



있다. 최근 레이디얼 타이어의 공기압이 견인 성능에 미치는 영향에 대한 많은 연구가 수행되어 왔으나(Bashford, et al. 1987, Burt and Bailey, 1982, Charles, 1984) 바이어스 플라이 타이어에 대한 연구는 상대적으로 미흡하였다. 일반적으로, 레이디얼 타이어의 공기압은 최저 40kPa 정도의 저압을 유지하도록 권장되고 있다(Goodyear, 1992). 바이어스 플라이 타이어의 경우에는 레이디얼 타이어보다 높은 공기압을 유지하는 것이 일반적이나, 공기압의 변화에 따른 견인 성능의 변화를 조사한 연구는 많지 않다.

본 연구에서는 공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에 미치는 영향을 실험적으로 구명하고자 하였다. 즉, 일정한 토양 조건에서 공기압의 변화에 따른 견인 계수와 견인 효율의 변화를 실험적으로 구명하고자 하였다.

## 2. 계측 장치

바이어스 플라이 타이어의 견인 성능을 결정하기 위하여 그림 1에서와 같이 시험용 트랙터에 차축 토크 변환기, 로터리 엔코더, 스피드 센서, 견인력 측정용 로드셀 등 계측 장치를 설치하고, 견인 계수, 견인 효율, 슬립을 결정하기 위한 구동륜 하중, 견인력, 구동축 토크, 차축 속도, 견인 속도 등을 측정하였다.

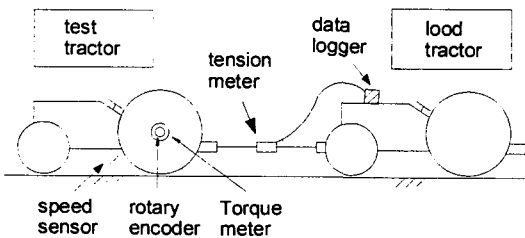


Fig. 1 Instrumentation for tractive performance test.

시험 트랙터에 견인력을 가하기 위하여 두 대의 트랙터를 직렬로 연결한 후 후방의 트랙터를 부하 트랙터로 사용하였다. 부하의 크기는 부하 트랙터

의 브레이크로써 조정하였다. 바이어스 플라이 타이어는 시험 트랙터에 장착하였다.

시험 트랙터에 사용된 각종 계측 장치는 다음과 같으며, 각 계측 장치에 대한 자세한 명세는 이(1997)의 논문에 수록되어 있다.

### 가. 시험용 트랙터

시험용 트랙터는 후륜 구동으로서, 정격 출력 30kW, 중량 17.1kN인 것을 사용하였다. 정격 상태에서 전후 차축의 하중 분포는 1:1.43이며, 하중 전이를 고려한 최대 견인력은 11.8kN이었다.

### 나. 시험용 타이어

시험용 바이어스 플라이 타이어는 트랙터용으로 널리 사용되고 있는 13.6-28 6PR로서, 러그 형식이 R2인 것을 사용하였다. 시험용 바이어스 타이어의 제원은 표 1에서와 같다.

Table 1 Specifications of tested bias-ply tire

Item	Specifications
Sire	13.6-28 6PR
Lug type	R2
Lug height	45mm
Load coefficient	1.1
Design section width	345mm
Rim width	304.8mm
Rim diameter	711.2mm

### 다. 견인력

견인력은 시험용 트랙터가 부하용 트랙터를 견인할 때 견인 케이블에 인장 로드셀을 연결하여 측정하였다. 인장 로드셀은 견인 용량이 19.6kN이고, 히스테리시스가 0.02% FS(Bongshin Co, TRU)인 것을 사용하였다.

라. 구동축 토크 및 속도

구동축의 휠 토크를 측정하기 위하여 표 2에서와 같은 2개의 토크 변환기를 제작하였으며, 좌 우측 후륜축에 설치하였다. 토크 변환기의 척도는 기지의 토크를 작용시킨 후, 토크 변환기의 신호와 작용 토크와의 선형 관계를 이용하여 설정하였다. 좌 우측 토크 변환기의 신호와 작용 휠 토크의 선형 관계는 각각 그림 2와 3에서와 같다. 그림 4는 구동축에 장착한 토크 변환기의 구조를 나타낸 것이다.

구동축의 속도는 최대 반응 주파수가 100kHz이고, 1회전당 펄스가 360, 최대 측정 속도가 5,000rpm 인 로터리 엔코드를 사용하여 측정하였다. 로터리 엔코드는 토크 변환기에 연결된 스플링이 구동축과 같은 속도로 회전하기 때문에 슬립링의 회전부에 설치하였다.

