

CAPP를 위한 자동 공차 설정에 관한 연구 *

김고중, 정무영
포항공과대학 산업공학과

Computer Automated Tolerance Assignment System for CAPP

Go-Joong Kim and Moo-Young Jung

Department of Industrial Engineering, POSTECH, Pohang, Korea, 790-600

ABSTRACT

The manual procedure of drafting engineering design is fast becoming obsolete. One of the important areas in CAPP is to automate tolerance assignment which is encountered in mechanical part design. This paper presents an approach for automating tolerance assignment using CAD database and tolerancing database in CAD drawing. The system is consisted of four major functions: feature extraction, feature inferencing, rule-based tolerance allocation, and automatic updating. AutoCAD R.11 is employed as CAD system and a computer program is developed by using AutoLISP on PC-386.

1. 서론

오늘날 전 산업분야에서는 각 공장의 자동화가 필요하게 됨에 따라 컴퓨터를 생산현장에서 활용하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 이러한 추세는 실질적인 하드웨어의 개발뿐만 아니라 CAD 및 CAM과 양자를 연결하는 CAPP (Computer Aided Process Planning) 분야에서도 어김없이 적용되어 이 분야에서 많은 연구가 진행되어 왔다. CAD 및 CAM은 각각 독자적 영역을 갖고 개발되었으나 설계·제작의 효율성을 위하여 양자를 결합한 통합시스템으로 발전하고 있다.

CAD 시스템이 출현하면서 기존의 수작업으로 하던 제도작업을 컴퓨터를 이용하여 하게되었고 지루하고 힘든 작업들을 컴퓨터의 도움으로 해결하고자 하는 노력도 계속되고 있다. 설계부품에 대하여 알맞은 공차를 할당하는 작업도 그 노력의 한 예라고 할 수 있다. 현재의 생산 체제하에서는 한치의 오차도 없는 완전한 규격의 제품을 생산한다는 것은 거의 불가능하기 때문에 치수에 대한 공차의 할당이 필요하게 된다. 이 공차는 부품의 기능성 (functionality)과 제조의 경제성에 있어서 중요한 역할을 하고 있다.

설계부품에 대한 실질적인 공차의 설정은 공정능력과 부품의 사용 목적 그리고 생산의 경제성 문제로 공정기사가 결정해야 하는 일이다. 그러나 대개의 경우 설계자가 과거의 경험과 유용한 표준안 (예를 들면 ISO 나 ANSI)에 기초하여 직접 도면에 공차를 할당하고 있다. 따라서 이는 지루하고 힘든 작업일뿐 만 아니라 도면 작성자에 따라 오류가 발생할 수 있는 소지가 많다. 이와같은 문제를 해결하기 위해 컴퓨터를 이용하여 쉽고 간편하게 공차를 할당해 보자는 연구가 여러 분야에서 계속되어 왔다.

Lagodimos와 Scarr[1]은 interference fit에 관한 이론을 상세하게 기술하고 컴퓨터를 이용하여 interference fit을 선택하는 알고리즘을 제시하고 있다. Manivannan et al.[2]은 rotational mating components의 가공에 있어서 직경, type of fit, 그리고 치수 허용차가 주어졌을때 여러가지 틀을 이용하여 적합한 ISO fit을 제시하기 위한 knowledge-based system을 기술하였다. Panchal et al.[3]은 도면 작성에 있어 CAD 시스템의 내부 데이터를 이용하여 rule-based tolerance allocation의 과정을 거쳐 준비된 ANSI 표준 CAT(Computer Aided Tolerance) DB (Data Base)로 부터 공차를 추출하는 프로시저를 제시하였다. 그러나 이들 모두는 CAD시스템과 분리된 상태에서만 수행이 가능하며, CAD 시스템내에서 직접 공차를 추출·할당하는 시스템의 구현방법에 대한 연구가 필요하나 성숙되어 있지 못한 상태이다.

