

특징 형상기반의 CAIP에 관한 연구

윤길상*, 조명우⁺, 이흥희⁺
(논문접수일 2003. 5. 17, 심사완료일 2003. 7. 15)

A Study of Feature-Based Computer-Aided Inspection Planning System

Gil-Sang Yoon*, Myeong-Woo Cho⁺, Hong-Hee Lee⁺

Abstract

A feature-based inspection planning system is proposed in this research to develop more efficient measuring methodology for the OMM(On-Machine Measurement) or CMM(Coordinate Measuring Machine) for complicated workpiece having many primitive form features. This paper is proposed solution that optimum inspection sequence of the objective features. The sequences are determined by analyzing the feature information such as the nearest relationship and the possible probe-approach direction(PAD) of the features, and forming feature groups. A series of heuristic rules are developed to accomplish it. Also, each feature is decomposed into its constituent geometric elements for inspection process, and then the number of sampling points, location of the measuring points, optimum probing path are determined.

Key Words : CAIP(Computer Aided Inspection Planning, 전산응용 측정계획), OMM(On-Machine Measurement, 기상측정)

1. 서론

일반적으로 측정기는 접촉식과 비접촉식으로 구분되는데 접촉식 측정 장비로는 3차원 측정기(CMM, Coordinate Measuring Machine)와 공작기계 상에서 운용되는 기상측정(OMM, On Machine Measurement) 장비가 사용되고 있다. 위의 두 측정기 가운데 3차원 측정기의 보급률 높은데, 이는 측정 정밀도가 기상측정보다 우수하기 때문이다.

하지만 초기 투자비가 많이 소요되고, 측정시간이 비교적 길며, 운용과 유지에 까다로운 면이 있다. 반면에 기상측정은 공작기계상에서 공구교환을 통하여 기계 가공 공정 중간에 측정 할 수 있으며, 비교적 가격이 저가이기 때문에 점차적으로 수요가 증대되고 있는 추세이다. 이에 반하여 측정 정밀도가 3차원 측정기에 비해 떨어지는 단점이 있다. 접촉식 측정기의 운영방식에 있어서는 두 종류 모두 CAD/CAM 형상 정보를 이용하여 측정을 수행한다는 점

* 주저자, 인하대학교 기계공학과 대학원 (g2001060@inhavision.inha.ac.kr)

주소: 402-751 인천광역시 남구 용현동 253

+ 인하대학교 기계공학과

에서는 매우 유사하다. 이는 형상 정보를 가지고 측정위치를 선정하기 때문이다. 그러나 측정 작업은 측정 위치를 작업자가 임의 결정하는 수준을 벗어나지 못하고 있기 때문에 복잡한 형상으로 구성된 대상물의 경우 일괄적으로 측정을 자동화할 수 있는 방법을 가지고 있지 못하다. 세부적으로 대상물을 구성하고 있는 형상들에 대해 측정순서를 결정하거나, 개별 형상에 대해 최적화된 측정점의 수(number), 위치(location) 그리고 측정경로(probe path)를 결정하는데 있어 설계/가공과 측정을 연계하여 측정공정을 자동화 할 수 있는 연구는 미흡한 실정이다. 기상측정에 관련된 연구로는 공작기계의 오차 보정을 통해 접촉식 측정기의 정밀도를 향상시킬 수 있는 방법에 관한 연구가 이루어지고 있으며⁽¹⁻³⁾, Cho⁽⁴⁾는 기상측정을 이용하여 CAD/CAM/CAI를 연계방법에 관한 체계를 제시하였다. Lee⁽⁵⁾는 형상기반의 틀 베이스를 가공에 적용하여 가공의 순서와 가공 공정 계획을 수립할 수 있음을 증명하였다. Shah⁽⁶⁾는 설계 데이터와 가공에서 도출되는 형상을 분류하여 체계화하였다. 기존의 연구는 접촉식 측정 장비에 대해 측정 정밀도를 향상시키는 부분에 대해 많은 연구가 진행되었지만, 본 연구에서는 측정 공정을 생산 공정에서 보다 효율적으로 운영할 수 있는 방법을 시킬 수 있는 방법을 제시하고, 측정계획을 통하여 형상별 측정순서를 결정하여 측정을 자동화하였다.

2. 측정 계획

일반적으로 CAD/CAM의 형상(feature)과 측정(CAI, Computer Aided Inspection)의 형상은 Fig. 1과 같이 하나의 대상물에 대해 다르게 정의된다. 설계와 가공에서 정의되는 형상은 유사하지만, 일치하지 않는다^(5,6). 측정은 형상에 대한 측정결과와 표현이 기하공차로 정의되기 때문에 CAD/CAM에서 정의되는 형상을 가지고 측정에서 직접 적용하기에는 한계가 있다. 이는 측정에서 필요한 형상정보가 솔리드 형상이 아닌 형상을 구성하고 있는 면 정보를 요구하고 있기 때문이다. 현재의 측정 공정의 작업 형태가 설계의 솔리드 형상정보를 이용하고 있기 때문에 각 형상에 대해 측정을 자동화시키기 어렵다. 본 연구에서는 대상물을 구성하고 있는 형상별 측정순서를 결정하기 위한 거시적 측정계획(global inspection planning)과 단위 형상에 대한 측정점의 수, 위치, 측정경로를 결정하기 위한 국부적 측정계획(local inspection planning)으로 측정계획을 구분하여 수립하였다. 형상 정보 또한 가공 형상과 측정 형상으로 분류하여 적용하였다.

