

RP 기술의 최신동향-RP & M 2002 학회 참관기

이 관 행

광주과학기술원 기전공학과

지난 해에 이어서 올해도 미국 오하이오주 신시내티에서 Rapid Prototyping & Manufacturing Conference가 개최되었다. 시카고나 디트로이트에서 했으면 하는 바람이 있었지만, 그간 몇 년 동안 줄곧 참석을 했기 때문에 올해도 가서 봐야 되겠다는 약간의 의무감과 함께 신시내티로 향했다. 광주에서 미 증서부까지 가는 출장은 24시간이 더 걸리는 여정이라 항상 힘들고 부담이 되지만, 학회에서 만나는 닷익은 얼굴들이 피로를 잊게 해 준다. 또한 SME에서 개최하는 RP&M은 학술 발표와 Exposition을 동시에 함으로 해서 활력을 주는 부분이 있다. 발표를 듣다가 시간을 내어서 전시장으로 달려가고, 또 전시장에서 발표장으로 서둘러 가기를 몇 번 하다 보면 사흘이 훌쩍 가버리는 것이다. 이번에도 학회는 Keynote speech에 이어서, Terry Wohlers의 State of the Industry 보고로 시작이 되었다. 전시회는 참가한 booth의 수가 100개를 조금 못 미쳐서, 지난 해 보다도 축소가 되었으며, 학술 발표 또한 지난 2년 동안 해오던 medical RP session이 이번에는 생략이 되었다. 함께 갔던 박사 과정 김승만 군과 분담을 해서 학회의 모든 session을 참석했지만, 여기에서는 지면 관계로 특히 기억에 남는 session들을 소개하고, 끝으로 결론을 내리고자 한다.

◎ Terry Wohlers의 State of the Industry Report

Terry Wohlers에 따르면 2001년 RP 시장은 primary market(장비와 서비스)에서 전년 대비 10.5% 감소한 \$538.2M, secondary market(RP를 이용한 tooling)에서는 전년 대비 28.1% 감소한 \$385.7M으로 집계되었다. 그는 세계적인 불경기 때문에 이러한 실망스러운 결과가 나왔다고 보고하

고 있다. 그러나 2001년 만들어진 RP 모델의 수는 355만개로서 전년도 300만개에서 더 늘어났고, 2001년 팔린 RP 기계의 수는 1,298 시스템으로 2000년(1,309 시스템)에 비해 비슷한 실적을 올리고 있으므로, RP 시장이 감소했다기 보다는 RP vendor나 service bureau 간의 경쟁이 치열해졌다고도 볼 수 있겠다. 참고로 그림 1에서 보는 것처럼 한국은 세계에 설치된 전체 RP 장비 중 약 1.8%를 점유하고 있다.

응용분야에서는 Regale이라는 포장회사가 SLS를 이용한 mold로 달걀이나 컴퓨터 주변기기 등을 포장하는 종이를 만든 상자를 찍어내었는데, tooling 기간이 몇 달 걸리던 것이 3일로 줄었으며, 비용도 2만불 내지 4만불 들던 것이 1천불로 줄어들었다고 보고하고 있다. 이 회사는 현재는 4대의 SLS 기계를 사용하고 있으나, 앞으로 몇 년간 50-300대가 필요하게 될 것으로 예상하고 있다. 또한 영국의 3T RPD라는 용역회사가 RP 기술로 경주용 차의 20여 개의 부품을 성공적으로 공급한 예를 언급하고 있다. 올해 느낀 것은 RP 분야 종사자들이 이제는 그 응용 분야를 기존의 tooling 산업에서 벗어나 새로운 분야를 개척해야 한다는 생각이 절실

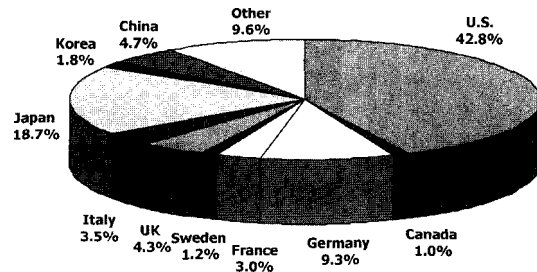


그림 1. RP system installation by country
[Source: Wohlers Report 2002]

해졌다는 것이 여기 저기서 눈에 띄는 것 같다.

