

샌드 3D 프린팅 코어 및 몰드의 기계적 성질에 대한 고찰

A Study on the mechanical properties of the sand 3d printing core and mold



삼영기계(주)

박주민, 심예원, 김용수, 한국현

I. 배경

우리나라 제조산업은 조선, 자동차 부품 등 다양한 산업이 발전하는 데 꼭 필요한 뿌리산업으로 성장해왔다. 하지만 열악한 작업환경, 숙련된 인력 부족, 환경오염물질 배출, 높은 에너지 소비량 등으로 인해 어려움을 겪고 있다. 이러한 점들로 인해 기존 제조산업 시설의 부정적인 사회인식이 심어져 있는데, 이를 탈피하기 위해 최근 제조산업의 첨단화를 위한 공정 기술 중 하나로 샌드 3D 프린팅이 각광을 받고 있다. 샌드 3D 프린팅은 모래를 100~200um 두께로 적층한 후, 형상에 해당하는 부분에 바인더를 분사하여 경화시키는 3DP 방식으로 구현된다. 모래 적층과 바인더 분사 과정을 반복하여 제품 높이까지 쌓아 올리면 원하는 형상의 코어나 몰드가 완성된다. 3D 프린터의 특징을 활용하여 몰드의 분할 파트를 줄여 하나로 병합함으로써 합형 시 발생할 수 있는 휴면여러를 감소시며, 효율적인 구조를 구현할 수 있는 일체형 구조 설계가 가능하다. 이처럼 샌드 3D 프린팅 기술은 기존의 목공형 기반 주조 방식과는 개념이 많이 다르다. 그렇기 때문에 기존의 주조 공정에 접목시키기 위해서는 샌드 3D 프린팅 코어 및 몰드의 기계적 성질을 먼저 명확히 알아야 하지만 실측 데이터가 없는 상황이다. 본 포스터에서는 3DP 방식으로 물성 측정에 적합한 형상의 시편을 프린팅하여 굽힘 파단 강도, 인장 강도 및 압축 파단 강도를 측정하였다. 측정 결과를 토대로 기존 제작 방식의 몰딩 과정 대비 3DP 방식의 차이점을 비교 분석하였다.

II. 재료 및 실험방법

1. 연구재료

이번 실험에서는 평균입도가 0.14mm인 3D 프린터용 Silica Sand (GS14RP, Strobel, 독일)를 이용하여 Binder Jetting 방식의 S-Max Industrial Production 3D Printer (Exone, 독일)로 시편을 제작하였다. Binder Jetting 방식이란, 액체의 Binder, 즉 결합제를 프린팅 할 지역에 선택적으로 분사하여 파우더 입자와 결합되어 형상을 만드는 방식의 Additive Manufacturing Process이다. Binder Jetting 방식을 활용하는 대표적인 3D프린터 업체는 Exone, Voxeljet, Stratasys가 있다. 프린팅 과정에서 모래들을 결합시키기 위해 사용하는 결합제로는 자경성(No-bake) 유기바인더인 Furan Binder (Exone, 독일)를 사용하였으며, 약 1.65% 첨가하였다. 경화제는 0.19% (Exone, 독일)를 첨가하여 시편을 제작하였다.

2. 실험방법

현재 샌드 3D 프린팅 소재에 대한 표준 규격이 부재하므로, 3D 프린팅 분야에서 현재 적용되고 있는 규격이나 기존에 주조 분야에서 통용되는 측정 방식을 그대로 활용하거나 이와 최대한 비슷한 방법으로 실험한다. 그래서 3점 굽힘 파단강도, 인장강도, 압축강도 3가지 역학 시험이 3D 프린팅 소재의 기계적 성질의 특징을 잘 나타낼 수 있을 것으로 예측하여 시험을 진행하였다.

