

## Wire-Cut EDM에서 가공조건에 따른 STD11의 가공특성에 관한 연구

이홍길<sup>#</sup>, 김원일<sup>\*\*</sup>, 이윤경<sup>\*\*</sup>, 왕덕현<sup>\*\*</sup>, 김종업<sup>\*\*\*</sup>

### A Study on the Characteristics to working Condition of STD11 in Wire-Cut EDM

Hong-Gil Lee<sup>#</sup>, Won-il Kim<sup>\*\*</sup>, Yun-Kyung Lee<sup>\*\*</sup>, Duk-Hyun Wang<sup>\*\*</sup>, Jong-up Kim<sup>\*\*\*</sup>

#### ABSTRACT

In wire discharge machining which is using STD 11 as die materials, the major factors of machining speed are discharge voltage, discharge current, and discharge time. All of the three factors give the effect.

Increasing of the discharge pulse time gets groove width wider and it relatively increases surface roughness and clearance. If no load voltage is decreased, surface roughness is good but it decreases machining speed. If on time is increased, machining speed will get faster and clearance and offset value also get bigger.

**Key Words** : Machining Speed(가공속도), Wire Discharge Machining(와이어 방전가공), Discharge Voltage(방전인가전압), Discharge Current(방전인가전류), Discharge Time(방전시간), Surface Roughness(표면거칠기), Offset Value(오프셋량), Clearance(가공여유)

#### 1. 서 론

산업 사회가 복잡화되고 제품의 특성이 다양화, 소형화, 다기능화 되어감에 따라 이를 생산하는 금형의 성능도 점차 향상되어 가고 있다. 금형의 성능은 설계도 중요하지만 설계와 동일한 가공이 이루어져야 그 목적을 달성할 수 있다. 방전가공은 높은 경도를 갖는 재질에 보다 더 우수한 가공 성능을 발휘하는

것이며 경질합금, 내열강, 스테인레스 강등의 각종 재질의 절단, 천공 등에 이용된다. 또 열의 영향이 작으므로 가공 변질층이 얇고 내마멸성, 내부식성이 높은 표면을 얻을 수 있는 가공으로서 가공정도가 높고, 타발 금형에서 두꺼운 편치나 다이의 부품을 정밀한 생산가공에 효과적으로 사용할 수 있다는 점이 방전가공의 장점이다. 고도의 정밀도가 요구되는 금형 제품 생산에서 복잡한 형상의 가공, 표면 거칠기와 정밀도를 더욱 높이기 위한 가공방법으로써 본 연구에서는 고정도 가공에 대처한 특수가공법인 와이어컷(wire-cut) 방전가공(Electrical Discharge Machining :EDM)기술의 전문화된 연구가 필요함에 따라 프레스 금형과 사출금형에서 금형 재료로 많이 사용하고 있

# 교신저자 : 경남대학교 대학원 기계공학과  
(현,FANUC KOREA)

E-mail : cncman@hanmail.net

\*\* 경남대학교 기계공학부

\*\*\* 창원기능대학 컴퓨터응용기계과

는 STD11에서 가공 조건에 따른 가공 특성을 알기 위하여 무부하 전압(no load voltage), on time, off time, 서보전압(servo voltage), 와이어 장력(wire tension), 와이어 이송(wire feed), 와이어 재질 등 여러 가지 변수 중 무부하 전압, on time, off time을 변화시키고 나머지 변수를 일정한 값으로 하였을 때 가공 속도, 표면 거칠기, 클리어런스에 대한 가공 특성을 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용한 와이어컷(wire-cut) 방전 가공기는 한국화낙(주)의 FANUC TAPE CUT-W1기종으로 Fig. 1에 도시된 것과 같이 와이어컷(wire-cut)본체, 냉각기, 폐와이어박스, 물탱크로 구성되어 있으며, 기본적으로 자동제어 4축, 수동 이송 1축장치이다.