2001년에 새롭게 개발된 내용 중 몇 가지를 소개하면 아래와 같다. 먼저 시작하기 전에 RP 시장 매출의 22.5%를 차지하고 있는 3D Systems 사에 대해서 언급하기로 한다. 3D Systems는 SLS 장비를 생산하던 DTM 사를 2001년 8월에 흡수하였으나, 지난 해 415대(194 SLAs, 182 Thermojets, 39 SLSs) 밖에 팔지 못하였고, 특히 고가의 SLA 장비의 매출이 크게 떨어져 전년 대비 매출이 28% 감소하였다. 또한 오랫동안 SLA 장비의 재료를 공급했던 Vantico 사와 결별하고, 스위스의 RPC 사를 획득하여 재료를 공급하고 있다. 3D Systems는 2002년 DSM Somos 사와 함께 OptoForm LLC 라는 회사를 세워서 세라믹, 금속, 또는 복합 재료를 포함하는 photocurable paste를 이용하는 기술을 개발하고 있으며, 이 기술의 이름을 Direct Composite Manufacturing(DCM)이라고 명명하고 있다. 또한 미국의 Align 사에게 39대의 SLA 장비를 공급하여 RP 기술로 최종 제품을 곧바로 생산하는 시장을 개척하고 있는데, 이 분야는 Advanced Digital Manufacturing(ADM)이라고 부르고 있다. 이 외에도 기존에 개발해 왔던 Thermojet에 사용되는 Multijet Modeling Technology(MJM) 개발 노력을 지속하고 있으며, 3D Keltool 기술의 경우는 새로운 기술에 밀려나는 형국이다. 물론 3D Systems는 RP 분야에서 가장 큰 회사이지만, 이처럼 한 회사에서 SLA, SLS, RPC, MJM, ADM, DCM, Keltool 등의 많은 사업을 하고 있는 바, 개발 노력이 분산되는 위험도 있는 것 같다.

지난 2000년 RP&M 학회에서 모든 참석자의 관심을 모았던 Objet Geometries 사가 개발한 잉크젯 기술인 polyjet technology에 의한 Quadra 장비는 아직은 그 재료가(FullCure 555 series) 조금은 미흡하지만, SLA 파트 수준의 품질을 보이고 있다. 1,536개의 jet를 사용하는 이 장비는 적층 두께가 20 micron이며, x, y 방향으로 각각 600 dpi, 300 dpi의 해상도를 갖는다. 제작속도가 20-25% 빠르고 resin 통이 커진 Quadra Tempo라는 모델을 2001년 11월 출시하였으며, 가격은 \$69,000이다.

2002년 2월 FDM을 만드는 Stratasys 사는 Prodigy 장비와 비슷한 Dimension이라는 장비를 \$29,900

로 내어 놓아, 지난 두 달 동안 120대를 팔면서, RP 업계를 놀라게 하고 있다. 3D printer 중에서는 가장 싼 가격으로, build volume은 200×200×300 mm, 층 두께는 0.25 또는 0.33 mm, 그리고 ABS plastic 재료만을 사용할 수 있다.

Z Corp.는 2001년 5월에 Z406 color printer를 내 놓았고, 2002년 3월에는 monochrome printer인 Z400의 가격을 \$33,500으로 낮추었다. 또한 2001년 11월에는 1,800개의 jet를 사용하는 build volume이 500×600×400 mm 인 대형 color 3D printer를 출시하였다.

독일의 Envision Technologies 사는 Texas Instruments에서 개발한 LCD 기술을 이용하여 acrylate photopolymer를 한 층씩 적층하여 나가는 Perfactory 라는 장비를 개발하였다. Build volume은 250×190×250 mm 이고, 한 층의 적층 시간은 10-15초이며, 가격은 \$44,000이다.

스웨덴의 Arcam 이라는 회사는 Electron Beam Melting(EBM) 기술을 사용해서, 진공에서 직접 금속분말을 녹여서 99.5% density 파트를 만드는 EBM S12라는 장비를 개발하였다. 표면이 거칠기 때문에 CNC finishing이 필요하고, build volume은 250×250×200 mm이며, 가격은 \$500,000이다.

