

## 금형연마용 로봇의 개발현황과 전망



김 두 형 (로봇 공학실 선임 연구원)

- '82. 2 서울대학교 공과대학 기계설계학과 졸업 (학사)
- '90. 2 한국과학기술원(KAIST) 생산공학과 졸업 (석사)
- '82. 3~현재 한국기계연구소 선임연구원  
로봇 개발 업무에 종사

### 1. 서 론

오늘날 우리나라의 금형공업은 '86년~'88년 기간중 국제 무역수지 흑자의 경기호황의 뒷받침이 된 자동차공업, 전자공업등과 상호 보완적인 관계로서 급격하게 발전하였다. 금형은 자동차, 전기·전자기기, 정밀기기, 산업기계, 광학기기를 비롯하여 사무용품, 스포츠·레저용품, 식품포장, 완구류에 이르기까지 광범위한 제품의 생산수단으로 사용되고 있다. 이러한 제품들은 소비자들의 제품외관 중시와 소비패턴의 다양화 및 빈번한 변화로 인하여 제품마다의 life-cycle이 줄어들고, 따라서 이를 생산하는 금형은 다품종 1품 생산에 가깝다. 이러한 금형의 수요를 충족시키기 위해서는 금형의 고 품질, 고 성능은 물론 단납기 및 저 가격화가 필수적이라 하겠다.

금형제조업체는 경기호황에 따라 중소기업의 형태로 계속 증가하고 있으나, 노동작업자의 처우개선이 요구되고 특히 임금상승과, 금형의 연마 공정과 같은 작업 환경이 열악한 공정에서의 작업피로 현상이 두드러지고 있다. 또한 숙련 인력은 한정되어 확보가 어렵고, 기능직 사원은 감소 추세에 있어 금형의 품질 향상과 고 성능화가 늦어지고 있으며, 특히 금형제조의 마무리 공정인 연마작업은 분진과 소음으로 작업환경이 나쁘고, 공정시간도 전체의 30~50%를 차지하고 있어, 작업자가 쉽게 피로감을 느끼게 되고 납기를 지연시키는 요인을 포함한 공정이라 하겠다. 따라서 이러한 여건에서 금형의 연마능률향상, 단 납기화, 인건비 절감 및 저 가격화를 위해서는 금형의 연마 공정을 자동화하는 것이 바람직할 것이다.

금형 연마공정의 자동화는 자동 연마장치와

같은 전용기에 의한 방법과, 로봇에 의한 방법의 두가지로 크게 나눌 수 있다. 이 중 자동 연마 장치의 전용기로서는 광학기계의 경면연마와 같은 특수용도, 소품종 다량 생산에서만 한정되어 사용된다. 따라서 다품종 소량생산의 유연 생산 체제에서는 로봇에 의한 자동화가 적합할 것이다. 여기서 금형연마에 이용하기 위한 로봇으로서는 종래의 material-handling이나 용접, 조립 및 sealing 작업등에서 사용되는 로봇과 같이 고속도와 고 반복 정도만을 요구하지 않는다. 이는 언급한 작업의 공정들과는 달리 연마공정은 로봇이 직접 공구를 가지고 가공물 표면을 가공하므로, 이에 필요한 가공력을 로봇이 낼 수 있도록 강성이 요구되며, 주어진 금형의 치수 data에 의해 로봇이 정확히 궤적을 따라 동작할 수 있는 절대정도도 필요로 한다.

한편 연마 작업은 로봇의 작업대상이 금형의 면이므로 그 동작궤적은 대부분 연속궤적이고, 따라서 이의 간편한 교시방법이 개발되어야 한다. 예로서 현재의 용접용 로봇을 그대로 사용할 경우, 궤적의 보간을 위한 많은 점들이 교시되어야 하고, 그 때의 관절좌표를 기억 시켜야 하므로 교시에 소비되는 시간이 상당히 길어지고 로봇 컨트롤러의 메모리도 다량 필요하게 된다. 궁극적으로 금형연마를 위한 금형면의 교시는 금형의 설계도면에 의한 off-line 교시가 바람직하나 여기에서도 로봇 자체의 정도문제, 대상 금형의 전가공 정도 문제, 연마가공시의 설치 정도문제등 해결해야 할 문제가 많다.

무인 자동연마를 위해서는 언급한 로봇자체의 개발 외에도, 연마조건을 최적으로 설정하기 위하여 연마가공 data가 수집되어야 하고 이를 처리하기 위한 소프트웨어가 필요하다. 또한 연마후의 재 연마를 위한 연마조건 설정과, 연마 완료 판정을 위한, 연마면의 조도와 굴곡등의 상태를 측정할 수 있는 비 접촉식 3차원 측정기술도 해결되어야 할 것이다.

## 2. 금형연마 자동화의 필요성

금형에 의해 생산되는 제품에 대하여 소비자

들의 다양한 구매욕구를 만족시키기 위해, 제품의 모델은 급격히 변화한다. 따라서 성형품에 요구되는 조건은 다양해지고 이는 대체로 다음과 같다.

- 1) 성형품의 형상, 크기, 중량의 다양성
- 2) 성형품의 생산량의 다양성
- 3) 성형품에 요구되는 정밀도의 다양성
- 4) 금형이 사용되는 조건의 다양성

따라서 금형은 위의 조건에 부합하기 위해서는 금형을 제작하는 장비가 서로 다르고, 금형의 재질이 다르며 취급하는 성형품의 재질에 따라 금형의 재질, 정도가 서로 다르다 또한 동일 형상의 성형품의 생산에 있어서도 성형품이 요구하는 정도에 따라 금형의 정도 및 이를 제작하는 장비의 정도도 달라진다. 이와 같은 성형품의 다양성은 금형의 계획생산, 또는 반복 대량생산을 저해하며 금형의 생산형태가 거의 다품종 1품생산이 되도록 한다. 또한 금형은 산업발전에 따라 복잡해지고 금형에 요구되는 조건도 까다롭게 된다.

