

논 토양의 물리적 특성을 고려한 산물형 트레일러의 적정용량 예측

Prediction of Bulk Type Trailer Capacity in Consideration of Soil Physical Properties of Paddy Field

박원엽 이규승
정회원 정회원
W. Y. Park K. S. Lee

ABSTRACT

A computer simulation was carried out to determinate the optimum capacity of bulk type trailer which is used as a tractor attachment. Soil physical properties, such as soil moisture content, bulk density, soil hardness and soil texture were measured in the 10 major rice production area for computer simulation. Mathematical model which include soil physical properties and vehicle factor was used for computer simulation.

Most of the soil texture of the investigated area was silty loam. Soil moisture content ranged between 30 and 40% mostly. Soil bulk density was in the range of 1,500 to 1,700 kg/m³. Soil hardness ranged between 1 to 18 kg/cm². Soil hardness incorporate the effects of many soil physical properties such as moisture content, texture and bulk density, and so the range of soil hardness was greater than any other physical properties.

The capacity of bulk type trailer was above 3000 kg_r for the most of the investigated area, and mostly in the range of 4000 to 6000 kg_r depending upon the slip. But for the soft soil area such as Andong and Namyang, tractor itself had mobility problem and showed minus trailer capacity for some places. For this area, the capacity of bulk type trailer ranged between 1000 and 2000 kg_r mostly, so bulk type trailer should be designed as a small capacity compared to the other area.

Keywords : Bulk type trailer, Trailer capacity, Soil physical properties, Soft soil.

1. 서 론

1990년부터 1996년 말까지 우리나라의 콤바인 총 공급대수는 74,990대이며, 이 가운데 자루형 콤

바인이 73,783대, 산물형 콤바인이 1,119대, 보통형 콤바인이 88대로 자루형 콤바인이 전체 공급대수의 98.4%를 차지하고 있으며 1993년도부터 공급되기 시작한 산물형 콤바인은 1.5%에 불과하였다

The article was submitted for publication in September 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2002. The authors are Won Yeop Park, Resaerch Assistant Professor and Kyou Seung Lee, Professor, Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. The corresponding author is K. S. Lee, Professor, Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea. Fax: +82-31- 290-7830. E-mail: <seung@skku.ac.kr>.

(김, 1997, 1999). 그러나 최근 들어 산물형 콤바인의 공급대수는 급격한 증가추세를 보여 왔으며, 2001년도에 공급된 총 5,811대의 콤바인 중 60.3%인 3,500대의 콤바인이 산물형으로 숫자에서 자루형 콤바인을 앞섰다. 더구나 2002년도에는 그 동안 시장을 주도해온 4조 산물형을 대체하여 용량이 늘어난 5조 산물형 콤바인이 출시되어 그 용량이 점점 대형화하고 있는 추세이다. 산물형 콤바인의 운반작업 편리성과 산물 벼 수매제도 도입 등 산물형 콤바인의 도입여건이 개선됨에 따라 그 증가추세는 더욱 가속화되어 자루형 콤바인을 완전히 대체하게 될 것으로 전망된다. 그러나 산물수확 운반체계가 정착되기 위해서는 산물형 콤바인의 확대보급과 더불어 산물운반용 차량이나 트레일러 등의 개발 보급, 미곡종합처리장의 산물수집처리기능 강화 등 산물수확 및 운반체계의 확립이 필요하다.

산물형 콤바인으로 수확할 경우에는 자루형 콤바인과는 달리 산물운반용 트레일러가 포장에 직접 들어가 수확된 산물을 수거해야 하기 때문에 트랙터 부착형 산물운반용 트레일러의 용량은 논 토양의 물리적 특성과 트랙터의 견인성능에 크게 영향을 받는다. 따라서 산물운반용 트레일러가 논 토양과 같이 연약한 지반에서 이동성(mobility) 문제를 일으키지 않기 위해서는 논 토양의 물리적 특성을 고려한 적정 용량이 산정 되어야 한다. 이를 위해서는 우선 트레일러가 운용되어질 지면 상태에서의 트랙터의 견인성능이 결정되어야 한다.

