

금형면 자동 다듬질 전문가 시스템 개발에 관한 연구-I -DB 구축을 위한 회전 및 진동 연마 가공의 실험적 연구-

민헌식*, 이성환**, 안유민**, 조남규**, 한창수**

Development of an Expert System for Optimizing Die and Mold Polishing-I

Huen-Sick Min*, Seoung-Hwan Lee**, Yoo-Min Ahn**, Nahm-Gyoo Cho**, Chang-Soo Han**

Abstract

In manufacturing die and mold, polishing is important as it takes as much as 50% of the production cost. In this research, an attachable type polishing device to a CNC machining center was developed. Experiments were done with a specially designed rotation type polishing device. Also an ultra-sonic (vibration type) waving device was introduced to acquire finer surface finishes. From the constructed data base based on the experimental results, it is shown that optimal polishing conditions are generated by the combined use of the rotation type tool and the vibration type tool.

Key Words : Ultra-sonic Waving Tool(진동식 공구), Rotational Polishing Tool(회전식 공구), Experimental Database(실험적 데이터베이스)

1. 서론

최근 다품종 소량 생산 및 소비자의 미적 욕구가 높아짐에 따라 고품위의 금형 제작수요가 증가하고 있다. 금형의 가공 공정 중 형상가공에 있어서는 CNC 공작기계 및 CAD/CAM의 발달로 자동화의 진전이 이뤄졌으나, 최종 제품의 표면의 품질을 결정하는 연마가공은 자동화가 미진하여 대부분 경험적 지식에 의존하는 숙련공의 수작업에 의존하고 있는 실정이다⁽¹⁾⁻⁽³⁾. 특히 연마 공정은 작업 시

발생하는 먼지, 소음 진동 등으로 인하여 작업자들이 기피하는 3D업종으로 인식되어 기술인력이 점차 줄고 있는 실정이므로 이에 대한 자동화가 절실히 요구되고 있다⁽³⁾⁻⁽⁴⁾. 연마 자동화를 위해서는 가공 기구부의 개발과 이에 적용될 수 있는 연마가공의 가공조건에 대한 D/B 구축 및 적용에 관한 연구가 병행 되어야 한다. 본 논문의 선행 연구로서, 박, 조⁽³⁾⁽⁶⁾ 등은 CNC 기계에 장착할 수 있는 유니버설 조인트방식의 다듬질 전용 기구부를 개발하여 실험과 해석을 수행하였다. 실험 결과 연삭 스톨이 곡면을 따라 회전하며

* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
** 한양대학교 기계공학부
(이성환 sungiee@hanyang.ac.kr)

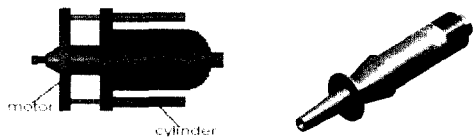
이송되는 과정에서 슷돌의 예기치 못한 움직임으로 인하여 가공면에 불규칙한 흠집이 생기거나, 연삭 눈막힘 현상등의 발생으로 마모가 불규칙하게 진행되어 공구성능 감소 등의 문제점이 발견되었다^{(3),(6)}. D/B 구축의 경우는 고품위의 표면을 얻기 위한 일련의 연마조건을 어떻게 재현성 높은 D/B로 구축하고, 최적화된 가공 조건을 산출하느냐가 관건이다⁽⁴⁾⁻⁽⁷⁾.

본 연구는 금형면 자동화 다듬질 전문가 시스템 개발에 관한 연구의 첫 번째 부분으로 CNC 밀링머신을 이용한 금형면 다듬질의 자동화를 구현하기 위하여 연마 기구부를 개발하였다. 특히 기존 연구에서 나타난 문제점⁽⁶⁾을 보완하기 위하여 진동식 연마기구를 제작하여 실험을 수행하였고, 기존의 회전식 공구를 개선하여, 실험을 세분화하고 실험 횟수를 늘려서 좀더 신뢰성 있는 가공 D/B를 얻도록 하였다.

2. 연마 가공 실험

회전식 연마 자동화 기구부는 공압 시스템을 사용하여 곡면의 변화에도 유연하게 대응할 수 있도록 제작하였고, 고품위의 표면을 얻기 위해 진동식 연마 기구부도 추가적으로 제작하였다. 제작된 연마 가공 기구는 Fig. 1과 같다. 금형 시편재료는 최근에 금형강으로 많이 쓰이는 KP4M을 사용하였다. 재료의 기계적 성질은 Table 1과 같고 시편의 크기는 20×80×80mm이다.

