

QFD를 이용한 철골 조립 자동화 시스템의 부재 디자인 개발 프로세스 연구

A Study on Component Design Process using QFD for Automated Steel Fabrication System

진 일 권* 신 윤 석** 이 응 균*** 유 위 성**** 조 훈 희***** 강 경 인*****
 Jin, Il-Guan Shin, Yoonseok Lee, Ung-Kyun Yoo, Wi Sung Cho, Hunhee Kang, Kyung-In

Abstract

Recently automatic construction system is attended in construction domains because of the increase of aged workers and the shortage of the experienced. The research level of automatic construction system in Korea will soon attain to the stage of full automation like Japan, which is the highest level in the world. However, in the fully automated level, it is difficult for the automatic system to operate flexibly like the human in various work condition. In the result, the higher the level of automation in the system is, the less efficient the automatic system work in the site. So, it's necessary the development material design to compensate for the flexibility shortage of the system. Therefore, this study proposes the development process to material design suitable for automatic construction system using QFD technique.

키 워 드 : 자동화 시공 시스템, 자동화를 위한 부재 디자인, 품질기능전개
 Keywords : automated construction system, component design for automation, Quality Function Deployment(QFD)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설현장에서는 기능 인력의 수급 불균형 문제가 심각하게 제기되고 있다. 건설현장의 기능직종에 대한 기피 현상과 숙련공의 노령화에 따라 2010년에는 42만 3천 명의 기능 인력이 부족할 것으로 예상된다(심구범 2002). 이는 결과적으로 건설현장 기능인력 수급 불균형으로 인해 인건비 상승에 따른 공사비용의 증가, 시공 품질 저하, 공사 기간 지연, 그리고 건설 현장에서의 안전사고 발생 위험 증가 등으로 이어지게 된다(김영석 외 2001). '건설 자동화'는 이에 대한 해결 방안 중 하나로 주목 받고 있다(장현승 외 2003).

1990년대부터 이미 국내 건설자동화 연구는 커튼월공사용 로봇, 콘크리트 바닥 연마로봇 등을 작업에 투입하여 건설작업에서 생산성 향상 및 안전성 확보에 기여하고 있다(이승열 외

2006). 최근에는 일본의 SMART 시스템(Shimizu, 1993)처럼 건물을 현장에서 완전한 자동화로 건설할 수 있는 시스템 개발의 단계에 접어들고 있다(신윤석 외 2007). 그러나 부분 자동화에서 완전 자동화로 자동화되는 비율을 높여 인력의 투입을 최소화할수록 기존의 숙련공의 작업에 대한 유연성을 모방하여 구현하기 어려운 부분들이 발생하게 된다. 결과적으로 이것은 자동화 비율을 높임에 따라 오히려 작업 효율성이 떨어지는 결과를 초래하는 것이다.

시공 자동화 시스템의 작업 유연성과 효율성을 높일 수 있는 방법으로 부재의 디자인을 자동화 시스템으로 시공하기 쉽도록 설계해 주는 것이 하나의 대안이 될 수 있다(목학수 외 1994). 하지만 지금까지의 건설 자동화관련 연구는 부분적인 자동화 장비와 로봇에 대한 연구만 진행되었기 때문에 자동화 조립에 적합한 부재 설계(Component Design)에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시공 자동화 시스템에 적합한 부재를 설계하기 위하여 품질기능전개(QFD)기법을 적용한 디자인 개발 프로세스를 제시하였다. 이를 통해 향후 시공 자동화 시스템의 작업 효율성을 향상시켜 건설자동화 기술 발전에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 국내에서 널리 사용되고 있는 타워크레인

* 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 석사과정
 ** 정회원, 고려대학교 건축공학과 박사수로
 *** 정회원, 고려대학교 공학기술연구소, 공학박사
 **** 정회원, 고려대학교 BK21건설사업단, 공학박사
 ***** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 조교수
 ***** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 교수,
 본 논문은 건설교통부가 출연하고 한국건설기술평가원에서 위탁 시행한 2006년도 첨단 융합건설기술개발사업[과제번호 : 06 첨단융합 D01]의 지원으로 이루어졌습니다.

을 개선한 지능형 타워크레인과 볼트 조립 작업 자동화를 위한 볼팅 로봇을 이용하여 철골 조립 자동화 시스템을 구현한 건축물 구조체 자동화 시공 시스템에 적합한 부재 디자인 개발 프로세스를 제안하는 것으로 한다.

