

건설산업동향

건설공사의 자동화·기계화의 효과 및 확대 방안

장현승·우성권

2003. 4. 14

▪요 약	2
▪연구의 배경	3
▪자동화/기계화의 효과 및 저해요인	4
▪국내외 건설산업의 자동화/기계화 현황 분석	8
▪시사점 : 자동화/기계화 확대방안	13

요 약

- ▶ 최근 건설현장에서 기능인력의 수급 불균형 문제가 심각하게 제기되고 있음. 건설현장의 기능직종에 대한 기피 현상으로 인해 2010년에는 42만 3천명의 기능인력이 부족할 것으로 보임. 또한 건설현장 숙련공의 고령화 문제는 건설현장 기능인력 수급 문제의 심각성을 보여줌.
- ▶ 이러한 문제점의 해결 방안으로서 기능인력의 공급 확대와 함께 수요 감소를 위한 다양한 연구가 필요함. 하지만 공급 확대 위주의 접근은 시대의 흐름과 기술 발전에 따른 미래 전망을 고려해 볼 때 어느 정도 한계가 있으며, 기술적 접근을 통한 수요 절감 측면의 접근과 연구가 필요함.
- ▶ 이에 대한 해결방안으로 제시된 것들 중의 하나가 바로 자동화/기계화임.
 - 일본의 경우 대형 건설업체들에서 자동화 빌딩건설 시스템의 상용화에 성공하였고, 그 우수성이 입증되어 일본 내의 고층빌딩 시공에 적극적으로 활용되고 있음.
 - 미국은 시뮬레이션과 조정기술(Simulation and Control Technology)과 자동 위치정보 시스템(Automated Positioning Systems) 부문의 활성화에 많은 투자를 하고 있음.
 - 국내는 대형 건설업체를 중심으로 주로 초고층건물을 대상으로 점진적으로 이루어지고 있으나, 그 시장 규모는 전 산업대비 1~2%로 매우 미흡한 실정임.
- ▶ 사례조사를 통한 자동화/기계화의 기능인력 수요 감소 효과는 다음과 같음.
 - HJ 너클 시스템을 이용한 리프트 업(Lift Up) 공법 - 약 9%의 기능인력 절감
 - A.C.S(Auto Climbing System) 공법 - 약 1.65%의 기능인력 절감
 - 파이프 매니플레이터(흡관 매설용 자동화장비) - 시간당 약 61%의 인건비가 절감
 - 기성 콘크리트 파일 타격식 두부정리 자동화 장비 - 연간 발생 이익 19.6% 향상
- ▶ 건설 기능인력의 수급문제와 함께 건설 노동생산성의 저하는 심각한 문제로 인식돼야 하며, 국내 건설산업의 국제 경쟁력의 확보를 위해 자동화/기계화에 대한 관심과 집중적인 연구가 수행되어야 할 것임.
- ▶ 자동화/기계화 확대를 위해서는 먼저 가능 분야 파악과 경제적 타당성 예측, 그리고 설계 단계에서부터의 도입이 고려되어야 함.
- ▶ 또한 생산성 제고를 위하여 기술 개발 투자가 확대되어야 함. 이를 위해서 1)대학, 기업, 정부 및 국책 연구소들이 컨소시엄의 형태로 구성되어야 하고; 2)인센티브 제도를 구축하고; 3)IT의 이점을 적극 활용함과 동시에; 4)자동화 기계의 국산화 추진에 노력해야 할 것임.

