

다구찌방법을 이용한 FDM 파라미터의 최적화

엄태승*(고려대 대학원), 최우천(고려대), 홍대희(고려대)

Optimization of the FDM Parameters Using the Taguchi Method

T. S. Uhm (Mech. Eng. Dept., KU), W. C. Choi (Mech. Eng. Dept., KU), D. H. Hong (Mech. Eng. Dept., KU)

ABSTRACT

Rapid Prototyping(RP) has been widely applied in designing and developing processes a new product. The functional requirements of a rapid prototyping system are high speed and high accuracy, and they depend on the operating parameters, some of which can be set by users. The accuracy is evaluated by dimensional errors and form errors of manufactured parts. A specially designed specimen with various features has been used for the accuracy evaluation. According to the Taguchi experimental design techniques, an orthogonal array of experiments has been set which has the least number of experimental runs to find the parametric effects. A laser scanner is used to obtain the point data of the parts and Surfer is used to determine the lengths and angles. The optimal conditions for the FDM manufacturing parameters have been found.

Key Words : Rapid prototyping(쾌속조형), Fused deposition modelling(FDM), Parameter tuning(파라미터 조율), Taguchi method(다구찌 방법)

1. 서론

현대에는 소비자의 욕구가 다형해지고 기능인력이 부족하며 경제활동에 대한 노동 가치관이 변화함에 따라 기계공업분야에서도 생산의 자동화가 절실히 요망되고 있다. 따라서 각 제조 업체에서는 신제품 개발 시 CAD/CAM에 의한 무인가공으로 제품의 생산성 향상 및 대외 경쟁력을 높이기 위하여 제품의 설계 및 제조의 전 과정에서 컴퓨터를 이용한 자동화시스템을 가능하게 하였다.⁽¹⁾ 이러한 CAD를 이용한 CNC(Computer Numerical Control)와 같은 전통적인 공정 자동화에 더 나아가 여러 가지 대안적인 가공 방법들이 소개되고 개발되어 왔다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션으로부터 직접적으로 형상을 측정하는 새로운 여러 가지 가공 과정들이 개발되어 기존의 기계가공 방식과는 달리 고도의 숙련자가 만들었던 복잡한 3차원 형상도 비교적 빠른 시간 내에 제조할 수 있게 되었다. 공업 분야에서 제품을 직접 생산하기 전에 다양한 모델을 시험 제작한다는 것은 제품의 외관 디자인, 부품 조립 기구, 시험, 금형 제작 등이 매우 효율적으로 만들어준다. 특히 최근 소비자의 다양한 기호에 맞물려 제품 형상이 점점 복잡하

고 많은 곡면을 이루고 있어서 아무리 숙련된 고도의 기술자라도 설계도를 완전히 이해하기가 어려울 뿐만 아니라 실제 가공하기가 힘든 경우가 점점 높아지고 있는 실정이다. 또한 고도의 숙련자에 의존했던 창조성이 높은 복잡한 형상도 해마다 숙련자가 감소되는 경향으로 인하여 제품 형상의 시험 및 모델 제작 업계에 심각한 위기감이 감돌고 있다.

최근에 개발된 여러 종류의 RP(Rapid Prototyping) 시스템들은 기존의 기계 가공의 문제점들을 해결할 수 있는 가능성을 제시하였다. 여기서 RP는 급속 입체성형 또는 쾌속 3차원 조형법이라고도 하며, 설계자의 의도를 실제 성형물로서 제품 개발 초기 단계에서 빠르게 제작, 검증함으로써 CAD/CAM 통합에 의한 자동 생산 체제를 응용하여 동시 공학(concurrent engineering)에도 적용 가능한 공정을 일컫는다. RP 기술은 제품 개발 초기 단계에서 형상 확인, 외관 평가 및 기능 검증 등 설계 검토용으로 활용하여 개발 제품의 신뢰성을 제고하고 납기를 대폭적으로 단축하고 있다. 이러한 시작품(prototype)을 제작하는 통상적인 목적은 제품 개발 초기 단계에서 설계 상의 오류나 실제로 대량 생산을 하는데 있어서 적합하지 못한 요인을 조기에 검증, 확인하는데

있다고 할 수 있다. LOM 시스템을 이용한 패턴제작에 관한 연구와 폐속제품개발을 위한 폐속조형기술의 최근동향에서는 폐속조형에서 최적으로 할 수 있는 내용이 없었다.^(2,3)

본 연구에서는 폐속조형기의 하나인 Fused Deposition Modelling(FDM)을 이용하여 길이오차와 형상오차를 최소화하는 최적의 파라미터들을 다구찌 방법으로 찾아내고 각 파라미터들이 제품에 미치는 영향들을 조사하고 습도나 파트 재료의 수축 등을 고려하지 않고 치수오차와 형상오차에 대해서 제어할 수 있는 파라미터를 실험을 했다.

