

LSU를 이용한 SLA 방식의 3D프린터 설계 및 스캐닝 기구부 동작 테스트

장민¹ · 오암석^{2*}

Design of 3D Printer Based on SLA Using LSU and Test of Scanning Mechanism

Min Jang¹ · Am-Suk Oh^{2*}

¹AWORKS LLC., 406 ho san hak Tongmyong University, Busan 48520, Korea

^{2*}Department of Media Engineering, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

요 약

3D 프린터는 산업용을 중심으로 성장해 왔으나 최근 경제 효과 및 기술 발달로 인한 원가 절감 등으로 인해 개인용 3D 프린터 시장의 성장이 가속화되는 추세이다. 그러나 현재 보급되고 있는 3D 개인용 프린터는 조형 속도, 크기, 정밀도 등의 한계점에 따라 소비자 만족도가 매우 낮은 편이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 개인용 3D 프린터의 기술적 한계를 극복하기 위해 LSU를 이용한 SLA 방식의 3D 프린터를 제안하였다. 그리고 핵심 기능을 담당하는 스캐닝 기구부의 동작을 확인하기 위해 스텝핑 모터를 이용한 조형판의 이동 및 레이저 출력 테스트를 시행하였다. 해당 테스트를 통해 레이저 동작 및 제어가 가능한지 확인하였으며 아울러 레이저 모듈과 폴리곤 미러를 사용하여 X축에 일정한 점이 출력됨을 확인하였다. 제안하는 3D프린터는 정밀도와 제조 속도를 개선하여 기존의 보급형 3D프린터를 대체할 수 있을 것으로 기대한다.

ABSTRACT

3D printers have been growing mainly in industrial use, but the recent growth of the personal 3D printer market advanced through economic effects and cost reduction due to technological development. However, current 3D personal printers are very low in customer satisfaction on the limitations of molding speed, size, and precision. In this paper, we propose SLA 3D printer using LSU to overcome the technical limitation of personal 3D printer. In order to verify the operation of the scanning mechanism which is responsible for core functions, the movement of molding board using stepping motor and laser output test was conducted. These tests ensure that the laser was operating and control well was confirmed that a certain point is output to the X-axis by means of a laser module and a polygon mirror. 3D printers which are proposed to improve the accuracy and manufacturing speed is expected to replace the traditional low-budget 3D printer.

키워드 : 3D 프린터, 광경화수지조형, 폴리곤 미러, 레이저 스캐닝 유닛

Key word : 3D Printer, Stereo Lithography Apparatus, polygon mirror, Laser Scanning Unit

Received 20 January 2017, Revised 23 February 2017, Accepted 09 March 2017

* Corresponding Author Am-Suk Oh(E-mail:asoh@tu.ac.kr, Tel:+82-51-629-1211)

Department of Media Engineering, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.6.1225>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

3D 프린팅 기술은 적층 제조기술(AM:Additive Manufacturing)이라고도 하며, 기존의 재료를 절삭이나 드릴을 통해 입체물을 제조 및 조립하는 방식에서 벗어나 다양한 방법의 적층(additive)방법을 통해 3차원의 입체물을 제조하는 방법이다. 3D 프린팅 기술은 기존 제조업에 IT 기술이 접목된 대표적인 융합 신기술 영역으로 3D 프린터는 전문가들 사이에서는 이미 3차 산업혁명의 도구, 인터넷에 대응하는 발명품으로 인식되고 있다. 현재 제조업에서 주로 이용되는 생산방식은 큰 원재료를 자르거나 다듬는 절삭 가공 방식이다. 그러나 고객들의 요구가 다양해지고 제품 생산 경향이 기존의 대량 생산이 아닌 다품종 소량생산으로 변화됨에 따라서, 3D 프린팅기술의 산업적 응용을 넘어서 기계나 부품 생산뿐만 아니라 의료, 식품, 패션에 이르기까지 3D 프린팅기술을 이용한 시제품들이 언론 상에 보도되고 있다. 이에 따라서 전 세계적으로 3D 프린팅기술은 3차 제조업 혁명을 주도할 기술로 주목받고 있다.

