

신경망을 이용한 광조형 작업변수 결정

이은덕*, 심재형*, 백인환**

Determination of Process Parameters in Stereolithography using Neural Network

Eun-Dok Lee*, Jae-Hyung Sim* and In-Hwan Paik**

ABSTRACT

In the stereolithography process, the accuracy of product depends on laser power, scan speed, scan width, scan pattern, layer thickness, resin characteristics and so on. Therefore, appropriate process parameters are required for an accurate prototype.

This paper presents a method to determine the key process parameters, i.e., laser scan speed, hatching space, and layer thickness based on scan length, scan area, and layer slope. In order to determine these parameters, three neural networks are employed to represent operator's experience and knowledge. Optimum values on scan speed, hatching space and layer thickness are recommended to improve the surface roughness and build time on the developed SLA machine.

Key Words : Stereolithography(광조형), Process parameter(작업변수), Neural network(신경망), Surface roughness(표면거칠기), Build time(조형시간)

1. 서론

광조형기술(stereolithography)이 등장한 이후 3차원 적층조형기술을 응용한 다양한 방식의 쾌속조형기술(rapid prototyping)이 개발되어 기계, 항공, 의학, 예술 등의 분야에서 사용되고 있다. 그 중에서도 광조형기술은 적용분야가 가장 넓은 방식으로 우수한 치수정밀도와 표면거칠기를 제공한다.

광조형기술은 설계된 3차원 CAD 데이터를 이용하여 액체상태의 광경화성 수지(photo-sensitive liquid polymer)에 레이저광을 주사하여 한층한층 적층해 나가는 방식이다.

광조형기술을 통해 제작되는 조형품의 정밀도는 주사속도, 주사간격, 적층두께, 빔의 크기 등과 같은 작업변수에 영향을 받는다. 작업변수들은 서로 밀접한 관계를 가지고 있어 하나의 작업변수를 변화시키면 조형품의 정밀도와 조형시간이 달라지는 문제가 발생한다. 각 작업변수들의 관계는 비선형적이고 여러 요인에 의해서 영향을 받으므로 정확한 수식으로 표현하는 것이 어렵다.

따라서 실제의 조형작업에서는 작업자의 경험과 판단에 의해 작업변수를 결정하고 조형을 한다. 이로 인해 동일한 형상의 조형품이라 할 지라도 작업자의 경험에 따라 조형품의 정밀도와 조형시

2002년 1월 15일 접수
* 부산대학교 대학원
** 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

간이 달라지는 문제가 발생하고 동일한 작업자라도 일관된 조형품의 제작이 곤란하다. 이와 같이 작업변수는 조형품의 정밀도와 조형시간 등에 영향을 미치는 중요한 인자이므로 조형품의 형상을 고려하여 적절히 결정하여야 한다⁽⁹⁾.

본 연구에서는 작업자의 경험과 판단에 따라 작업변수가 달라지는 기존의 방식을 탈피하여 조형품의 사용목적에 따라 적절한 작업변수를 자동으로 결정할 수 있는 신경망 작업변수 결정기를 개발하고자 한다. 이를 위해 실험실에서 개발한 광조형 장치를 이용하여 3 차원 시편을 제작하고 각 작업변수(주사속도, 주사간격, 적층두께)가 조형물에 미치는 영향을 규명한다.

또, 실험을 통해 얻어진 최적의 작업변수를 신경망의 학습데이터로 활용하여 학습을 수행한다. 개발된 신경망 작업변수 결정기의 성능을 평가하기 위해 기존의 방식으로 조형된 조형품과 신경망 작업변수 결정기를 통해 조형된 조형품과의 표면 거칠기와 조형시간을 비교한다.

2. 이론적 배경

2.1 광경화 특성⁽¹⁻⁶⁾

광경화성 수지는 노광량이 임계값(E_c)보다 작을 경우에는 액체상태로 존재하고, 임계값보다 클 경우에는 중합반응을 일으키며 고화된다.

Fig. 1 은 레이저광을 수지에 일정속도로 주사한 경우 나타나는 포물선 형태의 단면을 가지는 단일 경화선을 보여주고 있다.