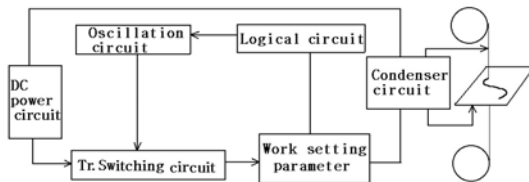
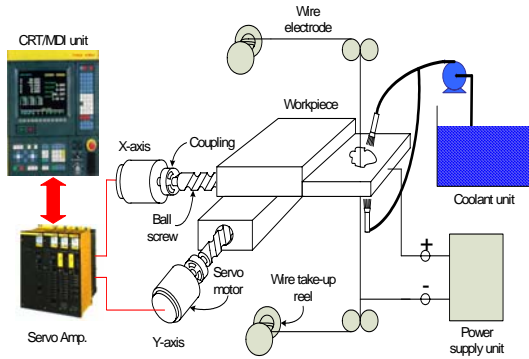


Fig. 1 Principle of wire-cut EDM

가공법은 Fig. 2와 Fig. 3에 나타난 바와 같이 STD11(25×180×30mm)을 밀링 가공하여 열처리한 후 가공 조건 on time과 off time을 변화시켜가며 방전가공에 의한 가공특성 실험을 통해 on/off time 변화에

따른 가공속도의 특성과 on/off time 변화에 따른 표면 거칠기의 특성, 무부하 전압 변화에 따른 가공속도와 표면 거칠기의 변화, 인가전압에 따른 가공조건이 클리어런스에 미치는 영향을 분석함과 아울러 가공 특성치를 파악하였다. 가공시의 가공 포인트에 따라 일반가공, 정밀 공차가공, 표면 정도가공, 속도향상 가공의 기준으로 어떤 가공을 실행하느냐에 따라 그 부분에 맞는 가공특성을 이해하고 가공을 실행함으로써 실 가공에서 가공시간(Cycle time)의 절감 및 표면 거칠기 (Surface roughness) 정도와 가공 Clearance량을 계산한 정확한 offset량을 조절하여 가공할 수 있다.

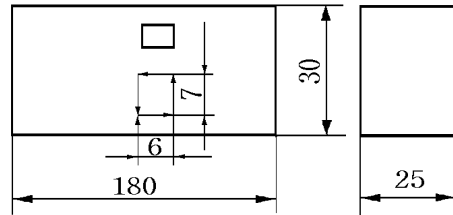


Fig. 2 Workpiece configuration and cutting direction (STD11)

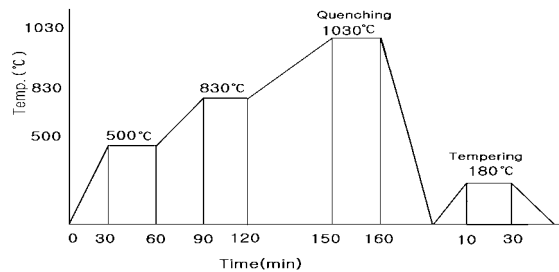


Fig. 3 Heat treatment curve of STD11

가공액은 일반적인 물을 이온 처리하여 많이 사용하며, 물은 증류수에 가까운 상태가 되어야 하기 때문에 수돗물에 이온교환 수지를 넣어 가공액의 비저항이 2 104Ω·cm가 유지되도록 조정하였으며, 수압 분출량은 8 l/min으로 상하부 노즐을 통하여 분출시키고 가공 냉각수의 수온은 20 ±2C로 유지하였다.

본연구 실험에 사용된 기기의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of experimental equipments

No	Experimental equipments	Specification
1	Wire -cut	Max dimension of workpiece : 320×450×150 Max weight : 150kg Table stroke X×Y : 200×350 Max speed of table : 900mm/min Wire diameter : 0.05-0.30mm Wire feed rate : 0-10m/min Model : FANUC W1 (JAPAN)
2	Milling machine	Size : #2 Model : CHUNG SONG CNT - 1300
3	Surface grinding machine	Grinding speed : 1700RPM Measuring accuracy : 0.001mm Model : YOUIL 46-A
4	Surface roughness measuring instrument	Driving speed : 0.05mm/s Measuring range : 10 $\mu$ m Model : MITUTOYO SURFTEST 402
5	Test indicator	Measuring range : $\pm$ 0.05mm Measuring accuracy : 0.001mm

## 2.2 실험 방법

전극인 와이어는 직경이 0.25mm인 황동 재질을 사용하고 와이어 속도는 8m/min, 와이어 장력은 1000 gf 으로 실험하였다. 도전성 재료를 전극으로 하여 이 전극(Wire)과 피가공물(STD11) 과의 사이에 60 ~ 300V 정도의 전압을 양극간에 걸쳐 주면서 간헐적인 화염방전을 일으켜 그와 동시에 발생하는 이상소모 현상을 이용하여 가공하는 방법이다. 일반적으로 대기 중에서 가공은 산화물의 생성으로 가공이 순조롭게 진행되지 않으므로 마주보는 극간의 간격이 대단히 좁은(5 ~ 50 $\mu$ m) 전극과 피가공물 사이에 등유나 물 등의 절연액을 공급시켜 방전작용을 돕고 있다. 또 가공의 진행과 함께 극간 간격은 넓어지는데 전극과 피가공물과의 간격이 일정하게 유지되도록 전극을 상대적으로 이송시켜주는 역할은 서보 기구가 담당한다.

