

## 차륜 슬립과 침하를 이용한 실시간 정격 원추 지수 예측

남주석 김대철 김경욱

### Real Time Prediction of Rating Cone Index using Measured Wheel Sinkage and Slip

J. S. Nam D. C. Kim K. U. Kim

#### Abstract

It has been known from Willoughby's empirical equation that rating cone index can be determined if wheel sinkage and slip of a vehicle can be measured on soil surface. A field data of wheel sinkage and slip was collected from two tractors of different sizes on gravelly sand and gravelly loamy sand. Using the data, rating cone index of the soil was estimated. The estimated rating cone index demonstrated that it could be determined in real time by measuring wheel sinkage and slip. It was also demonstrated statistically that the same soil strength could be obtained under the same soil conditions regardless of the vehicle platforms used for the wheel sinkage and slip measurements.

**Keywords :** Rating cone index, Wheel slip, Wheel sinkage, Soil strength

#### 1. 서론

차량의 자율 주행, 포장의 정밀 경운 등을 수행하기 위해서는 차량의 주행 속도 및 경운 깊이를 실시간으로 제어할 수 있는 변수가 필요하며, 이러한 실시간 제어 변수로서 가장 적합한 변수는 토양 강도이다. 따라서 실시간 토양 강도의 예측은 차량 주행성과 정밀 경운 등을 연구하는 학자들에게 많은 관심의 대상이 되어 왔으나, 아직까지 표준화된 예측법은 없는 실정이다.

특정 토양에서 실시간으로 토양 강도를 예측하는 데는 원추 관입기가 가장 널리 사용되었으나, 원추 관입기를 이용한 원추 지수는 연속적인 측정이 어렵다. 최근에는 Sandomirsky 등(2007)이 차륜의 침하와 슬립을 실시간으로 측정하여 간접적으로 토양 강도를 예측할 수 있는 방법을 시도한 바 있으며, 이때 토양 강도는 정격 원추 지수(RCI, rating cone index)로써 나타내었다.

차륜 침하와 슬립은 토양과 차륜 사이의 상호 작용에 의하여 일어나는 현상으로서 토양 강도, 차륜 등의 영향을 받는다 (Bekker, 1969). 즉, 차륜 침하와 슬립은 토양 강도, 차륜 변수의 함수로서 나타낼 수 있으며, 만약 차륜 변수가 일정하다면 차륜 침하와 슬립은 이론적으로 토양 강도의 함수로서 나타낼 수 있다. 이는 특정 토양에서 차륜의 침하와 슬립을 실시간으로 측정하면 간접적으로 토양 강도를 실시간으로 추정할 수 있음을 나타낸 것이다. Willoughby 등은 차륜형 차량이 연약한 노면을 주행할 때 차륜의 침하량을 예측할 수 있는 경험식을 제시하였다(Affleck, 2005). 차륜 변수 및 정격 원추 지수의 함수로서 표현된 이 경험식은 Sullivan 등(2000), Affleck(2005) 등의 연구에서 차량 주행성을 예측하는 데 널리 응용되었다.

본 연구에서는 Willoughby의 경험식을 이용한 토양 강도 예측의 가능성을 확인하기 위하여, 2가지 토양 조건에서 2대의 트랙터로써 측정한 차륜 침하와 슬립을 이용하여 정격 원

Authors are gratefully acknowledging the financial support by Agency for Defence Development and by UTRC(Unmanned Technology Research Center), Korea Advanced Institute of Science and Technology. The article was submitted for publication on 2009-03-27, reviewed on 2009-05-28, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-06-30. The authors are Joo Suck Nam, Former Graduate Student, Seoul National University, Seoul, Korea, Dae Cheol Kim, Senior Researcher, R&D Center, Tongyang Moolsan Co. Ltd., Gongju, and Kyeong Uk Kim, Professor, Seoul National University, Seoul, Korea. Corresponding author: K. U. Kim, Professor, Department of Biosystems and Biomaterial Science and Engineering, and Institute for Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea; Fax: +82-2-873-2049; E-mail: <kukim@snu.ac.kr>.

