

Turning STEP-NC(ISO14649) 정보를 기반한 접촉식 OMM(On-Machine Measurement) Inspection Planning 에 대한 연구

임충일* (POSCO IE Team)

A Study on the Tactile Inspection Planning for OMM based on Turning STEP-NC information (ISO14649)

CHOONG-IL IM*

Abstract

ISO 14649 (data model for STEP-NC) is a new interface scheme or language for CAD-CAM-CNC chain under established by ISO TC184 SC1. Up to this point, the new language is mainly made for milling and turning, and other processes such as EDM will be completed in the future. Upon completion, it will be used as the international standard language for e-manufacturing paradigm by replacing the old machine-level language, so called M&G code used since 1950's. With the rich information contents included in the new language, various intelligent functions can be made by the CNC as the CNC knows what-to-make and how-to-make. In particular, On-Machine Inspection required for quality assurance in the machine level, can be done based on the information of feature-based tolerance graph.

Previously, On-Machine Inspection has been investigated mainly for milling operation, and only a few researches were made for turning operation without addressing the data model. In this thesis, we present a feature-based on-machine inspection process by the 4 Tasks: 1) proposing a new schema for STEP-NC data model, 2) converting the conventional tolerance scheme into that of STEP-NC, 3) modifying the tolerance graph such that the tolerance can be effectively measured by the touch probe on the machine, and 4) generating collision-free tool path for actual measurement.

Task 1 is required for the incorporation of the presented method in the ISO 14649, whose current version does not much include the detailed schema for tolerance. Based on the presented schema, the tolerance represented in the conventional drafting can be changed to that of STEP-NC (Task 2). A special emphasis was given to Task 3 to make the represented tolerance accurately measurable by the touch probe on the machine even if the part setup is changed. Finally, Task 4 is converting the result of Task 3 into the motion of touch probe. The developed schema and algorithms were illustrated by several examples including that of ISO 14649 Part 12.

1. 서론

현대의 제조 산업에서 CAD 정보와 같은 디지털 정보와 통합된 환경은 시대적 추세라고 할 수 있다. 특별히 CAD 정보와 관련해서는 현재까지 다른 기종 시스템 간의 제품 정보의 교환을 위해 제품 정보에 대한 중립 포맷의 표준 제정 움직임이 있었고 (STEP, ISO10303) 이를 통해 제품 주기(life cycle)동안의 모든 정보를 포함하는 동시에 CAD-CAM 사이의 정보 호환이 자유롭게 되었다. 게다가 이제는 이러한 상위 시스템과 shop floor 의 생산 주체인 CNC 사이의 정보 고속도로 (Information Highway)를 위한

새로운 정보 전달 언어가 국제 표준화가 되고 있는 상태이다(STEP-NC, ISO14649). 이는 이전의 G-코드(ISO6983)를 대신할 언어로 G-코드와는 달리 무엇을 어떻게 가공할 것인가에 대한 정보를 포함하고 있다. 이 정보를 기반으로 차세대 CNC 는 지능적인 기능을 수행할 수 있는데 특별히 제품의 품질 관리와 관련하여 공작 기계의 측정기계의 활용에 대한 연구[2-4]가 진행되어 왔고 그 결과 CMM 과 같은 고가의 장비가 없는 현장 및 중소기업에서 공작 기계를 이용한 측정 즉, OMM (On-Machine Measurement), OMI (On-Machine Inspection)를 통한 제품 품질 관리가 가능함을 시사해 왔다. 그러므로 OMM 을 위한 Inspection planning 에 이러한 STEP-NC 정보를 이용하면 STEP-NC 가 가지고 있는 엄청난 정보를 이용하여 STEP-NC 기반의 CNC 에 OMM 이라는 기능을 추가할 수 있다.

그런데 OMM 관련 연구들을 살펴보면 여러 에러 모델 들 그리고 에러 보상을 통한 공작 기계의 정도 향상에 따른 OMM 실용화 검증에 초점을 맞추어 진행되어 왔고 대부분이 밀링 가공을 대상으로 하였으며 선반 가공을 대상으로 한 연구는 없었으며 dimensional tolerance 만 고려한 공차 정보(tolerance)를 단지 가공 정도 판단에만 사용하였고 Inspection planning 이란 개념을 사용하지 않았다.[3,4]

이와는 다르게 CMM 과 관련된 연구 분야를 보면 컴퓨터 기술을 이용하여 CAD 와 CMM 의 통합을 목표로 Computer Aided Tactile Inspection Planning(CATIP)[5] 연구가 활발히 진행되면서 CAD 정보와 tolerance 정보를 결합하기 위해 feature 를 기반하거나[6] 또는 인공 지능을 이용한 측정점 산출 또는 최적 측정 경로 생성 알고리즘 개발[7,8]에 초점이 맞춰져 있다.

CMM 분야에 inspection planning 이 있다면 CMM 과 유사한 OMM 는 CMM 의 inspection planning 을 사용하면 되지 않느냐는 생각을 할 수 있다. 그러나 CMM 과 OMM 의 차이인 setup 과 datum 과 연결 지을 수 있다. 다시 말해 CMM 의 경우는 가공이 완료된 상태에서 측정을 수행하는 데 이때 datum 으로 지정된 datum feature 를 simulated datum 개념인 정반이나 테이블 위에 공작품을 위치시키게 되므로 datum feature 를 진정한 datum 으로 가정하여 사용 가능하나 OMM 의 경우엔 가공 중인 상태에서 측정을 수행해야 하며 특별히 선반 가공에서 datum 이 2nd setup 에 존재할 경우 1st setup 가공 후 존재조차 하지 않는 상황이 벌어지고 또한 datum 을 위치시킬 simulated datum 이 척을 제외하고는 없는데 척을 simulated datum 이라 볼 수 있을 지 조차 의문이다.

그리고 OMM 을 위해 STEP-NC 정보를 이용하는데 있어서 아직 ISO 14649 에는 OMM 의 기본 입력인 공차 정보를 나타낼 수 있는 데이터 모델이 없고 또한 선반 가공을 대

상으로 하는 OMM를 위해서 Tolerance 특성 및 setup change에 따른 문제가 존재하게 된다.

이 논문에서는 선반 OMM에서 발생하는 위 문제들에 대해 살펴 보고 FBOMM (Feature Based On-Machine Measurement)의 task들 및 이와 관련된 ISO14649 New Scheme, Inspection planning 절차, 알고리즘을 다루어 보겠으며 선반 OMM의 특징에 대한 요건들을 정리해 보도록 하겠다.

