

쾌속 조형 공정의 성능 평가 및 선정에 관한 연구

신행재*, 변홍석, 이관형 (광주과학기술원 기전공학과)

A study on capability evaluation and machine selection in RP processes

Haeng-Jae Shm, Hong-Seok Byun, Kwan-Heng Lee (Mechatronics. Dept. KJIST)

ABSTRACT

This paper describes the selection and evaluation of RP processes. Major rapid prototyping processes such as SLS, SLA, FDM and LOM, which are wide spread in use are selected. A test part, which includes various primitives, is designed in order to evaluate these RP processes. Measurement of the test part is automated by using a CMM program. To visualize and analyze measured data, Microsoft Access and Visual C++ are used. Also, from measured data obtained, TOPSIS, one of the decision making methods, and Shannon Entropy is used to select an appropriate RP process for specific application.

Key Words : CMM(접촉식 3 차원 측정기), RP (쾌속조형), Test part (테스트파트), TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

1. 서론

쾌속 조형물은 일반 머시닝에 의해 제작된 파트와는 다른 특성들을 가지고 있다. 따라서 쾌속조형 장비 고유의 특성을 고려한 측정시편 및 측정 방식이 요구된다.

기존에 수행된 쾌속조형 test part 관련 연구를 보면, EU project[1]에서는 약 40 여개의 part 를 여러 RP service bureau 에 의뢰하여 bench marking 을 시도 하였으나, 단순한 몇 가지 측정항목만을 측정했기 때문에, bench marking 에 부족한 면이 있었다. 또, T. H. C. Childs[2]등에 의해 RP 장비 고유의 다양한 특성을 규명하기 위한 test part 를 만들고 측정을 수행하였으나, 대량의 측정 결과의 나열에 그쳐, 평가의 모호함을 나타내었다.

본 연구에서는 이전 연구[3]에서 제작된 RP 평가를 위한 테스트 파트를 이용하여 자동측정을 수행하였고, 얻어진 결과물 data base 화 하였으며, 이러한 data base 를 바탕으로 하여 공정 성능 평가를 위한 측정결과를 가시화를 시도하였다. 따라서 본 논문에서는 CMM 장비를 이용한 측정 셋업을 구성하였고, CMM 을 이용하여 얻어진 대량의 데이터를 의사결정방식을 도입하여, 공정성능의 우선순위를 선정하도록 하였다.

2. 측정 Set up 구성

2.1 Test part

본 연구에서 공정능력 평가를 위해 아래와 같은 특징을 갖는 Test part 를 설계하였다.

1. 실제 산업현장에서 높은 빈도로 사용되는 다양한 primitive 들을 선정하였고,
2. RP 장비 특유의 방향성을 고려하여, 각각의 primitive 들을 x, y, z 방향에 하나씩 배열 하였으며,
3. 몇몇 RP 장비에서 나타날 수 있는 bending 현상을 최소화 하기 위한 계단 형상을 파트 밑면에 넣었고,
4. Small feature 의 제작가능 여부를 평가하기 위한 형상을 추가하였다.

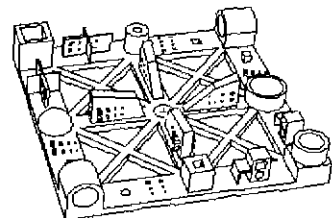


Fig. 1 Test part

2.2 CMM(Coordinate measuring machine)

측정에 사용된 장비는 Mitutoyo Bright A504 장비를 사용하였다. CMM의 정밀도는 약 $5\mu\text{m}$ 정도로 알려져 있으며, touch probe를 사용하여 part를 측정하게 된다. 이 장비는 자동 로터리방식이 아닌, 수동로터리 방식의 프로브를 장착하고 있다. 측정은 x, y, z 축 방향으로 수동으로 5번 프로브 방향을 바꿔서 측정을 하였고, Off-line 측정방식으로 자동측정을 수행하였다.

2.3 경로 생성을 위한 module 제작

RP test part는 약 56개 정도의 측정요소를 가지고 있으며, 이것을 operator가 수동으로 측정한다는 것은 노동력과 시간의 낭비이고, 또한 RP 파트를 일반적인 CMM의 learning mode(teaching mode)를 이용하여 측정한다는 것도 바람직하지 못하다.

