

# 가속도 계측을 이용한 타이어 선회 수막현상(Hydroplaning)의 평가 Evaluation of Tire Lateral Hydroplaning using Measured Vehicle Acceleration

강영규† • 황장순\* • 오약전\*  
Young Kyu Kang, JangSoon Hwang and YagJeon Oh

**Key Words:** 선회 수막현상(Lateral Hydroplaning), 횡가속도(Lateral Acceleration)

## ABSTRACT

Tire hydroplaning is one of the most important tire performances, especially for safety on wet road surface. And nowadays various methods such as FEM and FVM analysis are being applied to design and improve tire hydroplaning performance, along with on-vehicle test of tire hydroplaning. Conventional evaluation of tire hydroplaning has been done by comparing peak lateral acceleration and vehicle speed in time domain. But in this paper, frequency domain analysis of lateral acceleration when hydroplaning at high speed has been carried out to get the quantitative comparison between test tires. And it is concluded that the frequency spectrum analysis of lateral acceleration gives much better discrimination, as compared to the conventional time domain analysis of lateral acceleration and vehicle speed.

## 1. 서 론

빗길 주행 시에 수막현상(Hydroplaning)이 발생하면 차량을 제어할 수 없게 되므로 수막현상은 타이어 성능 중에서 매우 중요하다. 타이어의 수막 성능을 설계/검증하기 위해서 FEM, FDM을 이용한 수치적 Simulation 뿐만 아니라 타이어-자동차 업체에서는 주행 시험장에서 실차 평가를 수행하기도 한다<sup>(1~4)</sup>. 수막 현상은 직진 주행시의 직진 수막현상(Longitudinal Hydroplaning)과 차량 선회시의 수막현상(Lateral Hydroplaning)로 구분된다. 직진 수막현상은 타이어의 회전 속도 분석을 통하여 성능을 평가하며, 선회 수막현상은 차량 CG의 횡가속도 및 속도를 측정하여 성능을 판단한다(Fig. 1). 본 논문에서는 선회 수막현상을 정량적으로 평가하기 위하여 차량 CG 지점의 횡가속도를 측정하여 주파수 분석을 실시하여 시험 타이어들 간에 변별력을 높이

는 방안에 대하여 고찰하였다.



Fig. 1 View of hydroplaning test in proving ground

## 2. 수막현상의 이론적 고찰

### 2.1 수막현상 메커니즘

수막현상은 고속 주행 시의 타이어와 물의 충돌에 의해 야기되는 유체동역학적(hydrodynamic) 현상이며, 타이어와 노면의 박리 현상은 타이어의 Wet 성능의 감소로 이어진다. 일반적으로 수막현상은 Fig. 2에 표시된 바와 같이 3영역 개념(Three-zone Concept)으로 설명된다<sup>(3)</sup>. Fig. 2의 A 영역은 두꺼운 수층 위에 타이어가 떠 있는 상태이며, B 영역은 박막의 수층 위에 타이어가 있는 경우로 부유(floating)와 접촉(contact)의 과도적 영역이다. 영역 C의 경우는 타이어가 노면에 완전

† 금호타이어 연구본부  
E-mail : youngkang@kumhotire.com  
Tel : (061)360-3194 , Fax : (061)360-3190  
\* 금호타이어 연구본부

히 접촉해 있는 경우를 의미한다.

수막현상은 현상적 측면에서 2가지로 분류된다. 첫째는 동적 수막현상(dynamic hydroplaning)이다. 타이어가 두꺼운 수층을 고속 주행하면 물의 관성에 의해 유체동역학적 압력이 발생하여 타이어는 부유하게 된다. 둘째는 점성 수막현상(viscous hydroplaning)이다. 차량이 박막의 수층을 주행하면 점성 효과에 의해 타이어와 노면 사이에 유체동역학적 윤택작용이 발생하여 타이어는 젖은 노면에서 미끄러지게(slip) 된다. Fig. 2에서 A 영역은 동적 수막현상이 지배적이며, 영역 B는 점성 효과가 지배적이다.

