

동절기 차량의 등판가능성 지표 구축 방안

정연식* · 신강원**

Younshik Chung*, Kangwon Shin**

A Preliminary Study on Developing a Trafficability Index of Vehicles in Wintertime

ABSTRACT

Information about trafficability or the condition of road with regard to its being traveled over by vehicles is one of the most critical factors for roadway operation in winter. Specifically, when traveling on snowy or icy surfaces, the traction force varies per vehicle type including tire types, geometric characteristics of roads, and conditions of road surfaces. In general, front-wheel drive or four-wheel drive vehicles have better traction performance on snowy or icy surface than rear-wheel drive vehicles, and the latter type vehicle causes more serious traffic congestion when there is unexpected snowfall. Thus, traffic information regarding trafficability with respect to vehicle types, geometric characteristics of roadway sections, and roadway surface conditions can provide a foundation to make a decision whether to use the associated roadway sections for roadway operators as well as users. Based on the preceding premise, the objective of this study is to present a methodology for developing a trafficability index with respect to vehicle types, geometric characteristics of roadway sections, and roadway surface conditions.

Key words : Roadway friction, Trafficability index, Roadway condition, Weather information, Data fusion

초 록

동절기 도로구간에서 차량의 운행가능성 혹은 등판 가능성 정보는 교통 운영에 매우 중요한 요소이다. 특히, 빙설 구간을 운행할 경우 차량과 노면의 마찰력은 차량의 유형, 도로 기하구조의 특성 및 노면의 특성에 따라 다양하게 나타난다. 일반적으로 노면 결빙(적설)구간에서 트럭과 같은 후륜구동 차량은 전륜구동이나 4륜 구동 차량보다 마찰력이 낮으며, 갑작스런 강설시 이러한 차량의 무리한 도로 운행은 도로의 대규모 혼잡을 발생시키는 주요 원인으로 알려져 왔다. 따라서 도로의 기하구조 및 노면 특성과 차량의 유형에 기반한 실시간 도로 등판가능성 지표의 구축은 동절기 차량 및 도로의 운영 가능성 판단에 기반이 될 것으로 판단된다. 이러한 배경 하에 본 연구는 동절기 도로의 기하구조 및 노면 특성과 차량의 유형에 따른 도로의 운행가능성 지표를 구축방향을 제시하고자 하였다. 비록 제시된 지표는 국내 도로와 차량을 통해 구축된 결과는 아니지만, 향후 동절기 도로 및 차량 운영을 위한 지표 수립의 연구에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

검색어 : 노면 마찰, 등판 가능성 지표, 노면상태, 기상정보, 자료 융합

1. 서론

동절기 제설 관련 문제외는 별도로, 도로 운영자와 차량운전자의 문제점은 크게 두 가지로 구분된다. 우선, 오르막 구간과 평지에서의 차량의 등판능력 감소로 인한 문제점이 발생한다. 차량의 도로 등판 문제는 평지에서 보다는 오르막 구간에서 주로 나타난다. 즉,

* 정희원 · 한국교통연구원 교통안전자전거연구실 연구위원 (tpgist@koti.re.kr)