본 논문에서는 RP 파트의 특성을 고려하여, Visual C++을 사용하여, RP test part 자동측정을 수행하였다. Test part 측정시 다음과 같은 몇 가지 특징을 고려하여 용이하게 측정하도록 하였다.

2.3.1 Scaling error 보정

RP 장비가 발생시키는 여러 중에 대표적인 예리요인 중에 하나가 scaling error 현상이다. 대부분의 조형장비는 고온에서 시작품을 만들어 내기 때문에, 상온으로 냉각된 후에, 수축현상이 일어나는 경우가 발생한다. 이를 위해서 파트제작 전에 scaling error를 보정하기 위한 조치가 필요하다. 이러한 scaling error는 laser beam 주사방식 및 제작경로 등에 의해서 큰 영향을 받을 수 있으며, x, y, z 각각의 방향에서 수축률이 다르게 나타나는 현상이 발생한다. 이러한 오차가 심각할 경우에는 probe가 이동도중에 파트와 충돌하는 경우가 발생할 수도 있다.

이를 보상하기 위하여 초벌측정을 수행하는 방법을 고안 하였다. 즉, 파트의 x, y, z 각각의 방향의 최대 길이(x: 150mm, y: 150mm, z: 20mm)를 버니어캘리퍼스나 CMM 등으로 측정한 후 그 오차 값을 입력하면 그 값만큼 전체 측정 경로가 보상되도록 구성한 것이다.

2.3.2 측정

일반적으로 측정횟수는 측정의 신뢰도와 높은 관련을 가지고 있다. 즉, 측정횟수를 증가 할수록 더욱 신뢰도 높은 결과를 얻을 수 있기 때문이다. 하지만 이에 따라 측정 경비 및 측정 시간이 늘어나는 것을 고려해야 한다.

RP 장비의 경우 일반적으로 surface quality가 일반 머시닝 파트에 비해 떨어지므로 이러한 영향이 더욱 심하게 나타난다.

이러한 특성을 고려하여 측정 횟수를 가변적으로 조절할 수 있도록 구성하였으며, 아래의 그림의 순서와 같이 측정점을 증가시킬 수 있도록 하였다.

즉, 측정을 3번씩 하고자 한다면, Fig. 2의 1, 2, 3의 순서로 위치를 바꿔가면서 측정을 한다는 것이다.

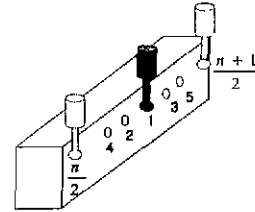


Fig. 2 Measurement sequence.

Cylinder 형상이나, sphere 등을 측정할 때는 반쪽 측정시 약 1도씩 전체 측정부위를 회전하도록 구성하였다.

3. Data Base 구성 및 공정 평가

3.1 Data base의 구성

본 논문에서는 Microsoft Access2000을 사용하여 DB를 구성하였다. Access는 MS Office군에 포함되어 있는 DB 개발 및 관리 프로그램으로서, 사용이 편리하고 Office군에 포함되어 일반대중에게까지 보급되어 있는 장점을 가지고 있다.

측정은 part 한 개당 약 50여 primitive를 각각 5회씩 측정 하였으며, 측정 후에 최대값과 최소값을 제외하고 중간값 3개만을 이용하여 DB를 구성하였다. 측정된 결과들은 우선, 기하학 에러를 가지고 있는 sphericity, cylindricity, angularity 등의 요소들과, 선형 에러를 가지는 linearity 요소들로 나누고, RP장비의 방향성을 고려하여, x, y, z의 세 방향으로 다시 분류하였다.

측정에 선정된 RP system은 국내에서 가장 많이 사용되는 네 가지 system을 택하였다.

Table 1. RP systems

장비명	의뢰업체
LOM 2030	KAIST
FDM 8000	KIMM
SLA 350	부산대학교
SLS 2500	삼성전기

3.2 공정 평가

공정평가를 위해서 본 논문에서는 의사결정방식을 도입하였다. 다기준 의사결정방식 중의 하나인 TOPSIS(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)방식을 사용하였다. 이 방식은 Yoon[4]

에 의해서, 최종적으로 결정된 대안은 이상적인 해로부터 가장 가깝고 비이상적인 해로부터 가장 멀어야 한다는 개념 하에 개발되었다. 이 방식을 적용하기 위해서는 외부로부터 weight factor 를 입력 받아야만 한다. Weight factor 를 얻는 방법은 자료분석가의 자료 분석을 통해서, 혹은 가중치계산법에 의해서 계산이 가능하다. 본 연구에서는 Shannon Entropy 방식을 사용하여 가중치를 계산하였다.

