

주관적인 시험에 의한 자동차 타이어 도로소음 평가

이태근⁺, 김병삼*, 조태제⁺⁺

(논문접수일 2008. 7. 29, 심사완료일 2008. 11. 25)

The Evaluation of the Road Noise of the Automotive Tire by Subjective Test

Tae-Keun Lee⁺, Byoung-Sam Kim*, Tae-Jea Cho⁺⁺

Abstract

As a remarkable reduction of the vehicle noise, the important of tire noise which is generated from the vehicle and the necessity of the research for the noise reduction is being emphasized. In this study, the road noise which is excited by the interaction between tire and road has been studied. The subjective test (feeling test) according to SAE J1060 rating scale is applied to the evaluation of the road noise. The combination of the several tires and vehicles are made to consider the effect of the vehicle suspension and the tire structure for road noise. The vehicles with 3-different suspension system are applied to road noise test and the eight kinds of tires are selected. As the results, the effects of the vehicle suspension and tire structure which affects on road noise are investigated.

Key Words : Road Noise(도로소음), Subjective Test(주관적인 시험), Suspension(현가장치), Structure-borne Path(고체전파 소음경로), Tire(타이어)

1. 서론

자동차의 고급화에 따라 상대적으로 자동차 내부소음의 중요성 및 저감방안 연구의 필요성이 대두되고 있다. 자동차의 소음은 수 많은 음원으로 이루어져 있으며, 발생조건이나 주파수 대역에 따라 부밍소음(booming noise), 엔진소음, 기어소음, 도로소음, 타이어 소음, 바람소리 등으로 분류되

며⁽¹⁾, 전기 자동차의 개발, 자동차의 고급화 및 방음기술 향상에 의해 타이어로부터 발생하는 소음의 중요성이 부각되고 있다. Fig. 1과 같이 타이어 소음의 발생경로는 도로소음을 발생시키는 구조진동 전달경로(structure borne path), 패턴소음(PTN noise)와 통과소음(pass by noise)를 유발하는 공기 전달경로(air borne path)로 구분된다. 본 연구에서는 타이어/노면 상호작용에 의해 가진되어 발생하는 도로소음

* 교신저자, 원광대학교 기계자동차공학부 (anvkbs@wonkwang.ac.kr)
주소: 570-749 전북 익산시 신용동 344-2

+ 광원텍(주) 기술연구소

++ 동국대학교 대학원

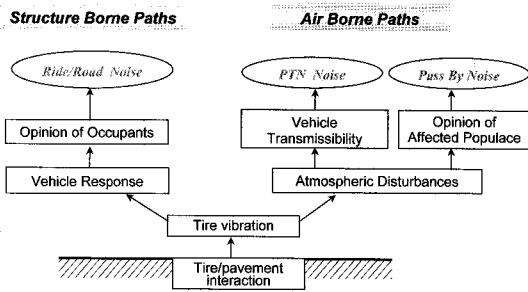


Fig. 1 The classification of tire noise

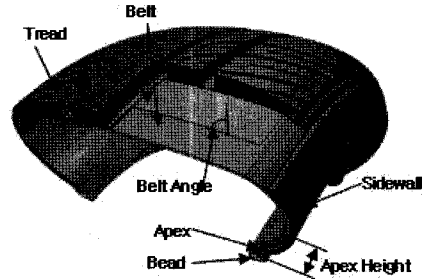


Fig. 2 Tire structure

에 대한 변화를 실험적인 접근 방법으로 파악하고자 하였다.

도로소음(road noise)은 타이어/노면 상호작용에 의해 발생된 진동이 타이어, 휠 및 자동차의 현가장치에 전달되어 최종적으로 자동차의 진동을 유발시켜 발생하는 소음이다.

자동차 타이어 도로소음의 평가방법은 주관적 평가(subjective test or feeling test)와 객관적 평가(objective test or measurement test)가 있다. 주관적 평가결과와 객관적 평가결과와의 상관도를 높이기 위한 시도는 이루어지고 있으나, 계측결과에 의한 판단이 사람의 감각에 의한 판단에는 미치지 못하고 있다.