Table 2 Condition of electrical discharge machining

condition	thickness	no load voltage	on time	off time
unit	mm	voltage	$\mu$ sec	$\mu$ sec
division				
1	25	4(80V)	5	15
2		5(85V)	6	20
3		6(90V)	7	25
4		7(100V)	8	30

Table 2와 같이 본 실험에서는 무부하전압(no load voltage)을 80 ~ 100V로 설정하여 1차, 2차, 3차, 4차의 4회에 걸쳐 on time과 off time의 변화를 시도하여 가공특성을 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 가공특성

가공 전원에서 공급된 전기에너지는, 전극과 피삭재간의 좁은 간격에서 상호 양극에 폭발방전을 생성시킨다. 이때 생성되는 방전 전압은 기준전압 즉 무부하 전압의 값에 따라 on time, off time 의 방전 펄스의 효과가 다르게 나타난다 본 연구에서는 실험 가공시 무부하 전압의 특성을 4단계(tab) 기준 4(80V), 5(85V), 6(90V), 7(100V)으로 가공 하였으며 가공 속도 측정 가공 시 on time은 5( $\mu$ s), 6( $\mu$ s), 7( $\mu$ s), 8( $\mu$ s) 으로 설정하여 가공하였으며 표면 거칠기 측정 시는 상기 기준에 off time을 15( $\mu$ s), 20( $\mu$ s), 25( $\mu$ s), 30( $\mu$ s)으로 설정하여 실험 가공하였다. 방전흔의 형상에 영향을 미치는 인자로서는, 가공물 재료 및 전극 재료의 물리적, 기계적 성질, 가공액의 물리적 성질과 가공액 분출 압력, 방전 에너지의 크기 등이 있다. 가공액 비저항치의 정도에 따라 방전 펄스의 2차 융화 방전이 일어난다. 따라서 방전 현상을 일정하게 하기 위하여 무부하전압, on time, off time 등의 일정한 조건하에 가공액 비저항치는  $2 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 으로 하였다. 방전 가공시 무부하전압의 기준은 4단계기준 즉, 4(80V), 5(85V),

6(90V), 7(100V)로 하였으며 on time( $\mu s$ )은 방전 전류의 on 펄스의 폭을 설정하는 것으로 5( $\mu s$ )에서 8( $\mu s$ )의 범위를 설정하였다.

### 3.2 인가전압

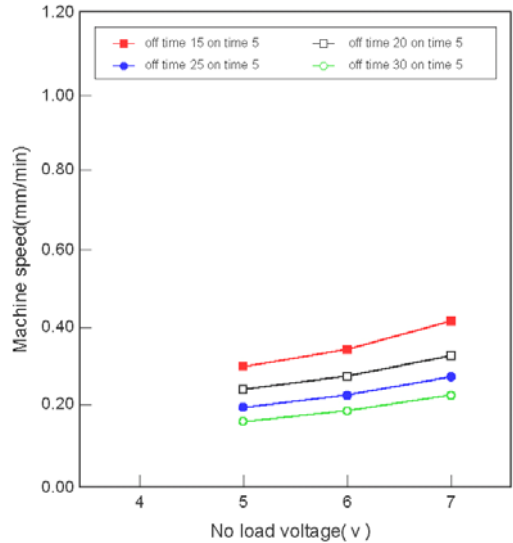
방전시 인가되는 방전 전압의 형성 진행과정은 Table 3에 표시하였다.

