

## 고층 건물 외벽 청소용 자동화 기구 기안에 대한 연구

### A Study of Automatic Cleaning Tool Design for Façade in High-rise Buildings

이진구<sup>1,✉</sup>, 이동주<sup>2</sup>  
Jin Koo Lee<sup>1,✉</sup> and Dong Ju Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 주식회사 대화산기 (Daehwa Eng' & Machinery Co., Ltd.)

<sup>2</sup> 충남대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University)

✉ Corresponding author: d0240032@hankooktire.com, Tel: 042-670-5832

Manuscript received: 2011.2.18 / Revised: 2011.6.21 / Accepted: 2011.9.23

*Due to the development of construction technology, there is a considerable increase in the number of skyscrapers in the world. Accordingly, there are rapid growing requests about maintenance systems such as cleaning, painting, and monitoring the processes of facade in high-rise buildings. However, it is extremely dangerous working the walls of high-rise buildings, and crashes from buildings have accounted for large proportion of constructional accidents. An alternative solution must be developed with the commercialization of automatic robot systems. For the last decade, interest in developing robots for cleaning and maintenance in facade of high-rise buildings has continuously increased. The use of automatic robot systems can be expected to reduce accidents and decrease labor costs. In this paper, we propose a new kind of cleaning mechanism. We have designed and manufactured various cleaning tools for different types of facades with economic commercialization. The cleaning cycle, size, and intensity will be determined by economic constraints as well. The final goals are to design and manufacture tools and robots that can clean facades efficiently and rapidly even in dangerous places. The cleaning tool systems consist of nozzles, brush rollers, and squeezing devices. Furthermore, these tools and robots perform each process utilizing the systems of built-in guide types and gondola types for building maintenance. The performance of the proposed cleaning tools is evaluated experimentally; however additional study should be necessary for safer and more stable commercialization.*

Key Words : Cleaning Tool (청소 기구), Maintenance (유지관리), Building Façade (건물 외벽), Gondola (곤돌라), Built-in Guide (빌트-인 가이드), Construction Robot (건설 로봇)

#### 1. 서론

전 세계적으로 100 층이 넘는 초고층 건물의 건설이 지속적으로 추진되고 있으며, 국내에도 60 층 이상 건물의 건설이 활발하게 추진되고 있다. 수도권에 추진되고 있는 고층 건물의 건설 계획을 Fig. 1 에 도시하였다.<sup>1</sup> 과학기술의 발전에 따라 현대 건축물은 대형화 및 고층화되고 있으며 이런

추세는 앞으로도 지속될 것이다. 도시의 미관을 화려하게 만드는 고층 건축물은 건설뿐만 아니라 유지보수에서도 상당한 비용의 발생이 예상된다. 또한 노동집약적인 건설산업은 특성상 다양한 근로자에 의해 위험한 작업들이 수행되고 있다.

현재 고층 건축물 외벽의 유지보수작업은 재래식 로프 및 곤돌라를 이용한 방법이 대부분이며 이는 잦은 안전사고의 발생과 생산성 저하의 원인

이 된다. 특히 비정형 형태의 고층 건축물이 증가함에 따라 외벽 유지보수작업에 대한 안전사고율이 매년 증가하고 있으며 사고의 상당부분이 사망으로 이어지고 있다. 숙련공의 노령화와 함께 산업재해는 향후 건설인력수급의 불균형을 초래할 것으로 예상된다. 산업재해의 감소 및 건설인력수급의 불균형을 해결하기 위한 대안으로 건설산업의 자동화가 필수적이다.