Table 2 Specifications of torque meter

Item	Specifications
Type	Strain gage type
Material	SCM440, HRC 27-34
Rated Capacity	5000 Nm
Excitation	5 VDC

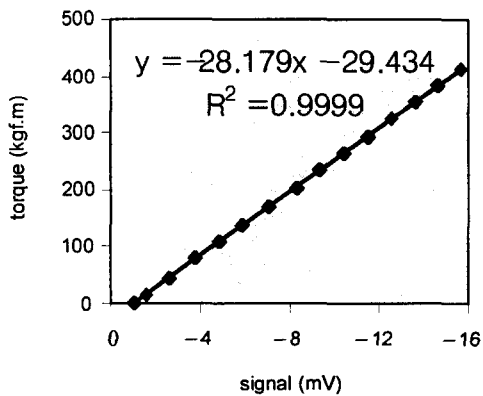


Fig. 2 Calibration curve of the left wheel torque meter.

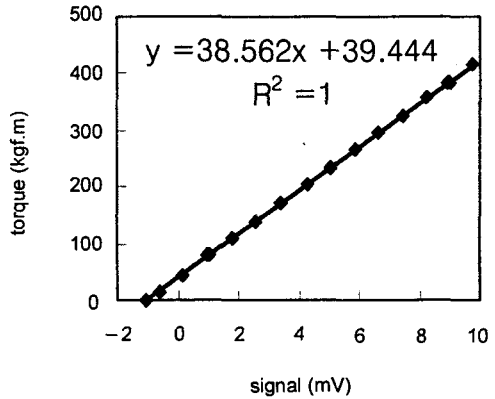


Fig. 3 Calibration curve of the right wheel torque meter.

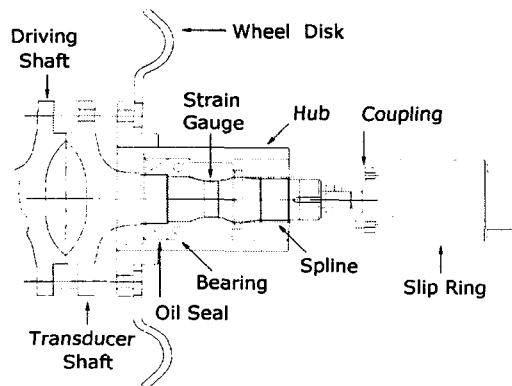


Fig. 4 Torque meter assembled to driving shaft.

마. 견인 속도

트랙터의 실제 견인 속도는 측정 속도 범위가 0.53~70km/h인 레이더 속도 센서(Dickey-John Co.)를 이용하여 측정하였다. 속도 센서는 레이더의 신호가 지면과 40°를 이루도록 균형추가 부착된 트랙터의 전방에 설치하였다.

바. 데이터 수집 장치

좌 우측 토크 변환기, 로터리 엔코더, 로드 셀 그

Table 3 Soil conditions of test sites

Test site	Surface type	Soil type	Mean cone index at depth of, kPa			Mean moisture content at depth of, %	
			0 cm	5 cm	15 cm	5 cm	20 cm
Site 1	Rotary cultivated	sandy loam	19.6	98.1	755.4	23.9	27.6
Site 2	Stubble paddy field I	sandy loam	500.3	637.7	755.4	31.3	20.1
Site 3	Stubble paddy field II	loamy sand	412.0	647.5	882.9	-	-
Site 4	Concrete	-	-	-	-	-	-

리고 속도 센서로부터 나온 신호를 동시에 수집, 저장하기 위하여 데이터 로거를 사용하였다. 데이터 로거는 A/D변환, 스트레인 증폭, 펄스 카운팅 기능과 자체 기억 장치 및 프로그램 수행 능력을 가진 디지털 5채널, 아나로그 10채널인 휴대형 데이터 로거이었다.

### 3. 견인 성능 시험

#### 가. 토양 조건

토양 조건은 (1) 로터리 경운한 밭토양, (2) 벼 수확 후의 논토양 I, (3) 벼 수확 후의 논토양 II, (4) 콘크리트 노면으로서, 4 조건으로 하였다. 토양의 종류는 미농무성법(USDA)에 따라 분류하였으며, 콘지수는 저면적이 645mm<sup>2</sup>이고, 정각이 30° 인 원추관입시험기를 이용하여 지면으로부터 각각 5cm, 15cm 되는 지점에서 측정하였다. 토양의 함수율은 지면으로부터 각각 5cm, 20cm 되는 지점에서 측정하였다. 표 3은 각 토양 조건의 토성, 콘지수, 토양 함수비를 나타낸 것이다.

#### 나. 시험 방법

견인 성능 시험에는 3사람이 참여하여, 두 사람은 각각 시험 트랙터와 부하 트랙터를 운전하고, 한 사람은 자료 수집을 담당하였다. 구체적인 시험 절차는 다음과 같다.

(1) 먼저 각 토양 조건에서 원추관입시험기를 이

용하여 6 지점에서 콘지수를 측정하고, 함수비를 결정하기 위하여 토양 시료를 채취하였다.

(2) 타이어에 정해진 공기압을 설정하고, 변속 기어를 조작하여 출발 준비를 완료한 후, 모든 센서의 신호를 재점검하였다. 견인 하중이 작용하지 않는 상태에서 시험 트랙터를 일정한 속도로 운전하여 속도 센서의 신호를 기록하였다.