2. FBOMM Tasks and Processes

FBOMM(Feature Based On-Machine Measurement)를 위해 필수적인 사항은 다음과 같이 4가 있다.

현재까지 ISO14649에 재정의되어 있지 않은 tolerance 정보를 나타낼 수 있는 새로운 schema의 재정의(3장), 재정의된 새로운 schema를 이용한 도면상에 주어진 기존 Tolerance scheme의 변환(4장), Touch probe를 이용하여 효과적인 OMM 측정을 하기 위한 tolerance graph의 수정(5장), 그리고 실제 측정을 위한 충돌 없는 측정 경로 생성(6장) 등이 그것이다.

이와 관련하여 FBOMM를 수행하는 절차들을 살펴보면 Tolerance Feature analysis, Tolerance Datum analysis, Inspection Path generation를 들 수 있다. Tolerance Feature analysis는 FBOMM의 입력 단계로 새로운 Scheme을 사용하여 도면에 있는 치수와 공차에 대한 정보와 특징 형상 인식 그리고 Setup planning을 통해 결정된 각 셋업에서 가공될 Turning feature들을 결합시키고 도면상에 주어진 기존 tolerance scheme을 변환시키는 과정으로 Turning Feature Tolerance graph라는 개념으로 표현되는 가장 기본적인 정보를 생성한다. Tolerance Datum analysis는 다른 셋업에서 가공될 Turning feature 간에 존재하는 tolerance 관계 (datum - Turning feature 관계)를 제거하는 과정으로 이를 통해서 한 셋업에서 측정의 기준이 되는 datum과 측정할 Turning feature를 획득하게 되고 한 셋업에서 가공이 완료된 후 가공된 Turning feature에 주어진 tolerance를 기준으로 가공에 대한 평가를 할 수 있게 해준다. Inspection Path generation은 Independent Setup Graph를 기반으로 공차 종류에 따라 Turning feature에서 측정할 점의 개수와 위치를 결정하고 이를 있는 가장 짧으면서 공차들과 충돌이 발생하지 않는 측정 경로를 생성하는 과정이다.

Fig 1은 FBOMM를 구성하고 있는 processes에 대한 것을 보여주고 있다.

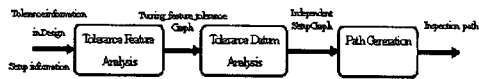


Fig. 1. FBOMM processes & Outputs

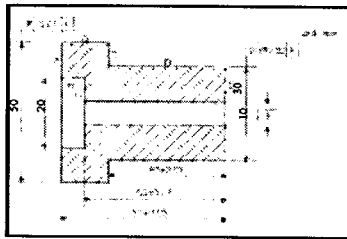


Fig. 2. Design example for FBOMM

Fig 2는 본 논문에서는 FBOMM의 각 단계를 설명하기 위해 사용할 예제 도면이다.

3. Turning Feature Tolerance - New schema for STEP-NC data model

아직까지 ISO 14649에는 공차 정보를 표시할 데이터 모델이 존재하지 않기 때문에 이를 위한 새로운 데이터 모델이 필요하다. 이를 정의하기 위한 요구 조건들은 먼저 도면의 공차 정보와 Setup 정보가 내포된 Turning feature 정보를 포함할 수 있어야 하며, 게다가 FBOMM의 각 단계의 중간 산출물들을 ISO 10303 Part 21을 따르는 Physical file 형태로 나타낼 수 있어야 한다.

Turning Feature Tolerance는 공차 정보와 셋업 정보, Turning feature 정보의 통합 그리고 FBOMM 과정의 결과들을 통합시키는 인터페이스라고 정의되며 이러한 Turning Feature Tolerance의 의미를 생각해보면 다음과 같다. 첫째, Turning feature에 Tolerance 정보를 포함시키는 대개체 역할을 한다. 둘째, Inspection planning을 위한 주요 정보 요소이다. 셋째, Inspection을 위한 경우에 무엇을 측정할 것인가에 대한 정보이다. 넷째, Tolerance 기반한 Setup planning이 가능해진다.

실제 ISO 10303 Part 11(EXPRESS)를 기반으로 하여 Turning Feature Tolerance ENTITY를 정의하면 다음과 같다.

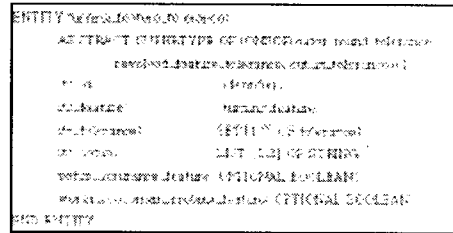


Fig. 3. ENTITY of Turning_Feature_Tolerance by EXPRESS

Fig 3에 있는 새롭게 정의된 Turning_Feature_Tolerance ENTITY는 its_feature와 its_tolerance를 가짐으로써 Turning feature와 tolerance 정보를 통합할 수 있는 인터페이스가 마련되었으며 its_setup을 가짐으로써 its_feature가 속한 셋업에 대한 정보 역시 포함할 수 있게 되었다. setup_assurance_feature 및 workpiece_origin_probing_feature는 FBOMM의 각 단계의 결과를 담을 수 있도록 하기 위해 정의된 것이다.

4. Tolerance Feature Analysis

4.1 Tolerance Graph

Tolerance Graph는 도면에 있는 치수 및 공차 정보 (dimension & tolerance information)을 나타낸다. 이를 Graph를 사용하여 나타내는 이유는 Tolerance Analysis 관련 연구 분야에서 형상(surface feature)과 공차 관계를 나타내는데 많이 사용되고 또한 직관적인 이해가 가능하기 때문이다. [10]

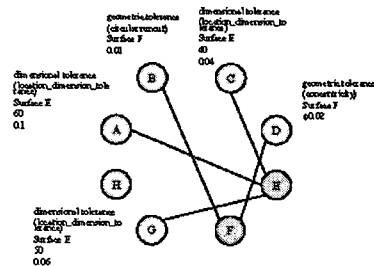


Fig. 4. Tolerance Graph

특별히 본 논문에서는 G(V, E)를 사용하는 것은 기존의 연구와 동일하나 V (vertex)에 Tolerance type (공차 종류), Datum (Optional), Dimension (Optional), Tolerance info(± or φ, material condition), Turning_feature 등의 정보를 추가시킨다. Fig 4는 위의 Graph를 사용하여 Fig 2를 나타낸 것이다.

