

트랙터용 습지 보조 차륜의 설계(I) - 케이지 휠의 설계 변수에 관한 연구 -

Design of A Tire-Attachable Cage Wheel for Wetland Use(I) - Study on design parameters of a cage wheel -

| | | |
|----------|-----------|-----------|
| 오 영 근* | 류 일 훈* | 김 경 옥* |
| 정회원 | 정회원 | 정회원 |
| Y. G. Wu | I. H. Ryu | K. U. Kim |

SUMMARY

Effects on tractive performance of design parameters of cage wheel as a traction aid to driving tires of tractor in wet paddy field were investigated experimentally. An experimental cage wheel was designed so that the design parameters such as wheel diameter, wheel width, lug pitch and lug angle could be varied during traction test. The traction test was conducted in two different types of wet paddy field; shallow and deep hardpan fields. Experimental results showed that tractive performance is affected by both soil conditions and the design parameters. A considerable improvement on the tractive performance was obtained by using a cage wheel with 45° lug angle in shallow hardpan and smaller lug pitch in deep hardpan. The diameter of cage wheel was mostly influential to the tractive performance both in shallow and deep hardpans.

주요용어(Key Words) : 습지(Wetland), 트랙터(Tractor), 케이지 휠(Cage wheel), 견인 성능(Tractive performance)

1. 서 론

습지의 개념은 토지 이용의 관점에 따라서 다르다. 농경지로서의 습지는 최소한 작물의 경작이 가능한 토양으로서 일반 농지에 비하여 경반이 깊고, 점토 함량과 함수비가 높은 토양이다. 우리나라에서 이러한 습지는 대부분 지하 수위가 높은 배수 불량답 또는 간척지의 논토양에 해당된다. 동남아 지역과 중국 남부의 농경지도 경반이 깊고 점토 함량이 높기 때문에 우기에는 습지와 같은 형태를 나타낸다. 본 연구에서는 습지를 담수 상태에서 경반의 깊이가 30 cm 이상인 배수 불량답으로 정의하였다.

일반적으로 습지에서는 구동륜의 침하와 슬립이 크기 때문에 트랙터의 주행과 견인 성능이 떨어지

며, 심한 경우에는 트랙터 작업이 불가능한 경우가 많다. 그러나 구동륜에 보조 장치를 부착하면 침하가 감소되고 견인 성능이 향상된다. 트랙터의 작업 성능을 향상시키기 위한 구동륜 보조 장치에는 여러 가지 형태가 있으나, 습지에서는 케이지 휠이 가장 널리 사용되고 있다. 특히 동남아 지역에서 동력경운기에 사용되고 있는 케이지 휠은 구조가 간단하고, 제작이 용이하며 가격도 싼 편이다.

트랙터의 구동 타이어 외측에 케이지 휠을 부착하여 습지용 보조 차륜으로 사용하면 타이어의 접지압이 낮아져서 침하가 감소되고 견인 성능도 향상될 것으로 예상된다. 또한 케이지 휠은 동남아 수출을 목표로 하는 습지용 트랙터의 주행 장치로도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농기계전공

케이지 휠의 설계 변수에 대해서는 많은 연구가 수행되어 왔다. Gee-Clough 등(1976)은 함수비가 각각 15%와 42.5%인 점질 양토의 토양조 실험에서 러그 각이 각각 15°, 25°, 35°인 케이지 휠의 추진력을 측정하여, 러그 각이 증가할수록 토양 지지력과 추진력도 증가된다고 하였다. Salokhe 등(1990)은 점토의 토양조 실험에서 케이지 휠의 슬립이 증가하면 러그에 작용하는 토양 지지력과 추진력이 감소된다고 하였다. Kittichai 등(1990)은 사질토와 점토에서 케이지 휠의 러그 각과 러그 피치가 견인 성능에 미치는 영향을 구명하였다. 이러한 연구들은 대부분 동력경운기를 대상으로 한 것이었으며, 정지된 상태의 토양조 또는 경반이 얇은 포장에서 수행되었고, 케이지 휠을 트랙터의 구동륜 보조 차륜으로 습지에서 사용한 예는 없다.

본 연구는 트랙터의 구동륜 보조 차륜으로서 케이지 휠의 설계 변수가 트랙터의 견인성능에 미치는 영향을 실험적으로 구명하고, 케이지 휠의 최적 설계 변수를 결정하기 위하여 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 시험용 트랙터

케이지 휠의 견인성능 실험에 사용된 트랙터는 정격출력이 30 kw, 중량이 17.1 kN인 4륜구동 트랙터이었다. 정적 상태에서 전후 차축의 하중 분포는 1:1.43이고, 하중전이를 고려한 최대 견인력은 11.8 kN이다. 트랙터의 구동륜은 바이어스 플라이 타이어로서 체원은 표 1과 같다.

Table 1 Specifications of driving tire of test tractor

| Item | Specifications |
|----------------------|----------------|
| Size | 13.6-28 6PR |
| Lug type | R2 |
| Lug height | 45 mm |
| Load coefficient | 1.1 |
| Design section width | 345 mm |
| Rim size | W-11x28(A) |

나. 시험용 케이지 휠

그림 1은 설계 제작한 시험용 케이지 휠의 모양과 주요 부품을 나타낸 것이다. 타이어 디스크에 케이지 휠을 부착하여 습지에서 보조 역할을 할 수 있도록 설계하였다.

