사단법인 대한기계학회
The Korean Society of Mechanical Engineers

대한기계학회 주최

제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

설계 최종 보고서

참가부	고등부 (○) / 대학부 ( )				
참가분야	공모주제 ( ) / 자유주제 (○)				
참가팀명	PEAK				
설계제목	진동과 자력을 이용한 건물 외벽 유리 세정기				
지도교수/교사	(소속) 하나고등학교 (성명) 정형식				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	조민경	하나고등학교			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	조민경	하나고등학교 / 2학년	
2	서인휘	하나고등학교 / 2학년	
3	홍인택	하나고등학교 / 2학년	
4	김승유	하나고등학교 / 1학년	
5	서효찬	하나고등학교 / 1학년	

설계 요약문

참가분야	공모주제 (　　) / 자유주제 (○)
참가팀명	PEAK
설계제목	진동과 자력을 이용한 건물 외벽 유리 세정기
대표자명	조민경

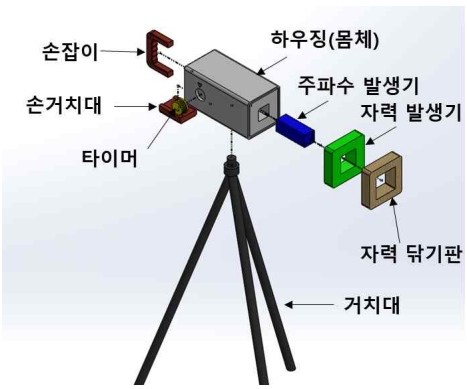
요약문

필요성 및 목적	①유리 세정에 관한 사회적 이슈 조사를 통한 유리 세정의 필요성 확인 ②현재 실내에서 사용중인 유리 세정 도구, 장치의 문제점 확인 ③실내 청소를 많이 담당하는 가정 주부가 편리하게 사용할 수 있는 사용자 친화적 디자인이 필요
장치 컨셉	사용설명서 없이 직관적으로 사용할 만큼 조작이 쉽고, 가정 주부가 한손을 들 수 있는 무게이며, 인체에 무해하며, 유리에 손상을 입히지 않는 저렴한 제품

장치 기능 설계

사용 방법	이론적 배경
[1단계]주파수를 전달하여 유리의 진동으로 먼지가 살짝 붙어있을 정도로 유리와 먼지의 결합력을 낮춤	•먼지가 유리에 붙는 원리와 결합력 •진동으로 먼지 결합력을 낮추기 위한 주파수와 먼지 결합력 관계
[2단계]자력이 발생하는 닦기판을 유리에 붙이고 걸래닦기처럼 돌리면서 유리 반대쪽 먼지를 자력에 의해 닦아냄	•자력으로 먼지가 움직이는 원리 •먼지를 움직이는 자력 세기 결정

최종 결과물 형상 및 작동 원리



구성	작동원리 및 과정
거치대	유리세정기를 거치대에 고정
주파수 발생기	작동 버튼을 누르면 유리에 진동을 주는 장치로 유리파손이 되지 않는 주파수 영역 (34.44 Hz ~ 111.5 Hz 대역 제외)의 주파수를 발생시킴
타이머	주파수 발생 시간 또는 작업시간 조절을 위한 제어기
자력 발생기	유리의 먼지를 자력으로 닦아내기 위한 자력 발생시킴
손잡이	유리세정 장치를 유리에 붙일 때 한손으로 잡기 위함
손거치대	유리세정 장치를 유리에 붙일 때 양손을 사용하기 위함
자력 닦기판	바깥쪽 유리 표면의 먼지를 자력으로 닦아내기 위한 판

장단점 및 의의	본 연구에서 제시된 유리세정 장치는 누구나 안전하게 유리를 세정할 수 있는 장치로써 물을 사용하지 않고실내에서 조작가능하다는 것이 가장 큰 장점이며 최종 개발될 장치는 사용설명서 없이 직관적으로 사용할 만큼 조작이 쉽고, 유지보수가 용이하도록 분해·조립이 매우 편리한 디자인임
활용 방안 및 기대 효과	소비자를 대상으로 만족해할 수 있는 유리세정 수준을 선정한 후 그 수준을 달성하기 위한 추가적인 디자인 개선을 수행한다면 전 세계 모든 가정이나 사무실의 필수 제품이 되고, 모든 사람들이 깨끗한 시야를 확보하여 쾌적한 실내 거주환경을 누릴 수 있을 것으로 기대됨

1. 설계의 필요성 및 목적

도시에는 수많은 건물들이 존재하는데, 이 많은 건물들은 외부에 그대로 노출이 되어 계속해서 오염되고 있다. 오염을 일으키는 외부의 다양한 먼지들은 유리창의 때가 되고, 유리를 고정하는 실리콘 부위에도 오염이 되며, 오랜 기간 방치할 경우 건물 내구성에도 큰 영향을 미치기 때문에 정기적인 청소가 꼭 필요하다. 뿐만 아니라 오랫동안 청소를 하지 않아 쌓인 먼지는 심지어 약 10 %의 열획득 손실을 초래하기도 한다. 하지만 높은 빌딩의 경우 바깥 외벽을 닦을 때 다소 원시적으로 사람들이 직접 매달려서 손 걸레질을 하는 경우가 대부분이다. 이 과정에서 장비부실과 실수로 인해 발생하는 추락사와 같은 위험이 상존하기 때문에 유리세정 가격이 더욱 올라가며, 자주 청소를 하지 못한다는 문제가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 실내에서도 간편하게 유리창 바깥면을 청소할 수 있는 장치를 설계하고자 한다. 주파수를 활용한 설계이기 때문에 인력을 고용하지 않아도 되고, 자연스럽게 비용절감의 효과와 안정성을 얻을 수 있다. 또한 사람의 손이 닿지 않는 곳까지 내부에서 직접 청소할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 설계 핵심 내용

(1) 설계 문제의 정의

모든 건물에는 수많은 유리창이 존재한다. 그리고 위에서 언급했듯이, 유리창을 청소하지 않았을 때에는 오염과 내구성 문제, 열효율 감소 등 다양한 문제점들이 존재한다. 따라서 우리는 유리창을 청소하기 위해서 인력을 고용하여 유리창을 청소한다. 하지만, 고층건물의 유리창 청소는 줄에 의지하여 유리창을 청소해야 하는데, 보조줄의 부재 혹은 마찰에 의한 줄의 손상 등으로 많은 사건사고가 발생하고 있다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 진동과 자력을 이용한 건물 외벽 유리 세정기 장치를 설계하고자 하며, 설계 시 고려할 문제점들을 다음과 같이 정의하였다.

①유리 세정에 관한 사회적 이슈 조사를 통한 유리 세정의 필요성 확인
- 유리 세정작업시 낙하사고 등 안전 문제
- 갈수록 심해지는 대기오염에 대한 유리 오염 문제
- 고층건물 증가에 따른 개폐식 유리창의 감소로 자가 세정의 어려움
- 실내생활 시간 증가에 따른 조망권 확보 등 유리 세정의 필요성 증가

②현재 실내에서 사용중인 유리 세정 도구, 장치의 문제점 확인
- 창문을 열고 직접적 유리를 닦아야하는 제약이 존재
- 물을 사용하는 경우가 있어 유리 세정 전・후의 불편함 존재
- 자력을 이용할 경우 유리창 안팎에 자력판을 세트로 설치해야하는데 자력이 크거나 낮고, 바깥쪽 자력판이 낙하하는 안전사고 문제 발생

③실내 청소를 많이 담당하는 가정 주부가 편리하게 사용할 수 있는 사용자 친화적 디자인이 필요

따라서, 이러한 설계 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 다음과 같은 장치 컨셉을 도출하였다.

【컨셉】 사용설명서 없이 직관적으로 사용할 만큼 조작이 쉽고, 가정 주부가 한손을 들 수 있는 무게이며, 인체에 무해하며, 유리에 손상을 입히지 않는 저렴한 제품

(2) 설계의 독창성 및 접근 방법

1) 설계 방법 및 배경

먼지를 유리로부터 떼어내기 위해, 유리와 먼지의 결합력을 약화시키는 진동을 전달하지만, 유리에는 큰 영향

을 주지 않는 진동이 필요하다. 또한 실내에서 실외의 유리에 붙어있는 먼지를 제거해야 하기 때문에 유리를 투과해 원격으로 작용하는 진동이 필요하다. 이러한 진동을 주파수로 전달하고 자력으로 먼지를 제거하는 장치를 만들어낼 것을 생각하였다. 장치가 작동하는 방법은 다음과 같다. 첫 번째, 유리와 먼지의 결합력보다 큰 주파수를 투과해 먼지가 유리에 붙어있는 결합힘을 약화시킨다. 두 번째, 유리와의 결합이 약해진 먼지를 자력으로 털어낸다.