** 정희원 · 교신저자 · 경성대학교 도시공학과 조교수 (Corresponding Author · Kyungseong University · kangwon@ks.ac.kr)

Received March 25 2013, Revised April 4 2013, Accepted April 23 2013

오르막 구간에서 갑작스런 강설은 차량과 도로의 마찰력을 감소시켜 차량의 오르막 구간 등판을 불가능하게 만들 수 있다. 특히, 진행 가속력에 의존하여 오르막 구간을 통과할 것으로 판단하여 오르막 구간 통행을 시도하였으나, 오르막 구간 중간 지점에서 더 이상 등판이 불가능한 상황으로 이어지는 경우가 종종 발생한다. 이 경우 대규모 교통혼잡은 물론 심할 경우 차량의 고립으로 이어지게 된다. 또한, 차로수가 적은 도로에서 차량의 등판 불가는 제설차량의 진입을 방해하여 해당 도로구간 제설에 보다 많은 비용과 시간을 유발시킨다. 또 다른 문제점은 내리막 구간과 평지에서 주로 발생하는 차량의 제동능력 감소이다. 동절기 빙설로 인한 도로와 차량간 마찰력 감소는 차량의 제동 능력 감소로 이어지며, 결과적으로 제동 능력 감소는 교통사고로 연결된다. 이 두 가지 문제점의 원인은 자신의 차량이 특정 도로 구간에 대한 운행 가능성 정보가 부족해서 발생하는 것이다.

일반적으로 차량의 마찰력에 영향을 주는 노면상태와 도로의 기하 특성이 동일하더라도, 차량의 성능에 따라 도로의 운행 가능성은 다양하게 나타난다. 즉, 동일한 노면상태와 도로의 기하특성에도 불구하고 특정 차량은 운행에 지장이 없다. 따라서 도로의 구간별 노면상태 혹은 기상조건과 도로의 기하구조의 특성, 차량의 성능에 대한 정보를 융합하면, 동절기 도로의 등판 가능성 지표를 구축하여 차량의 운행 및 통제를 위한 기반정보로 활용될 수 있다. 이러한 도로의 등판가능성 정보는 매우 유용한 정보로 활용될 것으로 판단되지만, 이 부분에 대한 연구는 국내는 물론 국외에서도 실험조건외의 비일상성으로 인해 매우 제한적이다. 이러한 배경 하에, 본 연구는 도로의 기하구조 특성 및 노면 상태와 차량의 유형정보를 융합하여 도로의 등판가능성 지표의 구축방안을 제시하고, 기존에 연구된 차량별 도로의 마찰력 자료를 기반으로 도로의 기하구조와 노면상태에 따른 차량별 도로의 등판가능성 지표에 대한 구축방향을 제시하고자 하였다.

2. 문헌고찰

2.1 도로와 차량의 마찰력

일반적으로 특정 차량이 특정 경사 도로 구간을 통과할 수 있는지에 대한 가능성은 크게 다음과 같은 요인에 의해 결정된다고 할 수 있다.

- 도로의 경사도
- 차량의 구동력 (traction force) 및 무게와 같은 제원
- 기상상태를 고려한 도로의 상태

물리적으로 경사진 도로 구간을 차량이 등판할 때 작용되는 힘은 Figure 1에 제시된 바와 같이 경사로의 오르막을 향해 진행

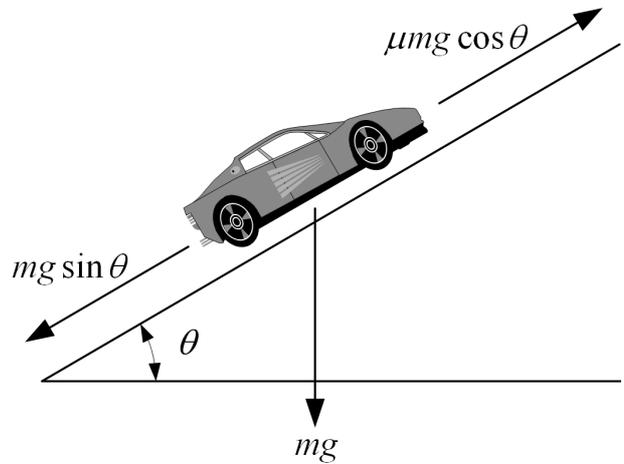


Fig. 1. Forces for a vehicle at its maximum climbing ability

방향으로 작용하는 힘(차량 구동력)과 경사로의 내리막을 향해 미끄러지는 힘으로 구성되며, 이 두 힘은 다음과 같은 수식에 의해 표현된다 (Raad and Lu, 1998, Raad and Lu, 2000) Raad and Lu, 2000).

