

타이어공기압에 따른 트랙터의 견인성능과 토양다짐

The Effect of Tire Inflation Pressure on Soil Compaction and Tractive Performance of Tractor

박원엽 이규승
정회원 정회원
W. Y. Park K. S. Lee

ABSTRACT

This study was carried out to investigate experimentally the effect of the tire inflation pressure of a tractor on soil compaction and tractive performance. Two kinds of field experiments were conducted using an agricultural tractor. One experiment is concerned with the tractive performance of the tractor at the three levels of tire inflation pressure; 50kPa, 100kPa and 200kPa, and the other one is about the soil compaction at the four levels of tire inflation pressure; 50kPa, 100kPa, 150kPa and 200kPa, at three different numbers of passes; 1, 3 and 5 passes.

From the results of the field experiment, it was found that decreasing the tire inflation pressure decreased the motion resistance of tractor and increased the tractive force and tractive efficiency. The tractive and working performance of the tractor could be improved by the reduction of tire inflation pressure.

Increasing the inflation pressure and the number of passes increased the soil compaction. Rate of compaction increased rapidly at the first pass and declined at subsequent passes.

To reduce the effect of soil compaction for the whole field, it is recommended that tractor should follow the rut of the first pass from the subsequent passes, and decrease the inflation pressure of the driving tires up to allowable minimum level.

Keywords : Soil compaction, Tractive performance, Inflation pressure, Number of passes.

1. 서 론

최근 우리나라의 농업은 노동부하의 감소와 작업시간 단축, 작업의 편리함 등을 추구하는 농민들의 요구에 따라 농업기계의 대형화 특히, 트랙터의 대형화가 급속히 이루어지고 있다. 그러나 트랙터의 대형화는 많은 장점을 가지고 있지만 대

형화된 트랙터를 효율적으로 사용하기 위해서는 우선적으로 해결해야 할 여러 가지 문제점이 있다. 대표적인 문제점으로는 연약지에서의 기동성 또는 작업성능의 문제와 전작 및 목장지역에서의 토양다짐 현상이다.

토양다짐은 토양저항력을 증가시켜 뿌리성장을 방해하여 작물의 수확량을 감소시키며(Gill, 1967).

This work was supported by Korea Research Foundation Grant(KRF-2001-005-G00001). The article was submitted for publication in August 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in October 2002. The authors are Won Yeop Park, Research 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>.

최대 30~50%까지 곡물의 수확량을 감소시킨다고 보고되고 있다(Raghavan, 1979). 이러한 토양다짐은 타이어의 동하중과 공기압이 주 요인으로서 타이어의 동하중과 공기압이 증가할수록 토양변형과 밀도의 증가량이 크게 나타난다(Bailey, 1996). Arvidsson(1996) 등은 레이디얼 타이어(radial ply tire)와 바이어스 플라이 타이어(bias ply tire)를 이용한 토양다짐과 응력에 관한 연구로부터 타이어의 공기압뿐만 아니라 타이어의 타입과 형태도 토양다짐과 응력에 영향을 미친다고 보고하였다. 여기서 그는 바이어스 플라이 타이어는 레이디얼 타이어 보다 더욱 단단한 카커스(carass)를 갖고 있기 때문에 동일한 공기압과 하중 조건에 대해서도 레이디얼 타이어보다 더욱 높은 응력을 갖는다고 보고하였다. Park 등(2001, 2002b)은 타이어의 동하중, 공기압 및 통과횟수가 토양속 응력분포 및 토양다짐에 미치는 효과에 관한 연구에서 타이어공기압의 조절을 통해 토양다짐을 줄일 수 있는 것으로 보고하였다.

한편, 기동성문제는 작업자체를 불가능하게 하거나 작업성능을 현저히 감소시키게 되는데 이것은 타이어공기압에 크게 영향을 받는다.

Park 등(2002a)은 인공토조에서 단일 타이어 구동시험을 통해 공기압의 감소는 타이어의 침하량 및 운동저항은 감소시키고, 견인력과 견인효율은 증가시켜 타이어공기압의 감소를 통해 견인성능을 향상시킬 수 있다고 보고하였다. 또한, Burt(1982) 등은 차륜의 하중과 공기압 등의 적절한 조작을 통해 차량의 연료소비율은 감소시키고 견인효율을 증가시킬 수 있으며, 이로부터 하중과 토양조건에 따라 타이어의 공기압을 자동적으로 조절해 주는 타이어공기압 자동조절시스템(Automatic Central Tire Inflation Pressure System;CTI)의 개발이 필요하다고 보고하였다.