케이지 휠은 러그의 높이를 100 mm로 고정하고 휠의 형태를 결정하는 4개의 설계 변수는 변화시킬 수 있도록 설계하였다. 즉,

(1) 케이지 휠의 림 간격을 조정하여 휠의 폭을 200, 250, 300 mm로 조정할 수 있도록 하였다.

(2) 러그 프레임의 위치를 3단계로 조정하여 휠의 외경을 1,182, 1,222, 1,262mm로 조정할 수 있도록 하였다.

(3) 러그 사이의 안장각을 22.5°, 30°로 조정하여 러그 피치를 2수준으로 조정할 수 있도록 하였다. 이 때 휠의 림에 장착되는 러그의 수는 각각 16개와 12개이다. 휠의 외경이 변화될 때는 러그 수가 같은 경우에도 러그 피치가 변화된다.

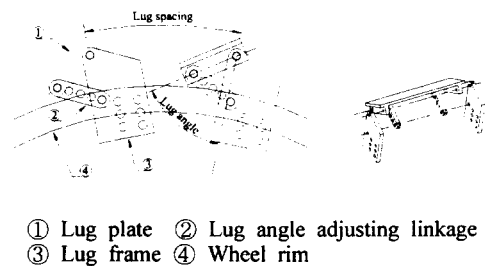
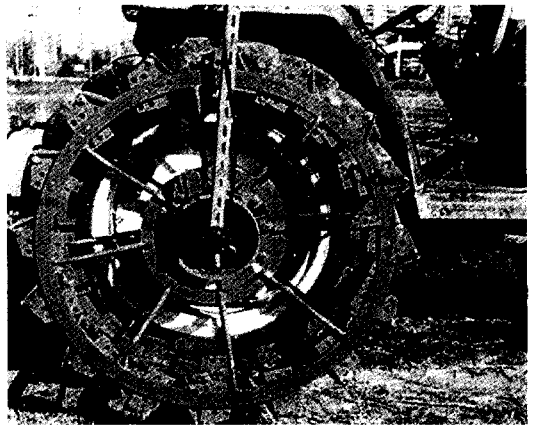


Fig. 1 A view of cage wheel attached to driving tire of test tractor.

(4) 러그 각은 케이지 휠의 반경 방향과 러그 판이 이루는 각이다. 러그 각 조정 링크를 이용하여 러그 각을 15°, 30°, 45°, 60°, 75°로 변화시킬 수 있도록 하였다.

다. 계측 장치

케이지 휠의 견인성능을 측정하기 위하여 계측 장치를 그림 2에서와 같이 구성하였다. 케이지 휠을 장착한 시험 트랙터가 부하 트랙터를 견인할 때 인장 로드 셀로써 견인력을 측정하였다. 부하의 크기는 부하 트랙터의 브레이크로써 가감하였다. 경반이 깊은 논에서는 시험 트랙터에서 과도한 슬립이 발생되기 때문에 부하 트랙터 대신 승용 이앙기를 견인하여 부하를 줄이고 슬립을 조정할 수 있도록 하였다.

시험 트랙터에는 구동축 토크 변환기, 로터리 엔코더, 스피드 센서를 설치하여 좌우측 구동륜의 구동 토크, 차축의 각속도, 트랙터의 견인속도를 측정하였다. 구동축 토크 변환기는 자체 제작하여 좌 우측 구동륜에 장착하였으며 제원은 표 2에서와 같다. 토크 변환기의 척도는 토크 변환기에 기지의 토크를 작용시켰을 때, 토크 변환기의 신호와 작용 토크와의 선형 관계를 이용하여 설정하였다.

구동축의 각 속도는 최대 반응 주파수가 100 kHz이고, 1회전당 펄스가 600, 최대 측정 속도가 5,000 rpm인 로터리 엔코더를 사용하여 측정하였다. 로터리 엔코더는 토크 변환기에 연결된 슬립 링이 구동축과 같은 속도로 회전하기 때문에 슬립 링의 회전부에 설치하였다. 트랙터의 실제 견인속도는 측정 속도 범위가 0.53~70.8 km/h인 레이더 속도 센서를 이용하여 측정하였다.

좌 우측 구동축 토크 변환기, 로터리 엔코더, 인장 로드셀, 속도 센서의 신호를 동시에 수집, 저장하기 위하여 데이터 로거를 사용하였다. 데이터 로거는 A/D변환, 스트레인 증폭, 펄스 카운팅 기능과 프로그램 수행 능력을 가진 디지털 5채널, 아날로그 10채널인 휴대용 데이터 로거이다.

라. 견인성능 실험

(1) 토양 조건

실험은 경반의 깊이가 15~20cm 정도인 얇은 논과 경반의 깊이가 30~50cm 정도인 깊은 논을 선

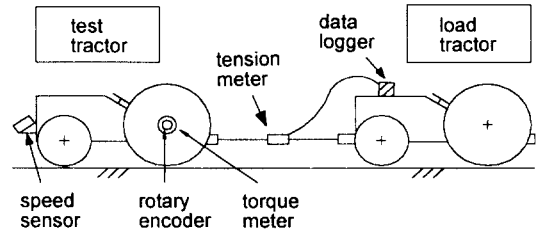


Fig. 2 Instrumentation for tractive performance test.