첫 번째 과정을 위해서 우선 먼지가 유리와 어떻게 결합하는지 알아야 한다. 먼지는 콜로이드의 입자인데, 콜로이드 입자들이 물과 만나면 서로 응집되어 엉기게 되고, 후에 수분(전해질)은 날아간 상태로 유리와 결합하게 된다. 콜로이드란 전기를 가지고 있는 큰 입자이다. 분자나 이온보다 큰 크기로 용액에 응집되거나 침전되지 않고 분산되어 흩어져있는 모든 것들을 의미한다. 서울과학기술대학교에서 진행한 연구인 '공진을 이용하여 미세먼지 입자를 제거하는 새로운 MEMS PZT 진동 플랫폼 개발'에 따르면 미세먼지 입자와 표면 사이의 인력을 반데르발스 힘을 이용하여 추정하여, 미세먼지 입자를 제거하는데에 필요한 가속도를 고유 진동주파수와 인가전압을 통해서 만족시킨다[1]. 따라서 본 설계에서도 먼지와 유리창의 결합력은 분자간에 작용하는 인력(Van der Waals 힘)과 유리 부착면에 존재하는 미량의 수분에 의한 응착력의 합으로 계산할 것이다.

이렇게 계산된 결합력을 약화시키는 방법으로 가장 효율적이라고 판단된 것은 주파수를 이용해서 공명을 발생하는 것이다. 카메라 회사 올림푸스의 초음파 진동 필터(supersonic wave filter) 역시 공명을 이용한 높은 진동수로 카메라 필터에 부착된 먼지를 제거한다[2]. 올림푸스는 35 kHz의 초음파 진동을 일으켜 SSWF에 발생한 공명현상을 통해 카메라 부품의 SSWF 표면에 부착된 입자를 느슨하게 한다. 이러한 과정을 거치는 이유는 유리로 된 렌즈에 직접 공명을 시키면 렌즈가 깨질 수 있기 때문에 간접적으로 진동을 주는 것이다. 이 원리를 유리창 먼지의 결합력을 약화시키는 데에도 이용하기 위해서는 유리를 직접 공명시키는 것이 아니라, 매개의 역할을 할 수 있는 무언가가 필요하다.

따라서 설계를 할 때에 유리가 깨지지 않도록 유리의 고유주파수를 벗어나 유리를 공명시키는 주파수를 찾아야 한다. 이때 주파수는 유리를 통과해야하기 때문에 유리의 투과율도 고려되어야 한다. 만약, 유리에 직접적인 주파수를 전달시키는 것이 유리의 안전을 고려할 때 불가능하다면 올림푸스의 경우와 같이 매개가 되는 물체를 공명시키고, 그 물체가 유리를 진동시키는 형태의 장치를 고안할 것이다. 유리의 진동시키는 주파수는 주파수 발생기에 유리와 일정거리가 떨어진 위치에서 전달되도록 설계할 것이다.

하지만 SSWF의 원리를 이용하는 것은 카메라 렌즈이기 때문에, 일반적인 유리창보다 강도가 약하다. 그렇기 때문에 35 kHz의 진동수만으로는 유리창에 부착된 먼지를 완벽하게 떼어낼 수 없을 것이다. 따라서 진동으로 결합이 약해진 먼지를 자력을 이용하여 완전히 제거하는 것으로 설계할 것이다. 자기력을 이용하기 위해서 정전기 유도를 이용하는 방안을 생각하였다. 정전기 유도를 통해서 먼지를 대전시킨 후 자력을 이용하여 먼지를 바깥으로 제거하는 방법이다.

2) 설계의 독창성

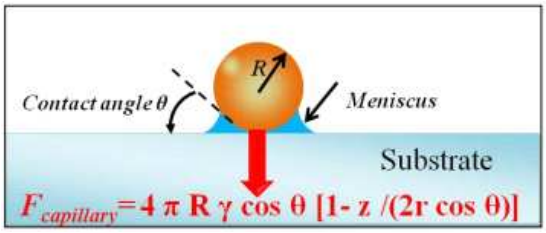
연구에서는 본 설계와 관련된 논문 분석을 중심으로 설계의 방향성을 연구하였다.

가. 먼지와 유리의 결합력 연구

먼지 입자와 유리 표면 사이의 결합력은 모세관력, 판데르발스력, 정전력, 중력의 4가지로 추정할 수 있다[3].

① 모세관력

유리 표면에 수분이 있을 때 먼지가 유리에 붙는 것은 모세관력이 지배적이다. 이것은 수분이 입자의 모세관을 통해 표면에 붙기 때문이다. 모세관 응축이 있게 되면 수분은 깨끗한 유리 표면으로 응축되기 시작하는데 이 슬점보다 훨씬 낮은 상대 습도(RH)에서 발생하는 작은 틈의 존재로 인해 오목 반월판을 생성하게 된다.

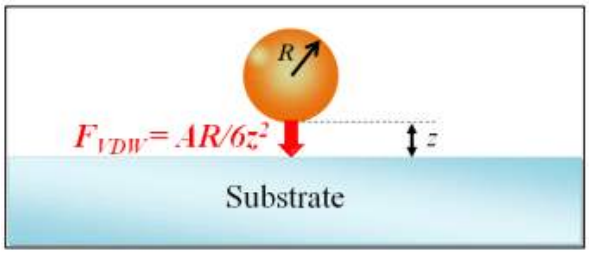


상대습도(%)	모세관력(nF)
10	-570
20	309
30	837
40	1,207
50	1,500
60	1,737
70	1,934
80	2,109
90	2,262
99	2,270

그림 1. 먼지입자와 유리의 모세관력 관계[Ref. 4]

② 반데르발스력

- 정의 : 원자 또는 분자 사이에 순간적인 극성 변화로 나타나는 인력과 반발력의 합
- 원리 : 무극성 분자에서 전자의 운동으로 순간적인 쌍극자가 형성, 그 옆에 분자도 일시적인 편극이 일어나서 유발 쌍극자가 생성한다.(이런 순간적인 쌍극자와 유발 쌍극자의 인력을 반데르발스 힘이라고 한다.)
- 구성요소 : 반데르발스 힘은 가장 약한 분자간 힘으로, 그 에너지는 0.4kJ/mol ~ 4kJ/mol 수준이다. 이 힘이 영향을 끼치는 거리는 0.6nm 미만의 거리에서 작용하지만 0.4nm 미만으로 가까워지는 경우 전자 구름으로 인한 반발력으로 더 이상 영향을 주지 못한다.
- 특성
  - 공유결합 또는 이온결합보다 약하고, 힘의 방향성이 없다.
  - 매우 가까운 범위에만 영향을 끼친다.
  - 가까운 거리일수록 상호 작용이 더 커진다.
  - 쌍극자-쌍극자 상호 작용을 제외하면 온도와 무관하다.
- 반데르발스 힘에 영향을 주는 4가지 요인
  - 파울리의 배타원리에서 유래한 척력 : 가까운 거리에서 유효
  - 이온, 극성분자 또는 다중극 사이에서 발생하는 정전기적 상호작용 : 온도에 영향을 받음
  - 영구적으로 극성을 가지는 분자에 의해 유도된 분극 : 다른 극성 분자와 인력을 가짐
  - 런던 분산력 : 전자 분포의 순간적인 변화에 의해 나타남



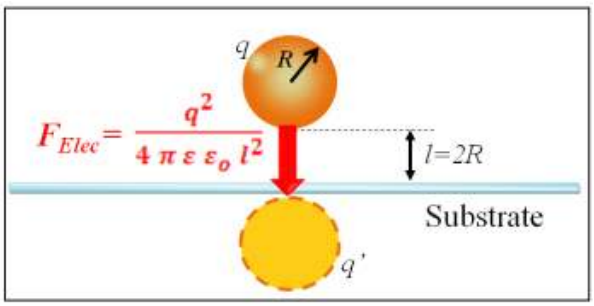
	코팅안된 유리	코팅 유리
거칠기(RMS, nm)	0	0.65
z(nm)	0.35-0.4	1.18
습한 공기중 접착력(nF)	39.4	4.69
건조한 공기중 접착력(nF)	324.00	37.11

그림 2. 먼지입자와 유리의 반데르발스력 관계[Ref. 4]

③ 정전력

대기 중의 먼지 입자는 충돌 등을 통해 전하를 얻을 수 있다. 먼지는 유리 표면에 전하를 발생시키면서 반대

전하를 끌어당길 것이다. 유리와 같은 비전도성 재료는 예측하기 어려운 수준의 전하와 함께 표면 전하가 발생할 수도 있다.

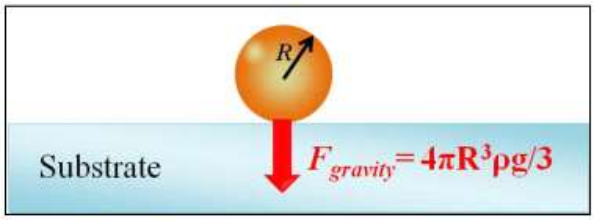


정전력=0.026nF

그림 3. 먼지입자와 유리의 정전력 관계[Ref. 4]

④ 중력

대기 중의 먼지 입자는 중력을 받는다. 그러나 500μm 미만의 크기에서는 무시할 수 있다.



