

대한건축학회 기술표준  
STANDARD of Architectural Institute of Korea

# 갠트리형 3D콘크리트 프린팅 시공 지침

Construction Guidelines for Gantry Type 3D Concrete Printing

2019.12



AIK-G-013-2019

# 갠트리형 3D 콘크리트 프린팅 시공 지침

Construction Guidelines for Gantry Type 3D Concrete Printing

2019. 12.



## 집필위원 명단

구분	성명	소속	직위
(위원장)	조창빈	한국건설기술연구원	연구위원
(부위원장)	홍성걸	서울대학교	교수
(위원)	주기범	한국건설기술연구원	선임연구위원
	이정우	한국건설기술연구원	수석연구원
	이호재	한국건설기술연구원	전임연구원
	서명배	한국건설기술연구원	수석연구원
	박형진	한국건설기술연구원	수석연구원
	양인환	군산대학교	교수
	백효선	(주)제이에이치건설	이사



심의위원 명단

	성명	소속	직위
(위원장)	최창식	한양대학교 건축공학부	교수
(부위원장)	이기학	세종대학교 건축공학부	교수
(위원)	홍건호	호서대학교 건축토목공학부	교수
	오상근	서울기술대학교 건축학부	교수
	강주원	영남대학교 건축학부	교수
	강수민	승실대학교 건축학부	교수
	김남희	서울대학교 건축학과	객원교수

제정자 : 대한건축학회회장  
제 정 : 2019년 12월 30일  
개 정 :  
고 시 : 제2019-13호  
심 의 : 대한건축학회 건축기준센터 기술표준심의위원회  
비 고 :

본 기준 또는 표준에 대한 문의는 대한건축학회 건축기준센터로 하실 수 있습니다.



# 갠트리형 3D 콘크리트 프린팅 시공 지침

## 차 례

제1장 일반사항	1
제2장 재료	3
제3장 시공	7



## 제1장 일반사항

### 1.1 목적

「갠트리형 3D 콘크리트 프린팅 시공지침」(이하 “지침”이라 한다)은 갠트리형 3D 콘크리트 프린터를 사용한 적층식 콘크리트 구조물 시공에 있어서 필요한 요건과 기준을 제공하기 위한 목적으로 작성되었다.

### 1.2 적용범위

이 지침은 갠트리형 3D 콘크리트 프린터를 사용하여 시공되는 적층식 콘크리트 구조물에 전부 또는 부분적으로 적용할 수 있다.

### 1.3 공통사항

이 지침에서는 갠트리형 3D 콘크리트 프린팅을 이용한 적층식 콘크리트 구조물 시공에 필요한 콘크리트재료, 프린팅 기계 설치 및 시공에 대해서 요건과 기준을 제시한다.

이 지침에서 규정하지 않은 사항은 건축공사 표준시방서(KCS 41 00 00)을 따른다.

이 지침은 국제 및 국가 표준의 재개정, 관련 기술의 발전 및 주변 환경의 변화에 따라 개정될 수 있다.

이 지침의 개정은 버전에 의하여 관리된다.

### 1.4 참고기준

- KS B 5533 압축 시험기
- KS F 2401 굳지 않은 콘크리트의 시료 채취방법
- KS F 2403 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법
- KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험방법
- KS F 2408 콘크리트의 휨 강도 시험방법
- KS F 2423 콘크리트의 쪼갬 인장강도 시험방법
- KS F 2425 시험실에서 콘크리트 시료를 만드는 방법
- KS F 2527 콘크리트용 골재
- KS F 2566 강섬유 보강 콘크리트의 휨성능 시험방법
- KS F 2567 콘크리트용 실리카 폼
- KS L 5105 수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법
- KS L 5111 수경성 시멘트 시험용 플로 테이블
- KS L 5201 포틀랜드 시멘트
- KS L 5405 플라이애시
- KRCCS 67 90 09 설비공사 일반
- KCS 11 20 00 토공사
- KCS 14 20 10 일반콘크리트



