

냉간 금형용 공구강의 Cu 전극을 이용한 방전 탭에 관한 연구

이은주*, 박인수*, 김후권**, 왕덕현***, 정한식****, 이광성****,#

*한국폴리텍대학 창원캠퍼스, **쌍용자동차, ***경남대학교 기계공학과,
****경상대학교 에너지기계공학과, 해양산업연구소

A Study on the Electrical Discharge Machining Tap by using Cu Electrodes of the Cold-Work Tool Steel

Eun-Ju Lee*, In-Soo Park*, Hu-Kwon Kim**, Duck-Hyun Wang***, Han-Shik Chung****, Kwang-Sung Lee****,#

*Changwon Campus of KOREA POLYTECHNIC., **Ssangyong Motor Company Machining Team,
***School of Mechanical Engineering, Kyungnam University,

****Department of Energy and Mechanical Engineering, Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University

(Received 2 August 2016; received in revised form 19 August 2016; accepted 25 August 2016)

ABSTRACT

Currently, an EDM tapping procedure has comprised some parts of the engraving discharge process for the press die. Usually, tapping has been used in cases where we are unable to mechanically machine using steelwork processes due to an increase in the hardness of a material after heat treatment in relation to a design change or missing process. Here, we analyze the influence of discharge tap shape on discharge time, discharge current, and the number of repetition conditions when a cold-work tool steel (STD11) has been treated with a discharge tapped by a screw-shaped cu electrode.

The most important influence on processing condition has been determined to be the number of discharge repetitions. As this number increases, the angle reduction of a thread closes to an angle of the electrode via a power generation reduction. The optimal combination of conditions has been determined to be three discharge repetitions, 180 μ s of discharge time (same as existing regulations), and 25.4A of peak current. A 0.2749db advantage has emerged after comparing between this combination of optimal conditions and the SN rate of existing regulations.

Key Words : EDM(방전가공), EDM Tap(방전탭), Design of experiments(실험계획법)

1. 서 론

방전가공은 공구전극과 공작물 사이에 전기에너지

를 이용한 스파크를 발생시켜 이때 발생한 열에 의해 고온에서 가공하는 특수 가공법이다.^[1,2] 방전가공은 공작물이 전기적으로 전도체이지만 하면 기존 절삭가공으로 가공이 힘든 고경도 합금, 초경합금, 고강도 합금 그리고 열처리 후의 소재도 가공이 가능하다는 장점이 있다.^[3] 또한 공구전극과 공작물간의 물리적인

Corresponding Author : lks815@naver.com

Tel: +82-55-772-9110, Fax: +82-55-772-9119

접촉이 발생하지 않아 가공장비나 공구의 강성도가 가공정밀도에 영향을 주지 않는다. 공구전극을 가공할 수 있는 한 기계가공이 어려운 불규칙한 형상의 가공물도 쉽게 가공할 수 있고, 미세한 구멍이나 홈 등의 가공도 쉽게 할 수 있는 장점이 있다.^[4]

최근 방전가공 관련 연구는 마이크로 크기의 가공과 방전 최적화 관련 연구들이 많이 이루어 지고 있으며, Krishna^[5]는 전도성을 가진 SiC를 마이크로 방전할 때 갭 전압, 정전용량, 임계값과 같은 매개변수의 영향을 다루찌 기법과 분산분석법에 의해 실험한 후 분석하였고 Kwon^[6]도 마이크로 구멍 가공 중 생산성을 최대화를 위해 다루찌 기법 등을 사용하였다. Lee^[7]는 홀 관통순간을 평가하는 방법을 제시하는 연구를 하였으며 Kumar^[8]은 다루찌 방법을 이용하여 알루미늄 합금 방전 가공시 소재제거율(material removal rate), 전극소모량(electrode wear rate)에 대한 연구를 하였다. Ferreira^[9]는 동 텅스텐 전극을 사용하여 헬리컬 나사 캐비티 마무리 표면형상에 관한 연구하였으며 Kim^[10]은 가공 부스러기의 효율적 배출을 위해 전극형상을 스크류 형상을 이용하는 연구를 하였다. Ryu^[11,12]는 알루미늄 합금을 와이어로 가공할 때 진동을 부가함으로써 표면 거칠기를 개선하는 방법을 연구하였다.