본 논문에서는 이러한 필요성에 의하여 절삭가공 치수의 보통 허용차와, 적합한 조립 및 많은 메카니즘의 수행을 좌우하는 원통형 부품의 끼워맞춤 (fits)에 대한 정보를 CAD 시스템에서 공차 정보 DB를 이용하여 자동 할당하는 시스템을 구현하고자 한다. 본 시스템을 개발하는데 있어서 사용된 CAD 시스템은 AutoCAD R.11 이며 AutoLISP을 사용하여 386 PC 에서 이를 구현하였다.

2. 치수 공차의 설정

공학도면 (engineering drawing: 설계자가 free hand sketch한 도면을 몇가지의 규칙을 사용하여 정확한 가공정보를 부여한 후 engineering object를 표현하는 공식적인 방법으로 작성한 도면 [4])을 작성하고 수정하는 작업은 대부분이 컴퓨터화 되어 있으며 계속해서 발전 개선되고 있다. 이 중 공차설정과 관련한 부분은 크게 기하공차에 관한 부분과 전통적인 치수 공차에 관한 부분의 두가지로 구분된다. 기하공차에 관하여는 많은 연구들을 [6,7,8,9] 통하여 방법론이 제시되었으나 설계

* 본 연구는 한국과학재단지정 지능자동화 연구센터와 한국과학재단의 목적기초 연구지원에 의해 수행되었음.

로 구현된 시스템은 그리 많지 않은 상태이고 치수공차에 관하여서도 그 연구 [1, 2, 3, 11, 12] 가 아직 성숙되지 않은 상태이다.

도면작성자가 치수공차를 설정하는 절차를 살펴보면, 설계부품에 공차를 할당하기 위하여 도면에서 cylinder, hole, slot, 그리고 threads 등과 같은 다양한 종류의 feature 들을 추출하여 정리한 후, feature 에 대한 표준안에 따라 적합한 표준공차를 부여한다. 이때 공차는 최종 사용목적과 공칭치수(nominal size)에 기준을 두고 할당된다. 그리고 나서 선택된 공차를 기작성된 도면의 공칭치수에 덧붙여 삽입하게 된다. 이러한 일련의 작업을 일일이 도면작성자가 한다는 것은 비효율적이고 짜증나는 작업으로 공차설정의 자동화 필요성이 부각되는 점이다.

잘못된 공차의 설정은 불필요한 비용의 발생을 초래하게 된다. 만약 공차가 너무크게 설정이 되면 제품의 성능 저하를 초래하게 되고, 너무 좁게 설정되면 현장에서는 그 제품이 요구하고 있는 이상의 정밀도를 유지하기 위하여 더 많은 작업을 하게 되고 이에 상응하는 비용을 추가로 지불하게 되는 결과를 초래한다. 또한, 경우에 따라서는 필요없는 기계의 정비나 조정을 하기위해 작업을 중지하는 사태도 자주 발생하게 된다. 따라서 제품의 성능이 똑같이 보장된다면 공차를 가능한 크게 할당하는 것이 경제적인 이유에서 바람직하다.

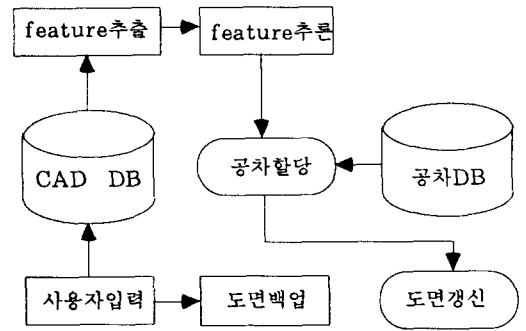
공차의 적용범위는 워낙 방대하고 각각의 부품에 따라 적용기준이 다르다는 특성이 있어 모든 기계요소에 대한 자동 공차설정시스템을 개발한다는 것은 아직은 요원한 일이다. 따라서 본 논문에서는 원통형 부품의 끼워맞춤 공차와 일반적인 절삭가공에 적용되는 절삭가공 치수의 보통허용차에 대한 자동 공차설정 절차 및 시스템의 개발에 그 범위를 한정시킨다. 실제로 컴퓨터화된 공차설정의 방법은 기존의 수작업에 의한 방법과 비교하여 절차면에서는 크게 다를 바 없다. 단지 도면 작성자가 핸드북들을 일일이 찾아서 행하던 일을 코딩된 알고리즘들을 통하여 컴퓨터가 자동적으로 수행할 수 있다는 것이다.

