

플라스틱 V-벨트 풀리 설계 및 시작품 제작에 관한 연구

A Study on the Product Design and Prototype Manufacturing of a Plastic V-Belt Pulley

손 태 일* 임 재 규** 김 형 중***
Son, Tae-Yil Rim, Jae-Kyu Kim, Hyung-Jong

Abstract

In this study, product design and prototype manufacturing of a plastic water-pump pulley has been tried. The designed model is supposed to be made of 33% glass reinforced resin of which the tensile strength is 180 MPa, and has 24 ribs on each side to increase its structural strength. Structural analysis under a static load of 300 kgf acting on both edges of the belt has been carried out using a commercial finite element code, MARC. The analysis result showed the maximum effective stress near a rib of designed model would be at most 35 MPa (less than 20% of the tensile strength), therefore, the plastic product would be sufficiently safe under that loading condition. On the basis of the structural analysis, a prototype of the designed model has been manufactured by using the fused deposition modelling (FDM) method which is one of the rapid prototyping (RP) methods, using ABS resin and support materials. The CAD data exported to the RP system in STL format was prepared by a commercial solid modeling software, SolidWorks. It has been proved that the plastic pulley can successfully replace the existing flow-formed steel product.

키워드 : V-벨트풀리, 구조해석, 신속조형, 솔리드모델링
Keywords : V-belt pulley, structural analysis, rapid prototyping (RP), solid modelling

1. 서론

자동차용 V-벨트 풀리는 그림 1과 같이 엔진 크랭크축의 동력을 V-벨트를 통하여 워터펌프, 에어컨 컴프레서, 발전기 등으로 전달하는 부품이

다.[1] 그 제조 방식으로는 강 주물제품도 있으나 강판을 디프드로잉과 같은 프레스 가공을 통하여 예비형상(preform)으로 만든 후 스피닝(spining) 가공으로 V-벨트 홈(groove)을 성형하는 것이 가장 일반적으로 사용되고 있는 방법이다. 이 방법은 용기 형상의 제품을 성형하는 전형적인 스피닝 가공과 그 성형 방식이 상당히 달라서 '스피닝' 대신 '플로포밍(flow forming)' 또는 '롤포밍(roll forming)' 등 여러 가지 이름으로 불리고 있다.

최근에는 자동차 부품의 경량화와 풀리 회전的高速화 추세에 부응하기 위해 비중이 4.5이하인 마

- * 강원대학교 산업대학원 기계메카트로닉스공학과 석사과정
- ** 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과 박사과정
- *** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 부교수

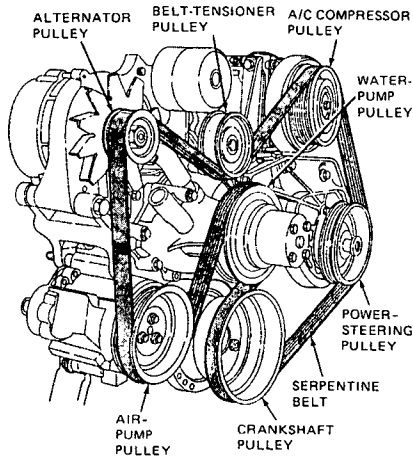


그림 1 각종 자동차 엔진 풀리

그네슘, 베릴륨, 알루미늄, 티탄의 4가지 금속을 주 재료로 한 경합금을 사용하거나, 유리섬유 재료를 첨가하여 강도 및 내마모성을 증가시킨 플라스틱 풀리를 개발하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 플라스틱 제품은 내구성이나 생산비용 등의 측면에서 여전히 문제점을 가지고 있어 아직 다양한 풀리 모델의 양산에 전면적으로 적용될 수 있는 단계는 아닌 것으로 보인다.

본 연구는 워터펌프용 플라스틱 풀리를 양산하기 위한 선행 연구로서 제품설계, 구조해석 및 시제품 제작을 통해 강도평가와 제조공정(사출성형)상의 문제점 분석을 목표로 수행되었다. 제품설계는 상용 CAD 프로그램 'SolidWorks'[2]를 이용한 솔리드 모델링 작업으로 실시되었으며, 그 결과는 CAD 데이터 형식으로 유한요소 코드 'MARC'[3]와 신속조형시스템(rapid prototyping system) 'FDM 3000'[4]에 전달(exporting)되어 각각 구조해석 및 시제품제작에 활용되었다.

