기술논문 한국정밀공학회지 제15권 제7호 (1998년 7월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 7, July 1998.

전극 저소모 방전조건 결정을 위한 2단계 신경망 접근

이 건 범*, 주 상 윤**, 왕 지 남***

Two-Step Neural Network Approach for Determining EDM (Electrical Discharge Machining) Parameters in Low Tool Erosion

Keon-Beom Lee*, Sang-Yoon Ju**, Gi-Nam Wang***

ABSTRACT

Two-step neural network is designed for determining electrical discharge machining parameters in low erosion. The first neural network, which is used as a classification network, checks whether the current conditions are appropriate to electrical discharge machining in low tool erosion. If the conditions are appropriate to EDM in low erosion, suitable EDM parameters are generated by the second neural network. Theoretically known EDM conditions are produced and also utilized for training the second neural network. The trained neural network is tested how well suitable EDM machining conditions are generated under unknown machining situations

Experimental result shows that the proposed two-step neural network approach could be effectively used for determining EDM parameters in low tool erosion. The results also have a practical contribution to EDM area in that it could be applied for maintaining low tool wear as well as obtaining maximum machining rates simultaneously.

Key Words : EDM (Electrical Discharge Machining), Low tool wear (전극 저소모), Positive polarity(정극성), Negative polarity(역극성)

1. 서 론

기존의 방전가공법은 주로 난삭재 가공 및 복잡한 형상의 금형제작에 사용되었지만, 최근에는 방전가공기술의 발달에 힘입어 전극의 Scanning에 의한 윤곽가공, 얇은 전극을 이용한 드릴가공, 분말이 포함된 가공액을 이용한 정삭가공, 복합전극을 이용한 금속표면의 수정 등 방전가공법의 응용영역이 급속도로 확장되고 있는 추세이다[1]. 이와 같이 방전가공에 대한 급격한 환경의 변화에 따라 전극 소모현상에 대한 기존의 관념을 탈피하여, 다양한 전극 소모현상을 용도에 적합하게 사용할 필요가 있다. 예를 들어 특정부위의 전극 소모현상은 밀링Cusp제거가

* 홍성기능대학 생산기계기술학과
** 울산대학교 산업공학과
*** 아주대학교 기계 및 산업공학부

공이나 극히 정밀한 가공에 이용하고, 방전가공을 이용한 금속표면의 수정에서는 전극을 가공물 표면으로 삽입시키는 금속 원(Metal Source)으로 생각하여 많은 양의 전극이 용삭(Erode) 될 수 있도록 방전가공조건을 결정하여야 한다.

전극 소모현상에 대한 기존의 연구는 방전가공 시 전극의 위치에 따라 변화하는 소모현상에 대한 연구와 특정목적에 적합한 전극 소모조건으로 방전가공을 수행할 수 있도록 하기위한 연구가 대부분이다. Mohri[1-3]는 방전가공 시 전극의 소모현상에 대한 연구와 방전가공을 이용한 자유곡면의 정삭가공 및 복합전극을 이용한 방전가공으로 금속표면을 수정하는 연구를 하였으며, 이건범[4]은 방전목적에 따라 적절한 전극소모를 유지하며 방전가공 할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다.

전극의 소모정도는 피가공물의 소모량에 대한 전극의 소모량의 비율로 나타내며 소모정도에 따라 무소모, 중소모, 유소모 조건으로 분류한다.전극소모비가 1%이하인 무소모 조건은 고속가공과 장시간 방전을 요하는 황삭에 적합하고, 전극소모비가 1-4%인 중소모 조건은 황삭에서 정삭까지 전극하나로 가공할 때 적합하며, 전극소모비가 4%이상인 유소모 조건은 정삭에 적합하다[4,7].

방전가공은 절삭가공에 비해 가공속도가 매우 느리므로 복잡한 형상의 금형가공이나 기계적가공법으로는 가공이 불가능한 난삭재의 가공 등 극히 제한적인 분야에서만 이용되었으나 전원공급 장치(Power Supply)가 발달함에 따라 가공속도를 현저히 향상시킬 수 있는 고속방전가공이 가능하게 되어 현재는 부품가공 분야에 이르기까지 응용범위가 확장되었다.

