Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 4 pp.71-80, November 2006

커튼월 설치 로봇 컨트롤러의 설계 및 사용성 평가에 관한 연구*

이승열[1] · 석재혁[2] · 한정완[2] · 김병화[1] · 한창수[1]

[1]한양대학교 기계공학과 / [2]한양대학교 산업디자인학과

A Study for Usability and Designing Manual Controller of a Curtain-wall Installation Robot

Seung Yeol Lee[1], Jae Heuck Seok[2], Jung Wan Han[2], Byung Hwa Kim[1], Chang Soo Han[1]

[1]Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791
[2]Department of Industrial Design, Hanyang University, Ansan, 425-791

ABSTRACT

A construction robot has been developed for higher productivity and better safety in various construction fields. Especially, curtain wall is suitable for outer wall material of tall commercial building and apartment complexes. This heavy material is, however, hard to install with a manpower and outdated equipment. For this reason, the prototype of ASCI (Automation System for Curtain wall Installation) was developed. This system has a robot controller(i.e. hand-held remote control unit) for the transfer information signal between human operator and robot system. Although study has been conducted on manual controller of ASCI, hardly any information is known about the operator's opinion. In this study, a questionnaire was completed by operator to get their opinion about aspects which need to design a more comfortable and productive manual controller of construction machinery, robot included. Through the result of study, it is expected that this technical data is contributed to the robot controller design for comfort and productivity of various industrial machinery.

Keyword: Construction robot, Robot controller, Curtain wall, Questionnaire

1. 서 론

첨단기술의 혁신적인 발전에 힘입어 오늘날의 로봇 연구 개발은 과거에 비해 활발히 진행되고 있다. 따라서 자동차 산업을 비롯한 제조업 분야에 산업용 로봇이 널리 보급되어 노동력 부족 해결, 생산성 및 품질의 향상, 산업재해의 감소 등의 놀라운 성과를 가져오고 있다(이애복 등, 1991).

건설 산업에서도 '건설 자동화 시스템 및 로봇(Automation system and robotics in construction)'의 활용은 이미 오래 전부터 안전성, 생산성, 품질, 작업환경의 향상에 대한 하나의 명백한 해답으로써 거론되어 왔다(김영석 등, 2001). Albus(1986)와 Roozbeh Kangari(1991)는 건설 자동화에 활용이 가능한 로봇으로 기초공사용 로봇, 콘크리트 바닥 연마 로봇, 외벽 페인팅 로봇 등으로 분류하였고, 현재 다양한 건설 분야에서 생산성 향상 및 안전성 확보에 기여하고 있다(A. Warszawski, 1985).

커튼월(curtain wall)은 고층건물의 새로운 외장재로서 최

*본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음(R11-2005-056-03003-0).
교신저자: 이승열, 한창수
주 소: 425-791 경기도 안산시 사1동, 전화: 031-400-4062, E-mail: suprasy@paran.com

근 건축 분야에서 관심의 대상이 되고 있다(Edmund C. C. Choi, Zhihong Wang, 1998). 이러한 건축용 외장재는 비교적 중량물에 속하므로 인간의 노동력에 의한 커튼월 시공법은 건설인력의 노령화 및 숙련공이 부족한 현재 건설 산업의 여건을 비추어 볼 때 많은 문제점을 초래하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존의 커튼월 시공법 분석과 작업환경을 고려하여 시공 상 안전성을 도모하고 생산성을 향상시키는 자동화 시스템이 개발되었다(이승열 등, 2004). Cusack, M(1994)은 이러한 건설 로봇을 건설현장에 활용함으로써 불필요한 작업자 수를 감소시키고, 시공 기간 단축 및 시공 원가를 절감시킬 수 있으며 특히, 인력을 통해 수행된 위험한 작업을 대신함으로써 재해 발생률을 감소시킬 수 있다고 언급하였다.

개발된 커튼월 시공 로봇(ASCI)의 구성요소는 그림 1과 같이 크게 세 부분으로 나눌 수 있다(이승열 등, 2005).

1) 첫째, 작업자와 로봇의 상호작용을 위한 인터페이스로서 원거리 작업정보를 교환을 위해 휴대용 RCU(hand-held remote control unit) 형태의 로봇 컨트롤러가 필요하다(Wen, Xia, et al., 1991).

2) 두 번째로 로봇 컨트롤러를 통해 전달된 작업 명령을 기계적 운동으로 구현하기 위한 머니퓰레이터(manipulator)가 필요하다(John J. Craig, 1989). 일반적으로 머니퓰레이터는 관절로 연결되어 연쇄(chain)를 구성하는 링크(link)의 조합으로 전기적, 기계적 메커니즘에 의해서 팔이나 손의 운동에 가깝게 만들어진 로봇 시스템을 말한다.

3) 끝으로, 작업자의 원하는 기계적 운동 특성을 정확히 구현할 수 있도록 도와주는 제어장치 및 측정장치(센서)로 구성된다.

본 연구는 위에서 언급한 3가지 구성요소 중 로봇 컨트롤러와 관련이 있다. 기존 산업현장에서 사용되는 로봇이나 자동화 시스템의 컨트롤러는 통상적인 산업용 제어 스위치로 구성된다. 그러나 대부분의 로봇 컨트롤러는 작업 별 제어 스위치의 적합성과 작업자의 조작 편리성에 관한 기술적 정보가 부족한 상태에서 설계된다. 또한, 편리성과 생산성 향상에 관한 상호 연관성에 대한 연구가 상대적으로 미비하다.

