

# 방전가공시 측면 플래싱 장치를 활용한 가공성 향상

신승환\*, 박근+, 맹희영\*

## Improvements of Electro Discharge Machining Process using Side Flushing Devices

Seung-hwan Shin\*, Keun Park+, Hee-young Maeng\*

### Abstract

The discharge gap clearly is to order and to promote the improvement of processing feature of die-sinking electro discharge machining(EDM). If creation carbon, which generated by pyrolysis of EDM oil and processing pace power which is generated in between an electrode and a workpiece, are overproduced, they will lower the processing speed and roughness of the surface.

Therefore, it is gone through an experiment and the flow analysis of EDM oil in order to improve the treatment of processing chips, which is an important problem by contriving a new flushing method. The condition of an electric discharge is not considered to be a progressing of processing. It is assumed that the flow of processing fluid is equal to the flow of processing chip, which is remaining in the discharge gap, and thus, analyzing then comparing with the data of the experiment and investigate its correlation.

**Key Words:** EDM, Side flushing devices, Flow analysis, Experimental investigation of EDM characteristics.

### 1. 서론

방전가공은 금형산업에서 필수적인 가공법으로, 일본이나 미국, 독일 등 선진국의 경우, 금형제작의 전체 가공시간에서 약 60~70%를 방전가공이 차지하고 있다.

방전가공의 가장 우수한 장점은 재료의 경도에 무관하게 별도의 기계적인 추가가공 없이도 미세하거나 복잡한 가공물 표면을 높은 형상정밀도로 가공이 가능하다. 그렇지만 방전가공은 미세한 방전에 의하여 피가공물 재료를 제거하는 방식이기 때문에 다른 기계가공방식에 비하여 단위시간당의 금속제거능률이 떨어져 가공시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

최근에는 가공운전의 감시·무인화, 가공 안정성, AJC (Auto Jump Control) 및 서보기구의 피지 최적제어기술 등을 통해 방전능률을 더욱 높임으로써 가공속도를 고속화시키려는 추세로 발전하고 있다.<sup>[1,2]</sup>

그러나 방전가공이 진행되는 과정에서는 전극과 피가공물 사이에 가공칩, 가공액의 열분해에 의해 생성되는 탄소 가스 등 많은 가공생성물이 발생하기 때문에 방전능률을 높이는 데에 한계가 있다. 전극과 피가공물 사이의 생성물은 전극의 운동에 의한 가공액의 유동에 따라 적당한 밀도로 존재할 경우에는 방전에 도움을 줄 수 있지만, 필요이상 과잉으로 존재하게 되면 가공속도 및 표면거칠기를 저하시키는 주된 원인이 된다.

\* 발표자, (주)경동보일러

+ 서울산업대학교 기계설계자동화공학부 kpark@snut.ac.kr, maeng@snut.ac.kr

주소: 139-743 서울시 노원구 공릉동 172번지

그 때문에 칩 배출기구는 방전능률과 균일한 다듬질 면에 영향을 미치는 가장 중요한 비전기적 인자이다. 특히 가공 생성물이 배출되기 어려운 깊은 홈이나 복잡한 전극형상의 경우, 또는 전극면적이 넓은 경우에는 가공효율이 극히 저하하게 되어 오래 전부터 외부로부터 유체효과를 이용하여 강제적으로 칩을 제거하는 배출기구, 즉 플러싱 장치(flushing devices)를 사용하려는 시도가 있었다. 지금까지 적용되고 있는 대표적인 플러싱 방법으로는 분출법, 흡인법, 분사법이 있지만, 방전가공의 종류나 전극의 형상에 따라서 적용상의 단점이 나타나고 있어 실용상 장애가 되고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 단점들을 보다 효율적으로 극복하고 실용적으로 적용하기 쉬운 새로운 유형의 칩 배출 장치로서 측면 플러싱 장치(Side Flushing Devices)를 고안하였다.

본 장치는 공작물의 상면에 덮개를 씌우고 전극이 경계면을 가공하면서 들어가는 기구이다. 그렇게 함으로써 전극의 한쪽 면은 덮개판의 내부에, 다른 면은 외부에 위치하게 되어 안에서 밖으로 가공액이 유동하고 이 흐름을 따라 칩이 효과적으로 배출되도록 제작하였으며, 추가 가공이나 장비가 필요 없이 경제적으로 활용될 수 있는 장점이 있다.

이에 따라 본 연구에서는 방전특성과 관련하여 가공액의 유동해석을 통해 측면 플러싱 장치의 특성 메커니즘을 실증적으로 검증하고자 하였다. 방전 챔버에서 발생하는 유동기구를 유한요소법을 통해 해석하였으며, 그 결과를 실험적으로 검토하는 과정을 통해 전극과 피가공물 사이에 쌓이게 되는 칩을 보다 효과적으로 배출시킬 수 있는 방안을 도출하고자 하였다.

## 2. 방전특성 및 플러싱장치

### 2-1. 방전가공의 주요 파라미터

Fig. 1은 단발방전 및 연속방전의 전압·전류 파형이며, 안정된 전극의 이송과 이상적인 가공칩의 배제 등을 고려한 최적의 방전가공조건을 결정하기 위해서는 가공인자의 각각에 대한 영향을 정확하게 해석할 수 있어야 하지만 이는 대단히 어려운 일이다.

