

◆특집◆ 쾌속제품개발

# 쾌속제품개발(RPD)을 위한 쾌속조형기술의 최근동향

양동열\*, 손헌기\*\*

## Recent State of Rapid Prototyping Techniques for Rapid Product Manufacturing

Dong Yol Yang\*, Hyon Kee Sohn \*\*

**Key Words** : Rapid Product Development (쾌속제품개발), Rapid Prototyping Techniques (쾌속조형기술), Order-Adaptive Rapid Product Development System (주문적응형 쾌속제품개발 시스템), Rapid Trial Manufacturing System (쾌속시작시스템)

### 1. 서론

소비자들의 다양한 제품에 대한 욕구가 증가하고, 국내외 시장에서의 경쟁이 치열해짐에 따라, 산업분야 전반에서, 특히 전세계적으로 경쟁이 치열한 자동차, 전자, 가전산업 등의 분야에서 제품 모델 다양화 및 빈번한 제품설계변경이 절실하게 요구되고 있다. 이러한 시장의 요구에 효과적으로 대처하고, 제품의 경쟁력을 제고하기 위해서는 제품의 설계에서부터 시작품 생산에 이르는 제품개발에 소요되는 비용과 시간을 절감하여 쾌속하게, 저렴하게 제품을 시장에 출하하는 것이 필수적이라고 할 수 있다.

CNC 가공 등의 절삭 가공을 위주로 한 기존의 제품개발방식에서는 제품의 설계에서부터 시장에 제품을 출하하기까지 대부분의 개발과정이 순차적으로 진행되어 각 단계에서 소요되는 시간이 누적되어 총 제품개발기간 되므로 자연히 제품개발기간이 길어지게 된다. 또한, 제품개발 초기단계에서 제품에 대한 정보 부족으로 인하여 오류가 발생하는 경우에 오류의 원인이 발생한 단계로 되돌아가서 오류를 수정하고 이후의 작업을 반복 수

행해야 하는 시행착오가 빈번히 발생하여 제품개발에 더욱 많은 시간, 인력 및 경비를 소모하게 된다. 또한, 현재 국제적 산업동향은 제품 다양화, 제품개발의 기간 및 비용의 절감 그리고 독자제품 설계능력 확보가 기업의 생존을 위한 필수요건으로 대두되고 있으므로, 이러한 재래식 제품개발방식에 의존하여서는 시장의 요구에 능동적이고, 신속하게 대처하기 어렵고, 극한적인 기업간 경쟁에서 경쟁력을 확보하기가 거의 불가능하다.

그러므로, 제품의 설계에서 생산까지의 각 단계가 서로 동시공학적으로 연계되어 있으며, 각 단계에서 시행착오와 소요 비용 및 시간을 획기적으로 단축함으로써 제품 다양성, 생산량, 납기, 품질 등에 대한 제품 적응력을 제고할 수 있는 쾌속 제품개발 시스템의 개발 및 도입이 필수적이다.

본 글에서는 쾌속제품개발의 한 모델로써 지능형 제품설계시스템, 가상시작시스템, 쾌속시작시스템, 컴퓨터원용 검사/평가시스템, 컴퓨터원용 역엔지니어링 시스템 등을 구성 요소로 하는 제품개발 방식인 '주문적응형 쾌속제품개발 시스템'(Order-Adaptive Rapid Product Development System)에 대해 개략적으로 설명하고, 그 구성요소 중에서 쾌속시작시스템의 핵심 요소 기술인 쾌속조형기술의 최신동향 대해 살펴보고자 한다.

\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

## 2. 주문적응형 쾌속제품개발 (OARPD) 시스템

기존의 제품개발방식은 종적으로 각 단계가 연결되어 시행착오를 피할 수 없으므로, 소요비용 및 기간 절감과 제품 경쟁력 향상에는 한계가 있다. 치열한 경쟁에서 제품 경쟁력을 제고하기 위해서는 기존의 종적인 방식의 제품개발을 지양하고, 쾌속한 시제품 개발을 위한 제품개발방식의 시스템적 혁신이 절실하다. 제품개발 시스템의 혁신은 자동차, 가전, 전자, 컴퓨터, 항공, 중공업 분야 등 제조업 전반에서 필수적이다.

