

◆ 특집 ◆ 고층건물 외벽 유지관리 로봇 시스템

고층 건물 유리 외벽 청소용 로봇의 성능에 관한 연구

A Study on the Performance of Window Cleaning Robots in High-Rise Building

이진구¹, 김대명^{1,✉}, 이동주²
Jin Koo Lee¹, Dae Myoung Kim^{1,✉}, and Dong Ju Lee²

¹ 주식회사 대화산기 연구개발팀 (Research and Development Team, Daehwa Eng' & Machinery Co., Ltd.)

² 충남대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University)

✉ Corresponding author: d2120015@hankooktire.com, Tel: +82-42-670-5863

Manuscript received: 2013.1.18 / Accepted: 2013.2.22

Due to the development of technology, there is a considerable increase in the number of skyscrapers in the world. Accordingly, there are rapid growing requests about maintenances such as cleaning, painting, and inspection. However, it is extremely dangerous working the walls of buildings, and crashes from buildings have accounted for large proportion of constructional accidents. Especially, as the number of buildings with irregular shapes increases, the accident rate during the maintenance work increases each year, and most of the accidents lead to death. An alternative solution must be developed with the commercialization of automatic systems. In this research, a fundamental research has been conducted for drafting and commercializing an automation tool that is carried in the built-in guide system, which can perform cleaning.

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

1. 서론

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 유지보수를 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 끈돌라를

이용한 방법이 대부분이며 이는 잦은 안전사고의 발생과 생산성 저하의 원인이 된다. 또한 고층 건물이 증가함에 따라 건물 외벽 및 유리창의 유지보수 작업에 대한 안전사고율이 매년 증가하고 있으며 사고의 상당부분이 사망 사고로 이어지고 있다. 한국산업안전보건공단의 2010 년 산업재해 통계에 따르면 전체 건설산업의 사망재해에서 추락에 의한 사망이 전체의 32.9%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.^{1,2}

본 연구에서는 빌트-인 가이드 방식의 이동 메커니즘에 탑재되어 고층 건물 외벽 및 유리창에 대

하여 청소 작업을 수행할 수 있는 자동화 기구를 설계하고 청소용 로봇 Tool 의 성능실험을 수행하여 청소 성능을 검토하였다.

2. 기술 동향

2.1 국내 청소작업 현황

현재 국내의 경우 고층 건물의 외벽 및 유리창에 대하여 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 많아 청소 작업을 수행하는데 어려움이 따른다. 일반적인 고층 건물 외벽의 청소는 로프를 이용하여 인력에 의해 수행되는 재래식 방법이 대부분이다. 작업자는 건물 옥상부에 고정된 로프에 매달려 건물의 아래쪽으로 내려오면서 작업을 수행한다. 일반적인 재래식 청소공정을 Fig. 1 에 도시하였다.

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 스키징 도구를 이용하여 물기를 제거한다. 건물의 준공검사와 같이 외벽의 오염이 적은 경우에는 세제를 사용하지 않고 세척수만 분사한 후, 스키징 도구로 마무리하는 경우도 있다. 외벽 청소에 사용되는 도구로는 건물 외벽에 신

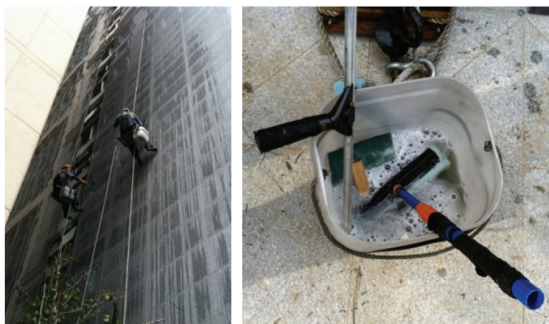


Fig. 1 Cleaning work and various tools in Korea¹


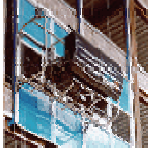







체를 고정하기 위한 진공 압축기와 세제를 공급하여 닦아주는 스펀지 및 최종적으로 물기를 닦아내는 고무 스키징 도구 등이 있다. 부가적으로 외벽에 부착된 이물질 제거를 위해 플라스틱 조각이나 칼날 등을 이용한다.^{1,2}

