

마이크로 펄스 전해 복합가공에 관한 연구

박정우* (부산대 대학원 ERC), 이은상 (인하대 기계공학부),
문영훈 (부산대 기계공학부 ERC/NSDM)

Study on the new development of combined electrochemical processes using pulse current

J. W. Park (Dept. of Mechanical and Precision Eng., ERC, PNU), E. S. Lee (Mechanical Eng. Division, IHU),
Y. H. Moon (Division of Mechanical Eng., ERC/NSDM, PNU)

ABSTRACT

Some investigators who have tried to achieve the highly smooth surface finish using electrochemical processes have reported that high current density produced lustrous surfaces while the opposite conditions produced a passive layer and had a tendency to produce a black surface. However, processing at a low current density may produce a non-lustrous surface but the improvement of dimensional accuracy of the surface is significant. The surface with pulse process was a bit more lustrous than with continuous current but the black passive layer still could be found at grooved surface. There are two ways to achieve highly smooth surface finish. One is brushing it with a brush the other is electrochemical machining (ECM) with high current. The former method is the most common polishing practice, but not only may the surface obtained differ from operator to operator, but precision smooth surface on micro grooves are difficult to obtain. The latter one recently has been used to produce a highly smooth surface after EDM process. However, the material removal rate in ECM with high current is relatively high. Hence the original shape of the micro grooves, which was formed by electrochemical micro-machining (EMM) process, may be destroyed. In this study, an electrochemical polishing process using pulse current is adopted as a possible alternative process when micro grooves formed by EMM process should be polished. Mirror-like micro grooves with lustrous and smooth surface can be produced electrochemically with pulse current because the voltage and current used can be lower than the case of continuous current. This study will discuss the accurate control of physical and electrical conditions so as to achieve mirror-like micro grooves with lustrous and smooth surface without destroying the original shape of micro grooves.

Key Words : electrochemical polishing(전해연마), electrochemical micro-machining(미세 전해가공),
pulse current(펄스전류), micro groove(미세 그루브)

1. 서론

전해가공기술(Electrochemical Machining, ECM)은 전기화학 반응을 강력히 하고 기계적 가공효과를 일으키면서 가공속도를 높여 금속용출을 이용하여 원하는 표면형상을 도출하는 특수가공기술의 하나로 고장력강, 내열재, 초경합금 등의 가공에 사용되는 방법이다. 공작물을 양극으로 하고 음극전극과 함께 전해액 속에 넣어 통전하면 전기화학 작용에 의하여 대전부분이 전해 제거되는 원리이다. 마이크로 전해가공 기술(Electrochemical Micro-machining, EMM)은 전해가공 기술을 한 단계 진보

시킨 가공법으로 전해가공의 본질적인 용도인 절단, 디버링, 구멍뚫기, 형조각 등의 벌크형 가공을 탈피하여 미세 형상의 가공을 달성하는 기술이다.

전해가공기술을 이용하여 경면을 달성 시키고자 한 여러 연구에 의하면 높은 전류밀도를 사용한 전해가공에 있어서는 가공품질이 경면에 가까운 결과를 나타내었으나 낮은 전류밀도를 사용하면 표면에 검은 부식층이 잔재하게 되는 결과를 초래하게 되었다.(1)~(2) 그러나 낮은 전류밀도에서는 표면의 치수정확도가 현저히 증가하고, 또한 펄스 전원을 적용하였을 경우에는 20 μ m 이하의 미세 그루브에서도 정밀한 치수조절이 가능하며 표면의 검은 부

식층이 다스 제거됨을 알 수 있었다. 즉, 펄스 전해 가공기술(Pulse Electrochemical Machining, PECM) 을 적용하면 정밀한 표면치수 제어와 부식층의 제거가 동시에 이루어져 효율성이 증대하고 정밀도가 증대함을 알 수 있다. 그러나 더욱 정밀한 부품에 있어서는 표면의 치수 정밀도 뿐만 아니라 표면 거칠기 또한 중요한 파라미터가 되므로 이를 해소하기 위한 대안의 강구가 시급하다. 현재 대두되고 있는 대안으로는 브러쉬(brush), 연마제 등을 사용한 기계적 연마방법과 전기화학 연마법(Electrolytic Polishing, EP)이 있는데, 전자의 경우에는 효율성의 문제와 미세 그루브의 요(凹)부분 연마가 난해하고, 후자의 경우에는 과도한 금속제거에 의한 미세 형상의 보존이 난해하다는 단점이 있으나 전해 파라미터의 조절을 통해 이를 해소할 수 있는 가능성이 있다.