2.1 형상 정의

본 연구에서 형상은 두 가지로 정의하였다. 먼저 설계 정보를 이용하여 가공 형상으로 정의하였다. 이는 CAD와 CAM의 형상 정의가 일치하지 않기 때문이며, CAD/CAI 연계와 CAM/CAI의 연계 시스템의 구축을 위한 것이다. 기존의 방식은 CAD/CAI연계시스템에 의한 측정이 수행되고 있지만 접촉식 측정 장비 가운데 기상측정의 경우, 가공 공정 도중에 공구교환을 이용하여 측정 수행이 가능하기 때문에 가공 형상 정보가 필요하다. 또한 기계 가공 공정에 따라 가공물의 가공 형상이 순차적으로 생성되기 때문에, 이에 맞추어 측정에 필요한 가공형상의 순서를 결정해야 하기 때문에 CAD/CAM의 형상을 별도로 정의하였다. 어떤 대상물에 대해 Fig. 1처럼 하나의 형상에 대해 형상정의가 다르기 때문에 본 연구에서는 CAD/CAM의 각 형상정보를 CAI에 적용할 수 있게 하였다. 그리고 각 측정 형상(inspection feature)은 가공형상을 기반으로 하여 Fig. 2와 같이 분류하여 체계를 개발하였다. 각 가공 형상은 측정 형상으로 일차적으로 변환되며, 각 측정형상은 두 가지 형태로 측정 결과를 유도할 수 있다. 측정 해석은 독립형상에 대해 일차적으로 해석되며 독립형상에는 6개의 기하공차를 가지고 있으

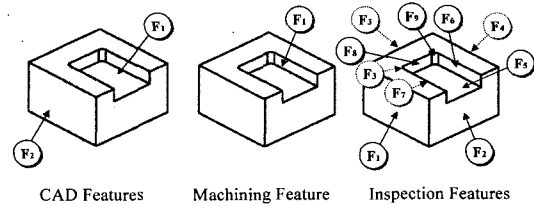


Fig. 1 CAD/CAM/CAI feature definition

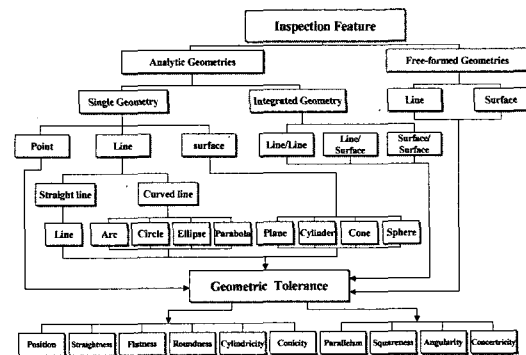


Fig. 2 Geometric feature classification for inspection

며, 상호 연관 측정형상들은 4개의 기하공차를 해석할 수 있다. Fig. 2는 측정 형상과 해석되어지는 기하공차를 연관하여 분류하였다.

2.2 측정계획

제안된 측정계획(CAIP, computer aided inspection planning)은 측정 대상물을 구성하고 있는 가공형상의 대해 측정 순서를 결정하는 거시적 측정계획과 측정 순서가 결정되어진 단위 가공형상에 대해 측정방법을 결정하는 단위 형상 측정계획으로 나누어 크게 나누어 개발되었다. (Fig. 3) 측정하고자 하는 대상물은 일반적으로 다양한 형태의 형상들로 구성되어 있다. 이런 대상물을 측정하기 위해서는 형상들의 측정순서와 측정방법을 결정해야 한다. 현재 접촉식 측정 장비를 이용하여 복합 형상을 측정할 때, 구성하고 있는 형상들에 대해 순서를 결정하여 측정 작업을 수행하지는 않는다. 대부분의 경우 공차의 개념을 이용하여 공차가 적은 부분에 일반적으로 측정이 집중되어 진다. 측정방법 또한 대상물에 대해 정해진 측정 위치나 방법이 존재하지 않는다. 이러한 이유로 효율적으로 측정을 수행하기 위해 본 연구에서는 공정의 개념을 도입하여 측정계획을 개발하였다. 거시적 측정계획은 구성하고 있는 형상들에 대한 측정 순서를 결정하는 것으로 CAD/CAM의 형상 정보를 이용하여 측정방향 단위 형상간의 기하학적인 관계를 룰 베이스(heuristic rule base)이용하여 단위 형상들의 측정 순서를 결정하였다. 형상들의 측정순서가 결정되면 형상을 측정하는 방법을 결정한다. 이는 단위 형상 측정계획(local inspection

planning)에 의해 결정되어진다. 단위 형상 측정계획은 측정점의 수, 위치 그리고 측정 경로, non-contact point의 결정으로 구성되어 있다. 이들은 측정 작업을 수행하기 위해서는 필수적으로 결정해야할 측정변수이다. 그러나 산업현장에서는 숙련자가 임의적으로 측정변수를 결정하는 것이 일반적이다. 이에 대해 본 연구에서는 보다 효율적으로 측정변수를 결정하기 위해 각 측정변수를 결정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

