

# 랙 & 피니언 기어를 이용한 소형 자동차의 직접 조향 방식에 관한 연구

김순호\*, 강민철\*\*

## Study on the Direct Steering System using Rack and Pinion for Ultra-Small Vehicles

Soon Ho Kim\*, Min Cheol Kang\*\*

### ABSTRACT

This study present a direct steering system using rack and pinion for ultra-small vehicles. The traditional small vehicles for special use had the limitation of space by reason of short wheel tread. These vehicles has adopted a indirect steering system or a center arm system for steering. The disadvantages of these system were deterioration of gear efficiency and increase of parts. For direct-linkage to both knuckles, steering system is made up of out-side tie rods, tie-rod ends, and gear box. Thus, the proposed system has a minimum number of parts. The experimental results show a maximum efficiency at minimum steering angle and a minimum clearance circle. These effects were accomplished by adopting a Ackerman-Jantaud theory.

**Key Words** : direct steering system(직접조향방식), center arm system(센터암방식)  
gear efficiency (기어 조향력), minimum clearance circle(최소회전반경)  
Ackerman-Jantau theory(에커먼-장토이론)

### 1. 서론

자동차가 주행중인 경우에는 노면상태의 양·불량, 진동 및 충격 등의 여러 요인 등으로 인하여 운전자의 피로를 누적시킬 뿐 아니라, 자동차의 승차감 및 조종 안정성을 크게 저하<sup>1-3)</sup>시킬 수 있다. 따라서 자동차의 조향 장치는 자동차가 주행중일 때 스티어링 휠 등의 조작에 의하여 운전자가 의도

하는 방향으로 자동차의 진행 방향을 전환하는 장치로서, 외부 충격을 흡수하는 현가 장치와 함께 조종성을 확보하여 전체적인 승차감 향상을 도모하며, 안전성 및 사고 예방에도 중요한 역할을 담당한다. 이와 같은 자동차의 조향 장치는, 초기에는 마차에 사용되었던 것과 같은 형식, 즉, 중앙부를

2001년 6월 8일 접수  
\* 신라대학교 자동차공학과  
\*\* 까로모터스사

중심으로 차축이 바퀴와 함께 방향을 변경하는 전차대식(turn table system)이 사용되었지만, 자동차의 중량증가 및 속도증가에 따라 여러 가지 문제점이 발생하였다.

이에 따라 영국의 에커먼(Rudolph Ackermann)은 앞차축의 양끝에 장착된 연결 부위를 관절로 하여, 이것과 연결된 차축만을 좌우로 경사지게 하여 방향을 변경하는 기구<sup>4-6)</sup>를 발명하였다. 그러나 이 기구는 양쪽의 앞바퀴가 회전하려는 방향으로 타이어를 심하게마모시키는 단점이 있었다. 그 후 1817년 프랑스인 장토(Charles Jantaud)는, 이러한 결점을 없애기 위해서 좌·우 앞바퀴축의 중심선과 뒷바퀴축의 중심선이 한 점에서 교차되게 하는 보완 기구<sup>7,8)</sup>를 발표하였다. 이것을 에커먼-장토식 조향 기구<sup>9,10)</sup>라 하며, 현재 자동차에 사용되고 있는 조향 장치의 기초를 이루고 있다. 이러한 조향 장치의 소형자동차 적용의 경우를 살펴보면, 소형자동차는 사용상의 편리성은 있으나 일반차량의 휠 트레이드에 비해 1000mm이하로 훨씬 작기 때문에 공간상의 제약을 많이 받는다. 따라서 차량의 방향전환에 필수적으로 이용되는 소형차에서의 조향장치의 공간 이용을 최소화시키는 것이 시급한 과제라 할 수 있다. 그리고 현재 대부분의 소형자동차 조향기어 방식은 주로 랙과 피니언을 이용한 방식이 채용되고 있는데, 그 중 한 경우는, 랙과 피니언 기어를 포함하는 기어박스가 좌측에 위치함으로써, 센터암과 랙과 피니언 기어를 지지하는 지지체가 소요되어 기계적 공간이 제약되며, 부품의 개수가 증가되는 결점을 가지고 있으며, 또 다른 경우는 랙과 피니언 기어박스가 일측 너클에만 직접 연결되어 간접 조향됨으로써, 부품의 수는 줄어드나 좌·우 회전시 조향력 및 조향각의 편차가 생기는 문제점이 있다.