■ 연구의 배경

- 건설산업은 직업의 선택에 있어서 일반적인 기준이 되고 있는 직업의 안정성, 임금, 안전, 쾌적한 작업 환경 등을 만족시키지 못하는 대표적인 3D업종으로 인식되고 있음. 특히 젊은 층의 인식은 그리 긍정적이지 않으며, 자신이 일생을 종사할 직업으로서의 선호도 또한 낮은 것으로 밝혀짐.
- 일례로, 미국의 고등학교 졸업반 학생들을 대상으로 직업 및 직종 선호도에 대하여 설문조사를 수행한 결과, 건설현장 기능직종은 총 250개의 직업 중 248위를 기록하였다는 사실¹⁾은 건설현장 기능직종에 대한 젊은 층의 부정적인 인식을 확인할 수 있게 함.
- 통계상의 전체 기능인력의 공급은 증가하고 있어 노동력 공급이 원활해 보이지만 실제로 2010년에는 42만 3천명의 기능인력이 부족할 것으로 추정됨²⁾. 특히, 건설현장에서의 숙련공에 대한 구인난과 고령화는 해소되지 않고 있으며, 이들에 대한 임금 상승이 지속되는 것으로 밝혀짐.
- 이러한 기능인력에 대한 문제점들은 능력 저하 현상으로 나타나고 있으며, 결과적으로 인건비 상승, 시공 품질 저하, 공사 기간 지연, 공사 비용 증가, 그리고 건설현장에서 안전사고 발생 위험 증가 등으로 이어지게 됨.
- 따라서, 건설기능인력의 공급확대와 함께 수요 감소를 위한 다양한 연구가 필요함. 하지만 기능인력의 공급 확대 중심 정책은 기능인력의 수급 문제를 완화시킬 수는 있지만 근본적으로 문제를 해결하기엔 불가능하다고 판단됨. 이에 대응하여 해결방안으로 제시된 것들 중의 하나가 바로 자동화/기계화³⁾임. 자동화/기계화는 기능인력을 대체하는 것이 가능하며, 동시에 작업의 안전화, 쾌적화, 생력화 등을 꾀할 수 있음.

1) CII. Attracting and Maintaining a Skilled Construction Work Force, Construction Industry Institute, RS 135-1, 2000년 10월.

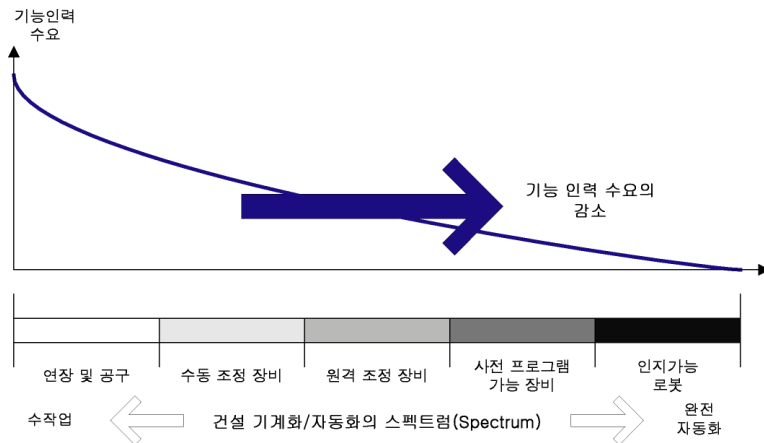
2) 심규범, “건설기능인력의 수급실태 및 대응방안”, 건설산업동향, 한국건설산업연구원, pp. 12, 2002년 6월 3일.

3) 자동화(Automation)와 기계화(Mechanization)는 엄밀한 개념에서는 차이가 있을 수도 있으나, 기계화를 자동화의 한 단계로 포함하여도 무리가 없다고 판단하여 본 고에서는 자동화/기계화를 하나의 개념으로 취급함.

■ 자동화/기계화의 효과 및 저해요인

자동화/기계화와 기능인력의 관계

- 건설산업의 자동화/기계화는 1980년대를 전후하여 급격히 확대되기 시작하였으나 불확실한 요소가 많고, 대량 생산의 문제점 등 특수성을 가지고 있어 그 시장 규모가 전 산업 대비 1~2%로 매우 미흡한 실정임⁴⁾.
- 하지만, 장기적으로 건설산업의 발전을 위하여 자동화/기계화의 필요성이 강조되고 있으며, 이 점에 대해 전문가를 대상으로 건설 자동화/기계화 도입시의 장점을 질의한 결과, 기능인력의 절감을 통한 경제성 및 생산성(49%)의 향상 외에도 중노동 및 위험 작업으로부터 해방될 수 있다는 점이 33.7%⁵⁾로서 높게 나타남. 이는 건설 자동화/기계화가 기능인력에 미치는 영향이 크다는 점을 나타냄.
- 다시 말하면, 기능인력을 통한 수작업들을 건설 자동화/기계화로 대체함으로써 인력수요의 절감 및 시공의 정밀도와 생산성까지도 향상시킬 수 있음. <그림 1>는 건설 자동화/기계화의 발전 정도에 따라 기능인력의 수요가 기하급수적으로 감소하는 현상을 보여주고 있음.