따라서 본 연구에서는 마이크로 전해가공기법을 통해 생성된 미세 그루브의 연마에 있어서 선행연구에서 밝혀진 펄스전원의 잇점과 전해연마의 평활도, 내식성, 광택도 증가의 여러 잇점을 복합하여 미세 경면 그루브를 달성함이 목적이다.

2. 실험장치 및 방법

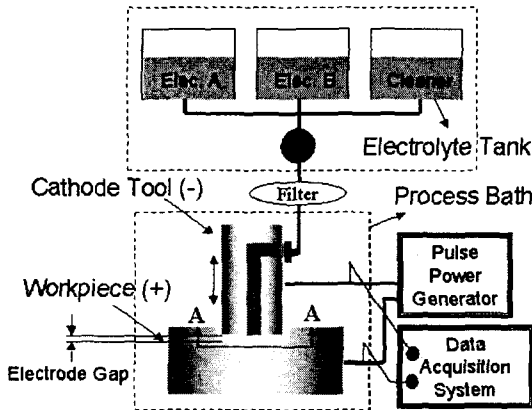
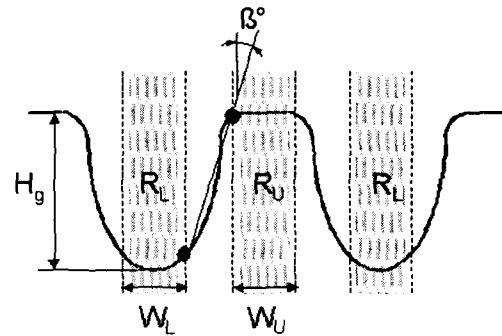


Fig. 1 Schematic diagram of combined electrochemical process

Fig. 1 은 펄스 전해복합가공을 위한 실험장치의 개략도이다. 전원 공급기에서 전극과 공작물에 각각 음극과 양극의 전원을 공급하고, 외부에서 공급되는 전해액은 직경 20.0mm의 전극내부를 통해 전극과 공작물의 사이에 분사된다. 이는 전극과 공작물 사이에 원활한 전해액을 공급하여 균일한 전해용출 작용을 일으키기 위함이다. 사용된 전해액은 1 μ m, 2 μ m의 이중필터를 이용한 필터링을 통하여

제공되도록 순환하여 사용한다. 초기 전극간극은 실험목적에 따라 0.1~1.0mm로 유지하였다. 사용된 공작물은 원형의 스테인레스 강 STS304 재질이며, 전극은 원형의 동 재질로서 양극 대치표면에 임의형상의 패턴이 새겨진 상태이고, 대표적인 실험장치 사안은 Table. 1과 같다.

Fig. 2는 Fig. 1의 공작물 상단부위(A-A) 단면을 나타낸 것으로 추후 고찰하고자 하는 목적에 따라 미세 그루브의 형상, 치수 및 표면거칠기를 각 부위별로 정의하였다.



- H_g : groove depth
- W_L : width of lower area
- W_U : width of upper area
- R_L : roughness of lower area
- R_U : roughness of upper area
- β : slope angle

Fig. 2 Nomenclature of micro groove parameters

Table 1 Experimental setup

Power supply	50V~10A, DC, Pulse τ_{on} 0~999 μ s τ_{off} 0~999 μ s
Workpiece (anode)	STS304 DISC
Electrolyte	Aqueous ECM Elec. Aqueous EP Elec.
Tool electrode (cathode)	Type 1 for ECM ($A=56.55\text{mm}^2$) Type 2 for EP ($A=134.30\text{mm}^2$)
Surface roughness tester	Taylor Hobson Form Talysurf Series 2
Surface measurement	CCD Camera