따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 랙과 피니언 기어를 타이로드를 이용하여 양 너클에 직접 연결시켜 바퀴를 직접 조정 시킴으로써, 센터암을 이용하지 않고도 센터제어를 하여 조향력을 향상시키고자 한다. 또한 차량 내부공간을 최대한 확보시킴과 동시에 부품수를 줄이며, 에커먼-장토식을 구현시키면서 외부의 충격에도 충분한 조향력이 확보되는 효율성과 경제성을 겸비한 공간 절약형 조향 장치에 대하여 연구·개발하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

현재 대부분의 골프카 및 산업용 물류 수송 등에는 유틸리티 카(utility car)인 소형자동차가 널

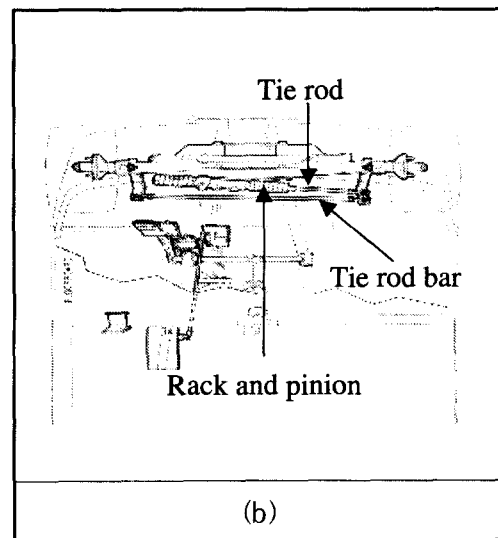
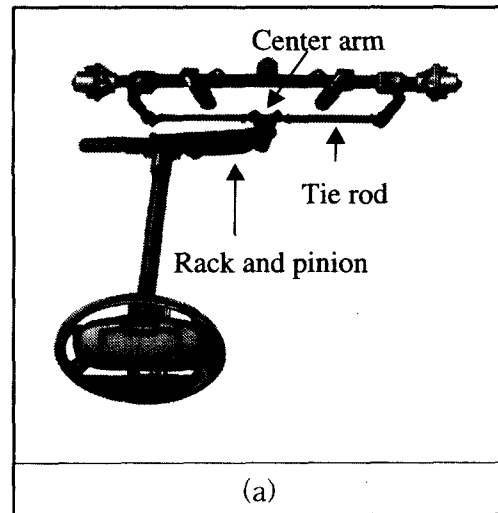


Fig. 1 Steering system of small vehicles in practice.

