

초고층 건축물 외벽 청소로봇 운용을 위한 가이드레일 개념(안) 개발

Conceptual design development of Guide Rail for Cleaning Robot in Curtain Wall Facade of Skyscraper

김 창 한 한 재 구 김 균 태*

Kim, Chang-Han Han, Jae-Goo Kim, Kyoon-Tai*

Construction Management & Economy Research Div., Korea Institute of Construction Technology, Goyang-Si,
Korea

Abstract

In recent years, the number of high-rise buildings has been on the rise. As buildings have become larger in scale, significantly different issues related to their construction and maintenance have emerged. In addition, the automation and mechanization of the cleaning work for the curtain wall, one of the most frequently-performed tasks in building maintenance, is required as a fundamental measure. For this reason, a guide-rail cleaning robot system is emerging as one of the measures in response to external factors, including gust. Therefore, this is a preliminary study for the automation and mechanization of the curtain wall cleaning of high-rise buildings, and aims to derive the basic units and prepare for the concept of the guide rail. It is expected to serve as precedent research for the development and operation of a curtain-wall cleaning robot, and to prepare the basis for an final design of optimal guide rail.

Keywords : skyscraper, cleaning robot, guide rail, basic units

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

매년 층수가 50층 이상이거나 높이가 200m 이상인 초고층 건축물 건설 프로젝트가 증가하고 있으며, 초고층 건축물의 높이가 증가함에 따라 시공법과 함께 유지관리 방법도 기존방식과는 큰 차이를 보이고 있다[1]. 이런 초고층 건축물은 대규모 프로젝트로 경제성이 민감하게 작용하며, 그 중 LCC측면에서 비용투입이 큰 유지관리 단계의 비용절감이 중요한 이슈로 부각되고 있다.

건축물 외벽 유지관리 업무 중 가장 빈번하게 수행되는

것은 청소작업이다. 국내에서 외벽 청소작업은 생산성 등의 문제로 대부분 인력을 활용하고 있으나, 사고 발생시 작업원의 사망으로까지 이어지고 있다. 또한 인력에 의한 외벽 청소작업의 최대 범위는 약 200m인데, 초고층 건축물의 높이가 이를 초과함으로써 작업의 어려움도 발생하고 있다 [2,3]. 이에 초고층 건축물에서 안전작업이 가능하며, 돌풍 등의 외부환경에도 대응할 수 있는 외벽 청소방식으로 가이드레일(guide rail) 청소로봇 시스템이 제시되고 있다[4]. 가이드레일 청소로봇 시스템은 가이드레일, 외벽 청소로봇 등으로 구성되며, 커튼월의 일부인 멀리언 내외부에 가이드레일을 설치해 가이드레일을 따라 청소로봇이 이동하면서 건축물 외벽을 청소한다는 개념이다.

현재 국내에서는 가이드레일 로봇청소 시스템의 적용사례가 없으나, 유사성을 띄는 곤돌라 레일시스템이 존재한다. 하지만 기존 곤돌라 레일시스템의 레일은 로봇하중에 대한 구조적인 대응이 어려우며, 특정 건축물에만 특화되어 있다.

Received : February 13, 2012

Revision received : March 16, 2012

Accepted : March 16, 2012

* Corresponding author : Kim, Kyoon-Tai

[Tel: 82-31-910-0420, E-mail: ktkim@kict.re.kr]

©2012 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

따라서 곤돌라 레일시스템의 레일을 개선해서 일반적인 건축물에도 적용 가능한 가이드레일 로봇청소 시스템의 전용 가이드레일 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 초고층 건축물 외벽 청소작업을 위한 가이드레일 로봇청소 시스템의 가이드레일 개발에 대한 선행연구로써, 외벽 청소로봇 운용을 위한 가이드레일 기본단위유닛 도출과 가이드레일 개념(안)을 개발하는 것이다. 이를 통하여 초고층 건축물 외벽 청소로봇 운용에 최적인 가이드레일에 대한 최종설계의 기반을 마련하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 커튼월이 적용된 초고층 건축물에 가이드레일 청소로봇 시스템의 구성요소인 가이드레일을 적용하는 경우로 연구범위를 제한하여 가이드레일 개념(안)을 개발한다.

본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행한다.

첫째, 건축물 외벽 청소로봇의 이동방식 및 작업방법 등에 대한 샘플시나리오 작성을 통해 가이드레일 요소기술을 도출한다.

둘째, 가이드레일 요소기술을 기반으로 가이드레일 기본단위유닛을 도출하였다.

셋째, 도출된 기본단위유닛을 발전시켜 가이드레일 개념(안)을 도출하고, 관련 전문가 검토를 통해 가이드레일 개념(안)의 유형별 개발 가능성을 검증한다.







2. 기존연구의 고찰

2.1 초고층 건축물 외벽 현황

2.1.1 외벽 현황

Lee[5]는 초고층 건축물 외벽(입면)을 저층부, 중층부, 고층부 등 삼분법적 구성으로 구분할 수 있으며, 그 중 Table 1에서처럼 중층부를 건축물의 주요부로 판단하였다.

