

# 적층과 절삭을 복합적으로 수행하는 새로운 개념의 판재 적층식 쾌속 시삭 시스템의 개발 (I)

- 공정 및 기반구조 -

허정훈\*, 황재철\*, 이건우\*\*, 김중원\*\*, 한동철\*\*, 주종남\*\*, 박종우\*\*

(1999년 11월 17일 접수)

## Development of New Rapid Prototyping System Performing both Deposition and Machining (I)

- Process and Framework -

Junghoon Hur, Jae-Chul Hwang, Kunwoo Lee, Jongwon Kim,  
DongChul Han, Chong Nam Chu, and Chongwoo Park

**Key Words :** Rapid Prototyping(쾌속시삭작업), Hybrid Rapid Prototyping System(하이브리드방식 쾌속시삭시스템), Deposition and Machining(적층과 절삭), 6-axis Parallel Mechanism(6축 병렬기구), Process Planning(공정계획)

### Abstract

Rapid Prototyping( RP ) has been increasingly applied in the process of design and development of new products. RP can shrink the time and expense required to bring a new product from initial concept to production. However, the necessity of using RP for short-run manufacturing is continuously driving a development of a cost-effective technique that will produce completely-finished quality parts in a very short time. To meet these demands, the improvements in production speed, accuracy materials, and cost are crucial. Thus, a new hybrid-RP system performing both deposition and machining in a station is proposed in this paper. It incorporates both material deposition in layers and material removal from the outer surface of the layer to produce the required surface finish. The new hybridRP system can dramatically reduce the total build time and fabricate large-sized and freeform objects because it uses very thick layers, i.e. "3D layer" as deposition feature segment. In addition, the efficiency of the new process can be improved owing to the machining feature concept applied in the process. To take advantage of these capabilities, more sophisticated shape decomposition and process planning are needed. In this paper, the system architecture and the fabrication process are described in detail.

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경

1987년에 최초로 3D Systems사의 SLA(Stereo-Lithography Apparatus)가 AutoFACT 쇼에 등장한 이래로 다수의 쾌속시삭시스템(Rapid Prototyping &

Manufacturing System)들이 미국, 일본, 유럽 등을 중심으로 개발되고 상용화 되어왔다. 이들 모두는 기본적으로 층별가공(layer-by-layer) 방식을 취하고 있으며 각 시스템마다 구체적인 성형기법과 사용 재료 등에 약간의 차이점을 보인다. 이러한 쾌속시삭시스템의 장점은 가공을 위한 추가적인 셋업(setup) 과정이나 치공구 등의 설계 없이 3차원 CAD 데이터만을 이용하여 신속하게 3차원 형상의 제품을 일정 수준 이상의 형상정확도로 제작 가능하다는 것이다. 그러나 쾌속시삭시스템이 최초로 설계 및 생산 현장에 도입된 이후 10여년이 지난

\* 서울대학교 대학원

\*\* 회원, 서울대학교 정밀기계설계공동연구소

E-mail : kunwoo@cad.snu.ac.kr

TEL : (02)880-7141 FAX : (02)883-8061

현재, 각각의 쾌속시작시스템들이 안고 있는 근본적인 문제점들로 인하여 그 활용범위 확장에 한계를 드러내고 있다. 현재까지 상용화된 쾌속시작시스템들의 공통적인 문제점들을 정리하면 Table 1 과 같다.

위에서 열거한 바와 같이 현존하는 쾌속시작시스템들은 고전적 기법의 제품 설계 및 생산 방식이 안고 있었던 단점과 한계를 상당 부분 극복했음에도 불구하고 근본적인 몇 가지 문제점들로 인하여 현재의 응용범위를 혁신적으로 확장하는데 한계를 드러내고 있다. 따라서 본 연구에서는 전술한 상용 쾌속시작시스템의 문제점들을 효과적으로 해결할 수 있는 차세대 쾌속시작시스템을 개발하고, 이를 효율적으로 운용할 수 있는 공정계획시스템을 개발하였다.

Fig. 1에는 본 연구에서 개발한 쾌속시작시스템의 특징을 기존 시스템의 한계와 비교하여 열거하였다. 본 연구에서 개발한 새로운 쾌속시작 공정은 기존 시스템의 문제점들을 두꺼운 판재를 적층

Table 1 Limitations of conventional rapid prototyping systems

<b>File STL</b>	▪ 근사화된 형상 표현 방식에서 기인하는 오차
<b>Methodology layer-by-layer</b>	▪ 2.5 차원 단면 형상의 적용에서 기인하는 성형률 표현의 계단형상
<b>Build Time</b>	▪ 0.1mm 내외의 비교적 얇은 층 두께 사용 ▪ 대형 제품 성형 시 과도한 성형시간 요구
<b>Material</b>	▪ 수지, 왁스, 종이 등 제한된 재료 사용
<b>Process Planning</b>	▪ 일괄적인 두께로 단면화 작업 수행 ▪ 특징형상이나 성형률의 사용목적 불 명시 ▪ 성형 정확도 및 공정 효율성 저하의 원인
<b>Post-treatment</b>	▪ 수작업에 의한 후처리 작업 요구 ▪ 형상정확도 저하 및 완성품 파괴 위험

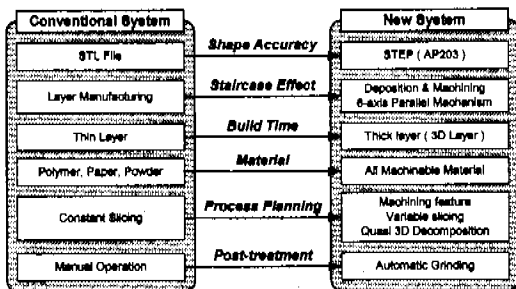


Fig. 1 Advantages of new hybrid-RP system

하고 이를 절삭하는 복합 공정을 통하여 효과적으로 해결하고자 하였다. 더욱이 적층과 절삭의 복합 공정으로 구성된 하이브리드 시스템을 구현하기 위한 기본적인 프레임으로서 한 번의 셋업으로 5면 동시공정이 가능한 6축 병렬기구를 사용하여 전체 공정의 효율을 향상시켰으며 구현 가능한 형상의 한계를 극복하였다.

