzy logic, Hammersley Method, TSP Problem 을 이용하여 대상물에 대한 측정 점의 수와 위치 그리고 경로에 대해 효과적으로 결정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.
2. 측정에 보다 효율적인 측정용 특징형상을 분류하여 보다 효과적인 측정계획과 작업이 가능하도록 하였다.
3. EZ-map 을 이용하여 TSP Problem 을 이용하여 생성한 측정경로를 분석하고, 이를 기초로 공작물과 프로브 또는 프로브 홀더와의 충돌 여부를 판별하고 충돌이 발생하는 경우, 회피 경로를 생성할 수 있는 방법을 제시하였다.

참고문헌

- [1] Cho M.W. and Kim, K., "New Inspection Planning Strategy for Sculptured Surfaces Using Coordinate Measuring Machine.", International Journal of Production Research, Vol. 33, No. 2, pp. 427-444, 1995
- [2] Chia-Hsiang Menq, Hong-Tzont Yau and hing-Li Wong, "An Intelligent Planning Environment for Automated Dimensional Inspection Using Coordinate Measuring Machines", ASME Trans. Vol. 114, pp.222-230, May 1992
- [3] Duffie, N., Bollinger, J., Piper, R. and Kroneberg, M., "CAD Directed Inspection and Error Analysis Using Patch Databases," Annals of the CIRP, Vol. 33/1 pp.347-350, 1984
- [4] Menq, C.H., Yau, H.T. and Lai, G.Y., "Automated Precision Measurement of Surface Profile in CAD Directed Inspection," IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 8, No. 2, 1992
- [5] Ferreira, P.M. and Richard Liu, C., "A Method for Estimating and Compensating Quasi-static Errors of Machine Tools," Journal of Engineering for Industry, Vol 115, Feb., 1993
- [6] 조명우, 김진섭, 서태일, 조재형, "CAD/CAM /CAI 통합에 기초한 자유곡면의 On-Machine Measurement : II. 측정계획 수립", 한국정밀공학회지 제 16권 제 12호, pp 109-118. 1999.12
- [7] 박희재, 황상욱, "기하학적 공차의 정밀측정을 위한 컴퓨터 모듈개발", 한국정밀공학회지 제 10 권 제 3 호, pp 205-219. 1993.9