

유리창 청소장치의 개념 디자인 및 경제적 타당성 예측

A Conceptual Design and Feasibility Analysis of a Window Cleaning Device

김 군 태^{1*}

전 영 훈²

Kim, Kyoon-Tai^{1*}

Jun, Young-Hun²

Research Fellow, Construction Industry Innovation Center, Korea Institute of Civil engineering and building Technology(KICT), Ilsanseo-Gu, Gyeonggi-Do, 10223, Korea ¹

Research Specialist, Construction Industry Innovation Center, Korea Institute of Civil engineering and building Technology(KICT), Ilsanseo-Gu, Gyeonggi-Do, 10223, Korea ²

Abstract

The window cleaning works are manpower-dependent and are performed in an unstable posture at high altitude, so that there is a risk of falling. Therefore, there is an urgent need to improve the safety of workers. In this study, a conceptual design was proposed for the cleaning of exterior windows of a building, and the economic feasibility of the proposed conceptual model was analyzed. The proposed model is designed to avoid protrusions such as window frames, and to be able to respond even if the shapes of the upper and lower parts are different. As a result of analyzing the economic feasibility of the designed conceptual model, the benefit cost ratio was 4.48, which was significantly higher than 1. Therefore, the economic feasibility of the proposed window cleaning device is expected to be sufficient. The results analyzed in this paper will be used in the development and marketing of the window cleaning device.

Keywords : construction automation, conceptual design, feasibility analysis, maintenance, window cleaning, cleaning robot

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축물의 외벽면이나 외부 유리창에 대한 청소작업은 건축물의 운영·유지관리 단계에서 가장 빈번하게 발생하는 활동이다. 그리고 건축물의 소유자나 입주자들은 유리창이 지속적으로 청소되길 원하는 경우가 많다. 왜냐하면, 외벽이 더러우면 외부 미관이 훼손되듯이, 유리창이 더러우면 해당 공간에 대해서 실내 거주자가 체감하는 청결도가 저하되기 때문이다. 국내 건설산업의 특징을 보면 근린생활시설이 많고, 최근에는 주상복합 건축물들이 다수 건설되면서 이들 건축물의 저층부에 상업시설 등이 위치하고 있다. 따라서 이들 상업구역에

입주한 클리닉, 에스테틱 등 고급매장들을 중심으로 유리창 청소 수요는 매우 높은 상황이다[1].

건축물 외부에서 수행하는 작업들은 외벽도장, 외벽·유리창 등이 있는데, 이들 작업들은 대부분이 인력에 의해 진행된다. 유리창 청소작업의 경우, 작업원은 와이퍼, 스폰지봉, 물통 등의 청소 도구를 지니고 옥상에 설치된 로프에 매달린 채, 상부에서 시작하여 하부로 이동하면서 작업을 진행한다. 한 명의 작업원이 여러 열의 유리창을 청소하기도 하는데, 이때에는 작업원이 시계추 움직임과 같은 좌우 운동을 하며 로프에 인접한 유리창들을 청소하게 된다. 그리고 작업원이 하강하면서 청소를 진행하여 최하층에 도달하면, 잠시 휴식을 취한 후에 다시 옥상으로 올라가서 동일한 작업을 반복한다.

그런데, 고소(高所)에서 로프에 매달린 채 건축물 외벽을 이동하며 수행되는 작업은, 작은 실수 하나가 근로자의 생명을 위협할 수 있다. 그리고 작업원의 작은 실수가 추락으로 이어져, 작업원이 사망하는 사고가 발생하기도 한다. 이와 같은 위험 작업의 특성상, 유리창 청소작업은 숙련공을 안정적으로 확보하기 어려운 실정이다. 또한 안정된 자세로 작업하

Received : November 10, 2020

Revision received : December 3, 2020

Accepted : December 14, 2020

* Corresponding author : Kim, Kyoon-Tai

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

©2020 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

는 것이 어려우므로 균일한 품질을 얻기도 어려우며, 작업원의 숙련도에 따라 작업생산성이 크기 차이가 난다는 문제가 있다. 또한 노무비 대비 자재비 및 기타경비의 비율이 9:1에 육박하여 노무의존도가 높다는 특징도 있다.

이와 같은 반복적이며, 위험하여 사람들이 기피하는 작업은 더 이상 인력에 의존하지 않도록 대책을 강구하는 것이 바람직하다. 그리고 반복적이라는 작업특징은 자동화 장비를 도입하는 데에 이점이 될 수 있다. 그런데 자동화 장비의 도입에 대한 경제성이 담보되지 않을 경우, 해당 작업이 자동화되는 것이 용이하지 않은 것이 현실이다.