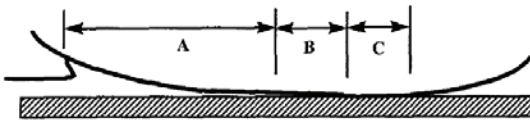


Fig. 2 Three-zone concept of hydroplaning

### 3. 수막현상의 평가

#### 3.1 수막현상의 일반적 평가법

타이어 업체, 자동차 회사 및 ADAC과 같은 유럽 Magazine의 선회 수막현상 평가 방법은 차량의 CG에 가속도계를 설치하고 횡가속도와 차량의 주행속도를 계측하여 Fig. 3과 같은 형태의 그래프에서 Peak 횡가속도 및 해당 속도를 비교하여 타이어 간의 수막현상 성능의 우열을 판단하고 있다. 하지만 Peak 횡가속도의 크기는 낮지만 발생 속도가 높은 경우 등에 대한 수막현상 성능의 상대적 우세 판단 기준이 필요하다. 따라서 시간 영역의 Data 뿐만 아니라 주파수 영역의 Data 분석을 통하여 시험 타이어 간의 우세 정도를 정량적으로 판단할 필요가 있다.

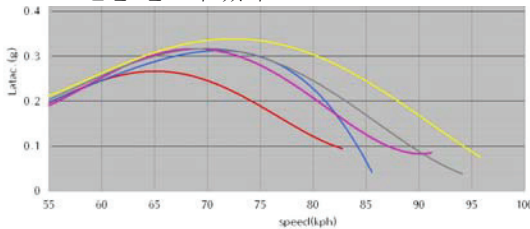


Fig. 3 Vehicle speed vs. lateral acceleration

타이어 수막현상의 분석을 위하여 본 논문에서는 205/55R16규격의 Slick Tire에 단순 Pattern(PTN)의 시험 버전을 Fig. 4와 같이 제작하였다. 또한 횡가속도 및 차량 주행속도를 측정하기 위해 사용된 장비는 Table1에 나타내었

다. 선회 수막현상을 평가하기 위해서 반경 100m의 20m 길이의 노면에 물 깊이 4~5mm의 상태에서 차량 속도 50kph부터 수막현상이 발생하는 속도까지 횡가속도와 차량 속도를 측정하였다.



Fig. 4 Tread patterns for hydroplaning test

Table 1 Instruments for lateral hydroplaning test

Name	Measurement	Range	Resolution	Accuracy
Racelogic VBOX 3i	GPS Vehicle Velocity (100Hz)	-	0.01kph	0.1kph
Racelogic IMU03	Lateral Acceleration	±1.7G	0.001G	±0.01G

Fig. 4의 2가지 PTN에 대하여 기존의 수막현상 시험 분석법에 의한 속도 대비 횡가속도를 측정하면 Fig. 5와 같이 표현되며, 시험 결과를 다항식으로 표현하여 타이어 간의 성능 우위를 비교하기도 한다.

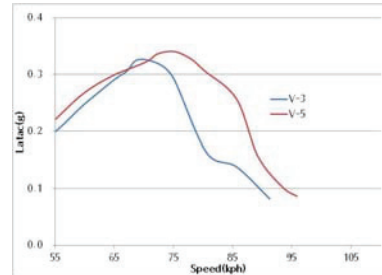


Fig. 5 Conventional test results for PTN V3 and V5

본 논문에서 평가한 2가지 PTN에 대한 실험결과를 다항식으로 근사화하여 Peak 횡가속도 및 발생 속도를 정리하면 Table2와 같다. Table2에서 횡가속도 또는 차량 속도를 PTN별로 비교해보면 차이가 크게 발생하지 않으므로 타이어 간의 변별이 명확하지 않을 수 있음을 알 수 있다.

Table 2 Result of Lateral Hydroplaning Test

PTN	Latac at Peak(g)	Speed at Peak(kph)
V3	0.32	69.0
V5	0.34	72.5

### 3.2 수막현상 발생 전후의 횡가속도 분석

동일 PTN(PTN V3)에 대하여 수막 현상이 발생하지 않는 속도와 수막현상이 발생하는 속도에 대하여 횡가속도를 시간 영역에서 Fig. 6과 같이 비교하였다. Fig. 6에서 속도 50kph는 수막현상이 전혀 발생하지 않는 경우이며, 90kph는 수막현상이 발생한 경우이다. 또한 타이어의 수막 현상이 발생하면 차량이 불안정해짐을 Fig. 6에서 횡가속도의 시간에 대한 변화로 확인할 수 있다. Fig. 6을 주파수 영역에서 분석하면 Fig. 7과 같이 수막 현상에 의해 공진 Peak가 발생함을 알 수 있다.