Table 1. Trichotomous composition of curtain wall of a high-rise building(middle part)

Column	Tapering	Platfomed individual	Horizontal step	Vertical step	Twin-mass combined
					

2.1.2 초고층 건축물의 외벽 현황

Kim[6]은 Figure 1에서처럼 국내에서 완공된 초고층 건축물의 외벽을 분석한 결과, 기동형의 매스디자인, 장방형 혹은 정방형의 평면, 수평창이 대표성을 띤다고 분석하였다. 또한 Lim[7]은 초고층 건축물의 구조적 한계를 극복하기 위해 SRC구조, 복합판넬, 커튼월 시스템이 지속적으로 사용될 것으로 예상하였다.



Figure 1. Current status of construction rate of high-rise buildings (as of 2010)

2.2 건축물 외벽 유지관리 현황

2.2.1 외벽 유지관리 현황

외벽 유지관리는 유지보수와 청소 2가지로 구분할 수 있다. 외벽 유지보수는 건축물 외장재의 파손 및 부분 결함 등을 찾아 원상 복구하거나, 외벽에 그림 및 텍스트를 다양한 색채로 도색하는 작업이다. 그리고 외벽 청소작업은 장시간 외부에 노출되어 오염되었을 시 실시하는 세척작업이다. 그리고 국내 건축물의 외벽 청소작업에서 가장 많이 적용되는 방식인 수작업의 업무프로세스는 1. 청소재료 및 작업도구 준비, 2. 청소작업을 위한 안전장치 설치, 3. 자세잡기 및 작업도구 세팅, 4. 청소작업 실시, 5. 로프철수 및 안전장치 해체로 구성된다. 이러한 업무프로세스는 가이드레일 청소로봇 시스템의 외벽 청소로봇 운용을 위한 샘플시나리오 작성의 참고자료로 활용하였다. 그리고 외벽 청소업체의 현장 조사 결과, 외벽 청소작업에는 기본적으로 보통인부 4인 1조로 투입되며, 상황에 따라 작업조의 인원과 수를 조정하는 것으로 조사되었다. 향후 경제성을 고려해 가이드레일

청소로봇 시스템에 투입되는 인력의 초기목표는 청소로봇 1대를 운전하는 건설기계운전원 1명으로 설정해야 한다고 판단된다.

2.2.2 가이드레일 로봇청소 시스템을 적용한 외벽 유지관리 현황

국외에서는 일부 건축물에 가이드레일 로봇청소 시스템을 적용하여 외벽 유지관리를 수행하고 있다. 그리고 건축물 특성에 따라 외벽 청소로봇의 이동방식이 결정될 수 있으며, 본 논문에서는 수평 이동방식과 수직 이동방식으로 구분하였다. 수평 이동방식의 외벽 청소로봇은 수평방향의 가이드레일을 따라 청소로봇이 이동하면서 건축물 외벽을 청소하는 방식이다. Nihon Bisoh사에서 주로 개발하는 방식이며, 현재 요코하마 랜드마크 타워 등 일부 건축물에 특화되어 적용되었다. 수직 이동방식의 외벽 청소로봇은 수직방향의 가이드레일을 따라 청소로봇이 이동하면서 건축물 외벽을 청소하는 방식으로, iku사의 iku시스템이 있다[8].

국내에서는 가이드레일 로봇청소 시스템의 적용사례가 없으나, 유사성을 띄는 곤돌라 레일시스템이 존재한다. 하지만 곤돌라 레일시스템의 레일은 로봇하중에 대한 구조적인 대응과 일반적인 건축물에 적용하기 어렵다. 따라서 곤돌라 레일시스템의 레일을 개선한 가이드레일 로봇청소 시스템의 전용 가이드레일을 개발이 요구된다. 현재 곤돌라 레일시스템의 레일이 적용된 대표적인 국내 건축물은 동부 금융센터, 타워 펠리스Ⅲ, 63 빌딩, GS 타워 등이 있다. 가이드레일 설계의 기본사항인 요소기술을 도출하기 위하여 국내의 곤돌라 레일시스템 레일의 장단점을 분석하였다.

Figure 2 (a)인 동부 금융센터는 서울 대치동에 위치한 업무시설로 총 35층 규모의 유닛타입(unit type)의 커튼월 형식이다. 수직 이동방식의 가이드레일이 적용되었으며, 2중 모헤어(mohair) + 개스킷(gasket)의 외기 차단 시스템을 도입하였다. 가이드레일 내측의 3중 개스킷으로 차단하여 수밀, 기밀 성능을 높였으며, 모헤어를 통해 외부의 먼지 등의 이물질 차단에 유리하지만, 비 단열바 사용으로 단열, 절로의 성능 확보가 어렵다.

Figure 2 (b)인 타워 펠리스Ⅲ는 서울 도곡동에 위치한 주상복합시설로 총 69층 규모의 세미-유닛타입(semi-unit type)의 커튼월 형식이다. 수직 이동방식의 가이드레일이 적용되었으며, 서멀브레이크(thermal break) + 개스킷의 외기 차단 시스템을 도입하였다. 가이드레일 내측으로 2, 3

차 개스킷과 실런트(sealant)로 차단하여 수밀, 기밀 성능을 높였으며, 서멀브레이크와 외부 개스킷을 통해 외기 차단에 비교적 유리하지만 외부 작업 시 개스킷을 제거해야만 작업이 가능하다.