따라서 본 연구는 농촌지역에 많이 보급되어 있는 50 마력급 트랙터의 견인 및 주행성능을 우리나라의 주요 수도 포장을 대상으로 토양의 물리적 특성을 고려한 컴퓨터 모의 시험을 통해 예측하여 최근 이용이 증대되고 있는 산물형 트레일러의 적정용량을 구하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 견인성능 예측모델

타이어의 견인성능 예측 방법은 다양하고, 같은 방법 내에서도 많은 모델들이 연구되어져 왔다. 본 연구에서는 우리나라 논 토양의 상태와 농촌지

역에서 가장 널리 사용되고 있는 50 마력급 트랙터의 제원 등을 고려하여, 많은 모델들을 대상으로 사용 가능성을 검토하였다. 기존의 모델 중 사용 가능한 모델이 없을 경우 새로운 모델의 개발도 고려하였다. 그러나 기존의 모델들 중 상당수가 우리나라의 실정에 그대로 사용 가능한 것으로 판단되었으며, 새로운 모델을 개발하더라도 새로운 모델의 사용 가능성을 검토하는 데는 많은 시험장치의 제작, 다양한 토양상태에서의 검증실험 등이 필요로 하여 많은 경비와 시간이 소요된다. 따라서 기존의 모델 중 일반토양에서 가장 적합한 모델을 선정하여 사용하기로 하였다.

본 연구에서는 차원해석법에 의한 견인력 예측 방법을 선정하였다. 이 방법은 제 2차 세계 대전 때 미 육군이 토양의 주행성(trafficability of soil)을 예측하기 위해 연구되기 시작하였으며, 1960~1970 년대에 걸쳐 많은 연구가 수행되어 졌다. 이 방법의 특징은 현장에서 토양의 수치적 평가를 빠르게 수행하기 위해 토양강도 변수로서 원추지수만을 사용하였다.

상기 방법의 모델들은 미육군수로연구소(U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station;WES)의 Freitag 등(1965)에 의해 다음과 같은 절차에 의해 개발되었으며 최근에는 교과서에 실릴 정도의 신뢰할 만한 모델이다. 그들은 순수한 토양 즉 순수점토와 순수모래에서 실험을 하고 몇몇 가정과 실험조건을 조정함으로써 간단한 예측식을 유도하였다.

타이어의 견인성능을 예측하기 위해 그들은 간단한 무차원 상수들을 개발하였고, 이러한 상수들 간의 관계식은 타이어의 동하중 형태 및 토양강도 등이 타이어의 견인성능에 어떻게 영향을 미치는가를 설명할 수 있도록 하였다. 이 방법에서 주장되고 있는 차륜-토양 시스템에 적합한 변수는 표 1과 같다.

표 1의 변수들로부터 다음과 같은 함수식을 얻을 수 있다.

$$\frac{H}{W}, \frac{TF}{W}, \frac{Q}{dW}, \frac{Z}{d} = f\left(\mu, \phi, \frac{b}{d}, \frac{\delta}{h}, \frac{cd^2}{W}, \frac{\gamma d^3}{W}, \frac{\beta Vd}{W}, \frac{gd}{V^2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

Table 1 Tire-soil system parameters

Parameter	Symbol	Dimension
Independent variables		
Soil:		
Friction angle	ϕ	-
Cohesion	c	$ML^{-1}T^{-2}$
Specific weight	γ	$ML^{-2}T^{-2}$
Spissitude	β	$ML^{-1}T^{-1}$
Tire:		
Diameter	d	L
Section width	b	L
Section height	h	L
Deflection	δ	L
System:		
Load	W	MLT^{-2}
Translational velocity	V	MT^{-1}
Slip	S	-
Tire-soil friction	μ	-
Acceleration due to gravity	g	LT^{-2}
Dependent variables		
Pull	H	F
Towed force	TF	F
Torque	Q	FL
Sinkage	Z	L

그러나 위의 함수식은 실험을 통해 변수들의 영향을 검토하기에는 너무 방대하므로, 순수한 토양 즉 순수점토와 순수모래에서 실험을 하고 몇몇 가정과 실험조건을 조정함으로써 다음과 같이 간단한 식을 유도할 수 있다.