따라서 본 논문의 목적은 조작의 편리성을 고려한 건설용 로봇 컨트롤러 설계의 기술적 기준을 마련하는데 있다. 조작의 편리성은 작업 상의 오작동 및 안전사고를 감소시킬 수 있어 건설작업의 생산성 향상으로 연결된다. 연구방법은 우선 현장 작업자들을 대상으로 실시된 설문을 통해 로봇 컨트롤러의 사용성이 평가된다. 즉, 각 기계적 운동 별로 제어 스위치의 적합성이 평가되고 편리성 및 생산성 향상을 위한 디자인 체크리스트가 작성된다. 작성된 체크리스트는 커튼월 설치 로봇을 비롯한 건설 로봇 컨트롤러의 설계 기준으로 활용될 것이다.

그림 1. 커튼월 설치 자동화 시스템(ASCI)

2. 연구내용

2.1 개념설계를 위한 Lean DFSS적용

어떠한 프로세스를 재설계하는 점에서 식스 시그마(six sigma)는 문제 분석, 해결을 위한 개선안 도출에 많은 시간이 소요되는 단점을 가지고 있다. 즉 현재의 상태에서 주요한 인자를 찾아서 가장 적절한 수준에서 최적안을 찾는 방법이기 때문에 설계관점에서 볼 때 전반적인 요구사항을 수용할 수 없는 경우가 있다(Harry, M. J, 1994, 1998; Hoerl, R. W, 1998; Bemowski, K., 1995). 따라서 소비자의 요구사항으로부터 분석을 통하여 개념상의 신제품의 상품기획 단계부터 양산적용에 이르기까지의 프로세스 개발을 최적화를 이룬다는 점에서 Lean DFSS 방법론이 제시된다(K. K. Lee, 2001).

Lean DFSS 방법론은 크게 4 단계로 나눌 수 있다. 각 단계 별로 간략한 설명은 다음과 같다.

1) 상품기획(MFSS): 신제품에 대한 계획과 개발전략을 통해 개발할지의 여부를 계획하는 단계이다. 고객의 요구사항 분석과 시장 및 환경 분석, 경쟁사 동향 및 원가 분석 등을 통하여 재무성과를 얻을 수 있는 신제품의 개념설계안을 결정한다.

2) 기술개발(TFSS): 상품기획 단계에서 설정된 개념설계안대로 올바르게 설계하였는가를 검증하는 단계이다.

3) 제품개발(RFSS): 설계한 개념대로 제품을 만들 수 있는지의 여부를 검증하는 단계이다. 이 단계에서는 시제품이 만들어지며, 시제품을 통하여 기술적 검증과 단기공정의 품질을 확인할 수 있다.

4) 양산개발(PFSS): 마케팅을 비롯하여 개발 및 제조부서까지 관련된 모든 부서가 참여하게 된다. 양산검증단계를 완료하면 제조부서에 모든 내용에 대해 이관을 하게 된다.

각 단계별로 의사결정을 하기 위하여 디자인 검토를 수행한다.

본 논문에서는 커튼월 시공 로봇 컨트롤러의 개념설계를 도출하기 위해 먼저 KANO 분석개념을 통하여 MFSS의 전략이 수립된다. 즉, 핵심 파라미터를 선정, 기초 데이타 수집, 설계 표준화 계획, 기구와 운동에 대한 상관관계 규명 등이 수행된다.

2.2 커튼월 컨트롤러 개념설계

전체적인 연구 과정은 그림 2와 같다. 우선 커튼월 시공시 필요한 모션과 기존 컨트롤러의 형상 및 문제점을 분석하고 이와 함께 설문을 통한 작업자의 요구(문제점 및 개선사항 등)를 파악한다. 그리고 제어 스위치의 적합성 및 생산성과 편리성의 상관관계를 평가하기 위해 항목 및 대상물이 정의된다. 끝으로 설문 결과 분석을 통해 상관망 해석 및 디자인 체크리스트(design checklist)가 작성된다(Valerie Woods, et al., 2003). 작성된 디자인 체크리스트 및 기타 기술적 자료를 각종 건설 자동화 작업에 적용되면 생산성과 편리성 측면에서 그 작업에 적합한 로봇 컨트롤러의 디자인 컨셉이 도출될 것이다.

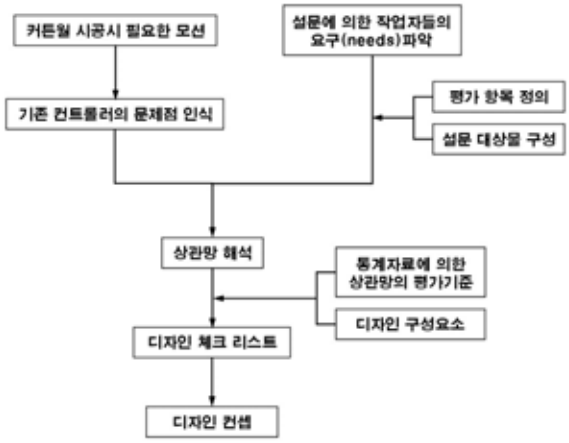

그림 2. 컨트롤러 개념설계 단계

3. 기존 컨트롤러 분석

건설 자동화를 위한 로봇 시스템은 서론에서 언급된 바와 같이 각종 공사현장의 특성에 맞게 다양한 형태를 가지고 있다. 본 연구에서는 기존 로봇 컨트롤러의 분석을 위해 다양한 건설 로봇 중 커튼월 시공 로봇의 컨트롤러에 대한 분석이 이루어졌다. 기타 건설 작업의 자동화에 관련된 로봇 컨트롤러 역시 이와 같은 방법으로 분석이 가능하다.

