

# 특징형상 데이터를 이용한 선행관계 추출과 작업순서 결정

이충수\*, 노형민\*, 김성식\*\*

\*한국과학기술연구원 기전연구부 CAD/CAM 팀

\*\*고려대학교 산업공학과

## Abstract

특징형상 데이터는 공정설계의 입력 정보로 사용되며, 부품 서술 데이터, 기하학적 데이터, 가공 기술적 데이터로 분류할 수 있다. 또한 공정순서 및 작업순서 결정에서 선행관계는 반드시 고려하여 위배되지 않도록 해야 하는 중요한 요소이다. 본 연구에서는 작업순서 결정시 만족해야 하는 선행관계를 기하형상에 의한 선행관계, 공차에 의한 선행관계, 단위 특징형상의 작업내용들 간의 선행관계, 가공 경험에 의한 선행관계 등으로 분류/정의하였고, 특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 분류된 선행관계를 자동으로 추출하는 방법을 제안하였다. 그리고 추출한 선행관계를, 공구 교환횟수를 최소로 하는 작업순서 결정 알고리즘에 적용한 사례를 정리하였다.

## 1. 서론

설계 도면에 나타난 특징형상 데이터에 관한 명확한 정의는 공정설계를 수행하기 전에 선행되어야 할 조건이다[1]. 특징형상 데이터는 부품의 일반 정보를 나타내는 부품 서술 데이터(part description data), 기하형상을 나타내는 기하학적 데이터(geometric data), 공차를 나타내는 가공 기술적 데이터(machining data)로 분류할 수 있다. 이러한 정보로 구성된 특징형상 데이터는 공정설계 수행시 입력정보로 이용된다.

공정설계에서 공정순서 및 작업순서의 결정시 기술적인 제약조건과 경제적인 제약조건을 만족해야 한다. 기술적인 제약조건에는 가공에 관련된 선행관계가 있으며, 경제적인 제약조건에는 생산량의 최대화와 생산시간의 최소화가 있다. Limaem 등[2]은 근사 이웃 탐색(nearest neighbor search) 방법으로 선행관계를 만족하며, 기계, 치공구 및 공구의 교환시 별점을 부과해 별점이 가장 적은 기계, 치공구 및 공구가 선택되도록 공정순서 및 작업순서를 결정했다. Yut 등[3]은 그래프 이론을 이용하여 선행관계를 만족하며, 치공구와 공구의 교환횟수를 최소로 하는 작업순서를 결정했다. Irani 등[4]은 그래프 이론을 응용한 Hamilton 경로를 이용하여 선행관계를 만족하면서 치공구와 공구의 교환비용을 최소로 하는 작업순

서를 결정하였다. Rho 등[5]은 행렬을 이용한 경험적 방법으로 선행관계를 만족하면서 공구 교환횟수를 최소로 하는 작업순서를 결정하였다.

이상의 연구에서 모두 선행관계를 고려하였듯이 선행관계는 공정순서 및 작업순서 결정시 반드시 만족되어야 하는 중요한 요소이다. 상기의 연구에서는 선행관계를 고려하여 순서를 결정하였으나, 선행관계는 주어진다고 가정하여 그 내용에 관해서는 다루지 않았다. 조 규갑 등[6]은 선행관계의 내용을 정리하고, 선행관계를 고려하여 공정순서를 결정하였으나 공정설계 자동화에 필요한 선행관계를 추출하는 방법에 대해서는 다루지 않았다. 본 연구에서는 작업순서 결정시 이용할 수 있는 선행관계를 기하형상에 의한 선행관계, 공차에 의한 선행관계, 단위 특징형상의 작업내용들간 선행관계, 가공 경험에 의한 선행관계 등으로 분류/정의하고, 이 선행관계를 특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 자동으로 추출하는 방법을 제안했다. 그리고 추출한 선행관계를, 공구 교환횟수를 최소로 하는 작업순서 결정 알고리즘에 적용한 사례를 정리하였다.

