

건설산업 경쟁력 제고를 위한 자동화 기술

김 성 근

제주대학교 토목공학과

Automation Technology for Raising the Competitiveness of Construction Industry

Sung-Keun Kim

Dept. of Civil Engineering, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

The Korea construction industry faces several challenges to increase its importance to the economic health of the Korea's economy and competitiveness in the world construction market. These challenges include safety, productivity, quality, technology, and foreign competition issues. Construction automation is considered as one of key solutions to these challenges. In these paper, the various materials on construction automation and robotics are reviewed, the automation research patterns of foreign countries and Korea are compared, and the developed construction equipment and systems are analyzed in terms of time and cost. Some core technologies, such as sensing, distributed artificial intelligence, communication, GPS and path-planning technology, are discussed, which make it possible to move toward overall automation of fieldworks and toward commercialization of robotic construction equipment. Finally, the roles of the participants in a construction automation research are defined.

Key words : construction automation, construction robot, core technology, technical innovation

서 론

한국은행의 발표에 따르면 2003년 국내총생산은 총 721조3천459억원으로, 이것 중에서 건설업이 차지하는 비중은 7.6%에 이르는 것으로 나타났다. 과거에는 건설업이 한국의 경제성장에 상당한 기여를 해 온 것이 사실이나, 국내총생산에 기여하는 건설업의 비중이 1990년 이후 매년 감소추세에 있으며, 건설업의 경쟁력이 국가 경쟁력에 비하여 상대적으로 낮아 국가경제발전에 부담이 되고 있는 상황이다.

전통적으로 건설업은 강한 보수성을 보여 왔으며, 새로운 시도에 대한 소극적인 자세를 보여왔다. 그리고 건설업체의 성공이 주로 로비와 최고경영자의 사업 추진력에 의해 이루어진 것이 사실이다. 이러한 이유에 기인한 기술개발을 위한 인식의 부족과 투자

의 부족으로 인하여 건설업이 타 산업에 비하여 경쟁력이 많이 뒤떨어져 있으며, 시대의 새로운 요구에 부응하고 있지 못한 실정이다. 또한 높은 산업재해율, 부족한 기술인력, 및 낮은 생산성 등의 문제점을 가지고 있는 상황이다.

지난 10년간은 정보통신기술과 컴퓨터의 눈부신 발달로 인하여 많은 변화가 일어났다. 현재 건설업은 디지털 시대의 정보화지식화글로벌화 물결로 인하여 새로운 환경에 적응해야 하는 실정이다. 이러한 환경에서 살아남기 위하여, 다양해지는 사용자의 요구를 좀더 빨리 그리고 효과적으로 수용하고, "더 빠른, 더 싼, 더 품질이 좋은" 시설물 건설을 위한 능력이 절실히 필요하게 되었다.

현재 건설업이 당면하고 있는 여러 가지 문제점들을 극복하기 위한 다양한 노력들이 시도되고 있다. 많은 전문가들이 건설자동화가 현재 건설업이 당면하

고 있는 좋은 해결책이 될 수 있다는 것에 동의하고 있으며, 최근 건설자동화 연구가 많이 수행되고 있는 상황이다. 건설자동화는 작업자의 안전을 확보, 부족한 인력 대체, 품질 및 생산성 향상을 통한 경제적 이득을 가져올 것으로 기대하고 있다.

본 논문에서는 최근까지의 여러 나라에서 수행된 건설자동화 연구를 분석하고 최신 건설자동화 요소기술에 관하여 고찰하였다.

분석자료

국내외에서 수행된 건설자동화 연구를 분석하고 주요 요소기술을 도출하기 검토된 자료는 건설자동화 시스템 및 로봇 관련 논문집 및 국제 심포지엄 자료는 다음과 같다.

- Journal of Computing in Civil Engineering: 1990-2003년 자료
- Journal of Construction Engineering and Management: 1990-2003년 자료
- International Symposium on Automation and Robotics in Construction: 1990-2003년
- Automation in Construction: 1996-2002년
- 대한건축학회: 1995-2003년 자료

건설자동화 연구개발 분석

국가별 연구개발 특성

건설자동화에 관한 연구는 산·학·연·관의 주체들이 참여하여 연구개발을 하고 있으나, 각 나라의 실정과 건설업계의 구조에 따라 다른 연구개발 행태를 나타내고 있다.