회전식 연마 공구는 연마 가공 성능이 좋은 CBN 연마포를 공구 끝단에 접착하여 사용하는 방식을 채택하여 공구 손상 시 신속히 연마포를 교환할 수 있도록 하였다. 진동식 연마 공구는 목재로 제작하여 끝단에 다이아몬드 입자와 베어링



(a) Rotation type (b) Vibration type

Fig. 1 Shapes of polishing devices

Table 1 Mechanical properties of KP4M

Yield Point(kgf/mm ²)	90-95
Tensile Strength(kgf/mm ²)	105-115
Elongation(%)	13-16
Reduction of Area(%)	35-50
Hardness(Hs)	40-44



(a) Rotation type (b) Vibration type

Fig. 2 Shapes of grinding tools

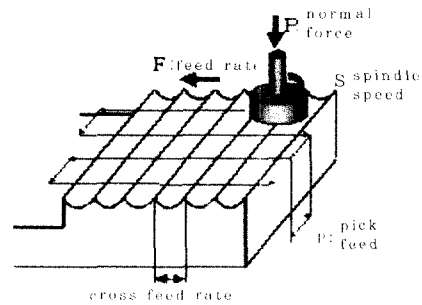


Fig. 3 Schematic diagram of the polishing method

그리스를 혼합한 연삭재를 도포하여 경면 가공을 한다. Tool의 형상은 Fig. 2와 같다. 먼저, 블엔드밀을 사용하여 시편에 Cusp를 생성시켰다. 이때 이송속도와 크로스피드를 같게 하였으며, 연마 가공 실험시 이송방향은 엔드밀 가공에서의 이송방향과 직각이 되도록 하였다. 표면 거칠기는 중심선 평균 거칠기(Ra)를 대상으로 Talysurf를 이용하여 측정한다. 이때 측정 오차를 최소화하고, 매 측정때마다 동일한 위치를 측정하기 위하여 최⁽⁸⁾등에 의해 특별히 고안된 고정기구와 위치오차 보정 알고리즘을 사용하였다.

2.1 회전식 가공 실험

회전식 가공은 Cusp 가공과 경면 가공으로 구분한다. 실험은 1회 가공마다 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정하며, Ra가 가장 적당한 임계 거칠기(Ra)에 도달할 때까지 가공을 반복 수행하여 Cusp제거 및 경면 가공 과정을 수행하였다. 실험 조건은 Table 2와 같다.

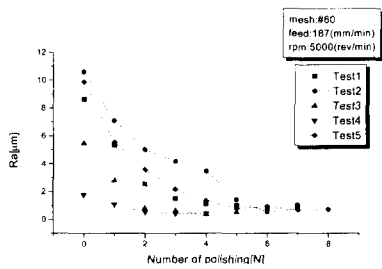
Table 2 Polishing conditions for the rotational type

(a) Conditions for removing cusps

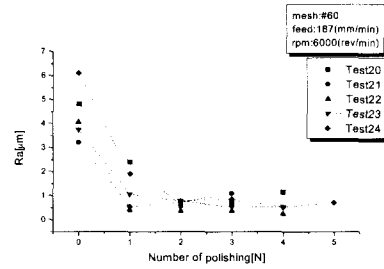
Condition	Mesh	Rotation speed: S [rpm]	Feed rate: F [mm/min]	Pick feed: p [mm]	Normal force: N [N]
#1	#60	5000	187	3.9	15
#2	#60	6000	187	3.9	15
#3	#100	5000	187	3.9	15
#4	#100	6000	127	3.9	15
#5	#100	6000	187	3.9	15

(b) Conditions for fine surface finishing

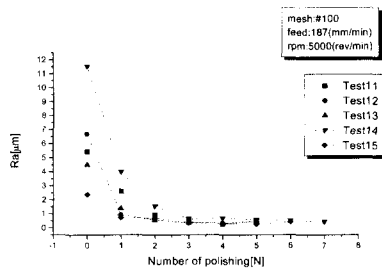
Condition	Mesh	Rotation speed: S [rpm]	Feed rate: F [mm/min]	Pick speed: P [mm]	Normal force: N [N]
#6	#200	5000	127	2.5	15
#7	#400	6000	127	2.5	15
#8	#800	5000	127	2.5	15
#9	#1000	6000	127	2.5	15



