한국정밀공학회지 제17권 제6호(2000년 6월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17, No. 6, June 2000.

도전성 탄성공구를 이용한 금형연마 특성에 관한 연구

황찬해* 임동재* 정해도**

A Study on Characteristics of Die Finishing Using Conductive Elastic Tool

Chan Hae Hwang*, Dong Jae Lim*, Hae Do Jeong**

ABSTRACT

The finishing process for dies and molds is an important process because it has influence on final quality of products. And it is difficult to automatize finishing process so that the process has depended on expert's skill until now. However, recently a study on development of die automatic finishing machine has been progressed, and actually this machine is applied to fabrication of die. But the research about tooling system is not enough and finishing tool must have high machining efficiency and adaptability of curved surface. So, this study investigated the application of conductive elastic tool which is composed of metal-resin bonded pellet and elastic backing material. The metal-resin bonded pellet is used to finish the surface by conventional mechanical grinding or electro-chemial grinding method. And elastic backing material is used to follow the curved surface. So conductive elastic tool has long lifetime, uniform removal rate and adaptability of curved surface.

Key words : die automatic finishing machine(금형 자동연마기), electro-chemical grinding (전해연삭), conductive elastic tool (도전성 탄성 공구), metal-resin bonded pellet (메탈-레진본드 펠렛),

1. 서론

금형은 제품생산에 필수적으로 이용되는 도구로 그 요구 성능은 최종 제품의 성능과 직결된다. 더구나 다품종, 소량생산 체제의 확산에 따라 금형의 고정밀, 고능률 가공방법에 대한 요구는 날로 증대되고 있다. 이러한 수요를 충족시키기 위하여 현재 산업체에서는 CAD/CAM 및 CNC 공작기계의 도입으로 무인자동화를 통한 생산성의 향상을 꾀하고 있다. 일반적으로 금형의 형상가공은 고정도의 절삭, 방전, 연삭 작업으로 일정량의 제거량을 가지며 가공하게 된다. 그러나 이러한 형상가공은 가공공구의 형상이 그대로 공작물에 전사되므로 가공흔적이 남게 되며 일반적으로 이러한 가공흔적을 제거하고 일정수준까지의 표면거칠기를 갖기 위하여 금형의 다듬질작업이 필요하게 된다. 그러나 금형의 다듬질작업은 아직까지 체계화되어 있지 않으며 아직까지 인력을 이용한 수작업이 대부분이다[1]. 따라서 수작업으로 발생되는 문제점과 가공시간 단축을 위하여 현재 산업체에서는 금형의 다듬질작업을 자동화할 수 있는 금형자동연마기가 개발되어 상용

* 부산대학교 대학원
** 부산대학교 기계공학부

화되고 있는 실정이며 이는 많은 시간과 노력을 요하는 다듬질작업을 효율화하고 생산성 향상과 노동력 절감 효과를 거두고 있다. 그러나 금형자동연마기에 사용되는 다듬질 공구는 아직까지 체계화되어 있지 않으며 많은 개발이 요구되는 분야로 주로 일본을 중심으로 활발히 연구되고 있다. 현재 여러 가지 Attachment가 개발되어 사용되고 있다.[1),(2),(3),(4),(5)] 그리고 이러한 Attachment에 부착하여 금형 연마에 사용되는 공구는 각각의 기본적인 구조의 차이에 따라 크게 다듬질패드(finishing pad)와 다듬질펠렛(finishing pellet)의 형태로 제시되고 있으며 그들은 각각의 가공특성에 따라 적절히 사용되고 있다. 다듬질패드의 경우 가공입자(abrasive)가 2차원적으로 분포되어 결합재(bond)에 의해 접착(coated abrasive)되어 있는 상태를 말하며 다듬질펠렛은 3차원적으로 분포되고 결합재(bond)에 의해 결합 지지되고 있는 형태(bonded abrasive)를 말한다. 다듬질패드는 그 특성상 단층구조이며 상대적으로 펠렛에 비하여 가공입자의 지지능력이 약하고 자생작용이 없으므로 그 사용수명은 상대적으로 적다. 그러나 다듬질펠렛에 비하여 어느 정도 우수한 가공품위를 가지며 사용이 편리하다는 장점이 있다. 그러나 이러한 공구들은 앞서 언급한 Attachment 등에 부착하면 공구의 가공부 표면은 항상 평면을 유지하기 때문에 곡률을 가지는 금형의 형상에 적절히 대응하기에는 한계성을 가진다. 따라서 곡면 형상에 적절히 대응할 수 있으면서 고능률 가공을 실현할 수 있는 공구 개발이 필요하다.