가공성능과 밀접한 연관이 있는 대표적인 파라미터는 피크전류치( $I_p$ ), 펄스온타입( $\tau_p$ ), 휴지시간( $\tau_r$ ) 등과 같

은 전기적 요소가 있으며 방전가공에 있어서 가공속도 및 표면거칠기, 전극 소모율에 영향을 주며 가공안정성과 밀접한 관련이 있다<sup>[3]</sup>.

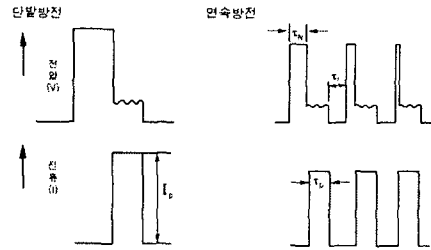


Fig. 1 Voltage and electric current of wave form in EDM

또한 비전기적인 요소로서는 가공액의 유동상태, 서보기구의 응답성, 가공액의 순도 등으로 구분할 수 있으며, 방전 가공액은 전극과 피가공물의 간극이 매우 좁기 때문에 점도가 높은 것은 적당하지 않아서 지금은 케로신 등 저점도의 기름을 사용하고 있는데, 이는 방전 후 생성되는 가공칩을 빠르게 냉각시켜 고체로 만듦으로서 전극 측에 부착되는 것을 방지하고, 또한 가공칩의 이동을 쉽게 하여 방전의 반복을 증진시켜 준다. 또한 가공액은 주로 휴지시간 사이에 비산된 분해가스, 가공칩, 타르 등을 극간 밖으로 배출하여 연속방전을 안정하게 해준다. 그리고 방전의 충격력에 의해 용융된 방전점과 기화된 수증기를 비산시키고, 극간의 잔류이온을 냉각함과 동시에 신속하게 소결시켜 절연의 회복을 빠르게 한다.

### 2-2. 플러싱 방법

#### (1) 분출·흡인법

전극 또는 공작물에 가공액 통과구멍을 가공하여 거기서부터 극간에 가공액을 강제적으로 흐르게 하는 방법으로 가공 생성물의 제거를 확실하게 할 수 있으나 전극이나 공작물에 분출·흡인구멍을 가공하여야 하는 단점이 있다<sup>[4]</sup>.

#### (2) 분사법

분사법은 깊은 슬릿(slot)의 가공처럼 전극에 분출·흡인법이 곤란한 경우 전극의 측면에서 틈새를 향하여 가공액을 강하게 분사하여 극간에 흘리는 방법이다. 전극이나 공작물에 별도의 가공이 필요 없기 때문에 다른 플러싱 방법

보다 적용하기 쉬운 장점이 있으나 가공면적이 넓은 경우 가공액을 극간에 균일하게 흐르게 하기 위해서는 분사노즐의 배치 설계가 복잡하다<sup>[5]</sup>.

### 2-3. 측면 플러싱 장치의 원리

형조방전가공(Die-Sinking EDM)에서는 공작물은 가공액에 침지된 상태에서 램에 설치된 전극에 의하여 가공이 이루어지며 방전 중에는 피가공물과 전극사이에는 가공생성물이 발생하므로 이를 배출하기 위해서 공작물과 전극의 갭 사이로 가공액을 강제적으로 공급하여 준다. 가공면적이 커지면 균일한 분사가 어려워지며 분사가 약한 곳에서는 칩이 쌓이게 되므로 집중방전을 일으키기 쉽다. 이러한 이유로 다듬질 가공이나 전극의 면적이 넓은 경우에는 Fig. 2 처럼 AJC의 펌프작용을 병행하여 원활하지 못한 칩의 배출을 보완하기도 한다.

그러나 분사 도중에 잔류하고 있는 칩을 제거하고자 전극이 Jump할 경우에도 제거되지 못한 가공생성물에 의해 방전의 집중이 발생하여 가공의 정밀도를 저하시킨다. 또한 전극의 하강시에 분사되는 가공액이 전극이나 공작물에 충돌함으로써 실질적으로 극간에 주입되는 것은 분사노즐을 통해 공급되는 것에 비하여 극히 소량에 불과하다.

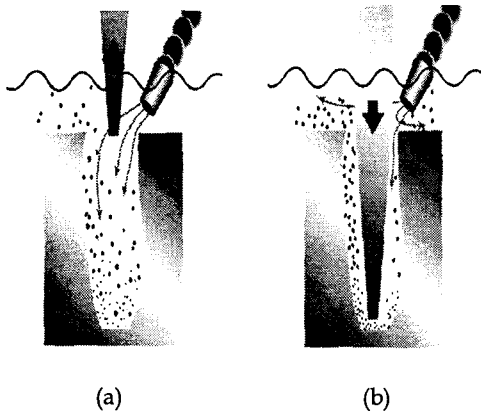
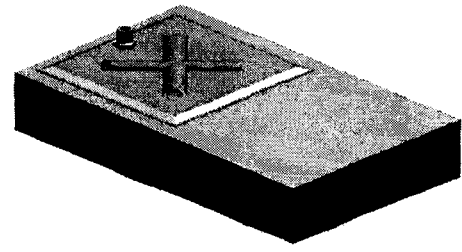


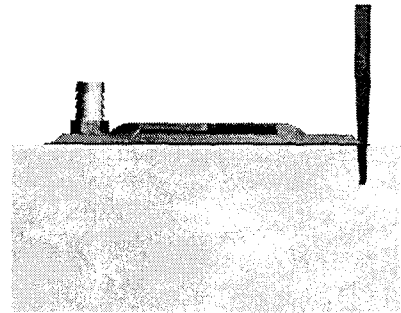
Fig. 2 Open flushing method with Auto Jump Control.

