

건물 외벽 청소 시스템의 무인자동화에 관한 연구

이진구* · 김대명*† · 이동주**

* 주식회사 대화산기, ** 충남대학교 기계공학과

Study of Automatic Cleaning Tool Designs for Exterior Wall of Buildings

Jin Koo Lee *, Dae Myoung Kim *† and Dong Ju Lee **

* Research and Development Team, Daehwa Eng' & Machinery Co., Ltd.,

** Dept. of Mechanical Engineering, Chungnam Nat'l Univ.

(Received November 12, 2012 ; Revised March 28, 2013 ; Accepted March 28, 2013)

Key Words: Cleaning Tool(청소 기구), Built-in Guide System(빌트-인 가이드 시스템), Exterior Wall(외벽), Construction Robot(건설 로봇)

초록: 고층 건물 외벽의 유지보수작업은 매우 위험하며 건설부분 산업재해에서 추락이 상당부분을 차지하고 있다. 국내에서 수행되는 고층 건물 외벽의 유지보수작업은 재래식 로프와 곤돌라를 이용한 방법이 대부분이며, 이는 잦은 안전사고의 발생과 생산성 저하의 원인이 된다. 특히 비정형 형태의 고층 건물이 증가함에 따라 외벽 유지보수작업의 안전사고율이 매년 증가하고 있으며 사고의 상당부분이 사망으로 이어지고 있다. 이와 같은 산업재해와 숙련공의 노령화는 향후 건설인력수급의 불균형을 초래할 것으로 예상된다. 이에 대한 해결책으로 건설 산업의 자동화가 필수적이다. 고층 건물 외벽 유지보수의 자동화는 산업재해의 감소와 비용의 절감을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 빌트-인 가이드 방식의 로봇 시스템에 탑재되어 청소를 수행할 수 있는 자동화 기구를 기안하고 상용화를 위한 연구를 수행하였다.

Abstract: With the development of technology, there has been a considerable increase in the number of skyscrapers in the world. Accordingly, there are increasing requirements with regard to maintenance, such as cleaning, painting, and inspection. However, it is extremely dangerous to work on the walls of buildings, and falls from buildings have accounted for a large proportion of construction accidents. In particular, as the number of buildings with irregular shapes increases, the accident rate during maintenance work has increased each year, with most accidents leading to deaths. An alternative solution must be developed with the commercialization of automatic systems. In this study, fundamental research has been conducted for drafting and commercializing an automation tool with a built-in guide system that can perform cleaning.

1. 서 론

건축 기술의 발전과 함께 현대 건축물은 고층화 및 대형화되고 있으며, 미적인 요소가 가미된 비정형 형태의 건물도 급격하게 증가하고 있다. 도시의 미관을 화려하게 만드는 고층 건물의 브랜드 가치와 외부 전망을 중요하게 생각하는 건물주의 경향에 따라 이런 추세는 앞으로도 계속될 것이다. 이와 같은 고층 건축물은 건설뿐만 아니라 유지보

수를 위한 비용의 증가도 예상된다. 하지만 건물 외벽의 유지보수 및 청소 작업은 그 특성상 여전히 노동집약적이며 다양한 근로자에 의해 위험한 작업들이 수행되고 있다.

현재 국내에서 수행되는 고층 건물의 유리창 청소 및 유지보수작업은 재래식 로프 및 곤돌라를 이용한 방법이 대부분이며 이는 잦은 안전사고의 발생과 생산성 저하의 원인이 된다. 또한 고층 건물이 증가함에 따라 건물 외벽 및 유리창의 유지보수작업에 대한 안전사고율이 매년 증가하고 있으며 사고의 상당부분이 사망 사고로 이어지고 있다. 한국산업안전보건공단의 2008년 산업재해 통계에 따르면 전체 건설산업의 사망재해에서 추락

† Corresponding Author, d2120015@hankooktire.com

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

에 의한 사망이 전체의 48.9%를 차지하며 가장 높은 비율을 나타내고 있다. 또한 숙련공의 노령화와 함께 산업재해의 발생은 향후 건설인력수급의 불균형을 초래할 것으로 예상된다. 산업재해의 감소 및 건설인력수급의 불균형을 해결하기 위한 대안으로 건설산업의 자동화가 필수적이다.⁽¹⁻³⁾

본 연구에서는 빌트-인 가이드 방식의 이동 메커니즘에 탑재되어 고층 건물 외벽 및 유리창에 대하여 청소 작업을 수행할 수 있는 자동화 기구를 기안하고 청소용 로봇 Tool 의 성능실험을 수행하여 청소 효율을 검토하였다.