- 차량 구동력 : $\mu mg \cos \theta$
- 미끄러지는 힘 : $mg \sin \theta$

여기에서, m 은 차량의 질량, g 는 차량의 가속도, μ 는 차량의 주행 저항(rolling resistance) 계수, θ 는 도로의 경사각도(°)를 나타낸다.

따라서 차량이 등판 가능한 최대 경사각도는 차량 구동력과 미끄러지는 힘이 평형을 이루는 지점의 경사각도라고 할 수 있으며, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{최대경사각도}(\theta_{\max}) : \mu mg \cos \theta_{\max} = mg \sin \theta_{\max} \quad (1)$$

이 식에 사용되는 각 변수 가운데 차량의 무게(m)는 차량의 유형에 따라 변하는 값이며 차량의 주행 저항계수 (μ)는 실험을 통해 측정될 수 있다. 또한 일반적으로 물리학에서는 g 를 중력 가속도로 적용하여 $mg \cos \theta$ 를 최대 정지 마찰력으로 설명하고 있다. 그러나 여기에서는 주행 중인 차량의 상태를 묘사하기 때문에 g 를 차량의 가속도로 적용하게 된다.

한편, 위의 식을 역으로 활용한다면 차량이 갖고 있는 최대 등판능력을 알아낼 수 있고, 이를 통해 특정 차종이 특정 노면상태에서 경사구간에 대하여 등판 가능여부를 판단할 수 있다. Figure 2는 이러한 상황을 그림으로 나타낸 것이다 (Raad and Lu, 1998, Raad and Lu, 2000) Raad and Lu, 2000).

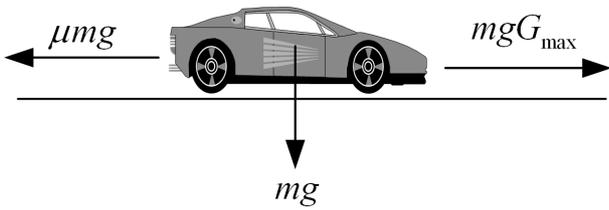


Fig. 2. Forces for a vehicle on a level surface

위의 그림에 나타난 바와 같이 평균 최대 마찰계수(G_{max})는 앞서 얻은 식에서 등판 각도(θ)를 0으로 가정하여, 다음의 식 (2)와 (3)과 같은 과정으로 통해 도출된다.

$$mgG_{max} = mg\mu \tag{2}$$

혹은

$$G_{max} = \mu \tag{3}$$

또한, 식 (1)과 (3)을 활용하면, 다음과 같은 식 (4)를 도출할 수 있다. 결과적으로 개별 차량에 대한 그리고 도로의 표면 상태에 대한 차량과 도로의 평균 최대 마찰계수를 알 수 있다면, 도로의 표면 상태에 따른 개별 차량의 최대 등판 가능 경사도를 파악할 수 있다. 이 식은 마찰계수가 증가함에 따라 등판 가능 각도가 증가하는 것을 보여준다.

$$G_{max} = \tan(\theta_{max}) \tag{4}$$

2.2 선행연구 검토

도로와 차량의 마찰력 관련 연구는 대부분 타이어의 유형에 따른 마찰력의 특성 부분에 집중되어 왔다. 주로 관련된 연구는 유럽과 북미 지역에서 진행되었으며, 이들 지역에서는 1960년대와 1970년대 초반부터 진행되었으며(Rosenthal *et al.*, 1969, Smith and Schonfeld, 1970, Fromm and Corkill, 1971, Smith *et al.*,

1971, Greek, 1975) 대부분 정지거리의 측정에 연구가 집중되어 있었다. 이들 연구의 결과, 스테드 타이어(studded tire)의 경우 빙설 도로에서 정지 거리가 감소하는 반면 마르거나 젖은 노면에서는 정지거리가 증가하는 것으로 나타났다.