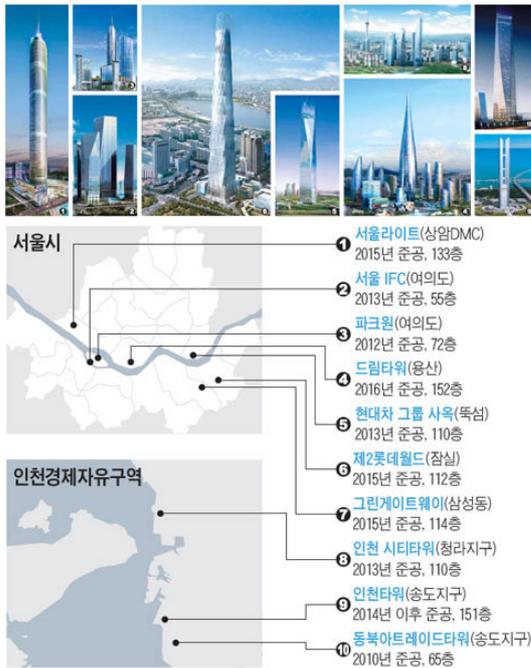


Fig. 1 High-rise building projects in Korea

본 연구에서는 빌트-인 가이드(built-in guide) 및 곤돌라(gondola) 방식의 로봇시스템에 탑재되어 청소를 수행할 수 있는 자동화 기구를 기안하고 상용화를 위한 기초 연구를 수행하였다.

## 2. 연구 배경

### 2.1 산업재해 현황

한국산업안전보건공단의 산업재해 통계에 따르면 전체산업의 사망재해에서 건설산업 분야의 사망자는 2006년 631명, 2008년 669명 등 지속적으로 발생하고 있다. Table 1에 요약된 것과 같이 2008년도 건설산업의 사망재해에서 추락에 의한 사망이 전체의 48.9%를 차지하며 가장 높은 비율

Table 1 Death accidents in constructional field

Accidental cases	Number	Rate (%)
Crash	327	48.9
Conduction	29	4.3
Falling	35	5.2
Collapse	39	5.8
Electric shock	28	4.2
Explosion	32	4.8
Traffic accident	44	6.6
Disease	77	11.5
Etc	58	8.7
Total	669	100.0

을 나타내고 있다.<sup>2</sup>

건물 외벽 유지보수의 재래식 작업에 따른 사고 원인을 Table 2에 요약하였다. 주요 사고 원인은 고층 건물에 매달리는 로프 및 와이어의 파단과 자세불량에 의한 추락 그리고 건물 사이에 존재하는 다양한 바람에 의한 추락 등이 있다.<sup>3</sup> 특히 도심에 위치한 고층 건물의 경우에는 건물들 사이에서 발생하는 와류 및 돌풍에 의한 로프의 꼬임 등으로 인하여 산업재해가 발생할 수 있다.<sup>4,5</sup>

Table 2 Causes of the crash in the classic work

Classic works	Accidental cases	Causes
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Irregular shape of building</li> <li>▪ Tangled rope</li> <li>▪ Sudden gust</li> <li>▪ Crash against building</li> </ul>
		

### 2.2 국내 청소작업 현황

현재 국내에서는 고층 건물의 외벽을 자동으로 청소하기 위한 로봇시스템의 개발이 전무하며 이와 관련된 연구도 미미한 실정이다. 국내에서 수행되는 고층 건축물 외벽의 청소에는 건물 상부에 연결된 곤돌라의 케이지(cage)에 인력이 직접 탑승

하여 작업을 수행하는 방법이 있다. 그러나 디자인적인 요소가 가미되어 건설되는 현대 건축물의 경우에는 비정형 형태와 건물 상부의 미학적 구조로 인하여 곤돌라의 사용이 제한적인 경우가 많다.