3.2.1 Shannon entropy method

실험에서 사용된 각각의 장비들을 대안으로 선정하였고, 측정을 통해서, 분류된 항목들은 총 8 가지로 다시 분류하였고 이를 바탕으로 의사결정행렬을 구성하였다.

대안 i 의 j 요소에 대한 평가식 P_{ij} 는 다음과 같다.[4]

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$$

요소 j 에서 평가치에 대한 엔트로피 E_j 는,

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \log P_{ij} \quad \text{단, } k = 1/\log m$$

요소 j 의 평가에 의해 제공되는 정보의 다양함의 정도(Degree of diversification) d_j 는,

$$d_j = 1 - E_j$$

여기서 가중치 w_j 는,

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$$

로 정의 된다.

3.2.2 TOPSIS((Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

TOPSIS [4]의 절차는 다음과 같다.

1. 의사결정 행렬의 정규화

$$r_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}$$

2. 가중치 부여

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n$$

3. 이상해와 비이상해의 결정

$$A^+ = (v_{1+}, \dots, v_{j+}, \dots, v_{n+})$$

$$A^- = (v_{1-}, \dots, v_{j-}, \dots, v_{n-})$$

각각의 측정 요소들은 표준편차이기 때문에 망소특성을 가지고 있다. 따라서 이상해의 요소인 v_j^+ 는 각 항목 j 에서의 대안 i 의 값 중에 최저치들을 모은 것이고, 비이상 해의

요소인 v_j^- 는 표준편차의 최고치를 모은 것이다.

4. 간격척도(separation measure)계산

각 대안에 대한 이상해로부터의 간격:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, \dots, m$$

각 대안에 대한 비이상해로부터의 간격:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, \dots, m$$

5. 이상해로부터의 상대적 근접도 C_i^+ 계산

$$C_i^+ = S_i^- / (S_i^+ + S_i^-)$$

단, $0 < C_i^+ < 1, i = 1, \dots, m$

여기서, 대안 A_i 가 A^+ 에 가까워지면 C_i^+ 는 '1'에 접근하며, A_i 가 A^- 에 가까워지면, C_i^+ 는 '0'에 접근을 하게 된다.

6. 계산되어진 C_i^+ 의 값의 크기에 따라, 정밀도(accuracy)의 선호순서를 정할 수가 있다

4. 측정결과 및 평가

전체 소요된 시간은 다음과 같다.

Table 2. Total number of items and required time

측정 방향	측정요소 개수	소요시간(분)
P1	38	45
P2	8	11
P3	6	7
총계	52	63

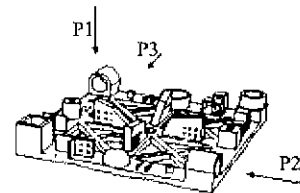


Fig. 3 Measurement direction

총 4 개의 part 만을 측정하였으며, 모든 파트는 길이 보정을 받은 후에 program 에 의해 측정되었으므로, 총 소요시간은 252 분 정도가 소요 되었다.

Table 4 는 각 측정의 에러의 표준편차를 계산한 결과이다. 표를 보면 z 축 방향의 angle 값은 없는데, angular error 는 x, y 방향에서 측정으로도 그 척도를 판단하기에 충분하므로 test part 에 포함되어 있지 않았다.

Table 3 에서, LOM 장비의 z 축 선형 에러가 크게 되는 것을 볼 수 있는데, LOM 의 layer glung 시 발생하는 접촉체 두께에 의한 오차가 에러요인이 된 것으로 보인다. 그리고 LOM 장비의 angle 항목의 x 축 편차가 심하게 나타났는데, 이는 파트 제조시, LOM 파트는 전단력의 취약성으로 인해 x 축에 angle 측정용 'primitive' 가 파손이 되었는데, 이를 다시 작업자가 접촉제로 붙였기 때문에 발생한 것으로 보인다.