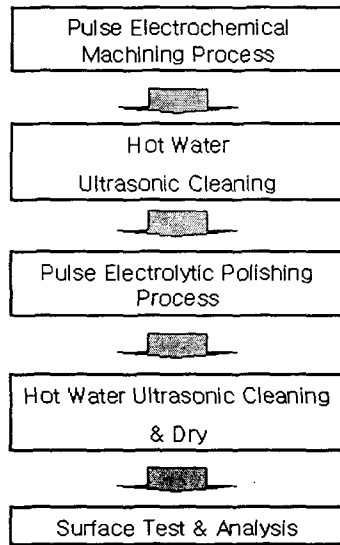


Fig. 3 Sequential diagram of combined electrochemical process

Fig. 3 은 본 연구에서 고찰하고자 하는 펄스 전해복합가공의 실험순서를 나타내는 것으로 펄스 전해가공을 먼저 적용하여 일정한 깊이를 갖는 미세 그루브 형상을 제작한 후 표면에 잔재하는 전해액 성분과 금속이온, 슬러리 등의 불순물을 제거하기 위하여 온순수 초음파 세정을 행한다. 이후, 미세 그루브 바닥면의 검은 부식층의 제거와 표면거칠기의 향상을 도모하기 위하여 펄스 전해연마 과정 및 세정과정을 거쳐지게 된다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 표면거칠기 변화

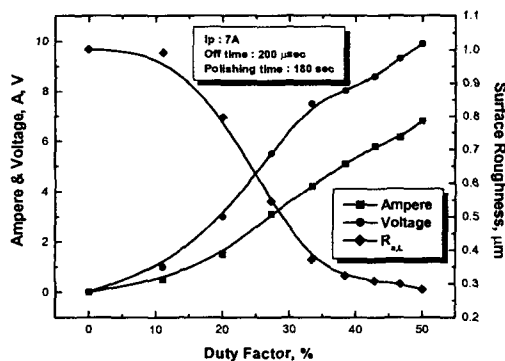


Fig. 4 Relationship between duty factor and roughness of groove surface (R_L)

Fig. 4 는 펄스 duty factor 에 따라 전원계의 voltage, ampere 그리고 그루브 바닥면의 표면거칠기 변화를 나타낸 그래프이다. 입력 I_p 7A, off time 200 μsec 이며, 총 가공시간은 180sec 이다.

대체적으로 duty factor 값이 높은 전원조건에서는 펄스 전해가공 후의 부식면이 제거됨과 동시에 거친표면의 평활화가 이루어져 표면상태가 양호해짐을 알 수 있다. 이는 duty factor 값이 증가할수록 전기화학 반응에 소요되는 전류의 양이 증가함에 따라 단위면적 당 분포하는 전류밀도가 높아지기 때문이다.

3.2 그루브 깊이변화

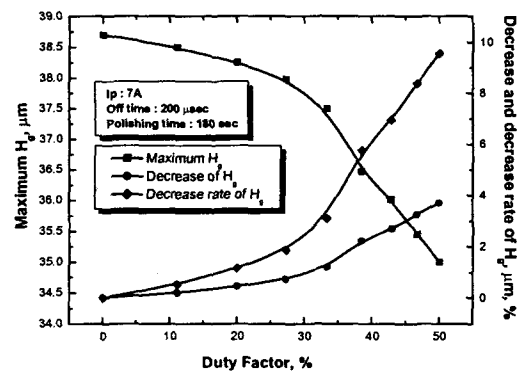


Fig. 5 Relationship between duty factor and decrease of groove depth (H_g)

전해가공에 의한 미세 그루브의 연마에 있어서 가장 중요시 되는 사항은 그루브 깊이의 변화이다. 일반적인 D.C 전해연마법에 의하면 과도한 전해용출의 영향으로 연마전의 미소한 형상이 유지되지 못하는 단점이 있었으며, 단순히 전원계, 가공시간의 조절만으로는 정밀한 제어가 이루어지지 않았다. 따라서 이를 해소하기 위하여 펄스를 적용하여 실험을 수행하였다.

Fig. 5 는 초기의 그루브 깊이를 미리 측정된 상태에서 이를 펄스 전해연마처리 후 측정된 그루브 깊이의 변화를 나타낸 것으로 30% 이상의 duty factor 영역에서 급속한 깊이변화를 나타내었다. 50%의 duty factor 펄스조건을 기준으로 분석해보면 전체적으로 초기상태보다 약 3~4 μm 가 감소하였으며 이는 약 9~10%의 깊이 감소율을 나타내고 있어 초기의 미세 그루브 깊이가 90%이상 유지되고 있음을 알 수 있다.