특히 본 연구에서 개발한 쾌속 시작 공정을 지원하는 공정 계획 시스템은 적층공정과 절삭공정으로 구성된 복합공정을 효과적으로 운영하기 위한 형태로 개발 되었다. 형상 정보 입력 매체로서 STEP AP203 을 이용하여 기존의 쾌속 시작 시스템의 단점인 STL 파일의 한계를 극복하였으며 기존의 시스템과는 달리 전체 형상을 얇은 두께의 일정 간격 층으로 나누지 않고 완전한 3 차원 형상(3D layer)의 조각들로 지능적으로 분해함으로써 전체 성형 시간의 혁신적인 감축과 공정 효율 향상을 도모하였다. 더불어 절삭 공정의 장점을 극대화하기 위하여 가공특징형상(machining feature) 개념을 공정 계획 시스템에 적용하여 이들을 적층 공정과는 독립적으로 관리함으로써 제품의 기능성과 공정 효율을 혁신적 향상 시켰다.

1.2 관련연구

기존의 쾌속시작시스템들은 공통적으로 0.01 - 0.3 mm 정도의 매우 얇은 층을 적층하여 3 차원 형상을 구현하기 때문에 제작하고자 하는 물체의 크기가 클 경우에는 급격하게 전체 성형 시간이 증가하는 단점이 있다. 따라서 대부분의 쾌속시작 시스템들은 성형하는 물체의 유효 크기가 그리 크지 않은 물체들만을 대상으로 삼고 있는 것이 현실이다. 결과적으로, 물체의 크기에 영향을 받지 않으면서 전체 성형시간을 효과적으로 줄이기 위해서는 한 번에 적층하는 층의 두께를 증가시키는 것이 해결 방안이며 이에 대한 연구가 활발하게 진행중이다.

일본의 도요다 기술 연구소에서는 자동차 외판 가공용 금형을 제작하기 위한 새로운 개념의 쾌속 시작시스템을 개발하고 있다. 이는 비교적 두꺼운 판재를 Nd:YAG 레이저를 이용하여 원하는 형상으로 잘라낸 후 아래 층과의 결합을 위하여 용접을 수행한다. 이러한 연속적인 과정을 통하여 판금용 금형의 캐비티를 제작하며, 외곽선 절단 시 절단된 내부 철판을 이용하여 같은 공정을 통하여 코어 부분을 제작한다. 이렇게 완성된 판금용 금형은 공작기계를 이용하여 표면의 계단형상을 제거하는 후처리 공정을 수행하게 된다. 그러나 실제로는 적층과 절삭이 독립적으로 완전히 다른 공

정으로 이루어진다는 점에서 완전한 형태의 하이브리드 시스템은 아니라고 볼 수 있다.<sup>(1)</sup>

네덜란드의 Delft University of Technology 에서 개발 중인 Thick Layered Object Manufacturing (TLOM) 은 두꺼운 판재를 적층함으로써 전체 성형시간을 감소시키고 상대적으로 크게 발생하는 옆면의 계단 형상을 자체적으로 개발한 고유의 flexible curved cutting blade 를 이용하여 최소화 한다. 즉, 유연성을 가진 고온의 절삭 블레이드의 양 끝단의 위치를 제어하여 절삭하고자 하는 옆면의 형상으로 근사한 후 적층 재료인 폴리스티렌 폼을 블레이드 형상으로 용융시켜 윤곽가공을 수행한다. 그러나 내부의 형상 경계를 절단하거나 판재 내부에 숨어 있는 형상을 절삭하는데 문제가 있으며 사용 재료에 한계가 있다.<sup>(2,3)</sup>

CAM-LEM사와 Case Western Reserve University 가 공동으로 개발 중인 Computer Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials (CAM-LEM)은 판재 적층 방식 쾌속시작시스템으로서 적층 재료로서 상대적으로 두꺼운 판재를 사용한다. 제작하고자 하는 물체의 형상정보를 STL 파일의 형태로 시스템에 입력하여 이를 임의의 성형방향에 대하여 0.5 - 6.0 mm 정도 두께로 단면화하고 이들을 기준으로 윤곽 가공 및 적층 공정을 수행하게 된다. 특히 윤곽가공시에는 3 축(x, y, z) 직선운동을 하는 레이저 절단시스템과 두 방향 회전운동이 가능한 로터리테이블상에 공급된 판재의 복합운동을 이용하여 윤곽 절삭을 수행하게 된다. 따라서 절단된 판재의 옆면은 계단 형상이 아닌 선형으로 보간된 비교적 부드러운 형상이 구현된다. 그러나 옆면 가공시에 레이저를 이용하기 때문에 직선의 형태로만 절삭 가능하여 정확한 제품의 형상을 구현하는 시스템은 아니다.<sup>(4)</sup>

LaserCMM 은 현재 상용화 되어있는 판재적층식 쾌속시작시스템으로서 사용하는 레이저의 종류(CO2 레이저 / 50 - 150 와트)나 가용용적(최소: 145×86×111 cm<sup>3</sup> / 최대: 188×104×111 cm<sup>3</sup>)에 따라 네 가지 다른 모델을 제작하고 있다. 사용하는 판재의 재료로는 아크릴, 나일론, 폼, 알루미늄, 광섬유, 나무, 고무, 가죽 등 매우 다양하며 두께는 폼의 경우 최대 2 인치까지 가능하다. 공정 상의 특이할 만한 점은 일반적인 쾌속시작시스템이 한 방향의 적층 공정만을 허용하는 반면에 LaserCMM 은 직교하는 두 방향으로의 적층이 가능하다는 것이다. 이러한 방식으로 계란판 형태의 제품을 제작할 수 있으며 이 곳에 충전재를 채워 넣어 크기가 큰 시제품을 신속하게 제작할 수 있는 장점이 있다. 그러나 윤곽 가공시 수직 방향으로의 절단

만 가능하기 때문에 옆면의 계단 형상을 피할 수 없다.<sup>(5)</sup>

University of Utah 에서는 기존에 교육용으로 개발했던 Shapemaker I의 공정을 발전시켜 Shapemaker II/III 를 개발하였다. 이 시스템은 비교적 두꺼운 25 mm 의 폴리스티렌 폼을 고온의 와이어를 이용하여 윤곽 가공한 후에 수작업을 통하여 각층을 적층하여 물체를 완성하는 시스템이다. 그러나 이 시스템 역시 절단 시에 직선 형태의 와이어를 이용하기 때문에 여전히 후처리 공정을 요구하며 정확한 형상을 구현하는 시스템은 아니다.<sup>(6)</sup>

TruSurf 도 전술한 Shapemaker II 와 매우 흡사한 시스템으로서 10 mm 정도의 폴리스티렌 폼을 5 축 제어가 가능한 워터젯으로 윤곽 가공한 후, 이를 수작업을 통하여 적층하여 물체를 완성하는 기법이다. 이 시스템의 단점 역시 직선의 형태로 옆면을 근사하는 다른 시스템과 동일하다.<sup>(7,8)</sup>