주문적응형 쾌속제품개발 시스템을 구성하는 주요 요소는 지능형 제품설계시스템(Intelligent Product Design), 가상시작시스템(Virtual Prototyping System), 쾌속시작시스템(Rapid Trial Manufacturing System), 컴퓨터원용 검사/평가시스템(Computer-Aided Inspection/Evaluation), 컴퓨터원용 역 엔지니어링 시스템(Computer-Aided Reverse Engineering) 등이다. Fig. 1 에서 보는 바와 같이 소비자의 수요(제품주문)가 발생한 시점부터 시작품을 생산하기까지 위의 5 가지 구성 요소들을 조합한 경로를 통하여 제품이 개발된다. 제품의 특성 및 여러 관련 조건에 따라 최적의 제품개발 경로를 통해서 시작품을 생산하게 된다. 다음에서 주문적응형 쾌속시작시스템의 각 구성 요소에 대해 간략한 설명을 하도록 하겠다.

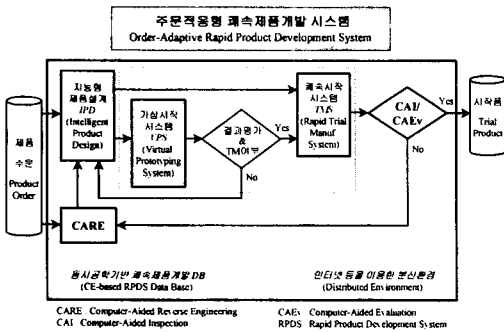


Fig. 1 Order-Adaptive Rapid Product Development System (OARPD)

지능형 제품설계시스템(IPS)은 기존의 제품설계과정에서 발생하는 각종 시행착오에 의한 노력과 경비의 손실을 최소화하기 위해 제품의 설계과

정에서 제품의 형상정보가 생성되기 이전에 필요한 수많은 설계지식을 체계적으로 활용함으로써 설계작업을 효율적으로 지원하기 위한 통합 지식기반의 시스템이다.

가상시작시스템(VPS)은 가상현실(VR), 3차원 CAD 모델링, 수치해석기법(FEA 등) 등의 정보기술들을 적극적으로 도입하여 기존의 물리적 시작 과정을 지원 또는 대체함으로써 개발초기에 설계의 품질을 확립하여 우수한 품질의 제품을 신속히 개발하기 위한 시스템이다.

쾌속시작시스템(TMS)은 진일보한 쾌속시작기술(Rapid Trial Manufacturing Techniques)인 기능성 금속시작품 제작을 위한 직접식 쾌속조형기술과 응용기술, 고속가공을 이용한 시작품 제작과 금형가공기술, 쾌속금형제작기술을 개발을 위한 시작품의 정밀도 향상 및 다양한 후처리 기술 등과 같은 요소기술의 지원하는 시스템이다.

컴퓨터원용 검사/평가 시스템(CAI/ CAEV)과 컴퓨터원용 역 엔지니어링 시스템(CARE)은 시작품의 정밀도 향상을 위한 측정/평가기능 및 검사결과를 재설계과정에 반영하기 위한 역 엔지니어링을 통한 제품설계, 생산, 그리고 평가과정을 효율적으로 연계하기 위한 시스템이다.

효과적인 주문적응형 쾌속제품개발의 구축을 위해서는 각 구성 시스템의 고도화 및 시스템 간의 효율적이고, 유기적인 연계가 필수적이다. 이를 위해서는 컴퓨터를 이용한 공통된 데이터베이스를 구축하고 이를 각 요소 시스템이 공유하여 상호간 내부연계부담(Interface overhead)을 최소화하는 시스템의 구축이 필수적이다. 이러한 새로운 쾌속제품개발방식의 개발/구축을 통하여 소비자의 욕구를 신속히 제품개발에 반영함으로써 빠른 시장적응력을 갖추게 되며, 제품 설계 및 생산과정의 동시공학적인 접근을 통하여 생산성 향상을 꾀할 수 있다. 또한, 자동차, 전자, 가전, 항공산업 등 관련 산업분야에로의 파급효과의 확산과 경쟁력 확보를 기대할 수 있다.

## 3. 쾌속시작시스템 (TMS)

쾌속시작시스템은 쾌속제품개발 과정에서 설계된 제품의 데이터를 이용하여 시작품 또는 시작물드/금형을 제작하는 단계로써 핵심 기술인 쾌속

조형기술과, 2 차공정, 고속가공, 쾌속표면가공 등의 요소기술을 포함한다. 쾌속조형기술은 공정 특성상 복잡한 3 차원의 형상을 신속하게 제작할 수 있어서, 시작품 제작에 소요되는 시간을 단축하는데 핵심적인 역할을 하고 있다.