3.3 그루브 형상변화

3.3.1 Slope Angle 변화

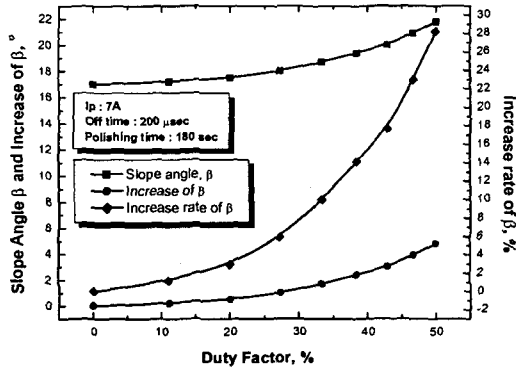


Fig. 6 Relationship between duty factor and increase of slope angle (β)

Fig. 6 은 전해가공 처리후의 경사각, β 를 미리 측정된 상태에서 펄스 전해연마처리 후 측정된 경사각의 각도변화를 나타낸 것으로 30% 이상의 duty factor 영역에서 급속히 각도가 증가하는 경향을 나타내었다. 50%의 duty factor 펄스조건을 기준으로 분석해보면 전체적으로 초기상태보다 약 4~5° 증가하였으며 이는 약 28~30%의 경사각 증가율을 나타내고 있어, 경사각 관점에서의 초기의 미세 그루브 형상이 약 70%이상 유지되고 있음을 알 수 있다.

3.3.2 Groove Width 변화

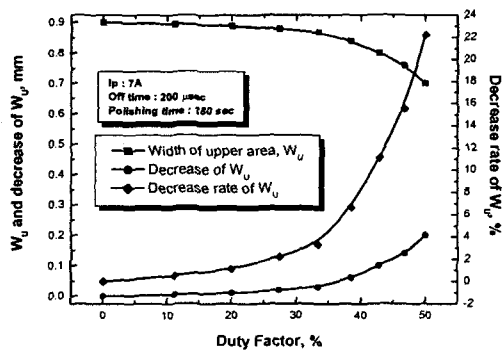


Fig. 7 Relationship between duty factor and decrease of width of upper area (W_u)

Fig. 7 은 전해가공 처리후의 그루브 상단면 폭, W_u 를 미리 측정된 상태에서 펄스 전해연마처리 후

측정한 그루브 상단면 폭의 길이변화를 나타낸 것으로 35% 이상의 duty factor 영역에서 급속히 폭의 길이가 감소하는 경향을 나타내었다. 50%의 duty factor 펄스조건을 기준으로 분석해보면 전체적으로 초기상태보다 약 0.2mm 증가하였으며 이는 약 22~23%의 그루브 상단면 폭 감소율을 나타내고 있어, 상기의 관점에서의 초기의 미세 그루브 형상이 약 77%이상 유지되고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

펄스전원을 적용한 마이크로 전해가공 후의 펄스 전해연마 처리를 복합적으로 수행한 결과 표면 거칠기의 향상과 더불어 표면에 잔재하는 검은 부식층이 완전히 제거되었음을 알 수 있었다.

50%의 duty factor 펄스전해연마 조건을 기준으로 표면거칠기, 그루브 깊이, 경사각, 그루브 상단면 폭을 분석해 보면 Fig. 8 에서와 같이 각각 23.0%, 29.01%, 23.02%, 24.95%의 비중을 가지고 있어 그루브 깊이와 그루브 폭 보존율이 다소 높은 비중을 차지함을 알 수 있다. 따라서 추후에는 표면거칠기의 향상과 경사각의 보존을 위하여 각 파라미터의 더욱 정밀한 제어가 필요하다.

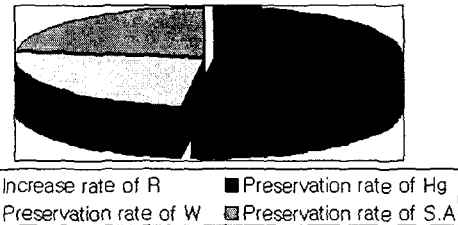


Fig. 8 Comparison of relative importance in EP

참고문헌

- McGeough, J. A., "Principles of Electro-chemical Machining," Chapman Hall, London, 1974.
- K. P. Rajurkar, D. Zhu, J. A. McGeough, J. Kozak, A. De Silva, "New Developments in Electro-Chemical Machining," CIRP, Vol. 48, No. 2, pp. 567-580, 2000.
- J. W. Park, E. S. Lee, C. H. Won, "Development of Electrochemical Micro Machining for Air-Lubricated Hydrodynamic Bearings," ASME, 12th annual symposium on ISPS, 2001.
- E. S. Lee, J. W. Park and Y. H. Moon, "Development of Ultra Clean Machining Technology with Electrolytic Polishing Process," International Journal of KSPE, Vol. 2, No. 1, pp. 18~25, 2001.