

## PCD 조절기계 설계 및 타이어 교체작업의 동작 분석

### Design of PCD Adjustment Device and Motion Study of Tire Replacements

이 태 환\*      전 태 보\*\*  
Lee, Tae Hwan      Jeon, Tae Bo

---

#### Abstract

A new PCD (Pitch Circle Diameter) adjustment system has been designed in this study. Traditional system requires repetitive same works in changing automobile tires. The system proposed in this study requires just one simultaneous work to finish the job. We designed the system using Solidworks CAD software. We further investigate the jobs for both cases through work factor method. Based on careful clarification of the job, work factor units were assigned to each work factor. Even if further analysis should be processed for actual field application, the mechanism proposed in this study may provide good reference for practical usage.

키워드 : *Pitch Circle Diameter*, 동작분석, 워크팩터

Keywords : *Pitch Circle Diameter*, *Motion Study*, *Work Factor*

---

#### 1. 서론

현대 사회에서의 자동차가 우리 생활에서 갖는 비중은 지대하며 젊은 층의 자동차 소유 증가등으로 인한 수요 또한 계속 증대되고 있다. 그 중에서 타이어는 소모품 중 운전자의 안전 및 자동차의 주행에 영향을 주는 중요한 부품이다. 타이어의 교체주기는 대체로 3만~5만km나 3년 정도의 주기로 교환을 해주는 것이 보통이다. 운행이 적어도 오래 되면 고무가 경화되어 승차감 및 안정감이 떨어진 다. 또한 고속으로 주행을 하는 때에는 타이어의 소모가 빠르고 마찰열 때문에 타이어를 자주 갈아 주어야 한다. 자동차 수리자의 입장에서 타이어 교체는 많은 부분 수작업에 의존하며 교체 시간은 중요한 요소이다. 특히, 레이스 경주 같이 시간을 다투는 곳에서는 타이어의 교체의 시간 단축이 승

패를 좌우 한다고 해도 과언은 아니다. 이 논문에서는 타이어 교체작업을 단축시킬 수 있는 기계 설계와 이 기계를 이용한 작업의 미세동작 연구를 하고자 한다.

연구수행을 위하여 다음 절에는 대상 시스템에 대한 전반적인 내용을 고찰하며, 제 3절에는 본 연구에서 제안하는 PCD 조절 장치를 설계한다. 제 4 절에서는 타이어 교체에 대한 전통적인 방법과 제안된 방법에 대하여 워크팩터법을 이용하여 분석한다. 이 경우의 개선 효과를 도출한다. 제 5절에서는 전체적인 결론을 갖는다.

#### 2. PCD 개요

##### 2.1 PCD 소개

설계에 들어가기에 앞서 자동차 타이어에 관련 되어 알아보도록 한다. 타이어의 휠 너트 구멍과 구멍 간의 간격을 PCD(Pitch Circle Diameter)라고 하며 BCD(Bolt Circle Diameter)라고도 불린다. 승용차 볼트 홀은 보통 네 개에서 다섯 개이며,

---

\* 강원대학교 산업공학과

\*\* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사, 교신 저자

SUV같은 경우는 보통 다섯 개에서 여섯 개로 각각 4H, 5H, 6H 등으로 표기한다. 회사마다 고유의 PCD를 가지고 있으므로 이 PCD를 정확히 알고 있어야 자신의 휠을 구입 할 때도 쉽게 구할 수 있다.

## 2.2 PCD 측정 방법

다음은 PCD 측정 방법에 대해 알아보도록 한다.

-4홀(4H): 볼트의 구멍이 4개인 경우를 말하며 PCD 측정방법은 의외로 간단하다. 볼트구멍 중간부터 대각선 건너편 볼트구멍 중간까지의 거리를 측정하면 그 휠의 PCD가 된다.

-5홀(5H): 이해를 돕기 위해 그림 1과 같이 볼트 구멍의 번호를 매기도록 한다. 시계방향으로 돌아가면서 1번부터 5번까지의 볼트구멍이 있다고 하고 원칙적인 측정방법은 1번 볼트 구멍의 중간부터 2번과 3번 중간거리를 측정하는 방법이지만, 정확히 계산되기가 어렵다는 단점이 있다. 미국에서 출판되는 BLUE NOTE의 게이지를 근거로 계산하며, 1번 볼트 구멍의 중간부터 2번 볼트 구멍 중간까지의 거리만을 측정하여 PCD를 확인하는 방법이 좋다.

