

대한기계학회 주최

제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

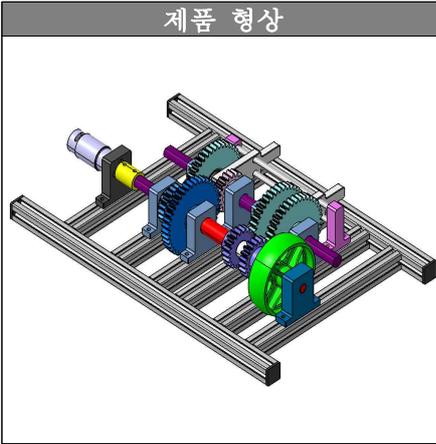
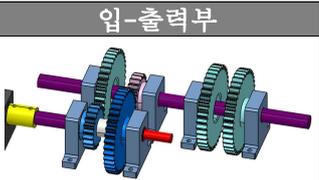
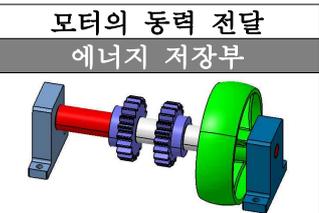
설계 최종 보고서

참가부	고등부 (O)				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 (O)				
참가팀명	차세대 엔지니어들				
설계제목	회생 제동장치 활용 공작기계 에너지 효율 개선				
지도교수/교사	(소속) 미래고등학교 (성명) 공상익 (연락처) (이메일)				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	김주안	미래고등학교			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김주안	미래고등학교 / 2학년	
2	이중석	미래고등학교 / 2학년	
3	이태희	미래고등학교 / 1학년	

설계 요약문

참가분야	공모주제 () / 자유주제 (O)
참가팀명	차세대 엔지니어들
설계제목	회생 제동장치 활용 공작기계 에너지 효율 개선
대표자명	김주안
요약문	<p>현재 대한민국은 환경문제로 인한 친환경 정책과 전쟁으로 인한 원재료 가격 상승 등 여러 원인으로 전기요금이 빠르게 상승하며 산업경쟁력이 떨어지고 있다. 이러한 상황에서 에너지 수입국인 대한민국은 산업경쟁력을 키우기 위해 에너지 효율성을 높여야 한다.</p> <p>우리는 여러 산업 분야 중 공업의 공작기계에 에너지 효율성을 높일 수 있는 기계식 회생 제동장치를 적용하고자 하였다. 다만 추후 다양한 분야에서 활용될 수 있도록 다음과 같이 설계하였다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>제품 형상</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>입-출력부</p>  <p>모터의 동력 전달 에너지 저장부</p>  <p>에너지 전환 없이 저장</p> </div> </div> <p>우리는 해당 제품을 축소 설계 및 시제품 제작 후 검증하며 실현 가능성을 보았고, 다음과 같은 결론을 내렸다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 에너지 전환이 없는 회생 제동장치를 이용한 높은 에너지 효율 확보 2. 모터의 성능에 따른 효율증가로 대형 장비 적용 가능성 확보 3. 양방향의 회생 제동을 통한 산업의 확장 가능 <p>이를 통해 설계한 제품의 산업경쟁력 확보와 에너지 효율성 증가에 대한 가능성 및 기대효과를 발견할 수 있었고, 추후 개선을 통해 더 다양한 분야에서 적용하며 경쟁력 있는 제품으로써 활용될 것이라 기대한다.</p>

1. 설계의 필요성 및 목적

지속된 환경 문제를 해결하기 위한 친환경이 세계적 동향으로 자리 잡아 전기요금은 계속 상승하였으며, 최근 러시아 우크라이나 전쟁으로 화력발전의 원재료(LNG) 가격이 상승하면서 가속화되었다. 우리나라의 산업용 전기요금은 OECD 29개국 중 21위로 낮게 형성되어 있어 산업경쟁력을 갖출 수 있었지만, 원재료를 수입해야 하는 처지에서 지금의 저렴한 전기요금을 계속 유지할 수 없다. 또한 주요 국가와 비교했을 때 우리나라의 산업 에너지 효율은 떨어져 전기요금 인상에 대한 대비가 더욱 필요한 상황이다.



