

대한기계학회 주최

제71회 전국학생설계경진대회(2021년)

설계 최종 보고서

참가부	고등부 (o)				
참가분야	공모주제 (o) / 자유주제 ()				
참가팀명	김유열차				
설계제목	에너지 절감형 전동차				
지도교수/교사	대구과학고등학교 하태진				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	유지호	대구과학고등학교			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	유지호	대구과학고등학교 2학년	
2	김대희	대구과학고등학교 2학년	
3			
4			
5			
6			

참가분야	공모주제 (O) / 자유주제 ()
참가팀명	김유열차
설계제목	에너지 절감형 전동차
대표자명	유지호
요약서	<p>본 설계에서는 전동차(지하철)를 운행하는데 드는 막대한 전기에너지를 인식하고, 전동차를 운행하는데 드는 전기에너지를 줄이고자 하였다. 전동차에서 큰 에너지가 드는 원인 중 하나는 출발과 정지할 때 많은 에너지를 필요로 하기 때문이다. 서울에서 하루동안 지하철 운행시 사용되는 총 전기량은 발전소 하나가 8시간을 공급해야하는 정도로 많이 필요하기 때문에 모든 노선에 에너지 절감형 전동차를 적용한다면 그로 인해 얻는 이익은 매우 클 것이다. 따라서 본 설계는 전동차의 바퀴가 특정 속도 이하로 감속되면 바퀴를 들어올려서 전동차가 다시 출발할 때까지 회전상태를 유지하고 출발시 접지하여 회전시키고 멈출 때의 에너지를 최소화하고 효율을 높인다. 이때 바퀴의 경우 한 칸씩 건너서 들어올린다.</p> <p>전동차의 바퀴가 회전 수가 빠른 경우 아래 그림과 같이 바퀴의 연결된 추의 원심력으로 인해서 도르래에 연결된 강철 케이블의 장력이 커지고, 이로 인해 바퀴가 잘 접지할 수 있다. 반면 바퀴의 속도가 느려질 경우 추의 원심력이 사라지고, 이로 인해 용수철의 탄성력으로 바퀴와 바퀴에 연결된 모터가 함께 올라가게 된다. 그후 다시 출발하는 경우 모터의 회전수가 증가하면서 추의 원심력으로 인해 다시 전동차 바퀴가 레일에 접지하게 된다.</p>

1. 설계의 필요성 및 목적

본 설계는 지하철의 운용시 에너지를 절감시키기 위한 목적을 가지고 있다. 특히 전동차 바퀴의 마찰에너지를 최소화하여 소비되는 에너지를 줄이고자 한다. 최근 각광받고 있는 인공지능 에어컨 실외기와 비슷한 원리로, 전동차가 정차하면서 바퀴의 회전수가 특정 각속도 이하가 되면 레일과 접지되지 않도록 바퀴를 들어올려서 회전을 유지하는 방식이다. 그 후 다시 전동차가 출발하며 어느정도 회전을 가지고 회전 중인 바퀴를 가속하여 특정 각속도 이상이 되면 바퀴가 접지되고, 출발하게 된다. 이 과정에서 바퀴를 처음 회전시키기 시작하는 에너지와 바퀴를 정지시키는데 에너지가 들지 않게 되고, 전동차를 운용함에 있어 에너지가 적게 사용된다.

지하철 공사에 따르면 서울지하철 전체에서 하루에 쓰는 전기량은 4백7만kWh라고 한다. 일반적인 화력발전소가 시간당 50만kW의 전기를 생산하고 있는 점으로 미루어 보면 지하철 하루 운행시 발전소로부터 8시간 단독으로 전기를 공급받아야한다. 그만큼 지하철의 전기소비량이 막대하고, 모든 전동차에 에너지 절감형 바퀴를 적용하는 경우 많은 전기를 절약할 수 있다고 생각된다. 특히 이를 전세계에서 사용할 경우 효과는 매우 클 것이다.

2. 설계 핵심 내용

(1) 설계 문제의 정의

본 설계에서는 전동차(지하철)를 운행하는데 드는 막대한 전기에너지를 인식하고, 전동차를 운행하는데 드는 전기에너지를 줄이고자 하였다. 전동차에서 큰 에너지가 드는 원인 중 하나는 출발과 정지를 반복하면서 바퀴를 가속했다가 감속해야 하기 때문이다. 그렇다고 마찰을 이용해서 감속시킨다거나 느린 속도로 운행하면 지하철을 사용하는 사람들의 불만이 터져나올 것이다.