Table 2 Specifications of torque meter

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

Table 3 Soil properties of test field with shallow hardpan

| Soil type | | Sand |
|--------------------------|------------|------|
| Moisture content(% d.b.) | | 41 |
| Mean cone index (kPa) | Depth 5 cm | 0 |
| | 10 cm | 200 |
| | 15 cm | 380 |
| | 20 cm | 823 |

정하여 실시하였다. 두 곳 모두 경지 정리를 하지 않은 상태의 포장이었으며 비 수확 후 배수가 잘 되지 않아 지면에 약 10~20 mm 깊이의 물이 고인 상태이다. 표 3과 4는 견인 실험을 실시한 두 포장의 토양 조건을 나타낸 것이고, 그림 3은 경반이 깊은 논에서 측정한 원추 지수의 변화를 나타낸 것이다. 경반에 이를 때까지 원추지수는 최대 100~200kPa까지 서서히 증가하였으나 경반에서는 800kPa 이상으로 급격히 증가하였다. 토양의 토성은 미 농무성(USDA)법을 이용하여 결정하였으며, 원추지수는 미국 농공학회 표준(ASAE Standard S313.2)에서 제시한 정각과 밀면적이 각각 30°, 323 mm²인 원추를 사용하여 30 mm/s의 관입 속도로 측정하였다. 토양의 점성, 내부 마찰

Table 4 Soil properties of test field with deep hardpan

| | |
|------------------------------|-----------------|
| Soil type | Sandy clay loam |
| Cohesion (kpa) | 11.9 |
| Internal friction angle, ° | 17.5 |
| Adhesion (kpa) | 4.8 |
| Soil metal friction angle, ° | 10.4 |
| Moisture content (% d.b.) | 40.7 |
| Liquid limit (%) | 56.6 |
| Plastic limit (%) | 40.7 |
| Specific weight | 2.6 |

Table 5 Combination of design parameters of cage wheel for traction test

| Design parameter | Shallow hardpan | | Deep hardpan | | | |
|------------------|-----------------|-------|--------------|-------|-------|-------|
| | | | | | | |
| Lug angle (°) | 15 | | 15 | | | |
| | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | 75 | | 60 | | | |
| Diameter (mm) | 1,182 | 1,182 | 1,182 | 1,182 | 1,182 | 1,262 |
| Width (mm) | 300 | 300 | 300 | 300 | 200 | 300 |
| Lug pitch (mm) | 232 | 310 | 232 | 310 | 232 | 248 |

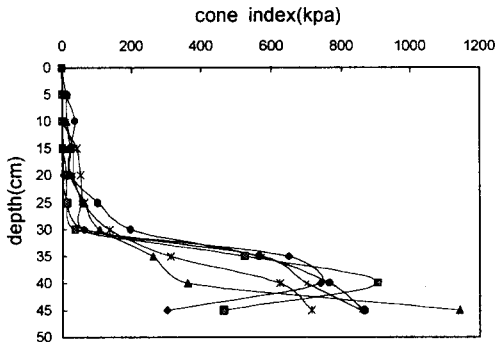


Fig. 3 Cone index measured at test field when hardpan is deep.

각, 부착력, 외부 마찰각은 SR2 토양 시험기를 이용하여 측정하였다.

(2) 시험 방법

케이시 휠의 설계 변수는 러그 각, 러그 피치, 휠의 폭, 휠의 지름으로 하였으며, 이를 변화시키며 견인 실험을 수행하였다. 견인 실험에서 설계 변수의 조합은 표 5에서와 같이 하였다.

시험 트랙터의 기관 속도는 2,000 rpm으로 유지하였으며, 30초간 직진으로 주행하면서 시험 트랙터의 견인력, 견인속도, 구동축 토크와 각 속도를 각각 측정 기록하였다. 처음 20초 동안은 부하 트랙터의 변속기를 중립 위치에 놓고 견인하였으며, 다음 10초 동안은 시험 트랙터의 슬립이 증가하도록

부하 트랙터의 브레이크를 작동시켜 견인 부하를 증가시켰다.

시험 트랙터는 2륜 구동으로 하였으며, 경반이 얇은 곳에서는 견인속도를 M2단(4.1 km/h)으로 하였다. 경반이 깊은 곳에서는 M2단에서 슬립이 발생하여 견인 실험을 할 수 없었기 때문에 부하 트랙터를 승용 이양기로 대체한 후 M2단과 M1단(2.9 km/h)으로 견인하였다.

경반이 깊은 눈에서는 좌우 구동 타이어 자국을 따라 각각 3곳을 선정하여 50 mm 깊이로 원추지수를 측정하고 이를 평균하여 타이어 자국이 난 부분의 토양 강도를 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 견인성능

케이시 휠의 견인성능은 견인력과 견인 효율로써 나타내었다. 각 실험 조건에서 측정된 견인력과 견인 효율은 그 값이 분산되어 있기 때문에 이를 직접 비교하기는 어렵다. 따라서, 비교의 편의를 위하여 슬립의 함수로서 견인력과 견인 효율에 대한 실험식을 유도하여 이를 비교하였다. 실험식은 Wismer-Luth 식(1974)을 적용하여 식 (1), (2)와 같이 모형화하였으며, 상수 A, B, C, D는 SAS 프로그램을 이용하여 비선형 회귀식으로 결정하였다.

$$P = A(1 - e^{BS}) \dots\dots\dots (1)$$

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

여기서 P = 견인력
 TE = 견인 효율
 S = 슬립

나. 경반이 얇은 논외의 경우

(1) 러그 각의 영향

경반이 얇은 논에서 러그 각이 견인력과 견인 효율에 미치는 영향은 그림 4~그림 7에서와 같다. 케이지 휠의 폭과 지름을 각각 300 mm와 1,182 mm로 고정하였고, 러그 피치는 232 mm와 310 mm 두 종류로 하였다. 러그 각은 각 러그 피치에 대하여 15°, 30°, 45°, 75° 4수준으로 변화시켰다. 케이지 휠을 부착하지 않고 타이어만을 사용하였을 때의 견인성능도 함께 비교하였다.