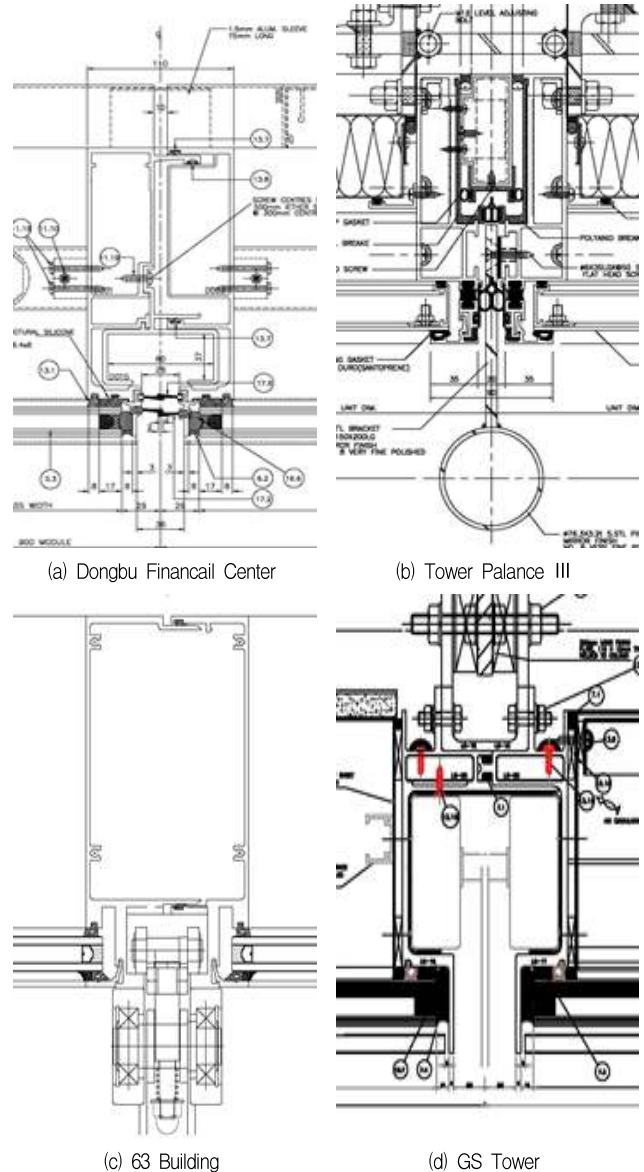


Figure 2. Curtain wall applied of guide rail

Figure 2 (c)인 63 빌딩은 서울 여의도에 위치한 상업업 무시설로 총 63층 규모의 유닛타입의 커튼월 형식이다. 수직 이동방식의 가이드레일이 적용되었으며, 가이드레일이 외기에 직접적으로 노출되어 있다. 가이드레일 내측의 2중 개스킷으로 차단하여 수밀, 기밀 성능을 높였으며, 가이드

레일과 알루미늄 프레임(aluminum frame)이 일체형으로 공간 확보에 비교적 유리하지만 단열바를 사용하지 않아 단열, 결로의 성능 확보가 어렵다.

Figure 2 (d)인 GS 타워는 서울 역삼동에 위치한 업무시설로 총 38층 규모의 유닛타입의 커튼월 형식이다. 수직 이동방식의 가이드레일이 적용되었으며, 프로파일(profile)의 외기 차단 시스템을 도입하였다. 일체형 프로파일 타입으로 빗물받이 시스템(gutter system)이 적용되어 별도의 개스킷 등 기밀재가 불필요하지만 단열바를 사용하지 않아 단열, 결로 성능 확보에 취약하다.

3. 가이드레일 요소기술 도출

가이드레일 로봇청소 시스템의 가이드레일은 외벽 청소로봇의 바퀴와 유기적으로 연계되기 때문에, 선행적으로 외벽 청소로봇에 대한 기본적인 분석이 필요하다. 이에 건축물 외벽 청소로봇의 이동방식 및 작업방법 등에 대한 샘플시나리오를 작성하였다. 그리고 작성된 샘플시나리오의 장단점을 분석하여, 적합한 가이드레일 요소기술을 도출하였다.

3.1 외벽 청소로봇의 샘플시나리오 작성

문헌고찰에서 언급한 국내 건축물의 외벽 청소작업 중 수작업의 업무프로세스를 기반으로 외벽 청소로봇의 작업을 작업준비, 본작업, 작업마무리 등 크게 3단계로 나눴다. 세부적인 프로세스는 1. 청소로봇 하역&이동, 2. 청소로봇 부착&설치, 3. 청소로봇 세팅&예비가동, 4. 청소로봇 가동, 5. 청소로봇 탈착&이동 등으로 분류된다.

본 논문에서는 수평이동과 수직이동 2가지로 구분하여 샘플시나리오를 작성하였다.

Figure 3 (a)인 수평 이동방식은 건축물 4개의 모서리에서 곤돌라를 활용해 도킹스테이션(D.S/Docking Station)과 수평이동 로봇을 수직 이동시키며, 도킹스테이션은 물과 전원 보충 등 보조 작업을 수행하고, 수평이동 로봇은 건축물의 1면을 1개 층씩 수평으로 작업한다.

Figure 3 (b)인 수직 이동방식은 옥상에 위치한 별도의 이동장치를 활용해 로봇이 수직이동하면서 건축물의 1면 중 1열을 수직으로 청소하고, 물세제, 배터리 보충 등 보조 작업은 옥상에서 수동으로 수행한다[9].