<자료 1. 주요국 전기요금 인상 추이>

2021년	세계 순위
에너지 소비	2억3466만 TOE 8위
에너지 수입액	1372억 달러 석유·석탄 4위 가스 3위
에너지 효율 (원단위)	0.16 (TOE/백만원) OECD 35위

※ TOE(석유환산톤)는 석유 1톤이 연소할 때 발생하는 에너지. 100만원어치를 생산하기 위해 0.16TOE의 에너지를 쓴다는 의미임.

자료: 산업통상자원부 · 국제에너지기구 · BP

<자료 2. 한국의 에너지 현황>

본 설계는 이런 상황에 대비하여 '에너지 재활용'이라는 친환경적인 방법으로 공작기계의 에너지 효율성을 높여 산업경쟁력 확보를 목적으로 한다.

2. 설계 핵심 내용

(1) 설계 문제의 정의

현재 상황을 정리하면 **예정된 전기요금 상승**, 떨어지는 **에너지 효율** 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 전기요금의 상승을 기술적으로만 해결하는 것은 어려움이 있어 에너지 효율이 낮아지는 원인을 찾아 개선하고자 했다.

가장 익숙한 공작기계인 주축이 회전하는 기계를 기준으로 손실이 발생하는 ①주축이 제동할 때 남아있었던 회전 관성 에너지와 ②주축의 저속 회전 시 사용하고 남는 토크 두 가지 상황이 존재했고, 이를 해결해야 할 설계 문제로 정의하였다.

① 주축 제동 시 에너지 손실	② 저속 회전 시 토크 손실
<p>주축 제동 시 회전하고 있는 주축의 회전력 이상의 제동력을 브레이크의 마찰력으로 전달하여 제동하고, 마찰로 발생한 열이 방출된다.</p> <p>주축이 가지고 있던 회전 관성 에너지가 사용할 수 없는 열에너지로 전환되었고, 제동하기 위해 추가적인 에너지를 투입하여 에너지 손실이 발생한다.</p>	<p>변속기의 기어비를 이용해 저속의 회전을 구현한다. 이때 속도가 느릴수록 회전력이 높아진다.</p> <p>가공 재료와 작업에 따라 높은 회전력을 요구하지 않는 상황에서 주축의 회전력과 가공에 필요한 회전력과의 차이만큼 손실이 발생한다.</p>

(2) 설계의 독창성 및 접근 방법

1) 설계 방법 및 배경

회생 제동장치를 통해 버려지는 에너지를 다시 활용할 수 있는 형태로 전환하기 때문에 낭비도 줄이고 에너지의 효과성도 높일 수 있는 가장 좋은 방법이다. 회생 제동장치는 이미 효과성이 입증되어 전기차, 철도, 승강기 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

회생 제동장치가 적용되는 대상은 감속이나 제동하는 횟수가 많다는 공통점이 존재하는데, 공작기계 또한 감속 및 제동 횟수가 많아 가능성을 확인하였다. 공작기계에 검증된 개념과 장치인 회생 제동장치를 적용하기 위해 기존 장치와 공작기계의 특성을 분석하고, 맞춤형 설계를 진행하고자 한다.

2) 설계의 독창성

가) 양방향 에너지 재활용

비교	회생제동 상황	에너지 회생 방식
기존 제품 전기자동차 회생 제동장치	전진 시	한 방향
설계 제품 공작기계용 회생 제동장치	주축 정회전 및 역회전	양 방향

한 방향으로만 에너지 재활용이 가능한 기존 제품과 달리 양방향 회생 제동장치를 설계하여 정회전 및 역회전과 같이 다양한 운동상태의 공작기계에 적용할 수 있다.



<자료 3, 전기자동차 회생 제동장치>

나) 사양 조절 및 맞춤 제작

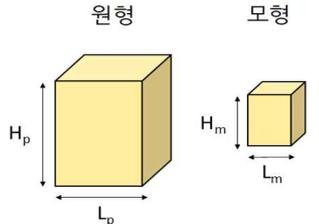
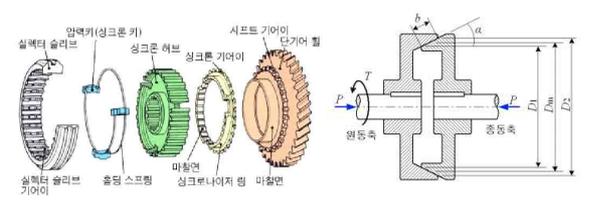
비교	회생 방식	공작기계 적용 여부	주요 인자
기존 제품 산업용 회생제동 인버터	인버터 모터 (전자식)	기계 사양과 맞지 않으면 적용 불가	모터 사양 인버터 사양
설계 제품 공작기계용 회생 제동장치	플라이휠 (기계식)	공작기계 사양별 맞춤 제작 가능	기어비, 플라이휠 무게

