

◆특집◆ 3D 프린팅 기술 동향과 응용

클라우드 기반 3D 프린팅 활용 생산 시스템 통합 연구

김지연\*, David Espaline\*, Eric MacDonald\*, Ryan B. Wicker\*,  
김다혜\*\*, 성지현\*\*, 이재욱\*\*,#

\*The University of Texas at El Paso, \*\*한국생산기술연구원, 극한제조기술그룹

**A Study on Manufacturing System Integration with a 3D printer  
based on the Cloud Network**

Chi-yen Kim\*, David Espaline\*, Eric MacDonald\*, Ryan B. Wicker\*,  
Da-Hye Kim\*\*, Ji-Hyun Sung\*\*, Jae-Wook Lee\*\*,#

\*W. M. Keck Center for 3D Innovation, The University of Texas at El Paso, \*\*Korea Institute of  
Industrial Technology, Ultimate Manufacturing Technology Group

(Received 11 June 2015; received in revised form 16 June 2015; accepted 19 June 2015)

**ABSTRACT**

After the US government declared 3D printing technology a next-generation manufacturing technology, there have been many practical studies conducted to expand 3D printing technology to manufacturing technologies, called AMERICA MAKES. In particular, the Keck Center, located at the University of Texas at El Paso, has studied techniques for easily combining the 3D stacking process with space mobility and expanded these techniques to simultaneous staking techniques for multiple materials. Additionally, it developed convergence manufacturing techniques, such as direct inking techniques, in order to produce a module structure that combines electronic circuits and components, such as CUBESET. However, in these studies, it is impossible to develop a unified system using traditional independent through simple sequencing connections. This is because there are many problems in the integration between the stacking modeling of 3D printers and post-machining, such as thermal deformations, the precision accuracy of 3D printers, and independently driven coordinate problems among process systems. Therefore, in this paper, the integration method is suggested, which combines these 3D printers and subsequent machining process systems through an Internet-based cloud. Additionally, the sequential integrated system of a 3D printer, an NC milling machine, machine vision, and direct inking are realized.

**Key Words** : System Integration(시스템 통합), Cloud Network(클라우드), 3D Printer(3차원 프린터), Additive Manufacturing(적층가공)

**1. 서 론**

# Corresponding Author : jaewk@kitech.re.kr  
Tel: +82-53-580-0186, Fax: +82-53-580-0130

3차원 프린팅 기술의 발전으로 복잡한 디자인의 구조물을 부가적인 제조공정 추가없이 직접 조형이

가능하게 되었다. 이러한 3차원 프린팅 기술에 관한 연구는 초창기 조형 기법과 재료에 관한 연구를 시작으로 우주 공간 같은 특수 환경에서의 제조 및 의료용 임플란트와 같은 생화학적 거부반응 없는 강성을 가진 단일 재료 구조체를 조형 하는 방법으로 점차 활용 방안 연구로 범위가 확대되고 있다.<sup>[1-3]</sup> 특히 2013년 미국 오바마 정부의 차세대 제조 기술 육성 정책으로 3차원 프린팅 기술을 지목하고 NAMII 연구소를 설립하여 현재 AMERICA MAKES라는 3D프린팅 기술을 제조기술로 확대하는 많은 연구가 진행 중이다. 이러한 생산 기술로의 응용은 3차원 프린팅 가공에 전, 후 공정을 추가, 통합하여 다양한 기능성 제품을 생산 가능하도록 하였다.<sup>[4]</sup>

본 연구에서 앞선 선행 연구로 3D 프린팅 기술을 응용하여 공간 이동성을 더해 3D 적층 공정을 쉽게 융합하는 기술을 연구하였다. 그리고 이러한 공간 이동성을 복수 개로 확대하여 다양한 복합 재료를 동시에 적층하는 기법에 관하여 연구하였다.<sup>[5]</sup> 또한 CUBESET과 같이 전자 회로와 부품을 하나의 모듈로 제작하기 위해 Direct inking과 같은 기술을 융합한 제조 기술을 개발 하였다.<sup>[6]</sup> 하지만 상기 연구들에 있어서 3D 프린터의 적층 모델링과 그 후속 가공간의 통합에는 열변형, 프린터의 정밀도 및 공정 시스템간의 독립적 구동 좌표 등에 문제가 있다. 그러므로 전통적인 독립적 공정의 단순 시퀀스 연결로는 시스템을 통합할 수가 없는 문제점이 발견되었다.

