

## 금형의 구멍가공을 위한 CAM 소프트웨어 개발

주상윤<sup>1</sup> · 이상현<sup>2</sup>

<sup>1</sup>울산대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>(주)큐빅테크 캐드캠 연구소

### Development of a CAM Software for Hole Machining of Dies

Sang-Yoon Ju · Sang-Heon Lee

There are many types of holes to be machined on dies manufactured in the car industry. In this paper we introduce a CAM software developed for hole machining of press dies. The CAM software automatically generates NC files for machining holes from CAD data modeled in the CATIA system.

A procedure generating NC files consists of three steps. First, the geometric information such as types of holes, hole positions, hole diameters, and hole depths is extracted from CATIA models. And then tools to be used and operation orders are standardized to establish a data base. Finally, NC files are generated by considering the machining conditions such as feedrate and rpm.

It is efficient that holes with the same type and the same size should be grouped and machined by a tool to reduce the tool change time. The optimal tool path for machining the holes in a group can be determined by applying an algorithm solving the traveling salesman problem.

#### 1. 서 론

자동차의 외관을 생산하기 위한 프레스작업의 기본 공정은 대략적인 형상을 제작하기 위한 draw 공정, 판넬의 불필요한 부분을 잘라내기 위한 trim 공정, 판넬을 구부리기 위한 flange 공정, 그리고 판넬의 경사진 부위를 가공하기 위한 캠공정의 4단계를 거친다. 통상적으로 draw 공정을 전공정으로, trim 공정, flange 공정, 캠공정을 후공정으로 구분한다. 전공정인 draw 공정에서 사용되는 금형은 상형과 하형이 한 세트를 이루어 프레스작업을 수행하고, 후공정에서의 금형은 <그림 1>과 같이 상형과 하형 외에 가공되는 판넬을 고정시키기 위한 패드를 추가하여 프레스작업을 수행하게 된다.

프레스작업에 사용되는 금형들을 제작하려면 드릴가공과 같이 구멍을 생성하기 위한 구멍가공, 2차원 평면상에 존재하는 곡선을 따라 가공이 이루어지는 윤곽가공, 2차원 평면을 가공하는 면삭가공, 그리고 3차원 공간상에서 작업이 수행되는 곡면가공이 필요하다. 이들 가운데 윤곽가공과 곡면가공은

상용화된 전용 CAM 소프트웨어들이 다수 개발되어 있고 자동화가 상당히 이루어져 있으며 그에 따른 연구활동도 활발한 편이다[1]. 그에 비하여 구멍가공은 전자분야에서 PCB(printed circuit board) 구멍천공에 관한 연구[2-3]가 일부 이루어졌을 뿐, 금형제작을 위한 구멍가공에 관한 연구는 이루어진 바 없으며 또한 이를 지원해주는 전용 CAM 소프트웨어 역시 개발되지

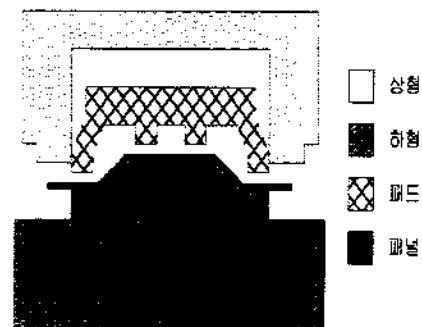


그림 1. 후공정을 위한 금형의 구성.

못한 상태이다. 따라서 금형가공 작업현장에서는 방대한 양의 구멍가공을 전적으로 수작업에 의지하여 수행하고 있으므로 도면제작 및 판독 그리고 가공에 많은 인력과 시간이 소요되고 있다.

금형의 구멍가공을 자동화하기 위한 전용 CAM 소프트웨어가 개발되지 못한 큰 이유 중의 하나는 금형작업이 표준화되지 않았기 때문이다. 따라서 구멍가공을 위한 CAM 소프트웨어를 개발하기 위하여 경험적으로 이루어지고 있는 수작업을 표준화하는 작업이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 수작업으로 이루어지는 구멍가공을 표준화하여 데이터베이스를 구축한 후, 3차원 CAD 시스템인 CATIA 시스템으로부터 모델링된 상형, 패드, 그리고 하형 모델데이터로부터 구멍가공을 위한 NC 데이터를 자동으로 생성하는 CAM 소프트웨어를 개발하고자 한다.