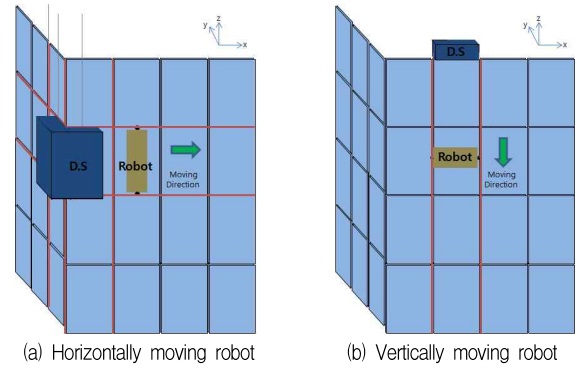


Figure 3. Sample scenarios of a curtain wall cleaning robot

3.2 외벽 청소로봇의 이동방식에 따른 장단점 분석

건축물 외벽 청소로봇의 수평이동과 수직이동에 대한 장단점을 분석하면 다음과 같다.

건축물 외벽 청소로봇의 수평이동은 1개 층을 1개의 존(zone)으로 관리하는 건축물에 적합하며, 외부 노출을 꺼리는 호텔이나 보안유지가 필요한 디자인룸 등에 활용성이 높을 것으로 판단된다.

하지만 수평이동 청소로봇은 건축물 외벽에 2대의 로봇이 이동 및 구동하기 때문에, 커튼월에 미치는 하중이 커진다. 그리고 수평이동 청소로봇은 중력방향에 직교하여 청소하므로 중력을 이용할 수 없다. 또한 커튼월의 수평부재인 트랜섬(transom)은 수직부재인 멀리언(mullion)이 형성된 후 시공되어 연속성이 끊기는 형태인데, 이런 문제로 인해 가이드레일 설치에 어려움이 있다. 그리고 건축물 외벽의 주요 구조체는 수직으로만 형성이 되어 있기 때문에, Figure 4의 ①에서처럼 수평이동으로 인해 수평으로의 구조체 신규 설치 및 앵커(anchor), 철물 등의 보완재가 추가로 발생한다. 이런 구조적 보강으로 커튼월 및 구조부의 하중과 비용이 크게 증가된다[10].

건축물 외벽 청소로봇의 수직이동은 수평이동과 달리 보안 유지가 필요 없는 대부분의 건축물에 적용이 가능하다. 그리고 수직이동 청소로봇은 건축물 외벽에 1대의 로봇이 이동 및 구동하기 때문에, 커튼월에 부담되는 하중이 작아진다. Figure 4의 ②에서처럼 청소로봇의 자중이 이동방향인 중력방향으로 작용하여, 커튼월 수직재에 작용하는 하중의 방향과 일치하므로 추가적인 하중과 비용에 대한 부담을 최소화 할 수 있다. 또한 수직이동 청소로봇은 옥상에 도킹스테이션이 배치되어 있기 때문에, 물과 전원 등의 보급 및 탈부착에 안전성을 높일 수 있다.

하지만 청소작업 후 수직방향으로 복귀하게 되므로, 회귀 작업의 효율성이 떨어질 수 있다.

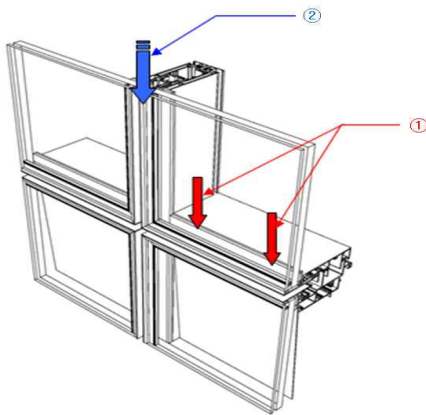


Figure 4. An analysis of curtain wall system according to the load of the cleaning robot

3.3 가이드레일의 요소기술 도출

건축물 외벽 청소로봇의 수평이동과 수직이동은 건축물의 특성, 건축물 외벽 청소로봇의 작업방향, 건축물의 구조체(수평부재 및 결합 시스템의 보강), 커튼월 시스템 구성 등의 몇 가지 측면에서 기술적 특징을 나타냈다. 그리고 수평이동 청소로봇은 수직이동을 하는 도킹스테이션과 수평이동으로 청소작업을 하는 로봇이 모두 이동되어야 하므로, 건축물 입면에 수평/수직 가이드레일 모두가 설치되어야 한다. 그러나 수직이동 청소로봇은 수직으로 청소작업을 하는 로봇이 이동되기 때문에, 건축물 입면에 수직 가이드레일만 설치되어도 된다. 따라서 2가지 이동방식에 공통적으로 적용되는 수직이동용 가이드레일을 기준으로 요소기술을 도출하였다.

수직이동용 가이드레일의 주요구성은 가이드레일, 멀리언, 서멀브레이크, 개스킷 등이 있으며, 가이드레일의 설치형식에 따라 브래킷(bracket)이 추가될 수 있다. 가이드레일 설치형식은 건축물 입면설계와 커튼월 시스템 등을 고려해 매립형과 돌출형으로 분류된다.

따라서 가이드레일의 요소기술은 이동용 가이드레일, 커튼월 고정용 멀리언, 외기 차단용 서멀브레이크, 이물질 및 습기 차단용 개스킷, 가이드레일 외부 돌출에 따른 고정용 브래킷 등 총 5가지로 구성되며, 이는 가이드레일 기본단위유닛의 주요기술로 활용할 것이다.