서울에서 하루 동안 지하철 운행 시 사용되는 총 전기량은 발전소 하나가 8시간을 공급해야하는 정도로 많이 필요하기 때문에 모든 노선에 에너지 절감형 전동차를 적용한다면 그로 인해 얻는 이익은 매우 클 것이다. 따라서 본 설계는 전동차의 바퀴가 특정 속도 이하로 감속되면 바퀴를 들어올려서 전동차가 다시 출발할 때까지 회전상태를 유지하고 출발 시 접지하여 재가속시킬 때의 에너지를 최소화하고 효율을 높이는 방법을 제안한다. 이 방법을 현재까지 제안된 바가 없으며 바퀴는 모터와 연결되어 있는 바퀴만 들어올려지기 때문에 지하철의 균형에는 문제가 없다.

(2) 설계의 독창성 및 접근 방법

1) 설계 방법 및 배경

전동차의 바퀴 회전수가 늘어나면, 구심력의 공식인 $F = mrw^2$ 에 의해서 각속도가 증가하므로 구심력이 증가하게 된다. 이를 바퀴안의 레일에 있는 막대의 관점에서 보면, 바깥으로 관성력이 작용하고, 이로 인해 막대에 연결된 실이 끌어당겨지게 된다. 이 때 실이 장력이 증가하며 도르래로 힘의 방향이 전환되고, 차체에 연결된 용수철 또는 탄성계수가 높은 실이 당겨지게 되며 바퀴가 바닥에 접지한다. 이후 차츰 바퀴의 속도가 줄어들면, 원심력이 작아짐에 따라 줄에 걸리는 장력이 작아지게 되고, 이는 용수철 또는 탄성계수가 높은 실로 인해 잡아당겨져서 바퀴가 바닥으로부터 들어올려지게 된다.

2) 설계의 독창성

기존에 존재하던 유사한 프로젝트는 에어컨 실외기의 에너지 절감을 위해 실외기 프로펠러를 계속 구동시키는 방법이 있다. 이 방법은 에어컨 실외기를 에어컨이 구동될때만 작동시키려고 하니 모터를 다시 가동시켜야해서 실외기 프로펠러를 항상 느린 각속도로 회전시키니 에너지 절감 효과가 매우 높았다는 사례이다.

하지만 여기서는 단순히 모터를 계속 작동시킨다는 것이지만 지하철과 같은 경우에는 완전히 정차를 해야 되기 때문에 용수철과 추를 이용해 바퀴를 들어올리는 방법을 생각하였고, 작은 각속도로 모터가 회전하기 따라서 모터를 켜다 켜다 하는 것 보다 더 에너지 소비가 적을 것이다.

3) 설계의 제약조건 및 문제 해결 방법

바퀴의 경우 모든 바퀴를 레일로부터 들어올릴 수 없으므로 바퀴 2종류로 바퀴를 구성한다. 하나는 동력축이 연결되어 있지 않은 고정바퀴이다. 다른 하나는 에너지 절감형 바퀴이다. 이때, 2종류의 바퀴는 지하철의 길이나 무게에 맞게 혼합해 사용할 수 있다. 에너지 절감형 바퀴는 바퀴의 중심 부분에서 바퀴의 가장자리 부분까지 철로와 평행한 레일이 있는데 이 레일에서 추가 자유롭게 움직일 수 있다. 즉, 추의 중심에 구멍이 뚫려 있고 그 구멍으로 레일을 이동한다.

추에는 강철케이블이 연결되어있는데 바퀴가 빠른 속도로 회전하면 추가 원심력을 받아 추가 레일의 가장자리로 이동한다. 그러면 강철케이블에 장력이 가해지고, 용수철이 늘어난다. 따라서 레일에 접지된 상태가 된다. 바퀴가 정차 감속되어 특정 각속도 이하가 되면 추의 원심력이 용수철의 복원력보다 작아지게 되고, 추가 바퀴의 중심축까지 강철케이블에 딸려가게 되고 결국 추가 바퀴의 중심쪽으로 이동해 바퀴와 동력축이 함께 수직으로 올라가게 된다. 다시 모터가 회전하여 동력축에 힘이 가해지게 되면 특정 각속도 이상이 되어 용수철이 늘어나 바퀴가 다시 접지하게 된다.