1980년대 들어 자동차의 기능과 기술의 발달에 따라 자동차와 도로에 대한 마찰력의 연구는 새로운 인자들을 포함시켰다. 즉, 4륜구동 차량의 등장, ABS(anti-lock brake system)의 개발 등과 같이 새로운 운행 보조장치를 실험에 포함시켰다. Hayhoe와 Kopac (1982)는 일반 타이어, 스노우 타이어, 스테드 타이어, 4륜구동 장치, 4륜 ABS 장착 및 후륜 ABS장착 차량에 대하여 제동 마찰(braking friction)과 구동력(traction force)에 대한 연구를 진행하였다. 이들이 제시한 실험 결과에 의하면, 빙판에서 제동 시 스테드 타이어가 가장 성능이 좋은 것으로 나타났으며, 눈길에서는 스테드 타이어와 스노우 타이어는 동일한 성능을 나타내었으나, 습한 노면에서는 모든 장비에 대하여 동일한 성능이 나타났다. 반면, 구동력의 경우, 빙판 및 눈길에서는 4륜 구동장치가 성능이 가장 뛰어나며, 다음으로 스테드 타이어가 성능이 뛰어난 것으로 나타났다. 기타 나머지 장치들은 모두 동일한 성능을 나타냈다. 또한 습한 노면에서는 4륜 구동장치가 성능이 가장 뛰어났으며, 기타 다른 장비는 모두 동일한 성능을 나타냈다.

1990년대 들어 타이어의 기술이 발달하게 되었으며, 그 결과 타이어 제조 업계1위인 브릿지스톤 타이어에서는 블리자(Blizzak)이라는 새로운 유형의 타이어를 출시하였다. 미국의 알래스카 대학 연구진은 3가지 타이어 유형에 대하여 차량의 구동력 관련 실험을 눈길과 빙판길로 나누어 진행하였다(Lu *et al.*, 1994). Table 1은 이들이 제시한 실험 결과이다.

1990년대 말, Raad와 Lu (1998)는 대·중·소형 버스에 대한 동절기 도로 구동력에 대한 실험을 진행하였다. 실험을 통해 도로 표면 상태에 따른 제동거리, 출발 및 정지마찰, 등판가능성, 회전속도의 최대 마찰계수가 추정되었다. 최근에는 도로의 표면 상태를 보다 다양하게 분류하여 차량과 도로의 마찰력과 구동력에 대한 측정을 세분화하였다(Sokolovskij, 2007). 즉, 노면의 상태를 눈과 빙판의 상태에서 이를 총 12가지 상태로 세분화하여 실험하였다.

Table 1. Traction test results by tire type

Type of tires	Blizzak		Studded		All-season	
	Snow	Ice	Snow	Ice	Snow	Ice
Traction test						
Stopping distance (40.2km/h)	19.5	36.5	32.3	32.3	19.3	39.1
Starting traction (time in sec to reach 42.2km/h)	9.6	14.4	9.1	11.9	10.5	16.7
Maximum cornering speed (15.2m radius in km/h)	27.7	22.8	25.6	21.9	27.7	22.0
Maximum starting grade (%)	16	11	16	12	15	10

[source: Lu *et al.* (1994)]

지금까지 살펴본 바와 같이, 그 동안 수행된 도로와 차량 사이에 발생하는 마찰력 혹은 구동력 관련 연구는 대부분 단순한 외부환경에 변화에 대한 차량과 도로 사이의 마찰계수를 추정하기 위해 진행되어 왔으며, 교통운영 분야에서 이러한 마찰계수는 주로 동절기 차량의 마찰력 감소에 따른 교통사고를 방지하기 위해 활용되어 왔다 (Scheibe, 2002, Sokolovskij, 2007). 즉, 도로의 기하조건과, 차량 및 기상상황에 따른 도로와 차량의 운영 및 제어 기준에 대한 연구는 진행되지 않았다.