3.1 기계적 운동방향 및 특성

커튼월 시공 작업에 필요한 로봇 컨트롤러 설계 시 고려되어야 할 사항은 실제 로봇운동과 제어 스위치의 기구적 운동을 일치시키는 것이다. 우선 로봇이 필요한 기계적 운동을 쉽게 표현하기 위해 아래 그림 3과 같이 커튼월 도심에 원점을 두고 기계적 운동 자유도를 X, Y, Z 축으로 가지는 직교 좌표계를 도입하였다. 로봇을 통해 움직이는 커튼월의 기계적 운동을 표현하기 위해 직선 병진운동(translational motion)을 'T', 회전운동(rotational motion)을 'R'로 표현하였다. 또한, 첨자로 붙은 x, y, z는 각 운동방향의 좌표축을 나타낸다. 굴삭기와 로봇을 이용한 커튼월 자동화 시공은 크게 흡착 작업, 운반 작업, 정렬 및 결합 작업으로 분류된다. 각 작업 별 요구되는 로봇의 기계적 운동 특성은 다음과 같다.

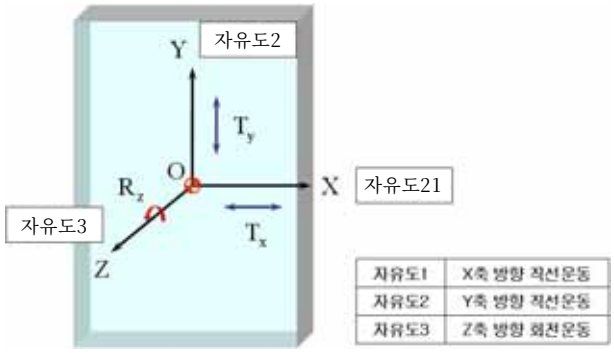

그림 3. 커튼월의 기계적 운동을 표현하는 직교 좌표계

3.1.1 흡착 작업

지면에 적재된 커튼월에 로봇이 접근하여 흡착장치(adsorption device)를 통해 커튼월을 로봇에 고정시키는 작업이다. X축 방향의 직선운동(Tx)과 회전운동(Rx), Z축 방향의 회전운동(Rz)이 주로 사용되고 기타 운동 자유도는 굴삭기의 운동 자유도를 통해 구현이 가능하다. 또한 각 자유도 별로 빈번한 운동/정지와 연속적인 운동 및 구간 별 정밀한 운동이 요구된다.

3.1.2 운반 작업

굴삭기를 통해 커튼월을 지면과 수직으로 세워 작업지점으로 이동시키는 작업이다. X축 방향의 직선운동(Tx)과 회전운동(Rx), Z축 방향의 회전운동(Rz)이 주로 사용되고 기타 운동 자유도는 굴삭기의 운동 자유도를 통해 구현이 가

그림 4. 커튼월 흡착 작업

능하다. 또한 각 자유도 별로 빈번한 운전/정지와 연속적인 운동 및 구간별 정밀한 운동이 요구된다.

그림 5. 커튼월 운반 작업

3.1.3 정렬 및 결합 작업

설치될 위치로 굴삭기를 통해 커튼월을 이동시킨 후 슬래브(slab) 및 이미 설치된 커튼월과 정렬 및 결합시키는 작업(머니퓰레이터의 정밀한 운동)이다. X축 방향의 직선운동(Tx)과 회전운동(Rx), Z축 방향의 회전운동(Rz)이 주로 사용되고 기타 운동 자유도는 굴삭기의 운동 자유도를 통해 구

그림 6. 커튼월 정렬 및 결합 작업

현이 가능하다. 또한 각 자유도 별로 빈번한 운전/정지와 연속적인 운동 및 구간 별 정밀한 운동이 요구된다.

3.2 기존 컨트롤러의 형상 및 문제점

3.1절에서 분석된 로봇의 운동방향 및 특성 분석을 바탕으로 ASCI의 컨트롤러는 그림 7과 같이 설계되었다. 기존의 상용화된 제어 스위치 중에서 빈번한 운전/정지와 연속적 운동 및 직선운동과 회전운동을 만족하는 제어 스위치로 3자유도(x, y축 직선, z축 회전운동) 조이스틱(joystick)이 선정되었고, 정밀한 운동 및 빈번한 정지/운동은 누름 버튼(push button)을 사용하였다.

그림 7. 기존 컨트롤러의 형상

ASCI 컨트롤러 사용상의 문제점은 다음과 같이 컨트롤러를 직접 사용하는 현장 작업자들과의 인터뷰를 통해 작성되었다.

1) 로봇 컨트롤러의 몸체는 이동성과 사용자의 편리성이 고려되어 있지 않고 방수/방진 또한 고려하지 않았다.