Fig. 2 Cleaning work and various tools

일반적인 고층 건물 외벽의 청소는 Fig. 2 에 도시된 것과 같이 재래식 로프를 이용한 방법이 대부분이다. 작업자는 건물 옥상부에 고정된 로프에 매달려 건물의 아래쪽으로 내려오면서 작업을 수행한다. 청소작업은 대부분의 경우 2 인 1 조의 형태로 수행되고 있으며, 일정한 면적의 작업이 진행되어 작업자가 건물의 하부에 도달하면 다시 건물 상부의 초기위치로 이동하여 작업을 진행한다. 작업자에 의해 수행되는 청소공정은 일반적으로 다음과 같은 세가지 작업으로 이루어진다. 건물 내부로부터 공급되는 세척수와 작업자가 소지하고 있는 세제를 스폰지 도구를 사용하여 외벽에 분사한다. 다음으로 세척수를 이용하여 외벽의 세제를 닦아내고 최종적으로 차량용 와이퍼와 같은 고무 스퀴징(squeezing)을 이용하여 물기를 제거한다. 건물의 준공검사와 같이 외벽의 오염이 적은 경우에는 세제를 사용하지 않고 세척수만을 분사한 후 스퀴징으로 마무리하는 경우도 있다.

외벽 청소에 사용되는 도구로는 건물 외벽에 신체를 고정하기 위한 진공 압축기와 세제를 공급하여 닦아주는 스폰지 도구 및 물기를 최종적으로 닦아내는 고무 스퀴징 등이 있다. 부가적으로 외벽에 부착된 이물질 제거하기 위해 플라스틱 조각이나 칼날 등을 이용한다.

**2.3 국외 외벽유지관리 로봇 현황**

일본과 독일 등의 선진국을 중심으로 고층 건

물 외벽의 유지관리를 위한 건설로봇의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 현재까지 개발된 외벽유지관리 로봇의 일반적인 형태는 세가지로 분류된다. 건물의 상부에 설치된 곤돌라를 이용한 로봇시스템과 건물의 외벽에 설치된 가이드 레일을 이용한 빌트-인 가이드 방식의 로봇시스템, 그리고 자체 이동 메커니즘을 활용하여 작업을 수행하는 로봇시스템이 그것이다. Table 3 에 현재까지 개발된 건물 외벽 작업용 로봇의 예를 제시하였다.<sup>3</sup>

Table 3 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

독일에서 개발되어 운용중인 외벽 청소 로봇의 일반적인 작업능력은 120 ~ 150 m<sup>2</sup>/h 이며 세척수의 소비량은 시간당 150 L 이다. 또한 일본에서 상용화된 청소용 로봇시스템의 전체 중량은 0.8 ~ 1.4 ton 이며 이는 작업범위의 설계치에 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. 외벽 청소용 자동기구의 개발

#### 3.1 청소용 세정장치의 기안

2.2 절의 청소공정 분석을 통하여 다음과 같은 청소용 세정장치를 기안하였다.

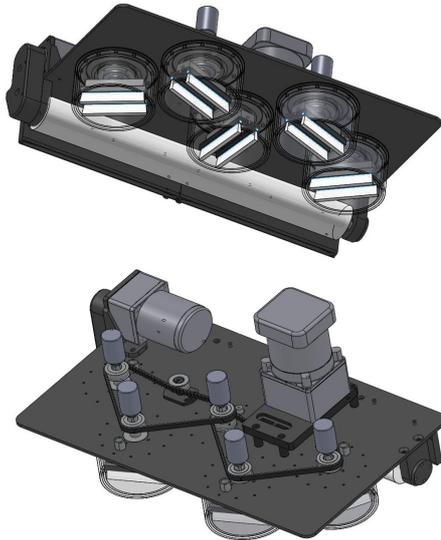


Fig. 3 General drawing of developed cleaning tool

Fig. 3 에 도시된 청소용 세정장치는 노즐부와 브러쉬 롤러부 및 스퀴징부로 구성되었다.<sup>6</sup> 청소가 가능한 폭은 500mm 로 설계되었으며, 이동 메커니즘에 탑재가 용이하도록 350mm 이하의 높이로 고려되었다. Table 4 에 본 연구를 통해 개발중인 빌트-인 가이드형 청소용 로봇시스템의 최종적인 목표 사양을 요약하였다.