금형을 제작하고 사용하는 업체들의 설립 년도별 업체수를 표1에 보여주고 있다. 이 표에서 금형의 생산이 전체 매출액의 50%가 넘는 전업 업체수가 1980년도 이후 계속 증가하여 전체의 73.9%를 차지하고 있다. 따라서 금형 제작업은 전문화, 분업화되고 금형의 고품질에 대한 요구가 가속화 되고 있다. 한편 표2, 표3은 금형업체의 종업원 현황을 보여주고 있다. 표2에서와 같이 종업원 10인 이하의 소규모 업체가 전체의 54.3%, 30인 이하인 업체는 86.3%를 차지하고 있어 금형업체의 영세성을 반영하고 있다. 기능 인력의 면에 있어서도 근속연수가 2년이하의 인원이 62%를 차지하고 있다. 이 중 67%가 전업업체에, 54.4%가 겸업업체에 근무하고 있어 전체적으로 겸업업체에 더 많은 숙련인력이 종사하고 있음을 알 수 있다. 따라서 주로 하청수주 형태의 영세 금형업체의 숙련인력난이 문제로 되며, 이의 해결과 안정적이고 고 품질의 금형생산을 위해서는 금형가공의 자동화, 특히 마무리 공정인 연마공정에의 로봇이용이 필요하다 하겠다.

## 3. 선진국의 기술동향

금형 연마의 자동화를 위한 로봇의 개발과 적

표 1) 금형 종류별 업체분포

(단위 : 개)

금형 구분	프 레 스		프 라 스틱		다 이 캐 팅		주 소		단 조		분 말 야 금		유 리		고 무		요 업		합 계	
	전· 설립 년도	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업	전· 겸업
60년 이전	5	31	9	17	-	3	-	7	-	4	-	-	-	-	2	3	-	-	16	65
61~ 65년	3	19	1	4	1	3	-	1	-	1	-	-	-	-	1	2	-	-	6	30
66~ 70년	8	51	7	12	1	3	-	3	2	6	-	-	-	1	-	1	1	1	19	78
71~ 75년	22	95	29	45	3	6	5	8	1	6	-	-	1	3	2	4	1	1	64	168
76~ 80년	41	169	101	129	7	14	5	7	1	7	1	4	1	1	6	9	1	1	164	341
81~ 85년	54	127	176	203	6	8	4	10	1	4	1	3	-	1	13	15	1	2	256	373
86년 이후	80	93	86	92	3	4	-	-	1	1	-	-	1	1	3	4	-	-	164	195
합계	203	585	409	502	21	41	14	36	6	29	2	7	3	7	27	38	4	5	689	1250
구성 비	46.8%		40.1%		3.3%		2.9%		2.3%		0.6%		0.6%		3.0%		0.4%		100%	
전업 율	0.35		0.85		0.51		0.39		0.21		0.29		0.43		0.71		0.80		0.55	

표 2) 기업규모별 금형종류별 업체수

(단위 : 개, %)

금형종류 업체구분	프 레 스	플 라 스틱	다 이 캐 팅	주 소	단 조	분 말 야 금	유 리	고 무	요 업	합 계	구성비
1~5인	205	123	6	11	6	2	2	12	2	369	29.5
6~9인	138	131	12	14	7	1	1	5	1	310	24.8
10~19인	110	127	11	4	8	3	2	6	1	272	21.8
20~29인	53	57	4	4	5	0	0	5	0	128	10.2
30~49인	51	40	4	2	1	1	1	6	1	107	8.6
50인이상	28	24	4	1	2	0	1	4	0	64	5.1
합 계	585	502	41	36	29	7	7	38	5	1,250	100.0

표 3) 근속 연수별 종업원 현황

구분		(단위: 人, %)				합계
		2년이상	3~4년	5~9년	10년이상	
전업	인원수	13,268	3,607	2,161	779	19,815
	구성비	67.0	18.2	10.9	3.9	100.0
겸업	인원수	6,918	2,412	2,432	995	12,797
	구성비	54.4	18.9	19.0	7.8	100.0
전업및겸업	인원수	20,226	6,019	4,593	1,774	32,613
	구성비	62.0	18.5	14.1	5.4	100.0

용에 관한 연구는 일본에 있어서 대략 1970년대 후반부터 일본 산업용 robot 공업회, 중소기업사업단, 각 업체, 연구소 및 학교에서 기초연구를 시작하여 1980년대 초 부터 기업체에서 금형연마 로봇과 시스템의 적용 실례를 발표하고 있다.

3.1. 연구사례

3.1.1. 연마 software[2]

일본 홋카이도(北海道) 대학의 사이토(齊藤) 교수를 중심으로 이케가미(池上) 금형공업과 공동으로, 금형 연마작업을 지원할 수 있는 expert system에 대해서 연구하였다. 연마작업은 앞 공정에서 가공면 존재하는 표면조도와 가공흔을, 다음공정에서 더 가는 연마공구에 의하여 개선하는 작업을 반복하여, 희망하는 표면상태를 얻고 있다. 따라서 연마의 작업설계에 있어서 각각의 연마공구에 의한 금형 표면상태의 변화를 수식화하고, 이들 공구들의 조합에 의해 작업한 경우 표면조도와 가공흔 깊이가 어떻게 추이하고, 전체의 연마시간이 어느정도 필요한가를 계산하여, 가능한한 최소시간에 희망하는 표면상태를 얻을 것이 요구된다.

이는 먼저 각각의 연마 지식에 대하여 주어진 연마력, 연마속도하에서 연마면의 표면조도와 제거깊이 및 최대 가공흔의 깊이를 실험을 통하여 얻어, 이들 관계를 수식화하고 data base화 한 후, 연마가공시 이를 이용하여 가공물의 현재 표면상태를 기준으로, 임의의 연마조건에서 가공물 표면상태의 변화를 추정하고, 목표로 하는 가공물

표면상태를 가장 빨리 얻을 수 있는 최적의 연마 조건을 결정하고 있다.

이 system의 flow chart는 다음과 같다.

