

# 치구계획의 자동화시스템 개발

조 규 갑 \* , 정 영 득 \*\*

\* 부산대학교 산업공학과, \*\* 부산공업대학 금형공학과

## 1. 서론

공정계획(process planning)은 제품설계를 완료한 다음에 계획된 제품을 생산하기 위한 소재의 변환과정에 대한 계획으로 전체적인 생산공정에 관한 거시적 의사결정 단계인 공정설계(process design)단계와 각 공정에 포함된 구체적인 작업에 관한 미시적 의사결정단계인 작업설계(operation design)단계를 포함한다[1]. 공정설계는 공정계획의 기능중 기본공정 및 그 순서와 가공기계를 결정하며, 작업설계는 가공공정 및 그 순서, 치구설계, 가공조건 및 표준시간을 결정한다. 치구계획(fixture planning)은 작업설계중 가공공정 및 그 순서의 결정과 치구설계를 그 영역으로 한다[2].

현재 CAPP(Computer Aided Process Planning)에 관한 연구는 상당히 진행되어 있으나 주로 거시적 의사결정을 하는 공정설계에 대한 것이며, 미시적 의사결정에 관한 작업설계에 관한 것은 드물며 그 중에서도 치구계획에 관한 것은 극소수에 지나지 않는다[3,4].

본 연구는 비회전형상 부품을 대상으로 치구계획을 자동으로 생성시키는 시스템의 개발에 관한 것중에서 시스템의 구성, 치구계획용 데이터 변환처리 및 치구계획의 기본이 되는 각 형상특징별 데이터체계[5]의 결정방법에 대한 것을 다루고 이의 실행예를 AutoCAD에서 작성된 부품도면을 입력으로 하여 나타낸다. 본 연구에서 개발한 프로토타입의 자동 치구계획시스템을 AFIX(Automated FIXture planning system)이라 부르며, 이는 C 언어로 코딩되어 워크스테이션에서 실행된다.

## 2. 치구계획 시스템

### 2-1. 치구계획

치구계획(fixture planning)은 작업설계에서 1회에 가공

할 가공면의 그룹과 그 그룹들의 작업순서 결정, 각 가공 그룹별 필요한 치구의 설계 및 공작물의 고정에 관한 계획을 의미한다. 여기서 공작물의 한번 고정으로 1회에 가공될 가공면의 그룹을 하나의 작업준비(set-up)라 하면, 치구계획은 (i)작업준비계획, (ii)치구설계, (iii)공작물 고정계획을 포함한다[2].

치구계획에 관한 문제점은 공작물의 80% 이상이 2번 이상의 작업준비를 통해 가공되고 있으나[2], 작업준비의 결정에 부품의 치수공차가 미치는 영향을 분석하지 않고 공정계획자의 직관과 경험에 의존하고 있는 문제점과 치구설계에 대한 일반적인 방법론과 이론이 개발되어 있지 않아서 치구설계자의 경험에 의존하는 문제와 합리적인 고정계획의 미비로 인하여 공작물의 고정시 정렬작업은 시간이 오래 걸리며 오차가 발생되기 쉽다는 문제 등이 있다. 따라서 이러한 문제를 해결할 수 있는 치구계획의 자동화는 CAPP의 핵심과제중의 하나이다.

### 2-2. 자동 치구계획시스템의 구성

자동 치구계획시스템 AFIX는 그림 1에 나타난 바와 같이 선행처리과정과 주처리과정으로 구성되고, 선행처리과정은 부품의 형상특징 모델링[6,7,8]과 치구데이터화일 변환의 두 단계로, 주처리과정은 작업준비계획의 결정과 치구설계의 두 단계로 각각 구성된다.

## 3. AFIX의 선행처리 과정

### 3-1. 형상특징을 이용한 부품 모델

AFIX에서 사용되는 형상특징모델의 데이터구조는 그림 2와 같이 계층구조를 가지며 레벨 1에서는 부품의 명칭, 도면, 재질, 크기 및 형상특징의 수를 속성으로 하며, 레벨 2에서는 각 형상특징에 대한 명칭, 층(layer), 방향,

원점, 표면조도 및 구성면의 수로 구성되고, 레벨 3에서는 각 구성면의 명칭, 방향, 크기 및 데이텀의 수로 구성되며, 레벨 4는 데이텀에 관한 것으로 데이텀의 명칭, 공차 종류, 관계치수 및 공차량으로 구성되어 있다.