미국

과거 25년간 대부분의 건설자동화 연구는 NIST(National Institute of Standards and Technology), CIFE(Center for Integrated Facility Engineering), CII(Construction Industry Institute) 등의 연구소와

Univ. of Texas-Austin, Purdue Univ., MIT, Carnegie Mellon Univ., North Carolina State Univ., Univ. of Wisconsin-Madison, Stanford Univ., 등 대학을 중심으로 수행되어 왔다. 연구개발의 결과를 민간기업에 이전하여 실용화를 추구하는 형태를 보이고 있다. 주로 자동화 기술개발 방법론과 요소기술 개발과 같은 기초연구를 활발히 진행하여 왔으며, 특히 단일작업을 위한 장비 또는 로봇의 개발보다는 자동화를 위한 종합적인 시스템 개발에 중점을 두고 있다. 그리고 최근에는 작업영역을 지상공간 뿐만 아니라 지하공간, 해저공간 및 우주공간으로 확대하여 해당 환경에 적용할 수 있는 건설자동화 요소기술을 개발하려는 노력을 기울이고 있다.

일본

제조업 분야의 로봇 연구개발을 통하여 획득한 여러 가지 요소기술을 바탕으로 비제조업 분야의 건설로봇 및 건설자동화에 관한 연구개발이 오바야시, 다이세이, 다케나카, 스미즈, 가지마, 후지타 도다 등의 대형 건설기업과 기계제작업체가 중심이 되어 수행되어 왔다. 기술 선진국들의 추격에 대비하여 건설성, 건설관련 학회, 로봇기술관련 위원회 등에 의하여 건설자동화에 관한 연구개발 분위가 확산되고 있는 실정이다. 그동안 연구는 단일작업을 위한 독립된 로봇 개발이 주를 이루어 왔으며, 자동화 및 로봇 기술을 적용하기 위한 구법의 개발도 함께 병행하여 왔다. 최근에는 건설현장의 환경을 제조업의 공장환경과 같이 구성할 수 있게 함으로써 자연환경의 영향을 최소화 할 수 있는 기술을 적용하여 생산성 향상을 보여 주고 있다. 또한 무인·무선기술을 적용하여 위험한 환경에서 작업자를 보호하기 위한 시스템을 개발하여 안전성 향상을 추구하고 있다.

유럽

건설자동화 및 건설로봇에 관한 연구는 수행 주체를 살펴보면, 프랑스의 경우에는 국립기술 연구소의 주도로 연구가 수행되어 왔고, 영국의 경우에는 주로 대학이 주체가 되어 왔으며, 독일의 경우에는 대학과 민간기업 연구소가 함께 참여하는 형태를 보여 왔다(쿠마노 등, 2001). 최근에는 유럽 국가들이 연합체를 구성하여 밀접한 관계를 이루고 있는 상황에서 비제

조업 분야의 자동화 기술개발을 위하여 산학연 협동 연구가 대규모로 수행되는 모습을 보이고 있다.

한국

1980년대 초반에 건설자동화의 필요성에 관한 연구가 수행되었고, 최근 5년간 정부의 주도로 공공 연구소와 대학에서 몇 건의 건설자동화에 관한 연구가 수행되었다. 하지만 아직도 선진국의 R&D 투자규모, 로봇 개발 및 상용화 정도의 건수와 비교하면 그 수준은 매우 미약한 실정이다(이준복과 김영석, 2003). 건설자동화 연구가 이미 선진국에서 수행된 연구를 대상으로 국내실정에 알맞게 변형하거나 기능을 추가하는 경우가 대부분이었다. 이러한 현상은 연구비를 투자하는 정부가 요소기술 개발과 같은 기초연구보다는 단기적으로 실용성을 보일 수 있는 응용연구에 중점을 두어왔기 때문인 것으로 판단된다. 2003년에 정부에서는 “인공지능 및 지능로봇 기술” 및 “건설자동화 및 로봇화”에 관한 비전과 기술지도를 제시함으로써 비제조업 분야의 자동화 및 로봇개발에 의지를 보이고 있기 때문에 필요한 요소기술을 개발하기 위한 환경이 조성될 수 있을 것으로 사료된다.

건설자동화 장비 및 시스템 개발 사례

최근까지 국내외에서 개발된 건설자동화 관련 장비는 주로 단일 공종 및 작업을 위한 것이 대부분이다(이준복, 2001). 다기능 시스템 형태의 개발사례를 살펴보면 토목공사분야의 경우 주로 터널과 토공작업을 위한 것으로 위험한 환경에서 작업자를 보호하고자 하는 목적이 크며, 건축공사분야의 경우 빌딩공사에서 제조업의 공장자동화와 같은 환경을 구축하여 전천후 작업을 통한 생산성 향상을 위한 것이다. 건설자동화 관련 논문 및 자료, 그리고 Russell 등(2003)에 언급된 현재까지 개발된 사례 중 대표적인 것을 Table 1에 나타내었다.