Clay :

$$\frac{H}{W}, \frac{TF}{W}, \frac{Q}{dW}, \frac{Z}{d} = f\left(\frac{cd^2}{W}, \frac{b}{d}, \frac{\delta}{h}\right) \dots\dots\dots (2)$$

Sand :

$$\frac{H}{W}, \frac{TF}{W}, \frac{Q}{dW}, \frac{Z}{d} = f\left(\frac{Gd^3}{W}, \frac{b}{d}, \frac{\delta}{h}\right) \dots\dots\dots (3)$$

이 방법의 궁극적인 목적은 고무타이어-토양시스템에 관계된 변수들간의 관계식을 유도하는 것이며, 제한된 실험 조건하에서 타이어의 성능은 다음과 같은 간단한 무차원량의 함수라고 주장되고 있다.
 많은 실험을 통하여 점토와 사토에 대한 차륜지수(wheel numeric)는 각각 다음과 같이 정의되었다 (Upadhyaya et al., 1988; Wong, 1988).

$$N_c = \frac{Cbd}{W} \left(\frac{\delta}{h}\right)^{1/2} \left(\frac{1}{1+b/2d}\right) \dots\dots\dots (4)$$

$$N_s = G \frac{(bd)^{3/2}}{W} \times \frac{\delta}{h} \dots\dots\dots (5)$$

여기서,
 N_c : 점토에 대한 차륜지수(wheel numeric for clay)
 N_s : 사토에 대한 차륜지수(wheel numeric for sand)
 W : 타이어의 동하중
 C : 원추지수
 G : 사토에 대한 관입저항 기울기
 d : 타이어의 직경
 b : 타이어의 폭
 δ : 타이어의 처짐
 h : 타이어의 단면 높이

점착-마찰력이 동시에 존재하는 일반 토양에 대해 Wismer와 Luth(1973)는 차륜 지수를 다음과 같이 새롭게 정의하였다.

$$C_n = \frac{Cbd}{W} \dots\dots\dots (6)$$

Wismer와 Luth(1973)는 식 (6)의 차륜지수로부터 아래의 식 (7)~(9)와 같이 다짐정도가 큰 토양을 제외한 대부분의 토양에서 차량의 견인성능을 예측할 수 있는 식을 개발하였다.

$$\frac{TF}{W} = \frac{1.2}{C_n} + 0.04 \dots\dots\dots (7)$$

$$\frac{F}{W} = \frac{T}{rW} = 0.75(1 - e^{-0.3C_n S}) \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{H}{W} = 0.75(1 - e^{-0.3 \cdot C_n \cdot S}) - \left(\frac{1.2}{C_n} + 0.04 \right) \dots\dots\dots (9)$$

- 여기서, F : 토양 추진력(gross tractive force)
 TF : 운동저항(motion resistance)
 H : 견인력 (net traction)
 T : 토크
 r : zero 조건(zero condition)에서의 구름 반경
 S : 슬립
 C_n : 차륜지수, $C_n = \frac{CI \cdot b \cdot d}{W}$
 W : 바퀴축에 작용하는 동하중(dynamic load)
 CI : 원추지수
 b : 타이어 폭
 d : 타이어 직경

위 식은 현재 기존의 모델중 다양한 토양 조건에서 가장 많이 사용되고 있으며, 위 식은 타이어의 구름반경과 직경의 비(r/d)가 약 0.475이고, 타이어의 폭과 직경의 비(b/d)가 약 0.3인 경우에 대해 적용할 수 있도록 개발되었다(Liljedahl et al., 1979). 위 식의 적용 범위는 본 연구의 조건을 만족하는 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서도 식 (7)~(9)를 새로 개발될 트랙터의 견인성능으로부터 트레일러의 용량을 계산하는데 사용하고자 선정하였다.

나. 토양물리성 측정

우리나라 수도재배의 대표적인 지역 중의 일부라고 볼 수 있는 이리, 남양간척지, 아산만지역, 평택, 밀양, 상주, 김해, 김포, 안동, 강화지역에서 4곳의 서로 다른 면 단위 지역을 선택하여 토양물리성을 측정하였다. 토양물리성은 타이어의 견인성능 예측에 필요한 걸보기밀도, 수분 함량, 원추

지수 등을 측정하였으며, 참고로 토양 타입도 분석하였다. 측정기간은 1996년부터 1999년까지 4년여에 걸쳐 10월 중순에서 11월말의 1개월 반 동안 측정하였다. 토양물리성의 측정방법은 다음과 같다.

(1) 걸보기 밀도

토양의 걸보기 밀도는 100cc 용량의 토양 채취관을 이용하여 측정하였다. 토양의 걸보기밀도는 표면의 토양을 걷어낸 후 약 8cm와 16cm의 두 깊이에서 수도포장의 임의의 네 곳을 선정하여 3반복으로 측정하였다.

(2) 원추지수

원추지수는 SR-2 모델의 토양경도 측정장치를 이용하여 수도포장의 임의의 네 곳을 선정하여 0, 5, 10, 15cm에서 3반복으로 측정하였다.