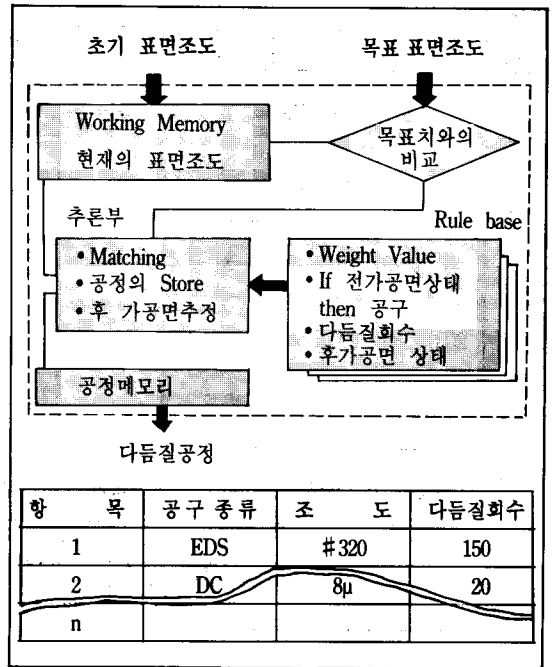


그림 1) 표면 연마를 위한 전문가 시스템 구성

3.1.2. 연마공구

동경대학 생산기술연구소의 나가가와(中川)교수팀은, 연마에 필요한 가공물을 누르는 연마공구의 압력(押力)을 로봇트가 직접가하지 않고 연마공구에 조립된 자석의 자력에 의해, 가공물과 연마공구 사이에 압력이 발생하는 자기흡인지식을 개발하였다.[3]

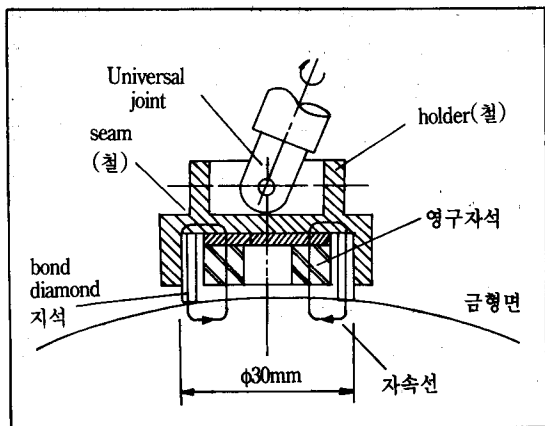


그림 2) 회전식 자기흡인 연마공구

일반적으로 정도와 강성이 낮은 로봇을 사용하여 연마작업을 하는데 있어서, 보통의 grinder를 tool로 사용하면 연마면에 로봇의 고유진동에 의한 grinding mark가 남게 된다. 또한 연마면에 일정한 연마압력을 주기위해 공압, 또는 유압의 압력기구를 설치하면, 로봇의 가반중량 여유가 줄어들고 반력이 발생하게 되어 로봇 arm은 deflection 되고 구동 모터에 더 많은 torque를 필요로 하게 된다. 그러나 자기 흡인지석을 사용한 연마에 있어서는, 자석과 연마면의 상대적인 흡인에 의해 압력이 발생하므로 균일한 압력을 얻을 수 있고, 부가적인 tool의 압력장치 및 센서유가 필요없게 되는 장점을 갖고 있다. 이 자기흡인 방식으로는 groove류의 홈을 가공하기 위한 공구의 개발에 아직 많은 연구가 필요하다.

한편 홋카이도(北海道)대학의 사이토(齊藤)교수팀이 개발한 2축회전 마이크로 연삭장치를 그림3에 보여주고 있다.[4]

자유곡면 연마의 경우, 사용되는 지석의 선단 형상은 구형이 가장 일반적이다. 그러나 접촉점에 있어서 가공속도는 연마면의 경사각에 의해 변하고, 특히 경사각이 0인 평면에서의 가공속도는 0이 되므로 금형표면의 일정한 연마는 곤란하게 된다. 여기서 공구축 단면이 구형인 원판상 평면 지석을 사용하여, 지석회전축 부근의 연삭성능을 향상시키기 위해서 지석의 회전축을 1축 부가하여 2축회전 구동방식으로 하고 있다.

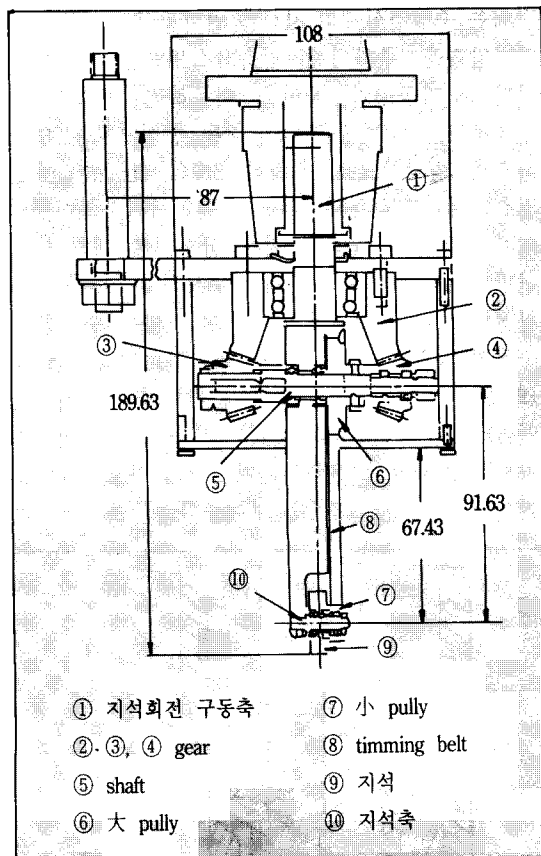


그림 3) 2축 회전마이크로 연삭장치

### 3.1.3. 금형곡면 추종센서

동경농공대학의 쿠니에다(國枝)교수는 연마공구에 strain gage의 센서를 부착하여 공구축 자세와 연마압력 일정제어를 행하고 있다. 이 센서의 구조는 그림4와 같다.[5]

