

## DMLS와 NC복합가공기의 실용성 검토

문영대<sup>†</sup>

대동전자(주) 금형부<sup>†</sup>

## Analysis on the practicality and manufacture by DMLS and NC Multiple machines

Dae-Young Moon<sup>†</sup>

D.D.E Department of Mold Manufacturing<sup>†</sup>

(Accepted November 23, 2015)

**Abstract :** In the study, Three-dimensional drawing parts for conformal cooling circuit cavity & core and their 3D Metal parts using DMLS(Direct Metal Laser Sintering) and NC integrated machining center were shown. For conformal cooling circuit cavity and core parts, I discussed its practicality to DMLS multiple machinins process introducing general manufacturing process and comparing with them.

**Key Words :** DMLS(direct metal laser sintering ), conformal cooling channel, RP(rapid prototype), layer-by-layer.

### 1. 서 론

금형은 과거 공급측 경제환경, 즉 제품은 만들어 놓으면 전부 팔린다는 공급부족의 환경속에 탄생된 대량생산체제하의 생산도구이다. 그러나 현재 공급의 과잉현상과 수요자의 욕구가 다양해지고 양보다 질을 선호하는 다품종 소량 생산체제로의 이동은 수요측 경제환경의 도래를 의미하며 3D 프린터의 보급은 이를 가속화 시키고 있다. 우선 제조 환경 변화에 가장 민감한 금형산업에서는 어떤 형태로든 체질 변화가 있으리라 예상된다.

열가소성수지(thermoplastics)의 사출 성형에 대하여, 금형 냉각이 전체 사이클시간의 3분의 2 이상을 차지하고 있다. 효율적인 냉각 회로 설계(cooling circuit design)는 냉각 시간을 줄여서 전체적인 생산성을 증가시키며, 균일한 냉각은 잔류 응력을 줄이고 치수적인 정확도 및 안정성을 유지함으로써 품

질을 향상시킨다. 현재의 냉각회로는 건드릴에 의한 절삭가공의 특성과 제약으로 인해 직선형태의 구멍을 뚫어 서로 연결하는 냉각회로가 표준이 되어 왔다. 그러나 곡면으로 이루어진 성형품의 냉각을 위해 직선의 냉각관만으로는 많은 제약이 따르므로 이에 대한 보완책으로 배플러(baffle)과 버블러(bubbler tube)와 같은 특별한 형태의 냉각 채널 방식이 채용되어 왔으나 오히려 직선 냉각관에 비해 냉각성능이 효율적이지 못하다는 단점이 있어 이에 대한 근본적인 문제를 변화한 기술이 형상 적응형 냉각 회로(conformal cooling channel)이다. 기본적으로 코아와 캐비티의 설계는 동일하다. 그러나 코아의 경우 열이 전류하기 쉬운 곳이 많으므로 냉각성을 고려한 금형 구조가 필요하다. 특히 하이 사이클 금형의 경우 금형의 냉각 기능과 역활이 제대로 작동이 안되면 사이클 타임의 단축효과를 기대할 수 없게 된다. 형상 적응형 냉각회로로 금형 코아를 제작하기 위한 방식으로는 냉각회로의 단면을 반으로 나누어 각각 기계가공 후 초음파로 확산 접합하는 방식, 제작된 마스터 형상에 용융된 금속을 분사시