2) 각 축(그림 3의 X, Y, Z축) 별 운동방향을 결정하는 조이스틱이 로봇 컨트롤러의 상단에 배치되어 다른 제어 스위치의 오작동을 야기하고, 조작성에 있어서 사용자의 피로도를 가중시킨다.

작업환경의 특성상 주변에 장애물이 많은 건설현장에서 케이블(cable)을 이용한 유선 컨트롤러는 사용상에 많은 문제점(주변 장애물에 걸리거나 장애물에 의한 케이블 절단 등)이 발생될 수 있다.

3) 한 손으로 컨트롤러를 파지하고 제어동작이 이루어지는 상황에서 컨트롤러의 충격보호의 목적으로 필요이상으로 부피가 커 작업 시 불편함을 야기 시킨다.

4) 버튼의 위치 및 형태가 사용자에게 친근감을 주지 못하고 각 운동방향에 따라 쉽게 인지할 수 없는 위치에 설치되었다.

5) 건설현장에서 커튼월을 정렬 및 결합시킬 때 변화된 작업정보의 수집이 어려워 컨트롤러에 별도의 모니터링 장치가 필요하다.

6) 시스템의 안전성을 위한 안전장치(예를 들어 비상 스위치) 및 기타 부수장치의 스위치가 조작 상에 불편함을 야기 시킨다.

문제점 분석을 통해 도출된 7가지 요소는 기존의 로봇 컨트롤러가 사용자의 편의를 고려하지 않은 형태를 취하고 있으며, 그로 인해 생산성과 편리성을 향상시킬 수 없는 문제점을 뒷받침하고 있다.

4. 사용성 평가

4.1 평가 방법

각종 건설용 로봇 및 장비를 현재 취급하고 있는 작업자를 대상으로 수행된 설문조사 및 인터뷰를 통해 로봇 컨트롤러의 사용성이 평가되었다. 즉, 제어용 스위치의 적합성 및 생산성과 편리성의 상관관계 평가가 이루어졌다. 설문은 수도권을 중심으로 한 서울 · 경기 지역 거주자로서 건설 기계 및 장비를 1년 이상 취급한 20세 이상의 남자 100명을 대상으로 실시되었다. 참여자의 대부분이 굴삭기 및 휠 로더 운전자(41명)이고 그 외에 다양한 건설용 장비(타워 크레인, 도져, 오프로드 트럭 등)의 운전자(39명)가 포함되었다. 또한, 본 연구에서 언급된 커튼월 시공 로봇을 포함하는 건설 자동화 시스템의 개발자 및 운전자(20명)도 포함되어 있다.

4.2 평가 대상물

평가 대상자가 취급하는 건설용 로봇 및 장비의 컨트롤러는 다양한 산업용 제어 스위치로 구성되어 있다. 그 중에서 가장 보편적으로 가장 많이 쓰이는 제어 스위치를 평가 대상물로 선정하였다(그림 8). 그림의 4가지 항목은 다양한 기계적 운동 특성에 적합한 조작 특성을 알아보기 위해 기존의 유사 제품에서 그 기능 부위만 나타낸 것이다. 로봇 컨트롤러의 추가적인 기능을 부여하기 위해 특수한 제어 스위치를 사용할 수 있다.

그림 8. 평가용 제어 스위치

4.3 평가 항목

평가 데이터는 인터뷰가 진행되는 동안 작성된 설문지 방식으로 얻어진다. 우선 평가 항목은 다음과 같이 크게 2가지로 분류된다.

1) 운동 특성 별 제어 스위치의 적합성 평가
2) 생산성과 편리성과의 상관관계 평가

첫 번째 평가는 운동 특성(직선운동, 원운동, 연속운동, 빈번한 시동/정지) 별 가장 적합한 제어 스위치를 선정하기 위한 평가이다. 각 항목 별로 그림 8의 4가지 제어 스위치 중에서 적합한 순서대로 나열되어 평가가 이루어진다.

두 번째 평가는 로봇 컨트롤러의 관점에서 생산성과 조작의 편리성과의 상관관계를 알아보기 위한 평가이다. 생산성의 평가 기준(효율성, 성능, 기능성, 안전성, 보존성)과 조작 편리성의 평가 기준(일관성, 양립성, 조작성, 식별성, 적합성, 감성품질)과의 상관관계에 대해 그림 9와 같이 5등급('전혀 관련 없다' 에서 '매우 관련 있다' 까지)으로 평가하였다. 표 1은 생산성과 편리성 각각의 평가 기준 및 정의를 나타낸다.

그림 9. 상관관계 평가를 위한 기준

5. 결과 분석

5.1 운동 특성 별 제어 스위치의 적합성

4가지 운동 특성(직선운동, 회전운동, 연속운동, 빈번한 시동/정지) 별 제어 스위치 적합성 평가는 그림 10과 같다. 우선 직선운동일 경우 가장 적합한 제어 스위치로 조이스틱으로 선정되었고 회전운동인 경우 원형 놉(circular knob)으로 선정되었다. 빈번한 시동/정지의 경우 누름 버튼 스위치가 가장 적합하고, 연속적인 운동 역시 누름 버튼이 가장 선호하는 제어 스위치로 선정되었다.

