

건물 자동화 시공 시스템 개발 방향에 관한 연구

The Study on the Suggestion of Development Guideline for Automated Building Construction System

이 응 균*

Lee, Ung-Kyun

강 경 인**

Kang, Kyung-In

Abstract

Increasing wages and decreasing skilled labors are problems awaiting solution. The development of automatic technologies contributes to accelerating the one of construction automation. Thus, this study is to suggest the way to develop the automated building construction system base on one performed in Japan in order to solve urgent problems of construction industry in Korea. Therefore interviews and questionnaires were performed based on experts who work for the automated building construction system field and analyzed through analytic hierarchy process. In doing so, it was the most important factor to develop a branch of automatic, mechanical or machine technologies for the automated building construction system. Especially the study indicated the importance of the technologies to substitute skilled labors such as a robot. This research could contribute to developing the automated building construction which is very unique and suitable for construction industry in Korea.

키워드 : 빌딩자동화시공시스템, 계층분석적의사결정, 건설자동화

Keywords : Automated Building Construction System, Analytic Hierarchy Process, Construction Automation

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설산업에서 건설자동화시스템 및 로봇(construction automation system and robot)의 활용은 이미 오래전부터 안전성, 생산성, 품질, 작업환경의 향상과 미래의 숙련공 부족에 대한 하나의 명백한 해답으로써 거론되어져 왔다¹⁾. 이러한 건설자동화는 단독형(alone) 형태의 로봇 개발과 전체 건축물의 시공 방식 자동화(automated building construction system) 등으로 분류해 볼 수 있다²⁾. 전자는 콘크리트 표면 로봇, 미장로봇, 용접 로봇, 도로 사인로봇 등의 단일개체로서 현재 적용중이거나 적용테스트 중인 제품이 주류이다. 반면에 후자는 90년대 일본의 슈퍼제네콘을 중심으로 급격히 발전하였으며 현재는 많이 개량되어 오바야시구미, 시미즈건설 등에서 활용하고 있다.

이러한 자동화장비의 개발배경에는 앞서 언급한 바와 같이 인건비의 증가 및 안전한 공사환경 구축을 위한 요구, 로봇 또는 기계를 통한 공기의 단축 등 사회적 요구로 인해 수행되었으며 현재 우리의 실정이 여기에 해당된다 할 수 있다. 이에 본 연구는 한국형 빌딩자동화시공시스템 도입을 위한 선행연구로서 과거 일본에 행해진 빌딩 자동화 시스템의 종류 및 주요 내용을 살펴보고 국내 실정에 적합한 빌딩 자동화 시스템 개발

방향을 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시된 방향은 향후 국내 빌딩 자동화 시스템 개발을 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 문헌 및 현장조사 등을 통해 일본에서 빌딩 자동화 시스템을 개발하게 된 배경 등을 파악하고 일본에서 개발되었던 빌딩 자동화 시스템에 대한 개괄적인 내용을 살펴본다. 이를 통해 빌딩 자동화 시스템이 가지게 되는 공통적인 요소를 1차 및 2차 기준을 통해 분류하여 관련 요소들의 계층을 구성한다. 이를 바탕으로 AHP(Analytic hierarchy process)를 실시하며 일관성있는 설문만을 채택한다. 이를 위한 전문가는 현재 거론되고 있는 빌딩자동화시스템에 대한 충분한 이해를 지닌 자를 지칭하며 이의 분석은 상용프로그램인 Expert Choice 2000을 통해 실시한다. 이를 통해 국내 실정에 적합하며 경제적인 빌딩 자동화 시스템의 개발 방향을 제시함을 최종 목표로 한다.

* 고려대학교 건축·사회환경공학과 박사과정 수료

** 고려대학교 건축·사회환경공학과 교수, 공학박사

본 연구는 건설교통부 첨단융합건설기술개발사업의 연구비지원(과제번호: 06첨단융합D01)에 의해 수행되었습니다.

1) 김영석, 건설자동화 R&D 단계별 전문가 그룹의 역할과 책임, 건설관리 기술과 동향, 한국건설관리학회, 2003.11.

2) 채성호, 일본 건설산업의 시공자동화 전망 및 실제, 건축, 대한건축학회, 2007. 6.

2. 일본의 빌딩자동화 시스템

2.1 일본 건설 자동화 배경

일본의 건축생산에 있어서 로봇이나 자동화 기술의 연구개발은 1980년 초반부터 본격화되었다. 다양한 형태의 건설용 자동화장치 및 로봇시스템이 개발되어 실제 현장에 적용되어 왔다. 현재까지 개발된 로봇이나 자동화 장치 등을 합하면 약 160기종을 넘으며 그 적용 대상 역시 다양하다. 개별의 작업을 수행하는 단일로봇의 개발에서부터 여러 가지 로봇이나 자동화 장치의 조합을 통한 공정 자동화 장비 및 건축물 시공의 전 공정에 대한 자동화 시스템(이하, 빌딩자동화시스템이라 함)까지 광범위하게 적용되고 있다.

