

신속조형기술(RP: Rapid Prototyping) 분야소개

지 해 성

홍익대학교 기계공학과

1. 서 론

최근 몇년간 CAD/CAM 분야에서 활동하시는 많은 분들이 'RP'라는 신기술의 등장과 발전과정을 다분히 생경스러운 심정으로 지켜봐 왔을 것으로 생각된다. 주지하다시피 'RP' 즉 'Rapid Prototyping'은 컴퓨터에 저장된 3차원 형상모델의 기하학적 자료로부터 그 물리적인 모형형상을 신속하게 조형해 내는 것으로 주어진 설계 제품의 수학적 모델을 그 이전에 존재하였던 그 어떤 가공방식과도 비교할 수 없는 빠른 시간안에(통상 24시간 이내) 물리적인 모형으로 재현해 낸다는 것이 그 대표적인 장점이라고 하겠다. 우리말로로는 '신속조형기술'이라고 명명할 수 있는 이 기술은 설계된 제품 형상의 기하학적인 복잡성이나 반복성에 전혀 구애 받지 않고 그 어떤 제품형상도 조형이 가능하다. 물론 초기에 이 기계장치의 발명목적은 'RP'라는 용어가 시사하듯이 컴퓨터나 수작업에 의해 설계된 제품형상을 신속하게 관능(시각 및 촉각)감각을 통해서 관찰하고 그에따른 형상설계의 내용을 검증하기 위함이었다. 그러나 이 기술이 최근 그 발전의 행보를 빨리함에 따라 기존에는 상상할 수도 없었던 복잡한 제품 형상의 신속한 모형제작은 물론 가까운 장래에는 이의 주물성형을 위한 주형의 제작이나 플라스틱 사출성형용 금형 제작(신속 주형/금형 제작-RT: Rapid Tooling 이라고 호칭)까지도 신속하게 수행해낼 것으로 기대된다.

2. 신속조형기술의 발전추이

신속조형기술의 기원은 1970년대부터 개발되기 시작한 컴퓨터를 이용한 기초적인 Geometric Modeling System(혹은 CAD 시스템)과 연관이 있다. 즉 이

들 시스템으로 부터 만들어진 기하학적 자료로부터 직접 물리적인 모형을 만들려는 욕구에서 오늘날의 신속조형 기술의 태동이 비롯되었다고 보는 것이 타당하다. 이후 1980년대에 이르러서, 보다 정확하게는 1988년에 그러한 시도가 처음으로 결실을 맺게 되는데 미국의 3D Systems 사가 처음으로 상업화에 성공하게 된 'Stereolithography'가 바로 그것이다. 오늘날 우리에게 SLA라는 이름으로 널리 알려진 이 기계장치는 그 이후 1992년까지 약 17개국에 걸쳐 500대 이상이 팔려나가 그야말로 신속조형장비업계를 석권하다시피 하였다. 물론 SLA의 발표를 전후로 하여 세계각지에서 각기 다른 원리의 신속조형장치에 관한 연구개발 노력이 여러곳에서 진행이 되고 있었고 1992년까지는 SLA의 뒤를 잇는 약 12개의 상업화된 신속조형 기계장치기술과 30여개 관련 기계장비 특허가 신청되었다."

이후 가히 춘추전국시대라고 말할 수 있는 오늘날 신속조형장비업계의 상황을 잘 설명해주는 것이 그 관련 용어의 난립이다. 즉 영문명인 'Rapid Prototyping'은 다른말로로는 'Desktop Manufacturing', 'Direct CAD Manufacturing', 'Optical Fabrication', 'Solid Freeform Fabrication(SFF)', 'Solid Freeform Manufacturing(SFM)' 등으로 호칭되었거나 혹은 현재 호칭되고 있다. 한가지 신기술이 이렇게 제 각기 다른 이름으로 불리고 있는 현재의 상황은 신속조형이라는 기술이 세계각지의 각기 다른 장소에서 서로 다른 방법으로 지금도 그 주도권을 장악하기위한 연구 개발이 한창 진행중임을 은연중 시사하고 있다고 하겠다. 즉 각각의 조형장비마다 그 특성상의 우열은 다소 있더라도 신속조형 분야에서 절대적인 우세를 점하고있는 기계장치기술은 아직 구현되지 않았다고 보아도 무리가 없을 것이다.