(3) 시험 트랙터의 기관 속도를 2,000rpm으로 유지하여, 견인 하중을 증가시키면서 시험 트랙터를 약 10초간 직진으로 운전하였다. 이 때 견인력, 견인 속도, 구동축 토크와 속도를 측정, 기록하였다.

(4) 시험 트랙터의 슬립이 100%가 될 때까지 부하 트랙터의 브레이크를 4~5 단계로 작동시켜 견인 부하를 증가시켰다. 이 때 (3)에서와 같은 방법으로 견인력, 견인 속도, 구동축 토크와 속도를 측정, 기

Table 4 Combinations of Inflation pressures and travel speeds for tractive performance test

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

록하였다.

(5) 견인 속도를 증가시킨 후 (2), (3), (4)의 과정을 반복하였다.

(6) 타이어 공기압을 감소시킨 후 (2), (3), (4), (5)의 과정을 반복하였다.

각 토양 조건에서 타이어의 공기압과 트랙터의 견인 속도는 표 4에서와 같이 변화시켰다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 가. 타이어의 동반경

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

공기압이 100kPa이 될 때까지는 50kPa이 감소됨에 따라 동반경은 0.51~0.54% 정도 비례적으로 감소하였으나 100kPa 이하에서는 0.98~1.88% 정도로 급격하게 감소하였다.

표 5는 공기압의 변화에 따른 시험 타이어의 동반경 변화를 나타낸 것이다.

Table 5 Changes in dynamic rolling radius of tire with its inflation pressures

IPr (kPa)	Rolling radius (mm)	Decrement (%)
250	629.2	0.0
200	626.0	0.51
150	622.6	1.05
100	616.7	1.99
50	605.1	3.83

##### 나. 접지 면적

시험 타이어의 접지 면적은 단단한 콘크리트 노면에서 측정된 접지면의 길이와 폭을 이용하여 계산하였다. 접지면의 길이를  $L$ , 폭을  $b$ 라고 하면 접지 면

적  $A$ 는  $A = 0.786L$ 로써 계산하였다. 표 6은 타이어 공기압 변화에 대한 접지 면적의 변화를 나타낸 것이다.

Table 6 Increase in footprint area of tire with reduction of inflation pressures

Inflation pressure (kPa)	L (mm)	b (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	Increment (%)
200	268	250	522.6	0.0
150	275	254	544.8	4.3
100	279	276	600.6	14.9
50	283	305	673.3	28.8

##### 다. 견인 성능

각 토양 조건에서 측정된 견인력과 구동 토크는 어떤 일정한 경향을 나타내었으나, 이들을 직접 비교하여 그 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 (1), (2)와 같이 모형화하고 상수  $A, B, C, D, E$ 를 회귀 곡선과 일치하도록 결정하였다.

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

$$TE = (1 - S) \left[ 1 - \frac{D}{1 - e^{E \cdot S}} \right] \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $P$  = 견인력,  $N$   
 $W$  = 동하중,  $N$   
 $TE$  = 견인 효율, %  
 $S$  = 슬립, 소수

견인 계수와 견인 효율에 대한 대표적인 비선형 회귀 곡선은 각각 그림 5, 6에서와 같다.

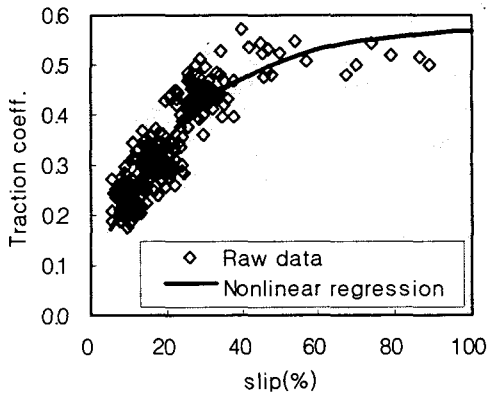


Fig. 5 Traction coefficient curve fitted to raw data.

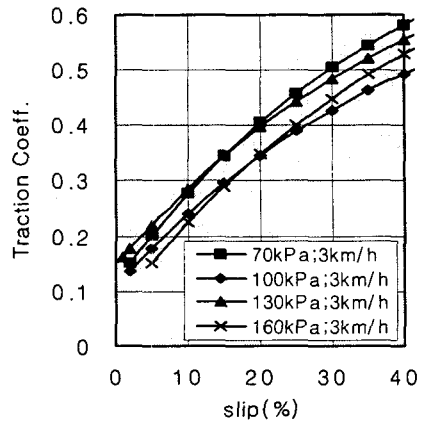


Fig. 7 Traction coefficient at rotary cultivated field with a velocity of 3km/h.