따라서 본 연구의 목적은 노동집약적이고 위험한 작업인 건축물 외부 유리창 청소에 대하여 개념설계를 제시하고, 제시된 개념모델에 대한 경제적 타당성을 분석하는 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

특정 작업에 대한 자동화 장비 도입의 타당성을 분석하기 위해서는 어떤 개념의 장비인가가 중요하다. 본 연구에서는 업무용 공간에 대하여 특정한 유리창에 청소장치를 부착하여, 해당 유리창을 지속적으로 청소하는 장치를 대상으로 하였다. 그 이유로는, 우선 건축물 전체를 청소하는 장치는 신축시에 설치하는 것이 유리하여, 기존 건축물에는 적용하기 어렵다. 또한 업무용 공간은 해당업무의 특성에 따라 요구하는 유리창 청소 빈도가 상이한 데, 모든 업무공간에서 빈번하게 유리창을 청소하기를 희망하는 것은 아니기 때문이다. 본 연구에서 대상으로 한 유리창은 창문에만 국한하는 것은 아니다. 따라서 디자인 적인 측면을 배제하고 기술적 측면만 논할 때, 커튼 월 등 다양한 건축물 입면에 적용가능하다.

이와 같은 연구를 수행하기 위하여 본 연구에서는 우선, 현장조사와 유리창 청소 전문가 인터뷰를 통해 작업프로세스 및 문제점을 분석한다. 다음으로 유리창 청소를 위한 주요 요구성능을 설정하여, 유리창 청소장치의 개념모델을 제시한다. 그리고 제안된 개념모델을 바탕으로 하여, 작업원 절감에 따른 편익과 장비 개발 및 운영을 위해 소요되는 비용을 토대로 유리창 청소장치의 경제성을 분석한다.

2. 현황 고찰

2.1 선행연구 고찰

국내에서 건축물 외부작업의 로봇화에 대한 타당성 분석을 시도한 초기 연구로는 Park and Kim[2]이 있다. 이 연구에

서는 수작업의 효율이 검토하고, 현재까지 개발, 사용되고 있는 외별 도장로봇을 우리나라 대단위 고층 아파트에 활용할 경우에 대한 시공성, 품질, 안전성을 검토한 후, 타당성 분석 모델을 제시하였다[2]. 이 연구는 직접 로봇 개발하고자 하는 시도는 이루어지지 않았으나, 이후 건설로봇에 대한 타당성 분석의 방향을 제시하였다는 의의가 있는 것으로 판단된다.

우리나라에서 본격적으로 건설자동화 연구개발이 이루어지면서, 실제 개발 예정인 장치에 대한 타당성을 분석한 사례로는 Won et al.[3]이 있다. 이 연구에서는 인력에 의한 흡판 매설작업의 작업시간과 자원투입을 조사하여, 대상작업을 선정하였다. 그리고 대상작업을 자동화하기 위한 최적요소기술을 제안하고, 재래식 방식과 자동화 공법간의 경제성을 비교 분석하였다[3].

유리창 청소작업에 대한 경제성 비교 연구는 Kim et al.[4]이 있다. 이 연구는 본 연구의 선행연구로, 인력에 의한 재래식 유리창 청소 방식과 청소장치에 의한 방식을 비교분석하고, LCC 분석모델을 설정하여 경제성을 분석하였다[4]. 이 연구는 청소장치의 개념디자인이 나오기 전 단계에서 초기투자비, 운영비, 유지관리비, 폐기비, 잔존가치 등을 추정하여 약식으로 경제성을 예측하였다는 한계가 있다.

2.2 재래식 유리창 청소 작업 현장조사

본 연구에서는 문헌조사와 함께, 현장조사를 수행하여 유리창 청소작업의 현황과 프로세스를 파악하였다. 현장조사 기간은 2018년 06월부터 10월까지이며, 작업실사 대상은 경기도 수원 소재 S병원 청소현장, 서울 가락동 소재 H아파트 청소현장, 서울 강남소재 K회관 청소현장이다. 조사 결과, 인력에 의한 재래식 유리창 청소작업의 프로세스는 Figure 1과 같았다.