### 3-2. 치수관계도

부품도상의 각 형상특징은 반드시 다른 형상특징의 구성면을 데이텀으로 갖든지 또는 부품외형면을 데이텀으로 하여 치수관계를 갖는다. 어떤 형상특징이 그 부품의 외형면 A와 N회의 치수선 관계를 거쳐 정의 될 경우 그 형상특징의 외형면 A에 대한 치수관계도(Degree of Dimensional Relationship; DDR)는 N이라 정의하고, 각 형상특징의 DDR을 그 형상특징의 위치결정면을 결정하는 도구로 이용한다.

### 3-3. 허용정렬오차

어떤 형상특징의 가공을 위한 고정작업시 허용될 수 있는 최대의 회전오차를 그 형상특징의 허용정렬오차(Admissible Misalignment Value; AMV)로 정의하면 각 형상특징의 AMV는 그것의 데이텀면과 치수공차들 변수로 가진다. 형상특징의 가공시 그것의 데이텀면들은 AMV가 최소가 되는 방법을 모색해야 하며, 공작물의 작업준비계획시에도 가공할 형상특징의 AMV가 최소가 되는것을 중심으로 그룹화를 모색해야 한다. 따라서 각 형상특징별 AMV를 데이터로 준비해 두면 치수계획에 유용한 도구가 된다.

#### 3-3-1. 직육면체의 AMV

직육면체 형상의 공작물에 대한 고정작업은 3-2-1 위치결정원칙[9,10,11]에 따라 행해진다. 그림 3은 직육면체를 제1의 위치결정면에 P5점을 피봇점으로 하고 제2의 위치결정면에 P3-P7축을 피봇축으로 했을 때 생기는 AMV를 투상도법으로 나타낸 것이다.

제1의 위치결정면에 생기는 AMV를 AMV1라 하고 제2의 위치결정면에서 생기는 AMV를 AMV2라 할때 그림 3에서의 AMV1, AMV2는 식(1), (2)와 같이 표현된다.

$$AMV1 = \frac{e1}{P5 P7} \quad (1)$$

$$AMV2 = \frac{e2}{P2 P3} \quad (2)$$

#### (1) 원통형 공차역에 대한 AMV

그림 4와 같이 제1의 위치결정면을 XY평면으로 할 경우, 공작물이 경사상태에서 Q1-Q2로 가공된 축심은 정상위치

로 복원되면 Q1'-Q2'의 축심으로 변위되므로 AMV1의 크기는 이 축심이 직경 T, 높이 h인 공차역의 경계에 접촉될 때까지의 경사각인  $\theta_1$ 이 된다. 원통공차역의 경우 AMV1을 AMV1o로 표기하면 AMV1o는 식(3)에 의해 계산할 수 있다.

$$AMV1o = \sin^{-1} \left\{ \frac{(-\ell h + (\ell^2 h^2 - (A^2 + h^2)(\ell^2 - A^2))^{1/2}) / (A^2 + h^2)}{A} \right\} \quad (3)$$

여기서,  $A = \ell + T/2$

AMV2 는 그림 4의 평면도에서 공차역의 축심이 P점에서 공차역의 경계인 P' 또는 P''점까지 회전될 수 있는 회전각  $\theta_2$ 이며 이는 회전방향에 관계없이 동일한 값이다. 원통공차역의 경우 AMV2를 AMV2o로 표기하면 AMV2o는 식(4)에 의해 계산할 수 있다.

$$AMV2o = \cos^{-1} \left\{ \frac{(\ell^2 - T^2/8)}{\ell^2} \right\} \quad (4)$$

#### (2) 사각기둥 공차역에 대한 AMV

공차역이 사각기둥일 경우의 AMV1을 AMV1r로 표기하면 AMV1r은 공차역이 원통형일 경우와의 차이점을 고려하여 다음과 같이 구한다. 즉 그림 5에서 공차역의 경계점을 원통형의 경우 q1점 대신에 X축에 평행한 피공차역 Tx의 경우는 q2점으로, Y축에 평행한 피공차역 Ty의 경우는 q3점으로 대치하면 된다. 따라서 공차역이 Tx, Ty인 경우의 AMV1r을 각각 AMV1rx, AMV1ry로 표기하면 AMV1rx는 (3)식의 T 대신에 T/cos $\eta$ 를 대입하고, AMV1ry는 T 대신에 T/sin $\eta$ 를 대입하여 식(5) 및 식(6)에 의해 각각 구할 수 있다.