따라서 트랙터의 대형화에 따른 토양다짐과 기동성 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 지면의 상태에 따라 타이어의 공기압을 조절하여 연락지에서 기동성과 작업성능을 향상시키고 토양다짐을 감소시킬 수 있는 최첨단 기술인 CTI 시스템을 트랙터에 적용하는 기술이 필요하다. 그러나 국내의 농용트랙터에 CTI 시스템을 도입하기 위해서는 먼저 트랙터가 운용되고 있는 토양조건에서 타이어의 공기압이 트랙터의 성능과 토양다짐

에 미치는 효과를 구명하는 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 농용트랙터에 CTI 시스템을 적용하기 위한 기초 연구로서 타이어의 공기압이 트랙터의 견인성능과 토양다짐에 미치는 효과를 실험적으로 조사하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 견인성능 실험

(1) 실험토양

견인성능 실험은 성균관대학교 교내에 위치한 논토양에서 실시하였다. 실험토양의 물리적 특성은 견인성능 실험을 수행하기 전에 측정되었으며, 측정 변수로는 토양의 원추지수, 결보기밀도, 함수율 등이다. 결보기밀도는 실험토양내의 임의의 5곳에서 100cc 용량의 토양채취관을 이용하여 토양샘플을 채취하여 구하였고, 함수율은 토양채취관에 의해 수집된 토양샘플을 오븐 건조법에 의해 구하였다. 또한, 토양의 원추지수는 SR-2 모델의 토양경도측정장치를 이용하여 실험토양내의 임의의 5곳을 선정하여 측정하였다. 표 1에 실험토양의 물리적 특성을 나타내었다.

Table 1 Soil properties of experimental soil

Cone Index (kPa)	Bulk Density (kg/m ³)	Moisture Content (d.b. %)	Soil Texture
352.6	1375	24.53	SL

(2) 견인성능 실험 장치

견인성능 실험장치는 타이어공기압에 따른 트랙터의 견인성능을 평가하기 위한 시험트랙터(test tractor)와 시험트랙터에 수평 견인부하를 가해주기 위한 하중트랙터(load tractor)로 구성되었다. 시험트랙터는 본 연구의 실험 목적에 적합하도록 슬립 등을 측정할 수 있는 장치를 구성하였고, 하중트랙터에는 견인성능 실험시 센서로부터 측정되는 신호를 수집하기 위한 자료수집장치를 구성하였다. 견인성능 실험에 사용된 시험트랙터와 하중트랙터는 각각 (주)LG기계의 45마력 트랙터(LT 470D)

와 대동(주)의 22마력 트랙터(L2203)를 이용하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 견인성능 실험에 사용된 시험트랙터와 하중트랙터를 보여주고 있고, 표 2에 각각의 제원을 나타내었다.



Fig. 1 View of test tractor.



Fig. 2 View of load tractor.

Table 2 Specifications of test and load tractor

Item	Specifications	
	LT470D	L2203
Model	LT470D	L2203
Front Tire Size (mm)	9.5-20-6PR	7-14-4PR
Rear Tire size (mm)	13.6-28-6PR	11.2-24-4PR
Max. Engine Power (PS/rpm)	45/2600	22/2600
Vehicle Weight (kN)	23.64	11.77

한편, 견인성능 실험시 슬립을 측정하기 위해 시험트랙터의 이론 주행거리와 실제 주행거리를 측정할 수 있는 장치를 구성하였다.

이론 주행거리 측정을 위하여 시험트랙터의 구동축에 로타리엔코더를 설치하였고, 구동축과 로타리엔코더와의 회전편심에 의한 손상을 방지하기 위해 구동축을 가공한 후 연성커플링(flexible coupling)을 통해 연결하였다. 로타리엔코더는 구동축이 1회전할 때마다 1,024개의 펄스를 출력하는 일본 NEMICON사의 OEW-1024-2M을 사용하였다. 한편, 실제 주행거리를 측정하기 위하여 로타리엔코더가 부착된 5륜을 제작하여 시험트랙터의 후부에 장착하였다.

견인력 측정은 시험트랙터의 후부와 하중트랙터의 전부에 강선을 연결한 후 그 사이에 CAS(주)에서 제작한 2ton 용량의 하중변환기(SBA-2T)를 부착하여 하중변환기에 나타나는 인장력으로부터 측정하였다.

(3) 실험방법

타이어의 공기압이 트랙터의 견인성능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시험트랙터의 타이어공기압을 각각 50kPa, 100kPa, 200kPa의 3수준으로 조정하여 견인력 실험을 수행하였다. 견인성능실험시 측정된 성능변수로는 트랙터의 견인력, 운동저항, 슬립 등이며 모든 변수들은 측정자료의 신뢰성을 높이기 위해 4회 반복 측정하였다.

(가) 운동저항 측정

운동저항은 시험트랙터의 전면 견인고리와 하중트랙터의 후면 견인고리에 각각 강선을 연결하고 그 사이에 하중변환기를 부착한 후, 시험트랙터의 기어를 중립에 놓은 상태에서 하중트랙터가 시험트랙터를 견인할 때 하중변환기에 나타나는 인장력을 측정함으로써 구하였다.