미국 스탠포드 대학의 SDM (Shape Deposition Manufacturing) 시스템은 가장 진보된 형태의 하이브리드 타입 쾌속 시작 시스템으로서 재료를 용융시킨 상태에서 적층을 수행한 후 고화, 절삭하는 복합공정으로 운영된다. 이러한 SDM 시스템은 Fig. 2에서와 같이 각각의 시스템이 독립된 형태로 존재하는 일종의 플랜트 형태로 개발되고 있다. 그러나 본 연구에서 개발하고 있는 ECLIPSE-RP 시스템은 각 세부 모듈이 독립적으로 분리되어 있는 형태가 아닌 완전하게 하나의 통합된 시스템으로 구성되어 있다. 이러한 관점에서 살펴볼 때에, 본

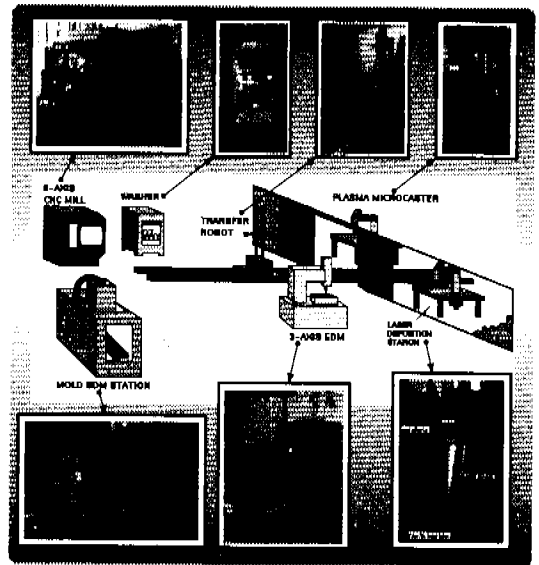


Fig. 2 Architecture of SDM system in Stanford University<sup>(9)</sup>

시스템은 SDM 과 비교하여 보다 완전하게 독립된 형태의 쾌속시작 시스템이라고 사료될 수 있으며 동일한 시스템 내에서 정밀한 이송 장치에 의하여 각 모듈 간을 이동하는 본 시스템이 독립적으로 위치하는 시스템 간을 이동하면서 성형이 이루어지는 SDM 보다 정확하고 정밀한 성형이 가능하리라 예상된다.<sup>(9)</sup>

이와 같은 현재 연구되고 있는 두꺼운 판재를 적층하는 쾌속시작 시스템들의 유사한 문제점들은, 한 번에 두꺼운 판재물 적층하기 때문에 층 간이나 층 내부에 숨겨진 형상을 가공할 수 없다는 점, 옆 면의 가공 시에 직선의 형태로 근사하여 정확한 형상을 구현하지 못하는 점, 적층 공정과 절삭 공정을 완전히 독립적인 형태의 공정으로 수행한다는 점 등이다. 그러나 본 연구에서 개발한 새로운 개념의 쾌속시작시스템은 두꺼운 판재를 적층한다는 점은 전술한 다른 시스템과 동일하지만 두꺼운 판재를 적층함으로써 발생하는 여러 가지 문제점들을 완전한 형태의 복합 공정과 물체의 형상 정보를 바탕으로 한 효율적인 공정계획 기법으로써 효과적으로 해결하였다.

## 2. 성형원리

### 2.1 개요

전술한 바와 같이 본 연구에서 개발한 쾌속 시작 시스템은 적층공정과 절삭공정의 복합공정으로 구성된 하이브리드 방식의 쾌속 시작 시스템이다. 따라서 전체 공정의 효율성을 극대화하기 위해서는 상이한 두 공정을 효과적으로 운영하는 것이 매우 중요하다. 제안된 고유의 성형공정은 기존의 쾌속 시작 시스템과 절삭공정의 장점을 최대한 살릴 수 있는 공정으로서 크게 두 가지 종류의 공정으로 구분할 수 있다. 그 중 한 가지는 성형이 시작될 때부터 끝날 때까지 주기적으로 계속되는 주성형 사이클(main process cycle)이며, 나머지 한 가지는 주성형 사이클과는 별도로 수시로 최적의 시점에서 수행되는 부절삭공정(additional machining process)이다.

Fig. 3에는 본 연구에서 개발한 쾌속시작 시스템의 전체적인 공정 구조를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 주 성형사이클은 「후면절삭(후삭 / 정삭 / 가공특징형상 절삭) → 판재적층 → 전면좌삭 → 윤곽절삭 → 전면정삭」의 다섯 단계로 나뉘어지며 부 절삭공정은 드릴링 공정 및 밀링 공정으로 나뉘어 진다. 본 시스템은 기존의 것과는 달리 상대적으로 두꺼운 판재를 사용하기 때문에

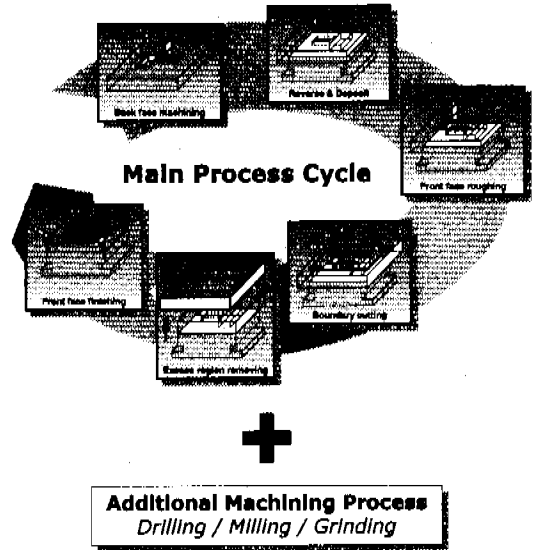


Fig. 3 Process of proposed hybrid system

뒷면의 숨겨진 형상 가공이 필수적이거나 공정 계획 시스템에서 많아야 두 번의 셋업( 앞면 및 뒷면 가공 )으로 판재 내의 모든 형상을 가공할 수 있도록 형상을 지능적으로 분해하기 때문에 판재를 뒤집는 과정 이외의 추가적인 셋업 과정을 요구하지 않는다. 또한 부 절삭공정을 도입함으로써 복잡하면서 비교적 작은 형상들을 가공하기 위하여 불필요하게 물체를 잘게 나누는 것을 방지하여 전체 성형시간을 효과적으로 단축할 수 있으며 이러한 가공특징형상들을 한 번에 가공함으로써 형상 정확도 또한 보존하였다.