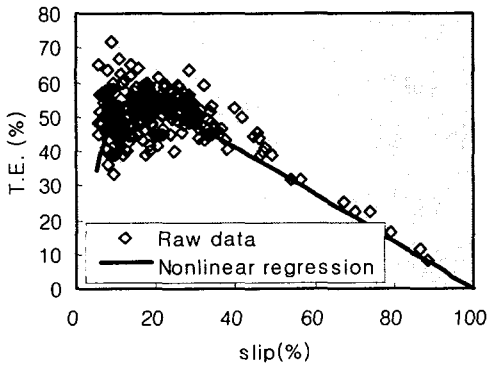


Fig. 6 Tractive efficiency curve fitted to raw data.

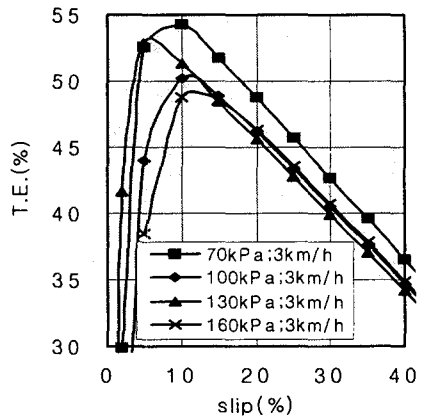


Fig. 8 Tractive efficiency at rotary cultivated field with a velocity of 3km/h.

(1) 로터리 경운 토양

로터리 경운 토양은 사질 양토로서 지표면이 느슨한(loose) 상태이었으며, 경반의 깊이는 약 15cm 정도이었다. 그림 7과 8에서와 같이 3km/h의 저속 견인 속도에서, 공기압을 160kPa부터 70kPa까지 30kPa씩 감소시켰을 때, 견인 계수에는 큰 변화가 없었으나 견인 효율은 10% 슬립에서 최고 49%에서 54%까지 10% 증가하였다.

견인 속도를 4km/h와 5.5km/h로 증가시켰을 경우에도 공기압의 영향은 같은 경향을 나타내었다. 즉, 로터리 경운 토양에서와 같이 느슨한 상태의 토양에

서는 속도에 관계 없이 공기압이 견인 성능에 미치는 영향은 크지 않는 것으로 판단된다. 그림 9, 10, 11, 12는 각각 견인 속도가 4km/h, 5.5km/h일 때 로터리 경운 토양에서 공기압의 변화에 따른 트랙터의 견인 계수와 견인 효율의 변화를 나타낸 것이다.

(2) 수확 후 논토양 I

수확 후 논토양 I의 상태는 지면의 수분 함량이

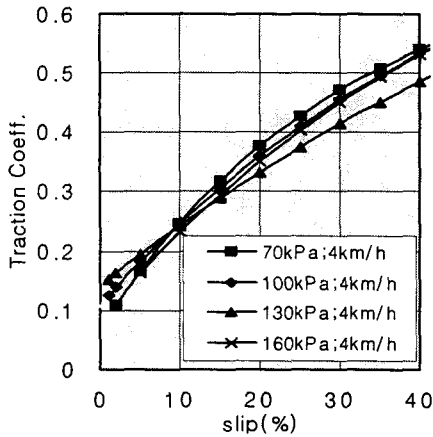


Fig. 9 Traction coefficient at rotary cultivated field with a velocity of 4km/h.

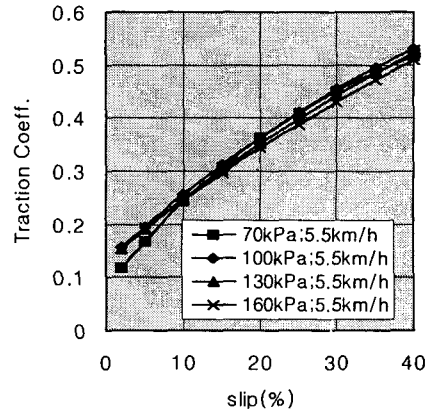


Fig. 11 Traction coefficient at rotary cultivated field with a velocity of 5.5km/h.

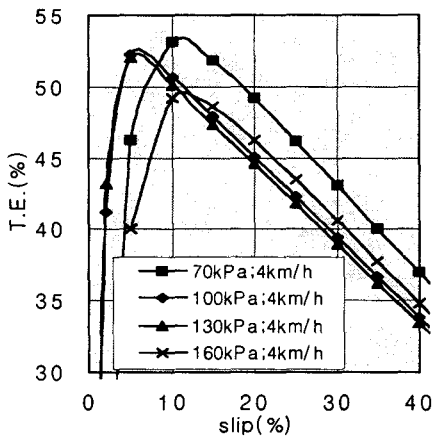


Fig. 10 Tractive efficiency at rotary cultivated field with a velocity of 4km/h.

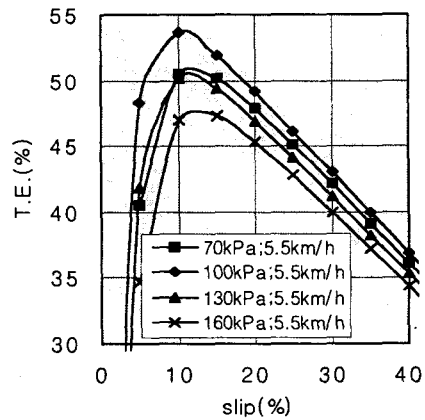


Fig. 12 Tractive efficiency at rotary cultivated field with a velocity of 5.5km/h.