따라서 본 논문에서는 이러한 3D 프린터와 그 후속 가공 공정 시스템을 인터넷 클라우드에 기반을 두어 통합하는 방식을 제안하였고 3D 프린터와 NC 밀링, 머신 비전 및 Direct inking을 사용하여 연속적인 공정 시스템 통합을 구현하였다. 2장에서는 3차원 프린터의 제조 적용에 따른 문제점과 후속 가공 방법에 대해 상세하게 논의하였으며, 3장에서는 클라우드 네트워킹을 기반으로 3차원 프린터와 기계가공 시스템 및 기타 공정 시스템의 시스템 융합을 구성 방법을 소개하였다. 4장에서는 제안 방식을 적용한 통합 시스템을 소개하고 이러한 통합 시스템의 구현을 통해 CUBESET을 제작하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 기술하였다.

## 2. FDM 3D Printer 활용 제조 기술

3D 프린터의 여러 방법 중에 다른 제조 공정으로 공정 연계가 수월 한 방법은 토출 분사 방식인 FDM(fused deposition modeling) 방식이다. FDM 방식은 시스템의 내부 구조와 메커니즘이 매우 단순하고 간단하여 다른 방식에 비해 경제적이며 특히 사용할 수 있는 재료가 다른 방식들에 비해 매우 다양하기 때문에 현재 3차원 프린팅 방식 중에 가장 많이 보편화되고 산업화가 빨리 진행되고 있다.

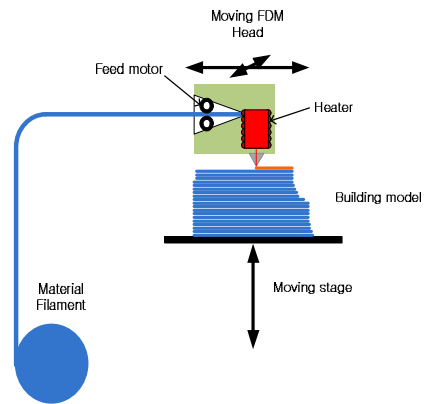


Fig. 1 Inner structure of FDM system

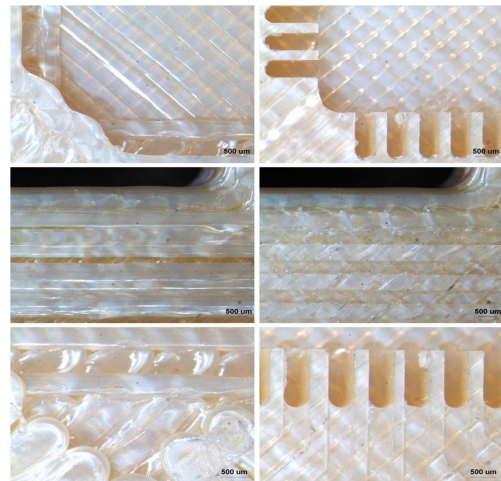


Fig. 2 Macroscale Features comparison between FDM print alone(left) and machining added(right)

**Table 1 ABS Material at FDM system<sup>[7][8]</sup>**

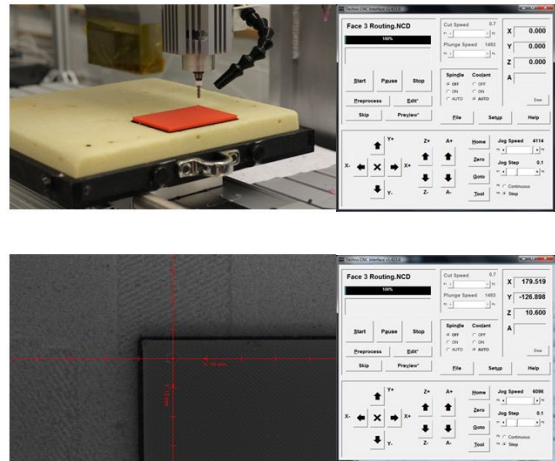
Parameter	Value
- Liquefier Temp	270 °C
- Bead width*	0.012 inch~0.04inch
- Layer thickness*	0.01 inch
- Tensile Strength	5000 psi
- Tolerance	±0.0015 inch/inch