이러한 배경 하에, 본 연구는 동절기 도로의 기하조건과, 차량 및 기상상황에 따른 도로와 차량의 운영 및 제어 기준 설정을 위한 기반 정보 구축을 위해 수행되었다. 따라서 본 연구는 다양한 실험을 통해 도로와 차량 사이의 새로운 마찰계수 추정을 위해 수행된 것이 아니며, 기존에 수행된 연구 결과를 기반으로 향후 이 분야에 대한 연구 진행방향을 제시하기 위해 수행되었다.

3. 도로의 등판가능성 지표

3.1 차종별 평균 최대 마찰계수

전술한 차종별 마찰계수 값은 실험을 통해 구축할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 2000년 Raad와 Lu가 수행한 차종별 평균 최대 마찰계수(G_{max})를 참고하였다(Raad and Lu, 2000). Table

2에 제시된 값은 실험조건에 따라 편차가 발생할 수 있으나 그 값은 크지 않을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 노면상태 및 경사도에 따른 도로 등판가능성 지표를 개발하기 위하여 차량의 유형을 승용차, 밴(van), 버스, 소형트럭으로 단순화시켰으며, Table 2에 제시되지 않은 차종의 값은 차량 무게를 기준으로 보간법을 통해 추정하여 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 노면상태에 따른 구동력 계수

구동력은 자동차를 움직일 때 그 운동저항을 이기기 위한 힘을 말한다. 즉, 차량과 노면 사이에 주로 발생하는 마찰력을 이기기 위한 힘으로 해석할 수 있다. 이러한 구동력은 미끄럼이 없는 표면에 발생될 수 있는 최대 마찰력을 의미한다 (Burch, 2004). 따라서 차량이 경사진 노면을 미끄러짐 없이 등판 가능성 여부를 결정하는

Table 2. Summary of G_{max} by vehicle types on non-battered snow

Type of vehicles	Vehicle weight	G_{max}
Sedan	1.5t	0.14
Van	4.6t	0.15
Long Bus	15.4t	0.16
Mini truck	1.8t	0.14

Table 3. Traction coefficient of sedan type vehicle by road surface conditions

Road surface	More detailed description of the surface condition	Traction coefficient ϕ
Battered snow	Snow, battered by automobiles, which does not make the pounded layer of snow and ice	0.24 ~ 0.37
Non-battered snow	Snow, which has just fallen on the asphalt and which is not battered by the wheels of automobiles - the first driving	0.15 ~ 0.42
Snow and ice, covered with the snow, which has just fallen	Battered snow and ice, covered with the layer of snow (thickness - up to 10 cm), which has just fallen and is not battered	0.18 ~ 0.45
Snow and ice, mixed with sand and slush	Battered snow and ice, mixed with sand and slush, the particles of which make 3-6 mm in diameter	Depending upon the quantity of slush (little - much) 0.15 ~ 0.45
Snow and ice	Entire layer of snow, battered to the extent of the icy surface	0.12 ~ 0.39
Snow and ice before crossroads	Snow, which at first was melted by the motors of the standing automobiles and then frozen up to the smooth surface	0.09 ~ 0.22
Deep snow	Deep and non-touched snow when the automobile "seats itself at the bottom", however, it does not stick	0.92 ~ 0.95
Dry asphalt in winter conditions	Dry asphalt (uncovered with anything) in winter conditions	0.59 ~ 0.72
Asphalt, covered with hoar-frost	White cover on the asphalt, which is observed by the driver and easily recognized as hoar-frost	0.48 ~ 0.58
Smooth ice	Thick layer of frozen water, non-infringed with prickles and chains	0.054 ~ 0.19
Ice and tires with chains	Thick non-infringed layer of frozen water, infringed with the wheels, equipped with steel chains	0.12 ~ 0.18
Black ice	Thick entire ice layer, looking as a wet, black stretch of the road, which is fit for traffic, which is non-easily noticed by the driver	0.12 ~ 0.26