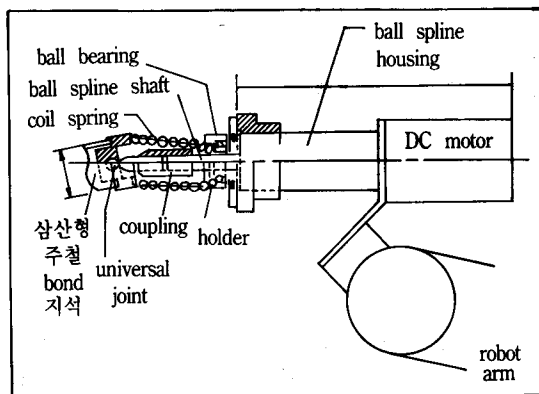


그림 4) 곡면 자동·모방 공구의 구조

이는 주철결합체의 지석을 연마공구로 사용하고, 연마압력을 주기위해 압축 스프링을 이용하고 있다. 연마공구가 곡면을 이동하면 이스프링이 변형하고, 이 변형을 공구축을 중심으로 120°간격으로 방사상으로 배치한 3개의 strain gage로 검출하여 로봇 controller에 cue환시키다. 이것에 의해 로봇은 공구축을 항상 금형면에 대하여 법선방향으로 향하도록 자세를 수정하고, 연마압력을 일정하게 하는 위치를 결정하여 연마를 수행한다.

한편 차동변압기를 이용하여 연마지석의 x, y, z의 3방향의 변위검출과 일정압력 제어가 가능한 연마head를 오오사카(大阪) 기공에서 개발하여 자사의 소형금형 전용연마기에 사용하고 있다.[6] 이의 구조도를 그림5에 보여준다.

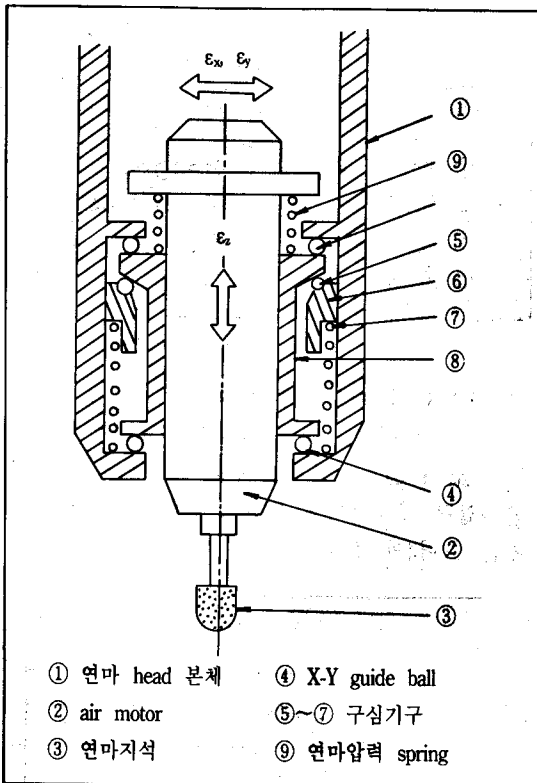


그림 5) 자기추종 연마 head

지석이 금형가공면에 접촉하여 연마할 때의 3축방향의 변위를 연마 head내의 3조의 차동변압기로 검출하고, 이들의 합성변위량  $e = \sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_z^2}$  을 연산하여 항상 일정한 기준변위량  $\epsilon_0$ 로 되도록,

또한 금형가공면을 따라서 속도가 일정하게 되도록 추종방향의 제어를 행한다. 지석은 공구입과 동시에 stylus의 역할도 하고 있으므로 지석이 마모하여도 이를 자동적으로 추종하고 입의 형상에 대하여 항상 일정한 연마압으로 3축 모방 제어가 가능하다.

### 3.1.4. 왕복식 전동공구

동경 농공대학의 쿠니에다(國枝)교수팀은 시판의 왕복공구에 strain gage를 부착하여 가압력을 검출할 수 있는 공구를 개발하였다.[7]

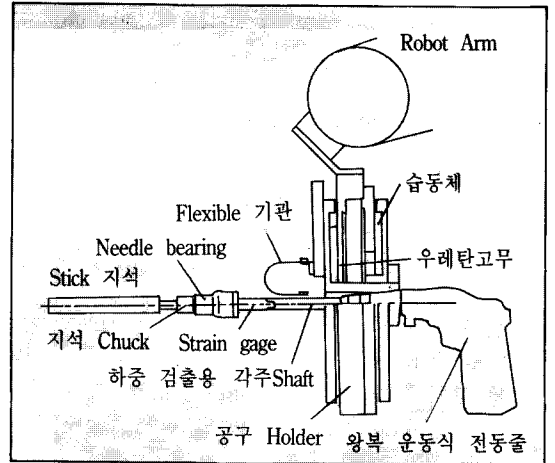


그림 6) 왕복식 전동공구

그림6과 같이 각주 shaft에는 strain gage를 3개씩 12개를 부착하고 이것에 의해서 지석축에 작용하는 직교 2방향의 횡 하중과 모멘트를 검출할 수 있다. 지석을 홈의 측면에 접촉시켜 가압력을 가한 경우, 하중검출용 shaft는 가압력에 상응하는 반력을 받는다. 이 반력은 측면의 법선방향과 같고, 각도는 shaft의 두면에 수직인 두방향의 횡하중에 의해 알 수 있다. 따라서 이 각도로써 압력을 가하여, 이 압력이 일정하게 되도록 제어한다. 한편 모멘트를 횡 하중으로 나누면 strain gage에서 작용 접촉점까지의 거리가 계산되므로, 지석의 접촉부위를 판별할 수 있다.

## 3.2. 적용사례

### 3.2.1. 스미토모(住友)증기[8]

일본에서 최초로 금형표면의 사상가공용 연마

로봇을 개발, 적용하였다. 연마 로봇시스템의 구성은 사진1과 같이 연마robot, 표면검사및 teaching용 inspector, work setter, tool changer및 제어장치로 되어있다.

