



## 간이 시편을 이용한 빙판에서 타이어의 제동성능 시험평가 기법

조성락\* · 오은진

선박해양플랜트연구소 친환경운송연구부

### New Method for Braking Performance Evaluation of Automobile Tires in Icy Roads Using a Simple Specimen

Seongrak Cho\* · Eunjin Oh

Advanced Ship Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering,  
32 Yuseong-daero 1312beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34103, Korea

(Received 19 October 2018 / Revised 10 December 2018 / Accepted 10 January 2019)

**Abstract** : The braking performance of a typical car is evaluated in a complex and comprehensive manner by using a fully single finished car at the proving grounds. However, it is difficult to clearly estimate the braking performance due to minute differences(e.g., material and pattern of the tire) because the breaking performance of a car varies according to the combination and operating conditions of the different parts. In particular, the braking performance of a tire on icy roads varies significantly depending on the ice sheet uniformity of the proving ground, and the uncertainty of the performance evaluation becomes even bigger. Furthermore, the time constraints and high cost of the icy road proving ground make it difficult to perform systematic and diverse test matrices. In this study, a fundamental test method is introduced in order to evaluate the braking performance of car tires through a friction test by using a uniform ice prepared in the laboratory. In addition, various frictional coefficients were measured and analyzed according to the changes in travel speed, vertical load, contact area between tire and road surface, ambient temperature, and number of friction braking events. It is confirmed that the methodology developed in this study can be applied cheaply in the basic design of winter tires, and it will be utilized in comparison with the actual driving test results.

**Key words** : Braking performance(제동성능), Frictional coefficient(마찰계수), Winter tire(겨울철용타이어), Model ice(모형빙), Ice friction(빙마찰)

### 1. 서론

겨울철 차량 운전에 가장 영향을 미치는 것은 타이어의 제동 및 조종성능이며, 1930년대 이전에는 일반 타이어에 스노우 체인을 장착하여 자동차의 미끄러움을 방지하였다. 1934년 세계 최초로 출시된 핀란드 Nokian 타이어가 개발되어 겨울철 차량의 견인력을 높여주었으며, 1960년대에는 타이어에 철로 된 스테드(Stud)를 박아 견인력을 극대화한 타이어가 개발되었다. 하지만 도로의 파손을 일으키는 단점을 가지고 있어 여러 나라에서 스테디드 타이어(Studded tire)의 사용을 금지하고 있다.<sup>1)</sup> 2000년대 이후 눈길과 빙판에서 접지력을 크게 향상시킨 겨울철 타이어가 개발되어 일반 타이어보다 20% ~ 30%

정도 정지거리를 줄이는 것으로 보고되고 있다.<sup>2)</sup>

빙판 또는 설면 위에서 자동차의 제동 및 조종성능을 정확하게 평가하기 위한 다양한 연구가 오랫동안 진행되어 왔다. Toney<sup>3)</sup>는 다양한 노면상태와 제동 시나리오에 따른 자동차의 견인력 시험방법을 소개하였으며, 정지거리와 제동 안전성을 높이기 위한 기초연구를 수행하였다. Kane<sup>4)</sup>은 도로와 타이어 사이의 마찰저항, 롤링저항, 노이즈 등에 대한 기초적인 원인 및 메커니즘을 분석하고 주요한 영향인자를 찾아내었다. 또한 시험의 정도를 높이기 위하여 실제 차량의 후단에 매달고 예인하면서 마찰력 및 타이어의 위치를 측정할 수 있는 장비들도 개발되었다.<sup>5,6)</sup> 또한 환경 외기 온도에 따른 타이어의 마찰 특성 변화 및 여러 마찰온도에서 유기계마찰제의 제동시

