

# 建物構造體 自動化 시스템의 生産性 分析을 위한 基礎的 研究

## A Study on the Productivity Analysis of a Building Automation System

김창규\*      송인식\*      이현수\*      임상채\*\*  
Kim, Chang-Kyu      Song, In-Shick      Lee, Hyun-Soo      Lim, Sang-Chae

### Abstract

The productivity is the one of the primary elements to evaluate the new systems performance for building construction along with the economic efficiency, the safety, and the quality improvement. At present the on-site construction automation systems(we will call it as Construction Factory or CF hereafter) is under the development by research group for construction automation of high-rise building. The system includes many sub-systems such as a robotic crane, a construction factory, bolting robots, a building material management system using RFID and so on. In this study we discuss and propose the method to evaluate for these hybrid on-site automation system fundamentally. In future we devise a framework of evaluation modules for the on-site building automation system on the basis of this discuss.

키 워 드 : 건설 자동화, 생산성 분석, 평가체계  
Keywords : Construction Automation, Productivity Analysis, Evaluation Module(Evaluation System)

## 1. 서 론

건축공사의 생산성은 경제성, 안전성, 품질과 함께 시공성을 평가하는데 있어서 중요한 요소이다. 새로운 공법의 현장 적용에 있어서 생산성평가는 필수적인 요소라 할 수 있다.

국토해양부(전 건설교통부)의 2006년 건설기술혁신사업과제를 통하여 고층건축물 구조체 자동화 시공시스템이 연구개발되고 있으며, 현재 2차년도 연구가 진행중으로 자동화시공 시나리오와 자동화를 위한 개별 시스템의 설계가 이루어지고 있다. 이 연구개발과제의 특성은 로봇공학 및 IT 기술 등을 융복합하여 일종의 새로운 방식의 건설공법을 개발하는데 그 의미가 있다. 그러나 이러한 신기술이 현장에 적용되기 위해서는 현실적으로 그 경제적 타당성, 시공성, 품질, 안전성 등에 대한 평가 필요하다. 문제는 이러한 평가가 건설공정 전반에 영향을 미치고 있으며 여러개의 자동화 기술이 복합적으로 적용되고 있기 때문에 그를 평가하기 위한 체계적 방법에 대해서도 사전에 시스템의 계획 및 설계와 병행해서 이루어져야 한다는 점이다.

본 논문에서는 그러한 배경하에 구조체 자동화 시스템에 대한 평가 체계를 개발하고자 하였다. 앞서 언급하였듯이 해당 자동화 시스템은 여러 시스템이 복합적으로 적용된 것으로 이를 모듈화하여 평가한 후에 그 전체적의 공정상의 생산성을 평가하는 것이 타당할 것이다. 이를 위해서 본 논문에서는 우선 1차적으로 생산성 관점에서 평가 체계를 제시하고자 한다.

## 2. 기존 건설 자동화 시스템의 생산성 분석

### 2.1 국내 건설 자동화 연구 개요

국내 건설 자동화 연구는 1980년대 이후 단일 공종중심으로 매우 간헐적으로 진행되어 왔다.<sup>1)</sup> 현재까지 단일 공종으로 연구된 내용을 살펴보면 도로면 크랙실링 자동화 장비(2001~2004), 기성콘크리트 파일 두부정리 자동화 장비(2002~2005), 콘크리트 홈관 매설 자동화 장비(2000~2003), 교량 외관조사 자동화 장비(2001~2004), 초고층 빌딩 커튼월시공 미니굴삭 로봇, 도로면 사인 도색 및 제거 로봇, 무인교량 점검 로봇 시스템 등에 관한 연구가 있다. 이러한 건설 자동화 장비 및 로봇 개발의 성공 여부를 판단하고, 실용화를 하기 위하여 생산성, 경제성, 품질, 안전성의 평가 항목으로 정량적 또는 정성적으로 평가를 하였다. 이에 따른 평가항목 및 평가 방법을 살펴보면 아래의 표와 같다. 특히, 무인교량점검로봇 시스템 연구에서는 생산성 평가를, 공동주

\* (주)지능형빌딩시스템기술연구소, 연구원, 정희원  
\*\* (주)지능형빌딩시스템기술연구소, 대표이사, 정희원

본 연구는 건설교통부 2006년 건설기술혁신사업(과제번호 06첨단융합D01)의 '고층 건축물 구조체 자동화 시공시스템 연구 개발 현황조사 및 자동화 시공 시스템의 성능평가 모듈 개발' 과제 성과 중 일부입니다.