특히 일본의 빌딩자동화시스템에서는 원래 사람이 수행해왔던 작업방법 중에서의 자동화·로봇화가 아니라 자동화에 적합한 생산방식을 창출하여 이에 적합한 자동화설비나 로봇을 효과적으로 도입하고자 하였다. 또한 생산계획이나 관리업무의

정보화를 촉진함으로써 건축현장을 하나의 자동플랜트로 하는 것을 목표로 하였다. 빌딩자동화시스템은 열악한 작업환경을 개선하고 사람과 로봇·자동화설비의 협조에 의한 융통성있고 안정된 생산체제의 확립, 높은 생산성의 실현 등 지금까지 건축생산에서 가지고 있는 여러 문제점을 해결하는 유력한 방법의 하나로서 건설회사에서 그 개발에 임하여 왔다.

2.2 각 사의 개발사례와 특징

빌딩자동화 시공시스템의 개발 및 실제 공사의 적용사례는 지금까지 10가지 시스템이 있으며, 그 내용을 간단히 표1과 표2에 나타내었다. 본 시스템의 목적에 있어서 각사에서 다소 차이가 있지만 공통적인 부분은 다음과 같다.

- ① 작업환경의 개선(안전, 쾌적, 청결, 간접 작업으로부터의 개방, 일하고 싶은 직장)
- ② 품질, 공정, 코스트 등의 안정화(전천후화, 노무평준화 등)
- ③ 생산성의 향상(공기단축, 생력화 등)

표 1. 일본의 빌딩자동화시공시스템 사례 분석³⁾

구분	다케나카공무점	시미즈건설	타이세이건설	마에다건설	
시스템명칭	루프푸시업(Roof push-up) 공법	스마트(Smart) 공법	T-up 공법	MCC공법	
발표시기	1990년 7월	1990년 12월	1990년 10월	1992년 2월	
가동개시시기	1990년 9월	1992년 11월	1993년 1월	1993년 3월	
적용 건물 개요	건물명칭	교와화재 나고야빌딩	쥬로쿠은행 나고야빌딩	미쯔비시중공업 요코하마빌딩	세카이분카사 본사빌딩
	소재지	나고야시 니시쿠나역	나고야시 중구	요코하마시 니시구 미나토미라이	도쿄 지요다구 구단키타
	구조형식	지하SRC, 지상S	지하SRC, 지상S	지하SRC, 지상S	지하SRC, 지상S
	건축면적:㎡	816.10	1,348.52	6,178.00	613.30
	연면적:㎡	11,880.43	20,657.74	110,918.00	6,614.38
층수	지하2F, 지상14F, 옥탑2F	지하2F, 지상20F	지하2F, 지상33F, 옥탑1F	지하2F, 지상10F, 옥탑1F	
시스템 개요	3층 1절의 철골주를 옥상 집크레인에서 상부부터 조립한다. 각층의 보 등은 동일 집크레인으로 양중하여, 최상층프레임에 구축된 구동층 하부에 부착된 천정슬라이드 크레인에서 완성된 바닥에서 조립하여 설비 등의 선행설치 완성후, 상부구동층과 함께 리프트업하는 것을 반복한다.	하트러스하부에 부착된 수평 및 수직반송장치로부터 구성되는 반송시스템에 의하여, 철골이나 바닥, 외벽 등의 부재, 설비·마감유닛을 자동반송, 조립하여 1개층이 완성된 후, 하트러스(플랜트) 부분을 클라이밍 시킨다.	코어부를 선행구축하여, 이를 지지체로하여 최상층구체의 철골부를 이용한 하부를 구축한다. 이 하부 하부에 부착된 천정주행 크레인에 의하여, 각층의 철골이나 PCa, 각종 유닛을 반송·조립한다. 1개층분의 시공종료후 코어부분에 지지를 받으며 가이드 기동으로 클라이밍시킨다.	처음에 최상층부(CF)를 구축하여, CF하부에 설치된 크레인에 의하여, 철골이나 외벽 등의 부재를 반송하여, 날씨의 영향을 받지 않는 환경하에서 조립한다. 1층분의 공정을 종료한 후, CF를 상승시킨다.	
시스템 목적	매력있는 노동환경의 창조, 생산성 향상, 「안전하고, 신속하고, 적은 사람으로, 편하게」	①작업환경을 안전·청결·쾌적하게 한다. ②천후에 좌우되지 않는다. ③생산성의 향상. ④균일한 고품질. ⑤건설폐자재의 삭감	사람과 기계가 조화된 생산성 높은 자동화 시공의 실현	①안정된공정의 확보. ②기계화·자동화에 의한 생력화. ③균일하고 높은 품질확보. ④작업환경의 개선. ⑤주변환경의 배려	
생산설비의 개요	전천후지붕기구	옥상층+PR층+전천후쉘터(외주)	옥탑층(하트러스)+외주양상프레임	하보(최상층)+전천후 지붕	최상층+전천후 쉘터(외주)
	상승장치	푸시업장치+반력플레이트방식	4개가설마스트+리프트업 장치	유압잭 내장 가이드 기동	클라이밍 장치
	반송장치	옥상집크레인, 천정슬라이드크레인	수직반송장치+수평반송장치(작업층, 지하하물층)+트로리호이스트	주행식 집크레인, 천정주행 크레인	선회집식 천정크레인, 자동이동식 리프트
	접합	기동·기동용접로봇, 보·보용접로봇	기동·기동용접로봇, 보·보용접로봇		
	기타				
계측장치	정도관리시스템, 시공관리시스템	정도계측시스템, 철골연직정도계측시스템	하보거동계측시스템, 자동셀프클라이밍시스템, 철골세우기레이저 자동계측시스템	계측시스템(CF상승량, 수직변위, 수평변위, 풍향, 풍속)	
기타 생산설비	(지하)코타식하프PC슬래브제작야드, (현장)설비제작 유닛야드	하트러스내 컨트론클룸	유닛풀로어 제작야드, 설비제작야드		
생산관리			생산진도관리시스템	제어시스템, 시공중모니터링시스템	
구·공법	코타식하프PC슬래브공법, 대형세타입L형PCa관공법, 코어부복합 유닛화, 천정설비유닛화	커튼월+설비유닛, 철골원터치조인트	플라이데크+현장타설콘크리트, 대형세타입PCa판, 라이더유닛		
적용대상	S조(10F이상)	S조	S조, SRC조(30층 이상)	S조	
적용건수('98.5)	2건	2건	1건	2건	

