한국정밀공학회지 제18권 제3호 (2001년 3월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 18, No. 3, March 2001.

# LOM 시스템을 이용한 패턴제작에 관한 연구

최만성*, 최배호**

# A Study on Manufacturing Process of Pattern with LOM System

Man Sung Choi*, Bae Ho Choi**

## ABSTRACT

Rapid Prototyping(RP) has been widely applied in designing and developing process of new products. RP can reduce the lead time and expense required to bring a new product form initial concept to production. Among several RP process can dramatically reduce the total build time and be applied for fabrication of large-sized and free form object because it uses in LOM the paper thickness is 0.05~0.38mm as deposition feature segment. In this study, mechanical properties of pattern with LOM system is studied for optimal design of sand mold casting. The main result is that tensile, compressive strength and pattern size are significantly affected by temperature of hot roll.

**Key Words :** RP(쾌속시작법), LOM system(적층조형시스템), Mechanical properties of pattern(패턴의 기계적 성질), Optimal design of sand mold casting(주형물의 최적설계)

## 1. 서론

복잡한 3차원 형상을 신속하게 제작하는 쾌속시작법(Rapid Prototyping)은 10여 년 전에 개발되어 현재, 이를 이용한 응용연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다. 쾌속시작방법으로는 광경화성수지(Photo-polymer)를 사용하는 SL(StereoLithography)법, 세라믹분말(Ceramic Powder)을 사용하는 3D-Printing, SLS(Selective Laser Sintering)법, 종이를 사용하는 LOM(Laminated Object Manufacturing) 등의 여러 가지 시스템이 실용화되고 있다. 이러한 시스템을 활용한 쾌속시작제품개발은 설계 및 시작, 생산과정의 통합화에 있어서 중요한 개념으로 부각되고 있으며 개발기간의 단축 및 설계확인 등에서 기대효과가 매우 크다. 쾌속시작법(RP)을 이용하면 제품의 설계단계에서 만들어지는 3차원 입체모형(3D solid model)으로부터 직접 패턴을 제작할 수 있으므로 주조용 패턴을 수 작업을 거치지 않고 단시간에 제작할 수 있다. 이 중 LOM 시스템은 종이를 사용하여 3차원 입체 모형을 만드는 방법으로 상대적으로 대형 치수의 제품을 만들 수 있는 장점이 있다. 그리고 LOM으로 제작한 패턴은 치수 정밀도가 양호하고, 휨이나 비틀림이 적으며, 거의 나무와 같은 성질을 가지고 있으므로 후속표면 가공이 용이한 이점이 있어, 주물용 목형의 대체 방안으로 주목되고 있다.

* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부
** 생산기술연구원 생산기반기술개발센터

본 연구에서는 LOM 시스템을 이용한 사형주조용 주형 패턴을 제작할 때 고려해야할 치수정도, 기계적 강도 등을 검토하여 공정에서 생기는 용탕의 수축율을 고려한 수축여유와 주조 후 기계가공이 요구될 때 제거되어야 할 여분의 재료를 마련하기 위한 기계적 가공 여유의 설계 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 LOM 시스템

본 연구에서 적용된 LOM 시스템은 HELISYS사의 LOM-2030H 모델로서, Fig.1에 나타낸 것과 같이 레이저($CO_2$ Laser), 광학계, X-Y 위치설정계, 압착롤, 종이공급계, 제어컴퓨터 등으로 구성되어 있으며 주요 사양은 Table 1에 나타낸 것과 같다.

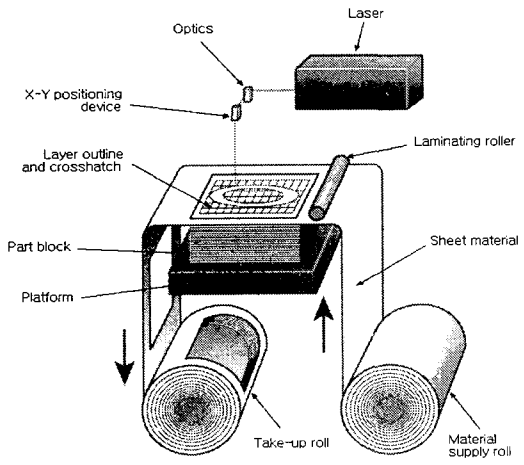



Fig. 1 Overview of LOM system structure[10]