Figure 1. Conventional window cleaning process[5]

재래식 유리창 청소 작업은 다음과 같은 과정 거쳐 수행한다. 1)작업원이 아침에 청소대상 건축물의 옥상으로 출근하여, 와이퍼, 스폰지봉, 물통 등의 청소 도구를 준비한다. 2)작업 준비가 완료되면, 달비계 안장과 연결된 로프를 옥상부의 안정된 구조물에 체결한다. 3)로프 걸기(체결)가 끝나면, 작업원은 안장에 앉기 위해 자세를 잡는다. 4)안장에 앉은 작업원은 건축물 외벽의 최상단에서부터 아래로 내려가면서 청소작업(본작업)을 수행한다. 이 때 한 작업원이 여러 열의 유리창을 청소해야 하는 경우, 작업원은 좌우로 시계추 운동하며 작업을 수행하기도 한다. 5)청소작업의 순서는 현장 조건에 따라 상이한 경우가 많으나, 통상 물을 묻힌 스폰지 봉으로 유리창을 적시거나 물을 뿌린다. 6)물이 묻어있는 유리창을 와이퍼로 긁어낸다. 7)한 개층의 청소가 끝나면, 작업원은 아래층으로 이동한다. 그리고 청소대상 가장 아래층에 도달할 때까지 5)~7)을 반복하여 수행한다. 8)하루의 작업을 모두 수행한 후에, 청소도구를 정리한다. 9)로프를 회수한다.

2.3 재래식 유리창 청소 작업의 문제점

유리창 청소작업의 가장 큰 문제점은 고소의 불안정한 환경에서 작업을 수행한다는 데에 있다. 이러한 환경에서 작업원이 작업을 수행하다가 바람의 영향 또는 작은 실수로 추락할 위험이 있으며, 이러한 사고는 사망에까지 이어지기도 한다. 산업안전보건법 제23조 제3항에는 '사업주는 작업 중 근로자가 추락할 위험이 있는 장소...(중략)... 위험이 발생할 우려가 있는 장소에는 그 위험을 방지하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다.'라고 규정되어 있다. 따라서 작업원의 추락 위험을 방지하기 위하여 달비계에 안전대 및 구명줄을 설치하는 등의 조치를 취해야 한다. 그러나 작업상의 불편함을 이유로 보호조치가 실행되지 않는 경우도 많이 있는 것으로 알려져 있다. 고조작업 이외에도 불안정한 로프 걸기, 로프 마모, 자세잡기의 위험성, 불안정한 작업자세 등이 문제점으로 지적되고 있다(Figure 2).

3. 유리창 청소장치 개념 설계

3.1 요구성능 설정

본 연구에서는 수요자 설문조사, 실무자 면담 등을 통하여 요구성능을 설정하였다. 설문조사는 서울 강남구, 마포구, 종로구, 광진구, 서대문구 내 빌딩 및 상권 밀집지역의 건축물 소유자, 입주자, 관리자 등 297인을 대상으로 하였다. 실무자

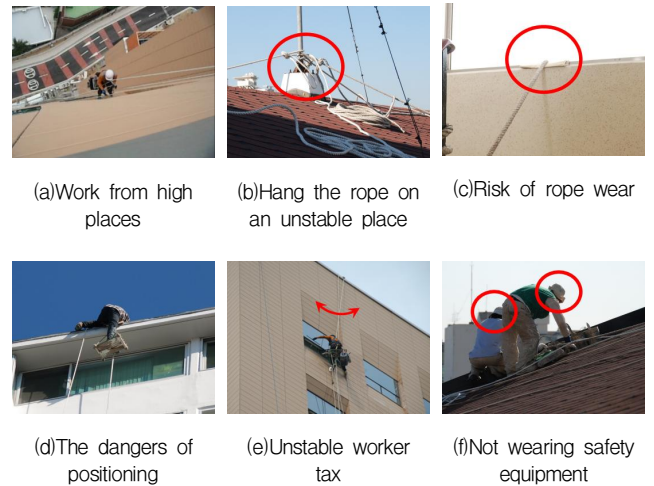


Figure 2. Risks of conventional window cleaning work

면담은 유리창 청소작업원, 작업조장, 사장 등을 대상으로 하였다. 설문과정에서 '유리창 자동 청소장치에 바라는 기능/의견'을 주관식으로 적도록 하였다. 그 결과는, 저렴한 렌탈 비용으로 사용 가능한, 작고 심플한 디자인의 안전한 청소장치로, 주기적으로 빈틈없이 깨끗하게 청소되며, 청소 후에도 물기가 남거나 떨어지지 않고 잔얼룩이 없는 사후관리가 잘 되는 제품이기를 바란다는 것으로 요약할 수 있다[6]. 조사된 요구성능을 장치크기, 청소속도 및 정확도, 동력 등으로 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Required performance of window cleaning device

Item	Required performance
Size	-The cleaning device should protrude less than 30cm from the window frame to reduce aesthetic problems. -It must have a compatible structure that can be applied to all general glass windows.
Speed and precision	-The speed of the device should be maintained at a constant speed so that dust can be removed. -It detects an obstacle such as opening a window and stops the operation of the cleaning device or sounds a warning sound. -The wiper must be able to operate by recognizing when it rains. -The cleaning device can be operated automatically or manually with a remote control. -It should be smooth to operate by avoiding the protrusion of the window frame.
Power	-As for the power of the device, a DC power supply method that can utilize a solar light separately from the general constant power supply (AC) should be considered.