2.3 기하정보와 형상 관계

대상물은 일차적으로 가공에서 생성되는 형상들의 집합이나, 형상간의 기하학적 관계에 의해 결정된다⁽⁷⁾. 가공 공정 이후 생성되는 가공 형상들은 최적의 프로브(probe)의 접근 방향(PAD, probe approach direction)을 가지고 있다. 개발된 측정계획(Fig. 3)을 검증하기 위해 대상물(example part)을 선정하여 측정계획을 적용하였다. 선정된 대상물은 Fig. 4와 같다. S_M 은 프로브의 측정 방향을 의미하며, M 은 1-6이다. 그러나 S_6 은 적용한 대상물에 대해 프로브의 접근이 불가능한 방향이기 때문에 고려하지 않았다. FN 는 가공에 적용되는 가공형상(machining feature)의 ID이며, N 은 정수로 표현한다. F_{SM} 은 프로브의 접근방향(S_M)에 따른 형상 중에 개별 형상을 가공한 후 블록에 남아있는 면의 형상을 의미한다. 선정된 대상물의 가공 형상은 F_1 - F_{21} 이며, 진입방향은 S_1 - S_5 , 면은 F_{S1} - F_{S5} 이다. Fig. 5는 측정 대상물을 구성하는 모든 가공 형상의 기하학적 관계를 나타낸 것이다.

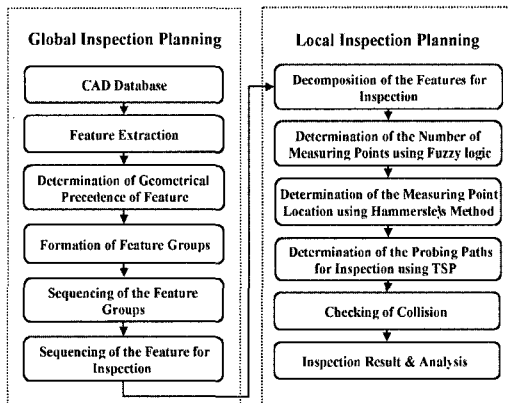


Fig. 3 Overall schematic diagram of the proposed inspection planning strategy

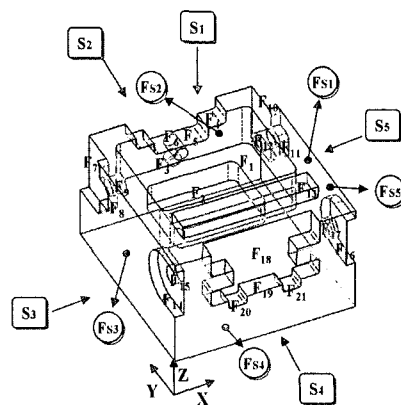


Fig. 4 An example part and its features

3. 가공형상들의 측정순서 결정

분류된 형상들은 형상간의 기하학적 관계와 프로브(probe)의 접근 방향(PAD)에 따라 형상 그룹으로 조합할 수 있다. 구성된 형상그룹과 그룹에 속한 형상들은 측정 순서를 결정하게 되는 데 이에 적용한 규칙(rule base)은 Table 1과 같다. 대상물에 적용한 룰은 모두 9개(Rule 1-Rule 9)로 구성되어있다. 세부적인 룰의 내용은 다음과 같다.

Rule 1) PAD에 따른 형상 관계 정의

모든 대상물은 개별적인 가공형상으로 구성되어 있는데, 이들 각 형상은 접촉식 측정기의 프로브의 접근 방향에 의해 측정할 수 있는 형상과 측정 할 수 없는 형상으로 구분된다. 본 연구에서도 각 가공 형상을 프로브의 접근 방향에 맞추어 형상 그룹으로 정의하기 위해 적용하였다. 가공 형상들은 상호간의 기하학적 관계를 가지고 있지만, 프로브의 접근 방향이 다르다면 그들의 관계는 성립되지 않는다. Fig. 5에서 F₁- F₆, F₁- F₁₂, F₁-F₉(점선표시)는 Rule 1에 의거하여 PAD가 다르기 때문에 가공 형상간의 기하학적 관

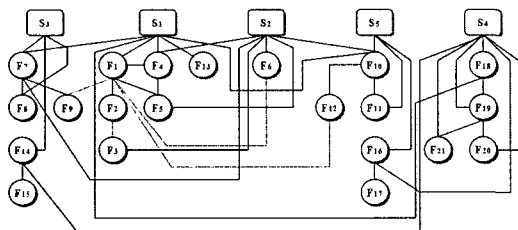


Fig. 5 Precedence tree of the features of the example part

Table 1 Heuristic rule base of example part

Rule 1. Application of the identical PAD rule
Rule 2. Formation of geometrical feature groups
Rule 3. Application of the identical PAD rule in a featuregroup
Rule 4. Determination of the parent surface of a feature group
Rule 5. Determination of the parent surface of brother features
Rule 6. Cancellation of shortcut paths
Rule 7. Determination of the order of feature groups
Rule 8. Cancellation of the repeated parent surfaces
Rule 9. Determination of the inspection precedence

계는 배제된다.