그림 4에서와 같이 러그 피치가 232 mm인 경우, 러그 각에 따른 견인력 차이는 슬립이 30% 이하이면 나타나지 않았다. 그러나 슬립이 30% 이상이면 러그 각이 증가할수록 견인력은 감소되었다. 러그 각이 75°일 때는 100%의 슬립이 발생하여 부하 트랙터의 견인이 불가능하였다. 이는 러그 각이 증가할수록 러그의 실제 접지 면적이 증가하여 232 mm와 같은 작은 러그 간격에서 충분한 견인력을 얻을 수 있는 단단한 토양까지 케이지 휠이 침하하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

다. 최대 견인력을 얻기 위해서는 케이지 휠이 경반까지 침하되어야 한다. 그러나 이 경우에도 운동 저항이 증가되기 때문에 무조건 케이지 휠을 경반까지 침하시킬 수는 없다. 견인 효율에서는 그림 5에서와 같이 러그 각의 영향은 슬립에 관계없이 크게 나타나지 않았으며, 최대 견인 효율은 슬립이 20% 정도일 때 약 53% 정도이었다. 케이지 휠에 의한 견인성능은 타이어만을 사용하였을 때보다 견인력에서 최대 114%, 견인 효율에서 최대 32% 향상되었다.

러그 피치가 310 mm인 케이지 휠의 경우에는 그림 6에서와 같이 러그 각이 45°일 때 견인력이 가장 크게 나타났으며, 러그 각이 75°일 때는 오히려 견인력이 감소되었다. 견인 효율은 그림 7에서

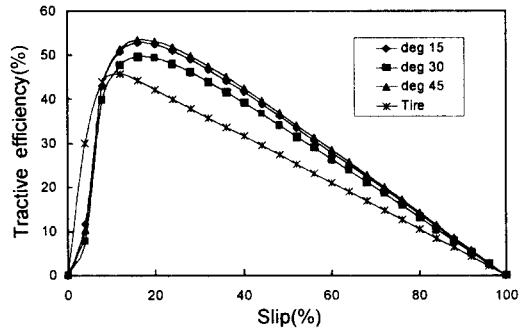


Fig. 5 Effects of lug angle on tractive efficiency of a 232 mm lug pitch, 300 mm width and 1,182 mm diameter cage wheel.

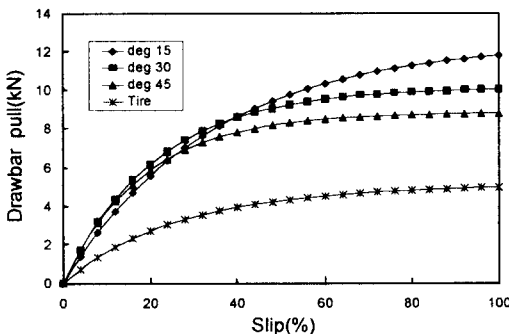


Fig. 4 Effects of lug angle on drawbar pull of a 232 mm lug pitch, 300 mm width and 1,182 mm diameter cage wheel.

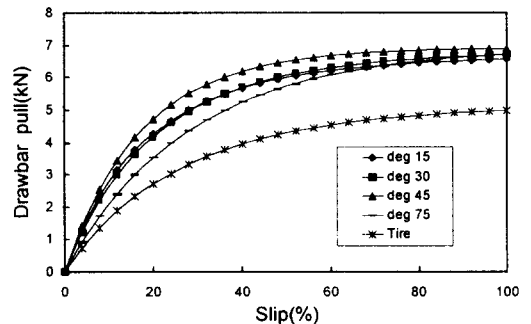


Fig. 6 Effects of lug angle on drawbar pull of a 310 mm lug pitch, 300 mm width and 1,182 mm diameter cage wheel.

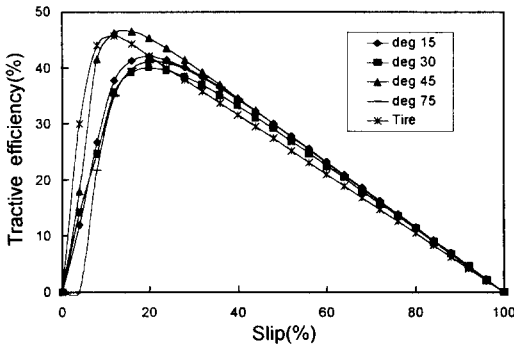


Fig. 7 Effect of lug angle on tractive efficiency with a 310 mm lug pitch, 300 mm width and 1,182 mm diameter cage wheel.

