

## 건설 자동화 부문 향후 이슈 및 발전방향



서종원 한양대학교 건설환경공학과 교수

### 1. 서론

현재 건설 산업은 다른 산업과 비교하여 고비용, 저생산성, 위험성, 불균질한 품질 등의 특성을 보유하고 있다. 더불어 국내외 공히 건설산업의 생산성의 향상도는 타 산업과 비교하여 볼때 현저히 낮은 수준이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 1980년대 초반부터 R&D 투자를 통하여 업체와 대학, 그리고 연구소를 중심으로 건설 로봇 및 자동화 시스템 개발에 노력을 가하고 있으며 이로써 안전성, 생산성, 품질, 작업환경의 향상, 인력 부족 대체 등의 효과를 기대할 수 있다. 건설 자동화 기술 발전의 요구에 대한 노력은 전 세계적으로 이루어지고 있으며, IAARC (International Association for Automation and Robotics in Construction)가 주관하는 ISARC<sup>1)</sup> (international Symposium on Automation and Robotics in Construction)에서 다양한 형태의 자동화 R&D 사례를 살펴볼 수 있다. 이에 최근 ISARC에서 발표된 연구를 바탕으로 건설 자동화 부문의 현황 분석 및 향후 이슈와 발전 방향에 대해서 살펴보려고 한다.

### 2. 자동화 기술 현황과 트렌드

건설 자동화 기술의 현황과 트렌드를 파악하고 향후 발전 방향등을 예측하기 위하여 최근 3년간의 ISARC Proceeding 논문; 총 446편 (ISARC 2009:74편, ISARC

2010:77편, ISARC 2011:295편)을 대상으로 주제, 키워드, 연구 방법 및 내용 등을 면밀히 분석하였다. 그 중 건축 (Building), 토목(Civil/Space), 유지보수(Maintenance/Inspection)의 3가지 적용 분야에 해당되는 논문들을 찾아 분류하고, 이를 다시 1) 센싱 및 관리 기술(LiDAR, RFID, Time-of-flight 센서 등을 활용한 데이터 취득 자동화 및 데이터 관리/정보화 기술), 2) 자동화 기술 및 로봇릭스(제어, 지능, 구동, 시스템 통합, 부품의 자동화 및 로봇 기술 활용), 그리고 3) 기타(BIM, 증강현실 및 가상현실 기술 등)의 개발 요소기술로 나누어 논문을 분류하고 주제별/지역별 분석을 실시하였다.

먼저 적용 분야별 발표 논문의 수를 살펴보면 건축 76편, 토목 63편, 유지보수 46편으로 Building Construction 분야의 자동화 연구 개발 결과가 가장 많은 것으로 조사되었으며, 지역(대륙)별 분석 결과 우리나라의 참여가 미주/호주, 유럽, 아시아(한국 제외)등에 비하여 높은 것으로 분석되며 이는 ISARC 2011의 한국 개최로 우리나라 건설 자동화 연구 발표 건수가 많았음을 보여준다.

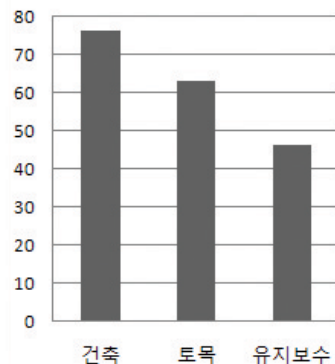


그림 1. 분야별 발표 논문 수

1) 건설자동화, 로봇릭스 분야의 국제심포지움으로 1984년 1회를 시작으로 매년 소속국가에 순환 개최, 2009년 미국 텍사스 오스틴, 2010년 슬로바키아 브라티슬라바, 2011년 대한민국 서울에서 개최됨.

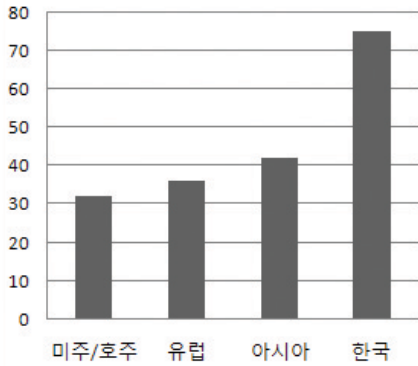


그림 2. 지역(대륙)별 발표 논문 수

ISARC 2009에서 건축 부문에서는 주로 Laser 스캐너를 이용한 3차원 모델링에 관한 연구가 많았고, 토목 부문에서는 토공 자동화, RFID, 영상 처리, 원격제어 기술을 적용한 사례들이 많이 소개 되었다. 유지보수 분야에서는 도로, 터널의 유지보수 자동화에 관한 연구와 무선 통신 기술이 주를 이루었다.