주로 단일목적 작업을 위한 장비들이 개발 사례가 많으며, 시방규정 및 현장여건에 알맞도록 기존의 자동화 장비를 개선한 형태도 볼 수 있다. 하지만 아직도 다용도 목적의 건설자동화 장비개발이나 다기능을 포함한 시스템 개발은 부족한 상황이다. 제조업과의 차이점을 분석하여 보면, 무인화 시공을 위한 건설장

Table 1. Example of robots and systems for construction operations

Type	Task	Equipment or System
Single type	Earthwork	John Deere 690C, REX, Haz-Trak, Super hydrofrase excavation, Automatic boulder breaking machine
	Tunneling	Microtunneling machine, Tunnel wall lining robot
	Rebar	Rebar robot, Rebar preassembly robot, Rebar fabricating robot, Rebar placing robot
	Concrete	Automatic slipform machine, Concrete placing robot for slurry wall, Shotcrete robot, HMC handing robot, Automatic laser beam-guided floor robot, Slab-finishing robot, Mobile concrete distributor, CONDIS, ACSUS, CALM, Mobile screeding robot, Kote-King, Surf-Robo, Flat-kun, Water removing robot
	Block laying/Finishing	Blockbots, Wallbots
	Structural member	Auto-claw, Auto-clamp, Mighty shackle ace, TAP, Welding robot (Fujita, Obayashi, Shimizu, Taisei, Takenaka), Automatic carbon fiber wrapper, SSR
	Painting/Spraying	Paint-spraying robot, KFR-2, SB multi coater, OSR-1, TPR-02
	Inspection	Kabedohda, Bridge inspection robot, GEO robot, Tile inspection robot (Kajima, Kumagai, Takenaka), TG-02, File inspection robot
Others	Fireproof spray robot, Crack sealer, Pile cutting machine, WaterJet, Piperco, ODEX III, Mighty hand, Sky hand, Lady bug, CFRI, Sirius robot, Debris remover, Automated stone cutting, Concrete pipe laying manipulator	
System type	Earthwork	Laser-aided grading system, Autonomous earthwork system, Automatic sheet piling system, Tele-earthwork system, Semiautonomous dump truck system, Computer-aided earthmoving system, Intelligent earthwork system
	Tunneling	Shield machine control system
	Concrete	Automatic concrete distribution system
	Building	Push-Up, SMART, ABCS, T-Up, M CCS, AKWTSUKI21, AMURAD, Big Canopy
	Others	Automated landfill system, GPS-based guiding system, Computer integrated road construction system, AutoPave

비 및 로봇을 개발하는 형태 보다는 작업자를 위험한 환경으로부터 보호를 하거나, 인력이나 기존의 장비에 의존하여 시공하는 것보다 품질과 생산성 향상을 목적으로 작업자를 지원할 수 있는 형태의 개발이 주를 이루고 있다. 건설자동화 기술수준 단계는 아직도 제조업분야의 기술수준 단계와는 많은 차이를 보이고 있는 것으로 파악되었다. 이것은 건설업의 작업환경이

자연의 영향을 많이 받고 가변적인 상황이 많아서 자동화를 하기 어려운 점에 기인하는 것으로 판단된다.

Fig. 1-4는 Table 1에서 언급된 자동화 장비 및 시스템 중에서 일부를 나타낸 것이다.

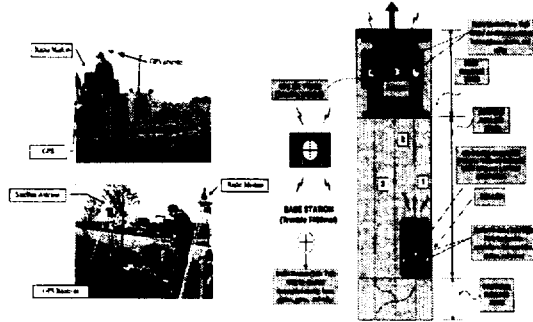


Fig. 1. AutoPave System (Krishnamurthy, 1996).

AutoPave(Fig. 1)는 GPS를 이용하여 아스팔트를 최적의 롤러 속도로 균일하게 다짐을 하여 품질을 향상시킬 목적으로 개발되었으며, 실시간으로 작업량과 장비의 작업패스를 확인할 수 있다.