3. 자동 공차설정시스템

자동 공차설정시스템은 사용이 간편해야 하고 사용자의 노력이 가능하면 적게 들어야 한다. 모든 절차 및 작업이 CAD 시스템을 빠져 나오지 않고 처리가 가능하도록 하여 공차가 부여되고 도면이 수정되는 일련의 과정을 사용자가 실제 눈으로 볼 수 있도록 하여 시스템의 신뢰성을 높여야 한다. 이를 위한 자동 공차설정시스템의 구성이 [그림 1]에 나타나 있다. [그림 1]에서 보는 바와 같이 전체 시스템은 공차설정에 관한 정보를 모아둔 DB, 새로운 도면을 입력하는 도면 입력기능, 기존 도면을 백업하는 기능, 도면의 요소를 추출하고 인식하는 기능, 공차 DB를 참조하여 조건에 맞는 공차를 할당하는 기능, 할당된 공차를 사용하여 도면을 자동 갱신하는 기능으로 구성되어 있다. 각 기능을 좀더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

3.1 공차 DB 시스템

CAD 시스템을 이용하여 공차설정을 자동화 하는데 있어서 무엇보다도 중요한 사항은 시스템이 제공하고 있는 도면 DB의 운용과 그 내부 DB를 이용하여 선택된 도면요소에 대한 공차설정의 정보를 제공하는 것이다. 이를 위해 다양한 종류의 표준공차를 저장하는 공차 정보 DB (ISO, ANSI, ABC, KS등의 표준)를 구축해야 하고 또한 이를 운용할 수 있는 시스템도 만들어야 한다.



[그림 1] 자동공차설정 시스템의 구성

CAD 데이터베이스 운용시스템

도면에 대한 정보를 이용하기 위하여 일반적인 CAD 시스템에서 (본 연구에서는 AutoCAD R.11을 사용하였음) 사용자들에게 주어지는 외부 데이터 정보는 표준화 되다시피한 IGES, DXF(Data eXchange Format)등이 있으나 이는 CAD 시스템을 빠져나가서 조작하여야 하므로 자동화에 대한 잇점이 상쇄될 수가 있다. 따라서 본 연구에서는 AutoCAD 시스템을 빠져 나가 지 않고 내부 DB를 직접 운용하였다.

AutoCAD는 현재 load되어 있는 도면에 대한 내부데이터를 가지고 있는데 이는 도면에 사용된 각종 도면요소들에 대한 정보로서 하나의 명령어를 사용하여 그려낸 도면요소가 하나의 entity정보로서 저장된다고 보면 된다. 이들 정보가 저장된 DB는 DXF와 유사한 형태의 데이터로서 리스트 형태로 주어지는데 이 정보는 AutoCAD 시스템에서 제공하고 있는 AutoLISP을 사용하여 access할 수 있다. 또한 AutoLISP은 LISP이 가지고 있지 않은 몇개의 특별한 기능들이 도면 조작을 위하여 실어져 있으므로 DB 운용을 쉽게 할 수 있다는 장점도 갖고 있다.

내부 DB의 예가 [그림 2]에 제시되어 있다. 여기서 각 리스트의 첫번째 요소는 정보의 종류를 나타내며 라인인 경우 10은 라인의 시작좌표를 11은 라인의 끝좌표를 나타내고 원의 경우 10은 중심좌표를 40은 반경을 나타낸다.

```

((-1 . <Entity name: 6000001a>) (0 . LINE) (8 . 0)
(6 . CENTER) (10 11.3974 4.95433 0.0) (11
0.382853 4.95433 0.0) (210 0.0 0.0 1.0))
((-1 . <Entity name: 6000011e>) (0 . CIRCLE) (8 . 0)
(62 . 7) (10 9.59521 4.95433 0.0) (40 . 0.63)
(210 0.0 0.0 1.0))
  