3.2 청소장치 개념설계

청소장치가 특정 공간에 있는 유리창을 모두 청소하기 위해서는 창문 등의 돌출부를 회피할 수 있어야 한다. 또한 국내

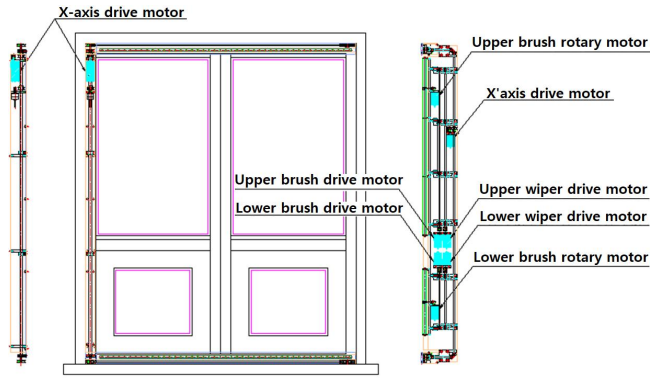


Figure 3. Conceptual mode and composition of window cleaning device

의 많은 유리창들이 2단으로 구분되어 있으므로 상하를 분절하여 청소할 수 있어야 한다. 특히 유리창의 상단은 고정창이고 하단은 개폐식인 경우에는 창틀 두께 자체가 달라지므로 이러한 두께차이에 대응할 수 있어야 한다.

청소장치가 유리창에 있는 창틀 등 돌출부를 회피하면서 청소작업을 수행하기 위해서는, Figure 3과 같이, 총 8개의 모터가 필요하다. 10시 방향의 모터에서부터 설명하면, 첫째 모터는 이동플랫폼(body)이 좌우방향인 X축 방향으로 이동하면서 청소작업을 수행하도록 주동력을 제공하는 X축 구동용 모터이다. 둘째는 상부 브러시(brush)가 회전하는 동력을 제공하는 상부 브러시 회전모터이고, 셋째는 이동플랫폼이 상대적 정지상태에 머물 수 있도록 역방향 운동을 만들어내는 X'축 구동모터이다. 넷째와 다섯째는 상부의 브러시와 와이퍼(wiper)가 유리창 쪽으로 근접하거나 또는 유리창으로부터 멀어지는 움직임을 구동하기 위한 상부 브러시 모터와 상부 와이퍼의 Y축 구동모터이다. 여섯째와 일곱째는 하부의 브러시와 와이퍼가 유리창 쪽으로 근접하거나 또는 유리창으로부터 멀어지는 움직임을 구동하기 위한 하부 브러시 구동모터와 하부 와이퍼의 Y축 구동모터이다. 마지막으로는 하부의 브러시를 회전시키는 동력을 제공하기 위한 하부 브러시 회전모터이다.

제시된 개념도에 따른 작업시나리오는 다음과 같다. 가이드레일을 따라 수평이동하는 본체에는 브러시와 와이퍼가 배치되어 본체를 따라 수평이동하면서 유리창 청소작업을 진행한다. 본체는 청소작업을 진행하면서 창틀 등의 돌출부가 존재하는지를 파악하여야 하는데, 이는 초음파센서 등 다양한 센서를 사용할 수 있고, 가이드레일에 다수 개의 마커들을 부착하여 돌출부의 위치를 파악할 수도 있다.