중력=0.0018nF

그림 4. 먼지입자와 유리의 중력 관계[Ref. 4]

나. 유리의 주파수 연구

① 유리창의 종류 조사

판매량이 가장 많은 회사를 조사하여 상위 2개 업체인 LX하우시스와 KCC의 제품을 선정하였다.

- LX하우시스 : Superplus1.0
  두께 5mm / 폭 1,829 / 1,981 / 2,134 / 2,286 / 2,438mm 높이 3,038 / 3,353mm
- KCC : UBF225TM 22LE[4)]
  단창, 22mm(5일반+12공기+로이) , 알루미늄
  효율등급은 3, 열관류율W/(m^2*K) 1.83, 기밀성 통기량은 1.74 등급

② 유리를 공명시킬 수 있는 주파수 조사

Saint-Gobain Building Glass UK[5)]의 자료에 따르면 단일층으로 되어 있는 바닥재 유리의 임계주파수(Critical Frequency)가 알려져 있다. 예상치못한 유리의 변형을 일으키는 이러한 임계주파수는 유리의 두께에 의해 영향을 받는다.

$$F_{CRIT}(Hz) = \frac{12500}{t}$$

외부 주파수에 따른 창문용 유리의 반응에 관한 Nathera Abbass 등의 논문에 의하면 유리의 진동은 20-200Hz의 주파수 범위로 낮으며, 음향 에너지의 대부분은 공명 주파수가 400Hz에서 감지되는 200-500Hz의 주파수 범위 내에 있다고 알려져 있다[6)]. 아래의 그림은 이와 같은 결과를 보여주는 논문의 일부로써 유리 두께별 유리창의 반사 빔의 진폭대 주파수이다. 물론 이러한 주파수 결과는 유리창의 재료에 따라 달라질 수 있다.

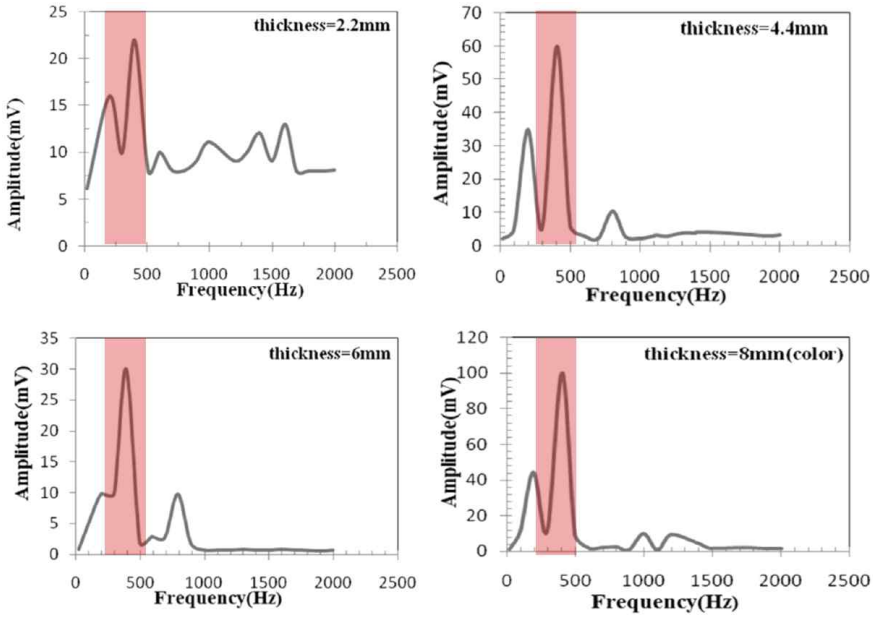


그림 5. Amplitude of reflected beam (mV) vs. frequency (Hz) for glass thickness, [Ref. 6]

또한, 전파는 직진하고 굴절하거나 반사하는 특성을 가지고 있는데 유리는 일반적으로 광투과율이 전파 파장 영역에 따라 달라지기 때문에 이러한 유리의 특성을 고려하여 주파수 대역을 설정해야 한다[7].

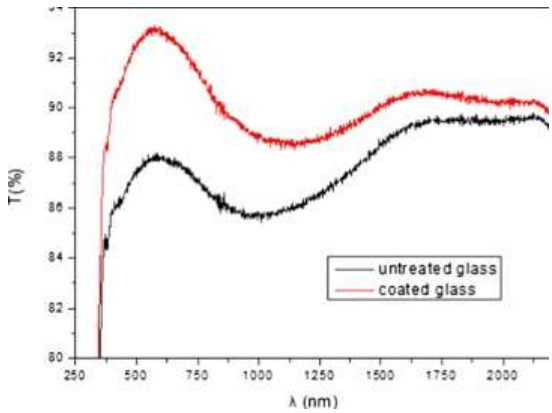


그림 6. 코팅되지 않은 유리와 코팅된 유리의 광투과율[Ref. 8]

이와 같이 유리의 공명을 일으키는 주파수를 파악하기 위해서는 실험적 방법과 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 수치해석을 사용할 수 있다. 실험적 방법은 Nathera Abbass의 논문과 같이 가변 함수 발생기를 사용해 주파수를 생성하고 유리에 가한 후 유리에서 반사된 소리 주파수를 오실로스코프로 표시하는 것이다.

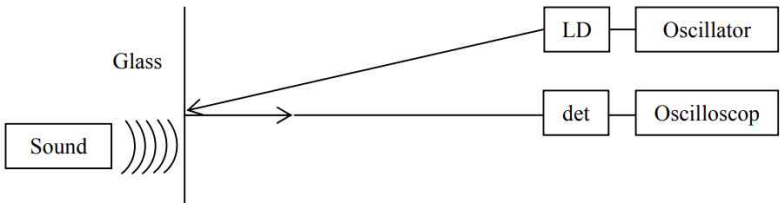


그림 7. 공명 효과 측정을 위한 실험적 방법[Ref. 6]

유리의 공명 주파수는 실험 뿐만 아니라 컴퓨터 시뮬레이션으로도 알 수 있다. 이현승 등은 다점지지된 TFT-LCD 유리기판의 고유진동수를 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석하여 지지포인트 수에 따라 LCD 유리기판의 1차 고유진동수가 1.962Hz~4.102Hz까지 달라질 수 있음을 보여주었다.[8] 또한, Ali Reza Pouladkhan 등은 외력을 받을 때 얇은 판에서 발생하는 고유 진동수와 모드 형상(Mode shapes)을 유한요소법을 사용하여 분석하였다[9].

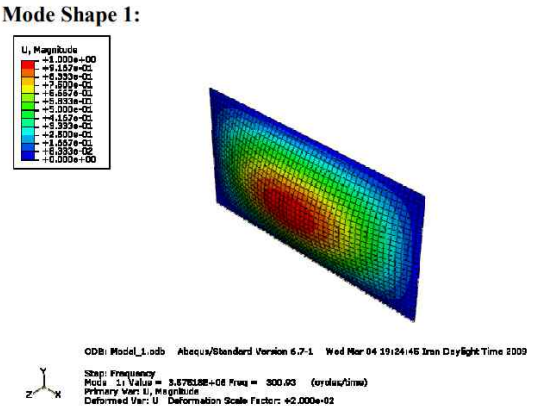
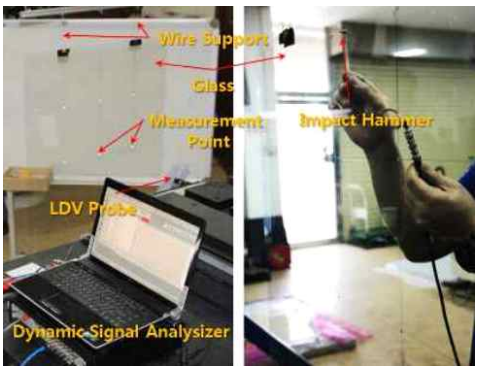
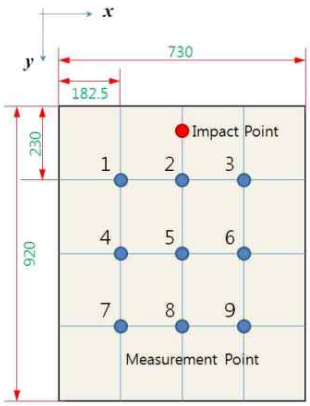


그림 8. 평판의 고유 모드형상과 주파수[Ref. 9]

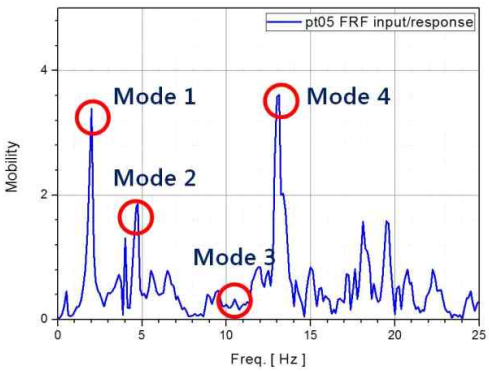
송원길 등은 디스플레이용 평판 유리를 대상으로 모달 테스트와 시뮬레이션을 수행하였는데 헤머를 이용한 가진에 따른 유리의 모드를 측정하였다. 1차 모드는 구속조건에 따른 강체 거동으로 제외하고 2~4차 모드를 실험과 시뮬레이션으로 분석하였고, 시뮬레이션 결과의 정확성을 확인하였다[10].