```

[그림 2] AutoCAD 내부의 데이터 구조 예

공차정보 DB 구축

일반적으로 fits란 mating part를 설계하는데 있어서 각 파트에 허용오차와 공차의 설정으로 인해 조립시 발생하는 tightness의 정도를 말한다 [5]. 실제의 치수 품질특성은 허용 한계내에서 변동이 있으므로 조합되는 한쌍의 부품(mating parts), 이를테면 구멍과 샤프트의 끼워맞춤에 있어서도 그 맞춤의 정도에 변동이 있음은 당연하다.

Fits는 1) 크기의 범위 (range of size)를 이용하여 적합한 미끄러짐 허용과, 비슷한 running performance를 제공하기 위하여 할당되는 running and sliding fits, 2) mating parts의 위치를 결정하기 위하여 설정되며 끼워맞춤이라고도 불리우는 locational fits, 3) 그리고 일정한 구멍 압력을 유지하기 위하여 설정되는 특별한 유형의 interference fits인 force fits의 세가지로 구분된다. 이중 locational fits는 다시 i) 구멍과 축 사이에 항상 틈새가 생기는 끼워맞춤인 clearance fits, ii) 항상 씰최가 생기는 interference fits, iii) 그리고 틈새 또는 씰최가 생기는 transition fits로 나뉘어 진다.

원통형 부품에 대한 limits와 fits에 대하여 American National Standard는 평평한(non-threaded) 원통형 부품사이의 끼워맞춤에 적용되는 용어들을 정의하고 응용 가능한 부문에 대한 크기, 허용차, 공차, 끼워맞춤등을 제시하였다 [5]. 이 표준안은 직경 20인치까지에 대해서는 ABC (American-British-Canadian)의 제시안과 일치하고 있다. 속도, 온도, 습도, 재질등의 요소들이 특정한 응용에 있어서는 fits를 선택할 때 함께 고려되어야 한다.

본 연구에서 이용된 fits에 대한 DB는 ANSI B4.1-1967, R1979 [5]를 이용하여 구축되었으며 이는 KS B 0401 [13] 치수 공차 및 끼워맞춤편, ISO 286 [14] System of Limits and Fits 편에서도 제시되어 있다. 철삭 가공치수의 보통허용차는 ISO 2768 [15]인 Permissible Machining Deviations in Demensions Without Tolerance Indication 편에, 그리고 KS B 0412 [13]인 철삭 가공 치수의 보통 허용차편에서 정밀급, 보통급 및 거친급으로 구분하여 제시되고 있다. [그림 3] 에 공차정보 DB의 일부가 제시되어 있다.

(단위: 1/1000인치)

#	공칭치수(inch)	LC1	LC2
1	0.12	+0.25-0.00+0.00-0.20	+0.40-0.00+0.00-0.25
2	0.24	+0.30-0.00+0.00-0.20	+0.50-0.00+0.00-0.30
3	0.40	+0.40-0.00+0.00-0.25	+0.60-0.00+0.00-0.40
4	0.71	+0.40-0.00+0.00-0.30	+0.70-0.00+0.00-0.40

[그림 3] 공차정보 DB 예: locational clearance fit

[그림 3] 에서 보는바와 같이 같은 크기에 대하여 여러등급으로 나뉘어 있는데 이를 '공차등급'이라 하며 "해당되는 치수공차 방식. 끼워맞춤 방식으로 전체의 기준치수에 대하여 동일 수준에 속하는 치수 공차의 일군"으로 KS B 0401 [13]에 정의되어 있다. 데이터를 보면 LC1의 데이터 보다도 LC2의 공차 데이터가 작으므로 LC1이 더높은 정밀도를 요구한다.