표 1. 평가 기준 및 정의

	기 준	정 의
생산성	효율성	기계의 능률성, 작업의 효율성
	성 능	원하는 출력에 대한 입력의 신뢰성, 충분한 해상력을 가지는 정도
	기능성	원하는 출력에 대한 입력의 신뢰성, 충분한 해상력을 가지는 정도
	안전성	환경적 요인(장애물)을 고려한 시스템의 안전성
	보존성	내구성, 방진성, 항온, 항습
편리성	일관성	기존의 유사 제어기와 동일한 구성(표시장치, 제어장치)으로 일관성 있는 조작 (익숙한 제어방법)
	양립성	공간의 양립성, 동작의 양립성, 작업 특성을 고려한 제어장치 및 기법의 양립성(오작동 방지)
	조작성	인체 치수와 작업 영역을 고려한 사용성, 제어장치의 직감적이고 부드러운 조작(해부학적 특성고려)
	식별성	제어장치의 배치, 색채 등으로 식별이 용이(모니터링 장치)
	적합성	작업환경을 고려한 운동방향과 목적에 적합한 제어기 및 제어기법 (작업환경 특성고려)
	감성품질	미적가치(촉감, 색채, 외관디자인, 거치/휴대 방법)

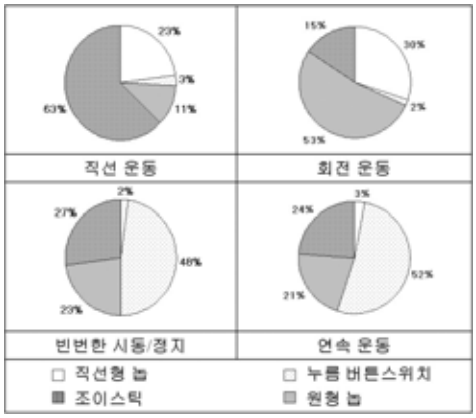

그림 10. 운동 특성 별 제어 스위치의 적합성 평가

5.2 운동 특성 별 제어 스위치의 상관관계

그림 11는 5.1절의 적합성 평가를 기반으로 제어 스위치와 운동 특성간의 상관관계를 나타낸다. 각 제어 스위치와 운동 특성과의 상관관계는 아래의 상관표로부터 직선운동일 경우 조이스틱이 상관계수가 높았고 빈번한 시동과 정지일 경우 누름 버튼이 상관계수가 높은 것으로 나타났다. 그 밖에 원운동에 관해서는 놉(knob)이 관계가 많음을 알 수 있다. 이 상관표는 각종 건설 작업 특성에 적합한 제어 스위치를 선정 시 기술적 자료로 활용이 가능하다.

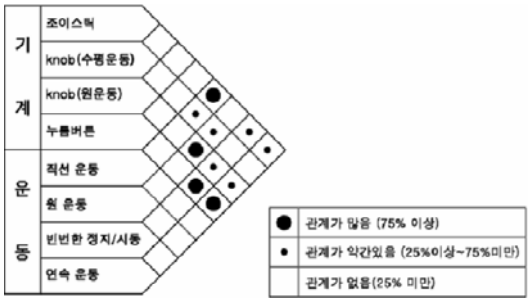

그림 11. 제어 스위치와 운동 특성 별 상관표

5.3 생산성과 조작 편리성과의 상관관계

평가 결과는 그림 12에서 보는 바와 같이 우선 생산성에서는 성능과 기능성, 기능성과 안전성, 안전성과 보전성이 서로 밀접한 관계를 갖고 있고, 기능성과 성능은 효율성과 약간의 관계가 있음을 알 수가 있다. 또한, 편리성 항목에서는 모니터링 장치와 작업 특성/환경고려 항목이 오작동 방지와 연관성이 큰 것으로 나타났다. 생산성과 편리성의 상관관계 측면에서 신체적 특성은 성능과 기능성에서 뚜렷한 연관성을 나타내고 있다. 그리고 오작동 방지는 안전성, 기능성 및 효율성에 관련이 깊어 결국 성능 향상에 필수요소임을 알 수 있다. 또한, 작업 특성/환경고려는 기능성, 안전성, 보존성의 필수요소임을 알 수 있다.

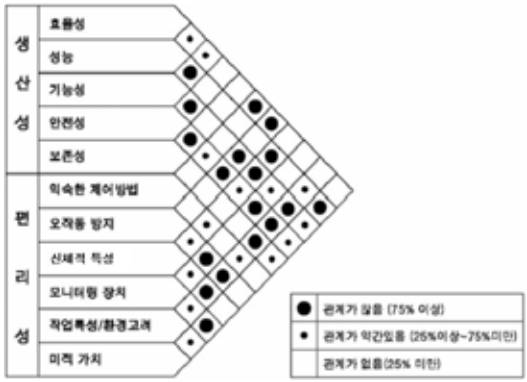

그림 12. 생산성과 조작 편리성의 상관표

6. 디자인 체크리스트

5장에서 분석된 자료 중에서 상관관계가 매우 높게(75% 이상) 나타난 항목들을 선별하여 '커튼월 설치 로봇 컨트롤러의 디자인 체크리스트'로 정의하였다. 즉, 표 1에서 언급된

평가 기준 및 정의를 근거로 생산성과 조작의 편리성을 향상시키기 위한 디자인 요소가 다음과 같이 7가지 항목으로 요약될 수 있다.

