

# 전극 소모비에 기초한 방전 조건 생성 Determination of EDM Parameters based on Electrode Wear

주상윤(울산대학교) 이건범(홍성기능대학), 왕지남(아주대학교)

Sang-Yoon Ju(Ulsan Univ), Keon-Beom Lee(Hongsung College), Gi-Nam Wang(Aju Univ)

## ABSTRACT

Electrical Discharge Machining, with its ability to machine hard metals and tough shapes has become a very desirable process. In the past few years, Electrical Discharge Machining (EDM) has been solidly established in tool-room and large-scale production. However, in spite of its indispensability in many areas of metal removal applications, the theoretical basis of EDM process is yet to be established. More importantly, the information regarding essential technology parameters such as machining rate and resulting surface roughness integrity, has not been raised to the level of a general technical science.

The paper presents a method, which can be determining appropriate machining parameters for the given parameters such as electrode wear and surface roughness based on machining guideline utilizing neural networks.

**Key Works :** EDM(Electrical Discharge Machining), 전극소모(Electrode wear)

### 1. 서론

방전이란 고체, 액체, 기체로 된 절연체에 전류가 흘렀을 때의 현상으로 동, 그래파이트 등의 비교적 가공이 쉬운 도전성 재료를 공구전극으로 하고 강, 초경합금 등을 피가공물로 하여, 그 사이에 60-300V정도의 인펄스 전압을 인가하면, 간헐적인 불꽃방전이 발생하는데, 그때 발생하는 이상소모 현상을 이용한 가공법을 방전가공 이라 한다 [1-14]. 방전가공은 방전조건에 따라 제품의 표면 거칠기, 가공시간, 전극소모율 및 가공확대 폭 등과 같은 방전특성이 변하게 된다. 방전특성에 영향을 미치는 전기조건으로는 방전전류 피크치  $I_p$ , 방전전류 펄스폭  $\tau_p$ , 휴지시간  $\tau_r$  등이 있으며, 이들을 적절히 선정하여 가공하면 황삭이나 정삭 등 목적에 적합한 가공속도 및 표면거칠기를 만족할 수 있다. 전극은 방전의 진행과 더불어 피가공물과 함께 소모되며, 전극 소모율은 전기조건에 따라 다르나, 소모 정도에 따라 사용 목적이 구분되어 적용되어야 하므로 본 연구에서는 무소모, 중소모, 유소모의 3영역으로 크게 분류하였다.

일반적으로 전극소모비 1%이하인 소모구간을 무소모 영역이라 하며 이 소모 영역에서는 전극의 소모가 거의 발생하지 않으므로 방전량이 많은 황삭에 가장 적합하다, 전극소모비 1-4%인 중소모 영역은 가공속도와 표면정도 모두를 중요시 하여 황삭에서 사상까지 하나의 전극으로 가공할 때 적절하며, 전극소모비 4%이상인 유소모 영역은 가공속도보다는 표면정도를 중요시하는 사상에 적합한 영역이다[4,6]. 따라서, 방전가공 시 전극의 소모정도와 가공속도 및 제품의 표면거칠기를 고려하여 가공목적에 적합한 전기조건을 선정하는 일은 매우 중요한 일이다.

본 연구에서는 전극소모율을 고려하여 제품의 요구사항을 만족하고 생산성을 향상시킬 수 있는 적절한 방전조건을 선정하기 위한 방안으로 방전기 제조회사인 J사에서 수년간의 경험을 기초로 작성한 가공조건 성능표를 학습데이터로 이용하여 목적에 부합되는 방전조건을 결정할 수 있는 신경망을 구축하였다.

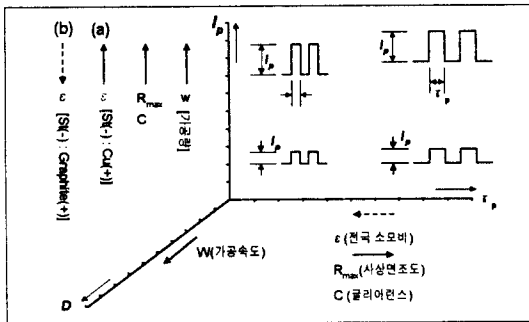
표1은 전극소모비를 기준으로 적합한 가공방법을 나타낸 것으로 가공 시 이러한 조건을 고려하여 가공조건을 결정하여야 한다.