4. 가이드레일 개념(안) 개발

4.1 가이드레일 기본단위유닛 도출

가이드레일의 기본단위유닛은 커튼월 매립형 가이드레일과 외부 돌출형 가이드레일 2가지이며, 요소기술에 따라 일부 차이를 나타낸다. 커튼월 매립형 가이드레일은 가이드레일이 커튼월 시스템 내부에 매립되며, 표준적인 기본단위유닛은 가이드레일, 멀리언, 서멀브레이크, 개스킷 등 4가지의 요소기술을 갖는다. 외부 돌출형 가이드레일은 브래킷을 이용해서 커튼월에 부착되며, 표준적인 기본단위유닛은 가이드레일, 멀리언, 서멀브레이크, 개스킷, 브래킷 등 5가지의 요소기술을 갖는다.

커튼월 매립형 가이드레일은 가이드레일이 커튼월 시스템 내부에 매립되며, 외기의 전달을 차단하기 위한 서멀브레이크와 외부의 이물질 및 습기를 차단하기 위한 개스킷이 추가로 적용되는 시스템이다. 가이드레일이 커튼월 시스템 내부에 매립되므로, 건축물 입면설계 시 디자인 제약을 최소화할 수 있다.

하지만 가이드레일이 커튼월 시스템 내부로 매립되기 위한 공간 확보가 필요하며, 외기와 면하는 프로파일의 너비가 증가한다. 현재 프로파일의 너비를 60~80mm로 설계하고 있으며 이를 최소화를 해야만 단열효과를 높일 수 있으나, 단면증가로 단열(열전도), 결로 등의 측면에서는 외부 돌출형 가이드레일보다 불리하다.

표준적인 커튼월 매립형 가이드레일의 기본단위유닛은 Figure 5와 같다.

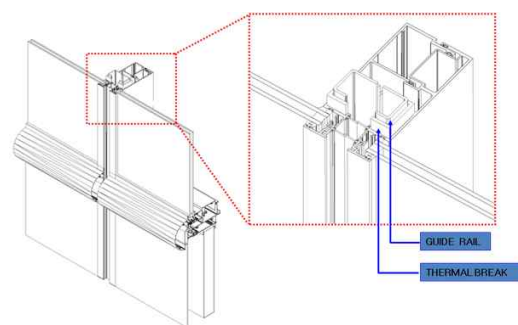


Figure 5. Drawing of guide rail Isometric embedded in the curtain wall

외부 돌출형 가이드레일은 브래킷을 이용해서 커튼월에 부착되며, 가이드레일 외부 돌출에 따른 고정용 브래킷과 외기 차단용 서멀브레이크, 개스킷이 추가로 적용되는 시스템

이다. 브래킷을 이용해서 커튼월에 부착되므로, 가이드레일 설치를 위한 커튼월 시스템 내부 공간을 최소화 할 수 있다.

하지만 가이드레일이 커튼월 시스템 외부로 돌출되므로, 건축물 입면설계 시 디자인 제약요소가 되며, 브래킷을 통해 전달되는 외기로 인해 발생하는 단열/열전도, 결로 등의 문제가 일부 발생한다. 그리고 가이드레일이 브래킷을 통해 커튼월에 접합되므로, 브래킷이 구조적으로 안전한 접합을 이루기 위해서는 프로파일의 너비가 증가되며, 구조보강도 요구된다.

표준적인 외부 돌출형 가이드레일의 기본단위유닛은 Figure 6과 같다.

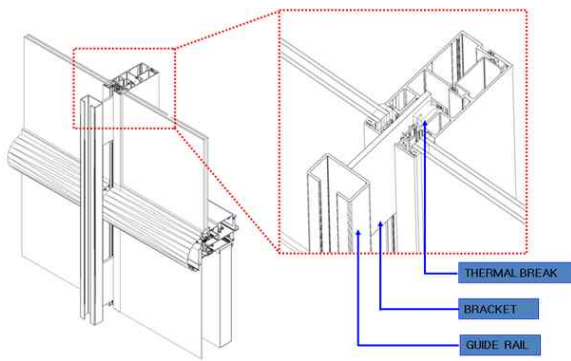


Figure 6. Drawing of guide rail isometric protruding from the curtain wall

4.2 가이드레일의 개념(안) 도출

도출된 가이드레일 기본단위유닛을 기반으로 기능과 디자인에 따라 Table 2에서처럼 총 7가지의 가이드레일 개념(안)을 도출하였다. 가이드레일 개념(안)은 커튼월의 기밀성 및 수밀성, 단열성, 시공 및 유지관리 편의성, 성능 효율성, 경제성 등의 측면을 고려해 도출하였다

가이드레일의 개념(안)은 표준적인 기본단위유닛을 기반으로 커튼월 매립형 가이드레일 4가지, 외부 돌출형 가이드레일 3가지로 발전시켰다. 커튼월 매립형 가이드레일의 개념(안)은 1. 커튼월 매립-표준형 가이드레일, 2. 커튼월 매립-전면창형 가이드레일, 3. 커튼월 매립-돌출 복합형 가이드레일, 4. 커튼월 매립-분리형 가이드레일로 세부로 구분할 수 있다. 외부 돌출형 가이드레일의 개념(안)은 1. 외부 돌출-표준형 가이드레일, 2. 외부 돌출-파이프관형 가이드레일, 3. 외부 돌출-분리형 가이드레일로 세부로 구분할 수 있다.