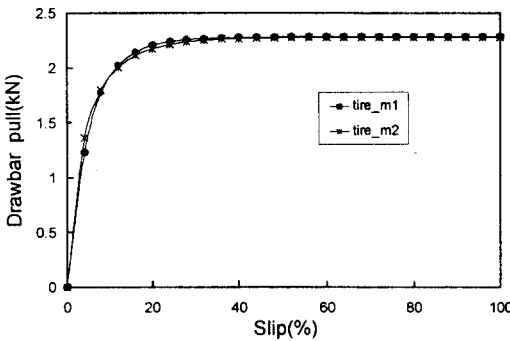


Fig. 8 Drawbar pull of tractor by tire only in hardpan is deep field.

와 같이 러그 각에 의한 영향은 크게 나타나지 않았다.

케이지 휠을 부착하면 타이어만을 사용한 경우에 비하여 모든 러그 각에서 견인력이 향상되었다. 견인 효율도 모든 러그 각에서 타이어만을 사용한 경우와 비교하여 큰 차이는 없었으나 향상되는 경향을 나타내었다. 이는 케이지 휠을 장착하였을 때 구름 저항의 증가보다 견인력의 증가가 더 컸기 때문인 것으로 판단된다.

(2) 러그 피치의 영향

그림 4와 6, 그림 5와 7을 다시 비교하여 러그 피치가 견인성능에 미치는 영향을 조사하였다. 러그 각이 같을 때 견인력과 견인 효율은 러그 피치가 작은 232 mm일 때가 피치가 큰 310 mm일 때보다 우수하였다. 이는 러그 피치가 작을수록 러

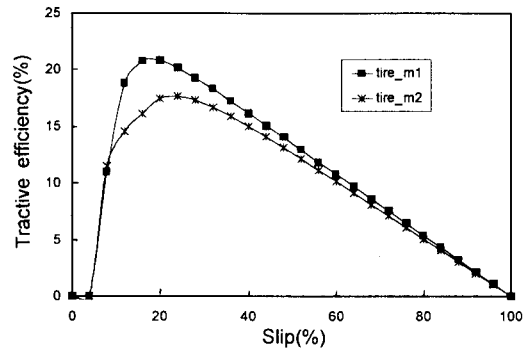


Fig. 9 Tractive efficiency of tractor by tire only in hardpan is deep field.

그 수가 증가되어 견인성능이 향상되는 것으로 판단된다. 그러나 러그 피치가 작으면 러그 사이에 흙이 부착되어 주행 성능이 저하되므로 토양에 따라 적절한 러그 피치가 필요한 것으로 판단된다.

다. 경반이 깊은 논 의 경우

(1) 타이어만을 부착하였을 때 견인성능

경반이 깊은 논에서 타이어만을 부착하였을 때 트랙터의 견인력과 견인 효율은 각각 그림 8과 9에서와 같다. 견인력은 견인속도에는 영향을 받지 않았으며, 슬립이 30% 이상이면 슬립에 따라 크게 증가하지 않았다. 토양의 함수비가 40.7%로서 높았기 때문에 슬립이 증가되면 타이어에 흙이 부착되어 견인 부하가 더욱 증가되는 현상이 나타났

다. 견인 효율은 그림 9에서와 같이 견인속도가 저속일 때 약간 증가하였으나 그 차이는 크지 않으며, 경반이 얇은 논에 비해서는 54% 정도 감소되었다.

타이어 자국에서 측정된 콘지수는 699 kPa로서 타이어만을 부착하였을 때는 비교적 단단한 토양까지 트랙터가 침하되는 것으로 판단된다.

(2) 러그 각의 영향

그림 10~그림 13은 케이지 휠의 지름을 1,182 mm, 러그 피치를 232 mm로 고정하고 M1과 M2의 견인속도에서 러그 각이 견인력과 견인 효율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이 때 러그 각은 15°, 30°, 45°, 60°로 변화시켰다.

M1단에서 케이지 휠을 부착한 트랙터의 견인력

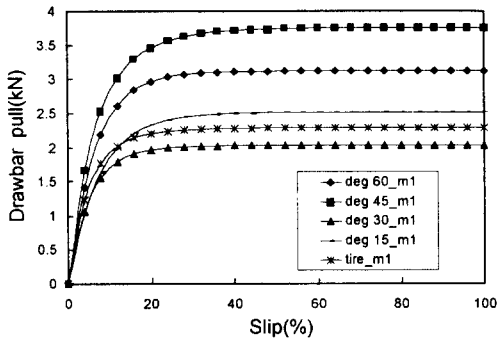


Fig. 10 Effect of lug angle on drawbar pull with a 232 mm lug pitch, 300 mm width and 1,182 mm diameter cage wheel at M1 gear.

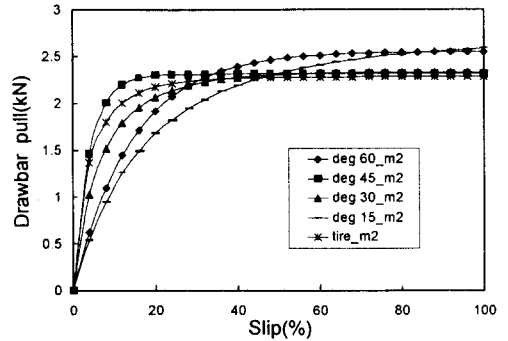


Fig. 12 Effect of lug angle on drawbar pull with a 232 mm lug pitch, 300 mm width and 1,182 mm diameter cage wheel at M2 gear.