\* based on 0.41mm dia tip

하지만 Fig. 1에 나타난 바와 같이 FDM 방식은 필라멘트 재료를 열로 용융, 용착, 경화의 과정으로 적층하기 때문에 Table 1에 보인 ABS P200와 같이 제조 정밀도와 경화후의 열 변형 등의 문제가 발생한다. 이러한 프린팅의 제조 한계성 때문에 전통적인 생산 방식을 대체하기 위해서는 후속 절삭 가공이 필요하다.

Fig 2는 선행 연구에서 구현한 FDM 단일 프린팅 모델링과 Micro NC Machining을 후차 가공으로 더했을 때를 비교한 실험 결과이다.<sup>[6]</sup> 표면 및 형상의 비교를 통해 FDM에 의한 단순 제품 모델링으로는 요구 정도를 맞추기 힘들며 후속 절삭 가공을 통해 생산 요구 정도를 만족할 수 있음을 알 수 있다. 또한 선행 연구에서 FDM 3D 프린팅의 구조를 변경하여 이동성을 부가함으로써 공간 배치에 유연성을 높였고, 생산 공정에서 제품 형상 제조 공정으로 활용할 수 있도록 하였다.<sup>[5]</sup> 하지만 3D 프린터가 독립적으로 제품을 프린팅 할 경우 후속 처리를 하는 공정 시스템으로 제품을 공간 이동을 하여야 한다. 선행 연구에서는 3D 프린터와 NC 마이크로 밀링 시스템 사이에 리니어 스테이지를 두고 공간 이동을 구현하였다.<sup>[5]</sup> 하지만 3D 프린터에서 조형된 형상물 후속공정인 절삭 가공 시스템으로 공간 이동을 하게 되면 3D 프린터의 좌표계와 절삭 장비의 가공 좌표간의 불일치가 발생하며, 특히 열 변형에 의한 조형물의 가공원점 변형으로 가공 원점 수정이 불가피 하다.

이러한 문제점 때문에 선행 연구에서는 머신 비전을 이용하여 프린팅 물체의 공간 정보를 얻고,



**Fig. 3 Machining Origin finding procedure; (Upper) Tool Coordinate registration;(Bottom) Measuring Geometric distance**

이를 활용하여 가공 원점 및 가공 경로에 대한 보상 변경을 구현 하였으며 Fig.3은 3D 프린팅된 부품의 공간 정보를 인식하고 가공 원점을 잡아 주는 머신 비전 처리 과정을 보여 주고 있다.<sup>[7]</sup>

마지막으로 3D 프린터와 NC 시스템 및 머신 비전 등은 모두 사용자의 프로그램에 따라 동작하는 시스템이다. 하지만 각 시스템 별로 프로그래밍 환경이 모두 다르고, 3D 프린터의 경우 프린터 동작에 대한 JOB 파일을 기반으로 동작하기 때문에 시스템 컨트롤 프로그램 이외에 다른 프로그램이나 외부 네트워크와의 연동기능이 잘 지원되지 않고 있다. 또한 사용자 프로그래밍 환경 또한 다르기 때문에 통합 프로그래밍에 있어서 프로그램 언어간의 이질성이 시스템간의 시퀀스 연결에 걸림돌로 작용한다. 따라서 각각의 독립 시스템을 유연성 있게 연결해 주기 위해서는 상위 시스템에 클라이언트로 종속 되도록 하여 서버 클라이언트 간의 토폴로지를 구성하여 융합하는 방법이 대안으로 제시된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 서버 클라이언트의 스타 토폴로지 방식의 시스템 통합 방식을 제시하고, 프로그램 환경에 대한 네트워크를 하나의 네트워크 드라이버를 공유하는 형태인 클라우드 환경에 기반하여 통합 하는 방안을 제시한다.