Rule 2) 기하학적 형상그룹의 구성

프로브의 접근 방향이 결정되어 측정이 가능한 가공형상으로 판단되면, 접근방향에 따른 가공 형상들을 그룹으로 묶을 수 있다. 제안된 룰 또한 측정이 가능한 형상들을 그룹으로 구성하였다. 만약 형상간의 기하학적 관계가 전혀 없는 형상이 존재한다면 독립적인 그룹으로 생성하여 분류하였다. (Fig. 6) S_M으로 표기된 상위 면(parent surface)은 형상 그룹을 구성하는데 제외하였다.

Rule 3) 형상그룹의 PAD 적용

가공 형상을 그룹화하여 형상 그룹을 결정하였다. 그런데 그룹에 속해 있는 각 가공 형상들은 측정을 위한 프로브의 접근 방향이 모두 일치하지는 않는다. 이것은 Rule 1에서 결정된 프로브의 접근 방향에 속해 있는 가공형상을 그룹으로 정의한 것이기 때문이다. 이로 인하여 그룹에서 각 가공 형상에 대해 프로브의 진입방향을 결정했을 경우, Rule 1에서 결정된 프로브의 접근 방향과 새로 정의된 각 형상의 프로브의 접근방향이 다르게 나올 수 있다. 만약 정의된 형상그룹과의 프로브의 접근 방향이 다른 형상간의 기하학적 관계는 성립하지 않는다(Fig. 6).

Rule 4) 형상그룹의 상위 면 결정

상위 면(parent surface)은 블록의 각 면을 의미한다. 일반적으로 상위 면은 하나가 결정된다. 그러나 가공 형상의 경우 2이상의 상위 면과 기하학적 관계가 있는 경우가 많이 있다. 이런 경우에 상위 면을 결정한다. 상위 면과 프로브의

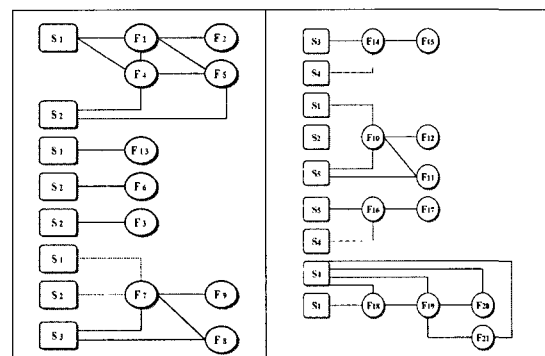


Fig. 6 Geometrical feature groups of the example part

접근 방향과 일치한다. 만약 상위 면을 결정하지 않은 경우 한 가공 형상을 두 번 이상 측정을 수행하는 경우가 발생하기 때문이다. 형상 그룹이 두 개 이상의 상위 면과 관계가 있다면, 먼저 S₁으로 결정된다. S₁이 두 개 이상의 상위 면에 속해 있지 않다면, S_M의 M이 큰 순으로 결정한다(Fig. 7). 적용한 대상물의 경우, Fig. 5에서 S₁, S₂가 F₄, F₅와 그룹간의 관계가 성립되지만, Rule 4에 의해 S₂와 F₄, F₅의 기하학적 관계는 더 이상 성립하지 않는다.

Rule 5) 동등관계를 유지한 형상간의 상위 면 결정

상위 면에 일차적으로 종속되어 있는 가공 형상은 매우 많을 수 있다. 이런 경우 상위 면에 종속된 형상의 측정 순서를 결정해야 한다. 동일 형상 그룹에서 상위 면에 대해 연관 관계가 동등한 형상이 한 개 이상일 경우, S₁에서 연관 관계의 구조가 가까울수록 측정 순서가 우선한 형상으로 판단한다. Fig. 5의 S₄ 와 F₁₈, F₁₉, F₂₀관계에서 F₁₈, F₁₉, F₂₀은

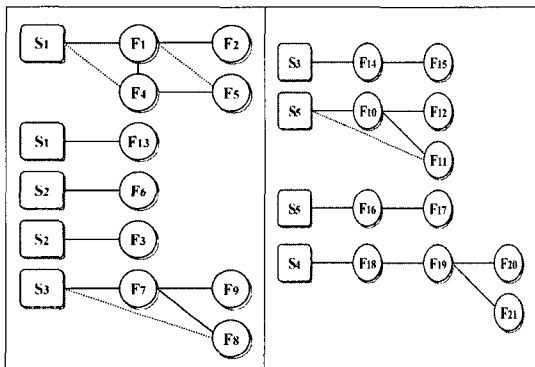


Fig. 7 Feature groups of the result of the application of Rules 4, 5 and 6

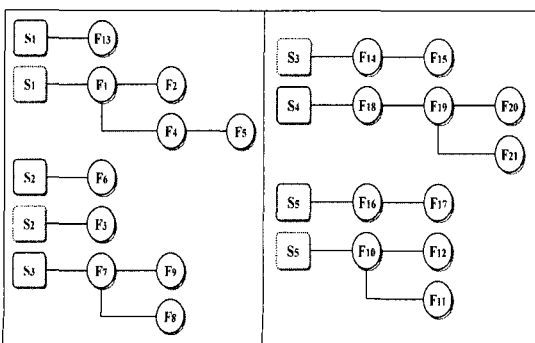


Fig. 8 The ordered feature groups

독립적이며, 동등한 관계를 유지하고 있으나 Rule 5에 의하여 F₁₈ - F₁₉ - F₂₀의 순으로 관계를 조정한다. (Fig. 7) 만약 S₁의 거리가 같다면 S₂ -S₃ -S₄ -S₅ 순으로 상위 면을 순차적으로 적용한다.