황삭 방전가공은 1회의 방전에 많은 양이 용삭 되어야 하므로 높은 방전에너지를 필요로 한다. 이를 위해서는 방전전류 최대치 I_p와 방전전류 펄스폭 τ_p를 크게 해야 한다. 그러나 방전전류 최대치 I_p를 크게 하면 표면거칠기가 거칠어지고 전극의 소모가 크게 되어 가공 중 전극을 교환해야 하므로 생산성저하 및 무인가공을 불가능하게 하는 요인이 되며, 방전전류 펄스폭 τ_p를 크게 하면 전류밀도가 낮아지므로 방전전압이 강하되어 용융금속이 충분히 분산될 수 없어 방전속도를 저하시키는 요인이 된다[5,6]. 본 연구는 전극소모가 적고 가공속도를 증가 시킬 수 있는 황삭 방전조건을 결정하기 위하여 전극 저소모가 가능한 이론 실험식을 기초로 방전가공 데이터를 작성하고, 이를 신경회로망의 학습자료로 이용하여 전극 저소모 방전조건을 결정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 제안된 방법은 2단계 신경망 접근법으로 1단계에서는 우선 정해진 조건이 저소모 방전이 가능 한지를 판단하는 신경망이 적용되고 2단계에서는 주어진 조건에 적정한 방전가공 조건을 생성하는 방법을 제시하였다.

2. 방전조건과 방전가공특성

방전가공법은 전기에너지를 이용한 특수가공법으로 공구전극과 피가공물 사이를 절연액으로 채우고 60-300V 정도의 펄스전압을 인가하면 반복적으로 불꽃방전이 발생되는데, 발생된 불꽃은 절연액에 의해 퍼짐이 제한되므로 불꽃방전에 의한 고열이 미소영역에 집중적으로 가하게 되어 공구전극과 피가공물의 일부가 용융 제거되는 현상을 이용한 가공법이다[4].

방전가공 할 때 피가공물과 공구전극의 일부가 제거되어 두 전극사이의 간격이 멀어지면 서보기구는 공구전극과 피가공물의 간격을 일정하게 유지할 수 있도록 전극을 피가공물쪽으로 진행시켜 다시 방전현상을 유발시킨다. 이와 같은 과정을 반복하면 피가공물에 공구전극 형상의 Cavity가 형성된다.

방전가공에서 적절한 방전조건의 선택은 생산성향상 및 제품의 정밀도를 높일 수 있으므로 방전성능을 향상시킬 수 있는 방전조건을 결정하는 것은 매우 중요한 일이다. 방전성능은 대부분 주요 방전 인자인 방전전류 최대치 I_p, 방전전류 펄스폭 τ_p, 휴지시간 τ_r 등에 의해 결정되므로, 최적방전조건을 결정하기 위해서는 방전조건과 방전성능과의 관계를 충분히 인지하여야 한다.

- 방전전류 최대치 I_p : 극간에 흐르는 최대전류로 방전전류 최대치가 증가하면 방전속도는 증가하나 표면거칠기 및 가공확대 폭이 커지고 전극소모율이 증가한다.
- 방전전류 펄스폭 τ_p : 방전전류가 흐르는 시간으로 방전전류 펄스폭이 커지면 가공속도가 증가하고 표면거칠기가 거칠어지지만 전극소모율은 감소한다.
- 휴지시간 τ_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.

3. 전극 저소모 방전가공 원리

전극 저소모 방전조건이란 전극소모량이 피가공물의 소

Table 1 Combination of Electrode and workpiece

전극	피가공 물	전극극성	전극 저소모
동	강	-	가능
동	초경합금	+,-	불가능
동텅스텐	강	+	가능
동텅스텐	동	-	불가능
동텅스텐	은텅스텐	-	불가능
동텅스텐	초경합금	+	불가능
은텅스텐	강	+	가능
은텅스텐	동	-	불가능
은텅스텐	동텅스텐	-	불가능
은텅스텐	초경합금	-	불가능
그래파이트	강	+	가능
그래파이트	강	-	가능
그래파이트	동	-	불가능
그래파이트	초경합금	-	불가능

Table 2 Minimum Energy for EDM

가공물 재료	융점 θ_m	$\lambda\ \theta_m$(w/cm)	J_{min}(w/cm^2)
W	3,377	4,940	3.2×10^7
Cu	1,084	4,000	3.2×10^7
Ag	960	3,890	
Mo	2,577	3,730	2.9×10^7
Al	659	2,740	1.5×10^7
Ta	2,997	2,093	1.7×10^7
Pt	1,770	1,556	1.3×10^7
Fe	1,539	1,230	9.2×10^6
Ni	1,455	600	8.2×10^6
스테인레스강	1,425	520	1.1×10^7
Ti	1,672	315	4.5×10^6

λ : 열전도율 (w / cm · °C)

J_{min} : 가공에 필요한 최소 에너지 밀도

모량에 비하여 1%이하가 되는 방전가공조건을 말한다[7].