KCS 14 20 51 슷크리트

KCS 41 46 01 미장공사일반

## 1.5 용어정의

- 1) "작업책임자"라 함은 작업계획서를 작성하는 사업주가 지정한 자를 의미한다.
- 2) "복합재료"라 함은 3D 프린팅용 콘크리트 복합재료를 의미한다.
- 3) "성능점검용 모델"이라 함은 설계에서 요구하는 3D 콘크리트 프린터의 성능을 확보하기 위해서 사전에 제작하는 성능검증용 간단한 출력물 모델을 의미한다.
- 4) "3D 콘크리트 프린팅 시스템"이라 함은 믹서, 압송장치, 배송관, 노즐 및 3D 콘크리트 프린터를 포함한 시스템을 의미한다.
- 5) "최대지연시간"이라 함은 3D 콘크리트 프린팅 시스템이 한 층을 출력 한 후 다음 층을 출력할 때, 이미 출력된 층과 새로 출력되는 층사이에 시공조인트가 발생하지 않는 최대 시간을 의미한다.



## 제2장 재료

### 2.1 배합 및 이송 준비

#### 2.1.1 일반사항

배합 및 품질관리를 위해 작업책임자를 선임하여야 하며, 작업책임자는 배합 준비부터 성능평가, 보고서에 이르는 전반적인 사항을 관리 감독하여야 한다.

#### 2.1.2 자재

3D 콘크리트 프린팅용 배합을 위한 자재의 구비조건은 다음과 같다.

##### 1) 3D 프린팅용 복합재료

복합재료는 KS L 5201에 규정하는 1종 보통시멘트, KS L 5405에 규정하는 플라이애시 2종, KS F 2567에 규정하는 실리카 폼, KS F 2527에 규정하는 콘크리트용 굵은골재 및 잔골재, 유·무기·강섬유가 포함되며, 과제에서 개발한 배합비로 제작한 제품을 사용한다.

복합재료의 배합에 사용될 물량을 배합 전에 계획하여, 작업책임자와 협의 하에 조달계획을 세워야 한다.

##### 2) 배합수

배합수는 응결 및 강도에 악영향을 미치지 않고 불순물을 포함하지 않아야 한다. 수돗물을 사용 시 별도의 시험을 하지 않고 사용할 수 있다. 다만 작업책임자의 의견에 따라 수돗물이 수도법의 품질 기준에 적합한지 검토할 수 있다.

##### 3) 혼화제

혼화제의 범위는 폴리카르복실레이트계 고성능감수제, 수축저감제, 점도조절제, 응결시간조절제를 포함하며 연구단에서 개발하여 생산한 제품 또는 성능이 검증된 제품을 사용한다.

#### 2.1.3 배합비

배합비는 시공환경, 시공조건에 따라 작업책임자와의 협의를 통해 결정해야 한다.

#### 2.1.4 장비

배합 및 이송을 위한 장비의 구비조건은 다음과 같다

##### 1) 믹서

믹서의 용량은 배합시간(가수(加水) 후 최소 5분 - 최대 10분), 몰탈이송장치의 재료이송속도를 고려하여 결정하여야 하며, 재료의 균질한 교반이 가능한 성능의 제품으로 결정하여야 한다.

##### 2) 급수장치

급수장치는 배합비에 따라 결정된 배합수량을 정량적으로 공급해야 한다. 급수장치의 성능은 교반 시작시간으로부터 3분 이내 가수가 완료되어야 하며, 계량오차  $\pm 0.5\%$  이내로 공급이 가능해야 한다.



### 3) 액상형 혼화제 공급장치

액상형 혼화제 공급장치는 배합비에 따라 결정된 액상형 혼화제량을 정량적으로 공급해야 한다. 액상형 혼화제 공급장치의 성능은 교반 시작시간으로부터 3분 이내 공급이 완료되어야 하며, 계량오차  $\pm 0.5\%$  이내로 공급이 가능해야 한다.