리 사용된다. 이러한 소형자동차 조향기어 방식은 주로 랙과 피니언 기어를 이용한 방식이 채용되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 장치 중, Fig. 1 (a)의 조향기어 방식은 랙과 피니언 기어를 사용하여 중간에 배치된 센터암에 랙기어가 좌·우 움직임에 따라 중심축을 기준으로 좌·우 바퀴의 타이로드에 의해 조향이 되는 방식으로, 유격이 작아 조향성은 우수하나 랙과 피니언 기어를 포함하는 기어박스가 좌측에 위치함으로써 센터암과 랙과 피니언 기어를 지지하는 지지체가 소요되어 기계적 공간이 제약되며, 부품의 개수가 증가되는 결점을 가지고 있다. 한편 Fig. 1 (b)의 경우는, 랙과 피니언 기어박스의 일측단부에 제1타이로드를 설치하여 제1타이로드의 단부를 일측너클에 연결시키고 상기 일측너클은 제2타이로드를 통하여 타측너클과 연결되는 방식으로, 이것은 랙과 피니언 기어박스가 일측너클에만 직접 연결되어 간접 조향되므로 부품의 수는 줄어드나 좌·우 회전시 조향력 및 조향각의 편차가 생기는 문제점이 있다. 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 본 연구에서는 Fig. 2와 같은 소형자동차 장치를 구성하였다. 즉, Fig. 2에서와 같이 자동차의 운전석측에 설치된 스티어링 휠의 회전력을 전달받아 회전되는 스티어링 샤프트(a)의 끝단에 인터미디에이터 샤프트 어셈블리(b)를 연결시키고, 여기에 연결된 피니언과 랙을 기어하우징(c)에 수용시켜 중앙에 배치한다. 그리고 랙의 양단에 각각 타이로드(d)를 연결, 설치하여 랙의 유동력을 바퀴측으로 전달시킴과 동시에 충격을 흡수하도록 한다. 또한 이 타이로드의 유동에 의해 유동됨과 동시에 구동바퀴의 조향각을 제어하는 타이로드 앤드(e)에 너클암(f) 및 허브(g)를 직접 연결시켜 바퀴를 조향하게 한다. 결과적으로 본 연구의 직접 조향장치는 랙과 피니언 양끝단에 OTR(outside tie rod)을 연결한 후, 타이로드 앤드(양 볼 조인트)가 양 너클에 직접 연결됨으로써, 조향장치의 구성부품도 줄일 수 있으며, 조향력 향상을 기대할 수 있다. 아울러, OTR, 타이로드 앤드가 양 너클에 직접 연결됨으로써, 차량이 충격을 받았을 때에도 X, Y, Z 축으로 움직이기 때문에 가혹한 상황에서도 조향력을 확보할 수 있을 것으로 기대한다.

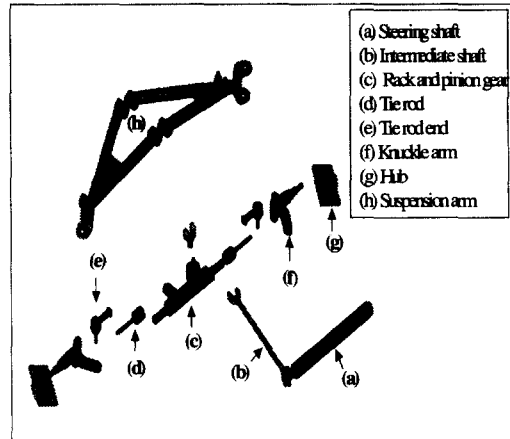


Fig. 2 Structure diagram of steering system of this study.

그리고 Fig. 2의 구성품을 조립한 경우의 본 연구 조향장치 실모형을 Fig. 3에 나타내었다.



Fig. 3 Photo of steering system of this study.

또한 본 연구를 위해 제작한 소형자동차의 제원을 벤치 마킹한 외국의 실제 운행 소형자동차와 비교하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Comparisons of specifications for small electric vehicles.

Specifications	Models		
	SEV model	C company	E company
Overall Length(mm)	2,400	2,320	2,330
Overall Width(*)	1,180	1,200	1,180
Wheel Base(*)	1,680	1,660	1,660
Front Wheel Tread(*)	930	880	890
Rear Wheel Tread(*)	980	980	965
Dry Weight (Kg)	240	269	252
Clearance Circle(mm)	5,000	5,330	5,800
Motor	48V	48V	36V
Battery	3.5HP 8volt 220Ah	3.1HP 8volt 220Ah	3.0HP 6volt 220Ah
Suspension (Front)	Coil/Damper	Leaf/Damper	Leaf/Damper
Suspension (Rear)	Leaf/Damper	Leaf/Damper	Leaf/Damper
Steering System	two-way direct steering sys. using rack and pinion	one-way indirect steering system using rack and pinion	self-compensating single reduction rack and pinion