지능형 설계시스템에서 설계된 데이터로부터 적절한 공정을 선정하여 시작품 또는 시작몰드(mold)/금형(die)을 제작하게 되는데, 다양한 쾌속조형공정을 이용하여 비기능성(광경화성 수지, 열경화성 수지, 종이 등) 및 기능성 재료(금속, 세라믹 등)의 시작품 및 시작몰드/금형을 제작할 수 있으며, 비교적 많은 양의 시작품이 필요한 경우는 쾌속조형공정과 2 차공정을 결합하여 시작몰드 또는 금형을 제작하게 된다. 그리고, 시작품 및 시작몰드/금형의 형상에 따라서 고속공작기계를 이용한 고속가공이 유리한 경우가 있다.

금속재료를 이용하여 시작품 및 시작금형/몰드를 제작하는 쾌속조형공정에는 DTM사의 RapidSteel 2.0, Optomec사의 LENS (Laser Engineered Net Shaping), EOS사의 DMLS (Direct Metal Laser Sintering), ExtrudeHone사의 ProMetal, F&S GmbH사의 SLM (Selective Laser Melting), Rogers GmbH사의 CMS (Controlled Metal Buildup) 등이 있다. 금속 쾌속조형공정들은 고출력의 레이저와 분말, 선(wire) 형태의 강, 스테인레스강, H13 공구강, 텅스텐, 니켈합금 등의 금속재료를 이용하여 밀도가 95% 이상인 시작품 및 시작금형(사출성형 몰드 코어 등)을 제작할 수 있으나, 현재까지는 치수정밀도가 낮아 대부분의 공정들에 있어서 금형의 수리 및 보수가 가장 적합한 응용분야로 알려져 있다.

#### 4. 쾌속조형공정 최신동향

1987년 최초의 쾌속조형기계(Rapid Prototyping machine)가 등장한 이후로 다양한 쾌속조형공정과 기계가 개발되어 현재는 전세계적으로 23개사(미국 9개, 일본 8개, 독일 3개, 싱가포르, 중국, 이스라엘 각 1개사)에서 쾌속조형기계를 제작 판매하고 있으며, 이스라엘의 Objet Geometries사에서 올 후반기나 내년 초에 새로운 쾌속조형기계를 판매할 예정이다. 다음에서 개발된 쾌속조형공정 중에서 대표적인 공정들의 최근 동향에 대해 소개하고자 한다.

#### 4.1 광조형법 (SLA)

3D Systems사의 광조형법은 액체상태의 광경화성 수지(photopolymer)에 레이저광을 선택적으로 조사하여 한 층씩 적층해 나가는 방법이다. 1999년 말까지 세계적으로 쾌속조형기계 중 가장 많은 1,597대의 SLA 장비가 운용되고 있다. 광조형법은 쾌속조형공정 중에서 매우 정밀한 모델과 원형(pattern)의 제작이 가능하다.

작년 2월에 출시된 SLA-7000은 SLA-5000에 비해 작업속도가 4배정도 빨라졌는데, 그것은 SLA-7000에 1 watt 수냉 고체레이저를 장착한 것이 주요한 요인이었다. 또한, SLA-7000은 작업중에 단면의 외곽을 조사할 때는 지름이 0.25 mm인 레이저광을 사용하고, 단면의 내부를 조사할 때는 0.75 mm의 레이저광을 사용하여 제작시간을 더욱 단축시켰다. 또한, SLA-7000에서는 층 두께를 0.025 mm까지 제작할 수 있어서 후처리 공정에 소요되는 노력이 절감될 수 있다.

#### 4.2 용착조형공정 (FDM)

Stratasys사의 용착조형공정은 선(filament) 형태의 열경화성 수지재료가 가열된 노즐을 통과하는 동안 용융되며, 이때 노즐이 제품의 CAD 모델의 단면 데이터를 따라 이동하면서 용융재료를 붙이는 방식으로 입체 형상을 제작하는 공정이다. 1999년 말 기준으로 1,285대의 FDM 장비가 판매되었으며, 이것은 SLA 장비 다음으로 많이 설치된 것이다.