(나) 견인력 측정

견인력 측정은 시험트랙터의 후면 견인고리와 하중트랙터의 전면 견인고리에 각각 강선을 연결하고 그 사이에 인장력을 측정할 수 있도록 하중변환기를 부착한 후, 시험차량을 구동하여 하중변환기에 나타나는 인장력을 측정하여 구하였다. 한편, 트랙터의 슬립-견인력 관계를 구하기 위하여 견인력 측정은 먼저 하중차량을 중립에 놓은 상태에서 시험차량의 구동력에 의해 하중변환기에 나타난 견인력을 측정하였고, 하중트랙터의 제동력을 단계적으로 변화시켜 가며 시험트랙터의 슬립과 견인력을 측정하여 슬립의 변화에 따른 견인력

관계를 측정하였다.

한편, 시험트랙터의 슬립은 하중트랙터가 시험트랙터를 견인할 때의 조건을 제로슬립 상태(zero condition; ASAE S296.4 DEC95)로 정의하여, 제로슬립 상태를 기준으로 시험트랙터가 하중트랙터를 견인할 때의 이론 주행거리와 실제 주행거리를 측정함으로써 계산하였다.

나. 토양다짐 실험

(1) 실험토양

타이어공기압에 따른 트랙터의 토양다짐 실험은 경기도 수원지역의 밭토양에서 실시하였다. 실험토양의 물리성은 토양다짐 실험을 수행하기 직전에 토양의 겉보기밀도, 수분 함량, 원추지수 등을 측정하였으며 표 3에 실험토양의 물리적 특성을 나타내었다.

Table 3 Physical properties of experimental soil

Cone Index (kPa)	Bulk Density (kg/m ³)	Moisture Content (d.b. %)	Soil Texture
363.28	1390	16.55	L

(2) 실험 트랙터

토양다짐 실험에 사용된 트랙터는 견인성능 실험에 사용된 시험트랙터를 이용하였다.

(3) 실험방법

타이어의 공기압과 트랙터의 통과횟수의 변화에 따른 토양다짐 정도를 측정하기 위해, 타이어의 공기압을 각각 50kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa의 4 수준으로 선정하였고, 타이어의 통과횟수는 트랙터가 통과하기 전 최초 상태(0회)와 1, 3, 5회의 4 수준으로 선정하였다(표 4).

한편, 각각의 실험인자(타이어공기압, 통과횟수)에 대한 토양다짐의 분석은 토양다짐 정도의 척도로서 널리 이용되고 있는 원추관입저항(cone penetration resistance)값을 이용하여 비교, 분석하였다. 원추관입저항은 각각의 타이어공기압과 통과횟수에 대해 트랙터가 통과한 후 SR-2형 토양경도

Table 4 Levels of experimental variables

Variables (unit)	Levels
Inflation pressure (kPa)	50, 100, 150, 200
Number of passes	0, 1, 3, 5

측정장치를 이용하여 타이어 궤적상의 임의의 5곳을 선정 후 0~25cm 깊이까지 5cm 간격으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 타이어공기압에 따른 트랙터의 견인성능

타이어공기압의 변화에 따른 트랙터의 견인성능 평가는 로외차량(off-road vehicle)의 견인성능의 평가를 위해 일반적인 척도로 사용되고 있는 운동저항계수(motion resistance coefficient), 견인계수(drawbar pull coefficient), 견인효율(tractive efficiency) 등을 이용하여 비교, 분석하였다. 한편, 본 연구에서는 견인성능 실험시 구동륜의 토크를 측정하지 않았기 때문에 견인효율은 식 (1)을 이용하여 평가하였다(Liljedahl, 1996).

$$TE = \frac{DP \cdot V_a}{T \cdot \omega} = \frac{DP \cdot V_a}{T \left(\frac{V_t}{r} \right)} = \frac{DP}{H} (1 - S) \quad (1)$$

여기서, T : 토크, ω : 구동륜 각속도,
 W : 차량무게, DP : 견인력,
 H : 추진력, S : 슬립,
 V_a, V_t : 차량의 실제 및 이론 속도

(1) 타이어공기압에 따른 트랙터의 운동저항

그림 3은 타이어의 공기압이 각각 50kPa, 100kPa, 200kPa일 때 측정한 트랙터의 운동저항계수 값을 나타내고 있다.

그림 3에서 세 수준의 타이어공기압에 대한 트랙터의 운동저항계수는 각각 0.154, 0.159, 0.160으로서 공기압에 따른 트랙터의 운동저항계수는 타

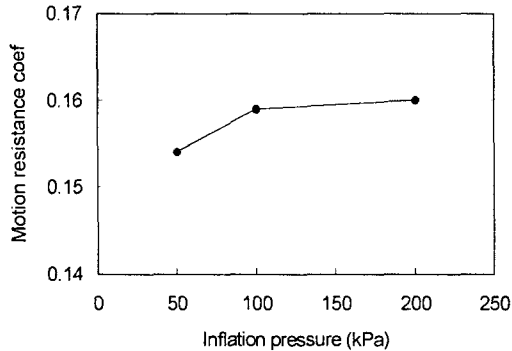


Fig. 3 Motion resistance coefficient of tractor with inflation pressure of tire.

