

건설 자동화 장비 도입을 위한 기술도입 영향요인 분석

Analysis of the Technology Adoption Impact Factors for Automated Construction Equipment

이 치 주*
Lee, Chijoo

이 강**
Lee, Ghang

심 재 광***
Sim, Jaekyang

Abstract

New construction technologies, especially automated equipment, are rarely deployed on a construction site where many accidents and claims occur. This study analyzed and derived impact factors for technology adoption to improve the chance of adopting automated construction equipment to the field. First, impact factors were classified into functional and non-functional factors. Then the functional factors were divided into usability and functionality factors, and the non-functional factors into cost, construction property, and organization factors. Next, the importance and realization possibility of each impact factor were analyzed through a survey with experts. Usability and functionality were analyzed to have the highest importance and realization possibility. Lastly, the differences between construction companies and equipment development companies in the importance and realization possibility of each factor were analyzed. Construction companies recognized previous relationship, operator's attitude, members' will, and construction quality more important than equipment development companies. The equipment development companies should consider these differences between the view of construction companies and that of equipment development companies on the impact factors. The result of this study can be used as a basis for evaluating for automated construction equipment in the preliminary development phase.

Keywords : *automated equipment, impact factor of technology adoption, importance, realistic possibility*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

노무인력의 부족 및 임금상승, 그리고 작업 안전성의 확보를 위하여 건설 자동화 장비의 필요성이 증가하고 있다. 하지만, 건설 산업의 보수성과 같은 특징으로 인하여 개발된 자동화 장비의 현장 도입이 원활하지 않다. 본 연구에서는 자동화 장비도입에 영향을 미치는 기술도입 요인들을 도출하고 분석하여, 건설 자동화 장비 개발의 사전 단계에서 참고할 수 있는 평가 기준을 제시하고자 한다. 이를 통해 건설자동화 장비의 보급이 보다 안

정적으로 이루어지는데 기여하고자 한다. 본 연구에서의 자동화 장비 범위는 반자동과 완전자동을 모두 포함한다. 반자동은 장비 운행에 일부 사람의 조작이 필요한 것을 말하며, 완전자동은 사람이 제어하지 않아도 기계가 혼자 운행 가능한 것을 말한다.

선행연구들에서는 대부분 개발된 자동화 장비의 개발 방법과 주요 기능을 설명하거나 (이원재 외 2011; Haas 1996; Khoshnevis 2004; Lytle et al. 2004; Rebolj et al. 2008; Shapira et al. 2008; Slaughter 1997; Spath and Andres 1997; Wakisaka et al. 2000), 생산성과 경제성과 같은 자동화 장비를 도입함으로써 얻을 수 있는 성과를 분석하였다 (이

* 일반회원, 연세대학교 건축공학과, 공학박사, news3749@gmail.com

** 중신회원, 연세대학교 건축공학과 부교수, 공학박사(교신저자), glee@yonsei.ac.kr

*** 일반회원, 연세대학교 대학원, 건축공학과, 박사과정, jk.sim@samsung.com

정호와 김영석 2008; Kim et al. 2009; Lee et al. 2003; Rosenfeld and Shapira 1998). 또한, 자동화가 필요한 작업들을 도출하기 위하여 자동화 대상 작업을 선정하고 우선순위를 분석한 선행연구들도 있었다 (김영석 외 2008; 이정호 외 2010; Guo and Tucker 1996).

일반 건설 장비를 선정할 때 영향을 미치는 요인들을 분석한 연구들도 있었지만 (Shapira and Goldenberg 2005, 2007; Goldenberg and Shapira 2007), 자동화 장비 선정에 영향을 미치는 요인들을 분석한 선행연구들은 없었다. 일반 건설장비들은 기존의 건설 시장에서 일정 수준 이상의 성능과 안전성을 검증받은 것들이 대부분이므로, 선행연구들에서는 장비 자체의 성능과 안전성 보다, 건설장비 도입을 고려하는 건설현장과 건설 회사의 상황에 적합한지가 주요 고려요인들이었다. 하지만 건설 자동화 장비들은 일반 장비들과 달리 성능과 안전성에 대한 검증이 부족하고, 단기적 관점에서 일반 건설 장비보다 추가 비용을 지불해야 하는 한계가 있다. 또한 기존과 다른 생소한 자동화 장비를 사용함에 따라 고려해야 하는 장비 진입로 혹은 다른 장비 및 선·후행 공종간의 관계, 그리고 작업자의 수용 태도와 같이 예상치 못한 부분에 대해서도 영향도 고려하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 건설 자동화 장비 도입에 영향을 미치는 기술도입 요인들을 도출하고 중요도와 실현 가능성을 분석하고자 한다. 이를 사용자인 건설사와 개발자인 장비 업체들의 관점별 차이를 분석하여, 각 사용자들이 자동화 장비의 개발 사전 단계에서 적용할 수 있는 평가기준을 제시하고자 한다.

1.2 연구의 흐름 및 방법

본 연구는 자동화 장비 도입의 영향요인 도출과 분석의 두 단계로 구성된다.

먼저, 선행연구 고찰을 통해 자동화 장비 선정 영향요인들을 크게는 기술과 비기술 요인으로 분류하고, 작게는 사용성과 기능성, 비용, 공사특징, 그리고 조직 요인으로 분류하여 도출하였다. 그 후 국내 건설 자동화 장비 개발 전문가와의 인터뷰를 통하여 요인들을 검증하고, 부족한 요인들을 보완하였다.