기존 제품은 전자식 방식으로 공작기계의 모터 사양이 회생 제동장치의 성능을 결정한다. 따라서 용도에 따라 다양한 사양이 있는 공작기계의 특성상 적용할 수 없는 경우가 발생한다. 본 설계는 기어비, 플라이휠 무게의 변화만으로 사양을 변화할 수 있어 맞춤 제작이 가능하므로 사양과 관계없이 적용할 수 있다.



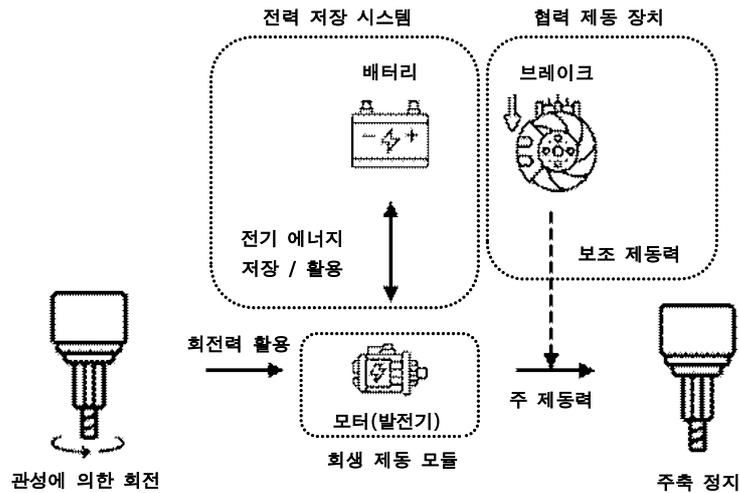
<자료 4, 미쯔비시 산업용 회생 제동 인버터>

3) 설계의 제약조건 및 문제 해결 방법

설계 제약조건 1 - 실제 설비 적용의 기술적 한계	
<p>현재 설계한 제품을 실제 설비에 적용하는 것이 가장 좋지만, 작업 시 안전, 고장에 대한 대응, 경제적 여건과 같은 기술적 한계로 인해 직접 적용하는 것은 불가능하다. 제안한 것을 검증할 수 있는 다른 방안이 필요하다.</p>	
해결 방법 1 - 축소된 시제품 제작	설명
	<p>공작기계 사양을 기준으로 1:3 비율의 축소된 크기로 주축 구동부에 대한 시제품을 제작하여 설계 내용의 검증 및 제품화의 가능성을 확인하고자 한다.</p>
설계 제약조건 2 - 제작을 위한 설비의 한계	
<p>기존에 활용되고 있는 기어 변속기는 싱크로나이저 링을 활용하여 회전 중에도 변속할 수 있다. 하지만 형상이 복잡하여 학교 시설로 제작은 한계가 있었고, 제작이 용이하고 회전 중에 변속할 수 있으면서 충분한 전달력을 갖춘 요소를 찾아야 했다.</p>	
해결 방법 2 - 원추 마찰 클러치	설명
	<p>작동 중에 변속이 가능한 마찰 클러치 중 경사면이 있어 큰 전달력을 갖춘 원추 형태의 마찰 클러치를 채택하였다.</p>
설계 제약조건 3 - 동시에 다른 회전 방향	
<p>플라이 휠의 정지 관성으로 주축을 정지시키고, 동시에 플라이휠이 관성력을 전달받아 회전해야 한다. 두 가지 상황은 서로 다른 회전 방향이지만 플라이휠과 주축이 연결된 상태이기 때문에 충돌이 일어난다. 또한 가공 시 시계방향과 반시계 방향 모두 활용하기 때문에 원하는 방향으로 힘을 전달할 수 있도록 해야 한다.</p>	
해결 방법 3 - 원웨이 클러치	설명
	<p>래칫 개념을 활용한 요소로 한 방향으로 힘을 전달하고 반대 방향으로는 베어링 역할을 하여 동시에 다른 방향으로 힘의 전달이 가능하며, 병렬로 서로 반대 방향으로 구성하여 양방향 작동도 가능하게 했다.</p>

(3) 설계 내용

1) 개념 설계(1차)



<자료 5, 회생 제동장치 적용 초기 개념도>

총에너지는 보존된다는 이론에서 시작하여 직접 사용할 수 없는 형태의 에너지를 회생 제동 모듈을 통해 활용할 수 있는 형태의 에너지로 저장하고, 에너지가 전환되는 과정에서 발생한 저항력으로 제동력을 확보하여 제동력에 필요한 에너지도 감소할 수 있도록 설계하고자 했다.