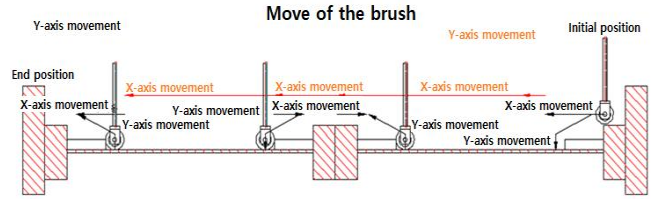


Figure 4. Cleaning movement by brush (example)(6)

센서로 돌출부를 인식하는 경우를 가정하여 작업시나리오를 구성해보면, 창틀 끝단의 시작점(초기위치)에 위치한 본체는 작업수행 명령을 받으면 좌측방향으로 수평이동(X축 이동)을 시작하고, 창틀이 종료되는 것을 인지하면 브러시와 와이퍼를 유리창을 향하여 전진(Y축 이동)시킨다. 그리고 본체가 계속 우측 방향으로 수평 이동(X축 이동)하면, 유리창에 밀착된 브러시와 와이퍼가 유리창의 이물질을 제거하는 것이다. 유리창을 청소하면서 수평방향으로 이동하는 본체가 창틀을 인지하면, 브러시와 와이퍼를 유리창에서 멀어지도록 후진(Y축 이동)시킨다. 그러면 브러시와 와이퍼는 본체 쪽으로 복귀하여 돌출부를 회피하면서 수평이동할 수 있다. 본체가 창틀이 끝났음을 다시 인지하면, 브러시와 와이퍼를 다시 유리창을 향하여 전진하도록 전진(Y축 이동)시킨다. 그리고 본체가 우측 방향으로 계속 수평이동(X축 이동) 하면서, 밀착된 브러시와 와이퍼로 유리창의 이물질을 제거한다. 이러한 과정을 반복하다가, 본체가 유리창이 끝났음(종료위치)을 인지하면, 브러시와 와이퍼의 동작을 종료하고, 본체를 출발위치로 회송(X축 이동)한다. 즉, 본체는 창틀 센싱에 기초하여 브러시와 와이퍼를 전후진하도록 제어하여 돌출부에 영향을 받지 않고 청소를 연속적으로 수행 할 수 있다(Figure 4).

4. 유리창 청소장치의 타당성 분석

4.1 비용, 변수 및 가정 설정

건설 로봇 개발을 위한 기획단계 있어 기존 재래식 작업 프로세스 분석, 기술적 타당성 검토를 포함한 개념모델의 제시 및 그 결과를 토대로 한 경제성 분석은 추후 원칙의 로봇(full-scaled physical robot)개발에 관한 의사결정을 함에 있어 필수적으로 요구되는 절차이다. 건설 로봇의 경제성 분석은 기존 작업과 비교하여 추가적으로 발생하는 비용(cost)과 자동화 기술을 도입함으로써 발생하는 편익(benefit)을 분석함으로써 가능하다[7]. 본 연구에서는 제안된 유리창 청소 장치의 개념모델을 대상으로, 해당 장치를 도입함으로써

발생할 수 있는 추가비용 및 편익의 예측을 통해 장치 개발의 경제적 타당성을 분석하였다.

현장조사 결과, 청소작업 비용은 업체에서 면적당으로 계산하는 것으로 확인되었다. 이러한 작업비용은 준공청소와 일반청소에 따라 면적 당 단가가 상이한데, 일반적으로 준공청소는 평균 550~600원/평(아파트 준공청소 800원/평)이고, 일반청소는 평균 300~350원/평 수준이었다. 작업자 보수는 작업난이도, 층수, 대상건물의 종류에 따라 크게 차이나는데, 통상적으로는 20~60만원/일 수준이나 고층일 때에는 최대 100만원/일까지도 받는 것으로 확인되었다. 또한 작업조 구성은 업체별로 청소작업에 대한 품을 적용하여 산정하며, 작업면적에 따라 투입인원을 산정하고 투입인원은 1년~3년 이하의 초급자, 3년 이상 청소작업의 경험을 보유한 숙련자 등 작업의 난이도를 고려하여 작업조 구성원을 조정하는 것으로 파악되었다.

기상조건과 관련하여, 통상적으로 우천시에는 작업자의 안전을 고려하여 작업하지 않으나, 준공일 임박 등의 현장상황에 따라 폭우만 아니면 작업하는 경우도 있었다. 15층 이상에서 청소하는 경우, 돌풍 시에 작업을 중단한다. 또한 동절기는 청소작업 비수기로 11월부터 2월까지의 작업이 많지 않으며, 영하의 날씨에서는 작업을 기피하고 영상의 날씨에 주로 작업한다. 다만 현장 상황에 따라, 영하의 날씨에도 뜨거운 물이나 부동액을 사용하여 작업을 수행하는 경우도 있다. 혹서기에는 작업자의 안전을 고려하여 기온이 높은 낮 시간의 작업을 피하거나 작업을 중지한다.