Table 1 Specification of LOM system

| | |
|---|---|
| Maximum Part Size | 80mm(L)×550mm(W)×500mm(H) |
| Part Accuracy | "±0.010" X-Y-Z (relative feature location) |
| Laser Beam Diameter | 0.25~0.38 mm (100W $CO_2$ Laser) |
| Cutting Speed | 600 mm/sec |
| Sheet Material Type | Paper and other Materials Coated with Heat Seal Adhesives |
| Materials Thickness | 0.05~0.38mm |
| Lamination Process | Hot Roller Compression |
| Input File Format | "STL" |
| Control & Slice S/W | LOM Slice |

LOM 시스템으로 패턴을 만들기 위해서는 우선 Pro/E, CATIA, AutoCAD, SolidWorks 등의 CAD 소프트웨어로 3차원 패턴 형상을 솔리드 모델링 한 후 STL 포맷의 데이터 파일로 변환한다. 이 데이터를 LOM 전용 CAM 소프트웨어(LOM slice)에서 CAM 데이타로 변환한다. LOM slice에서는 CAD에서 만든 3차원 입체형상을 기준이 되는 바닥에서부터 종이두께 간격으로 높이방향으로 분할한 후, 이 분할 평면에서 입체의 윤곽을 Fig. 2와 같이 레이저를 이용하여 절단한다. 또한 잔여 부분에 대해서도 해체를 용이하게 하기 위하여 바둑판 모양으로 잘라 놓는다. 이 과정이 끝나면 종이를 새로 공급하여 압착롤(hot roller)을 이용하여 아래 면에 접착시킨 후 다시 한 층 위의 면을 절단하는 과정을 반복한다.

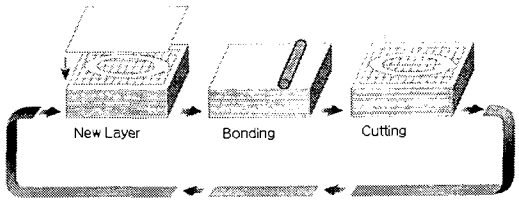



Fig. 2 Schematic diagram of in LOM system[10]

### 2.2 모형제작을 위한 LOM 시스템의 작업변수 설정

#### 2.2.1 레이저 출력 및 절단속도

종이 두께는 0.203mm 및 0.107mm 두 종류를 사용할 수 있다. 이 때 종이 두께에 따라 레이저 절단속도 및 레이저 출력을 적절히 조절하여야 한다. 또한 레이저 출력과 절단속도는 상호 연관성이 있는데, 절단속도를 빠르게 하고자 하면 레이저 출력을 크게 해야 한다. 또 종이의 두께에 따라 그 값들을 바꿔 주어야 한다. 본 실험에서는 종이두께를 0.203㎜, 절단속도를 457.2㎜/s, 레이저 출력을 30W로 일정하게 유지하고 실험한다.

#### 2.2.2 압착롤의 온도 설정(검토)

260℃, 288℃, 316℃로 실험한 결과 260℃에서는 층간접착이 충분히 이루어지지 않았다. 290℃이상에서는 층간접착이 양호한 것으로 나타났으나, 모형의 크기가 크거나 복잡한 형상의 경우 압착롤

에 의한 접착작업 간격이 길어져서 적층 중인 모형의 온도가 내려가므로 이를 고려한 온도설정이 필요하다.

### 2.2.3 압착롤의 이동속도 설정

모형의 크기에 따라 적절히 조절하여야 하는데 플랫폼 크기(600× 860mm)의 1/3이하정도의 작은 모형제작 시에는 속도가 빠르더라도 다음 번 가열이 빨리 되기 때문에 접착에 문제가 없지만 플랫폼 크기의 1/3 이상에 큰 모형의 경우 모형이 부분적으로 식기 때문에 접착이 불량할 수가 있다. 작은 모형의 경우(약 60㎠)는 100㎜/s, 큰 모형(약 200㎠)은 90㎜/s가 적당한 것으로 나타났다.