택외벽도장자동화 장비 연구에서는 생산성 평가와 품질 및 안전성 평가를 하지 않는 경우도 있었다.

표 1. 주요 자동화 연구의 평가 항목 및 평가 방법

자동화 장비명	무인교량점검로 붓시스템		공동주택 외벽도장 자동화 장비		도로면 크랙실링 자동화 장비		콘크리트 흙관 매설 자동화 장비		기성콘크리트 두부정리 자동화 장비	
	정량적	정성적	정량적	정성적	정량적	정성적	정량적	정성적	정량적	정성적
생산성	-	-	-	-	○	×	○	×	○	×
경제성	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×
품질	×	○	-	-	×	○	×	○	×	○
안전성	×	○	-	-	×	○	×	○	○	×

2.2 국내 건설 자동화 연구의 생산성 분석 사례

위에서 살펴본 주요 자동화 연구 사례 중에서 생산성 관련 평가를 진행한 사례는 도로면 크랙실링 자동화 장비, 콘크리트 흙관 매설 자동화 장비, 기성 콘크리트 두부정리 자동화 장비가 있다. 이 자동화 장비들의 생산성 분석 사례에 대하여 조사하였다.

2.2.1 도로면 크랙실링 자동화 장비<sup>2)</sup>

- ① 개요 : 도로면의 크랙을 탐지, 이미지 맵핑 후 크랙의 네트워크 중앙을 따라 실린트를 분사하여 크랙을 실링
- ② 생산성 분석 기준 : 작업시간 대비 실링된 크랙의 총길이
- ③ 생산성 측정 모델
  - 크랙실링 자동화 장비의 생산성 = 작업구간내 크랙의 총 길이/(이동시간+이미지 프로세싱 시간+작업소요시간)
  - 크랙실링 자동화 장비의 일일 생산성 측정 모델 = 작업영역 생산성(m/min) × 일일 작업시간(min/day)
- ④ 생산성 평가 프로세스

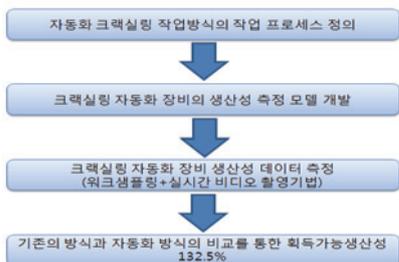


그림 1. 도로면 크랙실링 자동화 장비의 생산성 평가 프로세스

2.2.2 콘크리트 흙관 매설 자동화 장비<sup>3)</sup>

- ① 개요 : 흙관매설 자동화 장비는 굴삭기 연결부, 구동부, 삽입부, 집게부로 구성
- ② 생산성 분석 기준 : 본당 매설 소요 시간
- ③ 생산성 측정 모델
  - 흙관매설 자동화 장비의 생산성 = 자동화 장비의 추가작

업 소요시간 + 이동시간 + 매설 작업 시간

④ 생산성 평가 프로세스



그림 2. 콘크리트 흙관매설 자동화 장비의 생산성 평가 프로세스

2.2.3 기성콘크리트 두부정리 자동화 장비<sup>4)5)</sup>

- ① 개요 : 머신비전을 활용 장비세팅, 레이저 레벨링 장비를 이용 절단면 인식, end-effector와 블레이드를 장착하여 그라인딩 작업 수행
- ② 생산성 분석 기준 : 1Cycle의 작업 소요 시간 후, 600분의 작업 소요 시간
- ③ 생산성 분석 프로세스 : CYCLONE이라는 Tool을 이용