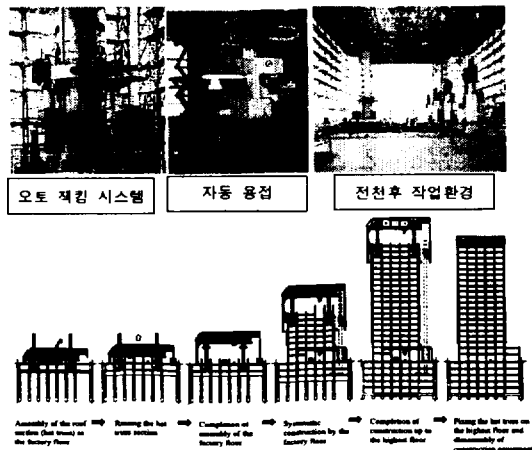


Fig 2. SMART System (Cousineau and Miura, 1998).

SMART 시스템(Fig. 2)은 공사현장 환경을 제조업의 공장환경과 비슷하게 만들어 전천후 작업을 가능하게 하였고, 재료운반 및 각종 공종 수행을 위한 자동화 시스템을 이용하여 생산성을 향상 시켰다. 또한 각종 낭비요소를 줄이는 효과도 가져왔다.

크랙실러(Fig. 3)는 아스팔트 포장물 유지보수하기 위한 장비이다. 도로상에서 균열보수 작업시 작업자를

교통사고로부터 보호하고, 시방에서 요구하는 품질의 균열 보수공사를 효과적으로 수행할 수 있는 장비이다.



Fig. 3. Crack Sealer (Kim et al., 2000).

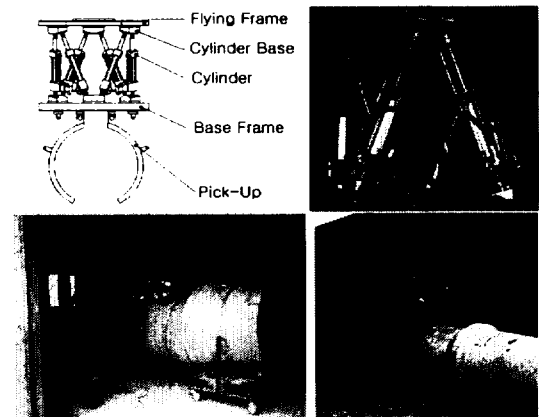


Fig. 4. Concrete Pipe Laying Manipulator. (KICT, 2004)

기존에 콘크리트 하수관 매설은 굴삭기와 인력에 의존하여 작업을 실시하였다. 콘크리트 파이프 매설 장비(Fig. 4)를 개발함으로써 작업자를 사면붕괴와 하수관 이동 중 추락 및 충돌사고로부터 보호할 수 있고, 충실한 관이음이 가능하게 되었으며, 작업능률도 향상시킬 수 있게 되었다.

건설자동화 효과분석

건설자동화의 경제적 이익은 생산성 향상정도, 품질 향상정도 및 인력대체효과 등의 요소로부터 파악될 수 있을 것이다. 건설자동화의 경제적 타당성은 자동화에 따른 경제적 이익과 초기 투자비 및 유지관리비 등과 같은 사항과 비교하여 입증되어야 하지만 구체적으로 이러한 경제적 타당성을 보여주는 사례는 많지 않다. Table 2는 그동안 수행된 연구로부터 일

부 확인된 건설자동화의 효과를 보여주는 것으로, 인력, 공기 및 공비측면의 개선효과로 인한 경제적 이득을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

Table 2. Improvement of construction automation

Equipment & System	Improvement
Auto climbing system	Manpower: 1.65% ↑
Automated stone cutting	Productivity: 74% ↑ Duration: 42% ↓
Steel bridge deck welding	Temporary works: 5.6% ↓
Large-scale manipulator	Time: 33% ↓
Interior finishing robot	Cost: 20-50% ↓
Teleoperated concrete pipe laying manipulator	Productivity: 65% ↑
Concrete pile cutting machine	Cost: 19.6% ↓
SMART	Time: 50% ↓
ABCS	Time: 30% ↓
MCCS	Manpower: 30% ↓ Time(per floor): 20% ↓
Big Canopy	Manpower: 60% ↓ Material ↓
AMURAD	Manpower: 50% ↓ Cost: 30% ↓ Waste: 50% ↓

최신 건설자동화 요소기술

건설자동화에 관한 연구는 작업자를 보조하는 장비를 개발하거나, 원격으로 조정이 가능한 장비를 개발하는데 중점을 두어 왔다. 주로 단일목적의 장비나 로봇을 개발하였지만 최근에는 좀 더 발전된 연구로써 다목적의 건설장비나 인공지능을 가진 건설 장비 및 시스템 개발을 위한 연구를 수행하고 있다. 이 장비 및 시스템은 주어진 환경 내에서 작업을 수행하기 위한 판단능력을 가져야 있다. 이러한 자동화 장비 및 시스템을 개발하기 위하여 고려되어야 하는 점들은 다음과 같다.

