

지능형 굴착기의 직감형 원격제어를 위한 ICS(Intelligent Control Station)에 관한 연구

*유병갑¹, 이정일², 이승열³, 강민성⁴, #한창수⁵

*B. G. Yu¹, J. I. Lee², S. Y. Lee³, M. S. Kang⁴, #C. S. Han (cshan@hanyang.ac.kr)⁵

¹ 한양대학교 기계공학과, ² 한양대학교 기계공학과, ³ 한양대학교 기계공학과, ⁴ 생산기술연구원
⁵ 한양대학교 기계공학과

Key words : IES(Intelligent Excavating System), ICS(Intelligent Control Station), IOCU (Intelligent Operating Control Unit)

1. 서론

일반적으로 건축/토목 공사는 현장성,복잡성, 가변성 등의 특성상 항상 위험이 내재되어 있는 힘든 작업으로 고용대비 높은 재해율을 보이는 산업이다. 또한 최근 국내 시장의 개방으로 기술력을 바탕으로 한 고부가 가치 창출이 업계의 경쟁력 확보를 위한 지상 목표라 할 수 있다. 그러나 전통적으로 3D 업종으로 인식되어 온 건설 산업은 최근 젊은 기능 인력의 기피 현상이 심화되어 숙련된 기능 인력의 확보가 더욱 힘들어지고 있다.[1] 이러한 숙련공 부족문제(고령화 포함), 안전상의 문제로 인한 노무 생산성 저하, 임금 상승으로 인한 채산성 악화, 품질의 균일성 확보 및 시공 기술 경쟁력 약화는 국내 건설 산업이 해결해야 할 필수 당면과제이다.[2] 이러한 문제를 해결하기 위한 방안 중 하나로 건축/토목에서 가장 많은 활용이 되고 있는 기존의 굴착기를 지능화 하는 것이다.

기존의 굴착기는 단순 작업자에게 수동적인 기계/유압식으로 제어하기 매우 힘들어 숙련자가 아니면 작업을 하기 힘들고 위험성이 따른다. 이러한 기존 굴착기의 문제점을 줄이기 위하여 본 논문에서는 제어성을 높이기 위한 굴착기의 전자유압시스템을 적용하여, 원격에서 보다 직감적인 제어가 가능한 시스템- ICS(Intelligent Control Station)-을 개발하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해서 ICS 에 대한 숙련자 및 전문가들의 VOC 를 통해 개념설계를 하였다. 이러한 개념 설계를 통한 기술적 상세 설계를 통해 ICS 의 전체적인 설계를 하여 보다 생산적이고 실제 건설자동화 산업에 필요한 시스템을 연구하였다.

2. ICS 개념 설계

ICS 는 Fig.1 에서 보는 바와 같이 원격지에서 실제 작업자가 실제 작업환경을 보다 많은 정보를 통해 인지하여 쉽게 제어성을 향상시키는데 그 목적이 있다. 이러한 ‘직감형 원격제어’를 위해서는 작업자와 지능형 굴착시스템의 원활한 상화작용을 가능하게 하는 MMI(Man-Machine Interface)의 통합기술이 필요하다. 작업 정보를 원격지의 작업자가 직감하여 현장 상황변화에 적절히 대처할 수 있는 로봇기술(RT)의 한 분야이다. 본 절에서는 ICS 개발의 초기단계로서 시스템의 개념설계를 다룬다. 즉 장비를 다루는 사용자의 요구사항을 수집하고 통합하여 개발될 장비의 개념을 창출하고 선정하는 개념공학(Concept Engineering)적 접근방법을 설명한다.



Fig. 1 ICS(Intelligent Control Station) 의 최종 목표

2.1 작업자의 요구사항 도출

작업자의 요구사항은 주로 현장에서 근무하고 있는 작업자를 대상으로 수행되는 인터뷰 및 설문조사를 통해 얻을 수 있다. 본 논문에서는 국내 토공작업 현장을 직접 방문하여 근무경력 17년 이상인 성인남자 27명을 대상으로 인터뷰 및 설문조사를 실시하였다. 인터뷰 및 설문 내용은 개방형, 양자 택일형, 다중 택일형의 3가지 질문 형태를 가지고, 신체치수/경력 등 기본항목, 기존 굴착기의 사용성 평가/개선사항, 직감형 원격제어장치 설계 시 요구사항의 3가지 조사 분야로 구성된다. 조사결과 대표적 작업자의 요구사항은 아래와 같다.

1. 작업 및 이동 중 사각지대, 후방, 경사지, 차량 하부 등의 시야 확보가 필요하다.
2. 지하 매설물 또는 장애물의 정보인식이 필요하다.
3. 경사지(절벽 등), 지하수 유출지 작업 시 토사 매몰이나 전복으로부터 작업자의 안전성 확보가 필요하다.