2.3 국내 건설 자동화 연구의 생산성 분석 프로세스

국내 건설 자동화 연구는 개별 장비 혹은 개별 공종에 대하여 이루어져 왔기 때문에, 생산성 분석 프로세스의 경우에 있어서도 유사하다. 건설 자동화 연구의 생산성은 단위 시간에 이루어지는 생산물의 총량 혹은 이의 역으로 정의하고 있으며, 대상공종의 재래식 방식과 비교를 통하여 생산성을 분석하고 있다. 또한, 이러한 정의를 만족시키기 위해서 생산성 분석 프로세스는 재래식 방식의 프로세스 정의, 자동화 방식의 프로세스 정의, 자동화 방식의 생산성 측정 모델 개발, 재래식 방식과 자동화 방식의 생산성 데이터 측정, 재래식 방식과 자동화 방식의 생산성 비교라는 유사한 프로세스로 분석되고 있는 것으로 나타났다.

표 2. 국내 건설 자동화 연구의 생산성 정의 및 프로세스

국내건설자동화연구의 생산성	
정의	단위시간 대비 생산물 또는 이의 역
프로세스	<ul style="list-style-type: none"> <li>재래식 방식의 프로세스 정의</li> <li>↓</li> <li>자동화 방식의 프로세스 정의</li> <li>↓</li> <li>자동화 방식의 생산성 측정 모델 개발</li> <li>↓</li> <li>재래식 방식과 자동화 방식의 생산성 데이터 측정</li> <li>↓</li> <li>재래식 방식과 자동화 방식의 생산성 비교</li> </ul>

### 3. 구조체 자동화 시스템

#### 3.1 구조체 자동화 시스템의 개요

현재 구조체 자동화를 위하여 이와 관련된 건설 공종들에 대한 자동화 시나리오가 수립되었으며, 그에 따른 주요 자동화 대상 공종은 다음과 같다.

- 자재반입
- 자재양중
- 자재조립
- 건설공장(Construction Factory:이하 CF) 양중

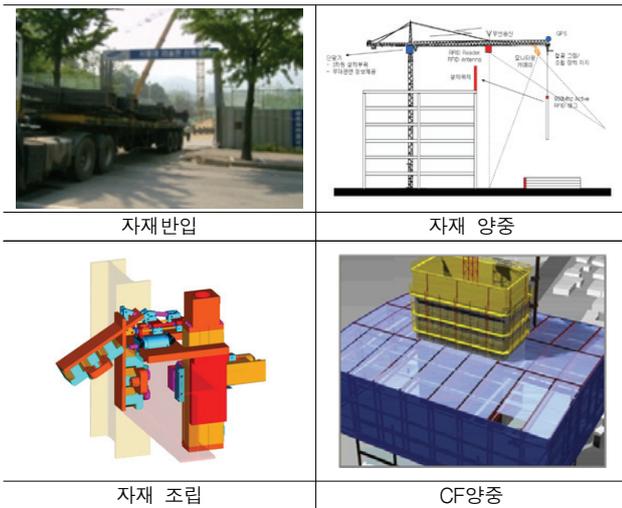


그림 3. 구조체 자동화 시스템의 주요 공종

#### 3.2 구조체 자동화 시스템 특징

현재 연구개발 중인 구조체 자동화 시스템의 특징은 다음과 같다.

##### 3.2.1 구조체의 제작->반입-> 양중->조립에 이르는 전과정의 자동화

##### 3.2.2 국내 현실에 맞춘 부분적인 자동화

구조체 전과정의 주요업무와 자동화 레벨은 아래의 표와 같다.

표 3. 구조체 자동화 시스템의 주요업무 및 자동화 레벨

구조체	주요 업무	자동화 레벨
제작	RFID 자재에 부착	수동, 자동
반입	RFID number 인식	자동
양중	지능형 T/C를 이용한 양중	반자동
조립	볼팅로봇을 이용한 조립	자동

##### 3.2.3 구조체 자동화를 위한 건설 환경

구조체 자동화를 위하여 이와 연관된 건설 환경의 자동화에 관한 연구도 진행하고 있다. 이에 따른 주요 프로세스는

아래의 표와 같다.