2. FDM장비의 원리 및 파라미터

2.1 FDM장비의 원리 및 특징

Fig. 1은 FDM장비의 원리를 보여준다. 필라멘트 선으로 된 열가소성 재료(ABS)를 용융점 바로 위의 온도까지 가열하여 노즐을 통해서 분사한다. 분사한 층이 고화되고, 노즐을 계속 움직이면서 고체층 위에 재료를 분사하여 다른 한 층을 쌓는다. 이와 같은 방법으로 여러 층을 만들어서 제품을 제작한다(4)

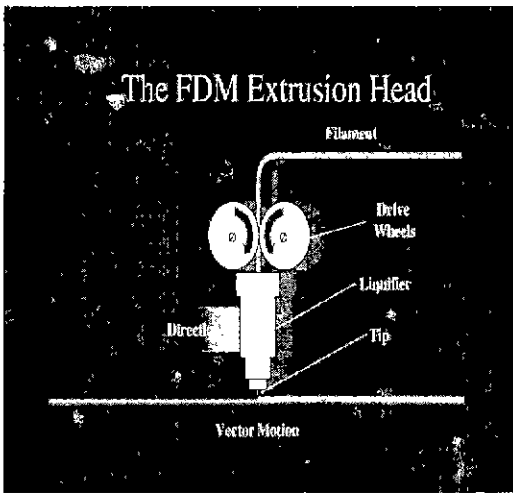


Fig. 1 FDM (Fused Deposition Modeling)

이 장비의 특징으로는 기계장치가 비교적 간단하고 부대장비가 불필요하며, 사무실 환경에 적합하다 그리고 다양한 색의 ABS수지로 된 성형물을 직접 얻을 수 있어 시제품의 기계 가공성이 뛰어나며 강도가 일반 사출물과 비슷하여 2차 가공 없이 직접 기능성 부품으로도 사용할 수 있고 장비의 가격 및 유지보수비가 저렴하다.

2.2 FDM 장비의 파라미터

FDM 장비를 사용하면서 몇 개의 파라미터를 조절할 수 있다. 이러한 파라미터들의 설정 값 혹은 조건은 제작할 파트에 영향을 미칠 수 있다.

- A: 파트의 배치 각도: 수평, 수직
- B 파트 내부의 충전 방법 내부 채움, 벌집 모양
- C: 모델팁 크기: 12tip, 16tip
- D: 챔버 내부온도: 60℃, 70℃
- E. 한 층 두께: 0.1778mm, 0.254mm
- F. 서포트 온도, 233℃, 238℃
- G: 모델 온도: 270℃, 280℃

3. 다구찌 방법

3.1 다구찌 방법을 적용한 실험

제품의 정밀도를 구하기 위해서 Fig. 2에서의 같은 파트를 선정하였다. 이 파트는 여러 치수와 각도 그리고 원과 반구를 갖고 있다 측정 대상으로는 치수길이, 각도 그리고 원과 반구의 3개의 그룹으로 나누었다

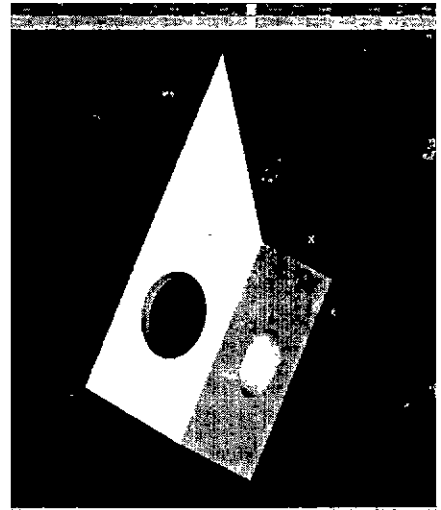


Fig. 2 A specially designed specimen.

앞에서 언급한 7개의 파라미터를 변화시키며 다구찌 방법을 적용하여 실험하기 위해서 파라미터 간에 상호작용을 고려해서 16번 실험하는 L16(2¹⁵) 직교배열표를 선택했다.