이상의 작업자 요구사항은 설문조사 결과를 통해 각각의 항목에 가중치가 부여되며, 장비가 갖추어야 할 기능적 요구사항으로 도출된다. 위의 각 항목에 대해 도출된 직감형 원격제어장치의 기능적 요구사항은 아래와 같다.

1. 시야 제한을 극복하기 위한 별도의 모니터링 장치 부착(특히 후방인식 카메라 필수)
2. 별도의 장애물 탐지 기능과 시스템 정보(굴착기의 자세, 진동 등) 인식 및 전달 기능을 부여
3. 작업자와 시스템의 안전성 확보를 위한 원격제어 또는 위험상태 감지(시스템 정보 인식) 및 전달 기능을 부여

2.2 개념설계

인터뷰 및 설문조사를 통해 조사된 작업자의 요구사항이 기능적 요구사항으로 도출되면 ‘Process mapping 기법’을 통해 (1)식과 같이 기능적 요구사항으로부터 개념설계를 위한 ‘설계/제한 인자’가 선정된다. 뿐만 아니라 ‘C&E matrix 작성’을 통해 (2)식과 같이 선정된 ‘설계/제한 인자’ 중에서 중요도를 분석하여 개념설계 시 반드시 고려되어야 할 ‘주요 설계/제한 인자’가 선정된다.

$$Y = f([X_1], [X_2]) \quad (1)$$

$$Y = f([X_1'], [X_2']) \quad (2)$$

여기서 Y는 목적함수(ICS), X1은 설계인자(ICS를 구성하기 위해 고려해야 할 인자), X2는 제한인자(작업환경에 적합한 장비를 개발하기 위해 고려해야 할 인자), X1'은 주요 설계인자(무선 양방향 통신, 시스템 정보 인지, 직감형 제어, 기동/호환성), X2'는 주요 제한인자(부피/무게/재질, 방수/방진)이다.

Fig.2와 같이 ICS는 기존의 굴착기 캐빈(Cabin) 내부의 구조를 기반으로 설계된 장비로서 원격 작업자에게 현재 작업 정보와 시스템 정보를 실시간으로 전달하여 상

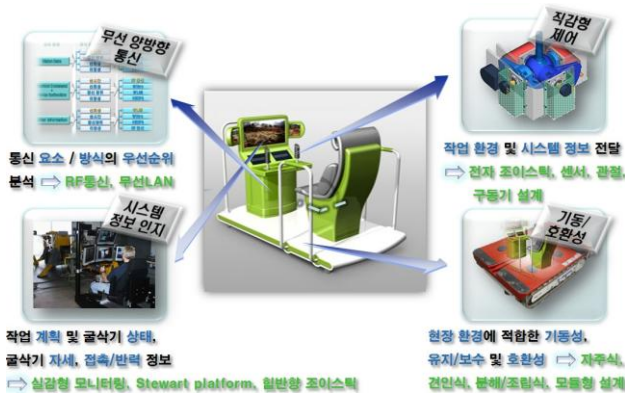


Fig. 2 ICS 장비의 개념설계

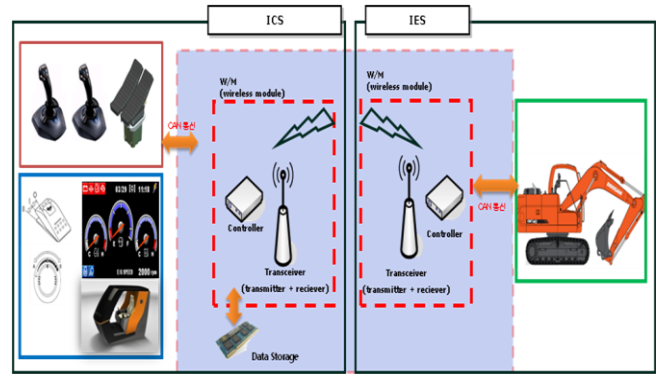


Fig.3 ICS 와 IES 의 시스템 흐름도

황 변화에 신속히 대응할 수 있는 장점이 있다.

각 장비에 대해 주요 설계/제한인자를 기반으로 도출된 개념설계 결과를 살펴보면 다음과 같다. ICS 장비는 ‘무선 양방향통신’을 구현하기 위해 통신요소 및 통신방식의 우선순위를 분석하여 ‘RF 통신과 무선 LAN 통신’ 방식으로 선정되었다. 또한 ‘시스템 정보 인지’를 위해 작업 계획, 굴삭기 상태, 자세 및 반력 정보를 ‘실감형 모니터링, Stewart platform, 힘반향 조이스틱’으로 구현하도록 한다. 뿐만 아니라 ‘직감형 제어’ (원격제어 시 지면과의 접촉, 장애물과의 충돌정보를 작업자에게 전달)를 구현하기 위해 ‘전자조이스틱, 별도의 센서, 관절, 구동기’가 설계될 예정이다. 끝으로 ‘기동/호환성’ 측면에서는 현장에서의 기동성 고려하여 ‘자주식, 견인식, 분해/조립식’이 제안되었고, 유지/보수 및 타 장비와의 호환성을 고려하여 ‘모듈형 설계’가 선정되었다.