### 2.2 작업의 흐름(Workflow in ECLIPSE-RP)

본 쾌속 시작 시스템은 적층 공정으로만 이루어져 있는 기존의 쾌속 시작 시스템과는 달리 적층과 절삭의 복합공정으로 구성되어 있기 때문에 이를 위한 하드웨어의 구성 또한 6 개의 모듈로 세분화 되어 있다. 전체 시스템은, 공정이 시작되는 곳으로서 판재가 공급되는 station-3, 각 모듈 간의 공정 이동을 위한 이송 시스템, 적층 및 접착제 도포 공정을 위한 장소인 station-2, 판재를 뒤집고 적층 작업을 수행하는 셋업 변경 모듈, 스카라 로봇과 접착제 공급 시스템으로 구성되는 접착제 도포 모듈, 절삭 공정을 수행하는 ECLIPSE 본체(station-1)로 구성되어 있다.

Fig. 4에는 전반적인 작업의 흐름을 화살표와 번호로 조합도의 평면도 상에 표시하였다. Fig. 4에서 화살표는 실제로 성형하고자 하는 물체를 고정하고 있는 플랫폼이 이동하는 동선을 나타내고 있는

며 번호는 공정의 단계를 표기한 것이다.

①은 판재가 station-3 에 공급되는 단계로서 시스템 내에 있는 2 개의 판재 고정판 중에 한 개가 station-3 에서 대기하고 있다가 재료공급시스템에 의하여 판재가 적층 순서대로 공급되고 판재 고정판에 고정되면서 주성형 사이클이 시작된다. 본 시스템의 재료로 사용되는 판재는 3 mm - 30 mm 정도의 표준화된 케미컬우드 판재이다. 케미컬우드는 절삭성과 기계적 성질이 비교적 우수하기 때문에 최종적으로 완성된 성형품의 활용범위가 일반적인 단품의 설계 검증 외에도 기능 검증, 조립성 검증, 금형 제작을 위한 마스터 패턴의 제작 등에 광범위하게 활용될 수 있다.

②는 공급된 판재가 공압 실린더에 의해 작동하는 이송시스템에 의하여 ECLIPSE 본체로 들어가서 판재의 뒷면 황삭 및 정삭, 뒷면에 존재하는 가공특징형상 등이 가공되는 단계이다. 본 절삭작업(1" cutting)은 작업하고자 하는 적층특징형상의 뒷면에 존재하는 형상들을 가공하는 작업으로서 이 상태에서 가공 가능한 모든 형상에 대하여 황삭 및 정삭 작업을 수행한다. 특히 공정 계획 시스템이 추가가공특징형상으로 지정한 가공특징형상들은 이러한 주 성형 사이클의 첫번째 단계에 해당하는 뒷면 절삭 작업 수행 중이나 완료 후에 판재 고정판이 ECLIPSE 본체로부터 나오지 않고 계속적으로 드릴링 작업 및 밀링 작업으로 가공된다.

③은 뒷면 가공이 완료된 판재가 이송 시스템에 의하여 다시 station-3 으로 복귀하여 대기하는 단계로서 모든 작업이 완료되면 다음 단계의 공정을 위하여 판재 고정판이 ECLIPSE 본체로부터 빠져

나와 판재가 처음에 공급되었던 station-3 으로 이송되어 대기한다.

④는 셋업 변경 시스템이 station-3 에서 대기하고 있는 판재를 잡고 뒤집는 단계이다. 즉, 뒷면 절삭 공정이 완료되면 판재 고정판에 의하여 고정되어 있는 판재가 앞면 가공을 위하여 뒤집힌다. 이러한 작업을 위하여 본 시스템 내에는 뒷면 가공이 완료되어 station-3 에서 대기하고 있던 판재와 판재 고정판을 함께 뒤집을 수 있는 모듈이 장착되어 있다. 특히 셋업 변경 모듈에 의해 수행되는 판재 뒤집기 공정은 바로 다음 단계에 수행되는 접착제 도포 공정 이전에 수행되는데 이는 접착제 도포가 완료되는 즉시 접착제가 경화되기 전에 바로 적층이 가능하도록 하기 위함이다.

⑤는 스카라 로봇이 바로 전 사이클에서 공정이 완료되어 station-2 에서 대기하고 있었던 파트의 상부에 접착제를 도포하는 단계로서 판재 뒤집기 작업이 완료되면 바로 수행한다. 정확한 도포를 위하여 순간 접착제용 디스펜서(dispenser)를 4축 스카라 로봇(SCARA robot)의 끝단에 부착하여 현재 시점까지 적층된 형상의 최상단에 정확히 도포한다. 이때 접착제 도포 공정이 수행되는 시스템 내에서의 위치는 station-2 로서 이 곳은 현재까지 성형 완료된 부분이 다음에 이어지는 주 성형 사이클을 위하여 대기하고 있는 곳이다.

⑥은 ④에서 뒤집혀진 판재가 셋업 변경 시스템에 의하여 station-2 로 이송되어 적층되고 압착되는 단계이다. 즉, 접착제 도포 공정이 완료되면 셋업 변경 모듈에 의하여 뒤집힌 상태에서 대기하고 있던 판재와 판재 고정판이 station-2 까지 이동해 온다. 셋업 변경 모듈에 의하여 위치가 정확히 제

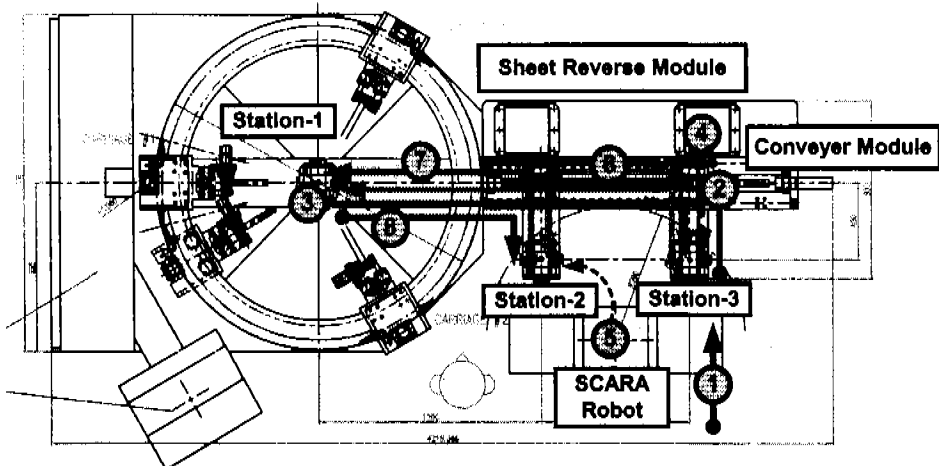
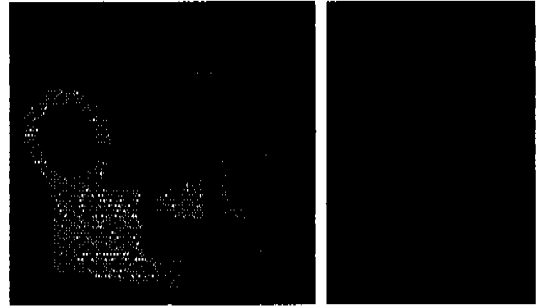


Fig. 4 Process workflow in ECLIPSE-RP system

어되어 판재가 아래 층 집착부위로 하향 이동하여 부착되며, 이때 긴밀한 집착을 위하여 셋업 변경 모듈은 판재를 계속 고정된 상태에서 일정 시간동안 지속적인 압력을 가해준다.