다음으로, Martilla와 James (1977)의 중요도-성취도 분석 (Importance-Performance Analysis, IPA)을 응용하여, 그림 1과 같이 영향요인들의 중요도와 실현 가능성을 분석하였다. 본 연구에서는 자동화 장비 도입에 미치는 영향의 크기를 분석하기 위하여 1) 중요도를 평가기준으로 선정하였고, 도입의 목표를 실현할 수 있는 능력을 분석하기 위해 2) 실현 가능성을 평가기준으로 선정하였다. 중요도가 높더라도 실현 가능성이 낮으면, 자동화 장비 도입 가능성을 향상시키기 어려울 것이기 때문이다.

중요도와 실현 가능성의 분석은 전문가 설문을 기반으로 하였으며, 퍼지이론을 적용하여 언어의 애매모호함을 보완하였다. 이 두 가지 평가기준들을 기반으로 자동화 장비의 건설 현장 도입 가능성 향상을 위한 우선 관리요인들을 도출하였다.

또한, 건설사와 장비 개발사의 관점별 차이에 따른 영향요인들의 분석 결과를 비교하였다. 두 집단의 관점별 차이가 있는 영향요인들을 장비 개발사가 중점 보완한다면, 자동화 장비의 도입 가능성을 향상시킬 수 있을 것이기 때문이다.



그림 1. 중요도-실현 가능성 평가 매트릭스

2. 자동화 장비 도입의 영향요인 도출

건설자동화 장비의 도입 가능성을 분석한 연구는 없었으므로, 건설 자동화 장비를 대상으로 하지 않더라도 건설 장비 (김성근과 구분상 2010; Goodrum and Haas 2002; Shapira and Goldenberg 2007; Thomas Ng et al. 2009), 생산성 (Rivas et al. 2011), 자동화가 필요한 건설작업 (Guo and Tucker 1996), 건설 자동화를 위한 연구개발 (김성근 외 2004; 김영석과 이정호 2003; 김영석 외 2008; 이정호 외 2010; Slaughter 1997), 그리고 IT 기술을 접목한 건설 시스템의 평가 (Elmisalami et al. 2006)에서 제시한 영향요인들을 기반으로 자동화 장비의 도입 가능성에 영향을 미치는 요인들을 도출하였다.

표 1과 같이 영향요인들을 크게는 기술과 비기술 요인, 작게는 사용성과 기능성, 비용, 공사특징, 그리고 조직으로 분류하여 도출하였다. 본 연구의 분석 대상인 자동화 장비뿐만 아니라 새로운 기술의 도입여부를 결정할 때는 기술적 측면과 비기술 측면

을 동시에 고려하여야 한다. 비용과 같은 정량적인 비기술적 요인들뿐만 아니라 내부 사용자들의 태도와 의지와 같은 비기술 요인들도 새로운 기술 도입의 성공여부에 영향을 미치기 때문이다 (Davis et al. 1989).

표 1. 자동화 장비의 도입 영향요인

상위	분류	하위요인	주요내용
기술	사용성	(A1) 생산성	작업시간의 단축, 작업인원의 감소
		(A2) 안전성	위험도, 육체·정신적 피로도, 불쾌감
		(A3) 공사품질	작업의 정확성과 일관성
		(A4) 사용 용이성	조작과 작동의 용이성, 학습 난이도
	기능성	(B) 성능	작업 수행능력
		(B2) 유연성	공사현장과 건물 특징의 대처 능력
		(B3) 확장성	기능의 추가·변경, 인터페이스 변경
비 기술	비용	(C) 초기투자비	구입비와 학습·교육비
		(C2) 유지관리비	생애주기 동안 발생한 고장의 정비비
	공사 특징 조직	(D) 적용 작업의 특징	작업난이도, 빈도, 유사작업 가능성
		(E) 구성원 인식·의지	구성원의 인식 수준과 도입 의지
		(E2) 운전자 수용태도	변화된 작업 방법의 수용태도
		(E3) 개발자·사용자 사전관계	개발자와 도입 조직의 사전 관계
		(E4) 과거 도입경험	과거 도입 경험

표 1의 기술 도입 영향요인들 중에서, 기술요인의 사용성과 기능성을 구분하는 기준은 건설 현장에서 자동화 장비를 도입하는 목표와 방법의 개념적 차이이다. 사용성 요인들은 자동화 장비를 도입하는 이유, 즉 도입 목표를 의미한다. 예를 들어 사용성 요인의 하위요인들인 생산성과 안전성, 공사품질, 그리고 사용 용이성은 건설회사가 자동화 장비를 도입하는 목표이다. 기능성 요인들은 자동화 장비를 도입하는 목표를 이루기 위한 방법을 의미한다. 예를 들어 기능성 요인의 하위요인들인 성능과 유연성, 확장성, 그리고 다른 작업 및 장비와의 관련성은 자동화 장비 도입 목표인 생산성과 안전성 향상 등을 실현하기 위한 방법적 요인들이다.