이러한 공기압이 낮을수록 작게 나타났다. 또한 공기압의 변화에 따른 운동저항계수의 변화량은 공기압을 50kPa에서 100kPa로 증가시켰을 때는 운동저항계수의 증가율이 3.25%로 나타났지만, 공기압을 100kPa에서 200kPa로 증가시켰을 경우의 운동저항계수의 증가율은 0.62%로서 공기압의 변화에 따른 운동저항의 변화량은 공기압이 낮은 경우에서 상대적으로 크게 나타났다. 이러한 결과로부터 트랙터의 운동저항은 공기압의 조절을 통해 줄일 수 있으며, 공기압의 감소를 통한 운동저항의 감소 효과는 낮은 공기압 범위에서 그 효과가 클 것으로 판단된다.

(2) 타이어공기압에 따른 트랙터의 견인력

그림 4는 타이어의 공기압이 100kPa일 때 측정된 트랙터의 슬립-견인계수 관계를 보여주고 있다.

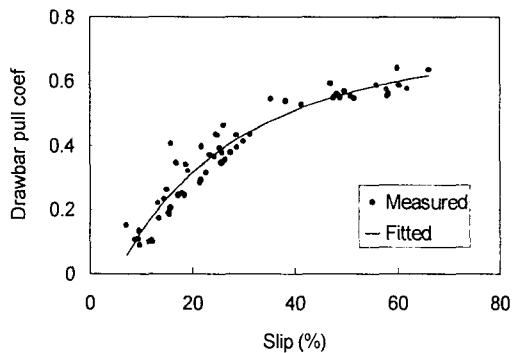


Fig. 4 Relationship between slip and drawbar pull coefficient for tractor with tire inflation pressure of 100kPa.

그림 4에 나타난 바와 같이 측정된 슬립-견인계수 관계는 슬립이 증가함에 따라 견인계수도 증가하고 전체 슬립 구간에서 어떤 일정한 경향을 보이는 것으로 나타났지만, 토양의 불균일 등으로 인해 동일한 슬립에 대해서도 측정치가 넓게 분포되어 공기압의 변화에 따른 트랙터의 슬립-견인계수 관계를 직접적으로 비교하기에는 적당치 못한 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 공기압에 따른 트랙터의 슬립-견인계수 관계를 비교하기 위해 슬립-견인계수의 측정치를 회귀방정식에 의해 모형화하여 비교 분석하였다. 그림 5는 타이어의 공기압이 각각 50kPa, 100kPa, 200kPa일 때의 슬립-견인계수 관계를 보여주고 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 세 가지 공기압 수준에 대한 슬립-견인계수 관계는 전체 슬립구간에 걸쳐 공기압이 작을수록 견인계수가 크게 나타나 트랙터의 견인력은 공기압의 감소를 통해 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

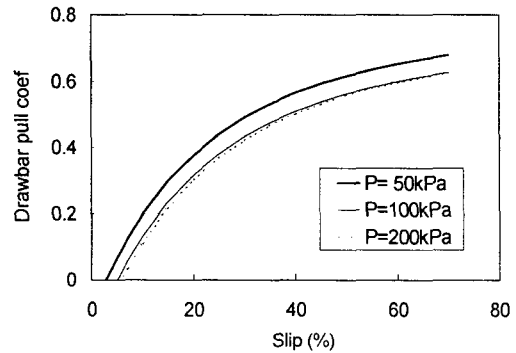


Fig. 5 Slip-drawbar pull coefficient curves for three different inflation pressure of tire.

한편, 50kPa과 100kPa인 두 수준의 공기압에 대해서는 공기압에 따른 견인계수값의 차가 전체 슬립구간에 걸쳐 크게 나타났으나 100kPa과 200kPa일 때를 비교하였을 경우에는 두 공기압 수준에 대해 견인계수값의 차가 매우 작게 나타났다. 이러한 결과로부터 트랙터의 견인력은 타이어의 공기압 감소를 통해 향상시킬 수 있지만 높은 타이어공기압 범위에서는 공기압의 변화에 따른 견인계수의 변화가 크지 않은 것으로 판단된다.

(3) 타이어공기압에 따른 트랙터의 견인효율

그림 6은 50kPa, 100kPa, 200kPa인 세 수준의 타이어공기압에 대해 측정된 트랙터의 슬립-견인효율 관계로서 세 공기압 조건에서의 견인효율의 크기는 전체 슬립 구간에서 모두 50kPa, 100kPa, 200kPa의 순으로서 공기압이 낮을수록 견인효율이 높은 것으로 나타났다.