⑦은 완전히 집착된 상태의 판재가 이송 시스템에 의하여 station-1 으로 이동되어 앞면 황삭, 윤곽 절삭, 앞면 정삭, 가공특징형상 등이 가공되는 단계이다. 즉, 적층이 완료되면 셋업 변경 시스템이 잡고 있는 판재 고정판 상의 고정 장치가 적층된 판재를 놓는다. 그리고 셋업 변경 시스템은 판재가 분리된 판재 고정판을 다음 주 성형 사이클을 위하여 station-3 으로 복귀 시킨다. 한편 station-2 에서 적층 공정이 완료된 판재 고정판이 ECLIPSE 본체로 이동되어 앞면 황삭, 윤곽절삭, 정삭 공정(2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, and 4<sup>th</sup> cutting) 등을 수행하게 된다. 윤곽 작업이 완료된 후에는 판재의 불필요한 부분이 외부로 토출되어 폐기된다. 특히 정삭작업 중에는 공구가 적층특징형상의 모든 외부 형상에 접근 가능하기 때문에 공구가 수직방향을 기준으로 90°까지 기울어져 완전한 5 면 가공을 수행하며 이 과정에서 최종적인 형상 정확도를 달성한다. 일반적으로 정삭 공정까지 수행하게 되면 일정 수준 이상의 형상 정확도를 달성할 수 있으나 경우에 따라 높은 표면 조도를 요구하는 제품에 대해서 연삭 공정이 요구된다. 이러한 경우에도 본 패삭 시삭 시스템은 ECLIPSE 본체의 스펀들에 연삭 공구를 장착함으로써 최종 단계에서 연삭 공정을 일괄적으로 수행할 수 있는 장점이 있다. 그러나 연삭 공정을 성형 공정에 포함 시킬 경우에는 전체 성형 시간이 과도하게 증가할 수가 있기 때문에 일반적인 기계부품의 성형 시에는 정삭 공정으로 전체 성형을 마무리 한다.

마지막으로 ⑧은 모든 주 성형 사이클이 완료되어 이송 시스템에 의하여 station-2 로 이동되어 다음 사이클을 위하여 대기하는 단계이다. 최종적으로는 본 주 성형 사이클의 반복과 추가적인 가공특징형상의 가공이 수행되면 모든 성형 공정을 마치게 된다. 성형이 완료되면 완성품은 ECLIPSE 본체로부터 이송 모듈에 의하여 이송되어 station-2 로 복귀한다. 따라서 제품을 station-2 에 도착한 판재 고정판으로부터 분리해 내어 성형품 세척 작업을 수행한다. 층간의 결합에 접착제를 사용하기 때문에 물체 표면에 붙어 있을 수 있는 칩들을 제거하고 표면을 용제를 이용하여 세척하는 작업이 요구된다. 또한 착색이 가능한 케미컬우드 재료가기 때문에 필요에 따라 착색 또는 코팅 공정을 수행한다.



(a) Example part (b) Part decomposition  
Fig. 5 Example part for process simulation

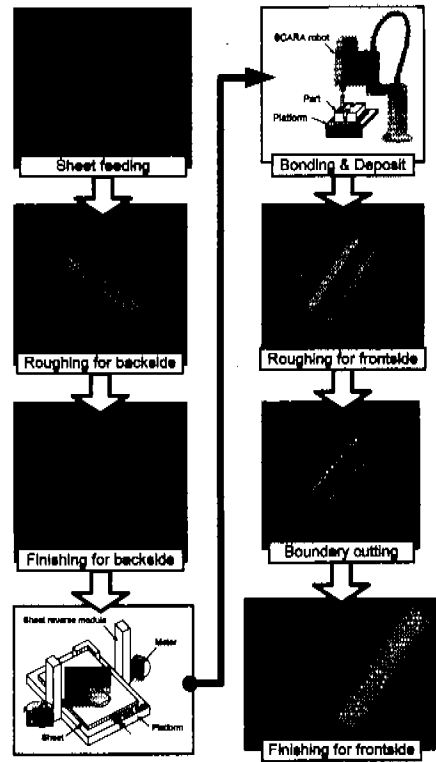


Fig. 6 Main process cycle for example part

주 성형 사이클에 대한 이해를 돕기 위하여 Fig. 5(a)에 나타난 예제물 이용하여 실제로 공정을 가상적으로 모사하여 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 5(b)에는 예제 파트를 본 시스템으로 성형하기 위하여 각기 다른 층 두께로 형상 분해할 한 모습을 나타내었으며<sup>1</sup> 그림에 나타난 네 개의 적층특징형상<sup>2</sup> 가운데 공정 설명을 위한 적층특징형상으로서 가장 위쪽에 있는 네 번째 적층특징형상을 설명 대

<sup>1</sup> 본 연구의 공정 계획 기법과는 무관하게 직관적으로 이해하기 쉬운 형태로 분해하였음

<sup>2</sup> 모든 형상이 많아야 두 번의 셋업으로 가공 가능한 적층 공정의 기본 단위

상으로 하였다.

### 3. 시스템의 구성

#### 3.1 개요

본 연구에서 제안하는 새로운 개념의 쾌속 시삭 시스템은 크게 소프트웨어 부분과 하드웨어 부분으로 구분해 볼 수 있다. 소프트웨어 부분은 성형하고자 하는 물체의 형상 정보를 물리적 파일(STEP AP203)의 형태로 입력 받아 성형에 필요한 모든 공정 정보를 생성하는 부분이며 하드웨어 부분은 각종 기능별 세부 모듈과 제어 소프트웨어로 구성되어 실제로 공정이 수행되는 부분이다. 일반적으로는 쾌속 시삭 시스템이라고 하면 하드웨어 부분만을 일컫는 경우가 많으며 소프트웨어 부분은 공정 계획 시스템이라고 부른다.