Table 2. concept of basic units of guide rail

Installation type	concept (Guide rail embedded in the curtain wall)
Type A-1 (Standard guide rail embedded in the curtain wall)	
Type A-2 (Front window guide rail embedded in the curtain wall)	
Type A-3 (Guide rail embedded and protruding)	
Type A-4 (Separate guide rail embedded in the curtain wall)	
Installation type	concept (Guide rail protruding from the curtain wall)
Type B-1 (Standard guide rail protruding from the curtain wall)	
Type B-2 (Pipe-type guide rail protruding from the curtain wall)	
Type B-3 (Separate guide rail protruding from the curtain wall)	

Type A-1인 커튼월 매립-표준형 가이드레일의 특성은 외벽 청소로봇의 바퀴가 가이드레일 내부에서 움직이며, 멀리언 외부의 스틸프레임도 가이드레일로 활용할 수 있다. Type A-2인 커튼월 매립-전면창형 가이드레일의 특성은 커튼월이 전면창 형식이므로, 멀리언 내부의 가이드레일만 사용할 수 있다. Type A-3인 커튼월 매립-돌출 복합형 가이드레일의 특성은 일반적으로 바퀴가 가이드레일 내외부 모두에 위치하여 로봇을 지지할 수 있다. Type A-4인 커튼월 매립-분리형 가이드레일의 특성은 멀리언 내부에 좌우 2개의 레일공간이 형성되어 있어 여러 대의 청소로봇을 동시에 활용할 수 있다.

Type B-1인 외부 돌출-표준형 가이드레일의 특성은 C자 형태의 레일공간이 형성되어 바퀴는 가이드레일 내외부 모두에 위치하여 로봇을 지지할 수 있다. Type B-2인 외부 돌출-파이프관형 가이드레일의 특성은 관 형태의 가이드레일이 설치되며, 레일의 외부를 잡는 형태의 바퀴를 사용할 수 있다. Type B-3인 외부 돌출-분리형 가이드레일의 특성은 스틸프레임 안에 좌우 2개의 레일공간이 형성되어 있어 여러 대의 청소로봇을 동시에 활용할 수 있다.

5. 가이드레일 개념(안) 평가

연구결과물로 도출된 가이드레일 개념(안) 유형에 대해서 전문가 검토를 실시하였으며, 가이드레일의 최종설계에 대한 가능성을 검증하였다. Kim[10]은 가이드레일 시스템 적용에 따른 커튼월 공사비의 개략적인 증액요인을 분석하였다. 커튼월의 주요부품인 알루미늄, 서멀브레이크, 개스킷 등의 추가와 함께 인건비, 가공조립비, 설치비 증가로 약 30%의 비용상승을 예측하였다. 하지만 본 연구에서는 초고층 건축물을 대상으로 범위를 설정하였으며, 인력에 의한 외벽 청소작업의 최대 범위를 넘어서기 때문에 가이드레일 시스템 적용에 있어 경제성보다 안전성 향상에 높은 비중을 두고 있다.

5.1 가이드레일 개념(안)에 대한 전문가 정성적 검토

국내 커튼월 설계 전문 컨설팅 업체(W사)의 차부장급 실무자를 대상으로 2차에 걸쳐 가이드레일 개념(안)에 대한 자문 및 검토를 실시하였다. 1차는 2011년 12월(14일간) 개념(안) 도출 관련 자문을 실시하였으며, 2차는 2012년 2월

(7일간) 개념(안)의 최종설계 가능성을 검토하였다.

전문가 검토는 가이드레일 개념(안)이 아이디어 수준이기 때문에, 정량적 분석보다 정성적 분석을 선행하였다. Table 3에서처럼 1. 기밀성·수밀성, 2. 단열성, 3. 시공·유지관리 편의성, 4. 성능 효율성, 5. 경제성 등을 기준으로 평가하였다. 가이드레일 개념(안)에서 커튼월 매립형 가이드레일과 외부 돌출형 가이드레일 2가지 형식에서 각각 적합한 유형을 평가하였으며, 최종설계 가능성이 높은 유형은 Type A-3인 커튼월 매립-돌출 복합형 가이드레일과 Type B-1인 외부 돌출-표준형 가이드레일로 각각 선정되었다.

Type A-1인 커튼월 매립-표준형 가이드레일은 가이드레일이 커튼월 프레임 구조보강 역할을 함으로써 커튼월 수직 프레임 구조성능을 향상시켰다. 하지만 바퀴 진입부 개방으로 프레임 단열성능이 취약하며, 가이드레일의 위치가 유리마감선 보다 내측에 있어 워터 배리어 라인(water barrier line) 확보에 불리하다.

Type A-2인 커튼월 매립-전면창형 가이드레일은 프레임 본체에 가이드레일이 구성되어 별도의 레일 부재접합이 불필요하다. 하지만 바퀴 마찰부분 프레임 너비보강이 필요하며, 수직 프레임 상하 연결부 접합부분에 누수가 우려된다.

Type A-3인 커튼월 매립-돌출 복합형 가이드레일은 둘째와 동일하며, 추가적으로 가이드레일이 유리 마감선에 위치하여 정상적으로 워터 배리어 라인이 확보되며, 단열바 구성에 유리한 형상이다.

Type A-4인 커튼월 매립-분리형 가이드레일은 가이드레일과 바퀴 구동부분의 공간이 협소하고, 바퀴 지지면이 한쪽 면으로만 구성되어 프레임 너비보강 필요하다. 그리고 수직 프레임 상하 연결부 접합부분에 누수가 우려되며, 가이드레일의 위치가 유리마감선보다 내측에 있어 단열성능, 워터 배리어 라인 확보에 불리하다.