공칭치수가 0.8인치인 홀과 샤프트의 가공에 있어서 LC1을 적용하여 공차를 할당할 때 0.8이 속하는 구간이 4번째 구간이므로 #4와 LC1이 적용되는 수치가 사용되는데, 홀에 대해서는 전반의 두숫자를, 그리고 샤프트에 대해서는 후반의 두 숫자를 참조한다. 따라서 홀은 최대 허용치수가 0.8+0.0004, 최소허용

치수가 0.8-0.0 이 되며 샤프트는 최대허용치수가 0.8+0.00, 최소허용치수가 0.8-0.0003이 된다.

3.2 사용자 입력

사용자는 먼저 치수 (dimension)가 기입되어 작성된 개별적인 부품의 도면을 준비해야 하는데 이 도면은 모양, 크기, 그리고 치수가 완전히 갖추어진 형태이나 공차는 할당되어 있지 않은 상태이다. 시스템의 실행이 시작되면 응용목적에 맞게 선택된 fit의 종류와 원하는 정밀도에 따라 공차등급 (grade)을 입력한다.

3.3 feature 추출

전술한 바와 같이 AutoCAD는 현재 load되어 있는 도면에 관하여 내부 데이터를 가지고 있다. 이러한 format의 데이터를 cdr, caddr, caddr등의 list처리 명령어를 사용하여 access하고 원하는 정보를 추출해낸다. LINE와 CIRCLE entity에 대해 추출하는 정보는 다음과 같다.

```
LINE : Linetype, Color, Start coordinates,
      End coordinates, Length of line;
CIRCLE : Linetype, Color, Center coordinates, Radius.
```

이때 dimension entity의 정보는 자동 공차설정 및 도면의 갱신에 절대적으로 필요한 요소이다. 라인에 대한 dimension일 경우에는 한 라인에 대한 dimension 정보를 알 수 있으나 원의 경우에는 자체 정보만을 가지고는 어떠한 dimension entity가 그 원을 표시하는지 알 수 없기에 원에 공차를 할당할 때는 화면으로 공차를 할당할 원을 다른 색으로 사용자에게 보여주고 사용자가 마우스로 선택할 수 있도록 한다.

3.4 feature에 대한 추론

각각의 entity에 대한 정보로 부터 도면에 관계된 feature에 대한 추론이 가능하다. 프로그램은 AutoLISP을 사용하여 수행되었는데 feature에 대한 추출및 추론과정의 흐름도가 [그림 4]에 나타나 있다. 라인의 종류와 실린더의 유형을 추론하는 예가 아래에 제시되었다.

예 1: 모든 라인과 씨클에 대한 DB의 정보는 3가지로 대별되는데 vertical lines, horizontal lines, 그리고 circles에 대한 정보로 분류된다. 라인의 경우 시작점과 끝점의 위치에 따라서 추론기관은 다음과 같이 vertical line, horizontal line으로 구분한다.

```
IF Start_Coordinates = End_Coordinates
THEN LINE_POSITION = VERTICAL
IF Start_Coordinates ≠ End_Coordinates
THEN LINE_POSITION = HORIZONTAL
```

이 경우에 수평선일 경우는 '철삭 가공 치수의 보통 허용차' (KS B 0412) [13]의 데이터를 이용하여 공차를 할당하고 수직선의 경우는 씨클의 직경과 동일하므로 씨클위에 끼워맞춤 공차를 그냥 할당하면 된다.

예 2: 라인 정보를 이용하여 실린더에 대한 추론이 선행되어야 한다. 실린더는 DB의 horizontal line type의 정보를 이용

하는데 다음과 같은 간단한 룰을 이용하여 추론한다.

```

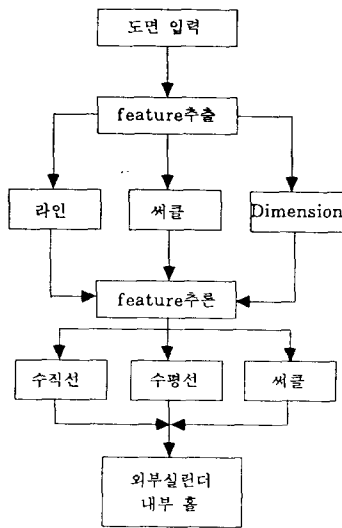
IF    LINETYPE = CONTINUOUS
THEN  CYLINDER_TYPE = EXTERNAL
IF    LINETYPE = HIDDEN
THEN  CYLINDER_TYPE = INTERNAL
    
```