2. 도전성 탄성공구 개발

일반적으로 금형의 다듬질가공은 일정한 압력(constant pressure)을 공작물에 전사(pressure control)하는 가공방법이다[6]. 따라서 다듬질공구는 일정한 가공압력을 받으면서 다듬질가공을 수행하며 곡면 금형의 다듬질의 경우 유연히 금형의 곡면에 대응할 수 있는 구조를 가져야 한다. 그러나 앞서 언급한 다듬질패드나 다듬질 펠렛의 경우는 가공 중에 공구의 형상이 일정하므로 Fig. 1과 같이 곡면 대응성이 떨어진다. 따라서 이러한 공구를 금형 자동연마기용의 공구로 사용할 경우 금형의 형상 정밀도 저하가 생길 수 있다.

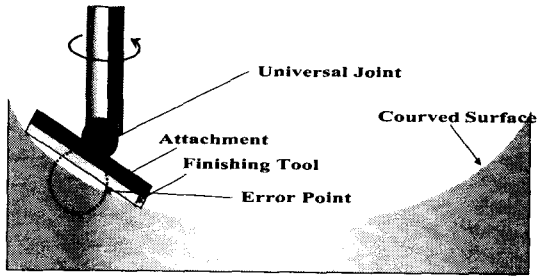

Fig. 1 Finishing of curved surface by conventional finishing tool

이에 본 연구에서는 공구를 Fig. 2와 같이 곡면 형상에 따라 각각의 펠렛이 독립적으로 움직일 수 있는 세그먼트(segment) 형식으로 제작하고, 펠렛에 탄성적인 움직임을 주어 곡면 금형에 적절히 대응하며 전해연삭(electro-chemical grinding)가공법을 응용하여 고능률 다듬질가공을 실현할 수 있는 공구를 개발하였다.

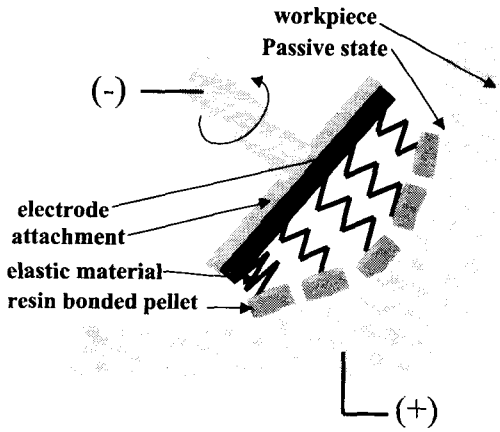

Fig. 2 Concept of die finishing using conductive elastic finishing tool

Fig. 3은 본 연구에서 사용된 다듬질공구의 개략도를 나타낸다. 본 연구에서 사용된 다듬질 공구는 연구의 목적에 맞게 제작된 다듬질 펠렛이 홀더에 개별적으로 장착되어 있고 다듬질 펠렛과 홀더 사이에 탄성체를 두어 다듬질 펠렛이 탄성체의 변형 범위내에서 수직 방향으로 자유롭게 움직일 수 있는 구조로 곡면 금형에 적절히 대응할 수 있게 되어있다[7]. 그리고 고능률 가공을 위하여 전해 연삭법을 응용할 수 있도록, 홀더를 전극으로 사용하여

홀더 부분을(-), 공작물 부분을 (+)로 하여 A 영역에서 전해작용을 일으킬 수 있는 구조로 되어있다.