자동차 타이어의 도로소음에 대한 연구는 해석적인 연구와 이를 검증하려는 실험이 주를 이루고 있다. Keijiro Iwao⁽²⁾ 등은 실험적 방법을 통해 타이어/노면소음의 메카니즘 연구를 수행하였고, M. Muthukrishnan⁽³⁾은 타이어 소음에 대한 타이어 물성의 영향도에 대해서 연구를 수행하였다. B. S. Kim⁽⁴⁻⁶⁾ 등은 타이어 패턴소음 발생 및 저감기술에 대하여 연구하였고, 자동차 실내소음에 영향을 미치는 타이어 설계 인자에 대하여 조사하였다.

한편 본 연구에서는 주관적인 평가방법을 이용하여 자동차 타이어 도로소음(road noise)을 평가하고자 하였다. 자동차 타이어 도로소음에 대한 자동차 현가장치의 영향을 고려하기 위해, 동일한 타이어를 현가장치가 상이한 자동차에 부착하고 주관적인 시험방법으로 자동차 타이어의 도로소음을 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 타이어 구조 및 특징

타이어는 자동차를 구성하는 여러 가지 부품중의 하나로 노면에 직접 접촉하는 부품이다. 타이어는 공기압에 의한 자동차의 중량지지, 노면의 돌기물로부터 충격 흡수, 자동차

엔진에서 발생하는 힘을 전달하여 주행/정지/방향전환 등 기본적인 기능을 수행한다.

Fig. 2는 일반적인 타이어의 구조를 나타내며 크게 트레드부(tread part), 벨트(belt), 측면부(sidewall part), 비드부(bead part)로 구분된다. 트레드는 노면과 직접 접촉하는 부분으로 제동, 구동에 필요한 마찰력을 주고 내마모성이 양호해야 하며 외부충격에 충분히 견딜 수 있어야 하고 발열이 작아야 된다. 벨트는 철선(steel wire)으로 구성되어 외부의 충격을 완화하고 트레드의 접지면을 넓게 유지하여 주행안정성을 우수하게 하는 기능을 가지고 있다. 측면부는 굴신운동을 통하여 승차감을 향상시키는 기능을 한다. 비드는 철선에 고무를 피복한 사각 또는 육각 형태로 타이어를 림에 안착하고 고정시키는 역할을 한다.

본 연구에서는 타이어의 성능에 크게 영향을 미치고 있다고 판단되는 트레드, 벨트, 에이펙스(apex), 측면부의 물성 변화에 따른 자동차 타이어 도로소음의 영향을 연구하였다.

2.2 타이어 소음의 분류

주행하고 있는 타이어로부터 발생하는 타이어의 소음 및 진동에 대한 발생경로를 Fig. 1에 나타내었다.

노면 가진에 의해 타이어가 진동하게 되고 이 진동이 대기를 가진하여 차내로 유입되는 소음을 패턴소음(pattern noise)이라 정의하고, 자동차 외부로 발산되는 소음을 통과소음(pass by noise)이라 정의하고 있다.

도로소음(road noise)은 타이어 진동이 자동차 차체를 통해 운전자에게 전달되어 운전자가 느끼는 소음이다.

2.3 도로소음 발생기구

Fig. 3과 같이 도로소음은 노면 가진력에 의해 타이어 트레드부가 진동하게 되고 이 진동이 타이어 측면부와 비드부를 통과하여 림에 전달되게 된다. 전달된 진동은 자동차의

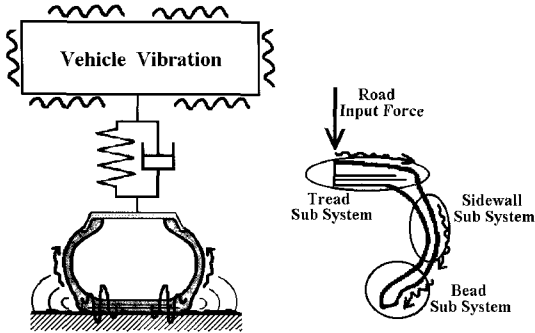


Fig. 3 The generating mechanism of tire road noise

현가장치를 통과하여 자동차 진동을 유발하게 되고 이로부터 소음이 발생하게 된다. 이러한 도로소음 발생 메카니즘으로부터 소음 감소를 위해 다음과 같은 항목이 고려되어야 한다.