4.2 Setup Set

Setup set은 특징 형상 인식과 각 셋업에서 가공할 Turning_feature들 그리고 셋업 순서에 대한 정보이다. Fig 5는 Fig 2에 대해 수행한 특징 형상 결과로 Fig 2를 구성하고 있는 모든 형상에 대해 Turning_feature (outer_diameter1, outer_diameter2, outer_diameter3, outer_diameter4, circular_face1, circular_face2, circular_face3, circular_face4)로 인식이 되었고 이를 지면상 O와 C로 표기하였다. 인식된 Turning_feature를 기반으로 어떤 Turning_feature가 어떤 셋업에서 가공될 것인지 결정되고 이 정보가 STEP-NC Part 10에 정의되어 있는 실제 실행에 관련한 executable의 ONE OF인 workplan의 its_element 즉, machining_workingstep의 its_feature로 지정됨으로써 workplan에서 각 셋업에 따라 가공해야 할 Turning_feature들을 나타낸다. 이로부터 생성된 정보가 Setup Set으로 Fig 6과 같이 각 셋업에서 가공할 Turning_feature들에 대한 정보이다. 여기서 S1과 S2는 1st setup과 2nd setup을 의미하며 그 안의 요소(element)는 각 셋업에서 가공될 turning_feature들이다.

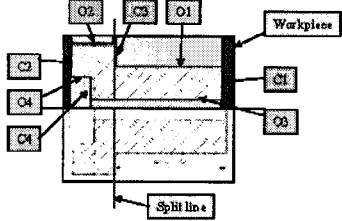


Fig. 5. Feature Recognition Result

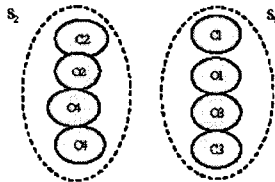


Fig. 6. Setup Set

4.3 Turning_Feature_Tolerance Graph

Turning_Feature_Tolerance Graph는 tolerance graph와 setup set의 정보를 통합시키기 위해 Turning_Feature_Tolerance 개념을 이용하여 나타낸 Tolerance Feature Analysis의 최종 출력물로서 다음 단계인 Tolerance Datum Analysis 단계로 진행된다.

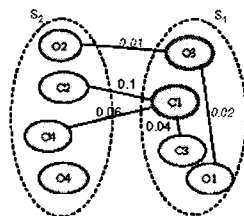


Fig. 7. Turning_Feature_Tolerance Graph

Turning_Feature_Tolerance Graph의 예를 Fig 7에서 보여주

고 있는데 이때 각 노드의 의미는 Fig 6의 Setup Set에서 의미하는 Turning_feature가 아니고 새롭게 정의된 Turning_Feature_Tolerance이며 arc는 이들 사이의 datum-tolerance 관계를 나타낸다. 이 그래프가 포함하고 있는 정보는 모두 Turning_Feature_Tolerance Entity를 사용하여 ISO10303의 Part 21인 physical file 형태로 나타내었을 때 표현 가능하다.

Tolerance Graph의 정보가 Setup Set 정보와 결합되고 Turning_Feature_Tolerance 정보로 통합되는 절차를 살펴보면, 우선 Setup Set에 있는 각 Turning_feature를 기준으로 자기를 its_feature로 가지는 Turning_Feature_Tolerance를 생성하고 모든 Turning_feature가 속한 setup에 대한 정보를 입력한다. 다음으로는 각 Turning_feature와 surface 사이의 관계를 규명하여 surface가 가지고 있는 tolerance 정보를 Turning_Feature_Tolerance의 attribute에 삽입을 한다.

다음으로 Turning_feature와 surface 사이의 관계를 규명하는 단계인데 STEP-NC의 Part 12에 정의되어 있는 Turning_feature는 Part 10에 있는 manufacturing_feature의 subclass인 twoSD_manufacturing_feature의 subclass로 what to make에 대한 정보를 표현하며 3차원 형상을 나타내고 있으므로 하나의 twoSD_manufacturing_feature에 tolerance를 부여하는 것이 불가능한 듯하나 선반의 경우에는 Z축을 중심으로 회전하며 가공되는 형상이므로 X축과 Y축의 2차원 형상으로 표현 가능하고 또한 Turning_feature 정의가 선반 가공 제품의 내/외경의 surface에 대한 형상을 나타내기 때문에 surface(A, B, C, D, E, F, G, H)와 일대일 대응이 되어서 A, C, E, G는 circular_face로, B, D, F, H는 outer_diameter로 매칭된다. 이런 다음 turning_feature인 outer_diameter 1~4, circular_face 1~4는 surface(A, B, C, D, E, F, G, H)가 가진 공차 정보를 포함하게 되고 이를 Turning_Feature_Tolerance의 attribute에 포함시킨다.

Feature Name	Feature Type	Feature Value	Feature Unit	Feature Material	Feature Datum	Feature Tolerance	Feature Position
outer_diameter1	outer_diameter	10.0	mm	Steel	A	±0.05	10.0
outer_diameter2	outer_diameter	10.0	mm	Steel	A	±0.05	10.0
outer_diameter3	outer_diameter	10.0	mm	Steel	A	±0.05	10.0
outer_diameter4	outer_diameter	10.0	mm	Steel	A	±0.05	10.0
circular_face1	circular_face	10.0	mm	Steel	A	±0.05	10.0
circular_face2	circular_face	10.0	mm	Steel	A	±0.05	10.0
circular_face3	circular_face	10.0	mm	Steel	A	±0.05	10.0
circular_face4	circular_face	10.0	mm	Steel	A	±0.05	10.0

Table 1 Integration to the Turning_Feature_Tolerance

각 Turning_feature들에 대해 처리를 해 준 결과가 Table 1에 정리되어 있고 보는 바와 같이 모든 정보가 Turning_Feature_Tolerance로 통합되었고 Turning_Feature_Tolerance들 사이의 datum-tolerance 관계가 표현된 것이 바로 Fig 7의 Turning_Feature_Tolerance graph이다.