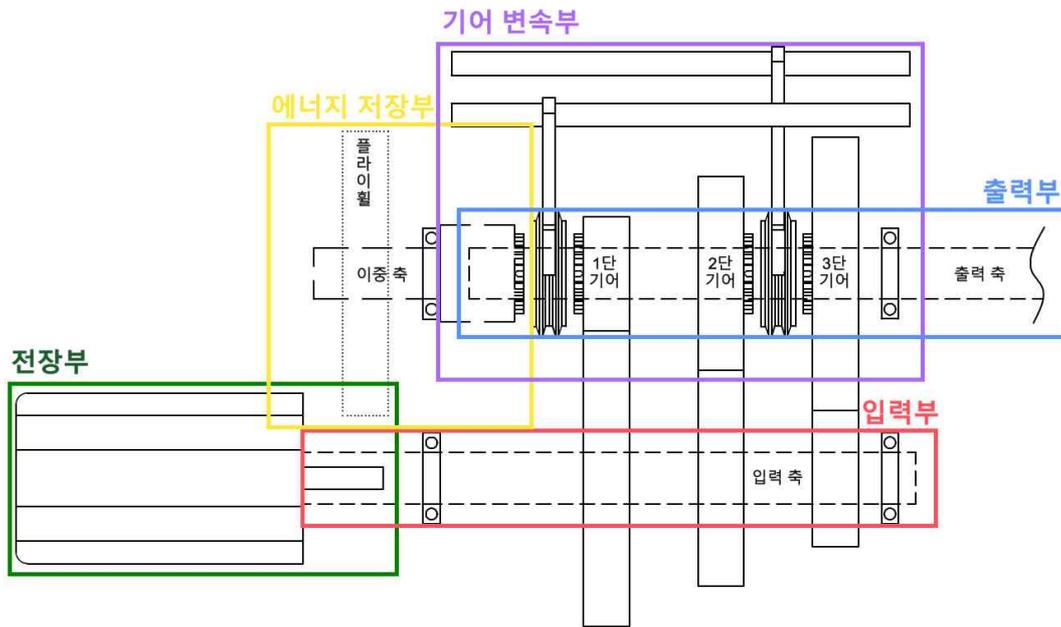
2) 개념 설계(2차)

1차로 설계한 개념의 타당성을 확보하기 위해 기존에 활용되고 있는 회생 제동장치의 작동 방식인 3상 모터와 플라이휠에 장단점을 비교 분석하였다.

- 에너지 형태의 변환이 없어 높은 에너지 효율
- 플라이휠의 지름과 무게를 조절하여 기계 사양별 맞춤 제작 가능
- 공작기계에 사용되고 있는 기계식 변속기 활용 가능
- 기계식 구성으로 높은 신뢰성 및 수명 확보

위의 장점들을 토대로 공작기계와 호환성이 좋고 산업경쟁력이라는 목적에 부합한 플라이휠 방식으로 선정하였다.

플라이휠 방식이 적용된 개념으로 상세 설계를 하기에 앞서 2D작업을 통해 구조도를 작성하였다. CNC 선반의 주축 내부 구조를 참고하여 기존 장치에 에너지 저장을 위한 플라이휠을 추가한 구조로 설계하였다. 또한 장치를 역할에 따라 전장부, 입력부, 출력부, 기어 변속부, 에너지 저장부로 구분하였다.



<자료 6, 플라이휠 회생 제동장치 적용 구조도>

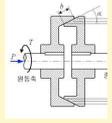
- 가) 전장부 : 전력을 동력원으로 하여 회전 형태로 동력을 전달한다.
- 나) 입력부 : 모터와 연결되어 전달받은 동력을 출력부로 전달한다.
- 다) 출력부 : 전달받은 동력으로 축을 회전시켜 가공한다.
- 라) 기어 변속부 : 직선 운동을 통해 원하는 기어비로 연결하거나 에너지 저장부와 연결한다.
- 마) 에너지 저장부 : 연결 시 에너지를 저장하고 정지 관성으로 주축을 제동한다.