한편, 각각의 공기압에서의 최대 견인효율은 공기압이 200kPa인 경우에는 52.26%(슬립 25%)이고, 100kPa의 경우에는 53.20%(슬립 20%), 그리고 50kPa의 경우에는 56.84%(슬립 20%)로서 100kPa과 50kPa의 공기압에서의 최대 견인효율은 공기압이 200kPa인 경우에 비해 각각 1.79%, 8.75%의 증가를 나타내었다. 즉, 트랙터의 견인효율은 타이어의 공기압이 낮을수록 크게 나타났고, 공기압이 낮을수록 최대 견인효율도 크게 나타났다. 또한, 같은 효율을 발휘하는데 있어서도 공기압이 낮은 경우가 공기압이 높은 경우에 비해 트랙터의 슬립이 작게 나타났기 때문에 작업 효율면에서도 공기압이 낮은 경우가 공기압이 높은 경우에 비해 우수한 것으로 판단된다.

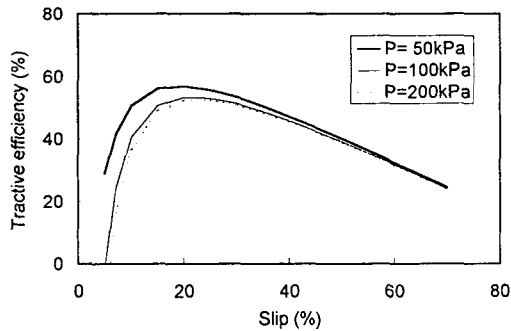


Fig. 6 Slip-tractive efficiency curves with inflation pressure of tire.

나. 타이어공기압에 따른 트랙터의 토양 다짐

그림 7은 각각 트랙터가 통과하지 않은 최초 토양상태(no pass)와 4가지 다른 타이어공기압(50kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa)을 갖는 트랙터를 이용하여 트랙터가 통과(1 pass)한 후에 타이어가 지나간 궤적상에서 SR-2형 토양경도측정기를 이용하여 측

정한 토양깊이에 따른 원추관입저항 값을 보여주고 있다.

그림 7에 나타난 바와 같이 트랙터가 통과하기 전(no pass) 토양속 0~25cm 깊이에서 5cm 간격으로 측정된 원추관입저항값은 각각 328.3kPa, 380kPa, 367kPa, 377.8kPa, 810.1kPa, 1014.8kPa로서 깊이에 따른 원추관입저항은 0~15cm 깊이 구간에서는 거의 변화가 없었고, 15~25cm 범위에서는 깊이가 증가함에 따라 크게 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 4 수준의 타이어공기압 조건에 대해 트랙터가 통과한 후에 측정된 원추관입저항의 변화를 살펴 보면, 타이어의 공기압이 50kPa인 경우에는 0~25cm 깊이에서의 원추관입저항값이 각각 1032.9kPa, 915.3kPa, 868.3kPa, 925.1kPa, 1377.9kPa, 1374kPa로서 토양깊이에 따른 원추관입저항은 트랙터가 통과하지 않은 최초 상태에 비해 모든 토양 깊이에서 크게 증가하였다.

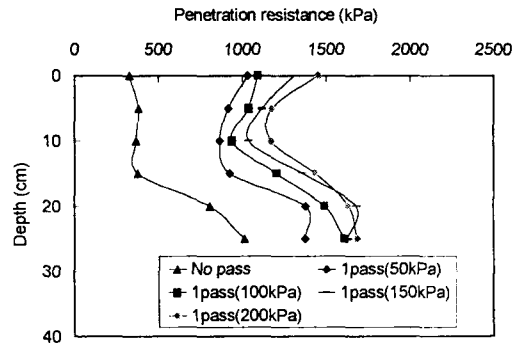


Fig. 7 Variations in cone penetration resistance with soil depth after one passage of tractor under four different tire inflation pressures.

또한 트랙터의 타이어공기압을 각각 100kPa, 150kPa, 200kPa로 변화시킨 후 측정된 토양 깊이에 따른 원추관입저항값은 타이어의 공기압이 50kPa인 경우에 비해 모든 토양 깊이에서 원추관입저항이 증가하였고, 각각의 공기압에서 측정된 원추관입저항값의 크기는 모든 토양 깊이에서 200kPa, 150kPa, 100kPa, 50kPa의 순으로서 타이어의 공기압이 높을수록 원추관입저항값이 크게 나타났다. 또한 토양 깊이에 따른 원추관입저항값의 증

가량은 4 수준의 공기압 조건에 대해 모두 0-15cm의 토양깊이내에서 크게 나타났고, 15cm 이상의 토양깊이에서는 트랙터의 통과에 따른 원추관입저항값의 증가량이 상대적으로 작게 나타났다. 위의 결과로부터 공기압의 증가는 토양다짐을 증가시키는 것으로 나타났고, 깊이에 따른 토양다짐 현상은 토양표면에서 가장 크고 토양속으로 들어갈수록 작아지는 것으로 나타났다.