이를 극복하고자 본 연구에서는 Fig. 3(a)에서 보이는 바와 같이 연속적인 테두리를 갖는 하부판과 그 둘레를 따라 수직하게 연장되어 있는 내부공간이 형성된 상부판에 가공액을 공급시켜주기 위해서 분사노즐을 부착한 측면 플러싱

장치를 구상하였다. 그리고 Fig. 3(b)는 측면 플러싱 장치를 이용하여 방전가공을 수행하는 단면도를 보여주고 있다. 방전가공의 시작과 동시에 전극이 측면 플러싱 장치의 일부를 전극의 형상과 동일하게 가공하여 전극과 피가공물의 갭처럼 상부판과 전극사이에 극간이 형성된다. 또한 측면 플러싱 장치의 일부가 절단되면서 상부판의 공간이 외부로 개방됨과 동시에 분사노즐을 통해 유입되는 가공액이 상부판과 하부판 사이의 내부공간을 거쳐 노즐부와 가까운 안쪽의 전극과 공작물사이에 형성된 미세한 간극으로 들어가 바깥쪽으로 흘러나오게 된다. 따라서 방전시간에 상관없이 내부공간에 일정한 압력이 유지되므로 가공면적이 넓은 경우나 깊은 슬릿의 가공 등에서도 극간에 잔류하고 있는 칩은 가공액과 함께 완전히 배출된다.



(a)



(b)

Fig. 3 Side Flushing Devices attached before on workpiece.

### 3. 가공액의 유동해석

#### 3-1. 유체에 대한 가정과 경계조건

본 연구에서 사용된 가공액은 Newtonian 유체로 가정하였으며, 가공진행 중에 방전이 이루어질 때의 상태 변화는 무시했다. 가공액이 분사되는 입구에서의 유속이 1,013 mm/s이기 때문에 마하수는 0.3보다 작으므로 비압축성으로 가정하였고, 열전달에 의한 온도변화를 고려하기 위해 유동해석과 열해석이 동시에 수행되는 ANSYS의 CFD모델인 FLOTRAN<sup>[6]</sup>으로 모델을 2차원으로 단순화하여 연성해석을 수행하였다.

본 유동해석은 입구에서 층류를 형성하여 아래 부분으로 유체가 들어오면서 흐름이 급격하게 변화하게 되어 난류를 형성(Reynolds수 4000 이상)하게 되므로, Standard  $k-\epsilon$  모델을 사용하였다. 이때 Navier-Stokes 방정식에 미지수의 개수를 방정식의 수에 맞추어 줄여야 하는 난류식의 완결문제(closure problem)가 발생하게 되어, 이를 해결하기 위하여 난류 와점성 모델(turbulent eddy viscosity model)에 따르도록 하였다.

한편 고체벽(rigid impermeable walls)에 대한 경계조건으로는  $v_{wall} = 0$ 인 경우를 고려하여 벽경계(wall boundary)에서는 모든 속도가 0이 되므로 벽면 근처에서의 속도기울기가 급격해지고 따라서 벽면 전단력이 증가하기 때문에, White와 Launder and Spalding가 제안하는 “Log-Law of the Wall” 벽함수(wall function) 방정식을 사용하였다.

#### 3-2. 측면 플러싱장치의 모델링

본 연구에서는 방전가공의 기본 모델로서 Fig. 4(a)에서 보이는 바와 같이, 기름 등의 가공액으로 채워진 5~50 $\mu$ m 정도의 극간에 공구전극과 피가공물 간에 아크방전을 발생시키고, 매초 수 1,000~수 10,000회의 방전이 발생하여 하나의 펄스로 절연 파괴가 생기는 장소에서 방전전류가 집중되어 아크기둥을 형성하고, 그 즉시 전류밀도가 높은 전자가 흘러 피가공체의 한 점을 때리는 원리를 적용하였다.