### 4) 물탈이송장치

물탈이송장치는 믹서로부터 교반된 재료를 공급받아 3D 프린터의 압출장치(또는 노즐)까지 정량적으로 정속이송이 가능해야 한다. 별도의 압출장치가 없는 경우, 이송과정 중에 맥동(脈動, Pulsatory motion)이 발생하지 않아야 한다. 물탈이송장치의 성능은 이송거리, 이송고, 호스직경을 고려하여 작업책임자와 협의하여 결정하여야 한다.

## 2.1.5 전력공급계획

배합 및 이송 전 사용되는 장비의 최대 전력사용량을 고려하여 작업책임자와 협의를 통해 전력공급계획을 마련하여야 한다.

## 2.2 시공물성

### 2.2.1 시공물성 일반사항

3D 프린팅용 콘크리트 복합재료의 시공물성은 시공성능, 유변학적 성능을 포함하며, 재료의 최종압출지점에서 적층성을 만족시켜야 한다.

### 2.2.2 시공성능

시공물성을 확보를 위한 시공성능의 구비조건은 다음과 같다

#### 1) 시공성능 평가방법

시공성능의 평가방법은 KS L 5111에 규정한 수경성 시멘트 시험용 플로 테이블을 이용하여 30초간 25회 타격한 후 재료의 퍼짐정도를 버니어캘리퍼스(또는 mm단위 측정이 가능한 자)로 120도 각도별 3회 측정하여 그 평균값을 사용한다.

#### 2) 시공성능 기준

시공성능의 평가방법은 2.2.2 1)에 따라 평가한 결과가 최소 110 mm - 최대 130 mm를 범위에 포함되어야 하며, 본 범위를 벗어날 경우, 시공 전 작업책임자와 충분한 협의 후 시공해야 한다. 작업책임자는 시공시간 등을 고려하여, 시공성능 기준을 제시할 수 있다.

### 2.2.3 유변학적 성능

시공물성을 위한 유변학적 성능에 대한 검토는 작업책임자의 의견에 따라 생략할 수 있다.



## 2.3 역학적 성능

### 2.3.1 압축강도

역학적 성능확보를 위한 압축강도의 구비조건은 다음과 같다.

#### 1) 설계기준강도

설계기준강도는  $f_{ck}$ 로 표기하며, 재령 28일 압축강도 60 MPa를 기준으로 한다. 시험체의 제작 및 측정방법은 본 지침 2.3.1 2)의 압축강도용 시험체 제작방법과 2.3.1 3)의 압축강도 측정에 따른다.

#### 2) 압축강도용 시험체 제작방법

##### (1) 공시체의 치수

공시체는 지름의 2배 높이를 가진 원기둥형으로 한다. 그 지름은 강섬유 길이의 3배 또는 100mm 이상으로 한다. 일반적으로 공시체의 지름은 100mm, 길이는 200mm를 사용한다.

##### (2) 몰드

- ① 몰드는 비흡수성으로 시멘트에 침식되지 않는 재료로 만들어야 한다.
- ② 몰드는 공시체를 제작할 때 변형 및 누수가 없어야 한다.
- ③ 몰드의 내면에는 복합재료를 타설하기 전에 광물성 기름 또는 박리제 등을 도포해야 한다.

##### (3) 공시체 제작

- ① 복합재료 타설 시 갇힌 공기가 발생하지 않도록 윗면까지 천천히 연속적으로 채운다.
- ② 갇힌 기포 제거를 위해 고무망치로 몰드를 가볍게 두드리는 것이 좋다.

##### (4) 공시체의 윗면 다듬질

공시체의 윗면 다듬질은 KS F 2403의 연마에 의한 경우에 따라 실시한다.