-6홀(6H): 이 방법은 4홀과 같이 건너편 볼트를 측정하면 된다.



그림 1 휠 너트 구멍과 구멍간의 간격

## 2.3 국내 차종별 PCD 규격

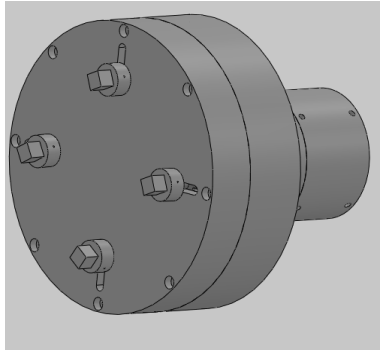
PCD는 mm로 표시하며 차종에 따라 100, 105, 114.3, 115 등의 규격을 사용한다. 표 1은 국내 일부 차종별 홀 수와 PCD 규격을 나타낸 것이다.

표 1 차종별 PCD 규격

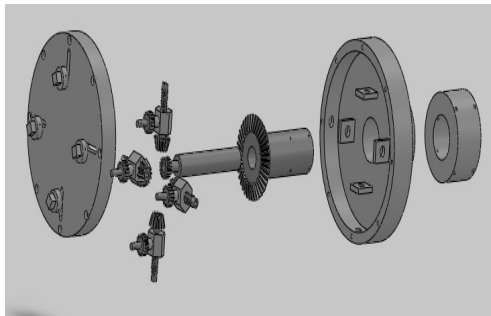
차종	HOLE	PCD
에쿠스	5H	114.3
엑센트	4H	114.3
소나타 1.2.3	(4H)	114.3
EF소나타	4H	114.3
터블런 스티뷰런	4H	114.3
아반떼, XD	4H	114.3
엘란트라	4H	114.3
아토스	4H	114.3
클릭	4H	100
베르나	4H	100
그랜저XG	5H	114.3
스타렉스	5H	120
산타페	5H	114.3
엑셀	4H	114.3
크레도스 1.2	4H	114.3
캐피탈	4H	100
카렌스2	4H	114.3
카스타	4H	114.3
옵티마 /리갈	4H	114.3
엘란	4H	100
카니발2	5H	114.3
쏘렌토	5H	139.7
스포티지	5H	139.7
체어맨	5H	112
렉스턴	6H	139.7
무쏘/스포츠	6H	139.7
라세티	4H	114.3
레조	4H	114.3
마티즈/마티즈2	4H	114.3

### 3. PCD 조절 기계 설계

본 연구에서는 매회 개별 볼트를 교체하는 시스템을 한 번에 모두 교체할 수 있는 경우를 고려하며 여기서는 설계된 4홀 PCD 조절기계를 고찰한다. 먼저, 설계된 PCD 조절 기계의 외형은 그림 2a와 같으며 홀 별로 조절범위가 요구된다. 그림 2b는 이의 분해도이다.