이에 따라 Fig. 4(b)에서 보이는 바와 같이 하시모토(하시もと)의 분광분석에 따라 아크기둥의 온도가 6,000~7,000K에 달하고 금속의 녹은 부분은 가공액과 닿아서 다시

응고하여 작은 구슬모양으로 비산하여 가공액과 함께 극간에서 배출되는 것으로 하였다.<sup>[7]</sup>

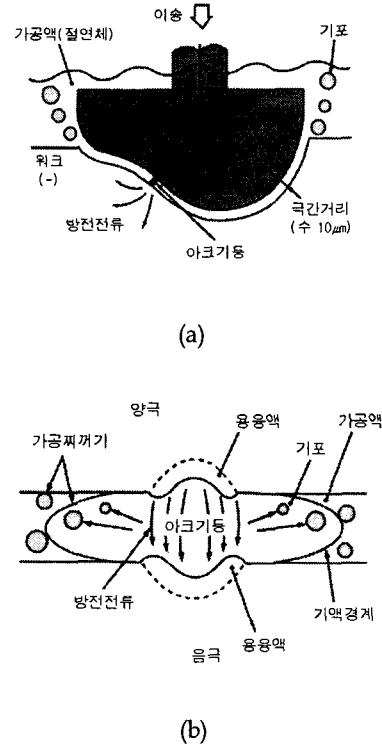


Fig. 4 The concept of EDM and pillar of an arc.

이때, 난류 열·유동 해석은 ANSYS의 FLOTRAN을 사용하였다. 방전가공에서 피가공물에 발생하는 열 분포를 해석하려면 방전 발생시마다 방전이 발생하는 위치가 달라지는 방전모델을 개발해야 한다. 따라서 이 열발생 문제를 수치 해석적 방법으로 접근하려면 피가공물과 전극의 형상을 모델링한 후 방전 시마다 제거되는 피가공물과 전극의 형상을 보정하여 실시간으로 방전현상을 해석할 수 있는 모델의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이를 단순화하여 가공이 진행되는 동안의 방전형상은 고려하지 않았으며, 가공칩은 극간이라는 유로를 통과해서 배출구로 빠져나가는 가공액의 흐름과 같다고 가정하였다. 또한 해석을 통해서 전극과 피가공물의 고온사이를 흐르는 가공액의 속도를 구한 후 실험 데이터와 비교하여 이의 상호연관성을 중심으로 해석하였다.

Fig. 5는 피가공물에 측면 플러싱장치를 부착한 후 전극

을 이용하여 가공이 이루어지고 있는 가공깊이가 5mm일 때 입구 쪽으로 유입된 가공액이 극간을 거쳐 출구로 빠져 나가는 흐름을 보여준다.

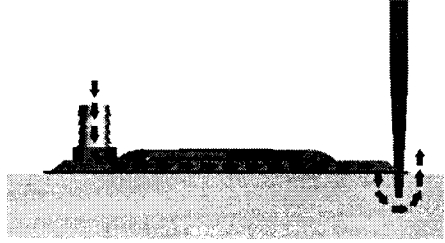


Fig. 5 The flow path of EDM oil.

위와 같은 유동을 예측하기 위해 입구에서 출구까지의 가공액의 경로를 계산하기 위해 Fig. 6과 같이 해석 영역을 정의하고 경계조건을 부과하였다. 방전가공은 펄스온타입 ( $\tau_p$ )과 휴지시간( $\tau_r$ )의 반복에 의해서 이루어지며, 이러한 방전조건에 따라서 극간에서의 온도분포도 달라지게 된다. 본 연구에서 전극과 피가공물의 표면온도는 東京農工大學大學院의 夏恒<sup>[8]</sup> 등이 차분법을 이용해서 비정상열전도해석방법으로 시뮬레이션을 행한 Die-Sinking EDM에서의 평균온도를 취하였다. 또한 전극과 피가공물의 표면은 극간에서 방전유가 흐르는 단면의 폭과 동일하게 모델링하였다.

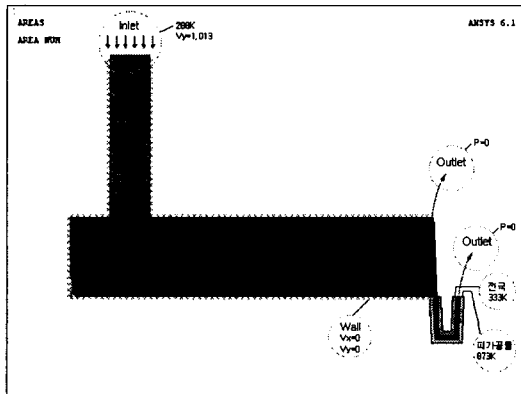


Fig. 10 Analysis domain and boundary condition.

EDM oil은 (주)KHS의 바이트르-2를 사용하였고 주요 물성치는 Table 1과 같다. 전극은 99.9% 순동으로, 피가공물은 용접구조용 압연 강재인 SM45C으로 선정하였으며, 각각의 물성치를 Table 2에 요약하였다.

Table 1. Material properties of EDM oil

Material Properties	EDM OIL
Density [kg/mm <sup>3</sup> ]	0.76
Viscosity [mm <sup>2</sup> /s]	1.881
Thermal Conductivity [W/mm-C]	1.53328×10 <sup>-4</sup>
Specific Heat [N-mm/kg-C]	1,994,099

Table 2. Material properties of non-fluid.