2. 연구 배경

2.1 국내 청소작업 현황

현재 국내에서는 고층 건물의 외벽을 자동으로 청소하기 위한 세정장치의 개발이 전무하며 이와 관련된 연구도 미미한 실정이다. 국내에서 수행되는 고층 건물 외벽의 청소 작업은 건물 상부에 연결된 곤돌라의 플랫폼에 인력이 직접 탑승하여 작업을 수행하는 방법이 있다. 그러나 디자인적인 요소가 가미되어 건설되는 현대 건축물의 경우에는 비정형 형태와 건물 상부의 미학적 구조로 인하여 곤돌라의 사용이 제한적인 경우가 많다. 일반적인 고층 건물 외벽의 청소는 Fig. 1 에 도시된 것과 같이 로프를 이용하여 인력에 의해 수행되는 재래식 방법이 대부분이다.

작업자는 건물 옥상부에 고정된 로프에 매달려 건물의 아래쪽으로 내려오면서 작업을 수행한다. 작업자에 의해 수행되는 청소공정은 일반적으로 다음과 같은 세가지 작업으로 이루어진다. 건물 내부로부터 공급되는 세척수와 작업자가 소지하고 있는 세제를 외벽에 분사한다. 다음으로 세척수를 이용하여 외벽의 세제를 닦아내고 최종적으로 차량용 와이퍼와 같은 고무 스퀴징 도구를 이용하여

물기를 제거한다. 건물의 준공검사와 같이 외벽의 오염이 적은 경우에는 세제를 사용하지 않고 세척수만 분사한 후, 스퀴징 도구로 마무리하는 경우도 있다. 외벽 청소에 사용되는 도구로는 건물 외벽에 신체를 고정하기 위한 진공 압축기와 세제를 공급하여 닦아주는 스펀지 및 최종적으로 물기를 닦아내는 고무 스퀴징 도구 등이 있다. 부가적으로 외벽에 부착된 이물질을 제거하기 위해 플라스틱 조각이나 칼날 등을 이용한다.

2.2 국외 외벽유지관리 로봇 현황

선진국을 중심으로 고층 건물 외벽의 유지관리를 위한 건설로봇의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 현재까지 개발된 외벽유지관리 로봇의 일반적인 형태는 세가지로 분류된다. 건물의 상부에 설치된 곤돌라를 이용한 로봇 시스템과 건물의 외벽에 설치된 가이드 레일을 이용한 빌트-인 가이드 방식의 로봇 시스템, 그리고 자체 이동 메커니즘을 활용하여 작업을 수행하는 로봇 시스템이 그것이다.

Table 1 에 현재까지 개발된 건물 외벽 작업용 로봇의 예를 제시하였다.^(4,5) 독일에서 개발되어 운용중인 외벽 청소 로봇의 일반적인 작업능력은 120 ~ 150 m²/h 이며 세척수의 소비량은 시간당 150 L 이다. 또한 일본에서 상용화중인 청소용 로봇시스템의 전체 중량은 0.8 ~ 1.4 ton 이며 이는 작업

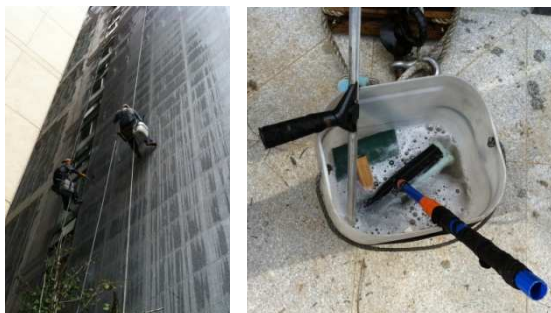








Fig. 1 Cleaning work and various tools in Korea

Table 1 Developed construction robots in the world

		
Inspection The US	Inspection The UK	Moving Hong Kong
		
Monitoring Japan	Painting Japan	Cleaning Germany
		
Cleaning Germany	Cleaning Germany	Cleaning Germany

범위 및 작업 시간의 설계에 좌우된다.

이와 같은 외관검사, 청소 및 도장을 위한 건설용 로봇의 경우, 건물 형태에 따른 작업 방법의 다양성으로 인해 완전한 자동화를 실현하지는 못한 실정이며, 작업의 범위에도 많은 제한을 받고 있다. 또한 사용된 세척수와 세제의 회수를 위한 시스템이 고려되지 않아 건물 하부로의 비산으로 인한 민원의 문제가 발생하고 있으며, 무거운 시스템의 중량도 개선이 필요한 것으로 판단된다.