3) 본 자료는 일본건축학회의 재료시공위원회 중 건축생산자동화 소위원회에서 발간한 건축시공자동화의 현장적용 및 발전방향에 대한 내용을 발췌, 정리한 것이다.

표 2. 일본의 빌딩자동화시공시스템 분석^{*)}

구분	오바야시구미	후지타	오바야시구미	카시마	
시스템명칭	ABCS	아카쓰키21	Big Canopy	AMURAD	
발표시기	1989년 8월	1995년 5월	1995년 9월	1995년 4월	
가동개시시기	1993년 3월	1995년 7월	1995년 9월	1996년 4월	
적용 건물 개요	건물명칭	리버사이드 스미다 독신료	재단법인 수요단 본부건물	야찌요공원도시 A가구 맨션	카시마 씨쿠사 주택
	소재지	도쿄 스미다구 쓰쓰미도리	도쿄 시부야구	찌바현 야찌요시	나고야시 씨쿠사
	구조형식	지하SRC, 지상S	지하SRC, 지상S	RC조	SRC조
	건축면적:㎡	2,313.76	1,168.00	913.23	443.20
	연면적:㎡	10,190.00	13,065.00	23,468.89	3,407.70
층수	지하2F, 지상10F, 옥탑1F	지하1F, 지상16F, 옥탑1F	지하1F, 지상26F, 옥탑1F	지상9F, 옥탑1F	
시스템 개요	최상층의 골조를 지상에서 구축하여, 이에 클라이밍장치, 크레인 등을 장착하여, 플랜트부분(SCF)을 구축한다. 이 크레인 등에 의하여, 철골이나 외벽 등의 부재를 반송·조립하여 1개층이 완성된 후, SCF를 클라이밍시킨다.	최상층의 골조를 지상에서 구축하여 전천후공간을 확보하여, 이에 클라이밍장치 자동화시공을 위한 기계장치 등을 장착하여, 플랜트부분을 구축한다. 이 기계장치 등에 의하여 철골이나 외벽 등의 부재를 반송·조립하여 1층분이 완성된 후, 플랜트부를 상승시킨다.	지상부에 가설지주+클라이밍장치나 가설지붕구조부분을 구축하여, 그 하부에 크레인장치를 부착한다. 이 크레인 등에 의하여, PCa부재의 반송, 조립 등을 행하여, 건물을 구축한다. 2개층 부분을 시공 후 클라이밍한다.	지상부분에 구축한 조립공장부분에서 구체설치장치에 의하여 최상층부분을 구축하여, 이를 전천후 지붕가구로서 완성된 구체부분을 푸쉬업한다. 새롭게 완성된 공간에서 그 밑의 층을 구축하는 것을 반복한다.	
시스템 목적	건축현장에 FA의 개념을 도입하여, 노동환경의 개선과 생산성 향상, 품질향상, 공기단축의 실현, 주변환경의 배려	①작업환경의 쾌적화, ②에너지절약, ③생력화, ④생산기술의 개혁, ⑤첨단기술의 건설적용, ⑥건축생산성의 향상, ⑦작업장의 매력	①품질의 확보, ②공기단축, ③생산성의 향상, ④ 환경개선	①공기단축, 작업원의 저감, ②작업환경의 향상과 품질·코스트·안전성·공정의 안정, ③인접지에 대한 공사환경 개선, ④수요가 많은 고층건물에 대한 대응	
생산설비의개요	전천후지붕가구	최상층+전천후 헬터(외부)	최상층+본설 PCa판+엠프렐라유닛	가설지붕가구	완성층+지상설비
	상승장치	SCF클라이밍 장치(력, 피니언)	컴비네이션잭	타워크레인·클라이밍 장치개조	푸쉬업 장치(전동식)
	반송장치	SCF크레인, 화물리프트	스테이지틀(화물리프트), 트라바사+트로라바사(수평반송), 운동제어	화물리프트, 천정크레인	구체설치장비, 마감·설비자재반송장치
	집합	기동-기동용접로봇, 보-보용접로봇	기동-기동용접로봇		
	기타	파지장치(기동, 보, 슬래브용)	AGV(지상반송)+PCa판 수평반송시스템	선회장치	커튼월 반송차
	계측장치	정도관리시스템(SCF레벨, 위치변위), 하중 스트로크량 계측시스템, 설비감시시스템, 환경측정	수평연직정도 계측시스템	풍광풍속계측, 환경계측	계측관리시스템, 구체응력계측시스템, 풍향풍속계측장치, 감진계, 철골세우기정도 계측
기타 생산설비	외벽패널 제작야드(사이트), 부재	데크가공야드, 내화피복자동플랜트, 내화피복뿔질로봇, 자동바닥콘크리트타설		PCa보 제작야드, 마감·설비자재 조립야드	
생산관리	플랜트관리/제어시스템, 시공감시	컴비네이션잭의 동조제어시스템, ITV 종합감시시스템	자재 종합감리시스템, ITV감시 시스템		
구·공법	외벽패널 원터치집합, 전체PCa바닥판 공법, 마감·설비의 유닛화	유닛데크공법, 타일PCa커튼월·셔틀공법, 설비배관 라이저유닛	PCa공법, 배관유닛화, 전기케이블 유닛화, 기타자재 유닛화	하프PCa합판, 시스템천정공법, 육내 배선, 엘리베이터 유닛화	
적용대상	S조(20층 이상)	S조, SR조 (20층 이상)	RC조, SRC조, S조	RC조, SRC조, S조(9~15층)	
적용건수('98.5)	2건	2건	4건	2건	