a) 조절기계 외형

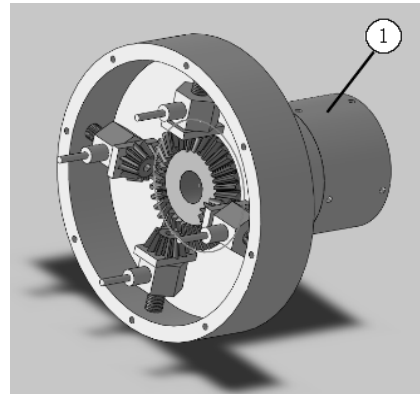


b) 분해도

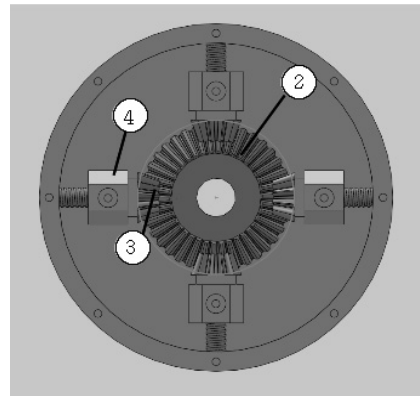
그림 2 4홀 PCD 조절 기계  
a) 조절기계 외형 b) 분해도

#### 3.1 조절범위 설계

표 1에서 보다시피 회사별, 차종별로 PCD 및 홀의 수가 다르기 때문에 조절범위가 필요하다. 조절범위는 표 1의 회사별 차종별 PCD 규격을 고려하여 약 100-150mm를 정하여 설계하였으며 그림 3a의 ①번 부분을 회전시키면 연결되어있는 그림 3b의 ②번 기어가 돌아가 맞물려있는 ③번 기어를 회전시키고, ③번 기어가 회전하면 기어에 끼어있는 ④번 너트가 움직여 조절하는 방식으로 설계하였다.



a) 등각도



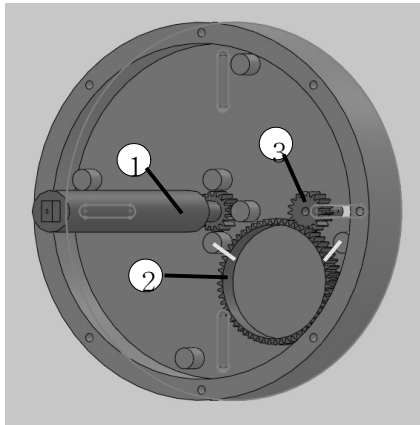
b) 정면도

그림 3 PCD 조절기계의 조절범위

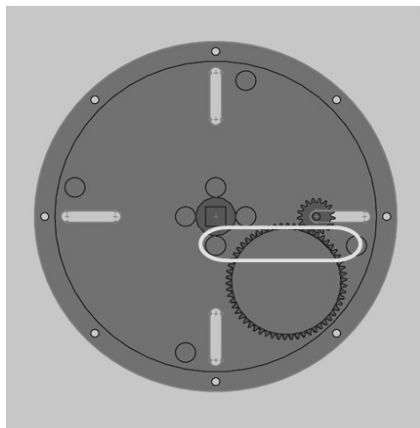
a) 등각도 b) 정면도

#### 3.2 동력전달 설계

동력전달은 기존의 드릴의 동력을 각각의 홀의 개수로 분산시켜주는 형식으로 설계하였다. 여기서 중요한 것은 동력이 분산되기 때문에 PCD기계를 사용하는 드릴의 동력은 기존의 동력보다는 우수한 성능이 보장되어야 한다. 그림 4가 구체적인 메카니즘을 도시한다. 그림 4a의 ②번 벨트기어는 플라스틱 재질이며 ②번 기어 옆의 기동 두 개에 걸치게 설계하였으며 걸쳐졌을 때의 모양은 그림 4b에 표시되어 있는 것처럼 양쪽 끝이 둥근 직사각형 모양과 같다. 동력전달은 드릴을 ①번에 끼우고 회전시키면 맞물린 ②번 벨트기어가 회전하고 차례로 ③번 기어가 회전하여 각각의 홀의 볼트를 돌리는 방식으로 설계하였다.



a) 등각도



b) 정면도

그림 4 PCD 조절 기계의 동력전달

a) 등각도 b) 정면도

이하 세부적인 부품들의 설계 내용은 생략하며 부록에 도시되었다.

#### 4. 동작분석

다음은 PCD 조절 기계를 이용한 미세동작 분석을 하도록 한다. 이 실험은 레이싱 업계에서 일을 하고 있는 표준작업자를 대상으로 하였으며 차량은 4홀의 차량을 대상으로 하였다. 작업은 2인1조로 하며 1인은 타이어의 볼트를 풀고 조이고 타이어를 교체하는 작업을 하며, 또 다른 1인은 옆에서 교체할 타이어를 옮겨 주거나 풀었던 볼트를 가지고 있다가 조일 때 작업자에게 주는 작업을 2개의 조가 자동차의 한쪽 라인씩 맡아서 작업을 한다.