\* 교신저자 : 대동전자(주) 금형부  
E-mail: ydmoon007@naver.com

커 금형을 제작하는 SFT(spray formed tooling)방식, 그리고 RP(rapid prototype)에 의한 적층 조형 방식 등을 소개 할 수 있다. 적층 조형 방식으로 냉각 채널을 제조할 경우 자유로운 냉각회로를 어느 곳에나 설치할 수 있는 장점이 있다. 그러나 아직 장비가 고가이고 금속분말이 대부분 수입에 의존하며 가격이 너무 비싸 사용 재료가 제한적이어서 일반 중소기업에는 현실적이지 못하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 금속분말을 레이저로 3D Data를 따라 선택적으로 조사하여 적층 조형 방식으로 적층 소결하여 부가적 가공방법으로 기계가공으로는 어려운 자유곡면, 언더컷, 형상 적응형 냉각회로 등의 형상을 제작하는 DMLS(direct metal laser sintering) 공정과 동시에 10층마다 형상을 따라 NC 가공을 실행하는 복합가공 방식을 채용하여 배터리 케이스(battery case)의 코어(core)와 캐비티(cavity)를 직접 설계 제작하여 제품의 치수 정밀도와 표면 조도, 가공시간 등을 현재의 제조 공정과 비교 분석하여 실용성과 적용성을 검토하고자 하였다. Fig. 1은 DMLS공정과 NC 가공으로 복합가공한 배터리 케이스의 캐비티 금형 부품을 나타내고 있다.

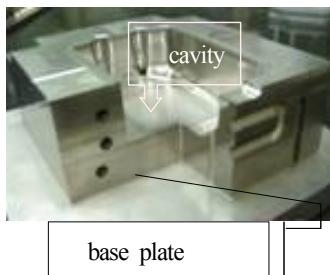


Fig. 1 Cavity shape of Battery Case mould manufactured by DMLS and NC

## 2. 배터리 케이스의 금형설계

### 2.1. 캐비티 부품 설계

3D 데이터를 작성하기 위해서 UG NX6 소프트웨어를 이용하여 3D 모델링을 작성하였으며 Fig. 2(a)는 배터리 케이스의 캐비티 금형 부품의 3D 금형 설계도와 냉각회로도를 3D 와이어 프레임 형식으로 각각 나타내고 있다.

### 2.2. 코어 부품 설계

Fig. 3(a)는 배터리 케이스의 코어 금형 부품의

3D 금형 설계도 (b)는 냉각 회로도를 각각 나타내고 있다.

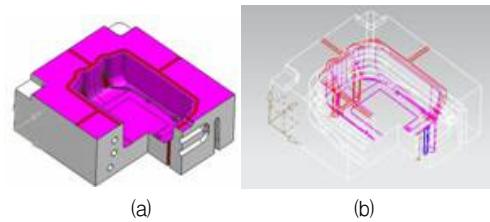


Fig. 2 (a) 3D drawing of Battery case cavity mold (b) The wireframe of cavity cooling circuit

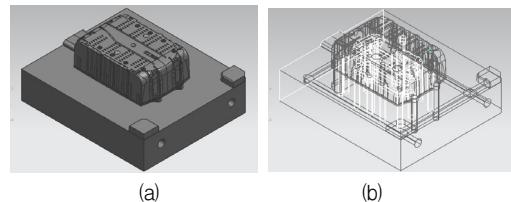


Fig. 3 (a) 3D drawing of battery case core mold (b) The wireframe of cavity cooling circuit

## 3. DMLS를 이용한 배터리 케이스 금형제작

### 3.1 캐비티 부품 제작

DMLS공정은 제작기간이 상대적으로 짧고 기계 가공만으로는 상대적으로 어려운 형상을 쉽게 가공할 수 있는 장점이 있으나, 소결 만으로 가공된 부품은 표면 조도, 치수 정도 등의 품질이 부품으로 사용하기는 어렵고, 후 가공으로 NC 가공 등의 절삭가공으로 마무리가 필요하다.

본 연구에서는 형상 적응형 냉각회로가 설계된 Battery case 금형 부품을 제작하기 위해 일본 (주)송포기계제작소 LUMEX AVANCE-25 광조형(光造形) 복합가공기를 이용하였으며, 분말재료를 100μm씩 적층 조형 방식으로 적층 소결하고, 동시에 10 층마다 NC가공을 실행하여 배터리 케이스 금형을 제작하였다. 여기서 광조형이란 용어의 의미는 빛을 이용하여 형을 만든다는 광의 의미로 광경화 방식 (SLA), 소결방식(DMLS), SLS 등을 포함하나 여기서는 DMLS를 의미한다.