2. 신속조형

2.1 개요[5,6]

시제품(prototype)을 제작하는 목적은 제품 개발 초기 단계에서 설계상의 오류나 실제로 대량생산을 하기에는 적합하지 못한 요인을 조기에 발견하여야 하는데 이를 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 경제성과 효율성이 문제가 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 등장한 신속조형공법은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개발되었으며 현대사회에서 제품개발과정을 혁신적

으로 개선하고 있다.

신속조형공법은 제품을 CAD 데이터로부터 광경화성수지, 플라스틱, 종이 등이 비 기능성재료를 사용하여 제품을 제작하는 공정으로, 얇은 층을 연속적으로 적층하며 제품을 제작하는 공정상의 특성으로 인하여 복잡한 형상의 제품을 쉽고 빠르게 만들 수 있다.

신속조형공법은 개발 초기에는 주로 설계된 제품의 디자인 검증도구로써 사용되었으나 현재에는 신속조형장비의 정밀도와 사용되는 재료의 질이 크게 향상되면서, 신속조형공법의 응용도 단순히 디자인 검증에만 국한되지 않고 제품의 기위맞춤 검사에도 활용되고 있으며, 현재는 몰드나 왁스 원형을 만드는데 사용되는 마스터 원형도 신속조형공법을 이용하여 제작할 수 있다.

신속조형공법에서는 제품설계 단계에서 설계된 제품의 CAD모델 파일을 그대로 신속조형장비의 입력 파일로 이용함으로써 설계자의 의도를 잘 반영할 수 있다.

또한 신속조형공법의 특성상 간이몰드 또는 간이금형 없이 원형을 제작할 수 있으므로, 원형제작 시간과 비용을 절감할 수 있다. 제작된 원형을 이용하여 설계자와 생산자간에 제품생산에 필요한 의견교환이 빠른 시간 내에 이루어질 수 있어 제품개발 초기에 제품의 생산공정 중에 발생할 수 있는 여러 문제들을 고려할 수 있게 된다. 즉, 신속조형공법을 통하여 동시 공학적으로 제품을 설계할 수 있게 된다.

신속조형공법으로 제작된 원형은 재료가 양산재료와 다르기 때문에, 시작단계에서 필수적인 기능시제품을 제작하여 제품의 필요한 여러 가지 물성을 실험할 필요가 있는 경우에는 신속조형으로 제작된 원형과 여러 가지 2차 공정을 결합하여 소량의 양산재료의 시제품을 제작할 수 있다.

이와 같이 신속조형공법은 Rapid Product Development(RPD)에서 제품설계와 생산을 연결하는 동시 공학적 도구로써 신제품의 제품개발 기간과 비용을 효과적으로 절감하는데 적극적으로 활용되고 있다. 하지만 일반적인 3차원 CAD모델이 STL 파일로 전환되는 단계에서 다음과 같은 심각한 문제점을 안고 있다.

첫째, 정확도(accuracy) - STL 파일은 최초의 설계모델을 평면삼각형들의 기하학적인 집합으로 근사화한 하나의 자료저장 형태에 불과하다.

둘째, 완성도(integrity) - STL 파일은 자료를 저장하기 위한 자료구조 자체가 수치적인 자료의 결합발생의 위험성이 무방비로 노출되어있다.

셋째, 중복성(redundancy) - STL 파일은 자료구조상 자료내용이 중복되어 저장되므로 비효율적이다. 이 때문에 현재까지 STL의 이러한 결점들을

극복하고자 하는 연구결과가 많이 발표되었으나 이러한 연구결과들은 현재의 형상 모델러와 신속조형 기계장치 사이의 적합성(compatibility)이라는 면에서 지나치게 치우쳐 해결방법을 제시하였다. 따라서 제품의 형상 모델링 후에 발생하는 문제점에 대해서만 그때그때 임시적으로 대처한 해결방법으로서 신속조형이라는 생산기술의 고유 장점을 최대한 살릴 수 있는 보다 정확하고 효율적인 자료저장 및 교환 표준에 대한 근본적인 해결책이 요구되고 있다.