5. Tolerance Datum Analysis process

5.1 Tolerance Datum Analysis의 대상 및 요건

OMM에서 측정의 가장 기본적인면서 중요한 정보는 공차(tolerance)이다. 측정을 통하여 획득한 데이터를 분석하여 가공 품질에 대한 판단을 할 때 쓰이는 기준이 바로 공차이기 때문이다. 그런데 이런 공차는 Table 2과 같이 datum이 없어도 되는 tolerance와 datum을 가져야지만 되는 tolerance로 나뉜다.[12, 13] 전자의 경우에는 상호 비교될 형체가 필요 없으므로(단독 형체이므로) tolerance가 부여된 feature에 대해서만 측정을 하고 그 측정 결과와 tolerance를 기준으로 가공 품질을 판단하면 되므로 이 장

에서 설명하고자 하는 Tolerance Datum Analysis 가 불필요하다. 반면, 후자와 같이 datum 이 있어야만 정의되는 경우에는 datum 을 기준으로 feature 를 측정하고 그 결과와 tolerance 를 기준으로 가공 품질에 대해 판단한다. 여기서 datum 을 기준으로 한다는 것은 datum 도 측정하여 나온 결과를 이용한다는 것이다. 그러므로 Tolerance Datum Analysis 에서는 datum 이 있어야 정의되는 상호 관련 형태의 tolerance 에 대해서만 고려한다.

Table 2 Tolerance and Datum Relationship

Tolerance Datum Analysis 는 Turning_Feature_Tolerance graph 를 기반으로 다른 셋업에서 가공될 Turning_feature 간에 존재하는 tolerance 관계를 처리하는 과정으로 각 셋업에서 가공 후, 측정 및 판단이 가능하도록 만들어 주는 과정이다. 여기서 선반 OMM 를 위한 요건 중 요건 1 과 요건 2 를 정리할 수 있다.

요건 1: 선반 OMM 에서 datum 과 tolerance feature 를 가지는 tolerance 는 datum 과 tolerance feature 를 모두 측정해야 한다.

요건 2: 선반 OMM 에서 1st setup 에 포함된 turning_feature 를 측정하여 가공 품질을 판단하기 위해서는 반드시 datum 과 tolerance feature 가 1st setup 에 존재해야 한다.

그리고 선반 가공에서 2nd setup 에서의 datum 은 1st setup 의 가공을 할 시 아직 생성되지도 않았으며 1st setup 에서 측정 불가능하므로 datum 으로서 아무런 의미가 없다. 또한 1st setup 에서 가공된 datum 의 경우라도 2nd setup 에 존재하는 turning_feature 와 geometric tolerance 관계를 가지고 있다면 측정을 통하여 획득한 결과를 바탕으로 주어진 tolerance 에 대해 판단할 수 없다는 점이 동일하다.

이런 경우에 대해 datum 또는 이와 tolerance 관계에 있는 Turning_feature 가 2nd setup 에서 측정 가능한 경우라면 위 문제의 해결이 가능한데(요건 3) 이를 위해서 datum 을 tolerance feature 로, tolerance feature 를 datum 으로 만드는 GTD change 가 사용된다.(요건 4)

요건 3: 선반 OMM 에서 datum 과 tolerance feature 가 서로 다른 셋업에 있는 경우라도 1st setup 에서 가공된 datum 이 2nd setup 에서 측정 가능하면 주어진 tolerance 를 판단할 수 있다.

요건 4: 선반 OMM 에서 datum 과 tolerance feature 가 서로 다른 셋업에 있고 또한 1st setup 에서 가공된 datum 이 2nd setup 에서 측정 불가능한 경우에는 GTD change 를 통해 새롭게 생성된 New GTD 를 사용하여 가공 품질에 대한 판단이 가능하다.

5.2 Tolerance Datum Analysis 알고리즘

이 과정의 input 은 Turning_Feature_Tolerance graph 이고

output 은 Independent Setup Graph 이다.

이 Independent Setup Graph 를 생성할 때 성질이 다른 두 Dimensional tolerance 와 Geometric tolerance 로 분류를 하여 처리한다. 그리고 이 때 Tolerance 관계를 제거하기 위한 기준으로 Datum (Dimensional Tolerance Datum, Geometric Tolerance Datum)을 사용한다.

Tolerance Datum Analysis 은 다음과 같이 4 단계로 구성된다.

Notation:

Dimensional Tolerance Datum Set (DTDS): Set of all datums of dimensional tolerance

DTD: an element of DTDS

Geometric Tolerance Datum Set (GTDS): Set of all datums of geometric tolerance

GTD: an element of GTDS

Datum Set: Set of all datums, Datum Set = DTDS ∪ GTDS

Setup_assurance_feature: the feature to be used for Setup assurance

TFT: Turning_Feature_Tolerance

STEP 1: Datum Set 을 만든다.

Input: Turning_Feature_Tolerance Graph

Output: Datum Set

For $i=1, \dots, N$, (where $N = \#$ of TFTs in Turning_feature_tolerance Graph)

Find all its_datum of TFT_i and Insert all its_datum of TFT_i into Datum Set

STEP 2: DTDS and GTDS 를 만든다.

Input: Datum Set

Output: DTDS, GTDS

For $i=1, \dots, M$, (where $M = \#$ of TFTs in Datum Set)

Find its_tolerance of TFT_i in Datum Set found in STEP 1

If (its_tolerance = location_dimension_tolerance)

Insert TFT_i into DTDS

Else

Insert TFT_i into GTDS

STEP 3: Dimensional Tolerance Relationship 제거한다.

Input: DTDS from STEP 2

Output: Dimensional Tolerance Relationship 이 제거된 Independent Setup graph

For $DTD_i, i=1, \dots, m$, (where $m = \#$ of DTDs in DTDS found in STEP 2)

- Let TFT_j, $j=1, \dots, n$, (where $n = \#$ of TFTs at the different setup from that of DTD_i , TFT = Turning_Feature_Tolerance defined by the relationship with DTD_i in the Turning_feature_tolerance graph)
- Find DTD^* among TFT_j such that Feature_placement of $TFT_j = (0, 0, 0)$, (where $DTD^* = \text{New DTD}$)
If (DTD^* exists)
Go to STEP 3.3

Else

DTD_{i+1} , Go to STEP 3.1

- Based on DTD^* , Compute the new dimension and tolerance for all TFT_j except for DTD^* (Inverse Dimension Recalculation 이 포함[1])
- Erase the relationship between DTD and DTD^* by using the workpiece origin setting method
Update dimension and tolerance in the initial Turning_Feature_Tolerance graph : Construct New Turning_Feature_Tolerance graph by replacing the dimension and tolerance value with STEP 3.3

STEP 4: Geometric Tolerance Relationship 제거한다.