\*Corresponding author, E-mail: scho@kriso.re.kr

\*This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

험에 대한 연구를 수행하였다.<sup>7,8)</sup>

SWTC(Smithers Winter Test Center), SHPG(Southern Hemisphere Proving Ground), SPGA(Swedish Proving Ground Association) 등 겨울철 실제 차량을 이용한 타이어의 제동 및 조종성능을 시험할 수 있는 주행시험장이 현재 운영되고 있다. 제동시스템의 종류에 따라 약간씩 다르기는 하지만, 브레이크 페달, 휠 실린더, 브레이크 슈, 브레이크 패드, 타이어, 노면까지 기계적인 작동과 마찰 등 여러 기계 메커니즘을 거쳐 차량은 정지하게 된다. 자동차의 제동에 여러 요소들이 서로 유기적으로 관련되어 있어 실제 완성차량을 이용한 주행장에서의 성능평가는 타이어의 패턴에 따른 제동성능을 명확히 평가하기가 어렵다. 또한 눈과 얼음으로 덮인 빙판주행장은 불가피하게 시험기간이 추운 기간으로 한정되며 그에 따른 시험비용이 매우 크다. 예를 들어 SHPG의 경우 연중 약 70일 정도만 자동차의 성능평가가 가능하다.

본 연구에서는 실제 차량에 장착되는 타이어와 모형얼음 사이의 마찰시험을 통해 마찰계수를 계산하고 제동성능을 평가하는 기초적이 방법에 대해 기술하였다. 타이어와 얼음 사이의 원활한 마찰효과를 위하여 실제 원형의 타이어는 평평하게 펴서 준비하였으며, 모형얼음은 KRISO 빙해수조에서 사용하는 기동형의 EG/AD 모형빙을 사용하였다.<sup>9)</sup> 타이어 시편과 얼음 사이의 마찰계수 측정을 위하여 1톤의 하중을 인가할 수 있는 마찰시험장치를 이용하였다.

## 2. 시험 장치

### 2.1 타이어 시편

타이어는 트레드(Tread), 숄더(Shoulder), 사이드월(Sidewall), 비드(Bead), 카커스(Carcass), 벨트(Belt), 인너라이너(Innerliner) 등 다양한 구성요소가 유기적으로 연계되어 하나의 구조를 완성하게 된다(Fig. 1). 이러한 타이어는 주행환경에 따라 겨울 타이어, 썸머 타이어, 사계절 타이어로 구분할 수 있는데, 이 각각을 구분 짓는데 있어 가장 중요한 요소는 트레드 부의 고무재질과 패턴 형상이라고 할 수 있다.

겨울 타이어는 사계절 타이어에 비해 그루브(Groove) 깊이가 깊고, 사이프(Sipe) 밀도가 높은 블록형 패턴을 채용하며, 저온에서 최상의 제동력을 발휘하기 위해 경도가 낮은 겨울 전용 트레드 고무를 채용하고 있다(Fig. 2(left)).

현재 타이어의 노면과의 표준 마찰력 측정은 국제 표준 UN ECE R.117에 규정된 방법을 따라야 하지만 본 연구에서는 실험실 수준에서 타이어와 얼음 사이의 기초적인 마찰 메커니즘과 특성 분석을 위한 간이 실험 방법을



Fig. 1 Tire structure(from Steelmate Automotive)



Fig. 2 Tire patterns for winter season(left) and all season(right)

제안하고자 한다. 본 연구에서는 겨울 타이어 패턴과 사계절 타이어 패턴의 빙판에서의 마찰 특성을 비교하기 위하여 두 가지 타이어 모두 동일한 겨울 타이어용 저경도 고무를 사용하여 트레드부의 패턴만 다르게 제작하였다(Fig. 2). 기초적인 마찰특성 평가를 위하여 타이어 시편을 평평하게 제작해야 했으며, 이를 위하여 원형의 타이어를 고무 슬라이스 절단기를 이용하여 두 시험 시편의 두께를 동일하게 가공하였다. 균일한 두께로 준비된 하나의 고무 시편은 폭이 좁기 때문에 동일한 패턴 2개를 바로 옆에 위치시켜 약 25 cm 정도의 시험폭을 확보하였다(Fig. 3). 본 연구에서 사용한 겨울 타이어와 사계절 타이어에 대한 주요한 기계적 물성치는 Table 1에 기술하였다.