### 2.2.4 크로스해치(cross-hatches)의 설정

크로스해치는 모형이 제품이 될 부분과 그렇지 않은 부분과의 분리를 보다 쉽게 해주기 위해 제품 이외의 부위를 적당한 크기로 잘라주는 것이다. 이 크기의 설정은 제품의 크기, 모형의 치수정도에 따라 그 크기를 조절한다.

### 2.2.5 지지벽 두께의 설정

적층할 때 모형을 지지하기 위하여 모형의 외부에 적당한 간격으로 벽을 만들어 주는 것이다. 압착롤 진행방향의 벽은 힘을 많이 받기 때문에 이를 고려하여 좀더 큰 값을 주었다. 모든 모형에 대해서 압착롤 진행방향에 대해서는 25㎜, 양 측면에 대해서는 6㎜로 설정하였다.

### 2.3 시험편의 형상

시험편은 패턴의 기계적 강도를 실험하기 위하여 목재의 압축 및 인장시편으로 한국산업규격 KS F2206 및 KS F2207에 따라 제작하였다. 시험편의 형상은 Fig.3과 Fig.4와 같다.

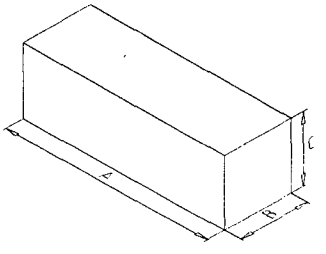



Fig. 3 Specimen of the compression test

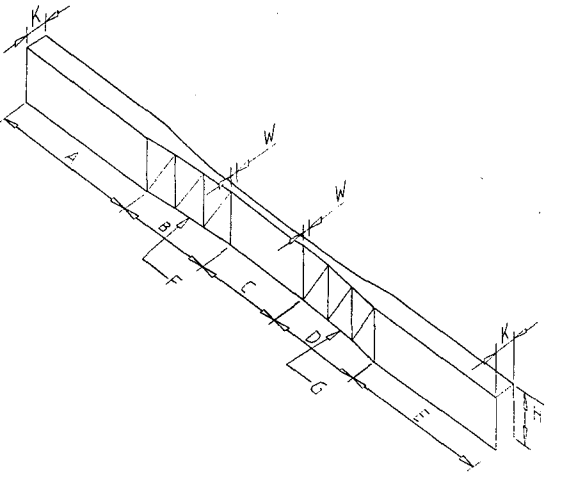



Fig. 4 Specimen of the tension test

## 3. 시험편의 치수측정

Table 2와 Table 3은 LOM 시스템으로 제작한 시험편의 치수를 측정한 결과로써 압착롤의 온도에 따라 치수가 조금씩 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 쾌속패턴을 제작할 때 정밀주조품인 경우 패턴의 제작단계에서부터 신중을 기할 필요가 있음을 알 수가 있다.

Table 2 Measured values of the pattern of compression test with hot roll temperature (mm)

| Size / Sample | A | B | C |
|---|---|---|---|
| KS F2206 | 45.00 | 15.00 | 15.00 |
| 260℃ | 45.29 | 15.20 | 15.01 |
| 288℃ | 45.30 | 15.19 | 15.22 |
| 316℃ | 45.31 | 15.23 | 15.25 |

Table 3 Measured values of the pattern of tension test with hot roll temperature (mm)

| Size / Samp. | A | B | C | D | E | F | G | K | W | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KS F2207 | 50.00 | 32.50 | 30.00 | 32.50 | 50.00 | R212.5 | R212.5 | 7.50 | 2.50 | 15.00 |
| 260℃ | 50.48 | 34.72 | 20.00 | 39.98 | 50.11 | R213.6 | R215.2 | 7.56 | 2.59 | 14.85 |
| 288℃ | 50.24 | 40.02 | 19.77 | 35.09 | 50.43 | R220.7 | R222.4 | 7.53 | 2.58 | 15.10 |
| 316℃ | 50.53 | 34.81 | 19.97 | 39.76 | 50.49 | R225.8 | R214.2 | 7.59 | 2.59 | 15.55 |

## 4. 인장 및 압축시편의 시험 결과

### 4.1 압축 시험 결과

압축 시험 결과 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

압축강도 = $\frac{P}{A}$ [kgf/mm$^2$]

압축영계수 = $\frac{\Delta P\, l}{\Delta l\, A}$ [kgf/mm$^2$]