요약하면 신속조형기술은 그 기술상의 현대적 특성인 신속성, 조형성, 경제성 및 청정성으로 인하여 주목받고 있는 새로운 생산기술이나 기계장비의 시장 상업성이라는 면에서는 조형소재의 제약성, 조형 정밀도, 가공 후 처리의 획기적인 개선이 필수적으로 요구된다.

현재 상용화된 신속조형 시스템의 종류는 3D System 사의 Stereo-Lithography Apparatus (SLA), DTM 사의 Selective Laser Sintering (SLS), Stratasys 사의 Fused Deposition Modelling (FDM), Helisys 사의 Laminated Object Manufacturing (LOM), Cubital 사의 Solid Ground Curing (SGC) 등인데[5,7-9], 본 연구에서는 FDM 방식으로 시제품을 제작하였다.

2.2 응용 및 활용분야[5,7,9]

신속조형의 용도는 기존의 신제품 개발시 발생되는 많은 문제점인 도면의 외부 유출로 인한 회사기밀 누설, 수작업으로 불량 시제품이 발생하여 개발일정 지연, 제품 출시의 지연으로 인한 경쟁력 하락, 다품종 소량 생산에 따른 생산주기(life cycle) 단축문제, 개발제품의 기능에 대한 설계자의 설계부담, 금형제작 인건비 상승에 따른 가격 경쟁력 하락 등의 문제점을 해결하기 위해 제품 설계 시 시제품의 제작에 대하여 보다 합리적이고 실용적인 연구가 시작되어 기존의 이미지만으로는 만족하지 못하며, 실물을 계속해서 쉽게 제작하고 설계 시 발생하는 많은 문제점을 사전에 찾아 해결하기 위해 CAD에서는 미처 발견하지 못하는 설계 오류를 신속조형기술을 이용해서 실물로 제작함으로써 동시공학(concurrent engineering)에 있어서 의사소통을 위한 도구, 제품 개발기간 단축으로 제품의 시장경쟁력 강화, 복잡하게 디자인된 형상 구현의 기술적 어려움 해결, 디자인의 가시화, 검증, 최적화, 조립 및 간섭에 대한 검사, 디자인에 대한 소비자의 반응 조사, 생산을 위한 치공구의 설계, 디자이너의 설계능력 향상 등의 효과를 얻음으로써 기존의 제품설계 및 시제품 제작에서 겪었던 어려움을 해결하고 급속도로 발전하는 산업사회에서 선두주자로서의 역할을 담당할 수 있는 위치에 설 수 있게 할 수 있다. 이러한 신속조

형기술의 장점을 활용하는 분야는 매우 다양하다.

우선 모델 활용분야를 보면 주로 제품개발 초기 단계인 개념 설계에서 3차원 CAD 데이터 검증, 각 디자이너간의 의사소통을 위한 기술협의 모델 및 제품설계를 의뢰한 고객에게 설계 설명용으로 사용되고 있다.

산업분야에의 활용은 기존에는 신제품 개발기간이 대단히 긴 항공기나 자동차업계에서 주로 사용되다가 최근에는 가전제품을 비롯한 기계·전기전자 등 제조업 분야, 의료분야, 건축물, 선박, 신속공구제작(rapid tooling), 조형 예술품, 고고학 등 매우 다양한 분야에 활용되고 있다. 이러한 분야들에 대한 활용 효과로는 산업체의 생산성 향상, 산업체 지원사업의 학생 참여, 교수나 학생들의 아이디어 구현, 첨단설계기술 교육 및 실습, 학술작품 전시회 개최 등을 통한 산학협력의 활성화, 현장경험 제고, 벤처창업, 차별화된 고급기술인력 양성 등을 들 수 있다.

2.3 FDM 방식[7-9,11]

FDM(Fused Deposition Modelling) 방식은 1989년 미국 Stratasys 사에서 개발하여 1991년 '3D Modeler'라는 제품을 통하여 미국 내에 소개된 특허 기술이다. 1993년 'Quick Slice' Software를 출시하고 1993년 ABS 재료를 적용하는데 성공한 후, 1996년 3D Printer인 'Genisys', 1997년 'FDM 2000', 'FDM 8000', 1998년 'FDM Quantum', 1999년 'FDM 3000', 'Genisys Xs', 2000년에 FDM 장비 2종을 출시하였다.