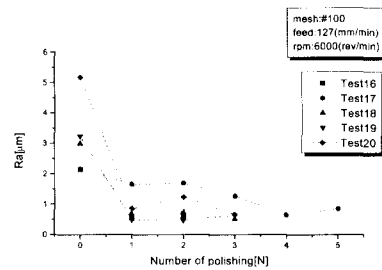
(a) Ra vs N for the condition #1



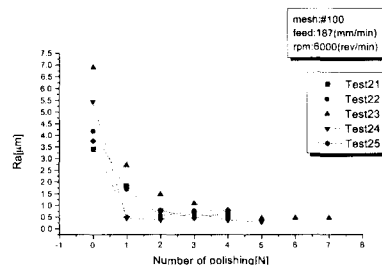
(b) Ra vs N for the condition #2



(c) Ra vs N for the condition #3

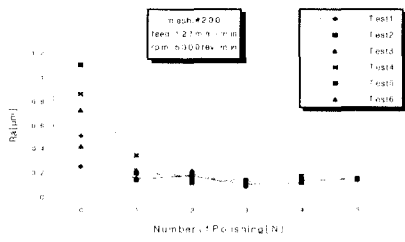


(d) Ra vs N for the condition #4

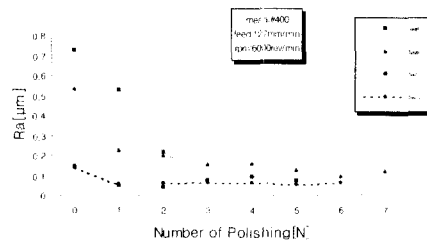


(e) Ra vs N for the condition #5

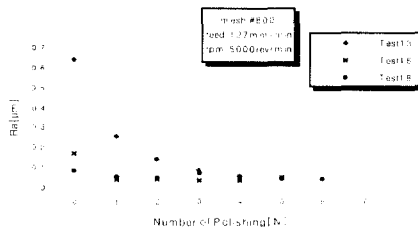
Fig. 4 Ra vs N for removing cusps



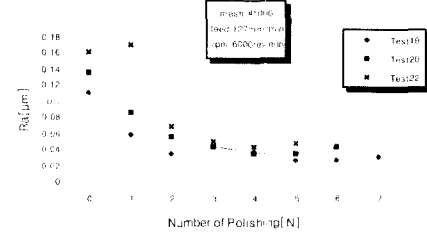
(a) Ra vs N for the condition #6



(b) Ra vs N for the condition #7



(c) Ra vs N for the condition #8



(d) Ra vs N for the condition #9

Fig. 5 Ra vs N for fine surface finishing

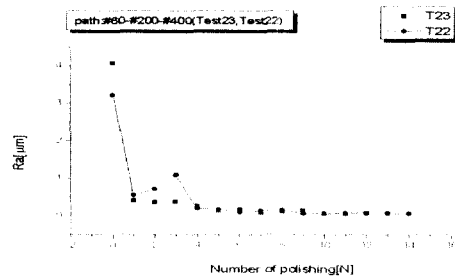
Fig. 4, 5의 결과를 보면 고품위 경면을 얻기 위해서는 작은 입자의 연마포를 써야 하지만, 소재 제거율에 문제점이 있어서, 회전식 연마 가공으로 목표 Ra값(0.03 μm)이하의 표면 거칠기를 얻기에는 시간적, 비용적인 한계가 있음을 알 수 있었다.

2.2 회전식 입도 변화에 따른 가공 실험

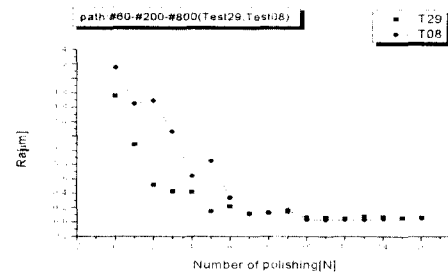
앞 절의 실험 결과를 토대로 입도에 따른 임계값(Ra) 근처에서 공구를 교환하면서 적절한 공구 교환 시기를 판단해 보고자 하는 목적으로 이 실험을 수행하였다.