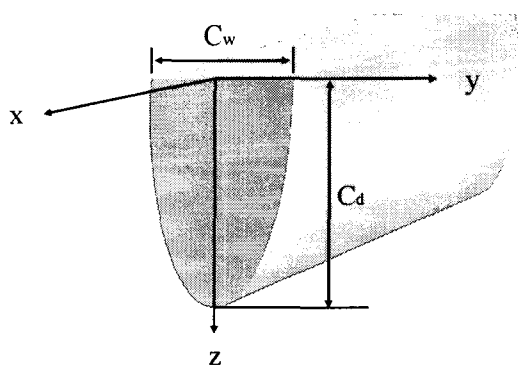


Fig. 1 Schematic view of a cured line

단일 경화선의 경화폭은 레이저광의 총 파워 P_t , 레이저 초점반경 r_0 , 주사속도 V , 임계노광량을 E_c 라 할 때 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_w = 2r_0 \sqrt{\ln \frac{\sqrt{2}P_t}{\pi_0 V E_c}} \quad (1)$$

위 식에서와 같이 경화폭은 레이저광의 총 파워와 레이저 초점반경에 비례하고, 주사속도와 임계노광량에 반비례함을 알 수 있다.

조형품의 표면거칠기와 밀접한 영향이 있는 단일경화선의 경화깊이는 수지의 침투깊이를 D_p 라 할 때 다음과 같이 표현된다.

$$C_d = D_p \ln \frac{\sqrt{2}P_t}{\pi_0 V E_c} \quad (2)$$

경화깊이도 경화폭과 마찬가지로 레이저광의 총 파워에 비례하고 주사속도, 임계노광량에 반비례하는 경향을 가지고 있다.

식에서 알 수 있듯이 경화폭과 경화깊이는 주사속도, 레이저광의 파워, 레이저의 초점반경 등과 같이 다양한 작업변수들에 영향을 받는다. 이들 변수 중 레이저광의 총 파워, 임계노광량, 침투깊이 등은 사용되는 레이저, 수지에 의해 값이 정해지므로 조절이 불가능하지만 주사속도, 레이저 초점반경은 조절 가능한 작업변수이다. 특히, 주사속도는 비교적 조절하기 쉬운 작업변수로서, 요구되는 조형품의 정밀도와 조형시간 등을 고려하여 적절히 선정하여야 한다.

주사속도 이외에 조형품의 정밀도와 조형시간에 영향을 미치는 중요한 작업변수로서 주사간격과 적층두께가 있다. 주사간격이나 적층두께가 크면 조형시간은 단축되지만 표면거칠기가 저하되는 문제가 발생한다. 따라서, 수지의 경화폭과 경화두께, 조형시간 등을 고려하여 주사간격과 적층두께를 선정하여야 한다.

2.2 표면거칠기와 조형시간

조형품의 표면거칠기에 영향을 미치는 대표적인 작업변수로는 주사속도, 주사간격, 적층두께, 레이저 초점반경 등이 있다.

Fig. 2 는 일정한 적층두께를 가지는 조형품에

대한 이론적인 표면거칠기를 보여주고 있다.

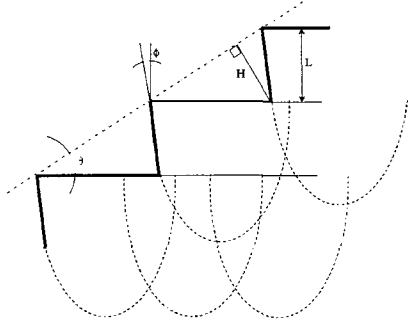


Fig. 2 Theoretical surface roughness in stereolithography

적층두께에 대한 표면거칠기는 다음과 같이 구할 수 있다⁽²⁾.

$$H = \frac{L}{\sin \theta \cdot \tan(\theta - \Phi) + \cos \theta} \quad (3)$$

여기서 Φ 는 경화형상운곽의 기울기, θ 는 수평면에 대한 형상의 면 경사각, L 은 적층두께, H 는 표면거칠기이다.

식(3)에서 알 수 있듯이 표면거칠기와 적층두께는 서로 비례한다. 그러므로 적층두께가 작을수록 이론적 표면거칠기는 좋아진다. 하지만 실제의 경우 적층두께를 어느 한계 이하로 설정하면 슬라이스의 수가 증가되어 조형시간이 길어지고 광원 중첩에 의한 치수오차가 발생하여 표면거칠기가 오히려 나빠진다. 반대로 적층두께가 큰 경우에는 조형시간은 단축되나 조형품에 미경화 부분이 생겨 표면거칠기가 나빠지고 조형이 제대로 되지 못하는 문제가 발생할 수 있으므로 적절한 적층두께를 선정할 필요가 있다.

Fig. 3 은 적층조형으로 인해 발생하는 단차현상을 보여주고 있다⁽⁷⁾. (a)와 (b)는 동일한 형상의 조형품이지만 적층두께가 서로 다르다. (a)의 경우는 적층두께가 작아서 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있으나 조형시간이 많이 소요된다. 이에 비해 (b)의 경우는 적층두께가 커서 표면거칠기가 좋지 않지만 조형시간은 적게 소요된다. 즉, 적층두께에 따라 표면거칠기와 조형시간은 상반된 결과를 나타낸다.