작동방식은 필라멘트 와이어로 된 열가소성 수지(ABS)를 용융점 바로 위의 온도까지 가열하여 노즐을 통하여 분사하며, 분사된 층이 고화되면 노즐을 움직이면서 다른 한 층을 만들기 위해 고화된 층위에 재료를 분사해 가며 형상을 만드는 방식이다. 그림 2는 그 개념도이다.

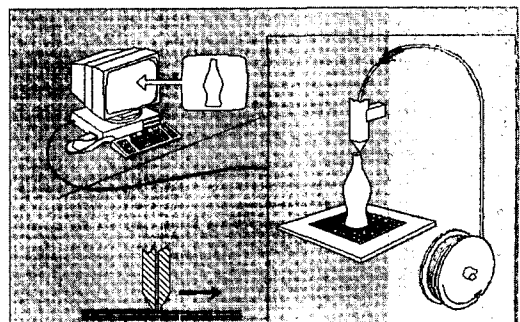


그림 2 FDM 방식의 개념도

FDM 시스템의 주요 특징은 일반 사무실에서

사용이 가능하고, 부대장비와 후처리 공정이 필요 없으며, 변형이 없고, 재료가 무독성이고 낭비가 적으며, 장비 도입가격 및 유지보수 비용이 저렴하고, 비교적 가격이 저렴한 ABS를 주재료로 사용함으로써 기존의 신속조형에서 구현이 어려웠던 형상까지 가능하다는 점이다.

MPa로 인장강도의 27%로 나타나 본 연구에서 설계한 플라스틱 폴리 제품이 구조적, 기능적으로 안전한 것으로 판단된다.

3. 플라스틱 폴리의 설계 및 제작

3.1 제품설계

엔진폴리(engine pulley)는 재질이 주철제로 만들어 사용하다가 현재는 엔진폴리의 속도가 고속화되어 경량화를 위해 비중이 4.5이하인 마그네슘, 베릴륨, 알루미늄, 티탄의 4가지 금속을 주체로 한 경합금을 사용하고 있으며 경합금의 성분인 마그네슘은 내식성에서 아직도 용도가 제한되어 있어 주로 다이캐스팅 주물에 의해 경량의 부품을 만들어 사용하고 있으며, 보다 경량화를 위해 플라스틱 재료에 유리섬유 재료를 첨가하여 강도 및 내마모성을 증가시켜 엔진폴리의 수명을 연장하는데 많은 연구를 시도하고 있고 아이들 폴리는 현재 일부 자동차에서 사용되고 있다.

본 연구에서는 현재 사용되는 폴리의 표준치수에 기초하여 기본형상(리브의 형상, 개수, 두께)을 결정하고 'SolidWorks 2000'의 솔리드 모델링 기법을 사용하여 3차원 형상의 모델링을 수행하였다. 그 형상은 그림 3과 같다. 가운데 구멍에는 강철제 인서트(insert)가 삽입되게 되어있다.

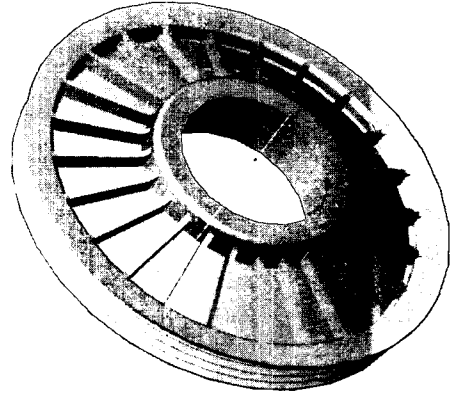


그림 3 플라스틱 폴리 모델(앞면)

3.2 구조해석

범용 유한요소해석 코드인 'MARC'[3]를 사용하여 형상설계된 제품의 구조해석을 수행함으로써 강도를 평가하고 설계 타당성 여부를 검토하였다.

모델링 재료는 33%의 유리강화섬유가 함유된 인장강도 180 MPa의 플라스틱 재료를 사용하였다. 폴리는 8개의 절점을 가진 6면체 솔리드 요소, 벨트는 4개의 절점을 가진 쉘 요소를 사용하여 각각 모델링하였다. 계산의 효율을 위하여 V-벨트 홈(groove)의 형상은 편평하게 단순화하였으며, 강철제 인서트는 별도로 모델링하지 않고 전체형상을 일체로 플라스틱 재료로 모델링하였다.