Table 3은 실험 조건이며, 가공 조건은 회전속도를 6000 rpm, Feed rate를 127mm/min, 이송량을 2.5mm로 동일하

게 주었다. 공구 교환시기는 가공중 표면거칠기가 더 이상 향상되지 않을 때이며, 실험 결과는 다음과 같다.



(a) Ra vs N for the condition #1



(b) Ra vs N for the condition #2

Table 3 Polishing processes with various meshes

Condition	Tool path
#1	#60-#200-#400
#2	#60-#200-#800
#3	#60-#200-#1000
#4	#60-#400-#800
#5	#60-#400-#1000
#6	#60-#800-#1000

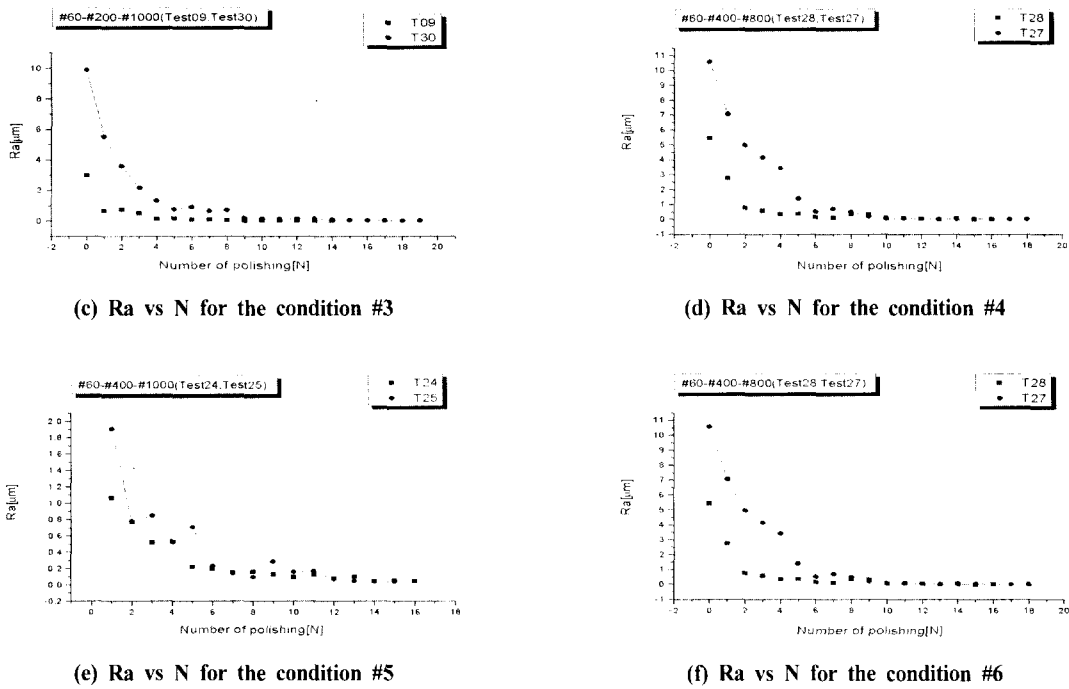


Fig. 6 Results of polishing processes with various meshes

Fig. 6은 연마 가공시 수련공이 일반적으로 수행하는 방식의 결과로서 가공 회수가 증가할수록 Ra값이 지수항적으로 개선됨을 볼 수 있다. 특히, 공구 교환시기를 임계값 도달 때 교환하는 것보다는 임계값 앞에서 공구 교환해주는 것이 가공 효율을 높일 수 있으므로 적절한 공구 교환 계획에 대한 연구가 요구된다.

2.3 진동식 가공 실험

본 연구에서는 회전식의 한계를 극복하며, 목표치 이하의 정면을 효율적으로 가공하기 위하여 진동-초음파식 가공법을 도입하였다. 사용된 초음파 가공법은 판상의 공구에 초음파의 진동을 주고, 공구와 공작물 사이에 연마재를 두어 정밀하게 다듬는 방법이며 초기 가공면에 영향을 적게 미치도록 진동에 둔감한 목재(마티카)공구를 사용하였다. 또 가공면적의 최대화를 위해 공구가 수평방향으로 진동하도록 기구부를 특수 제작하여 실험하였다.