방전가공이 가능한 전극 및 피가공물은 전기가 통하는 재료는 모두 사용할 수 있으나 Table 1과 같이 전극재료와 피가공물의 조합에 따라 전극 저소모 방전가공의 가능여부가 결정된다[5,6]. 따라서 전극 저소모 방전가공조건을 결정하려면 이러한 사항을 사전에 인지하여 전극 및 피가공물의 재료와 극성을 선택하여야 한다.

전극 저소모 방전가공법은 가공에 필요한 최저에너지 밀도차를 이용하여 가공하는 방법과 가공액의 분해에 의한 탄소가 양극에 부착되어 보호작용을 하는 상태로 가공하는 방법 및 I_p와τ_p의 변화에 따른 양극과 음극의 에너지 분배 비율의 변화를 이용하여 가공하는 방법 등이 있다.

3.1 최저가공 에너지 밀도차에 의한 가공

이 방법은 가공에 필요한 최저 에너지밀도를 이용하여 방전가공 하는 방법으로 가공에 필요한 최저 에너지밀도는 대체로 재료의 열전도율 λ 와 용융점 θ_m 과의 곱($\lambda \cdot \theta_m$)에 비례한다[5,6].

Table 2는 전자빔 발생장치를 이용하여 구한 방전가공에 필요한 최소에너지 밀도이다[5,6].

3.2 탄소의 전극면 부착에 의한 보호작용

Fig.1은 피가공물인 강에서 전이된 철과 가공액의 분해에 의해 생긴 탄소가 전극면에 부착된 측정치를 나타낸 것으로, 전극(Cu)이 정극성(Positive polarity)인 경우가 역극성(Negative polarity)인 경우보다 부착량이 증

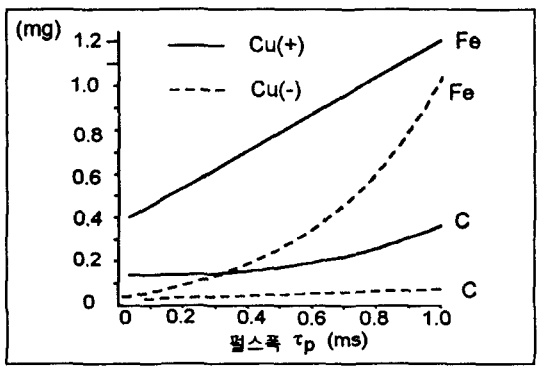

Fig. 1 Polarity of Electrode and coherence of decomposed ferrite and carbon

가하는 것을 알 수 있다[5,6]. 결국 저소모는 이 부착물에 의한 보호작용도 큰 역할을 하므로 이러한 현상을 이용하면 전극소모가 적은 상태에서 가공을 할 수 있다.

3.3 양극과 음극의 에너지 분배의 변화

전극을Cu로 하고 피가공물을 Cu로 하여 가공하는 경우, 방전전류 펄스폭 τ_p가 짧으면 양극측의 가공량이 많아지고, 방전전류 펄스폭 τ_p가 길면 음극측의 가공량이 많아지는 경향이 있다.

Fig.2는 방전에너지의 양극에 대한 배분과 방전전류 펄스폭 τ_p에 의한 변화 및 소모량의 변화를 나타낸 것이다. 방전전류는 전자전류와 이온전류로 구성되며, 펄스폭이

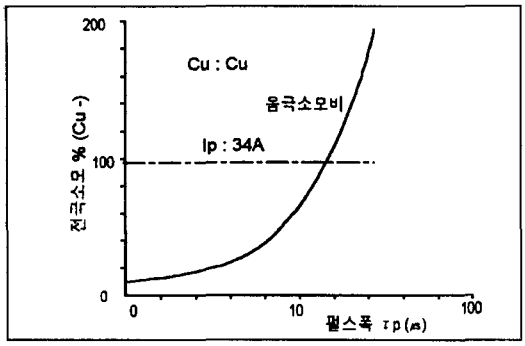

Fig. 2 Pulse on time and Electrode wear

짧은 범위는 전자전류의 비율이 많고, 펄스폭이 길면 이온전류의 비율이 많아지므로 전극 극성의 선택에 있어서 방전전류 펄스폭이 짧을 때는 역극성으로 하고, 펄스폭이 길 때는 정극성으로 하는 것이 유리하다[6,7].