## 2. 구멍의 유형

프레스금형은 주물공정을 거쳐 들어온 소재에 대하여 금형의 바닥기준면을 가공하기 위한 1차 면삭가공, 부품을 장착하기 위한 자리를 내기 위한 2차 면삭가공 그리고 금형의 형상을 가공하기 위한 형상가공의 순으로 작업이 이루어진다. 프레스금형에 필요한 구멍들의 가공은 <그림 2>에 도시된 바와 같이 1차, 2차 면삭가공과 형상가공이 수행된 직후마다 각각 이루어지며 가공시점에 따라 1차 구멍가공, 2차 구멍가공, 3차 구멍가공이라고 불리어진다.

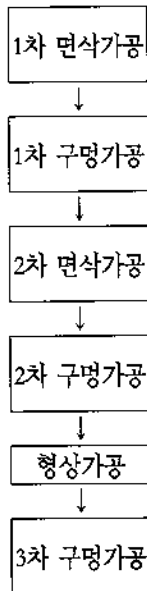


그림 2. 프레스 금형의 가공순서.

1차 구멍가공에는 스프링장착을 위한 spring guide pin hole가공과 펀치통과를 위한 PAD PI-hole 가공 등이 있으며, 2차 구멍가공에는 표준부품을 금형이나 상대부품에 고정하기 위한 bolt hole 가공, 위치고정을 위한 dowel pin hole 가공, 상형과 하형을 정밀하게 맞추기 위한 guide post hole 가공 등이 있다. 마지막 3차 구멍가공에는 금형공정간의 제품위치를 정확하게 결정하기 위한 기준구멍인 co-hole 가공, 제품에 원추모양의 돌출된 홈을 가공하기 위한 tapping hole 가공, die bush를 하형스틸에 취부하기 위한 die bush hole 가공 등이 있다. <표 1>에는 금형제작에 필요한 구멍의 유형들을 가공시점별로 분류하였다.

표 1. 가공시점별 가공구멍의 유형

가공시점	구멍의 유형
1차 구멍가공	spring guide pin hole, PAD PI-hole
2차 구멍가공	bolt hole, 기준 pin hole, dowel pin hole, guide post hole, cushion lifter hole, 2차 scrap hole, FL-side lifter hole
3차 구멍가공	dimple pin hole, co-hole, tapping hole, 1차 scrap hole, die bush hole

이러한 구멍들을 가공하기 위한 NC 파일을 자동으로 생성하려면 가공할 구멍의 형상에 대한 정보와 구멍을 가공하는 방법에 대한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 구멍에 대한 형상정보를 인식하기 위하여 CATIA 시스템에서 구멍의 형상을 모델링하였다. 모델링된 CATIA 데이터로부터 구멍의 유형, 위치, 가공깊이와 같은 제반정보를 얻을 수 있다. 반면에 구멍을 가공하는 방법에 대한 정보를 얻기 위하여 실제 이루어지고 있는 현장의 작업내용을 조사하여 각 구멍별로 사용되는 공구와 가공순서, 가공조건 등을 표준화하여 데이터베이스를 구축하였다.

<그림 3>은 본 연구에서 개발한 구멍가공용 CAM 소프트웨어에서 NC 파일을 생성하기까지의 과정을 도시하고 있으며, 본 논문의 이후 내용에서는 이들 과정의 각각에 대하여 구체적으로 다루고자 한다.

## 3. 구멍의 형상정보 인식

본 연구에서는 3차원 CAD 시스템인 CATIA 시스템을 이용하여 금형상의 구멍들을 <그림 4>와 같이 모델링하였다. 구멍의 유형은 CATIA 모델에서 사용되는 특정한 color를 사용하여

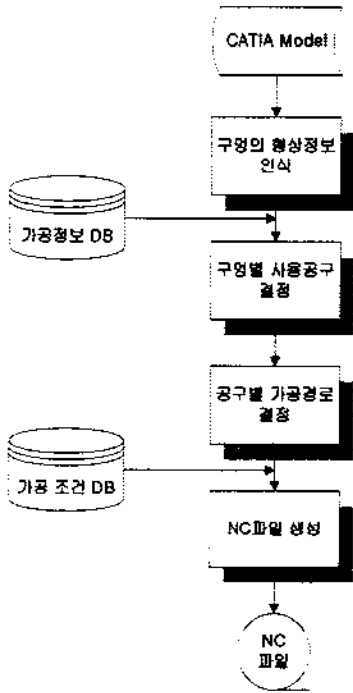


그림 3. 구멍가공용 NC 파일 생성절차.