<그림 1> 자동화/기계화의 스펙트럼⁶⁾

4) 문영호, "건설로봇 도입시의 타당성 분석", 산업기술정보원, 1991

5) 김영석외 3명, "국내 건설산업의 건설 자동화 및 로보틱스 도입 방안에 관한 연구", 대한건축학회논문집 (구조계), 17권 2호, 2001년2월

6) Guo, S. J. and Tucker, R.L. "Automation Needs Determination Using AHP Approach". *Proceedings of the 10th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, Houston, TX, 1993년 5월.

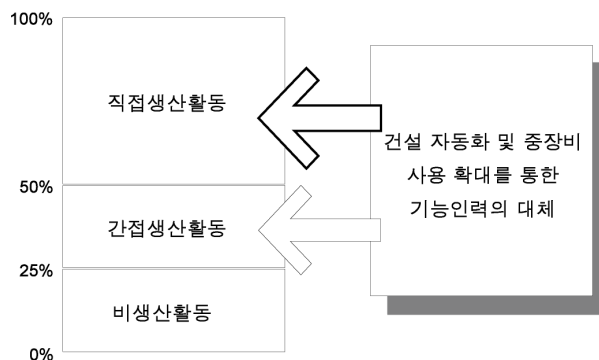
기능인력의 자동화/기계화 대체 부문

- <표 1>에서 보는 바와 같이 건설산업에서 생산활동을 직접적으로 수행하는 기능인력은 직접 생산 활동, 간접 생산 활동, 그리고 비생산 활동으로 분류될 수 있음.

<표 1> 기능인력의 분류와 기준

분류	기준
직접 생산 활동	건축물이 완성에 직접 관계되는 가공 및 조립 등의 작업 예) 콘크리트 타설, 거푸집 조립, 철근 조립, 간막이 벽공사 등
간접 생산 활동	건축물의 완성에 간접적으로 필요한 작업 예) 청소, 자재 운반, 도면 검토, 작업 토론, 작업장 이동 등
비생산 활동	건축물의 완성에 비생산적인 작업 예) 작업 대기, 공구 없이 이동, 휴식

- 이러한 생산 활동의 평균적인 비율을 <그림 2>에 나타내었는데 전체 생산 활동의 75% 이상을 직접 생산 활동과 간접 생산 활동이 차지하고 있고, 이 부분에 집중적으로 건설 자동화 및 중장비 사용 확대를 통한 기능인력의 수요 절감을 꾀할 수 있음⁷⁾.



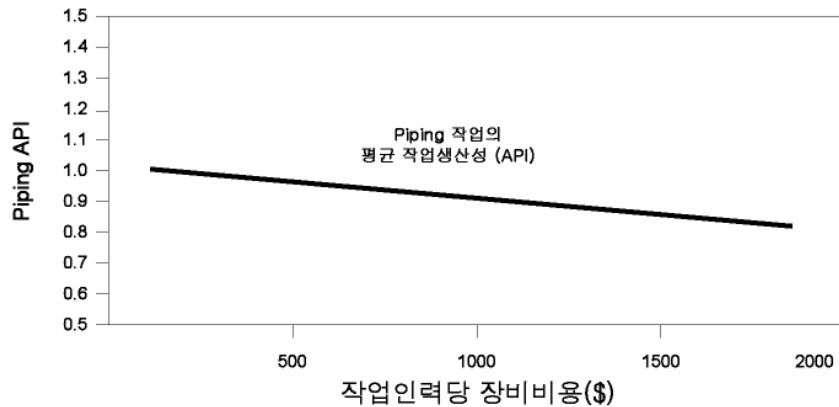
<그림 2> 기술적 접근을 통한 기능인력의 대체 부문

자동화/기계화와 생산성 향상

- 기능인력에 의하여 수행되던 작업이 장비의 도입으로 인해 기계화 또는 자동화함으로써 작업 수행에 필요한 인력을 감소할 수 있게 되며, 전체적인 작업 생산성의 향상과 비용 절감의 효과까지 기대할 수 있음을 사례를 통해 알 수 있음.

7) Adrian, J. J., Construction Productivity Improvement, Elsevier Science Publishing Co., Inc., 1987. pp.3~4.