- 어떻게 환경을 감지하여 데이터를 얻을 것인가?
- 어떻게 얻어진 데이터를 분석할 것인가?
- 어떻게 분석된 결과로부터 작업수행을 위한 계획을 세울 것인가?
- 어떻게 작업을 수행을 위하여 자원을 할당할 것인가?
- 어떻게 작업수행 중 시스템내의 개체간의 문제점을 발견할 것인가?

- 어떻게 발견된 문제점을 해결할 것인가?
- 어떻게 시스템내의 개체 간에 의사소통을 효율적으로 할 것인가?

본 장에서는 상기에 언급한 자동화 장비 및 시스템 구현의 고려요소를 충족시키기 위한 주요 요소기술을 분석하였다.

주요 요소기술

센싱기술 (Sensing Technology)

센서란 측정하고자 하는 대상의 물리적 또는 화학적 양 (예를 들면, 온도, 소리, 진동, 빛, 압력, 전자기, 방사선 등)을 전기적 신호로 변환하는 것을 의미한다. 센서는 기능적인 측면에서 볼 때 인간의 오감과 유사한 장치로 작업을 하는데 필요한 외부환경 및 작업환경을 감지하기 위한 것이다 (Warszawski and Sangrey, 1985). 센서가 건설업에 적용되는 형태는 크게 두 가지로 구분될 수 있다. 첫 번째는 작업자의 중계 없이 외부정보가 직접 입력될 수 있는 감지 및 계측기능을 건설기계장치에 부여하여 자동화 혹은 지능형 시스템을 구성하는 것이다. 두 번째는 감지장치를 이용하여 작업자의 신체적 능력을 확대함으로써 효율성을 증대시키는 것이다.

인텔리전트 건설시스템을 구성하기 위해서는 자동 제어기술이 필수적이다. 이 시스템은 근본적으로 정교한 센싱기술이 제공하는 계측의 정확성에 의존한다. 센싱기술은 첨단 기술을 적용하려는 건설업에 있어서 중요한 역할을 담당하고 있어서 많은 연구가 필요한 부분이다. 어떻게 다른 산업에서 사용되고 있는 각각의 센싱기술을 통합하여 다기능의 특성을 갖게 함으로써 건설업에 효율적으로 적용할 있는지를 연구해야 할 것이다. 그리고 건설현장의 거친 작업환경 (예를 들면, 먼지, 진동 등으로 인하여 센싱이 어려운 환경)으로 인하여 센서의 민감도, 안정성과 신뢰도가 떨어지는 것이 사실이다. 따라서 타 산업과는 다른 환경으로 인한 이러한 문제점들을 고려하여야 할 것이다.

현재 센싱기술은 불도저, 굴삭기, 모터 그레이더, 아스팔트 피니셔, 트럭 등에 적용되어 작업자의 작업 환경이 개선, 건설의 품질과 정밀도가 향상, 인력의 절감 등의 효과를 보였다.

분산인공지능 (Distributed Artificial Intelligence: DAI)

DAI는 인공지능의 한 분야로 1980년대 초에 연구가 시작되었다. 인공지능은 하나의 에이전트¹⁾에 관심을 두는 반면, DAI는 최소한 둘이상의 에이전트를 포함하며, 이들 에이전트간의 상호작용에 관심을 둔다 (Smith and Davis, 1981). DAI는 Distributed Problem Solving (DPS)과 Multi-Agent System (MAS) 분야로 나뉘어 진다. DPS에 관한 연구는 각 에이전트가 자신의 능력을 넘어서는 문제에 직면한 경우, 어떻게 주어진 문제를 분산 할당하며, 어떻게 문제에 관한 지식을 공유하여 해결책을 찾을 것인가 하는 주제를 다룬다. MAS에 관한 연구는 각 에이전트의 목표가 상충하는 경우, 어떻게 에이전트간의 지식, 목표, 계획 등에 관하여 상호협조 및 조정을 통하여 해결책을 찾는 주제를 다룬다.