본 연구에서는 해당 자동화 시스템에 투입되는 철골 부재를 대상으로 하였다. 아직 완성되지 않은 시공 자동화 시스템에 적합한 부재를 개발하기 위해서는 시스템의 기능과 역량과 같은 조건들을 고려하여 이에 적합한 부재를 실체화할 수 있는 방법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 사용자의 요구를 바탕으로 제품 디자인 개발이 가능한 기법인 QFD를 적용(Sullivan, 1986)하여 부재 디자인 프로세스를 제안하였다. 부재 개발에 필요한 요구조건들은 시공 자동화 시스템을 개발 중인 전문가들을 대상으로 한 면담조사를 통해 수집하였다. 전체적인 연구의 흐름은 아래의 그림 1과 같다.

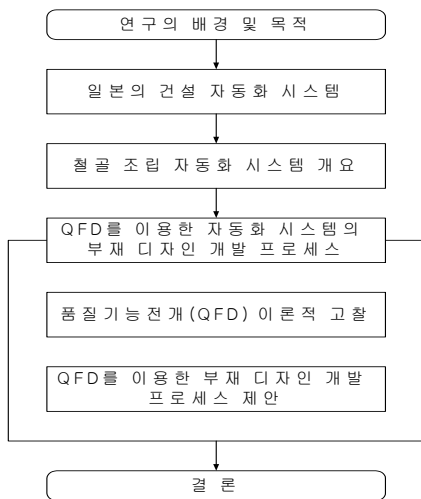
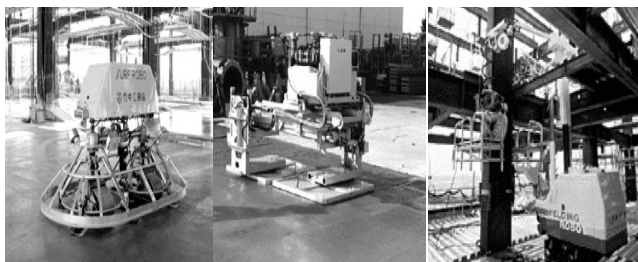


그림 1. 연구의 절차

2. 일본의 건설 자동화 시스템

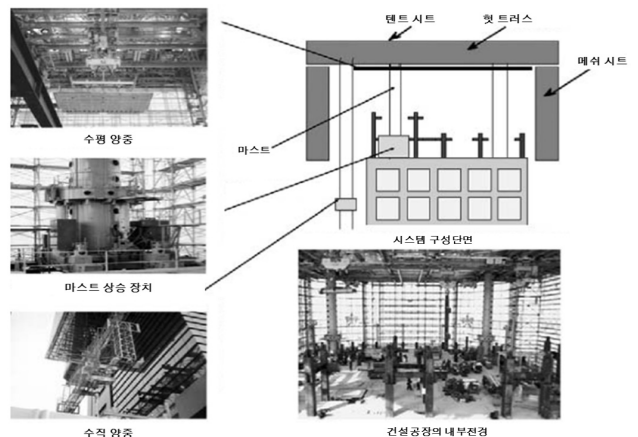
일본은 1970년대 후반부터 현재까지 건설 로봇 분야에 있어 많은 연구개발을 통해 콘크리트 미장용 로봇, 외벽 청소 및 용접 로봇(그림 2) 등 부분자동화로 단위 작업을 대상으로 하는 다양한 자동화 장비들이 개발되는 가시적인 성과를 거두었다.



(a) 콘크리트 작업용 로봇 (b) 철골 용접 로봇

그림 2. 일본의 부분자동화 장비 적용 사례

1990년대에는 슈퍼 제네콘이라 불리는 대형 건설사들의 주도로 현장 중심의 개별 요소작업을 대체하기 개별적인 자동화 장비들을 조합하여 '전자동 건축 시스템'을 구축하였다(그림 3). 당시에는 매우 혁신적인 아이디어로 주목 되었으나, 장비의 개발과 운영에 천문화적인 비용이 소요되어 실용화되지는 못했다. 일본에서는 건축물의 전체적인 시공공법으로 적층공법¹⁾을 택하고 있다. 또한, 잦은 내진으로 인해 철골 부재의 경우 각형강관을 사용하고 용접 접합이 주를 이루는 특징이 있다(이용균 외 2007).