**Table 3 Process of discharge**

Dark current
A fine electric current in the state of electrolytic dissociation
↓ Voltage Up
Corona discharge
It occurs in the high position of the order of electric potential in an electrode what is called partial destruction
↓ Voltage Up
Spark discharge
It occurs between electrodes. strong light and sound occur
↓ Current Up
Glow discharge
It is used for stabilized source of light (a neon sign)
↓ Current Up
Arc discharge
Stabilized state discharge

전압을 상승시키면 기체는 전리되어 10-11 ~ 10-9A 정도의 미세한 전류(암류)가 흐른다. 이때 전원전압을 상승시키면 전극표면에 국부적인 절연 파괴에 의하여 코로나 방전이 발생한다. 이 코로나방전은 불안정한 방전 상태이다<sup>5)</sup>. 그 후 점진적으로 전압을 상승시

키면 전자 사태 현상(electron avalanche phenomena)이 일어나 아크 방전으로 이행된다. 일반적으로 불꽃 방전이라 불리는 암류의 상태에서 아크방전 상태까지의 지속시간은 10-7 ~ 10-3 초 정도 짧고 전류 밀도는 10-6 ~ 10-9 /  $cm^2$  가 되어 많은 에너지가 짧은 시간 내에 방출하게 된다<sup>6~9)</sup>.



**Fig. 4 Variation of machining speed according to no load voltage**

Fig. 4는 무부하 전압 변화에 따른 가공속도와와의 관계를 나타낸 것으로서<sup>10, 11)</sup> 그림에서 보는 바와 같이 무부하 전압 변화에 따른 가공속도는 무부하 전압이 증가함에 따라 점차적으로 비례하여 증가되었고 무부하 전압이 4 이고 on time이 5인 경우 낮은 전압 및 단락 램프가 점등하며 가공속도가 너무 느려 정상적인 가공이 불가능 하였다. 무부하 전압이 7volt, on time 8 $\mu s$ , off time 15 $\mu s$ 에서 와이어가 단선 되었다. 전류는 전압에 비례하여 무부하 전압 증가 시에는 전류가 증가하므로 무부하 전압을 증가하면 가공속도가 증가됨을 알 수 있었다.

### 3.3 가공속도와 표면 거칠기 및 클리어런스

가공 조건이 가공 속도에 미치는 영향에 있어서 on time 변화에 따른 가공 속도는 off time을 고정하고

무부하 전압을 4단계 기준으로 하여 on time을 변화시켜가며 검사하였을 때 off time 15 $\mu$ s 일때의 가공 속도는 on time 증가에 따라 크게 증가하는 것을 Fig. 5 와 같이 알 수 있다.

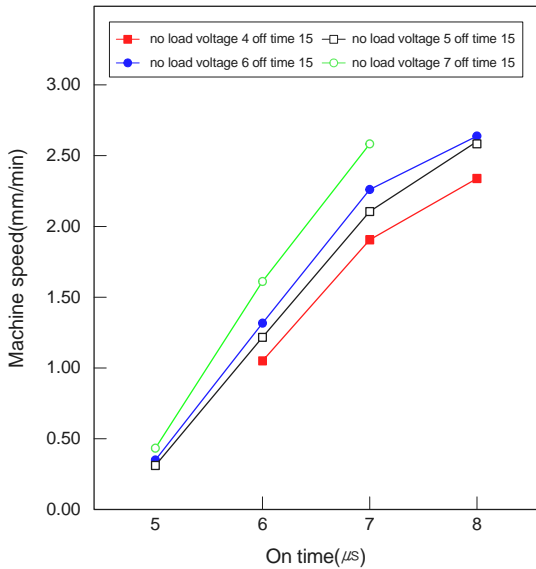


Fig. 5 Variation of machining speed according to on time

단일 펄스 방전에 의한 방전 펄스폭과 가공량은 on time을 증가하면 방전 펄스의 유효시간 증가에 따라 가공량이 증가된다. 따라서 on time 증가시 가공속도가 증가됨을 알 수 있다. off time 변화에 따른 가공 속도와의 관계는 off time 이 증가함에 따라 방전 휴지 시간이 길어지므로 가공속도가 감소함을 알 수 있다. off time을 20 $\mu$ s에서 무부하 전압을 4단계 기준으로 하여 on time을 변화시켜가며 가공 속도를 검사를 하였을 때는 역시 on time 증가에 따라 가공 속도가 증가함을 알 수 있었으며 최고 속도가 전체적으로 약간 낮아지는 것을 Fig. 6과 같이 알 수 있었다.

off time이 높은 상태에서 on time을 증가시키며 가공 속도를 검사 하였을 때는 무부하 전압의 각 단계마다 모두가 완만하고 고르게 가공 속도가 증가하는 것을 Fig. 7과 같이 알 수 있다