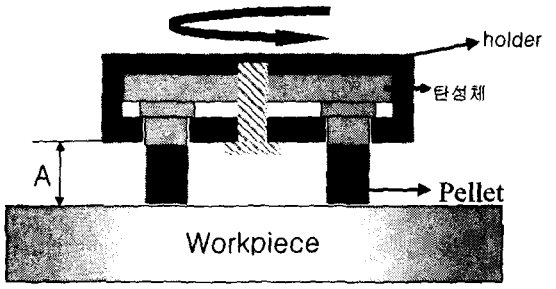

Fig. 3 Schematic of conductive elastic finishing tool

본 연구에 사용된 다듬질 펠렛은 메탈-레진 본드 펠렛(metal-resin bonded pellet)으로 제조 과정은 다음과 같다. 먼저 가공입자(finishing abrasive)를 액상 상태의 레진과 고르게 섞은 후 금형에 고르게 충진한다. 그후 80℃까지 금형의 온도를 올려 그 상태를 유지하면서 300~500kgf/㎠으로 3~4차례 가압한다. 가압 후 레진의 최종 성형온도인 150~160℃까지 온도를 올려 최종 40~50분 가량 성형한다. 다듬질 가공은 집중도(concentration)가 너무 높으면 오히려 표면에 손상을 줄 수 있고 형상이 변할 수 있는 등 가공에 적합하지 않으므로 75정도로 하였다

Table 1 Specification of finishing pellet

Bond material	Resin powder (phenolic resin)
Finishing abrasive	Diamond(GE RGV) CBN (GE TYPE-1)
Manufacturing Temperature	150~160℃
Load	300~500kgf/㎠
Concentration	75(3.3ct/㎤)
Size	O/D 5mm, T 8mm

Fig. 4는 실제로 제작된 도전성 탄성공구의 외관을 나타낸다.

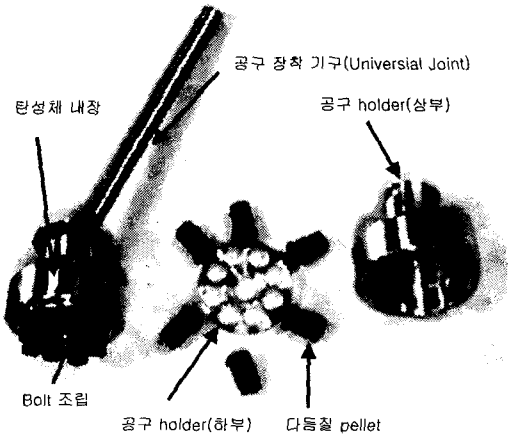

Fig. 4 Photographs of conductive elastic finishing tool

3. 실험방법

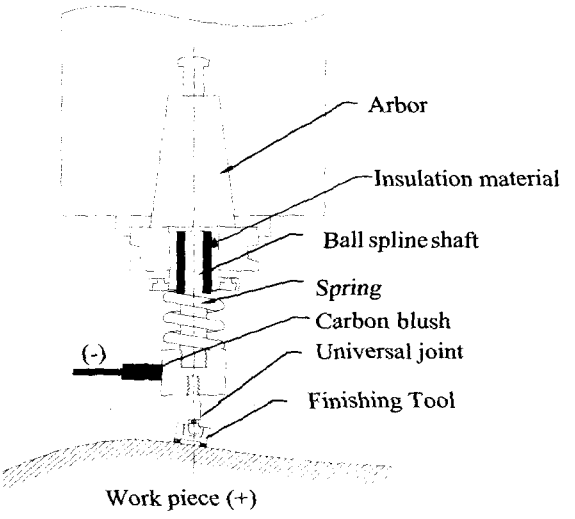

Fig. 5 Construction of die finishing attachment

본 실험을 위하여 일정한 전 가공면 조건을 가지는 시편에 대하여 제작된 다듬질공구를 이용하여 실험을 수행하였다. 이때 가공시편은 STD11(H Rc 27~35)이며 일정한 절삭조건으로 가공된 시편이다. 초기 절삭가공면의 상태는 다듬질가공에 영

향을 미치는 가장 중요한 요소라 할 수 있으므로[8] 되도록 정확하고 균일한 전 가공면을 얻기 위하여 평면가공 시편은 절삭가공 후 #60의 WA숫돌로 연삭가공하였으며 곡면시편(O/D 200mm, I/D 156mm)은 CNC선반에서 일정하게 절삭 가공하였다. 가공 후 측정은 Taylor Hobson사의 Form Talysurf Series 2를 이용하였고 실제 실험은 수직형 머시닝 센터에서 수행되었으며 일정한 가공압력을 줄 수 있는 attachment는 Fig. 5와 같은 구조를 하고 있다[1]. 사용된 전원 공급기(power supply)는 정격 DC전원 공급기와 Micro Computer & Controller를 접합하여 전압, 전류, 시간 및 반복횟수 등을 임의 설정하여 편리하게 사용이 가능하도록 제작되었다., 음극(cathode)으로 사용된 전극은 카본 브러쉬(carbon blush)이며 양극(anode)은 구리전극을 이용하였고 전해질(electrolyte)은 $NaNO_3$(20wt%)를 사용하였다.