Type B-1인 외부 돌출-표준형 가이드레일은 커튼월 매립-표준형 가이드레일은 가이드레일이 커튼월 프레임 구조보강 역할을 함으로써 커튼월 수직 프레임 구조성능을 향상시켰으며, 단열바 구성에 유리한 형상이며, 별도 가이드레일 부재 접합이 없으므로 정상적인 워터 배리어 라인이 확보된다. 하지만 가이드레일 재질에 따라 스틸은 부식, 스테인리스는 색상표현의 어려움, 알루미늄은 비용 상승 등 우려가 발생한다.

Type B-2인 외부 돌출-파이프관형 가이드레일은 다섯

짜와 동일하며, 추가적으로 가이드레일 형상에 적합한 특수 방식의 바퀴 구동부 개발이 요구된다.

Type B-3인 외부 돌출-분리형 가이드레일은 본체에 가이드레일이 구성되어 별도의 레일 부재접합이 불필요하며, 커튼월 부재와 일체인 알루미늄 재료를 사용하기 때문에 부식우려가 없고 색상선택이 자유롭다. 하지만 단열 프레임 구성 및 성능 확보에 불리하며, 로봇 하중전달 방향이 프레임 측면(약축)에 작용하여 구조적으로 불리하다.

Table 3. Review of the concept of basic units of guide rail

Concept (Guide rail embedded in the curtain wall)	Airtight /Water proof	Insulation	Const ruction /Mainte nance	Perfor mance efficiency	Economic benefits
Type A-1	○	○	○	○	○
Type A-2	○	▽	○	○	○
Type A-3	●	●	●	●	○
Type A-4	▽	▽	▽	▽	▽
Concept (Guide rail protruding from the curtain wall)	Airtight /Water proof	Insulation	Const ruction /Mainte nance	Perfor mance efficiency	Economic benefits
Type B-1	○	●	●	●	○
Type B-2	○	●	●	○	○
Type B-3	●	▽	●	▽	○

* ●(Excellent), ○(Normal), ▽(Unsatisfactory)

5.2 가이드레일 개념(안)에 대한 전문가 정량적 검토

국내 커튼월 구조 전문 컨설팅 업체(U사)의 소장급 전문가 자문을 통해 가이드레일 개념(안)에 대한 구조를 검토하였다. Table 4는 가이드레일 개념(안) 중 정성적인 검토결과가 좋은 매립형과 돌출형 각각 1가지 타입을 토대로 구조적인 검토를 진행하였다.

기본사항으로 샘플대상지는 서울이며, 샘플대상은 초고층 건축물로 선정하였다. 서울지역의 풍속은 400kgf/m²이며, 최대 모멘트는 73500.00kgf/cm이다. 분석결과, Type A-3인 커튼월 매립-돌출 복합형 가이드레일과 Type B-1인 외부 돌출-표준형 가이드레일 모두 휨응력과 처짐에서 구조적으로 충족되는 수치가 도출되어, 향후 2가지 타입을 기반으로 가이드레일을 최종 설계할 계획이다.

Type A-3인 커튼월 매립-돌출 복합형 가이드레일은 휨응력에서 허용응력은 646.8kgf/cm², 실제응력은 770.93kgf/cm²으로 도출되었다. 응력비 계산에 따라 1.19가 나왔으며,

기준인 1.33보다 낮은 수치로 허용치에 해당한다. 그리고 처짐에서 허용처짐 2.000cm, 실제처짐 1.600cm로 처짐비 0.80이 도출되었으며, 기준인 1.0보다 낮은 수치로 허용치에 해당한다.

Type B-1인 외부 돌출-표준형 가이드레일은 휨응력에서 허용응력은 646.8kgf/cm², 실제응력은 481.18kgf/cm²으로 도출되었다. 응력비 계산에 따라 0.74가 나왔으며, 이 타입도 기준수치보다 낮아 구조적으로 문제가 없다. 그리고 처짐에서 허용처짐 2.000cm, 실제처짐 0.790cm로 처짐비 0.40이 도출되었으며, 이 타입도 기준수치보다 낮아 가이드레일 최종설계의 가능성이 높다.

Table 4. Section properties of mullion

Concept (Guide rail embedded in the curtain wall)	Length	thickness	Flange	Web
Type A-3	150.0 cm	0.30 cm	9.40 cm	12.90 cm
Concept (Guide rail protruding from the curtain wall)	Length	thickness	Flange	Web
Type B-1	150.0 cm	0.30 cm	9.40 cm	12.80 cm

6. 결 론

매년 초고층 건축물 관련 프로젝트가 증가하고 있으며, 초고층 건축물의 높이가 증가함에 따라 시공법과 함께 유지관리 방법도 기존방식과는 달라져야 한다. 또한 유지관리 업무 중 가장 빈번하게 수행되는 외벽 청소작업이며, 초고층 건축물에서 안전작업이 가능하며, 돌풍 등의 외부환경에도 대응할 수 있는 외벽 청소방식으로 가이드레일(guide rail) 청소로봇 시스템이 제시되고 있다. 현재 국내에서는 적용된 곤돌라 레일시스템의 레일은 로봇하중에 대한 구조적인 대응이 어려우며, 특정 건축물에만 특화되어 있어 이

를 개선한 가이드레일 로봇청소 시스템의 전용 가이드레일 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 초고층 건축물 외벽 청소작업의 자동화 및 기계화를 위한 선행연구로써, 외벽 청소로봇 운용을 위한 가이드레일 기본단위유닛 도출과 가이드레일 개념(안)을 개발하였다.