표 4. 건설환경의 자동화를 위한 주요 프로세스

종 분 류	소분류
공 사 전	3D CAD의 객체정보전송 및 예상공정 자동생성
코 어 공 사	공정정보 업데이트
공 장 생 산	자재유형별 생산정보 공장에 전송
자 재 반 입	자재별 객체 Library 생성
	각 자재별 실시간 공정정보 DB 업데이트
C F 양 중	CF 양중 예상 공정 정보 확인
	상단 PIN 추출
	CF 기동 가체결 부위 해체
	상단 Climbing Unit 유압 동기 제어
	상단 Climbing Unit 상승
	상단 Pin 삽입
	하단 Pin 추출
	상단 Climbing Unit 유압동기 제어
	하단 Climbing Unit 상승
	하단 Pin 삽입

아직 본 연구는 기초 단계이며 위의 자동화 시스템은 연구 심화 과정에서 주요 프로세스가 발전 변경될 수 있다.

### 4. 생산성 분석을 위한 평가 프로세스 고찰

#### 4.1 생산성 평가를 위한 기초조사

구조체 자동화 시스템의 생산성 정의는 기존의 자동화 방식의 정의와 동일하게 단위시간 대비 총 생산량 또는 이의 역이다. 하지만, 이를 평가하기 위한 기준은 각각의 공종에 따라 달라져야 한다. 왜냐하면, 각각의 공종에 따라 그 미치는 영향이 다르기 때문이다.

예를 들면, 구조체의 양중에서 조립에 이르는 철골 세우기 공종의 경우에는 재래식방식과의 비교를 통하여 생산성 분석이 가능하다. 하지만, CF설치 및 양중의 경우에는 재래식 방식에는 없는 경우이며, 이 공종의 추가로 인하여 전체 건설공사에 미치는 영향이 매우 클 수 있다. 왜냐하면, CF는 기후의 영향을 최소화하여 공사시간을 단축시키지만 CF의 양중으로 인한 타 공사의 지연을 초래할 수도 있기 때문이다. 이러한 경우 철골 세우기는 단위 절 혹은 1개 철골의 양중 및 조립 시간에 기준을 두지만, CF는 1개 공사의 공사 지연 및 단축 시간에 그 기준을 두어야 하기 때문이다.

생산성 평가를 위한 구조체 자동화 시스템의 4개 주요 공종의 기준은 다음과 같다.

표 5. 주요 공종의 생산성 평가 기준

공종	생산성 평가 기준
자재반입	(소요시간/1회자재반입) × 대상건물자재반입횟수
자재양중	(소요시간/1회 철골 양중) × 대상건물의 총 철골 양중 횟수
자재조립	(소요시간/1개철골조립) × 대상건물의 총 철골수량
CF	소요시간/CF설치
	(소요시간/1회 CF양중) × 대상건물의 CF 양중횟수
	(약기후로 인한 건설중단일/년) × 대상건물의 총 건설년수

실질적인 생산성 평가를 위해서는 공종별 프로세스를 정립하고, 재래식 방식과 비교를 통하여 추가공정과 변화공정을 도출하고 분류하여야 한다. 이러한 일련의 과정을 통하여 생산성 데이터를 측정할 경우, 재래식 방식의 프로세스와 동일하게 진행되는 프로세스는 외부조건에 영향을 최소화하기 위하여 동일한 소요시간으로 처리할 필요가 있다.