#### 3.1.1 광조형 복합가공기의 제조공정

작성된 3D 모델링을 형상대로 가공하기 위해서 가공 프로그램이 필요하며, 프로그램은 가공기 제작

사에 의해 제공된 전용 소프트 웨어에 의해 작성되었다. 가공 공정은 다음과 같은 순서로 진행되었다.

#### 1) 가공준비

레이저 보호 유리 청소상태와 CCD카메라 보호유리의 청소 상태를 점검하기 위해 먼저 화면상태를 확인하였다.

#### 2) 가공프로그램 준비

USB를 이용해 퍼스널 컴퓨터에서 작성된 데이터를 복합가공기에 저장 후 가공 프로그램을 가공기 전용 캠(CAM) 형식으로 변환 저장하였다.

#### 3) 베이스 플레이트의 설치

베이스플레이트는 폴러싱, 탈자(de-magnet), 탈지(defeat)를 위해 청소하고, 평면도는 0.03 mm이내로 관리하였다. 베이스 플레이트를 가열장치로 설정온도(50°)까지 가열 후 조형테이블에 고정시켰다.

#### 4) 공구 셋팅

기계공구 셋팅, 공구정보 등록, ATC공구교환순으로 셋팅 하였다. Fig. 4에 NC공구와 헀더를 나타내었다.



Fig. 4 (a) NC Tool (b) tool holder

#### 5) 테이블 높이 설정

베이스 플레이트 위에 베이스 마스터를 놓고 설정하였다. Fig. 5에 베이스 플레이트와 베이스 마스터를 나타내었다.



Fig. 5 Base plate & Base master

#### 6) Work offset 설정

X/Y축의 Work offset를 설정하고, Z축의 Work offset를 설정하였다.

#### 7) skimming 설치

가공면의 이송속도는 1000mm/min로 설정하였다.

#### 8) condensate 용지 붙임

#### 9) 요소충전

#### 10) 재료분말 투입

고체분말은 가공기 제작업체에 의해 공급되었으며, 10kg이내로 전용용기를 사용하였다. 고체분말의 크기는 일정치 않으며 대략 1 ~ 100 μm정도이다. Fig. 6에 전용용기와 200배 확대된 고체분말을 나타내었다. 가공 후 소결 안된 나머지 분말은 재사용이 가능하다.

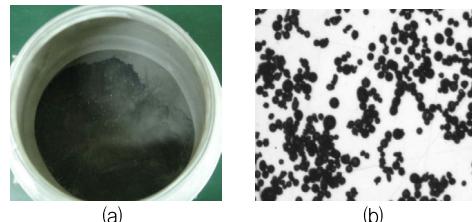


Fig. 6 (a) solid powder particle (b) particles magnified by 200 times

#### 11) 운전개시

#### 12) 측정 및 검사

측정은 JOHANSOSN Cordimatic 3차원 측정기를 사용하였다. Fig. 7(a)와 (b)에 캐비티와 3차원 측정기가 보여지고 있다.

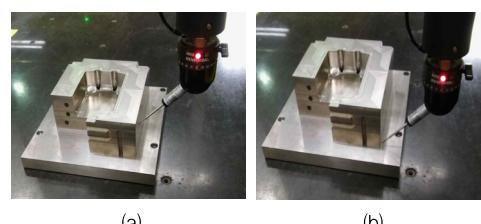


Fig. 7 (a) upper side measured by CMM (b) bottom side measured

표면조도는 Mitutoyo SJ-301 표면조도기를 사용하였다. Akashi ARK-600과 Mitutoyo HARDMATIC 경도기를 사용하였다. Fig. 8(a)에 표면조도기와 (b)로 크웰 경도계를 각각 나타내었다.