현재 프레스 금형의 형조 방전 공정에서 방전 탭 가공은 10%정도를 차지하고 있다. 이때 탭 가공은 주로 설계상 변경과 공정상 누락 등으로 인해 열처리 후 경도가 높아져 기계가공을 할 수 없는 공작물 가공에 주로 이루어지고 있다. 방전을 이용한 탭 작업이 실용화가 된 지는 불과 10여년 정도 밖에 되지 않았다. 이러한 이유로 인해 지금까지 방전 탭에 대한 학문적 연구가 제대로 이루어지지 않은 상태이다. 그로인해 현재 방전 탭 가공은 산업현장에서 공정설계자나 작업담당자의 자의적인 판단과 경험적 해답에 의해 방전 탭의 가공이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 열처리 한 냉간 금형용 공구강(STD11)에 나사 형상을 가진 Cu전극으로 방전 탭 가공을 할 때, 방전시간과 방전전류 그리고 방전 반복 횟수라는 조건이 방전 탭의 형상에 미치는 영향을 다루찌 기법을 활용하여 실험계획되고 분

석하여 정밀한 방전 탭 가공을 위한 최적의 가공 조건을 도출하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에서 사용한 장비(Beijing agie charmilles actspark sp-3)의 개요도를 나타내고 있다. 형조방전기의 기본적인 구조는 헤드(head)부분, 작업탱크, 베드, 제어판 등으로 구성되어 있다.

Fig. 2에는 방전 탭 가공시 전극과 공작물간의 작동모습을 나타내었다. 헤드부분에 설치되어 있는 전극은 상하 이동(Z축)을 하며, 베드에 설치되어 있는 시편은 X, Y축으로 동시에 이동하면서 탭 가공이 이루어진다.

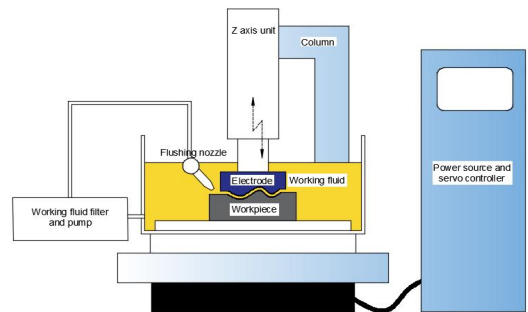


Fig. 1 A Schematic diagram of experimental system

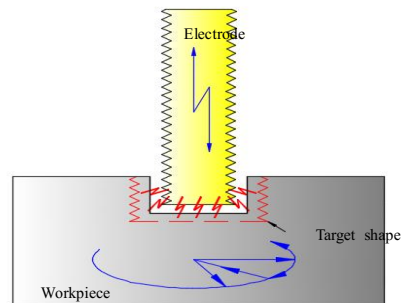


Fig. 2 The tap processing of EDM

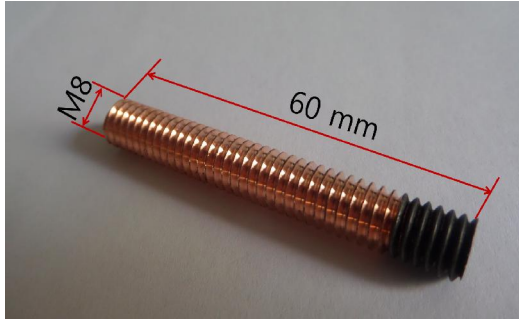


Fig. 3 Electrolytic Copper tool used for machining

2.2 실험재료

M10 탭을 내기위해 본 연구에 사용한 Cu전극은 Fig. 3과 같이 Cu봉을 M8 x 60 mm 나사로 가공하였다. 이때 나사의 피치는 1.5 mm이며 나사산의 각도는 60°로 가공하였다. Table 1에 전극의 속성을 나열하였다.

