

## 최대 견인 출력시 트랙터 엔진의 견인 부하 분석

김수철 김경욱 김대철

### Analysis of Drawbar Load Acting on Tractor Engine at Maximum Drawbar Power

S. C. Kim K. U. Kim D. C. Kim

#### Abstract

This study was conducted to investigate the load acting on a tractor engine when it delivers the maximum power at drawbar. The results of the drawbar tests on the 5 locally-made and 14 imported tractors conducted at NIAE in 2004, and the 15 tractors tested at OECD test stations in foreign countries were analyzed and presented by the torque load ratio, defined as a ratio of the engine torque load caused by drawbar pull to its full-load capacity, as a function of pull speed. The NIAE test results showed that the torque load ratio increased from 20 to 80% with pull speed less than 5 km/h. At speeds faster than 5 km/h, it was 80~110% regardless of the pull speed. However, the OECD test results showed that the torque load ratio was evaluated mostly to be 70~90% in the entire pull speed range. The same trend was also shown for the maximum drawbar load. The difference in the torque load ratio may be attributable to bias-ply tires for locally-made and some imported tractors. It is also suggested that the input torque load may be increased safely up to 120% of the full load capacity of the tractor engine for an accelerated life test of tractor transmissions.

**Keywords :** Drawbar-load of tractor, Full-load performance

#### 1. 서론

트랙터의 작업 부하는 트랙터의 엔진 및 전동 라인의 내구성에 큰 영향을 미친다. 특히 로터리 작업과 쟁기 작업에 의한 견인 부하는 다른 작업에 비하여 부하의 크기가 크고 변동이 심하기 때문에 내구성에 미치는 영향도 클 것으로 판단된다. 따라서 트랙터 작업에 의하여 엔진 및 전동 라인에 작용하는 최대 부하의 정도를 구명하고 이를 엔진의 전부하 토크 성능과 비교하면 이들이 트랙터의 내구성에 미치는 영향을 추정할 수 있을 것이다. 또한 트랙터 작업의 최대 부하 수준을 구명하면 엔진 및 변속기에 대한 가속 시험 또는 내구성 시험의 시험 부하를 합리적으로 결정할 수 있을 것이다.

국내 농기계 산업이 기술적으로 취약한 부분의 하나인 시

험 평가 기술을 향상시키기 위해서는 각종 농작업의 부하 수준을 구명하고 이를 이용하여 시험 부하와 시험 시간을 합리적으로 결정할 수 있는 방법을 개발하여야 한다. 시험 부하가 실제의 작업 부하보다 클 경우에는 시험 시간을 단축할 수는 있으나 실제 작업에서 일어나지 않는 고장을 유발할 수 있으며, 작을 경우에는 시험 시간이 길어지고 실제 작업 환경을 제대로 반영하지 못하여 신뢰할 수 없는 시험 결과를 초래할 수 있다.

본 연구에서는 대표적인 트랙터 시험의 하나인 견인 출력 시험을 대상으로 엔진에 작용하는 견인 부하를 엔진의 전부하 성능과 비교하여 분석하였다. 즉, 견인 부하시 엔진에 작용하는 부하 토크가 엔진의 전부하 토크의 몇 % 정도인지를 구명하고자 하였다.

The article was submitted for publication on 2009-01-29, reviewed on 2009-03-10, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-04-06. The authors are Soo Chul Kim, Graduate Student, and Kyeong Uk Kim, Professor, KSAM member, Dept. of Biosystems and Biomaterials Science and Engineering, and Institute for Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea, and Dae Chul Kim, Senior Researcher, Technical Center Tongyang Moolsan Co., Gongju, Korea. Corresponding author: K. U. Kim, Professor, Dept. of Biosystems and Biomaterials Science and Engineering, and Institute for Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea; E-mail: <kukim@snu.ac.kr>.