Rule 6) 동일 형상그룹에서 형상간의 연관 거리에 따른 관계 정의

가공 형상 그룹이 결정된 후 각 형상간은 동등/종속의 연관 구조를 가지고 있다. 이럴 경우 하나의 형상이 여러 형상에 종속되어 구조를 가질 경우가 있는데 이럴 경우를 측정 순서를 결정하는 것이다. 각 형상그룹에서 형상간은 연관 경로 (relationship path)를 성립 시킬 수 있는데 이 형상간의 연관 관계를 거리의 개념으로 적용하였다. Fig. 7에서 S₃-F₈과 S₃-F₇-F₈의 연관 관계가 성립된다. 이럴 경우 S₃과 F₈의 연관 거리가 F₇-F₈의 연관 거리 보다 길다. 이럴 경우 연관 거리가 가까운 것은 기하학적 관계를 유지할 수 있다. 그러므로 S₃과 F₈의 관계에서 S₃-F₈의 기하학적 관계의 성립은 지속시키지 않는다.

Rule 7) 서로 다른 형상 그룹의 측정 순서 결정

형상 그룹의 수는 측정 대상물에 따라 다르다. 그러나 형상 그룹은 측정 작업을 수행하기 위해서는 상위 면에 종속된다. 그러므로 서로 다른 형상 그룹간의 측정 순서는 상위 면의 순으로 (S₁-S₂-S₃-S₄-S₅) 측정을 수행한다(Fig. 8). 상위 면에 한 개 이상의 형상 그룹이 존재하면, 다음 측정할 상위 면에 측정거리가 멀수록 먼저 측정한다. S₁의 F₁₃이 속한 그룹과 F₁이 속한 그룹의 순서결정은 S₂에서 면 F₁₃이 속한 형상 그룹이 측정에 우선한다.

Rule 8) 중복 상위 면의 면 결정

한 개의 형상 그룹이 두 개 이상의 상위 면에 기하학적 관계를 가지고 있을 경우, 현재까지 결정된 순에 우선한 선행 상위 면은 연관 관계를 유지하고, 나머지 상위 면은 관계가 성립되지 않는다(Fig. 8).

Rule 9) 측정 형상 그룹간의 측정 순서 결정

대상물의 좌표를 결정하기 위해 초기에 가공 형상을 제외한 블록에 남아 있는 형상, 즉 F_{S1}, F_{S3}, F_{S5}을 측정하고, 상위 규칙에서 결정된 형상 그룹별로 측정의 순서를 결정한다. 위의 Rule을 적용하여 Fig. 9와 같은 가공 형상들의 측정 순서를 결정하였다. 이는 대상물의 공차를 고려하지 않은

Surface order	Inspection sequence	PAD
1,3,4	$F_{13} \rightarrow F_{11} \rightarrow F_{12}$	S1(-Z)
1	$F_{13} \rightarrow F_{11} \rightarrow F_{12} \rightarrow F_{14} \rightarrow F_{15}$	S1(-Z)
2	$F_{21} \rightarrow F_{23} \rightarrow F_{22}$	S2(-Y)
3	$F_{31} \rightarrow F_{33} \rightarrow F_{32} \rightarrow F_{34} \rightarrow F_{35}$	S3(+X)
4	$F_{43} \rightarrow F_{41} \rightarrow F_{42} \rightarrow F_{44}$	S4(+Y)
5	$F_{51} \rightarrow F_{53} \rightarrow F_{52} \rightarrow F_{54} \rightarrow F_{55}$	S5(-X)

Fig. 9 Feature sequence result of inspection plan

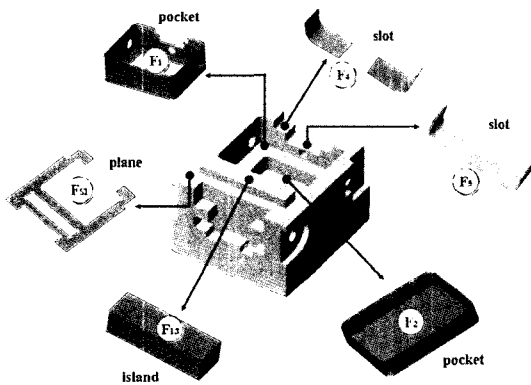


Fig. 10 The PAD(-Z) feature decomposition of example part

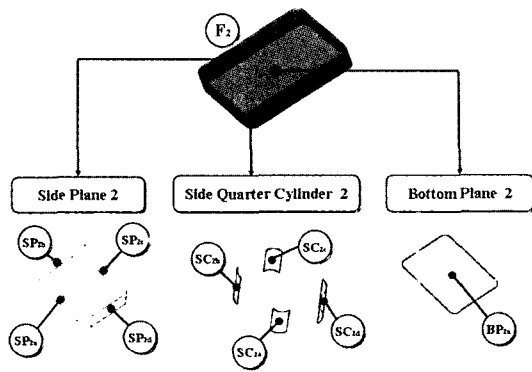


Fig. 11 Decomposition into inspection features(F2)

것으로 만약, 설계 단계에서 대상물의 각 형상에 공차를 부여한다면, 형상의 측정 순서로 형상 그룹 내에서 우선적으

로 측정순서를 결정한다.