본 연구에 사용한 시편은 75 mm x 20 mm x 15mm 냉간용 금형 공구강을 준비하였다. 냉간용 금형 공구강은 고C, 고Cr 강으로 열처리 이후 높은 경도를 유지하고, 치수 변화가 적고, 냉간 상태에서 내마모성 우수하여 가공품을 냉간 상태에서 가공하는 공구용도로 사용한다. 시편은 Fig. 4와 같이 CNC기계로 방전 탭 가공할

Table 1 Properties of Cu tool

| Property | Value |
|------------------------|------------------------|
| Composition | 99.9% Cu |
| Melting point | 1084.62 °C |
| Density | 8.96 g/cm ³ |
| Brinell hardness | 235-878 MPa |
| Electrical resistivity | 16.78 nΩ·m |

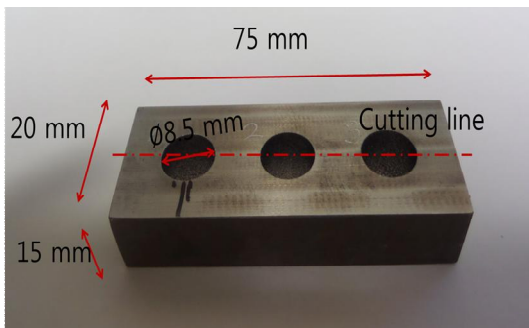


Fig. 4 STD11 workpiece

Table 2 Chemical composition of the STD11(wt. %)

| C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | V |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 1.40 | ≤0.40 | ≤0.60 | ≤0.03 | ≤0.03 | 11.00 | 0.80 | 0.20 |
| 1.60 | | | | | 13.00 | 1.20 | 1.20 |

Table 3 Heat treatment condition and hardness of STD11

| Treatment | Value |
|---------------|-------------|
| Quenching | 1,040°C A.C |
| Tempering | 180°C A.C |
| Hardness(HRC) | 62 |

위치에 방전 가공량을 남긴 $\varnothing 8.5$ mm로 세 개의 구멍을 미리 가공하였다. CNC가공 후 시편은 경도를 높이기 위해 진공 열처리하였다. 그리고 열처리 후 시편은 형상의 정밀도를 위해 연삭을 하였다. Table 2와 Table 3에 시편의 화학적 성분과 열처리 조건을 나열하였다.

2.3 실험방법

가공은 시편과 전극을 절연액인 케로신에 담그어 방전 탭 가공을 실시하였다. 또한 전극주변에 설치한 분사노즐을 통하여 절연액이 방전이 일어나는 부위에 집중 분사하고 동시에 방전가공이 진행되는 동안 주축이 상하점핑을 하여 가공 칩의 배출을 원활하게 하였다. Cu전극에 양극(+)을, 시편에는 음극(-)을 연결하였다. 이 실험에 앞서 행한 방전 홀 가공에서 얻은 실험조건을 기반으로 Table 4에 방전 탭의 실험조건을 나타내었다. 이때 Peak current는 방전 전류, Pulse-on Time과 Pulse-off Time은 방전시간 및 휴지시간이며 Reference voltage는 방전전압을 의미한다.

Table 4 Experimental conditions

| Experiment Conditions | Value |
|--------------------------|----------------|
| EDM times | 1 2 3 |
| Pulse-on Time(μ s) | 130 180 240 |
| Pulse-off Time(μ s) | 42 |
| Peak current(A) | 14.2 18.4 25.6 |
| Reference voltage(V) | 70 |

Table 5 Experimental layout of L₉ orthogonal array

| EDM times | Pulse-on Time(μs) | Peak current(A) |
|-----------|-------------------|-----------------|
| 1 | 130 | 14.2 |
| 1 | 180 | 18.4 |
| 1 | 240 | 25.6 |
| 2 | 130 | 18.4 |
| 2 | 180 | 25.6 |
| 2 | 240 | 14.2 |
| 3 | 130 | 25.6 |
| 3 | 180 | 14.2 |
| 3 | 240 | 18.4 |