#### 3) 압축강도 측정

KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험방법을 따른다.

### 2.3.2 부착강도

#### 1) 직접인장부착강도

KS F 2423 콘크리트의 쪼갬 인장강도 시험방법을 따른다.

### 2.3.4 휨강도

#### 1) 휨강도용 시험체 제작방법

##### (1) 공시체의 치수

공시체는 단면이 정사각형인 각주로 하고, 그 한 변의 길이는 100mm 이상으로 하고, 공시체의 길이는 단면의 한 변 길이의 3배보다 80mm 이상 긴 것으로 한다. 일반적으로 공시체는 100×100×400mm를 사용한다.

##### (2) 공시체의 제작

몰드는 수평으로 설치하고, 타설은 몰드의 길이방향으로 복합재료 내부에 갇힌 공기가 발생하지 않도록 윗면까지 천천히 연속적으로 채운다. 타설범위는 최대 휨모멘트 구간을 고려하여 몰드의 단부로부터  $L/4$ ( $L$  : 공시체 길이) 이내로 한다. 타설할 때 합류부가 최대 휨모멘트 구간에 해당하면 취약부가 되므로 몰드의 양단에서 타설하지 않도록 한다. 다짐방법은 2.3.1. 2)의 압축강도 공시체 제작방법과 동일하다.



## 2) 휨강도 측정

KS F 2408 콘크리트 휨강도 시험방법을 따른다.

**2.4 양생방법**

## 2.4.1 일반사항

복합재료는 타설한 후 소요기간까지 경화에 필요한 온도, 습도조건을 유지하며, 유해한 작용의 영향을 받지 않도록 충분히 양생하여야 한다. 구체적인 방법이나 필요한 일수는 각각 해당하는 조항에 따라 구조물의 종류, 시공 조건, 입지조건, 환경조건 등 각각의 상황에 따라 정하여야 한다.

## 2.4.2 세부사항

## 1) 기중양생

KCS 14 20 10(3.4)(일반콘크리트 표준시방서)에 따른다.

## 2) 습윤양생

KCS 14 20 10(3.4)(일반콘크리트 표준시방서)에 따른다.

## 3) 피막양생

KCS 14 20 10(3.4)(일반콘크리트 표준시방서)에 따른다.



## 제3장 시공

이 장은 갠트리형 3D 콘크리트 프린터를 이용하여 시멘트 계열의 재료를 적층하는 방식으로 건설 시설물을 시공하는 방법에 대한 사항을 규정한 것이다. 시공을 위해 사용되는 시설물의 원활한 제작과 최종 목적물의 완성도를 높이기 위한 사전 작업 공정 및 완료 후 시설물의 보양 및 최종 완성을 위한 후처리 작업에 적용한다.

### 3.1 전처리 작업

#### 3.1.1 일반사항

- 1) 전처리 작업은 3D 콘크리트 프린팅을 위한 기초 시공 단계를 의미한다.
- 2) 기초는 시설물의 용도, 출력장비 규모, 기초에 재하되는 고정하중 및 활하중 등을 고려하여 기초 시설규모 및 재료를 결정한다.
- 3) 다만 장비가 설치되는 부분에 대해서는 기초 상부면의 시공 오차는 장비 설치 및 운영 시 문제가 없도록 정밀시공 한다.
- 4) 기초시공은 토목 및 건축 관련 시방기준에 따라 시공을 실시한다.
- 5) 기초 설치관련 설계도서를 사전에 검토하여야 하며 지지력의 확보여부를 기초 콘크리트 타설 전 확인하여야 한다.

#### 3.1.2 기초공사

- 1) 토공사는 KCS 11 20 00(토공사)를 따른다.
- 2) 콘크리트공사는 KCS 14 20 10(일반콘크리트)를 따른다.