<표1> 전극 소모율에 따른 가공 방법

구분	가공방법
무소모	저부가공에 많이 사용 전극하나로 여러개를 균일한 깊이로 가공 할 때 황삭으로 고속가공 할 때 전극의 단면적이 적은 코어 등의 사상가공 할 때
중소모	속도를 중시하고 방전상태가 안정되게 가공할 때 황삭에서 사상까지 하나의 전극으로 가공할 때 관통가공에 사용
유소모	표면거칠기를 중시한 사상가공 시 측면에 미려한 면을 요구하는 관통가공 시 특수 난해한 가공 시

## 2. 전기 조건과 가공특성

대표적인 방전가공 특성으로는 가공속도, 표면 거칠기, 가공확대 폭(over cut) 및 전극소모율 등이 있으며, 이러한 방전특성은 주로 방전전류 최대치  $I_p$ , 방전전류 시간 폭  $r_p$  에 의해 결정된다. 그림1은 전기조건의 변화에 따른 방전가공특성으로, 방전전류 최대치  $I_p$ 와 방전전류 시간 폭  $r_p$  가 크면 가공속도는 빠르게 되며, 사상면 거칠기는 거칠어지고, 가공확대 폭은 커진다. 전극소모비는 방전전류 시간 폭  $r_p$  가 크면 소모비가 감소하고, 방전전류 최대치  $I_p$  가 커지면 증가하는 경향이 있다.



<그림 1> 전기조건과 가공특성

이러한 조건이외도 방전에 영향을 미치는 대표적인자들은 다음과 같다.

- 방전전류 최대치  $I_p$  : 극간에 흐르는 최대전류로 방전가공에 가장 큰 영향을 미치는 방전조건중의 하나이다. 방전전류 최대치가 크면 방전속도는 증가하지만, 표면거칠기 및 가공확대 폭이 커지고 전극소모율이 증가한다.
- 방전전류 펄스폭  $r_p$  : 방전전류가 흐르는 시간으로 가공속도 및 전극소모와 밀접한 관계가 있다.

방전전류 펄스폭이 커지면 가공속도는 증가하고 표면거칠기가 거칠어지나 전극소모율이 감소한다.

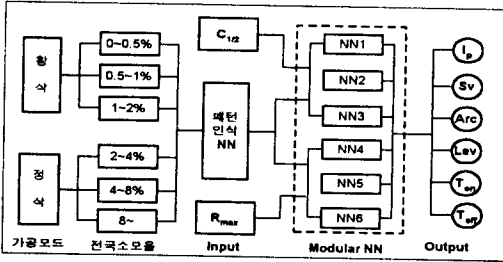
- 휴지시간  $\tau_r$  : 방전전류의 흐름을 차단하는 시간으로 방전의 안정과 밀접한 관계가 있다. 휴지시간을 짧게 하면 가공속도는 빨라지지만 방전이 불안정해 가공속도가 저하될 수 있고 더 심하면 전극 형상에 손상이 갈 수 있다.
- Level : 번호가 낮을수록 전압(V-m)이 낮아지고 반면에 전류(A-m)는 높아진다. 전압이 35V(V-m)이하의 전극의 손상이 갈 수 있고 방전이 불안정할 수 있으므로 사용이 어렵다.
- Arc Level : Arc상태를 검출할 수 있는 민감도를 나타낸다. 번호가 낮을수록 Arc검출이 둔감하고 번호가 높을수록 Arc검출에 민감하다.
- Servo Gain : 램의 응답속도를 나타내는 것으로 번호가 낮을수록 램의 응답속도가 느리고 번호가 높을수록 램의 응답속도가 빠르다