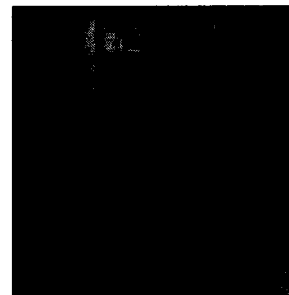


Fig. 2 Photo of FDM 3000

FDM 3000이 작년 8월에 출시되었으며, 250 x 250 x 400 mm 크기의 시작품을 제작할 수 있다. 가장 주목할 만한 점은 FDM 공정으로 제작된 ABS 부품의 지지대를 손쉽게 제거할 수 있게 되었다는 것이다. 'WaterWorks'로 명명된 이 지지대(support)

제거 방법을 이용하면 FDM 장비에서 제작된 ABS 부품을 water-based solution 에 담그기만 하면 지지대가 화학적으로 분해되며, 또한 지지대가 닿았던 부분도 깨끗하고 매끈하게 유지되는 장점이 있다.

#### 4.3 선택적 레이저 소결공정 (SLS)

DTM 사의 선택적 레이저 소결(sintering)공정은 균일한 크기의 고체분말을 한 층 균일하게 도포한 후 제품 단면의 형상대로 레이저 광선을 조사하여 고체분말을 용융 결합시켜 3 차원 형상을 제작하는 공정이다.

DTM 사는 새로운 쾌속조형기계를 개발하기 보다는 현재 판매 중인 장비(Sinterstation 2500plus)의 성능을 향상시키는데 노력을 경주하고 있다. 예를 들어, Duraform polyamide 분말을 사용하는 경우에 warm-up 시간과 히터를 최적화함으로써 제작시간을 25%정도 단축하였다. 작년 3 월에는 정밀주조 원형 제작용으로 'CastForm PS'를 출시하였으며, CastForm 으로 제작된 정밀주조(investment casting) 원형을 사용하면 약 0.02% 정도의 재(ash)가 몰드에 남는 것으로 알려져 있다.

#### 4.4 3 차원 프린팅 (3DP)

미국 MIT 공대에서 개발된 이 공정은 분말을 한 층 도포한 후 그 위에 액상의 접착제(binder)를 잉크젯 방식으로 제품의 CAD 모델의 단면형상을 따라 분사하여 입체 형상을 만든다. 경우에 따라서는 접착제가 분사되어 결합된 형상(green parts)은 후공정으로 소결공정을 거치게 된다.

현재 5 개의 회사가 이 공정에 대한 license 를 가지고 있으며, 그 중에서 ExtrudeHone 사와 Z Corp.사가 쾌속조형기계를 판매하고 있으며, Soligen Technologies 사가 금속주조를 위한 세라믹 몰드를 제작하는 공정(Direct Shell Production Casting)에 대한 용역을 제공하고 있다. ExtrudeHone 사의 ProMetal 공정에서는 도포된 스테인레스강 또는 공구강 분말 위에 중합(polymeric) 접착제를 도포하여 green part 를 만든 다음, 소결하고 구리합금을 용침(infiltration)하여 부품을 제작한다. 현재 판매 중인 RTS-300 보다 5 배정도 작업속도가 빠르고, 1000 x 500 x 250 mm 의 부품을 제작할 수 있는 쾌속조형기계를 개발하고 있다. Z Corp.사에서는 1999 년에 plaster-based 재료인 ZP100 를 개발하여 매우 작고, 박벽(thin-

walled)의 부품 제작이 가능하게 되었다. ZP100 는 2 차공정에 사용될 수 있는 원형제작을 위해 개발된 재료이다.

#### 4.5 SPI 공정

Sanders Prototype 사의 SPI 공정은 잉크젯 방식의 노즐을 통해 용융된 플라스틱 방울을 한 층 도포하고 경화된 후에 도포된 층의 윗면을 밀링가공하여 원하는 두께를 가지도록 가공하게 된다. 밀링가공으로 한 층의 두께를 매우 얇게 가공하여 후가공이 필요 없을 정도로 정밀한 제품을 제작할 수 있는 점이 장점이라고 할 수 있다. 주로 정밀하고 크기가 작은 제품의 정밀주조용 원형 가공에 많이 응용되고 있다.

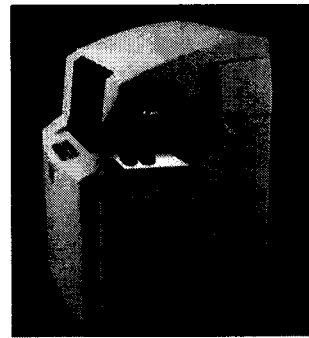
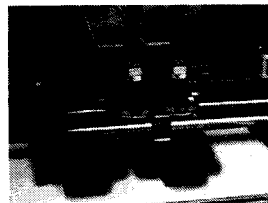
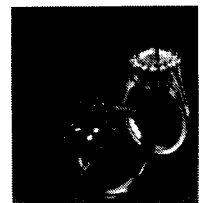