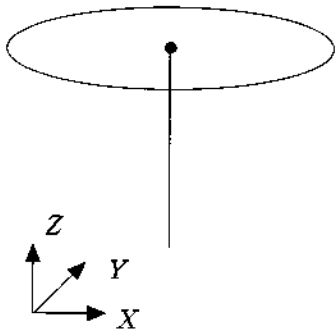


그림 4. 구멍에 대한 CATIA 모델.

구별하였다. 금형에 사용되는 구멍의 종류는 20여개에 불과한데 비하여 CATIA 시스템에서는 256가지 이상의 color가 사용되고 있으므로 color를 사용하여 구멍의 유형을 구분하는 것은 가능하다.

구멍의 위치와 크기는 각각 원의 중심점과 원의 직경으로 정하였다. 또한 구멍의 가공깊이는 중심점으로부터 Z축 방향으로 내린 보조선의 길이로 정하였다.

중심점이 XY-평면상에서 동일한 위치에 있는 구멍들은 대표구멍만으로 중첩된 구멍들의 직경을 모두 구할 수 있도록 표준화하였다. 예를 들어 die bush hole과 중첩되는 구멍으로는 <그림 5>에 도시된 바와 같이 편칭된 판넬의 스크랩이 배출될 1차 scrap hole과 2차 scrap hole이 있다. 중첩된 이들 두 scrap hole들의 직경은 대표구멍인 die bush hole의 직경에 따라 결정

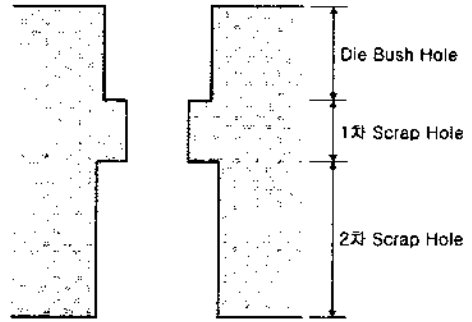


그림 5. 중첩된 구멍의 예.

표 2. 대표구멍 die bush hole의 직경에 따른 중첩된 구멍들의 직경

die bush hole	1차 scrap hole	2차 scrap hole
10	8	20
13	10	
16	12	30
20	15	
22	17	
25	20	
32	25	40
38	30	
45	38	50
50	43	60
56	49	
63	55	-
71	61	

되므로 <표 2>와 같이 표준화하여 die bush hole만을 모델링하면 나머지 중첩된 구멍들의 직경들을 모두 결정할 수 있도록 하였다. 중첩되는 구멍들의 가공깊이는 가공깊이를 나타내는 보조선의 color를 달리하여 대표구멍의 중심점에 중첩하여 모델링함으로써 구분하였다. 이와 같이 여러 구멍들이 중첩되어 존재하는 경우 그들 가운데 대표구멍만 모델링하면 되므로 모델링에 따른 수고를 줄일 수 있는 이점이 있다.

#### 4. 구멍별 사용공구 결정

CATIA 모델로부터 구멍의 종류와 위치 그리고 직경과 같은 구멍의 형상이 정해지면 구멍을 가공할 공구의 종류, 가공순서, 공구의 직경과 같은 가공정보를 결정해야 한다. 이러한 가공정보를 구하기 위하여 기존의 수작업을 <표 3>과 같이 표준화하였다. <표 3>에서는 CATIA 모델의 color 정보로부터 얻은 구멍들의 유형에 대하여 가공되는 시점과 표준화된 사용공

표 3. 구멍의 가공시점과 사용공구 및 가공순서

COLOR	구멍의 명칭	가공시점	사용공구 및 가공순서
1	spring guide pin hole(상형)	1차	drill
15	spring guide pin hole(PAD)	1차	자구리drill-drill
3	PAD PI-hole	1차	drill
110	bolt hole	2차	center drill-drill-tap-chamfer
5	기준 pin hole	2차	center drill-drill-endmill
2	dowel pin hole (주강, side lifter hole)	2차	center drill-drill-endmill-reamer-chamfer
90	dowel pin hole (회전방지용, punch holder)	2차	center drill-endmill- chamfer
4	guide post hole(상형)	2차	center drill-drill-endmill-boring
45	guide post hole(하형)	2차	center drill-drill-endmill-boring
75	cushion lifter hole	2차	drill-boring
95	2차 scrap hole	2차	drill
105	FL-side lifter hole	2차	drill-boring
119	dimple pin (A type)	3차	center drill-drill-endmill-reamer-chamfer
119	dimple pin (B type)	3차	center drill-endmill-chamfer
30	co-hole(punch)	3차	center drill-endmill(황삭)-endmill(정삭)
40	co-hole(bush)	3차	center drill-endmill(황삭)-endmill(중삭)-endmill(정삭)
80	tapping hole(bush)	3차	center drill-endmill(황삭)-endmill(중삭)-endmill(정삭)
50	die bush hole(평면)	3차	drill-endmill(황삭)-endmill(중삭)-endmill(정삭)
60	die bush hole (경사면 15도 이하)	3차	자리면면삭-drill-endmill(황삭)-endmill(중삭)-endmill(정삭)