## 3. 신경망 모델링

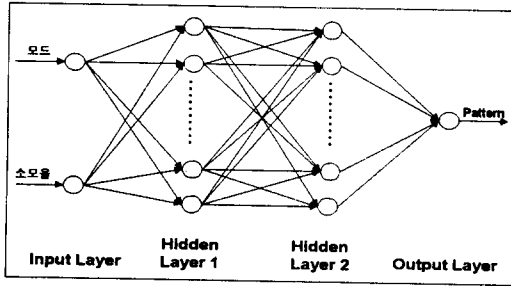
최근 수학적으로 난해한 다양한 문제들을 해결하는데 인공 신경망(ANN) 모델이 성공적으로 적용되어 이 분야에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. McCullogh and Pitts(1943), Widrow and Hoff(1960)는 수학적 모델링에 큰 역할을 두었으나. 최근의 연구는 컴퓨터 시뮬레이션과 대면스트레이션을 통한 이론적 분석에 역점을 두고있다. 가장 빈번히 사용되는 신경망 구조는 다층 사상 신경망으로, 이것은 어떠한 비선형문제도 근사화 할 수 있고, 다 변수사상을 가능하게 할 수 있다는 사실이 Kolmogorov(1957)에 의하여 증명되었다. 신경망은 반복적인 학습과정을 통하여 이러한 능력을 갖게 되는데, 이것은 신경망의 연결강도인 파라미터를 최소자승법에 의해 점차적으로 조정하여 사상을 근사화 할 수 있도록 한다[15-19].

본 연구에 적용된 신경망의 전체 구성도는 그림2와 같이 패턴인식 신경망과 가공조건결정 신경망으로 구성되어있다. 그림3의 패턴인식 신경망은 전극소모율에 따라 표2와 같이 패턴을 분류하여 제품에 요구되는 오버컷이나 표면조도에 따라 주어진 조건에 해당되는 패턴을 구할 수 있도록 2-k-k-1의 구조로 구성되었으며, 그림4의 가공조건 결정신경망은 표3와 같이 전극 소모율에 해당하는 가공특성(오버컷, 표면조도)에 적합한 가공조건을 생성할 수 있도록 전극소모율에 해당하는 6개의 전문 신경망이 1-n-n-6의 구조로 구성되어있다. 여기서 패턴인식

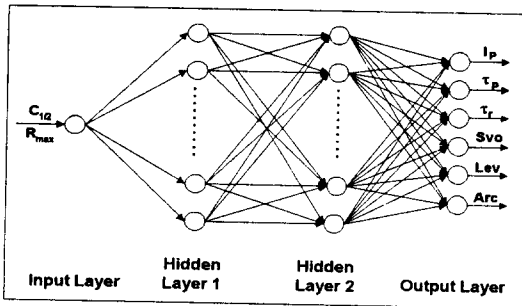
신경망을 적용한 이유는 전극소모율에 적합한 6가지 모드를 하나의 신경망으로 통합된 신경망을 구축하면 성질이 다른 학습데이터 군을 하나로 통합하여 학습이 이루어 지므로 만족스럽지 못한 결과를 초래하게 되므로, 주어진 방전모드와 전극 소모율을 고려하여 이에 적합한 전문 신경망을 선택하기 위한 것이다. 패턴인식 신경망을 이용하여 적절한 패턴이 결정되면 결정된 패턴에 적합한 전문 신경망에서 적절한 방전조건을 결정할 수 있도록 하였다.



<그림 2> 네트워크 구성도



<그림3>패턴인식 신경망



<그림4> 전문 신경망

<표2> 방전모드에 대한 패턴

가공모드	bit 1	bit 0		Pattern
		전극 소모율		
황삭	0	0.5% 이하	0	1
		0.5-1%	1	2
		1-2%	2	3
정삭	1	2-4%	0	4
		4-8%	1	5
		8이상	2	6