3. 건물 외벽 청소용 세정장치 개발

3.1 창틀 간섭을 피하는 청소용 세정장치

건물의 외벽에는 창문 틀과 같은 다양한 구조물이 존재한다. 이와 같은 구조물로 인하여 청소 작업의 완전한 자동화를 실현하기가 어려우며 작업 속도 저하로 인한 생산성 저하의 문제가 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 Fig 2 와 같이 창틀 간섭을 피하는 청소용 세정장치 및 이동 메커니즘을 기안하였다. 기안된 청소용 세정장치 또한 노즐부, 브러쉬 롤러부 및 스퀴징부로 구성되었으나 부분적으로 건물 외벽에 대해 전진 및 후진 동작을 수행할 수 있다.

Fig. 3 에 제시된 세정장치의 이동 프레임 전단에 장착된 센서가 외벽의 장애물을 감지하면 모터가 동작하고 타이밍 벨트 및 타이밍 풀리로 연결된 브러쉬 롤러부와 스퀴징부는 외벽으로부터 순차적으로 후진하여 외벽 장애물과의 충돌을 방지

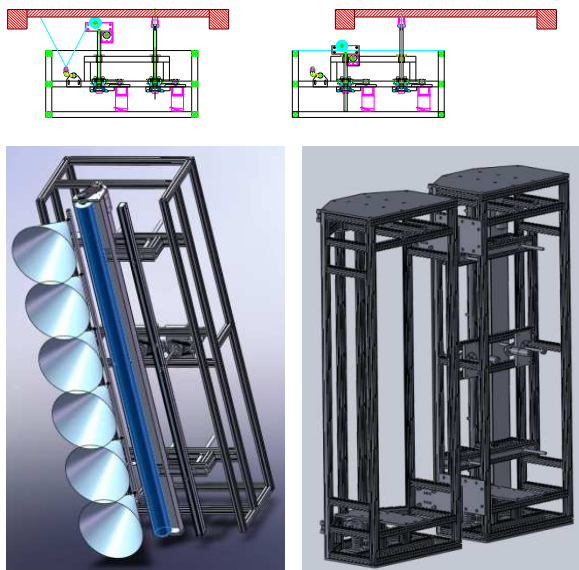


Fig. 2 General design of a cleaning tool for moving forward and backward and moving mechanism

할 수 있도록 기안되었다.

기안된 세정장치는 건물의 레일에 장착되어 이동하는 이동메커니즘에 장착하여 작업을 수행한다. 외벽 구조물과의 간섭을 방지하기 위해 브러쉬 롤러부와 스퀴징부는 구동 모터와 타이밍 벨트 및 타이밍 풀리를 이용하여 외벽으로부터 전진 및 후진 동작이 가능한 구조로 기안되었다.

본 세정장치는 외부의 작업자에 의해 청소 시작 명령을 받으면 구성된 세척수 분사시스템으로부터 세척수 및 세제를 공급받아 외벽에 분사하고, 동시에 모터와 연결된 타이밍 풀리와 타이밍 벨트가 동작하여, 브러쉬 롤러부가 회전하면서 외벽에 전진하여 청소 작업을 수행하게 된다. 또한 같은 동작을 통해 순차적으로 스퀴징부가 전진하여 외벽의 물기를 제거하게 된다. 제작된 세정장치의 청소 가능 높이는 1,750mm 이며 시스템 중량의 감소를 위해 알루미늄과 같은 경량 소재를 사용하였다.

4. 청소용 세정장치의 제어시스템 구성

제작된 세정장치를 실제 건물에 적용하여 청소 작업을 수행하기 위해서는 작업자가 건물 외부에서 작업 상황을 모니터링하고 세정장치의 동작을 제어할 수 있는 시스템이 구성되어야 한다. 따라서, 앞 절에서 제작된 창틀 간섭을 피하는 청소용 세정장치를 바탕으로 LabVIEW 프로그램을 이용하여 제어시스템을 구성하였다.