(c)에서는 적층두께를 가변하여 조형한 경우를 보였다. 수직부에서는 적층두께를 크게하고 경사부에서는 적층두께를 작게하여 일정한 표면거칠기를 가지도록 하였다. 이와 같이 조형물의 형상에 따라 작업변수를 조정하면 허용된 표면거칠기를 가지면서 조형시간의 단축이 가능하다.

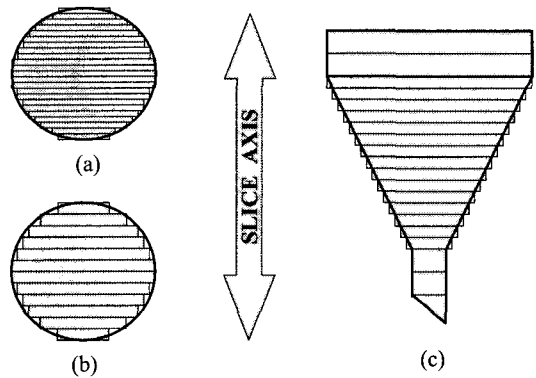


Fig. 3 The stair-stepping phenomenon

2.3 신경망⁽⁸⁾

인간의 두뇌는 방대한 수의 뇌세포라고 하는 단순한 처리기가 상호 연결되어 있으며 이 뇌세포들 사이의 정보 교환은 병렬적으로 수행되고, 또한 이러한 정보 교환 기능이 학습에 의해 향상된다.

이러한 인간 두뇌의 기능을 모방하고자 하는 신경망은 두뇌의 구조와 동작 방식을 단순화시켜 수학적으로 모델링한 것으로 다음의 Fig. 4 와 같이 인간의 신경세포를 모방한 인공 신경세포 (artificial neuron)와 동작방식을 모방한 연결강도로 구성되어 있다.

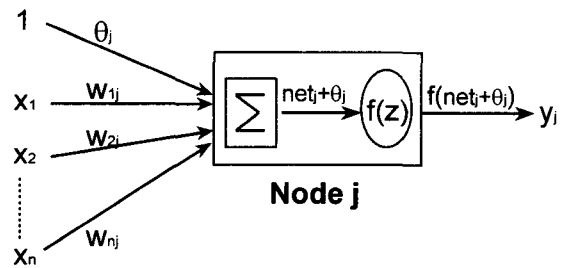


Fig. 4 Diagram of artificial neuron

Fig. 4 에서와 같이 신경망은 다른 인공 신경세포에서 전달된 값(x_i)에 연결강도(w_{ij})를 곱하여 입력된 값들을 모두 합하고, 이 합(net_j)에 다시 바이어스 값(θ_j)을 더하여 전달함수 $f(z)$ 에 입력한다. 최종적으로 전달함수에 의해 구해진 결과값(y_j)은 다음 층에 입력값으로 사용된다.

$$net_j = \sum_i x_i w_{ij} \tag{4}$$

$$y_j = f(net_j + \theta_j)$$

본 연구에서는 전달함수로 시그모이드(sigmoid) 함수를 사용하였고 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \tag{5}$$

where, $z = net_j + \theta_j$

앞의 설명과 같이 신경망의 출력은 각 신경세포간의 연결강도에 의해 좌우된다. 따라서 신경망을 통하여 적절한 결과를 얻기 위해서는 연결강도를 결정하는 과정이 필수적이며 이러한 과정을 신경망의 학습이라 한다. 본 연구에서는 신경망의 학습알고리즘으로 오류 역전파 알고리즘(error back-propagation algorithm)을 사용하였다.

3. 실험장치 제작

3.1 하드웨어부

신경망 학습에 필요한 각종 데이터를 얻기 위해 실험실에서 개발한 광조형장치를 이용하여 실험을 수행하였다(Fig. 5).

개발된 광조형 장치는 X-Y 구동기구를 이동하여 주사위치를 제어하는 NC 테이블방식을 사용하고 있으며 모든 작업은 개발된 구동알고리즘에 의해 자동화되어 있다. 광원으로는 325nm 의 파장과 10mW 의 출력을 가지는 He-Cd 레이저를 이용하고 있다. 레이저 빔의 직경은 1.2mm, 초점렌즈를 통과한 빔의 직경은 0.34mm 이다.

조형품이 조형되는 플랫폼의 크기는 270x220mm 이고 수지조의 크기는 320x270x220mm 이며 사용된 수지는 SK 사의 FA-1262A 이다.