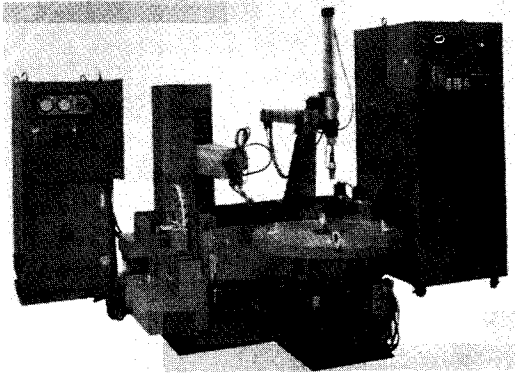


사진 1) 스미토모 연마 로봇 시스템

연마로봇은 직교좌표계의 주3축과 wrist의 2축으로 구성되며, 연마 공구로는 시판의 고속 air grinder를 사용하며, 연마압력검출을 위해서 spring과 자동변압기로 구성된 force sensor를 가지고 있다. Inspector는 직교좌표계의 3축으로 구성되고, 그 상하축의 선단은 teaching및 검사기능으로 사용하기 위해 spring과 자동변압기로 구성된 모방 sensor와, motor, spring, 차동변압기로 구성된 표면검사기를 가지고 있다. Work setter는 work table의 회전과 경사의 2축으로 구성되며 회전은 연속제어가 가능하고, 경사는 0°부터 60°까지 15°간격의 자세가 얻어진다. 한편 지식의 교환은 grinding 작업중 각 block의 연마작업전에 실시하는 지식의 마모량의 측정결과에 기준하여 행해진다. 교환된 신지식은 dressing이 수행된다. 제어장치는 상위의 mini computer와 하위의 3대의 micro computer로 구성되며, 조작은 push button에 의해 대화형식으로 수행되며, 작업수준의 지시, error의 표시, 각 장치의 상태등이 표시된다.

연마작업은 금형표면을 약 수십개의 4각형 block으로 나누어, 각 정점좌표를 교시하고 또한 이 block내부를 잘게 자동분할하여 각 block단위로 수행한다. 위치결정정도  $\pm 0.5\text{mm}$ 로서, 가공량은 지식의 연마압력으로 제어하여 표면조도를 2~30

$\mu\text{m Ra}$ 까지 얻고 있다.

### 3.2.2. 쇼와(昭和) 정기공업(주)[9]

금형연마작업에 로봇을 이용함에 있어서, 작업자가 조작해야 할 가장 많은 부분인 teaching을 direct teaching 방식으로 해결하고 있다. 장치의 구성은 robot본체, work table, 연삭액 공급회수 unit, 제어 장치및 가반형 switch box로 되어 있고 다음 사진2와 같다.

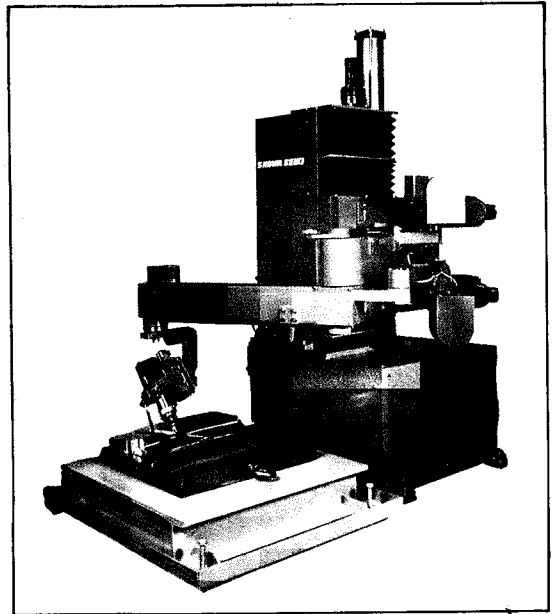


사진 2) 쇼와 연마로봇

연마용 로봇은 동시 3축제어가 가능한 수평관 절형이며, arm 선단의 wrist회전으로 임의의 자세를 취할 수 있도록 되어 있다. Work table은 자세제어를 하지않는, 단순히 금형을 고정하는 기능만을 가지고 있고, 금형을 반송하는 대차를 그대로 이용할 수도 있다. 따라서 table의 구조에 제약이 없으므로 직선이동, 회전 table등 각 가공물에 맞는 table을 자유로 선택 사용할 수 있다. 한편 연삭액 공급 회수장치로서 연삭중의 지식의 눈때꿈 방지 및 탈락한 지립, 연삭칩등을 제거하기 위한 연삭액을 공급하고, 사용한 연삭액중의 이물질을 제거, 회수하고 있다. 교시방식은 로봇 선단을 직접 잡고 움직여, 가공면에 위치결정하여 위치 data를 기억시키는 직접교시 방식을 채용하므로서 jog tea-

ching과 같은 조작실수를 방지하고 간단하고 안전하며, 짧은 시간내에 teaching이 가능하도록 하고 있다.

### 3.2.3. KURADA 산업(주)[10]

일반적으로 점포는 선접촉의 지식에 의한 금형표면 연마는 공구의 국소마모등에 대한 기술상의 문제점이 많고, 사상능률을 크게 기대할 수 없다. 따라서 연마공구가 가공물의 표면에 접촉할 수 있는 방식을 갖게하여 연마공구의 자생작용에 의해 가공물 표면의 곡률변화에 대응할 수 있도록 하는 정압·자기유도 모방방식의 금형 자동표면사상기를 개발하였다.

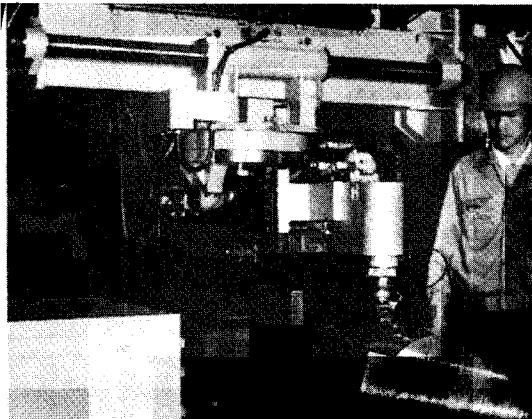


사진 3) 구라다 연마로봇

장치의 구성은 사진3과 같으며 직교형 3축구조인 로봇과 유압 servo기구, 연마 구동기구와 가압기구 및 안전장치가 조합된 연마 head부, 연마head 습동부, head습동부의 횡 slide 및 선회기구 등으로 구성되어 있다. 주변장치로는 유압 power unit, 제어반, 조작반, 이동대차, table연삭액 순환·정화장치가 있다. 자기유도모방은 tool head에 같이 결합된 모방 sensor가 곡면형상에 따라 tool head와 같이 상하방향으로 동작하고, 이 sensor의 움직임 양에 의해 로봇arm은 회전이동하게 되는 구조로 되어, 모방 sensor의 빠른 응답을 얻을 수 있으며, 연마압력 일정제어를 신속히 수행할 수 있다. 연마로봇의 성능은 0.3mm 정도의 cutter mark를 표면조도 0.1 $\mu$  Rmax까지 연마가능하며 각종 금형 연마와 경면연마에 이용되고 있다.