(3) 토양 수분 함량

표면의 토양을 걷어낸 후 약 8cm와 16cm의 두 깊이에서 수도포장의 임의의 네 곳을 선정하여 3반복으로 토양 채취관을 이용하여 토양을 채취하여 오븐 건조법에 의해 측정하였다.

(4) 토양 종류

체분석법과 비중계법에 의해 토양 종류를 분석하였다.

다. 트랙터 및 트레일러

본 모의 실험에 사용된 트랙터의 제원은 현재 농촌에서 많이 사용되고 있는 50 마력급들을 기준으로 하였으며, 트레일러도 일반적으로 많이 사용되고 있는 트레일러를 대상으로 하였다. 이들의 제원은 표 2와 같다.

라. 모의 시험 방법

표 2의 트랙터와 트레일러의 제원 그리고 실측한 토양자료로부터 전술한 식 (7)~(9)를 이용하여 트랙터의 토양추진력, 운동저항, 순견인력, 트레일러의 운동저항을 구하였다.

원추지수 값은 0에서 15cm 까지의 평균값을 사

Table 2 Specification of experimental tractor and trailer

Item		Tractor	Trailer
Axle weight (kg)	Front	1200(min)/1350(max)	1300
	Rear	1800(min)/1950(max)	
Tire diameter (cm)	Front	111	78
	Rear	151	
Tire width (cm)	Front	28.3	20
	Rear	35	
Wheelbase (cm)		220	-
Hitch height (cm)		33~50.8	46.5
Driving method		4 wheel drive	Towed wheel

용하였으며, 슬립은 일반적으로 트랙터의 주행시 흔히 나타나는 범위인 10, 15, 20%의 세 수준으로 하였다. 트랙터의 앞·뒤차축 하중은 일반적으로 사용되고 있는 50마력 트랙터의 실제 하중의 범위를 고려하여 선택하였다.

한편, 식 (7)~(9)에서 바퀴축에 작용하는 동시중 W 는 견인력(H , pull)이 있을 경우 중량전이(weight transfer) 현상에 의해 변하는 값으로서 트랙터의 견인력이 H 이고, 견인력이 작용하는 히치점의 높이가 h 일 때 중량전이를 고려한 앞·뒤차축의 하중은 식 (10)과 (11)과 같이 나타난다.

$$W_{Pr} = W_t - \left(\frac{H}{L} \cdot h\right) \dots\dots\dots (10)$$

$$W_{Pr} = W_r + \left(\frac{H}{L} \cdot h\right) \dots\dots\dots (11)$$

여기서, W_t , W_r : 정적인 상태에서 트랙터의 앞차축과 뒤차축에 작용하는 하중
 W_{Pr} , W_{Pr} : 견인력이 H 일 때 중량전이에 의해 트랙터의 앞차축과 뒤차축에 작용하는 하중

H : 견인력
 L : 앞·뒤 차축간의 거리(wheelbase)
 h : 히치점의 높이

식 (9)~(11)로부터 중량전이를 고려한 트랙터의 견인력 H 는 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$H = W_{Pr} \left[0.75(1 - e^{-0.3 \cdot C_{nPr} \cdot S}) - \left(\frac{1.2}{C_{nPr}} + 0.04 \right) \right] + W_{Pr} \left[0.75(1 - e^{-0.3 \cdot C_{nPr} \cdot S}) - \left(\frac{1.2}{C_{nPr}} + 0.04 \right) \right] \dots\dots\dots (12)$$

여기서, C_{nPr} : 중량전이를 고려한 트랙터 뒤바퀴

의 차륜지수, $C_{nPr} = \frac{CI \cdot b_r \cdot d_r}{W_{Pr}/2}$

C_{nPr} : 중량전이를 고려한 트랙터 앞바퀴

의 차륜지수, $C_{nPr} = \frac{CI \cdot b_f \cdot d_f}{W_{Pr}/2}$

b_f , d_f : 트랙터 앞바퀴의 폭과 직경

b_r , d_r : 트랙터 뒤바퀴의 폭과 직경

그러나 식 (12)는 좌변과 우변에 모두 견인력 H 의 항을 포함하고 있으며, 우변에서 중량전이를 고려한 축하중 W_{Pr} 와 W_{Pr} 은 견인력 H 의 크기를 알고 있는 경우에만 결정할 수 있다. 따라서 식 (12)에 의한 견인력 H 는 반복법을 이용하여 계산하였다. 즉, 견인력 H 를 가정한 후, 가정한 H 를 식 (12)의 우변에 대입하여 계산한 견인력 H 가 가정한 H 와 일치할 때까지 반복 계산하여 트랙터의 견인력을 구하였다.