소프트웨어와 하드웨어 간의 정보 교환은 물리적 파일의 형태로 이루어진다. 즉, 공정 계획 시스템에서 작업을 수행한 결과인 공정 순서 및 정보, 세부 작업 경로 등이 물리적인 파일의 형태로 저장되어 네트워크(TCP/IP)를 통해서 하드웨어 제어기 PC로 전달된다. 하드웨어는 입력된 정보를 바탕으로 하드웨어를 제어할 지령치를 생성하여 실제로 각 세부 공정을 일괄적으로 수행하게 된다.

#### 3.2 소프트웨어

본 공정계획 시스템은, STEP AP203의 스키마(schema)에 정의된 엔티티(entity)들로서 형상정보를 표현하고 있는 STEP의 물리적 파일(Part 21)을 읽어 들여 형상정보를 생성하고 관리하는 형상정보 관리기, 이를 바탕으로 가공특징형상을 추출하고 전체 형상을 분해하여 적층특징형상을 생성하여 전체 공정을 생성/관리/분석하는 공정계획기, 각 단위 공정에 해당하는 세부적인 절삭/접착 경로를 생성하는 경로생성기, 최종적으로 생성된 전체공정을 가상적으로 모사하는 공정모사기의 네 부분으로 구성되어 있다. 즉, 공정계획 시스템의 입력은 전술한 바와 같이 STEP의 물리적 파일이며 출력은 ECLIPSE-RP의 제어가 인식할 수 있는 수정된 G-code(modified G-code)들의 집합이다.

Fig. 7에는 본 연구에서 개발한 공정계획시스템의 세부 구조와 작업 흐름을 나타내었다. 결국 Fig. 7에서 Process Planning Phase에 해당하는 작업이 모두 공정계획시스템 내에서 이루어지는 작업이며 내부적으로 성형방향을 결정하는 기능, 공정의 효율성을 높이기 위하여 도입된 가공특징형상을 추출하여 전체 형상을 단순화하는 가공특징형상 생성 기능, 단순화된 형상을 공구의 접근성을 고려하여 여러 개의 3차원 형상의 층으로 분해하는 적층특징형상 생성 기능, 생성된 가공특징형상과 적층특징형상을 가공하기 위한 공구 경로, 층간의 접착을 위하여 사용하는 접착제를 주사하기 위한 노즐 경로, 최종적인 후처리를 수행하기 위한 연삭경로를 생성하는 기능, 완성된 경로를 실제로 ECLIPSE-RP에 전달하기에 앞서서 가상적으로 전체공정을 수행하여 검증하는 공정 모사 기능 등이 순차적으로 공정계획 시스템에서 수행된다.

#### 3.3 하드웨어

##### 3.3.1 판재고정판

주 성형 사이클이 수행될 때에 일단 판재가 공급되면 본 시스템에서 개발한 판재 고정판에 고정된 상태로 이송, 가공, 뒤집기, 적층 등의 공정이 수행되는데 이 메커니즘에서 가장 중요한 것은 판재의 상대 위치를 정확하게 유지하는 것이다. 즉, 본 공정은 주 성형 사이클 내에 판재를 뒤집는 공정이 포함되어 있기 때문에 이러한 셋업 변경 시 판재의 정확한 상대 위치가 보존되어 있어야 앞면 형상과 뒷면 형상 간의 상대 위치가 보존된다. 이를 위하여 본 시스템에서는 Fig. 8에 나타난 그림과 같은 판재고정판을 개발하였다. 고정판 상의 한쪽 구석에는 "L"자 형태의 기준면이 있으며 이는 판재가 고정판에 고정될 때에 기준 좌표의 역

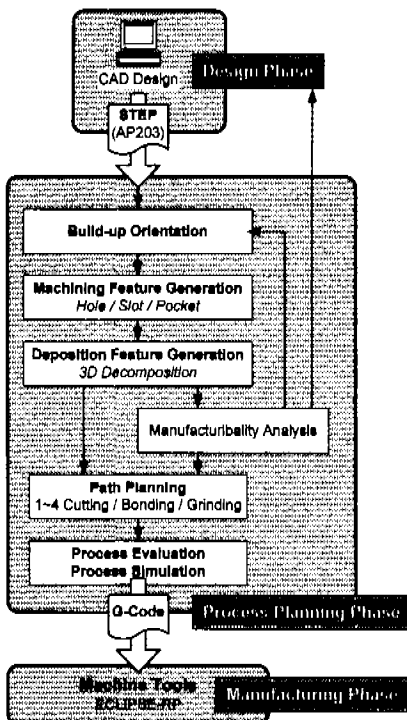


Fig. 7 Process planning system structure

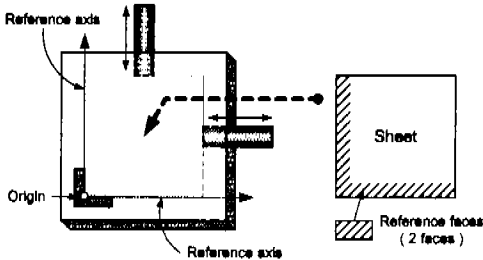


Fig. 8 Sheet fixture

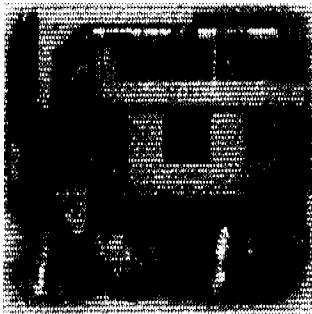


Fig. 9 Main frame for New Rapid Prototyping System-ECLIPSE

합을 한다. 이를 위하여 판재도 4 개의 측면 가운데 그림에서 빗금으로 표시된 두면은 정밀가공이 요구된다. 또한 판재가 "L"자의 고정자에 위치한 후에 나머지 2 방향에서 유압 실린더가 작동하여 Fig. 8과 같이 판재가 움직이지 못하도록 고정한다. 본 판재 고정판은 시스템 내에 총 2 개가 있으며 공정 수행 시 한 개는 station-2 에서 나머지 한 개는 station-3 에서 출발하여 각자 자신의 위치로 복귀한다.