2.2 실험방법

2.2.1 에커먼-장토구조 구현 시험

자동차의 스티어링 휠을 돌리면 앞바퀴의 방향이 변하는데, 이 회전각은 좌·우 바퀴가 동일한 각도가 아니라 반드시 안쪽 바퀴의 회전하는 각이 커야 하며, 아울러 Fig. 4에서 나타낸 바와 같이, 좌·우의 조타륜 축선의 연장이 뒷바퀴 축선의 연장선과 한점에서 교차하도록 되어야 한다. 이렇게 하면 모든 차륜이 일점의 선회중심을 갖기 때문에 선회 중에 타이어의 옆 미끄러짐이 발생하지 않는다. 이것을 에커먼-장토 이론<sup>11~13)</sup>이라고 하며, 에커먼-장토가 이상적인 수치와 어긋날 경우 자동차가 선회할 때에는 타이어가 옆으로 미끄러져 코너링 포스가 발생하여 승차감 불량 및 편마

모 발생의 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 에커먼-장토 구조의 구현을 위한 스티어링 구조를 설계하였으며, 구체적인 최소 회전반지름을 다음의 식(1)에 의하여 계산한 결과를 실제 적용 차량과 비교하였다.

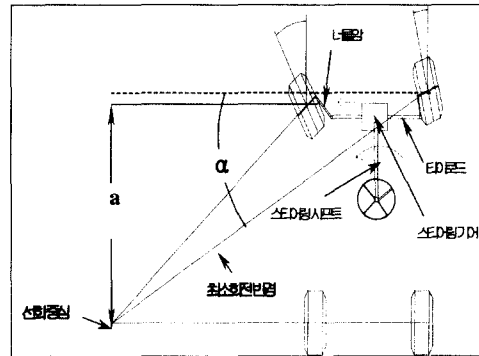


Fig. 4 Ackermann and Jantuaud steering.

$$\text{최소회전반경} = a / \sin \alpha + d \quad (1)$$

단, 여기서 a,  $\alpha$ , d는 각각 전륜축과 후륜축간 거리, 외륜의 조향각도, 차륜 중심면과 킹핀축 사이의 거리를 나타낸다.

2.2.2 조향성능 측정시험

Table 2 Facilities and environment of steering test.

설비	환경
시설	① 대기온도: 20±1℃, 건조상태 ② 대기온도: 20±1℃, 습기상태 ③ 도로상태 : 평탄
장비	① 직접연구의 조향장치가 장착된 상태의 소형 자동차 ② Tachometer

조향장치의 정상적인 구동조건을 평가하기 위하여 실시하는 조향성능 측정시험 방법으로는, 선회 능력 시험, 길 바꾸기, 급 회전시 차체의 쏠림, 편향 시험 등이 있으나, 본 연구에서는 차량의 속도가 24km/hr미만의 저속인 점을 감안하여 최소 회전반경 및 조향시 유격에 대하여 시험을 행하였으며, 조향시험의 시설 및 환경은 Table 2와 같다. 그리고 차량의 최소회전반경은 최저 속도로 선회하였을 때의 직경으로 측정하였으며, 측정항목은 Turning Circle Diameter, Curb-to-Curb Diameter, Wall-to-Wall Diameter가 있으나, 본 시험에서는 Turning Circle Diameter로 측정하였다. 또한, 인간공학적 부가평가 항목으로는, 조향감도, 운전시의 피로도, 속도에 따른 조향 반응시간과 정도, 작동의 복잡성, 조작의 편의성 및 안전성 등의 항목을 평가할 수 있으나, 본 시험에서는, 개인의 감성적 차이를 배제하여 스티어링 휠의 각도변화에 따른 조향 반응 감도를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 에커먼-장토 시험

Fig. 5는 본 연구의 실차 모델 스티어링 구조로서, 에커먼-장토 구조 스티어링의 구현을 실현하기 위하여 이상적으로 설계하였다. 즉, Fig. 5 (a)의 직진상태의 경우, 너클암의 연장선이 리어 액슬의 중심 부근에 교차하게 세팅되어 조종성이 양호하게 설계되어 있는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 5의 (b)에서는 회전시, 안쪽 회전각이 바깥쪽 회전각보다 커 옆으로 미끄러지는 코너링 포스가 발생하는 것을 해결하도록 설계가 되어 있으며, 에커먼-장토 구현에 이상이 없게 설계되어 있는 것을 알 수 있다. 아울러 Table 3에 나타낸 외각 바퀴의 회전각 및 식(1)을 적용하여 계산한 외각 바퀴 각 및 최소회전반경 등의 구체적인 값 비교에서도 본 연구의 조향장치 장착으로 측정된 경우가, 외국 실차의 경우와 비교하여 더욱 더 양호하게 에커먼-장토를 구현하고 있음을 알 수 있었다.