1) 3점 굽힘 파단 강도 측정

취성재료의 경우 압축 응력에는 강한 반면 인장 응력에는 약하므로, 이러한 재료를 응용할 때 문제가 되는 것은 인장 응력에 대한 저항이다. 인장 응력에 대한 저항성은 인장강도를 측정하여 구할 수 있으나, 시편 가공비가 많이 들고 또 시험을 할 때 하중선을 일치시키기 어렵다는 단점이 있다. 이러한 단점으로 인하여 인장강도는 특별한 경우를 제외하고는 거의 측정되지 않고 있다. 이에 비하여 굽힘 시험은 인장 응력에 대한 저항성을 평가할 수 있으면서도 시편의 모양이 간단하여 가공비가 저렴하고 시험도 용이하다는 장점을 가지고 있다. 이에 따라 대부분의 경우 굽힘 강도를 측정하여 인장응력에 대한 저항성을 평가할 수 있다. 이러한 취성재료의 굽힘강도 특징을 고려함과 동시에 현재 사용중인 3D 프린팅 제조회사(Exone)에서 품질 측정용으로 제시하는 방법인 3점 굽힘 파단 강도를 측정하였다.

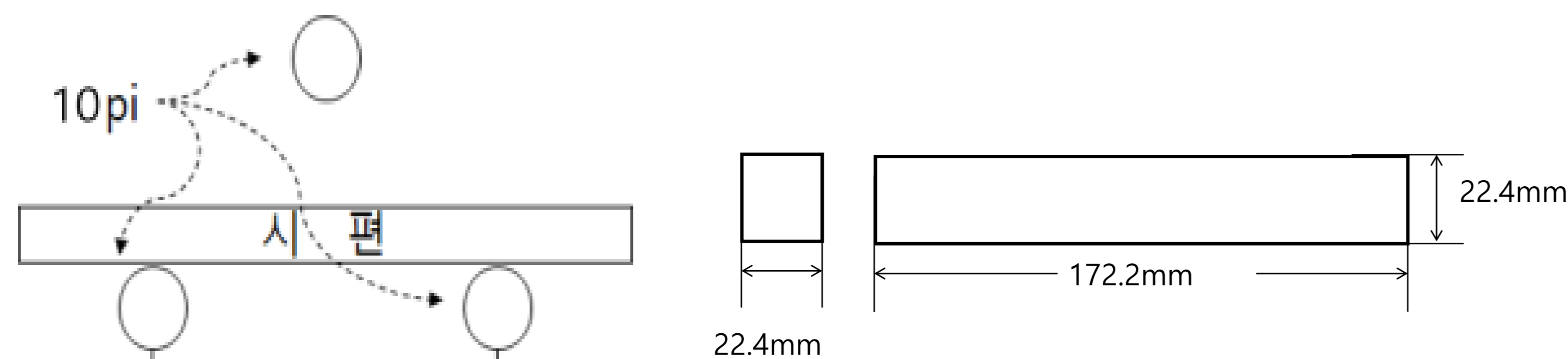


Figure 1. 3점 굽힘 파단 강도 시험 방법

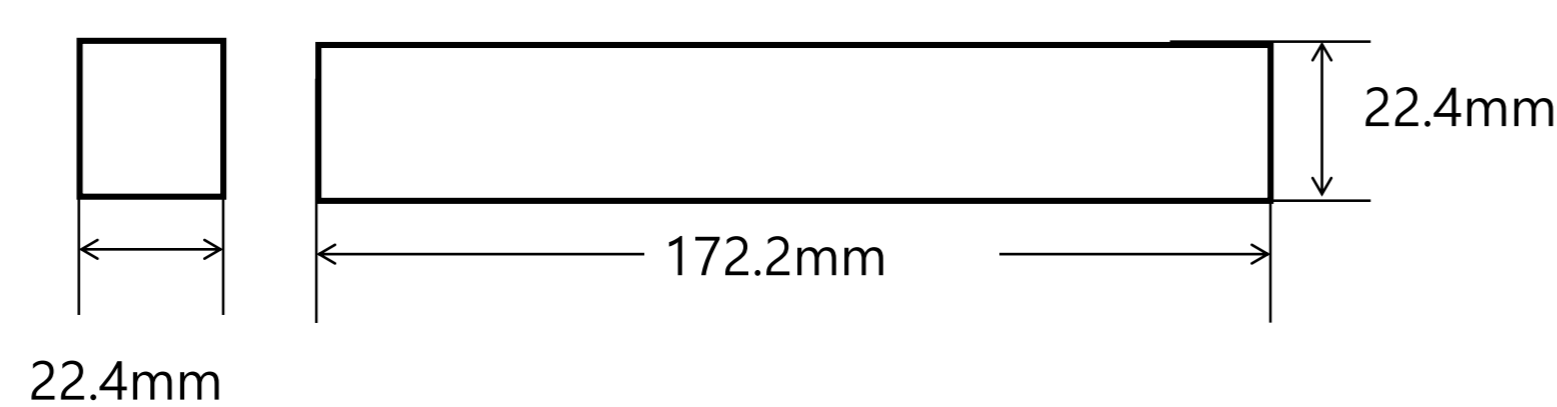


Figure 2. 3점 굽힘 파단 강도 시험체

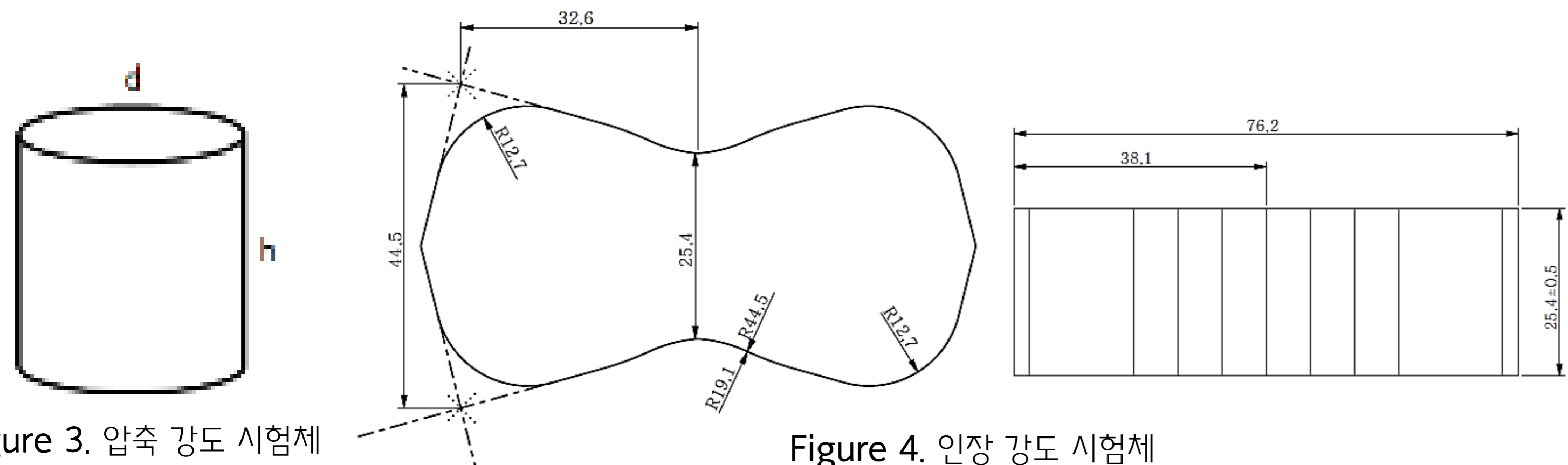


Figure 3. 압축 강도 시험체

Figure 4. 인장 강도 시험체

2) 인장 강도 측정

현재 샌드 몰드와 같이 취성이 큰 재료는 인장강도를 측정하지 않는다. 그러나 바인더의 결합력 측정과 더불어 3D 프린팅의 경우 주조 산업 이외의 다른 방안으로도 활용될 수 있으므로 인장강도를 측정하였다. AFS(American Foundrymen's Society)의 baked 또는 cured core 인장강도 측정 방법인 3342-00 과 유사한 KS L 5104(수경성 시멘트 모르타르 인장강도 시험법)을 활용하여 dog bone 시편을 제작하였다.