- 건설 작업을 수행함에 있어서 장비의 활용 정도는 작업의 생산성에 중요한 영향을 미치게 됨. <그림 3>에서 보여주는 바와 같이, 동일한 작업에 충분한 장비가 활용되는 경우와 그렇지 못한 경우의 생산성을 비교한 연구 결과에 따르면, 약 15%의 차이가 존재하는 것으로 나타났음.⁸⁾



<그림 3> 장비 활용정도에 따른 작업 생산성⁹⁾

- 하지만, 생산성의 향상이란 새로운 장비의 도입 혹은 작업의 자동화뿐만 아니라, 기존 작업에 공종별 노동인력과 장비의 생산성을 고려한 효율적인 장비 운용 계획에 의해서도 가능하며, 이것은 막대한 연구 개발 노력 투입에 의해서만 이루어지는 것이 아니라 노동 집약적인 작업에 대한 공종별 집중 분석이 요구됨.
- 건설산업의 자동화/기계화의 효과는 모든 구분에서 동일한 것이 아니라 차별적이며, 공종별마다 독립적으로 쓰이기 때문에 각 공종에 관련된 집중분석이 필요함. 이는 자동화/기계화가 불필요한 공종에까지 투자를 할 필요가 없기 때문임.
- 일반적인 건설 작업의 45%가 비생산적인 시간으로 구성되어 있다¹⁰⁾는 것은 건설업에서 생산성을 50%까지 향상시킬 수 있는 기회가 있다는 것으로 다르게 표현될 수도 있음.

8) CII, Determinants of Craft Labor Productivity, Construction Industry Institute, RS 143-1, 2001년 3월

9) API (Average Performance Index)는 생산성을 나타내는 지수의 하나임. API<1인 경우는 생산성이 평균보다 높음을 의미하며, API>1인 경우는 작업 생산성이 평균 이하일 경우임.

10) Adrian, J. J., Construction Productivity Improvement, Elsevier Science Publishing Co., Inc., 1987. pp.3~4.

- 기존의 생산성 분석 기법을 활용하여 현장에서 수행되는 다양한 작업들이 얼마나 생산적인지, 그리고 작업조의 인력 구성은 효율적으로 구성되어 있는지를 분석·파악하는 것이 선행되어야 할 것임.

자동화/기계화 저해 요인

- 현재까지 건설산업에 있어 자동화/기계화가 원활하게 이루어지지 못했던 대표적인 이유로는 건설의 복잡화, 다양화 및 불예측성 작업 등을 들 수 있음. 이러한 저해 요인은 구체적으로 기술적·경영적·구조적 측면에서 찾아볼 수 있고, 이러한 사항을 아래의 <표 2>로 정리함.

<표 2> 건설산업의 자동화/기계화를 저해하는 요인¹¹⁾

분류	문제점
기술적 측면	1. 건물의 종류가 다르고, 형태가 틀리고, 반복성이 없음 2. 개별적인 설계로 반복성이 적음 3. 제조업과는 달리 대형공사이고, 중량물을 사용함 4. 공사가 이루어지는 곳이 일정치 않음 5. 한 공사장에서 동시다발적으로 작업이 이루어짐 6. 설계·시공시 시공측에서 설계측으로 정보 피드백이 불충분함 7. 작업내용이 불명확하여 불안정한 현장 상태에서 작업원의 판단에 많이 좌우됨
경영적 측면	1. 부가가치가 적고, 고급 장비의 사용이 곤란함 2. 작업 시간의 제한이 강하고, 설비 가동률이 낮음 3. 자동화/기계화의 인식도가 낮고 하도급자에 대한 의존도가 높아 기업 고유의 기술과 개발 육성력이 부족함
구조적 측면	1. 자동화/기계화에 관련된 기술자가 적음 2. 건설공사비에 연구개발비를 포함시키기 힘든 상황임 3. 자동화/기계화의 추진에 대한 공공의 지원이 약함

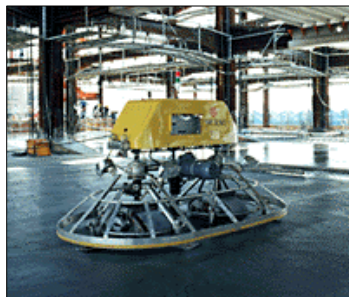
- 이러한 기술적·경영적·구조적 문제점들을 주요 고려요소로 인식하여 자동화/기계화의 활성화 방안에 지속적인 연구가 진행되어야 함. 이를 위해서는 산·학·연 공동 협력을 통한 자동화/기계화 기술의 활성화, 새로운 기술의 개발 및 제도적 정비가 필요함.

11) 신현식, 건축시공의 자동기계화, 대한건축학회지, 129호, 1986년 3월.