- 1) 가진원으로서의 가진력
- 2) 타이어에서의 진동응답
- 3) 음의 방사 특성(sound radiation behavior)
- 4) 운전자 특성(receiver behavior)

3. 주관적인 평가

3.1 평가방법

본 연구에서의 주관평가는 실차시험 및 평가에 오랜 경험을 가지고 있는 2명의 전문평가자가 3회 반복시험을 수행한 후 평가등급을 결정하였다. 도로소음 평가는 SAE J1060에 준하여 점수를 부여하였으며(Table 1), Fig. 4와 같은 평탄한 아스팔트(asphalt) 노면 주행시 발생하는 소음의 크기와 음색의 차이를 평가하였다.

시험에 이용된 타이어는 206kPa(=2.1kg/cm²)의 내부 공기압으로 표준 휠에 장착하였고, 타이어 내부의 코드정렬 및 표면의 이물질 제거를 위하여 60~80(km/h)의 속도로 2000(m)

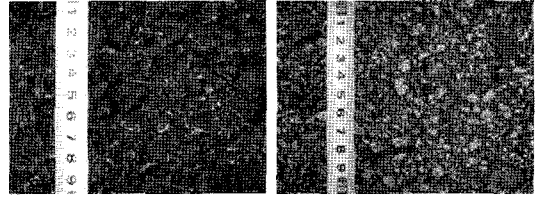


Fig. 4 Test roads for road noise test(Asphalt road)

주행 후 시험을 실시하였다. 평가는 0~120(km/h)의 속도에서 이루어 졌고, 가/감속 및 정속으로 평가노면을 주행하면서 노면의 변화에 의해 음의 차이가 적고 음압이 낮으며, 음자체의 맑은 정도를 고려하여 등급을 결정하였다. 시험 타이어 1번이 장착된 시험차량 A를 기준(reference)으로 선정하여 상대평가를 수행하였다.

3.2 평가에 이용된 타이어 및 차량

본 평가에서 사용된 타이어는 Table 2에 나타내었다. 타이어의 규격은 175/70R13으로 소형차에 적용되고 있으며, 이

Table 2 Sample tires

Tire No.	Apex Height (mm)	Belt Angle (deg.)	Tread Rubber	
			Hardness	Modulus (Pa)
1	43	23	62	9,218
2	33	23	62	9,218
3	43	23	63	8,434
4	33	23	63	8,434
5	43	20	62	9,218
6	33	20	62	9,218
7	43	20	63	8,434
8	33	20	63	8,434

Table 1 The subjective rating scale(SAE J1060)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
unacceptable				border line		acceptable			
condition noted by									
all observers		most observers		some observers	critical observers		trained observers		not observed
intolerable	severe	very poor	poor	marginal	barely acceptable	fair	good	very good	excellent

Table 3 Suspension type for test vehicle

Test Vehicle	Suspension type	
	Front	Rear
A	Mcpheerson strut	Coupled Torsion Beam Axle
B		Dual Link
C		Torsion Beam Axle

차량에 기본적으로 장착된 타이어의 부품을 기준으로 트레드부의 강성에 대한 영향을 고려하기 위해 트레드 고무 경도 및 벨트부의 각도를 변경하였고, 타이어 측면부의 영향을 고려하기 위해 측면부 강성과 관련된 에이펙스 길이(apex height)를 변화시켰다.

평가에 사용된 자동차의 현가장치는 전륜에 맥퍼슨 스트러드 형식(Mcpheerson strut type)이 사용되었고, 후륜은 듀얼 링크 형식(dual link type), 토션 빔 액슬 형식(torsion beam axle type), 커플 토션 빔 액슬 형식(coupled torsion beam axle type) 등으로 현가장치의 형식을 변경하였다 (Table 3).

3.3 평가결과 및 고찰

Table 4는 평가에 이용된 시험차량 A, B, C에 대한 각 타이어의 도로소음등급 평가결과이다. 평가결과는 2인의 평가자가 3회 반복시험후 등급을 결정하였다.

(1) 시험차량 구분에 따른 도로소음의 영향

Fig. 5는 시험차량 변화에 따른 도로소음의 특성을 보인다. 현가장치가 유사한 경우(Vehicle A, C), 타이어 변화에

따른 도로소음의 경향은 유사함을 볼 수 있다. 따라서 유사한 구조를 가지는 현가장치에 있어서 타이어 변화에 따른 도로소음의 변화를 유추할 수 있을 것으로 판단된다.