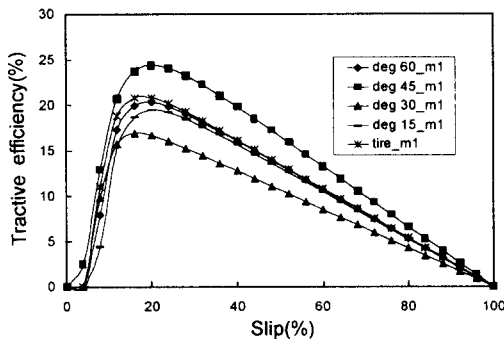


Fig. 11 Effect of lug angle on tractive efficiency with a 232 mm lug pitch, 300 mm width and 1,182 mm diameter cage wheel at M1 gear.

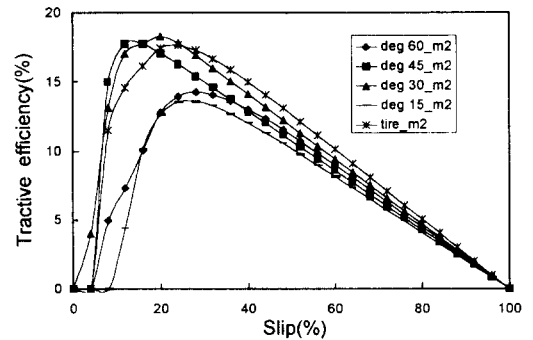


Fig. 13 Effect of lug angle on tractive efficiency with a 232 mm lug pitch, 300 mm width and 1,182 mm diameter cage wheel at M2 gear.

은 그림 10에서와 같이 러그 각이 45°와 60°일 때 타이어만을 부착한 경우보다 각각 최대 48%와 36% 증가되었으며, 케이지 휠의 보조 역할이 확실하게 나타났다. 그러나, 러그 각이 15°와 30°일 때는 러그와 러그 사이에 흙이 부착되어 견인력이 감소되는 것으로 판단된다. M1단에서 슬립이 30% 이상이면 견인력은 슬립이 증가하여도 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

M2단에서는 그림 12와 13에서와 같이 러그 각에 관계없이 견인력과 견인 효율에서 모두 케이지 휠의 효과가 나타나지 않았다. M1단에 비하여 견인력이 작은 이유는 견인속도의 증가에 따라 구름

저항이 증가되기 때문인 것으로 판단된다.

타이어 자국에서 측정된 원추지수는 360 kPa로서 케이지 휠을 부착하면 케이지 휠이 트랙터 하층의 일부를 지지하여 타이어의 접지압과 트랙터의 침하를 감소시키는 것으로 판단된다. 즉, 케이지 휠에 의하여 습지에서 트랙터의 작업 능력이 향상된다고 할 수 있다. 그러나 접지압의 감소는 토양 반력의 감소를 초래하여 견인 작업에서는 슬립이 증가하고 견인력과 견인 효율이 감소되는 원인이 된다. 즉, 접지압이 감소되면 타이어와 케이지 휠이 경반까지 침하되지 않고 중간층의 연약한 토양에서 견인력을 얻기 때문에 큰 견인력을 얻을

수 없는 것으로 판단된다.

견인 효율도 견인력에서와 같이 러그 각이 45°, 주행 단수가 M1일 때 케이지 휠에 의한 효과가 나타났으며, 다른 조건에서는 타이어만을 부착한 경우보다 오히려 감소되었다. 견인 효율의 감소는 차륜 폭의 증가로 인한 구름 저항과 낮은 접지압에서의 슬립 때문인 것으로 판단한다.

(3) 러그 피치의 영향

그림 14와 15는 케이지 휠의 지름을 1,182 mm로 고정하고 러그 피치를 310 mm로 증가시킨 후 견인속도를 M1단과 M2단으로 하였을 때, 러그 각이 견인력과 견인 효율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 이 때 러그 각은 30°와 45°로 변화시켰다.

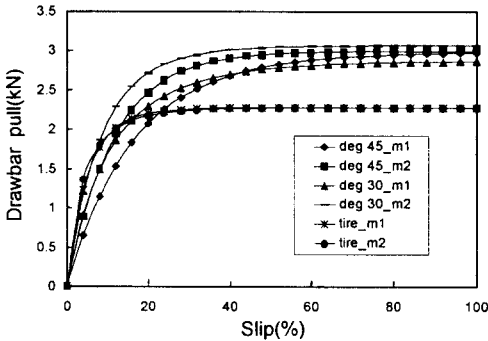


Fig. 14 Effect of lug angle on drawbar pull with a 310 mm lug pitch, 300 mm lug width and 1,182 mm diameter cage wheel.

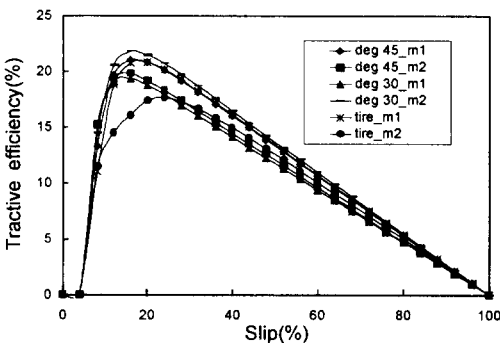


Fig. 15 Effect of lug angle on tractive efficiency with a 310 mm lug pitch, 300 mm lug width and 1,182 mm diameter cage wheel.