④ 환경문제의 개선(자원절약, 건설폐자재의 감소, 건설공해의 저하, 주위경관과의 조화 등)

빌딩자동화 시공시스템의 대상에 대해서는 표1과 2에 나타난 8가지는 철골구조를 대상으로 한 시스템으로서 AMURAD와 Big Canopy의 2가지 시스템은 PCa공법에 의한 RC구조나 SRC구조, 나아가서 철골구조도 적용의 대상으로 한다. 자동화 시공시스템의 적당한 적용규모에 대해서는 각 시스템 별로 다소 차이가 있으나, AMURAD시스템(5층~15층정도)를 제외하면, 10층~30층이상, 고층건물일수록 바람직하다.

빌딩자동화 시공시스템은 제조업에 있어서의 자동화플랜트와 달리 건설하는 건물의 장소마다 건설플랜트를 조립하여 제품인 건물을 구축한 후에는 그 플랜트를 해체하여 다음의 건설공사에 재이용하기 위하여 반송되며, 필요하면 1차 보관이나 수리·유지관리 등이 이루어진다. 그리고 빌딩자동화 시공 시스템에서는 제품인 건물을 움직이는 대신 건물을 조금씩 구축하여, 역으로 플랜트 부분을 이동시켜 전체의 건물을 세우는

방식 또는 AMURAD시스템과 같이 플랜트부분을 고정하여 건물을 조금씩 구축하면서 구축된 건물전체를 이동시키는 방법이 지금까지 개발되었다. 자동화플랜트 별로 조립·해체가 필요하며 또한 플랜트 자체나 건물을 이동시키기 위한 대형장치가 필요하므로 제조업에 비해 제약이 많다.

3. 빌딩 자동화 시스템의 구성과 요소기술

3.1 개요

빌딩 자동화시스템은 일반적으로 그림에 보이는 것과 같은 5가지의 구성을 지닌다. 그림에 나타난 것과 같이 전천후지붕설비, 시공플랜트의 클라이밍설비(AMURAD시스템의 경우, 조립된 건물전체를 양중하는 설비에 해당), 자동화 또는 기계화설비(양중반송설비, 용접설비, 검사설비 등), 각종 계측시스템, 제어·감시 시스템, 종합적인 시공계획·관리시스템, 그 외에

4) 표1과 연속

부수적인 것으로 사이트플랜, 자동창고 또는 자재야적장 등으로 구성된다. 그 실현방법이나 기본적인 개념에 대해서는 많은 차이가 있으나 여기서는 그 특징적인 부분을 간단히 정리하고 이를 바탕으로 개발 방향에 대한 요소를 정하였다(그림 1).

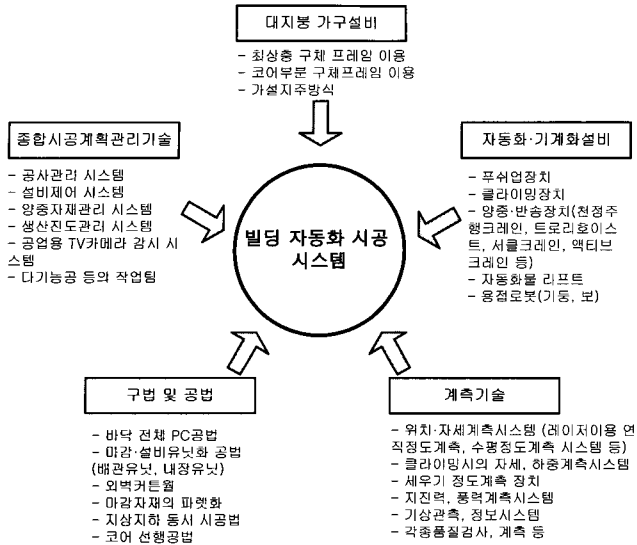


그림 1. 빌딩자동화시공시스템의 구성요소

3.2 전천후형 지붕설비 (대지붕가구설비)

전천후형 지붕설비라 함은 최상층에 철골로 이루어진 프레임 사전에 제작한 후 이 곳에 시공 시 필요한 양중·반송설비 및 클라이밍장치를 설치하여 건설공장(construction factory) 또는 시공플랜트를 구성하기 위한 것을 의미한다. 이는 지붕 및 외벽부분의 덮어 우천, 강풍의 영향을 받지 않는 작업환경을 확보하는 기능이 있다. 시공플랜트는 대지붕 가구설비를 일개층 전체로 가설 또는 본설로 구성하는 것, 코어부분과 그 이외의 부분으로 나누어 구성하는 것 등이 있다.