중요한 변수는 차량과 노면간에 발생하는 구동력 계수(ϕ)라 할 수 있다. 구동력 계수는 차량의 특성 이외에 노면의 포장 재질과 기상조건에 의해 가장 크게 영향을 받는다. 본 연구에서는 도로의 포장 재질을 아스팔트로 가정하였으며, 기상조건에 의한 변수는 Sokolovskij (2007)의 논문에서 얻어진 각 노면 상태별 구동력 계수(ϕ)를 활용하였다. Table 3은 Sokolovskij가 제시한 노면상태에 따른 승용차의 구동력 계수를 나타낸다.

3.3 노면상태에 따른 차종별 등판가능성 지표

Table 2에 제시된 값은 다져지지 않은(non-battered) 눈에서의 차종별 평균 최대 마찰계수 G_{max} 값을 의미한다. 이중 승용차에 대한 G_{max} 값은 0.14로 나타났다. 반면, Table 3에 제시된 값은 노면의 상태에 따른 승용차의 구동력 계수를 나타낸다. 이중 다져지지 않은 눈에서의 승용차 마찰계수는 연구자가 지정한 바와 같이 (Sokolovskij, 2007), 실험 조건, 타이어 상태, 기상 상태 등에 따라 그 범위가 비교적 넓게 분포되며, 그 결과 0.15~0.42로 나타났다. 비록 Table 2와 Table 3을 얻기 위한 실험의 시기와 실험환경은 달랐으나, Table 3에서의 구동력 계수 값은 0.15~0.42로 낮은 범위의 값은 Table 2에서의 G_{max} 값 0.14와 매우 유사하게 도출되었다. 즉, 전술한 바와 같이, 최대 마찰계수는 구동력 계수로 해석될 수 있음을 나타낸다.

그러나 교통운영 및 제어 목적을 위해서는 보다 보수적인 값을 활용하는 것이 안전에 용이할 것으로 판단하여 구간으로 설정된 구동력 계수는 낮은 값을 활용하였다. 즉, Table 2에 제시된 차종별 G_{max} 값은 다져지지 않은(non-battered) 눈 길에서의 실험된 값과 Table 3에 제시된 승용차에 대한 다져지지 않은 눈 길에서의 구동력 계수를 기준으로 보간법을 활용하여 노면상태(i)에 대한 차종별(j)에

대한 $G_{max(i,j)}$ 를 계산하였다. 계산된 $G_{max(i,j)}$ 는 Table 4와 같고, Table 4에 제시된 단위를 식 (4)를 활용하여 도(°)로 변경하면 Table 5와 같다.

이렇게 얻어진 차종별 및 노면상태별 등판각도를 기존 도로의 설계상의 경사도와 비교함으로써 날씨에 의해 달라진 노면상태에 따른 차량의 등판 및 통행 가능 여부를 판단할 수 있게 된다. 이러한 결과는 교통 정보로서 이용자에게 서비스하게 되면, 이용자는 구체적인 척도 또는 확실적인 결과 정보를 제공 받는 것이 아닌 ‘통행 가능 여부’만을 알려주는 이산(binary)적 결과가 된다. 따라서 별도의 변환식을 활용하여 통행가능성에 대한 확률적 요소 혹은 통행가능성을 나타내는 ‘등판 가능성 지표’의 구축이 요구된다.