ISARC 2010에서는 BIM과 관련된 연구들이 건축부문에서 급증하는 추세를 보였으며 토목부문에서는 영상 처리 및 다차원 데이터 모델링과 같은 정보 기술 및 건설 장비 자동화, 특히 굴삭기에 관한 요소 기술 개발들이 소개되었다.

ISARC 2011에서는 약 300편의 논문 편수가 말해주듯이 건축, 토목, 유지 보수와 더불어 시공/설계 관리 및 통합, 센싱 기술과 의사 결정 지원 시스템 및 프로젝트 관리, BIM, 증강 및 가상 현실 기술들을 적용시킨 사례가 다양하게 소개 되었다. 눈여겨 볼 사항은 건축 및 토목 부문의 자동화 기술 및 로봇틱스 연구 비중이 높아지는 추세에 있으며, 또한 BIM 분야의 연구가 매우 활발히 진행되고 있는 추세를 보이고 있다.

국내외 건설 자동화 부문의 현황과 트렌드를 종합하면 다

음과 같이 정리될 수 있다.

- 1) 시장성이 급격히 높아지고 있는 센싱 기술을 기반으로 정보 관리(Information Management) 자동화 기법을 접목하여 건설 전 분야에 걸쳐 적용되고 있으며 꾸준히 사례들이 개발되어 연구되고 있음.
- 2) 센싱 및 관리 등의 자동화 기반 기술(Infra-Technology)이 성숙됨에 따라 다양한 로봇 기술(제어/구동/부품)과 통합되어 빌딩 자동화, 토공 자동화와 같은 완성된 형태의 자동화 시스템과 로봇들이 개발된 사례들이 점차 늘고 있는 추세임.
- 3) 건설 자동화 분야의 이머징 테크놀로지(Emerging technology)로서 BIM과 증강현실과 같은 첨단 기술 및 시스템 분야의 출현과 도약이 두드러지고 있음.

이러한 건설 자동화 부문의 현재 이슈와 트렌드를 이점포 삼아 향후의 부문별 자동화 발전 방향을 예측하고 활용될 수 있는 기술들에 대하여 알아보려 한다.

### 3. 부문별 발전방향

#### - 토목부문 자동화기술의 발전방향

토목공사는 비정형적(amorphous) 환경의 광대한 현장을 대상으로 프로젝트마다 설계내용이 개별적이고, 공사가 수평적으로 진행됨으로써 작업의 정형적인 패턴화가 힘들기 때문에, 건축의 빌딩자동화시스템(Building Automation System) 및 제조업의 공장자동화(Factory Automation)와 같이 모듈(module) 혹은 전 과정에 대한 완전자동화(Full Automation)기술의 구축이 어렵다. 특히, 토목공사의 수많은 세부공종 중, 규모 및 공사금액에서 가장 큰 비중을 차지하는 대표적 공종인 토공사는 이러한 내용을 가장 잘 증명하는 예라 할 수 있다. 따라서 현재까지 국내·외에서 진행된