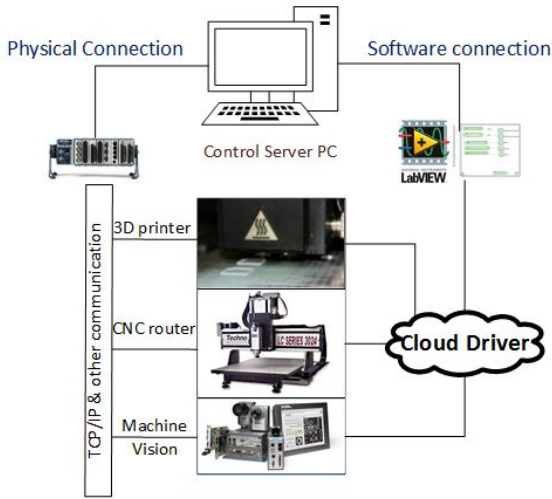


Fig. 4 Proposed system integration topology based on cloud network

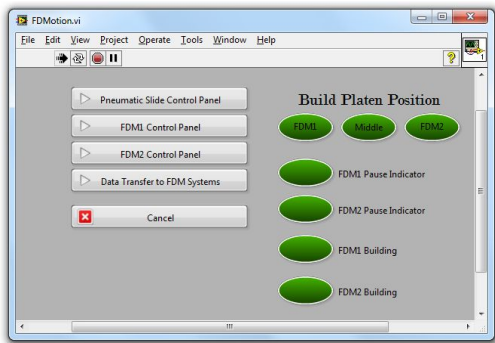


Fig. 5 FDM Front panel VI <sup>[10]</sup>

### 3. 클라우드 기반 시스템 통합

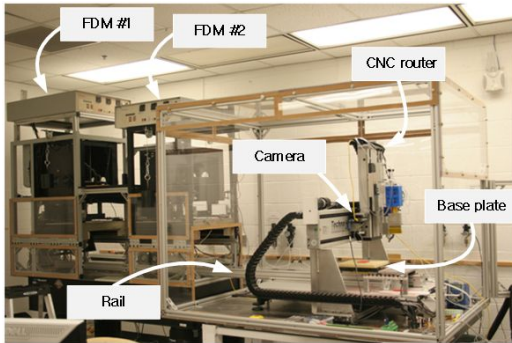
본 연구에서는 Fig.4에 도시된 바와 같이 전체 통합 시스템을 제어하는 서버 컴퓨터를 두고 FDM 3D 프린터를 포함한 각 공정의 시스템들을 클라이언트로 배치하는 스타형 토폴로지 방식의 물리적 연결을 제안하였으며, 또한 클라우드 드라이버를 공유하여 프로그램을 연동할 수 있도록 하기 위해 버추얼 드라이버 기법의 하이브리드 방식을 채용하였다. 앞 절에서도 논의한 바와 같이 공정별 시스템이 독립적인 운영 및 프로그램 환경을 가지고 있

기 때문에 이들을 통합 제어를 위해서는 각각의 시스템의 분산적 처리 보다는 제어 서버에 의한 시퀀스 제어가 구현이 용이하다. 따라서 서버 시스템은 독립된 각각의 클라이언트를 원활하게 종속 시키고 이들의 HW 및 SW를 연결 시킬 수 있는 프로그램 장치가 필요하므로, 본 연구에서는 Texas Instrument사의 Labview를 적용하였다.

