

공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에 미치는 영향

Effects of Inflation Pressure on Tractive Performance of Bias-Ply Tires

이 동 렬* 정 병 학** 김 경 육**
 정회원

D. R. Lee B. H. Chong K. U. Kim

1. 서론

일반적으로 트랙터의 견인 성능을 향상시키는 방법에는 타이어의 공기압 또는 부가 하중을 적절하게 조정하는 방법과 4륜 구동을 이용하는 방법이 있다.

콘크리트와 같은 단단한 지면에서는 타이어의 공기압이 증가될수록 주행 성능이 향상되는 경향이 있으며, 사질토와 같은 연약한 지면에서는 공기압이 증가될수록 주행 성능이 감소되는 경향이 있다. 또한, 타이어 공기압이 높을 때는 토양 다짐이 증가되어 농작물의 생산량이 감소되는 현상이 나타난다. 따라서, 트랙터에 의한 토양 다짐을 감소시키고 견인 성능을 높이기 위해서는 작업 조건에 따라 타이어 공기압을 적절히 조절하여야 한다.

트랙터 타이어에는 바이어스 플라이 타이어와 레이디얼 플라이 타이어가 있다. 미국, 유럽 등 선진국에서는 동력 손실이 적고, 수명이 길다는 잇점 때문에 레이디얼 플라이 타이어가 널리 사용되고 있으나, 가격이 비싼 단점이 있다. 그러나 우리 나라에서는 아직 바이어스 플라이 타이어가 주류를 이루고 있다. 최근 레이디얼 타이어의 공기압이 견인 성능에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 수행되어 왔으나, 바이어스 플라이 타이어에 대한 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다. 일반적으로, 레이디얼 타이어의 공기압은 최저 40kPa 정도의 저압을 유지하도록 권장되고 있다. 그러나 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에 대한 공기압의 영향은 아직 명확히 아직 구명되어 있지 않은 실정이다.

2. 연구 목적

본 연구의 목적은 공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에 미치는 영향을 실험적으로 구명하기 위한 것이다. 즉, 일정한 토양 조건에서 공기압이 변화될 때 견인 성능의 변수로서 견인 계수와 견인 효율의 변화를 실험적으로 구명하고자 하였다.

3. 견인 성능 시험

3.1 시험 조건

트랙터의 견인 성능을 결정하기 위하여 그림 1에서와 같이 토크 변환기, 로터리 엔코더,

* 대우자동차

** 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

스피드 센서, 견인력 측정용 로드셀 등을 설치하고, 견인 계수와 견인 효율을 구하기 위한 구동륜 하중, 견인력, 구동축 토크, 작업 속도 등을 측정하였다

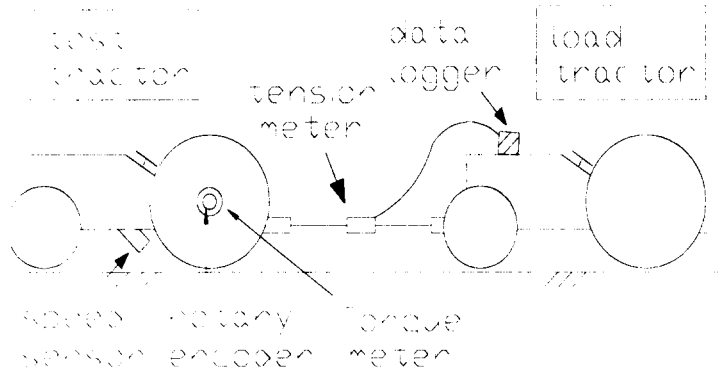


Fig 1. Conceptual diagram of tractive performance test

시험 트랙터에 견인력을 가하기 위하여 두 대의 트랙터를 직렬로 연결한 후 후방의 트랙터를 부하 트랙터로 사용하였다. 부하의 크기는 부하 트랙터의 브레이크로써 조정하였다. 바이어스 플라이 타이어는 시험 트랙터에 장착하였다. 토양 조건은 (1) 로터리 경운 밭토양, (2) 벼 수확 후의 논토양 I, (3) 벼 수확후의 논토양 II, (4) 콘크리트 노면, 4가지로 하였다. 토양의 종류는 미농무성법(USDA)에 따라 분류하였으며, 콘 지수는 저면의 면적이 645mm²이고, 정각이 30°인 원추 관입기를 이용하여 지면에서와 지면으로부터 5cm, 15cm되는 지점에서 콘 지수를 측정하였다. 토양의 함수율은 지면에서 5cm와 20cm되는 지점에서 측정하였다. 표 1은 각 토양 조건의 토성, 콘지수, 토양 함수비를 나타낸 것이다.