Table 4 Final specifications of cleaning system

No.	Description	Specification
1	Size of system	1,500×2,000×500 mm
2	Weight of system	Less than 300 kg
3	Cleaning capacity	150 m <sup>2</sup> /hour
4	Position accuracy	X-Y ±30 mm
5	Operation noise	Less than 80 dB
6	Operation time	More than 40 hour

##### 3.1.1 세정장치의 구성

노즐부는 청소를 위한 세제와 세척수를 분사하는 장치이다. 현재 인력에 의해 수행되는 청소공

정의 경우 세척을 위해 많은 양의 세척수를 분사하고 있으며 사용한 폐수를 회수하는 시스템도 대부분 고려되지 않고 있다. 특히 오염도가 심한 외벽의 경우 고압으로 산성 및 알칼리성 세제를 분사하고 추가적으로 중화제와 세척수를 분사하기 때문에 사용되는 물의 양이 많아 경제적으로 불리하고 환경오염의 문제도 발생한다.

연구의 초기에는 세척수가 분사되는 반력에 의해 베어링이 설치된 노즐이 회전하고, 이와 연결된 일자형 브러쉬가 회전하며 청소를 수행하는 방법을 기안하였다. 그러나 전체 시스템 중량의 증가로 인해 청소를 수행하기 위한 충분한 세척수를 탑재하는 것이 불가능하였다.

본 연구를 통해 개발된 노즐부는 다섯 개의 분할된 노즐장치로 구성된다. 각각의 노즐장치는 타이밍벨트와 타이밍풀리로 연결되어 모터의 구동을 통하여 내부의 설치된 두 개의 노즐이 회전하며 세척수와 세제를 분사한다. 전체 시스템 중량의 감소와 물 소비량의 절감을 위해 세척수의 분사는 스프레이 형태를 적용하였다.

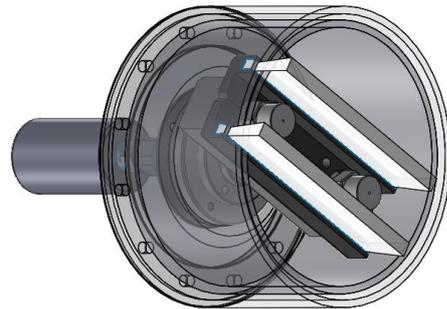


Fig. 4 Detailed drawing of nozzle parts

Fig. 4 에 도시된 것과 같이 케이스 내부의 노즐부가 회전함에 따라 노즐과 연결된 일자형 브러쉬가 회전하며 일차적인 청소를 수행한다. 각각의 케이스는 3mm 의 단차를 가진 내부 케이스와 외부 케이스로 구성되며, 세척에 사용된 물과 세제는 진공펌프를 이용하여 이단 케이스의 사이로 회수할 수 있도록 고안되었다.

브러쉬 롤러는 노즐의 후단에 위치하여 오염물을 최종적으로 제거하는 장치이다. 브러쉬 롤러는 노즐부의 일자형 브러쉬가 일차적인 세척작업을 수행하고 남은 오염물질에 대하여 추가적인 세척작업을 수행한다. Fig. 5 의 도면과 같이 브러쉬 롤

러는 타이밍벨트와 타이밍풀리로 연결된 모터에 의해 구동된다.