3) 상세 설계

소형화된 주축 구조를 시제품으로 제작하여 플라이휠 회생 제동장치의 에너지 효율성을 검증하고, 제작 및 활용에 대한 장단점을 구분하여 가능성을 확인하는 것을 목표로 위에서 구분한 부위별 역할에 맞춰 적합한 요소를 선정하고, 요소 설계를 진행했다.

가) 요소 설계

장치 구분	요소	설계 기준	설계 내용	제작 방법				
전장부	모터	<ul style="list-style-type: none"> • 'H사' CNC선반 기준 1/3 회전수 • 회전수 변경에 용이한 DC 모터 • 높은 토크 확보 • 쉽게 구매하여 사용 가능한 제품 	<table border="1"> <tr> <td>사진</td> <td>사양</td> </tr> <tr> <td></td> <td> 기어드 모터 <ul style="list-style-type: none"> • 토크 0.96kgf-cm • 정격 회전수 1,070rpm • 전압 DC 12V </td> </tr> </table>	사진	사양		기어드 모터 <ul style="list-style-type: none"> • 토크 0.96kgf-cm • 정격 회전수 1,070rpm • 전압 DC 12V 	구매품
			사진	사양				
	기어드 모터 <ul style="list-style-type: none"> • 토크 0.96kgf-cm • 정격 회전수 1,070rpm • 전압 DC 12V 							

	<p>모터 드라이버</p> <ul style="list-style-type: none"> 회전속도 조절 기능 포함 안전성을 위한 전용 드라이버 	<p>사진</p> 	<p>사양</p> <p>속도 조절식 모터 드라이버</p> <ul style="list-style-type: none"> 가변저항 속도 제어 전압 DC 12~24V 	구매품
입력부	<p>주축</p> <ul style="list-style-type: none"> 'H사' CNC선반 기준 1/3 지름 제작이 간단한 형상 	<p>사진</p> 	<p>사양</p> <p>D컷 연마봉 (SUS304)</p> <ul style="list-style-type: none"> 지름 20mm 2mm 깊이 D컷 (키홈 역할) 	가공품
	<p>커플링</p> <ul style="list-style-type: none"> 직접 가공할 수 있는 구조 충분한 체결력 확보 	<p>사진</p> 	<p>사양</p> <p>슬리브 커플링 (SM25C)</p> <ul style="list-style-type: none"> M6 무두볼트 체결 방식 외경 30mm 	가공품
	<p>베어링</p> <ul style="list-style-type: none"> 수직, 축 방향 합성 하중 지지 적은 마찰로 높은 에너지 효율 	<p>사진</p> 	<p>사양</p> <p>앵글러 볼 베어링</p> <ul style="list-style-type: none"> 7004A 규격품 사용 	구매품
	<p>기어</p> <ul style="list-style-type: none"> 감속 시 토크 변환 확인을 위한 높은 회전비 2단 기어 최대 지름 150mm 미만 	<p>사진</p> 	<p>사양</p> <p>기어 (POM)</p> <ul style="list-style-type: none"> 기어비 $\frac{N_1}{N_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{3}$ 모듈 3 잇수 42, 14 최대 지름 132mm D컷 형상 결합 	가공품
출력부	<p>주축</p> <p>베어링</p> <p>기어</p>	* 입력부와 동일		
기어 변속부	<p>클러치</p> <ul style="list-style-type: none"> 회전 작동 중 변속 가능 가능한 큰 전달력 확보 	<p>사진</p> 	<p>사양</p> <p>원추 마찰 클러치 (PLA)</p> <ul style="list-style-type: none"> 입력각 30° D컷 형상 결합 	가공품
	<p>작동 핸들</p> <ul style="list-style-type: none"> 수동 작동 직선 왕복 운동 마찰력 전달을 위한 압력 확보 슬라이드 꺾임 방지 	<p>사진</p> 	<p>사양</p> <p>가이드 축 (SUS304) 핸들 (POM)</p> <ul style="list-style-type: none"> 지름 10mm 2개소 가이드 꺾임 방지 U자 형상 면 압력 	가공품