Table 1. Soil conditions of test sites

Test site	Surface type	Soil type	Mean cone index at depth of, kg/cm ²			Mean moisture content at depth of, %	
			0 cm	5 cm	15 cm	5 cm	20 cm
Site 1	Rotary cultivated	sandy loam	0.2	1	7.7	23.9	27.6
Site 2	Paddy field I with stubble	sandy loam	5.1	6.5	7.7	31.3	20.1
Site 3	Paddy field II with stubble	loamy sand	4.2	6.6	9.0	-	-
Site 4	Concrete	-	-	-	-	-	-

3.2 시험 방법

측정 시험에는 3사람이 참가하여, 두 사람은 각각 시험 트랙터와 부하 트랙터를 운전하고, 한 사람은 자료 수집을 담당하였다. 구체적인 시험 절차는 다음과 같이 수행하였다.

1. 먼저 각 토양 조건에서 원추 관입기를 이용하여 여섯 지점에서 콘 지수를 측정한 후, 함수비를 결정하기 위하여 토양 시료를 채취한다.
2. 정해진 공기압을 설정하고, 변속 기어를 조작하여 트랙터를 출발시킬 준비를 완료한 후, 모든 센서의 신호를 점검한다. 견인 하중을 가하지 않은 상태에서 시험 트랙터를 일정한 속도로 운전하여 주행 속도 센서의 신호를 기록한다.
3. 시험 트랙터의 기관 속도를 2000rpm으로 유지한 상태에서, 견인 하중을 가하여 시험 트랙터를 약 10초간 직진으로 운전한다. 이 때 견인력, 주행 속도, 구동축 토크, 구동축 속도를 측정 기록한다.
4. 부하 트랙터의 브레이크를 4 내지 5 단계로 작동시켜 시험 트랙터의 슬립이 100%될 때까지 견인 부하를 증가시켜 3에서와 같은 과정으로 데이터를 측정 기록한다..
5. 주행 속도를 증가시킨 후 2, 3, 4의 과정을 반복한다.
6. 타이어 공기압을 증가시킨 후 2, 3, 4, 5의 과정을 반복한다.

각 토양 조건에서 타이어의 공기압과 트랙터의 주행 속도는 Table 2에서와 같이 변화시켰으며, 견인 성능 시험에 사용된 시험 트랙터와 타이어의 제원은 Table 3에서와 같다.

Table 2. Inflation pressures and travel speed varied for tests

Test site	Inflation pressure, kPa	Travel speed, km/h
Rotary cultivated	70, 100, 130, 160	3, 4, 5.5
Paddy field I with stubble	40, 70, 100, 130, 160	3, 4, 5.5
Paddy field II with stubble	50, 100, 150, 200, 250	3, 4, 5.5
Concrete	40, 100, 130, 160	3, 4, 5.5

Table 3. Specifications of tested tractor and bias-ply tire

시험 트랙터		타이어	
Model	TA4140	Model	Field master
Power	41PS	Size	13.6-28 6PR
Wheel base	1920mm	Lug type	R2
Weight Ratio	718/1027kg	Lug height	45mm

4. 결과 및 고찰

4.1 타이어의 동반경

시험 트랙터의 동반경은 견인 부하가 없을 때 단단한 콘크리트 노면에서 측정하였으며, 타이어가 완전히 3바퀴 회전하였을 때 주행한 직선 거리를 6π 로 나누어 결정하였다.

공기압이 100kPa까지는 50kPa 감소함에 따라 동반경은 0.51-0.54% 정도 비례적으로 감소하였으나 100kPa 이하에서는 0.98, 1.88% 등으로 급격하게 감소하였다.

