

# 대한기계학회 주선

## 제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

# 설계 최종 보고서

참가부	고등부 ( ) / 대학부 ( ■ )				
참가분야	공모주제 ( ■ ) / 자유주제 ( )				
참가팀명	디딤돌				
설계제목	문 고정 메커니즘 및 에너지 하베스팅 기능을 도입한 도어클로저 기술 개발				
지도교수/교사	(소속) 고려대학교 기계공학부 (성명) 심재경 (연락처)		(이메일)		
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	임상현	고려대학교 기계공학부			

## 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	임상현	고려대학교 기계공학부 / 4학년	
2	강복기	고려대학교 기계공학부 / 3학년	

# 설계 요약문

참가분야	공모주제 ( ■ ) / 자유주제 ( )
참가팀명	디딤돌
설계제목	문 고정 메커니즘 및 에너지 하베스팅 기능을 도입한 도어클로저 기술 개발
대표자명	임상현
요약문	<p>현대의 주거 및 상업 시설은 안전 및 편의성을 증진하기 위해 다양한 안전 장치와 IoT 시스템을 현관문에 도입하고 있다. 이로써 현관문은 뛰어난 보안 및 효율적인 출입 통제 기능을 제공하게 되었다. 그러나 다양한 안전장치와 IoT 시스템을 현관문에 설치하는 과정은 복잡하며, 이러한 현대적인 안전 시스템은 전기 에너지에 의존하므로 전력 공급 문제를 고려해야 한다. 이는 사용자 편의성 면에서 부적합한 상황이다. 본 논문은 이러한 문제에 대응하기 위해 두 가지 기술을 결합하여 활용한다. 첫째로, 도어클로저의 유체 댐퍼를 발전기 댐퍼로 대체하여 '에너지 하베스팅'을 가능하게 한다. 둘째로, 도어클로저 기구장치를 고정하거나 제한하여 도어클로저가 자체적으로 도어스토퍼와 안전고리의 역할을 수행하도록 설계한다. 이를 통해 현대 사회에서 보다 나은 보안 및 사용자 편의성을 추구하는데 기여한다.</p> <p>도어클로저 내부의 스프링은 무거운 문을 닫을 수 있을 만큼 강한 강성을 가지고 있어 문을 열 때 스프링에 많은 에너지가 저장된다. 이 저장된 에너지를 활용하여 댐퍼로 인해 소산되는 열에너지를 에너지 하베스팅하여 전기 에너지로 변환하는 기술을 설계하였다. 이를 위해 기존 도어클로저의 랙 피스톤에 발전기의 피니언을 연결하여 댐퍼 역할을 대신하게 하였다. 또한, 발전기 회전자와 자석 사이의 거리를 조절하여 댐퍼의 감쇠 계수를 조정할 수 있도록 하였다. 발전기에 연결된 피니언은 래치 구조로 만들어 역방향 회전을 방지하였다. 이를 통해 기존 도어클로저와 같은 성능을 유지하면서 추가적인 전기발전을 실현하였다. 다음으로 도어클로저는 도어스토퍼와 안전고리의 역할을 수행하기 위해 랙 피스톤에 썸을 박아 특정 위치에 고정될 수 있도록 하였다. 이는 도어클로저가 도어스토퍼 또는 안전고리로 작동할 수 있도록 한다.</p>
설계프로젝트의 입상 이력	

# 문 고정 메커니즘 및 에너지 하베스팅 기능을 도입한 도어 클로저 기술 개발

임상현\* · 강복기\*\*

\*고려대학교 기계공학부 \*\*고려대학교 기계공학부

## Development of door closer technology equipped with door fixing and energy harvesting functions

Im Sang-hyun\*, Kang Bok-gi\*\*

\* School of Mechanical Engineering, Korea University

\*\* School of Mechanical Engineering, Korea University

(Received September 11, 2023)

**Key Words:** Door Closer(도어클로저), Energy Harvesting(에너지 하베스팅), Door Stopper(도어스토퍼), Security Door Guard(안전고리), Generator Damper(발전기형 댐퍼)

**초록:** 현대 주거 및 상업 시설은 안전과 편의성을 높이기 위해 다양한 안전장치와 IoT 시스템을 현관문에 도입하고 있다. 그러나 이로 인해 복잡성과 전력 공급 문제가 발생하고 있다. 본 논문은 이 문제를 해결하기 위해 두 가지 기술을 결합하여 활용한다. 첫째로, 도어클로저의 유체 댐퍼를 발전기 댐퍼로 대체하여 '에너지 하베스팅'을 가능하게 한다. 둘째로, 도어클로저 기구를 고정하여 도어클로저가 도어스토퍼와 안전고리의 역할을 수행하도록 설계한다. 이를 통해 더 나은 보안과 사용자 편의성을 제공하는 현관문 시스템을 제안하고자 한다.

**Abstract:** This design utilizes two technologies. First, 'energy harvesting' is possible by replacing the door closer's fluid damper with a generator damper. Second, it fixes or restricts the door closer mechanism, allowing the door closer to function as a doorstop and security door guard its own.

## 1. 서론

현대의 주거 및 상업 시설은 안전과 편의성을 향상하기 위해 다양한 안전장치와 IoT(Internet of Things) 시스템을 현관문에 설치하고 있다. 이러한 기술의 도입으로 현관문은 높은 수준의 보안과 효율적인 출입 통제 기능을 제공할 수 있게 되었다. 그러나 다양한 종류의 안전장치와 IoT 시스템을 현관문에 설치하는 과정은 복잡하다. 또한, 현대적인 안전 시스템은 전기에너지의 공급에 의존하므로 운용 시 전력 공급을 고려해야 한다. 이는 사용자 편의성 면에서 부적합하다.

본 논문은 이에 대응하여, 현관문의 도어클로저가 도어스토퍼와 안전고리의 역할을 대신할 수 있도록 하였다. 동시에 에너지 하베스팅 기술을 활용하여 현관문 시스템에 전원을 공급하는 기술을 제안하였다.

† Corresponding Author, [2020170758@korea.ac.kr](mailto:2020170758@korea.ac.kr)

© 0000 The Korean Society of Mechanical Engineers

이를 통해 현관문 시스템의 안정성을 유지하고 복잡성을 극복함으로써, 사용자 경험을 향상할 수 있는 방안을 제안하였다. 본 연구는 현관문 시스템의 향상과 발전에 기여함으로써, 미래사회에서의 더 나은 보안 및 사용자 편의성을 추구한다.

## 2. 본 론

### 2.1 문제 정의 및 설계의 목적

대한민국의 현행 소방시설법에 따르면 방화구획에 설치되는 문에는 도어클로저가 필수적으로 설치되어야 한다<sup>(1)</sup>. 이로 인해 주거구역과 비즈니스구역에서 도어클로저가 널리 사용되고 있지만, 현대의 도어클로저는 19세기 후반에 처음 개발된 이후로 아무런 발전이 이루어지지 않은 상태이다. 이에 따라 도어클로저의 개발과 성능 향상이 더욱 중요하고 필요한 시점이다.