2.2 국외 청소작업 현황

외국의 경우 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. 독일에서 개발되어 운용 중인 외벽 청소 로봇의 일반적인 작업능력은 120 ~ 150 m²/h 이며 세척수의 소비량은 시간당 150 L 이다.³ 이와 같은 외관검사, 청소 및 도장을 위한

Table 1 Developed construction robots in the world²

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

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.^{1,2}

3. 건물 외벽 청소용 세정장치의 개발

3.1 청소용 세정장치의 설계

건물의 외벽에는 창문 틈과 같은 다양한 구조물이 존재한다. 이와 같은 구조물로 인하여 청소 작업의 완전한 자동화를 실현하기가 어려우며 작업속도 저하로 인한 생산성 저하의 문제가 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 2 과 같이 창틀 간섭을 피할 수 있는 청소용 세정장치를 설계하였다.

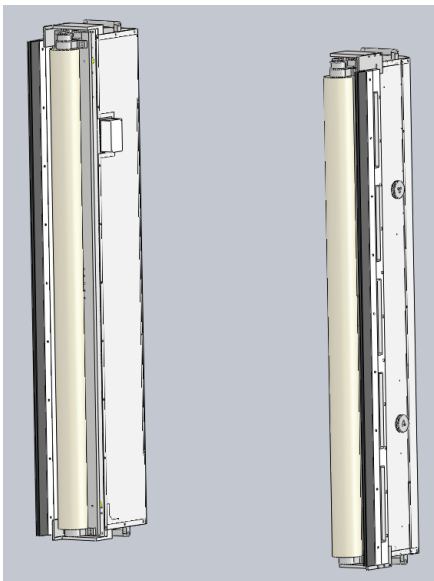


Fig. 2 General design of cleaning tools for moving forward and backward

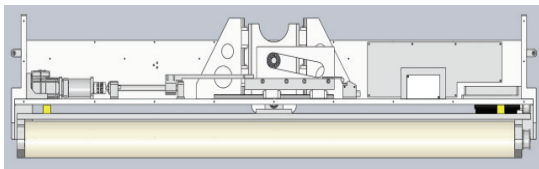


Fig. 3 Moving mechanism of forward and backward

설계된 청소용 세정장치는 양 끝간에 장착된 기구 장치를 이용하여 빌트-인 가이드형 이동 메커니즘에 장착이 가능하며, 건물 외벽 유리의 청소 작업을 수행할 수 있도록 설계되었다. 청소용 세정장치는 분사용 노즐과 브러쉬 롤러 및 스퀴징으로 구성되었으며, 유리창에 밀착되어 청소 작업을 수행할 수 있도록 전진/후진이 가능한 메커니즘으로 설계되었다.

Fig. 3 에 설계된 청소용 세정장치의 전진/후진 메커니즘을 도시하였다.

설계된 세정장치는 모터를 이용하여 브러쉬 롤러와 스퀴징을 유리창으로 전진시켜 밀착시킨다.

건물 꼭면 부에 장착된 경사진 유리창에 효과적으로 밀착하기 위해 중앙 부분에 베어링을 이용하여 브라켓의 처짐을 방지하고 브러쉬 롤러 가운데 부분에 링크 구조를 적용하여 일정한 각도를 가지며 유리창에 밀착이 가능하도록 설계되었다.

4. 청소용 세정장치의 효용성 검증

4.1 성능 실험장치의 제작

위와 같이 설계된 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 커튼 월에 적용되는 강화 유리를 사용하였다.

Fig. 4 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 7 cm/sec 의 속도로 이동하며 청소작업을 수행할 수 있다.