Material Properties	Workpiece	Electrode
Specific Heat [N-mm/kg-C]	485,742	385,000
Density [kg/mm <sup>3</sup> ]	7.861×10 <sup>-6</sup>	8.9×10 <sup>-6</sup>
Thermal Conductivity [W/mm-C]	0.0498	0.393

### 3-3. 유동해석 결과

방전가공의 진행에 따른 유동의 변화를 고려하기 위해 전극의 가공깊이를 5mm 단위로 증가시켜가며 해석을 수행하였다. 입구에서 유입된 유체는 측면 플러싱 장치의 하부판에 부딪히고 일정한 높이의 내부공간을 거쳐 두 개의 출구를 통해 유출되는데, 처음에는 전극과 방전이 이루어지는 상부판으로 빠져나가고 다음으로 피가공물과의 실질적인 방전가공이 이루어지고 있는 극간 사이를 통과하게 된다.

Fig. 7은 X-Y단면에서 각 깊이마다의 분사되고 있는 가공액의 속도분포이다. 방전시간이 길어질수록 상부판에서의 속도가 상승함에 따라 극간에서는 점점 하강하였다. 즉 가공깊이가 깊어질수록 가공액에 의해서 배출되는 가공생

성물의 양도 이에 비례하여 작아짐을 알 수가 있다.

Fig. 8과 9는 두 출구에서의 속도분포를 벡터로 본 것이며, 상부판의 출구에서 유속의 최대점이 발생하였다. 극간의 입구에서 출구까지 층류와 난류상태를 반복하는 간헐유동(intermittent flow)이며, 교란이 증·감하고 있다. 또한 분사입구를 기준으로 전극과 마주보고 있는 방향을 안쪽으로 했을 때 피가공물의 표면에 흐르는 유속을 바깥쪽과 비교한 결과, 전극의 바깥쪽 간격이 안쪽보다 다소 크게 나타나는데, 이는 극간을 흐르는 가공액의 유속이 커질수록 가공침의 배출량이 많게 되므로 연속방전이 보다 안정적으로 일어난다는 것으로 고찰할 수 있다.

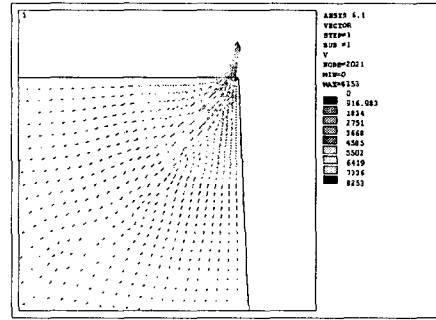


Fig. 9 Velocity profile in the upper part of the Side Flushing Devices.

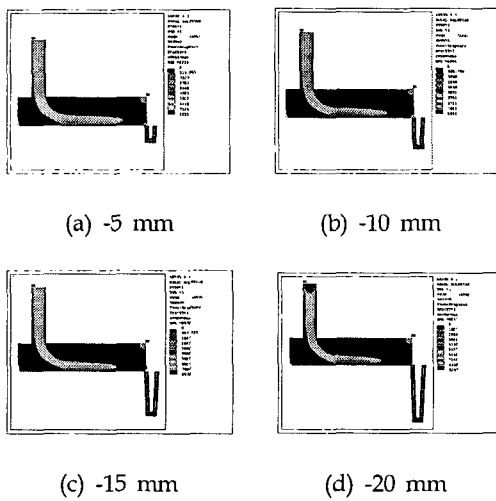


Fig. 7 Velocity distribution of processing depth.

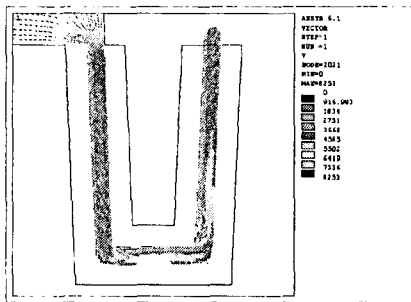


Fig. 8 Velocity profile in the discharge gap.

가공깊이에 따른 극간에서의 유속을 비교한 결과에 따르면, 가공깊이가 깊어질수록 극간을 흐르는 유속이 조금씩 느려지므로 이에 따라 처음 5mm보다는 20mm로 갈수록 방전시간도 길어지겠지만, 유속의 감소하는 기울기가 완만한 것으로 보아 방전시간에 있어서 큰 차이는 없는 것으로 나타나고 있다. 그리고 협소한 저부가공은 분출·흡인법이 곤란하기 때문에 분사법을 사용하게 되는데, 이 경우 깊이가 깊어질수록 대부분의 유량은 전극과 피가공물에 부딪혀 일부만 틈새로 유입이 된다. 그래서 AJC와 함께 펌프작용을 병행하는데, 본 장치를 사용함으로써 전극의 면적이 넓거나 가공액을 분사하기가 곤란한 형상에 있어서 다른 플러싱법과 비교해 볼 때 가공효율을 보다 극대화할 수 있는 사실을 뒷받침해 주고 있다. 또한 분사가 약한 곳에서는 집중방전을 일으켜 가공물에 많은 손상이 발생하는데, 가공면 전체에 균일한 분사가 이루어지므로 2차방전의 발생을 극소화시켜 가공면 성상이 향상될 것이라는 사실과 일치하고 있다.