한편, 그림 8과 그림 9는 트랙터의 통과횟수를 각각 3회 및 5회로 증가시킨 상태에서 타이어공기압의 변화에 따라 측정된 토양 깊이에 따른 원추관입저항값의 결과로서 트랙터의 통과횟수를 증가시켰을 경우에도 모든 공기압 조건에서 1회 통과

의 경우와 마찬가지로 공기압이 증가함에 따라 원추관입저항이 증가하였고, 깊이에 따른 원추관입저항의 효과는 토양표면에서 가장 크고 토양속으로 들어갈수록 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 1회 통과에 비해서는 상대적으로 원추관입저항값이 크게 증가하는 것으로 나타났다.

그림 10의 (a)~(d)는 타이어의 공기압이 각각 50kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa인 조건에서 트랙터의 통과횟수가 각각 0, 1, 3, 5회 일 때 측정된 토양깊이별 원추관입저항값을 나타내고 있다.

타이어의 공기압이 50kPa인 그림 10의 (a)에서 트랙터의 통과횟수가 각각 0, 1, 3, 5회 일 때 측정된 토양깊이별 원추관입저항은 0cm 깊이의 경우에는 각각 328.3kPa, 1032.9kPa, 1457.3kPa, 1521.5kPa, 5cm 깊이의 경우에는 각각 380.0kPa, 915.3kPa, 1299.8kPa, 1359.8kPa, 10cm 깊이의 경우에는 각각 367.0kPa, 868.3kPa, 1108.9kPa, 1276.5kPa, 15cm 깊이의 경우에는 각각 377.8kPa, 925.1kPa, 1294.3kPa, 1506.8kPa, 20cm 깊이의 경우에는 각각 810.1kPa, 1377.9kPa, 1526.3kPa, 1686.8kPa, 그리고 25cm 깊이의 경우에는 각각 1014.8kPa, 1374.0kPa, 1388.7kPa, 1509.2kPa로서 통과횟수가 증가할수록 모든 토양깊이에서의 원추관입저항은 증가하였고, 통과횟수의 증가에 따른 토양깊이별 원추관입저항의 증가량은 토양표면에서 가장 크고 토양속으로 들어갈수록 감소하였다. 또한 통과횟수의 증가에 따른 원추관입저항의 증가경향은 최초 1회 통과시에 가장 크게 증가하였고 그 후 통과횟수가 증가함에 따라 통과횟수의 증가에 따른 원추관입저항의 증가경향은 상대적으로 감소하였다.

한편, 타이어의 공기압을 100kPa, 150kPa, 200kPa로 증가시킨 후 측정된 그림 10의 (b), (c), (d)의 결과도 공기압이 50kPa일 때 측정된 (a)의 결과와 거의 동일한 결과를 나타냈다. 그러나 통과횟수의 증가에 따른 원추관입저항값의 절대적인 증가량은 200kPa, 150kPa, 100kPa, 50kPa의 순으로 공기압이 높은 경우가 공기압이 작은 경우에 비해 통과횟수의 증가에 따른 원추관입저항의 증가량이 크게 나타났다.

그림 11은 통과횟수가 각각 0, 1, 3, 5회 일 때 공기압의 변화(50kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa)에 따른 원추지수(Cone Index; CI)의 관계를 보여 주고

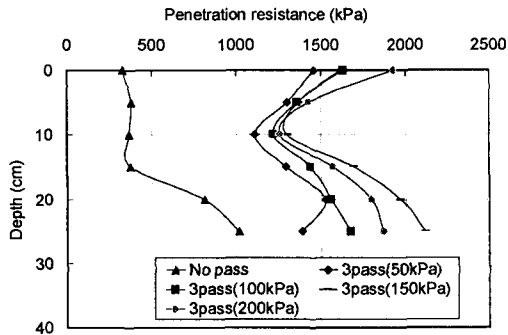


Fig. 8 Variations in cone penetration resistance with soil depth after three passage of tractor under four different tire inflation pressures.

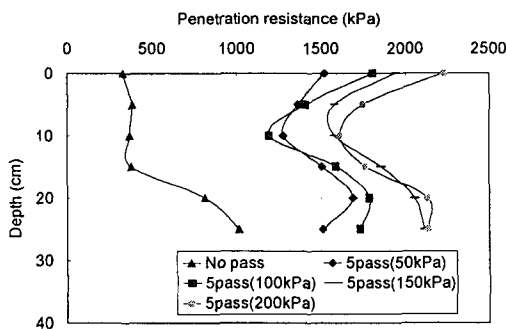


Fig. 9 Variations in cone penetration resistance with soil depth after five passage of tractor under four different tire inflation pressures.