사계절 타이어는 전진방향과 후진방향에서 패턴의 차이가 없기 때문에 잘려진 2개의 타이어를 방향과 상관없이 Fig. 3과 같이 양면테이프를 이용하여 단단하게 고정시키면 된다. 반면 겨울 타이어 시편의 경우 전진방향과 후진방향의 패턴이 다르기 때문에 Fig. 4와 같이 차량의 전진방향으로 2개를 동일하게 맞추어 시편을 구성하였

Table 1 The mechanical properties of tires for winter and all season

	Winter tire	All season tire
Glass transition temperature (°C)	-53	-18
Shore-A hardness (-)	54	68
Poisson's ration (-)	0.48	0.48

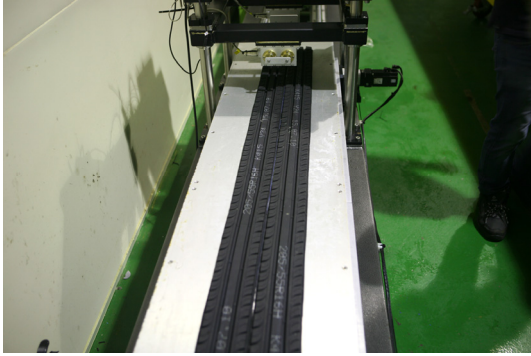


Fig. 3 Prepared tire specimen for all season

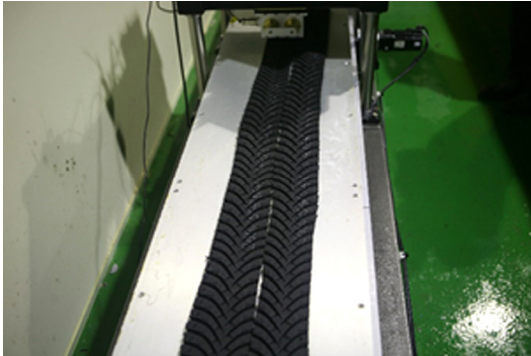


Fig. 4 Prepared tire specimen for winter season

으며, 실제 얼음과의 마찰시험도 전진방향에서의 계측값만을 샘플링하여 마찰계수를 산정하였다.

## 2.2 모형 얼음

타이어 마찰시험에 사용한 얼음은 선박해양플랜트연구소 빙해수조에서 사용하고 있는 기동형 EG/AD 모형빙이다. 그 모형빙은 저온 콜드룸에서 Fig. 5와 같이 아크릴수조에서 약 40 mm 두께로 생성하였으며, 그 두께 오차는  $\pm 0.3$  mm 정도로 두께 균일도를 가진다. 아크릴수조에서 생성된 모형빙은 마찰시험에 적당한 크기(20 cm  $\times$  20 cm)로 자른 후 마찰시험기로 이동하여 사용하였다.



Fig. 5 Columnar EG/AD model ice

모형빙의 압축, 굽힘강도는 각각 약 700 kPa, 250 kPa 이었으며, 밀도는  $900 \text{ kg/m}^3$  정도로 계측되었다. 사용한 모형빙은 대기와 접촉하고 있는 상부면(Top side)만 사용하여 시험의 일관성을 확보하였다.

## 2.3 마찰시험 장치

타이어와 얼음 사이의 마찰력을 계측하기 위하여 Fig. 6 과 같은 마찰시험 장치를 이용하였다. 본 마찰시험 장치는 움직이는 베드 위에 타이어를 부착하고 그 위에 모형 얼음과 하중용 무게추(또는 수직하중 인가용 모터)를 인가하는 방식으로 타이어와 얼음 사이의 마찰력을 측정하는 방식이다. 본 장치는 자동차 타이어의 운행방향(x)으로 최대 2 m를 움직일 수 있으며, 수직하중 인가(z방향)용 모터를 이용하여 최대 1톤의 하중을 인가할 수 있다. 타이어와 얼음 사이의 마찰력을 측정하기 위하여 x방향으로 2개의 로드셀을 부착하였으며 Z방향으로 실제 인가되는 하중을 측정하기 위한 1개의 로드셀이 포함되어 있다. 본 마찰시험 장치의 제어 및 계측은 사용자가 범용 컴퓨터를 이용하여 수행할 수 있으며, 계측된 마찰력은 100 Hz의 샘플링으로 자동으로 저장되고 마찰계수 분석 소프트웨어에서 마찰계수를 계산할 수 있다. 본 마찰시험 장치는 자동차 타이어 뿐만 아니라 선박용 페인트의 마찰시험, 각종 재료들의 마찰시험 등에 활용할 수 있다.