3.3 클라이밍장치와 반력전달방식

클라이밍 장치에 대해서는 ① 타워크레인의 포스트 클라이밍방식과 동일하게 가설지주를 설치하여 수층 밑의 본체프레임에 하중을 전달시키면서 가설지주의 반력으로 클라이밍 하는 것, ② 조립층의 본체 기둥프레임에 직접 반력을 받는 것, ③ 선행 코어부분의 프레임에 반력을 받아 클라이밍 하는 것, ④ AMURAD공법의 지상에 설치한 푸쉬업장치가 건물 기초의 반력으로 건물을 들어올리는 것이 있다. 또한 구동방식에서는 유압방식과 력·피니언에 의한 전동모터방식, 유압과 전동모터를 조합한 하이브리드방식 등이 있다.

시스템의 확장성, 제어의 편의성, 융통성 그리고 조립·해체의 용이, 기재 조달의 용이, 지진력에 대한 안전성 등이 방식의 선정에 크게 영향을 미친다.

3.4 양중·반송설비

양중·반송설비는 전천후형의 지붕가구를 보유하기 때문에 대부분은 천정크레인이나 붐을 가진 천정크레인형, 또는 호이

스트 크레인형이 채택된다. 자재의 양중·반송을 천정주행타입의 크레인만으로 하는 경우와 수직양중과 반송을 별도의 설비(화물리프트 등)로 분담하는 방식으로 나뉜다. 후자의 분리방식은 양중작업과 반송작업의 병렬처리화에 의하여 고층건축의 시공에서 장점을 발휘할 수 있다. 그리고 AMURAD공법에서는 지상부분을 주행하면서 반송하여 부재를 조립하는 설비구성으로 작업장소가 항상 동일하다는 점에서 다른 시스템과 다르다.

양중·반송장치의 자동운전에 대해서는 ① 수동운전, ② 부분적인 자동운전(특정 위치까지의 이동을 자동운전으로 하고 최종적인 위치결정을 수동운전으로 하는 것 등), ③ 자동운전(특정위치까지의 이동, 최종적인 위치결정, 매달기, 풀기 등을 자동운전으로 함) 등 다양한 레벨로 수행된다.

3.5 기타 자동화 장치

기타 자동화설비로서 용접로봇이나 자세계측장치, 부재매달기용 철물장치, 커튼월 반송장치 등 각종 스탠드어론(Stand-alone)형의 로봇 또는 설비가 시스템으로서 조합되어 운용된다.

3.6 계측·제어·감시설비

현장시공의 대부분이 자동화·기계화되면 종래와 비교하여 작업의 안전확인이나 작업내용의 확인이 어렵게 되어 그 전용기능이 필요하게 된다. 자동화·기계화 설비자체가 정상적으로 작업하고 있는가, 품질상 문제는 없는가, 안전한가, 공정이 계획대로 진행되고 있는가 등의 상태를 적절하게 파악하는 것이 중요하다. 그러므로 시공플랜트부분의 위치·자세의 계측시스템, 클라이밍 작업시의 안전확인시스템, 주요 설비의 가동상황 감시시스템, 작업현장의 공업TV카메라에 의한 감시, 복수의 설비의 관리제어 등의 시스템이 적용된다. 또한 지진력이나 풍력에 대한 계측도 이루어진다.

3.7 종합시공계획·관리시스템

빌딩자동화시공은 현장에 상당량의 설비를 도입하여 하나의 시공플랜트를 구축하여 건축시공을 수행하는 것이다. 그러므로 현장에 있어서의 시공플랜트의 조립, 해체, 공장의 운용방법에 관한 계획이나 관리가 중요하며 그것을 효율적으로 운용하기 위한 각종 관리시스템의 적용이 이루어지고 있다.

작업의 계획이나 자재의 관리, 작업실적의 관리 등 지금까지도 행해왔던 업무기능이지만 자동화에 수반하여 사전에 면밀한 계획과 신속하고 세부적인 관리를 실현하기 위하여 정보처리기술이나 통신기술 등을 구사한 정보화시공관리시스템의 도입이 시도되고 있다.

3.8 자동화 적합 구·공법

빌딩자동화시공을 위해서는 자동화·기계화된 시스템과 조화를 이룰 수 있는 구·공법의 선택이 필요하다. 자동화시공에 적합한 구·공법으로 바닥의 PCa공법의 채택, 외벽의 패널화, 마감·설비의 유닛화, 패키지화, 그리고 가조립의 필요가 없고 위치결정 가이드를 지닌 접합형식의 채택 등이 이루어지고 있다. 현장에 있어서의 작업을 조립작업 중심으로 변경하여 접합의 간소화, 부재 반송시의 효율화, 부재의 사이트플랜에서의

제조 등에 적합한 공법이나 수단이 검토되고 있다.