위의 과정을 통해 얻어진 G_{max} 를 기반으로 노면상태가 i 인 도로 구간 k 에 대한 차종 j 의 등판가능성 지표(Trafficability Index : TI_{ijk})는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$TI_{ijk} = 1 - \frac{\tan(\theta_k)}{G_{max(i,j)}} \tag{5}$$

여기에서, $G_{max(i,j)}$ 는 노면상태 i 에 대한 차종 j 의 대한 평균 최대 마찰계수를 나타내며, θ_k 는 도로구간 k 의 경사각도(°)를 나타낸다. 따라서, 이 식에서 만일 노면상태 i 에 대한 차종 j 의 등판가능성 지표 값이 $TI_{ijk} \leq 0$ 인 경우는 k 경사도의 도로 구간에 대한 통행이 불가능함을 의미하며, $0 < TI_{ijk} < 1$ 인 경우는 확률적으로 통행이 가능함을 의미하며, 마지막으로 $TI_{ijk} = 1$ 인 경우는 통행이 가능함을 의미한다. 즉, TI_{ijk} 값은 1에 가까울수록 통행이 가능함을 의미하며, 0보다 작은 경우 노면상태 i 에서 차량이 발휘하는 최대 구동력보다 경사각도 θ_k 가 크다는 것을 의미하기 때문에 결과적으로

Table 4. Summary of $G_{max(i,j)}$ for vehicle types and road surface conditions

Road surface condition i	$G_{max(i,j)}$ for vehicle type j			
	Sedan	Van	Bus	Mini truck
Battered snow	0.24	0.257	0.274	0.24
Non-battered snow	0.15	0.161	0.171	0.15
Snow and ice, covered with the snow, which has just fallen	0.18	0.193	0.206	0.18
Snow and ice, mixed with sand and slush	0.15	0.161	0.171	0.15
Snow and ice	0.12	0.129	0.137	0.12
Snow and ice before crossroads	0.09	0.096	0.103	0.09
Deep snow	0.92	0.986	1.051	0.92
Dry asphalt in winter conditions	0.59	0.632	0.674	0.59
Asphalt, covered with hoar-frost	0.48	0.514	0.549	0.48
Smooth ice	0.054	0.058	0.062	0.054
Ice and tires with chains	0.12	0.129	0.137	0.12
Black ice	0.12	0.129	0.137	0.12

Table 5. Degree of maximum slope for vehicle types and road surface conditions

Road surface condition <i>i</i>	Degree (°) of maximum slope for vehicle type <i>j</i>			
	Sedan	Van	Bus	Mini truck
Battered snow	13.50	14.42	15.34	13.50
Non-battered snow	8.53	9.13	9.73	8.53
Snow and ice, covered with the snow, which has just fallen	10.20	10.92	11.62	10.20
Snow and ice, mixed with sand and slush	8.53	9.13	9.73	8.53
Snow and ice	6.84	7.33	7.81	6.84
Snow and ice before crossroads	5.14	5.51	5.87	5.14
Deep snow	42.61	44.59	46.44	42.61
Dry asphalt in winter conditions	30.54	32.30	33.99	30.54
Asphalt, covered with hoar-frost	25.64	27.22	28.75	25.64
Smooth ice	3.09	3.31	3.53	3.09
Ice and tires with chains	6.84	7.33	7.81	6.84
Black ice	6.84	7.33	7.81	6.84

등판이 불가능한 것을 의미한다. 또한 TI_{ijk} 가 1이라는 것은 θ_k 가 0이라는 것으로, 이 경우 경사도가 없는 평지를 주행 중인 것이기 때문에, 현재 상황에서 통행이 가능한 것으로 판단할 수 있다. 마지막으로 TI_{ijk} 값이 0과 1 사이의 값일 경우에는 해당 도로관리청 혹은 도로관리 기관에서 판단하여 차량의 통행 여부를 결정할 수 있을 것이다. 즉, 어느 수준의 값에서 차량의 통행 여부를 결정할 것인가에 대하여 보다 구체적인 연구가 요구된다.