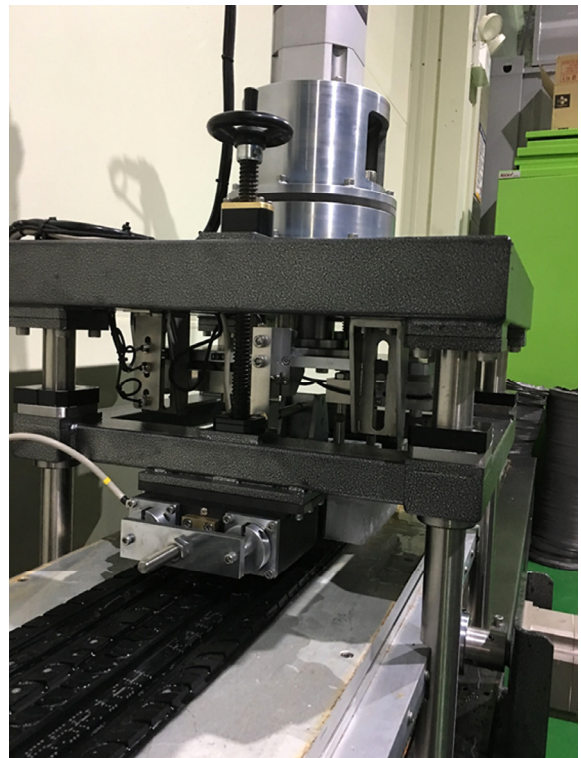


Fig. 6 Friction force measurement device

### 3. 시험 방법

타이어의 빙판에서 제동성능 평가를 위하여 타이어 시편을 마찰시험 장치의 베드에 단단히 고정된 후 좌우 x 방향 센서들 사이에 모형빙을 위치시킨다(Fig. 7). 소용량의 하중을 인가할 때에는 무게추를 사용하며, 무게추의 온도효과로 인하여 얼음의 불균일성이 발생하기 때문에 모형얼음 상부와 무게추 사이에 고무패드를 추가한다. 대용량의 하중을 인가할 때에는 수직하중용 모터와 고무패드를 이용하여 얼음에 직접 하중을 인가한다.

x방향으로 타이어를 구동하기 전에 타이어 시편 위에 분무기를 이용하여 약 50 ml의 청수(Fresh water)를 분사하여 준다. 이는 자동차가 겨울철 빙판 또는 설면을 이동하면서 타이어 표면에 미세한 윤활층을 가지고 있기 때문에 비슷한 조건을 구현하기 위해 시험조건을 설정하였다.

타이어의 마찰시험에서 속도(0.2 ~ 0.7 m/s), 수직 인가 하중(3 ~ 600 kgf), 접촉면적(0.1 ~ 0.4 m<sup>2</sup>), 대기온도(-1 ~ 20 °C) 및 마찰거리(2 ~ 8 m)를 변수로 조절하여 시험을 수행하였으며, 한번 사용한 얼음은 재사용하지 않아 시험의 정도를 높이고자 하였다.