각각의 cylindrical surface의 사이즈는 surface를 나타내는 두개의 horizontal line의 거리로부터 계산이 된다. 도면에 포함된 각각의 feature들에 대하여 추론한 후에 다음의 정보를 추출한다.

```

External Cylinder : Diameter, Length
Internal Hole     : Diameter, Length
    
```

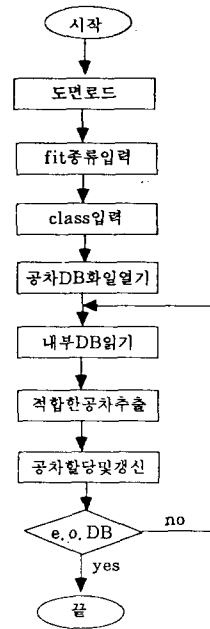
만약 모든 feature (length, size)가 동일하고 단지 cylinder type이 다를때는 그 둘이 mating part라고 추론된다. 여기서 cylinder type에 대한 추론을 수행하고 나면 직접적인 공차의 할당이 가능하다. 표준안으로 제시되어 있는 공차정보 DB에는 같은 직경의 크기에 대하여 구멍과 샤프트에 각각 표준 공차가 제시되어 있기 때문에 위의 룰을 이용하여 추론한 결과가 어떠한 데이터를 사용해야 될지를 결정해준다.



[그림 4] feature 추출 및 추론

3.5 공차설정의 rule-based 프로그램

공차설정에 대한 rule-based 프로그램은 AutoLISP으로 작성되어 있으며 시스템은 사용자에게 fits에 대한 정보를 제공하여 mating surfaces에 대한 적합한 fits를 선택하도록 한다. 프로그램이 수행되는 전체적인 흐름도는 [그림 5]에 나타나 있다. [그림 5]에서 보는바와 같이 공차를 할당하고자 하는 부품도면을 입력하고 적용하고자 하는 fit의 유형과 grade를 입력한다. 그러면 시스템은 현재 로드되어 있는 도면의 데이터베이스를 순차적으로 검색하며 레코드가 끝날때까지 각각의 유형과 크기에 맞게 공차 DB로부터 추출하여 할당된 후 도면을 갱신한다.



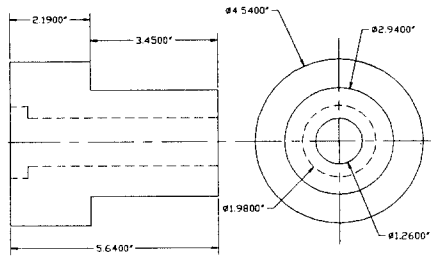
[그림 5] 시스템 수행 흐름도

4. 실행예

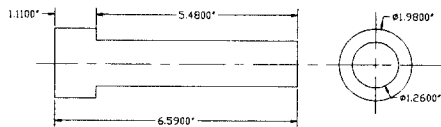
구축된 시스템의 응용성을 시험해 보기 위하여 간단한 예제를 통하여 시스템 수행을 시도하였다. [그림 6a]와 [그림 6b]에 공칭치수만 설정된 각각의 부품도면이 제시되었는데 이는 조립되는 한쌍의 부품을 나타낸다. Interference fit type과 grade 2를 입력하였을때 [그림 7a]와 [그림 7b]는 구축된 시스템을 통하여 수행된, 즉 공차정보 DB로부터 치수에 따라 공차가 할당된 후 자동 갱신된 도면을 나타내며 이는 DB의 공차정보와 일치하는 것을 알 수 있다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 공학도면의 공차설정에 있어서 룰과 공차정보 DB를 이용하여 자동으로 도면을 갱신해주는 방법을 제시하였다. 이 방법에 의한 적용을 AutoCAD R.11을 이용하여 PC-386에서 시도하였다. 이 방법에서는 feature를 추론하기 위하여 AutoCAD 내부 DB를 이용하였으며 한쌍의 회전 부품과 linear인 경우를 다루었다. 사용자와의 interaction을 통하여 기준치수에 대한 공차가 설정된다. 현재의 시스템은 linear and circular dimension으로 이루어진 concentric rotational part만을 다루고 있다. 향후 연구에서는 rotational part에 관계된 다른 유형의 부품도 다룰 수 있도록 되어야 할 것이다. 또한 더 나아가 진정한 의미의 CAPP가 이루어지기 위해서는 prismatic part와 복잡한 형상의 part에 대한 공차설정 문제까지도 다루어져야 할 것이다.