표 3. 빌딩자동화시공시스템의 기술 분류

1차 분류	2차 분류(주요기술)
대지붕 가구설비	· 최상층 구체 프레임 이용 · 코어부분 구체프레임 이용 · 가설지주 방식
자동화 기계화 설비	· 푸쉬업 장치 · 클라이밍 장치 · 양중·반송장치(천정주행크레인, 트로리 호이스트, 서클크레인, 액티브 크레인 등) · 자동화물 리프트 · 용접로봇(기동, 보)
계측기술	· 위치·자세계측시스템(레이저이용 연직정도계측 수평정도계측 시스템) · 클라이밍시의 자세, 하중계측 시스템 · 세우기 정도계측장치 · 지진력, 풍력계측시스템 · 기상관측, 정보시스템 · 각종품질검사, 계측 등
구법 및 공법	· 바닥 전체 PC 공법 · 마감·설비유닛화 공법(배관유닛, 내장유닛) · 외벽커튼월 · 마감자재의 파렛화 · 지상지하 동시 시공법 · 코어선행공법
종합시공 계획관리 기술	· 공사관리 시스템 · 설비제어 시스템 · 양중자재관리 시스템 · 생산진도관리 시스템 · 공업용TV카메라 감시시스템 · 다기능공 등의 작업팀

4. 개발 요소별 정량적 평가

4.1 설문 개요 및 기술분류

본 연구는 개발 방향의 결정을 위한 정량적 평가로서 계층 분석적 의사결정 방법을 택하였다. 본 연구에서 제시되는 요소는 표 3에 나타나있다. 이 요소에 대한 정량 평가를 9점 쌍대비교를 통해 실시한다. 정량 평가는 빌딩자동화시스템 관련 분야 연구경력 5년 이상의 전문가 집단 중에서 5인을 대상으로 실시하여 일관성지수의 비율에 0.1이내 인 3인의 결과를 채택하였다. 빌딩자동화시스템은 국내 개발사례가 없어 전문가의 수가 부족하였으며 일관성지수를 통해 신뢰도를 확보하였다. 설문 분석은 Expert Choice 2000을 통해 실시하였으며, 각 결과는 기하평균을 통해 제시되었다.⁵⁾

설문 내의 기술 분류는 일본의 빌딩자동화 시스템의 분야별 요소를 분석하여 크게 5가지로 분류하여 설정하였다. 이를 위해 각 분야의 전문가 집단으로 구성된 태스크 포스트를 통해 2개월간 브레인스토밍을 실시하였다. 1차 분류는 표3에 나와있는 바와 같이 크게 대지붕가구설비, 자동화·기계화 설비, 계

측기술, 구법 및 공법, 종합시공계획관리기술로 분류하였다. 특히 자동화·기계화분야에는 대지붕가구의 상승장비, 자재의 양중 장치, 자립식 로봇 등이 포함된다.

4.2 1차 기술 분류의 결과 및 분석

설문조사 결과 1차 분류는 그림 2에 나타난 바와 같이 자동화기계화설비 중심의 연구개발이 가장 우선시 되어야 할 것으로 나타났다. 이외에도 공사 수행을 위한 계측 기술 및 자동화 기계화에 적합한 구법 및 공법의 개발이 중요한 것으로 나타났으며, 빌딩자동화시스템의 개발 시 중요항목으로 여겨지던 대지붕가구설비 분야가 실제로 빌딩자동화 시공시스템의 개발에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 기존의 일본 사례⁶⁾에도 나와 있는 것처럼 표준화·공법화되어 있는 자재를 이용한 공법을 적용하는 것이 자동화 시공에 있어서 중요함을 나타낸다. 기계장비 및 로봇 등의 움직임은 사전에 철저한 계획에 의해 수행되어야 하므로 이를 위해서는 건설 현장에서 발생할 수 있는 변화를 최소화시키는 것이 가장 중요하다 할 수 있다. 이러한 점은 계측기술의 중요성과도 일맥상통하며 어떠한 부재가 어느 위치에 어떤 상태로 설치되느냐를 정밀하고 정확하게 측정한다. 이에 계측 기술 역시 중요한 요소로 파악되었다.

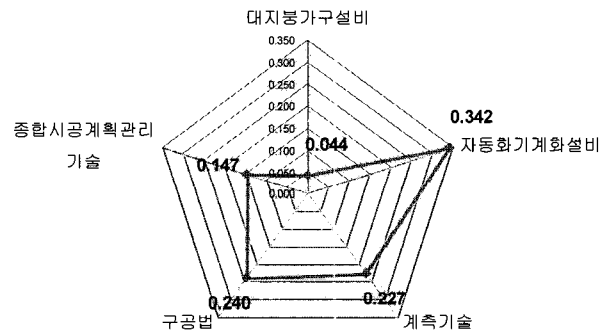


그림 2. 1차 기술 분류의 정량적 수치

반면에 건설공장의 부분 중 지붕역할을 하는 대지붕가구설비 부분은 그 중요도가 상당히 떨어짐을 알 수 있다. 이는 외부 환경에 노출되어 있는 건설 산업의 특성 상 대부분 가설 형태로 되어있는 지붕가구설비 부분은 기대하는 효과를 나타내기 어려운 것으로 분석된다.

4.3 2차 기술 분류의 결과 및 분석

2차 분류의 설문조사 결과는 그림3에 나타나 있다. 그 중 주요 우선순위로 살펴보면 가장 중요도가 높은 것은 구조체 조립을 자동화 시키는 용접 로봇의 개발로 나타났다. 로봇개발은 타 기술 개발에 비해 월등히 높은 중요도를 가지는 것으로 분석되었다. 이는 전체 시스템뿐만 아니라 개별요소로서 적용될 수 있는 장점이 있으며 자동화시스템의 개발 배경인 인력의 대체에 가장 적합한 항목인 것으로 파악된다. 또한 일정 품질이

5) 조근태, 조용곤, 강현수, 앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정, 동현출판사, 2003.