Input: GTDS from STEP 2

Output: Geometric Tolerance Relationship 가 제거된 Independent Setup Graph

- 거된 Independent Setup graph
For GTD_i, i=1, ..., m, where m = # of GTDs in GTDSet found in STEP2
- Let TFT_j, j=1, ..., n, (where n = # of TFTs at the different setup from that of GTD_i, TFT = Turning_Feature_Tolerance defined by the relationship with GTD_i in the Turning_feature_tolerance graph)
If (TFT) exists: Geometric Tolerance Relationship 존재)
Go to STEP 4.2
Else
GTD_{i+1}, Go to STEP 4.1
 - If (GTD_i is measurable at the unmachined 2nd setup (the initial stage of 2nd setup)), (요건 3)
GTD = setup_assurance_feature,
Go to STEP 4.5.2)
 - For TFT_k, k=1, ..., l, (where l = # of TFTs at the same setup with that of GTD_i, TFT = Turning_Feature_Tolerance defined by the relationship with GTD_i)
If (TFT_k is measurable at the 2nd setup)
Then
1) GTD* = TFT_k = setup_assurance_feature
(where GTD* = New GTD) (요건 4)
2) Compute New geometric tolerance of GTD* and GTD
3) Go to STEP 4.5
4. Exit because Setup_assurance_feature can not be found
5. Make the Independent Setup Graph by replacing Turning_Feature_Tolerance graph of STEP3
1) Calculate and Update New Geometric tolerance of TFT_j found in STEP4.1 with GTD*
2) Construct New Turning_Feature_Tolerance graph by connecting all TFT_j, (j=1, ..., n) found in STEP4.1 with GTD*(New GTD) or setup_assurance_feature and by disconnecting all TFT_j(j=1, ..., n) found in STEP4.1 with GTD (Old GTD) or setup_assurance_feature

5.3 Independent Setup Graph

Turning_Feature_Tolerance graph 를 입력으로 Tolerance Datum Analysis 알고리즘을 수행한 최종 산출물은 Independent Setup Graph 라는 개념으로 표현되고 Fig 8에 도시되어 있다.

우선 Dimensional tolerance relationship 제거 결과를 보면 이를 통해서 dimensional tolerance datum(DTD) C1 과 2nd setup 의 C2, C4 사이의 관계가 없어졌다. Dimensional datum change 를 통해서 DTD 가 C1 에서 C2 로 바뀔 동시에 C4 가 C2 를 새로운 DTD 로 가지게 되면서 tolerance range 값이 0.06 에서 0.034 로 바뀌었으나 C1 은 여전히 1st setup 에서 C3 의 DTD 임을 보이고 있다. 또한 workpiece origin setting 기법으로 C1 과 C2 의 관계가 없어졌음을 알 수 있다.

그리고 Geometric tolerance relationship 제거 결과는 GTD O3 와 O1 이 GTD change 를 통하여 O1 이 New GTD 가 되면서 tolerance 값이 0.02 에서 0.025 로 바뀌었는데 이는 O3 가 2nd setup 에서 측정될 수 없는 대신 O1 은 가능하기 때문이다. 그럼으로써 O1 이 setup_assurance_feature 로 될 때 동시에 O3 와 O2 의 관계가 O1 과 O2 의 관계로 변환되었고 tolerance 값도 새로 갱신되었지만 근사값이 이전 tolerance 값과 동일하므로 0.01 이 되었다.

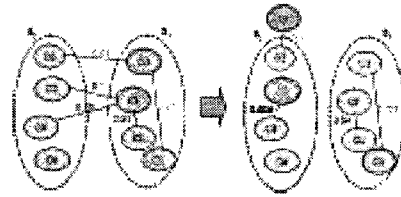


Fig. 8. Independent Setup Graph

6. Inspection Path Generation

이 장에서는 Independent setup graph 를 기반으로 해서 최종적으로 inspection path 를 생성하는 과정으로 Path generation 에 대해 살펴 보겠다. Path generation 은 Fig 9 와 같이 크게 3 단계를 거친다.

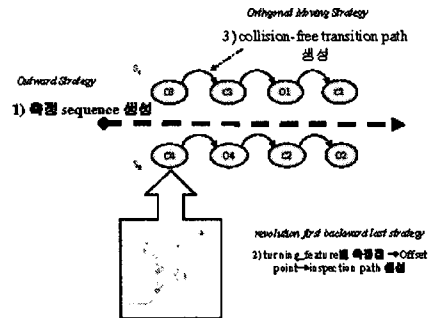


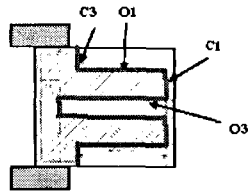
Fig. 9. Path Generation Overview

- STEP1.** 각 셋업에서 Turning_Feature_Tolerance 를 기준으로 측정 sequence 결정한다.
STEP2. 측정 sequence 의 각 Turning_feature 에 대한 측정 경로를 생성한다.
1) 측정점을 생성한다.
2) 측정점에 대한 Offset point 를 생성한다.
3) Offset point 를 잇는 inspection path 를 생성한다.
STEP3. 측정 sequence 의 각 Turning_feature 사이의 collision-free transition path 를 생성한다.

6.1 측정 sequence 생성

Tolerance feature 에 대한 측정 sequence 가 machining sequence 를 따른다면 Fig 10 과 같이 각 Turning_feature 의 finishing operation 이 끝나는 시점이 machining sequence 와 같고 이에 따라 측정 sequence 도 machining sequence 와 같이 C1 → O3 → O1 → C3 가 될 것이다.

이때 C1 을 측정된 후 O3 를 측정하기 위해 workpiece 의 앞으로 touch probe 가 진입을 하게 되고 다음 Turning_feature 를 측정하기 위해 O1 으로 가는데 O3 와 O1 사이에 존재하는 workpiece 과 충돌을 피하기 위해서 C1 를 우회하여 O1 로 가게 된다. 결국 이 우회하는 경로가 바로 Turning_feature 들 사이를 잇는 transition path 이고 material_side 의 부호가 불연속이 필요로써 workpiece 와 충돌을 막기 위해 돌아감으로 인해 transition path 가 길어지는 현상이 일어나게 된다.



machining sequence : C1 → O3 → O1 → C3

Fig. 10. Machining sequence

6.1.1 측정 sequence 생성 알고리즘

본 절에서는 측정 sequence를 생성하는 알고리즘을 살펴 보겠다. 이 알고리즘의 핵심은 내경 가공에 속하는 Turning_feature (Inner_operation Set)와 외경 가공에 속하는 Turning_feature (Outer_operation Set), 그리고 단면 가공에 속하는 Turning_feature (Face_operation Set)로 구분 짓고 각 Set에서의 순서를 정한 후, Outer_operation Set, Face_operation Set, Inner_operation Set을 연결해 주는 것이다. 그런데 Outer_operation set을 먼저 할 것인지 아니면 Inner_operation set을 먼저 할 것인지에 따라 두 가지로 나뉜다. 전자는 Inward Strategy 이고 후자는 Outward Strategy 이다. 본 논문에서는 Outward Strategy를 선택하여 측정 sequence를 생성하도록 하겠다.