■ 국내외 건설산업의 자동화/기계화 현황 분석

일본의 자동화/기계화 시스템

- 일본에서는 육체적으로 힘들고 위험하고 열악한 작업환경을 개선하기 위해 그동안 건설공사의 자동화/기계화에 대하여 많은 관심과 노력을 기울여 왔음.
- 1980년대 들어 일본 등 선진국에서 기존 건설기계에 자동제어장치를 부착한 반자동건설기계개발의 시도가 성과를 거두면서 건설자동화가 추진됐음.
- 최근 일렉트로닉스 기술의 고도발전에 따른 건설용 로봇의 연구개발이 활기를 띠고 있고 건설현장에서 사용되는 a) 콘크리트 바닥표면 마감 로봇(Concrete Floor Surface Finishing Robots), b) 평면 콘크리트 타설 로봇(Horizontal Concrete Distributor), c) 철골구조 용접 로봇(Steel Frame Welding Robots), d) 콘크리트 바닥표면 워터흡수 로봇(Water Absorbing Robot on Concrete Surfaces) 등이 실용화단계에 접어들었음. <그림 4>참조
- 대형건설업체들의 자동화 빌딩건설 시스템(SMART system, ABCS, T-UP System, Lift-Up Method)은 상용화에 성공을 하였고, 그 우수성이 입증되어 일본 내외의 고층빌딩 시공에 적극적으로 활용되고 있음¹²⁾.



a) 콘크리트 바닥표면 마감 로봇

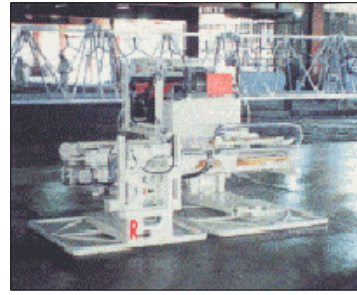


b) 평면 콘크리트 타설 로봇

12) 김영석외 3명, “국내 건설산업의 건설 자동화 및 로봇틱스 도입 방안에 관한 연구”, 대한건축학회논문집 (구조계), 17권 2호, 2001년 2월.



c) 철골구조 용접 로봇



d) 바닥표면 워터흡수 로봇

<그림 4> 건설현장에서 사용되는 로봇

미국의 자동화/기계화 시스템

- 일본보다 새로운 기술의 도입에 대한 인식이 긍정적이지 않음. 또한, 자동화에 대한 개념이 현장에서 이루어지기보다는 선제조(Modular Fabrication) 또는 CAD 등에 초점이 맞춰져 있음.
- 건설현장의 열악한 작업환경, 이에 따른 위험도와 높은 작업재해 발생률을 직업 선택에 수반되는 감수해야 하는 조건으로 인식하는 경향이 있음.
- 한편, 인력 공급 부족 문제는 어느 특정 지역의 특정 직종에서만 발생되기 때문에 일부의 경우는 노동인력의 절감에 관심을 가지지 못하고 있음. 결국, 비싼 돈을 들여 기계를 개발·제작하고, 생산 프로세스를 자동화하기보다는 기존의 풍부한 노동력을 활용하는 것이 더욱 경제적이라는 것임.
- 건설제조 자동화(Fabrication Automation)¹³⁾ 부문에 더 적극적 반응을 보여주고 있음.
 - 시뮬레이션과 조정기술(Simulation and Control Technology)의 발전으로 자동화 장비의 원격 조정(Remote Control)이 가능해질 것임. 이는 엔지니어링, 구매, 시공, 운영, 안전 관리, 리노베이션, 철거 단계 모두에 해당될 것임.
 - 자동 위치정보 시스템(Automated Positioning Systems)의 활용으로 현장의 모든 장비에 대한 위치와 상태 파악이 실시간으로 가능해질 것임.

13) CII, Vision 2020, Construction Industry Institute, 1999년

국내 자동화/기계화 시스템

- 국내 건설산업은 타 산업에 비해 전통적·보수적이고 복잡화·다양화 등의 문제점을 가지고 있어 새로운 기술의 개발 및 도입·적용에 적극적이지 않은 성향을 보여 왔음. 그동안 건설 기계화 및 자동화는 혁신적이라기보다는 점진적 발전을 이루어 왔다고 할 수 있고, 그 발전은 매우 미흡함.
- 국내 건설의 자동화/기계화 기술은 대형 건설업체를 중심으로 주로 초고층 건물을 대상으로 점진적으로 개발이 이루어지고 있음. 핵심요소기술의 개발과 시행착오를 통해 앞으로 대형건설업체 뿐 아니라 중소건설업체에서도 많은 연구개발이 이루어져야 할 것임.
- 현재 국내 건설산업의 수준은 인력 투입 작업이 대부분이고, 공사 규모가 큰 현장만이 수동 조정 장비를 갖추고 있음. 국내 건설공사의 기계화는 선진국 대비 75.4%¹⁴⁾로서 다른 항목에 비하여 상대적으로 높게는 평가되지만, 그 장비 대부분은 토목공사에서 사용되고 있음.