구 그리고 표준화된 가공순서를 보여주고 있다.

각 유형의 구멍에 대하여 사용공구와 가공순서를 표준화한 다음에는 각 구멍의 직경에 따라 사용되는 공구의 직경들을 정해주어야 한다. 따라서 <표 3>의 표준화된 자료와 회사내에서 참조되는 매뉴얼을 이용하여 <표 4>와 같은 가공정보 DB를 구축하였다. 이때 가공순서는 왼쪽에서 오른쪽으로 이루어진다. 예를 들어 직경이 12mm인 bolt hole을 가공하고자 할 경우 10mm의 center drill, 10.2mm의 drill, 12mm의 tap, 12mm의 chamfer를 순서대로 사용한다.

## 5. 공구별 가공경로 결정

각 구멍별로 사용되는 공구의 종류와 직경 그리고 가공순서를 결정한 다음에는 가공시점별로 동일한 직경과 유형을 가진 공구를 사용하는 가공들을 모아 한꺼번에 작업하므로 공구교환 횟수와 가공시간을 줄일 수 있다. 2차 구멍가공인 직경 16mm인 bolt hole과 직경 16mm인 기준 pin hole의 경우를 예로 들어 보자. 직경 16mm의 bolt hole인 경우 직경 10mm의 center drill,

직경 14.5mm의 drill, 직경 16mm의 tap, 직경 16mm인 chamfer의 순으로 가공을 하며, 직경 16mm인 기준 pin hole의 경우 직경 10mm의 center drill, 직경 14.5mm의 drill 및 직경 16mm의 Endmill 순으로 가공이 이루어진다. 이 경우에 <그림 6>에 도시된 바와 같이 두 구멍을 가공하는 데 사용되는 center drill과 drill은 각각 동일한 직경을 가지므로 직경 10mm인 center drill 작업과 직경 14.5mm의 drill 작업은 한꺼번에 가공한다.

공구별로 가공정도를 결정할 때 하나의 공구로 가공할 구멍이 3개 이상인 경우에는 이동거리를 최소화하도록 가공순서를 정해야 한다. 이는 traveling salesman problem(TSP)에 해당하므로 본 연구에서는 TSP에 대한 최적의 해를 결정하기 위한 방법으로 전역 최적해에 효과적으로 근접할 수 있고 임의 탐색절차를 사용하는 SA(simulated annealing) 알고리즘을 이용하였다(5~8).

<그림 7>에서는 가공할 구멍이 44개인 center drill 작업에 대하여 SA 알고리즘을 적용하기 이전과 이후의 공구경로를 비교하였으며, 구멍들의 모델링순서에 따라 가공경로를 정하는 경우 XY-평면상에서의 공구의 이동거리가 7331.06mm인데 비

표 4. 가공정보 데이터베이스

color	직경	구멍의 유형	가공 시점	사용공구											
				JDR	CDR	DR	EM	EMR	EMM	EMF	TAP	REM	BOR	CMP	
1	40	spring guide pin	1차			17									
	50	hole				22									
	60	(상형)				27									
15	40	spring guide pin hole(PAD)		22		22									
110	8	bolt hole	2차		10	6.8						8			8
	12				10	10.2					12			12	
	16				10	14.5					16			16	
5	16	기존 pin hole		10	14.5	16									
2	6	dowel pin hole	2차		10	5	5.8					6		6	
	8	(주강, side			10	7	7.8					8		8	
	10	lifter hole)			10	9	9.8					10		10	
119	7	dimple pin hole(B-type)	3차		10		4.5							4.5	
30	6	co-hole (punch)			10			5		6					
40	13	co-hole(bush)			10			10	12.8	13					
80	14	tapping hole (bush)			10			12	13.6	14					
50	10	die bush hole					8		8	9.8	10				
	13	(평면)				10		11	12.8	13					

...