$$AMV1rx = \sin^{-1} \left\{ \frac{(-\ell h + (\ell^2 h^2 - (B^2 + h^2)(\ell^2 - B^2))^{1/2}) / (B^2 + h^2)}{B} \right\} \quad (5)$$

여기서,  $B = \ell + T/2\cos\eta$ ,  $\eta = \tan^{-1}(y/x)$

$$AMV1ry = \sin^{-1} \left\{ \frac{(-\ell h + (\ell^2 h^2 - (C^2 + h^2)(\ell^2 - C^2))^{1/2}) / (C^2 + h^2)}{C} \right\} \quad (6)$$

여기서,  $C = \ell + T/2\sin\eta$ ,  $\eta = \tan^{-1}(y/x)$

AMV2의 경우도 그림 6에 표시된 사각기둥 공차역을 고려하여 AMV1의 경우와 같은 방식으로 구하고 표기도 같은 방식을 따르면 AMV2rx는  $\theta_{2x1}$ 과  $\theta_{2x2}$ 중의 최소값이 되며, AMV2ry는  $\theta_{2y1}$ 과  $\theta_{2y2}$ 중의 최소값이 되며 이는 식(7) 및 식(8)에 의해 각각 구할 수 있다.

$$AMV2rx = \cos^{-1} \{ \cos\eta - Tx/2\ell \} - \eta \quad (7)$$

$$AMV2ry = -\sin^{-1} \{ \sin\eta - Ty/2\ell \} + \eta \quad (8)$$

그러나 실제 적용할 AMV2r의 값은 AMV2rx와 AMV2ry 중의 최소값이 필요하므로 (9)식을 이용하여 구한다.

$$AMV2r = \min [ AMV2rx, AMV2ry ] \quad (9)$$

### 3-3-2. 형상특징에 대한 AMV 계산

구성면이 1개 뿐인 형상특징의 AMV계산은 3-3-1절에 주어진 식에 따라 계산하면 된다. 그러나 구성면이 2개이상인 형상특징에는 형상특징의 원점을 포함하는 구성면과 그림면이 반드시 존재하며 이 2개의 면에 대한 공차역도 반드시 존재하기 때문에 AMV계산시 함께 고려해야 한다. 형상특징의 구성면 중에서 그 원점을 포함하지 않는 구성면은 가공기계의 정밀도에만 관계되므로 AMV계산시 대상에서 제외한다.

### 3-4. 형상특징의 데이텀 체계

형상특징에 대한 데이텀체계를 결정하는 규칙은 사용기계, 위치결정 원칙 및 회사의 가공정책에 따라 변한다. 본 연구에서 개발한 데이텀 결정규칙은 사용기계는 수직밀링 머신으로 하고 위치결정방식은 직육면체의 3-2-1위치결정 원칙에 따랐으며, 가공정책은 (i)기계 바이스 형태의 치구 사용 원칙, (ii)공작물 관리상의 치수관리 원칙, (iii)공작물 관리상의 형상관리 원칙의 순으로 우선순위를 두어 개발하였다. 표 1은 이러한 기본 원칙에 따라 개발한 형상특징별 데이텀체계의 결정을 위한 의사결정표이다. 표에서의 구성면은 그 형상특징의 원점이 포함되어 있는 제1구성면을 의미하며, 백업외형면은 형상특징의 반대방향에 있는 외형면을 의미한다.

### 3-5. 선행처리과정 및 결과

AFIX의 선행처리과정은 사용자가 개입하여 부품도정보를 형상특징 화일로 변환시키고 이것을 다시 자동으로 치구데이터 화일로 변환시키는 과정이다. 치구데이터 화일은 각 형상특징에 대한 일반 데이터와 데이텀에 대한 데이터로 구성되며, 데이텀에 관한 데이터는 데이텀체계의 순서에 따라 (i) 데이텀면, (ii) AMV, (iii) DDR로 구성되어 있다.