작업도구로는 달베계, 로프, 헬멧 등과 같은 안전장치, 스크래퍼(20cm, 10cm), 스퀴즈(90cm, 60cm, 45cm), 스폰지, 그 외 우비, 장화, 고무장갑 등이 있다. 이러한 작업도구는 작업팀장이 일괄 구입 및 배포하는 경우가 많으며, 작업자재의 전체 소요비용은 100만원 미만이다. 도구의 교체주기는, 로프의 경우 6개월 정도이다.

특정한 유리창을 청소하기 위해서는 작업반장 1명, 작업원 1명, 로프, 와이퍼, 스폰지 등이 사용된다. 한편 본 연구에서 제안한 장치의 경우, 한번 설치하고 나면 작업반장이나 청소 작업원이 필요하지 않으며, 와이퍼 등은 재료·경비는 재래식 방식과 동일하게 소요될 것으로 예상된다. 따라서 Table 2와 같이 단순계산하면, 재래식 방식에서는 400,000원/일, 장비를 도입할 경우에는 50,000원/일의 비용이 소요되며, 자동화 방식을 도입할 경우 350,000원/일의 비용을 절감할 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 그러나 실제 유리창 청소 시장에서

특정한 창문만 청소하는 경우는 흔하지 않으므로, 본 연구에서는 노무인원을 2명 절감한다는 가정에 무리가 있다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 청소 작업원 1인을 절감하여, 200,000원/일을 절감하는 것으로 가정하였다. 이와 같은 현장 조사 결과를 바탕으로, 재래식 방식과 자동화 방식의 경제성 분석을 위해 요구되는 기본적인 가정 및 변수를 Table 3과 같이 설정하였다.

Table 2. Comparison of input cost between conventional and automated methods

Item	Unit price (won /day)	The conventional method (/day)		Automation method (/day)	
		Input quantity	Unit price (won)	Input quantity	Unit price (won)
labor cost	leader	150,000	1	150,000	0
	Cleaner	200,000	1	200,000	0
	Sub total			350,000	0
Material cost, expense s, etc.l	Depreciation	50,000	1	50,000	1
	Total			400,000	50,000

Table 3. Variables and assumptions for economic analysis

Variables and assumptions	Setting value	
Minimum number of working days per year	52day (Every other week)	
Life expectancy	10yeat	
Cleaning device	Production cost	10,000,000won
	Operation and maintenance cost	1-5 years: 5% of production cost 6-10 years: 10% of production cost
Minimum expected rate of return	10%	
Expected reduction number	1person	
Daily cost savings	200,000won	

추가비용으로는 장치 제작비용 및 유지관리 비용이 있다. 전문가 면담결과, 개념도에서 도출된 소요모터의 종류 및 갯수, 기계기구 구조, 청소툴 등의 부품가격을 감안할 때 로봇 제작비용은 10,000,000원을 넘지 않을 것으로 예상되었다. 이 때, 청소대상 유리창이 수평적으로 동일층에 매우 길게 배치되어 있더라도 로봇비용은 거의 증가하지 않는 데, 레일만 길게 설치하면 한 대의 청소장치가 레일을 따라 청소하게 되기 때문이다. 또 청소장치는 한번 레일에 설치되면 수시로 청소할 수 있다. 다시 말하면, 출근 전 아침시간에 매일 청소하도록 시간을 설정할 수도 있고, 경우에 따라서는 하루에 여러

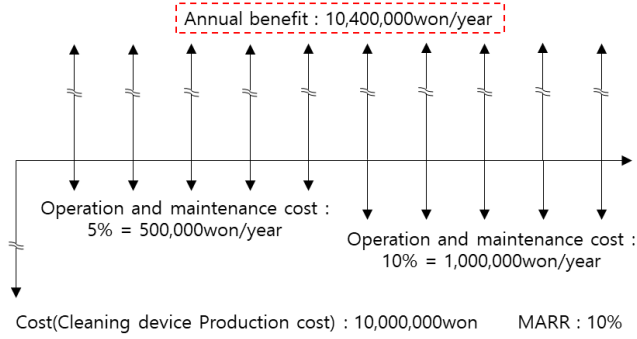


Figure 5. Cash flow for the introduction of window cleaning devices

변 청소하여 유리창을 깨끗하게 관리할 수도 있는 것이다. 그리고 이러한 청소조작은 리모콘으로 청소시간을 예약설정하거나 즉시구동을 명령할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 청소장치의 효과를 보다 보수적으로 평가하기 위하여, 매주 1회 청소하는 것으로 설정하였다.