## 2. 특징형상 데이터

공정설계의 입력으로 사용되는 특징형상 데이터에는 부품의 일반 정보를 나타내는 데

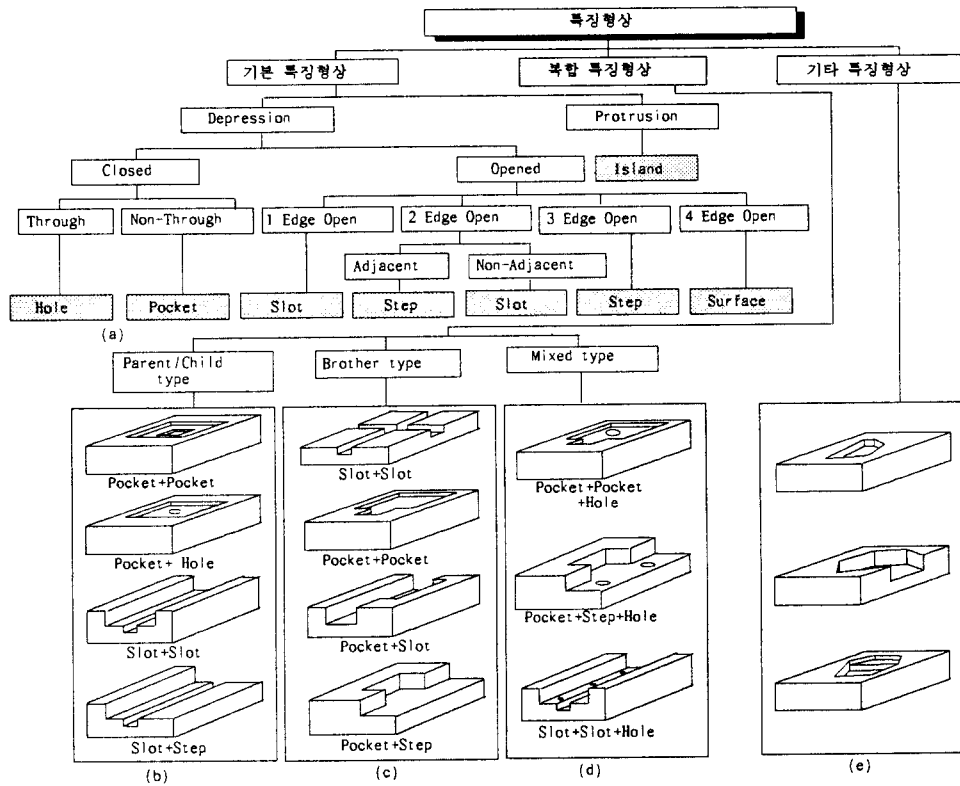


그림 1 특징형상의 분류

이터, 기하형상을 나타내는 데이터, 공차를 나타내는 데이터 등이 포함되어야 한다. 본 절에서는 이들을 각각 부품 서술 데이터, 기하학적 데이터, 가공 기술적 데이터로 분류하여, 각 분류에 포함되는 세부 데이터를 정의한다.

부품 서술 데이터는 부품명, 도면 번호, 재질, 경도, 소재 형상, 부품 크기 등을 포함한다. 소재 형상은 환봉, 육각봉, 사각봉, 판재, 주물에 의하여 형성된 형상으로 분류하였다.