도어클로저의 유체형 댐퍼는 스프링에 저장된 에너지를 활용하지 못하고 열에너지로 소산한다. 또한, 도어클로저는 문을 특정 각도에서 고정하는 데에 한계가 있어, 원하는 각도로 문을 고정하기 위해서는 도어스토퍼와 같은 별도의 장치를 추가로 설치해야 한다.

본 논문에서는 도어클로저의 유체형 댐퍼가 소비하는 에너지를 외부로 소산하는 대신, 전기에너지로 변환하여 현관문에 부착된 다른 장치들에 전원을 공급할 수 있는 기술을 개발하였다. 또한, 현관문에 설치되는 도어클로저가 도어스토퍼와 같은 기능을 수행하고 동시에 안전고리의 역할도 할 수 있는 설계를 제안하였다. 이러한 설계를 통해 다음과 같은 혜택을 얻을 수 있다.

첫째는 ‘환경개선’이다. 현대 사회에서는 안전과 사용자의 편의가 중요시되며, 목적에 맞게 IoT 스마트 도어 센서, 일산화탄소 감지기, 비상대피등 등의 부가적인 장치를 현관문에 설치하는 경우가 늘어나고 있다. 그러나 이러한 장치들은 외부 전원 공급을 해야 하므로 온실가스 발생 및 사용된 전지의 폐기물로 인한 환경오염 문제를 유발한다. 이에 본 설계는 댐퍼에서 발생한 에너지를 '도어클로저'의 전원 공급에 활용함으로써 현관문에 일시적으로 상시전원을 제공하고, 장치 구동을 위한 별도의 전원 관리가 필요하지 않도록 하였다. 이 기술은 온실가스 발생과 사용된 전지 폐기물을 줄이는 측면에서 '지속 가능한 발전'에 이바지할 것으로 기대된다.

둘째는 ‘편의성 증진’이다. 현관문에 과도한 수의 장치들을 설치하면 시공이 복잡해지고 미적인 불편함을 초래할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 '도어클로저'가 '도어스토퍼'와 '안전고리'의 기능을 대체할 수 있도록 설계하였다. 이로써 '도어스토퍼'나 '안전고리'를 별도로 설치할 필요가 없어지며, 이는 미적 개선과 경제적 이점을 제공한다.

셋째는 ‘사회적 안정성’이다. 본 설계는 문을 열기만 하여도 댐퍼로부터 에너지를 얻을 수 있다. 이러한 에너지를 IoT 스마트 도어 센서, 일산화탄소 감지기, 비상유도등 등과 같은 사회 안전장치가 자동으로 운영되는 데 활용할 수 있다. 이는 사회적 안전과 재난 대응을 강화하는 기능을 수행할 것이다.

### 2.2 설계 방법

#### 2.2.1 설계 목표 설정

본 보고서에서는 앞서 정의된 목적들을 모두 만족할 수 있는 도어클로저를 설계하기 위해 다음의 설계 조건을 만족해야 한다.

첫째, 별도의 전원 관리 없이도 문에 부착된 전기 장치들을 사용할 수 있어야 한다. 따라서 도어클로저에서 자체적으로 전력을 생산할 수 있는 방식이 필요하다.

둘째, 개선된 도어클로저를 사용할 때도 기존 도어클로저와 같은 힘으로 문을 열 수 있어야 한다. 제안된 설계는 기존 도어클로저의 성능을 저하하지 않아야 한다.

셋째, 개선된 도어클로저를 사용할 때도 기존 도어클로저와 같게 속도와 강도를 조절할 수 있어야 한다. 이는 도어클로저가 다양한 문의 크기와 무게에 대응할 수 있도록 한다.

넷째, 개선된 도어클로저는 ‘도어스토퍼’와 ‘안전고리’의 기능을 대신할 수 있어야 한다. 즉, 본 설계를 통해 도어클로저, 도어스토퍼, 그리고 안전고리의 모든 기능을 통합해야 한다.

### 2.2.2 개념설계

기존 도어클로저의 내부구조는 Fig. 1과 동일하다. 이후, 개선된 도어클로저는 2.2.1절에서 소개한 각 설계 요건을 고려하여 다음과 같이 설계되었다.

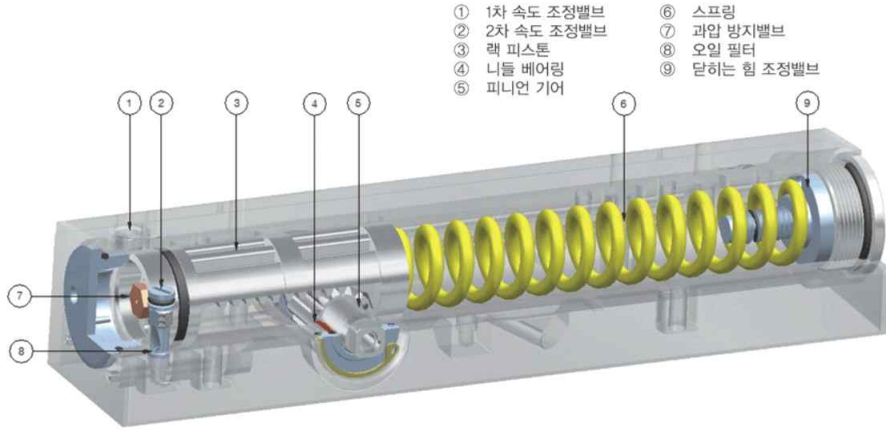


Fig. 1 Conventional door closer<sup>(1)</sup>

첫째, 도어클로저가 자체적으로 전력을 생산할 수 있도록 유체형 댐퍼를 발전기형 댐퍼로 대체하였다. 이 ‘에너지 하베스팅 시스템’은 ‘Mass-spring-damper 진동시스템의 운동방정식’과 ‘페러데이 법칙’과의 유사성을 기반으로 타당성을 입증하였다. 식(1)은 Mass-spring-damper 진동시스템의 운동방정식을 나타내며, 두 번째 항은 유체형 댐퍼의 점성감쇠(viscous damping)를 설명한다. 여기서 상수  $c$ 는 감쇠계수(damping coefficient)를 나타내고,  $\frac{dx}{dt}$ 는 질량  $m$ 의 선형 속도를 나타낸다.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (1)$$

식(2)는 페러데이의 전자기 유도 법칙을 나타내는 공식이다. 여기서,  $\epsilon$ 은 전류 고리에 유도되는 기전력,  $N$ 은 전류 고리의 수, 그리고  $\frac{d\phi_B}{dt}$ 은 전류 고리를 통과하는 자기 다발의 시간 변화율을 나타낸다. 페러데이의 전자기 유도 법칙에 따라, 회전체 내부에서 자기 선속의 변화에 따른 힘이 발생한다. 이러한 힘은 회전체의 운동을 억제하여 감쇠 현상을 유발한다.