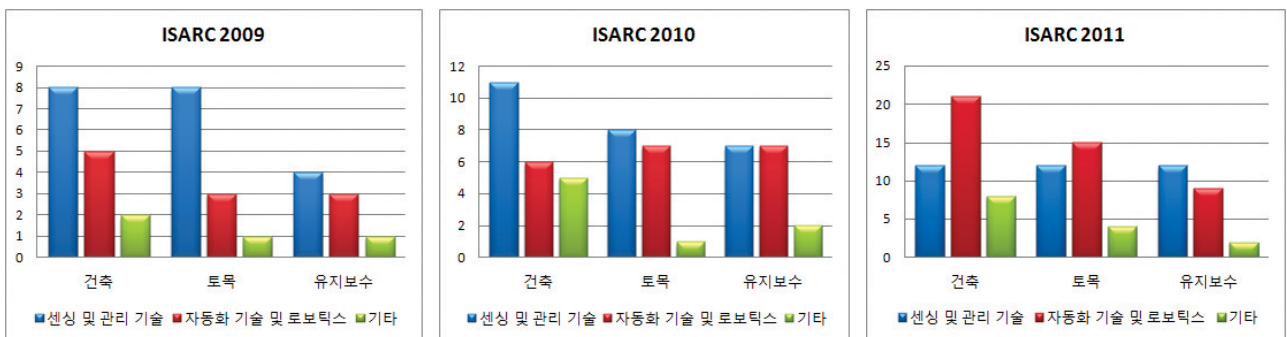


그림 3. ISARC 2009-2011 연구 동향 통계

토목공사의 자동화를 위한 대부분의 노력은 건설기계장비에 의존도가 높은 토목공사의 특성을 반영하여 작업의 운영단계(Operation Level)에서 보다 생산적이고 성력화(省力化)된 시공이 되도록 장비의 성능개선 혹은 인력과 장비가 협력하는 형태(Man-Machine Interface)의 반자동화기술(Semi-automation)에 관심이 집중되어 연구되어 왔다.

그러나 토목공사는 대표적 3D(Difficult, Dirty, Dangerous)업종으로서 노동시장의 인력부족현상이 갈수록 심화되며, 숙련공의 부족으로 인한 작업의 생산성과 안전성이 보장되기 힘들고, 나아가 인구의 증가로 인한 국토가용면적의 심각한 부족, 자원의 고갈 및 각종 환경문제로 극한적인 환경(Extreme Environment)에 대한 개발의 필요성이 대두되고 있으며, 이에 따라 작업과정에서 인력을 완전하게 대체할 수 있는 건설로봇의 개발을 통한 토목공사의 완전자동화(Full Automation)기술의 구축이 요구되고 있다. 따라서 토목공사의 완전자동화기술은 오늘날 IT(Information Technology)기술의 눈부신 발전과 함께 전 세계적으로 관심이 집중되고 있으며, 앞으로 토목부문의 자동화기술이 나아가야 할 발전방향이고, 반드시 이룩해야 할 필수불가결한 인류의 과제라 해도 과언이 아닐 것이다.

완전자동화기술은 크게 두 가지 시스템구축이 요구되고 있는데, 첫 번째로 센싱기술(Sensing Technology), 인공지능기반 제어기술(A·I based Control Technology), 하드웨어기술(Hardware Technology)이 통합된 '자율작업로봇(Autonomous Robot System)'의 개발과 작업내용을 감시하고 최소한의 간섭을 수행할 수 있도록 하는 '통제 시스템(Control System)'의 개발로 구분할 수 있다. 즉, 이와 같은 두 가지의 필수요소기술의 충분한 확보가 토목공사의 완전

자동화를 앞당길 수 있는 기술적 해결과제이며, 앞으로 토목공학을 바탕으로 타 분야의 지식이 융합되어 끊임없는 연구가 지속될 것으로 예상된다.

토목부문의 완전자동화 구현을 위한 두 가지의 필수요소 기술을 근거하여 향후 기술적으로 고려될 수 있는 몇 가지 방안에 대하여 언급하면, 먼저 자율작업로봇의 작업계획 생성과정에서 소요정보가 충분히 반영될 수 있도록 다차원의 정보를 획득하는 센싱기술을 확보하고 통합모델을 구축할 수 있는 기술이 개발되어야 할 것이다. 현재의 센싱기술은 지형의 형상이나 구조물의 표면적 정보획득에 치중됨으로써, 토공사를 비롯하여 도로포장 및 터널의 굴착 등 지반의 물성, 지장물의 위치, 지하수위, 공동구 및 기반암의 심도 등 내부적 정보를 중요시 하는 대부분의 토목공종의 경우 작업계획이 비효율적으로 생성될 수밖에 없다. 따라서 이러한 문제점이 해결될 수 있도록 기존 대상체의 외적 환경정보와 내적 환경정보가 정합되어 4차원적 정보(외적 환경정보+내적 환경정보)가 제공될 수 있는 센싱기술이 확보되어야 한다. 이러한 기술적 해결책으로서 GPR(Ground Penetrating Radar), 탄성파탐사(Seismic Survey) 및 전기비저항과 같은 비파괴 투과탐사기술이 적용될 수 있으며, 이중 대표적 기술인 GPR센싱은 전자파(Electromagnetic Wave)의 전파와 반사의 성질을 이용하여 대상체 내부의 각종 현상을 밝혀내는 물리탐사법으로서 다음 그림 1과 같이 내부의 정보를 이미지로 획득할 수 있으며, 이미지 정합과정을 통하여 3D 지반물성모델을 구축하고 3차원 지형모델과의 정보가 통합되면 4차원 정보모델을 완성할 수 있을 것이다. 그리고 4차원 정보모델을 대상으로 작업계획생성을 위해 소요되는 정보를 자동으로 추출하여 인식할 수 있도록 이미지 분석