Fig. 10에는 각 깊이에서의 출구속도 프로파일을 도시하였다. X축은 극간의 거리를 나타내고 있으며, 관의 중심에서 가장 빠른 유속을 가지고 벽면으로 갈수록 유속은 점점 줄어들게 되고 벽면에서의 속도는 0이 되는데, 이는 관내 유동해석의 안정성을 보여주고 있다.

### 3-3. 열전달해석에 의한 온도분포 예측

외부 열원에 의해 열이 고체를 통해 전달되고 내부에는 일정 온도를 가진 유체가 흐르고 있는데, 먼저 Fig. 11과 같

이 피가공물의 대류 열전달해석을 통하여 온도분포를 구한 후 FLOTRAN에서 유동과 열의 연성해석을 수행하였다. Fig. 11은 2개 출구에 대해 방전가공동안 극간에 대한 평균 온도분포를 나타낸 것으로 여기서 X축 항목인 거리의 0과 5는 각각 전극과 피가공물의 경계이며, 전극과 피가공물의 표면온도는 가공깊이가 깊어질수록 아주 미소하게 증가함을 보여주고 있다. 이러한 유동해석을 통해 측면 플라싱 장치를 활용해서 극간 사이에 잔류하고 있는 가공칩의 흐름을 분석함으로써 보다 안정된 플라싱 장치의 설계에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

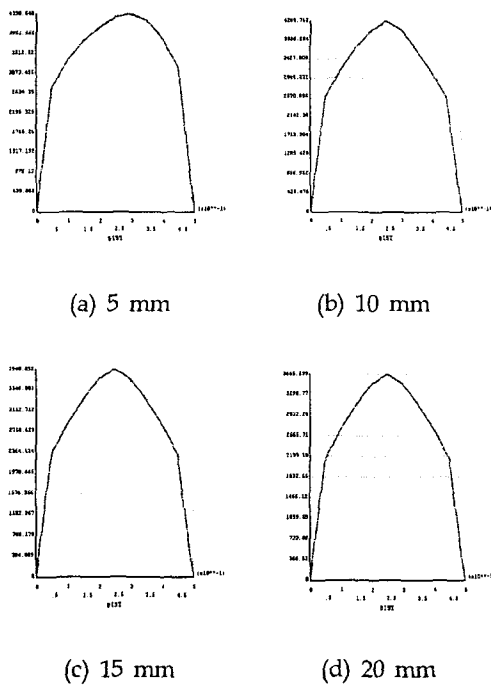


Fig. 11 Path plot of the outlet velocity w.r.t. processing depth.

#### 4. 측면 플라싱 장치의 성능평가 실험

##### 4-1. 실험장치 및 방법

고안된 측면 플라싱 장치는 방전가공조건 이외에도 형상 및 압력 등 여러 변수에 따라 그 성능이 달라지게 된다. 본

연구에서는 Fig. 14에서 보이는 바와 같이 박스형의 밀폐구조로 측면 플라싱 장치를 알루미늄 소재로 제작하였는데, 치수의 정확성을 기하기 위하여, 밀링가공으로 홈을 파내어 밀폐된 공간을 형성시켰다. 한편 전극에 있어서는 협소한 저부가공 시에 칩이 배출되는 정도를 쉽게 비교할 수 있도록 Fig. 15에서 보이는 바와 같이 테이퍼가 들어간 깊은 홈의 형상을 사용하였다. 피가공물에 있어서는 금형의 일반부품 및 Die Plate에 많이 쓰이는 용접구조용 압연 강재인 S M45C 탄소강을 사용하였다.

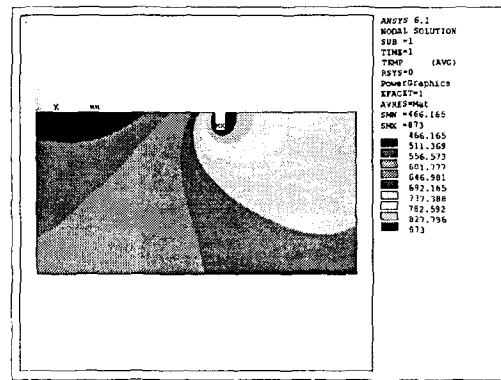


Fig. 12 Temperature analysis results in the workpiece.

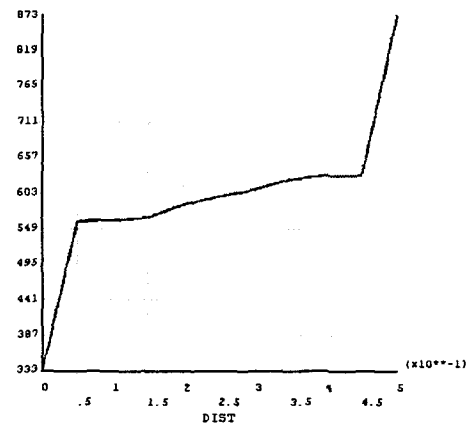


Fig. 13 Temperature distribution regarding outlet w.r.t. processing depth.

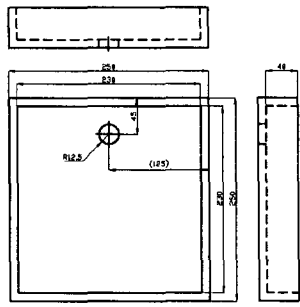


Fig. 14 Drawing of a side flushing devices.