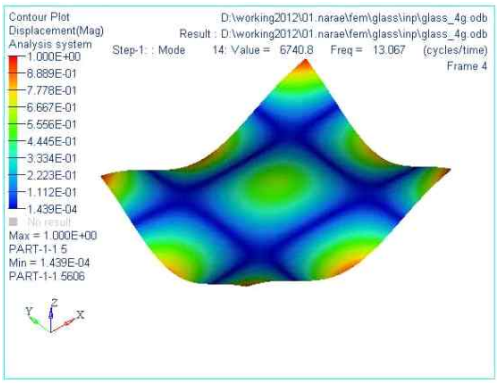
유리의 모달특성 평가 실험 장치



가진 위치와 측정 위치



유리의 모달 측정 결과



유리의 모달 시뮬레이션 결과(Mode 4)

그림 9. 평판 유리의 고유 모드 측정과 주파수 시뮬레이션 결과[Ref. 11]

3) 설계의 제약조건 및 문제 해결 방법

가. 유리 공명 특성 연구

첫번째, 유리창의 종류가 매우 다양하다. 각각의 유리창마다 강도, 두께 등 성질이 다르기 때문에 진동수와 자기력을 활용한 설계가 다르게 작용할 수 있다. 어떤 유리창에서 잘 작용하여도, 일부 유리창에서는 효과가 미약할 수 있다. 따라서 설계를 진행하면서 수요가 가장 많은 일반 아파트용 유리를 대상으로 적절한 창문 유리 사이즈를 선정하였다.

두번째, 유리의 공명으로 인한 파괴를 막아야 한다. 모든 물체는 각각의 고유진동수를 가지고 있다. 뿐만 아니라 고유진동수는 재료의 특성과 성질에 따라서도 다 달라지기 때문에 유리의 두께와 크기 등의 성질을 고려하여 고유진동수의 적용 범위를 선정해야 한다. 엠에스 테크놀러지(주)는 디스플레이용 평판 유리의 모달 테스트를 실험과 컴퓨터 시뮬레이션으로 수행한 연구를 발표하였는데, 발표결과에 따르면 실험과 컴퓨터 시뮬레이션 결과가 매우 유사하였다[11]. 따라서 유리의 고유 주파수를 측정하기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션으로 자체 수행하였다.

① 시뮬레이션 모델링 : 유리 사이즈

시뮬레이션에 의한 유리의 고유주파수를 계산하기 위해 다음과 같이 일반 가정용 창문에 적용되는 6종류를 선정하였다.

모델	폭(mm)	높이(mm)	두께(mm)
model-1	1,829	3,038	5
model-2	1,981		
model-3	2,286		
model-4	1,829	3,353	
model-5	1,981		
model-6	2,286		

② 시뮬레이션 모델링 : 유리 재료특성값

시뮬레이션에 의한 유리의 고유주파수를 계산하기 위해 다음과 같이 일반 가정용 창문에 적용되는 6종류를 선정하였다.

탄성계수(GPa)	포아송비	밀도(Kg/m^3)
62	0.22	2,400

③ 시뮬레이션 모델링 : 경계조건 및 유한요소 모델링

유리가 창틀에 의해 고정된기 때문에 유리의 네 모서리는 모두 고정되었다고 가정하였다. 또한 시뮬레이션을 위한 유한요소 모델은 6면체 메쉬를 총 55,600개를 사용하였다.

④ 시뮬레이션 해석

상용 구조 시뮬레이션 SW인 MSC/MARC를 사용하여 modal 해석을 수행하여 1차~5차 고유진동수 결과값을 비교, 정리하였다.

⑤ 시뮬레이션 결과 : 유리 사이즈에 따른 고유진동수 변화

시뮬레이션에 의해 유리 사이즈에 따른 6개 모델의 고유진동수를 계산하였다. 계산에 의하면 유리창의 높이가 클수록 (model4~6) 고유진동수가 낮았고, 폭이 넓어질수록 고유진동수가 낮았다. 따라서 유리창의 사이즈가 클수

록 고유진동수는 낮게 발생한다는 것을 알 수 있었다.

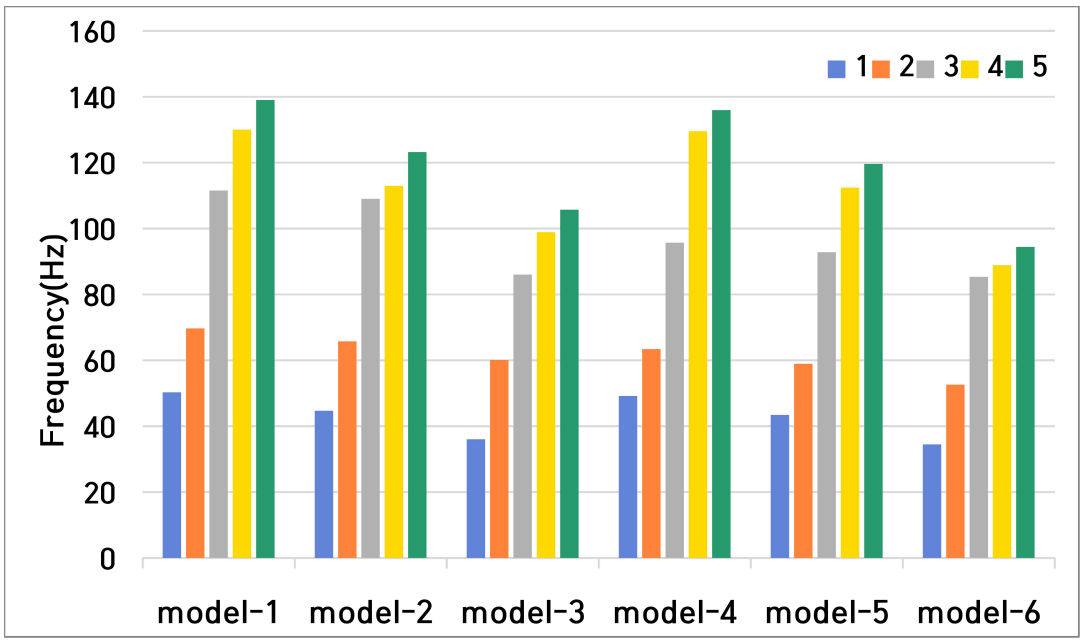


그림 10. 평판 유리의 고유 주파수 시뮬레이션 결과 (1~5차 모드)

⑤ 시뮬레이션 결과 : 유리안전을 위한 고유진동수 회피 영역 선정

고유진동 모드를 고려할 때 변형모드가 가장 많이 발생하는 1차와 2, 3차를 고려하는 것이 일반적이므로 1차~3차의 고유진동수를 별도로 표시하였다. 유리창의 크기에 따라 고유주파수는 최소 약 34.44 Hz에서 최대 111.5 Hz가 발생하였다. 따라서 주파수 발생기는 유리의 안전성을 위해 34.44 Hz ~ 111.5 Hz를 범위를 제외하게 진동을 발생시켜야함을 알 수 있었다.

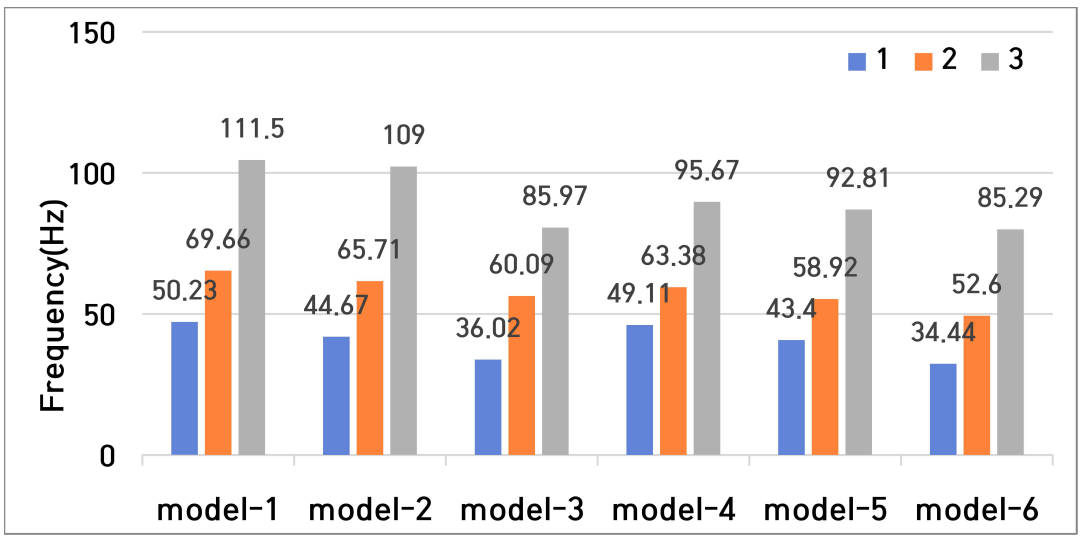
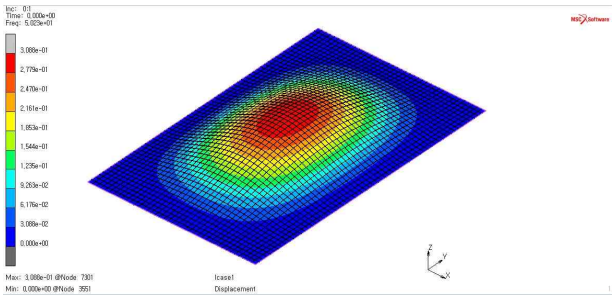
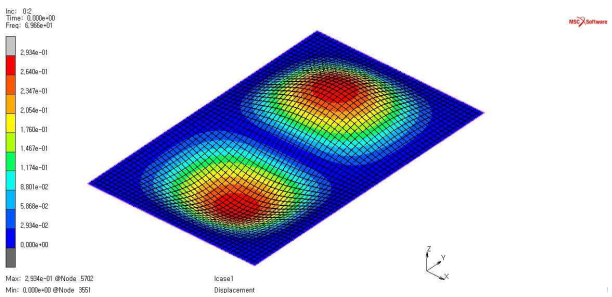