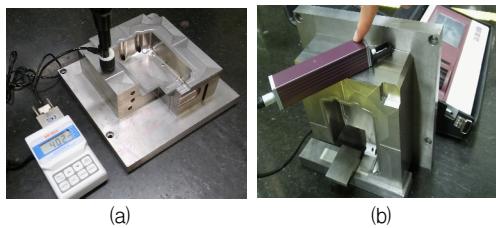


Fig. 8 Surface roughness tester(a), Rockwell Hardness tester(b)

Table 1에 제작된 캐비티 부품의 가공 데이터를 나타내었다.

Table 1 Cavity cutting work condition by DMLS

NO	adding&cutting work condition	data
1	Laser speed (mm/sec)	700
2	Laser output(w)	320
3	Spot dia. (mm)	0.2
4	Laser condition	Melting
5	Melt powder	Mareatching
6	1 Layer thickness (mm)	0.1
7	Total process	79

1 프로세스: 10층 (단, 첫 프로세스는 18층 임)  
Table 1의 가공조건은 고체분말의 종류, 품질의 요구 등에 따라 크게 달라질 수 있으며, 다른 제조사의 분말을 사용 했을 경우 소결이 안 되었다. 특히 초기 개발된 또 다른 고체분말이라면 동일하게 최적 가공 조건을 위해 많은 실험적 실행이 요구된다고 사료된다. 소결가공은 적층조형방식으로 진행되었으며, 10층을 1프로세스의 단위로 NC가공이 진행되었다. NC공구는 초경  $\phi 1.0$  볼 엔드밀을 사용하였다. 10층 이상의 경우 NC가공 시 엔드밀의 길이가 길어져 정밀 가공이 어려워지기 때문에 1프로세스에 10층을 최적 조건으로 하였다. Fig. 4에 공구와 홀더를 나타내었다. 1층에 약 7~8분 정도 소요되었다.

### 3.1.2. 결과

분말재료는 레이저 소결 및 NC가공 후 제품의 표면경도는 HRC 40정도로 나타났다. Table 2에 제작된 캐비티 부품의 가공 데이터를 나타내었다.

베이스 플레이트는  $20 \times 215 \times 215$  (SM45C)를 사용하였다. 베이스 플레이트는 가공완료 후 제품으로부터 분리되어야 할 지그 일종이며, 공정 개선을 목적으로 제품의 일부로 사용하기 위해 경도가 높은 재

질로 사용하였으나 융착이 약하고 크레이 발생하였다.

Table 2. Cavity cutting work results

No	adding&cutting work inform	Results
1	Total sintering time (hr)	97
2	Total milling time (hr)	9
3	Total work time (hr)	106
4	Rockwell Hardness (HRc)	39-41
5	Cavity parts size (mm)	H63x146x150
6	Warping (mm)	1.44

후가공으로 와이어 등에 의한 분리가공이 필요하다. Fig. 9(a)에 캐비티 측벽 형상 (b)에 상면과 측면의 표면조도 측정 데이터를 각각 나타내었다. 표면조도 값은 상면은 Rz 4.7  $\mu\text{m}$  측면은 Rz 11.14  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다.

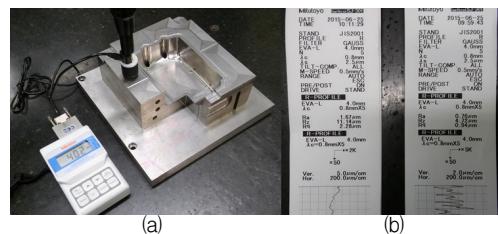


Fig. 9 (a) sidewall surface feature (b) surface roughness data

### 3.1.3. 일반제작공정

통상적으로 현재 금형 캐비티 가공을 위해 사용되는 가공공정은 다음과 같다.

#### 1) 부품설계 (도면작성)

UG 소프트 웨어로 3D 모델링을 작성하였다.

#### 2) 사각소재 가공

원재료를 양두 절단기로 가공 후 연마가공을 하였다. 사각소재는 외주 가공으로 하였다.