JDR : 자구리 drill      CDR : center drill      DR : drill      TAP : tap  
 REM : reamer      CMP : chamfer(모파기)      EM : endmill      EMR : endmill 황삭용  
 EMM : endmill 중삭용      EMF : endmill 정삭용

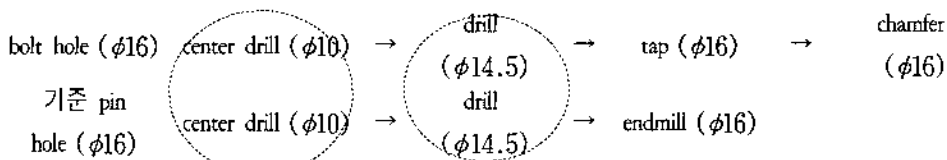


그림 6. 공구별 그룹핑.

하여 SA 알고리즘에 의하여 최적화시킨 공구의 이동거리는 4402.34mm이므로 보다 빠른 시간에 작업할 수 있도록 하였다.

## 6. NC 파일 생성

### 6.1 가공조건 결정

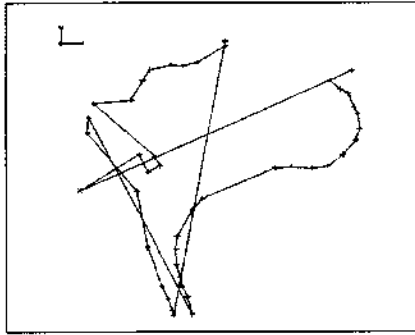
공구별 그룹핑과정과 SA 알고리즘 적용을 거쳐 공구의 최적 이동경로가 결정되면 NC 가공을 위하여 공구의 이송속도와 주축회전속도(RPM)와 같은 가공조건을 정해야 한다. 개발된

소프트웨어는 금형의 재질과 사용공구를 고려하여 가공조건을 결정하였다. <표 5>는 금형의 재질이 주철인 경우 각 공구의 유형에 따른 직경별로 설정된 공구이송속도와 주축회전속도를 표준화한 내용을 보여준다.

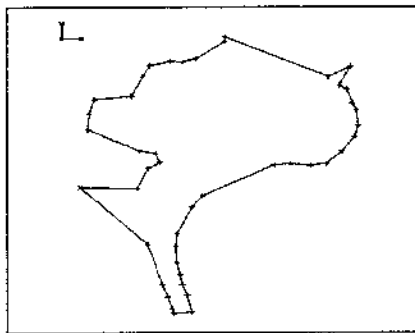
금형의 재질이 주강인 경우에는 주축회전속도와 이송속도를 주철인 경우를 기준하여 70% 수준으로, 스틸인 경우에는 60% 수준으로 낮추었다.

### 6.2 NC 코드 생성

일반적으로 NC 구멍가공은 고정사이클 방식으로 가공이 이



(a) SA 적용 이전



(b) SA 적용 이후

그림 7. SA 알고리즘을 적용 이전과 이후의 공구 이동경로

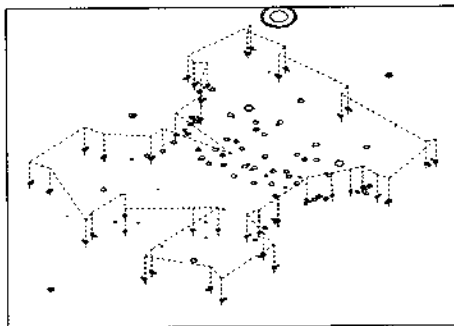


그림 8. 직경 14.5mm drill 가공의 공구경로

표 5. 주철인 금형에 대한 공구별 가공조건

공구유형	공구직경	이송속도	RPM
center drill	10.0	100	1200
...			
자구리 drill	22.0	55	250
	24.0	50	230
	27.0	45	210
...			
drill	4.5	50	500
	6.0	50	500
	6.5	50	500
...			
reamer	7.0	45	120
	10.0	45	120
	13.0	45	120
모따기	4.0	35	1000
	4.5	35	1000
	6.0	35	1000
...			
boring	30.0	45	250
	33.0	45	250
	40.0	40	250
...			
endmill	4.5	10	1000
	5.0	10	1000
	6.0	10	1000

표 6. 공구별 NC 코드

공구	고정 cycle code	
center drill	주철	G81
	주강	G73
자구리 drill	스틸	G83
모따기	G84	
tapping	G84	
reamer	G86	
boring	G86	
endmill	Drilling 또는 윤곽가공	

루어진다. 사용되는 NC 코드는 공구의 종류와 금형의 재질에 따라 다르게 되며, <표 6>은 현장의 작업방식을 기초로 하여 표준화한 것이다[9].