1) 운동 특성에 따른 고려
(필요한 자유도에 따른 제어 스위치)
2) 오작동 방지(양립성)
3) 익숙한 제어 방법(일관성)
4) 작업자의 신체 특성고려(조작성)
5) 모니터링 장치(식별성)
6) 작업 특성/환경고려(적합성)
7) 미적 가치(감성품질)

6.1 운동 특성

현장 작업자들과의 인터뷰를 통해 커튼월 시공 작업을 위한 로봇의 운동 특성이 크게 거시적 운동(macro motion)과 미세한 운동(micro motion)으로 이루어져야 함을 알 수 있었다. 즉, 커튼월 흡착이나 운반 작업은 상대적으로 정밀도는 떨어지나 보다 빠른 운동속도가 요구된다. 반면에 커튼월 정렬 및 결합 작업은 상대적으로 높은 정밀도가 요구되며 운동속도에 크게 영향을 받지 않는다. 구별된 모션 별로 요구되는 운동 특성은 그림 11에서 이미 결정되었으며 분석 항목으로 사용되었다. 따라서 상관망의 결과 분석을 토대로 다음과 같은 운동 특성에 적합한 제어용 스위치 선정이 필요하다.

1) 거시운동(macro motion)에 필요한 운동 특성
(1) 연속적인 운동
(2) 다자유도 구현(직선/원운동 포함)
(3) 운동속도 변화
※ 추가항목: 동작에 대한 전기적 · 기계적 충돌(커플링) 제거를 위해 가이드라인 설치
2) 미세운동(micro motion)에 필요한 운동 특성
(1) 빈번한 시동/정지
(2) 정확한 운동(입력 값에 대한 신뢰성 부여)
(3) 운동속도 변화
※ 추가항목: 다 자유도 구현(상, 하, 좌, 우 이동 및 시계, 반시계 방향 회전)

6.2 오작동 방지

건설현장에는 다양한 장애물이 존재하여 작업 공정상에 많은 영향을 끼친다. 이러한 영향은 결국 생산성 저하의 결과를 초래하게 되므로 각종 장애물로부터 보호된 장비의 특성을 부여하기 위해 다양한 상황 별 대처방안을 모색해야 한다.

1) 제어 스위치의 오작동 방지를 위해 조이스틱의 가이드라인 및 기타 제어 스위치의 안전커버를 설치하거나 돌출 형태의 스위치는 피한다.
2) 제어 스위치의 오작동 방지를 위해 조이스틱의 가이드라인 및 기타 제어 스위치의 안전커버를 설치하거나 돌출 형태의 스위치는 피한다.
3) 거시/미세 운동 제어 시 두 모션에 대한 독립성을 부여해야 한다. 즉, 거시운동 제어 시 미세운동 제어가 자동으로 제어 불가의 상태로 유지할 수 있도록 한다(반대의 경우에도 가능).
4) 제어동작이 끝난 경우나 이동 시 안전장치를 통해 주변 장애물로부터 보호되어야 한다.

6.3 익숙한 제어 방법

현재 우리 일상에서 사용되고 있는 가전제품의 제어부는 조이스틱, 버튼, 놉(knob) 등과 같은 제어 스위치로 조합된 기계/전기장치로 볼 수 있다. 그 중에서 셀 폰(cell-phone)은 우리에게 가장 친숙한 통신기기이며 누구나 쉽게 다룰 수 있다. 셀 폰의 제어 방법은 주로 누름 버튼 스위치로 이루어져 있다. 따라서 상관표의 제어에 관한 제반 행위에 관련된 친숙한 제어 방법을 채택하기 위해 셀 폰의 제어 방법을 응용하여 건설 로봇 로봇 컨트롤러의 익숙한 제어 방법 중에 하나로 채택할 수 있다. 또한, 산업현장에서 이미 많이 활용된 조이스틱도 익숙한 제어 방법 중에 하나이다.

1) 누름 버튼의 형태는 기존의 셀 폰의 12자리 배치를 따르는데 6개(상, 하, 좌, 우 이동 및 시계, 반시계 방향 회전)의 운동방향과 오작동 방지의 목적으로 버튼 입력 준비 및 입력 완료를 위한 별도의 버튼을 둔다. 버튼의 형태는 방수성 및 입력에 대한 편리성을 부여를 위해 필름 막(membrane) 형태를 따르고 탄성력이 요구되는 소재가 필요하다.
2) 산업현장에서 많이 활용되고 있는 조이스틱도 제어 방법 중에 하나로 채택할 수 있다. 외관 형태가 투박하고 기능이 한정된 제품이 아니라 보다 많은 기능을 가지며 조작의 편리성을 위해 인간공학적 설계를 가진 조이스틱이 필요하다.

6.4 작업자의 신체 특성

로봇을 통한 건설 자동화 시공 상 컨트롤러를 통해 작업명령을 로봇으로 전달하는 작업자에 대한 고려는 전체 로봇 시스템의 성능 향상에 매우 중요하다. 따라서 작업자의 신체적 특성 및 기타 사항을 고려하여 작업 효율성 및 조작 편리성 향상에 기여할 수 있도록 한다.

1) 한 손 제어가 가능하도록 하여 휴대성 및 조작 편리성을 향상 시킬 수 있다.

2) 한 손안에서 제어가 가능한 부피가 되어야 하며 손가락을 통한 제어가 원활히 진행되기 위해 작업자의 표본조사를 통한 손의 통계 치수와 손가락의 운동 특성을 고려하여 외형 디자인에 반영한다.