2.3.1 연마 가공 적용 가능성 판단실험

실험시 시험편의 가공할 곳을 4부위로 나누어 A, B, C, D로 표시하여 구분하였다. A, B실험은 진동식 가공이 Cusp

제거 과정에 적당한지를 알아보는 실험이다. A는 Cusp를 생성시킨 부분이고 B는 Cusp를 120mesh로 5회 왕복 가공하였다. C와 D실험은 Cusp를 완전히 제거하고 경면가공 과정에 진동형을 적용시켜본 것이다. 특히, D의 실험은 연마재가 실험결과에 어떤 영향을 미치는가를 알아보는 실험이다.

A, B, C부분은 연마재 없이 이송속도 61mm/min으로 왕복5회 가공을 실시하였고, D부분은 C부분과의 비교를 위해 다이아몬드 입자와 그리이스를 혼합한 연마재를 이용하여 5회 반복가공을 실시하였다. 각 조건별 가공을 수행한 후 각각의 위치의 최종 Ra값과 Profile를 측정하여 초기치와 비교하였다. 결과는 Table 4와 같다.

Table 4 Vibrational tool feasibility tests

	A	B	C	D
Initial Ra	24.7714	14.7997	0.3439	0.4250
Ra _f	22.5758	13.8775	0.3310	0.2426
Removal quantity	-2.196	-0.922	-0.013	-0.182
Removal rate(%)	8.9	6.2	3.7	42.8

Table 4의 결과에서 보면 A, B실험은 5회 왕복 가공에도 불구하고 최종 Ra값에 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 즉 진동식에 의한 가공은 소재 제거량이 작음으로 최종 경면을 얻는데 있어서 Cusp제거 과정에는 부적절함을 알 수 있다. C와D를 비교하면 연마제를 사용한 D의 결과가 C보다 더 많은 소재 제거율과 더 좋은 최종 Ra값을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 결론적으로 진동형 가공은 회전식 경면 가공에서 얻기 어려운 표면 조도를 얻을 수 있는 적절한 공구임을 알 수 있다.

2.3.2 경면 가공을 위한 진동식 가공 실험

앞 실험에서 진동식 공구가 고품위의 경면 가공에 적합함을 알 수 있었고 선행 실험을 토대로 실험 조건을 Table 5와 같이 설정하였다. 연마제는 CBN(#800)을 선택하였다.

Fig. 7은 진동식 공구의 가공 조건에 따른 임계값(Ra)을 얻는 실험 결과로 회전식 공구보다 낮은 표면 조도값(0.03 μm 이하)을 얻을 수 있었다.

Table 5 Conditions for the vibrational processes

Condition	Feed rate [mm/min]	Frequency [kHz]
#1	22	20
#2	41	20

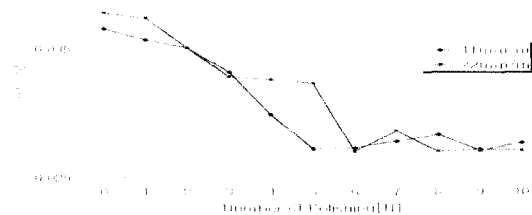


Fig. 7 Ra vs N for vibrational processes

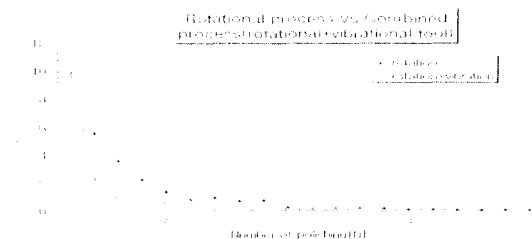


Fig. 8 Rotational process vs combined process (rotational+vibrational tool)

Fig. 8은 기존의 회전식 가공과 회전식 및 진동식의 조합 가공의 결과를 비교한 것으로 조합 가공의 경우 목표 표면 조도를 얻는 시간이 단축됨을 알 수 있고, 따라서 회전식 가공 방식과 진동식 가공 방식을 함께 도입함으로써 보다 최적화된 고품위의 연마 가공 계획을 세울 수 있는 가능성을 보였다.

3. 표면 거칠기 가공실험결과와실험식(D/B)화

앞 절에서 보인 바와 같이, 일정 표면 거칠기 값($Ra=0.03 \mu\text{m}$) 이하에서는 진동식 Tool을 사용하는 것이 효과적이므로, 본 연구에서는 경면 가공 공정을 좀 더 세분화하여 회전식 및 진동식을 조합한 실험을 수행하였고 그에 따른 D/B를 구축하였다.