3) 압축 강도 측정

압축강도를 측정하기 위해 주조 산업에서 전반적으로 사용되는 시편 치수인 50*50의 원기둥 모양을 프린팅해 제작하였다. 압축강도를 측정하는 이유는 몰드를 운반하거나 열발할 때 깨어지지 않을 정도의 강도가 필요하며, 용탕의 정압과 동압을 견딜 수 있는 내구강도가 필요하기 때문이다.

III. 결과

1) 3점 굽힘 파단 강도

sample	1	2	3	4	5
강도(Mpa)	3.8	3.36	3.21	3.65	3.83
평균: 3.57Mpa					

2) 인장강도

sample	1	2	3	4	5
강도(Mpa)	1.1	1.2	1.2	1	1.1
평균: 1.12Mpa					

3) 압축강도

sample	1	2	3	4	5
강도(Mpa)	7.77	8.44	7.99	8.14	8.33
평균: 8.13Mpa					

현재 압축강도의 경우, 자사 기준은 3.9~5.8Mpa (40~60kgf/cm²) 이상이며, 샌드 3D 프린터로 출력하였을 때, 이 기준을 충족한다.

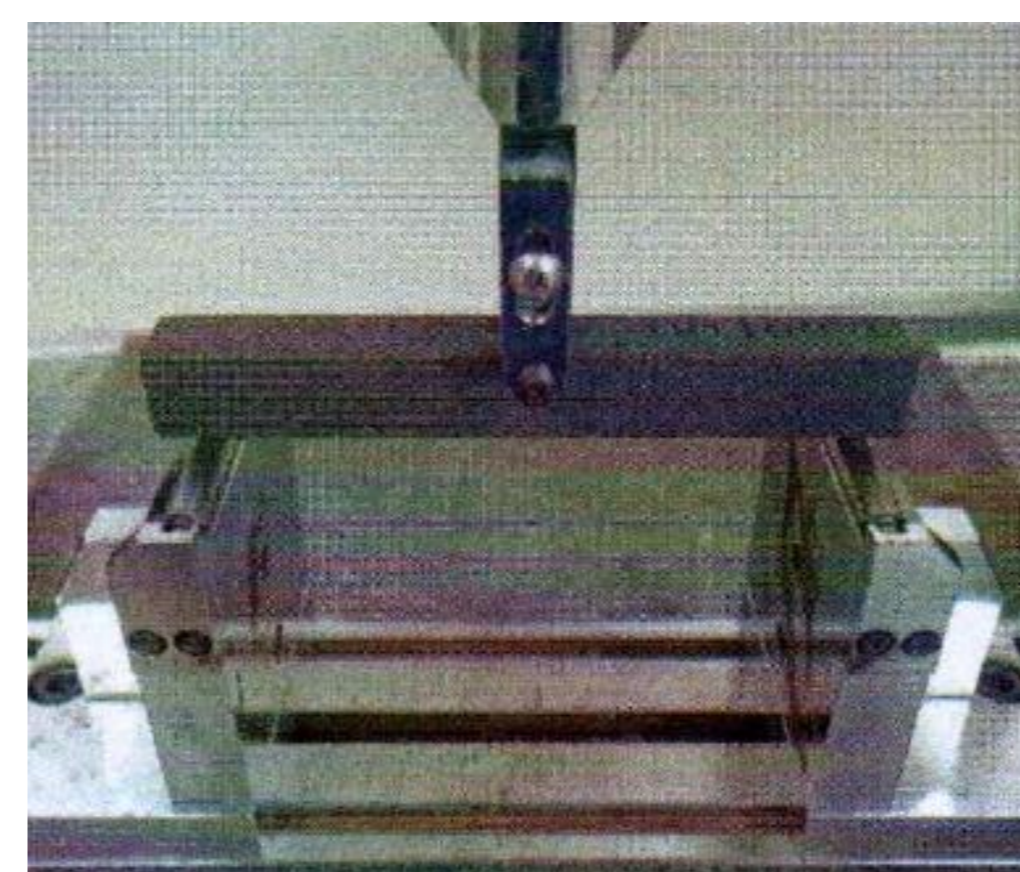


Figure 5. 3점 굽힘 강도 시험 모습

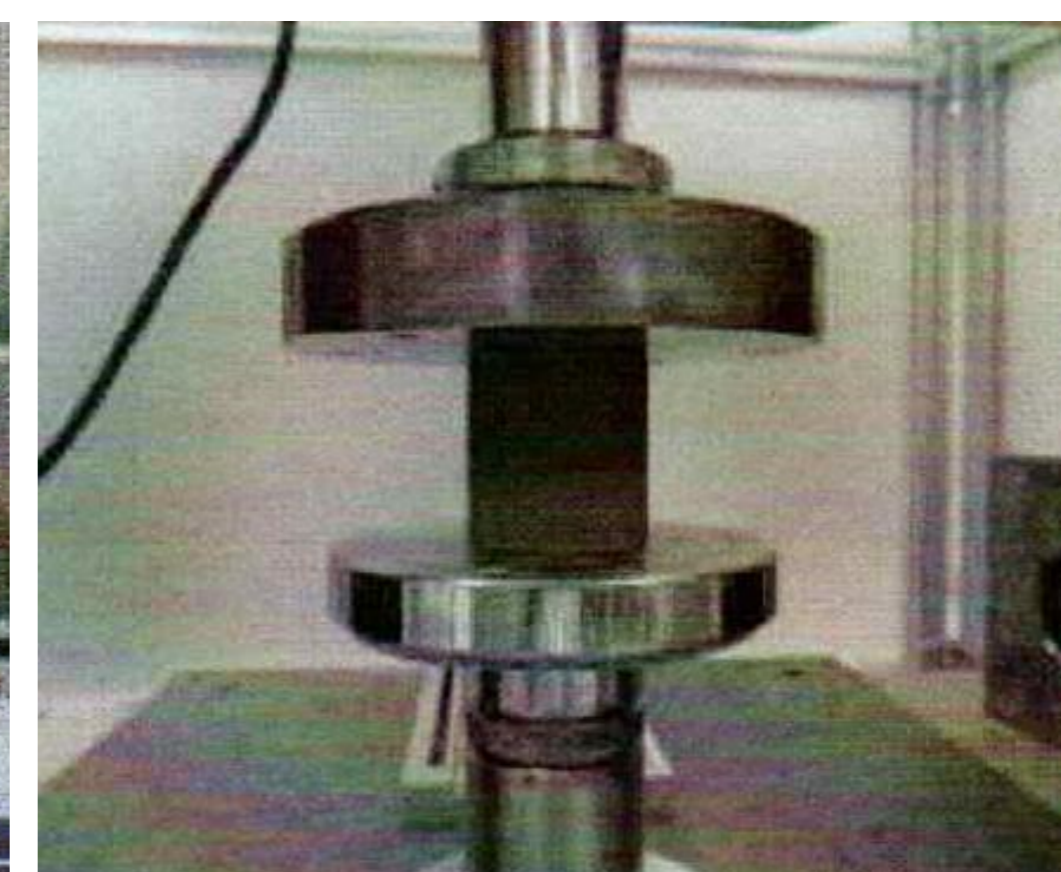


Figure 6. 압축 강도 시험 모습



Figure 7. 인장 강도 시험 완료 후 시험체 모습

IV. 결론

기존의 조형방법을 대신하여 샌드 3D 프린팅으로 사형 코어 및 몰드를 제작했을 때, 제품이 갖는 기계적 성질을 알아보기 위해 3점 굽힘 강도, 인장강도, 압축강도를 시험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 3점 굽힘 파단 강도의 경우 프린터 제조업체에서 제시하는 품질기준인 1.8Mpa (40~60kgf/cm²) 이상을 충족했다.