PCD 조절기계를 이용한 작업 개선방법은 기구를 개선한 방법이기 때문에 옆에서 보조하는 작업자는 하는 일이 같으며 궁극적으로는 1인 작업체제로 정착이 되어야 하므로 미세동작분석은 타이어의 탈부착 및 볼트를 풀고 조이는 작업자에 중점을 두었다. 또한 실제 상황에 맞게 차량이 들어오기 전에 작업 도구를 가지고 있다는 가정하에 분석을 하였으며 동작분석 방법으로는 워크팩터를 이용하였다.

#### 4.1 워크팩터법 (WF: Work Factor)

워크팩터법은 1938년 미국의 경영학자 J. A. Quick이 발표한 표준시간 설정을 위한 방식이다. 스톱워치를 사용하지 않고 객관적인 작업의 표준시간을 설정하는 여러 방법을 PTS법(예정시간표준법: Predetermined Time Standards)이라 한다. 이것은 미리 작업동작을 기본적으로 분석하여 표준시간을 정하고, 이로부터 모든 작업동작의 시간치를 도출하여 내는 것이다. 즉, 신체 각 부위의 동작시간은 다른 조건이 같다면 움직이는 거리의 함수라는 개념을 근거로 하여 팔·다리 등의 신체부위와 거리에 따라 기본시간이 주어진다. 그리고 여기에 동작시간의 지연요인이라고 생각되는 5개의 워크 팩터(중량 또는 저항·정지·방향조절·주의·방향변경)를 감안하여 각 동작의 시간치를 구한다.

WF법 적용상의 유의사항은 다음과 같다.

- ① WF 동작시간표에 표시되어 있는 시간치는 표준페이스 개념이 아니라 장려급 제도하에서 평균 수준의 작업자페이스에 기준을 둔 것이며, 여유시간이 포함되어 있지 않다.
- ② WF를 이용하여 측정할 수 있는 최소단위시간은 WF시스템에 따라 차이가 있는데, DWF의 경우 시간단위가 WFU(Work Factor Unit)이며  $1WFU=1/10,000$ 분이다.

#### 4.2 작업 여유율 산정 및 표준시간의 비교

타이어 교체 작업은 긴 시간의 작업이 아니므로 작업자의 여유가 필요 없다 생각될 수 있다. 하지만 일반여유와 불가피한 지연이 있을 수 있기 때문에 여유율 산정은 구간의 실무적인 경험에 의거 일반여유(35%), 불가피 지연 여유(25%)를 합산하여 총 57%로 산정하였다.

상술한 워크팩터법에 의거 기존 시스템 및 새로이 설계된 시스템에 대하여 상세 분석을 수행하였으며 결과는 표 2 및 표 3과 같다. 이를 바탕으로 개선 전의 표준시간과 개선 후의 표준시간을 비교해보면 다음과 같다.