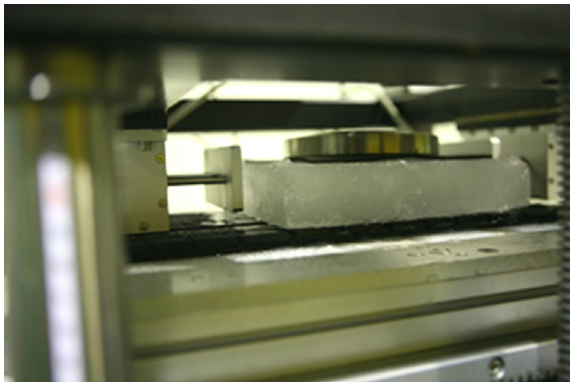


Fig. 7 Contact condition between tire and ice



Fig. 8 Sprayed fresh waters on tire surface

### 4. 시험 결과

얼음과 타이어 사이의 마찰계수는 로드셀에서 측정된 마찰력을 수직하중으로 나누어 계산하였다. 수직하중은 무게추 무게 또는 모터에서 인가된 하중에 고무패드 무게와 사용한 얼음의 무게를 합산하여 이용하였다.

#### 4.1 제동속도 변화

얼음과 다른 재질 사이에서 마찰속도영향은 일반적으로 아주 저속(0.1 m/s 이하)에서는 큰 마찰계수를 나타내고, 마찰속도가 증가할수록 마찰계수가 작아지다가 일정한 값으로 수렴하는 것으로 보고되고 있다.<sup>10,11)</sup> 본 실험에서는 장비의 사양으로 인하여 최대 0.7 m/s까지 실험을 수행하였으며, 타이어 시편의 이동속도가 증가함에 따라 마찰계수가 작아지는 경향을 확인할 수 있었다(Fig. 9). 이는 선행연구와 비슷한 경향을 가지는 것을 확인할 수 있었으며, 대부분 속도가 증가하면서 일정한 값으로 수렴하는 추세를 가지는 것으로 보인다. 겨울 타이어가 사계절 타이어보다 전속도 영역에서 큰 마찰계수를 가지는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.2 수직하중 변화

타이어와 얼음 사이의 수직하중은 10 kgf까지는 무게추를 이용하여 시험을 수행하였으며, 그 이상에서는 수직 모터를 이용하여 최대 600 kgf까지 하중의 변화를 주었다. Fig. 10에서는 사계절 타이어와 겨울 타이어의 하중 변화에 따른 마찰계수 값이 도시되어 있으며, 저하중에서는 사계절 타이어와 겨울 타이어의 마찰계수 차이가 크게 발생하고 있으나 고하중으로 갈수록 그 차이가 줄어다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 사계절 타이어의 경우 하중에 크게 변화 없이 마찰계수가 일정하게 가지지만 겨울 타이어의 경우 고하중에서 큰 효과를 나타내지 못하는 것으로 보인다.