$$\epsilon = -N \frac{d\phi_B}{dt} \quad (2)$$

식(1)의 두 번째 항과 식(2)는 모두 시간에 대한 1계 미분에 외부에서 조절할 수 있는 상수가 곱해져 있다. 이러한 유사성을 통해 발전기가 유체 댐퍼의 역할을 대체할 수 있다는 사실을 확인할 수 있다. 식(2)에 따라 발전기형 댐퍼는 유체 댐퍼처럼 댐퍼의 성능을 조정할 수 있다. 이는 발전기에 구리선 감긴 횟수를 변경하거나 자기선속 변화 속도를 조절하면 된다. 또한, 발전기형 댐퍼는 유체 댐퍼처럼 문이 더 빠르게 닫힐수록 더 많은 운동에너지를 다른 형태의 에너지로 변환할 수 있다. 여기서, 기존 도어클로저의 유체 댐퍼는 운동에너지를 열에너지로 소산하는 반면, 개선된 도어클로저의 발전기형 댐퍼는 운동에너지를 전기에너지로 변환하여 저장할 수 있다. 이 설계에서는 발전기의 피니언을 기존 도어클로저의 랙 피스톤 부분과 연결함으로써 발전기가 댐퍼의 기능을 수행할 수 있도록 하였다.

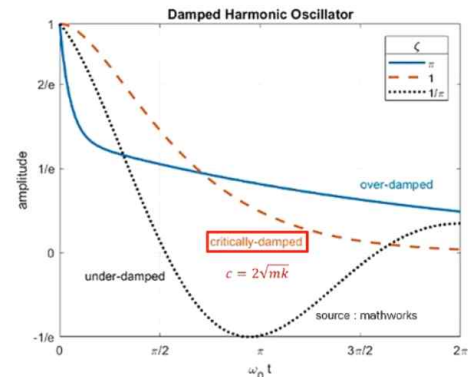
둘째, 개선된 도어클로저를 사용할 때도 기존 도어클로저와 같은 힘으로 문을 열 수 있어야 한다. 따라서 발전기형 댐퍼가 문이 닫힐 때만 작동되도록 설계하였다. 기존 도어클로저의 경우 문이 열릴 때 유

체형 댐퍼가 에너지를 뺏지 않으며, 사용자의 모든 에너지가 문을 개방하는 데 사용될 수 있도록 백체 밸브(Backcheck Valve)를 사용한다. 개선된 도어클로저도 문이 열릴 때 추가 에너지를 소모하지 않도록 '역전방지 장치를 적용한 기어'를 사용하였다. 역전방지 장치를 적용한 기어는 발전기의 피니언이 단방향으로만 회전하도록 만드는 래칫(ratchet)장치이다. 역전방지 기어를 통해 문을 열 때, 피니언이 발전기의 축과 독립적인 상태가 되어 피니언이 자유롭게 회전하므로 발전기가 동작하지 않는다. 그러나 문을 닫을 때 폴(pawl)은 피니언의 내부 이(internal teeth)에 끼어 피니언이 발전기의 축과 일체로 회전한다. 따라서 발전기 피니언을 래칫(ratchet)구조로 하면 문이 열릴 때, 발전기가 역방향으로 회전하는 것을 방지할 수 있다. 이를 통해 기존 도어클로저의 성능을 구현하면서 추가적인 전기발전을 할 수 있다. 또한, 발전 장치에 별도의 정류기(rectifier)를 설치할 필요가 없다.

셋째, 발전기형 댐퍼는 유체 댐퍼와 동일하게 속도와 강도를 조절할 수 있어야 한다. 기존 도어클로저의 경우 다양한 문의 크기와 무게에 대응할 수 있도록 조절 밸브(adjustment valve)가 설치되어 있습니다. 이 조절 밸브는 Fig. 2(a)와 같은 댐퍼 조절 나사(damper adjustment screw)와 연결되어 있다. 문이 빠르고 충격 없이 닫히도록 댐퍼 조절 나사를 조정해야 하며, 이는 Mass-spring-damper 진동 시스템의 선도를 통해 Fig. 2(b)와 같이 표현할 수 있습니다. Fig. 2(b)에 따르면 도어클로저의 댐퍼가 임계감쇠상수(critically-damped coefficient)를 가질 때, 문이 빠르고 충격 없이 닫힌다.



(a) damper adjustment screw



(b) Graph of Mass-spring-damper vibration system

**Fig. 2** Adjust damping of existing door closers

발전기형 댐퍼는 감쇠를 문의 질량에 맞게 조절해야 한다. 개선된 도어클로저의 감쇠를 조절하는 방법으로 발전기에 구리선 감긴 횟수를 조정하거나, 발전기에 연결된 피니언의 잇수를 조정할 수 있다. 그러나 이러한 방식은 문의 질량에 따라 도어클로저를 새롭게 설계해야 하는 문제가 있다. 따라서 본 설계에서는 발전기의 자기 선속을 변경하여 이를 해결하였다.

역학에너지를 전기에너지로 변환하는 발전기는 중심의 회전자(철심)와 외부를 감싸는 고정자(자석)를 사용하여 자기장을 형성하고 전기를 생성한다. 이러한 발전기의 원리는 패러데이의 전자기 유도 법칙을 따른다. 이 법칙에 따르면 자기 선속의 변화에 따라 전기에너지가 생성된다.

이를 이용하여 자석 사이의 거리를 조절하여 자기 선속을 변화시킬 수 있는 발전기를 설계하였다. Fig. 3과 같이 두 자석이 회전자와 가까워질 때(Fig. 3(a)), 회전자의 자기 선속 변화가 크다. 반대로 두 자석이 회전자와 멀어질 때(Fig. 3(b)), 회전자의 자기 선속 변화가 작다.

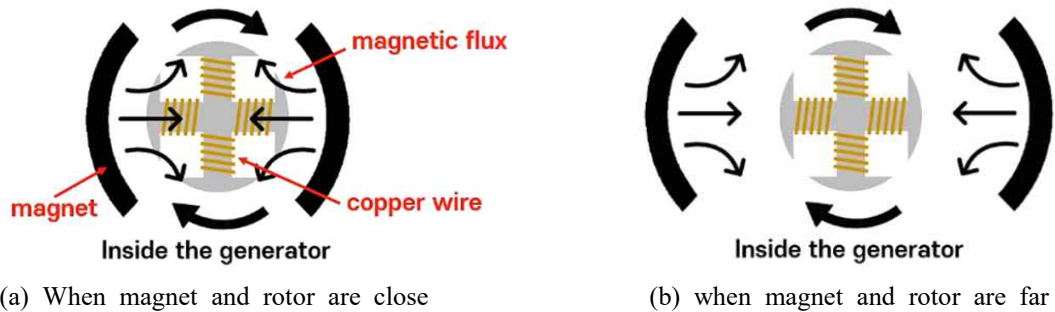


Fig. 3 Variation of rotor magnetic flux according to the position of the magnet

넷째, 개선된 도어클로저는 '도어스토퍼'와 '안전고리'의 기능을 대신할 수 있어야 한다. 이를 위해 도어클로저 내부의 랙 피스톤(Fig. 1)을 Fig. 4와 같이 변형한 후, 체인과 걸쇠를 추가로 도어클로저에 설치하였다.