스마트 시스템의 건설 플랜트 구조



(a) 각형강관의 가조립 (b) 수직도 조정 (c) 용접로봇에 의한 용접

그림 3. 스마트 시스템의 구성 및 조립 과정

3. 철골 조립 자동화 시스템 개요

본 연구 대상인 철골 조립 자동화 시스템은 인력을 이용한 고소작업을 통해 철골을 조립했던 기존의 재래식 시공 방법이 아닌 자동화된 시스템을 통해 철골 조립작업을 하기 위한 자동화된 시공 시스템이다.

1990년대 일본에서 개발된 건설공장(SMART System, 시

1) 적층 공법이란 미리 공장 생산한 기둥, 보, 슬래브, 외벽, 내벽 등을 한 층씩 쌓아 올라가듯이 조립하여 구체를 구축하고 이어서 마감, 설비공사까지 포함해서 한 층씩 완성시켜 나가는 시스템공법이다.

미즈 건설) 내부의 고비용 천정주행 크레인이 아닌 국내에서 널리 사용되고 있는 타워크레인을 개조한 지능형 타워크레인 구조를 택하고 볼트 조립 작업만을 위한 로봇을 CF 내부에 설치하여 시스템을 경량화 함으로써 경제적인 자동화 시공 시스템을 구현한 시스템이다(그림 4). 이는 국내 고층 건물의 경우 대부분 코어선행공법을 택하고 있으며 철골 부재의 경우 H형강을 기본으로 사용하여 볼트 접합을 하기 때문에 이와 연동된 기술의 개발이 실제 적용가능성을 높일 수 있는 방법이라 사료되었다.

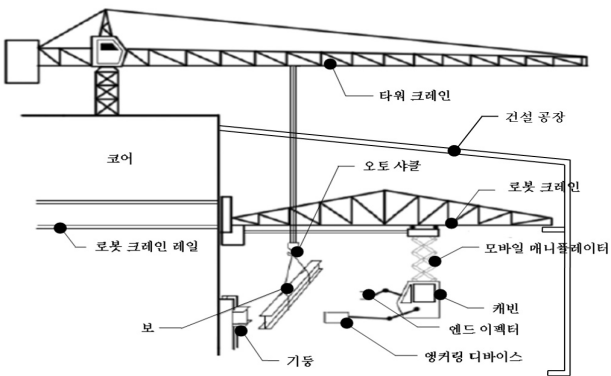


그림 4. 철골 조립 자동화 시스템 구성 단면

자동화 조립 시스템의 주요 구성 요소 및 역할을 정리하여 나타내면 다음과 같다.

- 1) 타워크레인(T/C) & 오토 샤클 (auto shackle) : 타워크레인을 이용하여 적재 장소에서 조립 위치까지 부재를 양중하고, 조립 후 양중을 위해 타워크레인에 연결되어 있던 와이어를 오토 샤클을 이용하여 해체한다.
- 2) 로봇 크레인 (robot crane) : 모바일 매니플레이터를 장착하여 로봇 크레인 레일을 이동하면서 부재 조립 위치까지 X-Y평면상에서 로봇 시스템을 이송한다.
- 3) 모바일 매니플레이터 (mobile manipulator) : 로봇 크레인의 아래부분에 부착되어 볼팅 로봇을 볼팅 체결 위치까지 Z축 방향으로 이송하는 장치이다.
- 4) 캐빈 (cabin) : 모바일 매니플레이터 아래쪽에 달린 캐빈은 작업자가 작업환경 및 공정을 감독할 수 있는 컨트롤 스테이션이다.
- 5) 센서 (sensor) : 볼팅 구멍 인식 및 로봇 이동시의 위치를 추정한다.
- 6) 앵커링 장치 (anchoring device) : 캐빈의 옆면에 장착되어 캐빈의 흔들림을 고정해 줌에 따라 볼팅 작업시 작업의 정밀성을 높여준다.
- 7) 엔드-이펙터 (end-effector) : 볼팅 로봇을 부착하여 부재의 볼트 구멍에 볼트 삽입 및 너트 조립 작업을 수행한다.

본 연구에서 자동화 시공 시스템을 통해 부재 디자인을 개발하고자 하는 사례 적용 대상은 철골조립 공정 중 중대재해 사고 발생률이 제일 높은 철골 보 조립 공정(임현호 2008)²⁾을 대상으로 하였다. 기존의 작업자에 의해 수행되었던 조립 작업과 자동화 시스템을 이용한 조립 프로세스를 비교하면 표 1과 같다.