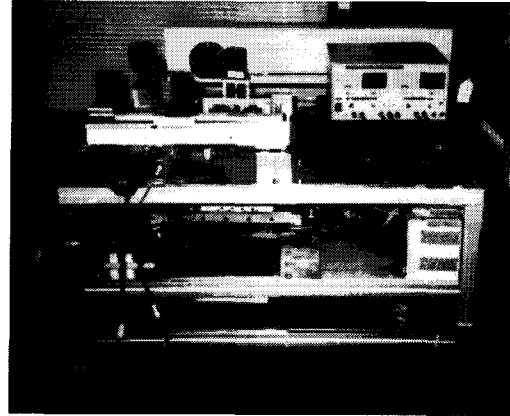


Fig. 5 Developed stereolithography machine

3.2 소프트웨어부

CAD 데이터에서 만들어진 STL 파일을 개발된 광조형 장치에 사용하기 위해서는 전용의 파일로 변환하여야 한다. Fig. 6 은 광조형 장치에 사용되는 입력데이터의 포맷을 보여주고 있다. 입력데이터는 레이어 정보, 구동부의 이송위치, 레이저의 ON/OFF 정보를 가지고 있다.

layer	laser state	start_x	start_y	end_x	end_y
layer	laser state	start_x	start_y	end_x	end_y
	
layer	laser state	start_x	start_y	end_x	end_y
	

Fig. 6 Input data format of stereolithography machine

각 층의 구별은 'layer'라는 정보에 의해 구별된다. 'layer' 아래 소속되어 있는 데이터는 같은 층에서 조형되어야 할 부분의 레이저 ON/OFF 상태와 XY 구동부의 이송위치를 표시한다. 다음 'layer'가 나타나면 조형하는 층을 바꾸라는 의미이다. 'laser state'는 현재 레이저의 ON/OFF 상태를 나타내는 정보로서 1, 0 으로 표현된다. 'start_x'와 'start_y'는 현재 XY 구동부가 위치하고 있는 좌표를 나타내며 'end_x'와 'end_y'는 XY 구동부의 이송좌표를 나타낸다. XY 구동부의 이송좌표는 절대좌표로 표시되어 있다.

입력데이터가 광조형 장치에 입력되면 일련의 광조형 작업은 구동알고리즘에 의해 자동으로 이루어진다.

4. 실험 및 결과

4.1 신경망 구성

앞에서 언급한 바와 같이 광조형 작업이 다양한 조건에 의해 영향을 받으므로 조형품에 따라 작업변수를 결정하는 기준이 불분명하다. 따라서 본 연구에서는 입력력간의 정확한 수학적 모델이나 지식이 없는 경우에도 적절한 답을 추출할 수 있는 신경망을 적용한다. 적용된 신경망은 조형품의 형상요소에 대하여 사용자가 조정하기 용이한 작업변수인 주사속도, 주사간격, 적층두께를 결정한다.

Fig. 7은 신경망의 구성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 3 개의 신경망은 주사속도, 주사간격, 적층두께를 결정하기 위하여 각각 1 개의 입력층(input layer)과 2 개의 은닉층(hidden layer), 1 개의 출력층(output layer)을 가진다.

입력층은 단일 주사선의 최대길이(scan length), 적층면의 면적(layer area), 각 층 사이의 경사각(layer slope)을 입력으로 하는 3 개의 유닛(unit)으로 구성하였다. 두 개의 은닉층은 각각 7 개의 유닛으로 구성하였으며, 출력층은 주사속도, 주사간격, 적층두께에 대해 각각 3 개의 유닛으로 구성하였다.

입력층의 유닛을 단일 주사선의 최대길이, 적층면의 면적, 각 층 사이의 경사각으로 선정한 이유는 개발된 광조형 장치에 입력되는 데이터가 위치좌표와 층 정보만을 가지고 있으므로 이들 값에서 추출 가능한 값이기 때문이다.

단일 주사선의 최대길이란, 같은 층에 있는 수많은 주사선 중 가장 긴 주사선의 길이이다. 적층면 면적은, 같은 층 내에서 처음으로 폐곡선을 이루는 형상의 면적이다. 형상의 면적은 계산의 편리함과 신속성을 위해 사각형으로 가정하고 계산하였다. 각 층 사이의 경사각은, 현재 층과 다음 층의 기울기이며 각 층의 첫 번째 위치좌표를 이용하여 기울기를 계산한다.

4.2 실험 결과

작업변수의 변화에 따른 경화현상의 경향을 알아보기 위하여 3 가지 실험을 수행한다.

먼저 주사속도의 변화에 따른 수지의 경화폭과 경화깊이를 알아보기 위해 단일 주사선을 그어 값을 측정하였다.