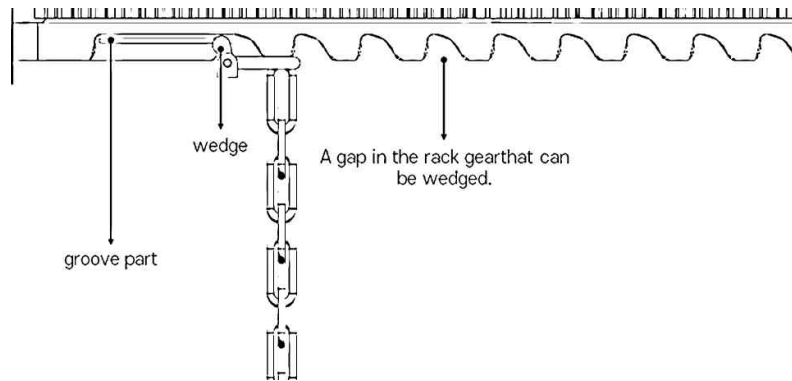


Fig. 4 Door closer with additional chain and latch

Fig. 4의 체인은 걸쇠 기구와 연결되어 있으며, 체인을 잡아당기면 걸쇠가 도어클로저의 랙 피스톤에 걸려 도어클로저 스프링에 의한 힘을 억제한다. 이는 개선된 도어클로저가 기존의 도어스토퍼 역할을 대체할 수 있도록 한다. 또한, 문을 완벽히 닫은 후 체인을 잡아당기면 걸쇠가 랙 피스톤의 그루브에 걸려 문이 일정 부분까지만 열리도록 한다. 또한, 완벽히 닫힌 상태에서만 걸쇠가 풀릴 수 있다. 이는 개선된 도어클로저가 기존의 안전고리 역할을 대체할 수 있도록 한다.

### 2.2.3 문헌 고찰

기존 연구 및 특히 문헌 검토 결과, 도어클로저에서 에너지 수확 및 랙 피스톤 고정을 통해 도어스토퍼 기능을 적용한 사례는 발견할 수 없었다. 그러나 유사한 사례 중 진동에너지를 전기에너지로 변환하는 연구와 문 경첩 부분에 발전기를 설치하는 특허<sup>(3)</sup>가 존재하는 것으로 확인되었다.

진동에너지를 전기에너지로 변환하는 연구에는 자동차의 댐퍼에 발전기를 부착하여 자동차의 진동을 전기에너지로 전환하는 연구<sup>(4)</sup>가 있었다. 그러나 이 경우 별도의 정류기가 필요하며, 자동차가 험한 지면을 달리지 않는 한 생성된 에너지의 양이 적어 경제적으로 효율이 낮았다. 따라서 본 연구는 이전 연구와 차별화된 방식으로 '도어클로저의 댐퍼를 활용하여 더 많은 전기에너지를 획득하는 방법을 제안하였다. 또한, 도어클로저 내부에 '래킷 기어'를 삽입하여 별도의 정류기 없이도 기존 도어클로저의 모든 성능을 유지하면서 전류만을 생성하는 시스템을 고안하였다.

문의 경첩 부분에 발전기를 부착한 특허의 경우, 문을 열 때 발전기가 작동한다. 이는 문을 열 때 발전기가 문을 여는 힘을 억제한다는 사실을 나타낸다. 또한, 문이 닫힐 때 발전이 이루어지므로 별도의 정류기가 필요하다. 본 연구에서는 래킷 기어를 통해 이러한 문제를 해결하였다. 문을 열 때 발전기는 작동하지 않으므로 추가적인 에너지 소비가 발생하지 않는다. 그리고 발전기는 한 방향으로만 회전하므로 별도의 정류기 설치가 필요하지 않다.

도어클로저는 국가기술표준원에서 정한 기준(KS)에 따라 KS 인증을 받을 수 있다<sup>4)</sup>. 본 연구에서는 기존 도어클로저 부품 중 일부를 활용하며, 감쇠를 조절할 수 있는 발전기형 댐퍼를 채택하였기 때문에 제시된 기준을 충족시킬 수 있다.

#### 2.2.4 경제성 분석

제안된 설계기술의 구현을 위한 비용 및 경제성을 분석하였다. 본 제품은 기존 도어클로저보다 뛰어난 성능을 보이며, 제작 비용 측면에서 큰 차이가 없다. 이러한 차이는 기존 도어클로저에서 사용되는 유압유를 발전기로 대체할 수 있기 때문이다. Table 1은 유압 댐퍼에 사용되는 유압유와 발전기형 댐퍼에서 사용되는 발전기의 구매 가격 차이를 보여준다. Table 1의 제품 가격은 2023년 9월 1일에 Naver 쇼핑(<https://shopping.naver.com>)을 통해 확인한 결과를 기반으로 하며, 각 가격은 최저가를 기준으로 하였다. 앞서 언급한 설계에 따라 개선된 도어클로저에서 발전기를 제외한 나머지 부품들은 기존의 도어클로저와 같다.

**Table 1** Price comparison between hydraulic dampers and generator type dampers

Product name	hydraulic oil (engine oil 1L)	hydraulic oil (cutting oil 1L)	hydraulic oil (spindle oil 1L)	generator (GEE FC-280SA)
Price(Won)	1,500	1,350	1,200	1,150

시장 보고서에 따르면 세계 도어클로저 시장은 2021~2025년 동안 1억 9,728만 달러로 확대될 것으로 예상되며, 이 기간에 연평균 복합 성장률이 4.31%에 달할 것으로 예측된다<sup>5)</sup>. 이를 통해 도어클로저에 대한 수요가 지속될 것으로 판단된다. Table 1에서 확인할 수 있듯이 본 제품은 기존 도어클로저와 가격 차이가 크지 않으리라고 예상된다. 그러나 성능 측면에서 본 제품이 더 우수하므로 추후 시장에서 더 높은 선호도를 얻을 것으로 예상된다. 이 분석을 통해 제안된 설계 기술의 경제성을 확인할 수 있다.

#### 2.2.5 제약 조건

본 설계는 '삼화정밀'사의 'K630' 제품의 부품 치수를 참고하여 기구 설계를 진행하였다. 이에 대한 자세한 정보는 Table 2에서 확인할 수 있다.