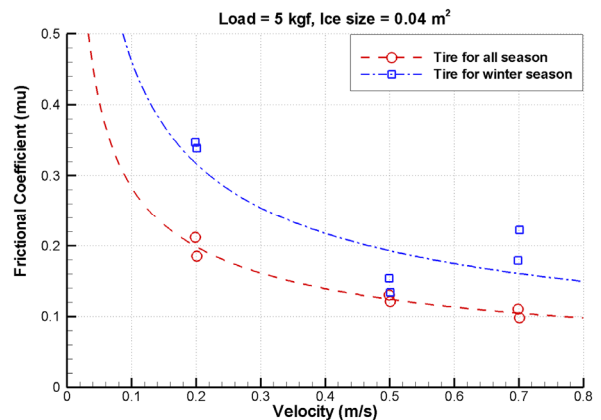


Fig. 9 Frictional coefficient vs. car velocity

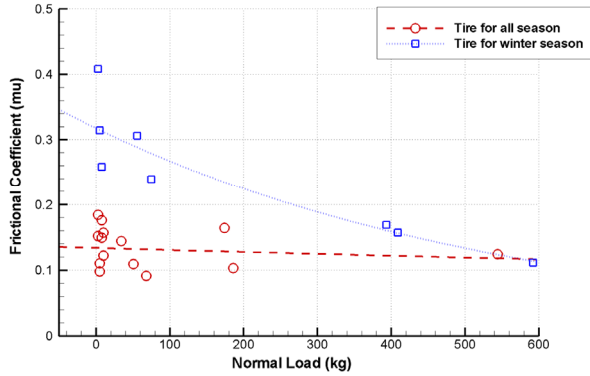


Fig. 10 Frictional coefficient vs. normal load

### 4.3 접촉면적 변화

얼음의 면적을 0.1, 0.2, 0.4 m<sup>2</sup>으로 변화를 주면서 마찰 시험을 수행한 결과를 Fig. 11에 도시하였다. 작은 접촉 면적에서 큰 마찰계수를 가지며, 접촉면적이 커지면 마찰계수도 그에 따라 줄어드는 반비례 관계를 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 작은 접촉면적에서는 단위면적당 수직하중 증가로 마찰력이 커지고 그에 따라 마찰계수도 커지는 것으로 판단되며, 빙해역에서 선박과 얼음의 접촉면적에 따른 빙하중 변화 및 마찰계수 변화 결과와 유사성을 보이고 있다.<sup>12,13)</sup>

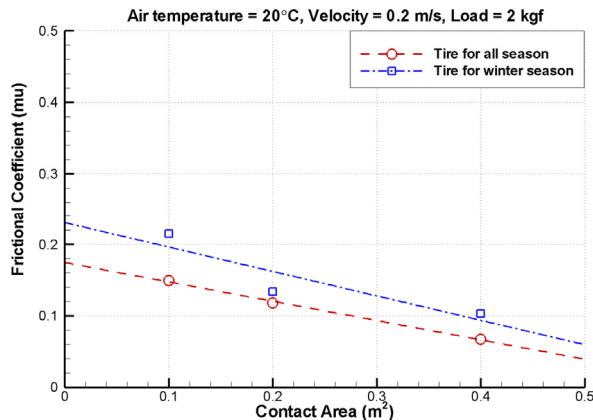


Fig. 11 Frictional coefficient vs. contact area

### 4.4 대기온도 변화

타이어의 마찰시험은 선박해양플랜트연구소 빙해수조 내부에서 수행하였으며, 대기온도의 영향을 파악하기 위하여 -1, 3, 12, 20 °C의 다른 대기온도 상태에서 마찰 시험을 수행하였다. 대기온도가 낮아질수록 제동성능이 더욱 우수해 지는 것으로 나타났으며, 특히 겨울 타이어에서 그 차이가 더욱 크게 나타났다. 이는 저온 상태에서 얼음 표면이 녹지 않기 때문에 윤활효과가 발휘되지 않으며, 대기온도가 높을 경우 얼음 표면에 윤활층이 생성되

기 때문에 마찰력이 작아지는 것으로 판단된다. 추후 실제 겨울철 대기온도와 같은 더욱 낮은 대기온도에서도 다양한 시험을 통하여 더 많은 시험 데이터가 필요할 것으로 요구된다.

### 4.5 마찰거리 변화

타이어와 얼음의 마찰거리 변화에 따른 제동성능을 파악하기 위하여 타이어를 이용하여 마찰시험 횟수를 증가하면서 마찰계수를 측정하였다. 즉, 타이어와 얼음의 1회 마찰거리는 2 m로 설정하고 그 횟수를 4회로 늘리면서 각 단계에서의 마찰계수 값을 측정하였다. 사계절 타이어의 경우 마찰거리가 증가하더라도 큰 변화가 없었으며, 겨울 타이어의 경우 Fig. 13에서와 같이 마찰거리가 증가할수록 마찰계수가 작아짐을 확인할 수 있었다. 대기온도가 낮은 경우 초기에는 더 큰 마찰계수 값을 가지나 점점 대기온도 영향이 줄어들음을 알 수 있었다.

겨울 타이어의 마찰거리가 증가할수록 마찰계수가 작아지는 현상은 Fig. 14와 같이 마찰거리가 증가할수록 얼음 빙편들이 사이프에 끼이게 되고, 이로 인하여 제동성능이 저하된 것으로 나타났다. 또한 대기온도가 낮을 경우 빙편이 더 쉽게 사이프에 부착될 가능성이 커지는 경향을 보였다. 이를 통하여 겨울 타이어의 경우 주행 초기에는 큰 제동력을 가지지만 주행을 오래할 경우 사계절 타이어에 비해 빙편이 더 잘 부착되어 사계절 타이어와 비슷한 성능을 가지는 것으로 판단된다.