구체적으로, 첫째 D/B를 공정별로 계층화하여 최적화된 공정 산출시 적합한 D/B만을 선택하여 추천하고, 둘째 실험 결과를 수식화하여 효율적인 D/B의 운영을 기하고자 하였다. 연마 가공의 실험 결과를 수식화 하기 위해 사용될 수 있는 보편적인 방법으로는 실험에 사용된 중요 가공 변수들에 대해서 표면 거칠기가 가공횟수에 따라 어떻게 변화되는가를 표시하는 방법과 연마 가공에 관한 많은 양의 실험 결과를 효율적으로 D/B화하기 위해 Sasaki(1)가 처음 제안한 통합적 연마 파라미터를 이용한 수식화 등이 있다.

4. 결론

본 연구에서는 금형면의 자동 연마 가공에 사용될 최적 금형 연마 공정을 산출할 수 있는 전문가 시스템 개발 가공 D/B를 구축하기 위한 연마 가공 실험을 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 선행 연구(6)보다 세분화된 실험 및 입도 변화에 따른 공구 교환시기 판정 실험 등 전문가 시스템 구성을 위한 실험적 결과를 얻었다.
- (2) 기존의 회전식 연마가공 방식에서 얻기 힘든 고품위의 표면 거칠기($0.03 \mu\text{m}$ 이하)를 얻기 위해 진동식 공구를 이용한 경면 가공방법을 제안하였고, 그 결과 회전식 가공과의 조합을 통해 보다 빠른 소재 제거율을 얻을 수 있음을 보였다.

“금형면 자동 다듬질 전문가 시스템 개발에 관한 연구-II”

에서는 본 연구에서 얻은 실험 결과를 통해 실험에 사용된 중요 가공변화들에 대한 표면 거칠기를 가공회수를 기준으로 표시하는 방법 및 통합 연마 파라미터⁽⁹⁾를 기준으로 표시하는 방법을 사용하여 가공 D/B를 구축하며, 최적 가공 경로 산출 알고리즘 및 전문가 시스템 개발에 관한 연구의 결과를 제시할 것이다.

향후, 보다 실용적이고 광범위한 D/B의 확보를 위해 다양한 연마 공구와 연마제의 개발 및 실험과 실험 데이터를 정확히 Fitting 할 수 있는 수치 해석 방법에 대한 연구가 진행되어야 하겠다.

(9) Sasaki.T., Miyoshi.T., Saito.K., et al., "Knowledge acquisition and automation of polishing operations for injection mold(2nd report): Expert system for mold and die polishing operation," JSPE Vol. 57, No. 12, pp. 2151 ~ 2156, 1992.

참 고 문 헌

- (1) Sasaki. T., Miyoshi.T, Saito.K., et, al., "Knowledge acquisition and automation of polishing operations for injection mold(1st report): Hand polishing properties of a skilled machinist," JSPE Vol. 57, No. 3, pp. 497 ~ 503, 1991.
- (2) 안중환, 정해도, 이민철, 전차수,외., "금형의 자동연마 시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제17권, 제4호, pp. 69 ~ 80, 2000.
- (3) 박균명, 장진희, 한창수, "자동 경면 다듬질 장치의 실험적 분석에 관한 연구," 한국 정밀 공학회지, 제12권, 제9호, pp. 20 ~ 29, 1995.
- (4) Sasaki.T., Miyoshi.T., Saito.K., et, al., "Knowledge acquisition and automation of polishing operations for injection mold(3rd report)," JSPE Vol. 58, No. 12, pp. 2037 ~ 2043, 1992.
- (5) Kang. M, and Kim .S .G., "CIM for mold factory automation," Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 1, pp. 59 ~ 62. 1990.
- (6) 조성만, 안유민, 조남규, 한창수, 박균명, "금형면 자동 다듬질 장치의 D/B 구축을 위한 실험적 연구," 한국 공작기계학회지, 제9권, 제2호, pp. 80 ~ 86, 2000.
- (7) 이두찬, 정해도, 안중환, 三好陸志, "자동 금형 연마의 최적 조건 선정 전문가 시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제14권, 제10호, pp. 58 ~ 67, 1997.
- (8) 최한광, 조남규, 한창수, 안유민, 박균명, "Relatuon Device를 이용한 표면 미세 형상 측정에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 394 ~ 397, 1998.