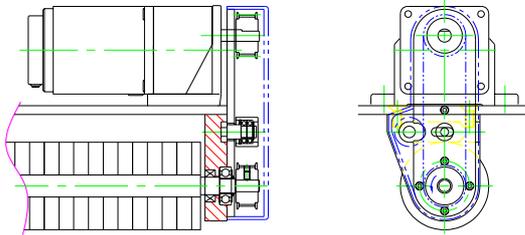


Fig. 5 General drawing of brush roller

최근에 건설되는 사무용 건물의 상당부분이 시공이 편리한 조립식 벽체인 커튼월(curtain wall) 외벽으로 시공되고 있다.<sup>4</sup> 커튼월 외벽에 청소용 세정장치를 적용하기 위해서는 세제 및 브러쉬의 사용 재질이 면밀하게 고려되어야 한다. 일부 금속성 커튼월의 경우 산성 및 알칼리성 세제의 사용으로 인하여 부식을 일으킬 수 있기 때문이다. 본 연구에서 기안된 세정장치의 브러쉬 솔은 산성 및 알칼리성 세제와 같은 화학약품에 대응이 가능하도록 폴리프로필렌 및 나일론 등의 다양한 재질을 적용하여 검증되었다. 일반적으로 나일론 재질은 알칼리성 세제에 사용이 가능하며 폴리프로필렌 재질은 산성 및 알칼리성에 모두 적용이 가능하다.

고무 스퀴징은 청소용 세정장치의 후단에 설치되며 차량용 와이퍼와 같이 외벽에 남아있는 세척수와 세제를 닦아내어 외벽의 청소를 마무리하는 장치이다. 스퀴징의 전단에는 진공펌프를 이용하여 세척수와 세제를 추가적으로 회수할 수 있도록 회수장치가 추가되었다.

이와 같은 청소용 세정장치는 빌트-인 가이드 및 곤돌라 시스템과 같은 별도의 이동기구에 의해 구동되어야 하며 실제 건물에 적용하기 위해서는 중량의 최적화가 필수적이다. 개발중인 청소용 세정장치부의 최종적인 목표 중량은 50 kg 이다. 제작된 시제품의 부품은 표면을 아노다이징 처리한 Al6061 및 아세탈 등의 경량 재질을 채택하여 20 kg 의 중량을 실현하였으나, 작업범위에 따른 설계변경과 세척수 탑재량에 대한 검토가 필요하다.

**3.1.2 이동 메커니즘의 예**

기안된 청소용 세정장치는 빌트-인 가이드 및 곤돌라 방식의 로봇시스템에 탑재되어 작업을 수

행할 예정이다. 빌트-인 가이드 방식의 이동 메커니즘의 예를 Fig. 6 에 도시하였다.<sup>8</sup>

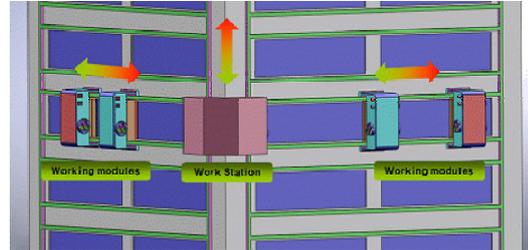


Fig. 6 General idea of moving mechanism

건물 외벽을 수직으로 이동하는 로봇시스템에서 청소용 세정장치가 수평방향으로 이동하며 작업을 수행한다. 건물의 형태에 따른 다양한 적용을 위하여 빌트-인 가이드 방식은 수평방향으로 작업을 수행할 예정이며 곤돌라 방식은 수직방향으로 청소 작업을 수행할 예정이다.

**3.1.3 분사시스템의 구성**

청소용 세정장치의 세척수 및 세제의 분사를 위해 Fig. 7 과 같은 분사시스템을 기안하였다. 세척수 분사시스템은 공기 압축기(Air Compressor)를 이용하여 밀폐된 용기에 압력을 가하고 압력 조절기(Regulator)의 조절을 통해 분사압력을 조절하는 방식으로 제작되었다. 또한 사용된 세척수와 세제의 회수를 위해 진공펌프가 추가되었다.

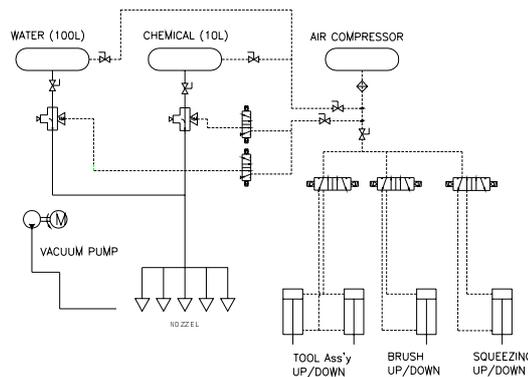


Fig. 7 Utility system for cleaning tool

제작된 분사시스템의 세척수 분사량은 분사압력 0.05MPa 에서 분당 1.2 L 로 측정되었으나, 실제 건물의 청소 실험을 통해 작업시간과 회수율 및

재활용 방안 등에 관한 추가적인 연구가 수행될 예정이다.