사용성 요인의 하위요인들 중에서 생산성은 자동화 장비를 사용하게 되는 이익인 작업시간의 단축과 작업인원의 감소를 의미한다 (김성근과 구분상 2010; 김성근 외 2004; 김영석과 이정호 2003; 김영석 외 2008; Elmisalami et al. 2006; Guo and Tucker 1996; Shapira and Goldenberg 2007; Slaughter 1997; Thomas Ng et al. 2009). 안전성은 기존 작업 방식에서 작업자가 수행하기에 육체적 및 정신적 위험도와 피로도, 그리고 불쾌감을 느낄 수 있는 작업을 대신 수행해 줄 수 있는 능력을 의미한다 (김성근 외 2004; 김영석 외 2008; Guo and Tucker 1996; Slaughter 1997). 공사품질은 목표 품질을 달성할 수 있는 능력이며, 자동화 장비를 사용할 경우의 작업 정확성

과 일관성을 의미한다 (김성근 외 2004; 김영석 외 2008; Guo and Tucker 1996; Rivas et al. 2011). 사용 용이성은 자동화 장비의 조작과 작동의 용이성, 그리고 학습 난이도를 의미한다 (김성근과 구분상 2010; Guo and Tucker 1996; Rivas et al. 2011; Thomas Ng et al. 2009).

기능성 요인의 하위요인들 중에서 성능은 자동화 장비의 작업 수행능력을 의미한다 (김영석과 이정호 2003; Elmisalami et al. 2006; Thomas Ng et al. 2009). 유연성은 공사현장 및 건물의 특징에 따라 대처할 수 있는 능력을 의미한다. 확장성은 자동화 장비의 운전자와 건설 현장의 특징에 따라 인터페이스의 변경과 같은 추가적인 기능의 변경이 가능한 수준을 의미한다. 확장성과 유연성은 자동화 장비 개발 연구자와의 인터뷰를 통하여 중요한 도입 영향요인으로 선정된 요인들이다. 타 작업 및 장비와의 관련성은 적용된 자동화 장비가 작업의 시간적 및 공간적 범위에서 다른 작업 및 장비들과의 관련되는 수준과 간섭의 여부를 의미한다 (김성근과 구분상 2010; Shapira and Goldenberg 2007; Slaughter 1997; Thomas Ng et al. 2009).

비기술 요인은 도입비용과 공사 특징, 그리고 조직 요인들로 구성되어 있다. 먼저, 비용 요인의 하위요인들 중에서 초기투자비는 자동화 장비를 구입하고 작업자들이 학습하기 위해 소요되는 비용을 의미한다 (김성근과 구분상 2010; Elmisalami et al. 2006; Shapira and Goldenberg 2007; Slaughter 1997; Thomas Ng et al. 2009). 유지관리비는 자동화 장비의 생애주기 동안에 발생 가능한 고장을 위해 소요되는 정비 비용을 의미한다 (김성근과 구분상 2010; Elmisalami et al. 2006; Shapira and Goldenberg 2007; Slaughter 1997; Thomas Ng et al. 2009).

공사 특징의 하위요인들 중에서 적용 작업의 특징은 작업의 난이도와 발생빈도, 그리고 향후 다른 건설 프로젝트에서 유사한 작업이 발생할 가능성을 의미한다 (김성근과 구분상 2010; 김영석 외 2008; 이정호 외 2010; Rivas et al. 2011; Shapira and Goldenberg 2007).

조직 요인의 하위요인들 중에서 조직구성원들의 인식과 의지는 자동화 장비에 대한 구성원들의 도입 의지를 의미한다 (Thomas Ng et al. 2009). 운전자의 수용태도는 작업을 수행하는 운전자가 기존의 작업 수행방법과 다른, 자동화 장비의 작업 방법을 받아들이는 태도 및 의지를 의미한다 (Rivas et al. 2011; Shapira and Goldenberg 2007; Thomas Ng et al. 2009). 사전관계는 자동화 장비의 개발자와 자동화 장비의 도입 여부를 결정하는 조직 혹은 의사결정자들과의 사전에 형성된 관

계를 의미한다 (Thomas Ng et al. 2009). 과거의 경험은 자동화 장비를 도입해본 경험을 의미한다 (Shapira and Goldenberg 2007; Thomas Ng et al. 2009).

3. 영향요인들의 분석

표 1에서 제시된 영향요인들의 중요도와 실현 가능성을 분석하기 위해 전문가 설문조사를 하였으며, 설문조사 개요는 표 2와 같다. 설문조사 대상은 건설 자동화 장비의 사용자인 건설사와 개발자인 장비 개발사이다. 현재 국내에서 건설 자동화 장비 개발을 전문적으로 수행하고 있는 업체는 두 곳이며, 개발 업체들은 경쟁사에 대한 내부 사정의 유출에 대한 문제로 무기명으로 설문에 응답하였다. 자동화 장비 개발자는 11명이 응답하였으며, 건설사는 21명이 응답하였다. 건설사는 경력이 16년 이상인 응답자와 10-15년인 응답자가 8명으로 가장 많이 응답하였다. 아직 건설 자동화 장비의 활용이 낮으므로, 설문에 응답한 개발자가 적은 한계가 있다.