에너지 저장부	이중 축	<ul style="list-style-type: none"> • 주축과 베어링 공유 • 주축과 회전 구속 X • 공간 최소화 설계 		사양 중공 축 (SM45C) <ul style="list-style-type: none"> • 좌측 주축 베어링 지지 • 우측만 베어링 추가 	가공품
	클러치	<ul style="list-style-type: none"> • 기어 변속부 클러치를 통한 연결 • 에너지 저장 및 활용을 위한 양방향 작동 • 원동축 높은 회전수 • 종동축 낮은 회전수 		사양 원웨이 클러치 <ul style="list-style-type: none"> • 반대 방향 2개소 사용 • 롤러 베어링 방식 • 클러치 외경 26mm • 1/3 크기 기어 조립 	구매품
	플라이 휠	<ul style="list-style-type: none"> • 회전 관성력 ≤ 제동력 • 관성력을 통한 에너지 저장 • 공간을 최소화하기 위해 기어의 최대 지름 이하 크기 설정 		사양 플라이 휠 (GC200) <ul style="list-style-type: none"> • 지름 125mm • 무게 1.3kg • 림 구조 	구매품
구조부	베이스	<ul style="list-style-type: none"> • 가볍고 충분한 강성 확보 • 제작에 용이, 구하기 쉬운 재료 • 축간거리 조절 가능 		사양 알루미늄 프로파일 (AL) <ul style="list-style-type: none"> • 30x30 각관 • L 브라켓 조립 • 조절 가능한 스프링 너트 활용 	구매품
	베어링 하우스	<ul style="list-style-type: none"> • 간단한 지지 구조 • 통일성 있는 형상 설계 • KS규격 기준 공차 적용 		사양 T형상 하우스 (ABS) <ul style="list-style-type: none"> • 7004A 규격품 호환 • 동일 형상 6개소 • 프로파일 볼트 조립 	가공품

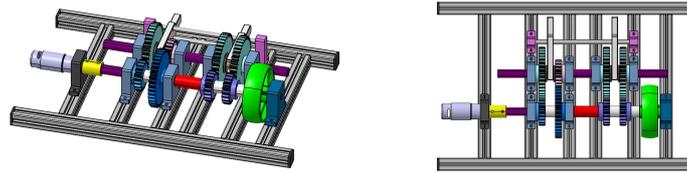
나) 설계 변경 내역

대상	기존 설계	설계 변경	변경 사유
플라이휠 지름	200mm	125mm	기어의 지름보다 큰 경우 기어박스의 공간을 비효율적으로 사용되기 때문에 기어 크기보다 작게 변경하였다.
주축 지름 (베어링 내경)	70mm	20mm	공작기계에 직접 적용할 수 없어 소형화 된 치수로 변경하였다.
클러치 방식	맞물림 클러치 (싱크로 나이저 링)	원추 마찰 클러치	싱크로나이저 링이 보다 에너지 손실이 적지만 복잡한 형상으로 제작이 어렵고, 규격품이 아니기 때문에 같은 역할에 다른 요소로 변경하였다.

4) 제작을 위한 표현

가) 3D 모델링

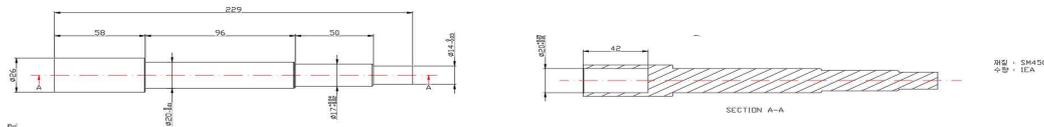
3D 설계 프로그램으로 모델링하여 조립시 간섭 확인 및 시뮬레이션을 통한 작동 확인을 진행하였다.



<자료 7, 3D 모델링>

나) 2D 도면

부품을 제작하기 위해 제작 방법과 조립 공차를 표현하여 2D 도면을 작성하였다.



<자료 8, 이중 축 제작을 위한 2D 도면>

5) 시제품 제작 및 검증

가) 시제품 제작

설계는 제작도 고려할 수 있어야 하므로 특성화 고등학교 시설을 사용하여 제작 가능한 모든 부품은 직접 제작하였으며, 클러치와 이중 축 등 일부 부품을 제작에 용이하게 변경하였다.