$P$:최대하중 [kgf] $A$:중앙부 단면적 [mm$^2$]
$\Delta P$:비례한도내에서의 상한하중과 하한하중의 차 [kgf]
$l$ : 표점거리 [mm] $\Delta l$: $\Delta P$에 대한 수축량 [mm]

Table 4 Results of the compression test

| Def. / Samp. | $P$ [kgf] | $A$ [mm$^2$] | 압축강도 [kgf/mm$^2$] | $\Delta P$ [kgf] | $l$ [mm] | $\Delta l$ [mm] | 압축영계수 [kgf/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 260℃ | 525 | 228.3 | 2.30 | 415 | 45.29 | 3.0 | 27.46 |
| 288℃ | 557 | 231.2 | 2.49 | 440 | 45.30 | 3.0 | 28.50 |
| 316℃ | 599 | 232.4 | 2.57 | 468 | 45.31 | 3.08 | 29.55 |

Table 4와 Fig. 5에서와 같이 압축 시편의 압축강도와 압축영계수는 압착롤의 온도가 높을수록 높게 나타났다. 이것은 압착롤의 온도가 높아질수록 핫멜트의 경화가 커지기 때문인 것으로 사료된다.

### 4.2 인장 시험 결과

인장 시험 결과 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

인장강도 = $\frac{P}{A}$ [kgf/mm$^2$]

인장영계수 = $\frac{\Delta P\, l}{\Delta l\, A}$ [kgf/mm$^2$]

$P$:최대하중 [kgf] $A$:중앙부 단면적 [mm$^2$]
$\Delta P$:비례한도내에서의 상한하중과 하한하중의 차 [kgf]
$l$ : 표점거리 [mm] $\Delta l$: $\Delta P$일 때의 인장량 [mm]

Table 5 Results of the tension test

| Def. / Samp. | $P$ [kgf] | $A$ [mm$^2$] | 인장강도 [kgf/mm$^2$] | $\Delta P$ [kgf] | $l$ [mm] | $\Delta l$ [mm] | 인장영계수 [kgf/mm$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 260℃ | 232 | 38.5 | 6.03 | 18 | 50 | 1.34 | 17.45 |
| 288℃ | 235 | 39.0 | 6.03 | 22 | 50 | 1.38 | 21.32 |
| 316℃ | 243 | 40.3 | 6.03 | 29 | 50 | 1.41 | 25.52 |

Table 5와 Fig. 5의 인장 시험결과에서 인장강도는 압착롤 온도에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다. 그러나 인장영계수는 압착롤의 온도가 높을수록 그 값이 높아진다는 것을 알 수 있다. 이것은 압착롤의 온도가 높아지므로 인하여 종이 뒷면에 부착된 핫멜트의 경화가 많이 일어난 것에 기인하는 것으로 사료된다.

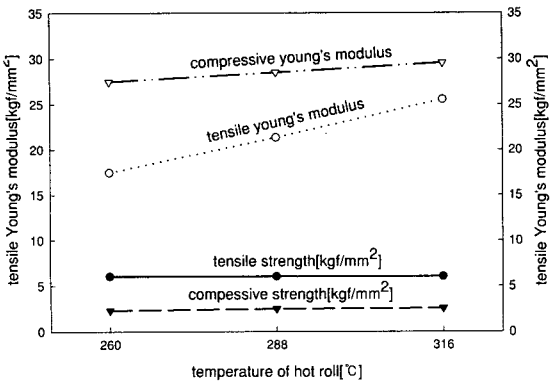
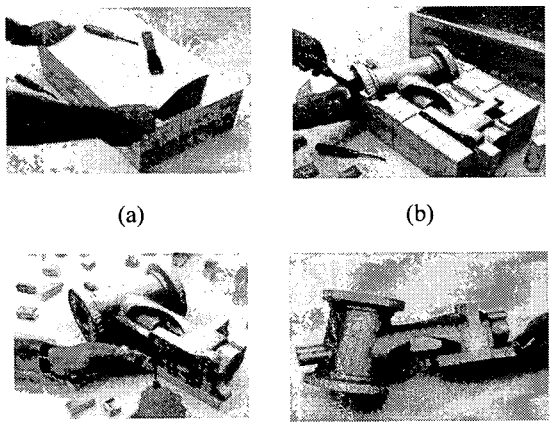



Fig. 5 Relation between Young's modulus and hot roll temperature

## 5. 주형패턴의 제작

주형 패턴을 제작할 때 고려해야할 치수정도, 기계적 강도 등을 검토한 후, LOM 시스템의 각종 작업변수를 설정하고 컨트롤러에서 실행시키면 이후 작업은 완전자동으로 행해진다.