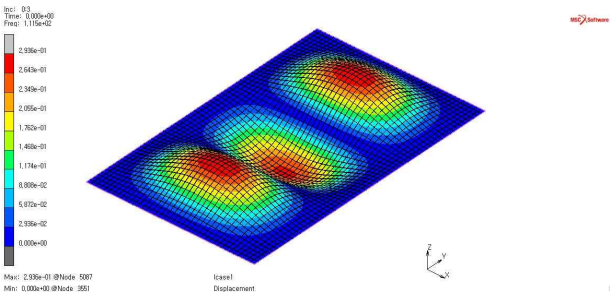
그림 11. 평판 유리의 고유 주파수 시뮬레이션 결과 (1~3차 모드)



1차 고유진동수

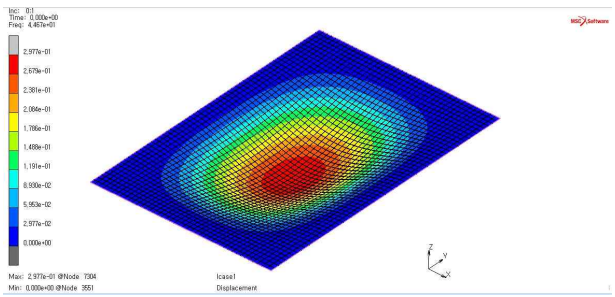


2차 고유진동수

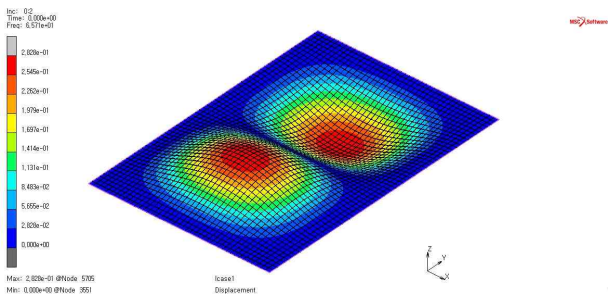


3차 고유진동수

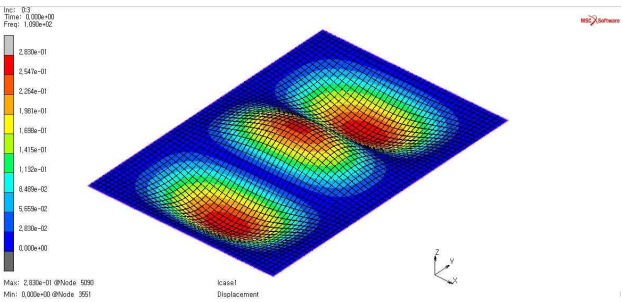
그림 12. model-1의 고유 주파수 시뮬레이션 결과



1차 고유진동수

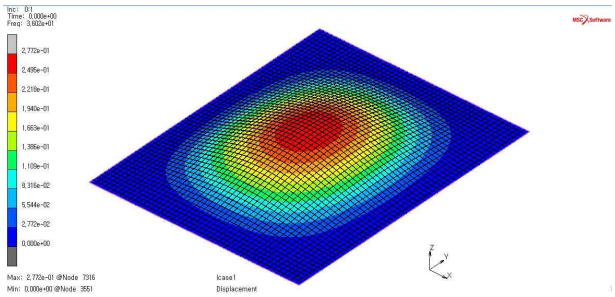


2차 고유진동수

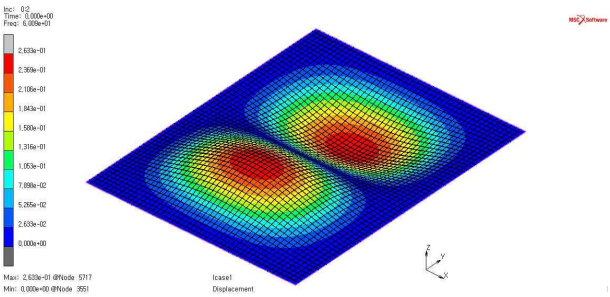


3차 고유진동수

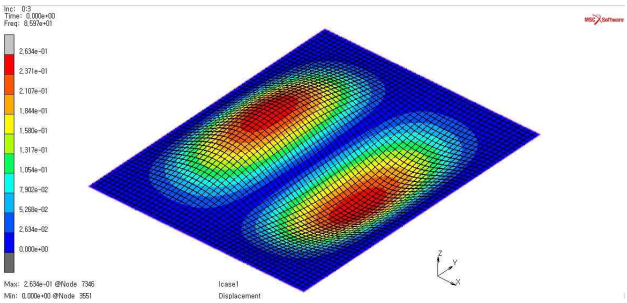
그림 13. model-2의 고유 주파수 시뮬레이션 결과



1차 고유진동수

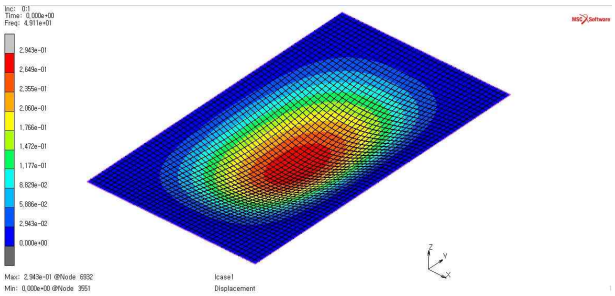


2차 고유진동수

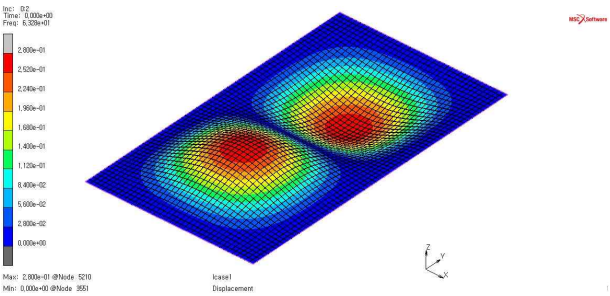


3차 고유진동수

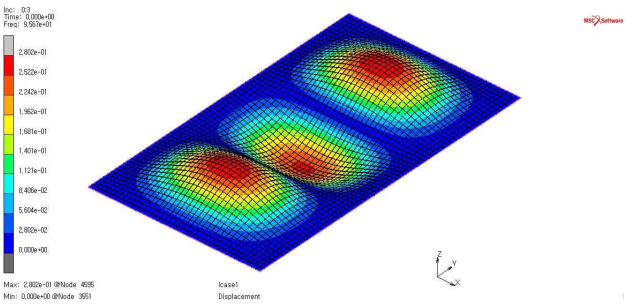
그림 14. model-3의 고유 주파수 시뮬레이션 결과



1차 고유진동수

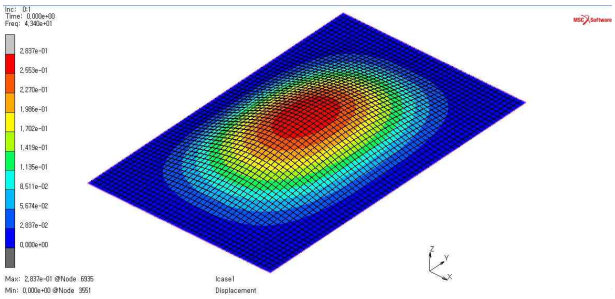


2차 고유진동수

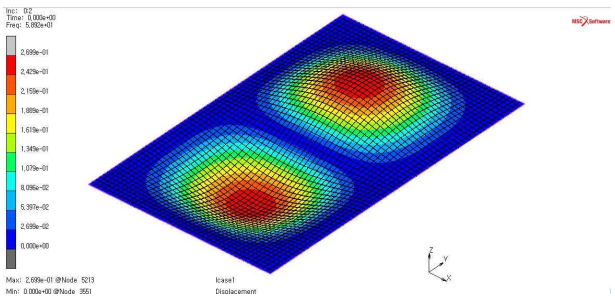


3차 고유진동수

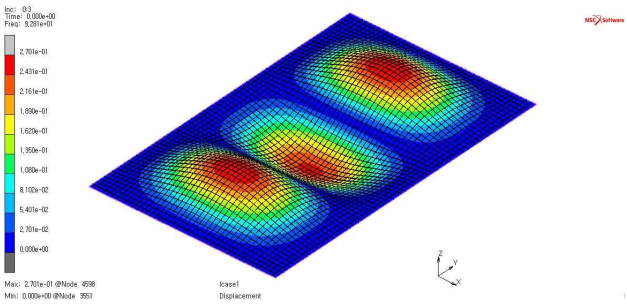
그림 15. model-4의 고유 주파수 시뮬레이션 결과



1차 고유진동수

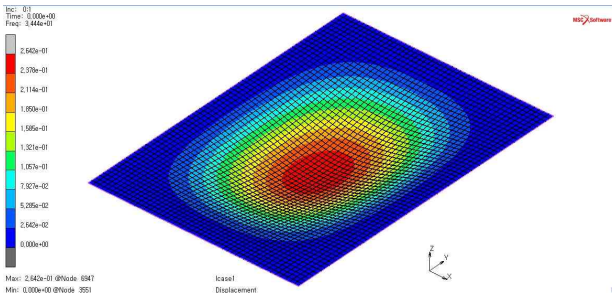


2차 고유진동수

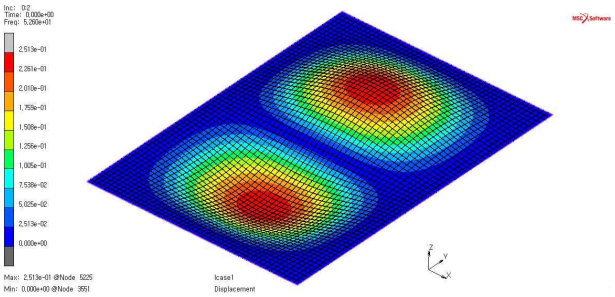


3차 고유진동수

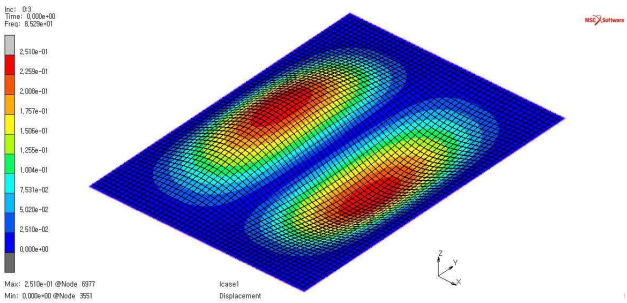
그림 16. model-5의 고유 주파수 시뮬레이션 결과



1차 고유진동수



2차 고유진동수

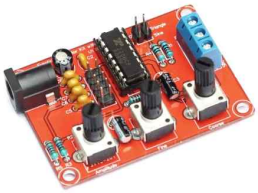


3차 고유진동수

그림 17. model-6의 고유 주파수 시뮬레이션 결과

나. 설계기술 구현을 위한 비용 및 경제성 분석

제안된 설계기술 구현을 위해 장치 구성요소의 부품구입비, 재료비, 가공비, 시제품제작비, 평가 및 AS비 등을 고려한 경제성을 분석하여 시제품의 제조원가를 제시하였다.

항목	내역	가격(원)
부품구입비	**주파수발생기** XR2206 Function Signal Generator Output 1 HZ-1 MHZ 	14,000
	자력발생기 50W-60W Miniature Double-layer Disc Generator with Iron Core Multi-pole Three-phase AC Permanent Magnet Brushless	6,000
	타이머 리얼타임 릴레이 타이머 DC5V	12,000
	거치대 맥스 특대형 블랙이젤과 가방 홍보용 입간판 삼각대 이젤	99,000
재료비	**플라스틱 사출 금형비** 손잡이 : 10,00,000원 손거치대 : 500,000원 몸체 : 3,000,000원	4,500,000
가공비	**플라스틱 사출 외주가공비(플라스틱 재료 포함)**	600,000
시제품제작비	**3D프린터 제작비(PLA 필라멘트 포함)** 손잡이, 손거치대, 몸체 등	600,000
평가 및 AS비	시제품 성능 평가용 장비 대여비	300,000
	창문용 유리 구입비 강화유리 1200*600	56,000
합계		6,187,000

시제품 제작을 위한 원가는 약 6,187,000원으로 산출되었으며 초기 생산품 수량에 따라 다음과 같이 최종 원가는 다음과 같이 제시되었다.