6) 日本建築學會 材料施工委員會 建築生産自動化小委員會, コンストラクション オートメーション - 建築施工自動化の現状と將來展望, 2001

요구되는 용접 작업의 특성 역시 중요한 결정 요인으로 작용하였다.

2차적인 중요요소로서 클라이밍 장치, 위치·자세계측시스템, 양중·반송장치를 들 수 있다. 클라이밍 장치는 대지붕가구설비의 상승 요소로서 다른 방식인 푸시업 방식 및 가설 지주방식에 비해 월등히 중요한 것으로 조사되었다. 이러한 점은 대지붕가구설비의 방식이 어떠한가 보다는 대지붕가구설비를 설치하였을 때 이를 상승시키기 위한 방법이 더욱 중요한 것으로 파악된다. 위치·자세계측시스템은 레이저를 이용하여 건물의 수직, 수평 등을 체크하며 이를 통해 로봇 및 자동화 장비의 움직임을 결정한다는 점에서 중요성이 높은 것으로 파악되었다. 그 외에 자동화 양중장비의 선정은 건축물을 시공함에 있어 양중장비의 중요성을 대변한다고 할 수 있다.

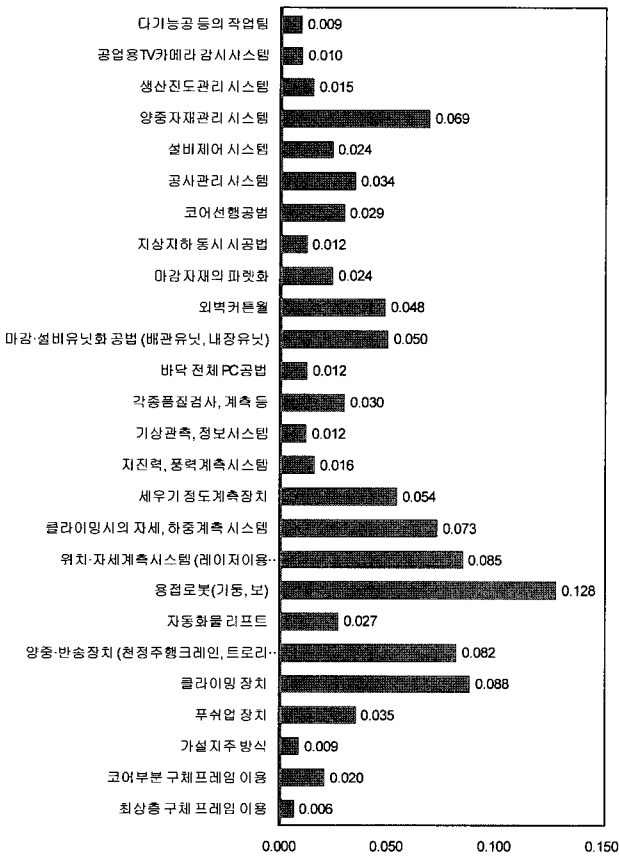


그림 3. 2차 분류의 정량적 수치

다음으로 선정된 요소 중 중요요소로 살펴볼 수 있는 것이 양중자재관리 시스템과 마감·설비 유닛화 공법을 들 수 있다. 1차 분류에서 상대적으로 중요도가 낮은 종합시공관리기술 중 양중자재관리 시스템이 높은 점수를 차지하는 것은 빌딩자동화시공시스템에 있어 전체 자동화 장비의 제어 및 관리가 중요함을 알 수 있다. 양중장치 및 자재관리 시스템의 구축은 자재의 반입에서부터 시공위치까지의 일련의 상황을 자동화시켜주는 중요한 역할을 담당한다. 이는 자동화시공시스템 개발의 필수적인 요소이며 최근 RFID등을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있는 것이 이의 중요성을 잘 나타내고 있다. 또한 자동화 장비를 사용한 시공에서는 표준화된 자재의 사용을 필수적인 요

소로 고려하고 있으며 이를 위한 마감·설비 유닛화 공법의 중요도가 높게 나타났다 할 수 있다.

4.4 한국형 빌딩자동화시공시스템의 개발 방향 제안

본 연구의 실문을 통해 살펴본 결과 및 이를 통한 개발 방향을 제안해보면 그림5와 같다. Prefabrication 기술의 확립, 자동화·로봇기술의 개발, IT기술의 개발, 건설기술의 지속적 개발을 통한 융합이 이루어져야 빌딩자동화시공시스템의 구축이 가능할 것이다. 설문 결과에서 제시된 바와 같이 빌딩자동화시공시스템의 성공적 도입을 위해서는 자동화 및 로봇기술의 도입이 필요하며 무엇보다 자동화 및 로봇 기술의 적용이 가능한 환경 구축이 선행되어야 한다. 종합시공관리시스템의 구축을 위해서는 IT기술과의 접목이 필수적이며 일부에서 적용되는 4D-CAD 및 RFID 기술의 필요한 것으로 사료된다.