(a) (b)

(c) (d)

Photo. 1 Decubing in LOM process

주형패턴은 Photo. 1에서 (a)와 같이 직육면체 속에 들어 있으므로, (b)와 (c)와 같이 도구를 사용하여 패턴을 분리한다. (d)와 같이 해체가 완료된 패턴은 종이를 적층함으로 생기는 단차(특히 라운드 부위에서 현저함)가 있으므로 이를 보정하기 위하여 필러를 도형한 후 샌드페이퍼로 마무리 처리하고 실러(sealer)를 발라 변형을 방지한다. 본 실험에서는 단차를 완전히 제거하기 위해 필러도형-샌드페이퍼처리를 3회 반복하였다.

## 5.1 제작된 패턴의 평가

시작제품의 기계적성질 시험결과를 적용하여 LOM 시스템에 의해 제작된 주형제작용 패턴을 Photo. 2에 나타내었다.

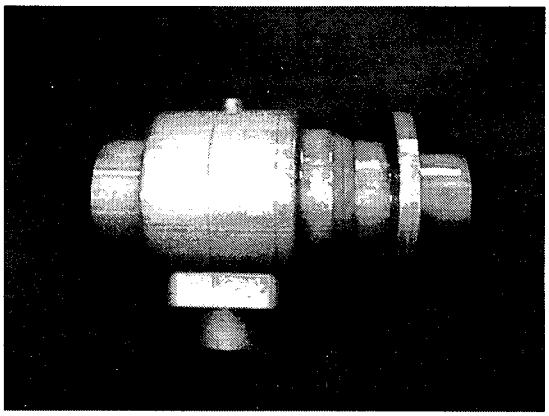


Photo. 2 Finished pattern with LOM system

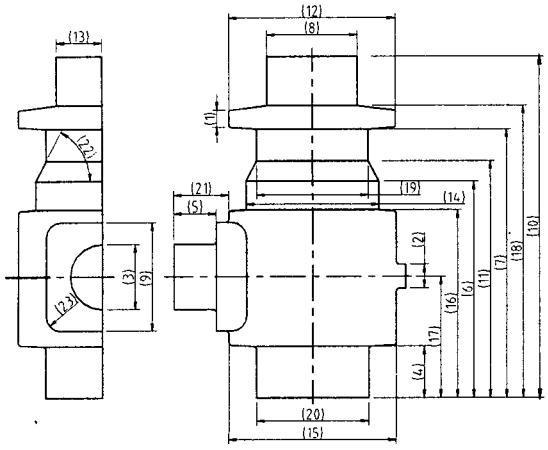



Fig. 6 Measured pattern of G/B housing

완성된 패턴의 치수평가를 위하여 Fig. 6에 나타낸 부위에 대하여 3차원 측정기로 측정한 결과는 Table 6과 같다.