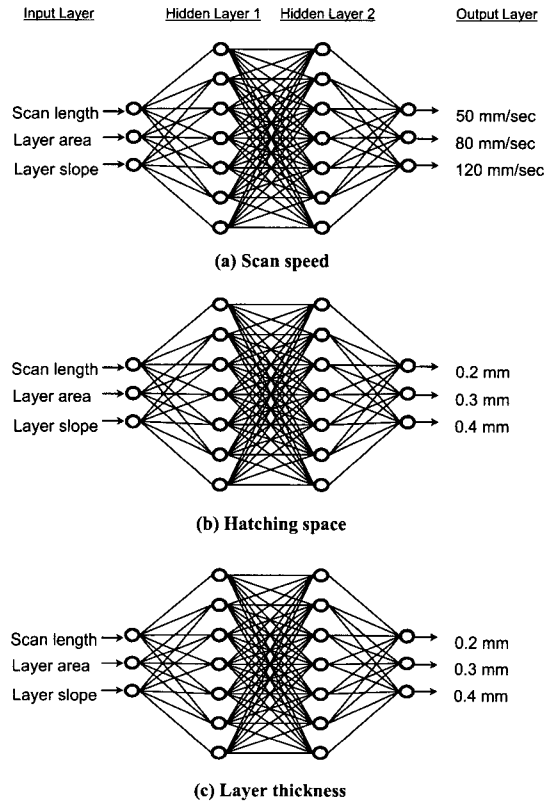


Fig. 7 Neural network applied in the stereolithography machine

Fig. 8은 주사속도에 따른 수지의 경화폭을 측정 한 결과이다. 주사속도가 증가할수록 경화폭이 감소하는 경향을 볼 수 있다. Fig. 9는 주사속도에 따른 경화깊이의 변화를 측정 한 결과로서 경화폭과 마찬가지로 주사속도가 증가할수록 경화깊이가 감소하는 경향을 보인다. 이는 식(1), (2)와 같이 경화폭과 경화깊이는 주사속도에 반비례하는 경향을 가지고 있음을 알 수 있다.

이 결과는 주사속도에 따른 주사간격과 적층 두께를 선정하는 데 활용될 수 있다. 예를 들어 주사속도가 120mm/sec 인 경우 경화폭은 0.35mm, 경화깊이는 0.45mm 이다. 이는 주사속도가 120mm/sec 이상일 때 주사간격이 0.35mm 이상이 되면 주사선이 서로 떨어져 올바른 조형이 되지 않는다는 것을 의미한다. 또한 적층두께를 0.45mm 이하로 결정해야 한다.

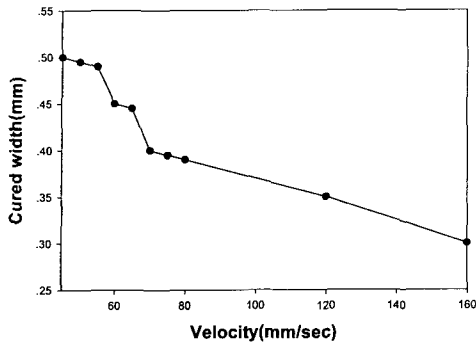


Fig. 8 The diagram of cured width

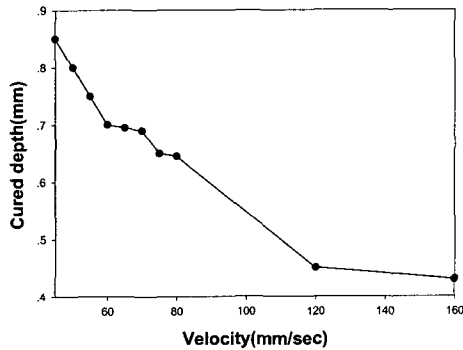


Fig. 9 The diagram of cured depth

다음으로 주사간격에 따른 조형품의 표면거칠기를 측정하기 위해 30x30x30mm의 육면체 시편을 조형하였다. 주사속도는 120mm/s로 설정하고 주사간격을 0.2, 0.3, 0.4 mm로 변화시켜 조형품 상면의 표면거칠기를 측정하였다. Table 1은 주사간격에 따른 표면거칠기를 보여주고 있으며 주사간격이 0.2mm인 경우에 가장 작은 표면거칠기를 얻었다.

Table 1 Surface roughness according to hatching space

Hatching space (mm)	Surface roughness (μm)
0.2	2.220
0.3	2.829
0.4	3.603

층 경사각에 따른 조형품의 표면거칠기를 측

정하기 위해 Fig. 10과 같은 피라미드 형상의 시편을 조형하였다. 주사속도는 80mm/s, 주사간격은 0.2mm, 적층두께는 0.2mm로 설정하여 조형하고 표면거칠기를 측정하였다. 실험결과 경사면의 기울기가 45°인 경우에 표면거칠기가 가장 나쁘게 나타났으며 0°나 90°로 근접할수록 양호한 표면거칠기를 얻었다.