**Table 2** Dimensions of parts of 'K630' product

module of rack gear	main arm	link arm	Diameter of pinion gear
0.8	200mm	200mm	40mm

Table 2의 치수를 기반으로, 기존 도어클로저를 모델링하였다. 이 작업에는 UG사의 NX프로그램을 활용하였으며, 도어클로저의 복잡한 형태를 고려하여 각 부분에 가해질 응력을 유한요소 해석 프로그램을 사용하여 분석하였다 (Fig. 5). 안전계수는 301)으로 설정하였으며, 시제품 제작을 고려해 재질은 ABS로 설정하였다.

1) 기존 3D프린터 출력물의 항복 응력을 고려한 경험적 수치이다.



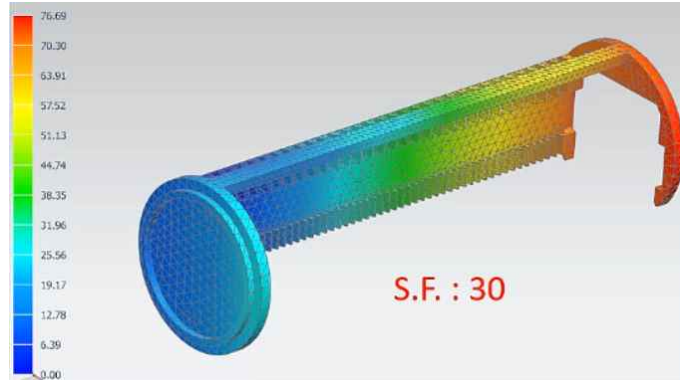


Fig. 5 Mechanical design through finite element analysis of door closers

이 과정에서, 식(3)에 따라 실제 도어클로저의 스프링 강성을 계산하고, 이 값을 유한요소 해석에 활용하였다. 여기서,  $d$ 는 스프링 단면의 직경,  $R$ 은 나선형 스프링 전체의 반경,  $n$ 은 스프링이 감긴 수, 그리고  $G$ 는 shear modulus이다. 식(3)을 통해 계산된 스프링의 강성은 약 130N/m이다.

$$k = \frac{Gd^4}{64nR^3} \quad (3)$$

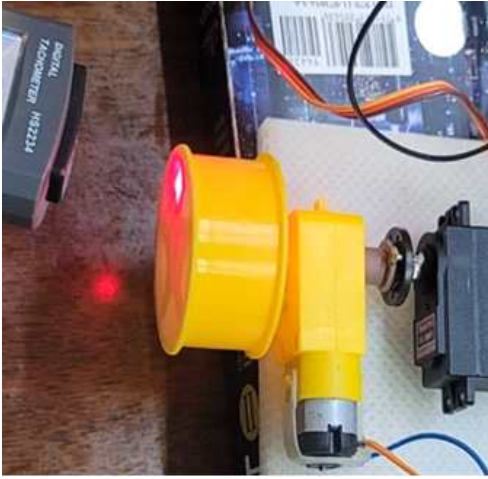
계산된 강성에 따라 ABS로 제작된 랙 피스톤이 스프링의 탄성력에 의해 파단될 가능성을 알 수 있었다. 이러한 사실과 시제품의 재질을 변경할 수 없는 제약 사항을 고려하여 시제품에 사용된 스프링을 기존 스프링보다 강성이 약 8배 낮은 제품으로 대체하였다. 이 수치(대체된 스프링의 강성)는 유한요소 해석을 통해 랙 피스톤이 파단되지 않는 가장 큰 값으로 설정되었다. 또한, 시뮬레이션 결과로부터 도어클로저가 금속을 이용하여 실제 제품으로 제작된다면, 시제품보다 훨씬 더 많은 전력을 생산할 수 있을 것으로 예상할 수 있었다<sup>2)</sup>.

또 다른 제약조건은 안전고리의 유한요소 해석에 관한 정보가 부족하다는 것이다. 실제 문이 받을 수 있는 충격량 데이터가 필요하지만, 이는 시제품 제작단계에서 고려하기 어렵다. 따라서 이러한 문제는 추후 실제 제품 제작과정에서 해결해야 할 과제로 판단하였다.

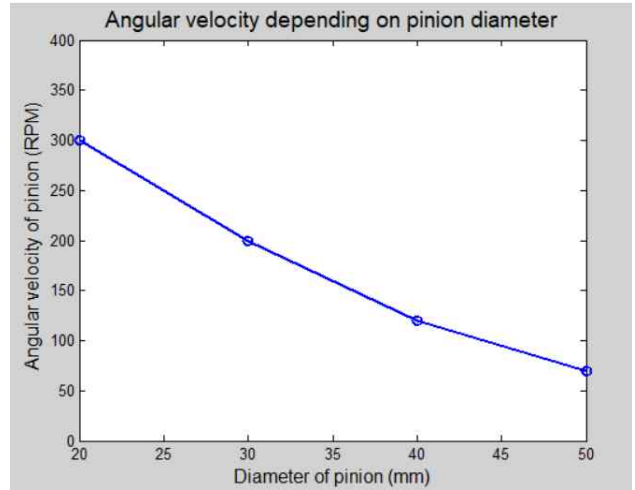
#### 2.2.6 상세 설계

발전기형 댐퍼의 경우, GEE FC-280SA모델의 마이크로 모터와 1:120 모터 기어박스를 사용하였다. 발전기형 댐퍼에는 피니언이 장착되었는데, 이 피니언의 직경은 발전량과 관련이 있어서 실제 발전기를 통한 실험을 진행해야 했다. 이 연구를 위해 Fig. 6(a)와 같은 장치를 구성하여 실험을 진행하였다. 연구 과정에서 RPM 측정기와 속도를 조절할 수 있는 360° 회전 서보모터를 사용하여 모터의 분당 회전수 (RPM)에 따른 발전기의 발전량을 측정하였다. 연구결과로부터 발전기는 최소 78RPM에서 발전이 가능한 것으로 확인되었다. 이후, 서보모터 대신 시제품 스프링과 랙 피스톤을 사용하여 피니언 직경과 피니언 각속도의 관계를 아래 그래프(Fig. 6(b))로 시각화하였다.

2) 실제 제품에서 발생할 수 있는 전력량을 이론적으로 계산하기 어렵지만, 시제품보다 더 많은 전력을 생산할 수 있다는 사실은 자명하다.



(a) Measures the power generation of a generator according to the number of revolutions per minute.