한편 3D 프린터 기술에 관련된 원천 특허권이 만료되고 3차원 데이터의 제작과 보급 확산이 전 방위적으로 이루어지면서, 가정에까지 보급될 수 있는 저렴한 프린터가 만들어지고 있다. 현재 대부분의 가정 보급형 프린터는 200만 원 정도로 구입이 가능하며, 이러한 개인용 3D 프린터의 보급도 활발하게 진행되므로, 향후 본 기술로 인해서 제조업 패러다임이 바뀔 것으로 예상된다. 또한 현재의 공장 중심 공정 생산(Factory Manufacturing)에서 가정 생산(Home Manufacturing)으로 변화됨에 따라서 다품종 소량생산이 가능해지고 제품을 구매하는 것이 아니라 제품의 설계도를 구매하는 소비 혁명이 일어날 것이라 예측도 나오고 있는 실정이다.

그러나 개인용 3D프린터는 성능의 한계점이 존재한다. 3D 프린터는 제작 크기와 성능에 따라 가격 차이가 상이하고, 일반적으로 장치가격 대비 가공 정밀도와 제작 속도 등의 성능은 반비례하며, 적층방식에 따라 성능의 차이가 있다. 이에 보급 가격이 매우 민감한 개인용 3D의 경우가격 우수성의 장점을 가진 FDM(Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터를 주로 사용한다. 저가형 FDM 방식의 경우 제작 속도가 비교적 빠르지만(60cm3 플라스틱 조형물 생산에 약 1시간 이상 소

요), 가공정밀도가 현저히 낮다. 따라서 저가형 개인용 3D 프린터 제품의 경우 휴대폰케이스, 장난감, 플라스틱 용기, 컵, 인테리어 제품 등 높은 가공정밀도를 요구하지 않는 단순한 형태의 사출물의 출력에만 사용된다. 실제 출력물의 품질 수준이 매우 낮으며, 가정용 3D 프린터 제품의 출력실패 사례 또한 빈번한 편이다[1-3].

따라서 본 논문에서는 3D 프린터 제품의 기술적 한계 극복과 기술/가격 경쟁력 확보를 위해 SLA 방식의 3D 프린터 사출방식과 사무용 레이저 프린터의 LSU (Laser Scanning Unit)를 사용한 방식을 융합한 3D 프린터를 제안한다.

II. 관련 연구

2.1. 3D 프린터 관련 기술 분류

3D 프린터 기술은 적층 방식과 입체물 제조에 활용 가능한 재료에 따른 기술로 구분된다. 적층 방식은 압출, 잉크젯 방식의 분사, 광경화, 파우더 소결, 시트 접합 등으로 구분된다.

- 압출형(Extrusion) : 고온으로 가열한 재료를 다이스를 부착한 용기에 넣어 강한 압력을 가해서 구멍으로부터 압출하여 성형하는 방식
- 분사형(Jeting) : 고압의 액체 원료를 분출시키는 방식
- 광경화형(Light Polymerised) : 빛의 조사에 의해 광경화성 플라스틱에서 일어나는 중합반응을 이용하여 재료를 고형화하는 방식
- 파우더 소결형(Granular Sintering) : 분체를 용접 이하 또는 부분적인 용융이 일어날 정도로 가열하여 고형화하는 방식
- 고에너지형(Directed Energy Depositon) : 레이저 등의 에너지를 활용, 재료를 완전히 녹여서 기존의 구조물 및 손상 부품에 적층하는 방식
- 시트 접합형(Shet Lamination) : 얇은 필름 모양의 재료를 접착제를 사용하거나 열접착방법으로 접착시키는 방식

현재 개인용 3D 프린터에 사용되는 기술은 정밀성 및 효율성 등이 높은 압출형의 FDM(Fused Deposition

Modeling), 광경화형의 SLA(Stereo Lithography Apparatus) 방식이 주류를 이루고 있는 상황이다. 국내 외에서는 3D 프린터 기술 관련 원천특허가 만료됨에 따라 제조시간 단축, 가격경쟁력 강화, 정밀성 향상, 소재 개발 등으로 상용화 단계를 가속시키기 위한 기술 개발에 주력하고 있다. 특히 본 논문에서 활용하고자 하는 SLA 방식은 미국의 3d system사에서 개발하였으며, 자외선 레이저를 사용하여 수조에 담긴 광경화성 액상 수지 경화시켜 파트를 층별로 제작하는 방식으로 높은 정밀성을 제공한다.