국내의 자동화/기계화 수요 및 기능인력 절감 사례

- 우리나라의 건설산업은 아직까지 자동화/기계화 기술의 도입단계이므로 많은 선례와 정확한 비교·분석이 미흡한 실정임. 본 고에서는 현장 인터뷰와 논문자료를 통하여 4가지 사례를 선정하여 자동화/기계화에 의한 기능인력의 수요 절감 효과를 살펴보고자 함.

사례 1) HJ 너클 시스템을 이용한 리프트 업(Lift Up) 공법¹⁵⁾

- 대형 지붕구조체를 포함하는 건축물이나 구조물의 시공기술을 한 단계 전진시키는 기술로서 HJ 너클을 이용해 지상에서 조립 완료된 지붕구조체를 리프트업시키는 기술임.

14) 최민수, 건설저널 2002. 4. pp.35~36.

15) 한진중공업-R&D-건설기술-신기술&신공법 웹페이지 인용.

- 높은 곳에 배치되는 지붕 구조체의 조립 작업을 지상에서 진행함으로써 높은 곳에서 작업시 필요한 안전 사고 방지 시설을 대폭 줄일 수 있고, 건설노무비와 현장 관리 비용 등을 크게 절감하는 효과를 가짐.
- 이 공법을 적용한 현장을 대상으로 기존의 재래식 공법과 지붕 구조체의 조립 설치 비용(간접비)을 비교한 결과, 공기 면에서는 약 2.5개월을 단축하는 것이 가능하고, 공사비 면에서는 약 30%의 절감 효과가 있는 것으로 나타남.
- 따라서 통계청의 건설공사 비용 중 직접노무비가 차지하는 약 29.2%의 비율¹⁶⁾을 적용하면, 약 9%의 기능인력을 절감할 수 있는 것으로 유추할 수 있음.

사례 2) A.C.S (Auto Climbing System) 공법¹⁷⁾

- A.C.S공법은 Core Wall 선행 공법으로써 각종 작업 발판을 장착한 System Form과 자동 인양 장치를 결합한 시스템 거푸집임. 내부 비계는 Truss Girder를 중심으로 상하 3~4단의 작업 발판으로 구성되고, 외부 비계는 Cross Beam을 중심으로 상하 4~6단의 작업 발판을 갖추고 있음.
- 일반 공법의 단가를 적용하여 A.C.S 공법을 적용한 공사 금액과 대비해 보면 직접 공사비 부문에서는 A.C.S 공법이 23% 정도 높게 나타나고, 공정 단축에 따른 경사비, 장비비 및 기능인력비의 절감 효과를 환산해 보면 A.C.S 공법의 공사 금액이 5.5% 정도 저렴한 것으로 분석됨.
- 따라서 통계청의 건설공사 비용 중 직접노무비가 차지하는 약 28.5%의 비율을 적용하면 약 1.65%의 기능인력을 절감할 수 있는 것으로 유추할 수 있음.

사례 3) 파이프 매니플레이터(흡관 매설용 자동화 장비)¹⁸⁾

- 흡관 매설용 자동화/기계화 장비는 노동생산성과 생산량의 증대라는 효과뿐만 아니

16) 통계청이 발표하는 2001년 「건설업 통계조사보고서」의 노동관련 비용 중 노무비가 전체공사비에서 차지하고 있는 비율은 약 29.2%를 차지하는 것으로 나타남.

17) www.infocon.co.kr 의 신기술내용을 요약함.

18) 이준복, 건설 자동화시공 장비개발 및 성과평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계) v.17 n.7, 2001년 7월.

라 안전문제 해결과 같은 기능인력의 문제점에도 초점을 두었음.

- 흡관 매설공사는 굴착, 흡관 매설, 되메우기의 작업으로 나뉘어지는데, 기존의 방법은 굴착기 운전원 1인, 흡관 매설 인부 2인, 보통 인부 2인을 포함하여 5명의 작업원으로 구성되어 있으나 자동화/기계화 장비에 의한 작업은 운전원 1인, 흡관 매설 인부 1인, 보통 인부 1인을 포함한 3인에 의해 완성되어 2인의 인력 절감을 달성함.
- 흡관 매설용 자동화 장비를 활용할 경우, 흡관 설치 단위미터당 전체 공종비의 43.1%까지, 그리고 시간당 인건비는 약 61%까지 절감할 수 있을 것으로 추정됨.