31.3%로서 비교적 높은 편이었으나, 지면의 콘지수는 500kPa로서 비교적 단단한 상태이었다. 공기압을 160kPa에서 40kPa까지 30kPa 단위로 감소시켰다. 견인 속도가 4km/h일 때 공기압이 감소됨에 따라 견인 성능은 현저하게 증가되었다. 즉 공기압이 40kPa로 감소되었을 때 슬립 20%에서 견인 계수는 160kPa에서 보다 40% 증가하였으며, 견인 효율도 14.9% 증가하였다. 그러나 속도가 다른 경우에는 공기압 감소의 영향이 일정하게 나타나지 않았다.

그림 13, 14, 15, 16, 17, 18은 견인 속도가 각각 3km/h, 4km/h, 5.5km/h일 때 수확후 논토양 I에서 타이어의 공기압 변화에 따른 트랙터의 견인 계수와 견인 효율의 변화를 나타낸 것이다.

### (3) 수확 후 논토양 II

수확후 논토양 II는 사질 양토로서 지면이 비교적 단단하고, 그루터기가 남아 있는 논이었다. 타이어의 공기압을 250kPa에서 50kPa까지 50kPa 단위로 감

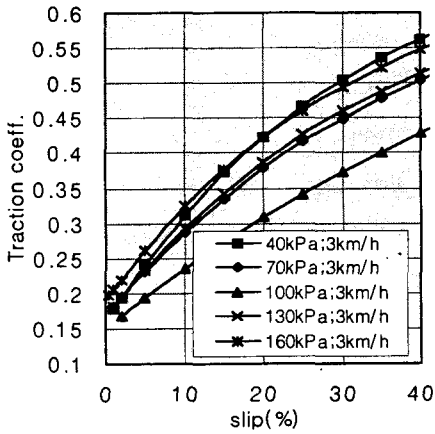


Fig. 13 Traction coefficient at stubble paddy field I with a velocity of 3km/h.

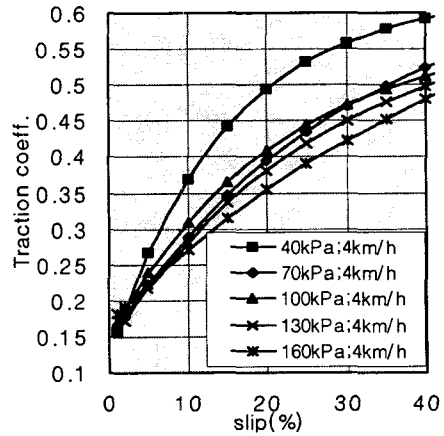


Fig. 15 Traction coefficient at stubble paddy field I with a velocity of 4km/h.

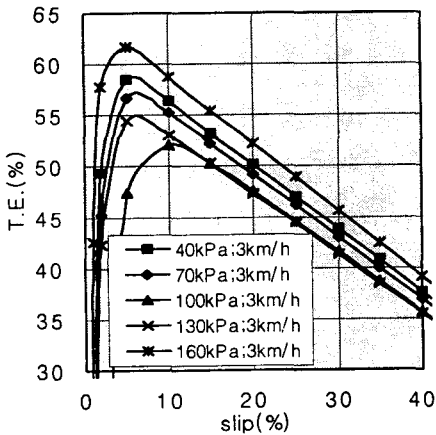


Fig. 14 Tractive efficiency at stubble paddy field I with a velocity of 3km/h.

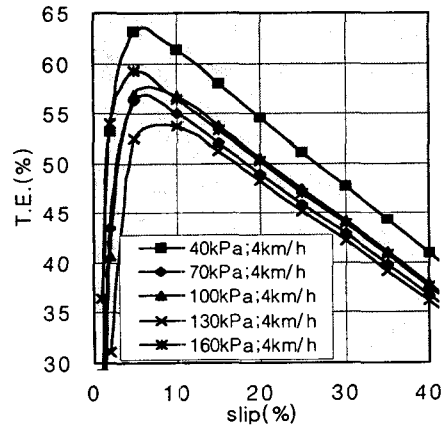


Fig. 16 Tractive efficiency at stubble paddy field I with a velocity of 4km/h.

소시켰다. 이 토양 상태에서는 공기압의 감소 효과가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 견인 속도가 5.5km/h이고, 슬립이 20~40%일 때, 50kPa의 공기압에서 최대 견인 계수는 다른 공기압에서 보다 최소 7~17% 증가하였으나 일률적인 현상은 아니었다. 같은 속도에서 견인 효율도 향상되었으나 그 효과는 15% 이상의 슬립 상태에서 2~3% 정도이었다. 최대 견인 효율은 견인 속도에 관계없이 슬립이 10~20%인 범

위에서 나타났다. 그림 19, 20, 21, 22, 23, 24는 견인 속도가 각각 3km/h, 4km/h, 5.5km/h일 때 수확후 논 토양 II에서 공기압의 변화에 따른 견인 계수와 견인 효율의 변화를 나타낸 것이다.