Notation:

- Setup Set: Set of all Turning_features at one Setup
- Inner_operation Set: Set of all Turning_features machined inside of workpiece
- Outer_operation Set: Set of all Turning_features machined outside of workpiece
- Face_operation Set: Set of all Turning_features machined at the side of workpiece
- Z_dir_Groove Set: Set of all groove in Z direction
- Circular_face Set: Set of all circular_face in Setup Set

```

    If (material_side가 X 방향?)
        Outer_operation Set에 포함
    Else (-?)
        Inner_operation Set에 포함
    Else If (Turning_feature가 groove?)
        If (material_side가 X 방향?)
            If (+?)
                Outer_operation Set에 포함
            Else if (- 방향?)
                Inner_operation Set에 포함
        Else If (material_side가 Z 방향?)
            If (feature_placement = workpiece 원점?)
                Face_operation Set에 포함
            Else
                Z_dir_Groove Set에 포함
        Else If (Turning_feature가 circular_face?)
            If (feature_placement = workpiece 원점?)
                Face_operation Set에 포함
            Else
                Circular_face Set에 포함
    
```

STEP2. Inner_operation Set을 아래와 같이 완성시킨다.

- 1) Inner_operation Set에서 Outer_diameter를 선택하여 feature_placement의 z에 feature_length를 더한 z값을 구한다.
- 2) Circular_face Set에서 1)에서 구한 z값을

feature_placement로 갖는 모든 circular_face를 아래와 같이 처리한다.

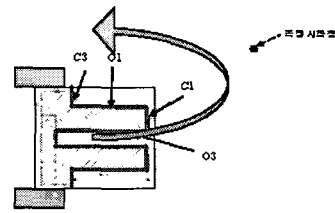
- i. If (upper_diameter = outer_diameter의 upper_diameter?)
 - Inner_operation Set에 포함
 - Circular_face Set에서 제거
 - ii. Else
 - Skip
- 3) Z_dir_Groove Set에서 1)에서 구한 z값을 placement로 갖는 open_profile을 갖는 모든 groove를 아래와 같이 처리한다.
 - i. If ((x of placement + width) < upper_diameter/2)
 - Inner_operation Set에 포함
 - Z_dir_Groove Set에서 제거
 - ii. Else
 - Skip
 - 4) Inner_operation Set에 Outer_diameter가 없을 때까지 1~3)을 반복한다.
 - 5) 반복이 모두 끝난 후 circular_face set에 남아 있는 모든 circular_face를 Outer_operation set에 포함시킨다. (왜냐하면 Face_operation set의 경우는 STEP1에서 걸러졌고 STEP2를 거쳤어도 남아 있는 경우는 모두 Outer_operation에 속한 circular_face이기 때문임)
 - 6) 또한 Z_dir_Groove Set에 남아 있는 모든 groove를 Outer_operation set에 포함시킨다. (상동)

STEP3. Inner_operation Set의 Turning_feature 순서를 feature_placement z가 가장 작은 거부터 오름 차순으로 정렬한다.

STEP4. Face_operation Set의 Turning_feature 순서를 workpiece 원점으로부터 +X 방향으로 오름 차순으로 정렬한다.

STEP5. Outer_operation Set의 Turning_feature 순서를 feature_placement z가 가장 큰 거부터 내림 차순으로 정렬한다.

STEP6. Inner_operation Set의 맨 마지막 Turning_feature 다음에 Face_operation Set의 Turning_feature를 위치시키고 Outer_operation Set의 Turning_feature들을 정렬한다.



· 측정 sequence : O3 → C1 → O1 → C3

Fig. 11. 1st Setup의 측정 Sequence

위 알고리즘을 Fig 10의 1st setup에 대해 수행하여 machining sequence와 비교한 결과는 다음과 같고 Fig 11에 도시되어 있다. machining sequence: C1 → O3 → O1 → C3과 비교해보면 우회하는 것이 없이 직접 안에서 바깥으로 한번에 측정을 하게 됨을 알 수 있다.

6.2 측정 sequence의 각 Turning_feature에 대한 측정 경로 생성

6.2.1 측정점 생성

측정점 생성은 측정점의 개수와 측정 위치를 결정하는 것으로 tolerance와 Turning_feature에 따라 달라지고 측정

전문가에 경험에 의존한다. 그래서 여기에 대한 기준을 정의해 놓은 문서가 있으며 이를 참조하여 측정점의 개수와 측정 위치를 선정한다. [5, 6, 14, 15]

그러나 실제로 touch probe 를 이용해서 측정 위치를 결정할 때 고려해야 할 사항으로는 touch probe 에 대한 정보이다. 이것에는 touch probe stylus 의 길이, 방향, radius 등이 포함된다. Fig 12 에 이러한 정보를 도시하였다.

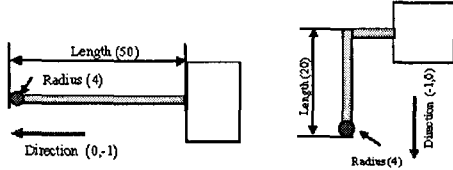


Fig. 12. touch probe 정보

먼저 radius 정보는 측정점 위치에 직접적인 영향을 주며 tolerance 가 주어진 Turning_feature 에 대한 측정 가능에 대한 판단을 할 수 있도록 해 준다. 측정 판단의 경우에도 사용되는데 radius 보다 같거나 작은 반경을 갖는 hole 이나 radius 보다 같거나 작은 폭의 cut_in, groove 에 대한 것이 직접 결한 예가 되겠다. 이런 경우에 측정 가능 판단을 해주며 또한 본 논문에서 제시한 요건 3 의 측정 가능 판단에 대해서도 중요한 정보로 사용된다.