한편, 트레일러의 용량은 식 (12)에 의해 구해진 트랙터의 견인력 H 와 트레일러의 운동저항 TF_{tra} 가 같은 순간인 식 (13)의 조건에서 결정할 수 있고,

$$H = TF_{tra} \dots\dots\dots (13)$$

식 (13)에서 트레일러의 운동저항 TF_{tra} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$TF_{tra} = (W_L + W_T) \cdot \left(\frac{1.2}{C_{ntra}} + 0.04 \right) \dots\dots\dots (14)$$

여기서, W_L : 트레일러의 용량
 W_T : 트레일러의 중량, $W_T = 1300\text{kgf}$
 C_{ntra} : 트레일러 바퀴의 차륜지수,

$$C_{ntra} = \frac{CI \cdot b_{tra} \cdot d_{tra}}{(W_L + W_T)/2}$$

b_{tra} , d_{tra} : 트레일러 바퀴의 폭과 직경

식 (14)를 식 (13)에 대입함으로써 다음과 같은 식을 구할 수 있고,

$$H = (W_L + W_T) \cdot \left(\frac{1.2}{C_{ntra}} + 0.04 \right) \dots\dots\dots (15)$$

식 (15)로 부터 트레일러의 용량은 식 (16)과 같이 결정된다.

$$W_L = \frac{H}{\left(\frac{1.2}{C_{ntra}} + 0.04 \right)} - W_T \dots\dots\dots (16)$$

3. 결과 및 고찰

가. 토양의 물리적 특성

표 3은 측정된 논 토양의 토양수분 함량, 겉보기밀도, 경도 및 토성 등 토양의 물리특성을 보여 주고 있다. 벼 수확기에 있어서 논 토양의 수분 함량은 지역에 따라 약간의 차이는 있으나 대부분이 30~40%의 범위였으며 드물게 50%를 넘는 곳과 몇몇 지역이 20% 정도로 나타났다.

36개 조사지역의 토성은 미사질양토(SiL)가 25 곳으로 가장 많았으며 미사질식양토(SiCL), 사질양토(SL), 양토(L)가 한 두 곳으로 조사지역의 대부분의 토양은 양토 계통이었다. 이것은 우리나라의 논 토양의 대부분이 양토 계통이라는 조사와 거의 일치하고 있다. 특히 간척지가 많이 포함된 강화와 남양만 지역 그리고 김포에서의 토성은 모두가 미사질양토(SiL)였으며 안동지역의 토양은 모두 사질양토(SL)였다.

겉보기밀도는 대부분의 조사지역에서 1,500~1,700 kg/m³의 범위였으며, 드물게 1,400kg/m³ 이하인 곳과 1,700kg/m³ 이상인 곳이 몇 군데 있었다.

원추지수는 최하 1 kg/cm²부터 17.98 kg/cm²까지 넓은 범위에 걸쳐 나타났다. 이는 토양의 경도가 토양종류, 겉보기밀도 그리고 토양 수분 함량 등의 복합적인 함수관계에 의해 결정되기 때문에 상기와 같이 넓은 범위에 걸쳐 나타나고 있음을 알 수 있다.

특히 간척지인 남양만 지역에서는 토양 수분 함량이 타 지역에 비해 전반적으로 낮은데도 불구하고 전 지역의 토양경도가 1~5 kg/cm²의 범위로 다른 지역에 비해 현저히 낮음을 알 수 있다. 이는 이 지역의 토양성분 구성 중 미사와 점토의 함량이 타 지역에 비해 높은 반면 모래성분이 낮은 데서 기인한다고 판단된다. 이와 유사한 지역으로는 강화와 김해를 들 수 있는데 이 지역에서의 토양경도는 수분 함량에 크게 영향을 받았음을 알 수 있다. 상기의 예와는 대조적으로 모래성분이 타 지역에 비해 월등히 많으나 토양수분 함량이 낮은 안동지역의 경우는 토양경도가 1.93~10.75 kg/cm² 범위로 비교적 낮음을 알 수 있다. 위의 결과로부터 토양의 경도는 토성, 토양 수분 함량 그리고 겉보기밀도 등 여러 요인이 복합적으로 작용하여 결정되므로 한 두가지의 요인만으로 토양의 경도를 예측하기는 어렵다고 판단된다.