표 2. 자동화 장비의 중요도와 실현 가능성 분석을 위한 설문조사 개요

분류		5년 이하	5-9년	10-15년	16년 이상	합계
응답자 경력	건설사	2명	3명	8명	8명	21명
	장비 개발사	기술 유출 사항으로 무기명 응답				11명
설문조사 기간		2011.10.17 · 2011.10.28				

3.1 중요도와 실현 가능성 분석

본 연구에서는 표 2의 전문가 설문조사를 분석하기 위하여 정성적 평가에서 유용하게 적용될 수 있는 퍼지계층화 분석법 (fuzzy Analytic Hierarchy Process, AHP)과 퍼지 집합이론 (fuzzy set theory)을 적용하였다. 또한, 이들을 분석하기 위하여 세 점으로 표현되어 개념적으로 접근하기 쉽고 수학적 분석이 용이한 특징이 있는 삼각퍼지수를 적용하였다 (유주한 외 2006; Liu and Samal 2002).

퍼지계층화 분석법은 계층화분석법 (AHP)의 한계인 일관성 부족과 평가자에 따른 신뢰성의 차이를 극복할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 Chang(1996)에 의해 발전된 삼각퍼지수를 이용하는 퍼지계층화 분석법을 적용하였으며, 표 3은 본 연구에서 적용한 삼각퍼지수이다.

표 3. 퍼지계층화 분석법에 적용된 삼각 퍼지수

하한 값	중간 값	상한 값	하한 값	중간 값	상한 값
1	1	1	1	1	1
1 1/2	2	2 1/2	2/5	1/2	2/3
2 1/2	3	3 1/2	2/7	1/3	2/5
3 1/2	4	4 1/2	2/9	1/4	2/7

그림 2와 같이 설문조사 결과에서 비기술 요인보다 기술 요인의 중요도와 실현 가능성을 모두 높게 분석되었다. 특히 중요도에서는 기술요인과 비기술 요인의 차이가 실현 가능성보다 더 크게 분석되었다. 건설현장에 자동화 장비가 사용되지 않는 이유 중, 기술 능력의 부족 때문이라는 인식이 크기 때문으로 사료된다.

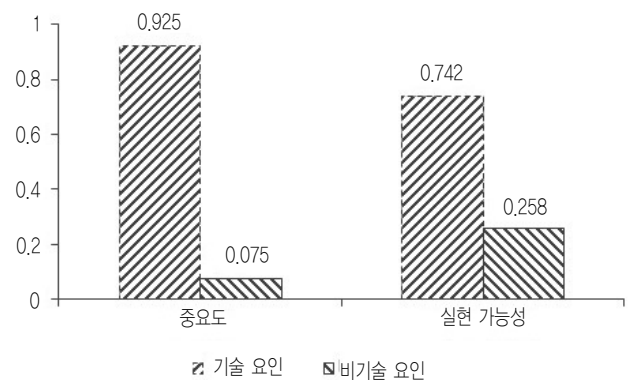


그림 2. 상위 요인들의 중요도와 실현 가능성 분석 결과

그림 2에서 분석된 상위요인들의 중요도와 실현 가능성 값들을 각 하위요인들의 절대 평가 결과에 가중치로 부여하여 종합 분석하였으며, 그 결과는 그림 3, 4와 같다. 하위요인들의 절대 평가를 위하여 표 4와 같은 퍼지집합이론의 삼각퍼지수와 가중치를 적용하였다. 가중치는 평가 대상에 대한 평가자의 인식 정도에 따라 다르게 부여하였다. 예를 들어 평가자가 기술적 측면에 대한 긍정적 인식이 높다면 기술적 측면의 상한 값의 범위를 2점 더 확장하였고, 비기술적 측면에 대한 긍정적 인식이 조금 높다면 비기술적 측면의 범위를 1점 더 확장하였다. 즉, 평가 대상에 대한 인식에 따라 영향요인의 긍정적 값인 상한 값의 범위를 확장하였다. 그리고 이들의 상한 값 한계는 10을 넘지 못하는 범위를 가진다.

표 4. 퍼지집합이론에 적용된 삼각퍼지수와 가중치

하한 값	중간 값	상한 값	
		기본 값	가중치
1	1	1	1
1 1/2	2	2 1/2	· 조금 높다 (+1) · 높다 (+2) · 매우 높다 (+3)
2 1/2	3	3 1/2	
3 1/2	4	4 1/2	
4 1/2	5	5 1/2	
5 1/2	6	6 1/2	
6 1/2	7	7 1/2	

그림 3, 4와 같이 중요도와 실현 가능성 모두 기술 요인에 포함된 하위요인들이 비기술 요인에 포함된 하위요인들 보다 장비 선정에 있어서 중요도와 실현 가능성이 더 높게 분석되었다. 중요도 분석에서는 성능 (1위)이 가장 높았으며, 다음으로 공사품질과 안전성 (2위), 생산성 (4위), 사용 용이성 (5위), 확장성 (6위), 유연성 (7위), 타 작업 및 장비와의 관련성 (8위), 초기투자비 (9위), 조직 구성원의 의지 (10위)의 순으로 분석되었다. 실현 가능성에서도 성능 (1위)이 가장 높았으며, 다음으로 생산성 (2위), 안전성 (3위), 사용 용이성 (4위), 공사품질 (5위), 확장성 (6위), 타 작업 및 장비와의 관련성 (7위), 유연성 (8위), 적용 작업의 특징 (9위), 초기투자비 (10위)의 순으로 분석되었다.