이 방법은 안전성의 면에서도 우수하다. 강철케이블이 끊어진다고 해도 이미 기차가 빠른 속도로 달리고 있을 때는 바퀴가 바닥에 접지되어있는 상태이며, 강철케이블이 끊어지면서 생기는 힘이 기차의 운동에 영향을 줄 만큼 크지 않기 때문에 탈선과 같은 문제도 배제할 수 있다. 기차가 정지해있을 때 끊어진다고 하면, 에너지는 절감할 수 없지만 운용하는데 있어서 전혀 문제가 되지 않기 때문에, 전철 운용을 마치고 정비를 받아도 되기 때문에 안전하다.

제약조건은 다음과 같다. 지하철이 아닌 고속열차에 적용할 경우 용수철상수 값이 바뀌어야 할 것이다. 왜냐하면 바퀴가 회전하는 속도가 달라지기 때문이다. 혹은, 다른 종류의 강철 케이블을 사용해 이를 조절할 수도 있을 것이다. 또, 추의 무게도 바뀌어야 할 것이다.

들어올리는 바퀴의 수 또한 제한 조건이 될 수 있는데, 이는 에너지 절감형 바퀴를 변경함으로써 바꿀 수 있는 것이 아니라 에너지 절감형 바퀴 대 고정 바퀴의 수에 의한 문제이기 때문에 열차의 길이와 무게 등 여러 요소를 고려해서 결정해야한다.

(3) 설계 내용

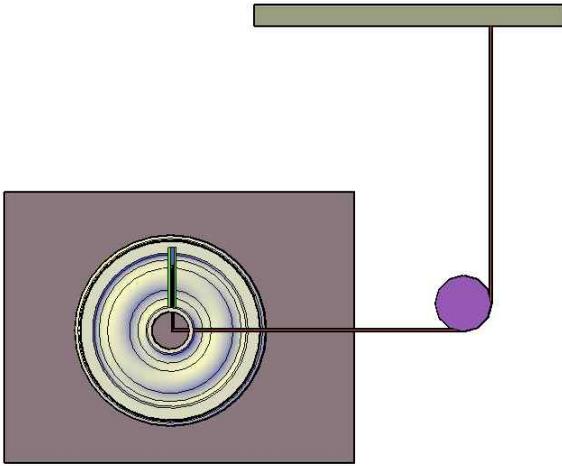
3. 설계 수행 일정

설계 진행 내용	4월	5월	6월	7월	8월	9월
설계 및 기초 계산	■					
3D 오토캐드 설계			■			
3D 프린터 출력				■		
최종보고서 작성						■

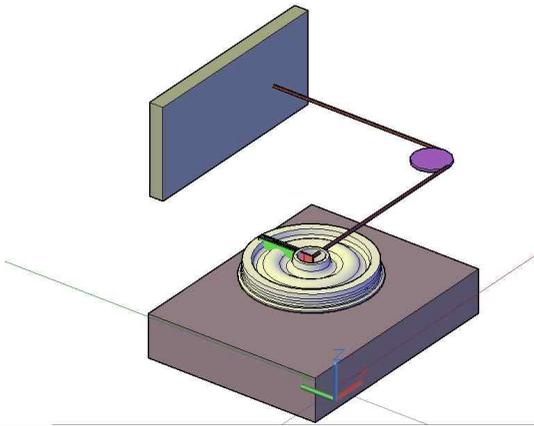
4. 설계 결과물

(1) 최종 결과물 형상 및 작동원리

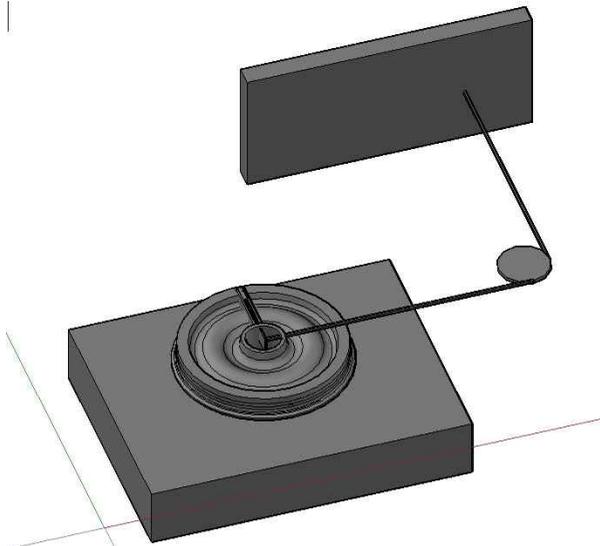
왼쪽 그림은 오토케드로 그린 평면도인 2d 스케치이다. 이 스케치를 이용하여 3d 도면을 그릴 수 있다.