구체적인 예를 들면 1988년 최초의 상업화된 신속 조형장비인 Stereolithography를 발표한후 1995년까지 줄곧 조형장비시장을 석권해오다시피한 3D Systems 사가 바로 작년인 1996년 시장점유율 집계결과 드디어 후발업체인 Stratasys 사의 FDM 장비에게 1위자리를 물려주고 2위로 내려앉은 일이 발생하였다.⁽⁴⁾ 비공식적인 소식에 의하면 미국의 대표적인 국책연구기관인 NASA에서조차 최근 연구소내의 대표적인 신속조형장비로 FDM을 꼽고 있는 것으로 전해지고 있는데 이처럼 최근 조형장비 시장상황이 급격한 변화하고 있는 대표적인 원인은 각 조형장비 및 그 소재들의 뚜렷한 가격차이에 따른 시장경쟁력의 변화와 조형기술 응용분야에 대한 새로운 연구의 출현(예를 들면 앞서 언급한 Rapid Prototyping에서 Rapid Tooling으로의 전이현상) 때문이라고 분석된다. 필자 개인적인 견해로는 이러한 상황이 그동안 절대적인 우위를 지켜왔던 SLA 장비의 상대적인 쇠퇴와 그에 따른 software 측면에서의 하나의 변화를 예고하고 있는 것이 아닌가 생각되는데, 일례로서 3D Systems 사가 10여년전에 발표한 이후 신속조형 장비업계에서는 전가의 보도처럼 쓰이고 있는 설계 제품 형상자료의 교환표준인 STL 화일을 보다 경제적인 표준으로 대체하고자 하는 연구동향을 들 수 있으며, 최근의 시장상황은 그러한 연구동향을 보다 빠르게 추진할 수 있는 동기가 될 수도 있다는 생각이 든다. 최근에는 3D Systems 사에서 부랴부랴 금속분말도 Laser로 용융시켜 조형할 수 있는 새 장치를 개발했다고 하는데 이것이 과거의 시장점유율을 회복하는데 어느 정도의 역할을 할 수 있을지는 아직 미지수이다.

참고로 Rapid Tooling이란 우리말로써 신속 주형/금형 제작이라고 하며 최근 신속조형기술의 생산가공기술로서의 의미를 한단계 격상시킨 주역이라고 할만하다. 즉 단순한 조형에서 끝나지 않고 제품의 성형까지를 고려한 형틀의 제작에 까지 그 응용범위를 확대한 것으로 사실은 세계각국에서 차세대 생산가공기술로서 적지않은 주목을 받고 있는 고급 기술이다. 이 기술에 대한 정부차원에서의 중요성의 인식이 부재한 탓으로 심지어 미국에서도 정부 연구소의 연구원이 실험기록들을 개인적인 Web page에 올렸다가 부랴부랴 다시 지우기도하는 웃지못할 일도 목격되기도 한다. 현재까지 알려진 대표적인 Rapid

Tooling 기술의 기법에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) L.O.M. 기술로 paper pattern을 조형후 이로부터 Lost-Paper 기법으로 주형틀을 제작하는 것
- 2) L.O.M. 기술로 paper mold를 조형후 이를 injection mold로 직접사용하는 것
- 3) F.D.M. 기술로 ABS mold를 조형후 이를 wax injection tool로 사용하는 것
- 4) SLA 기술로 resin pattern을 조형후 이로부터 Silicone Rubber mold를 제작하고, 다시 Epoxy 제품을 주형해내는 것
- 5) 3D Printing 기술로 ceramic/metal mold를 조형후 이를 direct metal casting에 직접이용함

3. 신속조형기계장치 및 자료교환 표준

◎ 신속조형기계장치

신속조형기술을 구현하기 위한 기계장치들은 그 조형소재나 소재결합원리에 따라 조금씩 차이가 있으나 공통적으로는 다음 두 단계를 거쳐 제품성형과정을 수행하게 된다. 그 첫번째 단계는 3차원 CAD 모델을 그 형상의 가장 밀단면에서 부터 시작하여 일정한 두께의 박층(thin layer)들의 기하학적인 집합으로 재구성하는 것인데, 실제로는 주어진 CAD 모델을 수학적인 계산을 통하여 여러개의 박층으로 분할하는 것이다. 둘째단계에서는 이렇게 재구성된 박층들의 기하학적인 부피를 전술한 기계장치들을 이용, 준비되어 있는 특정한 금속 재료의 분말(3D Printing/ SLS)이나 액상 고분자 재료(SLA) 및 종이(L.O.M.)를 이용, 층 단면에 수직한 방향으로 밑에서부터 순서대로 적층함으로써 원래의 CAD 모델 형상을 물리적으로 재현해 내는 것이다. 이때에 각각의 박층들은 원래의 기하학적인 구성방식과 동일한 형상 및 순서대로 바로 밑에 있는 층위에 고정 혹은 결합되어 적층되게 된다. 현재까지 상업화되어 쓰이고 있는 대표적인 조형 장비 vendor들은 다음과 같이 대별될 수 있다.