3D 프린터에 사용되는 주요 소재로는 수지와 금속이 사용되고 있으며, 수지를 활용한 3D프린팅은 기술적 완성단계로 주로 저가형(개인용)에 적용되고 있고, 금속의 경우 기술개발 초기단계로 고가형의 산업용 프린터에 주로 사용된다.

2.2. 레이저 프린터 LSU 구동 원리

레이저 프린터의 핵심 부품은 LSU(Laser Scanning Unit)이며, 그림1에 LSU 블럭도를 나타내었다. 프린터에서 인가되는 신호들에 의해 레이저 다이오드를 구동하는 구동부가 레이저 다이오드를 발광시키게 된다. 레이저 다이오드에서 방출된 빛은 콜리메이팅(Collimating) 렌즈에 의해 평행 빔으로 형성되며, 개구(Aperture : 사각 및 타원 모양)에 의해 일정한 모양을 갖는 빔으로 되고 실린더(Cylindrical) 렌즈에 의해 고속으로 회전하는 폴리곤 미러(Polygon Mirror) 면에 입사한다. 폴리곤 미러 면에 입사된 빔은 반사되어 F-theta 렌즈에 입사되고 최종 감광드럼(photosensitive drum)에 주사된다. F-theta 렌즈의 역할은 감광드럼에 빔을 등 간격 및 일정 빔경을 갖도록 하는 것이며, PD(photo diode)의 역할은 화상 시작을 알리는 신호로써 프린터에서는 이 신호를 바탕으로 일정 시간 후에 실제 인쇄를 시작하게 된다. 레이저 빔에 의해 음으로 대전된 감광드럼 부분은 후에 양으로 대전된 토너(toner)와 결합하고 토너는 후에 열에 의해 종이에 고착된다[4-7].

본 논문에서는 사무용 레이저 프린터의 LSU 구동원리를 3D 프린터에 적용하였다. 기존 SLA 3D 프린터는 갈바노미터와 다이내믹미러를 이용하여 레이저를 조사한다.(그림 2) 가공정밀도는 250 μ , 최고 속도는 약 3000mm/sec 이며, 제작 크기에 따라 제조 속도가 증가한다. 현재 제조 속도 향상을 위해서는 갈바노미터나

다이내믹미러의 성능 최적화가 유일한 방법으로 속도 개선에는 한계가 있다. 그리고 다이내믹미러를 통한 X, Y축 레이저 조사 제어에 따라 기구부 의존도가 매우 높은 상황이다. 모델링 좌표에 정확한 레이저 조사가 필요하며, 기구부 진동이나 역회전 백래시에 따른 오차가 발생한다.

본 논문에서 제안하는 3D프린터는 폴리곤미러 스캐너 모터를 이용해서 레이저를 조사하는 방식이다. 가공정밀도는 약 40 μ , 최고 속도는 약 441000mm/sec를 목표치로 하고 있다. 이러한 방식의 3D 프린터는 제작 크기와 관계없이 제조 속도가 일정하고, 폴리곤 미러 스캐너 모터를 통해 X, Y축을 항상 한 방향으로만 일정하게 회전시켜 모터의 RPM만 유지하여 기구부 의존도가 낮은 장점을 가진다.