표 1. 재래식 방식과 자동화 방식의 보 조립 프로세스 비교

공종	프로세스			
	재래식	자동화	자동화장비	
양중	보 양중	보 양중	타워크레인	
이동	작업위치로 작업자 이동	작업위치로 캐빈 이동	로봇크레인/캐빈/모바일매니플레이터	
위치 조절	로프를 이용하여 보 붙잡기	조립을 위한 보 위치 조절	타워크레인	
	로프 해체			
	보 위치 미세 조정			
가 조립	식막대 이용하여 구멍 위치 정렬	조립부 구멍 센싱 및 조절	센서 / 앵커링 장치	
	손으로 볼트 및 너트 체결(일부)	볼트 삽입 후 반대편으로 이동하여 동일한 절차에 의해 너트 체결	엔드-이펙터	
	식막대 탈착	앵커링 장치 해제	앵커링 장치	
해체	보 중앙으로 이동하여 크레인에 연결된 와이어 해체	크레인에 연결된 와이어 해체	오토샤클	
이동	작업위치로부터 복귀	작업위치로부터 복귀	로봇크레인/캐빈	
보정	수직도 재 보정	수직도 재 보정	인력	
본 조립	이동	작업위치로 이동	로봇크레인/캐빈	
	본 체결	손으로 볼트 및 너트 체결(전체)	너트 체결부위로 이동하여 너트 조임	엔드-이펙터
		장치를 통한 너트 조임		
이동	작업위치로부터 복귀	작업위치로부터 복귀	로봇크레인/캐빈	

4. QFD를 이용한 자동화 시스템의 부재 디자인 개발 프로세스

4.1 품질기능전개(QFD)의 개념

품질기능전개(QFD)는 고객의 요구가 신제품의 개념정립, 제품계획, 부품계획, 공정계획, 그리고 생산계획과 판매계획까지 모든 단계를 통해 고객의 요구가 최종 제품과 서비스에 충

- 2) 1997년에서 2006년 사이에 국내 철골공사 현장에서 발생한 중대재해사례를 작업공정별로 분석한 결과, 전체 조사대상 151건의 중대 재해사고중에서 56건(37.1%)이 보 설치작업에서 발생한 것으로 다른 공정에 비해 가장 높게 나타났으며, 고장력 볼트 본 체결작업에서 23.25%, Deck Plate 작업에서 21.2%가 발생한 것으로 나타났다. 따라서 철골 공사 중 보 설치 작업이 가장 위험한 공정이며, 안전성 향상을 위한 자동화 개발이 선행되어야 한다고 사료되었다.

실히 반영되도록 함으로서 고객의 만족도를 극대화 시키는 품질경영의 한 기법이다(인재순 외 2005).

품질기능전개(QFD)는 1972년 일본의 고베조선소에서 처음으로 행렬 형태의 도표인 품질표를 사용한 것을 시작으로 도요타와 그 부품업체들이 QFD를 더욱 발전시켰다. 1980년대에는 QFD가 미국에 소개되어 후지제록스와 포드사에서 성공을 계기로 널리 활용되기 시작하였다(Sullivan, 1986). 이와 같이 QFD의 목적은 신제품의 개발기간을 단축하고 동시에 제품의 품질을 향상시키는 것이며 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다(김광재, 1995)(그림 5).

- (1) 설계 변경의 감소 : 제품개발과 관련된 모든 활동이 소비자 요구사항을 근간으로 하여 통합적으로 이루어지므로 전통적인 순차적 개발 방식에서와 같은 부서간 의사소통의 미비로 인한 설계 변경의 필요성이 근본적으로 줄어든다.
- (2) 개발 기간의 단축 : QFD 적용시 일반적으로 제품의 개념 정립과 기초 설계 단계에서 약간의 시간을 더 필요로 하나 결과적으로는 이후 단계에서의 설계 변경의 감소로 인해 전체 개발기간은 33-50%로 단축된다.
- (3) 시운전시의 문제점 감소 : 제품의 설계과정에서 공정 및 생산단계에서 발생 가능한 상충관계를 미리 고려하므로 시운전시 문제점 발생의 소지가 줄어든다.
- (4) 설계 과정의 문서화 : QFD에서는 설계변수간 상충관계 발생의 근원 및 해결의 논리적 근거, 설계시 특별히 고려되었던 제품의 특성 등을 상세히 기록하게 되므로 향후 유용한 기록으로 남게된다.