#### (4) 콘크리트 노면

콘크리트 노면에서 견인 계수와 견인 효율은 공기압과 주행 속도의 변화에 관계 없이 대체로 일정한



공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에 미치는 영향

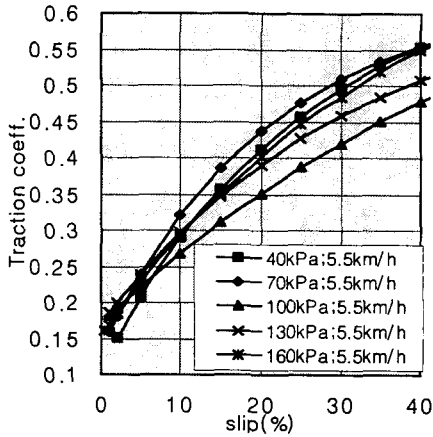


Fig. 17 Traction coefficient at stubble paddy field I with a velocity of 5.5km/h.

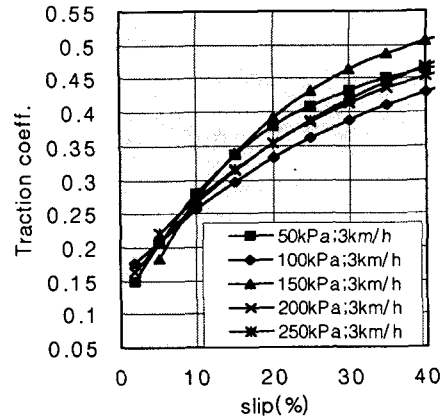


Fig. 19 Traction coefficient at stubble paddy field II with a velocity of 3km/h.

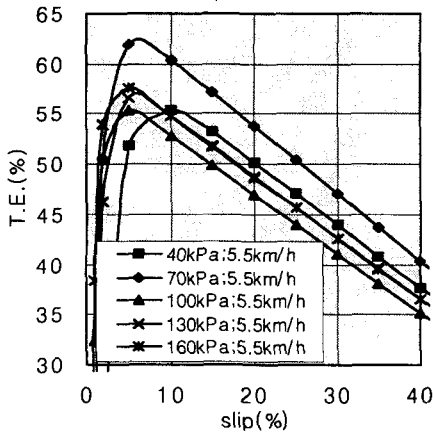


Fig. 18 Tractive efficiency at stubble paddy field I with a velocity of 5.5km/h.

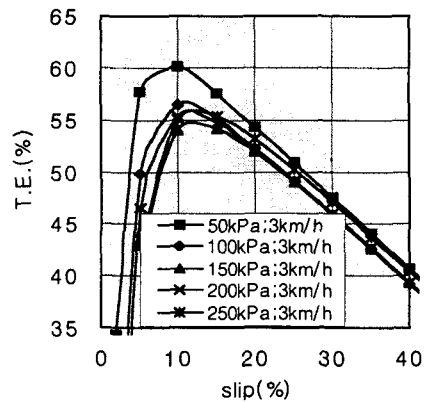


Fig. 20 Tractive efficiency at stubble paddy field II with a velocity of 3km/h.

수준으로 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. 이는 일반적으로 알려져 있는 공기압의 영향과는 서로 상반된 결과로서 이를 재확인하기 위해서는 더 많은 실험 데이터가 요구된다. 그림 25, 26, 27, 28, 29, 30 은 각각 견인 속도가 3km/h, 4km/h, 5.5km/h일 때 콘

크리트 노면에서 공기압의 변화에 대한 견인 계수와 견인 효율의 변화를 나타낸 것이다.

이상의 결과에서와 같이 공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에 미치는 영향은 일관된 경향으로 나타나지 않았다. 일부 저압 타이어가 우수한 견인 성능을 나타낸 경우도 있었으나, 공기압의 영향을 받지 않는 경우, 높은 공기압에서 견인 성능이 우수한 경우가 모두 나타났으며, 명확한 경계점

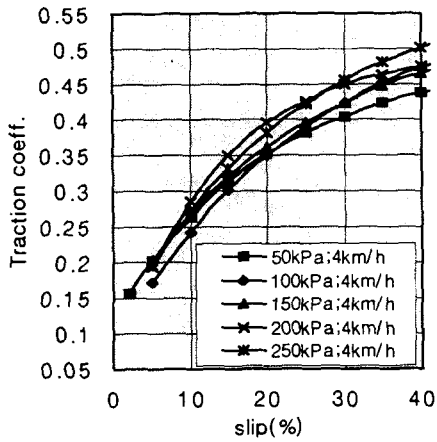


Fig. 21 Traction coefficient at stubble paddy field II with a velocity of 4km/h.