사례 4) 기성 콘크리트 파일 타격식 두부정리 자동화 장비¹⁹⁾

- PHC(Pretensioned Spun High Strength Concrete) 파일의 상부파쇄시 발생하는 균열을 최소화하기 위해 파일 파쇄 이전에 파일의 내·외부에서 그라인딩 작업을 수행할 수 있게 구상된 장비임.
- <표 3>은 두부정리 자동화 장비를 사용함으로써 발생하는 연간 비용을 산출하여 기존 작업의 연간 투입 비용과 자동화 작업의 연간 예상 투입 비용을 비교·분석함.
- 두부정리 자동화 작업을 위한 장비의 초기 투자 비용이 있을 수 있으나, 전체적으로 자동화 장비 1대 도입으로 인한 연간 발생 이익은 19.6%에 달하는 것으로 분석됨.
- 두부정리 자동화 장비 도입에 따라 기능인력이 일당 3인에서 1.5인으로 감소가 이루어 졌고, 편익비용비(Benefit/Cost)²⁰⁾는 3.43, 손익분기점(Break-Even Point)²¹⁾은 1년 7개월로서 장비 도입 후 19개월이 지난 시점부터 순수익이 발생하는 것으로 분석됨. 이런 점으로 미루어 보아 두부정리의 자동화는 경제적 기대 효과가 매우 높은 것으로 평가됨.

19) 원영호 외 3명, 기성 콘크리트 파일 두부정리 자동화 방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계) v.18 n.9, 2002년 9월.

20) 공공사업의 비용편익분석에 널리 이용되는 평가기준의 하나로서 사업대안의 편익과 비용에 대한 비율을 말함.

21) 손익분기점은 실제 총매출액에 대한 손익분기점일 때의 매출액 비율을 나타내는 것으로 실제 매출액이 손익분기점 매출액에 접근할수록 순이익이 떨어지고 있음을 반영하는 것임.

<표 3> 기존 작업 및 자동화 작업의 투입 비용 비교 분석

기존 작업(작업량 150분/일)				자동화 작업(작업량 150분/일)		
항목	수량	단위	비용(원)	수량	단위	비용(원)
굴삭기	1	대	300,000	1	대	300,000
유류비	200	/	120,000	200	/	120,000
할석공	2	인	200,000	0.5	인	50,000
조공	1	인	80,000	1	인	80,000
그라인더	1.5	개	39,600	3	개	79,200
파일캡	150	개	42,000	150	개	42,000
잔재처리	6*	m ³	90,000	1**	m ³	15,000
기타잡비			130,000			118,750
계			1,001,600	계		804,950
본당 투입비용			6,677	본당 투입비용		5,366
연간 비용			240,384,000	연간 비용		193,188,000
				자동화 장비 1대 도입으로 인한 연간 발생 이익		
				47,196,000		

* 두부정리 파일 상부의 약 60%가 잔재 처리되는 것으로 산정

** 자동화 장비의 경우 잔재량을 무시할 수 있을 것으로 기대되나, 파일 파쇄 과정에서 외부로 튀어나가는 잔재량을 고려하여 1m³로 산정

■ 시사점 : 자동화/기계화 확대방안

자동화/기계화 도입시의 고려요소

- 설계 단계에서부터 자동화/기계화의 도입이 필요함²²⁾.

- 선진국에 비해 건설공사의 자동화가 미흡한 원인에 대해서는 설계 단계에서 기계화나 자동화를 고려하지 않는다는 응답이 33.9%로 가장 높았음.
- 따라서 설계 단계에서부터 시공의 자동화/기계화에 적합하도록 부자재의 표준화 및 규격화, 공장 생산화, 각종 시방서의 표준화가 전제되어야 함.
- 설계, 시공, 유지, 관리 등 건설 생산의 전 과정에 걸쳐서 적절한 자동화/기계화 시스템을 구축하고, 상호 유기적인 연계 아래 기술 개발을 진행할 필요성이 있음.

- 자동화/기계화의 가능 분야 파악과 경제적 타당성 예측이 필요함.

22) 최민수, 건설저널 2002.4. pp.35~36.