생산품 수량(개)	원가(원)
1	6,187,000
10	618,700
100	61,870

※ 부품구입비는 기존 부품의 가격을 고려한 것으로 개발할 장치의 소형화를 위해서는 개별적으로 제작을 해야할 경우가 발생할 것임. 따라서, 양산제품 원가는 크게 상승할 것으로 예상됨

(3) 설계 내용

디자인 단계	상세 내용
①문제정의	미세먼지가 많아지는 환경에서 쾌적한 실내생활을 하려면 유리 세정을 자주 해야하는데 현재 유리세정 방식은 매우 위험하면서도 원시적이기 때문에 개선해야한다.
②수요조사	•미세먼지에 의한 유리세정의 필요성은 해가 거듭할수록 증가함 •도시는 고층아파트 등 고층건물이 증가하고 고층건물은 아름다운 외관을 유리사용이 증가하기 때문에 유리세정의 필요성도 증가함 •고층건물내 실내생활 시간이 증가하면서 쾌적한 실내주거를 위해 사무실 뿐만 아니라 가정에서도 유리세정의 수요가 증가함
③브레인스토밍	•창문을 열고 자석으로 유리세정하는 제품이 있는데 유사하게 제조할 것. → 유리를 열지 못하는 환경이 갈수록 증가하기 때문에 반영하지 않음 •유리에 부착하여 이동하는 로봇이 유리를 세정하도록 로봇을 개발할 것. → 기존 특허가 있고, 유리에 부착하여 이동하는 로봇은 세정에 필요한 세제, 물 등을 고려할 때 크기와 무게가 크게 증가하기 때문에 실현가능성이 낮음 •먼지가 묻지 않는 유리창을 개발할 것. → 먼지가 묻지 않는 유리창은 유리 제조회사가 개발 중에 있기 때문에 고려하지 않음 •유리가 묻지 않는 필름을 유리에 부착할 것. → 현재 먼지가 묻지 않는 필름은 제품이 있으나 기존 유리에 부착하는 것은 또 다른 힘든 일로 고려하지 않음 •실내에서 안전하게 유리밖 먼지를 제거할 수 있는 장치 개발이 필요함 → 먼지가 유리에 묻는 메카니즘을 학습하여 장치를 개발하는 것이 바람직함. 또한, 인체에 무해해야하고 사용자가 손쉽게 사용할 수 있도록 기능이 단순하면서 가격도 저렴해야 함
④현수준 파악 및 목표설정	•현수준 파악 : 얼마나 깨끗해지면 소비자가 만족해하는지 유리세정 수준을 평가하기 위해 일반 소비자(최소 30인 이상)를 대상으로 유리세정 수준을 설정하기 위한 만족도를 조사하여 현수준을 파악함 •목표 설정 : 평균 만족도 4점이 되기 위한 성능 지표와 제품 지표를 설정함
⑤개념설계	사용설명서 없이 직관적으로 사용할 만큼 조작이 쉽고, 가정 주부가 한손을 들 수 있는 무게이며, 인체에 무해하며, 유리에 손상을 입히지 않는 저렴한 제품으로 다음과 같이 2단계로 기능함

항목	매우 불쾌	불쾌	보통	만족	매우 만족
만족도 점수	1	2	3	4	5

성능 지표	주파수(Hz)	자력(nF)	먼지 면적/유리 면적(%)
제품 지표	소비전력(W)	무게(Kg)	사이즈(가로×세로×높이)

	사용 방법	이론적 배경
	[1단계]주파수를 전달하여 유리의 진동으로 먼지가 살짝 붙어있을 정도로 유리와 먼지의 결합력을 낮춤	•먼지가 유리에 묻는 원리와 결합력 •진동으로 먼지 결합력을 낮추기 위한 주파수와 먼지 결함력 관계
	[2단계]자력이 발생하는 닦기판을 유리에 붙이고 걸래닦기처럼 돌리면서 유리 반대쪽 먼지를 자력에 의해 닦아냄	•자력으로 먼지가 움직이는 원리 •먼지를 움직이는 자력 세기

▼

	구성	기능
⑥상세설계	거치대	유리세정기를 거치대에 고정시킴
	주파수 발생기	작동 버튼을 누르면 유리에 진동을 주는 장치로 유리파손이 되지 않는 주파수 영역 (34.44 Hz ~ 111.5 Hz 대역 제외)의 주파수를 발생
	타이머	주파수 발생 시간 또는 작업시간 조절을 위한 제어기
	자력 발생기	유리의 먼지를 자력으로 닦아내기 위한 자력 발생시킴
	손잡이	유리세정 장치를 유리에 붙일 때 한손으로 잡기 위함
	손거치대	유리세정 장치를 유리에 붙일 때 양손을 사용하기 위함
	자력 닦기판	바깥쪽 유리 표면의 먼지를 자력으로 닦아내기 위한 판