표 6. 자재 반입 공정의 재래식 공정과의 비교

공종	프로세스		변화 공정 체크
	자동화	재래식	
자재 반입	철골자재반입	철골자재반입	
	자재별 객체Library 생성		○
	자재별 위치정보 DB 생성		○
	자재하역 및 적재	자재하역 및 적재	
	RFID number 인식	자재 확인 및 기록	✓
	각자재별 실시간 공정 정보 DB 업데이트		○
추가 : ○, 변화 : ✓			

구조체 자동화 시스템의 주요 공종 중 자재반입 공종의 경우, 수기로 하던 자재 확인 및 기록 과정에서 관련 정보 인식 시간을 줄이고 신뢰성을 향상하기 위하여 RFID를 적용할 계획이다.

다음 공종은 자재양중으로, 보양중과 기동양중이 주요 공종이나, 기동양중의 프로세스는 보양중과 동일함으로 생략하였다.

표 7. 자재양중 공정의 재래식 공정과의 비교

공종	프로세스		변화 공정 체크	
	자동화	재래식		
자재 양중 (보 양중)	각자재별 실시간 공정정보 1차확인		○	
	도면정보와 자재정보 확인		○	
	자재 위치 확인	자재 위치 확인	✓	
	필요자재 야적장 위치로 T/C 붐대 회전	필요자재 야적장 위치로 T/C 붐대 회전	✓	
	T/C 트롤리 하강	T/C 트롤리 하강	✓	
	보 자재 정보와 도면 정보 2차확인		○	
	RFID 제거 및 보 양중 시작 정보 전송	보양중 시작 정보전송	✓	
	T/C 후크 걸기	T/C 후크 걸기	✓	
	자재 이동 위치 및 경로 확인		○	
	T/C 트롤리 상승	T/C 트롤리 상승	✓	
	해당조립위치로 T/C 회전 및 트롤리 하강	해당조립위치로 T/C 회전 및 트롤리 하강	✓	
	설치 위치 및 도면 정보 3차 확인		○	
	Positioning용 와이어 고정		○	
	DFA를 통한 보의 positioning	보의 위치 결정	✓	
	보 1회 양중 완료 정보 전송 및 업데이트		○	
	추가 : ○, 변화 : ✓			

보양중과 관련해서는 전 공정에 걸쳐 재래식 공정과의 차

이가 발생하였다. 따라서 타워크레인의 상승과 하강, 회전 그리고 반자동화 되어진 로봇 크레인을 적용할 경우 생산성의 변화가 발생할 것으로 예상된다.

다음 공종인 보의 조립의 경우는 전체 프로세스가 자동화 되어있는 공종이다.

표 8. 자재조립 공정의 재래식 공정과의 비교

공종	프로세스		변화 공정 체크	
	자동화	재래식		
자재 조립 (보 조립)	보 가조립 예상 공정 정보 확인		○	
	Positioning 완료 확인 및 로봇 시스템에 통보		○	
	볼트 체결 End-effector 유닛이 H-beam 상으로 이동	체결위치로 이동	✓	
	볼트 체결 End-Effector 유닛이 볼트 작업위치로 이송		○	
	볼트 체결 End-effector 유닛 Anchoring		○	
	볼트 및 너트 Feeding	볼트 및 너트 Feeding	✓	
	H-Beam 상으로 볼트 체결 End-Effector 장착		○	
	H-Beam 상에서 End-Effector Positioning		○	
	구멍 위치 센싱 및 로봇 finger 이송		○	
	볼트 체결을 위한 H-Beam 정밀 정렬 및 볼트 체결	볼트 체결을 위한 H-Beam 볼트 체결	✓	
	볼트 체결을 위한 H-Beam 정밀 정렬 해제		○	
	볼트 체결 End-Effector 탈착		○	
	볼트 체결 End-Effector 유닛 볼트 작업 위치로부터 복귀		○	
	보 가조립 관련 기동들에 대한 수직도 보정		○	
	오로 사클을 이용한 T/C 후크 탈락	와이어 해체	✓	
	T/C 트롤리 상승	T/C 트롤리 상승	✓	
	보 1회 가조립 완료 정보 전송 및 업데이트		○	
	추가 : ○, 변화 : ✓			

마지막 공종인 CF의 경우에는 전술한바와 같이 재래식 방식에서는 없었던 공종이므로 비교를 하지 않았다. 그러나 이후 영향의 최소화, CF 설치와 해체에 따른 공사기간의 증가 등으로 생산성에는 복합적인 영향을 줄 수 있을 것이다.