Table 3. Standard deviation

장비명	방향	Geometric	Linear	Angle
FDM8000	x	0.2846	0.1084	0.3553
	y	0.1473	0.1247	0.5883
	z	0.0391	0.1477	
LOM2030	x	0.1861	0.1522	1.1374
	y	0.2078	0.2190	0.7766
	z	0.2281	0.4064	
SLA350	x	0.1362	0.1316	0.6042
	y	0.1621	0.2178	0.5627
	z	0.0611	0.1091	
SLS2500	x	0.0834	0.2394	0.3899
	y	0.1503	0.2505	0.7052
	z	0.1279	0.1409	

Table 4 는 Shannon entropy 를 적용하여 얻어진 8 가지 항목의 weight factor 이다. 'Geometric'라고 분류된 항목들은 primitive 의 shape 과 관련된 항목들의(sphericity, cylindricity) 값이며, 'Linear' 은 선형 에러요소들을 묶어서 분류된 항목이다.

Table 4. Weight factor

	내용	weight factor
W1	Geo. x	0.1260
W2	Geo. y	0.1176
W3	Geo. z	0.1373
W4	Lin. x	0.1213
W5	Lin. y	0.1196
W6	Lin. z	0.1323
W7	Ang. x	0.1284
W8	Ang. y	0.1175

마지막으로, Table 5 는 얻어진 weight factor 를 이용하여 TOPSIS 방식을 수행하여 얻어진 결과이다.

Table 5. Result of TOPSIS method

	FDM	LOM	SLA	SLS
C+	0.6510	0.2148	0.7869	0.6799

따라서 얻어진 측정결과에 의해 얻어진 정밀도

평가는 SLA>SLS>FDM>LOM 의 순서로 나타났고, FDM 과 SLS 는 큰 차이가 없었다.

5. 결론

지금까지 정밀도를 바탕으로 다기준 의사결정 방식 중의 하나인 TOPSIS 방식을 이용하여 의사결정을 수행하였다. 쾌속조형 장비는 장비의 특성상 같은 장비라도 작업자의 숙련도나 관리정도에 의해 성능이 다양하게 나타날 수가 있다. 그러므로 위에서 얻어진 결과가 전적으로 그 장비를 대표할 수 있는 결과라고 할 수는 없는 것이다. 하지만 앞으로 쾌속조형 장비의 사용이, 선진국에서처럼 service bureau 등을 통해 활성화 되었을 때에, 어느 bureau 에서 제품을 의뢰해야 하는가에 대한 문제에 직면했을 때, 이러한 data base 가 존재한다면, 참고자료가 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 대표적인 4 가지의 RP 장비를 의뢰, 정밀도만을 이용하여 결과의 가시화를 시도 하였다. 하지만 현재 그 사용이 증가하고 있는 concept modeler 나 3 차원 faxing 등에서 RP 장비는 정밀도보다 가격이나, 제조시간 등의 다른 요소들이 더 중요한 의미를 가질 수도 있다.

이를 위하여, 앞으로 몇몇 RP 장비를 더 추가적으로 측정할 예정이며, accuracy 뿐만 아니라 가격, 제조시간, 비용, 기능성 등의 여러가지 요소들을 고려하여 의사결정에 적합한 시스템을 개발 하고자 한다.

참고문헌

1. Mike Shellbear, EOS GmbH, "Benchmark Study of Accuracy and Surface Quality in RP Models", Project funded by the European Community under the Brite/Euram programme, June 1999.
2. T. H. C. Childs, N. P. Juster, "Linear and Geometric Accuracies from Layer Manufacturing", Annals of the CIRP, Vol. 43, No. 1, pp.163-166, 1994.
3. 변홍석, 신행제, 이관행, "RP 공정의 정밀도 비교 평가", 한국정밀공학회 2000 년도 추계학술대회 논문집 pp272-276, 2000
4. 김성의, "의사결정론 -분석 및 응용-", 영지문화사, 1988.
5. P. Vankeerberghen and D. L. Massart, "Decision trees for rapid prototyping of expert systems" Brussels, Belgium, trends in analytical chemistry, Vol. 10, No.4, pp.110-114, 1991.