작업자는 건물의 외부에서 제어프로그램의 메인화면을 통하여 외벽의 청소 진척도, 세척수와 세제의 분사압, 작업 시간, 장애물 여부 및 각각의 동작을 모니터링 할 수 있다. 또한, 작업자는 실행 버튼을 클릭하여 세척수 분사시스템 및 브러쉬 롤러와 스퀴징 도구의 동작을 위한 모터류를 작동시킬 수 있도록 구성되었다. 만약 작업자가 모니터링을 통하여 세정장치의 이상동작을 감지했을 경우, 비상 버튼을 클릭하여 청소 작업을 일시적으



Fig. 3 Prototype of a cleaning tool for moving forward and backward

세척수 Tank 없이 외부에서 세척수를 보급받아 청소 작업을 수행한다. 하지만, 외부에서 세척수를 보급받는 경우 작업 시 세척수를 보급할 수 있는 장소가 마련되어야 하며, 세척수 호스의 길이가 길수록 생기는 불편함 등을 야기시킨다. 반면에, 기안된 청소용 세정장치는 이동메커니즘에 세척수 Tank 를 장착하여 외부에서 세척수 보급없이 일정 시간 동안 작업을 수행할 수 있도록 기안하였다. 이를 검증하기 위해서는 세척수 소모량의 최적화가 실현되어야 한다. 청소 작업 시 적절한 노즐 분사압력과 오리피스 경 선정을 통하여 세척수 소비량을 최적화를 위한 실험을 추가적으로 수행하였다. Fig 7 에 선정된 노즐을 도시하였다. 제작된 청소용 세정장치의 경우에는 세척수 Tank 를 장착하여 일정 시간동안 세척수 공급 없이 작업을 수행하도록 제작되었다. 이에 따라, 제작된 청소용 세정장치들의 효용성을 검증하기 위해 Fig. 7 과 같은 실험용 세척수 분사시스템을 제작하였다.

제작된 세척수 분사시스템은 세척수 TANK, Water Pump, 분사압 조절 밸브로 구성되었으며, 세척수 Tank 의 크기는 440 mm x 300 mm x 1,200 mm 로 제작되었다. 또한, 세척수 Tank 안에는 세척수를 배출할 수 있도록 배수용 Water Pump 가 장착되었고, 세척수 분사 노즐은 1,600mm 길이의 Round bar 에 분사용 노즐 6 개로 구성되었다.

세척수 분사시스템은 밀폐된 세척수 Tank 안에 장착된 배수용 Water Pump 가 구동하여 세척수를 분사할 수 있으며, 분사압 조절 밸브를 이용하여 세척수의 분사압을 조절할 수 있다.



Fig. 7 General view of a utility system for cleaning

6. 세정장치의 성능실험

기안된 청소용 세정장치의 성능을 검증하기 위하여 청소용 Tool 의 성능 실험장치를 제작하였다. 제작된 청소용 Tool 성능 실험장치는 브러쉬 롤러 및 스퀴징의 재질에 따른 청소 효율을 검증할 수 있으며, 세척수 노즐의 분사 압력에 따른 세척수 소모량 등을 확인할 수 있도록 제작되었다. 실험용 유리는 실제 건물의 커튼월에 적용되는 강화유리를 사용하였다. Fig. 8 과 같이 성능을 확인하기 위한 실험 장치를 구성하였다.

Fig. 8 에 청소용 Tool 성능 실험장치를 도시하였다. 청소용 Tool 성능 실험장치는 브러쉬 롤러와 스퀴징 및 분사 노즐로 구성되어 있으며, Tool 부는 볼 스크류와 스텝 모터를 이용하여 좌,우로 이동이 가능하다. 청소용 Tool 부는 7cm/sec 의 속도로 이동하며 청소작업을 수행할 수 있다. 성능 실험 장치의 Tool 부는 유리창에 밀착된 후 이동하며 청소작업을 수행한다. 청소작업이 끝난 후에는 양쪽 끝단에 장착된 공압 실린더를 이용하여 Tool 부를 들어올린 후 원점으로 복귀하도록 구현되었다.

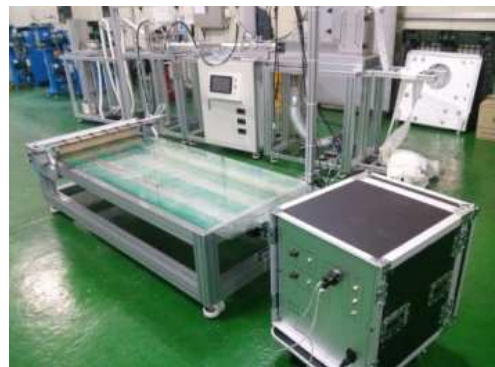


Fig. 8 Test equipments for cleaning performance



(a) Nozzle

(b) Nozzle

Fig. 9 General view of a nozzle for cleaning

Table 4 Nozzle spray test result

Nozzle type	분사압	세척수 소비 시간	세척수 소비량
(a)	0.1 kgf/cm ²	59 분	약 1.6 L/min
	0.5 kgf/cm ²	35 분	약 2.8 L/min
(b)	0.1 kgf/cm ²	137 분	약 0.72 L/min
	0.5 kgf/cm ²	62 분	약 0.62 L/min

분사 시스템은 배수용 펌프를 적용하여 유리창에 세척수를 분사할 수 있으며, 노즐의 분사 압력을 확인할 수 있도록 제작되었다.