시험차량 'A'에서는 타이어 1이 가장 양호한 조합으로 트레드부를 부드럽게 하여 노면의 충격을 최대 흡수토록 하고, 측면부를 강하게 하여 트레드로부터 전달된 진동을 측면부에서 억제토록 하여 도로소음등급을 감소시킨 것으로 분석된다. 시험차량 'B'에서는 타이어 2,6,7이 가장 양호한 조합이다. 시험차량 'C'에서는 타이어 8이 가장 양호한 조합으로 시험차량 'A'에서 최적을 보인 타이어 특성과는 반대의 경향을 보인다. 즉, 트레드부의 강성을 강하게 하여 진동을 억제하고, 측면부는 부드럽게 하여 진동을 흡수하도록 한 것이다.

Table 4 The results of road noise test

Tire No.	The rating of road noise for test vehicle		
	A	B	C
1	6.0	5.8	6.0
2	5.8	6.2	6.0
3	5.6	5.8	5.6
4	5.6	5.8	5.6
5	5.6	5.6	5.6
6	5.8	6.2	6.0
7	5.6	6.2	5.8
8	5.8	5.8	6.2

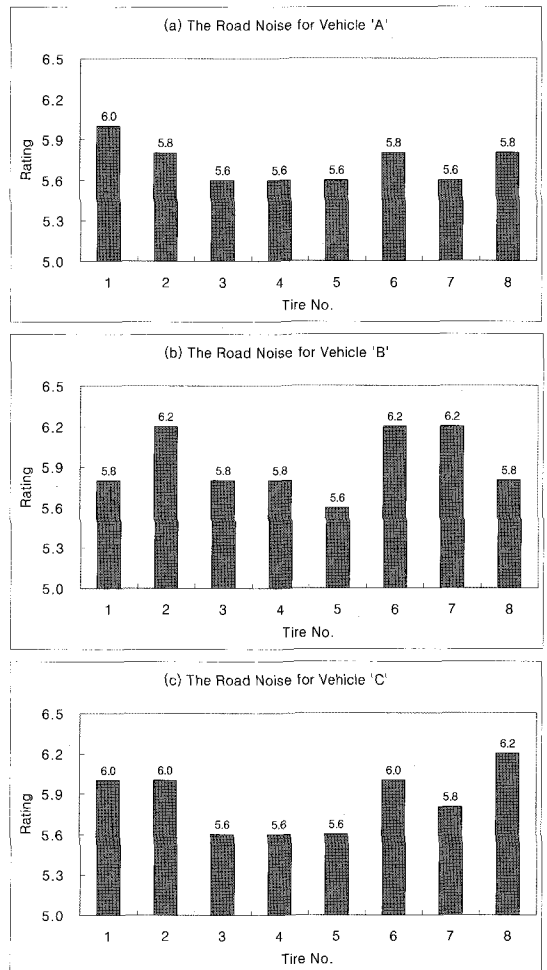


Fig. 5 The effect of vehicle for road noise

(2) 타이어 구조 변화에 따른 도로소음의 영향

가. 벨트각도의 영향

벨트각도가 작아지면 타이어 1에서 사용된 트레드고무와 에이펙스 구조의 경우, 도로소음등급의 하락을 볼 수 있으나 타이어 3에서 사용된 트레드고무와 에이펙스 구조에서는 도로소음등급의 개선을 가져온다.

벨트각도의 감소는 타이어의 종강성을 증가시켜⁽⁷⁾ 타이어 접지폭을 증가시킨다. 이에 따라 노면으로부터 타이어에 가해지는 가진력이 보다 넓은 면적으로 분포되는 효과를 가지게 되어 타이어 접지면의 단위면적당 가진력이 감소하게 된다. 또한 종강성의 증가는 노면가진에 따른 타이어의 진동을 억제하게 되어 도로소음을 개선할 수 있다. 이 경우 강성이 작은

고무를 사용함으로써 노면으로부터 가진된 진동이 흡수되어 도로소음이 개선된 것으로 분석된다. 또한 벨트각도가 커진 경우 강성이 큰 고무를 사용함으로써 도로소음이 개선될 수 있다. 즉 타이어 도로소음은 자동차와 타이어 구조의 매칭성(matching)에 크게 좌우되고 있음을 알 수 있었다(Fig. 6).