토양의 경도가 2 kg/cm² 이하인 경우는 아주 연약한 토양으로서 차량의 이동성 문제가 발생할 수 있는 토양상태이며, 2~4 kg/cm² 범위의 경우는 연약한 토양으로서 차량자체의 이동성에는 문제가 없는 경우가 대부분이나 작업기 또는 트레일러의 부하가 큰 경우는 이동성 문제가 발생할 수 있다. 토양경도 4~8 kg/cm²의 경우는 보통의 토양상태이며 차량의 이동성 문제가 거의 없으며, 8 kg/cm² 이상의 토양은 단단한 토양으로 이동성 문제가 일어나지 않는다고 볼 수 있다.

나. 트레일러의 용량

표 4는 각 지역별, 슬립 수준별, 축 하중에 따른 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 트레일러의 용량을 보여주고 있다.

는 토양의 물리적 특성을 고려한 산물형 트레일러의 적정용량 예측

Table 3 Experimental soil physical properties

Region		Moisture Content (% d.b.)	Bulk Density (kg/m ³)	Cone Index (kg/cm ²)	Composition			Texture
					Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	
Pyeongtaek	1	32.168	1697.5	5.74	56.7	32	11.3	SL
	2	36.03	1604.5	13.35	37.2	47.4	15.4	L
	3	37.646	1588	8.8	19	58.3	22.7	SiL
	4	37.187	1644.5	10.35	0.8	83.7	15.5	SiL
Ganghwa	1	35.101	1687.6	6.10	1.6	75.3	23.1	SiL
	2	28.123	1596.3	8.15	6.2	72.9	20.9	SiL
	3	27.228	1497.4	12.75	4.4	80.5	15.1	SiL
	4	28.807	1558.5	11.73	8.8	76.4	14.8	SiL
Iri	1	34.94	1633.5	7.83	11.4	62.8	25.8	SiL
	2	51.48	1502	4.65	12.9	61.3	25.8	SiL
	3	44.297	1643	5.58	8.4	62.7	28.9	SiCL
Andong	1	24.628	1712.7	1.93	57.2	29.9	13.9	SL
	2	21.856	1809.5	6.68	49.3	38.3	12.4	L
	3	37.302	1729.6	7.75	74.6	17.4	8	SL
	4	41.771	1640.3	10.75	53.6	34.7	11.7	SL
Sangju	1	28.606	1535.4	11.55	26.4	53.9	19.7	SiL
	2	38.52	1540.3	9.55	20.6	57.5	21.9	SiL
	3	30.793	1552.2	10.53	35.1	44.8	20.1	L
	4	18.991	1542.4	17.75	40.2	40.7	19.1	L
Milyang	1	29.49	1453.5	17.98	5.6	69	25.4	SiL
	2	34.681	1360.2	15.55	9	67.8	23.2	SiL
	3	33.975	1350.7	12.58	25.4	52.3	22.3	SiL
	4	27.733	1393.4	11.58	14	57.2	28.8	SiCL
Namyang	1	27.165	1748	3.00	4.1	69	26.9	SiL
	2	33.384	1762	1.33	10.1	69.6	20.3	SiL
	3	23.037	1547.5	4.35	5.1	74.6	20.3	SiL
	4	32.882	1698.5	1.78	3.9	69.8	26.3	SiL
Kimhae	1	33.505	1524.4	14.50	6.6	71.3	22.1	SiL
	2	25.578	1562.7	12.00	4.6	70	25.4	SiL
	3	34.954	1530.9	7.53	5.2	60.4	34.4	SiCL
	4	23.718	1509	12.13	5.2	68.6	26.2	SiL
Kimpo	1	37.962	1572.7	12.40	7.6	72.8	19.6	SiL
	2	40.187	1643.3	8.58	7	78.7	14.3	SiL
	3	37.385	1577.5	7.50	32	58.2	9.8	SiL
	4	33.899	1538.8	10.25	27.8	66.9	5.3	SiL
Asan	1	27.489	1525	14.48	2.2	80	17.8	SiL

Table 4 Predicted bulk trailer capacity by computer simulation

(unit : kg)