#### 3.2 성능측정 시험

#### 3.2.1 최소회전 직경

Fig. 6은 본 연구 적용차량인 SEV, C사 및 E사의 차량에 대한 건조시의 20°C ± 1°C에서 최소 회전직경 측정결과를 나타내었는데, Fig. 6에서와 같이, SEV인 경우, 최소 회전 직경은 5,025 ± 5mm

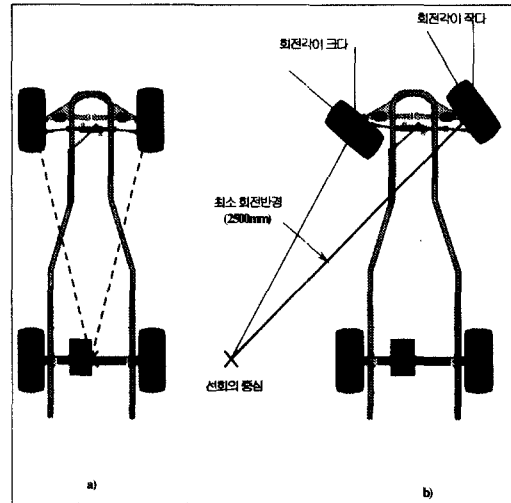


Fig. 5 Steering structure of Ackerman-Jantaud of this study.

Table 3 Comparison of turning radius by theoretical equation.

Properties	Turning angle of exterior wheel	Min. Turning Radius
SEV Model	51.7	2,512mm
C Company	49.5	2,592mm
E Company	47.3	2,809mm

로서 좌측 회전시와 우측 회전시의 값이 동일하게 나왔다. 그러나 벤치 마킹한 C사와 E사의 경우, Table 1의 제원표에는 5,330mm, 5,800mm로 각각 나와 있으나, 실측한 결과 제원표에 비해 20~30mm가 크게 측정되었다. 특히, 간접 조향방식을 채택하고 있는 C사의 경우, 좌·우 회전시 회전반경의 차이가 58mm가 있었으며, 센터 암 방식의 조향 시스템을 갖춘 E사의 경우에는 좌·우 회전시 회전반경의 차이는 없었으나 최소 회전직경이 상대적으로 큼을 알 수 있다.

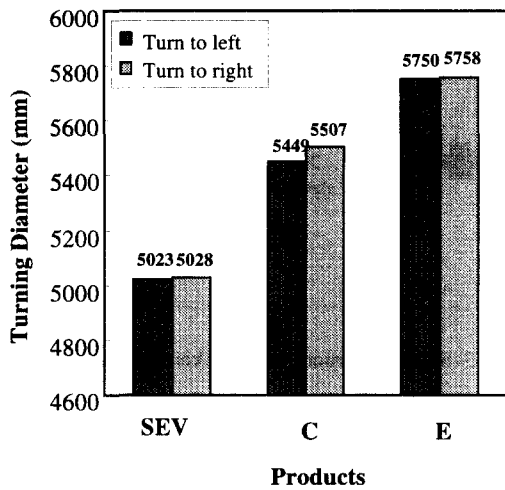


Fig. 6 Comparison of turning diameter of various products at  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  in dry day.