#### 3) 건드릴 가공

입고된 사각소재 수입검사를 하고, 냉각 회로 가공 와 밀핀 홀 가공을 하였다.

#### 4) NC가공준비 (NC가공 프로그램)

3D 모델링으로 CAM 소프트 웨어를 이용하여 NC 프로그램을 작성하고, 데이터를 NC 기계에 전송하였다. 전송을 위해 RS-232C 케이블을 사용하였다.

#### 5) NC가공 및 EDM 가공

NC에서 황삭가공을 마치고 EDM가공을 하였다.

EDM가공을 위해 흑연 NC가공기에서 흑연전극을 가공하고, 가공된 흑연 전극은 선단부의 누락된 R 부위를 등을 사상작업과 함께 수정 보완하였다.

#### 6) 범용기계가공 과 래핑(lapping)

방전 가공을 마친 캐비티는 마무리가공과 사상가공을 하였다.

### 3.2. 코어 부품 제작

코어 가공은 작성된 3D 모델링 형상대로 가공하기 위한 방법과 공정은 캐비티와 동일하게 실행되었다. 가공조건 및 결과는 다음의 Table 3와 4에 나타내었으며, Fig.10 (a)에 제작된 코어부품 (b)에 기계에 설치된 코어부품을 나타내었다.

제작된 코어 부품은 Table 6에 나타내었다.

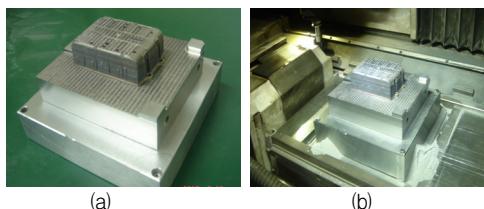
**Table 3** Core cutting work condition

NO	adding&cutting work condition	data
1	Laser speed (mm/sec)	700
2	Laser output(w)	320
3	Spot dia. (mm)	0.2
4	Laser condition	Melting
5	Melt powder	Mareatching
6	1 Layer thickness (mm)	0.1
7	Total process	147

베이스 플레이트는 휨을 개선하기 위해 캐비티의 베이스 플레이트 두께 20 mm보다 30 mm 더 두껍게 하여 H50×215×215 (SM45C)을 사용하였다.

**Table 4** Core cutting work results

No	adding&cutting work inform	Results
1	Total sintering time (hr)	168
2	Total milling time (hr)	15.5
3	Total work time (hr)	183.5
4	Rockwell Hardness (HRc)	38.5~40
5	Core parts size (mm)	H71x150x170
6	Warping (mm)	0.7



**Fig. 10** (a) Core shape of Battery case mold manufactured by DMLS and NC (b) core settled on the machine

### 4. 실험 결과

본 연구에서는 DMLS공정과 NC가공을 한 기계에서 한번의 설정으로 동시에 처리할 수 있는 복합가공기를 사용하여 캐비티와 코아를 제작함으로써 현재 금형 제작을 위해 투입되는 제작공정과 가공시간을 비교 검토하여 실용성과 적용성 여부를 검토하고자 하였으며 실험결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 일반제작공정의 경우 사각소재, 건드릴(GD)가공, NC가공, EDM가공, 사상 등 여러 공정이 소요되나 복합가공기의 경우 한번의 설정으로 NC가공이 완료된다. 그러나 측벽의 표면 품질 및 치수 정밀도가 상대적으로 떨어지며 후 가공으로 기계가공이 요구된다.

#### 2) 가공시간

복합가공기의 경우 캐비티와 코아 가공을 위해 소요된 시간이 106시간, 183.5시간으로 상대적으로 많은 가공시간이 소요되었으며 Table 2와 Table 4에 각각 나타났다. 반면 일반제작공정의 경우 경도가 유사한 NAK80의 소재를 대상으로 소요된 작업공수는 47시간, 32시간이 각각 소요되었다. 캐비티는 방전가공과 사상(lapping)공정이 추가된 반면 그렇지 않은 코아의 경우는 분말이 많이 소요되어 상대적으로 가공시간의 차이가 크게 나타났다.