4. 단위 형상의 측정방법

각 가공 형상은 형상들에 대한 측정 순서를 결정한 후 각 형상에 대한 측정을 수행한다. PAD(-Z)인 경우는 대상물은 Fig. 10과 같은 형상들로 구성되어 있다. 형상별 측정계획에 의해 측정은 $F_{S1}, F_{13}, F_{11}, F_{2}, F_{4}, F_{5}$ 의 순으로 전개된다. 형상별 측정순서를 결정한 후 각 형상에 대한 측정 방법을 결정해야 하는데, 본 연구에서는 측정 형상으로 분류를 이용하여, 단위 형상에 대한 측정계획을 수행하였다. 이는 가공형상과 Fig. 2와 같이 측정 형상이 서로 다르게 정의되기 때문이다. 한 개의 가공형상(F_2)은 Fig. 11과 같이 다수의 측정 형상을 가지고 있다. 이런 여러 개의 형상(SP_{2a} - SP_{2d} , SC_{2a} - SC_{2d} , BP_{2a})은 Fig. 12의 세부적인 측정변수 결정 알고리즘을 이용하여 측정점의 수, 위치, 경로를 결정한다. 측정 형상들은 고유 ID를 가지고 있다. Fig. 12는 각 알고리즘을 이용하여 영역별 측정 변수를 결정하기 위한 단위 형상별 측정계획(local inspection planning)의 구조를 나타낸 것이다.

4.1 측정 요소 결정

각 측정 형상들은 측정에 필요한 변수들을 결정해야 하는데, 그 변수로는 측정점의 수, 측정 위치, 측정 경로가 있으며, Fig. 10에서 F_{S1} 과 같이 Plane으로 분류되는 형상에 대해 추가적으로 non-contact points의 측정점 재배치(relocation)가 필요하다. 이는 F_{S1} 과 같이 분류되는 면들은 측정점을 분포시키면, 측정점이 형상위에 존재하지 않은 경우가 있기 때문이다. 측정변수 결정하는 방법은 Fig. 12에 나타난 것과 같이 적용하였고, 세부적인 방법은 아래와 같다.

4.1.1 측정점의 수 결정

측정점의 수는 측정에 있어 측정 정밀도에 가장 큰 영향을 미친다. 또한 기상측정의 경우는 동작기계를 사용하기 때문에 동작기계의 정밀도를 고려하여 측정점을 증가시킬 필요가 있다. 현재의 접촉식 측정 방법은 측정 대상물의 각 측정 형상의 정밀도를 판정할 때, 작업자가 임의적으로 형상에 대한 측정점의 수를 결정하고 있기 때문에 형상의 크기와 형상 정보를 고려한다고 할 수 없다. 또한 접촉식 측정 장비들은 측정점의 수에 따라 측정시간이 결정되기 때문에 최적의 측정점 수를 결정하는 방법이 중요하다. 본 연구에

서는 측정 대상물의 형상과 크기에 따라 측정점의 수를 능동적으로 대처가 가능하며, 공작기계의 정밀도에 따라 측정점을 자율적으로 변화시킬 수 있도록 퍼지 시스템을 적용한 규칙을 적용하였다.(Fig. 13) 적용된 알고리즘의 입력변수로는 공작기계의 정밀도, 측정 대상물의 면적, 그리고 사용자가 요구하는 측정 정밀도이며⁽⁸⁾, 각 적용된 변수들로 퍼지 셋을 만들어 맵핑(mapping)을 시킨 후 측정점 수를 결정하였다.

4.1.2 측정점의 위치 결정

고유의 측정 형상을 적절히 고려하여 측정점의 위치를 결정하고자, 본 연구에서는 Hammersley's method를 적용하였다. 사용된 알고리즘은 기존의 균일하게 측정점을 나열한 격자형보다 측정점의 수를 줄이면서도 정확도가 유지될 수 있는 알고리즘이며, 임의 결정방식 보다는 측정 형상을 고

려하여 측정 위치를 결정할 수 있는 방법이다. 적용한 방법은 대표 형상들로 구성되어 있지만, 나머지 형상들에 대해서는 이를 수정 또는 변형하여 적용하면 모든 형상에 적용이 가능하다. 3.1.1의 방법으로 측정점의 수를 결정한 후, 본 알고리즘을 이용하여 대상 측정 형상에 대해 측정점을 분포시킨다⁽⁸⁾.

4.1.3 측정경로결정

측정점과 측정점의 위치를 결정한 후 프로브가 이동해야 하는 궤적을 결정해야 하는데 이를 측정경로(probe path)라 하며, 본 논문에서는 측정점을 유도하는 유도점(guide point)과 TSP(traveling salesperson problem)를 이용하여 결정하였다. 유도점은 보통 2-3점을 이용하는 데 본 연구에서는 2개의 유도점을 사용하였다. 이는 측정 시간을 최소화하기 위해서이다. 유도점은 측정점의 법선벡터방향으로 사용자가 주어진 안전거리(probe safe distance)만큼 떨어진 거리에 위치한다. 결정된 유도점과 측정점을 이용하여 최단 측정거리를 결정하기 위해 TSP problem를 적용하여, 측정 대상물에 대한 측정 경로를 결정하였다⁽⁸⁾. 위의 3가지 요소를 결정하면, F_{SI} 을 제외한 개별적인 측정 형상에 대해 측정을 수행할 수 있다. 제안된 방법으로 F_2 에 적용한 결과 Fig. 14과 같다.