Fig. 3 Photo of ModelMaker II

최신 장비인 ModelMaker II 는 2 개의 노즐을 사용하고 있는데, 하나는 부품재료용이고 나머지 하나는 지지대용 노즐이다. 2 개의 노즐을 사용하여 부품을 제작하기 때문에 여러 개의 노즐을 사용하는 잉크젯 방식의 공정에 비해 느리지만, 0.0125 mm 두께의 층을 제작할 수 점이 강점이라고 할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 4 (a) Nozzles of ModelMaker II and (b) Ring Parts

Sanders Prototype 사의 자회사인 Sanders Design International 사에서는 Rapid ToolMaker (RTM)이라는 장비를 개발하였다. RTM 은 450 x 300 x 300 mm 의 부품을 제작할 수 있으며, 작업시간을 단축하기 위해 기존의 부품용과 지지대용 2개의 노즐 외에 2개의 선택적 노즐을 장착하고 있어서, 정밀도가 낮은 내부에 재료를 도포할 때는 이 노즐을 이용하여 다량의 재료를 도포할 수 있다.

#### 4.6 Objet

이스라엘의 Objet Geometries 사에 의해 올 3월에 National Design and Engineering Show 에 처음으로 소개된 Objet Quadra 는 당시에 큰 관심을 불러 일으켰다.(Fig 4 참조) Objet Quadra 는 잉크젯 기술을 응용한 노즐, 자체 개발한 광경화성 수지와 UV 램프를 이용하여 부품을 제작한다. 1,536 개의 미세한 잉크젯 노즐이 아래쪽에 장착된 프린터 헤드는 그 폭이 60 mm 로 한 층을 2 - 12 초 내에 도포할 수 있으며, 이 프린터 헤드의 노즐을 통해서 선택적으로 광경화성 수지 또는 지지대 재료가 도포된다. Objet Quadra 의 크기는 129 x 89 x 87 cm 이며, 최대 부품크기는 270 x 320 x 200 mm 이다.

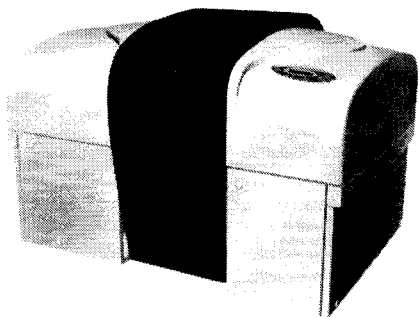


Fig. 5 Photo of Objet Quadra

Objet Quadra 의 부품제작 원리는 다음과 같다. 먼저 프린터 헤드가 이송하면서 장착된 노즐을 통해서 부품의 CAD 모델의 단면형상에 따라 광경화성 수지 또는 지지대 재료를 도포한다. 이 때 프린터 헤드의 양쪽 끝에 부착되어 있는 2개의 UV 램프 중에서 프린터 헤드 이송방향의 반대쪽에 있는 UV 램프에서 UV 자외선이 조사되어 도포된 재료를 경화시키게 된다. 프린터 헤드가 완

전히 한 쪽 끝으로 이송되면 한 층이 완성되며, 이를 반복하여 원하는 부품을 제작하게 된다.

Objet Quadra 는 두께가 20 microns, XY 평면 해상도가 600 dpi 인 층의 도포가 가능하며, 제작된 부품의 표면 거칠기가 매우 우수하다. 따라서, 개념 모델로 사용하는 경우에는 표면가공이 필요 없으며, 원형으로 사용하고자 하는 경우에도 다른 캐속조형공정과 비교해 볼 때 최소한의 표면가공이 필요할 뿐이다.

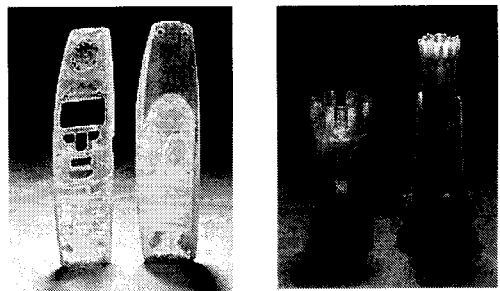


Fig. 6 Objet Parts

또한 가지 주목할 만한 것은 이 공정의 지지대 생성 방식이다. Objet Quadra 는 부품을 지지하기 위해 왁스와 유사한 재료를 도포하는데 이 재료는 다른 캐속조형공정의 경우와는 달리 부품에 붙거나, 파고들지 않아서, 지지대가 물에 녹기 때문에 제거하기도 쉬울 뿐 더러 지지대를 제거한 표면도 여전히 깨끗하다. 그리고 광경화성 수지를 사용하는 다른 공정들과는 달리 경화된 부품의 표면에 광경화성 수지 찌꺼기가 남지 않는다.