기하학적 데이터는 가공부위의 형상, 위치, 크기 등을 포함한다. 설계 도면에 나타나 있는 가공부위 형태를 분석한 결과, 자주 나타나는 단순한 형태, 단순한 형태들이 조합된 복합 형태, 그리고 도면에 나타나는 횟수가 적은 복잡한 형태가 있어, 본 연구에서는 이들을 각각 기본 특징형상, 복합 특징형상, 기타 특징형상으로 분류하였다[7]. 기본 특징형상은 그림 1의 (a)와 같이 함몰/돌출 여부, 개방/폐쇄 여부, 판통/비판통 여부, 공구 진입 모서리의 수, 모서리의 인접/비인접 여부에 따라 Pocket, Hole, Step, Slot, Island, Surface 등 6 종류로 분류하였다. 이 기본 특징형상들은 Pocket 14 개, Hole 12 개, Step 10 개, Slot 8 개, Island 4 개, Surface 2 개 등의 총 50 개로 세분화하였다. 복합 특징형상

은 기본 특징형상간의 위상관계로 표현하였으며, 위상관계는 그림 1의 (b)와 같이 parent/child 형, 그림 1의 (c)와 같이 brother 형, 그림 1의 (d)와 같이 parent/child 형과 brother 형의 혼합형의 3 가지 형으로 분류하였다[8]. 기타 특징형상은 기본 특징형상으로는 표현할 수 없는 복잡한 형태로 그림 1의 (e)와 같은 형태이다.

가공 기술적 데이터는 치수공차, 거칠기, 기하공차 등을 포함한다. 치수공차와 거칠기는 한 특징형상의 공차를 표현하며, 기하공차는 한 특징형상내의 공차 혹은 기준면으로 두 특징형상간의 가공 기준 관계를 표현한다. 기하공차는 기준면의 유무에 따라, 기준면이 필요 없는 공차(진직도, 평면도, 진원도, 원통도), 기준면이 있어도 되고 없어도 되는 공차(선의 윤곽도, 면의 윤곽도), 기준면이 반드시 필요한 공차(평행도, 직각도, 경사도, 위치도, 동축도, 동심도, 대칭도) 등으로 분류한다.