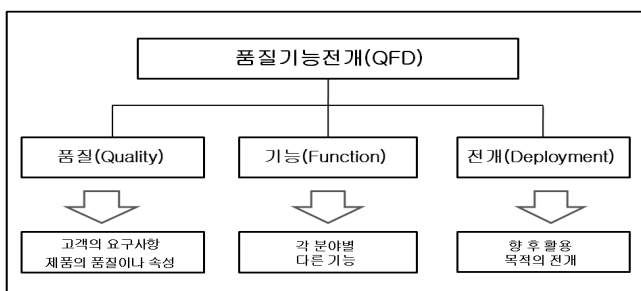


그림 5. 품질기능전개의 개념(양진국 외 2005)

4.2 품질주택(House of Quality)

QFD는 설계단계에서의 개념적 지도라 할 수 있는 일련의 품질주택(House of Quality, HOQ) 표들을 통해 이루어진다. 이 HOQ를 이용하여 각 단계의 요구사항과 이를 실천할 수 있는 방법을 관련시켜 가면서 고객의 요구사항을 구체적으로 전개하게 된다(Hauser J.R. 1988). HOQ의 구성 요소에 대한 설명은 다음과 같다(그림6).

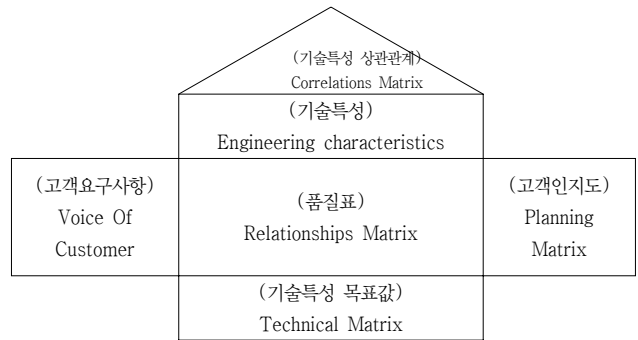


그림 6. 품질주택(House of Quality, HOQ)의 구성

- ① 고객 요구 사항 (VC): 고객의 목소리를 조사하여 고객의 요구 속성을 정리한다. 직접 면접조사를 통해 얻은 고객 요구 데이터와 일상 업무를 통해 축적되어 있던 자료를 분석하여 요구품질을 추출하고 이것을 정리한다.
- ② 기술특성 (EC): 고객의 요구사항을 만족시킬 수 있는 수단이다. 또한 하나의 고객요구에 대해 여러 개의 기술특성이 존재할 수 있고 측정 가능한 용어로 표현하여야 하며 고객이 직접적으로 인식할 수 있어야 한다.
- ③ 품질표 (RM): 고객 요구사항과 기술 특성에 대한 관련 정도를 표현한 것으로 기호를 사용하여 표시한다. 각 Cell의 관련정도는 추진팀에 의해 결정된다.
- ④ 기술특성간의 상관관계 (CM): 기술특성간 상호관련성 및 상호의존성을 표현한 것으로 개발과정에서 노력의 집중 부분에 대한 파악을 위해 필요하다.
- ⑤ 고객의 인지도(기획품질) (PM): 고객의 요구별로 자사와 경쟁제품들에 대한 고객들의 인지도가 비교되고 있다. 여기서 중요한 고객의 요구를 찾아낸다. 이 부분을 특히 기획품질 설계시에 많이 사용한다.
- ⑥ 기술 특성의 목표값 (TM): 기술 특성의 목표값들은 새로운 제품이 고객의 요구사항을 잘 만족시킬 수 있도록 정해진다. 품질표에서 상대적인 중요한 기술특성을 파악하여 이들의 목표수준 설정에 초점이 맞추어 진다.

4.3 QFD를 이용한 부재 디자인 개발 프로세스 제안

시공 자동화 시스템에 적합한 부재 디자인을 개발하기 위해서 기존의 재래식 방식의 프로세스와 자동화 방식의 프로세스를 비교하고 시스템을 개발하는 실무 전문가들을 통해 자동화 시스템을 위한 요구사항을 도출한다. 그리고 도출된 요구사항을 QFD에 적용하여 주요 품질 요소를 설정하고 전문가 검토를 거쳐 부재 디자인에 대한 설계 품질을 설정하여 아이디어 도출 및 평가를 통해 최종적인 부재 디자인을 결정한다.