다음으로 length 정보와 direction 정보는 결정된 측정점 측정을 위해 이용할 touch probe 가 Turning_feature 에 대해 실제 측정 가능한지를 판별하는 기준이 된다.

또한 하나의 Turning_feature 에 여러 tolerance 가 주어진 경우에는 각 tolerance 별로 해당 Turning_feature 의 측정점을 산출하기 보다는 공동된 부분을 제외한 부분을 추가함으로써 측정점의 개수를 줄일 수 있다.

6.2.2 Offset point 생성

Offset point 는 측정 경로를 생성하기 위해서 사용되는 점으로 측정점이 있는 측정면에 수직한 방향으로 떨어져 있는 점이다.

본 논문에서는 Offset point 생성에서 파트 디자인의 2D profile 이 직선으로만 구성된 경우만 고려한다. 즉, Outer_diameter (Cylinder, Cone), Circular_face, Groove, revolved_flat 등으로 제한을 하고 general_revolution 등과 같이 curve 또는 arc 가 존재하는 경우는 제외한다.

6.2.3 Offset point 를 잇는 Inspection Path 생성

Offset point 가 생성된 이후 이것들을 이어 단위 Turning_feature 별 측정 경로를 생성한다. 이 때 Offset point 를 연결하기 위한 strategy 로 revolution first backward last strategy 를 사용한다. revolution first backward last 는 우선 Offset point 중에서 같은 Z 축에 수직한 평면에 존재하는 Offset point 들을 잇고 그 다음에 backward 방향으로 존재하는 Offset point 들을 잇는 strategy 로 측정 시 다음 offset point 로 이동하기 위해 XZ 축을 따라 이동하기 보다 C 축을 이송시켜 측정을 먼저 한다는 의미이다. Fig 13 에 O1 의 concentricity 측정점에 대해서 Offset point 를 잇는 inspection path 생성 결과를 도시하였다.

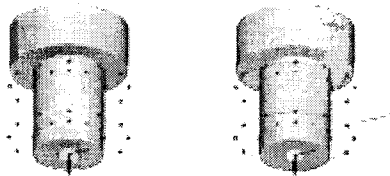


Fig. 13. Offset points and Inspection path of O1

6.3 Collision-free Transition path 생성

Turning_feature 들 사이를 잇는 transition path 생성시 고려 사항으로는 collision-free 가 중요하다. 측정 sequence 상의 두 Turning_feature 사이의 앞선 Turning_feature 의 최종점 및 뒤 Turning_feature 의 최초점을 이룰 때엔 collision 이 일어나지 않도록 해야 한다. 이를 위한 Strategy 로 Orthogonal moving strategy 를 사용한다. 이것은 C 축의 각도가 다른 경우엔 이를 먼저 회전시키고 그런 후 최종점과 최초점을 잇는 XZ 평면의 경로를 X, Z 성분으로 나누어 이동 한다는 의미이다. 이때 XZ 평면의 두 점 사이에 존재하는 path 는 두 경우가 있을 수 있는데 최종점을 가진 turning_feature 의 material_side 에 수직한 방향으로 먼저 움직이고 그런 후 최초점을 가진 Turning_feature 의 material_side 에 수직한 방향으로 움직인다. Fig 14 는 1st setup 의 C1, O2, C3 에 대해 transition path 를 생성한 결과를 보여주고 있다.

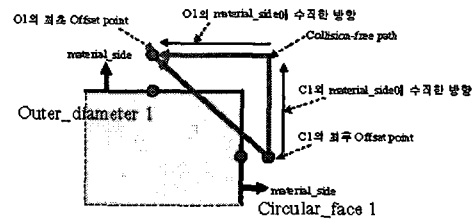


Fig. 14. Orthogonal moving strategy

7. Illustrative Example

이 장에서는 ISO14649 Part 12 에 있는 예제 형상 Fig 15 에 대해 TTIP 의 전 과정에 대한 검증을 해 본 결과를 도시한다.