3) 그립(grip)부의 재질은 미끄러짐 방지 및 착용감의 향상을 위해 미끄럼 방지용 고무패드와 요철(凹凸) 형태의 디자인이 필요하다.

6.5 모니터링 장치

건설 로봇의 원격제어 시스템을 통해 작업이 이루어질 경우 현재의 작업 상태 및 작업정보는 작업 효율성 및 안전성 향상을 위해 반드시 작업자에게 실시간으로 전달되어야 한다. 소형 모니터를 로봇 컨트롤러에 설치하여 여러 방향에서의 커튼월 상태 및 로봇 운동 상태에 관한 정보가 운전자에게 직접적으로 전달되어 보다 편리하고 안전한 작업조건을 제공할 수 있다.

1) 현재 작업 상태 (거시적 운동, 미세적 운동 상의 입력 값)

2) 주변의 환경적인 요인 (풍속 습도 등), 작업에 영향을 줄 수 있는 요인을 픽토그램(pictogram)이나 식별이 빠른 표시 방법으로 나타낸다.

3) 에러 발생에 대한 표시등을 채택하여 발생가능성이 많은 안전사고에 대한 예방책으로 활용이 가능하다.

6.6 작업환경 고려

일반적인 건설현장의 환경적 특징은 다음과 같다.

1) 주변 장애물의 상황에 따라 작업상의 제한요소가 많다.

2) 만약, 사용되는 로봇 시스템의 제어 방법이 원격 제어 방법이면 작업에 대한 정보 획득은 매우 중요하다.

3) 컨트롤러의 조작 시 운동 특성에 따른 머니퓰레이터의 운동과의 조합(mapping)이 요구된다.

주변 장애물로부터 독립되기 위해서는 원격 무선 제어장치를 기본 컨트롤러로 사용되어야 한다. 하지만 무선 제어장치는 주변 고주파장비와의 전기적 충돌에 의한 오작동 방지 기능이 추가되어야 하며 오작동에 대한 모니터링 장치가 필요하다.

6.7 미적 가치

조작 편리성에 관한 세부 항목으로 미적 가치의 기준은 작업자들의 인터뷰를 바탕으로 외관의 디자인이나 색채에 대한 부분보다 휴대 방법과 거치를 위한 형태적 가치에 있다. 또한, 휴대가 쉽고 원격에서 자유로운 제어가 가능하기 위해서는 무선통신 제어방식이 필요하다. 특히 원격제어 특성을 가진 자동화 시스템이나 주변 장애물로부터 유선 제어방식이 곤란한 경우는 무선 제어방식이 반드시 필요하다. 또한, 주변 작업자와의 정보교환 기능을 추가하여 편리성 및 오작동 방지 기능을 추가 시킬 수 있다.

이상 커튼월 시공 로봇 컨트롤러 설계를 위한 디자인 체크리스트가 표 2에서 정리되었다.

7. 결 론

현재 건설 산업이 안고 있는 인력 수급 불균형이나 인력 부족현상 등의 문제점 및 초고층 빌딩의 증가의 최근 경향을 비추어 볼 때 가까운 미래에는 건설 로봇 수요가 증가될 것

표 2. 디자인 체크리스트의 분석

	익숙한 제어 방법	오작동 방지	신체적 특성	모니터링 장치	작업환경	미적 가치
관련 특성	• 생산성: 기능성 • 편리성: 조작성, 식별성	• 생산성: 기능성 • 편리성: 조작성, 식별성	• 편리성: 일괄성, 식별성	• 생산성: 기능성 • 편리성: 일괄성, 식별성	• 생산성: 기능성 • 편리성: 식별성	• 생산성: 기능성 • 편리성: 일괄성
관련 기능	• 신체적 특성을 고려한 형태 • 모니터링 장치 • 무선통신	• 신체적 특성을 고려한 형태 • 모니터링 장치 • 작업환경고려	• 오작동 방지 • 익숙한 제어 방법	• 오작동 방지 • 익숙한 제어 방법 • 작업환경고려	• 모니터링 장치 • 오작동 방지	• 익숙한 제어 방법 • 작업환경고려
디자인 제안	• 버튼 형태: 멘브레인 형태의 고무재질 • 조이스틱의 형태: 3자유도 • 커튼월 축소모형을 이용한 컨트롤러	• 모션제어동작의 커플링 방지를 위해 조이스틱가이드 라인설치 • 모션별 장치의 모듈화 • 오작동 방지	• 한 손제어를 위해 셀폰의 조작 방법반영	• 에러메시지 표시 • 작업정보표시 • 위험 상태표시를 위한 경고장치	• 로봇 컨트롤러용 제어 스위치는 조이스틱과 누름 버튼이 필수 • 열악한 작업환경 고려한 방진 및 방수설계	• 기존의 유선제어 방식을 탈피 • 무선제어 및 휴대 가능한 형태

으로 예상된다. 따라서 생산성 향상과 조작상의 편리함이 고려된 로봇 컨트롤러 개발은 점점 그 중요성이 강조되고 있다.