#### 3.1.3 배합시설 부지 및 기타 지원시설

- 1) 3D 콘크리트 프린터 사용을 위해서는 현장 배합이 필요하다.
- 2) 이에 따라 현장 배합을 위한 전처리 작업에서 시설규모 등을 고려하여 현장 내 부지조성이 완료되어야 한다.
- 3) 배합 및 3D 콘크리트 프린터 장비 운영을 위해서는 주기적인 청소, 전기시설, 수도시설, 비가림 시설 등이 필요하다.

### 3.2 3D 콘크리트 프린터 설치

#### 3.2.1 일반사항

- 1) 3D 콘크리트 프린터 설치의 작업계획서를 작성하고 이에 따라 작업을 수행한다.
  - 3D 프린터의 종류 및 형식
  - 설치, 조립 및 해체순서
  - 작업도구, 장비, 가설설비 및 방호설비
  - 작업인원의 구성 및 작업근로자의 역할범위
- 2) 작업책임자는 작업인원의 구성 및 작업근로자의 역할범위에 따른 작업을 지휘감독하며, 이때 작업책임자는 작업근로자의 자격여부를 확인하고 안전교육을 실시해야 한다.



- 3) 눈, 비 등 그 밖의 기상상태의 불안정으로 인하여 날씨가 몹시 나쁠 때에는 작업을 중단한다.
- 4) 작업장소는 안전한 작업이 이루어 질 수 있도록 충분한 공간을 확보하고 장애물이 없도록 한다.
- 5) 3D 프린터의 사용조건에 따라 기초를 설치하고 침하 등이 발생하지 않도록 한다.

### 3.2.2 3D 콘크리트 프린터의 설치

- 1) 3D 콘크리트 프린터의 설치 는 제작회사에서 제공하는 설치지침을 따르는 것을 원칙으로 하되, 설치지침이 없는 경우는 2) 항을 참고한다.
- 2) 3D 콘크리트 프린터 설치(제작회사 설치지침이 없는 경우)
  - 3D 콘크리트 프린터를 설치하기 위해 기초에 앵커를 설치한다.
  - 갠트리 프레임 을 조립 순서에 맞게 설치하고 시공 시 요구되는 작동 요건을 만족하는지 여부를 점검한다.
  - 갠트리 프레임에 부착될 이동식 모듈을 설치하고 시공 시 요구되는 작동 요건을 만족하는지 여부를 점검한다.
  - 이동식 모듈에 필요한 기어박스를 설치한다.
  - 갠트리 프레임 을 제어할 제어부를 설치한다.
  - 이동식 모듈의 단부 혹은 필요한 위치에 배합 이송용 파이프 및 노즐을 설치한다.
  - 배합을 투입하지 않은 상태에서 조립된 3D 콘크리트 프린터의 동작은 시운전을 통해 점검한다.
  - 배합을 투입하고 성능점검용 모델의 시험 출력을 통해 3D 콘크리트 프린터의 준비상태를 점검한다.
- 3) 1) 혹은 2)에 따라 설치된 3D 콘크리트 프린터 설치 및 준비 상태의 적합 여부는 작업책임자가 최종적으로 판단한다.

## 3.3 3D 콘크리트 프린팅

### 3.3.1 사전계획

- 1) 3D 콘크리트 프린터 시스템 성능을 고려하여 출력 대상 설계를 검토하고 수립하여야 한다.
- 2) 출력 계획에는 장비의 배송, 설치, 출력, 마무리 등 모든 절차가 포함되어야 한다.
- 3) 출력 구조물이 설치될 방향이나 위치를 고려하여 사전위치표시와 이에 따라 3D 콘크리트 프린터 위치를 결정한다.
- 4) 이때, 3D 콘크리트 프린터뿐만 아니라 재료저장, 믹서, 압송장치 등의 위치도 고려해야 한다.
- 5) 출력과정에서 발생할 수 있는 배합/배송 지연으로 인한 출력 중단 등 예상되는 상황을 고려하여 수립하여야 한다.