대칭성을 고려하여 전체의 1/2만 모델링하여 대칭면은 x축방향의 변위를, 그리고 볼트 체결부위의 절점은 x, y, z축방향의 변위를 완전히 구속하였으며, 하중조건으로는 벨트의 양쪽에 각각 150 kgf의 정하중을 작용시켰다. 그림 4는 유한요소 모델과 경계조건을 나타낸 것이다.

구조해석 결과 얻어진 유효응력의 분포는 그림 5와 같다. 리브 부분의 최대응력은 35 MPa로 인장강도의 19%, 볼트체결 부위의 유효응력은 50

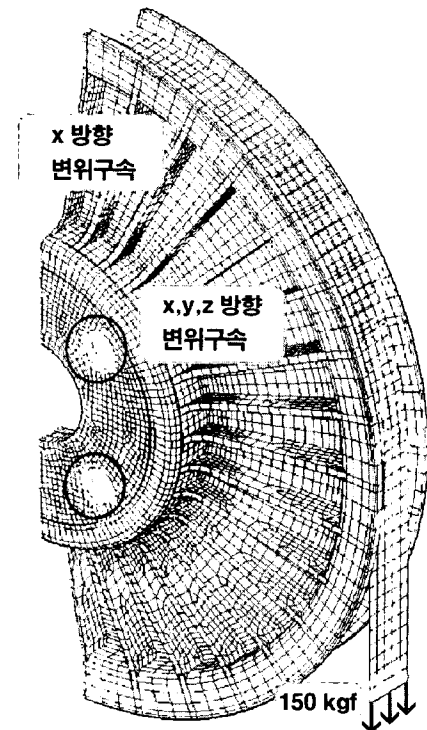
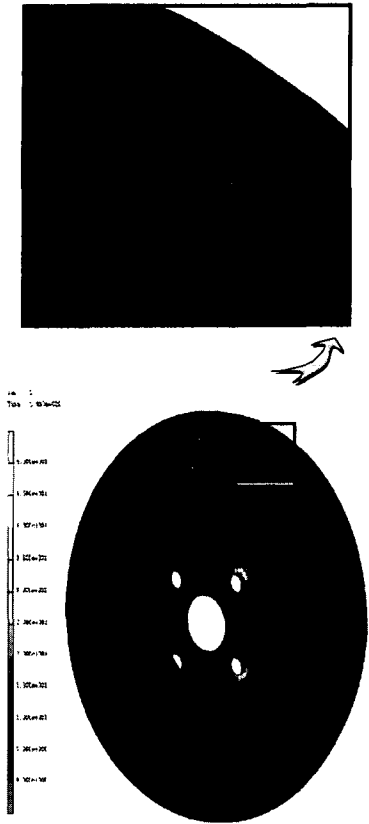


그림 4 유한요소 모델 및 하중·경계조건



3.3 시작품 제작

유한요소 구조해석을 통한 강도 평가에서 타당성이 확인된 설계 모델의 시작품을 신속조형시스템(모델 'FDM 3000')을 사용하여 직접 제작하였다. 그 과정을 간단히 살펴보면 SolidWorks의 솔리드 모델링 작업으로 설계된 풀리 형상을 STL 파일로 변환하고 이를 신속조형시스템에 포함되어있는 소프트웨어 'QuickSlice'에서 불러들여(import) 단면 형상을 생성한 후 RS232 케이블을 통하여 FDM 장비에 전송함으로써 이 형상대로 ABS 재료를 적층하는 것이다. 다음에 지지(support)재료 제거 및 마무리(finishing) 처리를 한 후 제품을 완성하게 된다. 그림 6은 본 연구에서 사용한 'FDM 3000' 시스템의 사진이며, 그 주요사양은 표 1과 같다.

