

# ARENA를 활용한 3D 프린팅 기술 기반 거푸집 공사의 생산성 분석 시뮬레이션 모델 개발

## Development of Productivity Analysis Simulation Model for Formwork Based on 3D Printing Technology Using ARENA

안희재*	이창수*	김하림**	김태훈***	조훈희****	강경인*****
Ahn, Heejae	Lee, Changsu	Kim, Harim	Kim, Taehoon	Cho, Hunhee	Kang, Kyung-In

### Abstract

The technology of manufacturing freeform molds with S-LOM based 3D printer has advantages in the production period and the curvature range. However, there is no any support tool about productivity analysis of S-LOM technology because S-LOM technology is early-stage technology. There can be problems about increase of construction time and cost without any decision support tool like productivity analysis models etc. Therefore, in this study, the productivity analysis simulation model for freeform formwork based on S-LOM technology was developed using ARENA software. The process and logic of manufacturing freeform molds can be easily visualized in this model. Futhermore, the resource like labor, equipment and material can be easily optimized with this model. As a result, it can contribute to preventing the increase of construction time and cost in formwork with further productivity analysis.

키 워 드 : 3차원 인쇄, 경사대응형 박막적층, 비정형 콘크리트 거푸집, 생산성 분석

Keywords : 3dimensional printing, sloped-laminated object manufacturing, freeform concrete forms, productivity analysis

## 1. 서 론

최근 비정형 건축물에 대한 수요가 증가함에 따라, 3D 프린팅 기술을 활용하여 비정형 부재 및 비정형 거푸집을 생산하는 기술이 주목 받고 있다. 특히, S-LOM(Sloped-Laminated Object Manufacturing) 방식의 3D 프린팅 기술을 활용하여 비정형 EPS(Expanded Polystyrene) 거푸집을 생산하는 기술은 자유로운 입면형상 구현 및 쾌속조형이 가능하다는 장점이 있다.<sup>1)</sup> 하지만 초기 기술단계인 S-LOM방식의 3D 프린팅 기술은 투입 노무, 장비, 자재 등과 관련하여 비정형 EPS 거푸집 제작 공정이 체계화되지 않았으며, 레이저빔 기반 절삭 방식의 S-LOM기술의 생산성 분석과 관련된 연구 또한 수행된 바 없다. 프로젝트 당 소요되는 시간이 길고 비용이 높은 건설분야의 특성 상 건축물의 시공 전에 원가나 공기 등을 산정하기 위한 지원도구는 반드시 필요하며, 이러한 지원도구를 통해 공기연장 및 공사비용 증가 등을 미연에 방지할 수 있다.<sup>2)</sup>

따라서 본 연구에서는 ARENA를 활용하여 S-LOM기술 기반 비정형 EPS 거푸집 공사에 적용할 수 있는 생산성 분석 시뮬레이션 모델을 개발하고자한다.

## 2. 생산성 분석 시뮬레이션 모델 개발

### 2.1 비정형 EPS 거푸집 제작 공정

본 연구에서는 고려대학교에서 개발한 CO<sub>2</sub>레이저빔 기반 절삭 방식의 3D 프린터가 활용되었으며, 거푸집 재료로는 900mm×900mm×30mm(가로×세로×두께)의 EPS 패널이 활용되었다. 600mm×600mm×1800mm(가로×세로×높이)의 EPS 거푸집 제작 기준 작업단계별 투입인력, 장비, 자재는 표 1과 같다. 제작 공정에서는 20장의 EPS 패널이 적층되어 1개의 모듈을 구성하고, 3개의 모듈이

\* 고려대학교 건축사회환경공학과 박사수료

\*\* 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정

\*\*\* 서울과학기술대학교 건축학부(건축공학전공) 조교수, 공학박사

\*\*\*\* 고려대학교 건축사회환경공학과 교수, 공학박사, 교신저자(hhcho@korea.ac.kr)

\*\*\*\*\* 고려대학교 건축사회환경공학과 명예교수, 공학박사

수직 결합되어 1개의 수직 모듈이 구성되며, 2개의 수직 모듈이 수평결합되어 EPS 거푸집이 완성된다.