마지막으로 본 연구에서 도출된 사계절용 타이어와 겨울 타이어의 마찰계수를 이용하여 운동에너지 법칙에 따라 브레이크를 밟기 전의 운행 속도에 따른 제동거리를 계산해 보면 Fig. 15와 같이 개략적으로 나타낼 수 있으며, 이는 Ontario Ministry of Transportation<sup>2)</sup>의 결과와 큰 차이를 가지지 않는 것으로 보인다.

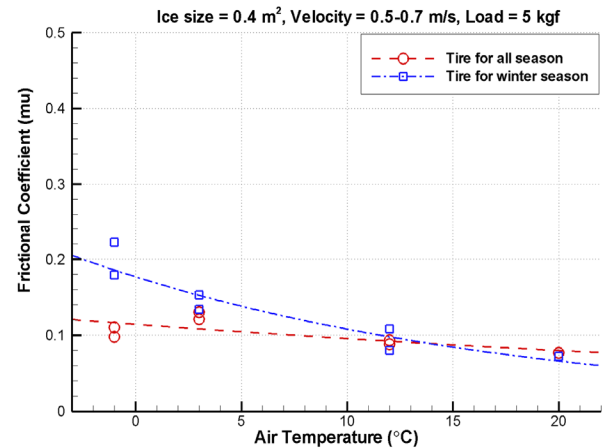


Fig. 12 Frictional coefficient vs. air temperatures

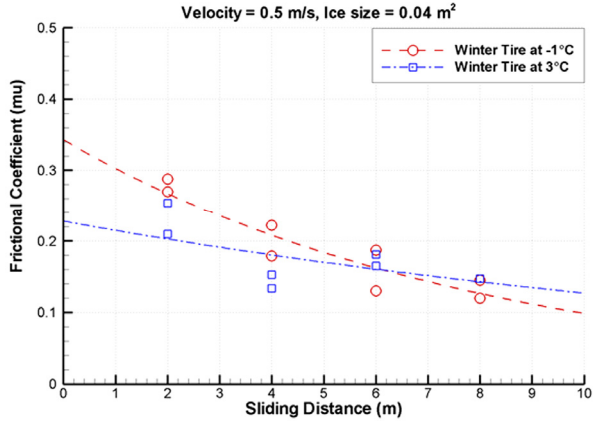


Fig. 13 Frictional coefficient vs. sliding distance



Fig. 14 Frictional coefficient vs. sliding distance

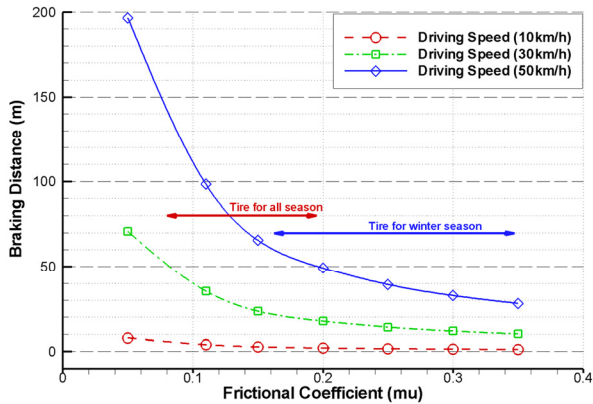


Fig. 15 Calculation of braking distance according to frictional coefficient derived from this study

### 5. 결론

본 연구에서는 실제차량에 장착되는 타이어와 모형얼음을 이용하여 마찰시험을 수행하고 타이어의 제동성능을 평가하는 기본적인 방법에 대해 기술하였다. 실제 빙판 차량 주행시험장에서 고비용과 복잡한 절차에 의해 수행되어지는 타이어 제동성능 시험을 대신하여 장소와 시간에 구애받지 않으면서 타이어 제동성능 시험평가기

술의 개발이 가능함을 확인하였다. 또한 차량 전체를 이용한 시험평가에서는 많은 외란인자로 인하여 시험 정도를 확보하기가 어렵지만 본 연구에서 개발된 기술은 타이어 제동시험의 재현성 및 균일성에서 우수한 결과를 보이는 새로운 기술로 평가된다.

