

# 3D 프린팅을 통한 산업별 혁신: 양산 및 다양한 산업으로 활용 분야 확대

## ■ 한국현

삼영기계의 사장이며 국가과학기술연구회 이사, 한국주조공학회 이사이다. 삼성전자 수석연구원, 삼성북미UX센터 디렉터, MIT 미디어랩 방문연구원 등을 거쳤다. 2019년 3D 프린팅 기술사업화 공로로 산업통상자원부장관상을 수상하였고, 전국주조기술경기대회 단체1위로 국무총리상을 수상하였다.

이메일 | khhan@sym.co.kr

홈페이지 | www.sym.co.kr



3D 프린팅은 이제 누구나 쉽게 접할 수 있는 보편적인 기술이 되었고, 산업에서는 제조업을 중심으로 그 활용도가 증가하고 있다. 하지만, 3D 프린팅 기술의 부족한 점으로 인해 시제품 제작 단계 이상으로 발전이 더딘 상태이다. 여기서 한 가지 짚어볼 사항은, 정말로 3D 프린팅의 한계가 시제품 제작 단계에 머무르게 될 것인가 하는 점이다. 필자의 경험에 따르면, 3D 프린팅 기술이 양산이나 또는 제조업 이외의 다른 다양한 산업에서 적극적으로 활용되지 못하고 있는 가장 큰 이유는 3D 프린팅 기술을 중심으로 활용처를 찾고 있기 때문이다.

양산 또는 다양한 산업에 적용이 되려면, 각 산업에서 해결하지 못하고 있는 난제를 해결하여 새로운 부가 가치를 창출할 때 비로소 3D 프린팅을 통한 혁신이 가능하다고 본다. 이 글에서는 3D 프린팅을 통해 기존의 난제들을 해결한 실제 사례들을 소개하고, 산업별 혁신 가능성을 살펴본다.

## 제조 분야 혁신

제조 분야에서는 이미 시제품 제작에 3D 프린팅이 본격 활용되고 있다. 3D 프린팅을 적용하여 시제품을 제작할 경우 기존 방식 대비 목금형 제작이 필요 없고, 단기간에 고품질의 시제품을 제작할 수 있다는 장점이 있다. 기술의 발전 속도가 점차 빨라지고 있는 현시점에서 시제품 제작 시간을 획기적으로 줄여 제품의 개발 기간을 단축시키는 것은 제품 개발 경쟁력 향상에 큰 도움이 된다. 이미 3D 프린팅이 제조 분야에서 시제품 개발 혁신을 이루고 있다고 볼 수 있다.

최근에는 3D 프린팅을 양산품 제조에 활용하려는 시도가 증가하고 있다. 대부분 금속 3D 프린팅을 활용하는 접근인데, 아직까지는 금속 3D 프린팅의 고비용으로 인해 적용할 수 있는 분야가 매우 한정적인 것이 사실이다. 3D 프린팅을 활용하여 양산품 제조에 활용하는 접근 방법은 다음과 같이 3가지 유형으로 구분해볼 수 있다.

### 기존 제품을 동일한 재질로 그대로 제조하는 유형

첫 번째는 기존의 양산 제품을 그대로 동일한 재질을 이용하여 3D

프린팅으로 제조하는 유형이다. 가장 쉽게 생각할 수 있는 접근 방법이지만, 기존의 생산 방식 대비 3D 프린팅 제조 방식의 고비용 구조로 인해 항공, 우주, 방산 등과 같이 고가이면서 소량 생산을 필요로 하는 특정 산업으로 그 활용 분야가 한정된다. 또한, 3D 프린팅 비용이 낮아지기까지는 오랜 시간이 소요될 것으로 보인다.

### DfAM 설계로 기존 제품 양산공정에 활용하는 유형

두 번째 접근 방법은 기존 제품을 제작하는데 3D 프린팅을 활용하되, 제품을 직접 3D 프린팅하는 것이 아니고 기존 제품의 양산 공정에 3D 프린팅을 적용하는 방법이다. 이 접근 방법은 첫 번째 접근 방법 대비 고비용 문제가 크지 않고, 제품에 따라 오히려 3D 프린팅을 접목하는 제조 방법이 더 우수한 생산성을 확보할 수 있다.