**Table 1** Drawbar performance in selected gears of D701 Tractor (NIAE, 2004)

Gear step	Power, ps	Pull, kgf	Travel speed, km/h	Engine speed, rpm	Wheel slip, %	Specific fuel consumption, g/psh	Specific energy, psh/L	Temperature			Atmospheric conditions		
								Fuel, °C	Coolant, °C	Engine oil, °C	Temp., °C	Relative humidity, %	Pressure, kPa
L-3	6.9	2492	0.75	2325	15.0	1029	0.809	45	88	101	30	41	101.4
L-4	10.8	2472	1.18	2315	15.0	722	1.153	50	88	108	30	41	101.4
M-1	17.0	2496	1.84	2310	15.0	517	1.611	50	88	108	30	41	101.4
M-2	24.3	2454	2.67	2307	15.0	403	2.063	45	88	108	30	41	101.4
M-3	32.7	2462	3.59	2298	15.0	346	2.402	46	88	109	30	41	101.4
M-4	50.5	2428	5.61	2258	15.0	280	2.974	46	88	110	27	40	101.4
H-1	59.2	1799	8.89	2200	5.6	242	3.439	46	88	110	27	46	101.4
H-2	57.5	1155	13.43	2203	2.2	251	3.310	46	88	110	27	43	101.4
H-3	53.7	788	18.39	2200	0.8	268	3.108	45	88	112	27	44	101.4

## 2. 재료 및 방법

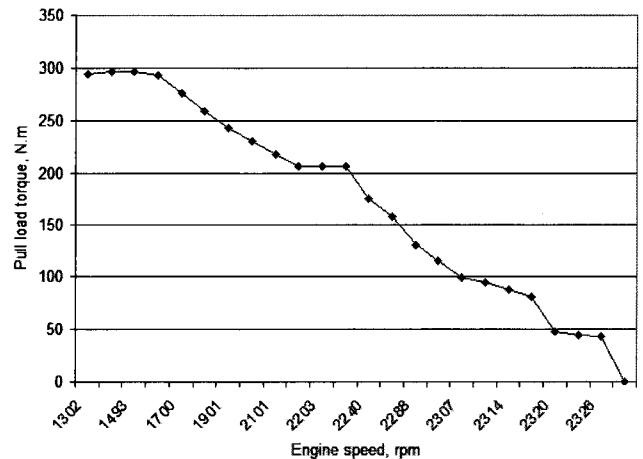
### 가. 견인 출력 시험 데이터

트랙터의 변속 단수별 견인 출력 시험은 각 변속 단수에서 트랙터의 최대 견인 출력을 결정하기 위한 시험으로서, 이 시험으로 결정된 견인 출력은 해당 시험 속도에서 최대 견인 부하가 작용할 때의 출력이다. 변속 단수별 견인 출력 시험 방법은 OECD 시험 코드 2 (OECD, 2007), ISO 789-9 (ISO, 1990) 등으로 표준화되어 있으며, 국내에서도 OECD 시험 코드 2에 따라 시험하고 있다. 견인 출력 시험의 결과는 측정 데이터로서 변속 단수별 견인 출력, 견인력, 주행 속도, 엔진 속도, 구동륜의 슬립, 연료 소비율 등이 제시된다. 표 1은 한 예로서 농업공학연구소에서 시험한 D701 트랙터에 대한 변속 단수별 견인 출력 시험 결과를 나타낸 것이다(NIAE, 2004).

본 연구에서는 견인 출력 시험 데이터로서 농업공학연구소에서 2004년도에 시험한 국산 트랙터 5대, 수입 트랙터 14대에 대한 시험 결과 (NIAE, 2004)와 CEMAGREF (2006a, 2006b), CFMITT (2007), COTTEC (2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 2007, 2008), DLG (2005a, 2005b, 2005c), NIAE (2007a, 2007b), NTTL (2006), SRI (2005) 등 OECD 인정 트랙터 시험소에서 시험한 총 15대의 트랙터에 대한 시험 결과를 이용하였다.

### 나. 전부하 성능 곡선

트랙터 엔진의 전부하 성능 곡선은 엔진 속도의 함수로서 엔진이 전달할 수 있는 최대 토크를 나타낸 것으로, 변속 단수별 견인 출력 시험 결과와 함께 트랙터 시험 성적으로 제시된다. 그림 1은 트랙터의 시험 성적으로 제시된 표 1의 D701 트랙터 엔진에 대한 전부하 성능 곡선을 나타낸 것이다.