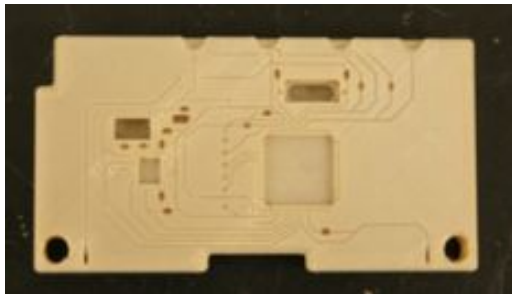
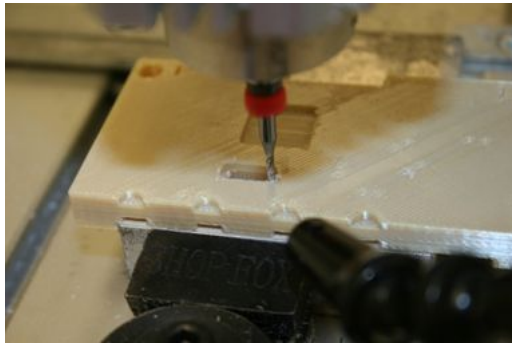
각 하부의 클라이언트 시스템은 Chassis를 통한 스위칭 연결과 TCP/IP socket을 이용한 네트워크 통신으로 연결하여 HW를 통합하였고 Labview 프로그램에서는 각각의 구동 프로그램을 시퀀스별로 역세스하여 전체 공정 시퀀스를 제어하도록 프로그래밍하였다. Fig 5.는 FDM 시스템을 Labview에서 제어하도록 구현한 프로그램 패널 예시이다<sup>[10]</sup>. 이러한 하드웨어 구성과 프로그램 제어이외에도 실제 시스템 구동 과정에 각각의 클라이언트 시스템의 개별 구동 프로그램에 대한 할당과 전송 과정이 필요하게 된다. 이러한 구동 프로그램 연결을 본 연구에서는 클라우드 드라이버 네트워킹 방식을 제안한다.

실제 구현과정을 보면 우선 조형하고자 하는 모델을 Slicing하고 3D 프린터의 조형 가공 경로를 생성하면 3D 프린터를 위한 Job file이 만들어진다. 생성된 job file은 3D 프린터를 구동하는 클라이언트 컴퓨터에 전송되어야 한다. Job 파일을 별도의 통신 프로그램으로 전송하지 않고 서버와 클라이언트에 각각 위치한 클라우드 드라이버에 저장하고 동기화 시키는 방법으로 연결 하였다. 본 연구에서는 클라우드 프로그램으로 Google drive를 사용하였고, 각각의 시스템 컴퓨터에 G 드라이브 폴더를 생성하여 파일을 공유토록 하였으며, 파일 변경시 모든 컴퓨터의 드라이브에 동기화가 실행되도록 환경을 설정하였다. 이렇게 각 시스템 저장 공간에 생성된 G 드라이브의 공유 폴더에 FDM 3D 프린터의 Job file이나 Vision system에서 측정을 위한 영상처리 프로그램과 NC router에 가공 경로 프로그램인 G code파일을 업로드 한 후 서버 컴퓨터에서는 공정 흐름에 따라 개별 시스템에 시퀀스 신호를 전송하면, 신호를 받은 시스템은 내장 저장장치의 공유 폴더에 저장된 프로그램 파일을 업로드 하여 작동하도록 시스템을 구성한 것이다.





**Fig. 6 Integrated system with multiple FDMs, machine vision and Micromachining system**



**Fig. 7 Micromaching Cubeset model printed by FDM 3D printer(Upper) and manufactured Cubeset figure (bottom)**

#### 4. 시스템 구성 및 구동 실험

본 연구에서는 Fig. 5과 같이 2대의 Strasy FDM 3000 3D 프린터와 Techno CNC사의 LC3024 NC 밀링머신 및 TI smart camera 1764를