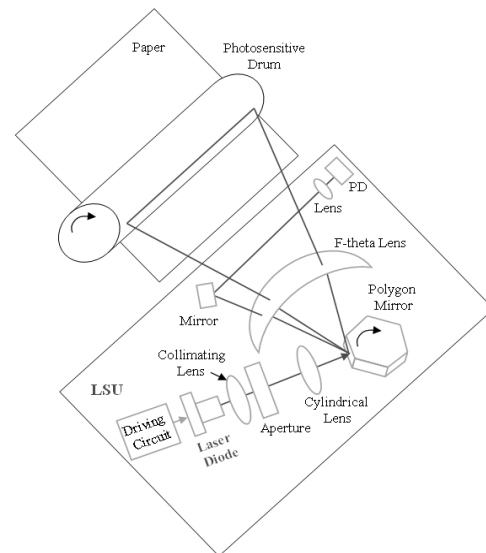


Fig. 1 LSU Block Diagram

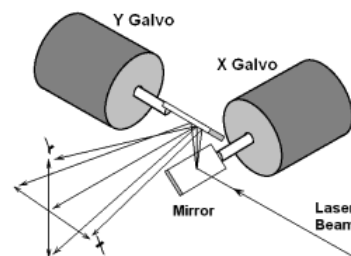


Fig. 2 Galvanometer Driver

III. LSU를 이용한 3D프린터 설계

본 논문에서 제안하는 LSU를 이용한 3D프린터는 스캐닝 기구부, 레이저 유닛, 컨트롤 소프트웨어로 구성된다.

3.1. 레이저 유닛

그림 3은 레이저 유닛의 구성도이다. 레이저 유닛은 고강도 3D 프린트용 405nm 파장의 400mW급 이상의 Laser 다이오드를 활용하여 CW(continuous wave) 400mW 이상 광량을 확보한다. 레이저의 초점을 최소화하기 위해 High Power Laser 초점 렌즈(3 Element Glass 렌즈)를 이용한다. 그리고 레이저 다이오드 드라이버는 DVD R/W용 드라이버를 사용하여 레이저를 제어한다.

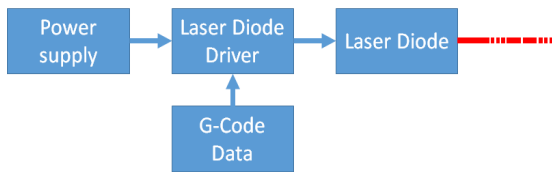


Fig. 3 Laser Module Configuration

3.2. 스캐닝 기구부

스캐닝 기구부는 기존 레이저 프린터의 LSU(Laser Scanning Unit), 라인 레이저를 2차원 이미지화 하는 회전 반사경부, 조형물의 Z축(상하) 이동을 위한 이송부로 구성된다. LSU, 회전 반사경, Z축 이송부를 이용한 적외선 레이저의 3D 조형은 먼저 LSU를 통해 적외선 레이저의 라인 이미지를 출력하고, 회전 반사경을 통해 라인 레이저를 2차원 이미지화한 다음 2차원 레이저 이미지의 조사 면을 Z축 방향으로 이동하여 적층하는 방식이다. 그림 4에 적층 과정을 단계별로 나타내었다.

평면도 ①은 Laser 모듈의 빔 레이저 광선을 고속으로 회전 하는 폴리곤 미러(Polygon Mirror) 면에 입사하여 폴리곤 미러를 통해 붉은색 부분과 같이 라인 레이저를 이미지화하는 과정이다. 이때, 라인 레이저의 도트 해상도는 4800 dot(600 DPI x 8 Inch)이며, 표1과 같이 다이오드 출력을 제어하여 라인(dot 3, 4)과 점(dot 7)을 출력한다.

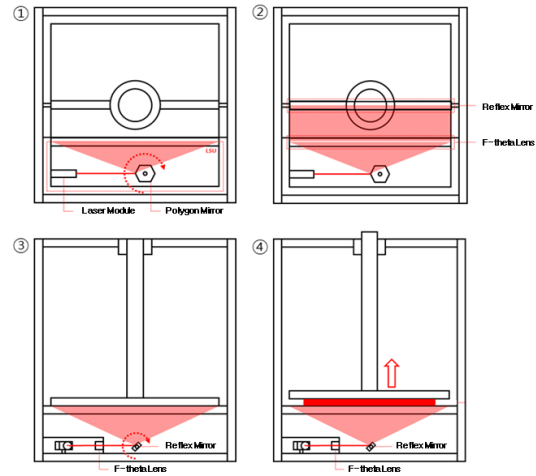


Fig. 4 3D Printer Operation Process

Table. 1 Line Image Output

Dot	1	2	3	4	5	6	7	---	4799	4800
Output	X	X	O	O	X	X	O	---	O	X
Line										

② 폴리곤 미러 면에 입사된 빔이 반사되어 F-theta 렌즈에 입사된다. F-theta 렌즈는 동일한 간격으로 빔을 보정하는 역할을 한다. 측면도 ③은 회전 반사경에 입사된 라인 레이저 이미지는 일정속도로 단일 방향으로 회전하는 회전 반사경을 통해 다음 라인으로 이동하며 빌드 플랫폼에 출력한다. 이때, Y축 도트 해상도는 3600(600 DPI * 6 Inch) 으로 표 2와 같이 다이오드 출력을 제어하여 X, Y축 2차원 이미지를 출력한다.