### 4. 선행처리의 적용 예

그림 7의 캐비티플레이트의 부품도를 대상으로 사용자가 부품도를 인식하여 데이터를 입력하면 AFIX는 그 부품에 대한 형상특징 화일을 생성시킨후 바로 치구데이터 화일을

생성시킨다. 그림 8는 그림 7의 치구데이터 화일의 출력리스트를 나타낸 것이다. 리스트에서 형상특징의 종류는 모두 12개이며 그것의 층, 방향, 원점, 밀면의 크기, 표면조도, 피미리 수, 데이텀 체계, AMV, DDR에 대한 데이터가 레코드로 구성되어 있다. 이들 데이터는 본 연구의 계속되는 연구에서 다물 작업준비계획과 치구설계에 이용된다.

### 5. 결 론

본 연구는 치구계획의 자동화시스템 개발에 관한 일부의 연구로서 부품도에 주어진 데이터를 입력하면 치구계획의 자동화시스템이 자동처리를 위해 필요한 입력화일을 준비하는 선행처리과정을 개발하였다. 선행처리과정에는 각 형상특징별 데이텀의 체계가 결정되고, 작업준비계획과 치구설계에 이용할 수 있는 DDR, AMV와 같은 도구가 생성된다. AMV를 치구계획에 활용하는 방안을 제시하고 그 계산방식을 데이텀면, 공차, 형상특징의 종류에 따라 제시하였다.

연구결과의 구현을 위해 프로토타입으로 개발한 AFIX는 사용언어는 C를 사용하였고 하드웨어는 워크스테이션에서 실행된다.

본 연구의 결과는 계속연구에서 다물 작업준비계획과 치구설계에 적용됨으로서 실용성이 증대될 것으로 사료된다.

### 참고 문헌

- [1] 人見勝人 著, 田 圭甲 譯, 生産システム工学, 嵩重堂, 1986.
- [2] Boerma, J.R., The Design of Fixtures for Prismatic Parts, University of Twente, 1990.
- [3] Ahlgrim, S.C., Chang, T.C., A Survey on the Use and Development of Computer Aided Process Planning Systems, TR-ERC 89-6, 1989.
- [4] Hocken, R.J., 1987; Flexible Fixturing, CIRP Internal Report to STCN, 1987.
- [5] Foster, L.W., Geometric Dimensioning and Tolerancing A Working Guide, Addison-Wesley Publishing Co., 1971.
- [6] Inui, M., Suzuki, H., Kimura, F. and Sata, T., Extending Process Planning Capabilities with Dynamic Manipulation of Product Models, Proc. of 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, pp. 273-280, June 1987.
- [7] 松田三知子 外 3人, 製品設計と 工程設計を統合する形状特徴モデリング, 精密工學會誌, 54/12, pp. 2334-2339, 1988.
- [8] Hiroshi Macaki and Toshio Kojima, An Object Oriented Solid Modeling Method for Extraction of Form Features, JSPE-57-01, pp. 110-115, 1991.
- [9] Eary, D.F., Johnson, G.E., Process Engineering for Manufacturing, Prentice-Hall Inc., 1962.
- [10] SME, Manufacturing Planning and Estimating Handbook, McGRAW-HILL Book Co., 1963.
- [11] Hoffman, E.G., Jig and Fixture Design, Van Nostrand Reinhold Co., 1980.