추 지수를 예측하고, 예측한 정격 원추 지수가 동일하다는 가설을 통계적으로 입증하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. Willoughby 경험식

식 (1)은 차륜의 침하량을 예측하기 위한 Willoughby 경험식이다.

$$z = \frac{5d\sqrt{N}}{\left[ \frac{RCI \times bd}{W(1 - \frac{\delta}{h})^{\frac{3}{2}} s^{\frac{1}{5}}} \right]^{\frac{5}{3}}} \quad (1)$$

- where,  $z$  = wheel sinkage, m
- $W$  = vertical wheel load, kN
- $b$  = width of tire cross section, m
- $d$  = tire diameter, m
- $\delta$  = tire deflection, m
- $h$  = height of tire cross section, m
- $s$  = wheel slip, decimal
- $RCI$  = rating cone index, kPa
- $N$  = number of wheel passes

식 (1)에 의하면 차량이 1회 통과할 때, 차륜의 침하량  $z$ 는 차륜 변수  $b, d, \delta, h, W$ , 토양 변수  $RCI$ , 차륜과 토양의 상호작용 변수  $s$ 의 함수이다. 이 식에서 토양 변수  $RCI$ 를 구하면, 차량이 1회 통과할 때,

$$RCI = 2.6265 \frac{W(1 - \frac{\delta}{h})^{\frac{3}{2}}}{bd^{\frac{5}{3}}} \left( \frac{s}{z^3} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (2)$$

가 된다. 식 (2)에 의하면 동일한 토양 조건에서 측정된 차륜 침하와 슬립은 측정 차량과 관계없이 모두 동일한  $RCI$ 를 추정할 수 있어야 한다. 즉 상이한 차량으로 측정된 차륜 침하와 슬립은 서로 다르지만 이를 이용하여 식 (2)로써 구한  $RCI$ 는 동일하여야 한다. 본 연구는 이러한 개념의 식 (2)를 이용하여 토양 강도를 나타낼 수 있는 변수로서 정격 원추 지수  $RCI$ 를 실시간으로 추정하고자 하였다.

### 나. 차륜의 침하 및 슬립 측정

#### 1) 측정 플랫폼

차륜의 침하와 슬립을 측정하기 위한 플랫폼은 2대의 트랙

**Table 1** Specifications of tractors used as a measuring platform

Tractor model	Maker	Rated power/speed kW/rpm	Weight, kN	Weight distribution Front: Rear, %
LT412D	LS Mtron Co. Ltd., Seoul, Korea	30/2600	20.0	48.1 : 51.9
T502	Tongyang Moolsan Co. Ltd., Seoul, Korea	36.8/2500	22.9	46.9 : 53.1

**Table 2** Specifications of tractor tires

Tire	Tractor		
	LT412D	T502	
Front wheel	Designation	8.3-20	8.3-20
	Inflation pressure, kPa	128	210
	Section width, mm	210.8	210.8
	Diameter, mm	891.5	891.5
	Circumference, mm	2717.8	2717.8
Rear wheel	Designation	12.4-28	14.9-28
	Inflation pressure, kPa	128	212
	Section width, mm	330.2	398.8
	Diameter, mm	1264.9	1374.1
	Circumference, mm	3860.8	4140.2

터로 하였으며 각 트랙터와 트랙터 타이어의 제원은 각각 표 1과 표 2에서와 같다. 트랙터의 총중량과 차축의 중량 분포는 농업공학연구소에서 하중 측정 장치를 이용하여 직접 측정하였다. 트랙터 타이어의 공기압은 직접 측정하였으며, 타이어 지름, 타이어 단면 높이, 타이어 단면 폭, 타이어 변형량은 타이어 제조회사가 제공한 표 2의 제원을 이용하여 다음과 같이 구하였다.