④ 빌드 플랫폼에 출력되는 2차원 이미지의 출력이 완료되면 Z축 이송부를 통해 빌드 플랫폼 자체가 Z축으로 이동한다. 기존 SLA 3D 프린터의 적층 방식과 같이 2차원 이미지가 적층되며 액체 레진이 경화되어 3차원 조형물을 제작한다.

Table. 2 2-dimensional Image Output

Dot	1	2	3	4	5	6	7	---	4799	4800
Output 1	X	X	O	O	X	X	O	---	O	X
Reflex Mirror										
Output 2	X	O	O	X	X	O	X		X	0
Line										

IV. 스캐닝 기구부 동작 테스트

본 논문에서 기존 3D 프린터의 기술적 한계 극복과 기술적, 가격적 경쟁력 확보를 위한 독창적 방식의 3D 프린터를 제안하였다. 제안하는 프린터는 SLA 3D 프린터의 사출방식과 사무용 레이저 프린터의 LSU를 사용한 방식을 융합하였다. 이에 기존 3D프린터의 구성 및 동작과는 큰 차이점이 있다. 따라서 본 장에서는 제안하는 3D프린터의 핵심 구성인 스캐닝 기구부의 동작 테스트를 시행하였다.

4.1. 스테핑 모터를 이용한 조형판 이동 테스트

그림 5는 조형판 이송을 위한 기구부의 구현 결과이며, 스테핑 모터를 사용하여 조형판의 X(좌우이동), Z(상하이동)축 이동 테스트를 진행하였다.

X 축 이동 기구부에는 타이밍 벨트를 적용한 스테핑 모터를 설치하고, X축 스테핑 모터의 타이밍 벨트가 올바르게 동작하는지 확인하였다. 그리고 리니어 스크류를 적용한 스테핑 모터를 설치하여 Z축 이동을 확인하였다.

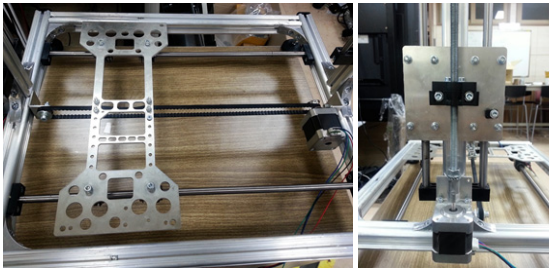


Fig. 5 Scanning Mechanism

4.2. 레이저 출력 테스트

먼저 레이저 빔의 출력을 제어하기 위해 폴리곤 미러의 시작 및 끝을 검출하여 1cycle을 측정하기 위한 테스트를 진행하였다. 그림6(좌)는 레이저 수신 모듈에 레이저 빔이 관통되는 것을 보이고 있다. 그리고 그림6(우)와 같이 오실로스코프를 통해 1cycle(800µs)을 확인 하였다. 오실로스코프에서 노란색 파형은 레이저 센서, 파란색 파형은 레이저 수신 센서의 측정값을 나타낸다.



Fig. 6 One cycle time measurement of polygon mirror

다음은 폴리곤 미러, 레이저 및 레이저 수신 모듈을 사용하여 X축에 일정한 점을 출력하는 테스트를 진행하였다. X축에 한 점을 출력하도록 폴리곤 미러, 레이저 및 레이저 수신 모듈을 각각의 위치에 고정 시키고 테스트를 진행하였다. 그러나 그림7(좌)과 같이 폴리곤 미러에 맞지 않는 레이저 빔이 옆면이나 위로 분산되어 레이저 검출에 어려움이 있었다. 그리고 그림7(우) 오실로스코프 레이저 수신 센서의 파형에서도 오류가 확인되었다.