- 1) SLA(3D Systems) - <http://www.3dsystems.com/>
 - 2) FDM(Stratasys) - <http://www.stratasys.com/>
 - 3) SP(Sanders) - <http://www.sanders-prototype.com/>
 - 4) LOM(Helisis) - <http://helisis.com/>
 - 5) SLS(DTM) - <http://www.dtm-corp.com/>
- 이외에도 미국 MIT 공과대학에서 개발되어 Soli-

gen(<http://www.partsnow.com/home.shtml>) 사에 의해 상업화된 3D Printing(<http://web.mit.edu/afs/athena/org/t/tdp/www/home.html>) 기술과 Cubital 사에 의해 제공되는 SGC(Solid Ground Curing - <http://www.iquest.net/cubital/>), BPM Technology 사의 Ballistic Particle Manufacturing(<http://www.3dprint.com/>), Schroff 상의 JP System 5(<http://www.JPSYSTEM5.com/>) 등이 그 뒤에 포진하고 있다. 한정된 지면관계로 이들 각각의 기계장치의 제원과 특성은 생략하며 보다 상세한 정보를 원하는 독자여러분들은 회사명뒤에 수록된 각 vendor 회사의 web site를 직접 방문해보기를 적극 권하고 싶다.

◎ 신속조형기계장치용 자료교환 표준(SIF: Solid Interchange Format)

대부분의 신속조형장치들은 'STL'이라는 설계정보 교환 표준 체계에 의거하여 운용이 되고 있는데 STL이란 설계된 제품형상의 기하학적 정보를 평면 삼각형들의 근사화된 집합으로 표현한 것으로 모델(model)이란 용어로 쓰기에 부적당하다. STL 파일의 기원은 SLA를 처음으로 상업화했던 3D Systems 사가 기계장치의 운용 software를 출시하면서 같이 내놓은 표준체계를 신속조형장비의 사용자측에서 그대로 받아 사용하면서 비롯된 것이다. STL의 장점은 자료구조가 매우 간단하고 자료자체를 직접 조형용 2차원 단면자료로 전환시키기가 상대적으로 용이하다는데에 있으나 일반적인 3차원 CAD 모델이 STL 파일로 전환되는 단계에서 다음과 같은 심각한 문제점들을 안고 있다.

첫째, 정확도(accuracy) - STL 파일은 최초의 설계 모델을 평면삼각형들의 기하학적인 집합으로 근사화한 하나의 자료저장형태에 불과하다.

둘째, 완성도(integrity) - STL 파일은 자료를 저장하기 위한 자료구조자체가 수치적인 자료의 결합발생의 위험성에 무방비로 노출되어 있다.

셋째, 중복성(redundancy) - STL 파일은 자료 구조상 자료 내용이 중복되어 저장되므로 비효율적이다.

이때문에 현재까지 STL의 이러한 결점들을 극복하고자 하는 연구 결과가 많이 발표 되었으나⁽⁴⁾ 이러한 연구 결과들은 현재의 형상 모델러와 신속조형 기계장치 사이의 적합성(compatibility)이라는 면에 지나치게 치우쳐 해결방법을 제시하였다. 따라서 제품의 형

상 모델링후에 발생하는 문제점에 대해서만 그때 그때 임시적으로 대처한 해결방법으로서 신속조형기술이라는 생산기술의 고유의 장점을 최대한 살릴 수 있는 보다 정확하고 효율적인 자료저장 및 교환표준에 대한 근본적인 해결책이 요구되고 있다.⁽⁵⁾

이제까지 설명한 것을 간단히 요약하면 신속조형 기술은 그 기술상의 현대적인 특성(1. 신속성, 2. 조형성, 3. 경제성 및 청정성)으로 인하여 주목받고 있는 새로운 생산가공기술이다. 그러나 추후 기계장비의 시장 상업성이라는 면에서 그리고 조형기술의 보다 일반적이고 광범위한 보급을 위해서는 몇가지 태생적인 문제점들(1. 조형소재의 제약성, 2. 조형 정밀도, 3. 가공후 처리)의 보다 획기적인 개선이 필수적으로 요구된다.

4. 신속조형기술 관련 종합정보

◎ Web sites

현재 세계각국에서는 물론, 미국에서만도 수백개의 신속조형기술에 관계된 연구소 및 대학들이 자리 잡고 있어 이제 RP라는 검색어를 가지고 그러한 web site들을 찾는 것도 쉬운일이 아니다. 다음은 필자가 애용하는 RP 관련 종합 web site로서 web을 이용하는 독자 여러분들의 수고를 조금이라도 덜 수 있을까 하여 수록해 보았다.