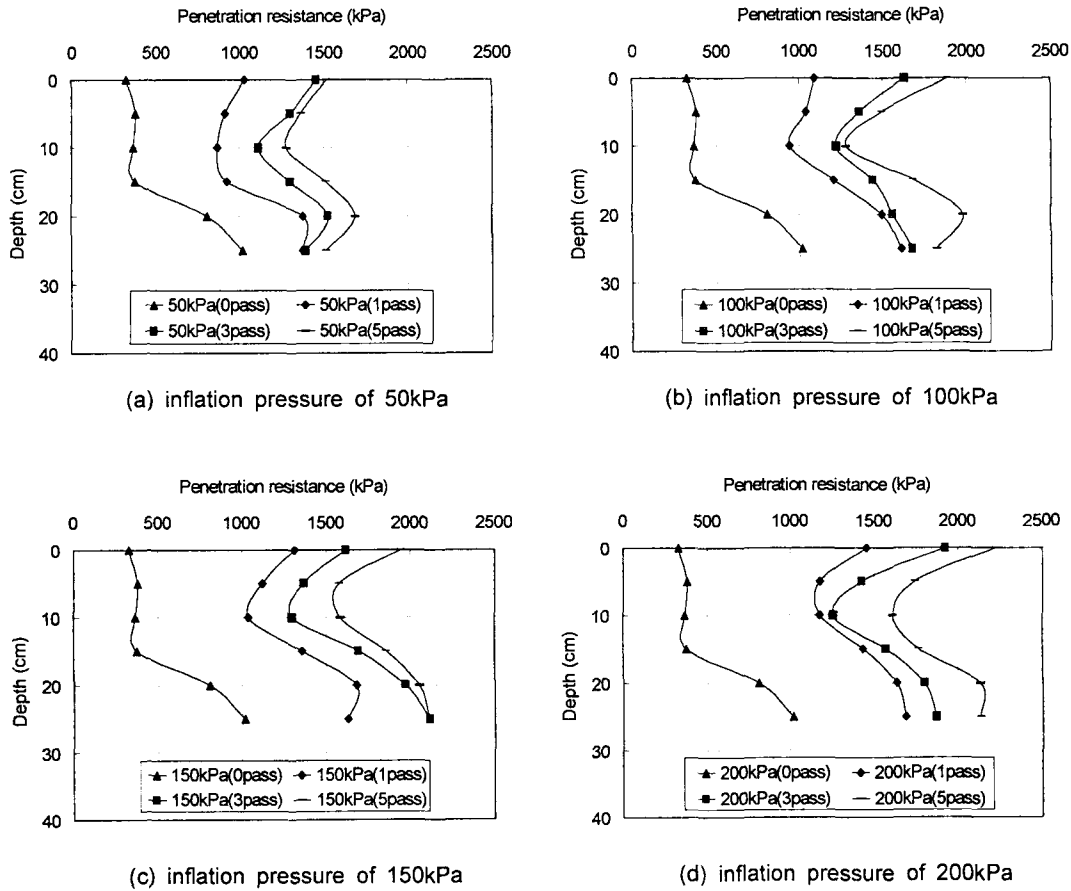


Fig. 10 Variations in cone penetration resistance with soil depth at four different number of passes for tractor with tire inflation pressure of 50kPa, 100kPa, 150kPa and 200kPa.

있다. 여기서 원추지수는 0~15cm 깊이에서 측정된 원추관입저항값의 평균값으로 취하였다.

그림 11의 결과에서 볼 수 있듯이, 모든 통과횟수(1, 3, 5)에서 타이어공기압의 증가는 원추지수를 증가시키는 것으로 나타났고, 공기압의 증가에 따른 원추지수의 증가 경향은 3 가지 통과횟수(1, 3, 5회)에 대해 약간 다른 경향을 보이고는 있지만 전체적인 경향은 타이어의 공기압이 증가함에 따라 원추지수값이 지수곡선 형태로 증가하는 경향을 나타내었다. 또한, 각각의 통과횟수에서 원추지수의 크기는 모든 공기압에 대해 통과횟수가 많을수록 원추지수가 크게 나타났다.

그림 12는 50kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa인 4

수준의 타이어공기압 조건에서 통과횟수의 변화(0, 1, 3, 5)에 따른 원추지수값의 관계를 보여주고 있다. 그림 12의 결과는 통과횟수의 증가는 모든 공기압에 대해서 원추지수값을 증가시키는 것으로 나타났고, 통과횟수의 증가에 따른 원추지수값의 증가경향은 4 수준의 공기압에 대해 모두 초기 1회 통과시에 원추지수값의 증가량이 가장 크고, 그 후 통과횟수가 증가함에 따라 원추지수값의 증가량이 감소하는 지수곡선 형태의 증가 경향을 나타내었다. 한편, 공기압 수준별 원추지수값의 크기는 모든 통과횟수에 대해 타이어의 공기압이 높을수록 원추지수값이 크게 나타났다.