2) 인장강도의 경우 일반 No-bake 바인더를 사용한 몰드의 인장강도의 경우 약 0.5Mpa이 나오는데 비해 2배가 높은 1Mpa이 측정되었다.

1), 2)의 측정 결과는 모래 알갱이 사이를 붙여주는 바인더의 접착능력이 좋다는 것과 모래 알갱이 사이를 바인더가 침투하여 시험체 내에 빈공간이 적다는 것을 유추할 수 있다.

3) 자사의 주조공장에서 사용하는 압축강도의 기준보다 높은 압축강도가 측정되었다. 이러한 차이가 나는 이유는 3가지로 유추할 수 있다. 첫째, 신사와 재생사의 비율이다. 샌드 3D 프린터의 특성 상 job-box(프린팅 되는 공간)에 얇게 모래를 깔아야 한다. 그러나 3D 프린터가 1 layer의 모래를 깔 때, 재생사가 고르게 분쇄되지 않으면 이 부분에서 문제가 발생하게 되므로 재생사를 최소로 사용하기 때문에 신사의 비율이 높다. 둘째, 샌드 3D 프린터의 경우 프린팅 공간을 25℃, 습도 50%를 유지해야 성능이 잘 나타난다. 자경성 수지인 FURAN 바인더의 경우 계절과 습도에 민감하게 반응하기 때문에 이러한 프린터의 생산 환경은 몰드의 특성을 제어하고 발현하는데 용이하다. 셋째, 3D 프린터 전용 바인더의 사용이다. 0.0635mm의 미세한 노즐을 4000개 이상 지니고 있는 프린터 헤드에서 소량의 바인더 정확한 지점에 분사되어야 하므로, 이에 적합한 물성을 지닌 바인더를 사용해야 장비사용 중 노즐 막힘 등의 문제가 발생하지 않으며, 양질의 출력물 품질을 얻을 수 있다. 특히 기존 주조공장에서 사용하는 바인더의 성질 및 특성이 3D프린터 전용 바인더가 더 뛰어나기 때문에 프린팅 시 케미컬 사용량을 감소시켜 원가절감 등의 효과를 얻을 수 있다.

이러한 물성적으로 뒤쳐지지 않음에도 불구하고 샌드 3D 프린터 장비 및 유지비용이 고가이며, 샌드 3D 프린터 전용 모래 및 바인더 등의 케미컬을 사용하는 단점이 있다. 하지만 기존방식과 달리 목공형이 필요없어 제작 시간을 단축할 수 있고, 복잡도가 높은 형상의 몰드 및 코어를 제작할 수 있다. 또한, 몰드 조형 시 휴면 여러가 발생하지 않으므로 생산성을 높일 수 있으며, 주조품 품질을 향상시킬 수 있다. 이러한 장점으로 인해 현재 다품종 소량생산 및 쾌속조형(RP, Rapid Prototype)분야에서 활발히 사용되고 있다.

REFERENCE

- Kip Woods, "Sand distribution effect on three dimensional printed sand properties", Electronic theses and Dissertations.
- Dean Snelling, Heather Blount, Charles Forman, Kelly Ramsburg, Andrew Wentzel, Christopher Williams, Alan Druschitz, "The Effects of 3d printed molds on metal castings" [Online]. Available: <http://sffsymposium.engr.utexas.edu/Manuscripts/2013/2013-66-Snelling.pdf>
- 조성재, 윤경진, "역학 특성평가 기술 및 그 표준화 현황", 세라미스트 2001년 6월
- Exone 홈페이지 <http://www.exone.com>
- "중소·중견기업 기술로드맵 2017-2019 생산기반", 중소기업기술정보진흥원