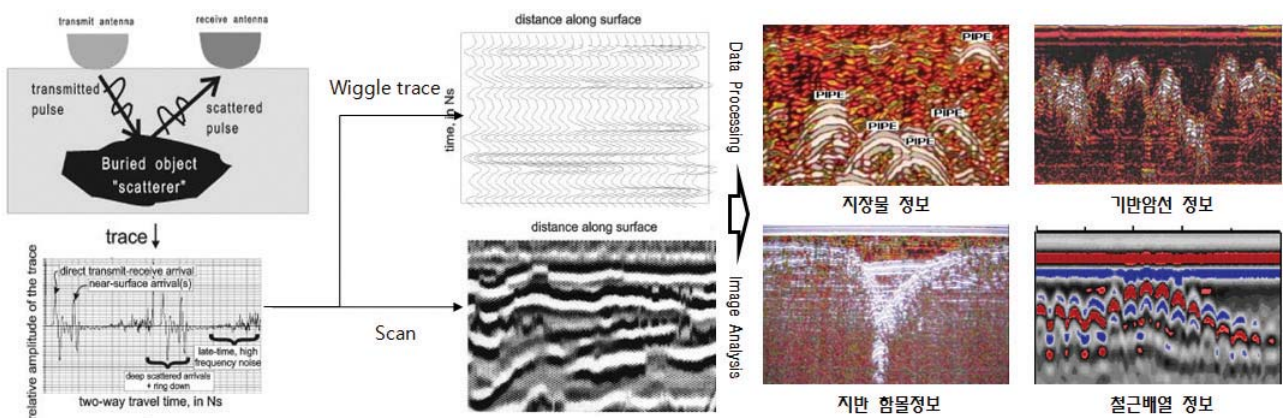


그림 4. GPR 센싱기술의 원리 및 해석정보 (source: <http://www.kistec.or.kr/>)

(Image analysis)기술이 함께 개발되어야 할 것이며, 이러한 기술은 소요정보의 해석범위에 따라 작업계획의 내용이 변경될 수 있고 자율제어로봇의 작업 성능이 결정되기 때문에 앞으로 이 부문에 대한 연구가 더욱 활발히 진행될 것으로 기대된다.

- 건축부문 자동화기술의 발전방향

앞서 ISARC 3개년의 건축부문 연구개발 트렌드에서 살펴본 바와 같이 앞으로도 설계(Design)와 시공(Construction)을 seamless하게 융합(Convergence)시키고 시공 프로세스의 효율성을 극대화하기 위한 다양한 자동화 및 로봇틱스 기술들이 지속적으로 개발될 것이다. 그 중에서도, 최근 Emerging Technology로서 각광을 받고 있는 BIM 기술과 더불어 작업환경 센싱 기술들을 활용한 자동화 부문의 비약적 성장 추세를 기반으로 판단컨대, 이는 향후 건축부문의 발전방향을 결정지을 만한 핵심적 기술이라고 볼 수 있다. 본 핵심 기술들을 바탕으로, 대표적으로 다음의 2가지 발전 방향을 가질 것으로 예상된다.

- 1) Computer Aided Manufacturing (CAM)
- 2) Human-Robot Cooperation (HRC)

기존의 CAD-CAE를 중심으로 발전해왔던 설계 프로세스에서 벗어나, 현재의 BIM 기술의 진보와 함께 건축구조물의 생애주기적인 측면까지 고려된 Total Management가 이루어지고 있다. 여기서 한 단계 진보하게 된 형태는 BIM과 그 결과물로부터 시작되는 Manufacturing 단계, 다시 말하면 CAM이라 할 수 있으며, 이를 자동화 기술을 기반으로 Autonomous하게 만드는 기술의 개발이 필요한 시점이라고 판단된다. CAM이 포함할 수 있는 기술의 범주는 시공 자동화, 실시간 모니터링 기술 및 로봇틱스 등이 있으며 설계 정보, 특히 BIM과 연동되어 자율제어가 이루어지는 로봇이나 제어 장치들을 기대할 수 있을 것이다. 제조업에 있어서 CAM의 성공은 정형화, 구조화된 작업환경 및 작업대상물 때문에 가능하였다. 이에 반해 건설 환경의 특성상 비정형적 작업환경 및 대상으로 인한 실시간 모델링의 어려움이 있어 CAM의 적용이 어려웠으나 최근 모델링 및 정보처리의 부분을 BIM과 증강현실과 같은 신기술로 어느 정도 극복할 수 있게 되었다.