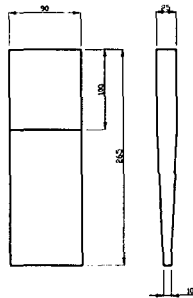


Fig. 15 Drawing of a copper electrode.

실험은 (주)진영정기의 형조방전가공기 JDE-30U모델기계를 사용하였으며, Table 3에 제시된 조건으로 기존의 플러싱방법과의 가공시간을 비교하였다.

Table 3. EDM processing conditions using a test.

가공조건	단위	측면플러싱	분출법	흡인법	분사법
펄스온타입( $\tau_p$ )	$\mu s$	100	100	100	100
휴지시간( $\tau_r$ )	$\mu s$	20	20	20	20
피크전류치( $I_p$ )	A	11	11	11	11
가공전압	V	50	50	50	50
분사압	kg/cm <sup>2</sup>	1.0	-	-	1.0
분출압	kg/cm <sup>2</sup>	-	1.0	-	-
흡인압	cmHg	-	-	20	-
A-D (Jump time)	sec	-	1	1	1
A-U (Jump height)	mm	-	0.6	0.6	0.6

여기서 측면 플러싱장치를 부착하지 않은 분출법, 흡인법, 분사법은 가공하는 도중에 아크가 생겨 방전이 중단되었기에 AJC와 병행하여 안정적으로 가공을 수행하게 되었다. 방전능률의 차이는 가공조건에 따라서 다양하게 변화할 수 있는 것이기 때문에 피크전류치( $I_p$ ), 펄스온타입( $\tau_p$ ), 휴지시간( $\tau_r$ )은 통상의 가공조건대로 설정하였다. Fig. 16은 전극이 측면 플러싱장치의 내부공간을 지나 실질적으로 피가공물이 가공되어 그 극간 사이에서 검은색의 가공칩이 배출되는 모습을 보여주고 있다.

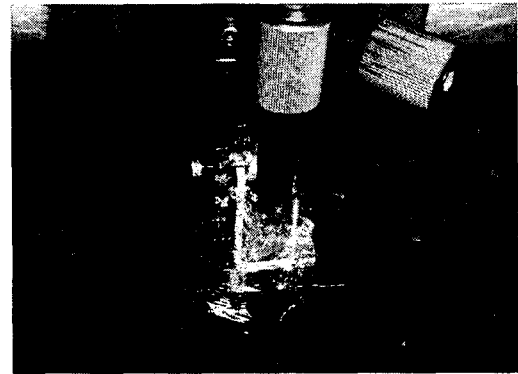


Fig. 16 EDM process using side flushing devices.

#### 4.2. 실험결과 및 고찰

##### (1) 해석결과와 실험치 상호연관성

극간 사이를 흐르는 가공액이 빠르게 흐를수록 방전속도도 이에 비례하게 된다. 앞서 해석된 결과와 같이 Fig. 17의 실험결과에서도 가공깊이에 따른 극간에서의 유속의 기울기는 가공시간의 증가율이 다른 플러싱 방법과 비교할 때 매우 완만하게 변화하고 있음을 보이고 있다.

가공이 완료된 후에는 간극게이지 두께에 알맞은 시험편을 방전갭 입구에 삽입하여 근사적인 두께를 측정하였는데, Table 4에서처럼 바깥쪽의 간격이 0.05mm 더 크게 나왔다. 또한 전극의 표면거칠기도 측면 간격과 마찬가지로 안쪽의 경우보다 바깥쪽이 조금 더 큰 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 측면 플러싱장치는 가공능률을 향상시키기 위해 별도로 피가공물을 예비가공해 두는 경우나 황삭가공에 보다 적합한 것으로 판단된다.



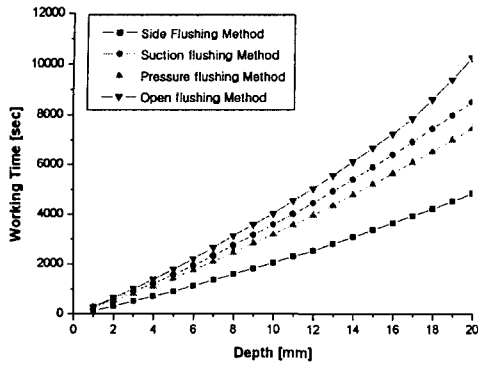


Fig. 17 Comparison of processing time

Table 4. Comparison of the surface roughness and the gap size.

surface roughness	$\mu R_{max}$	left	11.2
		right	13.1
gap amount	mm	left	0.15
		right	0.20

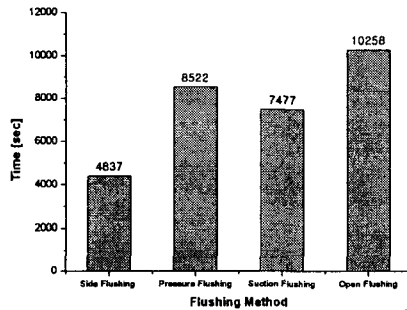


Fig. 18 Total time taken to work 20mm of processing depth.