### 3.3.2 기초부 출력

- 1) 기초공사를 3D 콘크리트 프린팅으로 대신할 수 있다.
- 2) 3D 콘크리트 프린터의 기초부 출력 시 추가적인 보강재(철근, 철근망 등)를 설치할 수 있다.
- 3) 보강재 설치, 배합/배송 지연에 따른 출력 이 중단될 경우 3D 프린터의 배관이 막히지 않도록 작업시간을 최소화하여야 한다.
- 4) 기초부에 보강재를 설치한 경우 출력 내부는 일반 콘크리트로 채우고 외부에 연결부를 설치하여 양생한다.



### 3.3.3 벽과 파티션 출력

- 1) 기초부 양생 후 벽과 파티션의 출력을 수행한다.
- 2) 벽체 내부에 트러스형상으로 내부 보강을 수행할 수 있다.
- 3) 벽체 보강을 위해 벽체 내부를 콘크리트 타설 또는 다른 부재와의 연결을 위한 보강재를 배치할 수 있다.
- 4) 층간 보강재의 설치에 3D 프린터의 적층성을 확보하지 못하거나, 층간 부착력을 증가시킬 필요가 있을 경우에 설치한다.
- 5) 층간 보강용 보강재는 철근망(Steel Mesh), 핀(pin) 등을 이용할 수 있다.

### 3.3.4 주의 사항

- 1) 배합이나 배송의 지연으로 출력을 중단할 시에도 3D 콘크리트 프린팅 시스템 성능에 따라 최대지연시간 내에 재출력을 해야한다.
- 2) 배합이나 출력된 필라멘트의 종류에 따라 최대지연시간은 변경될 수 있으며, 필요한 경우 사전 실험을 통해서 시간을 결정할 수 있다.
- 3) 최대지연시간을 넘을 경우 남은 배합을 모두 토출하도록 하는 프로세스를 구성하여 3D 콘크리트 프린터가 막히는 것을 자동적으로 방지할 필요도 있다.
- 4) 출력이 중단된 후 재출력하는 경우에 대비한 시공조인트 최소화를 위한 공법에 필요한 사항을 미리 준비하여야 한다.

### 3.3.5 출입문/창호 출력

- 1) 출입문/창호가 들어가는 위치에는 제거가 가능한 소재를 삽입하여 3D 콘크리트 프린터가 수평으로 출력이 진행되도록 하여야 한다.
- 2) 필요에 따라 1개 층을 추가하여 전기장비, 단열재 등 설치에 활용이 가능하다.
- 3) 제거가 가능한 소재를 사용하지 않을 경우에는 일체로 출력한 후 제거할 수 있다.
- 4) 이를 위해서 출력 중 미리 필요한 조치를 취할 수 있다.

### 3.3.6 보강재 설치

- 1) 기둥이 필요한 경우, 출력 평면에 수직보강재의 위치고정을 위한 연결부를 설치하고 수직보강재를 삽입하고 보통 콘크리트로 채워 강도를 보강할 수 있다.

### 3.3.6 양생

- 1) 일반적으로 이 지침 '2.4 양생'을 적용한다.
- 2) 설계자 혹은 작업책임자가 필요하다고 판단한 경우, 양생 시 필요한 조치를 취할 수 있다.

### 3.3.7 3D 프린터 세척

- 1) 출력이 완료한 후에는 배송펌프, 노즐 등을 깨끗이 세척하여 다음 출력 시 막힘이 발생하지 않도록 하여야 한다.



### 3.4 후처리

- 1) 3D 콘크리트 프린터로 출력된 구조물의 양생 전·후에 건축공사에 필요한 후처리를 할 수 있다.
- 2) 이때 KCS 41 46 01(미장공사 일반)과 KCS 14 20 51(샷크리트)을 적용할 수 있다.



대한건축학회 기술표준

STANDARD of Architectural Institute of Korea