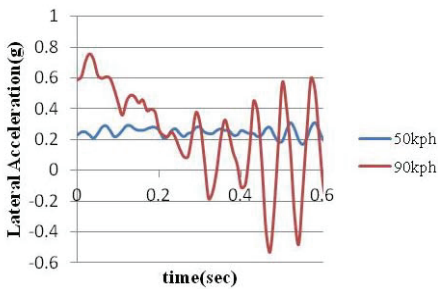


Fig. 6 Time domain comparison of lateral accelerations at 50kph and 90kph (for PTN V3)

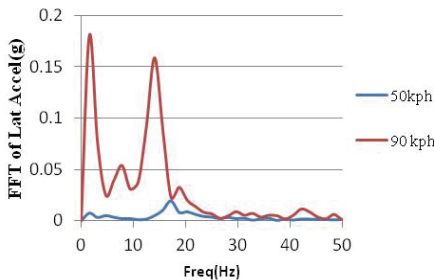


Fig. 7 Frequency domain comparison of lateral accelerations at 50kph and 90kph (for PTN V3)

타이어 PTN 형상이 다른 V3과 V5에 대하여 횡가속도의 차이를 분석하여 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 보면 시험 타이어 별로 주파수 Spectrum이 차별화됨을 알 수 있으며, 선회 수막 성능이 우세한 타이어의 주파수 Spectrum Peak가 낮음을 알 수 있다.

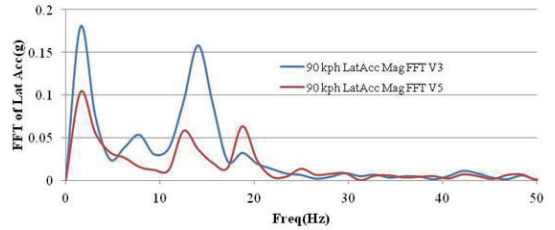


Fig. 8 Frequency domain comparison of lateral accelerations at 90kph (V3 vs. V5)

본 논문에서 평가한 PTN V3와 V5에 대한 횡가속도의 0~50Hz 대역 주파수 Spectrum의 RMS값을 Table3에 비교하였다. Table2와 Table3의 결과를 비교해 보면 주파수 영역의 결과 비교가 기존의 속도와 횡가속도의 시간 영역 비교에 비해서 시험 타이어 간의 변별력을 개선함을 확인할 수 있다.

Table 3 RMS Value of Lateral Acceleration

PTN	RMS(g)	RMS(dB)
V3	0.0531	94.5
V5	0.0288	89.2

### 3. 결론

타이어의 선회 수막현상을 차량 CG의 횡가속도를 측정 및 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

차량 속도와 횡가속도를 시간 영역에 대하여 분석한 기존의 평가법은 시험 타이어 간의 변별력에 한계가 있었으나 본 논문에서 제한한 주파수 영역에서의 차량 횡가속도 분석을 통하여 타이어의 수막현상 발생을 공진 Peak의 차이로 확인할 수 있다. 또한 측정된 횡가속도의 주파수 Spectrum 분석을 통하여 시험 타이어 간의 수막성능 우열에 대하여 명확하게 구분할 수 있었다.

### 참고 문헌

- (1) Walter B. Horne and Robert C. Dreher, 1963, Phenomena of Pneumatic Tire Hydroplaning, NASA TN D-2056.
- (2) Hasegawa, H., Wada, M., Miyori, A. and Mayor, D., 2000, Hydroplaning Simulation and Testing, ITEC 2000, Paper C.
- (3) Seta, E., Nakajima, Y., Kamegawa, T. and Ogawa, H., 2000, Hydroplaning Analysis by FEM and FVM: Effect of Tire Rolling and Tire Pattern on Hydroplaning, TSTCA, Vol. 28, No. 3, pp. 140~156.
- (4) Wies, B., Roeger, B. and Mundl, R., 2009, Influence of Pattern Void on Hydroplaning and Related Target Conflicts, TSTCA, Vol. 37, No. 3, pp. 187~206.