4. 저소모 방전조건 결정

본 연구는 전극 저소모 방전가공이 가능한 방전조건을 결정하기 위하여 대표적인 전극재질, 피가공물 재질 및 전극극성등에 대하여 전극 저소모 방전가공 조건을 이론 실험식을 기초로 산출한 후, 이를 신경망의 학습 자료로 이용하여 목적하는 방전조건을 결정하기 위한 것으로 전체적인 처리과정은 Fig.3과 같다.

단계 1:

방전사양을 결정한다. 방전사양은 Table 3과 같이 전극재질, 피가공물 재질 및 전극극성을 수치화한 것이다.

단계 2:

제1단계 신경망은 단계1에서 결정된 방전사양을 입력으로 하여 전극 저소모 방전이 가능한지 여부를 판별한다. 전극 저소모 방전의 가능여부는 Table 1과 같다.

단계 3:

단계2에서 전극 저소모 방전이 불가능하다고 판별되면 단계1에서 방전사양을 다시 결정하고, 전극 저소모 방전이 가능하다고 판별되면 Table 4의 데이터베이스로부터 표면거칠기 R_{max}의 적용범위를 화면에 출력하고, 출력된 범위내의 표면거칠기 R_{max}값을 목표 표면거칠기 값으로 선택한다.

전극 저소모 방전이 가능한 표면거칠기R_{max}의 범위는 Table 4와 같다.

단계 4:

단계1의 방전사양과 단계3에서 입력된 목표 표면거칠기 R_{max}값을 제2단계 신경망의 입력으로 하여 이에 적당한 방전 조건인 방전전류 최대치, 방전전류 펄스폭 및 휴지시간을 결정한다.

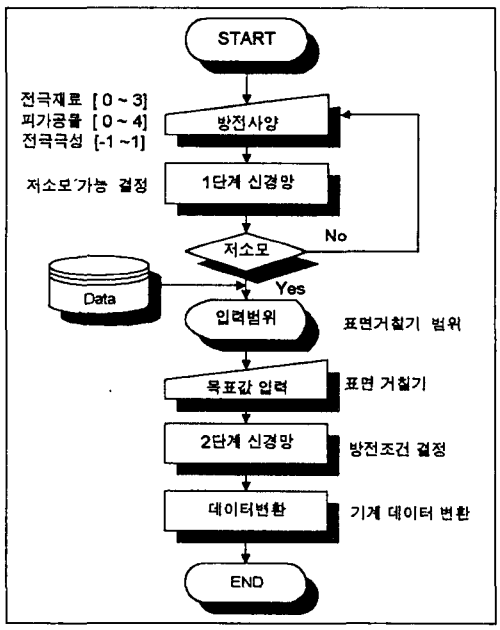

Fig. 3 Flow Chart of the System

Table 3 Combination of EDM specification

전극 재질		피가공물 재질		전극 극성	
Cu	0	St	0	정극성(+)	1
Gr	1	Cu	1	역극성(−)	−1
AgW	2	WC−Co	2		
CuW3	3	AgW	3		
		CuW	4		

Table 4 Surface Roughness Range to EDM Mode

전극	피가공물	극성	R_{max} 범위
Cu	St	+	35 ~ 72
Gr	St	-	31 ~ 65
AgW	St	+	57 ~ 98
CuW	St	+	61 ~ 100

단계 5:

단계4에서 결정된 방전전류 최대치 I_p는 실제 전극사이에 흐르는 최대전류(A)이고, 방전전류펄스 폭 τ_p는 방전전류가 흐르는 시간(μs)이며, 휴지시간 τ_r은 전류가 흐르지 않는 시간(μs)이다. 본 연구에서 적용할 방전 가공기 JCE-45A에서 사용할 수 있는 방전조건은 단계4에서 결정된 실제 값이 아니라 Table 5와 같이 방전전류 최대치 I_p는 1A~57A를 29단계로 분류한 값을 사용하고, 방전전류 펄스폭 τ_p는 1μs ~880μs를 39단계로 분류한 값을 사용하며, 휴지시간 τ_r은 1μs ~320μs를 30단계로 분류한 값을 사용하므로 단계4에서 결정된 실제 가공조건을 Table 5를 기초로 하여 변환한다.