일렬로 배치하고 조형된 part를 각 시스템으로 이송될 수 있도록 linear air convey를 중간에 설치하여 3D 프린트로 조형된 부품을 검사, 가공까지 일렬로 생산 할 수 있는 시스템을 구성하였다. 그리고 본 연구에서 제안한 클라우드 네트워크 기반으로 시스템을 통합하고 구동 실험을 통해 Fig. 6에서 보여지는 바와 같이 전자회로를 하나의 3D 프린팅 된 모듈 안에 모두 집적시킨 CUBESET을 샘플로 제작해 보았다. Labview Chassis의 I/O port와 FDM의 컨트롤 패널 포트와 직렬로 연결하여 FDM 프린터의 구동을 Labview에서 제어할 수 있도록 하였고, Camera에서는 3D 프린터로 조형된 파트의 모서리 위치를 측정하고, 측면 선상의 직선도의 분산을 측정하여 부품의 일그러짐을 검사하도록 하였으며, 측정된 결과는 txt파일로 생성하여 클라우드 드라이브에 저장되도록 하였다. 측정된 파트의 위치를 읽어 들여 CNC router에서는 가공 초기에 가공 원점을 보정하고 프로그래밍 된 가공 경로 프로그램에 따라 3D 프린팅된 CUBESET에 전자 부품이 들어가야 할 파트 부분과 도체 잉크가 흐를 도선부채널을 절삭 가공하였다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 3D 프린터로 제품을 조형하고, 프린팅으로 구현할 수 없는 생산 요구 정도를 후처리 절삭가공으로 완성하는 통합 생산 시스템에 관해 연구하였다. 3D 프린터 이외에 검사 시스템과 NC 절삭 가공 시스템 등 공정별 독립적인 운용 환경을 가진 장치들을 네트워크를 기반으로 통합하고 제어하는 방안에 대해 제안하였으며, 프로그램 환경 및 구동 방식이 각기 다른 문제점을 해결하기 위한 방법에 대해 기술하였다. 해결방법으로는 개별 공정 시스템을 모두 클라이언트 배치하고 통합 운영 서버를 상단에 두고 제어하는 스타 토폴로지 형태의 네트워크를 구성함과 동시에 클라우드 드라이버를 공유시키면서 프로그램 환경을 구축하는 시스템 통합 방법을 제안하였으며, 제안된 방법을 기반으로 2대의 FDM 3D 프린터와 머신 비전 및 NC

가공을 통해 Cubeset 전자회로 샘플을 제작해 봄으로써 제안된 방법의 구동성을 입증하였다. 하지만 3D 프린터와 절삭 시스템 모두 겐트리 형태(gantry type)의 구동 프레임을 가지는 장치이므로 향후 지속적인 연구를 통해 하나의 구조물에 틀-체인징 방식을 통해 시스템을 소형화 하고 구동을 간소화 시켜 효율성을 높일 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 후 기

The research presented here was conducted at The University of Texas at El Paso within the W.M. Keck Center for 3D Innovation (Keck Center). Through funding from the State of Texas Emerging Technology Fund, the Keck Center recently expanded to over 13,000 sq. ft., housing state-of-the-art facilities and equipment for additive manufacturing processes, materials, and applications. This research was supported by funding from the Mr. and Mrs. MacIntosh Murchison Chair I in Engineering Endowment.

## REFERENCES

1. Kruth, J. P., Leu, M. C., and Nakagawa, T., "Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping", CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 47, No. 2, pp.525-540, 1998
2. Rawal, S., Brantley, J., & Karabudak, N. "Additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy components for spacecraft applications", Proc. of the 6th IEEE Recent Advances in Space Technologies (RAST), pp. 5-11, 2013.
3. Van Kroonenburgh, I., Beerens, M., Engel, C., Mercelis, I. P., Lambrichts, I., & Poukens, J. "Doctor and engineer creating the future for 3D printed custom made implants", Digital dental news, pp.60-65, 2012,
4. Oh S. T., Lee I. H., Kim H. C., Cho H. Y., "Development of Hybrid FDM System for 3-Dimensional Circuit Device Fabrication3", Trans. Korean Soc. Mech. Eng., Vol.38, No. 8, pp.869-874, 2014.
5. D. Espalin, J. Ramirez, F. Medina, R. Wicker, "Multi-Material, Multi-Technology FDM: Exploring Build Process Variations," Rapid Prototyping Journal, Vol. 20, No.3, pp. 236-244. 2014.
6. D. Espalin, D.W. Muse, F. Medina, E. MacDonald, R.B. Wicker, "3D Printing Multi-Functionality: Structures with Electronics," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 72, Issue 5-8, pp. 963-978, 2014.
7. Hanssen, Jesse. "FORTUS 900mc Accuracy Study." Stratasys, Eden Prairie, MN, pp.1-3. 2009
8. Stratasys, FDM system documentation, Material Appendix.
9. C.Kim, R. B. Wicker, D. Espaline, M. Perez, A. Fernandez, E. MacDonald, "Development of Machine vision integrated Multi-FDMs and Micro machining system" Proc of ISFA, 2014
10. Espalin, D., 2012, "Development of a multi-material, multi-technology FDM system for process improvement experimentation," M.E thesis, University of Texas at El Paso, El Paso, Texas.