3) 재료 부가적 방법으로 DMLS에 의해 제작된 캐비티 및 코아의 경우 일체형으로 강도상으로 장점이 있으나, 수리가 어렵고 성형상 가스 벤트 등 설치 시 설계시점에서 고려되어야 한다.

#### 4) 냉각홀의 표면거칠기

스팀의 경우 냉각홀의 표면이 거친 경우 유리해질 수 있으나, 수냉의 경우 흐름에 저항이 커지고 접촉면적이 불량하여 효율성이 떨어질수 있다고 사료된다. Fig. 9(a)에 캐비티의 냉각 회로 단면을 확대하여 나타내었다.

#### 5) 베이스 플레이트와 분리

코아로 사용하기 위해서는 베이스 플레이트를 분리해야 하며 후 공정이 추가된다. Fig. 11에 코아와 베이스 플레이트가 와이어 컷 (Wirecut)가공으로 분리된 형상을 나타내었다.

#### 6) 휨의 발생

Table 2와 Table 4에 휨(warping) 발생량이 각각

1.44 mm와 0.7 mm로 나타났다. Table 4의 경우 휴개선을 위해 베이스 플레이트의 두께를 20 mm에서 50 mm로 변경하여 작업한 결과로 사료된다.

### 7) 소형에 적합

소형 부품에 적합하며, 중대형의 부품은 큰 비용과 너무 많은 시간이 소요된다고 생각된다. 그러나 가공이나 제작이 어려운 금형부품을 제작하여 사용할 경우 매우 유용하다. 예컨대 깊은 리브 형상, 또는 깊은 보스에 냉각 구멍의 가공이 요구되는 형상, 리브와 보스가 집중되어 있는 형상, 웨드라인이 있어 부분적으로 코아를 입자로 제작하여 가스 빼기로 설치할 용도로 제작하여 가스 빼기를 설치할 수 있다. 길고 가는 사각 입자 코아의 냉각 가공 시 드릴가공에 의해 원형으로 밖에 가공될 수 없으나 DMLS에 의한 부가적 적층 가공은 타원 또는 형상에 따라 적용되는 형상의 가공이 가능하다. 다음은 사례로 웨드 라인을 개선하기 위해 부분적으로 20 미크론의 미세한 기공이 있는 통기성 소재인 PORCERAX를 사용하였으나 큰 효과를 보지 못하였다. 소재의 가격이 kg당 145,000원으로 매우 비싼 소재로 손해 비용도 커다. 따라서 DMLS에 의해 입자 코아를 제작하여 적용해 보았다. 큰 효과는 보지 못했으나 열전도성 소재의 개발 및 기공 조성을 위한 다양한 가공 조건으로 향후 이용 가능성은 매우 크다고 생각된다. Fig. 11(a)에 복합가공기에 의해 가공된 코아 부품 형상 (b)에 일반 기계 제작에 의한 입자코아(좌측)와 복합가공기에 의해 입자코아(우측)를 나타냈다. Fig. 12 (a)에는 웨드라인 발생위치에 제작된 입자코어로 조립 적용된 금형 (b)에는 웨드라인 발생위치를 나타낸 시사출 플라스틱 샘플을 각각 나타내었다.

Fig. 13의 코아 부품을 제작하기 위해 Table 5와 같은 작업결과로 도출 되었으며 소결가공시간보다 NC 가공시간에 더 많은 공수를 할애하여 치수와 표면 정밀도가 우수하였다.