▼

⑦시제품제작 (향후 계획)	•주파수 발생기, 자력 발생기, 타이머 등은 크기와 무관하게 시중에서 구입함 •3D 프린터를 사용하여 손잡이, 손거치대, 하우징 등을 제작함 •구입한 부품과 3D 프린터로 제작한 장치 구성품들을 조립함

▼

⑧평가 및 디자인 개선 (향후 계획)	•유리에 묻은 먼지가 제거되는지 유리세정장치의 성능을 확인하면서 적정 주파수와 자력발생기 등의 사양을 상세하게 설정함 •최종 제품의 무게를 줄이고 사이즈를 축소하기 위해 기능구현 부품들의 소형화를 위해 자체제작 등을 고려하고, 3D 프린터 외에도 사출성형에 의한 손잡이, 손거치대, 하우징 등의 제작을 고려함 •성능지표 및 제품지표 달성여부를 확인한 후 제품 성능의 재현성과 반복성을 평가함 •제품의 안전성을 위해 유리의 내구성 시험, 인제유해성 검증 등을 장기간 평가함 •직관적인 사용이 가능하도록 외형 디자인은 최대한 간단하게 하고, 유지보수가 쉽도록 분해・조립이 간편하도록 하기 위해 볼트결합을 최소화함

3. 설계 수행 일정

설계 진행 내용	4월	5월	6월	7월	8월	9월	진척도
① 장치 개념설계							100%
② 장치 요소부품 구성							100%
③ 유리 종류 조사							100%
④ 먼지와 유리의 결합력 연구							100%
⑤ 유리 공명 특성 기초 연구							100%
⑥ 자력에 의한 먼지제거 방안 연구							100%
⑦ 유리 공명 특성 시뮬레이션 수행							100%
⑧ 장치 시제품 설계							100%
⑨ 최종보고서 작성							100%

4. 설계 결과물

(1) 최종 결과물 형상 및 작동원리

가. 최종 결과물 형상

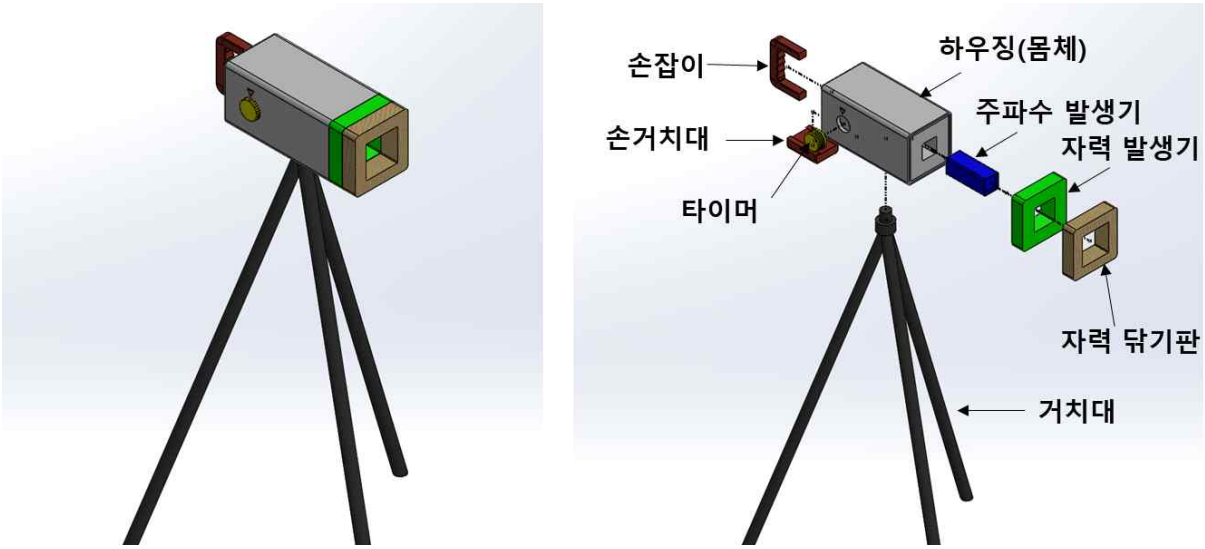
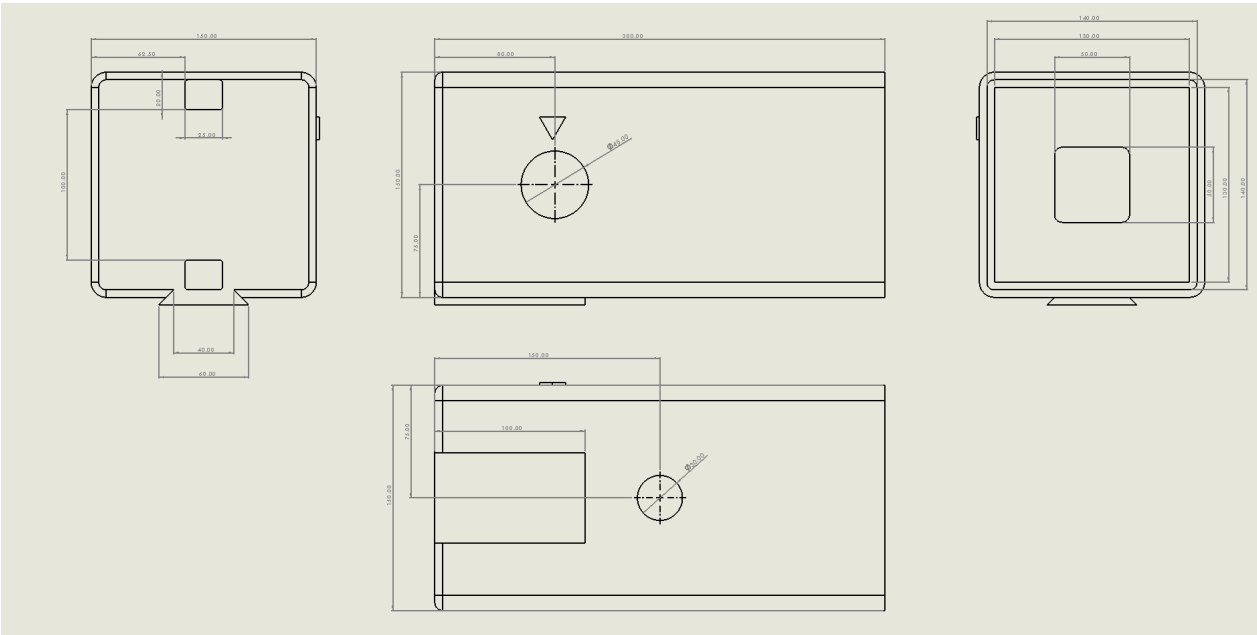
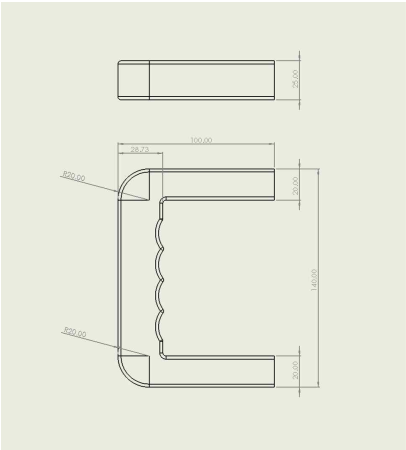


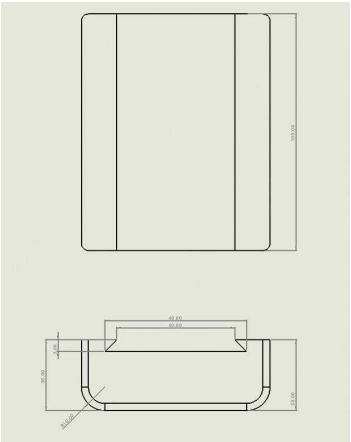
그림 18. 최종 제품 형상



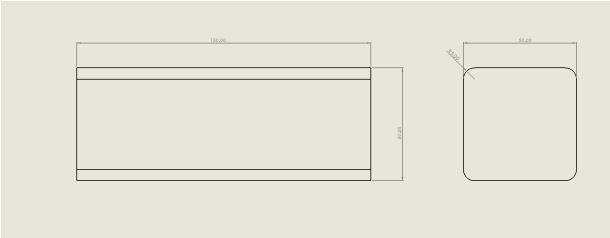
하우징(몸체)