- 인력 수요가 많은 공종과 전문성 및 정확성이 요구되는 작업의 기능 분야 파악이 우선 되어야 함.
 - 장비를 도입함으로써 발생하는 초기 투자 비용, 장비의 일일 소요 비용, 연간 유지 보수비용 등을 고려하고 편익비용률(Benefit/Cost)을 통해 인력 감소에 따른 이익 분석을 분명히 고려해야 함.
- 수요의 파악에 따른 마스터 플랜의 작성이 요구됨²³⁾.
- 효율적인 생산시스템의 구축을 위한 기술선도형 접근방법의 마스터 플랜의 작성이 요구됨.
 - 작성된 마스터 플랜을 기반으로 중장기적 안목에서는 각계 전문가들이 함께 기술적 로드맵(technology roadmap)과 세부 실천계획(implementation plan)을 세워야 할 것으로 판단됨.
 - 이에 따른 중장기 목표는 체계적이고 효율적인 투자 및 연구개발의 밑거름이 될 것임.

자동화/기계화 확대를 위한 기술개발투자

- 국내 건설산업은 1년 건설매출의 0.51%를 건설 R&D에 투자하는 일본²⁴⁾과 건설제조 자동화에 초점을 맞춘 미국을 벤치마킹 해야 할 것임. 하지만, 확실한 외국의 사례연구를 통해 국내의 자동화/기계화 도입시 발생할 수 있는 시행착오를 줄여야 함. 이는 시행착오로 올 수 있는 재투자 비용을 절감할 수 있고, 단기간에 자동화/기계화의 체제가 국내 건설산업에 마련될 수 있음.
- 자동화/기계화의 이상적인 목표는 완전자동시스템이지만, 이의 시작은 반자동 혹은 부분자동 시스템일 것임. 부분자동 시스템을 인력과 기계의 단순한 통신 수단이라기보다는 장비의 조종에 있어서 기계의 장점과 인력의 장점을 취할 수 있는 협력체제로 보아야 하고 지속적인 연구 및 개발을 통하여 점차적으로 인력이 말아야 하는 부분을 줄여 나가면서 자동화의 정도를 높여야 함.

23) 이준복, 국내의 건설자동화의 연구·개발 현황 및 미래전망, 한국건설관리학회, 2003.

24) Richard L. Tucker, et al. Construction Technologies in Japan, World Technology Evaluation Center, March, 1994.

- 건설산업에서 자동화/기계화 기술의 개발을 위해서는 대학, 기업, 정부 및 국책 연구소 등이 컨소시엄의 형태로 구성되어야 함. 이러한 컨소시엄의 형태는 성공적인 사업 완수를 위하여 합리적 수준에서 R&D 비용의 확보가 가능하고, 발생할 수 있는 Risk에 대한 분산효과를 가질 수 있으며, 전문가의 활용과 협력을 통해 업무의 효율성을 증진시켜 자동화/기계화 개발 사업의 성공률을 높일 수 있음.
- 국내는 건설 분야에서 신기술 지정 제도를 운영하고 있음. 건설 신기술은 2001년까지 318건이 지정되어 있으나, 아직까지 건설 현장에서는 신기술, 신자재, 및 신공법의 적용이 미흡한 상태임. 결국, 신기술의 적용을 확대하기 위해서는 신기술에 대한 정보를 널리 제공함과 동시에 시범 사업의 확대 등을 통하여 신기술에 대한 경험을 축적하고, 이를 토대로 설계 단계에서 신기술이 적극 반영될 수 있도록 인센티브 제도를 구축할 필요성이 있음.
- 이미 IT(Information Technology)의 강대국으로 우뚝 선 우리나라가 IT 이점을 적극 활용하여 건설산업의 자동화/기계화 도입과 활성화에 기술투자를 아끼지 않는다면 단기간 내에 좋은 효과를 거둘 것으로 판단됨.
- 현재 국내 건설산업의 수준은 인력 투입 작업이 대부분이고, 공사 규모가 큰 현장만이 수동 조정 장비를 갖추고 있음. 국내 건설공사의 기계화는 선진국 대비 다른 항목에 비하여 상대적으로 높게는 평가되지만, 그 장비 역시 수입에 의존하고 있어 자동화 기계의 국산화도 선결되어야 할 문제 중의 하나임.

장현승(책임연구원, jang@cerik.re.kr)

우성권(인하대학교 토목공학과 교수, skwoo@inha.ac.kr)