Fig. 4 Test equipments for cleaning performance

본 연구에서 수행된 모든 성능 실험은 동일한 방법으로 진행되었다. 실험 방법은 청소용 Tool 부 앞 단에 장착된 노즐 부에서 세척수를 분사하고, 브러쉬 롤러와 스퀴징부가 유리창에 밀착하여 브러쉬 롤러의 회전력을 이용하여 유리창을 청소하고, 동시에 브러쉬 롤러 뒷부분에 장착된 스퀴징으로 물기를 제거하는 방법이다. 청소작업이 끝난 후에는 양쪽 끝간에 장착된 공압 실린더를 이용하여 Tool 부를 들어올린 후 원점으로 복귀하도록 구현되었다. 분사 시스템은 배수용 펌프를 적용하여 유리창에 세척수를 분사할 수 있으며, 노즐의 분사 압력을 확인할 수 있도록 제작되었다.

4.2 청소용 세정장치의 성능 실험

청소용 세정장치의 작업 성능을 검증하기 위해 청소 공정의 중요한 요소들을 결정하여 성능 실험을 수행하였다. 첫 번째 요소는 브러쉬 롤러의 재질에 따른 청소 성능이다. 현재 유리창 청소 공정

에서 많이 사용되고 있는 브러쉬 롤러의 재질은 스펀지, 울, 모 재질이 대부분이다. 따라서 세 가지 타입의 브러쉬 롤러를 제작하여 청소 성능실험을 수행하였다. Fig. 5 에서는 제작된 세 가지 재질의 브러쉬 롤러를 도시하였다.

스펀지 재질의 브러쉬 롤러는 PE(폴리에틸렌) 재질로 비닐아세테이트 함유량 22%, 신장률 80%이며, 주로 청소용 스펀지로 많이 사용되고 있다. 울 재질은 탄소 섬유 강화 폴리머 복합재료로 Nylon 612 계열이며, 반도체 몰드 청소 장비에 사용된다. 모 재질은 폴리에스테르 70%, 폴리아미드 30% 섬유로 구성되었으며, 자동차 세차장비에 많이 사용된다.

실험에 사용된 유리창의 경우 공장 지역에 한 달간 보관되어 눈, 비, 먼지와 공장의 폐수, 폐유 등의 환경적인 오염에 쉽게 노출되었고, 이와 같은 유리창에 대해 브러쉬 롤러의 재질에 따른 청소 실험을 수행하였다. 공장 지역에 실험 결과를 Table 2 에 정리하였다.

Table 2 에 도시된 것과 같이 브러쉬 롤러의 재질에 따른 청소 성능 실험 결과 유리창의 청소 상태는 울로 제작된 브러쉬 롤러가 세 가지 재질 중 가장 우수하였다. 실험 결과 다양한 문제점이 도출되었다. 스펀지 재질의 브러쉬 롤러의 경우 청소 후 스펀지 오염으로 재사용에 불리하였고, 모 재질의 브러쉬 롤러의 경우에는 청소 후 모 끝간에 부착된 이물질의 제거가 필요하였

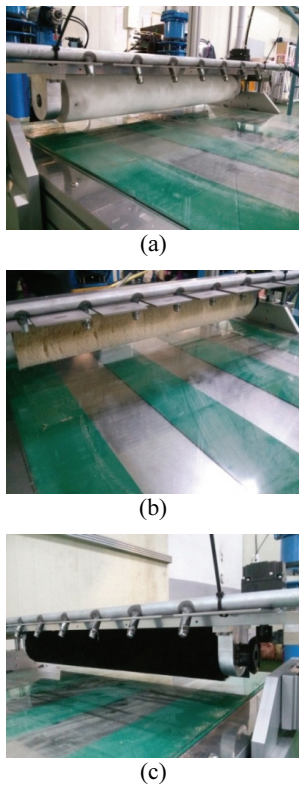


Fig. 5 (a) Brush roller using sponge materials (b) Brush roller using cotton materials (c) Brush roller using wool materials

Table 2 Experimental results according to the materials

Materials	Before	After
Sponge		
Cotton		
Wool		

다. 이와 같은 실험 결과를 바탕으로 건물 외벽 유리창 청소에 가장 적합한 브러쉬 롤러의 재질은 용 재질이 적합함을 알 수 있다.