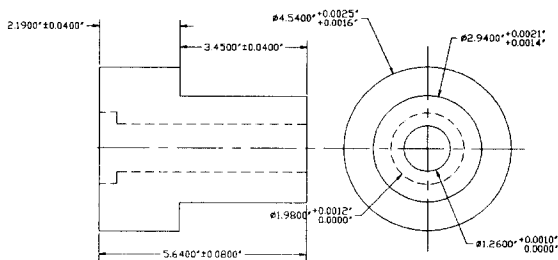


(a)

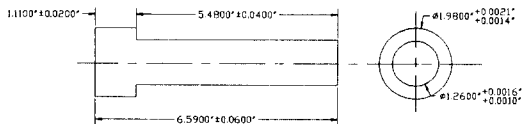


(b)

[그림 6] 공차 할당전의 부품도면



(a)



(b)

[그림 7] 시스템 수행후 부품도면

[1] Lagodoimos, A.G. and Scarr, A.J., 1983, "Computer-aided selection of interference fits", Computers in Mechanical Engineering, 2 (2), 49-55.

[2] Manivannan, S., Lehtihet, A., and Egbelu, P.J., 1989, "A knowledge based system for the specification of manufacturing tolerances", J. of Manufacturing Systems, 8 (2), 153-160.

[3] Panchal, K., Raman, S., and Pulat, P.S., 1992, "Computer-aided tolerancing assignment procedure(CATAP) for design dimensioning", Int. J. Prod. Res., 30 (3), 599-610.

[4] Chang, T.C., 1985, Expert Process Planning for Manufacturing, Addison-Wesley.

[5] Oberg, E., Jones, F.D., Horton, H.L., machinery's handbook, 23rd Edition, Industrial Press, Inc, NewYork, 622-669.

[6] Requicha, A.A.G. and Voelcker, H.B., 1982, "Solid modeling: a historical summary and contemporary assessment", IEEE Computer Graphics and Applications, 2(2), 9-24.

[7] Requicha, A.A.G., 1983, "Toward a theory of geometric tolerancing", Int. J. of Robotics Research, 2 (4), 45-60.

[8] Trusolve, K.C.E., 1988, "The implications of tolerancing for computer-aided mechanical design", Computer Aided Engineering Journal, 5 (2), 79-85.

[9] Etesami, F., 1988, "Tolerance verification through manufactured part modelling", J. of Manufacturing Systems, 7 (3), 223-232.

[10] Wang, H. and Wysk, R. A., 1988, "A knowledge-based approach for automated process planning", Int. J. Prod. Res., 26 (6), 999-1014.

[11] Fainguelernt, D., Weill, R., and Bourdet, P., 1986, "Computer Aided Tolerancing and Dimensioning in Process Planning", Annals of the CIRP, 35 (1), 381-386.

[12] Zhang, H.C., Mei, J., and Dudek, R.A., 1991, "Operational Dimensioning and Tolerancing in CAPP", Annals of the CIRP, 40 (1), 419-422.

[13] 한국공업표준협회, 1988, KS 핸드북, 기계요소.

[14] INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1962, "Systems of Limits and Fits Part I: General Tolerance and Deviations", ISO 286.

[15] INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION, 1973, "Permissible Machining variation in dimensions without tolerance indication Part I: Linear and Angular dimensions without individual indications", ISO 2768.