$d$  = tire diameter

$$h = \frac{\text{diameter} - \text{rim diameter}}{2}$$

$b$  = section width of tire

$$\delta = \text{diameter} - \frac{\text{circumference}}{\pi}$$

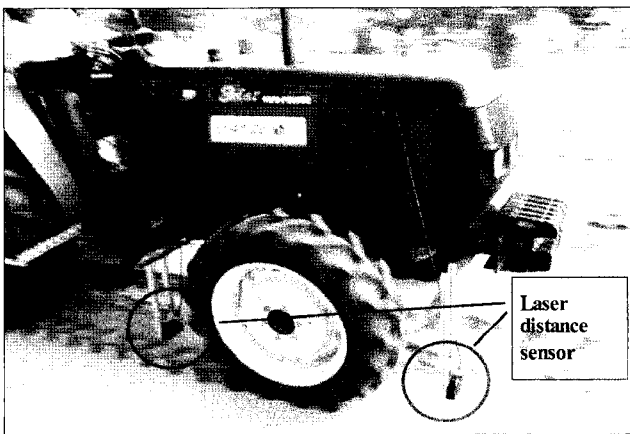
$$W = \frac{\text{weight} \times \text{weight distribution ratio of front wheel}}{2}$$

#### 2) 차륜 침하량

차륜의 침하량을 실시간으로 측정하기 위하여 레이저 거리 센서를 사용하였으며 레이저 거리 센서의 제원은 표 3에서와 같다. 트랙터 전륜의 전방과 후방에 프레임에 설치하여 센서를 장착하고, 트랙터가 주행할 때 각 센서의 위치에서 센서와 지면 사이의 수직 거리를 측정하였다. 이때 전륜 후방의 지면은 타이어의 러그 자국을 기준으로 하였다. 러그가 있는 타이어의 경우에는 러그가 있는 부분과 러그가 없는 부분의 침하

**Table 3** Specifications of laser distance sensor used for sinkage measurements

Items	Specifications
Manufacturer	Baumer Electric AG, Frauenfeld, Switzerland
Model	OADM 20S4471/S14F
Sensing distance, max./min.	500 mm/100 mm
Resolution	0.5 mm
Response time	100 ms
Operating voltage, min.	12 V DC
Output	100 ~ 500 mm



**Fig. 1** Laser distance sensors mounted in front and rear of front wheel.

량이 다르기 때문에 러그의 영향을 고려하여야 한다. 본 연구에서는 예비 시험의 결과에 따라 차륜의 침하량을 식 (3)에서와 같이 러그에 의한 침하량의 1/2로 하였다.

$$z = \frac{h_r - (h_f \pm \delta)}{2} \quad (3)$$

where,  $z$  = wheel sinkage,

$h_r$  = average vertical distance from location of rear sensor to lug track,

$h_f$  = average vertical distance from location of front sensor to soil surface

$\delta$  = vertical distance between locations of front and rear sensors, + for the front sensor below the rear one, - for the front sensor above the rear one.

그림 1은 트랙터 전륜의 전후에 설치한 레이저 거리 센서의 모습을 나타낸 것이다.

### 3) 차륜 슬립

트랙터 후륜의 중심에 로터리 엔코더를 장착하여 트랙터가

**Table 4** Specifications of rotary encoder used for slip measurement

Model	Manufacturer	No. of pulses per revolution	Voltage, V DC	Max. speed, rpm
E40H8-360-3-3	Autonics Cooperation Bucheon, Korea	360	5	5000

일정한 직선 거리를 주행할 때 차륜의 회전수를 측정하고, 측정한 차륜 회전수와 차륜의 원주 길이(rolling circumference)를 곱하여 트랙터의 이론 주행 거리를 구하였다. 트랙터의 실제 주행 거리는 줄자를 이용하여 측정하였다. 트랙터의 이론 주행 거리와 실제 주행 거리를 이용하여 식 (4)로써 차륜의 슬립을 계산하였다.

$$s = 1 - \frac{s_a}{s_t} \quad (4)$$

where,  $s$  = wheel slip, decimal

$s_a$  = actual travel distance of tractor, m

$s_t$  = theoretical travel distance of tractor, m

실험에 사용한 로터리 엔코더의 제원은 표 4에서와 같다. 시험한 트랙터는 4륜 구동이었기 때문에 전륜과 후륜의 슬립은 동일한 것으로 하였다.