#### 4.2 생산성 평가를 위한 프로세스 제안

위에서 살펴본 바와 같이 구조체 자동화 시스템의 생산성을 평가하기 위해서는 재래식 방식의 프로세스와 자동화 방식의 프로세스를 정의한 후, 자동화 방식과 재래식 방식의 프로세스를 비교하여 완전히 새롭게 추가된 공종을 도출하여야 한다. 그리고 각각의 공종에 따른 생산성 분석 방법과 평가 기준을 체계화 하고, 평가항목에 대한 평가지침을 개발하여 전체 프로세스를 정립하여야 한다.

본 논문에서 제안하는 구조체 자동화의 생산성 분석을 위

참 고 문 헌

1. PHC 파일 두부정리 자동화 장비의 개발 및 현장실험, 2006, 대한건축학회 논문집, 이정호의 4인
2. 건설교통부, 도로면 유지보수 자동화를 위한 원격조정 장비의 개발 연구보고서, 2004.
3. 기성콘크리트 파일두부정리 자동화 장비 개발에 관한 연구, 2005, 인하대학교 석사학위논문, 박상준
4. 김영석, 건설 로봇의 연구개발 프로세스 모델 구축에 관한 연구, 2003.
5. 한재구의 5인, 스튜어트 플랫폼 기반 흡관매설용 자동화장비의 프로토타입 개발, 2004, 대한건축학회논문집

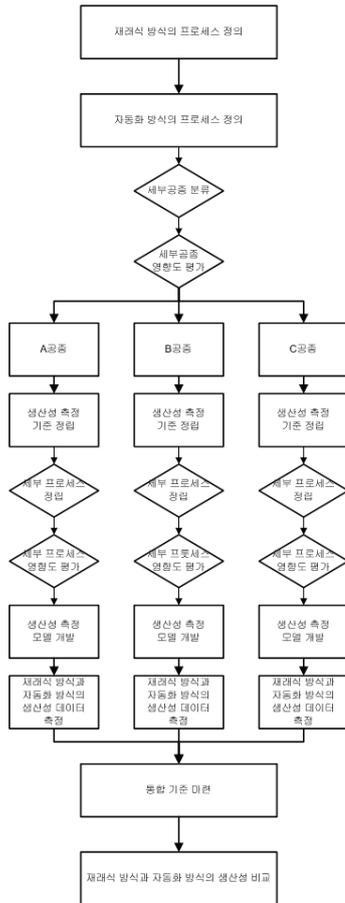


그림 4. 구조체 자동화 시스템의 생산성 평가 프로세스

한 평가 프로세스는 그림 4와 같다.

5. 결 론

현재 연구 중에 있는 고층건물 구조체 자동화 시스템은 여러 시스템들이 복합적으로 융합된 자동화 시공시스템이다. 이러한 복합 시스템의 평가는 다각적으로 이루어져야 할 것이며, 본 논문에서는 일차적으로 생산성 평가 분석을 위한 방안을 검토하였다. 구조체 자동화 시스템에서의 생산성은 각 공종 간의 적용 시스템의 특성과 그에 따른 전체 공기의 영향을 복합적으로 분석하여야 한다. 본 논문에서 제안된 기준 및 프로세스는 향후 생산성 데이터 측정과 생산성 측정 모델 개발에 기반이 된다. 현재 구조체 자동화 시스템은 설계 단계에 있으며, 국내에서 최초로 연구되고 있다. 향후 여러 단계의 시뮬레이션 및 현장 실험을 통하여 계속해서 세부 프로세스에 대한 조정이 있을 예정이다. 따라서 본 논문에서 제안된 생산성 평가 기준 및 프로세스는 구조체 자동화 시스템의 설계 진행에 따라 계속해서 후속 연구가 진행될 예정이다.