개선 전

WFU 수치 = 4426

정미 시간 = 0.4426분

표준시간 =  $0.4426 * (1 + 0.57) = 0.694882$   
0.694882분/타이어

개선 후

WFU 수치 = 1570

정미 시간 = 0.1570 분

표준시간 =  $0.1570 * (1 + 0.57) = 0.24649$   
= 0.24649분/타이어

표 2 기존 타이어 교체 작업의 미세동작분석

No	왼손 동작 내용	분석	WFU	누적	누적	WFU	분석	오른손 동작 내용
1	첫번째 볼트에 드릴을 운반	A40SD	109	109	109	109	A40SD	첫번째 볼트에 드릴을 운반
2	첫번째 볼트에 드릴을 삽입	A5SD	43	152	152	43	A5SD	첫번째 볼트에 드릴을 삽입
3	드릴 총구를 잡음	F1W	23	175	478	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
4					521	43	A5SD	드릴을 분리
5	볼트를 잡음	F1W	23	198				
6	볼트를 분리	A5SD	43	241	521			
7	볼트를 놓음	F1W	23	264	582	61	A10SD	두번째 볼트로 드릴을 운반
8	드릴 총구로 팔을 뺨음	A10D	61	325	625	43	A5SD	첫번째 볼트에 드릴을 삽입
9	드릴 총구를 잡음	F1W	23	348	951	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
10					994	43	A5SD	드릴을 분리
11	볼트를 잡음	F1W	23	371				
12	볼트를 분리	A5SD	43	414				
13	볼트를 놓음	F1W	23	437	1055	61	A10SD	세번째 볼트로 드릴을 운반
14	드릴 총구로 팔을 뺨음	A10D	61	498	1098	43	A5SD	첫번째 볼트에 드릴을 삽입
15	드릴 총구를 잡음	F1W	23	521	1424	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
16					1467	43	A5SD	드릴을 분리
17	볼트를 잡음	F1W	23	544				
18	볼트를 분리	A5SD	43	587				
19	볼트를 놓음	F1W	23	610	1528	61	A10SD	네번째 볼트로 드릴을 운반
20	드릴 총구로 팔을 뺨음	A10D	61	671	1571	43	A5SD	첫번째 볼트에 드릴을 삽입
21	드릴 총구를 잡음	F1W	23	694	1897	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
22					1958	61	A10SD	드릴을 분리
23	총구에서 손을 뺨	R1-C	0	694	1981	23	F1W	드릴을 내려 놓음
24	타이어로 손을 뺨음	A20D	80	774	2061	80	A20D	타이어로 손을 뺨음
25	타이어를 손으로 잡음	F1W	23	797	2084	23	F1W	타이어를 손으로 잡음

표 2 기존 타이어 교체 작업의 미세동작분석 (- 계속)

No	왼손 동작 내용	분석	WFU	누적	누적	WFU	분석	오른손 동작 내용
26	타이어를 옆으로 운반	A30D	96	893	2180	96	A30D	타이어를 옆으로 운반
27	타이어를 내려놓음	F1W	23	916	2203	23	F1W	타이어를 내려놓음
28	교체용 타이어로 손을 뺌	A20D	80	996	2283	80	A20D	교체용 타이어로 손을 뺌
29	교체용 타이어를 잡음	F1W	23	1019	2306	23	F1W	교체용 타이어를 잡음
30	교체용 타이어를 차에 삽입	A20SD	96	1115	2402	96	A30SD	교체용 타이어를 차에 삽입
31	볼트를 잡으려 팔을 뺌	A10D	61	1176	2463	61	A10D	드릴을 잡으려 팔을 뺌
32	볼트를 4개 잡음	4F1W	40	1216	2486	23	F1W	드릴을 잡음
33	볼트 1개를 첫번째 구멍에 삽입	A10SD	61	1277	2595	109	A40SD	드릴을 첫번째 구멍으로 운반
34					2638	43	A5SD	드릴을 볼트에 삽입
35					2964	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
36	볼트 1개를 골라 잡음	F1W	23	1300	3007	43	A5SD	드릴을 분리
37	볼트 1개를 두번째 구멍에 삽입		23	1323	3068	61	A10SD	드릴을 두번째 구멍으로 운반
38					3111	43	A5SD	드릴을 볼트에 삽입
39					3437	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
40	볼트 1개를 골라 잡음	F1W	23	1346	3480	43	A5SD	드릴을 분리
41	볼트 1개를 세번째 구멍에 삽입	A10SD	61	1407	3541	61	A10SD	드릴을 세번째 구멍으로 운반
42					3584	43	A5SD	드릴을 볼트에 삽입
43					3910	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
44	볼트 1개를 골라 잡음	F1W	23	1430	3953	43	A5SD	드릴을 분리
45	볼트 1개를 네번째 구멍에 삽입	A10SD	61	1491	4014	61	A10SD	드릴을 네번째 구멍으로 운반
46					4057	43	A5SD	드릴을 볼트에 삽입
47					4383	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
48		BD	2935	4426	4426	43	A5SD	드릴을 분리