### 3.2 가변형 브러쉬 롤러에 대한 추가 연구

3.1 절에서 제시한 브러쉬 롤러는 모터에 의해 구동되는 일체형 원통 구조이다. 건물의 외벽에는 창틀과 프레임과 같은 많은 구조물이 존재하고 있다. 현재 개발된 청소용 로봇시스템의 경우 이와 같은 구조물을 완벽하게 인지하고 작업하는 완전한 자동화를 실현하지 못하고 있다. 건물의 외벽에 존재하는 이런 부분을 감지하기 위해서는 복잡한 제어시스템을 구성하여야 하며 이는 비용의 증가와 함께 작업속도의 저하로 인한 생산성 측면의 약점으로 이어진다.

본 연구에서는 추가적으로 창문의 틀과 같은 구조물에 능동적으로 대응할 수 있는 가변형 분할 브러쉬 롤러를 기안하였다.<sup>7</sup>

Fig. 8 은 공압에 따라 구간을 분할하여 적용한 가변형 브러쉬 롤러의 예이다. 브러쉬 롤러는 일정한 두께의 원판 롤러로 분할되어 있으며, 내부에는 공압 배관이 가공된 축이 내장되어 있다. 이를 이용하여 브러쉬 롤러의 일정부분에만 선택적으로 공압을 가할 수 있다. 공압이 작용하지 않은 분할 원판 롤러가 창문의 틀과 같은 외벽의 구조물에 접하는 경우에는 Fig. 8 에 도시된 것과 같이 구조물의 모양에 따라 자연스러운 대응이 가능하다.

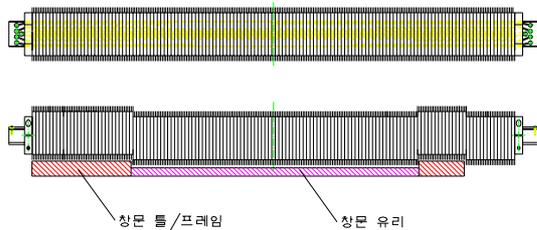


Fig. 8 Design of variable partition brush roller

Fig. 9 에 기안된 분할된 원판 롤러의 단면을 도시하였다. 가변형 분할 브러쉬 롤러는 내부의 롤러와 외부의 롤러 사이에 위치하는 다수의 볼에 의해 청소작업의 진행에 따라 자연적으로 구동한다. 모터에 의해 강제로 구동되지 않으므로 사용전원과 중량이 감소되는 장점이 있다.

분할 브러쉬 롤러의 내부를 관통하는 축에 가공되어 있는 공압 배관은 개스킷과 패킹에 의해서

공압의 외부 방출을 막는다. 공압이 작용하지 않은 분할형 원판 롤러는 Fig. 9 의 우측에 도시한 것처럼 상향으로 자유롭게 움직일 수 있도록 기안되었다.