### 4) 실험 조건

#### 가) 실험 토양

차륜의 침하량과 슬립을 측정하기 위한 실험은 Site 1인 농촌진흥청 농업공학연구소 내의 공지에서 4회(2008년 8월 7일, 8월 20일, 10월 6일, 10월 10일), Site 2인서울대학교 농업생명과학대학 농장에서 3회(2008년 10월 29일, 11월 5일, 11월 7일) 실시하였다. 농업공학연구소 내의 공지 토양은 점토 0.19%, 실트 4.56%, 사토 40.9%, 자갈 54.35%로서 미농무성법(USDA)의 토성에 의하면 자갈성 사토(very gravelly sand)이었으며, 서울대학교 농장의 토양은 점토 0.43%, 실트 10.28%, 사토 43.66%, 자갈 46.63%로서 자갈성 사양토(gravelly loamy sand)이었다. 그림 2는 각 토양의 입도 분포를 나타낸 것이다.

균등한 토양 상태를 조성하기 위하여 각 토양의 표면을 20 cm 깊이로 로터리 경운한 후 다시 동일한 횡수로 롤러 다짐을 실시하였다. 농장 토양은 벼를 수확한 후 벼 밀동이 남은 상태에서 로터리 경운과 롤러 다짐을 실시하였기 때문에 지면이 농업공학연구소의 토양에 비하여 고르지 못하였다. 각 Site별로 측정을 시작하기 전에 토양 샘플을 취하여 오븐법으로 함수비를 결정하였으며, 5, 10, 15 cm 깊이에서 5-6 지점의 원추 지수를 측정하여 같은 정도의 다짐을 유지하도록 하였다. 표 5는 본 연구에 사용한 원추 관입기의 제원이며,

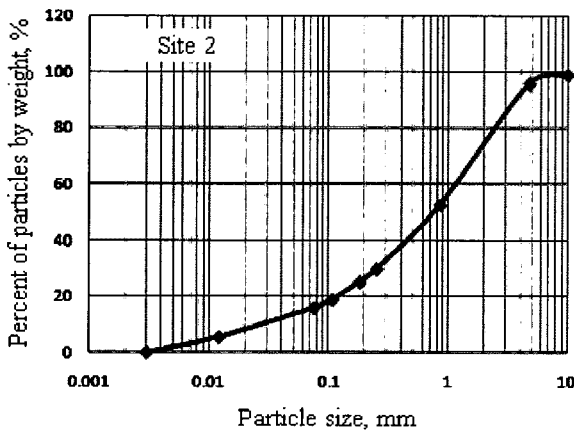
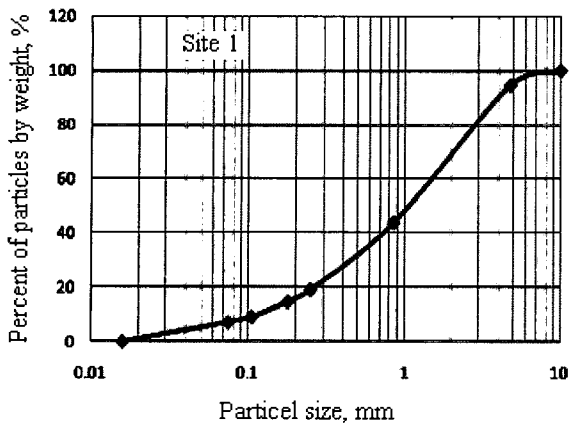


Fig. 2 Particle size distribution of test sites.

Table 5 Specifications of cone penetrometer used for this study

Manufacturer	Measuring range	Accuracy	Remarks
Spectrum Technologies Inc., Plainfield IL, USA.	Depth: 0-45 cm CI: 0-7 MPa	Depth: $\pm 1.25$ cm CI: $\pm 0.1$ MPa	Compatible to ASABE S 313.3 (ASABE Standards, 2006)

Table 6 Cone index of soil measured in the experimental sit

Site	Date	CI, kPa		
		5 cm	10 cm	15 cm
Site 1	Aug. 7, 2008	310-340	410-445	910-1121
	Aug. 20, 2008	351-421	491-526	702-1018
	Oct. 6, 2008	245-280	351-386	386-456
	Oct. 10, 2008	351-386	421-456	421-491
Site 2	Oct. 29, 2008	456-491	456-526	877-1264
	Nov. 5, 2008	351-456	280-351	807-1158
	Nov. 7, 2008	316-386	421-526	877-1193

표 6은 차륜 침하 및 슬립 측정시 각 Site별 원추 지수의 범위를 나타낸 것이다.