4.2 Non-contact points의 재배치

일반적으로 F_{SM} 은 블록에 가공 형상을 제외하고 남아 있는 면으로 일반적인 형상으로 정의할 수 없다. 그러나 대상물을 구성하고 있는 하나의 형상이기 때문에 측정을 수행해

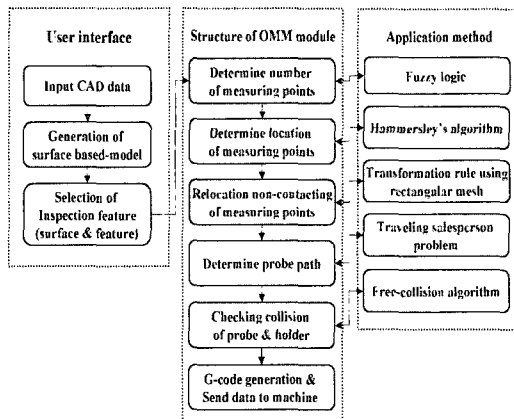


Fig. 12 The structure of local inspection planning

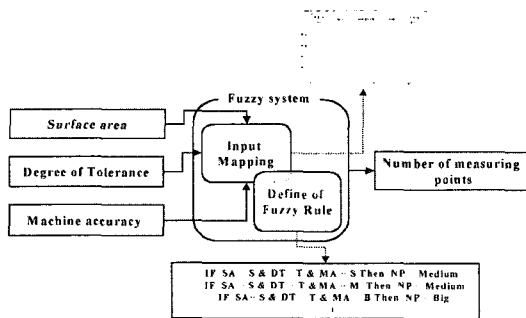


Fig. 13 The fuzzy system for determination of measuring point number

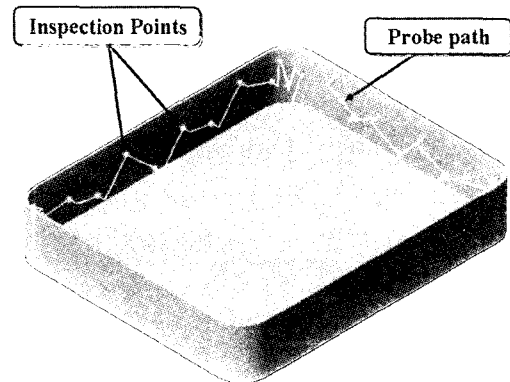


Fig. 14 Determination of measuring points, their location, and probe path for feature F_2

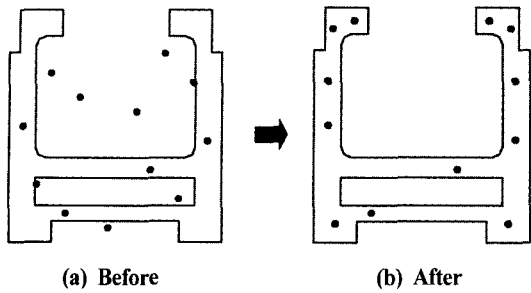


Fig. 15 Relocation of non-contacting measuring points for F_{S1}

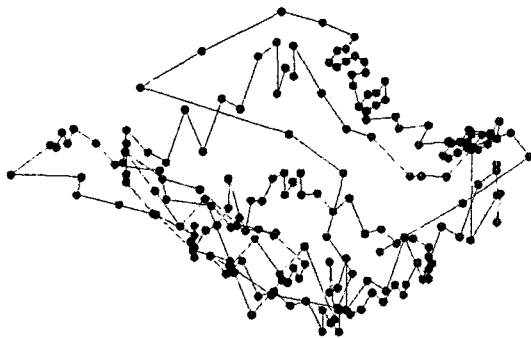


Fig. 16 Determination of measuring points, location, path for the example part

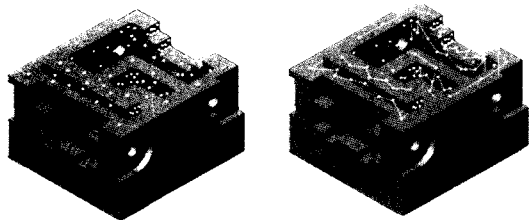


Fig. 17 The proposed CAIP simulation result for S_1

야 하는 데 측정점의 수와 위치를 제시한 알고리즘으로 결정하면 Fig. 15(a)와 같은 결과를 얻을 수 있다. Fig. 15(a)는 F_{S1} 을 적용한 것으로 측정점이 대상 형상에 분포하지 않은 경우가 발생하는 경우도 있다. 이런 경우, 그대로 측정을 수행할 경우 다른 형상을 측정하거나 측정을 수행하는 과정에서 측정이 어려워 발생한다. 본 연구에서는 이런 경우에 대상형상(F_{SM})을 사각 메시(rectangle mesh)를 이용하여 측정점의 위치를 재결정하였다. 이미 결정된 측정점이 대상 형상에 분포하고 있지 않더라도 임의적으로 제거할 수 없