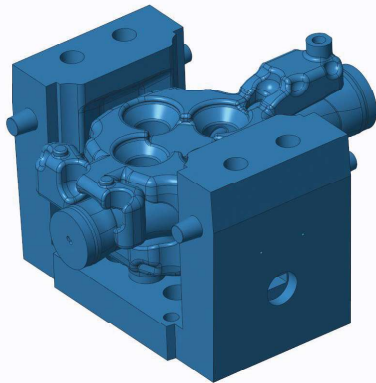
일례로, 금속 제품 양산 시 가장 보편적으로 활용되는 주조 공정인 샌드 3D 프린팅을 통한 주조용 몰드 또는 코어를 적용하는 방법이 현재 양산 생산성 수준까지 와 있다. 이때 제품의 형상이 복잡할수록 샌드 3D 프린팅을 적용한 방법의 생산성은 더욱 높아진다.

삼영기계의 실제 사례를 예로 들면, 철도/선박/발전용 엔진의 실린더 헤드나 프론트엔드 박스와 같이 내부 형상이 매우 복잡한 부품의 경우, 몰드 전체를 DfAM(Design for Additive Manufacturing) 일체화 설계로 3D 프린팅하거나 또는 내부의 중자를 DfAM 일체화 설계로 3D 프린팅하여 적용할 수 있다. 이와 같은 복잡도를 갖는 부품의 경우에는 오히려 기존의 목금형 방식 주조품 양산 공정보다 샌드 3D 프린팅을 적용한 양산 공정의 생산성이 더 높을 수 있다.

생산성 관점에서 보면, 제품의 크기가 작고 생산 수량이 적을수록 몰드 전체를 일체화 관점으로 DfAM 설계하는 것이 유리하고, 제품의 크기가 커지고 생산 수량이 많아질수록 외형 몰드는 기존의 목금형 방식을 그대로 적용한 상태에서 내부의 복잡한 코어를 일체화 관점으로 DfAM 설계하여 하이브리드 방식으로 적용하는 것이 양산 생산성 극대화에 유리하다.

직경 170mm 엔진 실린더 헤드 생산 사례

엔진 부품 중 하나인 실린더 헤드는 내부의 복잡한 형상으로 인해 주조용 몰드 제작 시 많은 수의 코어를 조립해야 하는 제작이 까다로운 제품이다. 직경 170mm 엔진의 실린더 헤드 제작 건에 대하여 검토한 결과, 목금형 제작비용을 제외한 실린더 헤드 생산비용과 샌드 3D 프린팅을 통한 일체화 몰드를 이용하여 실린더 헤드를 생산하는 비용은 거의 동일하였다. 하지만 오히려 기존 방식으로 생산할 경우, 목금형 제작비용과 제품당 생산 시간이 추가로 소요되었다. 또한, 기존 목금형 방식은 수작업 비중이 높아 양산 생산 CAPA도 더 낮았다. 즉, 제품의 크기가 작고 생산 수량이 적은 실린더 헤드 제작의 경우에는 오히려 목금형 방식보다 샌드 3D 프린팅을 통한 일체화 몰드를 활용한 제품 생산이 모든 면에서 높은 생산성을 보였다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. 직경 170mm 엔진 실린더 헤드 사례. (a) DfAM 몰드 일체화 설계 (b) 샌드 3D 프린팅 몰드 (c) 샌드 3D 프린팅 몰드로 제작한 실린더 헤드 완성품

직경 210mm 엔진 프론트엔드 박스 생산 사례

엔진 부품 중 내부 구조가 가장 복잡한 프론트엔드 박스 제품은 주조용 몰드 제작 시 조립에 필요한 코어의 개수만 약 40~50개에 이르고, 직경 210mm 엔진 프론트엔드 박스의 경우 코어 개수는 45개에 제품 크기는 길이 방향으로 2m나 되는 대형 제품이다.

기존 목금형 방식의 경우, 각각 중량물인 45개의 코어를 조립하는 합형 공정에만 숙련공 2명이 5일 동안 크레인을 이용한 수작업을 필요로 한다. 이는 생산성 혁신을 필요한 영역이다. 기존 목금형 방식의 코어 및 몰드를 분석한 결과, 총 45개의 내부 코어 중에서 특히 작업 시간이 오래 걸리는 코어 22개를 하나의 모듈로 일체화 설계하는 것이 가능하다는 결론을 도출하고 해당 코어를 일체화 설계하였다.