4. 결론

본 연구는 동절기 강설에 대한 교통안전 대책의 일환으로 도로의 등판 가능성 지표 구축 방안을 제시하였다. 비록 제시된 지표는 기존에 연구된 결과를 조합하여 제시되었으나, 그 일련의 과정을 참조하여 동일한 방법으로 실험한 파라미터 값을 구축할 수 있을 것이다. 구축된 등판 가능성 지표는 동절기 도로를 관리하는 도로관리청과 지방자치단체에서 강설시 도로 운영 여부를 판단하는 기준으로 활용할 수 있을 것이다. 또한 이러한 지표가 도로 이용자에게 교통정보로 제공된다면, 자신의 주행하게 될 도로구간에 대하여 사전에 우회를 하거나 체인을 준비하는 등 강설로 인한 피해를 최소화할 수 있는 기반이 될 것이다.

동절기 강설에 대한 도로의 등판 가능성 지표는 현재의 도로변 기상상황과 자신을 차량 조건을 통하여 실시간으로 구축할 수도 있으나, 기상정보는 예측이 가능하기 때문에 예측된 기상정보를 기반으로 예측된 도로의 등판 가능성 지표를 구축할 수 있을 것이다. 이러한 예측된 등판가능성 지표는 시공간적으로 환경이 다양한 전국의 주요 도로망에 대하여 구축이 가능할 것이며, 이를 통해 개인 이용자의 경우 장기적으로 동절기 여행계획의 수립에 활용할

수 있을 것으로 판단된다. 또한 물류업계의 경우 폭설이 예정된 혹은 도로의 등판이 불가능한 시간과 구간을 회피하여 운송계획을 수정하여 동절기 강설로 인한 물류 피해 비용을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 본 연구에서는 오르막 구간에 대한 등판 가능성에 초점을 두어 서술하였으나, 내리막 구간에서의 제동 능력 상실 관련 문제점 진단 및 관련 연구가 요구된다. 또한 차량의 구동방식 및 성능에 따라 달라질 수 있는 등판가능성에 대한 심층적인 연구가 요구되며, 이러한 세부연구는 오르막 등판 능력이 떨어지는 중대형 화물차를 중심으로 수행되는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2010년 한국교통연구원 기본과제로 수행한 “교통취약성 개선을 위한 국가교통예보시스템 구축방안”을 기초로 작성하였음.

References

Burch, D. (2004). *Estimating excavation*, Craftsman Book Company, Carlsbad, C.A.
 Fromm, H. J. and Corkill, J. T. (1971). *An evaluation of surface course mixes designed to resist studded tire wear*, Research and Transportation Systems Branch, Ontario Department of Highways.
 Greek, E. R. (1975). *Alaska garnet tire study*, Alaska Department of Highways.
 Hayhoe, G. F. and Kopac, P. A. (1982). *Evaluation of winter-driving traction aids*, NCHRP Research Results Digest 133, National

- Research Council, Transportation Research Board.
- Lu, J. J., Junge, D. C. and Esch, D. C. (1994). *Winter tire traction evaluations*, Transportation Research Center, University of Alaska, Fairbanks.
- Raad, L. and Lu, J. (2000). "Traction performance of transit and paratransit vehicles in winter." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1731, pp. 40-50.
- Raad, L. and Lu, J. J. (1998). *Traction performance of transit and paratransit vehicles during winter season*, Transportation Northwest Regional Center X, Seattle, WA.
- Rosenthal, P., Haselton, F. R., Bird, K. D. and Joseph, P. J. (1969). *Evaluation of studded tires: Performance data and pavement wear measurement*, Highway Research Board, National Research Council.
- Scheibe, R. R. (2002). *An overview of studded and studless tire traction and safety*, WA-RD 551.1. Washington State Transportation Center.
- Smith, P. and Schonfeld, R. (1970). *Studies of studded-tire damage and performance in ontario: Winter 1969-1970*, DHO Report No. RR165, Ontario Ministry of Transportation.
- Smith, R. W., Ewens, W. E. and Clough, D. J. (1971). "Effectiveness of studded tires." *Highway Research Record* 352, pp. 39-49.
- Sokolovskij, E. (2007). "Automobile braking and traction characteristics on the different road surfaces." *Transport*, Vol. 22, No. 4, pp. 275-278.