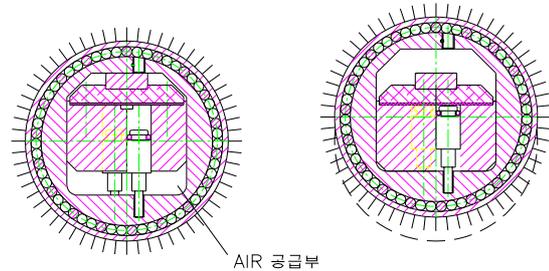


Fig. 9 Sectional drawing of variable partition brush roller

시험적으로 제작된 가변형 분할 브러쉬 롤러를 Fig. 10 에 제시하였다. 공압이 공급되지 않은 분할 원판 롤러만 우측에 도시된 것과 같이 상향으로 자유로운 이동이 가능하였다. 이와 같은 결과를 근거로 기안된 가변형 분할 브러쉬 롤러가 청소용 세정장치에 적용되어 창문 틀과 같은 건물 외벽 구조물의 모양에 따라 자연스러운 대응이 가능할 것으로 판단하였다. 또한 오염도가 심한 건물 외벽에 대해서는 브러쉬 롤러에 공급되는 공압을 키움으로써 큰 압력의 밀착을 통해 청소의 효율성을 높일 수 있을 것으로 예상된다.

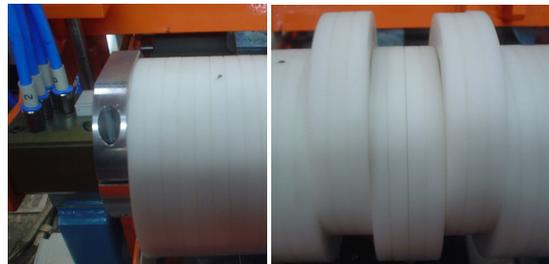


Fig. 10 General view of variable partition brush roller

### 4. 세정장치의 회수율 분석

이동 메커니즘과 연계한 실제 건물의 적용 실험에 앞서 청소용 자동 세정장치의 효율성과 폐수의 회수율을 분석하기 위하여 Fig. 11 에 도시된 것과 같이 시제품, 테스트 베드 및 세척수 분사시스템을 제작하였다.



Fig. 11 Picture of cleaning apparatus and test bed

테스트 베드는 1,700mm 의 폭과 700mm 의 높이를 적용한 유리부를 알루미늄 프레임에 사용하여 고정하였으며, 상부 및 하부의 이송부를 이용하여 직선운동이 가능하도록 제작되었다.

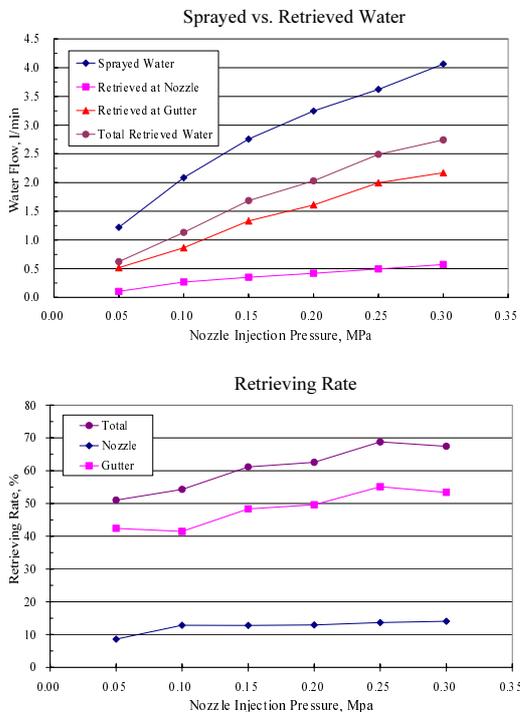


Fig. 12 Experimental results of retrieving test

폐수의 회수율은 진공펌프를 사용하여 실험을 통해 검증되었다. 세정장치의 이송 속도는 0.4m/s로 일정하게 유지되었으며, 세척수의 분사압력을 0.05MPa 에서 0.3MPa 로 순차적으로 증가시키며 폐수의 회수율을 조사하였다.