4.2 접지 면적

타이어의 접지 면적도 단단한 콘크리트 노면에서 측정한 접지면의 길이와 폭을 이용하여 계산하였다. 접지면의 길이를 L , 폭을 b 라고 하면 접지 면적 A 는 $A=0.78bL$ 로 계산하였다. Table 4는 타이어 공기압에 대한 접지 면적의 변화를 나타낸 것이다.

Table 4. Increase in footprint area of tires by the reduction of inflation pressures

Inflation pressure, kPa	L, mm	b, mm	A, cm ²	Increment, %
200	268	250	522.6	0
150	275	254	544.8	4.3
100	279	276	600.6	14.9
50	283	305	673.3	28.8

4.3 견인 성능

각 토양 조건에서 측정한 데이터는 어떤 일정한 경향을 나타내었으나, 이 들을 직접 비교하여 차이를 구명하기에는 어려움이 많았다. 따라서 비교의 편의를 위하여 측정 결과를 Wismer and Luth (1974) 식에 적용하여 슬립의 함수로서 견인 계수와 견인 효율에 대한 실험식을 유도하였다. 실험식은 SAS 프로그램을 이용하여 비선형 회귀식으로 유도하였다. 즉, 견인 계수와 견인 효율을 각각 식 (4), (5)와 같이 모형화하고 상수 A, B, C, D, E를 회귀 곡선과 일치하도록 결정하였다.

$$\frac{P}{W} = A(1 - e^{B \cdot S}) + C \quad (4)$$

$$TE = (1 - S) \left[1 - \frac{D}{1 - e^{E \cdot S}} \right] \quad (5)$$

여기서 P = 견인력
W = 동하중
TE = 견인 효율(%)
S = 슬립(소수)

4.3.1 로터리 경운 토양

3km/h의 저속에서 공기압을 160kPa에서 70kPa까지 30kPa씩 감소시켰을 때, 견인 계수에는 큰 변화가 없었으나 견인 효율은 10% 슬립에서 최고 4%까지 증가하였다. 속도를 4km/h와 5.5km/h로 증가시켰을 경우에도 공기압의 영향은 저속에서와 같은 경향을 나타내었다. 즉, 로터리 경운 토양에서와 같이 느슨한 상태의 토양에서는 속도에 관계없이 공기압이 견인 성능에 미치는 영향은 크지 않는 것으로 판단된다. Fig. 2와 3은 각각 주행 속도가 5.5km/h 일 때의 로터리 경운 토양에서 견인 계수와 견인 효율을 나타낸 것이다.

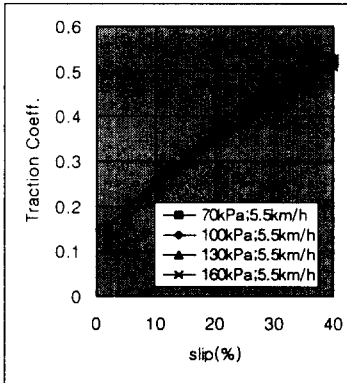


Fig. 2. Traction coefficient at rotary cultivated field (5.5 km/h)

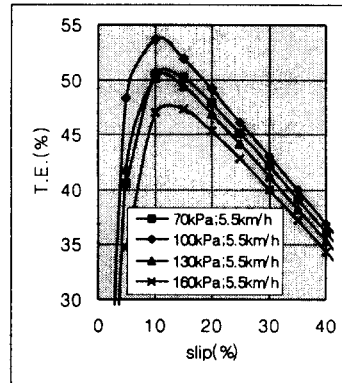


Fig. 3. Tractive efficiency at rotary cultivated field (5.5 km/h)

4.3.2 수확 후 논토양 I

공기압을 160kPa에서 40kPa까지 30kPa단위로 감소시키며 견인 시험을 수행하였다. 주행 속도가 4km/h일 때 공기압이 감소됨에 따라 견인 성능은 현저하게 증가하였다. 즉 슬립이 20%일 때 견인 계수는 14%까지 증가하였으며, 견인 효율은 7%까지 증가하였다. 그러나 속도가 다른 경우에는 공기압 감소의 영향이 나타나지 않았다. Fig. 4과 5는 주행 속도가 4km/h일 때 수확후 논토양 I에서 견인 계수와 견인 효율을 나타낸 것이다.