표 3 PCD 조절 기계를 이용한 타이어 교체작업의 미세동작분석

No	왼손 동작 내용	분석	WFU	누적	누적	WFU	분석	오른손 동작 내용
1	볼트에 드릴을 운반	A40SD	109	109	109	109	A40SD	볼트에 드릴을 운반
2	볼트에 드릴을 삽입	A5SD	43	152	152	43	A5SD	볼트에 드릴을 삽입
3	PCD기계 손잡이를 잡음	F1W	23	175	478	326	F1W	드릴의 버튼을 누름
4	드릴을 분리	A5SD	43	218	521	43	A5SD	드릴을 분리
5	PCD기계 손잡이에서 손을 뺌	R1-C	0	218	544	23	F1W	드릴을 내려 놓음
6	타이어로 손을 뺌	A20D	80	298	624	80	A20D	타이어로 손을 뺌
7	타이어를 손으로 잡음	F1W	23	321	647	23	F1W	타이어를 손으로 잡음
8	타이어를 옆으로 운반	A30D	96	417	743	96	A30D	타이어를 옆으로 운반
9	타이어를 내려놓음	F1W	23	440	766	23	F1W	타이어를 내려놓음
10	교체용 타이어로 손을 뺌	A20D	80	520	846	80	A20D	교체용 타이어로 손을 뺌
11	교체용 타이어를 잡음	F1W	23	543	869	23	F1W	교체용 타이어를 잡음
12	교체용 타이어를 차에 삽입	A20SD	96	639	965	96	A30SD	교체용 타이어를 차에 삽입
13	PCD를 잡으려 팔을 뻗음	A10D	61	700	1026	61	A10D	드릴을 잡으려 팔을 뻗음
14	PCD기계 손잡이를 잡음	F1W	23	723	1049	23	F1W	드릴을 잡음
15	드릴을 볼트 구멍으로 운반	A40SD	109	832	1158	109	A40SD	드릴을 볼트 구멍으로 운반
16	드릴을 볼트 구멍에 삽입	A5SD	43	875	1201	43	A5SD	드릴을 볼트에 삽입
17					1527	326	A1W	드릴의 버튼을 누름
18		BD	695	1570	1570	43	A5SD	드릴을 분리

## 5. 결론

미세동작분석 결과로 타이어 하나를 교체하는 데 걸리는 시간은 이전 작업방법 약 0.694882분, 새로운 설계 후 작업방법 0.24649분으로 나왔다. 이는 PCD 조절기계를 이용하여 작업하는 것이 기존의 작업보다 약 181%의 효율 향상이 있다는 것을 알 수 있다. 이 수치는 실제 시간으로 따져 볼 때 그다지 크다고 말할 수 있는 수치는 아니다. 그러나, 시간을 다루는 레이싱 경기에는 승패를 좌우

할 수 있는 것이기 때문에 PCD 조절 기계가 실용화 된다면 많은 도움이 될 것이라 예상되며, 레이싱에서 뿐만 아니라 하루에 수백 회를 반복하는 일반 자동차 정비소에 도입하였을 때에도 큰 시간 절약을 할 수 있기 때문에 더 많은 차량을 정비할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 본 연구에서는 기존 작업 도구를 사용하였을 때와 PCD 조절 기계를 사용하여 작업하였을 때의 피로 누적이나 차

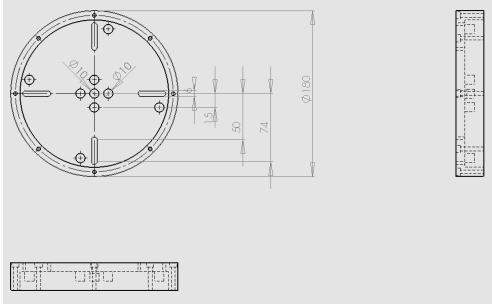
중 변경 시 조절기의 조절시간 등을 고려하지 않고 타이어의 교체 작업 시간만을 중점적으로 하였기 때문에 앞서 언급한 것들은 향후의 연구주제로 남겨두도록 한다.

### 참 고 문 헌

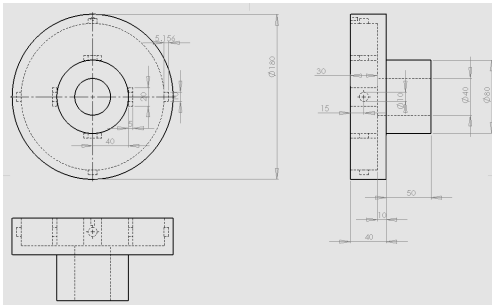
- [1] 황학, 작업관리론, 영지문화사, 2008.