3.2 측정

작업자의 실수를 줄이고 정확한 측정 데이터를 얻기 위해서 실제 파트에 접촉하지 않고 레이저를 이용하여 파트의 형상을 측정하는 레이저 스캐너를 사용하였다. 레이저 스캐너는 측정속도가 빠르고 자유곡면과 같은 복잡한 형상 측정에 용이하며 점 데이터

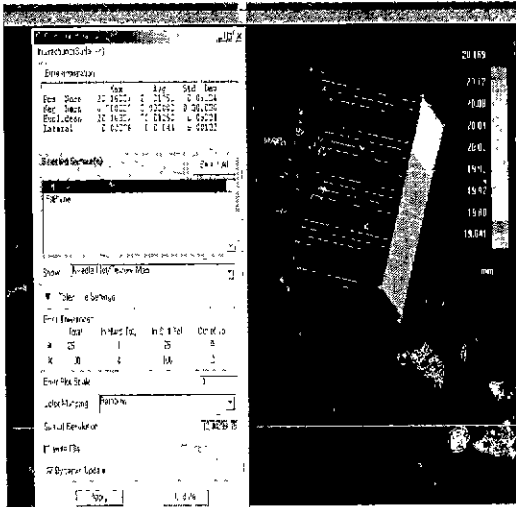


Fig 3 Length measurement using Surfacer.

이터의 평균적인 정밀도는 0.0076mm이고, 레이저 다이오드 방식으로 감지하며 측정 가능한 물체의 크기는 508mm*400mm*400mm 이다.

Table 1 Relative errors of dimensions and form.

Run	길이 (mm)	각도 (°C)	원과 반구 (mm)
1	1.1716	2.8	0.78
2	0.9221	2.4	0.49
3	0.65572	2.2	0.41
4	1.06931	1.4	0.38
5	0.94589	1.8	0.49
6	0.88159	3.4	0.09
7	0.89287	4.1	0.47
8	1.15122	2.7	0.72
9	0.83927	2.2	0.36
10	0.59938	1.8	0.09
11	0.91037	4.7	0.19
12	0.96755	6.6	0.1
13	0.96655	2.2	0.1
14	1.22836	2.1	0.19
15	0.98619	3.8	0.32
16	1.04208	2.4	0.04

측정은 점 데이터를 스캐너로 측정하고 받은 데이터

를 상용 소프트웨어인 Surfacer로 점 데이터를 클라우드 데이터로 변환시키고 그 데이터를 다시 면으로 만들어서 측정을 하였다. Fig. 3은 길이를 측정하기 위해서 클라우드 데이터에서 면을 만들어서 면 사이의 거리를 최대거리, 평균거리, 최소거리 등으로 나타내고 그림에서의 색의 도표는 붉은 색으로 갈수록 거리가 멀어지는 것을 뜻하고 본 논문에서는 평균값을 택했다. 이러한 방법으로 측정을 하여 5개의 길이, 7개의 각도 그리고 두 개의 원과 반구의 반지름으로 하는 3개의 그룹을 얻었다. 이렇게 얻은 값은 5개의 길이에 대해서 상대적인 값을 얻어냈고 같은 방법으로 각도와 원의 반지름을 얻어냈다. Table 1은 길이, 각도와 원과 반구의 상대적인 오차를 보여주고 있다.

3.3 다구찌 방법을 적용한 해석

파트를 측정해서 구한 Table 1의 결과를 다구찌 방법을 통해서 해석하고 최적의 파라미터를 찾았다. 최적의 파라미터를 찾기 위해서 다음 식을 이용해서 표본평균을 구하고 각각 파라미터의 영향을 구했다.

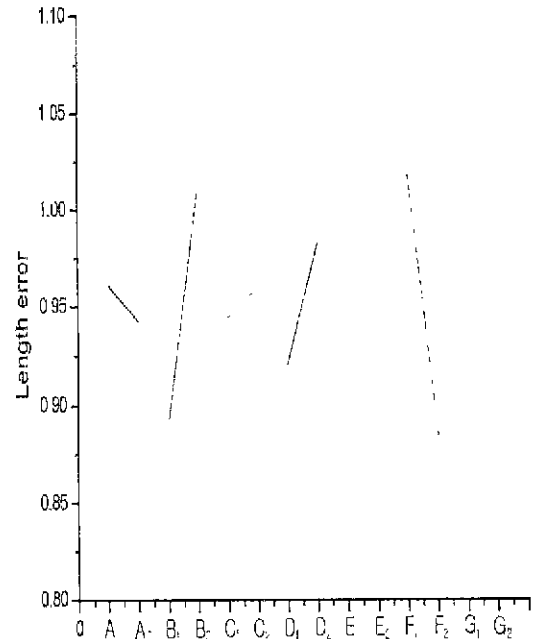


Fig. 4 Parametric effect.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\frac{1}{y_{A1}} = \frac{(y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8)}{8}$$