### 3. 특징형상 데이터를 이용한 선행관계의 정의 및 추출

일반적으로 하나의 특징형상을 가공하기

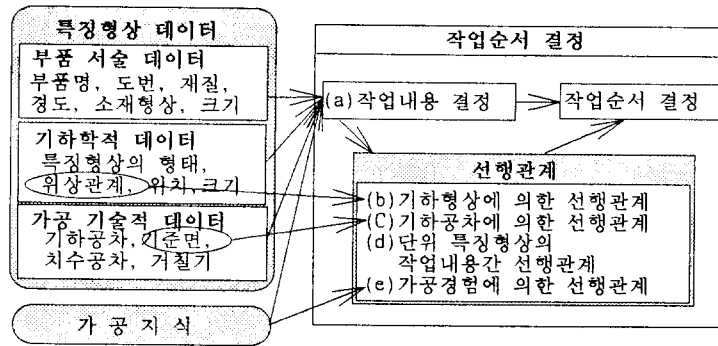


그림 2 특징형상 데이터와 가공지식을 이용한 선행관계 추출 과정

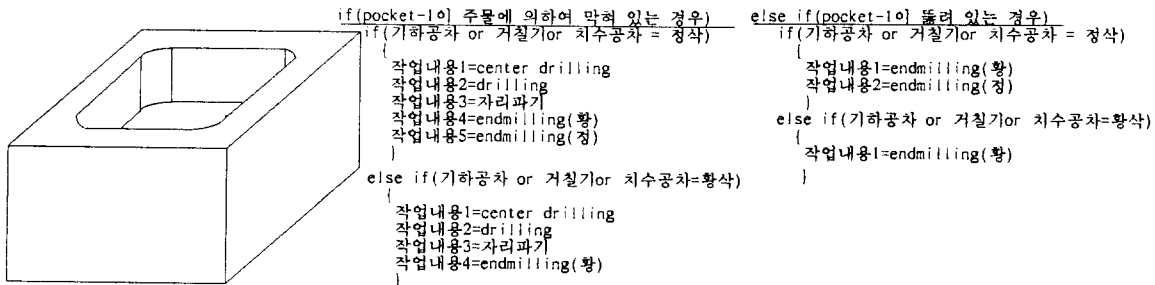


그림 3 기본 특징형상 pocket-1의 작업내용 결정 규칙

위해서는 여러 가지의 작업내용이 필요하고, 하나의 부품을 가공하기 위해서는 부품에 존재하는 모든 특징형상의 작업내용을 합한 만큼의 작업내용이 필요하다. 작업내용은 특징형상별로 생성되기 때문에, 각각의 작업내용은 하나의 특징형상과 매핑(mapping)된다. 또한 한 부품을 가공하기 위한 작업내용들간에는 가공 우선순위인 선행관계가 존재한다. 본 절에서는 이 선행관계를 기하형상에 의한 선행관계, 공차에 의한 선행관계, 단위 특징형상의 작업내용들간 선행관계, 가공 경험에 의한 선행관계 등으로 분류/정의하고, 작업내용에 매핑되는 특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 선행관계를 추출하는 방법을 설명한다.

그림 2에는 특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 선행관계를 추출하는 과정을 정리하였다. 선행관계를 자동으로 추출하기 위하여, 우선 그림 2의 (a)와 같이 부품 서술 데이터, 기하학적 데이터, 가공 기술적 데이터 등의 특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 특징형상별로 작업내용을 생성해야 한다. 본 연구에서는 50개의 기본 특징형상별로 작업내용을 결정하는 규칙을 만들었다. 그 중 한 예인 기본 특징형상 Pocket-1의 작업내용을 결정하는 규칙이 그림 3에 정리되어 있다. 이렇게 생성한 각각의 작업내용은 하나의 특징형상과

매핑된다. 특징형상별로 작업내용을 결정한 후, 작업내용에 매핑되는 특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 다음과 같이 선행관계를 추출하였다.

### 3.1 기하형상에 의한 선행관계

parent/child 형의 parent 특징형상에 관한 작업내용은 child 특징형상에 관한 작업내용보다 먼저 가공되어야 한다. 이러한 선행관계는 2절에서 정의한 복합 특징형상의 parent/child 형 및 parent/child 형과 brother 형의 혼합형에서 나타난다. 이 기하형상에 의한 선행관계는 그림 2의 (b)와 같이 기하학적 데이터의 위상관계를 검색하여 추출하였다.

### 3.2 기하공차에 의한 선행관계

기하공차에 기준면이 표기되었다면, 이 기준면에 해당하는 특징형상의 작업내용은 기하공차가 표시된 특징형상의 작업내용보다 먼저 가공되어야 한다. 이 기하공차에 의한 선행관계는 그림 2의 (c)와 같이 가공 기술적 데이터를 검색하여 추출하였다.