앞으로 보다 현실감(Realism)과 몰입감(Immersion)을 줄 수 있는 증강현실(Augmented Reality)기술을 활용한 완전 자동화시스템의 구현이 증가할 것으로 기대되는데, 증강현

실의 도입을 통해 기대할 수 있는 효과로는 기존 VR환경의 구축을 위하여 경제적, 시간적으로 많은 소비가 발생하는 점을 획기적으로 감소시킬 수 있고, 현실감을 극대화할 수 있으며, 이미지 분석기술의 응용방법에 따라 무한한 확장성을 가질 수 있다는 점이다. 특히, 자동화를 위하여 사용되고 있는 3D 레이저스캐너를 활용한 가상의 환경모델링 과정은 정합과정에서 오류가 굉장히 많이 발생되고, 파일의 용량이 무거워 다루기 힘들며, 현실감을 부여하기 위하여 별도의 텍스처 매핑과정을 거쳐야 하므로 많은 문제점을 내포하고 있어 이를 해결하기 위한 수단으로서 증강현실기술에 대한 연구가 급증하고 있는 추세이며 증강현실기술은 응용수준에 따라 자율제어로봇의 구축을 위해 활용되는 수많은 센서의 개수를 줄일 수 있어 자동화 기술의 경제성 및 실용성을 향상시킬 수 있다.

또한 센싱 기반 원격 제어 기술과 같은 숙련된 조종자의 작업 휴리스틱이 반영될 수 있음과 동시에 프로젝트 Specification에 부합될 수 있는 Human-Robot Cooperation 형태의 자동화 기술이 발전할 것으로 예상된다. 이러한 시스템을 구현하기 위하여 인간-로봇-환경의 인터랙션을 위한 센싱, 제어, 시스템 및 인터페이스; 총 3가지 기술이 반드시 고려되어야 하며(Han, 2011), 본 기술을 적용 가능성이 높은 주요 건설 공종에 접목하여 건설 자동화 장비 및 기술의 시장 진입 장벽을 낮춤과 동시에 완전 자동화를 위한 핵심 요소 기술로서 발전 할 수 있는 가능성이 높아 향후 자동화 발전 방향으로 관심을 받을 것으로 판단된다.

4. 결론

건설공사의 완전자동화의 구현은 수많은 첨단기술이 개발되고 응용됨으로써 보다 현실적이고 실용적이며 효율적인 시스템으로 발전할 수 있다. 본 고에서 언급한 GPR, 증강현실기술, CAM, HRC 등도 이러한 맥락에서 충분히 활용될 수 있는 기술들이며 앞으로 완전자동화기술의 실효성을 향상시키기 위한 기술적 대안이라 할 수 있을 것이다. 따라서 앞으로 건설 자동화 기술의 바람직한 발전방향이자 해결해야 하는 필연적 과제인 완전자동화를 구현하기 위하여 토목공학 및 건축공학의 고급지식을 바탕으로 타 분야의 첨단 IT 기술을 이해하고 도입하기 위한 노력이 지속되어야 할 것이다. 더불어 최근 미국의 WisDOT, MiDOT, CalTrans 등에서 Automated Machine Guidance(AMG)에 대한

specification이나 가이드라인을 제정함으로써 건설 자동화 시장의 활성화를 위하여 노력하는 것과 같이, 우리나라도 국가적 관심을 가지고 집중적으로 투자가 이루어져야 할 것이다. 이러한 노력들이 지속된다면 머지않아 적용성 및 실효성이 높은 완전 자동화 건설 장비의 시장 진출이 가시화 될 것으로 전망된다.

## References

1. 서종원 (2011), “BIM과 로봇틱스의 융합을 통한 건설자동화”, 대한토목학회, 대한토목학회논문집 제59권 제2호, pp.43-53.
2. 한국시설안전공단 홈페이지  
[http://www.kistec.or.kr/kistec/files/gpr\\_01.pdf](http://www.kistec.or.kr/kistec/files/gpr_01.pdf).
3. Chang-soo Han (2011), “Human-Robot Cooperation technology” An ideal midway solution heading toward the future of robotics and automation in construction“, pp. 13-18, ISARC 2011, Seoul.
4. Mani Golparvar-Fard, Feniosky Pena-Mora, and Silvio Savarese (2011), “Integrated Sequential As-built and As-planned Representation with D4AR Tools in Support of Decision-Making Tasks in the AEC/FM Industry”, ASCE, Journal of Construction Engineering and Management, In Press.

· 서종원 e-mail : jseo@hangyang.ac.kr