Table 5 Conversion Table of EDM Condition

Ip				τ_p				τ_r			
No	A	No	A	No	μs	No	μs	No	μs	No	μs
1	1	21	33	1	1	21	87	1	1	21	87
2	2	22	36	2	2	22	100	2	2	22	100
3	3	23	39	3	3	23	112	3	3	23	112
4	4	24	42	4	5	24	125	4	5	24	125
5	5	25	45	5	7	25	140	5	7	25	140
6	6	26	48	6	9	26	157	6	9	26	157
7	7	27	51	7	12	27	200	7	12	27	200
8	8	28	54	8	15	28	240	8	15	28	240
9	9	29	57	9	20	29	280	9	20	29	280
10	10			10	25	30	320	10	25	30	320
11	12			11	27	31	360	11	27		
12	14			12	30	32	400	12	30		
13	16			13	35	33	440	13	35		
14	18			14	40	34	480	14	40		
15	20			15	45	35	560	15	45		
16	22			16	50	36	640	16	50		
17	24			17	55	37	720	17	55		
18	26			18	62	38	800	18	62		
19	28			19	70	39	880	19	70		
20	30			20	77			20	77		

5. 신경회로망 모델링 및 학습

다층 퍼셉트론 신경망은 크게 입력층, 은닉층 및 출력층으로 구성되어 있으며 역전파 학습 알고리즘에 의해 학습된다. 역전파 학습 알고리즘은 먼저 입력 값으로부터 출력 값을 계산하는 전향단계와 출력 값과 목표 값과의 오차를 계산하여 결합하중을 계산하는 후향 단계로 이루어져있다.

5.1 신경망 모델링

전극 저소모 방전가공조건 결정에 신경망을 응용하는 목적은 각 방전 조건들 사이의 직접적인 인과관계가 뚜렷하지 않고 정량화가 어렵기 때문에 애매한 성질을 갖는 정보를 효과적으로 처리하기 위한 것이다. 신경망은 사전 지식이나 내부 시스템의 동작에 대한 지식이 거의 필요 없고 주어진 샘플 패턴(Sample Pattern)들로부터의 학습경험에 바탕을 두고, 새로운 유사 입력 패턴들이 주어질 경우, 그 출력패턴을 추정할 수 있도록 자기 조직화(Self Organization)하는 이점이 있다[8]. 이러한 장점을 이용하기 위하여 본 연구에서는 2단계 신경망을 제안하였다. 제1단계 신경망은 사용자가 전극재질, 피가공물 재질 및 전극극성 등 방전사양을 결정하면, 결정된 방전사양이 전극 저소모 방전가공이 가능한지를 판단하기 위한 신경망으로 신경망의 구조는 Fig.4와 같다. 신경망의 입력은 수치화된 전극재료, 피가공물 재료 및 전극극성으로 이루어진 3개의 뉴런이고, 2개의 은닉층은 각각 5개의 뉴런으로 구성되어 있으며, 신경망의 출력은 전극 저소모 방전의 가능 여부를 나타내는 하나의 뉴런으로 구성된 3-k-k-1 구조를 가진 신경망이다.

제2단계 신경망은 제1단계 신경망에서 전극 저소모 방전가공이 가능하다고 판별되면, 3자리 수치로 구성된 제1단계의 입력과 목표 표면거칠기 및 다양한 전극재질과 피가공물의 조합을 보다 명확하게 구별할 수 있도록 모멘텀 항을 추가한 5개의 입력데이터를 신경망의 입력으로 하고, 주어진 입력조건을 만족할 수 있는 방전조건을 결정하기 위한 것이다. 신경망의 구조는 Fig.5와 같이 입력층은 전극, 피가공물, 전극극성, 모멘텀 및 표면거칠기의 5개의 뉴런으로 구성되어있고, 2개의 은닉층은 각각 8개의 뉴런으로 구성되었으며, 출력층은 방전 조건인 방전전류 최대치, 방전전류 펄스 폭 및 휴지시간의 3개의 뉴런으로 구성된 5-m-m-3구조를 가진 신경망이다.