또한 10년동안의 운영·유지관리비용은 1~5년까지는제작비용의 5%인 500,000원/년으로 설정하고, 6~10년까지는 제작비용의 10%인 1,000,000원/년으로 설정하였다. 여기에는 청소장치의 구동을 위한 전력비, 와이퍼 등의 소모품비, 고장수리비 등이 모두 포함된다.

4.2 편익비용비율 분석

청소장치를 사용함으로써 얻을 수 있는 연간 발생 편익(annual benefit)은 연간 최소 작업 가능 일수가 52일일 경우 10,400,000원(200,000원/일 × 52일)이고, 연간 발생 편익의 현재가치는 분석 기간 10년, 최소기대수익률 10%에서 63,903,498원이다. 한편 유지관리비용은 1~5년까지 유지보수 비용인 500,000원/년의 현재가치와 6~10년까지 유지보수 비용인 1,000,000원/년의 현재가치 합인 4,249,174원이다(Figure 5). 따라서 편익비용 비율(B/C ratio)은 4.48로, 1을 크게 상회하는 것으로 분석되었다(Table 4).

Table 4. Benefit cost analysis of automation method

<ul style="list-style-type: none"> Present value of incurred benefits $= 10,400,000(P/A, 10\%, 10) = 63,903,498$
<ul style="list-style-type: none"> Present value of additional costs $= 10,000,000 + 500,000(P/A, 10\%, 5) + 1,000,000(P/A, 10\%, 10)$ $- 1,000,000(P/A, 10\%, 5)$ $= 10,000,000 + 1,000,000(P/A, 10\%, 10) - 500,000(P/A, 10\%, 5)$ $= 14,249,174$
<ul style="list-style-type: none"> benefit/cost ratio $= (PW\ of\ benefit) / (PW\ of\ cost)$ (It is worth investing because the cost-benefit ratio is > 1) $= 4.48$

4.3 수익률 분석

수익률(rate of return) 분석은 사업이나 투자안에 대한 편익과 비용의 현재가치 차이 즉, 순 현재가치를 0으로 만드는 할인율인 수익률을 구하는 경제성 분석 방법이다. 청소장치의 개발이 투자 가치를 지니기 위해서는 수익률이 최소기대수익률 이상이어야 한다[7].

■ NPW(순현재가치)

$$\begin{aligned}
 &= (PW\ of\ benefit) - (PW\ of\ cost) \\
 &= 10,400,000 \times (P/A, X, 10) - 10,000,000 + 500,000 \times \\
 &\quad (P/A, X, 5) + [1,000,000 \times (P/A, X, 10) - 500,000 \times (P/A, X, 5)] \\
 &= 0 \text{ ----- (1)}
 \end{aligned}$$

매년 동일하게 발생하는 비용 또는 편익을 현재가치로 변환하는 것을, 식(1)과 같이, $(P/A, i\%, n\text{년})$ 의 기호로 표시한다. 그리고 수익률(X)을 보간법으로 구하면, NPW=0을 만족하는 수익률은 약 98.84% 이므로 유리창 청소 전문업체 면담을 통해 설정한 최소기대수익률 10%를 크게 상회하였다.

4.4 손익분기점 분석

손익분기점(break-even point) 분석이란, 투자 후 얼마 만에 손익 분기점에 도달하는지를 파악하는 것이다. 이는 장치 개발로 인한 총이익이 개발에 투입된 총투자분을 초과하는 시점을 의미한다. 즉, 장치 개발을 위한 총 투자 비용의 현재가치와 이익의 현재가치가 같아지는 기간(N)이 손익분기점이 된다[7]. 유리창 청소장치 제작비용 및 연간 유지 보수비용의 현재가치는 14,249,174원으로 도출되었다. 따라서 식(2)에 따라, 설정된 최소기대수익률 10%에서, 약 13.5개월 만에 투자한 자본을 회수하고 이익이 발생하는 것으로 분석되었다.

■ 손익분기점

$$\begin{aligned}
 &(PW\ of\ cost) = (PW\ of\ benefit) \text{ ----- (2)} \\
 &14,249,174 = 10,400,000(P/A, 10\%, N) \\
 &(P/A, 10\%, N) = 1.37 \\
 &N = 1.122\text{년} (\text{약} 13.5\text{개월})
 \end{aligned}$$

5. 결 론

건축물의 사용 중에 유리창 청소가 빈번하게 발생한다. 그런데 이 작업은 인력의존적이며, 고소에서 불안정한 자세로 작업

한다. 따라서 작업원의 안전도를 향상하기 위한 방안이 시급한 상황이다. 하지만 아직까지 유리창 청소장치에 대한 경제적 타당성 분석이 이루어지지 않아 투자결정 등의 의사결정에 참조자료가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 점에 착안하여, 건축물 외부 유리창 청소에 대하여 개념설계를 제시하고, 제시된 개념모델에 대한 경제적 타당성을 분석하였다.