견인력은 타이어만을 부착하였을 때보다 30% 이상 크게 향상되었으며, 뚜렷한 케이지 휠의 효과가 나타났다. 슬립이 40%에 이를 때까지 견인력은 슬립의 증가에 따라 크게 증가되었다. 그러나 40% 이하의 슬립에서는 러그 각이 45°일 때보다 30°일 때 견인력이 더 컸으며, 높은 슬립에서도 러그 사이에 흙이 부착되는 현상은 나타나지 않았다. 이는 러그 피치가 232 mm인 경우와는 반대되는 현상이다.

타이어 자국에서 측정된 원추지수는 564 kPa 이었으며, 러그 피치가 232 mm일 때보다 증가되었다. 이는 토양과 케이지 휠의 접촉 면적이 러그 피치가 232 mm일 때보다 감소되었기 때문이며, 접지압의 증가는 견인력 향상의 원인이 된 것으로 판단된다.

견인 효율도 M2단에서 러그 피치가 232 mm일 때보다 17% 이상 크게 향상되었다.

경반이 얇은 논에서는 러그 피치를 증가시켜 단단한 경반까지 트랙터를 침하시키는 것이 큰 견인력을 얻을 수 있는 방법으로 생각된다. 그러나 경반이 깊은 논에서는 러그 피치를 작게하여 트랙터의 침하를 감소시켜야 하며, 이러한 조건에서는 큰 견인력이 요구되는 쟁기 작업은 적합하지 않다.

(4) 차륜 폭의 영향

그림 16과 17은 러그 폭을 200 mm로 줄이고, 러그 피치를 232 mm, 지름을 1,182 mm로 하였을 때 M1단과 M2단의 견인속도에서 러그 각이 견인력과 견인 효율에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

M2단에서 케이지 휠을 부착하였을 때의 견인력은 러그 각이 30°이고 슬립이 30% 이하인 경우를 제외하고는 케이지 휠을 부착하지 않았을 때보다 모두 커서, 케이지 휠의 효과가 나타났다.

타이어 자국에서 측정된 원추지수는 590 kPa이었다. 케이지 휠의 폭이 300 mm인 경우와 비교하면 폭이 감소됨으로서 원추지수와 접지압이 증가되었다.

러그 피치가 310 mm인 경우와 비교하면 타이어 자국의 원추지수는 큰 차이가 없었으나 견인력과 견인 효율은 모두 낮게 나타났다. 따라서, 동일한 접지압에서는 러그 피치와 휠의 폭이 큰 케이지 휠이 견인성능을 높이는 데 효과적인 것으로 판단된다.

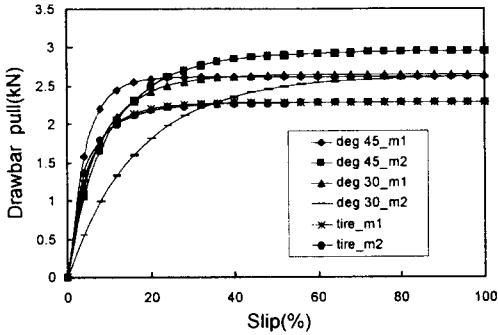


Fig. 16 Effect of lug angle on drawbar pull with a 232 mm lug pitch, 200 mm lug width and 1,182 mm diameter cage wheel.

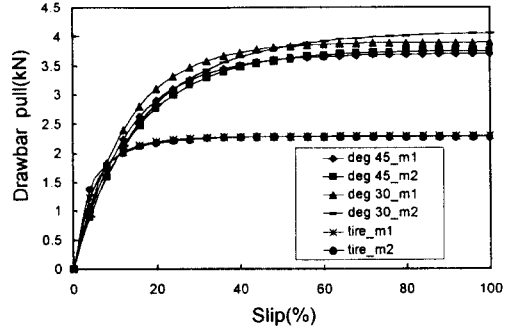


Fig. 18 Effect of lug angle on drawbar pull with a 248 mm lug pitch, 300 mm lug width and 1,262 mm diameter cage wheel.

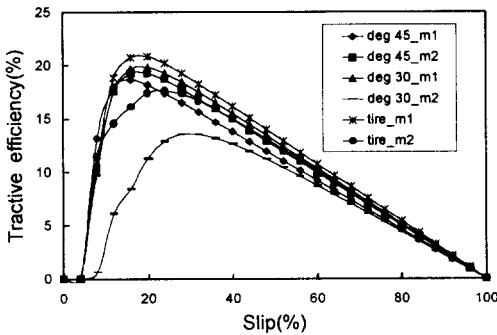


Fig. 17 Effect of lug angle on tractive efficiency with a 232 mm lug pitch, 200 mm lug width and 1,182 mm diameter cage wheel.

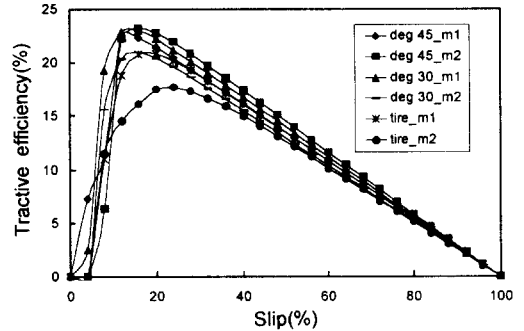


Fig. 19 Effect of lug angle on tractive efficiency with a 248 mm lug pitch, 300 mm lug width and 1,262 mm diameter cage wheel.