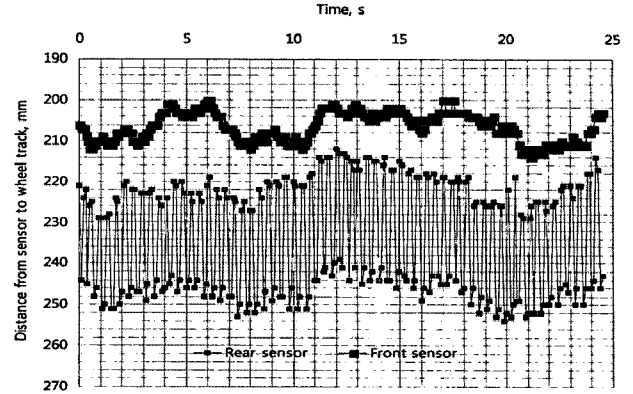


Fig. 3 Measured vertical distance from sensor location to wheel track.

### 나) 트랙터 주행 속도

차륜 침하량에 미치는 주행 속도의 영향을 배제하기 위하여 트랙터는 0.2~0.3 m/s의 저속으로 직진 주행하였다. 주행 거리는 9~10 m로 하였으며, 동일한 토양 및 트랙터 조건에서 반복 횟수는 4~6회로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 차륜의 침하량

전륜의 전방과 후방에서 측정한 지면 및 타이어 자국까지의 수직 거리는 그림 3에서와 같이 나타났다. 전륜의 후방에서 측정한 타이어 자국까지의 수직 거리는 그림 3에서와 같이 리그가 있는 부분과 리그가 없는 부분의 차이가 나타났다. 본 연구에서는 리그 부분을 기준으로 한 식 (3)을 이용하여 침하량을 결정하였다.

### 나. 실험 결과

표 7은 Site 1에서 측정한 트랙터별 차륜 슬립과 침하량 및 식 (2)로써 예측한 RCI를 나타낸 것이고, 표 8은 Site 2에서 측정한 트랙터별 차륜 슬립과 침하량 및 식 (2)로써 예측한 RCI를 나타낸 것이다.

### 다. 예측 정격 원추 지수

정격 원추 지수는 원추 지수와 다음과 같은 관계가 있다.

$$\text{정격 원추 지수} = \text{리몰딩 지수} \times \text{원추 지수}$$

이때 리몰딩 지수(remolding index)는 차량이 통과함에 따라 토양 강도의 증감을 나타내는 변수로서 차륜에 의하여 토

**Table 7** RCI predicted using measured values at two measuring platforms in Site 1

Date	Platform	Wheel slip, decimal	Wheel sinkage, m	RCI, kPa
Aug. 7, 2008	LT412D	0.0535	0.01631	328.37
		0.0548	0.01586	335.54
		0.0636	0.01413	370.56
		0.0511	0.01387	358.59
		0.0635	0.01413	370.37
	T502	0.1023	0.02514	320.66
		0.1053	0.02402	331.42
		0.1145	0.02299	346.04
		0.0763	0.02162	331.04
Aug. 20, 2008	LT412D	0.0584	0.01502	351.18
		0.0615	0.02260	277.67
		0.0584	0.01521	348.54
		0.0650	0.01383	377.01
		0.0548	0.01644	328.44
	T502	0.0893	0.02664	301.36
		0.1070	0.02522	322.93
		0.1082	0.02077	363.65
		0.0942	0.02231	338.85
Oct. 6, 2008	LT412D	0.0444	0.02547	242.12
		0.0337	0.02833	214.95
		0.0428	0.02591	237.89
	T502	0.0428	0.02440	246.64
		0.0264	0.02524	243.98
		0.0388	0.02293	279.13
		0.0291	0.02513	249.43
		0.0326	0.02466	258.04
		0.0291	0.02513	249.43
Oct. 10, 2008	LT412D	0.0451	0.01995	281.25
		0.0515	0.02310	264.49
		0.0432	0.01914	285.87
		0.0423	0.01922	283.91
	T502	0.0298	0.01746	311.83
		0.0227	0.01934	277.69
		0.0340	0.02243	275.44
		0.0215	0.01907	277.06
		0.0215	0.01907	277.06