본 논문에서는 기존의 건설현장에서 사용되는 건설 로봇 및 자동화 시스템에 사용된 제어용 스위치의 적합성이 평가되었다. 또한, 로봇 컨트롤러 관점에서의 생산성과 조작의 편리성과의 연관성에 대한 분석이 이루어졌다. 이를 통해 생산성 및 편리성 향상을 위한 로봇 컨트롤러의 설계 기준이 마련되었다. 이 설계 기준은 건설 자동화 시스템을 비롯한 일반적인 자동화 시스템의 컨트롤러 설계 기준으로 활용이 가능하다. 이는 설문조사와 인터뷰를 통해 현장 작업자들이 호소하는 불편함 및 요구사항을 바탕으로 디자인 요소가 구성되었으며 로봇 컨트롤러의 설계 기준을 마련하기 위해 기본적으로 그들의 의견에 수렴하는 접근 방법을 사용하였기 때문이다.

제안된 로봇 컨트롤러의 설계 기준을 바탕으로 작업자의 조작 편리성이 고려된 컨트롤러 개발이 현재 진행 중이다. 표 2를 근거로 설계될 로봇 컨트롤러는 디자인 체크리스트 항목별로 설계 검증이 수행될 것이다. 검증이 완료된 로봇 컨트롤러는 그림 7의 기존 로봇 컨트롤러와 함께 생산성 비교 · 분석을 위해 실제 작업현장에서의 모의실험이 필요하다. 현장적용을 통해 얻어진 다양한 개선점은 추후 더욱 진보된 형태의 로봇 컨트롤러를 개발하기 위한 중요한 자료로 활용될 것이다.

참고 문헌

김영석, 김현철, 서정회, 오세욱, 국내 건설 산업의 건설 자동화 및 로보틱스 도입 방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 17(2), 111-120, 2001.

이승열, 한창수, 이계영, 이상헌, 다자유도 로봇 기반 커튼월 시공 자동화 장비의 프로토타입 개발, 대한건축학회 논문집, 21(8), 173-182, 2005.

이애복, 최민수, 송하영, 건설공사의 기계화, 자동화, 로보트화의 도입에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 논문집, 11(2), 671-676, 1991.

Albus, J. S., Trip Report: Japanese progress in robotics for construction, International Journal of Robotics, 2(2), 103-112, 1986.

Warszawski A., Economic implications of Robotics in Building, *Building and Environment*, 20(2), 73-81, 1985.

Bemowski, K., Motorola's *Fountain of Youth*, Quality Progress, 1995.

Cusack, M, Automation and Robotics the Interdependence of Design and Construction Systems, *Industrial Robot*, 21(4), 10-14, 1994.

Edmund C. C., Choi and Zhihong Wang, A Study on Pressure-Equalization of Curtain Wall Systems, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 73(3), 251-266, 1998.

Harry, M. J., *The Vision of Six Sigma: A Roadmap for Breakthrough*, Sigma Publishing Company, 1994.

Harry, M. J, *Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability*, Quality Progress, May, 1998.

Hoerl, R. W, *Six Sigma and the Future of the Quality Profession*, Quality Progress, 1998.

John, J., *Craig, Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, 3rd ed., Addison-Wesley, 1989.

Lee, K. K., Adaopting DFSS strategy, methodology and new product introduction, *IQPC Design For Six Sigma*, (224-268), 2001.

Roozbeh Kangari, Advanced Robotics in Civil Engineering and Construction, *91 ICAR., Fifth International Conference*, 1(pp. 375-378), 1991.

Seung-Yeol Lee, Bong-Soo Ko, Kye-Young Lee, Sang-Heon Lee and Chang-Soo Han, The Application of a Robot for the Construction of Curtain Wall in a High Building, *9th AROB 200*4. 1(21-24), 2004.

Valerie Woods, Sarah Hastings, Peter Buckle, Roger Haslam, Development of non-keyboard input device checklists through assessments, *Applied ergonomics*, 34(6), 511-519, 2003.

Wen, Xia; Romano, V.F; Rovetta, A., Remote Control and Robotics in Construction Engineering, *Advanced Robotics, 'Robots in Unstructured Environments', 91 ICAR., Fifth International Conference on 1991*, (1429-1432), 1991.

저자 소개

❖ 이 승 열 ❖ suprasy@paran.com
한양대학교 메카트로닉스공학과 석사
현 재: 한양대학교 기계공학과 박사과정
관심분야: Robot design & control, HRI(Human-robot interaction), Ergonomic design

❖ 석 재 혁 ❖ reo570172@hotmail.com
경남대학교 기계공학과 학사
한양대학교 산업디자인학과 학사
현 재: 한양대학교 산업디자인학과 석사과정
관심분야: MMI, Ergonomic design, Design management

❖ 한 정 완 ❖ hanju@hanyang.ac.kr
한양대학교 제품디자인 학사
한양대학교 산업디자인 석사
일본 국립千葉대학교 디자인시스템 공학박사(Ph.D.)
현 재: 한양대학교 산업디자인학과 부교수
관심분야: Product design, Sting design
Design management & system

❖ 김 병 화 ❖ bhkim@kict.re.kr
한양대학교 기계공학과 석사
현 재: 한양대학교 기계공학과 박사과정
한국건설기술연구원 수석연구원
관심분야: Automation & Robotics in Construction

❖ 한 창 수 ❖ cshan@hanyang.ac.kr
한양대학교 기계공학 학사
University of Texas at Austin 기계공학 석사 및 박사(Ph. D.)
현 재: 한양대학교 기계공학과 정교수
관심분야: Automation & Robotics, System modeling & control

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 05월 08일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 10월 28일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 10월 30일