나. 측면부 강성의 영향(에이펙스의 영향)

에이펙스의 길이를 감소시키면 측면부의 강성이 감소하게 되며, 도로소음등급은 개선됨을 알 수 있었다. 이는 트레드로부터 전달된 진동을 측면부에서 최대한 흡수하도록하여 휠에 전달된 진동을 최소화하기 때문으로 분석된다.

현가장치가 유사한 시험차량 'A', 'C'의 경우, 벨트가 작

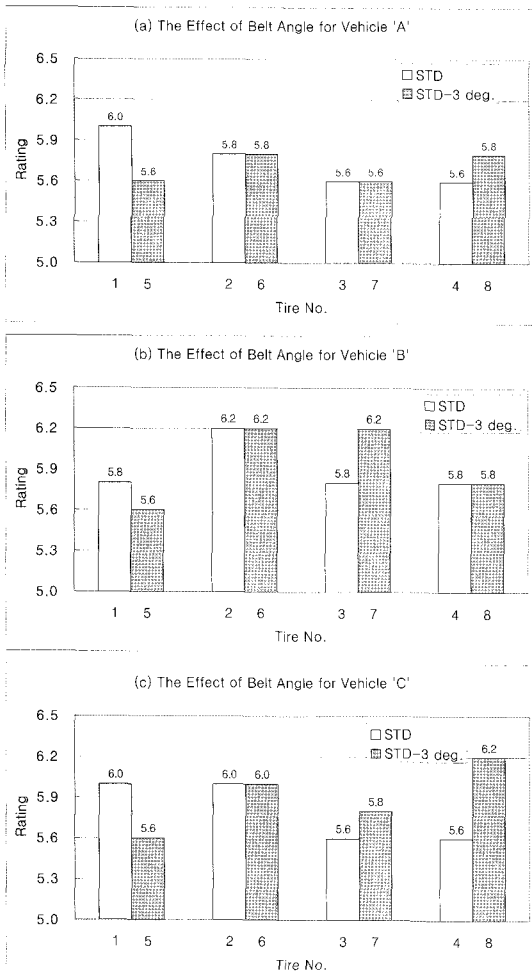


Fig. 6 The effect of belt angle for road noise

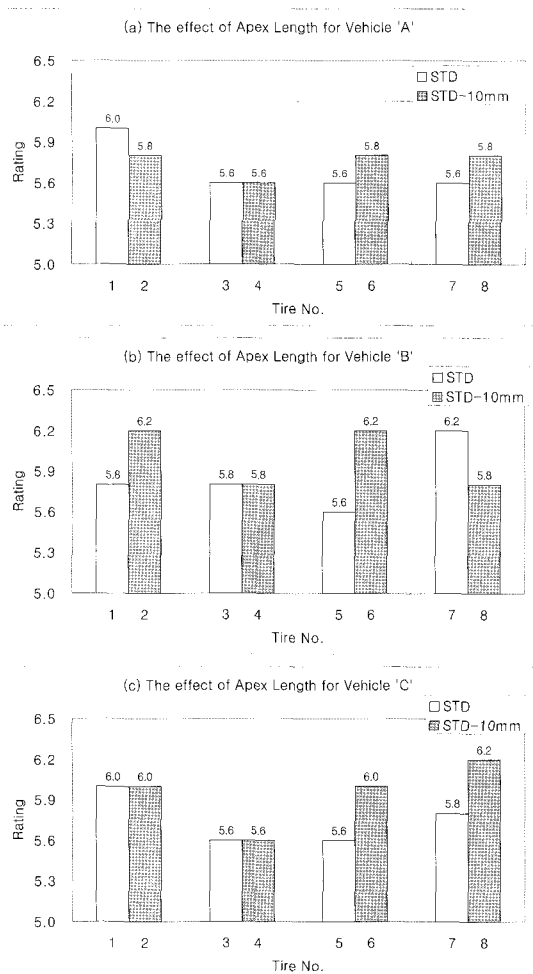


Fig. 7 The effect of apex length for road noise

은 구조에 있어서 트레드 강성과는 무관하게 에이펙스 길이 감소에 따라 도로소음등급은 개선됨을 볼 수 있다. 그러나 현가장치가 상이한 시험차량에서는 동일한 결과가 나타나지 않는다(Fig. 7).