양 다짐이 일어나면 토양 강도가 증가되어 리몰딩 지수는 1보다 크게 되며, 토양이 파괴되어 토양 강도가 약화되면 리몰딩 지수는 1보다 작게 된다. Site 1와 Site 2의 토양은 90% 이상이 모래와 자갈로 구성되어 트랙터가 통과할 때 토양 강도가 약화되는 토양은 아니었다. 표 7과 표 8의 예측 정격 원추 지수와 표 6의 실측 원추 지수로서 구한 표토 5 cm 깊이

**Table 8** RCI predicted using measured values at the measuring platforms in Site 2

Date	Platform	Wheel slip, decimal	Wheel sinkage, m	RCI, kPa
Oct. 29, 2008	LT412D	0.0321	0.01766	282.66
		0.0338	0.01954	268.78
		0.0304	0.01691	287.03
		0.0255	0.01778	268.85
	T502	0.0423	0.01995	308.75
		0.0343	0.01906	304.29
		0.0305	0.01924	295.55
		0.0279	0.01855	296.77
		0.0283	0.01802	302.84
Nov. 5, 2008	LT412D	0.0474	0.01945	320.65
		0.0341	0.01623	301.03
		0.0434	0.01512	329.56
		0.0444	0.01810	297.19
		0.0348	0.01579	307.22
		0.0283	0.01690	283.05
	T502	0.0425	0.01945	282.16
		0.03333	0.01739	319.61
		0.0259	0.01618	317.33
Nov. 7, 2008	LT412D	0.0326	0.01641	329.53
		0.0293	0.01721	313.48
		0.0243	0.01904	284.15
		0.0292	0.01750	278.88
		0.0351	0.01846	280.21
		0.0389	0.01573	314.92
	T502	0.0411	0.01574	318.22
		0.0324	0.01521	309.80
		0.0456	0.01585	359.82
Nov. 7, 2008	T502	0.0341	0.01772	317.53
		0.0331	0.01710	322.40
		0.0291	0.01623	324.27
		0.0268	0.01829	296.85
		0.0283	0.01919	291.62
		0.0283	0.01919	291.62

까지 리몰딩 지수의 범위는 Site 1의 경우 평균 0.97~1.32, Site 2의 경우 평균 1.10~1.72이었다. 이러한 리몰딩 지수의 범위는 예측한 정격 원추 지수의 범위가 실제 정격 원추 지수와 큰 차이가 없음을 나타낸 것이다.

**락. 분산 분석을 이용한 유의성 검증**

동일한 Site에서 같은 날짜에 2대의 트랙터로써 4-6회 측정한 차륜 슬립과 침하량을 이용하여 예측한 RCI가 동일하다는 가설을 검증하기 위하여 분산 분석을 실시하였다. 분산

**Table 9** ANOVA table for RCI determined at Site 1 on August 7, 2009

Source	DF	SS	MS	F	$F_{0.01,i,j}$	$F_{0.05,i,j}$
Among tractors	1	912.41	912.41	3.82	11.26	5.32
Within tractors	8	1912.34	239.04			
Total	9	2824.75				

**Table 10** Results of ANOVA on RCI

Soil	Date	Degree of freedom		F values		
		i, tractor	j, RCI	F	$F_{0.01,i,j}$	$F_{0.05,i,j}$
Site 1	8/7	1	8	3.82	11.26	5.32
	8/20	1	8	0.07	11.26	5.32
	10/6	1	6	4.53	13.75	5.99
	10/10	1	6	0.43	13.75	5.99
Site 2	10/29	1	8	21.86	11.26	5.32
	11/5	1	9	1.48	10.56	5.12
	11/7	1	9	1.86	10.56	5.12

분석은 통계 프로그램인 SAS(Version 9, USA)를 이용하여 수행하였다. 표 9는 8월 7일 사이트 1에서 결정한 RCI에 대한 분산 분석의 결과를 나타낸 것이다.