건설 자동화 장비의 성능 (1위)이 중요도와 실현 가능성 모두에서 가장 높게 분석되었다. 이는 자동화 장비 선정에서 가장 중요한 요인이 성능인 것과 동시에, 건설 현장의 목표 요구 수준을 실현 시킬 수 있는 가능성이 높은 요인도 성능으로 인식하고 있다는 것을 의미한다.

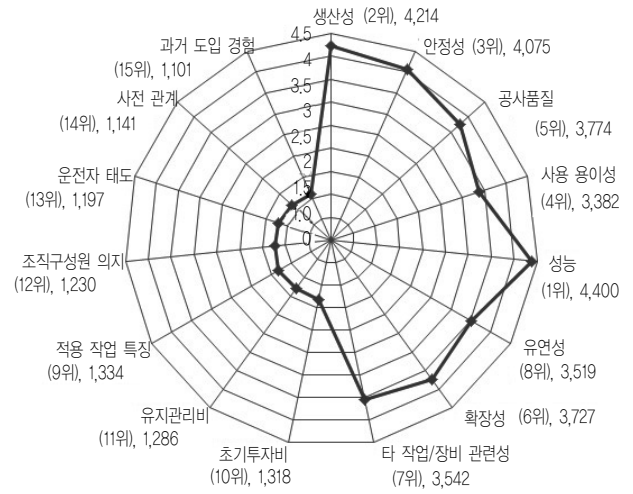


그림 4. 가중치를 종합한 하위 영향요인들의 실현 가능성

3.2 우선 관리요인 도출

그림 3과 4의 중요도와 실현 가능성 분석결과를 동시에 고려했을 경우의 우선 고려요인을 도출하였으며, 그림 5와 같다. 사용성과 기능성의 하위요인들이 중요도와 실현 가능성이 모두 높아서 주요 관리요인들로 분석되었다. 기능성 요인의 성능 (B₁)이 가장 우선시 되어야 하는 관리요인이었으며, 다음으로 사용성 요인의 생산성 (A₁), 안전성 (A₂), 공사품질 (A₃), 기능성의 확장성 (B₃), 사용성의 사용 용이성 (A₄), 기능성의 유연성 (B₂), 타 작업 및 장비와 관련성 (B₄)의 순서로 분석되었다. 우선순위가 높은 요인들을 중심으로 관리하여 자동화 장비를 개발한다면, 건설현장 적용 가능성을 높이는데 기여할 수 있을 것이다.

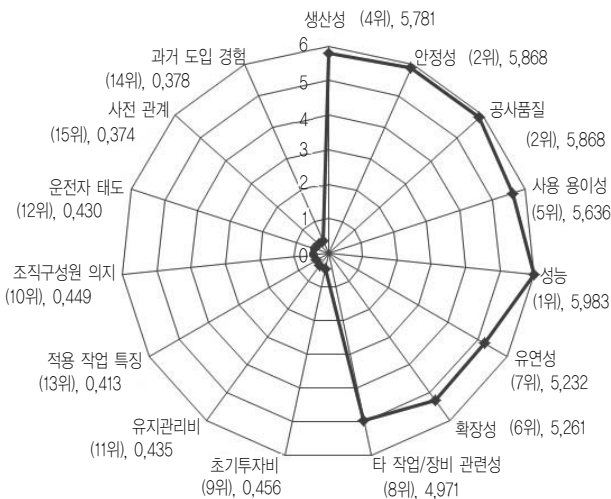


그림 3. 가중치를 종합한 하위 영향요인들의 중요도

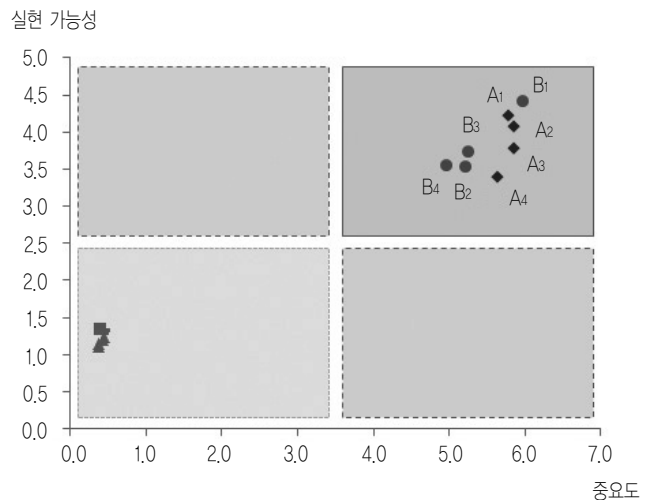


그림 5. 자동화 장비 개발 시 우선 관리요인

기존의 일반 건설장비들의 선정요인들을 분석한 선행연구들(Shapira and Goldenberg 2005, 2007; Goldenberg and Shapira 2007)의 분석결과와 차이점은 다음과 같다. 먼저, 선행 연구들에서는 일반 건설 장비를 대상으로 도입 영향요인들을 도출하고, 이들을 기반으로 비용과 이익을 종합 평가하여 장비를 선정하는 방법을 제안하였다. 이는 기존의 건설 장비를 대상으로 선정 영향요인을 도출하는 것이므로, 일정 수준 이상의 성능과 안전성이 확보되어 있는 것을 전제로 한다고 볼 수 있다. 또한 선행연구들은 각 영향요인들의 중요도와 실현 가능성과 같은 특징들을 분석하기보다, 도입 모델에 적용하기 위한 요인들을 도출하는 것에 중점을 두었다.