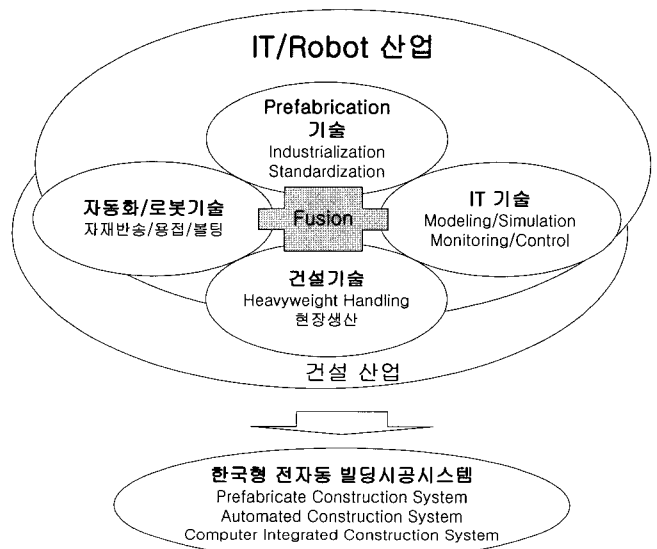


그림 4. 빌딩자동화시공시스템의 개발 방향 제안

반면에 필요기술의 선별적인 개발이 필요하다. 현재 제시되어 있는 요소기술은 1990년대 일본에서 개발된 시스템을 기본으로 분류한 것이며 시기적인 차이가 있다. 현재 및 한국의 건설 환경은 일본과는 차이를 보이고 있으며 크게 그 차이점을 분석하면 표4와 같다. 우선적으로 고려해야 할 것은 대지붕가구설비의 개선이다. 일본의 대지붕가구설비는 SMART의 경우 1,500톤 규모의 대규모 설비로서 해체의 문제가 있어 본설 구조물로 사용되고 있다. 이러한 점은 건축물의 디자인 및 사용성에 악영향을 끼치며 유압상승장치의 대규모화를 불러 전체 공사비의 상승을 초래한다. 이는 빌딩자동화시공시스템의 지속적인 개발을 저해한 요인일뿐만 아니라 도입자체를 어렵게 하는 원인이 된다.

또한 일본에서는 건축물의 전체적인 시공공법으로 적층공법을 택하고 있어 우리나라의 실정에 부적합한 면이 있다. 한국에서는 고층건물의 경우 대부분 코어선행공법을 택하고 있으며 이와 연동된 기술의 개발이 실제 적용가능성을 높일 수 있는 방법이다.

설문조사결과 가장 높은 답변인 용접로봇의 개발은 개선의

여지가 필요할 것으로 사료된다. 국내 현장에서 사용되는 철골 부재의 경우 H형강을 기본으로 사용하고 있어 일본의 각형과는 차이가 있다. 또한 용접접합이 주를 이루는 일본의 경우와 달리 볼트 접합 후 용접을 택하고 있어 이에 대한 고려가 필요하다. 따라서 용접로봇의 개발보다는 볼트조립 로봇의 개발이 선행되어야 할 것이다.

표 4. 일본 공법 대비 기술의 개발 방향

	일본의 공법	한국의 개발 방향
대지붕가구설비	· 분설구조물 · 천정주행크레인의 보조 역할 · 유압상승시스템의 대용량화	· 가설구조물 · 로봇의 이동 통로 및 보조 역할 · 유압상승시스템의 경량화
구조체 시공공법	· 적층공법에 적용	· 코어선행공법에 적용
조립용 로봇	· 구조체 용접로봇	· 구조체 볼트 조립 로봇

참 고 문 헌

1. 김영석, 건설자동화 R&D 단계별 전문가 그룹의 역할과 책임, 건설관리 기술과 동향, 한국건설관리학회, 2003.11.
2. 조근태, 조용곤, 강현수, 앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정, 동현출판사, 2003.
3. 채성호, 일본 건설산업의 시공자동화 전망 및 실제, 대한건축학회 학회지, Vol. 51, No. 6, 2007. 6.
4. 日本建築學會 材料施工委員會 建築生産自動化小委員會, コンストラクション オートメーション - 建築施工自動化の現状と将来展望, 2001
5. 建築図解事典編集委員会, 図解事典 建築のしくみ, 彰國社, 2001

5. 결 론

본 연구는 인건비의 증가 및 기능인력의 부족, 안전한 공사 환경 구축, 품질의 확보, 공기의 단축 등 변화하는 사회요건에 따라 수행되었다. 과거 일본에서 수행된 빌딩자동화시스템을 기반으로하여 한국 실정에 적합한 빌딩자동화시스템을 개발하기 위한 선행연구로서 일본 시스템의 요소를 분석하여 한국 실정에 적합한 개발 방향을 제시하고자 하였다.

조사 결과 빌딩자동화시스템의 개발을 위해서는 이를 뒷받침할 수 있는 자동화·기계화 설비의 개발이 우선시되어야 할 것으로 나타났다. 또한 대지붕가구설비의 개선 및 시공공법의 변화, 조립용 로봇의 개발 등을 방향으로 제시하였다.

향후 심도 있는 논의 및 지속적인 연구를 통해 구체적인 개발목표의 수립 등이 필요할 것으로 사료되며 이를 통해 한국형 빌딩자동화시공시스템이 개발되어야 할 것이다.