샌드 3D 프린팅을 통해 길이 1.2m의 일체화 코어를 제작하고, 나머지 코어 및 외형 몰드는 기존의 목금형 방식을 그대로 활용하였다. 일체화 코어의 적용을 통해 45개에서 23개 코어를 조립하는 합형 공정으로 바뀌었고, 그 결과 숙련공 2명의 합형 작업 시간도 3일로 단축되었다. 생산 실비용은 거의 유사하였으나 샌드 3D 프린팅 일체화 코어를 사용한 하이브리드 생산 방식의 CAPA가 크게 증가하고 작업자 일수에 의한 불량률 감소로 제품의 품질이 향상되었다.



그림 2. 직경 210mm 엔진 프론트엔드 박스 사례

이와 같이 크기가 큰 제품의 경우에는 주조 시 전체 몰드를 일체화 설계하는 것보다는 외형 몰드는 기존의 목금형 방식을 활용하고, 내부의 코어 중 조립이 까다롭고 구조가 복잡한 다수 개의 코어를 일체화 설계하여 샌드 3D 프린팅으로 제작하는 하이브리드 몰드 생산 방식이 제품의 생산성과 품질을 모두 높일 수 있는 방법이라고 결론 내릴 수 있다.

직경 230mm 엔진 실린더 헤드 생산 사례

앞서 설명한 직경 170mm 엔진 실린더 헤드 생산 사례에서는 몰드와 코어를 동시에 고려하여 DfAM 일체화 설계한 몰드를 적용하는 것이 가장 생산성이 높다는 결과를 보여주었다. 이는 생산 수량이 적은 제품의 사례였으나, 직경 230mm 엔진 실린더 헤드의 경우는 생산 수량이 제법 많고 크기도 보다 큰 제품 사례이다.



그림 3. 직경 230mm 엔진 실린더 헤드 제품 사진

기존의 생산 방식을 분석한 결과, 전체 주조 공정의 약 60%를 22개의 코어 조립에 대한 합형 공정이 차지하였다. 또한, 코어 조립 시 휴먼 에러 및 합형 누적공차, 코어의 통기성 부족 등에 의한 품질 문제 비중이 높았다.

크기가 큰 외형 몰드까지 샌드 3D 프린팅을 할 경우에는 기존 생산 방식 대비 비용이 더 높아지는 것을 확인하여, 외형 몰드는 기존의 목금형 방식을 활용하고 내부 다수의 코어만을 DfAM 일체화 설계하는 방식을 적용하였다.

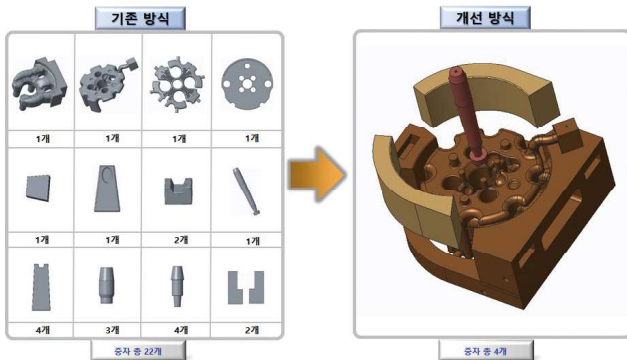


그림 4. 직경 230mm 엔진 실린더 헤드 코어 DfAM 일체화 설계 사례

총 22개였던 코어를 4개의 코어로 일체화 설계하여 개수를 84% 줄였고, 그 결과 코어 조립에 따른 합형 시간은 78%가 줄어드는 효과를 얻었다. 뿐만 아니라 합형 정밀도 개선으로 품질이 크게 향상되었으며, 수작업으로 진행하던 가스빼기 작업을 코어 설계 시 3D 모델에 반영하여 제로화하였다. 샌드 3D 프린팅의 고운 모래는 비가공면의 표면 거칠기를 향상시켰고, 일체화 코어의 누적공차 제로화로 주물 살 두께가 균일하게 보장되었다.