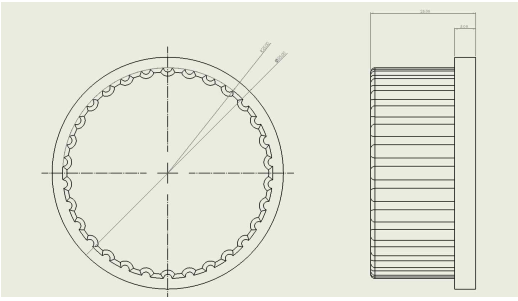
손잡이



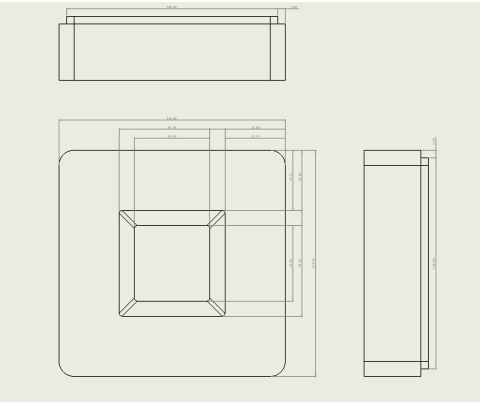
손거치대



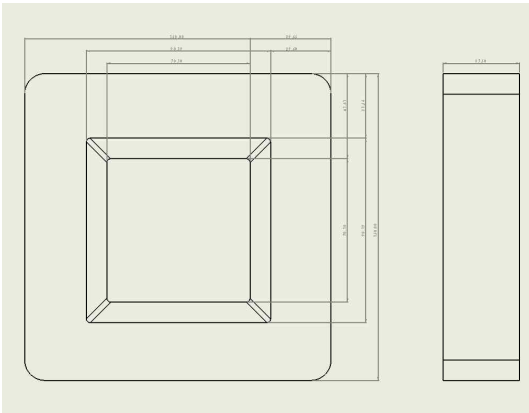
주파수 발생기



타이머



자력발생기



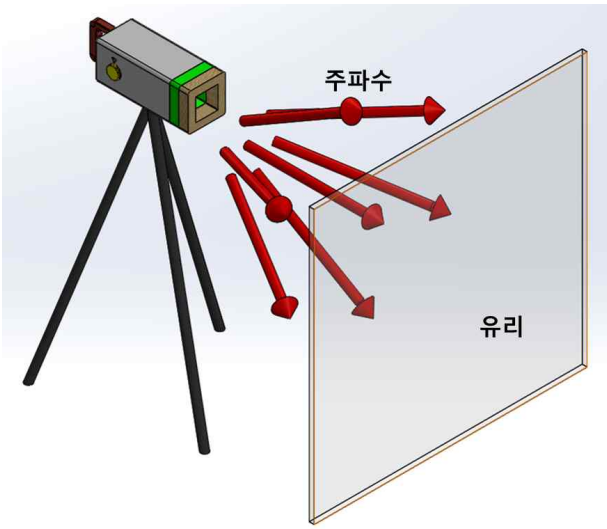
자력 닦기판

그림 19. 최종 제품의 부품도

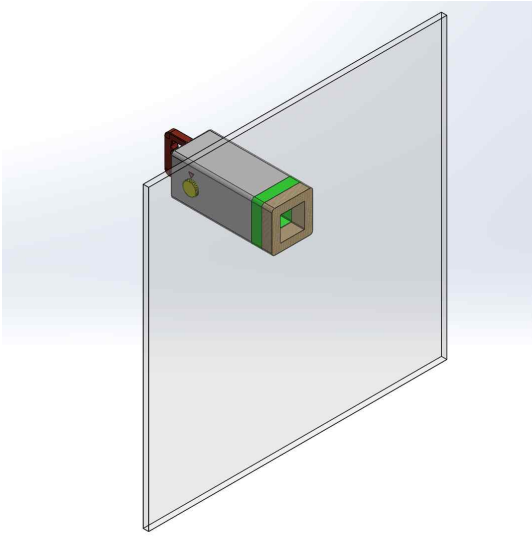
나. 작동원리 및 과정

작동 단계	작동원리 및 과정	부품
[1단계]주파수를 전달하여 유리의 진동으로 먼지가 살짝 붙어있을 정도로 유리와 먼지의 결합력을 낮춤	유리세정기를 거치대에 고정시킴	거치대
	작동 버튼을 누르면 유리에 진동을 주는 장치로 유리 파손이 되지 않는 주파수 영역 (34.44 Hz ~ 111.5 Hz 대역 제외)의 주파수를 발생시킴	주파수 발생기
	주파수 발생 시간 또는 작업시간 조절을 위한 제어기	타이머
[2단계]자력이 발생하는 닦기	유리의 먼지를 자력으로 닦아내기 위한 자력 발생시킴	자력 발생기

판을 유리에 붙이고 걸래닦기처럼 돌리면서 유리 반대쪽 먼지를 자력에 의해 닦아냄	유리세정 장치를 유리에 붙일 때 한손으로 잡기 위함	손잡이
	유리세정 장치를 유리에 붙일 때 양손을 사용하기 위함	손거치대
	바깥쪽 유리 표면의 먼지를 자력으로 닦아내기 위한 판	자력 닦기판



(a) 1단계



(b) 2단계

그림 20. 최종 제품 가상 작동도

(2) 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

가. 필요성

증가하는 고층건물 속에서 쾌적한 실내생활을 위해서는 깨끗한 유리 세정이 반드시 필요하지만 현재는 사람이 밧줄에 메달려 유리를 청소하는 원시적인 방식을 사용하기 때문에 매우 위험하다. 따라서 실내에서 안전하게 유리를 세정할 수 있는 장치가 개발된다면 대단히 높은 만족도를 가진 가전제품이 될 가능성이 높다.

나. 차별성

본 연구에서 제시된 유리세정 장치는 누구나 안전하게 유리를 세정할 수 있는 장치로써 물을 사용하지 않고 실내에서 조작가능하다는 것이 가장 큰 장점이다. 또한 최종 개발될 장치는 사용설명서 없이 직관적으로 사용할 만큼 조작이 쉽고, 유지보수가 용이하도록 분해·조립이 매우 편리하게 디자인이 구현될 예정이다.

다. 상용화 가능성

주파수와 자력에 의한 유리세정 효과가 확인된다면 유리세정 수요와 유리세정 방식의 안전성 측면에서 매우 높은 수요가 발생할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구의 내용을 특허출원하여 지적재산권을 확보한 후 유리세정 효과를 검증하는 반복실험을 거쳐 대량생산 제조공법을 적용하여 원가절감을 이뤄낸다면 충분한 상용화 가능성이 있다고 판단된다.

5. 활용방안 및 기대효과

최종 설계 결과물은 시제품 제작을 앞둔 상세설계 단계이다. 따라서 3D 프린팅 등을 활용하여 유리세정 기능 구현이 가능한 시제품을 제작한 후 실제 유리를 대상으로 실험을 해야 한다. 소비자를 대상으로 만족해할 수 있는 유리세정 수준을 선정한 후 그 수준을 달성하기위한 추가적인 디자인 개선을 수행한다면 전 세계 모든 가정이나 사무실의 필수 제품이 되고, 모든 사람들이 깨끗한 시야를 확보하여 쾌적한 실내 거주환경을 누릴 수 있을 것으로 기대된다.

<참고문헌>

1) 한국정밀공학회 뉴스레터, 2018, Vol.06 https://test.narangdesign.com/mail/kspe/201812/a3.html.
2) Olympus 공식 웹사이트, 2022, “DSLR SSWF”, https://olympus.co.kr/Html/product/dslr/tech_02.html.
3) 송원길, 정규철, 백재호, 안채헌, 2012, “디스플레이용 평판 유리의 모달 테스트 방법”, 한국소음진동공학회 2012년 추계학술대회논문집, pp. 490-491.
4) Rima J. Isaifan, Daniel Johnson, Luis Ackermann, Benjamin Figgis, Mohammed Ayoub, 2018, “Evaluation of the adhesion forces between dust particles and photovoltaic module surfaces”, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume: 191, pp. 413 - 421.
5)http://kais.kccworld.co.kr/common/jsp/upload/download.jsp?SRC=/user/itpan/upload/s02/salecommon/(20141204103626)1.
6) Acoustics 3B Factors Influencing Glazing Performance, 2018 Saint-Gobain Building Glass UK.
7) Nathera Abbass, Salwan K.J. Al-Ani, 2013, “The response of a window glass to ther frequencies of sound”, Int. J. Nanoelectronics and Materials 6 pp.9-16.
8) http://ko.solar-led-lights.com/news/some-reserches-about-the-high-tech-self-cleani-18033015.html.
9) 이현승, 이영신, 김현수, 이장원, 이세훈, 2005, “다점지지된 TFT-LCD 유리기판의 고유진동수 최적화”, 한국소음진동공학회 2005년도 춘계학술대회논문집, pp.246-249.
10) Ali Reza Pouladkhan, Jalil Emadi, Majid Safamehr, Hamed Habibolahiyan, 2011, “The Vibration of Thin Plates by using Modal Analysis”, World Academy of Science, Engineering and Technology 59, pp.2880-2885.
11) 송원길, 정규철, 백재호, 안채헌, 2012, “디스플레이용 평판 유리의 모달 테스트 방법”, 한국소음진동공학회 2012년도 추계학술대회논문집, pp.490-491.