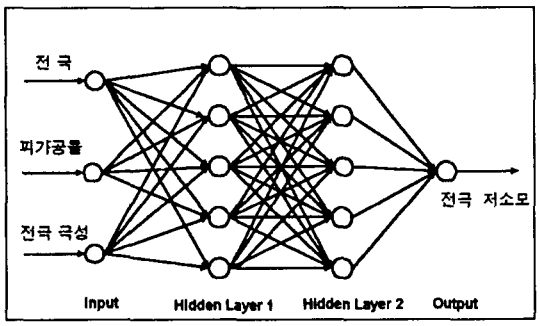

Fig. 4 Schematic Diagram of First Step ANN

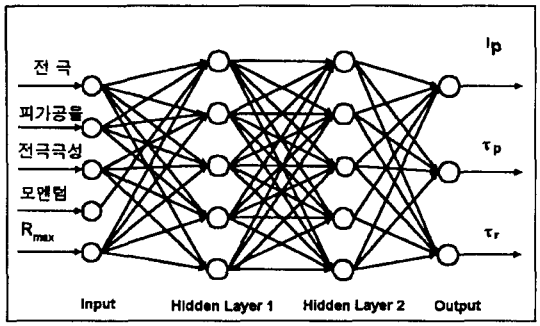

Fig. 5 Schematic Diagram of Second Step Neural Networks

5.2 신경회로망 학습

신경회로망의 학습은 뉴런들을 연결하는 결합하중(Connection Weight)을 조절하여 이루어진다. 제1단계 신경망은 전극재질, 피가공물 재질 및 전극극성을 수치화한 Table 6을 교사 데이터로 하였으며, 제2단계 신경망은 Table 7의 이론실험식을 기초로 작성된 Table 8을 교사데이터(Supervised Data)로 하여, 신경회로망의 출력층에서 얻어진 최종 출력과 교사데이터와의 차이를 오차로 정의하고, 오차의 제곱을 최소화 하는 Delta Rule을 이용하였다. 결합하중의 조절에 있어서는 출력층 뉴런으로의 결합하중을 먼저 조절하고, 차례로 하위 층 뉴런으로의 결합하중을 조절하는 역전파 알고리즘을 적용하였다.

Table 6은 전극과 피가공물 및 전극극성의 조합이 전극 저소모 가공이 가능한지 여부를 나타낸 것으로 제1단계 신경망의 교사 데이터이다.

Table 6 Learning Data of First Step ANN

Input Data			Target Data
전극	피가공물	전극극성	
0	0	-1	1
0	2	1	0
3	0	1	1
3	1	-1	0
3	3	-1	0
3	2	1	0
2	0	1	1
2	1	-1	0
2	4	-1	0
2	2	-1	0
1	0	1	1
1	0	-1	1
1	1	-1	0
1	2	-1	0

Table 7 Theoretical and Experimental Equation of EDM Characteristics

전극:피가공물	표면조도μmR_{max}	전극 소모비
Cu(+) :St(-)	$1.6 \cdot I_p^{0.43} \cdot \tau_p^{0.38}$	$1.5 \cdot I_p^{1.74} / \tau_p^{1.35}$
Gr(+):St(-)	$1.1 \cdot I_p^{0.44} \cdot \tau_p^{0.42}$	$800/(I_p^{0.33} \cdot \tau_p^{0.93})$
AgW(+):St(-)	$3.3 \cdot I_p^{0.3} \cdot \tau_p^{0.33}$	$50 \cdot I_p^{0.63} / \tau_p^{1.5}$
CuW(+):St(-)	$3.3 \cdot I_p^{0.3} \tau_p^{0.93}$	$50 \cdot I_p^{0.63} / \tau_p^{1.5}$

Table 7은 다양한 전극과 피가공물에 대하여 방전조건에 따른 표면조도 및 전극소모비에 대한 이론 실험식이다.

Table 8은 이론실험식을 기초로 전극 저소모 방전가공 조건을 만족시킬 수 있도록 생성된 제2단계 신경망의 교사 데이터이다. 휴지시간 τ_r은 짧을수록 가공속도가 빨라져 가공성 향상에 기여하지만 지나치게 짧으면 방전이 불안정하여 가공속도가 저하될 수 있고 더 심하면 전극을 손상시킬 수 있으므로 적절한 값을 선정해야 한다[7]. 본 연구에서는 이러한 사항을 고려하여 Duty factor D가

Table 8 Learning Data of Second Step ANN

Input Data					Target Data		
Elect	Work	Pol	Mon	Rmax	Ip	τ_p	τ_r
0	0	-1	3	27	19	60	40
0	0	-1	3	36	26	90	60
0	0	-1	3	40	29	105	70
0	0	-1	3	48	36	135	90
0	0	-1	3	52	39	150	100
0	0	-1	3	55	42	165	110
0	0	-1	3	59	45	180	120
0	0	-1	3	65	49	205	136
1	0	1	2	65	38	365	243
1	0	1	2	63	34	380	253
1	0	1	2	62	32	385	256
1	0	1	2	60	29	400	266
1	0	1	2	58	25	420	280
1	0	1	2	56	22	440	293
1	0	1	2	54	20	460	306
1	0	1	2	52	17	480	320
2	0	1	1	57	21	365	243
2	0	1	1	59	22	385	256
2	0	1	1	61	23	405	270
2	0	1	1	62	24	420	280
2	0	1	1	63	24	430	286
2	0	1	1	64	25	440	293
2	0	1	1	66	26	465	310
2	0	1	1	68	27	480	320
3	0	1	0	61	26	360	240
3	0	1	0	63	27	380	253
3	0	1	0	64	28	395	263
3	0	1	0	65	29	405	270
3	0	1	0	68	30	440	293
3	0	1	0	69	31	450	300
3	0	1	0	70	31	465	310
3	0	1	0	72	32	480	320