DAI가 건설자동화 시스템 개발에 적절한 몇 가지 이유가 있다. 첫 번째로, 건설공사에 있어서 예상치 못한 변화 (예, 갑작스러운 장비의 고장, 사고 또는 예상치 못한 공사장 환경의 변화) 때문에 초기에 설정한 계획을 수정해야 하는 경우가 있다. 이런 경우에 DAI는 이런 변화를 수용할 수 있는 방법을 제공한다. 둘째로, 건설공사를 수행하기 위하여 다양한 종류의 에이전트들이 관여하게 된다. 효과적인 공사수행을 위해서는 에이전트 상호간의 협력이 중요하며, DAI는 에이전트간의 상충되는 문제점을 해결하고 협동할 수 있는 방법을 제공한다. 셋째로, 각 에이전트는 각기 다른 능력 (Capability)과 용량(Capacity)을 가지고 있어서, 이들의 다양한 조합이 가능하다. 이런 경우에 DAI는 전체 시스템 관점에서 볼 때 주어진 일을 수행하기 위한 최고 생산성을 나타낼 수 있는 조합을 제공하여 준다.

통신기술 (Communication Technology)

눈부신 통신기술의 발전으로 인하여 음성은 물론 고속데이터와 멀티미디어 자료를 시간과 장소에 제한을 받지 않고 서로 교환을 할 수 있게 되었다. 유선, 무선, 및 위성통신기술을 통하여 지리적, 건설현장의 특수성에 영향을 받지 않고, 작업자, 작업자와 건설

자동화 시스템, 또는 자동화 시스템의 각 에이전트 사이에 정보를 실시간으로 교환할 수 있다.

현재 첨단 기술인 통신기술을 이용한 효과적인 정보의 수집, 분배 및 이용에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 예로 건설현장에서 휴대용 단말기, 휴대용 컴퓨터, 휴대용 전화기 등을 이용하여, 공사의 관련된 정보를 실시간으로 수집하고, 공사 참여자들이 실시간 정보공유를 통하여 시간 및 비용 절감을 시도하고 있다. 궁극적으로 시공생산성 향상 기반을 마련하려는 노력을 하고 있는 것이다.

효과적인 자동화 시스템 구축을 위해서는 우선적으로 각종 정보에 관한 표준화가 우선되어야 할 것이다. 또한 건설 자동화시스템의 에이전트 상호간의 효율적인 정보교환을 위하여 통신 프로토콜의 개발을 개발해야 할 것이다.

GPS (Global Positioning System)

GPS는 지상, 해상, 공중 등 지구상의 어느 곳에서나 시간 제약 없이 인공위성에서 발신하는 정보를 수신하여 정지 또는 이동하는 물체의 위치를 측정하기 위한 전천후 위치측정 시스템이다. 이것은 자동/반자동 건설장비가 작업을 수행하기 위하여 효율적으로 움직이기 위한 Navigation System을 구성하는데 필수적인 요소이다.

기본적으로 건설 자동화장비를 위한 Navigation System은 위치를 측정하는 Positioning System, 위치를 주변 환경과의 관계로 나타내는 Location System, 목적지점까지 갈 수 있도록 안내하는 Guidance System으로 구성되어 있다. 현재 건설장비에 Navigation System을 도입하는 연구가 한창 진행 중에 있으며 작업자와 자동화시스템 간의 효과적인 연계를 위하여 3차원 그래픽 기반의 MMI (Man- Machine Interface) 이 개발 중에 있다. 특히 토공작업의 경우는 GPS 위치정보를 이용하여 정밀한 시공이 가능하게 되었고, 계획된 품질요건을 만족시키면서 동시에 효율적으로 장비의 움직임을 계획할 수 있게 되었다. 일부 상용화된 것도 있는데, Trimble Navigation에서 개발된 SiteVisionTM을 그 예로 들 수 있다.

진로계획법 (Path Planning Technology)

무인건설장비가 작업을 수행하기 위하여 출발점에서

1) 에이전트는 환경의 자극을 받아들일 수 있고, 자극에 대한 반응을 할 수 있는 것을 말한다. 에이전트는 사람과 장비와 같이 실체가 있는 것일 수도 있고, 컴퓨터 프로그램과 같이 실체가 없는 것일 수도 있다

목표점까지 충돌을 피하며 최소한의 거리로 도달하기 위하여 진로계획이 필요하다. 진로계획에 관한 연구분야는 환경정보에 관한 가정에 따라서 크게 두 분야로 나뉘어 진다. 완전한 환경정보를 바탕으로 하는 진로계획법과 불완전한 환경정보를 바탕으로 하는 진로계획법으로 구분할 수 있다 (Lumelsky and Stepanov, 1987; Lumelsky and Skewis, 1988). 첫 번째 분야는 2D 또는 3D 공간에서 존재하는 모든 물체의 모양, 위치, 크기, 방향 등에 관한 완전한 정보가 주어지며, 이 정보를 바탕으로 일회적으로 Off-line으로 건설장비의 진로를 계획한다. 반면에 두 번째 분야에서는 건설장비의 출발점과 목표점만이 주어질 뿐, 다른 환경정보는 주어지지 않는다. 환경정보는 센서로부터 실시간으로 수집되며, 수집된 정보를 이용하여 On-line으로 진로계획을 세운다. 만약 환경정보가 변하면 그때마다 새롭게 진로계획을 세운다.