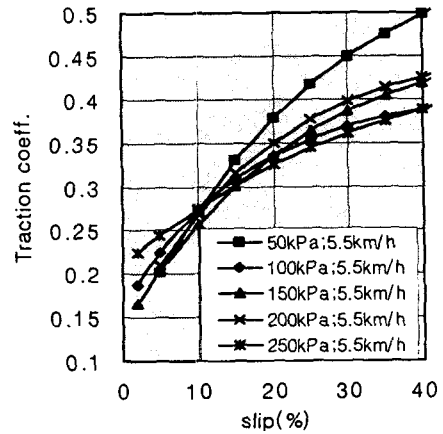


Fig. 23 Traction coefficient at stubble paddy field II with a velocity of 5.5km/h.

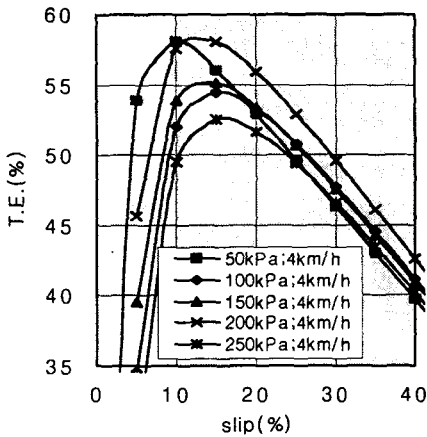


Fig. 22 Tractive efficiency at stubble paddy field II with a velocity of 4km/h.

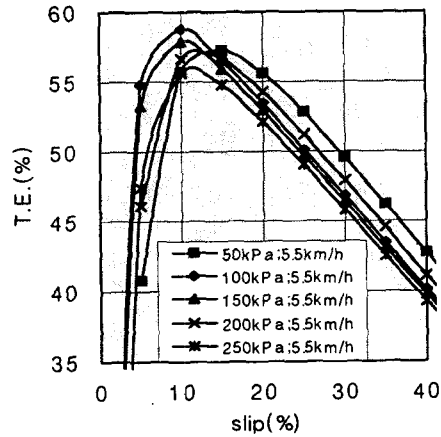


Fig. 24 Tractive efficiency at stubble paddy field II with a velocity of 5.5km/h.

을 구명하기가 불가능하였다. 이러한 결과가 바이어스 플라이 타이어의 고유한 특성에 의한 것인지 또는 시험 토양의 특성에 의한 것인지를 구명하기 위해서는 더 많은 실험 데이터가 요구된다. 그러나 본 연구의 결과로서는 잠정적으로 공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

## 6. 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 성능은 구동륜의 슬립 함수로서 견인 계수와

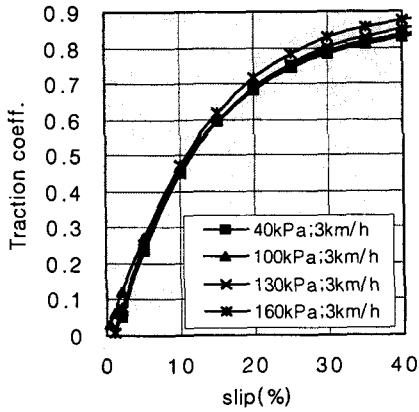


Fig. 25 Traction coefficient at concrete surface with a velocity of 3km/h.

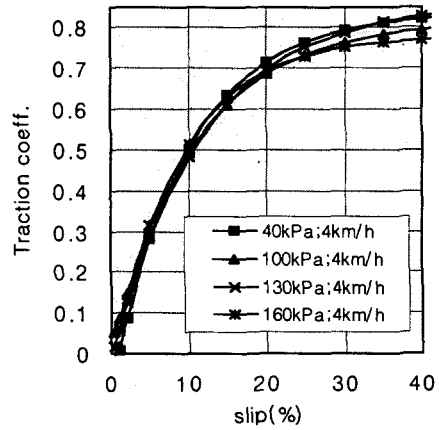


Fig. 27 Traction coefficient at concrete surface with a velocity of 4km/h.

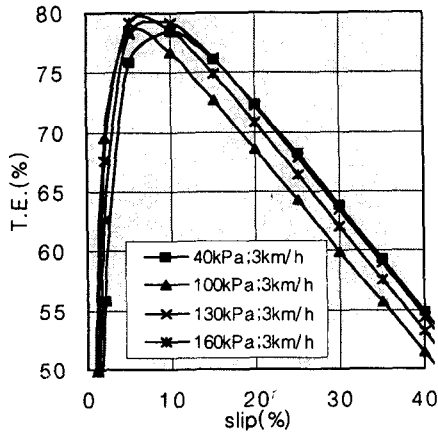


Fig. 26 Tractive efficiency at concrete surface with a velocity of 3km/h.