표 1. S-LOM방식 비정형 EPS 거푸집 제작공정의 작업단계별 투입인력, 장비 및 자재

작업단계	투입인력 (명)	장비 및 자재	작업단계	투입인력 (명)	장비 및 자재	작업단계	투입인력 (명)	장비 및 자재
1. EPS 패널 절삭	1	3D 프린터	4. 단차 제거	1	수세미	7. 수직 모듈간 결합	2	수직 모듈간 결합장치
2. 적층	1	-	5. 표면 코팅	1	유리테이프	8. 간극 보강	1	우레탄 폼
3. 층간 결합	2	층간결합장치	6. 모듈간 결합	2	모듈간 결합장치	9. 외부 가설재 설치	4	가설재

### 2.2 ARENA기반 시뮬레이션 모델

Rockwell Automation사의 ARENA 시뮬레이션 소프트웨어를 통해 구현된 생산성 분석 시뮬레이션 모델은 그림 1.과 같으며, 아래와 같은 장점을 갖는다.

- 1) Batch/Separate 모듈을 통해 패널, 모듈, 수직 모듈, EPS 거푸집과 같은 작업단계별 객체(Entity)의 단위 변경이 가능하므로, 다수의 EPS 패널이 결합되는 S-LOM공법의 특성 상 요구되는 측정 데이터의 추가 가공 작업이 필요없다.
- 2) 제공되는 라이브러리를 통해 작업단계별 투입인력, 장비 및 자재의 시각화가 용이하고, Run mode를 통해 작업단계별 동시 작업현황을 파악할 수 있어, 투입인력, 장비 및 자재 배치 조정이 용이하다.

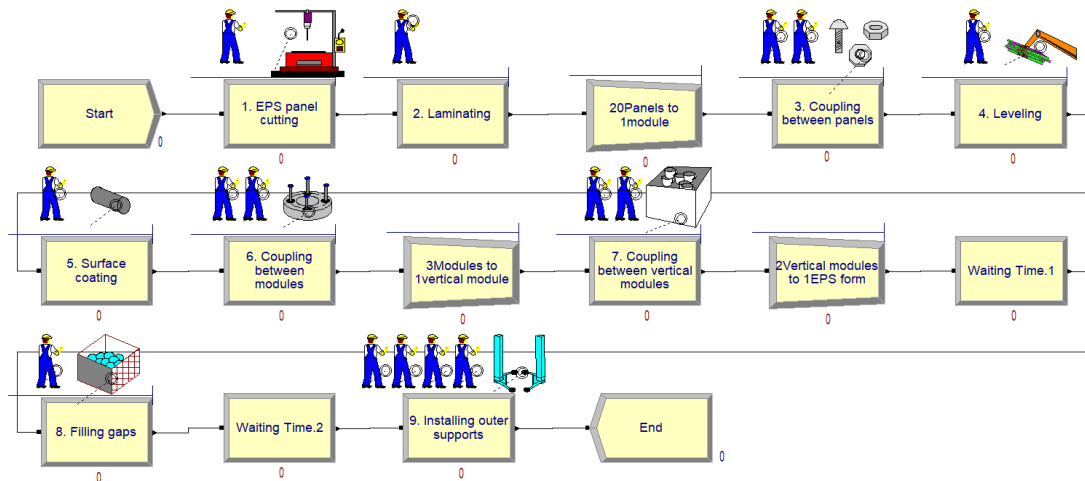


그림 1. ARENA기반 비정형 EPS 거푸집 공사의 생산성 분석 시뮬레이션 모델

### 3. 결 론

본 연구에서는 ARENA를 통해 S-LOM방식의 비정형 EPS 거푸집 공사에 활용할 수 있는 생산성 분석 시뮬레이션 모델을 제시하였다. 향후 연구에서는 개발된 모델을 기반으로 생산성 분석을 수행하여 공사기간 단축 및 공사비용 절감을 위한 투입인력, 장비 및 자재의 배치 최적화를 진행하도록 하겠다.

### Acknowledgement

본 논문은 2021년 국토교통부 도시건축연구사업(과제번호: 21AUDP-B121595-06)과 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 연구비지원(과제번호: 21ORPS-B158109-02)에 의해 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 안희재, 이동운, 지우중, 이우재, 조훈희, Sloped-LOM 방식 3D 프린터를 이용한 비정형 EPS 거푸집 제작 공법 개발, 한국건축시공학회지 (JKIBC), 제20권 제2호, pp.171~181, 2020.4
2. 김중성, 김선경, 서명배, 김태훈, 주기범, 사례분석을 통한 건설 3D 프린팅 서비스 플랫폼 제안, 한국산학기술학회 논문지, 제18권 제11호, pp.53~61, 2017.11