청소 공정에서 유리창의 오염 물질을 닦아내는 작업만큼 중요한 공정은 유리창의 물기를 제거하는 것이다. 유리창의 물기를 제거하는 일반적인 스퀴징은 고무와 우레탄 재질을 사용한다. 본 실험에서는 유리창 청소 작업 후 이물질 및 물기 제거에 적합한 스퀴징 재질 선정 및 재질에 따른 물기 제거 상태를 비교 검토 하였다.

Fig. 6 에 두 가지 재질로 제작된 스퀴징을 도시 하였다.

사용된 고무는 NBR(아크릴로니트릴-부타디엔 함량 18%)재질로 N31 계열의 고무를 사용하였고, 스퀴징의 두께는 30 mm 이다. 사용된 고무는 높은 내마모성이 특징이며 자동차 와이퍼용 재질로 많이 사용된다. 우레탄 재질의 스퀴징은 폴리우레탄 재질로서 PUR T300 계열을 사용하였으며, 스퀴징의 두께는 30 mm로서 내열성, 내마모성, 내용제성 및 내약품성이 뛰어나다. 제작된 두 가지 재질의 스퀴징 도구를 이용하여 청소 후 물기 및 오염 물질 제거 상태를 비교하였으며, Table 3 에 도시하였다.

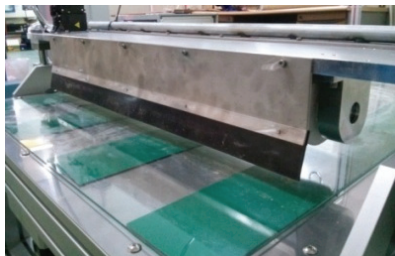
두 가지 재질에 대하여 물기 제거 성능 실험을 수행한 결과 고무 재질의 스퀴징의 경우 청소 후 유리창에 물기가 남아있지 않았으나, 우레탄 재질

의 경우에는 청소 후 유리창에 물기가 완전히 제거 되지 않았고 유리창에 오염 물질이 남아 있음을 확인할 수 있었다. 위와 같이 고무 재질의 스퀴징이 우레탄 재질보다 물기 제거에 효과적 이었다. 실험에 사용된 고무의 경우 경도는 40 ~ 90 이었고, 우레탄의 경도는 55 ~ 100 이었다. 이와 같이 특성에 따라 물기 제거에 영향이 있을 것으로 사료되어 향후, 여러 재질과 동일한 경도에 따른 스퀴징을 제작하여 물기 제거에 대한 실험을 수행하고 비교 검증할 예정이다.

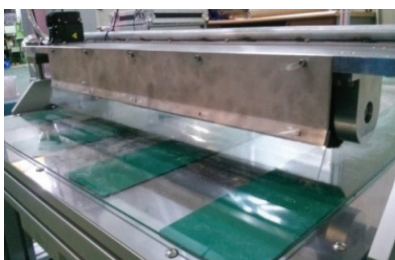
현재 국내의 경우 건물 외벽 유리창 청소 작업 시 세척수 소모량에 대한 문제가 빈번하게 발생한다. 인력으로 수행되는 청소 작업의 경우에는 시간당 약 150 L 이상의 세척수를 소모하는 것으로 조사되었다. 따라서 청소용 세정장치는 세척수 소모량의 최적화가 실현되어야 한다.

본 실험에서는 청소 작업 시 적절한 노즐 분사압력과 오리피스 경 선정을 통하여 세척수 소비량을 최적화를 위한 실험을 추가적으로 수행하였다.