본 연구에서는 사용성과 기능성과 같이 기술적 측면이 보장되지 않은 자동화 장비를 도입할 때 영향을 미치는 요인들의 중요도와 실현 가능성과 같은 특징들을 분석하였다. 이들을 기반으로 범용적으로 적용될 수 있는 분석결과를 제시하는 것이 주요 결과이며, 일반 건설 장비를 분석한 선행연구와의 차이점이다.

3.3 건설사와 장비 개발사의 관점별 차이

건설사와 장비 개발사의 관점에 따른 영향요인들을 인식하는 결과의 차이를 분석하기 위하여 SPSS 15.0을 사용하여 독립 t-검증 (independent t-test)를 수행하였다. 상위요인 분석결과에 대한 두 집단의 관점별 차이는 중요도 ($t=0.319, df=30, p=0.752$)¹⁾와 실현 가능성 ($t=-1.053, df=30, p=0.301$) 모두 유의수준 5%에서 통계적으로 유의한 차이는 존재하지 않는 것으로 분석되었다. 즉, 자동화 장비 도입 영향요인들 중에서 건설사와 장비 개발사의 기술과 비기술 요인인 상위요인에 대한 인식의 차이는 없는 것으로 분석되었다.

하지만, 하위요인들의 관점별 차이에서는 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 하위요인 분석결과에 대한 관점별 차이는 표 5와 같다. 중요도 분석에서는 비기술 요인의 사전에 형성된 관계가 통계적으로 집단 간의 유의한 차이가 있었다. 실현 가능성은 기술요인의 공사품질과 비기술 요인의 구성원의 의지와 운전자의 태도에서 유의한 차이가 있었다.

표 5. 하위요인들의 중요도와 실현 가능성에 대한 독립 t-test 결과

하위요인	중요도			실현 가능성		
	t	df	Sig.(2-tailed)	t	df	Sig.(2-tailed)
생산성	-.531	30	0.600	.248	0.6	0.806
안전성	-.459	30	0.649	-.104	30	0.918
공사품질	.862	30	0.396	2.798	30	0.009
사용성	-.327	30	0.746	-.308	30	0.760
성능	-.373	30	0.712	1.296	30	0.205
유연성	-1.868	30	0.072	-.439	30	0.663
확장성	.109	30	0.914	-.790	30	0.436
타 작업/장비 관련성	1.380	30	0.178	.167	30	0.869
초기투자비	.299	30	0.767	.817	30	0.420
유지관리비	-.310	30	0.759	.138	30	0.891
적용 작업 특징	.198	30	0.845	-.364	30	0.718
구성원 의지	.360	30	0.721	2.228	30	0.034
운전자 태도	1.098	30	0.281	2.195	30	0.036
사전 관계	2.090	30	0.045	.770	30	0.448
과거 도입 경험	.128	30	0.899	1.715	30	0.097

표 5에서 집단 간 차이가 존재하는 것으로 분석된 영향요인들의 중요도와 실현 가능성을 비교한 것은 그림 6과 같다. 통계적으로 유의한 차이가 있는 모든 요인들에 대해, 장비 개발사 보다 건설사가 각 요인의 중요도와 실현가능성을 더 높게 평가하고 있었다. 즉, 장비 개발사가 건설 자동화 장비를 개발할 때 현재보다 사전에 형성된 관계에서 신뢰성을 향상시키기 위해 노력해야 한다. 또한 건설사는 장비 개발사보다 공사품질과 구성원 의지, 그리고 운전자 태도가 향상될 가능성이 크다고 생각하므로, 장비 개발사는 이를 향상시키기 위한 투자와 노력을 하여야 한다.

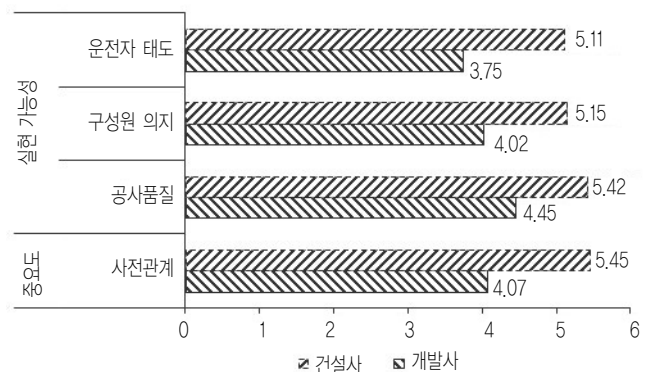


그림 6. 건설사와 장비 개발사의 관점별 중요도와 실현 가능성의 차이

1) 독립 t 검증에서 t의 절대 값이 클수록 p값이 작아진다. 즉, 통계적으로 유의미해진다.

4. 결론

건설현장에 자동화 장비들이 도입되기 위해서는 기술 개발자들이 건설 현장의 요구사항을 자동화 장비에 반영시킬 수 있어야 한다. 본 연구에서는 건설현장의 자동화 장비 도입에 영향을 미치는 요인들을 도출하고, 각 영향요인들의 중요도와 실현 가능성을 분석하였다. 본 연구의 주요 내용은 다음과 같이 세 가지로 분류할 수 있다.