4. 실험결과

본 공구를 이용하여 실제 전해연삭법을 실시하였다. 평면 형상의 시편을 이용하여 동일한 조건으로 전해연삭법과 일반적인 가공을 비교하여 그 특성을 평가하였다. 가공조건은 Table 2와 같고 전해연삭 조건은 가공 전류치 12A, pulse width (τ_{on}, τ_{off})는 500μs로 하였다[9]. 그리고 사용한 공구의 입도는 #1000 이다.

가공 전 시편의 표면형상(modified profile)는 Fig. 6에 나타내었으며 가공 후 시편 표면의 형상은 Fig. 7, 8에 나타내었다.

Table 2 Experiment conditions of finishing process

	Electro-Chemical Grinding (12A, 500μs)	Mechanical Grinding
Spindle speed(RPM)	800	800
Feedrate (mm/min)	1000	1000
Load (N/㎠)	15	15
Finishing Number	3	3

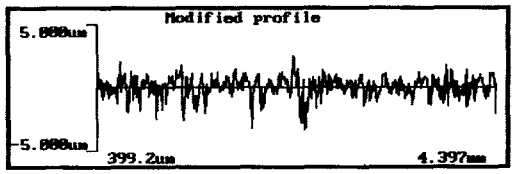

Fig. 6 Modified profile before machining (Rmax 5.752μm)

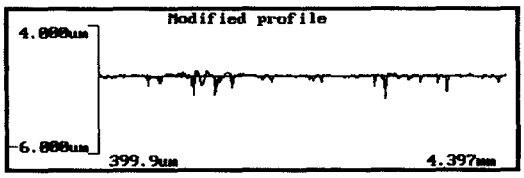

Fig. 7 Modified profile of electro-chemical grinding (Rmax 2.145μm)

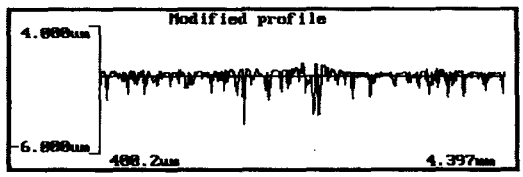

Fig. 8 Modified profile of mechanical grinding (Rmax 4.852μm)

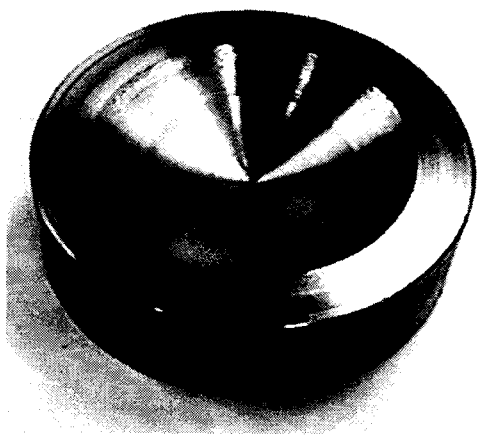

Fig. 9 Photograph of curved surface specimen

가공시 공구의 전극과 공작물과의 간격은 KUNIEDA등이 2mm정도로 유지하였으므로 본 실험에서도 2~3mm정도로 유지하였다[10]. 가공결과 전해연삭법은 일반적인 연삭에 비하여 가공량이 월등하였으며 공구마모도 매우 적음을 확인할 수 있었다[9]. 이는 주로 가공 중 생기는 전해생성물만을 다듬질공구가 연속적으로 제거하게 되므로 가공력이 일반적인 가공에 비하여 적기 때문이라 생각된다.

그리고 새로 고안된 공구의 곡면 대응성을 확인하기 위하여 실제 Fig. 9에 보여진 원형형상의 시편을 Table 3에 나타낸 조건으로 기계적 다듬질가공(mechanical finishing)을 하였다.