표 1 FDM 3000 시스템의 주요사양

제작크기	254×254×406 mm
정밀도	±0.127 mm
장비크기	660(w)×1067(h)×914(d) mm
전원	208~240 V, 50/60Hz
사용재료	ABS(white), ABSi, Investment Casting Wax, Elastomer
폭 / 두께	0.254~2.50 mm / 0.05~0.762 mm
호환성	Windows NT
소프트웨어	QuickSlice (*.STL file)

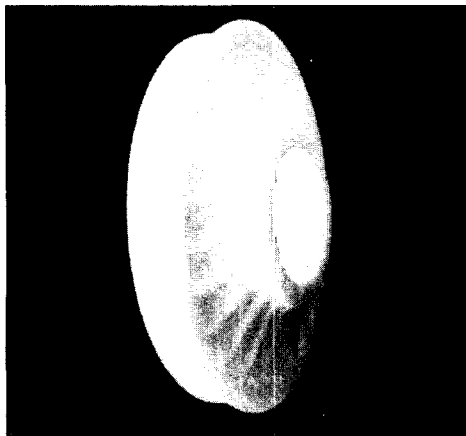


그림 6 신속조형시스템 'FDM 3000'

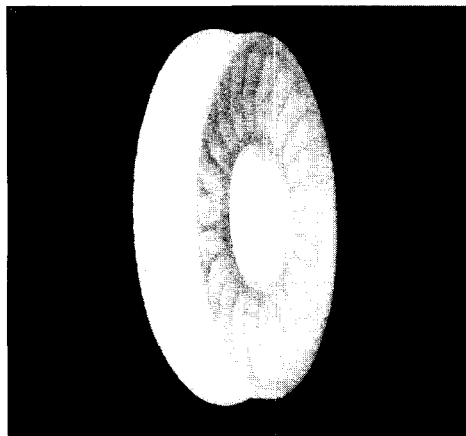


그림 7 시작품 신속조형 작업

시작품 제작에는 약 24시간이 소요되었으며, 모델재료와 지지재료를 분리하여 최종제품을 얻을 수 있었다. 그림 7은 폴리 시작품의 조형 도중의 모습이며, 겹게 보이는 곳이 언더컷(under-cut), 즉 모델의 일부가 그 아랫쪽이 비워져있는 경우 빈부분의 형상을 지지재료로 메워나가는 곳이다. 그림 8은 지지재료를 제거하여 완성된 플라스틱 폴리 시작품의 사진이다. 본 연구에서 사용된 지지재료는 수용성으로 작은 틈새를 채운 경우에도 쉽게 제거할 수 있다.



(a) 앞면



(b) 뒷면

그림 8 신속조형으로 제작된 폴리 시제품

4. 결론

본 연구에서는 현재 사용되는 플라스틱 V-벨트 폴리의 치수물 기초로 리브의 형상, 크기 등 기본 형상을 결정하고 3차원 솔리드 모델링을 통해 형상을 설계하였다. 설계한 제품 모델에 대하여 유한요소 구조해석을 수행함으로써 강도평가에 근거한 설계의 타당성을 검토하였다. 신속조형시스템을 사용하여 설계안대로 플라스틱 V-벨트 폴리의 시작품을 제작하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 플라스틱 제품에 대하여 유한요소 구조해석을 통한 강도평가를 수행한 결과 유효응력의 분포가 안전한 수준(최대응력이 인장강도의 27%)으로 밝혀져 플라스틱 제품이 정하중 조건을 만족함을 확인하였다.
- (2) 솔리드 모델링 및 신속조형 시스템을 사용하여 신속하게 제품을 설계하고, 또한 실물과 동일한 형상과 치수를 가진 시작품을 제작할 수 있었다.
- (3) 본 연구에서 수행한 제품설계, 구조해석 및 시작품 제작 등 일련의 과정과 기법은 다양한 종류의 부품 설계에도 적용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Crouse, W. H. and Anglin, D. L., 1993, "Automotive Mechanics", 10th Ed., McGraw-Hill
- [2] SolidWorks 2001 User's Guide, SolidWorks Corporation
- [3] MSC, 1997, MARC 2000, Volume A: Theory and User Information, Verson K7
- [4] Stratasys Inc., 1998, FDM 3000 System Specification
- [5] 박시준, 1999, 새로운 원 근사 방법을 적용한 RP Part 제작에 관한 연구
- [6] 지해성, 송용억, 2001, Rapid Prototyping에 관한 소식
- [7] 충주대학교 기계설계학과, 1997, 하계교수학술 세미나
- [8] 충주대학교 기계설계학과, 1998, RP장비 비교 보고서
- [9] (주)큐시스, 2000, Proposal for FDM System
- [10] 창신대학교, <http://csr.p.changshin.ac.kr>
- [11] 한국기술교육대학교 능력개발교육원, 2001, CAD, CAM & RP, p.133-171