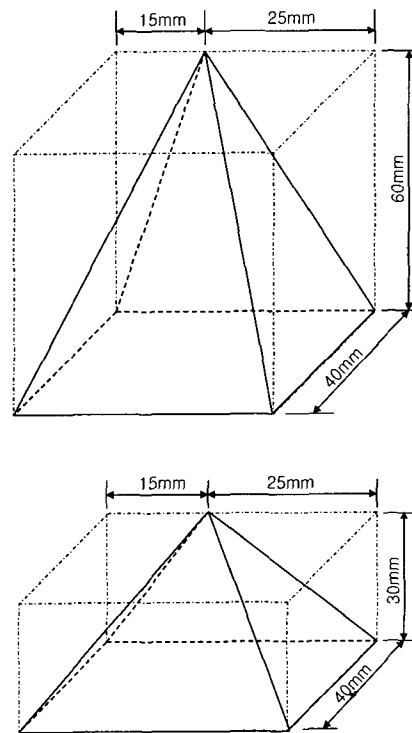


Fig. 10 Test parts of pyramid shape

4.3 학습데이터의 결정 및 학습

개발된 작업변수 결정기의 학습을 위하여 학습데이터를 선정하였다. 학습데이터는 각 조형품에서 허용되는 표면거칠기(15.00 μm)를 가지면서 조형시간을 단축하도록 시편의 조형에서 얻어진 결과와 작업자의 경험을 토대로 선정하였다. 다음의 Table 2, 3, 4는 선정된 데이터이다.

각 표에서의 입력패턴으로 사용되는 형상요소는 실제 조형물의 치수를 바탕으로 선정한 것이다. 먼저 주사선의 길이는 0에서 75mm까지 5mm간격으로 등분한 값이고, 적층면의 면적은 실제 조

형품의 치수를 참고로 최대값을 1000mm² 로 하여 선정된 값이고, 경사각은 피라미드 시편의 경사각을 이용한 값이다. 하지만 선정된 데이터를 절대값이 커 학습속도가 저하되므로 0 에서 1 까지의 값을 가지도록 최대값을 나누어 조정하였다.

먼저 주사속도는 입력 패턴 중 각 주사선의 길이와 적층면적의 치수에 따라 작업변수를 결정하였다. 즉 형상의 치수가 큰 경우에는 조형시간을 줄이기 위해 120mm/sec 로 선정하였고, 치수가 작은 경우에는 조형 시 발생하는 시스템의 오차를 줄일 수 있도록 50mm/sec 로 선정하였다. 또한 주사간격도 주사속도의 선정과 유사하게 치수가 큰 경우에는 0.4mm, 치수가 작은 경우에는 0.2mm 로 선정하였다. 적층두께는 주사선의 길이와 조형물의 경사각을 기준으로 주사선의 길이가 짧고 경사각이 클 때는 0.4mm, 주사선의 길이가 길고 경사각이 작을 때에는 0.2mm 로 선정하였다.

이상에서 만들어진 학습데이터를 이용하여 구성된 신경망 작업변수 결정기를 학습시킨다. 학습은 오류 역전파 알고리즘을 이용하였고 세가지 신경망(주사속도, 주사간격, 적층두께)에 대하여 독립적으로 수행된다.

Table 2 Training data for determination of scan speed

Input pattern			Desired output Scan speed (mm/sec)		
Scan length	Layer area	Layer slope	50	80	120
0.000	0.000	1.000	1	0	0
0.067	0.100	0.889	1	0	0
0.133	0.200	0.833	1	0	0
0.200	0.300	0.778	0	1	0
0.267	0.300	0.778	0	1	0
0.333	0.400	0.722	0	1	0
0.400	0.450	0.667	0	1	0
0.467	0.500	0.611	0	1	0
0.533	0.500	0.500	0	1	0
0.600	0.550	0.444	0	1	0
0.667	0.600	0.333	0	1	0
0.733	0.650	0.278	0	1	0
0.800	0.700	0.222	0	1	0
0.867	0.700	0.111	0	1	0
0.933	0.800	0.056	0	0	1
1.000	1.000	0.000	0	0	1

Table 3 Training data for determination of hatching space

Input pattern			Desired output Hatching space (mm)		
Scan length	Layer area	Layer slope	0.2	0.3	0.4
0.000	0.000	1.000	0	0	1
0.067	0.100	0.889	0	0	1
0.133	0.200	0.833	0	0	1
0.200	0.300	0.778	0	1	0
0.267	0.300	0.778	0	1	0
0.333	0.400	0.722	0	1	0
0.400	0.450	0.667	0	1	0
0.467	0.500	0.611	0	1	0
0.533	0.500	0.500	0	1	0
0.600	0.550	0.444	0	1	0
0.667	0.600	0.333	0	1	0
0.733	0.650	0.278	0	1	0
0.800	0.700	0.222	0	1	0
0.867	0.700	0.111	0	1	0
0.933	0.800	0.056	1	0	0
1.000	1.000	0.000	1	0	0