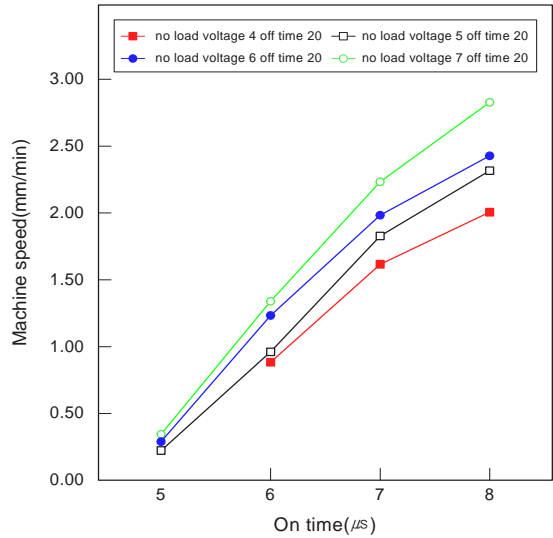


Fig. 6 Variation of machining speed according to on time

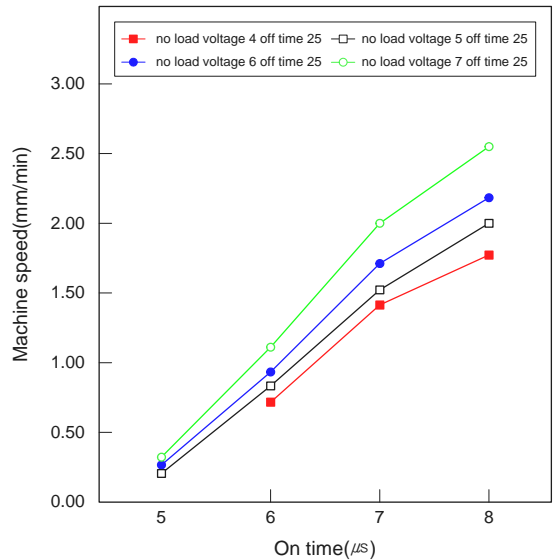


Fig. 7 Variation of machining speed according to on time

가공 조건이 표면 거칠기에 미치는 영향에 있어서는 on time 변화에 따른 표면 거칠기는 off time을 고정하고 무부하 전압을 4단계 기준으로 하여 on time

을 변화시켜가며 검사하였을 때 표면 거칠기가  $3\mu\text{m}$ 의 차이를 보이며 표면 거칠기가 커지고 불량해짐을 Fig. 8과 같이 알 수 있다.