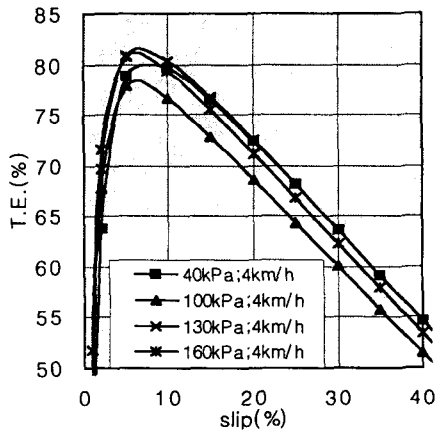


Fig. 28 Tractive efficiency at concrete surface with a velocity of 4km/h.

견인 효율로써 나타내었으며, 견인 성능 시험의 주요 결과는 다음과 같다.

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

수확 후 그루터기가 남은 논으로서, 비교적 굳은 사질 양토의 경우, 견인 속도가 4km/h일 때 공기압

이 감소함에 따라 견인 성능이 향상되는 효과가 있었으나, 3 또는 5.5km/h의 속도에서는 그 경향이 일정하지 않았다. 4km/h의 견인 속도에서 공기압이 160kPa에서 40kPa로 감소되었을 때 견인 계수는 0.35에서 0.49로 증가하여 40%가 증가되었으며, 40kPa에서 견인 효율도 다른 공기압에서 보다 약 14.9% 증가되었다.

수확 후 그루터기가 남은 논으로서 양토의 성분이

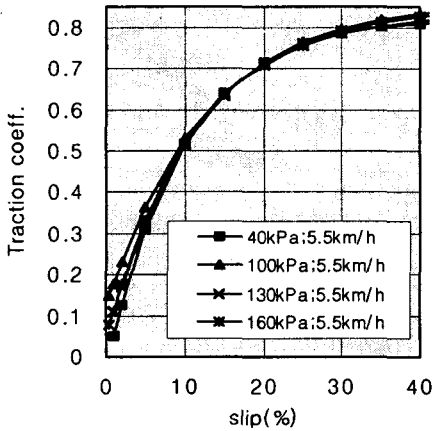


Fig. 29 Traction coefficient at concrete surface with a velocity of 5.5km/h.

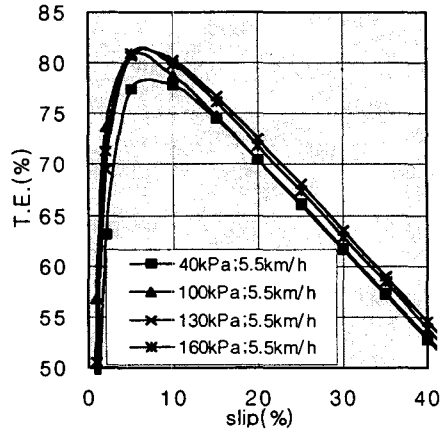


Fig. 30 Tractive efficiency at concrete surface with a velocity of 5.5km/h.

높은 토양 조건에서는 견인 속도가 5.5km/h일 때 공기압 감소의 효과가 있었으나 다른 속도에서는 그 경향이 뚜렷하게 나타나지 않았다. 견인 속도가 5.5 km/h이고, 슬립이 20~40%일 때, 50kPa의 공기압에서 최대 견인 계수는 다른 공기압에서 보다 최소 7~17% 증가하였으나 일률적인 현상은 아니었다. 같은 속도에서 견인 효율도 향상되었으나 그 효과는 15% 이상의 슬립 상태에서 2~3% 정도이었다. 최대 견인 효율은 견인 속도에 관계없이 슬립이 10~20% 인 범위에서 나타났다.

전체적으로 슬립이 20% 수준일 때 견인 계수가 최고 40%, 견인 효율이 17% 향상된 경우도 있었으나, 공기압에 의한 견인 성능의 변화는 일정한 경향이 없었다. 이러한 결과가 바이어스 플라이 타이어의 고유한 특성에 의한 것인지 또는 시험 토양의 특성에 의한 것인지를 구명하기 위해서는 더 많은 실험 데이터가 요구된다. 그러나 본 연구의 결과로서는 잠정적으로 공기압이 바이어스 플라이 타이어의 견인 성능에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. Bashford, L. L., K. V. Bargaen, T. R. Way and L. Xiaoxian. 1987. Performance comparisons between duals and singles on the rear axle of a front wheel Assit tractor. Transactions of the ASAE 30(3):641-645.
2. Burt, E. C. and A. C. Bailey. 1982. Load and inflation pressure effects on tires. Transactions of the ASAE 25(4): 881-884.
3. Charles, S. M. 1984. Effects of ballast and inflation pressure on tractor tire performance. Agricultural Engineering 65(2):11-13.
4. Goodyear. 1992. Optimum tractor tire performance handbook. The Goodyear Tire & Rubber Company (January).
5. Lee, Dongyul. 1997. Effect of inflation pressures on the tractive performance of bias-ply tires of agricultural tractors. Unpublished MS thesis. Department of Agricultural Engineering, 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.