### 3.2.4. 나가세(長瀬)철공소[11]

나가세 연마로봇 FP 0806의 외관을 사진4에 보여주고 있다. 로봇의 본체 frame은 강성이 높은 직교좌표형으로서 servomotor와 ball screw에 의해서 X, Y, Z축 방향으로 NC제어된다. 주3축은 동시제어가 가능하고 wrist부분은 rotation동작은 motor로서, tilting동작은 air cylinder로 실행하고 있다.

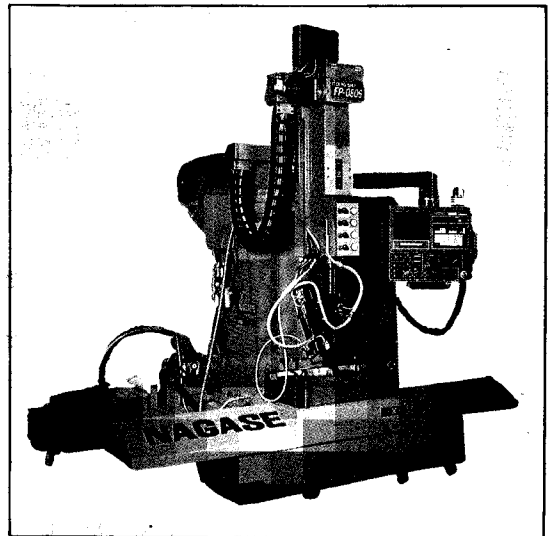


사진 4) 나가세 연마로봇

연마 head에는 air cylinder를 사용한 자기정압 조정기구와 공구의 자세 제어기능을 가진 모방축이 취부되어 있다. 금형설치용 work table은 전후방향으로 rail상에서 이동가능하며 연마면에 따라서 그 위치를 조정할 수 있게 되어있다. 연마용 program은 복잡한 NC programming공정이 없어도 조작이 가능하도록 joy stick으로 teaching한 후, 자동 play back을 행하는 방식을 채용하고 있다. 작업자는 작업반의 teachingmode를 선택한 후 teaching 평면을 설정하고 공구의 움직임을 주시하면서 joy stick lever를 조작함에 의해서 본체내 memory에 공구의 움직임 그대로의 동작을 기억시킨다. 이때 joy stick lever의 경사는 각축동작 속도와 비례한다.

### 3.3. 적용결과



일본의 연마용 로봇은 1980년도 부터 십 수개 회사에서 개발에 착수하여 각자 고유 model을 발표하였으나, 그 적용의 제한성, 효율성 및 경제성을 이유로 대부분 크게 진척되지 못하고 있다. 연마 로봇의 형태는 gantry와 SCARA가 주종을 이루었으나 SCARA는 강성면에서 열세하여, 장착 가능한 tool의 종류가 적고, 또한 소형으로 밖에 제작할 수 없다. 소형 연마로봇은 금형연마의 자동화라는 면에서 효율성이 낮다 왜냐하면 아직까지 공기기술의 미비로 금형의 세밀한 부분까지 자동연마는 불가능하므로 이는 작업자에 맡기고, 가능한 넓은 면적의 완만한 자유곡면의 연마를 효율적으로 하는것이 바람직하기 때문이다. 결과로서 연마로봇의 적용한계를 넓히는 열쇠는 다양한 tool의 개발과 sensor의 응용이라할 수 있다.

#### 4. 국내 기술개발 현황

##### 4.1. 업계의 연마로봇 적용현황

앞에서도 밝힌 바와같이 대부분 영세한 중소기업이 많은 국내의 금형제조업체에 있어서 금형연마는, 값싼 노동력에 의지하고 있고 금형연마의 자동화는 계획하기 어려운 실정이다. 그러나 보편적 개념의 금형연마외에 특수한 용도, 예로서 금형에의 각인, 작고 세밀한 부분의 연마는 일본 도끼와(常盤)정기의 mirror machine이 국내 대리점을 통하여 판매되고 있다.

가전제품을 생산하는 대기업에서는 금형연마로봇의 도입을 계획중이나, 자사 생산품에 대한 적용의 확실한 보장이 없어 도입을 미루고 있다. 따라서 국내에서 수입하여 현재 가동중인 연마로봇은 나가세와 쇼와정기사 제품으로서 2~3대 정도이다.

##### 4.2. 국내의 연구개발 현황

국내에서는 1988년대에 시작한 국책 연구프로젝트인 CIM과제(컴퓨터원용 통합생산 자동화)의 일부로서, KIST와 KIMM에서 각각 사출용금형과 프레스금형의 자동 연마를 목적으로 연마로봇을

개발하고 있다. KIMM에서는 사상용 로봇 개발과제로서, 로봇자체는 고 강성과 정도에 역점을 두어 개발하였고, 현재는 로봇제어기를 개발중에 있다. 금형연마용 로봇의 제어기로서는 산업용 컴퓨터를 이용하고 작업자가 사용하기 편리하도록 interface를 고려하였으며 나아가 sensor를 포함한 tooling system의 개발과 연마조건설정을 위한 연마작업환경의 data base화가 필요하다.