Table 3 Experiment conditions of finishing process

	Grain size	Finishing condition		Finishing number	Finishing time
1	#100	Spindle Speed(rpm)	1400	3	12min 15s
		Feedrate (mm/min)	100		
		Load(N/㎠)	20		
2	#200	Spindle Speed(rpm)	600	2	8min 10s
		Feedrate (mm/min)	100		
		Load(N/㎠)	15		
3	#400	Spindle Speed(rpm)	1400	3	4min 6s
		Feedrate (mm/min)	300		
		Load(N/㎠)	15		
4	#1000	Spindle Speed(rpm)	800	2	8min 10s
		Feedrate (mm/min)	100		
		Load(N/㎠)	15		

사용된 공구의 가공입자(grain size)의 크기는 #100, #200, #400, #1000이다. 가공전 시편의 표면거칠기는 Rmax 38.346㎛이며 가공 전 profile은 Fig. 10에 나타내었다. 다듬질 횟수가 증가함에 따라 표면거칠기는 점차 떨어졌으며 입도(grain size)가 미세해질수록 가공품위는 향상되었다. 또 종래의 공구에서 곡면가공시 발생하는 공구탈락이나 스크래치(scratch)등의 문제점도 전혀 발생하지 않았다.

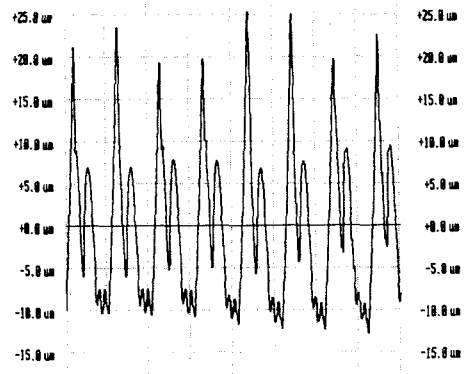

Fig. 10 Modified profile of cutting surface

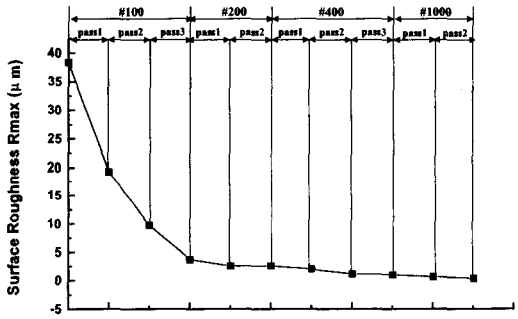

Fig. 11 Relation between grain size of finishing pellet and surface roughness

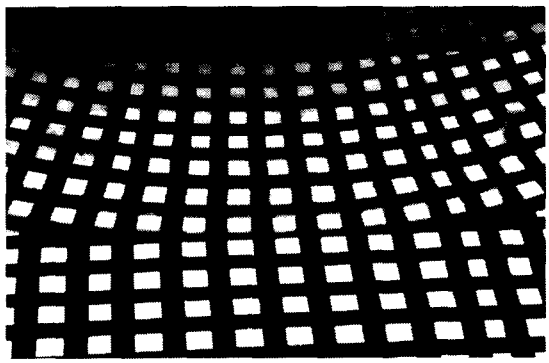

Fig. 12 Photograph of finished die surface by conductive elastic finishing tool(Rmax 0.1㎛)

시편전체 가공에 걸린 시간은 32min 41s이며 최종 표면거칠기는 Ra 0.11㎛, Rmax 0.298㎛이다.

다음으로 볼록한 곡률(R274)을 가지는 곡면 형상의 시편에 대하여 공구의 입도(grain size)를 #4000까지 사용하여 다듬질 가공을 수행하였다. 그 결과는 Fig. 12와 같고 가공 후 표면거칠기는 Ra 0.017㎛, Rmax 0.1㎛을 얻을 수 있었다. 그러나 시편의 형상을 측정한 결과 Fig. 13과 같이 시편의 중앙부와 양끝 부분에서의 가공량이 서로 달랐다. 그 이유로는 공작물의 형상에 따른 공구의 자세 제어가 시편의 각 부분에서 균일하지 않았으며 공구의 성능이 가공 중 항상 일정하지 않으므로 공작물의 각 부분에서 균일한 제거량을 가지기 힘들기 때문이다. 이러한 형상오차의 보상을 위하여 실시간 공구의 위치에 따른 가공력과 형상을 측정하여 이를 실제가공에 반영하는 것이 필요하다고 생각한다. 가공 중 형상오차의 보정을 위하여 공구가 공작물의 각기 다른 위치의 곡률에 접촉할 때 공구의 각 지점에서 생기는 속도차이나 공구형상에 따른 오차를 보정하기 위한 공구와 공작물과의 접촉시간 제어, 가공 중 공구의 가공능력을 일정하게 유지할 수 있는 기술 등이 필요하다고 생각한다.