건설공사의 환경에서는 두 번째 방법이 더 적절하다고 생각이 된다. 왜냐하면 건설현장에서는 고정된 물체와 함께 움직이는 물체(장비, 인력, 자재)가 많기 때문에, 이러한 복잡하고 가변적인 환경에서는 무인건설장비의 진로가 수시로 변경 되어야 하기 때문이다. 최근까지 여러 가지 진로계획을 위한 알고리즘 두 번째 방법에 관련된 알고리즘을 예를 들면 다음과 같다.

- Bug1 and Bug2
- VisBug21 and VisBug22
- Angulus
- DistBug
- Tangent and CAT
- SensBug

상기 알고리즘의 문제점은 SensBug와 CAT을 제외하고는 움직이는 물체가 존재하는 환경 내에서는 사용할 수 없다는 단점이 있다. 건설현장과 같이 수많은 정지한 물체뿐만 아니라 움직이는 물체가 존재하는 환경에서도 사용할 수 있는 능력이 중요하다. 그리고 효율적인 알고리즘 개발을 위하여 다양한 환경에서 장비 이동경로의 길이와 이동시간을 확인할 수 있는 시뮬레이터가 필요한데, 아직 정지되어 있는 물체와 움직이는 물체가 존재하는 환경에서 알고리즘의 효율성을 정확히 측정할 수 있는 시뮬레이터가 개발되어 있지 않다. 따라서 진로계획 알고리즘 개발과 아울러 시뮬레이터 개발에도 노력을 기울여야 할 것이다.

건설자동화 연구 참여자의 역할분담

건설자동화 분야는 아직도 건설전문가 사이에서 생소한 분야로 취급되고 있다. 왜냐하면 장비, 로봇 및 자동화시스템의 개발은 오직 메카트로닉스 분야의 연구자만이 다루고 있는 것으로 생각하고 있기 때문이다. 현대에는 각 전문분야간의 분명한 경계선이 없어지고 있는 것이 현실이다. 공통 관심분야가 존재하면 다양한 전문분야의 전문가들이 참여하여 연구를 수행하는 것이 지금의 추세인 것이다.

건설자동화 연구는 정확한 각종 건설 프로세스와 작업에 관한 이해를 바탕으로 문제점을 분석하고 자동화 기술적용 가능여부를 판단해야 한다. 자동화 기술이 해결책이 될 수 있는 경우에는 해당 장비, 로봇 및 시스템을 만들기 위하여 해당 작업의 순서 및 방법, 건설현장의 특성, 작업자의 행동성향, 그리고 시방서와 도면에서의 요구사항 등을 반영하여 하드웨어와 소프트웨어 기술을 적용하여 완성한다. 건설자동화 연구가 성공적으로 수행되기 위해서는 건설전문가와 메카트로닉스 전문가의 긴밀한 협력과 공동연구가 필수적이다. 연구단계별 연구참여자의 역할을 규정하면 다음과 같다.

기획단계

- 건설 전문가
 - 작업현장 분석
 - 작업 프로세스 분석
 - 작업특성 분석
 - 재료 특성 분석
 - 품질기준 분석
 - 기존 작업의 문제점 분석
 - 자동화 고려요소 도출
 - 타당성 분석(경제성, 생산성)
- 메카트로닉스 전문가
 - 기술적 타당성 검토
 - 요소기술 검토 및 최적 기술 도출

개발단계

- 건설 전문가
 - 소프트웨어 개발을 위한 알고리즘 개발
 - 장비의 개념모델 제시

- 장비 성능분석을 위한 기초자료 수집 및 분석
- 장비 성능평가 모델 개발
- 메카트로닉스 전문가
 - 제어 및 센싱 알고리즘 개발
 - 하드웨어 설계 및 제작
 - 하드웨어 및 소프트웨어 통합
 - 사용자 인터페이스 개발
 - 실험을 통한 문제점 파악 및 개선사항 도출