결과적으로 샌드 3D 프린팅을 적용한 하이브리드 방식이 재료비 및 인건비에 대한 생산 원가는 약 10%가 절감되었음에도 불구하고, 1일 몰드 합형 CAPA는 2.5배 증대되고 제품의 품질 또한 크게 향상되었

항목	기존 목금형 방식	샌드 3D프린팅 + 목금형 방식 외형 몰드 (하이브리드 방식)	비고	
생산성	몰드 수량	코어 22개, 외형 몰드 2개	코어 4개, 외형 몰드 2개	코어 수 84% 줄어듦
	합형 시간	2.25 hr	0.5 hr	합형시간 78%이상 단축
	가스 빼기 작업	40분 소요(수작업)	없음(일체화 코어 프린팅 생산)	일체화 코어에 포함
품질	표면조도	4S1(Ra 25~12.5)	2S1(Ra 12.5~10)	일체화 코어에 사용되는 주물사 입자 분포가 일정함
	제품 살 두께 편차	±3.0mm (합형 공차 발생)	±0.5mm (합형공차 없음)	일체화 코어는 합형 공차 제로

그림 5. 직경 230mm 엔진 실린더 헤드 양산 제조 혁신 결과

다. 즉, 샌드 3D 프린팅 적용을 통한 양산품 제조 혁신을 이룬 사례로 이야기할 수 있다.

### DfAM 설계로 새로운 형상의 제품을 제조하는 유형

3D 프린팅을 양산품 제조 혁신에 활용하는 세 번째 접근 방법은 제품 형상에 대한 DfAM 설계로 기존 제품과는 다른 새로운 제품을 제조하는 접근 방식이다. 이때 DfAM 설계 방향은 다음과 같이 다양한 관점으로 설정할 수 있다.

- 제품의 소형화, 경량화 설계
- 기존에는 생산이 불가능했던 형상의 제품 설계
- 제품의 소재 및 형상 최적 설계
- 여러 부품의 일체화 최적 설계
- 기타

이 가운데 제품의 소형화/경량화 사례를 살펴보자.

독일에서 열린 GIFA 2019 전시회에서 보쉬(Bosch)의 자회사인 렉스로스(Rexroth)는 유압 부품의 소형화, 경량화 혁신 사례를 발표하였다. 샌드 3D 프린팅을 통한 일체형 몰드로 복잡한 형상의 유압 부품을 주조 제작한 사례를 제시하였다. 특히, 부품의 설계 단계부터 DfAM 개념을 도입하여 부품의 크기를 대폭 줄였다. 결과적으로 부품의 체적 감소를 통해 전체 유압 시스템을 컴팩트하게 경량화 제작 가능하게 되었다.