2001년 등록된 RP 관련 특허는 166건이었으며, 이 중 75-100건이 대학의 연구개발 결과물이었다. Terry Wohlers는 앞으로 RP 기술이 concept modeling 분야의 응용은 점차적으로 증가하고, rapid manufacturing 분야는 급속히 증가할 것으로 예상하는 반면, 시작품을 제작하는 용도로서의 RP는 상대적으로 점점 감소할 것이라는 설명과 함께 그의 보고를 마쳤다.

◎ Panel Discussion-The Future of RP&M

Terry Wohlers의 report 바로 다음에 industry panel discussion이 있었고, 또 마지막 날 마지막 session에 panel discussion이 있었는데, 이 중 몇 가지 내용만 소개한다.

현존하는 RP 기술 중 어떤 것이 10년 후에도 살아 남아 있을 것인가라는 질문에, functionality의 이점이 있는 laser sintering 방법, 금속을 직접 다룰 수 있는 LENS, POM과 같은 direct metal fabrication 방법, 그리고 빠르고 싼 inkjet based

deposition 등이 후보가 될 것이라는 의견이 나왔다. 그러나, 현재 제일 많이 이용되고 있는 SLA 기술은 후보 리스트에 들지 못했고, 그 이유는 재료가 한계에 왔다는 comment가 있었다. 또한 현재의 point source를 계속 사용하는 한, 제작 속도 문제를 해결하지 못하며, 경영자들이 싫어하는 'overnight part' 라는 별명을 벗어버리기 힘들 것 이란 의견이었다.

왜 지난 2년 동안 RP 시장이 발전하지 못했느냐는 질문에는, 첫째로는 미국의 불경기가 큰 역할을 했고, 둘째로는 RP 기술에 대한 홍보와 교육이 미흡하다는 점이 지적이 되었다. 예를 들어, SME가 주최하는 RP&M conference의 경우 등록비가 890불이나 되어 학생들은 참석할 엄두도 못 낸다는 것이었고, 전시회 참관을 18세 이하에게 금지하는 것은 전혀 바람직하지 않다는 의견이 있었다. 참고로, SME에서 홍보는 하고 있지 않지만(앞으로는 SME에서 적극적으로 홍보해야 한다는 의견이 많았습), 학생과 educator에게는 educational discount가 있다는 것을 기억하고, 미리 SME에 예비등록시에 요청해야 한다. 그러나, 무엇보다도 나는 RP 기술이 너무 치우치게 tooling application을 염두에 두고 장비와 소프트웨어, 그리고 재료를 개발하고 있지 않나 하는 생각을 한다. 즉 RP 기술이 새로운 시장을 개척하고, 이에 알맞게 기술을 개발해 나가는 노력이 필요한 시점이 아닌가 생각해 본다.

앞으로 어떤 기술이 RP 산업에 큰 영향을 미칠 것인가 하는 질문에는, 소프트웨어 tool들의 개발, inkjet printing 기술, 그리고 직접 최종 제품을 제작하는 mass customization 등의 의견이 있었다. 또한 solid state process가 정답일 것이라는 의견도 나왔다. 대부분의 RP 프로세스는 phase change를 수반하므로, 예를 들어 액상에서 고체로, 제어하기가 쉽지가 않지만, Solidica와 같은 경우는 고체에서 고체로 phase change가 없기 때문에 여러 가지로 이점이 있다는 것이다.

앞으로 5년간 RP 기술에 있어서 가장 큰 development를 꼽는다면 하는 질문에는, direct metal 기술과 low-end system(즉 concept modeler)의 개발을 들었다.

RP 기술의 사용에 있어서, 시장의 어떤 분야가 가장 빨리 성장하고 있는냐는 질문에는, automotive/

aerospace, medical, entertainment, consumer electronics 등의 분야들이 언급되었는데, 실제로는 consumer electronics 분야가 통계적으로 제일 빠르게 성장하고 있다는 언급이 있었다.