4.3.3 수확 후 논토양 II

공기압을 250kPa에서 50kPa까지 50kPa 단위로 감소시키며 시험하였다. 이러한 토양 상태에서는 공기압의 감소 효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 주행 속도가 5.5km/h일 때, 50kPa의 공기압에서 최대 견인 계수는 다른 공기압에서보다 최소 7% 정도 증가하였으나 일률적인

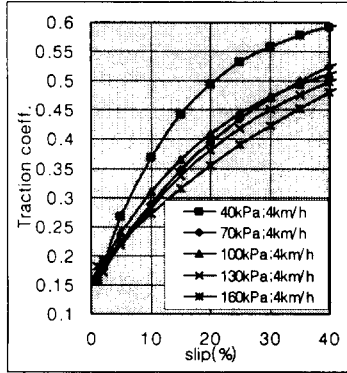


Fig. 4. Traction coefficient at paddy stubble field (4km/h)

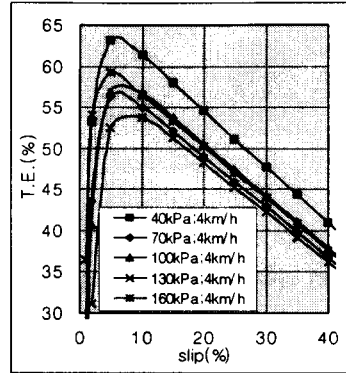


Fig. 5. Tractive efficiency at paddy stubble field (4km/h)

현상은 아니었다. 최대 견인 효율은 주행 속도에 상관 없이 슬립이 10~20%인 범위에서 나타났다. Fig. 6과 7은 주행 속도가 5.5km/h일 때 수확후 논토양 II에서 견인 계수와 견인 효율을 나타낸 것이다.

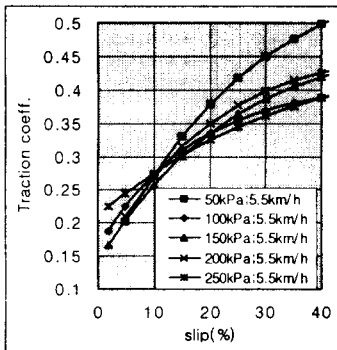


Fig. 6. Traction coefficient at paddy stubble field II (5.5 km/h)

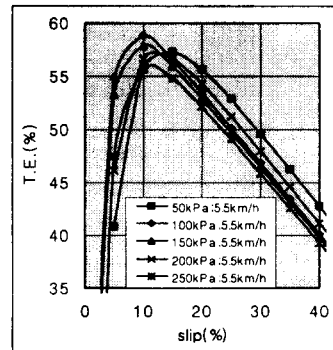


Fig. 7. Tractive efficiency at paddy stubble field II (5.5 km/h)

4.3.4 콘크리트 노면

콘크리트 노면에서의 견인 계수와 견인 효율은 공기압과 주행 속도의 변화에 관계 없이 항상 일정한 수준의 값으로 나타났다. 따라서 콘크리트 노면에서 공기압이 견인 성능에 미치는 영향은 극히 낮은 것으로 판단된다. 즉, 단단한 지면에서 공기압은 견인 성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. Fig. 8과 9는 주행 속도가 3km/h일 때 콘크리트 노면에서 견인 계수와 견인 효율을 나타낸다.

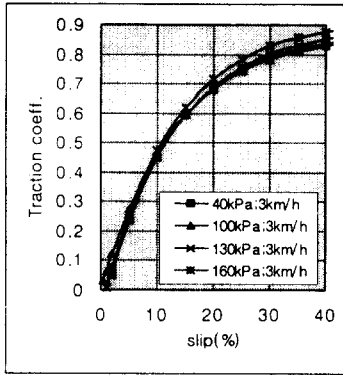


Fig. 8. Traction coefficient at concrete surface (3km/h)