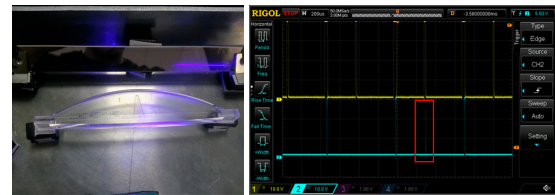


Fig. 7 X-axis one dot output test

이러한 문제점을 개선하기 위하여 분산되는 레이저 빔을 흡수하기 위한 검은색 판넬을 부착한 후 테스트를 진행한 결과 그림8(좌)과 같이 레이저 빔이 정확히 한 점으로 출력되는 것을 확인하였으며, 오실로스코프에서 레이저 수신 모듈 검출 시에도 올바르게 1cycle 간격으로 검출되는 것을 확인하였다.



Fig. 8 X-axis one dot output test(Attach black panel)

V. 결 론

개인용 3D프린터의 보급이 확산되면서 가격, 성능 등 다양한 면에서 소비자의 요구가 증가하고 있다. 본 논문에서는 기존 개인용 3D 프린터의 기술적 한계를 극복하기 위해 LSU를 이용한 SLA 방식의 3D 프린터를 제안하였다. 제안하는 3D프린터는 스캐닝 기구부, 레이저 유닛, 컨트롤 소프트웨어로 구성하였다. 그리고 3D 프린터의 핵심부인 스캐닝 기구부의 동작을 테스트 하였다. 폴리곤 미러를 이용한 3D 프린터는 기존 SLA 방식에 비해 기구부 의존도가 매우 낮고, SLA 방식에서의 백래시에 따른 오차가 발생하는 현상이 없어 질 것으로 보인다. 또한, 제작 크기와 관계없이 제조 속도가 일정하고, 높은 가공 정밀도를 가질 수 있어 개인용 3D 프린터로써 소비자의 요구를 충족할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] K. S. Jung, "A Study of the effect of 3D printer popularization on the design industry," *The Treatise on The Plastic Media*, vol.18, no.4, pp.315-323, Apr. 2015.
- [2] D. G. Song, J. K. Park, J. G. Kim, J. H. Park, S. Y. So, Y. S. Kwak, M. S. Yang, A.S. Choi, and T. K. Kim, "8 Beam Laser Diode Development for Laser Scanning Unit," *Korean Journal of Optics and Photonics*, vol.21, no.3, pp.111-117, Jun. 2010.
- [3] Y. I. Kim and J. L. Lee, "Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printer: its application and limitation in plastic arts," *Korean Institute of Cultural Product Art & Design, Research Bulletin of Package Culture Design*, vol.40, pp.69-80, May 2015.
- [4] C. S. Rim, "Optical system design for laser scanning unit," *Korean Journal of Optics and Photonics*, vol.10, no.1, pp.15-20 Jan. 1999.
- [5] C. S. Rim, "Laser scanning unit with plastic f θ lenses featuring high resolution," *Korean Journal of Optics and Photonics*, vol.10, no.5, pp.364-368, May 1999.
- [6] K. Komiya, K. Tanimoto, D. Ishikawa, and Y. Inagawa, "Laser beam scanning apparatus, image forming apparatus, and laser beam scanning method," US Patent 11/376,791, 2007.
- [7] O. S. Kim, "Open Source Hardware Design Using 3D Printer -Experimental Study on Engineering Design Characteristics of 3D Printing," *Journal of Korea Design Knowledge*, vol.26, pp.113-124, May 2013.



장민(Min Jang)

2008년~2011년: ㈜엠오투커뮤니케이션 연구원
 2012 ㈜오더커뮤니케이션즈 선임연구원
 2013~2015 에이웍스 대표이사
 현재: ㈜에이웍스 대표이사
 ※관심분야 : 사물인터넷, 헬스케어시스템



오암석(Am-Suk Oh)

1997년 부산대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 1987년~1990년: LG연구소 연구원
 현재: 동명대학교 디지털미디어공학부 교수
 ※관심분야 : 데이터베이스, 사물인터넷, 빅 데이터, 헬스케어시스템, 의료정보시스템