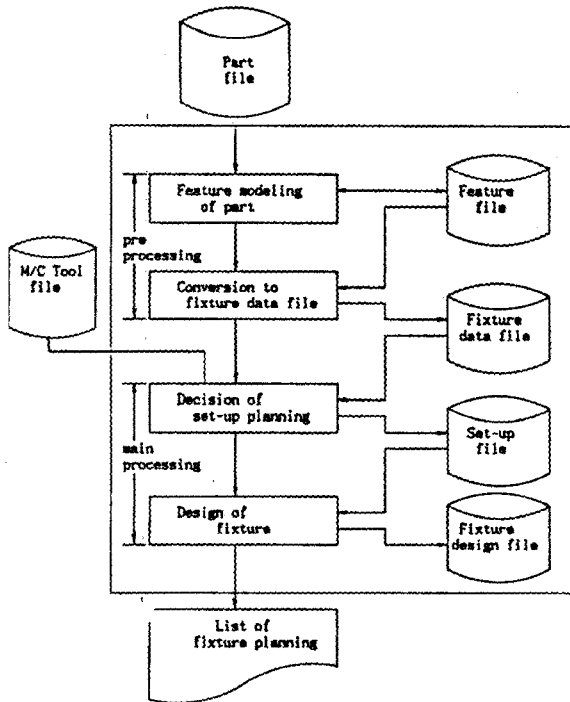


그림 1. AFIX의 구성내용

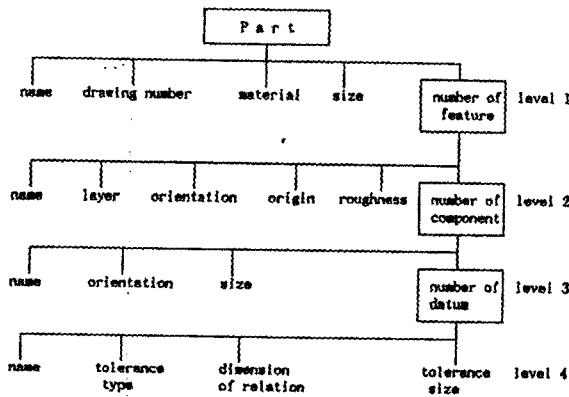


그림 2. AFIX용 형상특징 모델의 계층형 데이터구조

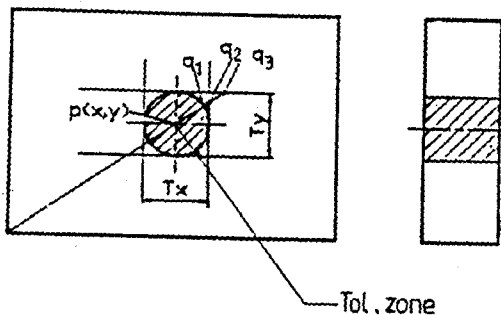


그림 5. AMV의 계산을 위한 사각기동공차역과 원통공차역의 비교

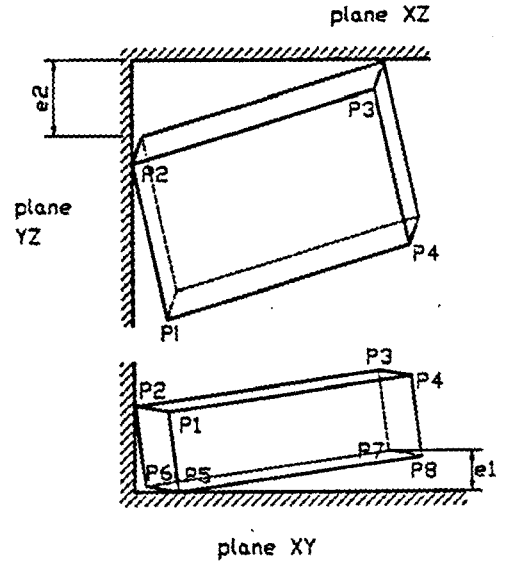


그림 3. 직육면체의 AMV의 표현

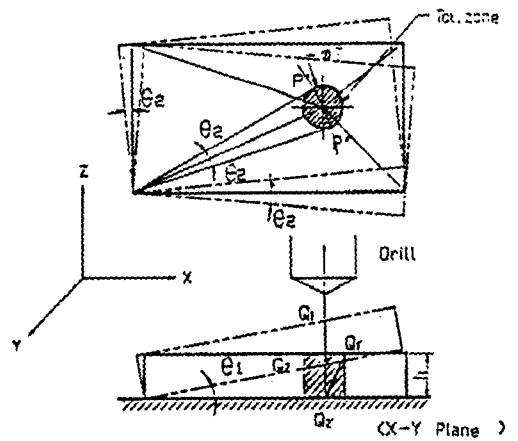


그림 4. 원통공차역에 대한 AMV

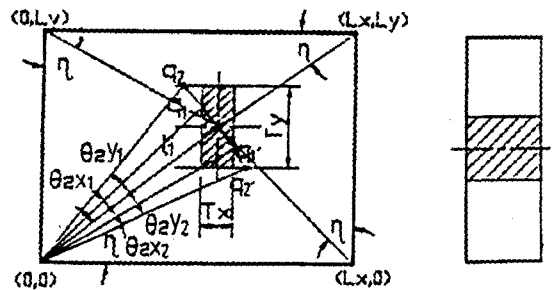


그림 6. AMV2 계산을 위한 사각기동 공차역

표 1. 데이터체계 결정을 위한 의사결정표

Feature Condition & action	Hole		non-hole		
	T T T	T F	T  T	T F T	T F F T
feature.name==4char feature.name==5char number of datum==3 tolerance.name== 'TG' number of reference<=2 number of component==3 number of component>=4					
datum 1 datum 2 datum 3	datum.name[1] datum.name[2] datum.name[3]	backup o.s datum.name[1] datum.name[2]	backup o.s datum.name[1] datum.name orthogonal o.s	backup o.s datum.name[1] compo[2] datum.name	backup o.s datum.name[1] compo[no. of compo.] datum.name
rule	1	2	3	4	5
application	true position tol.with 3 datums	size tol.	through step or through slot	blind step or blind slot or pocket with 3 component	pocket with more then 4 component surface