부품 제작(밀링 가공)	부품 제작(선반 가공)	부품 제작(3D 프린팅)	조립 및 작동 확인

나) 검증 결과

설계 내용	검증 방법	예상 값	검증 결과
주축 회전 관성 에너지	<ul style="list-style-type: none"> 1단 기어 적용 시 모터 정지 후 10초 이내 주축의 평균 회전수 측정 제동까지 걸리는 시간 측정 	평균 회전수 : 700rpm 제동 시간 : 20초	평균 회전수 : 500rpm 제동 시간 : 15초
제동시간	<ul style="list-style-type: none"> 회생 제동 장치 제동 시간 측정 제동 장치 유무에 따른 시간 비교 	제동 시간 : 2초 (90% 감소)	제동 시간 4초 (75% 감소)
에너지 효율성	<ul style="list-style-type: none"> 저장 에너지를 활용한 주축 회전수 및 작동 시간 측정 주축 회전 관성 에너지와 비교하여 회수율 확인 	평균 회전수 : 350rpm 작동 시간 : 20초 (회수율 50%)	평균 회전수 : 250rpm 작동 시간 : 10초 (회수율 33%)

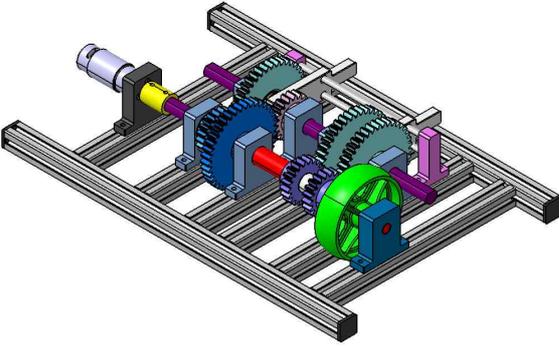
장치를 적용했을 때 에너지 효율성이 좋아진 것을 확인했다. 하지만 예상보다는 효율이 떨어졌는데, 기어 물림률, 마찰 클러치, 조립 공차의 누적과 같이 고려하지 못한 부분에서 손실이 발생했다.

3. 설계 수행 일정

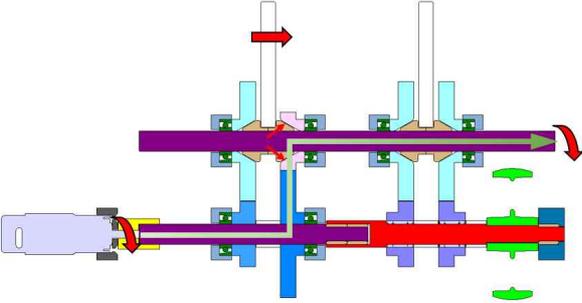
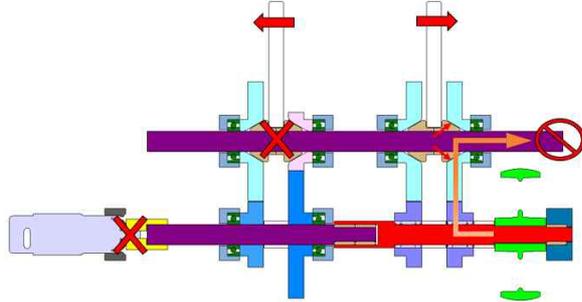
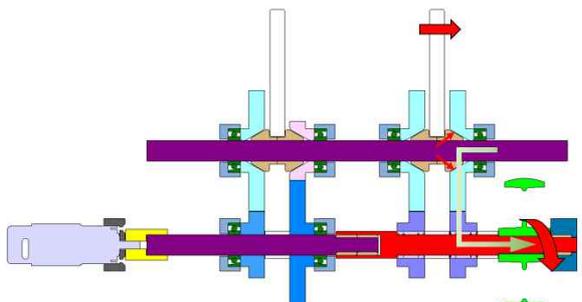
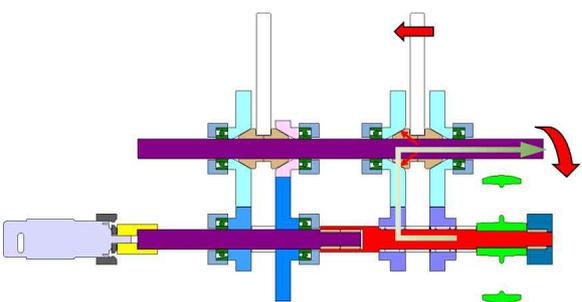
설계 진행 내용	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
아이디어 선정 및 개념설계(1차)	■						
제안서 작성		■					
기반 이론 보완		■	■				
개념설계(2차) 및 타당성 검증			■	■			
중간보고서 작성			■	■			
상세 설계				■	■		
제작을 위한 표현				■	■		
시제품 제작 및 검증					■	■	
최종보고서 작성					■	■	
프레젠테이션 준비						■	■