실험 방법으로는 상용화되어 있는 노즐을 선정하여 분사압력을 변경하여 위와 같이 동일한 방법으로 청소작업을 수행하고 유리창 상태를 확인하였다. 선정된 노즐은 오리피스 직경이 0.4 mm이며, 농약 및 세제 등을 안개처럼 분사하는 타입이다. Fig. 7 에 선정된 노즐을 도시하였다.





(a)



(b)

Fig. 6 (a) Squeezing device using rubber materials (b) Squeezing device using urethane materials

Table 3 Experimental results according to the materials

Materials	Cleaning status
Rubber	
Urethane	

실험 조건을 동일하게 구현하기 위해 용 재질의 브러쉬 롤러를 이용하였고, 브러쉬 롤러의 회전속도는 500 rpm 으로 고정 시킨 후 실험을 수행하였다. 또한, 두 실험에 사용된 스퀴징 역시 고무 재질의 스퀴징을 사용하였고, 노즐의 분사 압력을 달리하여 실험을 수행하였다.



실험 결과 이론적 소모량과 실험적 소모량은 다소 차이를 나타냈으며, 노즐의 분사압력이 0.2 kgf/cm² 의 경우 유리창의 이물질이 제거가 되지 않음을 확인할 수 있었고, 0.5 kgf/cm² 의 경우 비교적 청소 상태가 양호함을 확인할 수 있었다. Table 4 에 선정된 노즐을 적용한 분사실험 결과를 정리하였다.

아래의 실험 결과에 따르면, 유리창 청소 작업을 수행하기 적합한 노즐의 분사압력은 0.5 kgf/cm²



Fig. 7 General view of nozzle for cleaning

Table 4 Experimental results at injection pressure

Cleaning status	Water consumption	
	Theoretical	Experimental
 0.2 kgf/cm ²	0.25 l/min	0.27 l/min
 0.5 kgf/cm ²	0.40 l/min	0.44 l/min

이상이 되어야 함을 확인할 수 있었으며, 노즐을 0.5 kgf/cm² 의 압력으로 세척수를 분사할 경우, 세척수 100 L 를 적용한 세정장치의 운용시간은 약 3 시간 30 분 정도로 산출되었다.

건물 외벽의 유리창 오염도는 유리창 방치 상태에 따라 다르다. 오염도가 심한 유리창의 경우에는 오염도가 약한 유리창의 경우보다 더 빠른 회전 속도가 필요하다. 본 실험에서는 브러쉬 롤러의 회전 속도를 변경하여 청소 상태를 확인하였다. 공간지역에서 유리창 세 장을 한 달간 방치한 후 용 재질의 브러쉬 롤러의 회전 속도를 변경하여 실험을 수행하였으며, 실험 결과를 Table 5 에 정리하였다.

동일한 오염도를 가진 유리창에 대하여 브러쉬 롤러의 회전 속도를 변경하여 청소 상태를 분석하였다. 실험 결과 100 rpm 의 회전 속도로 청소한 결과 유리창의 청소가 거의 이루어지지 않았으며, 200 rpm 의 경우 유리창 표면의 이물질이

Table 5 Experimental results at various rotation speed

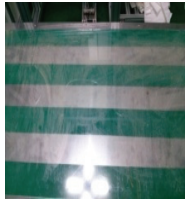

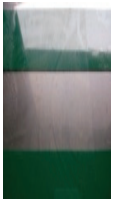
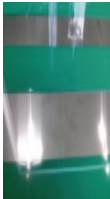
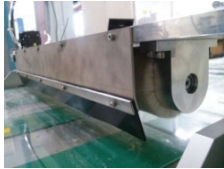
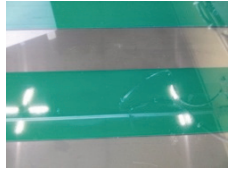
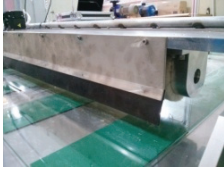
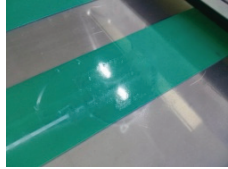
Window status	Rotation speed of brush roller		
	100 rpm	300 rpm	500 rpm
			