3. ICS 상세설계

ICS 에서 가장 중요한 것은 ICS 와 IES 의 통신 모듈 개발이며 이것을 기본으로 하여 직감형 요소 기술들을 개발하는 단계로 넘어갈 수 있다. 통신에서 데이터 지연이 생기게 되면 기본적으로 직감형 제어를 할 수가 없다. 따라서 IES 와 ICS 사이의 통신과 각각 장치의 내부 통신에서의 설계가 중요한 요소가 된다.

기존의 국내에서 생산되는 굴착기의 유압시스템은 1980년도부터 적용되어 온 NFC (Negative Flow Control) 방식이다. NFC 는 기계-유압시스템의 한 방식으로 높은 안전성과 굴착기 튜닝을 통해 VOC 에 어느 정도 대응해 왔으나 최근에 들어 굴착 기능 이외에 크레인 모드라고 하는 미세제어가 요구되며 연비절감과 운전자 안락성 등이 점점 높게 요구되고 있어 이를 만족시키는 데에 한계를 이르고 있다. 이에, NFC 와 같은 ‘기계-유압시스템’의 단점을 극복하기 위해 ‘전자유압 시스템’을 도입하였다. 이 전자 유압시스템은 기존 유압식 조이스틱,페달 입력을 전자 신호를 통해 전자 비례감압밸브(EPPRV)를 개발 및 제어하는 시스템이다. 기존에 굴착기에서 사용되는 내부 통신을 그대로 적용하면서 새로운 시스템의 통신을 추가적으로 모듈화하여 개발함으로써 기존 굴착기에 호환성을 가지며 ICS 시스템에도 모듈화 하여 굴착기 시스템과 거의 동일한 환경을 제공하게 된다.

다음 Fig.3 은 IES 와 ICS 의 신호 체계 및 시스템 모듈에 대한 모습을 나타낸다. 기본적으로 기존의 굴착기의 내부 통신은 CAN 을 통해 통신을 하고 있다. 여기서 직감형 제어 및 굴착기의 제어 성능을 높이기 위한 전자 유압제어를 위해서는 좌우조이스틱과 좌우페달 각각에 대한 CAN 통신이 필요하게 된다. 각 CAN 통신의 사이클 시간은 전체 시스템의 통신 지연이 없도록 통신 자원을 할당해야 한다. 가장 우선순위가 높은 것은 조이스틱이며 페달, 엔진 제어 순으로 나눌 수 있다.

Fig.3 에서 보는 바와 같이 IES 와 ICS 의 시스템 흐름을 보면 ICS 의 조이스틱과 페달의 신호를 CAN 통신을 통해 무선통신 모듈에 보내고 기타 다른 디지털이나 아날로그 입력은 바로 무선통신 모듈로 입력 받게 된다. 무선 통신 모듈에서는 받은 데이터를 해석하고 또한 필요한 정보를 저장하는 기능을 주어 학습기능을 부여하게 된다. 재해석된 데이터는 원격지의 무선통신모듈에 보내게 되고 무선통신 모듈에서는 각각의 필요한 데이터를 CAN 통신을 통해 IES 의 모듈로 보내게 된다. 굴삭기가 움직이면서 센싱한 각압과 붐 및 버킷의 각도와 노면 반력 정보와 기타 엔진 RPM 과 기타 굴착기의 User Interface 정보를 CAN 을 통해 다시 IES 의 무선통신모듈로 보내고 이 데이터를 가공하여 다시 ICS 로 보내게 된다. ICS 에서는 받은 데이터를 분석하여 노면 반력에 대한 정보는 조이스틱에 힘반향 메커니즘을 통해 작업자에게 전해지게 된다. 또한 상태 정보는 모니터를 통해 GUI 에 나타나게 되어 다양한 정보를 제공받게 된다.

4. 결론

본 논문에서는 토공/건설 산업에서 가장 다양한 기능을 가지는 굴착기를 보다 제어성이 쉽고 안전성을 높일 수 있는 시스템을 개발 하기 위한 ICS 를 제안하였다. 이를 위하여 작업자의 VOC 및 Process Mapping 을 통해 요구 및 설계 인자를 찾아 개념설계를 하였다. 이 개념설계를 기반으로 ICS 와 IES 사이에 반드시 필요한 중요 인자의 우선순위를 찾고 그 인자들을 기반으로 상세설계를 하였다.

후기

본 연구는 건설교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(06첨단융합 C01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이승열, 심형준, 최중호, 김진우, 김병화, 한창수 (2006), “철골조 공사의 자동화를 위한 로봇핸드”, 대한건축학회 논문집, 22(9), pp. 151-162.
2. 김영석, 서정희, 오세욱 (2001), “국내 건설 산업의 건설 자동화 및 로봇틱스 도입방안에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 17(2), pp. 111-120.
3. 지능형 굴삭시스템 연구단, <http://www.ies.or.kr>