첫째, 건설현장에서 자동화 장비 도입에 영향을 미치는 요인들을 기술과 비기술 요인으로, 그리고 다시 사용성, 기능성, 비용, 공사특징, 조직요인으로 분류하여 도출하였다.

둘째, 도출된 영향요인들의 중요도와 실현 가능성을 분석하였다. 분석결과 기술요인의 사용성과 기능성이 비기술 요인의 비용, 공사특징, 조직요인들 보다 자동화 장비 도입을 위해 더 중요하며, 실현 가능성이 높은 요인들로 분석되었다. 아직까지 자동화 장비가 건설현장에 도입되기에는 기술적으로 부족한 부분이 많다는 것과 비기술 요인보다 기술 요인들이 건설현장에서 요구하는 조건들을 반영하여 자동화 장비 수준을 향상시킬 수 있는 가능성이 높은 것으로 인식하고 있기 때문에 사료된다.

셋째, 건설사와 장비 개발사의 관점에 따라 중요도와 실현 가능성을 인식하고 있는 차이를 비교하였다. 중요도 분석에서는 사전에 형성된 관계가, 그리고 실현 가능성에서는 운전자 태도, 구성원 의지, 공사품질이 통계적으로 집단 간 유의한 차이가 있었다. 모두 건설 자동화 장비의 개발사 보다 건설사가 각 요인들의 중요도와 실현 가능성을 더 높게 평가하는 것으로 분석되었다.

본 연구의 분석결과, 건설사와 장비 개발사 모두 건설 자동화 장비가 건설 현장에 도입되기 위해서는 현재보다 자동화 장비의 기술적 향상이 이루어져야 된다고 인식하고 있었다. 이와 같은 분석결과를 기반으로 본 연구는 다음과 같은 두 가지 부분에서 기여할 수 있다.

첫째, 본 연구에서 도출한 자동화 장비의 기술도입 영향요인들은 장비 개발사들이 개발 사전 단계에서 적용할 수 있는 현장 적용 가능성의 평가기준으로 활용될 수 있을 것이다.

둘째, 각 영향요인들의 중요도와 실현 가능성을 분석함으로써, 건설사와 장비 개발사들이 건설 자동화 장비에 대해서 인식하고 있는 관점 차이를 비교할 수 있었다. 이와 같은 분석결과들은 장비 개발사들이 건설사의 요구수준을 충족시키기 위한 필요 조건으로 사용될 수 있을 것이다.

본 연구의 결과를 자동화 장비의 개발 사전 단계에서 적용하여 건설현장의 적용 가능성을 평가할 수 있다면, 개발 단계에서 부족한 부분을 보완하여 현장 적용 가능성을 높이는데 기여할

수 있을 것이다. 하지만, 현재 자동화 장비의 개발 및 적용이 활성화 되어 있지 않아서 장비 개발사가 드물었다. 이로 인해 장비 개발사의 의견을 수집하는데 어려운 한계가 있었다. 향후 개발이 활성화된 후에 본 연구에서 제안한 도입 영향요인들을 평가한다면, 더욱 유용한 분석결과를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 “IT융합 고급 인력과정 지원 사업”의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-c6150-1101-0003).

참고문헌

- 김성근 · 이준복 · 김영석 (2004). “건설자동화를 위한 요소기술과 기술혁신 전략에 관한 연구” 대한토목학회 논문집, 제24권 5D호, pp.795~803
- 김성근 · 구본상 (2010). “운전자의 작업행태를 고려한 지능형 굴삭기의 이동경로 생성 방법” 대한토목학회 논문집, 제30권 4D호, pp.433~442
- 김영석 · 이정호 (2003). “건설 로봇의 연구개발 프로세스 모델 구축에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제19권 6호, pp.201~209
- 김영석 · 서종원 · 이준복 · 김성근 (2008). “건설기계 자동화를 위한 기술 로드맵 개발에 관한 연구”, 대한토목학회 논문집, 제28권 4D호, pp.493~504
- 유주한 · 정성관 · 박경훈 · 김경태 (2006). “삼각퍼지수를 활용한 지역환경 평가지표 순위 결정 · 생태계를 중심으로” - 환경영향평가, 제15권 6호, pp.395~406
- 이원재 · 안치훈 · 유현석 · 이정호 · 김영석 (2011). “도로면 크랙실링 자동화 장비의 실용화를 위한 개념 디자인 및 기술적 타당성 분석에 관한 연구”, 한국건설관리학회 논문집, 제12권 제5호, 한국건설관리학회, pp.103~116
- 이정호 · 김영석 (2008). “건설자동화 기계의 연구개발 단계에 따른 성능 분석 모델 개발”, 한국건설관리학회 논문집, 제9권 제2호, 한국건설관리학회, pp.67~80
- 이정호 · 옥치을 · 최효성 · 김영석 (2010). “건설자동화 기술 개발 우선순위 도출 및 기술 로드맵 구축에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제26권 10호, pp.131~140
- Chang, D. (1996) “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”, European Journal of