### 3.3 단위 특징형상의 작업내용간 선행관계

그림 3에 나타난 Pocket-1이 주물에 의하여 막혀 있으면서 정상인 경우, 작업내용은

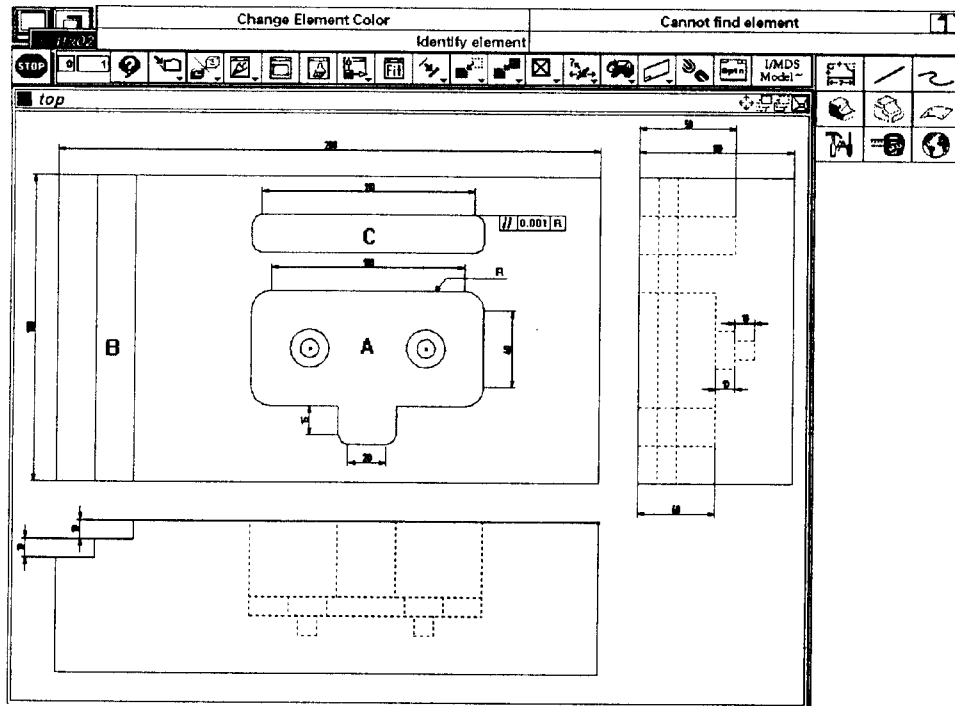


그림 4 부품 지지대의 설계도면

endmilling(황), endmilling(정)으로 결정된다. 이 순서는 다른 특징형상들의 작업내용과 혼합되더라도 선행관계로 나타난다. 이러한 선행관계는 그림 2의 (d)와 같이 특징형상별로 작업내용을 결정했을 때, 결정된 단위 특징형상의 작업내용 순서를 검색하여 추출하였다.

### 3.4 가공 경험에 의한 선행관계

가공 경험에 의한 선행관계는 공정설계자의 특유의 가공 노하우를 말한다. 예를 들면 제일 먼저 부품의 외곽면의 면삭(황) 가공을 하고, 구멍 가공 또는 endmilling을 한 후 마지막에 면삭(정) 가공을 하는 경우이다. 이러한 선행관계는 기하형상에 의한 선행관계, 기하공차에 의한 선행관계, 단위 특징형상의 작업내용간 선행관계를 위배하지 않는 범위에서 지켜져야 한다. 경험적 선행관계는 그림 2의 (e)와 같이 가공지식으로부터 추출하였다.

## 4. 적용사례

특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 선행관계를 추출하고, 이 선행관계를 작업순서 결정에 이용한 사례연구로, 공작기계 부품 지지대의 상면 가공 공정을 선정하여 밀링 공정 설계 모듈(Mill-CAPP)을 수행하였다. 이 상면

가공 공정의 가공 기계 모델은 TMV-2로 결정하였고, 치공구는 Screw Jack, Fixed Block으로 결정하였다.

그림 4에는 지지대의 상면 가공 공정의 설계 도면을 나타내었다. 설계도면의 A 부분은 2개의 Pocket-1과 2개의 Pocket-8이 Parent/Child 형과 Brother 형의 혼합형으로 구성되어 있다. B 부분은 2개의 Step-1이 Parent/Child 형으로 구성되어 있고, C 부분은 기본 특징형상 Pocket-1이 존재한다. 또한 C는 A부분의 큰 pocket-1을 기준면으로 한다. 이 설계 도면을 대상으로 크기와 위치에 관한 정보는 자동으로 추출하고, 나머지 정보는 대화형으로 추출하여, 2절에서 정의한 특징형상 데이터의 형태로 데이터베이스에 저장한 내용이 그림 5에 정리되어 있다. 즉, 그림 5 (a)에는 기하학적 데이터가 나타나 있고, 그림 5 (b)에는 가공 기술적 데이터가 나타나 있다. 선행관계를 추출하기 위하여, 도면에 존재하는 모든 특징형상에 대하여 작업내용을 결정했다. 이렇게 결정한 단위 특징형상의 작업내용간 순서를 선행관계로 추출하였다. 또한 그림 5 (a)에 있는 특징형상의 위상관계 정보(topology\_feat\_id)와 그림 5 (b)에 있는 기준면 정보(geo\_tol\_reference)를 각각 기하형상에 의한 선행관계와 공차에 의한 선행관계로 추출하였다.