본 연구에서 제안하는 QFD를 적용한 부재 디자인 개발을 위한 단계적 분석 내용은 다음과 같다(그림 7). 품질전개방법

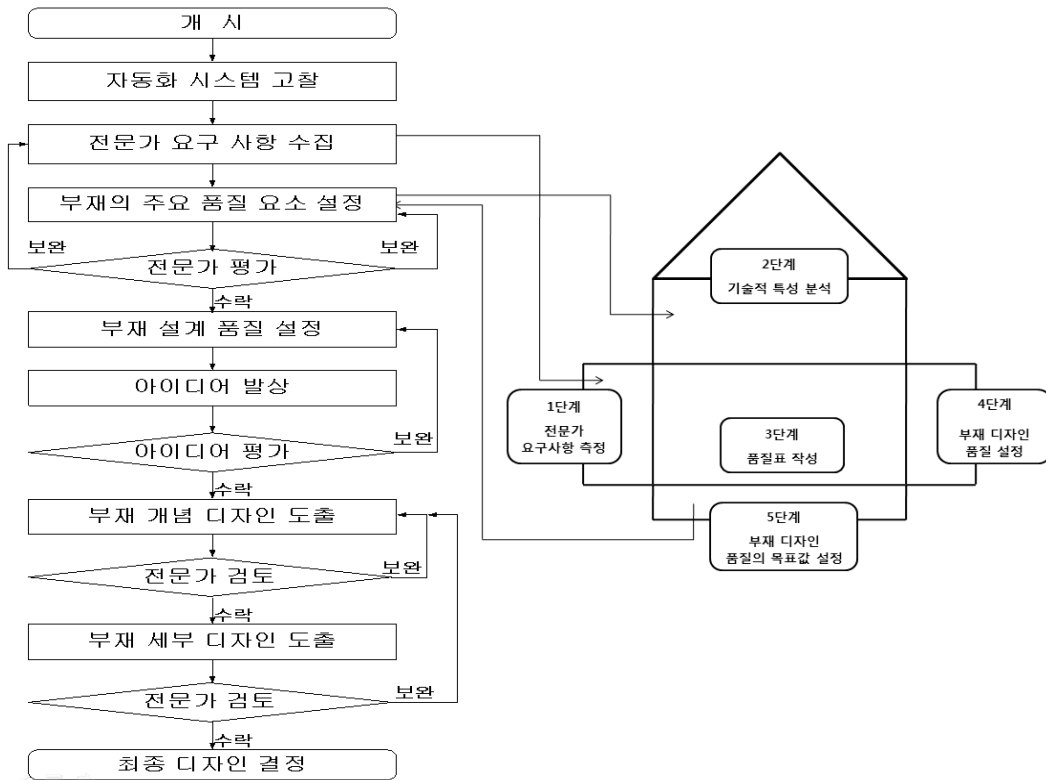


그림 7. QFD를 적용한 부재 디자인 개발 프로세스

은 사용자의 요구사항을 체계적으로 반영하여 설계특성을 추출한 후 설계의 목적과 방향을 명확하게 설정하도록 지원해주는 기법으로 이는 부재 디자인 개발 단계 업무에서 요구되는 부분과 일치한다. 따라서 본 연구에서 제안하는 부재 디자인 프로세스는 시공 자동화 시스템 개발 단계에 있어 필요한 요구 사항을 총체적으로 해결 할 수 있는 방법이라고 판단되며 그에 따른 예상효과는 다음과 같다.

- 1) 시스템 개발을 위한 전문가들이 조직적으로 접근할 수 있는 도구를 제공해준다. 이는 연구 개발팀 조직이 구성된지 얼마 되지 않아 실시되는 업무이다. 따라서 업무 진행과정에서 발생할 수 있는 어려움을 절차 및 방법을 제공해줌으로써 해결해 준다.
- 2) 전문가의 요구사항을 체계적으로 분석하여 효율적인 분석결과를 도출할 수 있다. 단순히 기존의 부재를 자동화 시스템을 위하여 전문가들이 요구하는 항목만을 도출하는것이 아니라 품질기능전개 방법을 통하여 어떠한 방법으로 이를 실현할지를 정량적으로 수치화 할 수 있다.
- 3) 부재 디자인의 목표 및 방향 설정을 명확하게 해준다. 이는 개발 전문가들이 요구하는 부분을 어느 정도까지 실현 가능한지를 설정하고 그에 따른 목표와 진행방향을 명확히 하는데 도움을 준다.
- 4) 관련 시스템 개발 업무의 기준 제공한다. 이는 기능분석이나 아이디어 창출업무를 실시하는데 있어 무엇을

(What), 어떻게(How)라는 중요 키워드를 제공함으로써 원활한 업무 진행과 결과의 신뢰를 증진시킨다.