Region		Slip (10%)		Slip (15%)		Slip (20%)	
		Fr(1200kgf) Rr(1800kgf)	Fr(1350kgf) Rr(1950kgf)	Fr(1200kgf) Rr(1800kgf)	Fr(1350kgf) Rr(1950kgf)	Fr(1200kgf) Rr(1800kgf)	Fr(1350kgf) Rr(1950kgf)
Pyeongtaek	1	2566.620	2603.500	3100.682	3195.634	3398.955	3536.854
	2	5975.721	6241.220	6324.211	6660.398	6450.662	6821.289
	3	4173.182	4308.325	4650.028	4856.726	4873.861	5124.237
	4	4849.977	5031.989	5284.062	5539.337	5471.115	5767.561
Ganghwa	1	2778.747	2827.549	3309.664	3418.881	3599.919	3752.804
	2	3865.230	3980.073	4358.442	4543.205	4598.414	4827.511
	3	5766.991	6016.595	6132.285	6453.519	6269.598	6626.720
	4	5394.367	5616.023	5788.768	6083.231	5946.019	6278.743
Iri	1	3707.730	3812.458	4208.439	4382.051	4456.428	4674.576
	2	1875.809	1875.409	2409.622	2459.513	2728.093	2817.353
	3	2469.961	2501.497	3004.958	3093.474	3306.629	3437.699
Andong	1	-465.183	-692.236	48.996	-66.784	370.953	295.541
	2	3105.962	3173.745	3629.173	3760.750	3905.718	4081.690
	3	3667.716	3769.903	4170.230	4341.016	4420.225	4635.583
	4	5012.940	5206.656	5435.566	5702.573	5613.663	5921.044
Sangju	1	5326.115	5542.719	5725.696	6015.249	5886.654	6214.871
	2	4510.145	4668.256	5197.599	5172.425	5445.865	5445.865
	3	4923.859	5111.159	5352.798	5613.391	5535.790	5837.201
	4	7315.912	7686.259	7553.679	7984.522	7619.294	8073.913
Milyang	1	7378.290	7753.591	7610.989	8046.126	7674.255	8132.677
	2	6683.645	7004.055	6973.664	7360.199	7065.716	7481.282
	3	5706.489	5951.516	6076.593	6393.486	6217.102	6570.287
	4	5337.544	5554.993	5736.262	6026.637	5896.599	6225.570
Namyang	1	637.990	566.843	1138.535	1110.971	1465.306	1469.429
	2	Error	Error	-994.853	Error	-512.954	-746.443
	3	1670.891	1659.649	2201.600	2238.529	2524.032	2598.991
	4	-698.124	-1071.150	-143.557	-286.778	183.409	89.480
Kimhae	1	6356.314	6651.167	6673.548	7036.884	6780.969	7175.922
	2	5495.301	5724.468	5881.948	6183.670	6033.743	6373.111
	3	3556.314	3651.491	4063.632	4226.574	4319.142	4526.724
	4	5543.293	5776.049	5926.218	6231.390	6075.423	6417.950
Kimpo	1	5641.748	5881.894	6016.966	6329.212	6160.914	6590.876
	2	4070.683	4198.995	4553.216	4752.596	4782.479	5025.793
	3	3540.965	3635.184	4048.920	4210.783	4305.181	4511.689
	4	4808.533	4987.593	5245.469	5497.761	5434.799	5728.453
Asan	1	6349.900	6644.254	6667.666	7030.545	6775.397	7169.944

표 4에 의하면 슬립과 축하중의 상태에 따라 산물형 트레일러의 용량은 -2000kg에서 8000kg까지 큰 범위에서 변하고 있음을 알 수 있다. 이는 토양의 경도가 아주 연약한 토양에서 아주 단단한 토양상태까지 넓은 범위에서 변하고 있기 때문으로 판단된다. 산물형 트레일러의 용량이 음의 값을 갖는다는 것은 트레일러 자체는 물론이고 트레일러를 견인하는 트랙터 자체도 크게 침하 하여 이동성 문제가 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

토양상태와 축하중에 따라 차이는 있으나 아주 연약한 지역을 제외하고는 대부분의 조사 지역에서 산물형 트레일러의 용량은 3,000kg 이상이었으며, 많은 지역에서 4,000~6,000kg의 범위에 있었다. 그러나 일부 지역에서 트레일러의 용량은 1,000~2,000kg의 범위로 산물형 트레일러의 용량이 이 범위를 벗어나면 이동성 문제가 발생할 수 있다. 일반적으로 슬립이 증가하거나 앞·뒤 차축의 하중이 증가하면 산물형 트레일러의 용량도 증가하는 것을 알 수 있다.