Table 4 Training data for determination of layer thickness

Input pattern			Desired output Layer thickness (mm)		
Scan length	Layer area	Layer slope	0.2	0.3	0.4
0.000	0.000	1.000	0	0	1
0.067	0.100	0.889	0	0	1
0.133	0.200	0.833	0	1	0
0.200	0.300	0.778	0	1	0
0.267	0.300	0.778	0	1	0
0.333	0.400	0.722	0	1	0
0.400	0.450	0.667	0	1	0
0.467	0.500	0.611	0	1	0
0.533	0.500	0.500	1	0	0
0.600	0.550	0.444	1	0	0
0.667	0.600	0.333	1	0	0
0.733	0.650	0.278	1	0	0
0.800	0.700	0.222	1	0	0
0.867	0.700	0.111	1	0	0
0.933	0.800	0.056	1	0	0
1.000	1.000	0.000	1	0	0

학습과정은 먼저 Fig. 7의 신경망 작업변수 결정기의 각 연결강도를 0에서 1사이의 값을 가지도록 초기화한다. 초기화가 끝나면 학습데이터의 입력패턴을 신경망의 입력층(input layer)에 입력한다. 입력된 데이터는 해당 노드에 연결된 연결강도와 각각 곱해져서 은닉층 1(hidden layer 1)로 전파되고, 동일한 과정을 거쳐 은닉층 2(hidden layer 2)와 출력층(output layer)으로 계속 전파된다. 출력층에서는 위의 계산과정을 거쳐 구해진 결과와 학습데이터의 목적패턴과의 오차를 계산한다.

위의 과정을 거치면 하나의 입력패턴에 대한 오차가 계산되고, 이 과정을 나머지 입력패턴에 대하여 모두 반복하여 각 패턴에 대한 오차를 구하고, 구해진 오차를 모두 합산하여 총 오차를 구한다.

신경망의 학습과정은 총 오차를 줄이는 과정이고 이는 연결강도를 조정함으로써 실현할 수 있다. 이를 위하여 오류 역전파 알고리즘에서는 오차를 연결강도에 대해 나타낸 후, 이 함수의 미분값과 오차를 곱한 값을 연결강도를 수정하는 값으로 이용하여 출력층에서 입력층 방향으로 연결강도를 조정해 간다.

본 연구에서는 위의 과정을 신경망의 전체 오차가 0.2% 이하가 되거나, 총 반복회수가 5만회가 될 때까지 실시하였다.

4.4 성능 평가

개발된 신경망 작업변수 결정기의 성능을 평가하기 위해 기존의 방식으로 작업변수를 설정하여 조형한 조형품과 신경망 작업변수 결정기의 출력을 이용하여 조형한 조형품의 측면에 대한 표면거칠기와 조형시간을 비교하였다. 실험을 위해 사용된 시편은 육면체 시편(30x30x30mm), 피라미드 시편(40x40x60mm), 원뿔 시편(\emptyset 40x60mm)이다(Fig. 11).

육면체 시편을 조형하는 경우, 기존의 조형방식으로는 주사속도 80 mm/sec, 주사간격 0.4 mm, 적층두께 0.2 mm로 작업변수를 설정하였고, 신경망 작업변수 결정기는 주사속도 80 mm/sec, 주사간격 0.2 mm, 적층두께 0.4 mm로 작업변수를 설정하였다.

조형된 시편의 측정 결과 기존의 작업변수로 제작된 시편의 경우 표면거칠기는 8.09 μ m, 조형시간은 6시간 40분이 소요되었다. 이에 반해 신경

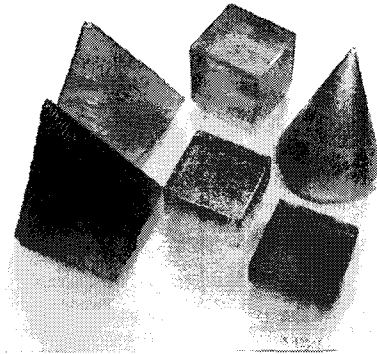


Fig. 11 Parts using developed stereolithography machine

망 작업변수 결정기를 통해 제작된 시편의 경우 표면거칠기는 9.23 μ m, 조형시간은 4시간 40분이 소요되었다.