**3.3.2 Station-1: ECLIPSE**

Station-1 은 모든 절삭 공정이 수행되는 모듈로서 기본적인 프레임으로서 6 축 병렬기구를 사용한다. 판재의 앞면과 뒷면의 가공 공정, 추가가공 특징형상의 가공 공정, 그리고 후처리 연삭 공정 등이 모두 station-1 에서 수행된다. 본 6 축 병렬기구의 가장 두드러진 장점은 광범위한 기구학적 유연성으로서 수직축을 기준으로 90°까지 기울임 가공이 가능하며 이외에도 높은 정밀도와 가공 속도 등이 특징이다[10]. 이러한 6 축 병렬기구의 장점은 본 시스템의 고유의 성형 공정을 효과적으로 뒷받침 해준다.

이렇게 본 시스템의 기본 프레임으로써 기존의

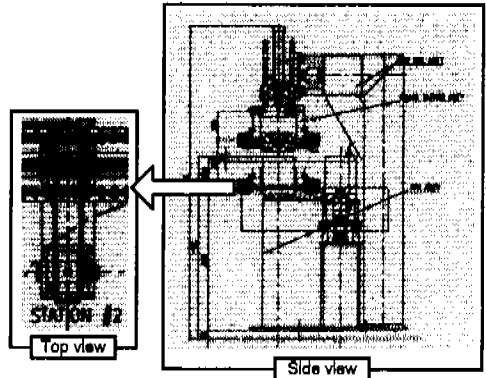
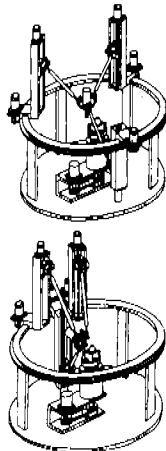


Fig. 10 Station - 2 : deposition & stand-by platform

직렬 동작기계를 사용하지 않고 새로운 개념의 6 축 병렬기구를 사용함으로써 전체 공정의 효율을 향상시킬 수 있음은 물론, 적층특징형상의 두께를 상당량 증가시켜 공정 소요시간을 크게 단축할 수 있다. 또한 추가적인 후처리 또한 동일한 셋업 내에서 일괄 수행이 가능하게 되었다. Fig. 9에 ECLIPSE 의 모습과 공구가 수직자세와 수평자세에 있을 때의 칼럼과 링크의 모습이 각각 나타나 있다. ECLIPSE 의 가공영역은 원통형 형상으로서 크기는 직경 200 mm 이고 높이가 200 mm 이다.

**3.3.3 Station-2: Deposition & Stand-by Station**

Station-2 는 뒷면 가공이 완료된 판재가 현재까지 적층된 물체 상부로 적층되는 곳으로서 주 성형 사이클을 도시한 Fig. 4에서 ④, ⑤, ⑥ 단계 공정과 관련이 있는 모듈이다. Fig. 10에는 station-2 의 형상을 2 차원 도면으로 확대하여 나타내었다. Fig. 10의 평면도 상에 하단 부위가 station-2 로서 이송 시스템과 연결되어 각 모듈 간을 이동하도록 되어 있으며 일단 적층된 파트는 전술한 판재 고정판 상에 고정된 상태로 계속적으로 공정이 수행된다. Fig. 10의 우측면도에는 셋업 변경 모듈의 형태가 잘 나타나 있으며 가상도의 형태로 셋업 변경 모듈이 뒷면 가공이 완료된 판재를 station-2 에서 적층하는 모습이 나타나 있다.

**3.3.4 Station-3: Sheet Feeding Station**

Station-3 는 주 성형 사이클이 시작되는 판재 공급 모듈로서 형태는 Fig. 10에 나타나 있는 station-2 와 동일하다. 본 모듈은 Fig. 4에 도시된 전체 작업 흐름 중에 ①, ②, ③, ⑥ 단계와 연관되어 있다.

**3.3.5 Reverse Module: Reverse/Deposit/Press**

Fig. 4에 나타난 작업 흐름에서 ④, ⑥ 단계와 관련이 있는 모듈로서 판재를 뒤집는 작업 외에 시스템 내에서 판재가 고정된 판재 고정판을 잡고 자체적으로 이동할 수 있는 기능을 가지고 있다.



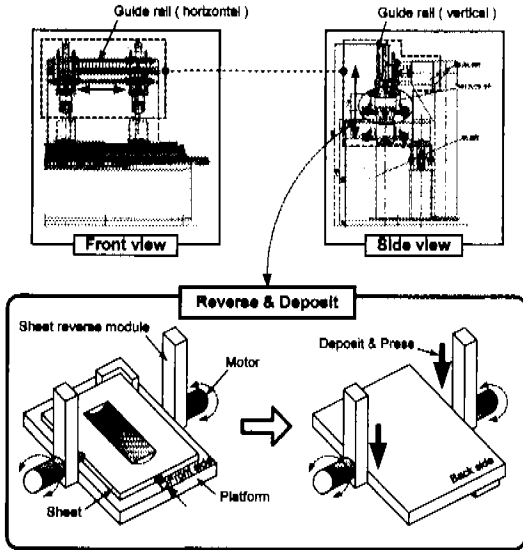


Fig. 11 Sheet Reverse Module: Reverse/Deposit/Press

Station-3 에서 대기하고 있는 뒷면 가공이 완료된 판재 고정판을 잡고 회전에 의하여 180° 셋업을 변경한다(④). 그 다음 뒤집혀진 판재를 들고 집착제의 주사가 완료된 station-2 로 이동하여 위치를 아래 방향으로 이동하여 적층을 수행하고 집착제가 고화 될 때까지 압력을 가해준다(⑤). 집착제 경화 시간이 지나게 되면 본 모듈이 잡고 있던 판재 고정판의 실린더 고정 장치가 뒤로 후퇴하여 판재를 판재 고정판으로부터 분리시킨다. 그리고 판재가 분리된 판재 고정판은 Sheet Reverse Module 에 의하여 다시 뒤집힌 후, station-3 으로 이동하여 다음 판재의 공급을 기다리게 된다. Fig. 11에는 본 Sheet Reverse Module 의 도면상에 도시된 형상과 셋업을 변경하는 모습을 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 본 모듈은 판재 이송 모듈의 측면 프레임에 설치되어 있는 이송 모듈 방향의 가이드 레일을 따라 움직이는 수평 운동과 적층 및 가압이 작업을 위한 수직 운동이 가능하여 총 2 축 직선 운동을 할 수 있도록 설계되어 있다.