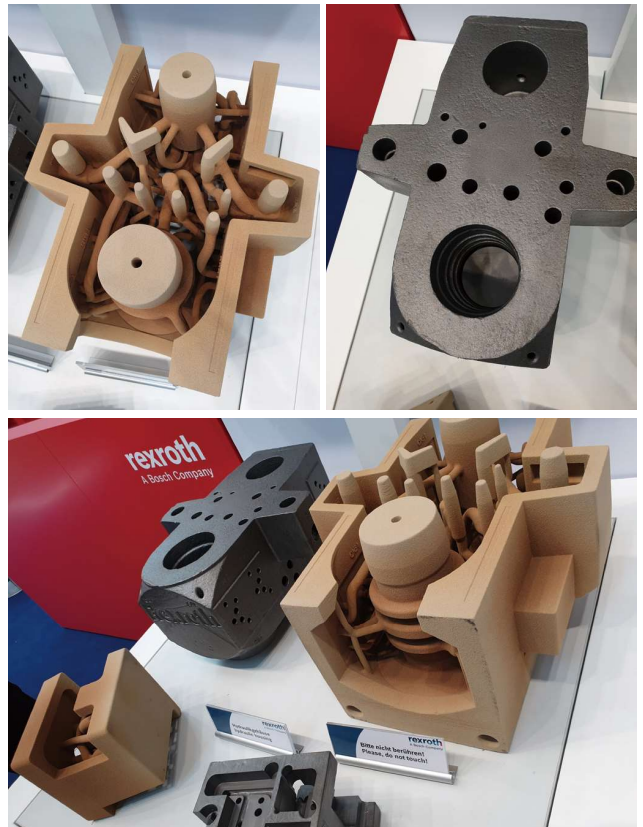


그림 6. 렉스로스의 유압 부품 소형화, 경량화 혁신 사례

# THEME 3D 프린팅을 넘어 적층제조로, 제품 개발과 제조를 바꾼다 II

참고로, 렉스로스는 유압 부품 분야에서 선두인 회사로 유압 부품의 사실상 표준을 이끈다고 한다. 즉, 렉스로스가 DfAM 설계 및 샌드 3D 프린팅을 통해 소형화, 경량화한 유압 부품을 생산한다면 유압 시스템 시장의 혁신을 주도하게 될 것이고, 해당 부품은 기존의 목금형 생산 방식을 갖는 업체에서는 제조조차 불가능해질 것이다.

## 건축 분야 혁신

건축 분야에서도 이미 3D 프린팅이 본격적으로 활용되고 있지만, 제조 분야와 마찬가지로 시범 건축물 시공에 적용되는 경우가 대부분이다. 단지 건물 시공 속도를 높이는 공법으로 3D 프린팅을 적용하는 접근 이외에 기존의 공법으로는 도저히 시공이 불가능한 건축 디자인에 적용이 가능하다면 건축 분야의 새로운 혁신이 가능할 것이다.

2020년 3월 오픈한 광고 갤러리아 백화점은 세계적인 건축가 렘 콜하스와 그가 이끄는 OMA에서 설계되었다. 특히, 건물 파사드의 자연 채광이 가능한 비정형 커튼월은 마치 건물 외벽에 다이아몬드가 박혀 있는 형상이다.

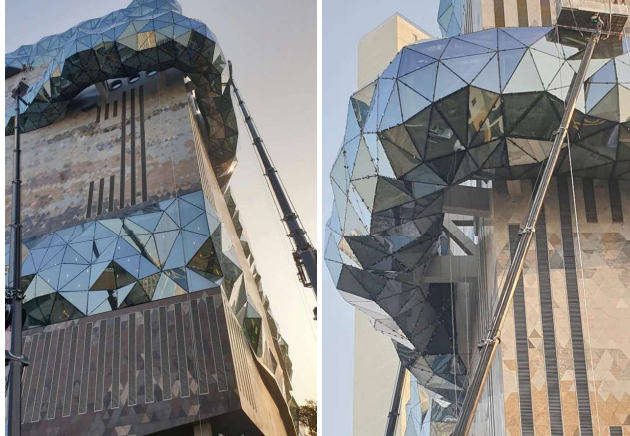
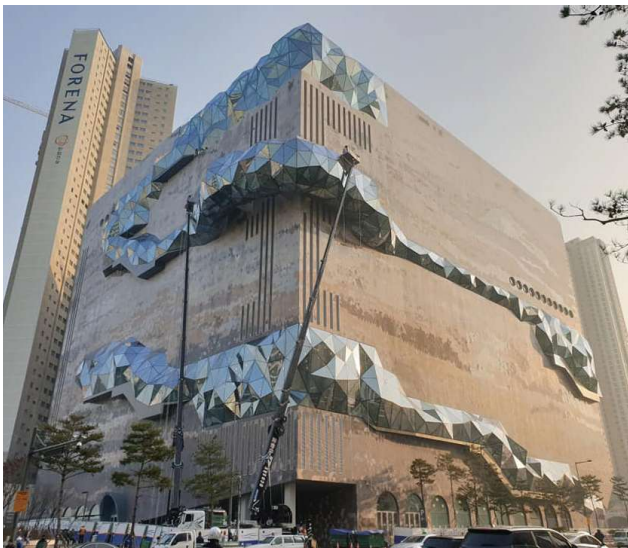


그림 7. 광고 갤러리아 백화점 파사드 비정형 커튼월 혁신 사례

해당 디자인의 비정형 커튼월 시공을 위해서는 각기 다른 모양의 노드가 필요하다. 수백 개의 노드가 각기 다른 형상으로 설계되어 있어 기존 방식으로는 생산이 불가능하다. 형상이 각기 다른 수백 개의 노드를 절삭가공이나 목금형 주조 방식으로 제조하는 것은 공사기간 내에는 불가능하다. 하지만, 샌드 3D 프린팅 몰드를 이용할 경우에는 아무런 제약이 없다. 3D 프린팅 기반 주조 방식이 유일한 해법이었으며, 샌드 3D 프린팅 몰드를 통해 수백 개의 노드 주조품을 제작하여 건축 디자인 원안대로 시공이 될 수 있었다.