KIST에서는 기존 조립용 로봇을 응용하여 연마로봇으로서의 프로그래밍기술과 tooling기술을 중점적으로 연구하였다. 특히 tool에서는 금형표면 연마시 부가적으로 발생하는 tool mark와 wave를 억제하기 위한 효율적인 파상도 처리기능을 얻기 위해, 2개의 소형 motor를 사용한 tool holder가 개발되었고, 자유곡면에의 적용성 향상을 위하여 3점식 슷들을 이용하고 있으며, 연마력 일정제어를 위한 air cylinder를 장착하고 있다. 이러한 tooling system에 관한 연구는 계속 발전되어 보다 복잡한 금형표면에의 적용성을 향상시키고 소형화하여 국내 업체에 보급, 활용을 계획하고 있다.

##### 4.3. KIMM의 연구개발 실적

1982년 선반의 공작물 착탈용 저가 공압로봇의 개발을 시작으로, 1986년 6축 다관절 로봇을 개발한 로봇트 공학실에서 CIM의 일부과제로서 금형연마용 로봇을 개발하고 있다. 기구부는 5축 직교 좌표형의 gantry type으로서 제작완료하였고, 현재는 산업용 컴퓨터를 이용한 로봇제어기의 연구개발단계에 있다.

금형연마로봇의 사용에 있어서 해결해야 할 어려운 문제는 첫째로, 수식으로 표현 불가능한 금형의 자유곡면의 teaching을 어떻게 쉽게 할 것인가, 둘째로는 연마된 금형면 형상과 조도등의 상태를 어떻게 측정하여 다음 연마에 필요한 연마조건을 설정한 것인가, 셋째로는 흠, 모서리등 금형의 특수부위의 연마에 필요한 공구의 준비를 꼽을 수 있다. 여기서 현재 개발된 로봇의 성능 목표는 다음과 같다.

- 1) 연마대상 금형으로서의 비교적 완만한 기구의 자유곡면을 가진 중·대형 프레스금형

- 으로 한다. 여기서 완만한 기울기의 자유 곡면은 시판의 공압구동용 공구로서도 연마가 가능하며, groove, 홈, 구멍등의 연마에는 특수구조의 공구와 센서의 개발을 필요로 한다.
- 2) 로봇의 동작범위는 1600×1600×400으로 하였다. 따라서 연마가능한 금형의 크기는 로봇의 wrist부분의 자세를 고려하며 1400×1400×400 정도이다. 이처럼 취급하는 금형을 중·대형으로 한 것은 로봇의 연마효율 향상을 위한 것이다. 예로서 금형이 소형으로 되면, 작업자에 의해서 손 연마해야 될 부분이 전체 연마시간에서 차지하는 비율이 커지게 되어, 전체적으로 연마로봇을 사용하는 비율이 줄어들고, 자동화의 효율이 감소한다.
  - 3) 연마가공 정도로서는 가공전 표면조도가 기계가공에 의해 발생된 cutter mark의 조도 20~50μm Rmax를 연마가공후 0.3μm Rmax로 되게 한다.
  - 4) 로봇 제작후 분해, 조립의 유지가 용이하도록 각 축별로 module화 설계한다.
  - 5) 저가격화를 고려한다.

이상의 것을 만족하도록 설계, 제작된 연마로봇의 기구적 사양과 외관을 표4와 그림7에 각각 나타낸다.

개발된 로봇기구부의 각 부분의 구조적 특징은 다음과 같다.

1) Base

로봇의 본체와 table이 설치되고, 금형의 중량에 의한 deflection이 예상되므로 최대한 강성과 안정성을 고려하였다. 주로 H형강과 철판을 이용한 용접구조로서, 용접후 형상및 치수변형을 유발하는 잔류응력을 제거하기 위해 annealing 처리를 행한다. Base의 양 측면은 column의 조립기준면 설치를 위하여 별도의 보강판을 덧 붙이고 groove가공을 행한다. 하부에는 로봇설치시 수평 조절을 위한 leveling bolt가 장착된다.

2) Table

Base 상면에 평행으로 설치된 2개의 rail guide에 의해 로봇의 전후방향으로 운동할 수 있는 구조로 하였다. 이는 로봇자체의 전후행정이 600mm로서 비교적 작으므로, 이 보다큰 치수의 금형을 폭 1500mm 길이 1000mm의 table상에 설치하고 연마하기 위해서, table자체를 전후로 이동시킬수 있는 구조로 하였다.

3) Coumn

좌우 한 쌍의 column의 하부는 base 측면에 조립되고 상부는 좌우 구동의 Y축 직선운동 unit를 떠 받치게 된다. 단순한 사각형상 pipe로는 규격

표 4) 연마 로봇의 기구적 사양

직교 좌표계의 Gantry Type					
구 조	5 D. O. F.				
자 유 도	5 Kgf				
연 마 력	20 Kgf				
가 반 중 량	1000mm X 1500mm				
대 상 금 형	크 기	1000mm X 1500mm			
	중 량	약 5 ton			
	1 st axis	2 nd axis	3 rd axis	4 th axis	5 th axis
구 동 원	AC S/M	AC S/M	AC S/M	AC S/M+H/D	Rubber Actuator
동 작 범 위	600mm (1600mm)	1600mm	400mm	±180°	±60°
동 작 속 도	500mm/s	500mm/s	125mm/s	360°/S	
이 른 정 밀 도	5μ	5μ	1.25μ	0.0036°	0.018°