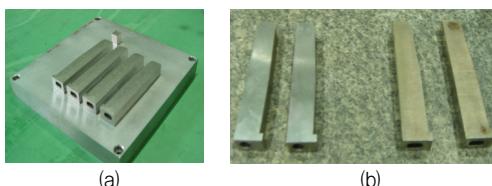


Fig. 11 (a) core of Particles by DMLS & NC Integrated machines (b) left side's core particles of core manufactured by general process and right side's by DMLS and NC

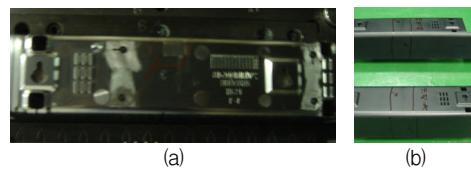


Fig. 12 (a) core shape adapted for Particles of core manufactured by Integrated machines and weld line plastic sample (b) weldline sample



Fig. 13 (a) core particles by DMLS & NC integrated machines

Fig. 13의 코아 부품을 제작하기 위해 Table 5와 같은 작업결과로 도출 되었으며 소결가공시간보다 NC 가공시간에 더 많은 공수를 할애하여 치수와 표면 정밀도가 우수하였다.

Table 5. Core cutting work results

No	adding&cutting work inform	Results
1	Total sintering time (hr)	17.5
2	Total milling time (hr)	50
3	Total work time (hr)	67.5
4	Rockwell Hardness (HRc)	38.5~40
5	Core parts size (mm)	H29.9x115x115
6	Warping (mm)	0.03

8) 분말 사용을 위해 작업환경의 환기시설과 작업자 안전수칙의 준수가 요구된다.

## 5. 결론

금속 분가적 가공방법인 DMLS 공정만으로 금형 부품을 제작 할 경우 표면이 거칠어 그대로 사용할 수 없으며 결국 제품으로 사용하기 위해서는 후 가공으로 NC가공이 요구된다. DMLS 적층 조형 방식인 부가적 가공과 NC 절삭가공을 동시에 실행하는 복합가공기는 한번의 세팅으로 완제품을 얻을 수 있는 큰 장점이 있는 반면 사용재료가 아직 매우 제한적이고 가격이 kg당 20만원으로 고가이며, 기계설

비가 고가라는 단점이 있다. 구조상 대형보다는 소형이 적합하여, 가공이 어려운 형상이나 공수가 많이 요구되는 중요기능 소형 부품에 유용하게 사용될 수 있다고 사료된다.

### 참고문헌

- 1) Yong-Ak Song, State of the Artin Rapid Tooling, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.17, No.10, pp. 11-16, 2000.
- 2) D.Y.Yang, H.C.Kim, S.H.Park, Principle and Recent Trend of Rapid Prototyping Technology, Trans. Mater. Process, Vol.14, No.3, pp. 187-199, 2005.
- 3) Dong-Gyu Ahn, Dong Yol Yang, Principle of Rapid Prototyping and its Trend, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.22, No.10, pp. 7-16, 2005.
- 4) Chan Guk Kim, Seung Kyo Park, Hyo Chan Kim, Dong Yol Yang, Multiple Applications of Variable Lamination Manufacturing Process, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol.22, No.10, pp. 26-30, 2005.
- 5) F.G.Steil, New concept in mold conformal cooling design, ANTEC, pp. 916-920, 2005.
- 6) H.P.Park, Production of pre-form by Direct Metal Laser Sintering process, Proceedings of the spring academic conference of the Korean Society of Precision Engineering, 2006.
- 7) B.S.Cha, Rapid Tooling Production of Thick-wall Plastic Lens, Proceedings of the spring academic conference of the Korean Society of Precision Engineering, 2007.
- 8) Nagahanumaiah, B.Ravi, Effects of injection molding parameters on shrinkage and weight of plastic part produced by DMLS mold, Rapid prototyping journal, Volume15., Issue 3 pp. 179-186, pp. 1355-2546 SCI(E), 2009.
- 9) 편집부, 적층조형시스템, 월간 프레스&형기술, Chomdan, Seokyo-dong Mapo-gu, 2004.