feature_id	feature_name	topology	topology_feat_id	x	y	size1	size2	size3	size4	..
1	pock-1			117.97	76.30	10	100	40	40	
2	pock-1	brother	1	117.97	31.30	5	20	10	40	
3	pock-8	parent	1	97.97	76.30	20	10	10	10	
4	pock-8	parent	1	137.97	76.30	20	10	10	10	
5	pock-1			117.97	141.30	5	110	15	50	
6	step-1			37.97	86.30	160	20	10		
7	step-1	brother	5	17.97	86.30	160	20	10		

(a) 기하학적 데이터

feature_id	geometric_tol	geo_tol_val	geo_tol_reference	dimension_tol_value	no_of_roughness
1	parallelism	0.001			
2					
3					
4	parallelism	0.001	1		
5				0.002	
6				0.002	
7					

(b) 가공 기술적 데이터

그림 5 지지대의 특징형상 데이터

The screenshot displays a software interface with a 3D model of a mechanical part in the center. On the left, there are panels for '등록된 특징형상' (Registered Features) and 'MILLING' (Milling) with a list of operations. On the right, there are fields for machine parameters and a '작업순서' (Job Sequence) table. The table lists 16 operations with their parent-child relationships and tool types.

번호	작업내용	Parent	기준면	공구
1	Endmilling(R)/POCK1/100.0x40.0x40.0			END MILL (2)
2	Endmilling(F)/POCK1/100.0x40.0x40.0			END MILL (2)
3	Endmilling(R)/STEP1/180.0x24.0x10.0			END MILL (2)
4	Center_Drilling/POCK0/20.0x10.00/2	POCK1/100.0x4		CENTER DRILL
5	Center_Drilling/POCK1/20.0x15.0x40.0			CENTER DRILL
6	Center_Drilling/POCK1/110.0x10.0x50.0	POCK1/100.0x4		CENTER DRILL
7	Drilling/POCK0/20.0x10.00/2	POCK1/100.0x4		DRILL/5.00
8	Drilling/POCK1/20.0x15.0x40.0			DRILL/5.00
9	Drilling/POCK1/110.0x10.0x50.0	POCK1/100.0x4		DRILL/5.00
10	Endmill_positioning/POCK0/20.0x10.00/2	POCK1/100.0x4		END MILL (2)
11	Endmill_positioning/POCK1/20.0x15.0x40.0			END MILL (2)
12	Endmilling(R)/POCK1/20.0x15.0x40.0			END MILL (2)
13	Endmilling(R-D)/POCK0/20.0x10.00/2	POCK1/100.0x4		END MILL (2)
14	Endmill_positioning/POCK1/110.0x10.0x60.0	POCK1/100.0x4		END MILL (2)
15	Endmilling(R)/POCK1/110.0x10.0x50.0	POCK1/100.0x4		END MILL (2)
16	Endmilling(F)/POCK1/110.0x10.0x60.0	POCK1/100.0x4		END MILL (2)

그림 6 상면 가공 공정의 작업순서 결정

이렇게 추출한 선행관계를 만족하면서 공구 교환횟수를 최소로 하는 작업순서 결정 알고리즘[7]에 적용하여 작업순서를 결정한 내용을 그림 6에 나타내었다. 그림 6은 기하형상에 의한 선행관계, 공차에 의한 선행관계, 단위 특징형상의 작업내용들간 선행관계, 가공경험에 의한 선행관계를 만족하면서, 공구 교

환횟수를 줄여 주는 작업내용들간의 순서를 결정한 컴퓨터 화면이다.