- Operational Research, 95(3), pp.649~655
- Davis, F. D., Bagozzi, R. P., and R., W. P. (1989). "User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models." *Management Science*, 35(8), pp.982~103
- Elmisalami, T., Walters, R., and Jaselskis, E. J. (2006). "Construction IT Decision Making using Multiattribute Utility Theory for use in a Laboratory Information Management System." *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(12), pp.1275~1284
- Goldenberg, M., and Shapira, A. (2007). "Systematic Evaluation of Construction Equipment Alternatives: Case Study." *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(1), p.72.
- Goodrum, P. M., and Haas, C. T. (2002). "Partial Factor Productivity and Equipment Technology Change at Activity Level in U.S. Construction Industry." *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(6), p.463
- Guo, S.-J., and Tucker, R. L. (1996). "A Generic Cost-Concern Matrix for Identifying Automation Needs in Construction." *Automation in Construction*, 5(2), pp.91~104
- Haas, C. (1996). "Evolution of an Automated Crack Sealer: a Study in Construction Technology Development." *Automation in Construction*, 4(4), pp.293~305
- Khoshnevis, B. (2004). "Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies." *Automation in Construction*, 13(1), pp.5~19
- Kim, Y. S., Lee, J. H., Yoo, H. S., Lee, J. B., and Jung, U. S. (2009). "A Performance Evaluation of a Stewart Platform based Hume Concrete Pipe Manipulator." *Automation in Construction*, 18(5), pp.665~676
- Lee, J., Lorenc, S. J., and Bernold, L. E. (2003). "Comparative Performance Evaluation of Tele-Operated Pipe Laying." *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(1), pp.32~40
- Liu, M., and Samal, A. (2002). "A Fuzzy Clustering Approach to Delineate Agroecozones." *Ecological Modelling*, 149(3), pp.215~228
- Lytle, A. M., Saidi, K. S., Bostelman, R. V., Stone, W. C., and Scott, N. A. (2004). "Adapting a Teleoperated Device for Autonomous Control using Three-Dimensional Positioning Sensors: Experiences with the NIST RoboCrane." *Automation in Construction*, 13(1), pp.101~118
- Martilla, J. A., and James, J. C. (1977). "Importance-Performance Analysis." *The Journal of Marketing*, 41(1), pp.77~79.
- Rebolj, D., Babic, N. C., Magdic, A., Podbreznik, P., and Psunder, M. (2008). "Automated Construction Activity Monitoring System." *Advanced Engineering Informatics*, 22(4), pp.493~503
- Rivas, R. A., Borcherding, J., D., Gonzalez, V., and Alarcon, L. F. (2011). "Analysis of Factors Influencing Productivity using Craftsmen Questionnaires: Case Study in a Chilean Construction Company." *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(4), pp.312~320
- Rosenfeld, Y., and Shapira, A. (1998). "Automation of Existing Tower Cranes: Economic and Technological Feasibility." *Automation in Construction*, 7(4), pp.285~298
- Shapira, A., and Goldenberg, M. (2005). "AHP-Based Equipment Selection Model for Construction Projects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(12), p.1263.
- Shapira, A., and Goldenberg, M. (2007). "Soft Considerations in Equipment Selection for Building Construction Projects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(10), pp.749~760
- Shapira, A., Rosenfeld, Y., and Mizrahi, I. (2008). "Vision System for Tower Cranes." *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(5), pp.320~332
- Slaughter, E. S. (1997). "Characteristics of Existing Construction Automation and Robotics Technologies." *Automation in Construction*, 6(2), pp.109~120
- Spath, D., and Andres, J. (1997). "Concept of a Robot for Interior Building Trades by the Example of Wall Slits in Masonry." *Automation in Construction*, 6(3), pp.205~214

Thomas Ng, S., Tang, Z., and Palaneeswaran, E. (2009). "Factors Contributing to the Success of Equipment-Intensive Subcontractors in Construction." *International Journal of Project Management*, 27(7), pp.736~744

Wakisaka, T., Furuya, N., Inoue, Y., and Shiokawa, T. (2000). "Automated Construction System for High-

Rise Reinforced Concrete Buildings." *Automation in Construction*, 9(3), pp.229~250

논문제출일: 2012.09.26
논문심사일: 2012.09.28
심사완료일: 2012.11.26

요 약

안전사고와 민원이 많은 건설현장에서 새로운 건설기술, 특히 자동화 장비가 적용되는 경우는 드물다. 본 연구에서는 건설 자동화 장비의 적용 가능성을 높이기 위하여 고려하여야 하는 기술도입 영향요인들을 도출하고 분석하였다. 먼저, 영향요인들을 기술과 비기술 요인으로 분류하고, 기술요인을 사용성과 기능성 요인으로, 그리고 비기술 요인을 비용, 공사특징, 조직요인으로 분류하였다. 다음으로, 전문가 설문문을 통하여 각 영향요인들의 중요도와 실현 가능성을 분석하였다. 사용성과 기능성이 중요도와 실현 가능성이 모두 높은 요인으로 분석되었다. 또한, 영향요인들의 중요도와 실현 가능성에 대한 건설사와 장비 개발사의 관점 차이를 분석하였다. 사전관계와 운전자 태도, 구성원들 의지, 공사품질들은 모두 건설사가 장비 개발사보다 더 높게 인식하고 있었다. 본 연구의 결과를 기반으로 장비 개발사는 건설사와의 관점 차이를 인지하고, 건설사가 중요하게 생각하는 요인들을 중심으로 개발하여야 할 것이다. 또한 본 연구의 결과는 자동화 장비 개발 사전 단계에서 적용할 수 있는 평가기준으로 활용될 수 있을 것이다.

키워드 : 자동화 장비, 기술도입 영향요인, 중요도, 실현 가능성