본 실험은 실험계획법 중 적은 수의 실험횟수로 최적의 효과를 찾을 수 있는 직교배열표를 이용한 다투기 기법에 의해 실시하였다. 특성치인 방전 탭 형상에 가장 영향을 줄 것이라 예상되는 제어인자인 방전시간과 방전전류를 3수준으로 설정하고 방전 반복 횟수가 방전 탭 형상에 미치는 영향을 알아보기 위해 방전 반복 횟수를 1~3회까지 3수준의 인자로 설정하여 실험을 실시하였다. 인자가 3개이고 수준이 3수준일 때 사용 가능한 직교배열표 중 실험횟수를 9번으로 줄인 L₉을 이용하여 Table 5와 같이 실험을 실시하였다.

가공을 마친 시편을 Fig. 4에 보는 것과 같이 깊이 방향으로 절단 선을 따라 와이어 방전기를 이용하여 두 조각으로 나누었다. 나누어진 방전 탭을 각각 접촉식 형상 측정기를 이용하여 방전 탭의 형상을 측정하였다. 이때 방전 탭의 형상은 나사의 정밀도의 선정기준 중 하나인 나사산의 각도를 기준으로 판단하였다. 형상 3곳 이상의 나사산을 측정하여 결과 값으로 도출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 방전 탭 형상

Fig. 5에서 보는 것과 같이 방전 탭의 나사산의 각도는 방전 반복 횟수가 증가함에 따라 전극의 나사산 각도(60°)에 가깝게 가공이 된다. 한 번의 방전으로는 나사산의 형상이 완전한 형태를 갖추지 못하다가 방전 반복 횟수가 늘어남에 따라 가공부위의 방전 량의 감소로 인해 나사산의 형상이 전극의 형상과 가까워지는

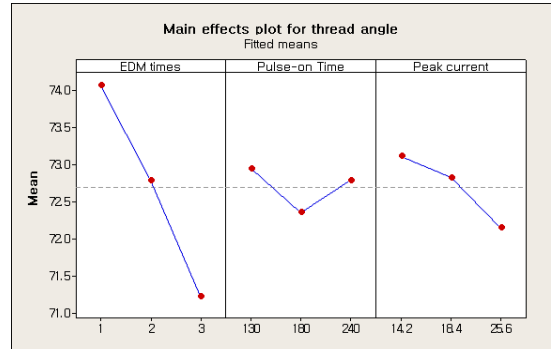
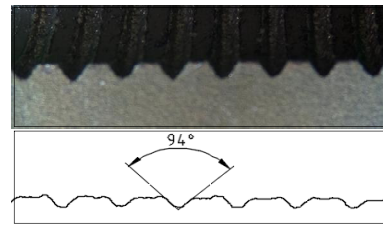
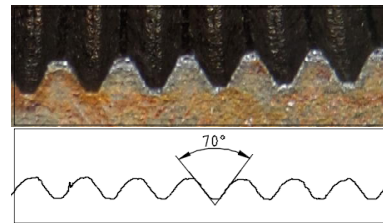


Fig. 5 Main effects plot for thread angle

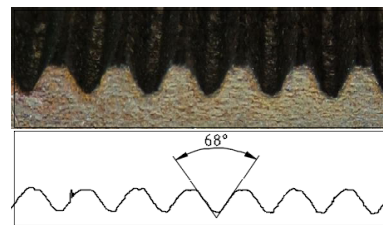
결과가 된다. Fig. 6은 나사의 형상을 찍은 사진과 측정된 형상 그래프를 비교하여 나타내보았다. 평균에 대한 주효과도에서 보여 졌던 결과대로 방전 반복 횟수가 늘어남에 나사산의 각도 값이 작아짐을 알 수 있다.