위의 식을 사용하여 길이 오차를 대상으로 파라미터의 영향을 구하고 그래프를 그리면 Fig. 4와 같다.⁽⁵⁾ Fig 4에서 길이의 최적의 파라미터를 구하면, A2, B1, C1, D1, E2, F2, G1이 된다. 이와 같은 방법으로 각도 오차와 원과 반구의 오차를 구해보면 각도의 오차는 A1, B2, C1, D2, E1, F1, G1이 되고 원과 반구의 최적에 파라미터는 A2, B2, C1, D2, E2, F2, G1가 된다 이렇게 3개의 그룹에서 구해진 최적의 값을 하나로 통합하기 위해서 3개의 그룹에 적절한 가중치를 부여해서 얻었다. 가중치는 길이, 반경과 각도에 대해 각각 0.6, 0.2, 0.2를 부여하였다. 그리고 표본평균에 가중치를 곱한 후 합하여 통합했다. 이렇게 해서 얻어진 최적의 파라미터는 A2, B1, C1, D2, F2, G1로 나타났다. 다음으로 파라미터들이 길이의 오차에 미치는 기여도를 S/N 비로 다음 식을 통해서 구해보면⁽⁶⁾

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

Table 2-4의 결과를 얻을 수 있다. Table을 보면 파트의 배치 각도가 원과 반구의 반경에 큰 영향을 미치고 모델 팁의 크기가 각도에 가장 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다

Table 2 S/N ratios of parameters (length).

변수	A	B	C	D	E	F	G
S/N비 (%)	14.4	14.27	14.38	14.22	14.18	14.23	14.31

Table 3 S/N ratios of parameters (circle).

변수	A	B	C	D	E	F	G
S/N비 (%)	17.82	13.68	13.08	14.84	13.49	14.34	11.19

Table 4 S/N ratios of parameters (angle).

변수	A	B	C	D	E	F	G
S/N비 (%)	16.42	6.65	70.63	0.16	1.5	3.21	0.64

4. 결론

본 논문에서는 FDM으로 제작하는 파트의 정밀도에 가장 영향을 미치는 7개의 파라미터를 대상으로 실험을 하였다. 요구되는 많은 실험을 줄이기 위

해서 다구적 L16(2¹⁵) 직교배열표를 이용해서 조절할 수 있는 파라미터를 두 개의 레벨로 설정하였다. 본 연구의 분석 결과 선정된 파라미터의 가장 최적 조건은 파트를 수직으로 했을 때, 파트의 내부를 채움으로, 팁은 12Tip으로, 챔버 내부 온도는 70℃, 한층의 두께는 0.254mm, 서포트의 온도는 238℃, 모델의 온도는 270℃일 때를 제안하였다. 파라미터의 기여도에서도 길이에서는 비슷하지만 각도에서는 한층의 두께가 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한창국, "STL파일을 이용한 지시대 생성 프로그램 개발에 관한 연구," 부산대학교 석사학위논문, pp. 1-4, 1996.
2. 최만성, 최배호, "LOM 시스템을 이용한 패턴제작에 관한 연구." 한국정밀공학회지, 제18권, 제120호, pp. 47-52, 2001.
3. 양동열, 손현기, "캐삭제품개발을 위한 캐삭조형 기술의 최근동향." 한국정밀공학회지, 제17권, 제10호, pp 5-10, 2000.
4. Weihong Zhong, Fan Li, Zuoguang Zhang, Lulu Song, and Zhumin Li, "Short fiber reinforced composites for fused deposition modeling," Materials Science and Engineering A, Vol. 301, pp. 125-130, 2001.
5. Clen Stuart Peace, "Taguchi Methods," pp. 114-125, 1997.
6. Jack G. Zhou, Daniel Herscovici, and Calvin C. Chen, "Parametric process optimization to improve the accuracy of rapid prototyped stereolithography parts," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol 40, pp. 363-379, 1999.