제작된 성능실험 장치를 이용하여 세척수 분사 시스템의 효용성을 검증하기 위해 Fig. 9 와 같이 세척수 분사 노즐에 대하여 세척수 분사시스템의 성능 실험을 수행하였다. 선정된 노즐의 경우, 국내 세척 장비에 사용되는 노즐이며, 고압으로 분사가 가능하다, 또한, 물 소모량이 적고 주로 세차장 및 물을 분사시키는 장치에 적용된다.

오리피스 직경이 $\phi 1.1$ 인 (a)타입의 노즐과 오리피스 직경이 $\phi 0.9$ 인 (b)타입의 노즐은 선정하여 세척수 분사 성능을 비교 실험하였다.

실험 방법으로는 상용화되어 있는 노즐을 선정하여 분사압력에 따른 청소 상태를 확인하고, 세척수 100 L에 대한 소비 시간을 측정하였다. Table 4 에는 세척수 분사 노즐의 비교 성능 실험을 도시하였다.

현재 국외에서 개발되어 사용 중인 청소 로봇의 경우 외부로부터 세척수를 공급받아 청소를 수행하며, 세척수의 소비량은 시간당 150 L이다. 또한, 외벽의 청소 작업시간은 유리창의 면적과 상관없이 평균 4 시간이 소요된다. 하지만, 현재 연구 진행 중인 청소용 세정장치의 경우 (b) 타입의 노즐을 이용하여 청소 작업을 수행할 경우 시간당 최소 43 L를 소모할 수 있는 것으로 측정되었다.

현재 개발 중인 장치의 청소 상태를 확인하기 위해 Mock-up 건물을 이용하여 실험을 진행 중이다. Mock-up 건물의 경우, 1,750 x 1,800 mm 면적의 유리창에 장착되어 7cm/sec 의 속도로 이동한다. 따라서 인력으로 수행되는 작업시간 4 시간을 기준 대비 약 170 L 의 세척수를 이용하여 작업을 수행

할 수 있다. 이에 따라, 현재 사용 중인 청소 로봇보다 적은 세척수를 이용하여 청소 작업을 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

향후, 청소 상태에 대한 검증을 위해 세척수의 소비량과 상관 관계 및 브러쉬 롤러의 회전 속도에 따른 청소 상태를 비교 실험할 예정이다.

7. 결론

본 연구에서는 고층 건물 외벽을 자동으로 청소하는 세정장치를 개발하는데 있어서, 빌트-인 가이드 방식의 이동 메커니즘에 탑재 가능한 다양한 세정장치들을 기안하고 상용화를 위한 기초 연구를 수행하였다.

향후, 이동 메커니즘과 연계하여 세정장치의 성능을 지속적으로 평가하고, 실제 건물에 적용하여 내구성 및 안전성 실험을 수행할 예정이다. 또한, 세척수의 분사압 및 회수율 분석과 같은 상용화를 위한 체계적인 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2010년도 건설기술혁신사업(과제번호:10 기술혁신 E03)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Lee, J. K., 2012, "A Study of Automatic Cleaning Tool Design for Façade in High-rise Buildings" *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 26, No. 1, pp. 56~63.
- (2) The Chosunilbo, 2009. 04. 02., "Seoul in 2015...63 Building is so small".
- (3) KOSHA 2009, "The Statistics of Industrial Disasters".
- (4) Kim, D. G. and Kim, B. K., "Construction Robot System Design for High-rise Building External Wall Maintenance," *Proceedings of the 2010 Autumn Conference of The Korea Institute of Building Construction*, Vol. 10, No. 2, pp. 7~10.
- (5) Lee, Y. W., Yeun, K. W., and Kim, J., "The Analysis of Wind Load on Curtain Wall Member of the Building," *Proceedings of the 2010 Autumn Conference of Architectural Institute of Korea*, Vol. 30, No. 1, pp. 37~38.