Table 6 Experimental results at squeezing angle

Squeezing angle	Cleaning status
	
	

완벽하게 제거되지 않았다. 반면에 500 rpm 의 회전 속도로 유리창을 청소한 결과 유리창 표면의 청소 상태가 양호하다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 오염도가 심한 유리창의 경우 브러쉬 롤러의 회전 속도는 500 rpm 이상이 되어야 한다는 결과를 얻을 수 있었다.

청소 작업 후 물기를 제거할 때, 스퀴징이 유리창과 밀착되는 각도에 따라 물기 제거 상태가 다를 것으로 판단하였다. 따라서 추가적으로 스퀴징이 유리창에 밀착하였을 때, 효과적인 물기 제거 상태를 확인하기 위해 스퀴징의 각도에 따른 물기 제거 성능실험을 수행하였다. Table 6 에 스퀴징 각도에 따른 물기 제거 실험 결과를 정리하였다.

실험 결과 스퀴징은 양방향으로 각도를 갖는 형태가 물기를 제거하는데 효과적이며, 두 개의 스퀴징을 이용하여 물기를 제거하는 것이 효율적일 것으로 판단되며, 향후 유리창에 직각으로 밀착되어 물기 제거를 실험하여 비교 검토할 예정이다.

5. 결론

본 연구에서는 고층 건물 외벽을 자동으로 청소하는 세정장치를 개발하는데 있어서, 빌트-인 가이드 방식의 이동 메커니즘에 탑재 가능한 다양한 세정장치를 설계하고 상용화를 위한 기초 연구 및 실험을 통하여 세정장치의 청소 성능을 검증하였다.

실험 결과를 근거로 건물 외벽 유리창을 효과적으로 청소하기 위한 세정장치의 구성요소를 도출하였다. 청소용 세정장치는 용 재질 브러쉬 롤러를 적용하여 회전 속도 500 rpm 이상으로 동작되어야 한다. 또한 유리창의 물기 및 오염 물질을 효과적으로 제거하기 위해서는 양방향으로 각도를 갖는 형태에 고무 재질의 스퀴징이 적합하다.

세척수 노즐의 경우 0.5 kgf/cm² 이상의 압력으로 분사되어야 하며, 이 경우 세척수 소모량은 0.44 l/min 임을 알 수 있었다. 또한, 제작된 세정장치의 청소 가능 높이는 1,680 mm 이고, 7 cm/sec 의 속도로 이동하므로 세척수 100 L 를 고려한 세정장치는 시간당 420 m² 의 면적을 청소할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

향후, 빌트-인 가이드형 방식의 이동 메커니즘과 연계하여 세정장치의 성능을 지속적으로 평가하고, 실제 건물에 적용하여 청소용 세정장치의 내구성 및 안전성 검증 실험을 수행할 예정이다. 또한, 서

론에서 문제점으로 제기된 세척수의 회수에 관한 연구와 세척수 회수율 분석 등 상용화를 위한 체계적인 연구를 진행할 예정이다.

후 기

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

참고문헌

1. Lee, J. K. and Lee, D. J., "A Study of Automatic Cleaning Tool Design for Façade in High-rise Buildings," J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 29, No. 1, pp. 56-63, 2012.
2. Park, J. W. and Lee, J. K., "Design of Bi-directional Cleaning Apparatus for Curtain Wall in High-rise Buildings," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 355-356, 2011.
3. Lee, J. K. and Ryu, J. H., "A Study on the Retrieving Rate of Automatic Cleaning Apparatus for Façade in High-rise Buildings," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 357-358, 2011.