4. 설계 결과물

(1) 최종 결과물 형상 및 작동원리

3D 모델링	실물 사진
	

플라이휠 회생 제동 장치 작동원리

상황	작동원리
<p>1. 주축 회전</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 모터 작동 2. 변속기 핸들 마찰 클러치 가압 3. 1단/2단 기어 연결 4. 주축 회전
<p>2. 주축 제동</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 변속 클러치 해제 2. 모터 정지 3. 플라이휠 연결 4. 정지 관성을 통한 주축 제동
<p>3. 에너지 저장 * 원웨이 클러치로 주축 제동과 에너지 저장 동시 진행</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 주축의 회전 관성 에너지 전달 2. 플라이휠 회전 3. 관성으로 회전 에너지 저장
<p>4. 저장된 에너지 활용</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 역방향 기어 연결 2. 플라이휠의 회전 에너지 전달 3. 주축 회전

(2) 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

가) 장점

- 회생제동 장치를 이용한 에너지 효율성 향상 확인
우리는 회생 제동장치를 공작기계 주축 구조에 적용하여 에너지 효율성을 향상됨을 확인하였고, 산업에 적용할 수 있는 가능성을 보았다.
- 신뢰성 확보 및 손실의 최소화
기계식 장치로 신뢰성을 확보하였고, 회전 에너지 형태로 저장하여 전환하는 손실을 최소화했다.
- 양방향의 회생 제동을 통한 확장성
양방향 모두 회생 제동할 수 있었기 때문에 주축 회전의 공작기계 외에도 양방향 회생 제동이 필요한 모든 기계 장치로 확장하여 적용할 수 있다.

나) 단점

- 부족한 에너지 효율성
예상보다 에너지 회생율이 낮았기 때문에 경쟁력을 갖추기 위해선 플라이휠과 기어비를 조작하여 최적값을 찾아 효율성을 높여야 하고 미처 고려하지 못한 기어 물림률, 마찰 클러치, 조립 공차 누적도 관리하여 개선해야 한다.
- 제동 시간 및 완전 제동
제동하는 과정에서 회생 제동장치만으로 완전 제동까지 시간이 필요하므로 긴급한 상황이나 생산성을 확보하기 위해서 협력 제동 시스템을 추가하여 보완해야 한다.

5. 활용방안 및 기대효과

1) 에너지 회수를 통한 **효율성 증가**

회생 제동장치가 작동하면서 기존에 소실되던 에너지를 재사용 할 수 있게 만든다. 다시 소생된 에너지는 공작기계를 작동하는 데 필요한 에너지로 사용되면서 이전과 비교했을 때, 공작기계를 작동하는 데 필요한 전체 에너지의 양이 감소한다. 사용되는 전체 에너지 대비 생산량이 증가하여 에너지의 효율성을 증가시킬 수 있다.

2) 적용의 확장을 통한 **산업경쟁력 확보**

이론적으로 파악한 내용들을 공작기계에 적용한 시제품을 만들어 보면서 실제로 얻을 수 있는 효과성과 효율성을 확인할 수 있었다. 회전운동을 이용하는 연삭기나 밀링 등의 공작기계나 컨베이어 벨트, 프레스와 같은 왕복 운동 기계에 확장한다면 더 높은 산업경쟁력을 기대할 수 있다.

<참고문헌>

- 플라이휠 방식 참고 : 불보의 순수 기계식 하이브리드 Flywheel KERS 기사
(<https://www.autoelectronics.co.kr/article/articleView.asp?idx=1137>)
- 기어 변속기 : 블로그 설명 및 사진 참조(<https://m.blog.naver.com/bossjin1003/220667508119>)
- 요소 설계 관계식 : Pass 기계설계(위을북 저자, 학진북스 2021년 출판)