3.3.6 Conveyer Module

이송 모듈은 앞에서 설명한 판재 고정판이 각 모듈 간을 원활하게 이동할 수 있도록 하는 세부 모듈로서 공압 실린더를 이용하여 구동된다. 본 시스템 내에는 총 2 개(Platform-A / Platform-B)의 판재 고정판이 설치되어 있는데 Platform-A 는 초기 상주 위치가 station-3 이며 Platform-B 는 station-2 이다. 즉, 새로운 주 성형 사이클이 시작 되면 판재가 station-3 에 있는 Platform-A 로 공급되어 뒷면 가공이 완료된 후 station-2 에서 셋업 번

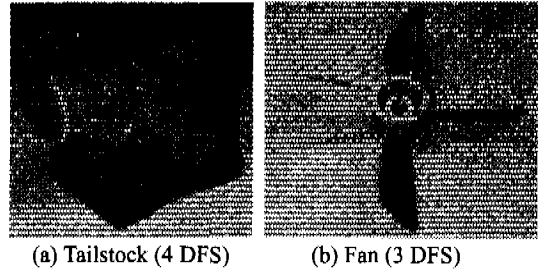


Fig. 12 Experimental parts from proposed hybrid process

경 모듈에 의하여 판재가 Platform-B 로 적층되어 완성된 제품은 Platform-B 에서 얻어지게 된다. 이렇게 두 개의 판재 고정판은 각 모듈간을 가공을 위하여 이동해야 하는데 이를 가능하게 하는 것이 이송 모듈이다.

3.3.7 Bonding Module: Adhesive Dispenser & SCARA Robot

집착제 도포 모듈은 station-2 에서 Platform-B 에 고정되어 대기하고 있던 현재 까지 적층된 층의 최상부에 집착제를 도포하기 위한 모듈이다. 집착제 도포 모듈은 도포작업을 수행하는 스카라 로봇과 집착제를 주사하는 집착제 주사 장치로 구성된다. 집착제 주사장치는 0.5 리터 압력뱅크 (LOCTITE-97106)와 순간 집착제용 밸브(LOCTITE-97121), PC 로 제어가 가능한 반자동 조절기 (LOCTITE-97102) 등으로 구성되어 있다.

4. 실험결과

새로운 개념의 하이브리드 방식 패속시작시스템의 공정을 검증하기 위하여 연삭 공정을 제외한 전체 성형 공정을 포함하도록 실험을 설계, 수행하였다. Fig. 5에 나타난 예제와 팬 모델에 대하여 실험을 수행하였으며 재료는 각각 아크릴과 케미칼우드를 사용하였다. Fig. 12에는 수행한 실험의 결과로 제작된 성형품을 나타내었다. 좌측 모델의 경우는 총 4 개의 DFS 로 구성하였으며, 우측의 모델은 총 3 개의 DFS 로 구성하였다. 두 가지 모델 모두 기존의 가공 방식으로는 한 번의 셋업으로 가공할 수 없는 형상을 가지고 있으나 본 공정으로는 일단 적층 방향이 결정되면 물체 내에 존재하는 모든 형상을 한 번의 셋업으로써 구현 가능함으로써 전체 가공 공정의 자동화와 총성형 시간의 효과적인 단축이 가능하게 되었다.

5. 결론

본 연구에서는 기존 패속시작시스템의 한계를

효과적으로 극복할 수 있는 신개념 쾌속시삭시스템의 공정 및 시스템 개발하였다. STL을 통하여 형상정보를 받아들여 이를 층별성형방식으로 제작하는 기존 시스템들은 몇 가지 근본적인 문제점으로 인하여 그 활용범위의 확장에 한계를 드러내왔다. 그러나 본 시스템은 적층공정과 절삭공정으로 구성된 고유의 복합공정을 효율적으로 운영하여 CNC 절삭공정의 장점과 쾌속시삭기법의 장점을 모두 수용하였다. 더욱이 시스템의 주 프레임으로 사용한 ECLISPE는 90°까지 기울임 가공이 가능한 6축 병렬기구로서 한 번의 셋업으로 5면 동시가공이 가능한 공작기계이다. 따라서 전체 공정의 유연성과 효율성을 증대시킬 수 있으며 이러한 기구학적인 장점을 활용하여 물체를 상당히 작은 수의 조각으로 분해하여 제품을 신속하게 제작하는 것이 가능하다.

본 신개념 쾌속시삭시스템을 이용하여 제품 개발 단계에서의 신제품 개발 주기를 획기적으로 단축할 뿐만 아니라, 다품종 소량 생산을 위한 즉석가공 시스템을 구축하는 데에도 큰 역할을 수행할 수 있으리라 기대된다. 또한 이러한 하이브리드 방식 쾌속시삭시스템의 공정 및 세부 핵심기술은 차세대 생산 시스템의 한 요소로서 크게 자리 잡을 수 있으리라 기대된다.

### 참고문헌

- (1) Campbell, I., 1998, "Seventh European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing," *Rapid Prototyping Report*, CAD/CAM Publishing, Vol. 8, No. 11, pp. 3~7.
- (2) Horváth, I., Vergeest, J. S. M., Broek, Rusak, J. J., Z., and de Smit, B., 1998, "Tool Profile and Tool Path Calculation for Free-form Thick-layered Fabrication," *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 14, pp. 1097~1110.
- (3) Horváth, I., Vergeest, J. S. M., Juhász, I., 1998, "Finding the Shape of a Flexible Blade for Free-form Layered Manufacturing of Plastic Foam Objects," *Proceeding of the ASME 1998 Design Engineering Conferences DETC '98*, September 13-16, Atlanta, Georgia, CDROM: DETC98/DFM-5752, ASME, New York.
- (4) CAM-LEM, Inc., "Computer Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials, CAM-LEM," <http://dora.ceap.cwru.edu/camlem/camlem.html>
- (5) LaserCMM, Inc., "LaserCMM," <http://www.lasercamm.com>
- (6) Bohlander, T., 1995, "The Sixth International Dayton Conference on Rapid Prototyping: New Technologies," *Rapid Prototyping Report*, CAD/CAM Publishing, pp. 3~5.
- (7) Hope, R. L., Jacobs, P. A., and Roth, R. N., 1997, "Rapid Prototyping with Sloping Surfaces," *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 3, No.1, pp. 12~19.
- (8) Hope, R. L., Riek, A. T., and Roth, R. N., 1996, "Layer Building with Sloping Edges for Rapid Prototyping of Large Objects," *Proceedings of the 5th European Conference on Rapid Prototyping & Manufacturing*, Helsinki, Finland, 4<sup>th</sup>~6<sup>th</sup>.
- (9) Merz, R., Prinz, F. B., Ramaswami, K., Terk, M., Weiss, L., 1994, "Shape Deposition Manufacturing," *Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium*, University of Texas at Austin, August 1994, pp. 1~8.
- (10) Kim, J. W., et. al., 1997, "Performance Analysis of Parallel Manipulator Architectures for CNC Machining," *Proceedings of 1997 ASME IMECE Symposium on Machine Tools*, Dallas.