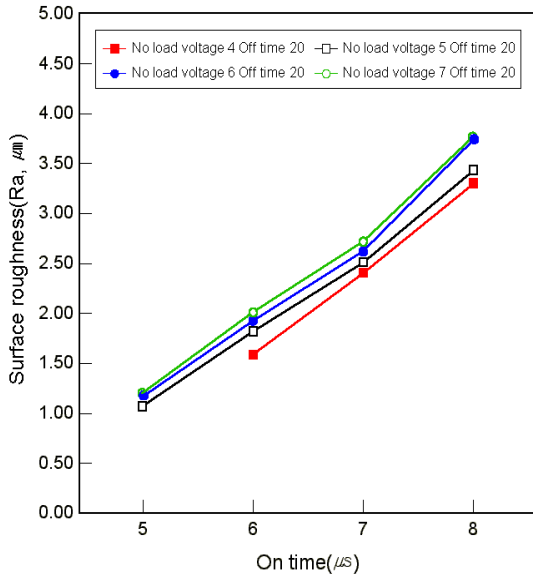


Fig. 8 Variation of Surface roughness according to on time

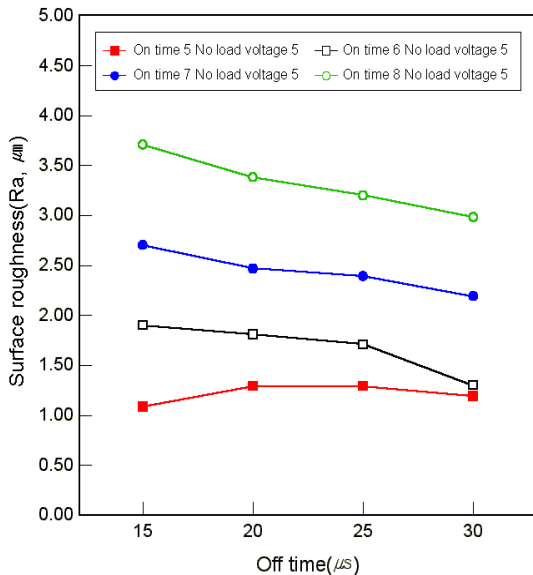


Fig. 9 Variation of Surface roughness according to off time

표면 거칠기는 펄스 폭과 방전전류 인가치가 커지면, 즉 방전 에너지가 커지면 증가하는 경향을 나타낸다. off time 변화에 따른 표면 거칠기는 무부하 전압을 고정하고 on time을 4단계기준으로 하여 off time을 변화시켜가며 검사하였을 때 표면 거칠기의 정도는 on time이 높을수록 거친 정도를 나타내는 것을 알 수 있었으며 같은 on time 범위내에서 off time을 증가시키면 표면 거칠기의 상태가  $1\mu\text{m}$  이내에서 양호하게 나타나는 것을 Fig. 9와 같이 알 수 있다.

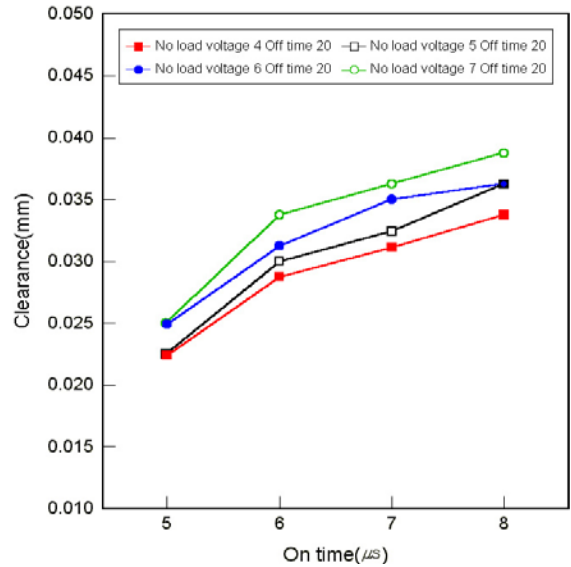


Fig. 10 Variation of clearance according to on time

가공 조건이 클리어런스에 미치는 영향에 있어서 on time 변화에 따른 클리어런스의 변화는 on time이 증가하면 방전 에너지가 증가하게 됨으로 불꽃량이 커지면서 상대적으로 클리어런스량도 커지는 것을 Fig. 10과 같이 알 수 있다.

Off time 변화에 따른 클리어런스의 변화는 off time이 증가함에 따라 방전 휴지시간이 길어짐으로서 방전 에너지가 감소되며 이에 따라 와이어 이송량이 적어지므로 클리어런스가 감소하는 것을 Fig. 11과 같이 알 수 있다.

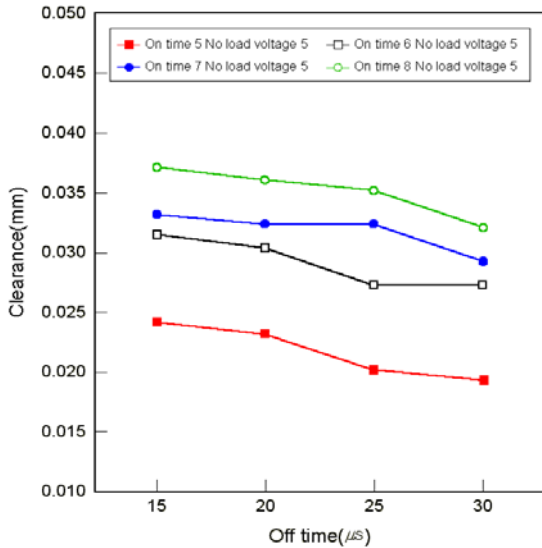


Fig. 11 Variation of clearance according to off time

#### 4. 결 론

본 연구에서는 와이어컷 EDM가공에 있어서 EDM 방전전압의 특성을 연구 분석하였으며 가공시 EDM 조건에서의 인가전압의 변화에 따라 어떤 조건으로의 가공이 STD11 가공에 가장 적합하며 빠르고 정밀한 가공을 구현할 것인가에 대해 연구 실험 결과를 얻을수 있었으며 또한 정밀도를 요구하는 정도에 따라 경제적 가공손실을 줄이고 가공 프로세스에 있어서 시간적 효율을 최대화시키며 특히 STD11재질에 대한 가공조건을 이해함으로써 일반적 금형 가공에 이용되는 와이어컷 가공에 가장 적용접근이 쉽도록 연구 자료화하였다. EDM설정 조건을 단계별 조건으로 변화 시켰을 때 가공속도 및 표면 거칠기, 클리어런스 변화 등의 가공 특성에 대한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