마지막으로 rapid tooling이 기존의 tooling 방법이나, high speed machining(HSM)에 비해서 경쟁력이 있느냐는, 작년에도 이어서 같은 질문이 나왔다. HSM에 비해서 경쟁력이 부족하다는 분야 전문가의 의견이 있었고, 경쟁적으로 생각하기보다는 상호 보완적으로 생각하는 것이 바람직하다는 의견도 있었다. RT의 장점인 functionally gradient material의 사용, conformal cooling channels 등이 언급이 되었고, tool의 제작이 아닌 jigs & fixtures의 제작도 RT의 큰 시장이 될 수 있다는 의견도 있었다.

◎ SLA, SLS, and Polyjet: Evaluating and Applying the Right Technology

위 주제는 미국 Texas 주 Austin에 소재해 있는 ATI사의 Todd Grimm에 의해서 발표되었다. RP 기술의 성능을 비교하는 것은 항상 논란의 대상이 되기 때문에, 수행하기가 쉽지 않고 따라서 비교하기를 꺼리지만, 모든 사람들이 관심을 가지는 것 또한 사실이다. Mr. Grimm은 학회의 요청을 받고, 시간제약 때문에 각각의 실험에 대하여 파트를 하나씩 밖에 만들 수 없었고, 또한 SLA의 경우는 제일 최신의 장비인 Viper si2를 이용하지 못했다고 한다. 따라서, 통계적으로 검증이 되지 않는 실험 결과치를 보고한 셈이 되었는데, 아마도 그가 논란을 일으키지 않기 위해서 그랬을 수도 있으며, 그럼에도 불구하고 재미있는 결과를 낸 것 같다.

SLA, SLS, 그리고 Objet에서 사용하는 PolyJet 기술을 material property, accuracy, surface finish, feature definition, build time, 그리고 support structure 항목으로 나누어서 비교하였다. 예를 들어서, 후가공을 하지 않고는 SLA와 PolyJet이 SLS보다 정밀도가 좋았으며, PolyJet 재료가 수축률이 SLA 재료의 두 배나 되었음에도 정밀도는 비슷했다. SLS의 경우 수축률이 제일 크기 때문에 파트가 휘어지는 현상이 더 심했다. Surface finish의 경우는 PolyJet이 SLA보다 좋게 나왔으며, SLS가 가장 떨어졌다. Feature size는 SLA는 0.01" SLS는

표 1. Applications of SLA, SLS and PolyJet

Application	Best	Good	Marginal	Poor
Concept models		SLA, PolyJet	SLS	
Form, fit	SLA, PolyJet	SLS		
Function	SLS		SLA	PolyJet
Patterns	SLA, PolyJet		SLS	
Rapid tooling		SLS		SLA, PolyJet
Rapid manufacturing		SLS	SLA	PolyJet

0.025"가 가능한데, 이것은 laser spot size에 좌우되며, SLA Viper si2의 경우는 0.003" spot size가 가능하다. PolyJet의 경우는 0.0015" 까지 가능한데, 이 경우 support material을 제거하는데 어려움이 있다고 한다. Build time의 경우는 세 기술이 모두 비슷한 것으로 평가되었다. 물론 support structure의 경우는 SLA와 SLS는 support structure를 제거하면서 파트품질에 영향을 줄 수 있지만, SLS의 경우는 sintering되지 않은 파우더를 털어내기만 하면 되므로 그러한 염려가 없다. 세 기술에 대하여 응용분야에 따른 평가를 한 것이 다음 표 1에서 보는 바와 같다.

◎ RP&M: Latest Case Studies in Finland

위 발표는 EOS Finland Oy의 Seppo Syrjala가 하였는데, GARPA session으로 분류된 몇 개의 발표 중 첫 번째 것이었다. 참고로 GARPA (Global Alliance of Rapid Prototyping Associations)는 14개국에 가입되어 있으나, 아직 한국은 참여하지 않고 있다. 여기서는 EOS에서 개발하고 있는 DMLS(Direct Metal Laser Sintering)에 관한 보고가 있었다.