제동속도, 수직하중, 접촉면적, 대기온도 및 마찰거리 변화에 따른 겨울철 타이어와 사계절 타이어의 마찰계수를 구하고 그 효과에 대해 분석을 수행하였다. 본 연구에서는 겨울철 타이어가 사계절 타이어보다 약 20%~30% 정도 제동성능이 우수한 것으로 나타났으며, 마찰현상에 기초하여 이전의 여러 연구들을 뒷받침할 수 있는 결과들을 도출하였다.

특히, 마찰거리 변화에 따른 겨울철 타이어와 사계절 타이어의 제동성능의 양상이 다르게 나타났으며, 이는 겨울철 타이어를 장착한 차량의 경우 초기에는 우수한 제동성능을 가지나 주행을 오래하여 타이어 트레드 사이에 얼음조각들이 낄 확률이 높아지며, 결국 제동성능이 저하될 수 있음을 보여주고 있다.

본 연구를 통하여 실험실에서 연중 자동차 타이어의 빙판 제동성능을 시험평가 할 수 있는 기법을 확보하였으며, 겨울철 타이어의 핵심기술 개발에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 후 기

본 연구는 한국해양과학기술원 선박해양플랜트 주요 과제인 “선박의 빙해역 저항성능 고도화 및 위치유지성능 시험평가 기반구축(PES3230)”의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

### References

- 1) R. Scheibe, An Overview of Studded and Studless Tire Traction and Safety, Washington State Transportation Center Report WA-RD 551.1, 2002.
- 2) Ontario Ministry of Transportation, Winter Driving: Be Prepared, Be Safe!, Winter Driving Brochure, 2015.
- 3) C. Toney, Tire Traction Testing of Highway, Snow & Studied Tires on Wet & Dry Pavement Surfaces, Research Project HR 475, 1973.
- 4) M. Kane, Report on Different Parameters Influencing Skid Resistance, Rolling Resistance and Noise Emissions, TYROSAFE Seventh Framework Programme Theme 7: Transport, 2009.
- 5) C. Wallman and H. Astrom, “Friction Measurement Methods and the Correlation Between Road Friction

- and Traffic Safety,” VTI Meddelande 911A, Swedish National Road and Transport Research Institute, 2001.
- 6) Halliday Technologies, IIRT3 CURVE; In Winter and Summer, How Safe are your Road?, 2010.
  - 7) G. Lee and D. Lee, “A study of the Characteristic of Friction Coefficient Variation for the External Environment,” Transactions of KSAE, Vol.23, No.6, pp.601-607, 2015.
  - 8) J. Chung, S. Go, J. Choi, H. Choi and H. Kim, “Transfer Film Formation and Its Effect on Friction Coefficient at Various Friction Temperature in NAO Friction Material,” Transactions of KSAE, Vol.26, No.1, pp.42-51, 2018.
  - 9) S. Cho, C. Lee and S. Jeong, “An Efficient EG/Ad Model Ice for the MOERI Ice Tank,” Proceedings of the 20th International Offshore and Polar Engineering Conference, Beijing, China, pp.1183-1187, 2010.
  - 10) P. Bowden and P. Hughes, “The Mechanism of Sliding on Ice and Snow,” Proceedings of the Royal Society of London, A172, pp.280-298, 1939.
  - 11) E. Enkvist, On the Ice Resistance Encountered by Ships Operating in the Continuous Mode of Ice Breaking, The Swedish Academy of Engineering Sciences in Finland, Report No.24, pp.54-64, 1972.
  - 12) A. Ryvlin, Experimental Studies of the Friction of Ice, CRREL Draft Translation 417, pp.217-234, 1973.
  - 13) H. Saeki, T. Ono and A. Ozake, “Experimental Study on Ice Forces on a Cone Shaped and an Inclined Pile Structures,” POAC79, Trondheim, Norway, pp.1081-1095, 1979.