- 1) Rapid Prototyping Sites(http://www.biba.uni-bremen.de/groups/rp/rp_sites.html)
- 2) Rapid Prototyping Index(<http://www.dtm-corp.com/~nelson/rpindex3.html>)
- 3) Wohlers Web World(<http://lamar.colostate.edu/~wohlers/>)

◎ 도서

- 1) Kochan, D., "Solid Freeform Manufacturing," Elsevier Science Publisher B.V., 1993, ISBN 0-444-89652-X.
- 2) Jacobs, P. F., "Stereolithography and Other RP&M Technologies: From Rapid Prototyping to Rapid Tooling," Society of Manufacturing Engineers, 1995, ISBN 0-87263-467-1.
- 3) Binstock, L., "Rapid Prototyping and Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography," Society

of Manufacturing Engineers, 1994, ISBN 0-87263-454-X.

◎ 학술대회(Conference)

1) Solid Freeform Fabrication Symposium(<http://lff.me.utexas.edu/Symp97/symposium97.html>)

2) European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing(<http://quoll.maneng.nott.ac.uk/Research/rp/timetable.html>)

3) Rapid Prototyping and Manufacturing(이번호 RP 소식 참조)

4) International Conference on Rapid Prototyping(<http://www.udri.udayton.edu/conf/rapidpro/>)

◎ 전문 학술지(Journals)

1) Rapid Prototyping Journal(<http://www.mcb.co.uk/liblink/rpj/jourhome.htm>)

2) Rapid Prototyping Report:ISSN 1059-6399/CAD/CAM Publishing, Inc., 841 Turquoise Street, Suites D& E, San Diego, CA 92109-1159

3) Rapid Prototyping: The Rapid Prototyping Association of SME, Editorial and Business Office, One SME Drive, P.O. Box 930, Dearborn, MI 48121, USA

◎ 신속조형기술 응용사례

신속조형기술의 응용사례는 이번호의 RP 소식에서 소 주제로 다루었으므로 이를 참고하시면 큰 도움이 되리라 생각되는데 다음은 응용사례들의 간략한 대별이다.

1) 의학계(Anatomics: Biomodeling and medical applications using: SLA/ Artificial Hip Implant: 3DP-http://www.materialise.com/standard_materialise_software/pages/medical.htm)

2) 건축 및 조형예술(Computer-Aided Rapid Mechanical Prototyping /Artistic: SLA, FDM-<http://www.sound.net/~zedand00/>)

3) 일반설계검증 및 전달(3D Fax machine/Stand-

ford Univ.-<http://www-graphics.stanford.edu/projects/faxing/>)

◎ Anonymous RP E_mail List: rp-ml mailing list archive(<http://ltk.hut.fi/archives/>)

*그간 CAD/CAM 학회지의 지난호들의 'RP Report' 소식을 통해 많은 신속조형기술 관련기사와 소식이 소개가 되었으므로 독자 여러분들은 보다 상세한 정보를 위해 이를 참조하시기 바란다.

참고문헌

1. Kochan, D, "Solid Freeform Manufacturing," Elsevier Science Publisher B.V., 1993, ISBN 0-444-89652-X.
2. Wohlers Associate, "State of Industry," 4/96 & 4/97 (<http://lamar.colostate.edu/~wohlers/97state.html>).
3. Bohn, J. H. and M. Wozny, "Automatic CAD Model Repair," 4th IFIP 5.2 Workshop on Geometric Modeling in Computer-Aided Design, RPI, New York, September 1992.
4. Crawford, R. H., "Solid Freeform Fabrication Technologies and Source of Geometric Data," 3rd SIAM Conference of Geometric Design, Tempo, Arizona, November 1993.
5. Rock, S. J. and M. J. Wozny, "A Flexible File Format for Solid Freeform Fabrication," in: Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings, H. L. Marcus *et al.* (eds.), The University of Texas at Austin, (Austin, TX, USA), August 12-14, 1991, pp. 1-12.
6. Suh, Y. S. and M. J. Wozny, "Adaptive Slicing of Solid Freeform Fabrication Processes," in: Solid Freeform Fabrication Symposium Proceedings, H. L. Marcus *et al.* (eds.), The University of Texas at Austin, (Austin, TX, USA), August 8-10, 1994, pp. 404-411.
7. Jee, H. S., "STEP-based SIF," Solid Interchange Format Workshop, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, November 28, 1996.