다. 트레드 고무의 영향

본 연구에서 사용된 시험차량의 경우는 벨트각도가 큰 경우 트레드 강성이 클수록 도로소음 등급이 향상되며(Fig. 8: 타이어 1&3, 2&4), 벨트각도가 작으면 트레드 강성이 작을수록 도로소음 유리하게 작용하고 있음을 알 수 있었다(Fig. 8: 타이어 5&7, 6&8). 이로부터 차량에 따라 적절한 타이어 구조를 선택해야 함을 알 수 있었다.

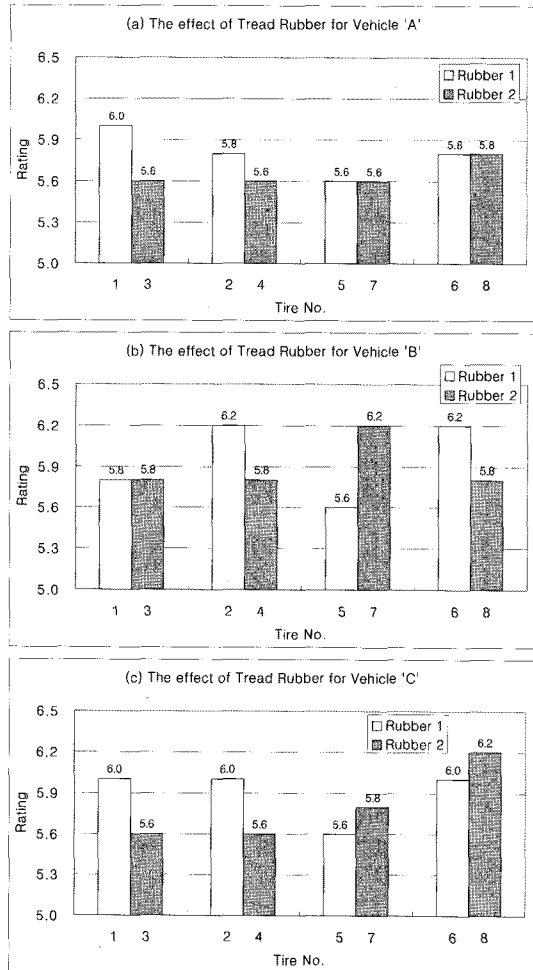


Fig. 8 The effect of tread rubber for road noise

4. 결론

주관적인 시험법을 이용한 자동차의 현가장치 및 타이어 구조 변경에 따른 도로소음 평가에 관한 연구결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 현가장치가 유사한 경우, 타이어 변화에 따른 도로소음 등급의 경향은 유사함을 볼 수 있다. 따라서 유사한 구조를 가지는 현가장치에 있어서 타이어 변화에 따른 도로소음의 변화를 유추할 수 있을 것으로 판단된다.
 - (2) 타이어 구조변경에 따른 도로소음의 영향을 파악한 결과, 타이어 부품의 적절한 조합을 통해 도로소음등급을 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다.
- 가. 벨트각도가 크면 트레드 강성이 클수록 도로소음에 유리하고,
 나. 벨트각도가 작으면 트레드 강성이 작은 구조가 유리하게 작용하고 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) The Society of Korea Automotive Engineering, 1990, *Automotive Technical Handbook -Test and Evaluation*, The Society of Korea Automotive Engineering, Korea, pp. 153~154
- (2) Iwao, K., Yamazaki, I., 1996, "A Study on the Mechanism of Tire/Toad Noise," *JSAE Review* 17, pp. 139~144.
- (3) Muthukrishnan, M., 1990, "Effects of Material Properties on Tire Noise," SAE 900762.
- (4) Kim, B. S., Kim, G. K., and Lee, T. K., 2007, "The Identification of Tire Induced Vehicle Interior Noise," *Applied Acoustics*, Vol. 68, No. 1, pp. 134~156.
- (5) Kim, B. S., Kim, G. K., and Lee, T. K., 2007, "The Identification of Sound Generating Mechanism of Tires," *Applied Acoustics*, Vol. 68, No. 1, pp. 114~133.
- (6) Kim, B. S., 2005, "A Study on the Pattern Noise Prediction of Automobile Tire," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 14, No. 4, pp. 68~73.
- (7) Sung, K. D. et al, 2005, "A Study on Characteristics of Stiffness and PRAT due to the Belt Angle of Tire using FEM," *Korean Society for Precision Engineering, Spring Conference*, pp. 1371~1375.