그림 8. 비정형 커튼월 노드 샌드 프린팅 몰드 및 주조품

## 화장품 분야 혁신

화장품 분야에서도 3D 프린팅 기술이 빠르게 확산 적용되고 있다. 이전까지 개인 맞춤형 마스크 팩 등 일부 제품에만 시험적으로 3D 프린팅이 활용되었지만, 이제는 대량 생산되는 화장품에도 본격적으로 적용되고 있다.

화장품 ODM 제조전문기업 한국콜마는 고점성 에센스 속에 고기능성 크림을 특수 노즐을 이용하여 정밀하게 쌓아 원하는 디자인을 구현할 수 있는 3D 프린팅 화장품을 발표했다. 이는 한국콜마와 삼영기계가 협력하여 3년간의 연구 끝에 개발한 제품으로, 두 가지 제형을 통한 화장품의 기능성뿐만 아니라 꽃이나 패턴, 로고 등의 자유로운 디자인을 통해 소비자들의 취향까지 만족시킨다.



그림 9. 한국콜마가 발표한 3D 프린팅 화장품

## 게임, 콘텐츠 분야 혁신

3D그래픽 디자인이 기본인 게임이나 콘텐츠 시장은 바로 3D 프린팅

과 연결될 수 있다. 주로 온라인에서 전개되는 속성이 강하지만, 최근에는 온오프라인 연계 행사 및 마케팅 활동을 강화하는 추세이다. 넥슨은 신규 게임을 런칭하면서 메인 캐릭터를 1:1 스케일로 3D 프린팅하여 홍보에 활용한 바 있다.



그림 10. 넥슨 NDC Art Exhibition에 전시된 듀랑고 K 1:1 등신대(높이 180cm, 샌드 3D 프린팅)

### 문화예술 분야 혁신

문화예술 분야에서도 점차 3D 프린터를 활용한 작품들이 빠르게 증가하고 있다. 삼영기계도 많은 작가 및 업체와의 협업으로 다양한 작품을 제작하였다. 일례로 영신특수강과의 협력을 통해 에밀레종 형상에 한글을 융합 디자인한 작품을 제작한 바 있다. 이 디자인은 3D 프린팅만으로 제작이 가능한 형상으로, 샌드 3D 프린팅 몰드에 주강 재질을 주조하여 완성하였다. GIFA 2019 영신특수강 부스에 전시되어 혁신성에 대한 좋은 반응을 얻었다고 한다.



그림 11. 영신특수강 조형물 및 일체형 샌드 3D 프린팅 몰드

### 문화재 복원 분야

문화재 분야 중 특히 복원 분야에 많은 기술이 적용되고 있으며, 3D 프린팅 기술 또한 활용도가 높아지고 있다. 문화재를 재질 관점에서 보면, 금속 구조품이나 석재, 목재 등이 있는데, 금속 구조품의 경우에는

샌드 3D 프린팅 몰드를 통한 구조품 제작이 가능하고, 석재는 표면 질감이 거의 흡사한 샌드 3D 프린팅 출력물 자체를 강도 강화 및 표면 후처리를 거쳐 제작할 수 있다. <그림 12>는 공주대에서 한양도성 성돌 복원을 샌드 3D 프린팅 출력물을 이용하여 진행했던 결과물이다.



그림 12. 공주대에서 진행한 한양도성 성돌 복원(샌드 3D 프린팅 출력물)

### 맺음말

앞서 설명한 바와 같이 현재 시제품뿐만 아니라 양산품 생산에도 3D 프린팅이 적용되고 있으며, 건축, 화장품, 게임, 콘텐츠, 문화예술, 문화재 복원 등 다양한 분야에서 3D 프린팅이 적용되고 있다. 3D 프린팅은 문제 해결을 위한 수단이자 범용 틀임을 인식하고, 각 산업에서의 난제들을 3D 프린팅 기술로 해결해줄 수 있을 때 비로소 해당 분야의 혁신을 이끌어낼 수 있을 것이다.