(a) 1time EDM



(b) 2 times EDM



(b) 3 times EDM

Fig. 6 Compare photo and shape graph of screw

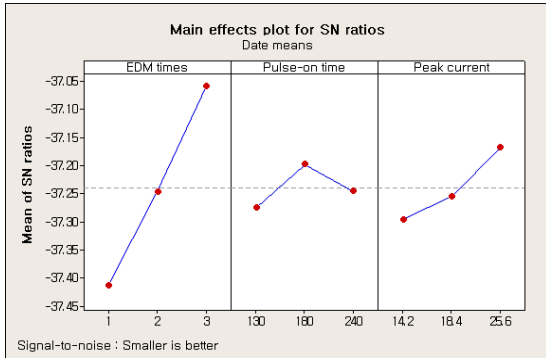


Fig. 7 SN ratio plots for thread angle as response

3.2 신호 대 잡음 비(SN 비)

다꾸지 기법에서 개선을 위한 정도를 나타내는 측정치로 SN비(Signal-to-noise ratio)를 사용한다. SN비는 잡음에 대한 제어 인자의 영향력 정도를 나타낸다. 이러한 SN비 값이 크면 클수록 신호의 힘이 크고 잡음의 힘이 작아지는 것으로 이 SN비 값을 가장 크게 하는 조건이 최적조건이 된다.

$$SN \text{ ratio} = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{noise}}} (\text{db})$$

Fig. 7과 Table 6에 따르면 SN비가 큰 최적조건은 방전 반복 횟수가 3회, 방전시간은 180(μs), 그리고 방전전류가 25.4(A)이다. 개선 효과를 알아보기 위해 최적조건을 현행 실행하고 있는 조건(방전 반복 횟수=2, 방전시간=180(μs), 방전전류=18.4(A))의 SN비와 비교하여 현행 수준의 조합 SN비는 -37.2195(db)이고 최적수준의 조합은 -36.9446(db)이므로 0.2749(db)만큼의 이득이 생기는 결과가 된다.

Table 6 Response table for signal (smaller is better) to noise ratios

| Level | EDM times | Pulse-on Time (μs) | Peak current (A) |
|-------|-----------|--------------------|------------------|
| 1 | -37.41 | -37.28 | -37.30 |
| 2 | -37.25 | -37.20 | -37.25 |
| 3 | -37.06 | -37.25 | -37.17 |
| Delta | 0.36 | 0.08 | 0.13 |
| Rank | 1 | 3 | 2 |

Table 7 ANOVA for SN ratios

| Level | DF | Seq SS | F-값 | P-값 | Contribution (%) |
|-------------------|----|----------|--------|-------|------------------|
| EDM times | 2 | 0.190744 | 11.445 | 0.080 | 78.71 |
| Pulse-on Time(μs) | 2 | 0.009301 | 0.56 | 0.642 | 3.84 |
| Peak current(A) | 2 | 0.025640 | 1.54 | 0.394 | 10.58 |
| Error | 2 | 0.016657 | | | 6.87 |
| Total | 8 | 0.242342 | | | 100.0 |

3.3 분산 분석(ANOVA)

분산 분석(ANOVA-Analysis of variance)을 하는 이유는 통계적으로 유효한 파라미터를 찾아내고 결과값에 영향을 주는 파라미터의 중요도를 밝혀내기 위해서이다.

Table 7에 따르면 방전 탭의 나사산의 각도에 가장 영향을 주는 인자는 방전 반복 횟수이다. 각 인자의 기여도를 보면 방전 반복 횟수(78.71%), 방전전류(10.58%) 그리고 방전시간(3.84%) 순으로 방전 탭의 나사산의 각도에 영향을 준다. 분산분석하면 모든 인자가 95%에 유의하지는 않지만 다꾸지 기법은 '현실적으로 조금이라도 개선된다면 그리고 인자의 수준을 바꾸는데 비용이 들지 않는다면 개선되는 조건을 선택한다'라는 원칙이 있다. 그러므로 현행 수준보다 문제의 개선인자로 찾은 방전 반복 횟수(2회→3회)와 방전전류(18.4(A)→14.2(A))의 수준을 변경하면 방전 탭 나사의 형상의 정밀도가 개선이 될 것이다.