5. 결 론

최근 건설현장에 대한 기피와 숙련공의 노령화로 인하여 기능 인력의 수급 불균형의 대안으로 건설 자동화 시스템이 주목 받고 있다. 그러나 자동화 시스템의 자동화 비율이 높아짐에 따라 숙련공과 같은 작업 유연성을 구현하도록 하기 어려운 부분들로 인해 오히려 작업 효율성이 떨어지는 결과가 나타날 수 있다.

따라서 본 연구에서는 시공 자동화 시스템에 적합한 부재를 설계하기 위하여 품질기능전개(QFD)기법을 적용한 디자인 개발 프로세스를 제안하였다. 제안된 프로세스와 같이 자동화 시스템에 적합한 부재 설계를 자동화 시스템 개발과 병행한다면 체계적인 절차에 따른 분석과 부재 디자인의 명확한 목표 및 방향을 설정하는데 도움을 줌으로써 자동화 시스템의 효율성 향상과 개발 기간의 단축 등을 이룰 수 있을 것으로 기대된다.

하지만 본 연구에서는 시공 자동화 시스템의 작업 유연성과 효율성을 확보할 수 있도록 QFD 기법을 적용하여 자동화 시공 시스템에 적합한 부재 디자인 개발 프로세스만을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 프로세스를 따라 향후 실제 부재 개발 연구를 진행하도록 하겠다.

참 고 문 헌

1. 국토해양부, 로봇틱 크레인 기반 고층건물 구조체 시공 자동화 시스템 개발 (2차년도 보고서), 2007.
2. 김광재, QFD를 통한 설계단계에서의 품질향상, 대한산업공학회 IE매거진 2권 1호, 1995, pp.16-21.
3. 김영석, 김현철, 서정희, 오세욱, 국내 건설 산업의 건설 자동화 및 로봇틱스 도입 방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 17권2호, 2001, pp.111-120.
4. 목학수, 하재우, 차동균, 조립자동화를 위한 제품설계 기술개발 한국정밀공학회지 11권 1호, 1994, pp.184-191.
5. 신윤석, 진일권, 안성훈, 조훈희, 강경인, 양중작업 자동화를 위한 부재진동에 따른 타워크레인의 작업가능 기준 연구, 한국건설관리학회논문집 11권 2호, 2008, pp.108-116.
6. 심규범, 건설기능인력의 수급실태 및 대응방안, 건설산업동향, 한국건설산업연구원, 2002.
7. 양진국, 김수용, 품질기능전개 기법을 적용한 건설프로젝트 설계VE 준비단계 업무 개선 및 체계화, 한국건설관리학회논문집 6권 4호, 2005, pp.122-132.
8. 이승열, 한창수, 이계영, 이상현, 국내 건설 내/외장재 설치 로봇, 대한건축학회 논문집 23권 8호, 2007, pp.201-212.
9. 이용균, 강경인, 건물 자동화 시공 시스템 개발 방향에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집 7권 3호, 2007, pp.67-73.
10. 인재순, 휴대폰 배터리 개발을 위한 QFD 활용 연구, 한국산업경영시스템학회지 28권 3호, 2005, pp.18-25.
11. 임현호, 안전성 및 생산성을 고려한 자동화 요구도 지수의 개발, 고려대학교 석사학위논문, 2008.
12. 장현승, 우성권, 건설공사의 자동화·기계화의 효과 및 확대 방안, 건설산업동향, 한국건설산업연구원, 2003.
13. Hauser, J.R., Clausing, D., The House of Quality, Harvard Business Review, Vol. 66, No. 3, 1988, pp.63-73.
14. Kurita, H., Tezuka, T., Takada, H., Robot Oriented Modular Construction System - Part II: Design and Logistics, Automation and Robotics in Construction, 1993, pp.309-316.
15. Shimizu, Shimizu Manufacturing system by Advanced Robotics Technology (SMART), in R&D product pamplet, Shimizu Tokyo, 1993.
16. Sullivan, L.P., Quality Function Deployment, Quality Progress, Vol. 19, No. 6, 1986, pp.59-65.