본 연구에서는 가이드레일, 멀리언, 서멀브레이크, 개스킷, 바래킷 등 총 5가지의 가이드레일 요소기술을 도출하였다. 이를 기반으로 매립형과 돌출형 가이드레일의 기본단위유닛도 도출하였다. 도출된 기본단위유닛을 발전시켜 매립형 4개, 돌출형 3개로 총 7가지의 가이드레일 개념(안)을 도출하였다. 도출된 개념(안)에 대해서 관련 전문가의 정성적 정량적 검토를 실시하였다. 검토결과, Type A-3인 커튼월 매립-돌출 복합형 가이드레일과 Type B-1인 외부 돌출-표준형 가이드레일 모두 최종설계의 가능성이 높다고 판단되었다. 본 연구는 가이드레일 청소로봇 시스템 개발의 초기단계에 해당하며, 향후 진행될 청소로봇의 상세설계에 맞춰 가이드레일의 경제성, 시공성 및 유지관리 용이성 등에 대한 추가검토를 진행할 계획이다. 그리고 연구결과물은 초고층 건축물 외벽 청소로봇 운용을 위한 선행연구이며, 운용에 필요한 최적의 가이드레일 최종설계의 기반이 될 것으로 기대한다.

요 약

매년 초고층 건축물 관련 프로젝트가 증가하고 있으며, 초고층 건축물의 높이가 증가함에 따라 시공법과 함께 유지관리 방법도 기존방식과는 큰 차이를 보이고 있다. 또한 유지관리 업무 중 가장 빈번하게 수행되는 외벽 청소작업을 보다 안전하게 작업하기 위한 근본적인 대책으로 청소작업의 자동화 및 기계화가 요구되고 있다. 그리고 초고층에서 발생하는 돌풍 등 외부환경의 영향에 대응할 수 있는 방법으로 가이드레일 청소로봇 시스템이 제기되고 있다. 따라서 본 연구는 초고층 건축물 외벽 청소작업의 자동화 및 기계화를 위한 선행연구로써, 외벽 청소로봇 운용을 위한 가이드레일 기본단위유닛 도출과 가이드레일 개념(안)을 개발하는 것이다. 이를 통하여 초고층 건축물 외벽 청소로봇운용을 위한 선행연구이며, 운용에 필요한 최적의 가이드레일 최종설계의 기반을 마련하고자 한다.

키워드 : 초고층 건축물, 청소로봇, 가이드레일, 기본단위유닛

Acknowledgement

The work presented in this paper was funded by BMRC(Building-Façade Maintenance Robot Research Center), supported by Korea Institute of Construction and Transportation Technology Evaluation and Planning (KICTEP) under the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MLTM).

References

1. Kim DG, Kim BK, Construction Robot System Design for High-rise Building External wall Maintenance, Proceedings of the Korea Institute of Building Construction(Industry); 2010 Nov 12; Busan, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2010. p. 7-10.
2. Kim DG, Kim BK, Facade Cleaning Process Analysis For Construction Robot System Design of High-rise Building External wall Maintenance, Proceedings of the Korea Institute of Building Construction(Industry); 2011 May 20; Busan, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2011. p. 77-9.
3. Kim KT, Han JG, Kim CH, An Analysis and Improvement of Exterior Wall Maintenance Works for High-raised Building, Proceedings of the Korea Institute of Construction Engineering and Management; 2010 Nov 5-6; Incheon, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2010. p. 359-60.
4. Joo HJ, K H, Kim KH, Kim JJ, A Study on the thoughts of officers who work for the domestic construction company about introducing the construction robot into the domestic construction industry, Proceedings of the Korea Institute of Building Construction; 2007 Apr 28; Seoul, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2007. p. 105-8.
5. Lee, SD, A Study on the Design Trend of Tall Buildings in the 20th Century [master's these], Gyeongsan (Korea): Yeungnam University; 2002. 177 p.
6. Kim CH, Han JG, Kim KT, Building of a Sample Scenario of a Built-in Guide Type Robot for External Wall Maintenance

- Work of a Skyscraper. Proceedings of International Association for Automation and Robotics; 2011 Jun 29–Jul 1; Seoul, Korea, Seoul (Korea); 2011. p. 647–52.
7. Lim, WY, A Study on the Facade Design Pattern of Residential High–Rise Building [master's these]. Busan (Korea): Bukyong University; 2008. 59 p.
 8. Kim CH, Han JG, Kim KT. Analysis of performance requirements of a wall–cleaning robot. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction(Industry); 2011 May 20; Busan, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2011. p. 89–90.
 9. Kim KT, Kim CH, Han JG. Development of a Vertically Moving Scenario of Robotic Exterior Wall Cleaning for High–rised Building. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction(Industry); 2011 Nov 18; Suwon, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2011. p. 195–6.
 10. Kim CH, Han JG, Kim KT. Analysis of Factors Increasing Construction Cost for the Curtain–wall Accompanied by the Installation of a Guide Rail for High–rise Building Maintenance. Proceedings of the Korea Institute of Building Construction(Industry); 2011 May 20; Busan, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Building Construction; 2011. p. 97–8.