2대의 트랙터로써 결정한 RCI가 동일하다는 가설을 검정하기 위한 F값은 3.82로 나타났다. F분포에서  $F_{0.01,1,8} = 11.26$ ,  $F_{0.05,1,8} = 5.32$ 이므로 이 F값은 F분포의 값보다 적다. 즉, RCI가 동일하다는 가설을 1%, 5% 유의 수준에서 모두 받아드릴 수 있는 것으로 나타났다. 같은 방법으로 수행한 Site 1과 Site 2의 RCI에 대한 분산 분석의 결과는 표 10에서와 같다. 표 10에서와 같이 10월 29일의 경우를 제외하면 상이한 2대의 트랙터로써 예측한 각 사이트의 RCI는 통계적으로 동일하다고 할 수 있다. 10월 29일의 예측 결과가 다르게 나타난 이유는 시험 토양에 대한 경운과 다짐의 불균일, 타이어 공기압의 영향, 측정 오차 등으로 판단되나 그 이유를 구명하기 위해서는 차륜 침하에 미치는 공기압의 영향을 더 연구해야 할 것으로 생각된다. 이상의 결과로써, 10월 29일 Site 2의 결과를 제외하면 측정 플랫폼이 RCI에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다. 즉 상이한 플랫폼에서 측정된 차륜 침하와 슬립은 서로 다르지만 이를 이용하여 Willoughby식으로 예측한 RCI는 같은 것으로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 실시간으로 토양 강도를 예측하기 위한 방법으

로서 Willoughby의 정격 원추 지수 추정식을 이용한 방법을 제시하고, 정격 원추 지수는 차륜의 슬립과 침하로써 추정할 수 있으며 측정 플랫폼에는 영향을 받지 않음을 입증하였다. 즉, 동일한 2조건의 토양에서 상이한 2대의 트랙터를 이용하여 차륜의 슬립과 침하를 실시간으로 측정하고, 이를 이용하여 정격 원추 지수를 추정하였으며, 동일한 토양 조건에서 2대의 트랙터로써 측정된 정격 원추 지수는 통계적으로 동일한 것임을 입증하였다. 본 연구의 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 차륜 슬립과 침하를 측정하여 실시간으로 토양 강도를 예측할 수 있는 방법을 제시하였다.
- (2) Willoughby의 정격 원추 지수 추정식을 이용한 이 방법은 측정 플랫폼에는 영향을 받지 않음을 확인하였다.
- (3) 정격 원추 지수를 예측하기 위한 차륜 침하는 타이어 러그의 자국을 기준으로 한 식 (4)의 침하량이 적합하였다.
- (4) 보다 정확한 정격 원추 지수를 예측하기 위해서는 타이어 공기압이 차륜 슬립과 침하에 미치는 영향을 구명해야 할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. Affleck, R. T. 2005. Disturbance Measurements from Off-road Vehicles on Seasonal Terrain. Technical Report ERDC/CRREL TR-05-12. US Army Corps of Engineers, Vicksburg, MISS., USA.
2. ASABE Standards. 2006. S313.3 : Soil Cone Penetrometer. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, USA.
3. Bekker, M. G. 1969. Introduction to Terrain-Vehicle Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor, MI., USA.
4. Sandomirsky, S., A. Anderson, G. Savant and M. Naumov. 2007. Optical measurement of soil penetration resistance and automatic determination of rating cone index. Proceedings of the Joint North America, Asia-Pacific ISTVS Conference and Annual Meeting of Japanese Society for Terramechanics. June 23-26. Fairbanks, Alaska, USA.
5. Sullivan, P. M. and B. A. Alan. 2000. A Methodology for Estimation Army Training and Testing Area Carrying Capacity (attac) Vehicle Severity Factors and Local Condition Factors. Technical Report ERDC TR-00-2. US Army Corps of Engineers. Vicksburg, MISS., USA.