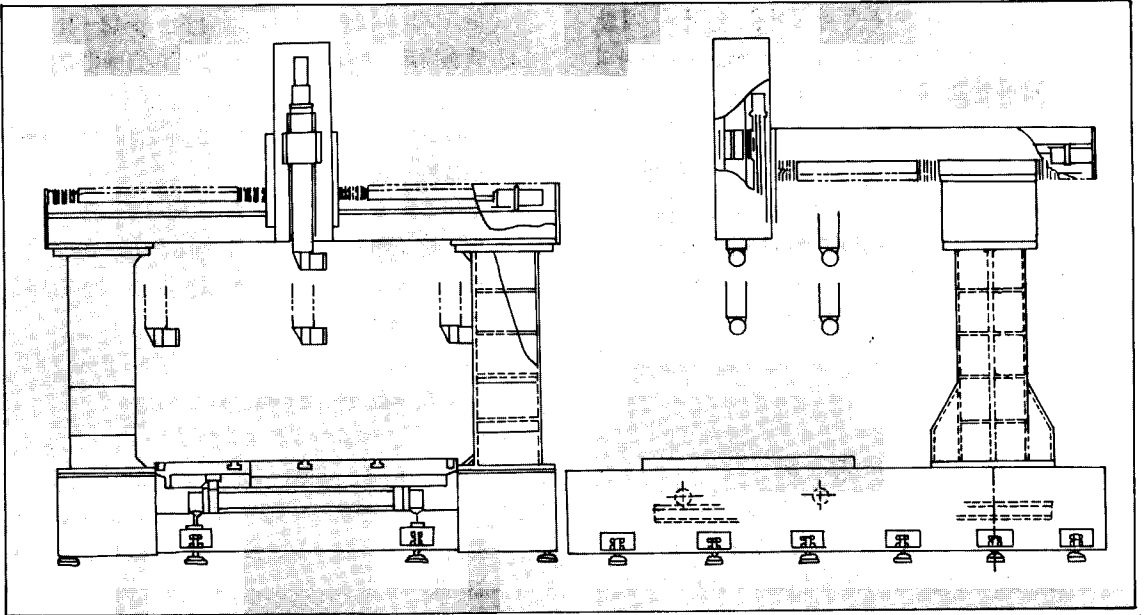


그림 7) 연마 로봇의 외관

품중 가장 큰것이, 사용하기에는 다소작아 지지 하중, 특히 x축과 z축 및  $\alpha$ ,  $\beta$ 축의 하중에 대한 bending강도가 약하여 로봇의 선단처짐이 클것으로 예상된다. 따라서 외관형상을 4각으로 하되 내부에 리브를 용접하여 보강하였다.

4) X(전후), Y(좌우)축

Motor와 ball screw에 의하여 구동되고, L/M guide에 의해 직선운동이 안내되는 형상은 일반 직선운동 unit와 같다. Frame은 고 강성과 경량화를 위해서 철판의 용접구조로 하고 형상은 사각 beam 형태로 한다. 사각 beam의 내부로는 필요에 따라 전선과 공압 cable이 통과할 수 있도록 한다. 철판 용접구조에서 X축은 frame자체가 가동부로서 Y축 motor부하로 작용하므로 FEM 해석을 통하여 강성과 중량의 적절한 선에서 철판의 판두께를 결정하였다.

5) Z축

Z축 중량은 로봇선단의 처짐에 크게 영향을 주므로 경량화한다. Counter weight를 설치하지 않는 대신 motor의 부하경감을 위해서 ball screw의 lead를 줄였다. 직선운동은 L/M guide로 안내된다.

6)  $\alpha$ 축

감속기 내장형 AC servomotor를 사용하여 설

계를 단순화 한다. 감속기는 harmonic drive로 하고, motor도 같은 회사제품으로 일체형을 사용하였다. 연마력에 의한 bending을 줄이기 위해 강성을 높이는 구조로, 회전축의 전 길이에 걸쳐서 원형 frame의 지지 구조로 하고 frame의 내측에 5축 구동용 rubber actuator를 설치하고 전선및 공압 cable을 통과시키도록 하였다.

7)  $\beta$ 축

경량화와 tool의 충격, 연마시의 공구회전, 연마력 변화에 의한 진동흡수를 위하여 rubber actuator를 채택하였다.  $\beta$ 축의 회전은 양쪽 rubber actuator의 내부 압력차에 의해 발생하는 팽창정도와 길이차이로서, 이를 rope를 통하여 shaft를 회전시켜 얻고 있다. 한편 이 회전량은 20000pulse/rev의 encoder로 계측하여 feedback한다.

5. 결 론

자동차 및 가전제품 생산을 위한 금형의 자동 연마용 로봇개발에 관한 외국의 연구 및 적용 사례를 조사하고, KIMM에서 개발중인 로봇의 기구부 개발결과를 기술하였다. 앞으로의 연구에 있어서는 산업용 컴퓨터를 주제어기로한 control-

ler의 완성, 로봇의 기본동작제어용 언어의 개발, 현재 별도로 진행중인 Off-line programming 과의 결합이 남아있고 효율적인 연마 공정계획을 위한 연마조건 설정방법등이 해결해야 할 과제이다.

또한 연마로봇의 적용한계를 넓히기 위해서는 서두에서도 기술한 바와 같이 tooling system의 연구개발이 필요하다. KIMM에서는 유사과제를 진행중인 KIST와의 유기적인 연구업무 협조와, 연마공정 자동화를 필요로 하는 업체의 협력을 통하여, 개발한 로봇의 성능향상 연구를 진행할 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] 금형공업총람, 한국금형공업협동조합, 1988  
 [2] 齊藤勝政, 金型みがき作業支援エキスパートシステムに関する研究, 型技術, pp194-195, 1988  
 [3] 中川威雄, 磁氣吸引研磨ロボットによる金型みが

き, プレス技術, 第21巻, 第13號, pp18-24  
 [4] 齊藤勝政, 曲面の研削. 研磨加工の自動化の動向, プレス技術, 第21巻, 第13號, pp18-24  
 [5] 國枝政典, ロボットによる曲面の自動微い研磨, 型技術, pp202-203, 1988  
 [6] 幸田盛堂, 田型磨きの自動化に向けて小形金型研磨装置の開発, 機械と工具, pp64-69, 1989  
 [7] 國枝正典, 金型加工技術の Q & A, 機械技術, 第37巻, 第4號, pp70-75  
 [8] 箕輪一男, 研磨ロボットによる金型みがき, プレス技術, 第21巻, 第13號, pp36-41  
 [9] 橋本敏雄, ロボットによる金型みがき, 型技術, 第3巻, 第7號, pp198-199  
 [10] 加藤茂雄, 定壓, 自己誘導微い方式による金型自動表面仕上げ機, プレス技術, 第21巻, 第13號, pp28-35  
 [11] 松波康治, 金型磨きの自動化に向けて大形自動磨き機の開発, 機械と工具, pp70-75, 1989