\* tol:tolerance, dtm:datum, cmp:component,o.s:outer surface

Fixturing Data

Material : KP4M 55x105x205 HRC30

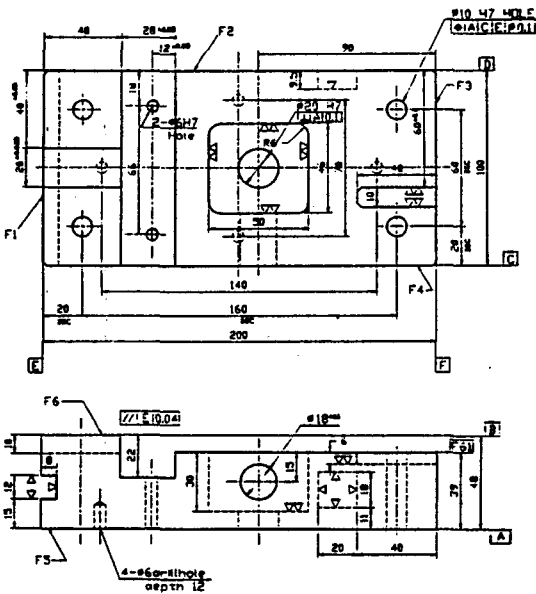


그림 7. 캐비티 플레이트의 부품도

Part name : Cavity plate Drawing No : 89-10012  
Material : KP4M Blank Size : 200.000,100.000,-48.000

Feature No	Name	layer	Ori	Origin ent	Base size	Rough size	Fami -ness	Datum Name	AMV	DDR
1	HLT1	XX0	+Z	20.0, 20.0, 0.0	10, 0	6	4	F5	0.0010390000	1
								F4	0.0002760000	1
								F1		1
2	SLT1	OX0	+Z	0.0, 60.0, 0.0	40, 20	8	1	F5	0.0047830002	1
								F2	0.0002450000	1
								F1*		1
3	STT1	000	+Z	40.0, 0.0, 0.0	120,100	6	1	F5	0.0025609999	1
								F1	0.0012500000	1
								F4*		1
4	SLT2	X01	+Z	40.0, 0.0,-9.0	28,100	6	1	F5	0.0015219999	1
								F1	0.0001250000	1
								F4*		1
5	HLT2	XX2	+Z	56.0, 82.0,-22.0	6, 0	6	2	F5	0.0022910000	1
								SLT22	0.0004090000	3
								F2		1
6	PKT1	XX1	+Z	85.0, 27.0,-9.0	50, 46	9	1	F5	0.0058869999	1
								F3	0.0021980000	1
								F4*		1
7	HLT3	XX2	+Z	110.0, 25.0,-39.0	20, 0	6	1	F5	0.0276640002	1
								F3	0.0024300001	1
								F4*		1
8	SLB1	OX1	+Z	100.0, 40.0,-9.0	40, 10	9	1	F5	0.0048509999	1
								F2	0.0008550000	1
								F3		-1
9	SLT3	OX1	-X	0.0, 0.0,-33.0	100, 12	11	1	F3	0.0039720000	1
								F5	0.0019779999	1
								F4*		1
10	PKT2	XOX	+Y	160.0, 91.5, 37.0	18, 20	11	1	F4	0.0148660000	1
								F5	0.0011030000	1
								F3		1
11	HLT4	XOX	-Y	110.0, 0.0,-24.0	18, 0	6	1	F2	0.0072960001	1
								F61	0.0017760000	1
								F3		1
12	HLB1	XX0	-Z	30.0, 50.0,-48.0	6, 0	11	4	F6	0.0150030004	1
								F1*	0.0011290000	1
								F4*		1

그림 8. 그림 7 의 치구데이터 리스트