두 시편 모두 2.4 절의 허용된 표면거칠기(15.00 μ m)를 만족하고 있지만 신경망 작업변수 결정기를 통해 제작된 시편의 조형시간은 2시간이나 단축되었다. 이는 표면거칠기를 만족하는 동시에 조형시간을 개선한 결과이다.

피라미드 시편을 조형하는 경우, 기존의 조형방식으로는 주사속도 120 mm/sec, 주사간격 0.2 mm, 적층두께 0.3 mm로 설정하였고, 신경망 작업변수 결정기는 주사속도 80 mm/sec, 주사간격 0.3 mm, 적층두께 0.2 mm로 설정하였다.

조형된 시편의 측정 결과 기존의 작업변수로 제작된 시편은 경사각이 60°인 면에서 표면거칠기가 25.97 μ m, 조형시간은 4시간 25분이 소요되었고, 신경망 작업변수 결정기를 통해 제작된 시편의 경우 표면거칠기가 12.48 μ m, 조형시간은 5시간 15분이 소요되었다.

이 결과에서 기존의 방식으로 제작된 시편의 조형시간은 50분 적게 소요되지만 표면거칠기가 허용 정밀도를 초과하여 다음 공정에 직접 사용될 수 없으므로 별도의 후처리 공정이 필요하다. 이에 비해 신경망을 이용한 시편은 허용 표면거칠기를 만족하므로 사용된 작업변수가 적절하다는 것을 보여준다.

원뿔 시편을 조형하는 경우, 기존의 조형방식으로는 주사속도 120 mm/sec, 주사간격 0.2 mm, 적층두께 0.3 mm로 설정하였고, 신경망 작업변수 결

정기는 주사속도 80 mm/sec, 주사간격 0.3 mm, 적층두께 0.2 mm 로 설정하였다.

조형된 시편의 측정 결과 기존의 작업변수로 제작된 시편은 표면거칠기가 27.56 μ m, 조형시간은 4 시간이 소요되었고, 신경망 작업변수 결정기를 통해 제작된 시편의 경우 표면거칠기는 12.80 μ m, 조형시간은 4 시간 55 분이 소요되었다.

이는 피라미드의 경우와 유사한 결과이다. 즉, 두 시편의 조형시간은 55 분의 차이를 가지는 반면에 표면거칠기는 신경망 작업변수 결정기를 통해 제작된 시편만이 허용 표면거칠기를 만족함을 알 수 있다. 이는 신경망 작업변수 결정기의 작업변수가 적절하다는 것을 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 광조형 작업변수를 결정하기 위하여 신경망을 적용하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

[1] 작업자의 경험에 의해 작업변수를 결정하는 방법을 개선하여 조형물의 형상에 따라 작업변수를 자동으로 결정하는 신경망 작업변수 결정기를 개발하였다.

[2] 실험을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 신경망 작업변수 결정기를 학습시켰다.

[3] 신경망 작업변수 결정기를 통해 조형한 결과 기존의 작업조건 결정방식에 의해 만들어진 조형품보다 표면거칠기와 조형시간에서 적절한 결과를 얻었다.

현재 사용되고 있는 알고리즘은 단순한 단면형상에 대해서 작업변수를 결정할 수 있지만 향후 연구과제로서는 복잡한 단면형상에 대해서도 작업변수를 결정할 수 있는 알고리즘을 개발하는 것이다.

참고문헌

1. 中川 威雄 · 丸谷 洋二, "積層造形システム三次元コピ技術の新展開," 日本工業調査會, pp. 38-57, 1998.
2. Naoya Ikawa, Takeshi Kishinami, Fumihiko Kimura, "Rapid Product Development," Proceedings of the 8th International Conference on Production

- Engineering, pp. 93-96, 1997.
3. Paul F. Jacobs, "Stereolithography and other RP&M Technologies," ASME, pp. 27-80, 1996.
4. D T Pham, "Design for stereolithography," Proc Instn Mech Engrs, Vol. 214, Part C, pp. 635-640, 2000.
5. 이은덕, 김준안, 백인환, "레이저빔 직경변화에 대한 광경화성 수지의 경화특성 고찰," 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, pp. 1089-1092, 2001.
6. Anna Kochan, "Rapid prototyping gains speed, volume and precision," Assembly Automation, Vol. 20, No. 4, pp. 295-299, 2000.
7. Onuh S.O. , Hon K.K.B. , "Optimizing build parameters for improved surface finish in Stereolithography," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 38, No. 4, pp. 329-342, 1998.
8. J.-S. R. Jang, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing," Prentice-Hall, pp. 197-328, 2000.
9. 송용익, "쾌속 금형 조형 기술 현황," 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 10 호, pp. 11-16, 2000.