1. 방전 가공의 주요 인자는 on time, off time, 무부하 전압 이 세가지가 가공 성능에 가장 큰 영향을 미침을 알수 있었다 가공 속도는 무부하 전압과 on time을 증가시키면 가공속도가 증가되고 off time을 증가시키면 가공속도는 감소하였다.
2. 방전 펄스의 비례요인 on time과 off time 중 표면

거칠기는 무부하 전압을 85V, on time 6 μs, off time 30 μs로 하였을 때 양호하고, on time이 증가하면 표면 거칠기가 불량해지며, off time을 증가하면 표면 거칠기가 양호해졌다. 즉 표면 거칠기에 중요 가공 변수는 off time이 높을수록 좋은 조도면을 얻을수 있었다.

3. 클리어런스는 on time 및 무부하 전압을 증가시키면 증가하고, off time을 증가하면 클리어런스는 감소하였다.
4. 가공 속도를 증가시키면 표면 거칠기가 불량해지고 클리어런스는 증가 하였다.
5. 극간 전압이 커질수록 방전흔도 커지고 표면거칠기도 거칠어진다.

#### 참고문헌

1. Nagao Saito, "Recent Electrical Discharge Machining Techniques in Japan," Bull. Japan of Prec. Eng., Vol 18, No. 2, pp. 149-152, 1984.
2. Philip T. Eudank, "Theoretical Model of the Electrical Discharge Machining Process," J. Appl. phys. Vol 66, No. 2, pp. 4095-4103, 1989.
3. YOKOI, H., HIRAOKA, H., "Development of A laminated Broaching tool Manufactured by Wire EDM," Annals of the CIRP, Vol. 36, No. 1, 1987.
4. GAP PHENOMENA ; "Study on EDM with Wire Electrode," Annals of the CIRP, Vol. 25, No. 1, 1976.
5. 高井邦生, "ワイヤ 放電加工機の 高能率化對策と 周邊裝置の 活用," 應用機械工學, 第25卷 제2號, pp. 38-43, 1984.
6. 濟藤長男, "放電加工メカニズム," 第29卷 第10號, pp. 17-26, 1963.
7. 柳濟九, 와이어 放電 加工 技術의 發達史, pp. 16-17, 1998.
8. 金智弘, 와이어컷 放電 加工의 加工精度, 하이테크교실, pp. 8-9, 1997.
9. 增井, 清德, "ガラス プラストによる ワイヤ 放電 加工面の 仕上げ研磨," 機械技術 3卷 15號, 1987.

10. 増井ら, “ワイヤ放電 加工面の 電解腐蝕,” 情密工學會誌, Vol. 54, No. 6, 1988.
11. (株) ソデイック 南 清史, “ワイヤカット 放電加工 機の 效果的 實例,” 金屬プレス, Vol. 25, No. 6, pp. 41-46, 1982.
12. 鈴木正彦, “放電 加工に よる 金屬 表面の 改質,” JSPE, Vol. 53, No. 2, pp. 51-57, 1987.
13. 志田伸一, 葉石雄一郎, “ワイヤ放電加工機に よる 加工特性と 高精密加工の 要領,” プレス技術, 第22卷 第7號, pp. 29-34, 1984.
14. 眞鍋明, 葉石雄一郎, ワイヤ放電加工, 日刊工業新聞社, pp. 7-12, 1997.
15. 이재명, CAD/CAM 와이어 放電 加工에 의한 亂削材의 高品位 加工特性에 關한 研究, 博士學位論文, pp. 5-135, 2001.
16. 김종업, 티타늄 合金의 와이어 放電과 精密粒子 加工 特性에 關한 研究, 博士學位論文, pp. 7-136, 2003.
17. 韓國 FANUC TAPE CUT Series, 取扱説明書, pp. 63-332, 2001.