<표3> 무소모 전극에 대한 방전조건

C <sub>1/2</sub>	τ <sub>p</sub>	τ <sub>r</sub>	I <sub>0</sub>	S <sub>v</sub>	Arc	Lev
99	100	30	6	3	1	2
108.5	120	30	6	3	1	2
112	120	30	9	3	1	2
125.5	120	30	10.5	3	1	2
134	200	30	12	3	1	0
142.5	200	30	13.5	3	1	0
160	200	30	21	3	1	0
169.5	200	30	22.5	3	1	0
181	200	30	24	3	1	0
195	240	30	24	3	1	0
202.5	240	30	30	3	1	0
210	300	30	30	3	1	0
231	300	30	36	3	1	0
237.5	360	50	36	3	1	0
272	500	50	36	3	1	0
288.5	500	50	42	3	1	0
300	500	50	47.25	3	1	0
340	700	50	47.25	3	1	0

#### 4. 실험결과

전극소모비를 고려한 방전조건을 결정하기 위하여 고안된 본 신경망의 적응성을 평가하기 위하여 다양한 실험을 하였다.

표4는 패턴인식 신경망의 성능을 평가하기 위하여 가공모드에 해당하는 코드와 전극 소모비에 해당하는 코드를 입력으로 했을 때의 신경망 결과를 나타내며, 표5는 조건결정 신경망의 성능을 평가하기 위하여 학습되지 않은 자료를 입력으로 했을 때의 결정된 방전조건 집합을 나타낸 것이다.

그림 5는 조건결정 신경망의 학습데이터와 학습된 결과를 그래프로 나타낸 것이며, 그림6은 학습되지 않은 임의의 데이터에 대한 신경망의 결과를 나타낸 것이다.

<표4> 패턴인식 신경망의 실험결과

가공모드	소모율	목표값	신경망출력
0	0	1	1
0	1	2	2
0	2	3	3
1	0	4	4
1	1	5	5
1	2	6	6

## 5. 결론

본 연구는 2단계 신경망을 이용하여 목적에 적합한 방전조건을 결정하기 위한 것으로, 1단계 신경망은 방전패턴을 결정하고, 2단계 신경망은 1단계에서 결정된 방전패턴에 적합한 방전조건을 결정하기 위한 것으로 적용된 신경망을 이용하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

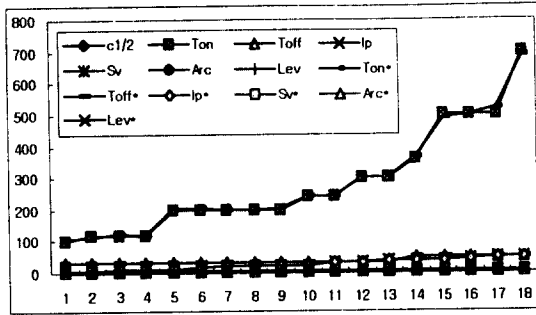
(1) 방전모드와 전극소모비에 상당하는 정확한 패턴을 인식할 수 있어 목적에 부합되는 정확한 전문 신경망을 선정할 수 있다.

(2) 다양한 모드에 대한 전문 신경망을 구축함으로써 학습시간을 단축할 수 있고 다양한 모드에 대한 적응력이 강하다.

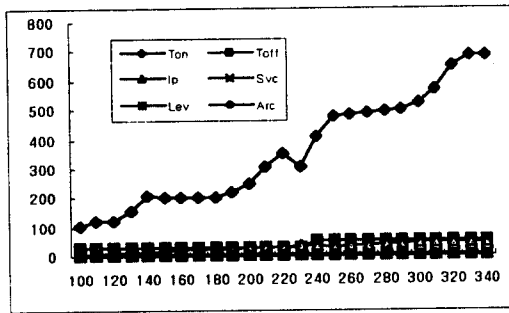
(3) 전문 신경망을 이용함으로써 다양한 성질의 데이터를 하나의 신경망으로 구성하였을 때 발생할 수 있는 부정확성을 제거할 수 있다는 가능성을 제시하였다..