0.6이 되도록 휴지시간 τ_r을 결정하였다. 여기서 Duty factor는 $D=\tau_p/(\tau_p+\tau_r+\tau_w)$이나 τ_w는 τ_p나 τ_p에 비하여 매우 작으므로 무시하였다.

6. 컴퓨터 모의실험

신경망의 적응성을 평가하기 위하여 임의의 전극재질, 피가공물 재질 및 전극극성을 제1단계 신경망의 입력으로 하여 모의실험 한 결과 Table 9과 같이 우수한 적응성을 가지고 있다는 사실을 알 수 있었다.

제1단계 신경망에서 전극 저소모 방전가공이 가능하다고 판별된 전극재질, 피가공물 재질 및 전극극성에 대하여 학습되지 않은 임의의 목표 표면거칠기 R_{max}를 만족할 수 있는 방전조건을 제2단계 신경망에서 구한 결과는 Table10~Table 13과 같다.

Table 10은 전극재질이 동(Cu)이고 피가공물 재질이 강(St)이며 전극극성이 역극성일 경우 전극 저소모 방전이 가능하고 제품에 요구되는 임의의 표면거칠기 R_{max}를 만족할 수 있도록 신경망에서 결정된 방전조건 이다.

Table 11은 전극재질이 그래파이트(Gr)이고 피가공물 재질이 강(St)이며 전극극성이 정극성일 경우 전극 저소모 방전이 가능하고 제품에 요구되는 임의의 표면거칠기 R_{max}를 만족할 수 있도록 신경망에서 결정된 방전조건 이다.

Table 12는 전극재질이 은텅스텐(AgW)이고 피가공물 재질이 강(St)이며 전극극성이 정극성일 경우 전극 저소모 방전이 가능하고 제품에 요구되는 임의의 표면거칠기 R_{max}를 만족할 수 있도록 신경망에서 결정된 방전조건 이다.

Table 13은 전극재질이 동텅스텐(CuW)이고 피가공물 재질이 강(St)이며 전극극성이 정극성일 경우 전극 저소모 방전이 가능하고 제품에 요구되는 임의의 표면거칠

Table 9 Simulation Results of First Step ANN

Input Data			Target Data	ANN Results
0	0	-1	1	1
0	2	1	0	0
3	0	1	1	1
3	1	1	0	0
3	3	1	0	0
3	2	-1	0	0
2	0	1	1	1
2	1	-1	0	0
2	4	-1	0	0
2	2	1	0	0
1	0	1	1	1
1	0	-1	1	1

Table 10 Simulation Results of Second Step ANN for Cu-St

Target Data				ANN Results			Conversion Data		
R_{max}	Ip	τ_p	τ_r	Ip*	τ_p*	τ_r*	Ip**	τ_p**	τ_r**
28	20	65	43	20	68	45	15	19	15
32	23	75	50	23	77	51	16	20	16
36	26	90	60	26	90	60	18	21	18
40	29	105	70	29	104	69	19	22	19
44	33	120	80	33	120	79	21	24	20
48	36	135	90	36	136	90	22	25	21
52	39	150	100	39	152	101	23	26	22
55	42	165	110	42	164	109	24	26	23
59	45	180	120	45	180	120	25	27	24
62	47	195	130	47	193	129	26	27	24
63	48	200	133	47	198	132	26	27	25
65	49	205	136	48	208	138	26	27	25

Table 11 Simulation Results of Second Step ANN for Gr-St

Target Data				ANN Results			Conversion Data		
R_{max}	Ip	τ_p	τ_r	Ip*	τ_p*	τ_r*	Ip**	τ_p**	τ_r**
52	17	480	320	18	474	316	14	8	5
53	18	470	313	18	470	313	14	8	5
54	20	460	306	19	462	308	14	8	5
55	21	450	300	21	451	300	15	8	5
56	22	440	293	22	439	292	16	8	5
57	24	430	286	24	429	285	17	8	5
58	25	420	280	25	420	279	17	8	5
59	27	410	273	27	411	274	18	9	6
60	29	400	266	29	403	268	19	9	6
62	32	385	256	32	385	256	21	9	6
63	34	380	253	34	377	251	21	9	6
65	38	365	243	38	366	244	23	10	6