Fig. 12 의 그래프와 같이 세척수 분사압력이 0.25MPa 인 경우 폐수의 전체 회수율이 68.8%로

최대값을 나타내었다. 반면에 개발된 2 단 케이스 노즐부를 통한 최대 회수율은 분사압력이 0.3MPa 에서 14.1%로 세정장치 하부 물받이의 회수율보다 미미한 것으로 나타났다. 분사압력이 증가하면 분사된 세척수의 양이 충분하여 진공을 통한 회수율이 증가되는 것으로 판단된다. 또한 분사압력이 일정한 크기에 도달하면 전체 회수율은 일정한 값에 수렴할 것으로 판단되며 이에 대한 추가적인 실험을 실시할 예정이다.

### 5. 결론

본 연구에서는 실제 작업자가 수행하는 청소작업의 분석을 통해 건물 외벽을 자동으로 청소하기 위한 기구를 제시하였다. 개발된 청소용 세정장치는 스프레이 방식의 분사를 통해 세척수 소비량의 감소를 도모하였으며 자원의 재활용을 위한 회수 시스템을 기안하였다. 또한 제어시스템의 단순화를 위해 가변형 분할 브러쉬 롤러를 추가로 기안하였다.

이와 같은 세정장치가 실제 건물에 적용되기 위해서는 건물의 설계 단계부터 고려되어야 하는 빌트-인 가이드 방식 로봇시스템이나 곤돌라 방식 로봇시스템에 탑재되어 이동하거나 자체적인 이동 시스템을 구축해야 한다. 작업공간의 특성상 고층 구조물 외벽 유지관리용 로봇시스템의 개발에 있어서 가장 중요하게 검토되어야 하는 점은 전체 시스템 중량의 최적화이다. 고안된 청소용 세정장치는 경량 재질을 사용한 부품을 적용하여 중량의 감소를 도모하였다. 그러나 초고층 건물의 경우에는 전원부를 포함한 탑재용 제어시스템과 물과 세제와 같은 유틸리티 시스템의 중량이 추가적으로 고려되어야 할 것이다.

유리를 이용한 기초적인 청소 실험을 통하여 본 세정장치의 적용 가능성 및 폐수의 회수 가능성을 일차적으로 확인하였다. 향후 이동 메커니즘과 통합하여 실제 건물 외벽에 적용을 통한 작업 속도의 최적화, 세척수의 회수율 향상 및 가변형 분할 브러쉬 롤러의 적용 가능성 등에 관한 추가적인 연구를 수행할 예정이다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2010 년도 건설기

술혁신사업 (과제번호 : 10 기술혁신 E03)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. The Chosunilbo, "Seoul in 2015...63 Building is so small, Dated 02 April," 2009.
2. KOSHA, "The Statistics of Industrial Disasters," 2009.
3. Kim, D. G. and Kim, B. K., "Construction Robot System Design for High-rise Building External Wall Maintenance," Proceedings of Autumn Conference of The Korea Institute of Building Construction, Vol. 10, No. 2, pp. 7-10, 2010.
4. Lee, Y. W., Yeun, K. W. and Kim, J., "The Analysis of Wind Load on Curtain Wall Member of the Building," Proceedings of Autumn Conference of Architectural Institute of Korea, Vol. 30, No. 1, pp. 37-38, 2010.
5. Kim, D. G. and Kim, B. K., "A Study on the Improvement of External Wall Maintenance and Repairment of High-rise Building using Construction Robot," Proceedings of Autumn Conference of Korean Recycled Construction Resource Institute, Vol. 5, No. 3, pp. 35-38, 2010.
6. Lee, J. K. and Ryu, J. H., "A Study in the Retrieving Rate of Automatic Cleaning Apparatus for Façade in High-rise Buildings," Proceedings of KSPE Spring Conference, pp. 357-358, 2011.
7. Park, J. W., Lee, J. K. and Ryu, J. H., "A Study on the Variable Partition Brush Roller of Automatic Cleaning Apparatus for Façade in Buildings," Proceedings of KSPE Spring Conference, pp. 353-354, 2011.
8. Lee, S. H. and Han, C. S., "Proposal of Force/Motion Control Strategy for Robotics Building Maintenance System," Proceedings of KSPE Spring Conference, pp. 449-450, 2011.