Table 3의 이론적인 값과 비교해 보면 SEV의 경우 이론값과 실측한 값의 차이가 거의 없으나, 벤치 마킹한 C사와 E사와 경우 이론값과 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한 Fig.7은 본 연구 실험용 차량인 SEV, C사 및 E사의 차량에 대한 습기시의  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 최소 회전직경 측정결과를 나타내었는데, Fig. 7에서와 같이, SEV인 경우, 최소 회전 직경은  $5,037 \pm 5\text{mm}$ 로서 건조시에 비해 10mm내외의 증가가 있었다. 벤치 마킹한 제품의 경우, 습한 노면의 경우 20~30mm가 증가된 값을 나타내어 노면 상태에 따라 선회시 발생하는 코너링 포스의 작용으로 회전직경이 증가되었음을 알 수 있다. 이는 벤치 마킹한 제품들이 너클 암의

연장선이 리어 액슬의 중심 부근에 교차하게 세팅되어 있지 않아 선회시 노면과의 슬립에 의하여 코너링 포스가 발생한 것으로 해석할 수 있다.

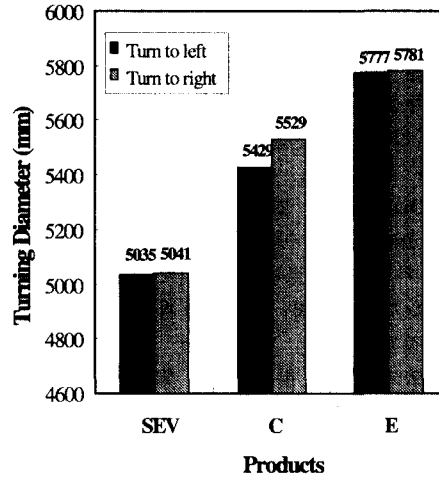


Fig. 7 Comparison of turning diameter of various products at  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  in humidity day.

### 3.2.2 스티어링 휠의 각도변화에 따른 조향반응

조향 시스템의 유격과 반응 민감도의 기준을 삼기 위하여 스티어링 휠의 각도 변화에 따라 조향되는 바퀴 각도로서 조향반응을 측정하였으며, 이에 대한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 즉, Fig. 8에서 나타낸 바와 같이, 직접 조향방식을 채택한 본 연구차량인 SEV가, 벤치 마킹한 C사와 E사에 비하여  $10^{\circ}$  미만의 작은 각에도 민감한 조향각도를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이것으로 보아 SEV인 경우가 벤치 마킹한 C사와 E사에 비하여 조향 민감도가 우수한 것으로 판단된다. 특히, C사의 경우 간접조향방식을 채택함에 따라 조향 민감도는 더욱 둔감한 것으로 나타났다.

### 3.2.3 공간활용도 조사

소형자동차는 사용상의 편리성은 있으나, 일반 차량과 비교하여 휠 트레이드가 1000mm 이하로서, 휠전 작아 공간상의 제약을 많이 받기 때문에, 차

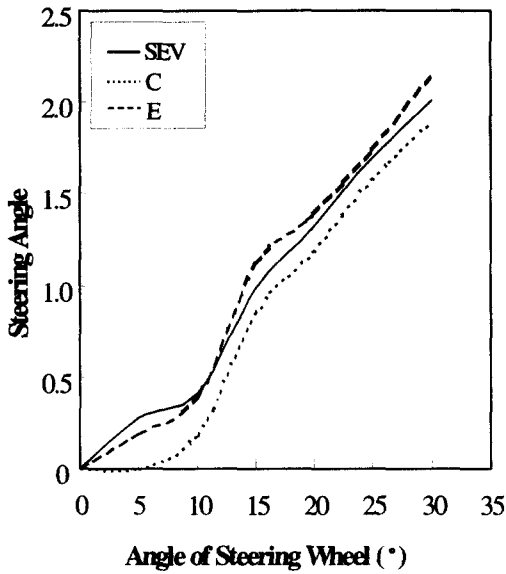


Fig. 8 variations of steering angle on angle of steering wheel.