(b) Relationship between pinion diameter and pinion angular velocity

Fig. 6 Research to find the diameter of the pinion

연구결과에 따르면, 발전기가 발전하기 위해서는 발전기에 연결된 피니언의 직경이 40mm 이하여야 한다. 따라서 발전기 축의 직경을 고려하여 피니언의 직경을 25mm로 제작하였다. 식(4)는 피니언의 직경과 잇수 사이의 관계를 나타내는 수식으로, 여기서  $D$ 는 피니언의 직경,  $Z$ 는 피니언의 잇수, 그리고  $M$ 은 피니언의 모듈을 나타낸다. 피니언의 잇수는 식(4)에 따라 20개로 결정하였다.

$$D = MZ \quad (4)$$

기존의 도어스토퍼는 문을 다양한 각도로 여는데 사용된다. 따라서 개선된 도어클로저가 도어스토퍼의 기능을 구현하기 위해서 랙 피스톤을 설계할 때 아래식을 따라야 한다. 이때,  $\theta_{full}$ 는 문의 최대 동작 각도,  $\varphi_{full}$ 는 피니언 기어(Fig. 1)의 최대 동작 각도,  $\theta$ 는 문이 열린 각도, 그리고  $\varphi$ 는 피니언 기어가 회전한 각도이다.

$$\frac{\theta}{\theta_{full}} = \frac{\varphi}{\varphi_{full}} \quad (5)$$

본 설계에서는 문을 5° 간격으로 고정하기 위해 랙 피니언의 gap(Fig. 2)을 15mm 간격으로 생성하였다. 다음으로 발전기 설계를 위해 Fig. 7과 같은 연구장치를 구성하였으며, 이를 통해 발전기형 댐퍼의 감쇠 계수를 측정할 수 있다. 이때, 움직이는 질량에 뉴턴 제 2법칙을 적용하면 식(6)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

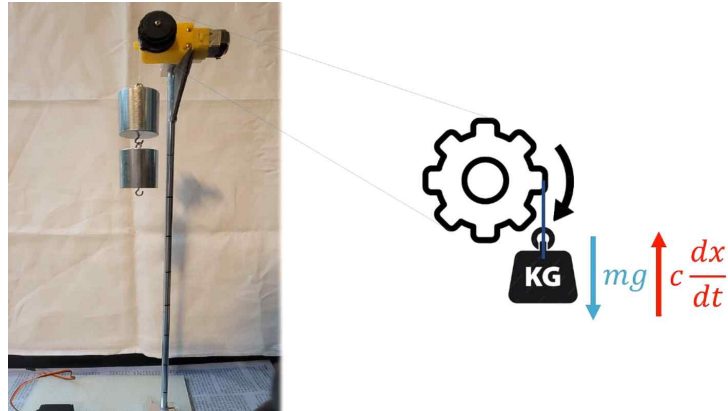
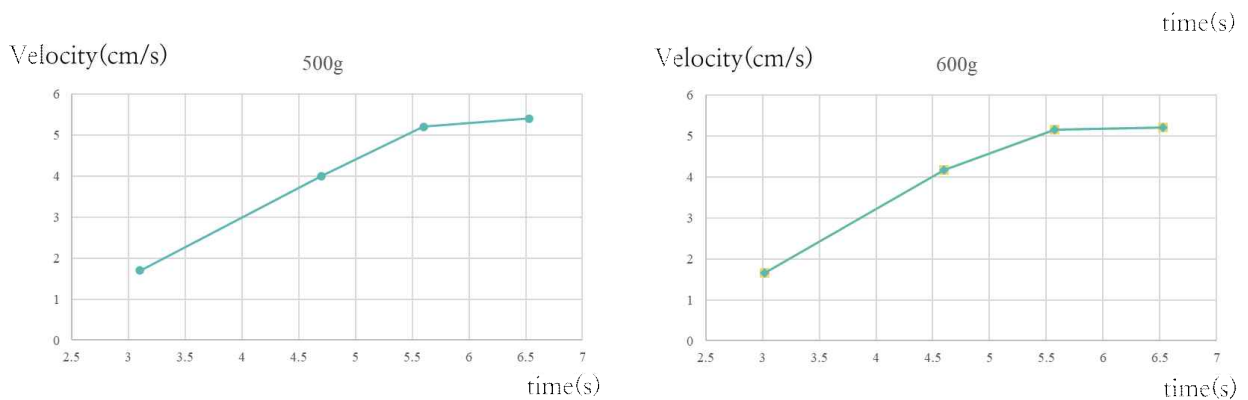


Fig. 7 A research device for measuring the damping coefficient of a generator-type damper

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -c \frac{dx}{dt} + mg \quad (6)$$

식(6)에서 사용된 질량과 중력가속도는 이미 알려진 상수이다. 질량의 속도와 가속도는 연구를 통해 측정되었으며, 이러한 연구 결과는 Fig. 8에 나타나 있다. 이 결과와 식(6)을 통해 발전기의 감쇠 계수를 도출할 수 있었다. 측정된 발전기(GEE FC-280SA)의 감쇠 계수는 약 3.5 kg/s로, 이 값은 평균값으로 제시되었다. 더불어, 본 연구에서 발전기는 초기에 정지마찰 때문에 최소 5.2 N의 힘을 받아 가동되었으며, 그 이후에는 운동마찰에 의해 최소 3.9 N의 힘을 받아 가동되었다.



(a) When a mass of 500 g was used in the study (b) When a mass of 600 g was used in the study

Fig. 8 A research device for generator design

발전기의 피니언과 Fig. 4에 나타낸 결쇠는 3D 프린터를 사용하여 ABS 재질로 제작되었다. 피니언의 두께는 기존 도어클로저 커버의 치수를 고려하여 10mm로 결정되었으며, 모델링 된 피니언은 유한요소 해석을 통해 분석하였다. 이 과정에서 가해지는 응력은 항복 응력을 초과하지 않았다. 결쇠의 경우에는 초기에는 외팔보의 형태로 가정하였으며, 이후 보의 응력과 관련된 공식을 활용하여 대략적인 치수를 Fig. 9와 같이 결정하였다<sup>(7)</sup>. 이 과정에서 사용된 힘은 식(3)과 식(1)을 이용하여 결정되었다. 마지막으로, 유한요소 해석을 통해 대략적인 치수가 적용된 결쇠의 안전성을 확인하였다.