(5) 케이지 휠 지름의 영향

그림 18과 19는 케이지 휠의 폭을 300 mm, 러그의 피치를 248 mm로 하고, 지름을 1,262 mm로 증가시켰을 때 M1단과 M2단의 견인속도에서 러그 각이 견인력과 견인 효율에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

케이지 휠의 지름을 증가시켰을 때 견인력은 4개의 작업 조건에서 모두 케이지 휠이 없을 때보다 47% 이상 향상되었으며, 견인 효율도 증가하는 추세를 나타내었다. 따라서, 케이지 휠의 지름이 견인성능에 가장 큰 영향을 미치는 설계 변수로 판단된다.

케이지 휠의 반경이 타이어의 동반경보다 큰 경우에는 케이지 휠이 타이어보다 더 단단한 토양과

접촉하기 때문에 케이지 휠의 효과가 확실하게 나타나는 것으로 판단된다.

타이어 자국에서 측정된 원추지수는 359 kPa로서, 러그 피치가 증가되었지만 휠의 지름의 증가로 접지 면적이 증가되어 접지압이 낮아진 것으로 판단된다. 그러나 낮은 접지압에서도 케이지 휠에 의한 견인력 제고 효과가 크기 때문에 트랙터의 습지 적응력은 향상될 것으로 판단된다.

견인 효율에서도 다른 설계 변수보다는 케이지 휠 지름의 영향이 가장 크게 나타났다.

따라서, 휠의 지름을 증가시키는 것이 케이지 휠의 효과를 제고할 수 있는 가장 기본적인 방법이라고 판단된다.

4. 요약 및 결론

케이지 휠을 트랙터의 습지용 보조 차륜으로 사용하기 위하여 케이지 휠의 설계 변수가 트랙터의 견인성능에 미치는 영향을 실험적으로 구명하였다. 트랙터의 후륜 구동 타이어에 부착되는 실험용 케이지 휠을 설계 제작하여 경반이 얇은 논과 깊은 논에서 견인성능 실험을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 견인성능 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 러그 피치가 견인성능에 미치는 영향은 경반의 깊이, 토양의 성질, 러그 각에 따라 변화되는 것으로 나타났다. 경반이 얇은 사질토에서의 견인력은 러그 피치가 232 mm일 때가 310 mm일 때보다 우수하였다. 러그 피치가 작을수록 러그 수가 증가되기 때문에 경반이 얇은 토양에서는 견인력과 견인 효율을 높이는 데 러그 피치가 작은 것이 유리한 것으로 판단된다.

경반이 깊은 사질 점양토에서는 러그 피치가 232 mm일 때 타이어 자국에서 측정된 원추지수는 360 kPa로서 습지 작업이 가능한 수준이었다. 그러나 러그 각이 작을 때는 슬립이 증가함에 따라 러그 사이에 흙이 부착되어 견인성능이 떨어진다. 러그 피치를 310 mm로 증가시켰을 때는 원추지수가 564 kPa로 증가되어 견인성능이 향상되었다.

경반의 깊이가 30 cm 이내이면 러그 피치를 크게 하여 접지압을 높이는 것이 케이지 휠의 효과를 높일 수 있는 방법으로 판단된다.

(2) 경반이 얇은 사질토에서 러그 피치를 232 mm로 하였을 경우, 슬립이 30% 이상일 때는 러그 각이 작을수록 높은 견인력이 나타났으나 30% 이하의 슬립에서는 차이가 없었다. 러그 피치를 310 mm로 크게 하였을 때는 러그 각이 45°일 때 견인성능이 가장 우수하였으며, 러그 각이 75°일 때는 러그 피치에 관계없이 견인성능이 저하되었다.

경반이 깊은 사질 점양토에서도 러그 피치가

232 mm이면 러그 각이 45°일 때 견인성능이 높았으나 다른 조건에서는 러그 각이 견인성능에 미치는 영향이 나타나지 않았다.

(3) 케이지 휠의 폭이 감소될수록 타이어의 접지압은 증가된다. 같은 접지압에서는 러그 피치가 크고 휠의 폭이 넓을수록 견인성능이 향상된다.

(4) 케이지 휠의 크기가 타이어보다 크면 견인성능이 향상된다. 케이지 휠의 크기가 클수록 낮은 접지압에서도 큰 견인력을 얻을 수 있다.

(5) 케이지 휠은 보조 차륜으로서 타이어만으로써 구동할 때보다 낮은 접지압에서 견인성능을 높일 수 있으며, 트랙터의 습지 적응력을 향상시킬 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이동렬, 김경욱 1998. 공기압이 바이어스 타이어의 견인성능에 미치는 영향. 한국농업기계학회지 23(1):1-12.
2. Kittichai T., 笈田 昭, 本多雅志. 1990. かが車輪の設計基準確立に關する研究(第1報). 農業機械學會誌 52(4):21-27.
3. CREATA. 1998. Investigation on rice field characteristics and tractor operating conditions in INDONESIA. Bogor Agri. University and Tongyang Moolsan.
4. Gee-Clough, D. and W. J. Chancellor. 1976. Pull and lift characteristics of single lugs on rigid wheels in wet rice soil. Trans. of ASAE 19(3): 433-441, 447
5. Wismer, R. D and H. J. Luth. 1974. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. Trans. of the ASAE 17(1):8-10, 14.
6. Salokhe, V. M., D. Gee-Clough and Harjono. 1990. The Measurement of forces under multiple cage wheel lugs. Proc. 10th Int. Conf. ISTVS, Kobe, 217-228P.