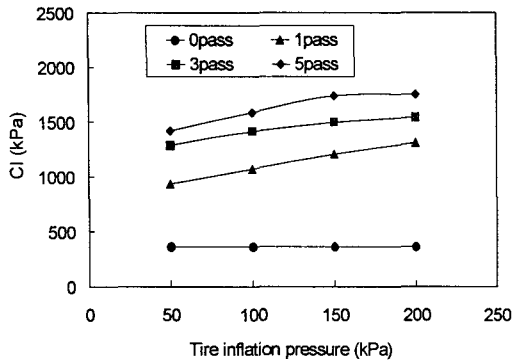


Fig. 11 Variations in CI with inflation pressure of tire for four different number of passes.

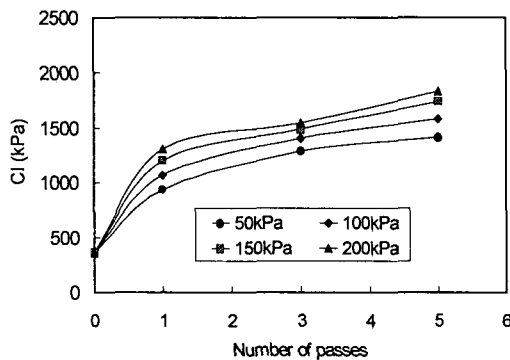


Fig. 12 Variations in CI with the number of passes of tractor for inflation pressures of 50kPa, 100kPa, 150 kPa and 200kPa.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 타이어의 공기압이 농용트랙터의 견인성능과 토양다짐에 미치는 효과를 실험적으로 조사하였으며, 본 실험이 수행된 범위 내에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 타이어공기압에 따른 트랙터의 견인성능 실험 결과, 공기압의 감소는 트랙터의 운동저항은 감소시키고, 견인력과 견인효율은 증대시키는 것으로 나타났다. 따라서 연약지에서 운용되는 트랙터는 공기압의 조절을 통해(최소 허용 공기압까지

타이어공기압의 감소를 통해) 견인성능과 작업성능을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

2) 트랙터의 타이어공기압과 통과횟수의 증가는 모두 토양다짐을 증가시키는 것으로 나타났다. 또한 통과횟수의 증가에 따른 토양다짐의 증가효과는 최초 1회 통과시에 가장 크게 나타났고, 통과횟수가 증가함에 따라 통과횟수에 따른 토양다짐의 증가효과는 감소하였다. 따라서 타이어의 공기압을 최소 허용 공기압 수준까지 감소시킬 경우 토양다짐을 최소화할 수 있을 것으로 판단되고, 또한 트랙터가 통과한 궤적상을 연속해서 통과할 수 있도록 작업 계획을 세우면 전체 경작 면적에 대한 토양다짐을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

3) 위의 결과로부터 트랙터의 작업성능의 향상과 토양다짐의 최소화는 타이어공기압의 조절을 통해 어느 정도 이룰 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 이러한 목적을 달성하기 위해서는 운전석에 설치된 제어판을 통해 지면의 상태에 따라 타이어의 공기압을 운전자가 쉽게 조절할 수 있는 최첨단 기술인 CTI시스템을 농용트랙터에 적용하는 연구가 필요한 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. Arvidsson, J. and S. Ristic. 1996. Soil Stresses and Compaction Effects for Four Tractor Tyres, *Journal of Terramechanics* 33(5):223-232.
2. Bailey, A. C., R. L. Raper, T. R. Way, E. C. Burt and C. E. Johnson. 1996. Soil Stresses Under A Tractor tire at Various Load and Inflation Pressures, *Journal of Terramechanics* 33(1):1-11.
3. Burt, E. S., P. W. L. Lyne, P. Meiring and J. F. Keen. 1982. Ballast and Inflation Effect on Tire Efficiency. *Transaction of the ASAE* 25(4):1352-1354.
4. Gill, W. R. and G. E. Vanden Berg. 1967. *Soil Dynamics in Tillage and traction. Handbook* 316. Agr. Res. Service, U. S. Dept. Agriculture, Washington. D. C.
5. Liljedahl, J. B., P. K. Turnquist, D. W. Smith and H. Makoto. 1996. *Tractors and Their Power*

- Units. ASAE.
6. Park, W. Y. and K. S. Lee. 2001. A Study on Soil Stress and Contact Pressure of Tire. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 26(3):245-252.
 7. Park, W. Y. and K. S. Lee. 2002a. Effect of Slip on Tractive Performance of Driving Wheel. Transactions of Korea Society of Automotive Engineering 10(1):234-243.
 8. Park, W. Y. and K. S. Lee. 2002b. The Effect of Dynamic Load, Inflation Pressure and Number of Passes of Tire on Soil Compaction under the Tire. Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery 27(1):1-10.
 9. Raghavan, G. S., V. E. McKyes, F. Taylor, P. Richard and A. Watson. 1979. The Relationship between Machinery Traffic and Corn Yield Reductions in Successive years. Transaction of the ASAE 22(4):1256-1259.