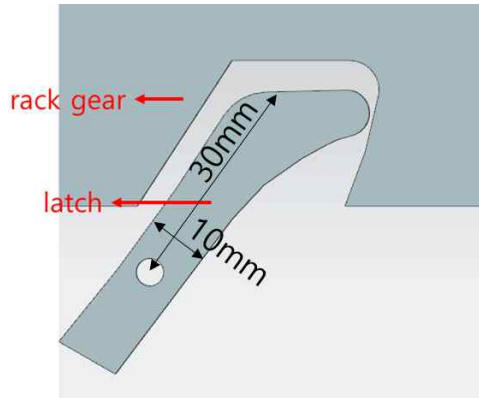
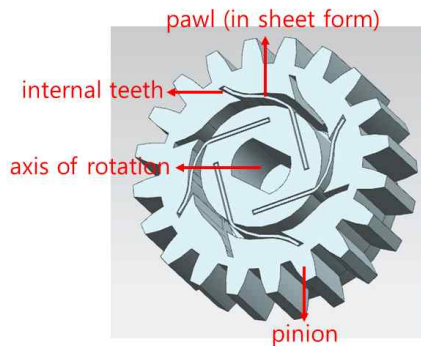


Fig. 9 A research device for generator design

### 2.3 모델링 및 시제품 제작

위 기계 설계를 기반으로 하여 모델링을 진행하였으며, 이 모델링을 기반으로 시제품을 제작하였다. 역전방지기어(발전기의 피니언)는 CAD 프로그램을 활용하여 직접 제작하였고, 이를 3D프린터로 출력하였다(Fig. 10(b)). 이때, pawl에는 pp 재질 박판을 사용하였다.



(a) Gear CAD modeling with anti-reverse device applied



(b) Gear with actually manufactured anti-reversal device

Fig. 10 Gear with anti-reversal device

이후, 실제 발전기형 댐퍼를 Fig. 11과 같이 도어클로저의 랙 피스톤에 연결하였다.

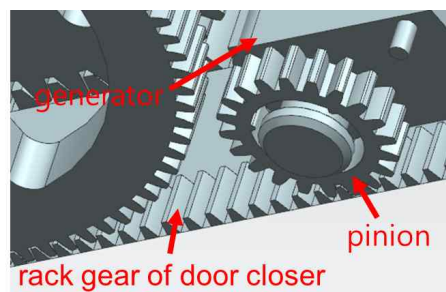


Fig. 11 Generator type damper applied to improved door closer

시제품 시험결과 문이 닫히면서 약 3Wh의 전력을 생산할 수 있었다. 이러한 결과는 자석 사이의 거리를 최소로 설정한 상황에서 얻어졌다. 자석 사이의 거리는 Fig. 12에 나타난 감쇠계수 조정자를 통해 조절할 수 있으며, 자석 사이의 거리에 따른 발전량과 감쇠계수의 변화도 확인할 수 있었다.

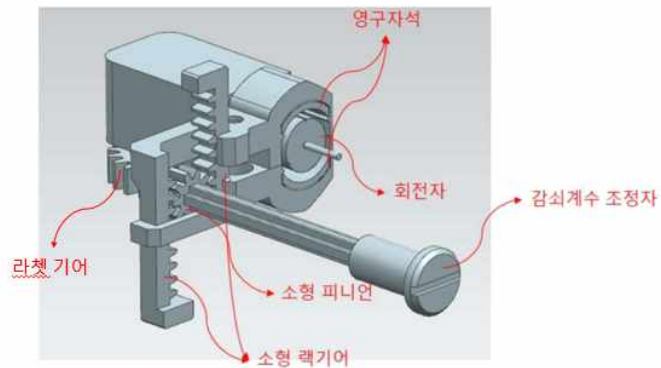
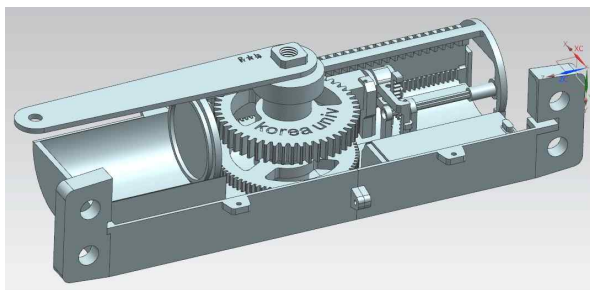
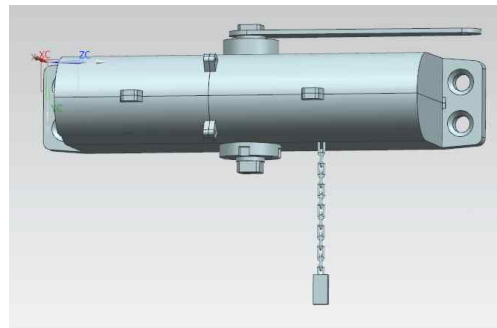


Fig. 12 CAD modeling of a generator-type damper with adjustable damping

시제품 제작을 통해 기구 설계에서 예상한 동작 결과를 정확하게 구현하였으며, 이를 통해 2.2.1절에서 정의한 목표를 달성할 수 있었다. 최종적으로 모델링한 도어클로저의 내부 구성은 Fig. 13(a)와 같으며, 외부 형태는 Fig. 13(b)와 같다. 또한, Fig. 13(b)에서 나타난 체인은 결쇠와 연결되어 있다.



(a) An inside look at the completed modeling

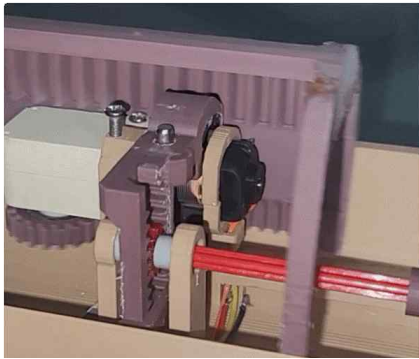


(b) An outside look at the completed modeling

Fig. 13 Full CAD modeling of improved door closer applying mechanical design

### 3. 결과 및 토의

도어클로저 내부의 스프링은 무거운 문을 닫을 만큼 높은 강성을 가지고 있다. 스프링의 높은 강성은 문을 열 때 스프링에 상당한 에너지를 축적하게 한다. 이 축적된 에너지는 자동으로 문을 닫히게 하는데 필요한 에너지와 댐퍼를 통해 열에너지로 소산된다. 본 연구는 댐퍼로 인해 외부로 소산되는 열에너지를 수확하여 전기 에너지로 변환하는 것을 목표로 하였다. 최종적으로 완성된 시제품은 아래와 같다.



(a) Prototype internal generator type damper shape



(b) External shape of prototype of improved door closer

Fig. 14 Results of the prototyping

시제품은 다음과 같은 원리로 작동한다. 먼저, 기존 도어클로저의 랙 피스톤 부분에 발전기의 피니언을 연결하여, 발전기가 기존 도어클로저의 댐퍼 역할을 대신하게 된다. 이 과정에서 발전기 회전자와 자석 사이의 거리를 조절할 수 있게 만들어 댐퍼의 감쇠 계수를 조정할 수 있다. 또한, 발전기에 사용된 피니언을 래칫(ratchet) 구조로 구현하여 역방향 회전을 방지할 수 있다. 이로써 개선된 도어클로저는 기존 도어클로저와 같은 성능을 유지하면서 추가적인 전기발전을 실현할 수 있으며, 별도의 정류기나 유압 시스템이 필요 없다. 다음으로 도어클로저가 자체적으로 도어스토퍼와 안전고리의 기능을 수행하기 위해 다음과 같은 기술을 적용하였다.