$$\text{오차율} = \frac{L_{meas} - L_{design}}{L_{design}} \times 100$$

$L_{meas}$ : 측정치수 $L_{design}$ : 설계치수

Table 6 Measured values of the pattern for G/B housing

| 구분 / 부위 | 설계치수 | 측정치수 | 오차치수 | 오차율(%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 15.240 | 16.588 | -1.348 | -8.845 |
| 2 | 20.770 | 21.351 | -0.581 | -2.797 |
| 3 | 57.740 | 58.971 | -1.231 | -2.132 |
| 4 | 45.420 | 46.222 | -0.802 | -1.766 |
| 5 | 38.400 | 38.751 | -0.351 | -0.914 |
| 6 | 191.300 | 192.070 | -0.770 | -0.403 |
| 7 | 237.840 | 238.642 | -0.802 | -0.337 |
| 8 | 82.040 | 82.200 | -0.160 | -0.195 |
| 9 | 96.240 | 96.312 | -0.072 | -0.075 |
| 10 | 302.570 | 302.742 | -0.172 | -0.057 |
| 11 | 209.560 | 209.680 | -0.120 | -0.057 |
| 12 | 150.940 | 150.958 | -0.018 | -0.012 |
| 13 | 41.020 | 41.010 | 0.010 | 0.024 |
| 14 | 120.550 | 120.506 | 0.044 | 0.036 |
| 15 | 151.950 | 151.801 | 0.149 | 0.098 |
| 16 | 166.410 | 166.182 | 0.228 | 0.137 |
| 17 | 107.220 | 107.051 | 0.169 | 0.158 |
| 18 | 258.650 | 258.071 | 0.579 | 0.224 |
| 19 | 101.300 | 101.056 | 0.244 | 0.241 |
| 20 | 101.950 | 101.667 | 0.283 | 0.278 |
| 21 | 49.900 | 49.565 | 0.335 | 0.671 |
| 22 | 62.000 | 61.440 | 0.560 | 0.903 |
| 23 | 13.170 | 12.870 | 0.300 | 2.278 |

Table 6에 나타낸 패턴의 치수측정결과에서 대부분의 치수는 오차율 1% 미만으로 비교적 양호한 결과를 얻었다. 그러나 곡선부에서는 오차율 1%이상인 부위가 많이 있었다. LOM 시스템으로 제작한 패턴에서는 그 제작 특성상 계단상으로 제작되는 부분이 많은데, 이 부분에 대한 필러도형 및 샌드페이퍼 연마과정에서 부적절한 처리로 인하여 오차가 많이 발생하게 된 것이다. 특히 작은 라운드 부분에서 이 경향은 더욱 커지는 것으로 나타났다. 따라서, 정밀 패턴을 제작하기 위해서는 라운드 부분의 후처리 공정에서 정밀사상을 염두에 둔 후처리가 필요하다.

## 6. 결 론

압착롤의 온도설정을 변화시켜 가공한 결과 인장시편의 인장강도는 압착롤의 온도변화에 관계없이 같았고, 인장영계수는 압착롤 온도가 높을수록 그 값이 높아졌다. 압축강도와 압축영계수는 압착롤의 온도가 높을수록 높게 나타났다.

주형패턴을 제작하여 가공 오차율을 계산한 결과, 상대적으로 작은 길이치수에서 오차율이 큰 것으로 나타났고 라운드 부위에서는 적층시에 생기는 종이두께의 단차로 인해 오차율이 크게 나타났다.

## 후기

본 연구는 1998년도 생산기술연구원의 청정생산기술개발사업비로 연구되었습니다.

## 참고문헌

1. 조인행, 외 3인, "rapidWORKS98-쾌속시작체계용 CAD 시스템의 개발," '98한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 183-188, 1998.
2. 허정훈, 이건우, "SLA를 이용한 쾌속시작 작업에서 최적 성형 방향의 결정," 한국정밀공학회지 제13권 제4호, pp. 163-172, 1996.
3. 손영지, 외 3인, "STL 포맷의 구멍오류 수정을 위한 삼각형 분할법 적용에 관한 연구," 한국정밀공학회 '97년도 추계학술대회 논문집, pp. 889-893, 1997.
4. 성용재, "IGES포맷을 이용한 CAD 설계 데이터의 활용 연구," 포항공대 정보통신대학원, 학위논문, 1995.
5. 최홍태, 이석희, "삼각형 기반 형상모델러를 이용한 STL 포맷의 오류검증에 관한 연구," 한국정밀공학회 '96년도 춘계학술대회 논문집, pp. 597-601, 1996.
6. 채희창, 황동기, "삼각형 기반 형상 모델러를 이용한 STL의 검증," 한국정밀공학회 '96년도 추계학술대회 논문집, pp. 578-582, 1996.
7. 한국산업규격, KS:UDC 674.691.11:670, 172-173
8. 최두선, 신보성, 신영우, "3차원 광조형법," 한국기계연구원 CAD/CAM그룹, pp. 1-144, 1997.
9. 하성도, 외 4인, "LOM 공정에서의 제품 치수 오차 분석에 관한 연구," 한국정밀공학회지 제15권 제12호, pp. 89-96, 1998.
10. Helisys, Inc. URL: http://www.helisys.com/PAGE4.HTM