<표 6>에서 보는 바와 같이 center drill, drill, 자구리 drill, 모따기공구의 경우, 주철, 주강, 스틸 등 금형의 재질에 따라 고정사이클 코드를 다르게 사용하고 tapping, reamer, boring 공구의 경우에는 금형의 재질과 관계없이 동일한 고정사이클 코

드를 사용하도록 하였다. 고정사이클 코드를 사용하지 않는 endmill의 경우 구멍이 상대적으로 작고 정밀성을 요구하지 않는 기준 pin hole, dowel pin hole, dimple pin hole에서는 drilling 가공방식을 사용하고 나머지 구멍들은 윤곽가공방식으로 NC 코드를 생성한다.

<그림 8>은 직경이 14.5mm인 drill 가공의 공구경로를 보여주고 있다. 공구의 유형이 동일하고 동일한 직경의 공구가

사용되는 가공되는 구멍의 유형에 관계없이 한꺼번에 가공되고 있다.

## 7. 결론

본 연구에서는 자동차 금형가공에서 필수적인 구멍가공용 NC 데이터를 자동으로 생성하기 위한 CAM 소프트웨어를 개발하는 전반적 과정을 소개하고 있다. 개발된 소프트웨어는 CATIA시스템에서 모델링된 구멍에 관한 형상정보와 구멍의 가공정보 및 가공조건을 이용하여 공구별로 NC 코드를 생성한다. CAM소프트웨어를 개발하기 위하여 금형상의 구멍들 CATIA 시스템에서 효율적으로 모델링하는 방법을 제시하였고, 구멍들을 가공하기 위하여 선택된 공구, 가공순서, 공구이송속도, 주축회전속도와 같은 제반정보들을 표준화한 후 데이터베이스를 구축하였다.

CAM 소프트웨어를 사용한 결과 도면을 제작하고 판독하는데 소요되는 시간을 단축시켰고, 공구의 이동시간 그리고 공구교환횟수를 줄일 수 있었으며, NC 코드의 자동생성으로 말미암아 프로그램을 작성하는 공수를 절감하고 가공오류를 감소시킬 수 있었다.

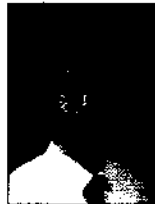


### 주상운

1977년 서울대학교 산업공학과 학사  
1979 한국과학원 산업공학과 석사  
1989 한국과학원 산업공학과 박사  
현재: 울산대학교 산업공학과 교수  
관심분야: 곡면모델링, CAD/CAM, NC가공, 제조시스템자동화

## 참고문헌

1. 최병규 외, CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭가공, 희중당, 1996.
2. Magirou, V. F., "The efficient drilling of printed circuit boards," *Interfaces*, Vol. 16, No. 4, pp. 12-23, 1986.
3. 최후곤, 이호찬, 서준성, "PCB 홀 천공순서의 평가 및 NC 코드의 생성," *산업공학* 제 10권, 제 1호, pp. 223 -235, 1997.
4. CATIA<sup>®</sup> Base, *Geometry Interface Reference Manual*, Dassault Systems, 1988.
5. Kirkpatrick, S., Gelatti, C. D. and Vecchi, M. P., "Optimization by simulated annealing," *Science*, Vol. 220, pp. 671-680, May, 1983.
6. 윤복식, 송낙운, "Simulated Annealing의 효과적 변형 및 HLS에의 적용," *대한산업공학회지*, 제 21권, 제 1호, pp. 33-48, 1995.
7. Johnson, D., Aragon, C., McGoech, L. and Schevon, C., "Optimization by simulated annealing: an experimental evaluation; part I, graph partitioning," *Operations Research*, Vol. 37, pp. 862-892, 1989.
8. Lin, S. and Kerningham, B. W., "An effective heuristic for the TSP," *Operations Research*, Vol. 21, No. 3, pp. 498-516, 1973.
9. *FANUC Series 0/00/0 Mate MC 취급설명서*, FANUC KOREA, 1990.



### 이상현

1977년 울산대학교 학사  
현재: 울산대학교 산업공학과 석사과정  
관심분야: 곡면모델링, CAD/CAM 시스템 개발, 제조시스템자동화