Table 12 Simulation Results of Second Step ANN for AgW-St

Target Data				ANN Results			Conversion Data		
R_{max}	Ip	τ_p	τ_r	Ip*	τ_p*	τ_r*	Ip**	τ_p**	τ_r**
57	21	365	243	21	367	245	15	31	28
58	21	375	250	21	375	250	15	31	28
59	22	385	256	22	384	256	16	32	28
60	22	395	263	22	394	262	16	32	29
61	23	405	270	23	405	270	16	32	29
62	24	420	280	24	417	278	17	32	29
63	24	430	286	24	430	287	17	33	29
64	25	440	293	25	443	295	17	33	29
65	25	450	300	25	455	303	17	34	29
66	26	465	310	26	464	309	18	34	29
67	26	475	316	26	471	314	18	34	30
68	27	480	320	27	475	317	18	34	30

Table 13 Simulation Results of Second Step ANN for CuW-St

목표 데이터				신경망 출력			변환 데이터		
R_{max}	Ip	τ_p	τ_r	Ip*	τ_p*	τ_r*	Ip**	τ_p**	τ_r**
61	26	360	240	26	363	242	18	31	28
62	27	370	246	27	371	247	18	31	28
63	27	380	253	27	379	253	18	31	28
64	28	395	263	28	390	260	19	32	28
65	29	405	270	29	402	267	19	32	29
66	29	415	276	29	415	276	19	32	29
67	29	425	283	30	429	285	20	33	29
68	30	440	293	30	442	295	20	33	29
69	31	450	300	31	454	303	20	33	30
70	31	465	310	31	464	309	20	34	30
71	32	475	316	32	471	314	21	34	30
72	32	480	320	32	475	316	21	34	30

기 R_{max}를 만족할 수 있도록 신경망에서 결정된 방전조건이다.

이상과 같이 모의 실험한 결과 방전 조건인 신경망의 결과와 예상되는 방전조건과 차가 매우 근소하다는 사실을 알 수 있었다.

7. 결 론

본 연구는 전극 저소모 상태를 유지하고 제품에 요구되는 표면거칠기를 만족시킬 수 있는 방전조건을 결정하기 위하여 2단계 신경망을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 제1단계 신경망에서 전극 저소모가 가능한지를 사전에 판별할 수 있었다.

(2) 제2단계 신경망에서 다양한 전극 재질과 피가공물 재질 및 전극극성을 명확하게 구분하여 학습이 이루어질 수 있도록 모멘텀 항을 추가하여 학습한 결과 적응성이 강한 신경망을 구현할 수 있었다.

(3) 신경망을 이용한 방전조건 결정을 CAD시스템과 연계하여 적용하면 제조공정의 자동화를 실현할 수 있는 가능성을 제시하였다.

본 연구는 저소모 방전 가능성을 결정하는 인식 신경망과 주어진 상황에 적정한 방전조건을 생성하는 신경망과의 결합적인 방법으로 저소모 방전 조건을 효과적으로 결정하는 방법을 제시한 것으로 실제적으로 적용성이 높은 방법으로 인식 되고있다.

참 고 문 헌

1. N.Mohri, M.Suzuki, M.Furuya, "Electrode Wear Process in Electrical Discharge Machining," Annals of the CIRP, Vol. 44, pp. 165-168, 1995.
2. N.Mohri, M.Higashi, "A New Process of Finish Machining on Free Surface by EDM Methods," Annals of the CIRP, Vol. 40, pp. 207-210, 1991.
3. N.Mohri, N.Saito, Y. Tsunekawa, "Metal Surface Modification by Electrical Discharge Machining with Composite Electrode," Annals of the CIRP, Vol. 42, pp. 219-222, 1993.
4. 이건범, 주상윤, 왕지남, "전극소모비에 기초한 방전조건 생성," '97년도 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집(II), pp. 1154-1158, 1997.
5. 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
6. 김창호, 방전가공, 기전 연구사, 1995.
7. 방전 가공조건 성능 표, 진영 전기 연구소, 1996.
8. 하만경, 곽재섭, 송지복, 김건희, 김희술, "신경회로망을 이용한 연삭가공의 트러블 인식에 관한연구(I)," 한국정밀공학회지, 제13권, 제9호, pp. 149-155, 1996.