적용단계

- 건설 전문가
 - 장비의 성능 평가
 - 기존 방식과 자동화 방식의 생산성, 품질, 경제성 비교
 - 기존 생산 체계에 미치는 영향 분석
 - 기타 작업에 활용방안 제시
 - 상용화 방안 및 수익모델 제시
- 메카트로닉스 전문가
 - 최종 시스템 보완
 - 실용성 검토
 - 요소기술 기술이전 방안 제시

결론

현재 건설산업은 여러 가지 문제에 당면하고 있다. 3D업종으로 인식되어 숙련공을 구하기가 어렵고, 노동력 감소 및 숙련공의 고령화로 인하여 노무 생산성도 감소하고 있는 실정이다. 또한 고도의 품질과 안정성 확보도 미비한 상태이며, 건설업의 보수적인 태도로 인하여 첨단기술을 도입하는데 소극적이어서 기술 경쟁력도 취약한 상황이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 건설자동화가 해결책으로 제시되고 있다.

건설업에서 자동화는 건설현장으로부터 작업자를 제외시키려는 것이 아니라 작업자의 능력을 향상시키고 안전하게 보호하려는 개념이다. 주로 인력과 장비 능력의 장점만을 살려서 효율을 극대화하기 위하여 사람과 기계의 밸런스를 이용하는데 중점을 두고 있다. 건설자동화는 건설시공기술 진보에 많은 영향을 미칠 것으로 사료되며, 건설분야에 있어서 새로운 마켓을 창출할 수 있을 것이다.

사례분석을 통하여 자동화 및 정보화 기술을 이용하여 기존 장비의 성능을 개선하거나 자동화 장비 및 로봇을 개발하여 응용함으로써 안전, 품질, 생산성 및 경제성을 얻을 수 있는 것으로 파악되었다. 동적이며 가변적인 작업환경의 여건으로 인하여 건설자동화의 수준은 제조업분야의 자동화 수준과는 차이가 있지만 주요 요소기술 분야인 센싱기술, 인공지능기술, 통신기술, GPS기술 및 진로계획기술 분야의 발전된 연구를 통하여 기술차이가 줄어들 것으로 사료된다. 마지막으로 성공적인 건설자동화 연구를 위하여 건설전문가 및 메카트로닉스 전문가의 긴밀한 협조가 필수적이며, 연구결과를 상용화를 위해서는 다양한 분야의 전문가와 산학연 협조체제를 구축해야 할 것이다.

참고문헌

이준복. 2001. 건설 자동화시공 장비개발 및 성과평가에 관한 연구. 대한건축학회 논문집(구조계), 17(7): 93-100.

이준복·김영석. 2003. 건설자동화 기술적 로드맵 작성을 위한 연구. 대한건축학회 논문집(구조계), 19(5): 95-104.

쿠마노 타카노부·사카모토 시게루. 2001. 21세기의 건설관리와 신공법. 보성각.

한국건설기술연구원(KICT). 2004. 콘크리트 하수관 매설용 원격조정 장비개발. 산학연 공동연구개발사업 최종보고서. 건설교통부.

Cousineau, L. and N. Miura. 1998. Construction Robots: The Search for New Building Technology in Japan. ASCE Press.

Kim, Y., Haas, C., Peyret, F. and Y. Cho. 2000. Automation in Transportation System Construction and Maintenance. TRB/NRC, Transportation Research Circular.

Krishnamurthy, B. 1996. Towards an Automated Path-Planning and Real-Time Guidance System for Asphalt Pavement Compaction Operation. MS Thesis, University of Wisconsin-Madison.

Lumelsky, V. J. and T. Skewis. 1988. A Paradigm for Incorporating Vision in the Robot Navigation

- Function. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., Vol. 2, Philadelphia, PA, pp. 734-739.
- Lumelsky, V. J. and Stepanov, A. A. 1987. Path-Planning Strategies for a Point Mobile Automation Moving Amidst Unknown Obstacles of Arbitrary Shape. *Algorithmica*, 2: 403-430.
- Russell, J. S. and S. K. Kim. 2003. The Civil Engineering Handbook: Section I - Construction Automation, 2nd Ed., CRC Press, New York, pp. 31-33.
- Smith, R. G. and R. Davis. 1981. Framework for Cooperation in Distributed Problem Solving. *IEEE Trans. Syst. Man Cyber.*, SMC11(1): 61-70.
- Warszawski, A. and D. A. Sangrey. 1985. Robotics in Building Construction. *Jour. Const. Eng. Manage.*, ASCE, 111(3): 260-280.