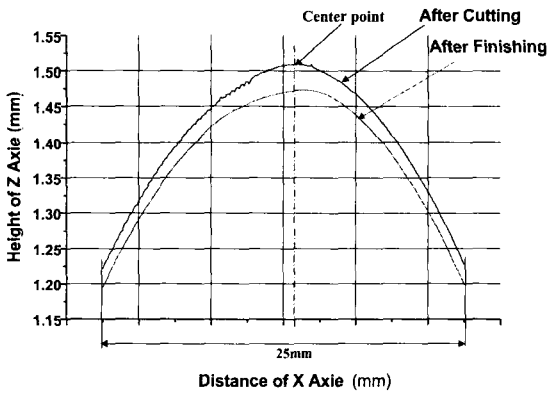

Fig. 13 Modified profile after finishing process

5. 고찰

본 연구에서는 곡면 금형에 효과적으로 대응할 수 있는 공구를 개발하고 그 특성을 평가하였다. 본 실험에 사용된 공구는 다듬질 팰렛과 탄성체의 2층 구조로 구성되어 있으며 다듬질 팰렛 부분은 직접 금형과 접촉하며 다듬질 가공을 수행하고 연질의 탄성체부분은 가공중 공구가 곡면부분에 적절히 대응할 수 있는 역할을 담당한다. 또 다듬질 가공의 고능률을 위하여 전해연삭법(electro-chemical grinding)을 적용하였다.

① 금형의 다듬질 가공을 위하여 고안된 도전성 탄성공구는 곡면 금형의 가공시 우수한 곡면 대응성을 지니며 고품위 가공능력을 가짐을 확인하였다.

② 본 공구는 공구부분의 전극을 이용하여 전해연삭법을 적용할 수 있으며 이는 일반적인 가공보다 고능률 가공을 실현할 수 있다.

향후 연구과제로 가공시 여러가지 가공 인자들에 의하여 복합적으로 발생하는 가공오차 해결을 위하여 실시간 가공력 및 형상 측정을 통한 오차를 수정할 수 있는 수정연마의 개념이 필요하다고 생각한다. 또 공구와 공작물의 형상에서 오는 오차를 보정하기 위하여 공구와 공작물의 접촉시간 제어나 소형공구의 개발, 가공시 공구의 상태 및 자세 제어 등에 관한 지속적인 연구가 필요하다고 생각한다.

후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 이두찬, 정해도, 안중환, Takashi Miyoshi, "동금형다듬질의 최적조건선정 전문가시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제14권, 제10호, pp. 58~67, 1997.
2. 坂本正史,水垣善夫 他2名, "CAD/CAMモデルに基づく高品位金型みがきロボットシステムの開發," 型技術, Vol. 5, No. 8, pp. 102-103, 1990.
3. 鈴木 淸, 鍾博 任 他3名, "ユニバ-サルジョイント工具による自由曲面の磁氣硏磨," 砥粒加工學會

學術講演會講演文集, pp. 315-318, 1995.
4. 鈴木 清, 青木 勇, 他2名, "板ばね状砥石の繰り返し曲げ變形による型みがき法," 砥粒加工學會學術講演會講演文集, pp. 417-420, 1995.
5. 松澤 隆, 大森 整, "ELID對應自由曲面加工ツールの開發," 精密工學會春季大會學術講演會講演論文集, pp. 584, 1999.
6. H.D. Jeong "A Study on The Planarization of Device Wafer Using Abrasive Machining," Doctor Thesis of Univ of Tokyo, pp. 50~54, 1994.
7. Junji Watanabe, "CMP Process Technology and Equipment," TECHNICAL PROCESSING SEMI TECHNOLOGY SYMPOSIUM, pp. 243~247, 1994.
8. 이용철, 安齋正博, 中川威雄, "금형면의 자기연마가공 고효율화에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제13권 6호, pp. 59~65, 1996.
9. 황찬해, 정해도, "전해연삭을 이용한 금형의 다듬질 가공 특성," 한국정밀공학회지, 제17권, 제2호, pp. 89~96, 2000.
10. 吉田政弘, 國枝正典, 他2名 "電解研削による曲面の仕上げ加工," 砥粒加工學會誌, Vol. 37 No. 2 pp. 34-40, MAR, 1993.