문을 여닫을 때, 도어클로저의 여러 기구가 종속적으로 움직인다. 이 중 하나의 기구를 움직이지 않게 고정한다면, 나머지 기구들과 함께 문이 고정된다. 따라서 랙 피스톤에 여러 개의 틸새를 만든 후 원하는 위치에 썰기를 박아 랙 피스톤이 특정 위치에 고정되도록 조절하면, 도어클로저가 제안된 기능을 수행할 수 있다. 문을 열어둔 상태에서 썰기를 박으면 도어스토퍼로 작동하며, 문을 닫아둔 상태에서 썰기를 박으면 안전고리로 작동한다. 안전고리 상태에서 썰기는 랙 피스톤의 그루브(Fig. 4)를 따라 고정되므로, 문이 닫힌 상태에서만 잠금을 해제할 수 있다.

본 기술은 기존 제품의 성능을 저해하지 않으면서 추가적인 기능을 부여하였다. 이 연구를 통해 가정 및 사회에서 낭비되고 있는 에너지를 친환경적으로 재활용할 수 있게 되었으며, 별도의 전원 관리 없이도 IoT 시스템을 운용할 수 있게 되었다.

실제 시제품을 이용한 실험결과, 문을 한 번 여닫았을 때 약 5분 동안 LED를 점등할 수 있는 전류가 생성되었다. 이러한 시스템을 유동 인구가 많은 장소나 전력 공급이 어려운 장소에 배치함으로써 다양한 목적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 초 개인주의 사회에서는 각 소비자에게 맞춤형 제품을 제작할 가능성이 열린다. 예를 들어, 일산화탄소 감지기와 같은 기기는 별도의 전원 관리로 인해 불편을 초래하였다. 그러나 개선된 도어클로저를 사용하면 산업 현장에서는 문을 여닫음으로써 간편하게 실내 유해 가스 감지를 수행할 수 있다. 가정의 경우, 현관문에 부착된 도어락 시스템이나 IoT 기기를 사용할 때 지속적인 충전에 대해 걱정하지 않아도 된다. 이를 통해 기존 IoT 기업들이 직면한 문제를 해결할 수 있다. 마지막으로, 다리가 불편한 사람들도 쉽게 도어스토퍼를 이용할 수 있게 될 것이다.

개선된 도어클로저는 상용화 가능성도 충분하다. 현재 전국적으로 많은 아파트가 건설되고 있으며, 기존 아파트들도 리모델링과 재개발을 통해 현대적인 시설로 업그레이드되고 있다. 이러한 상황에서 본 제품은 인테리어적으로나 기능적으로 우수한 선택지가 될 것으로 기대된다. 더욱이, 기존 제품과 가격 차이가 크지 않아 미래 사회에서 소비자들이 본 제품을 선택할 가능성이 크다고 기대하고 있다.

결론적으로, 본 제품은 안전 문제의 다양한 측면을 해결할 뿐 아니라 IoT 제품의 확장성을 높일 수 있다. 또한, 본 설계에서 제안한 발전기형 댐퍼는 앞으로 다양한 에너지 하베스팅 제품에 발전을 가져올 것으로 기대된다.

## 4. 결 론

본 설계는 두 가지 기술을 결합하여 구현한다. 첫 번째로, 도어클로저의 유체 댐퍼를 발전기 댐퍼로 교체하여 에너지 하베스팅이 가능하게 한다. 두 번째로, 도어클로저 기구를 고정하거나 제한함으로써, 도어클로저가 자체적으로 도어스토퍼와 안전고리의 기능을 수행하도록 설계되었다. 이에 따른 설계를 구현하고 시제품을 통해 평가한 결과, 발전기형 댐퍼에서 3Wh의 발전량을 측정할 수 있었으며, 도어클로저가 도어스토퍼와 안전고리의 역할을 성공적으로 수행할 수 있음을 확인하였다. 개선된 도어클로저는 기존 도어클로저와 동등한 성능을 유지하면서 제시된 기능들을 효과적으로 수행하였다. 본 설계의 독창성은 다음과 같다.

첫째로, 본 연구는 도어클로저에 대한 새로운 접근 방식으로, 이전에 연구되거나 제작되지 않았다. 도어클로저는 오랫동안 기술적인 발전이 없었던 제품이다. 따라서 본 프로젝트는 오랜 시간 정체된 제품을 개선함으로써 독창성을 발휘하고 있다. 둘째로, 기존 제품의 성능을 저해하지 않으면서도 추가적인 기능을 부여하였다. 오랫동안 발전이 없었던 제품을 개조할 때, 기존 제품의 장점이 희석되는 경우가 많았다. 그러나 본 제품은 기존 제품의 단점을 보완하면서도 그 장점을 유지하고 있다. 셋째로, 본 연구는 기존 IoT 기업들이 해결하지 못한 문제를 개선하여 독창성을 발휘하였다. 현재 많은 기업이 현관문에 설치할 수 있는 IoT 기기를 개발하고 판매 중이며, 많은 가정에서 도어락 잠금장치를 사용하고 있다. 그러나 이러한 기기들은 별도의 전원 관리가 필요하여 사용자들이 구매를 주저하는 경우가 많다. 본 제품은 이러한 문제를 해결하여 사용자들에게 편의성을 제공할 수 있다. 넷째로, 본 제품은 다리가 불편한 사람들도 쉽게 도어스토퍼를 사용할 수 있도록 도와준다.

## 후 기

저희에게 많은 영감을 주신 심재경 교수님께 너무나 큰 감사를 드립니다. 또한, 초기 시제품 제작과 특허출원에 도움을 주신 고려대학교 공학 교육 혁신 센터에게도 감사를 드립니다. 마지막으로 정주혜양에게도 큰 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- (1) MISUNG E&C, "The product and design are excellent", <http://www.msence.co.kr/default/business/business03.php?sub=03>, MISUNG E&C, (September 1, 2023, access).
- (2) Fire Department, "Article 10, Paragraph 1, Subparagraph 1 of the Fire Facilities Act", National Legal Information Center, <https://www.law.go.kr/> (September 1, 2023, access).
- (3) Park Ji-yong, "A door closer having generator" Korea Patent 2020030017777, June 5, 2003.
- (4) Wonghan Xie, Jiehong Li, Xiaodong Li, Ledeng Huang, Siqi Cai, 2018, "Damping-tunable energy-harvesting vehicle damper with multiple controlled generators: Design, modeling and experiments", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 99, pp. 859-872.
- (5) Mechatronics Industry Standards, "KS F 4505", Korean Agency for Technology and Standards, <https://standard.go.kr/> (September 1, 2023, access).
- (6) TechNavio, 2021, "Global Door Closer Market 2021-2025", TechNavio
- (7) R. C. Hibbeler, 2015, "Mechanics of Materials", PEARSON, 9th, pp. 50-58.