### 부 록 - 기계 설계도면

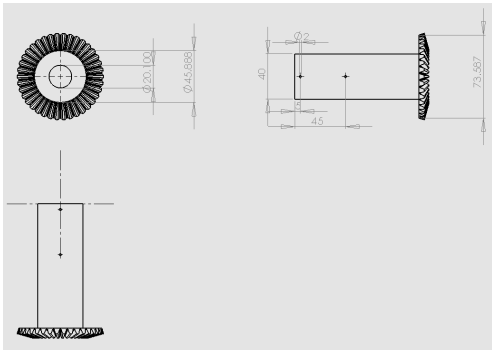
부품 1



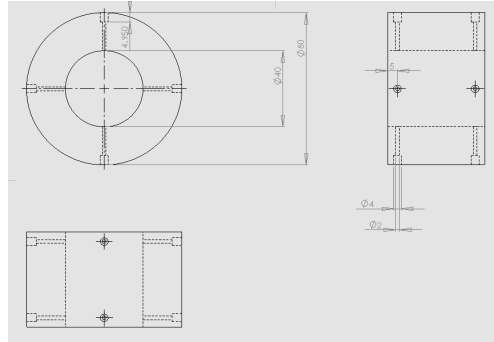
부품 2



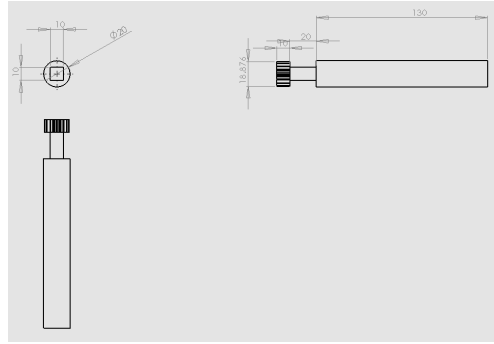
부품 3



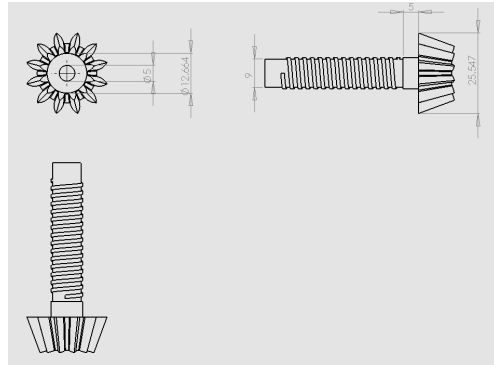
부품 4



부품 5

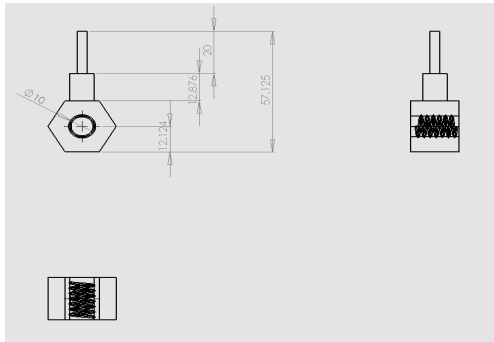


부품 6

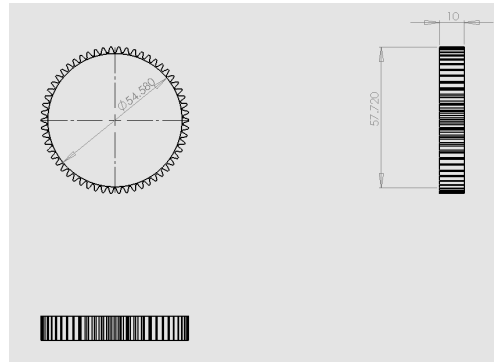




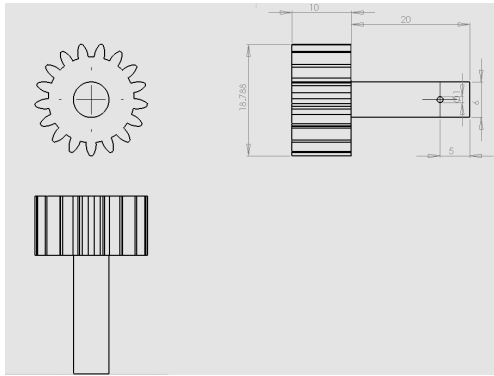
부품 7



부품 10



부품 8



부품 9