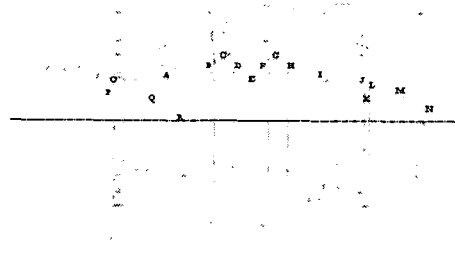


Fig. 15. Example design

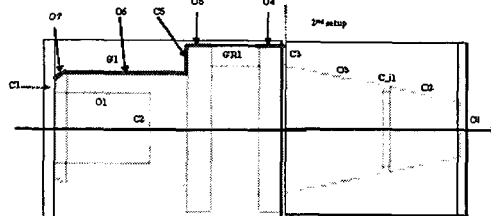


Fig. 16. 인식된 Turning_feature & Setup info

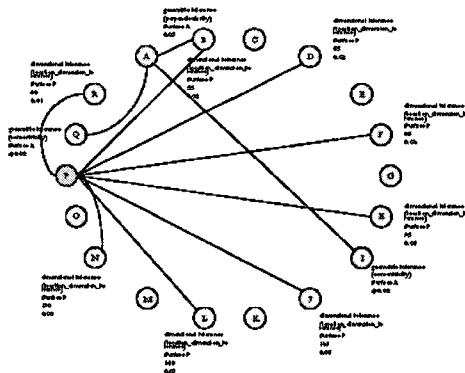


Fig. 17. Tolerance graph

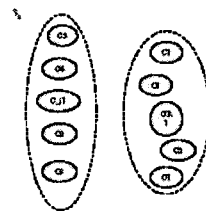


Fig. 18. Setup Set

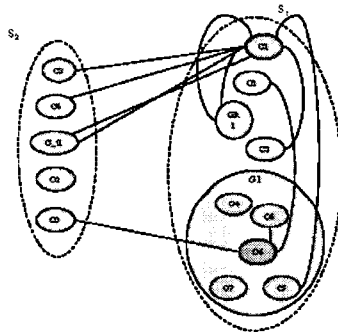


Fig. 19. Turning_Feature_Tolerance graph

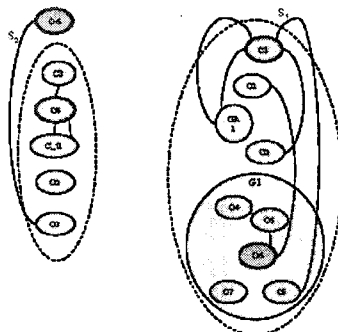


Fig. 20. Independent Setup graph

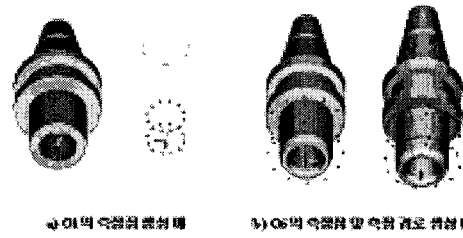


Fig. 21. Geometric tolerance 측정점, Offset point, 측정 경로 생성 결과

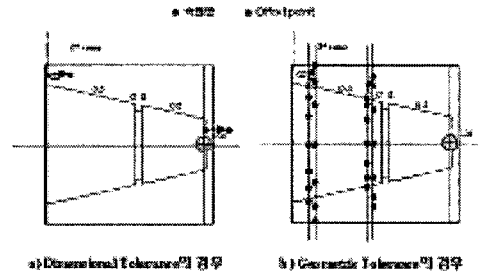


Fig. 22. 2nd setup 에서의 측정점 및 Offset point

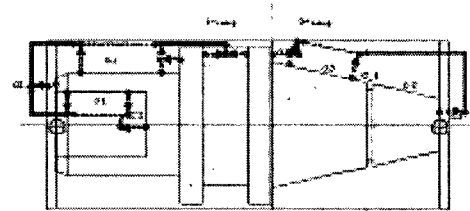


Fig. 23. transition path

8. 결론

본 논문에서 선반 OMM 을 위해 기본 입력으로 사용한 Turning_feature 와 관련 있는 STEP-NC 기술은 정보 교환을 위한 표준 제정 그리고 이를 이용한 차세대 CNC 제어기로서뿐만 아니라 CAD-CAM-CNC chain 과 호환성을 갖는 CNC 제어기로서 세계적인 연구 개발이 매우 활발한 상황이어서 기존의 CNC 언어인 ISO6983 에 기반한 CNC 제어기는 점차적으로 제품 경쟁력이 소멸될 것이다. 또한 CAD/CAM 소프트웨어 역시 ISO 14649 인터페이스 기능이 필수적으로 대두될 것이다.[16]

단순히 축 움직임을 포함한 기존의 ISO6983(G, M code) 에 포함할 수 없었던 무엇을 어떻게 가공할 것인지에 대한 정보를 포함하고 있는 ISO14649 가 개발됨에 따라 CNC 에는 여러 지적 자율적인 기능이 실현될 것이고 이중의 하나로써의 OMM 은 필수적이 될 것이다.

이를 위하여 본 논문에서는 선반 가공을 대상으로 하여 STEP-NC 정보를 기반한 OMM 을 연구하였다. 선반 OMM 에서 선반 가공의 특징인 setup change 에 따라 발생할 수 있는 datum 과 tolerance feature 사이의 다른 셋업으로의 이원화에 대한 문제를 도출하였고 이에 대한 해결책으로 본

논문에서 Tolerance Datum Analysis 를 제안하면서 선반 OMM 의 특징을 요건 1~4 로 정리하였다. 또한 아직까지 ISO14649 에 제정되어 있지 않는 tolerance 정보를 포함시킬 수 있는 인터페이스이며 OMM 을 위해 필요한 setup 정보 및 tolerance datum analysis 결과를 포함할 수 있는 데이터 모델(Turning_Feature_Tolerance)을 새로이 정의하여 사용함으로써 앞으로 인터넷 기반의 정보 중심 생산 시스템에서 OMM 측정예 필요한 정보 교환이 가능할 것이며 이를 이용한 OMM 기능의 확대가 전망된다.

참고문헌

1. S. Suh, J. Cho, H. Hong, "On the architecture of Intelligent STEP-compliant CNC," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 15, 2, Dec 2001, 168-177
2. Mou, J. and Liu, C. R., "A method for enhancing the accuracy of CNC machine tools for on-machine inspection," Journal of Manufacturing Systems, 11(4), 1992, pp. 229-237
3. S.H.SUH, E.S.LEE, "Enhancement of Geometric Accuracy via an Intermediate Geometrical Feedback Scheme, " Journal of Manufacturing Systems, Vol.18, No. 1, 1999
4. K.D.KIM, S.C.CHUNG, "Synthesis of the Measurement System on the machine tool, " INT. J. PROD. RES., 2001, Vol.39, No. 11, 2475~2497
5. A. LIMAIEN, H.A.ELMARAGHY, "CATIP:A Computer-Aided Tactile Inspection Planning system, " INT. J. PROD. RES., Vol.37, No.2, 1999, 447~465
6. S.G. Zhang, A. Ajmal, "A feature-based inspection process planning system for CMM, " Journal of Materials Processing Technology 107, 2000, 111-118
7. I.S. HWANG, H.C.LEE, "Hybrid neuro-fuzzy approach to the generation of measuring points for knowledge-based inspection planning, " INT. J. PROD. RES., 2002, Vol.40, No.11, 2507~2520
8. C. G. Lu, D. Morton, M. H. Wu, "Genetic Algorithm Modeling and Solution of Inspection Path Planning on a CMM, " INT. J. Adv. Manuf. Technol 15, 1999, 409-416
9. Ibrahim Zeid, CAD/CAM Theory and Practice, McGRAW-HILL International Editions, 1991, pp757~759
10. S.H.HUANG, H.C.ZHANG, W.J.B. OLDBHAM, "Tolerance analysis for setup planning: A graph theoretical approach," INT. J. PROD. RES., Vol.31, No.4, 1997, 1107~1124
11. H.C. ZHANG, S.H.HUANG and J.MEI, "Operational dimensioning and tolerancing in process planning: setup planning," INT. J. PROD. RES., 1996, Vol.34, No.7, 1841~1858
12. 이종대, 정밀 형상 측정, 이론과 실제, 성안당, 1994
13. David A. Madsen, Geometric Dimensioning and Tolerancing, Based on ANSI/ASME Y 14.5M-1994, The Goodheart-Willcox Company, Inc. 1999
14. Donald Hearn, M.Paulinde baker, Computer Graphics C version, Pentice Hall, 1997, pp444~445
15. BS 7172:British Standard Guide to Assessment of Position, Size and Departure from NOMMnal Form of Geometric Features, British Standards Institution, 1989
16. 서석환, "정보 기반 생산 시스템의 지능화를 실현하는 STEP-NC 기술," 한국경영과학회, 제 19 권, 제 2 호, 2002,2