지역 별로 살펴보면 안동 일부지역 그리고 간척지인 남양만 지역과 같이 아주 연약한 지역에서는 트레일러의 용량이 1,000kg 전·후 이거나 음의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 즉 이 지역에서는 트랙터 자체가 움직일 수 없는 경우가 발생하여 다른 지역에 비해 수확된 산물을 실은 트레일러의 사용이 불가능할 수도 있다고 판단된다. 그러나 이것은 50마력급 트랙터의 대부분이 이 지역에서 주행성 문제로 사용이 꼭 불가능 할 것이라는 것을 의미하지는 않는다. 물론 좀 더 검토해 보아야 하겠지만 약간의 주행성 문제가 야기될 수 있거나 다른 지역에 비해 좀더 많은 침하가 수반될 수 있다고 판단된다. 우리나라 논토양의 경반은 일반적으로 10cm에서 15cm 사이에 존재한다. 따라서 본 연구에서는 원추지수 값을 0에서 15cm 사이의 평균값을 사용하였다. 그러나 본 토양 자료는 수도포장 내에서만 측정된 값으로 도로 보다는 연약한 지역이다. 트레일러는 일반적으로 농로에서 많이 운용되고, 농로의 토양 경도가 논토양의 단단한 지역과 비슷한 수준으로 보면, 트레일러의 용량은 최소한 5,000kg 이상이라고 판단된다. 그러나 트

레일러의 용량이 4,000kg 이상이라고 하였을 때 경반이 깊거나 연약한 논에 직접 들어가서 운반작업을 수행하면 주행성 문제가 발생할 수도 있다고 사료된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 농촌지역에 많이 보급되어 있는 50마력급 트랙터의 견인 및 주행성능을 우리나라의 주요 수도 포장을 대상으로 컴퓨터 모의 실험을 통해 예측하여 최근 이용이 증대되고 있는 산물형 트레일러의 적정 용량을 구하기 위해 수행되었다. 모의 실험은 트레일러의 용량에 영향을 미치는 토양인자와 차량인자를 포함하는 수학적 모델을 이용하였다. 토양의 물리적 특성은 우리나라 수도재배의 대표적인 지역중의 일부라고 볼 수 있는 이리, 남양간척지, 아산만지역, 평택, 밀양, 상주, 김해, 김포, 안동, 강화지역에서 4곳의 서로 다른 면 단위 지역을 선택하여 측정하였다

36개 조사지역의 토성은 미사질양토(SiL)지역이 25곳으로 제일 많았으며 미사질식양토(SiCL), 사질양토(SL), 양토(L)가 한 두 곳으로 조사지역의 대부분의 토양은 양토 계통이었다. 이들 지역에서 경운정지 시기의 토양수분 함량은 주로 30~40%의 범위에었으며, 드물게 20% 범위의 지역과 50%가 넘는 지역이 한 두 곳 있었다. 결보기밀도는 대부분 1500~1700 kg/m³의 범위에었다. 원추지수는 1 kg/cm³부터 18 kg/cm³까지 넓은 범위에 걸쳐 나타났다.

논토양의 토양물리성을 고려한 산물형 트레일러의 용량은 슬립에 따라 차이는 있으나, 아주 연약한 지역을 제외하고는 대부분의 지역에서 3,000kg 이상이었으며, 대부분 4,000~6,000kg의 범위에 있었다. 그러나 안동 일부지역과 남양만 지역과 같이 아주 연약한 지역에서는 트레일러의 용량이 1,000kg 전·후 이거나 음의 값을 갖는 경우도 있어 이 지역에서의 트레일러의 용량은 다른 지역에 비해 적게 설계하거나 산물형 트레일러의 사용에 문제가 있을 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김학주. 1997. 벼 수확후의 운반처리체계에 관한 연구. 성균관대학교 석사학위논문.
2. 김학주, 이규승. 1999. 벼 수확 후 운반처리 체계에 관한 연구. 한국농업기계학회지 24(5):399-406.
3. Freitag, D. R. 1965. A dimensional analysis of the performance of pneumatic tires on soft soils. Tech. Rep. No. 3-688. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
4. Liljedahl, J. B., W. M. Carleton, P. K. Turnquist and D. W. Smith. 1979. Tractors and Their Power Units, John and Wiley & Sons.
5. Upadhyaya, S. K., D. Wulfshon and W. J. Chancellor. 1988. Traction characteristics of radial ply and bias Ply tyres in a California Soil. Journal of Terramechanics, 25(2):111-134.
6. Wismer, R. D. and H. J. Luth. 1973. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. Journal of Terramechanics 10(2):49-61.
7. Wong, J. Y. 1984. Terramechanics and off-road vehicles. Elsevier Publishers. p.185-211.