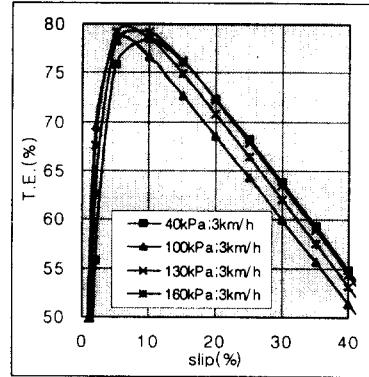


Fig. 9. Tractive efficiency at concrete surface (3km/h)

이상의 결과에서와 같이 바이어스 플라이 타이어에서 공기압 변화가 견인 성능에 미치는 영향은 일관되지 않았다. 그러나 이러한 결과가 바이어스 플라이 타이어의 고유한 특성에 의한 것인지, 시험 토양의 특성에 의한 것인가를 구명하기 위해서는 앞으로 더 많은 실험 연구가 필요할 것으로 생각된다.

5. 요약 및 결론

본 연구는 공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에 미치는 영향을 실험적으로 구명하기 위하여 수행되었다. 견인 시험은 3.0 - 5.5 km/h의 속도 범위에서 4가지 토양을 대상으로 실시하였으며, 공기압은 250kPa에서 40kPa까지 변화시켰다.

견인 성능 시험을 위하여 좌우 구동륜에 설치할 토크 변환기를 제작하였으며, 구동축 토크와 각속도, 견인력, 주행 속도 등을 측정하기 위한 계측 및 데이터 수집 장치를 구성하였다.

견인 성능 시험의 결과는 구동륜의 슬립 함수로서 견인 계수와 견인 효율로써 나타내었으며, 견인 성능 시험의 주요 결과는 다음과 같다.

로터리 경운한 밭토양과 같이 느슨한 토양과 콘크리트와 같이 단단한 노면에서는 공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

수확 후 논토양 I의 경우, 주행 속도가 4km/h일 때는 공기압의 효과가 일정한 경향을 나타내었으나 3 또는 5.5km/h의 속도에서는 공기압의 영향이 일정한 경향을 나타내지 않았다. 주행 속도가 4km/h이고 공기압을 160kPa에서 40kPa로 감소시켰을 때, 견인 계수는 0.35에서 0.49로 증가하였으며, 40kPa에서 견인 효율도 다른 공기압에서 보다 약 4.5% 증가되었다.

수확 후 논토양 II에서는 주행 속도가 5.5km/h일 때 공기압의 효과가 나타났으며, 공기압이 250kPa에서 50kPa로 감소되었을 때, 견인 계수는 0.32에서 0.38로 증가하였다. 주행 속도가

3km/h일 때는 공기압을 250kPa에서 50kPa로 감소시켰을 때, 견인 효율은 55%에서 60%로 5% 증가되었다.

전체적으로 슬립이 20%인 수준일 때 견인 계수는 최고 14%, 견인 효율은 6% 향상된 것으로 나타났으나, 공기압의 변화에 따른 견인 성능의 변화가 일관된 경향을 나타내지는 않았다. 결론적으로, 본 연구에서는 바이어스 플라이 타이어의 공기압과 견인 성능 사이에서 일관된 실험식을 찾고자 하였으나 충분한 데이터의 부족으로 유효한 결과를 얻지는 못하였다. 이러한 결과가 바이어스 플라이 타이어의 고유한 특성에 의한 것인지 또는 시험 토양에 기인된 것인가를 구명하기 위해서는 앞으로 더욱 많은 실험적 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

6. 참고 문헌

1. Burt, E. C. and A. C. Bailey. 1982. Load and inflation pressure effects on tires. Transactions of the ASAE 25(4): 881~ 884.
2. Charles, S. M. 1984. Effects of ballast and inflation pressure on tractor tire performance. Agricultural Engineering 65(2): 11~13.
3. Gee-Clough, D., M. McAllister and D. W. Evernden. 1977. Tractive performance of tractor drive tyres. J. Agric. Engng. Res. 22(4): 385~394.
4. Goodyear. 1992. Optimum tractor tire performance handbook. The Goodyear Tire & Rubber Company..
5. Lee, Dongryol. 1997. Effects of inflation pressure on tractive performance of bias-ply tires. Unpublished MS thesis. Seoul National University
6. Wismer, R. D and H. J. Luth. 1974. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. Transactions of the ASAE 17(1): 8~10, 14.