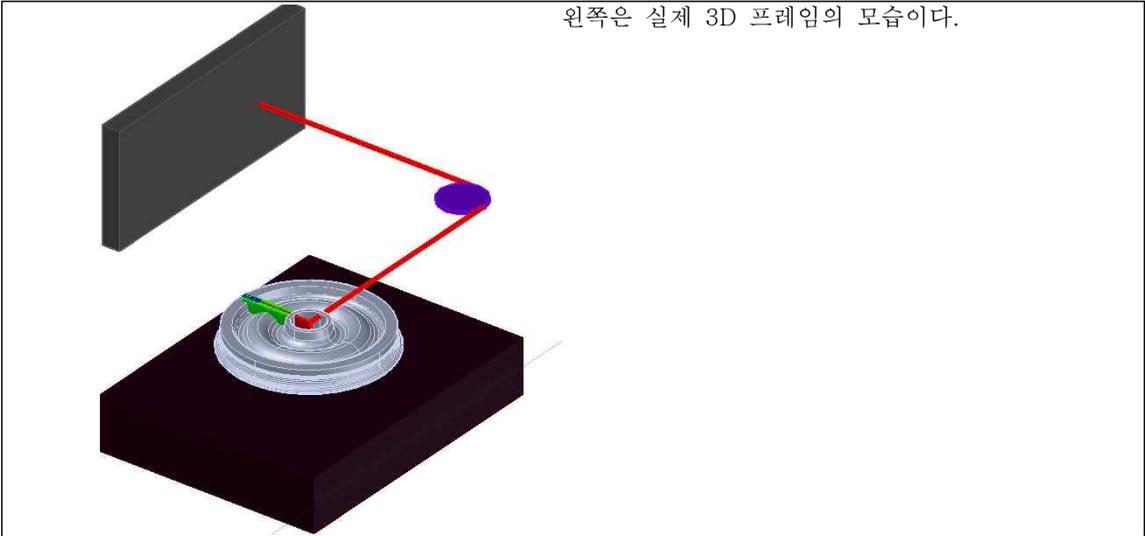
왼쪽은 대각선 방향에서 바라본 스케치이다.



왼쪽 그림은 최종 완성본의 스케치로, 가장 오른쪽 위의 차체와 연결된 실은 적당한 탄성계수를 가지는 케이블로써, 왼쪽 하단의 바퀴의 각속도가 줄어들면 바퀴를 끌어올리는 역할을 한다. 왼쪽 하단 바퀴 밑에 있는 상자는 엔진부이다.



왼쪽은 실제 3D 프레임의 모습이다.



(2) 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

기존에 존재하던 유사한 프로젝트는 에어컨 실외기의 에너지 절감을 위해 실외기 프로펠러를 계속 구동시키는 방법이 있다. 이 방법은 에어컨 실외기를 에어컨이 구동될때만 작동시키려고 하니 모터를 다시 가동시켜야해서 실외기 프로펠러를 항상 느린 각속도로 회전시키니 에너지 절감 효과가 매우 높았다는 사례이다.

하지만 여기서는 단순하게 모터를 계속 작동시킨다는 것이지만 지하철과 같은 경우에는 완전히 정차를 해야되기 때문에 용수철과 추를 이용해 바퀴를 들어올리는 방법을 생각하였고, 작은 각속도로 모터가 회전하기 따라서 모터를 켜다 켜다 하는 것 보다 더 에너지 소비가 적을 것이다.

5. 활용방안 및 기대효과

가장 먼저 실제로 전동차, 즉 지하철 또는 지상철, 고속 열차에 사용 가능한 설계이다. 고속열차의 경우 매우 빠른 속도로 달리고, 중간에 정차하는 곳이 많이 없지만, 중간중간 정차하는 곳이 많은 지하철의 경우에 특히 더욱 효과적인 것으로 사료된다. 또한 이를 더욱 확장하면 여러 가지 바퀴로 운용되는 운송장치에 많이 사용될 것이다.

<참고문헌>