EOS는 지난해 20 micron layer의 DirectSteel20를 개발하였는데, 이 보다도 build speed가 두 배가 빨라진 20 micron bronze layer를 쓰는 DirectMetal20*을 발표하였다(*Euromold 2001에서 이미 소개되었습). DirectMetal20의 성능을 보면, 정밀도: +, -0.05 mm, Min. wall thickness : 0.6 mm, Porosity : min. 8%, Tensile strength : 400 Mpa, Hardness : 110 HB, Surface roughness : Ra 9, Surface roughness after shot peening: Ra 3 micron 등이다. 이 기술

로 만들어진 파트의 예를 보면, turbine wheel(제작시간 25시간, 36개, 개당 \$70), wheel support structure(제작시간 20시간, 112개, 개당 \$72) 등으로, 말로만 하던 rapid manufacturing이 실제로 이루어지고 있음을 볼 수 있다. DMLS는 EOSint M 250 Xtended machine을 이용한다.

참고로 EOS booth에서 사장과 잠시 얘기를 나누었는데, 3D Systems의 DTM 흡수 이후, EOS의 미국시장 진출 가능성이 높은 것에 대단히 고무되어 있는 것을 볼 수 있었다. EOS 장비들은 하나의 장비로 모든 파우더 재료를 전부 프로세스하는 것이 아니라, 재료에 따라 장비가 customize되어 있는 느낌이 들지만, 만들어진 파트의 품질은 대단히 좋은 것으로 보인다.

Mr. Seppo Syrjala의 발표 외에도 다른 GARPA session의 발표들은 수준이 높고 유익한 내용들로 기억된다. 독일 Stuttgart에 있는 Fraunhofer Institute에서 온 Nico Blessing은 IMS RPD 2001 Project 진행상황에 대하여 보고하였고, 영국의 De Monfort Univ.의 Divid Wimpenny는 영국에서의 최신 RP 연구 현황에 대하여 보고하였다.

◎ Ultrasonic Consolidation: Direct Metal Cores - Cavities

위 발표는 Solidica의 사장인 Dawn White가 하였는데, 이 기술은 지난 해 RP&M에서 많은 사람들의 주목을 받았었다. 얇은 알루미늄 박판(0.1 mm)을 15,000-20,000 Hz로 15 micron 정도의 amplitude로 마찰을 시킬 때 ultrasonic energy에 의해서 metallurgical bond가 일어나는 현상을 이용한 RP 제작 기술로서 재료를 녹이지 않고 층간 접

작이 가능하며, 다른 금속 재료의 사용도 가능하다고 한다. Milling 공정을 함께 사용하며, build volume은 600×900×250 mm 이고, 정밀도는 +, -0.075 mm 이며, 제작속도는 시간당 150 cubic cm 이다. High speed machining에 비교해서 deep slot 을 제작하는데 장점이 있다. 가격은 \$465,000이고, 지난 해 4대의 배타시스템을 팔았다. 관심을 두고 여러 번 booth에 들어서 관찰한 바로는 아직은 좀 더 기술 향상이 필요한 것 같다.

◎ Direct Manufacturing of Hearing Instruments

위 발표는 RP&M 2002에서 최고 논문 상을 받았는데, 그 내용보다는 RP의 새로운 응용분야를 개척했다는 공로로 주어진 것 같다. 재미있게도 이 프로젝트는 보청기 시장에서 서로 경쟁하는 두 회사(Phonak Hearing System과 Siemens Hearing Instruments)가 합작으로 수행하였다. 개발된 프로세스를 살펴보면, 먼저 귀의 impression을 만든 후,

Minolta Vivid 900 scanner로 형상 데이터를 획득한다. 다음 이 데이터를 수정한 후, rapid shell modeling을 한다. 끝으로 SLS 기계에서 biocompatible 한 Duraform 파우더를 사용하여 귀의 내부형상을 제작한다. 위에서 설명한 프로세스는 그림 2에 잘 나타나 있다. Siemens Hearing Instruments는 1년에 25만개 정도의 보청기를 제작하는데, RP 기술을 이용하여 제작한 ear shell을 현재 16,000개의 보청기에 사용하였다고 한다. 물론 보청기 가격이 약 \$5,000하는데 비하여, ear shell의 원가는 3.4불 수준 밖에 되지 않지만, 보청기 제작을 digital화 하려는 목표에 크게 기여하였고, 또한 4대의 SLS 기계가 구입되었다. RP 기술을 응용함으로써 기존에 시간 걸려서 만들었던 금형을 만들 필요가 없어졌고, 또한 수정이 필요한 경우도 shell model을 쉽사리 변경하여 가능하게 되었다. 발표자는 inner ear의 형상까지 자동으로 획득할 수 있게 되면, 보청기 제작의 digital process를 완결하게 될 것이라며 발표를 마쳤다.