4. 결론

본 연구를 통해 Cu전극으로 열처리를 한 냉간용 금형 공구강인 STD11을 시편으로 하여 방전 탭 가공을 한 후 방전시간과 방전전류 그리고 방전 반복 횟수라는 조건이 방전 탭 형상에 미치는 영향을 다꾸지 기법에 의해 계획하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 방전 탭의 형상에 방전 반복 횟수와 방전시간 그리고 방전전류 모두 영향을 끼쳤다.
2. 분산분석에 의하면 방전 탭의 형상에 가장 중요한 영향을 주는 가공조건은 방전 반복 횟수이다.
3. 방전 반복 횟수가 증가함에 따라 방전량 감소로 나사산의 각도가 전극의 각도 값에 가깝게 작아진다.
4. 최적 수준의 조합은 방전 반복 횟수 3회이고 방전시간은 현행과 같은 180(μ s), 그리고 Peak current가 25.4(A)이다. 이 조합으로 현행 수준의 SN비와 비교하여 보면 0.2749(db)만큼의 이득이 생긴다.
5. 반복 횟수와 방전시간 그리고 방전전류라는 가공조건 중 방전 반복 횟수가 방전 탭 형상을 결정하는 나사산의 각도에 가장 큰 영향을 주었다.

후 기

“본 연구는 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No. 2015R1D1A1A01058030)”

REFERENCES

1. D.D. DiBitonto, P.T. Eubank et al., "Theoretical models of the electrical discharge machining process. I. A simple cathode erosion model," *Journal of Applied Physics*, Vol. 66, No. 9, pp. 4095-4103, 1989.
2. Song, K. Y., "DEVELOPMENT OF STRIP EDM," A Thesis for a Doctorate, Seoul National University, Republic of Korea, 2012
3. H.C. Tsai, B.H. Yan, F.Y. Huang, "EDM performance of Cr/Cu-based composite electrodes," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 43, No. 3, pp. 245-252, 2003.
4. Kim, C. H., "Improvement of the ED-Drilling Machinability using Multi-hole Electrodes," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 11, No. 5, pp. 88-93, 2012.
5. Krishna, K., S., Anand, S., S., Sanjay, A., "Experimental investigation into the micro-EDM characteristics of conductive SiC," *Journal of Ceramics International*, Vol. 42 No. 1, pp. 1597-1610, 2016.
6. Kwon, W. T., Kim, Y. C., "Process Optimization for Productivity Improvement during EDM machining of a micro-hole," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 21 No.4. pp. 556-562, 2012.
7. Lee, C. S., "A Method of Hole Pass-Through Evaluation for EDM Drilling," *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 38, No. 3, pp. 220-226, September 2012.
8. N. M. Kumar, S. S. Kumaran, L. A. Kumaraswamidhas, "An investigation of mechanical properties and material removal rate, tool wear rate in EDM machining process of AL2618 alloy reinforced with Si3N4, AlN and ZrB2 composites," *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 650, pp. 318-327, 2015.
9. J. C. Ferreira, "A study of die helical thread cavity surface finish made by Cu-W electrodes with planetary EDM," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 34, No. 11-12, pp. 1120-1132, 2007.
10. Kim, B., H., "Micro Hole Machining Using MEDM with Screw-Type Electrode," Master Thesis, Seoul University 1999.
11. Ryu, Ch. W., Choi, S. D., "Characteristics of Surface Roughness Based on Wire Vibration and Wire-cut Electric Discharge Machining of Aluminum Alloy 6061 (I)" *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 2, pp. 100-107, 2015.
12. Ryu, Ch. W., Choi, S. D., "Characteristics of Surface Roughness According to Wire Vibration Wire-cut Electric Discharge Machining of Aluminum Alloy 6061(II)" *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 4, pp. 100-107, 2015.