특징형상 데이터와 가공지식을 이용한 선행관계 추출 방법을 사례에 적용한 결과, 설계도면에 나타나 있는 선행관계들을 정확히 추출할 수 있었다.

Mill-CAPP은 Intergraph workstation 환경에

서 2D drafter 인 I/MDS[9], NC 프로그램을 생성하기 위한 I/MILL[10], GUI(graphic user interface) 구현 틀인 I/FORMS[11], 데이터 관리를 위한 ORACLE RDBMS[12]를 이용하여 C 와 PPL[13]로 개발되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 작업순서 결정시 이용할 수 있는 선행관계를 분류/정의하고, 이 선행관계를 특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 자동으로 추출하는 방법을 제안했다. 그 연구 내용 및 연구성과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 작업순서 결정시 반드시 고려해야 하는 선행관계를 기하형상에 의한 선행관계, 공차에 의한 선행관계, 단위 특징형상의 작업내용들간의 선행관계, 가공 경험에 의한 선행관계 등으로 분류/정의하였다.
- 특징형상별로 작업내용을 결정하고, 작업내용과 특징형상 데이터와의 매핑관계를 이용하여 선행관계를 추출하는 방법을 제안하였다. 제안한 추출 방법을 적용한 결과, 설계도면에 나타나 있는 선행관계들을 정확히 추출하였다.

본 연구에서 제안한 특징형상 데이터와 가공지식을 이용하여 작업순서 결정에 이용되는 선행관계를 자동으로 추출하는 방법은 자동 공정설계 시스템 개발시 유용하게 이용될 것이나, 이 시스템의 실용화를 위해서는 공정순서의 결정은 물론 일정계획 모듈과의 연계로 확장되어야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] Jasthi, S. R. K., Prasad, A. V. S. R. K., Manidhar, G., Rao, P. N., Rao, U. R. K., and Tewari, N. K., "A Feature-Based Part Description System for Computer Aided Process Planning", Journal of Design and Manufacturing, Vol. 4, 1994.
- [2] Limaïem, A., and ElMaraphy, H. A., "An Integrated Resource Selection and Operation Sequencing Method", Proc. of the 27th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Michigan Univ., 1995.
- [3] Yut, G., and Chang, T. C., "Hierarchical Operation Sequencing Using a Heuristic Grouping Algorithm", Proc. of the 27th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Michigan Univ., 1995.
- [4] Irani, S. A., Koo, H. Y., and Raman, S., "Feature based operation sequence generation in CAPP", International Journal of Production Research, Vol.

33, No. 1, 1995.

[5] Rho, H. M., Geelink, R., van 't Erve, A. H., Kals, H. J. J., "An Integrated Cutting Tool Selection and Operation Sequencing Method", Annals of the CIRP, Vol. 41, No. 1, 1992.

[6] 조규갑, 김인호, 노형민, "자동공정설계에서 가공작업의 선정 및 순서결정 기법의 개발", 대한산업공학회지, 제 15 권, 제 2 호, 1989.

[7] 노형민 외, 1995, "지적공정계획기술 개발에 관한 연구 - 밀링 공정 모듈 개발(III)", 한국과학기술연구원, 통일중공업, 1995.

[8] 노형민, 이진환, 1992, "사출금형의 CAD/CAPP 통합을 위한 가공형상 데이터베이스", 대한기계학회지, 제 16 권 제 2 호, 1992.

[9] "Intergraph/Mechanical Drawing System(I/MDS) Operator Training Guide", Intergraph, 1992.

[10] "Intergraph / 2.5-Axis Milling Option (I/MILL) Reference Manual", Intergraph, 1992.

[11] "Intergraph User Interface Development Toolkit (I/FORMS) Reference Manual", Intergraph, 1992.

[12] "SQL Language Reference Manual", ORACLE, 1991.

[13] " Parametric Programming Language(PPL) User's Guide ", Intergraph, 1991.