결론

지난 5월 Cincinnati에서 개최되었던 RP&M 2002 학회는 물론 그 규모가 예전보다 조금 축소가 되었지만, 그럼에도 불구하고 RP 기술이 지속적으로 발전하고 있는 것을 보여주었다. 전체 매출이 10.5% 감소하고, 3D Systems사와 DTM사의 합병과 같은 큰 merger도 일어나서, RP 산업 전체가 불안정한 면을 보이고 있는 것도 사실이지만 이제 15년 역사를 가진 RP 산업의 발전 과정이라고 생각된다. 몇 가지 학회기간에 관찰한 것을 요약하면 다음과 같다.

1. 올해 관찰한 Direct Metal Fabrication 분야는 예전에 비해서 크게 진전되었다. DMLS, POM 등의 기술이 향상되어, 진열된 파트들의 품질이 과거에 비하여 대단히 좋아졌다. Rapid manufacturing의 돌파구가 될 것으로 예상된다.
2. RP 파트의 정밀도는 50 micron에서 이제 20 micron으로 norm이 옮겨졌다. Objet의 20 micron layer, EOS DMLS의 20 micron Direct-Metal20 layer 등으로 50 micron 벽이 허물

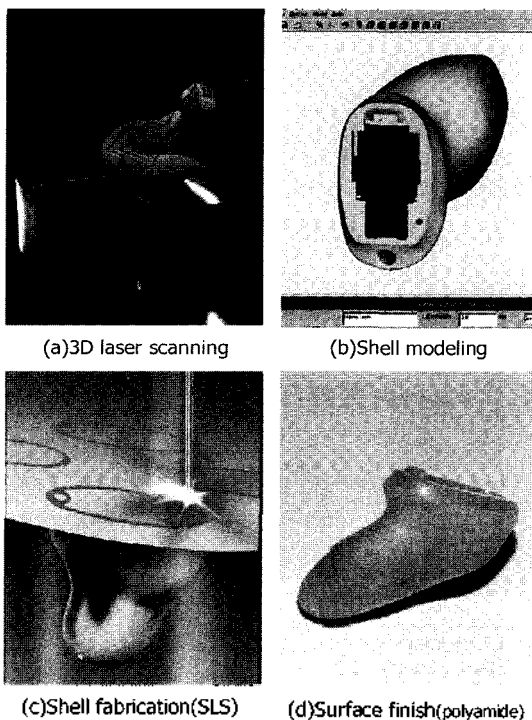


그림 2. Direct manufacturing process of hearing instruments
(Source: RP&M 2002 Conference Proceedings)

어졌다.

3. 처음으로 고품질의 파트를 만드는 3D printer의 가격이 \$30,000 이하로 내려왔다. Stratasys의 Dimension 장비가 그 테이프를 끊었고, Z-Corp도 Z400의 가격을 비슷한 수준으로 내렸다. 앞으로 더욱 저렴한 3D printer들이 출시될 것으로 예상된다.
4. 앞에서 소개한 포장회사 Regale의 경우처럼 새로운 RP 시장이 개척되고 있다. RP 기술

이 발전하고, RP 산업이 발전하기 위해서 바람직한 발전 방향으로 생각된다.

5. 3D Systems사와 DTM사의 합병에 이어서 미국 RP 시장에 큰 변화가 예상된다.

내년에는 RP&M conference를 다시 시카고에서 개최한다. 2003년 5월 5일~8일 기간에 개최되며, 그 때는 RP 산업이 조정기를 끝내고 크게 발전한 모습을 보여주기 기대하며, 참관기를 댄는다.

OK