조사 결과, 고소의 불안정한 환경에서의 작업, 불안정한 로프 걸기, 로프 마모 위험, 자세잡기 동작의 위험성, 불안정한 작업자세 등이 문제점으로 지적되고 있다. 그리고 이러한 문제점으로 인하여 작업원의 사소한 실수가 추락사고로 이어질 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 특정한 유리창을 청소하는 장치의 개념모델을 제시하였다. 제시된 모델은 창틀 등 돌출부를 회피하며, 상하부의 형상이 상이하더라도 대응이 가능하도록 고안하였다. 고안된 개념모델의 경제성을 분석한 결과, 편익비용 비율이 4.48로 1을 크게 상회하였다. 그리고 수익률은 98.84%로 유리창 청소 전문업체 면담을 통해 설정한 최소기대수익률 10%를 크게 상회하였으며, 손익분기점은 약 13.5개월로 분석되었다. 따라서 제안된 유리창 청소장치의 경제적 타당성은 충분할 것으로 예상된다. 본 연구의 결과인 경제적 타당성 분석 결과는 향후 유리창 청소장치의 설계 및 제작과정에 있어 중요한 기초자료로 제공될 것이다. 또한 개발 이후 단계에서 마케팅 자료로도 활용될 예정이다.

요 약

유리창 청소작업은 인력의존적이고, 고소에서 불안정한 자세로 수행하여 추락위험이 상존하는 작업이다. 따라서 작업원의 안전도 향상 방안이 시급한 상황이다. 본 연구에서는 건축물 외부 유리창 청소에 대하여 개념설계를 제시하고, 제시된 개념모델에 대한 경제적 타당성을 분석하였다. 제시된 모델은 창틀 등 돌출부를 회피하며, 상하부의 형상이 상이하더라도 대응이 가능하도록 고안하였다. 고안된 개념모델의 경제성을 분석한 결과, 편익비용 비율이 4.48로 1을 크게 상회하였다. 따라서 제안된 유리창 청소장치의 경제적 타당성은 충분할 것으로 기대된다. 본 논문에서 분석한 결과는 유리창 청소장치의 개발, 마케팅 등에 활용될 예정이다.

키워드 : 건설자동화, 개념설계, 타당성 분석, 유지관리, 유리창 청소, 청소로봇

Funding

This study was conducted as part of the National Territory Traffic Technology Promotion Project (Project No: 18CTAP-C117255-03), with the support of the Ministry of Land, Industry and Transport.

ORCID

Kyoon-Tai Kim, <https://orcid.org/0000-0003-2230-709X>
Young-Hnu Jun, <https://orcid.org/0000-0002-8108-5709>

References

1. Kim KT. Study on the potential demand of windows cleaning by survey. *International Journal of Innovation, Management and Technology*. 2019 Jun;10(3):133-7. <https://doi.org/10.18178/ijimt.2019.10.3.133>
2. Park KJ, Kim MH. A study on the feasibility of introducing robotics to the exterior painting works of highrise apartment houses. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 1992 Mar;8(3):167-76.
3. Won YH, Son SH, Kim YS, Lee JB. Technical & economical feasibility analysis for the development of a hume-pipe laying manipulator. *Journal of the Korea Society of Civil Engineering*. 2002 Nov;22(6):1219-34.
4. Kim KT, Jun YH, Shin EY. Estimate of Economic Feasibility of a Window Cleaning Device. *Proceeding of the 2018 9th International Conference on Construction and Project Management*: 2018 Oct 24-26; Macau, China. Macau (China): International Economics Development and Research Center; 2018. CM1007.
5. Kim KT, Jun YH. Investigation of work status for productivity analysis of window cleaning. *Proceeding of the Architectural Institute of Korea 2018 Fall Conference*: 2018 Oct 27-28; Pyeongchang, Korea. Seoul (Korea): The Architectural Institute of Korea; 2018. p. 560-1.
6. Kim KT, Shin YE, Jun YH, Park JW, Kim JT, Choi HS, Park JW, Park TJ, Park SB. Intelligent exterior window cleaning robot using window frame protrusion avoidance technology. Goyang (Korea): Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology. 2019 Apr. p. 26-161. Report No.: 18CHAP-C117255-03
7. Kim YS, Lee JH. A conceptual model and technical· economical feasibility analysis of apartment exterior wall painting robot. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 2006 Sep;22(9):139-50.