### (2) 기존 플라싱 방법과의 비교

측면 플라싱 장치의 효과를 검증하기 위하여 본 실험에서는 우선적으로 칩 배출능력이 우수한 여러 가지의 플라싱법을 대상으로 실험을 실시하였는데, Fig. 18에 깊이 20mm

를 가공하는데 걸리는 총 작업시간을 비교하였다. 이 결과에 따르면, 다른 플라싱 방법의 경우보다 약 1/2 정도로 가공시간을 단축시킬 수 있음을 알 수 있다. 그리고 깊이가 깊어질수록 작업시간이 더욱 현격한 차이를 나타내고 있는데, 이는 측면 플라싱 장치를 사용함으로써 피가공물을 관통하거나 깊은 홈의 가공에 더욱 효과적임을 증명해 주고 있다.

### (3) 가공면 성장

각각의 플라싱 방법에 따른 방전가공면을 전자현미경으로 관찰하는 실험도 병행하였는데, 본 실험결과에 따르면 측면 플라싱법을 제외한 분출·흡인법, 분사법에서는 검은색의 가공칩이 제대로 배출되지 않아 축적된 모습을 볼 수 있었다. 방전유 속에 찌꺼기의 양이 많으면 많을수록 방전을 촉진시키지만, 그 정도가 심해져서 이렇게 특정한 곳에서 가공분이나 기타 분해물이 축적되면 그 위치에서만 방전이 집중되어 공작물에 결함을 남기게 되므로, 본 장치를 부착하게 되면 분사압이 일정하게 유지되어 방전가공도중에 필연적으로 생성되는 가공분 등을 다른 플라싱 방법보다 효과적으로 배출하여 아크가 생겨 방전이 중단되는 것을 방지할 수 있는 특성을 간접적으로 검토할 수 있었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 방전가공시 기존의 플라싱 장치들이 갖는 단점을 극복시키는 새로운 측면 플라싱 장치를 고안하였으며, 가공액의 유동과정의 수치해석과 실험적 결과들을 통해 그 효과의 우수성을 검증하였다. 이러한 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 측면 플라싱 장치는 가공액 대부분이 전극과 공작물 사이의 간극내로 공급이 되어 기존의 플라싱방법에 비해 방전속도가 2배정도 향상되었으며, 가공액의 압력 또한 상부판의 내부공간 전체에 걸쳐 일정하게 분산되어 가공깊이마다 균등한 작업시간을 유지할 수 있음이 확인되었다. 또한 방전가공이 진행되면서 특정한 곳에서 가공칩이나 기타 분해물이 축적되지 못하게 함으로써 가공면 성장을 향상시켜 줄 수 있었다.

(2) 가공면적이 넓은 깊은 홈 가공의 실험조건에서 기존

의 플래싱 방법에서는 아크가 생겨 방전이 중단되거나 가공이 지체되는 경우가 있었으나, 본 측면 플래싱 장치를 사용함으로써 이를 예방하여 가공시간을 단축할 수 있었다.

(3) 가공이 완료된 후 양쪽의 갭을 측정한 결과 약간의 차이가 있었으나, 이는 0.05mm 이하로 실용성에 문제가 없음을 확인되었다.

(4) 측면 플래싱 장치를 부착함으로써 방전이 이루어지는 부분에 깨끗한 방전유가 공급되며, 방전이 이루어지는 동안 가공깊이에 상관없이 극간에 일정한 온도분포가 유지되므로 보다 안정적인 방전가공을 유지할 수 있었다.

### 참고문헌

- (1)金子 雄二, “放電加工の新制御技術”, 応用機械工學, 1991.
- (2) 劑藤 長男, “放電加工の技術の現況と將來”, 工業調査會 發刊「機械と工具」誌, 1998. 9.
- (3) 주상윤, 이진범, “전극의 3차원 측정데이터로부터 방전 가공조건 결정”, 한국공작기계학회지 Vol. 9, No. 5, 2000.
- (4) 三菱電機(株), “放電加工のしくみと100%活用法”, 技術評論社, 1985.
- (5) 増澤 隆久, 崔 小新, “放電加工にみるフラッシングの効果”, 応用機械工學, 1991.
- (6) ANSYS® “ANSYS/FLOTRAN Education Manual”, (주)태성에스엔이, 2002.
- (7) 國枝 正典, “知りたい放電加工の基礎と前望”, ツールエンジニア誌, 2000.
- (8) Heng XIA, Masanori KUNIEDA and Nobuhiko NISHIWAKI, “Simulation of Electrode Surface Temperature in Die-Sinking EDM Process”, Journal of the Japan Society of Electrical-Machining Engineers, Vol.30, No.64, 1996.
- (9) 野口 博史, “放電加工油の最近の動向”, 三菱石油 技術資料, 1993.
- (10) 武藤 一夫, “放電加工機”, 工業調査會 發刊「機械と工具」誌, 2000. 1.
- (11) 맹희영 외 4인, “방전특성과 이송특성의 물리적 모델링 및 실험적 검증”, 대학산업기술지원단-(주)진영정기 연구개발 보고서, 1998.