현재 소개된 Objet Quadra 는 베타버전으로 정식 상용버전은 올 하반기 또는 내년에 출시될 예정이다. 예상되는 장비의 가격은 미국 내에서 \$39,000 이어서 Objet Quadra 이 뛰어난 성능과 저렴한 가격을 고려해 볼 때 파급효과가 매우 클 것을 예상된다.

#### 5. 결론

제품의 다양성, 제품개발 기간 및 비용 절감 등을 절실하게 요구하는 시장 환경 하에서 절삭가공 중심의 종적인 재래식 제품개발방식은 시행착오로 인한 제품개발 비용 및 기간의 증가가 필연적이므로, 이러한 기존 제품개발방식은 시장

의 치열한 기업간 경쟁에서 제품 경쟁력을 확보하기가 매우 어렵다. 시장의 급격한 변화에 효과적으로 대처하기 위해서는 제품의 설계에서 생산까지의 과정에 소요되는 비용과 시간을 획기적으로 단축할 수 있는 동시공학적인 쾌속제품개발 시스템의 개발 및 도입이 필수적이다.

지능형 제품설계시스템 (Intelligent Product Design), 가상시작시스템 (Virtual Prototyping System), 쾌속시작시스템 (Rapid Trial Manufacturing System), 컴퓨터원용 검사/평가시스템 (Computer-Aided Inspection/ Evaluation), 컴퓨터원용 역 엔지니어링 시스템 (Computer-Aided Reverse Engineering) 등을 주요 요소로 하는 "주문적응형 쾌속제품개발 시스템"에서는 종적인 재래식 제품개발방식과는 달리, 설계에서 생산에 이르는 여러 단계의 공정들이 시스템화되어 있으며, 또한 동시공학을 기반으로 하여 각 시스템이 유기적으로 연계되어 제품의 특성 및 여러 관련 조건에 따라 최적의 제품개발 경로를 통해서 시작품을 생산하게 된다. 이러한 쾌속 제품개발 방식을 개발/도입함으로써 소비자의 욕구를 신속히 제품개발에 반영하여 빠른 시장적응력을 갖추게 된다. 그리고 쾌속조형기술과 고속가공기술의 개발로 생산단가와 납기 절감을 통하여 제품경쟁력을 제고할 수 있다.

### 참고문헌

1. SME, Proceedings of Rapid Prototyping and Manufacturing Conference, Chicago, Michigan, April 10-13, 2000.
2. Wohlers Report 2000, Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry, Wohlers Associates, Inc., 2000.
3. Proceedings of the 8th International Conference on Rapid Prototyping, Tokyo, Japan, June 12-13, 2000.
4. 양동열, 손현기, "쾌속제품개발(RPD)에서 쾌속조형(RP)과 2차공정의 역할", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp.927-931, 1998.
5. 特集 , ラピッドプロトタイプINGK (Rapid Prototyping), (日本)型技術, Vol. 2, 1996.
6. Dr. G. J. Olling, Globalization of Research and Education in Manufacturing, Chrysler Corporation, U.S.A., Annals of EIRP, 46th General Assembly, 1996.
7. Paul F. Jacobs, Stereolithography and other RP&M Technologies-from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, SME/RPA, 1996.
8. 한국기계연구원 정책연구실, 선진국의 주요기계기술개발동향-미국, 일본, 유럽을 중심으로-, 1996.
9. 신소재 신기술자료총람, 산업자료센터, 1995.
10. 생산기술연구원, 생산기반기술의 지원 및 개발을 위한 전략수립, 통상산업부, 1995.
11. G.Bennett(Ed.), Proceedings of 1st National Conference on Rapid Prototyping and Tooling Research, 1995.
12. 한국의 자동차산업, 한국자동차공업협회, 1995.
13. 김천옥, 2010년을 향한 과학기술발전장기계획-기계 설비기술 부분-, 과학기술정책관리연구소, 1994.
14. 자동차산업신기술, 한국자동차공업협회, 1994.
15. Rapid Prototyping System-Fast Track to Production Realization, SME/RPA, 1993.
16. Paul F. Jacobs, Rapid Prototyping & Manufacturing - Fundamentals of Stereolithography, SME/CASA, 1992.