량의 방향전환에 필수적으로 이용되는 소형차의 경우 조향장치의 공간이용을 최소화시키는 것이 중요하게 취급되고 있다. 따라서 본 연구에서는 랙과 피니언 기어를 타이로드를 이용, 양 너클에 직접 연결하여 바퀴를 직접 조향시킴으로써, 부품수를 줄여 차량 내부공간을 최대화시키고자 하였으며, 이러한 결과를 Table 4에 나타내었는데, 즉, SEV 및 C사, E사의 소형차량의 조향장치 부품수를 비교한 결과, SEV인 경우가 벤치 마킹한 타사의 경우보다도 부품수가 훨씬 작음을 알 수 있다. 이것으로 보아 SEV인 경우가 타사 제품의 경우에 비해 차량 내부공간을 최대화시킴으로써, 공간활용도가 높은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

특수 용도의 소형 자동차는 전륜 휠 트레이드가 작기 때문에 공간 활용도, 디자인 및 조종성이 문제시되고 있다. 따라서 각 장치의 기본적인 기능을 유지한 채 조향성능을 만족시키기에는 어려

Table 4 The number of parts for various steering systems.

Parts	Part No.	
	Part No.	Part No.
<b>SEV Model</b>	RACK & PINION	1EA
	OTR	2EA
	TIE ROD END	2EA
	NUT	2EA
	Total : 7EA	
<b>C Company</b>	RACK & PINION	1EA
	NUT	4EA
	OTR	1EA
	TIE ROD END	3EA
	TIE ROD	1EA
Total : 10EA		
<b>E Company</b>	RACK & PINION	1EA
	OTR	1EA
	TIE ROD END	5EA
	CENTER ARM	1EA
	BEARING	1EA
	BOLT	1EA
	NUT	4EA
Total : 14EA		

운 문제가 많이 있다. 본 연구에서는 너클암의 연장선을 리어 액슬의 중심 부근에 교차하게 세팅하여 안쪽 회전각이 바깥쪽 회전각보다 커 옆으로 미끄러져 코너링 포스가 발생하는 것을 억제하도록 설계 및 시제품을 제작하였다. 본 연구 결과, 랙엔 피니언 기어를 이용하여 좌·우 너클에 연결하는 직접 조향장치는 센터에서 직접 양방향 제어를 하는 방식으로서, 회전직경, 조향 민감도 등을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 에커먼-장도의 조향 이론에 따라 설계하여 최소회전직경을 건조노면과 습한 노면에서 조사한 결과 이론식과 거의 일치하였으며, 벤치 마킹한 시제품보다 작은 값인 5,023~5,041mm를 얻었다.
- 2) 직접 조향방식을 채택한 본 연구 장치는 10° 미만의 작은 각에도 민감한 조향각도를 나타

- 낸 것으로 보아, 조향 민감도가 우수함을 알 수 있었다.
- 3) 직접 조향장치는 공간 활용도가 우수하며 부품의 수가 감소되는 장점이 있었다.

11. 양성모, “ 차량의 성능시험에 대하여,” 自動車工學會誌, Vol. 10, No. 3, pp. 4~6.
12. TOP1-1-011, Vehicle Test Facilities at APG
13. TM 9-8000, Principles of Automotive Vehicles

## 후 기

이 논문은 2000학년도 신라대학교 교내연구비 지원에 의한 것이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Ken-ichiro Ohmata, "Studies on Vibration Control of Beams Supporting Machine," Bulletin of the JSME, Vol. 20, No. 147, 1977.
2. D.C. Clark, "A Preliminary Investigation into the Dynamic Behavior of Vehicles and Highways," SAE Trans., Vol. 70, 1962.
3. T.D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics," SAE, 1992.
4. 장병주, "자동차공학," 동명사, pp. 157~169, 1997.
5. 김형석, 오형택, 이충원, 오재건, "자동차 공학 개론," 골든벨, pp. 243~246, 1997.
6. 이성렬, 임병오, 하종률, 김원배, "자동차공학," 普成閣, pp. 197~201, 1997.
7. John D. Horsch David C. Viano, and James Decou, "History of safety Research and Development on the General Motors Energy-Absorbing Steering System," SAE Paper No. 912890, 1991.
8. J.H. Kim, S.G. Jung, K.S. kim, "An Investigation of the Steering Wheel Vibration and Its Reduction in Passenger Cars, SAE 852267.
9. 자동차기술핸드북, 日本自動車技術協會, 1990.
10. 문병철, 한홍국, "자동차공학," 도서출판현대 p. 543, 1994.