며, 이는 결정된 측정점의 수가 대상 형상을 측정하기 위한 적합한 수이기 때문이다. 측정점의 대상 형상에 분포하지 않은 수를 먼저 검색하고, 이를 대상 형상에 위치를 이동시킨다. F_{S1} 의 경우 형상에 접촉하지 않은 측정점은 8개이다. 측정점을 이동시키는 방법은 사각 메시로 분할된 형상의 분할 영역에 면적이 큰 순으로 측정점이 존재하고 있는지 검색하고, 측정점이 존재하지 않은 사각 영역에 접촉하지 않은 수만큼 하나씩 영역 중심에 분포시킨다. 세부적인 과정은 다음과 같다.

- (1) Plane에 접촉하지 않은 측정점 수 검색
- (2) Plane를 사각 메시로 분할
- (3) 각 분할 영역에서 측정점의 존재여부 검출
- (4) 분포하지 않은 분할영역 면적(area) 계산
- (5) 측정점이 존재하지 않는 분할영역 중에 큰 순부터 Non-contact 수만큼 분할영역 중심에 분포.

위의 방법을 적용하여 접촉하지 않은 측정점을 Plane에 재배치한 결과를 Fig. 15(b)와 같이 얻을 수 있다.

5. Simulation & 실험

제안한 측정계획(global inspection planning, local inspection planning)을 이용하여 모의실험을 수행하여 얻은 결과 S_1 면의 경우 가공형상에 대한 각 형상별 측정 순서는 F_{S1} , F_{13} , F_1 , F_2 , F_4 , F_5 와 같은 가공 형상순으로 측정이 수행되며, 측정형상을 이용하여 측정 변수를 결정한 결과 Fig. 16와 같은 측정점의 수(187개), 측정위치, 측정경로를 결정하였다. Fig. 17은 측정계획에 의한 결과를 직접 대상물에 적용한 결과이다.

6. 결론

본 연구는 특정 형상기반의 측정계획(CAIP)을 제안하고, 가공 형상 대해 물 베이스를 이용하여 형상별 측정 순서를 결정하였고, 측정형상에 대한 측정 변수를 결정하는 알고리즘을 제시하였다. 본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 접촉식 측정기를 위한 특정 형상기반의 효율적인 통합 측정계획을 제시하였다.

- (2) 복잡한 측정 대상물에 대해 제시한 측정계획을 통해 기존의 측정 위치를 선정하여 측정하는 방식에서 형상을 선택하여 측정하는 방식을 적용함으로써 측정 작업을 보다 합리화 시켰다.
- (3) 2개 이상 가공형상으로 정의된 복잡한 대상물에 대해 측정을 연속적이며, 최적화된 측정변수를 결정할 수 있는 방법을 제시하였다.
- (4) 측정을 자동화하기 위해 필요한 측정 형상에 대해 형상 정의와 분류를 체계화 하였다.
- (5) 측정변수(측정점의 수, 위치, 경로) 결정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.
- (6) 제시한 측정계획을 이용하여 사용자가 대상물에 대해 측정을 수행할 때 측정 변수를 결정하는데 있어 보가 시간을 단축시킬 수 있으며, CAD/CAM/CAI의 연계 구축이 가능하다.
- (7) 향후 접촉식 측정기를 위한 형상(Feature) 기반의 전용 프로그램에 관한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, S. W., Park, H. J. and Chu, C. N., 1998, "Development of Computer Aided Measurement and Compensation System for Linear Pitch Error Correction in CNC Machine Tools Implementing a New Optimal Correction Algorithm", *Trans. of KSPE*, Vol. 15, No. 1, pp. 69~77.
- (2) Park, B. K., Song, G. H., Kwon, H. D., Cho, M. W. and Seo, T. I., 2002, "A Study on the OMM Error Compensation Considering the Thermally Induced Errors", *Trans. of KSPE*, spring conference, pp. 399~404.
- (3) Hong, S. O., 2002, "A Study on Improvement Position Error Induced Thermal Deformation of CNC Lathe Using Touch Sensor", *Trans. of KSMTE*, Vol. 11, No. 4, pp. 102~106.
- (4) Cho, M. W. and Seo, T. I., 2002, "Inspection Planning Strategy for the On-Machine Measurement Process Based on CAD/CAM/CAI Integration Concept", *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 19, pp. 607~617.
- (5) Lee, K. I., Lee, H., Noh, S. D., Shim, Y. B. and Cho, H. S., 1995, "A Process Planning System Using Group Technology and Rule-base", *IE Interfaces, KIIE*, Vol. 8, No. 3, pp. 221~230.
- (6) Shah, J. J., Mantyla, M. and Nau, D. D., 1994, *Advances in Feature-Based Manufacturing*, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Science B. V., pp. 65~80.
- (7) Lee, H., 1991, *A Generic Learning System for Computer-Aided Process Planning*, Ph. D. Dissertation, The Pennsylvania state University, University Park, PA.
- (8) Jong, S. W., Yoon, G. S. and Cho, M. W., 2002, "A Study on the Development of a Feature based Inspection Planning System for On-Machine Measurement Process", *KSPE autumn conference*, pp. 654~658.