## 참고문헌

- [1] 성준경외, 금형강의 와이어 컷 방전가공 시 방전 조건과 가공 특성, 정밀공학회지 96년도 춘계 학술대회 논문집 pp. 14 ~ 18, 1996
- [2] 유제구, 방전가공, 대광 서림, 1994
- [3] 방전가공의 기초, 진영 정기, 1994
- [4] 김창호, 방전가공, 기전 연구사, 1995
- [5] 방전 가공조건 성능 표, 진영 전기 연구소, 1996
- [6] 三菱電機(株), 放電加工のしくみと100%活用法, 技術評論社, 昭和60年
- [7] 小林 和彦, 仙北谷 英次, ワイヤカット放電加工技術, 日刊工業新聞社
- [8] Y.S.Tarng, S.C.MA, L.K.Chung, Determination of optimal cutting parameters in wire electrical discharge machining, Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol.35 No.12, pp. 1693-1701, 1995
- [9] K.P.Rajurkar, W.M.Wang, On-Line Monitor and Control for Wire Breakage in WEDM, Annals of CIRP, Vol.40, No.1, 1991
- [10] R.Snoeys, W.Dekeyser, C.Tricarico, Knowledge-Based System for Wire EDM, Annals of the CIRP, Vol. 37, No.1, pp. 197-202, 1988
- [11] T.Matsuop, E.Oshma, Investigation on the Optimum Carbide and Machining Condition for Wire EDM of Zirconia Ceramics, Annals of the



<그림5>조건결정신경망의 학습결과



<그림6>조건결정 신경망의 실험결과

<표5>조건결정 신경망의 실험결과

$C_{1/2}$	$\tau_o$	$\tau_r$	$I_p$	$S_v$	$Arc$	$Lev$
100	105	30	6.0	3	1	2
110	119	30	6.9	3	1	2
120	122	30	13.6	3	1	2
130	155	30	11.1	3	1	1
140	205	30	12.6	3	1	0
150	200	30	17.4	3	1	0
160	200	30	20.9	3	1	0
170	201	30	22.6	3	1	0
170	204	30	23.8	3	1	0
190	220	30	24.1	3	1	0
200	248	30	27.0	3	1	0
210	303	30	30.0	3	1	0
220	349	30	28.4	3	1	0
230	308	30	34.9	3	1	0
240	410	50	34.0	3	1	0
250	476	50	31.1	3	1	0
260	483	50	32.7	3	1	0
270	487	50	35.5	3	1	0
280	493	50	38.8	3	1	0
290	502	50	42.6	3	1	0
300	521	50	46.2	3	1	0
310	571	50	47.2	3	1	0
320	651	50	47.3	3	1	0
330	682	50	47.3	3	1	0
340	686	50	47.3	3	1	0

- CIRP, Vol. 41, No.1, pp.231-234, 1992
- [12] M.Kunieda, T.Masuzawa, A Fundamental study on a horizontal EDM, Annals of the CIRP, Vol.37, 1988
- [13] M.Kunieda, H.Kojima, On-Line detection of EDM spark locations by multiple connection of branched electric wires, Annals of CIRP, Vol. 39, 1990
- [14] M.M.Tseng, A systematic approach to the adaptive control of the electro-discharge machining process, Journal of Engineering for Industry, Vol.100,1978
- [15] P. Gu, X. Yan, Neural Network approach to the reconstruction of freeform surfaces for reverse engineering, Comput.-Aided Des. Vol. 27, 1995, pp 59-64
- [16] T.W Liao, MLP neural network models of CMM measuring process, Journal of Intelligent Manufacturing, 1996.7, pp 413-425
- [17] J.H. Murphy, B.J.Kagle, Neural Network recognition of electronic malfunctions, Journal of Intelligent Manufacturing, 1992.3, pp 205-216
- [18] S.Yerramareddy, S.C-Y. LU, K.F.Arnold, Developing empirical models from observational data using artificial neural networks, Journal of Intelligent Manufacturing,1993.4, pp 33-41
- [19] G.Karsai, K.Anderson, G.Cook, R.J.Barnett, Neural network methods for the modeling and control of welding process, Journal of Intelligent Manufacturing,1992.3, pp 229-235