**Fig. 1** Full-load engine torque vs. speed curve of D701 tractor.

### 다. 엔진의 견인 부하 토크

변속 단수별 최대 견인 출력에서 엔진에 작용하는 견인 부하 토크는 변속 단수별 견인 출력 시험 성적으로 제시된 견인력, 주행 속도, 엔진 속도를 이용하여 식 (1)에서와 같이 추정하였다. 이때 엔진과 구동륜 사이의 감속비와 구동륜의 동반경도 트랙터 시험 성적서에 제시된 값을 이용하였으며, 전동 효율은, 트랙터에 따라 차이가 있으나 출력 손실이 없는 것으로 가정하여, 1.0으로 하였다.

$$T_e = \frac{F \cdot r_d}{U\eta} \tag{1}$$

where,  $T_e$  = Torque load acting on engine, N.m

$F$  = Pull load, N

$r_d$  = Dynamic radius of driving wheel, m

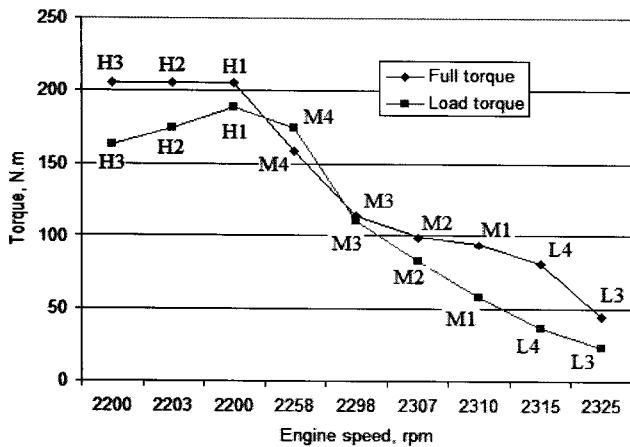
$U$  = Reduction ratio between engine and driving wheel

$\eta$  = Transmission efficiency, decimal

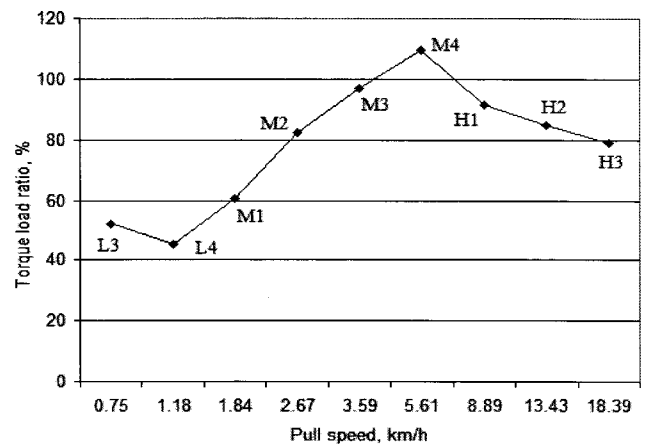
**Table 2** Analysis of drawbar-pull and full-load performance of D701 tractor\*

Gear steps	Reduction ratio	Data from tractor test report					Estimated engine load		Torque load ratio, %
		Engine speed, rpm	Full load torque, N.m	Pull, N	Travel speed, km/h	Slip, %	Torque, N.m	Power, kW	
H-3	33	2200	206.11	7730.28	18.39	0.8	162.80	37.51	78.99
H-2	45	2203	205.81	11330.55	13.43	2.2	174.99	40.37	85.03
H-1	65	2200	206.11	17648.19	8.89	5.6	188.70	43.47	91.55
M-4	95	2258	158.82	23818.68	5.61	15	174.25	41.20	109.71
M-3	151	2298	114.58	24152.22	3.59	15	111.16	26.75	97.02
M-2	204	2307	99.38	24073.74	2.67	15	82.02	19.81	82.53
M-1	297	2310	94.37	24485.76	1.84	15	57.30	13.86	60.72
L-4	461	2315	81.03	24250.32	1.18	15	36.56	8.86	45.12
L-3	732	2325	44.54	24446.52	0.75	15	23.21	5.65	52.11

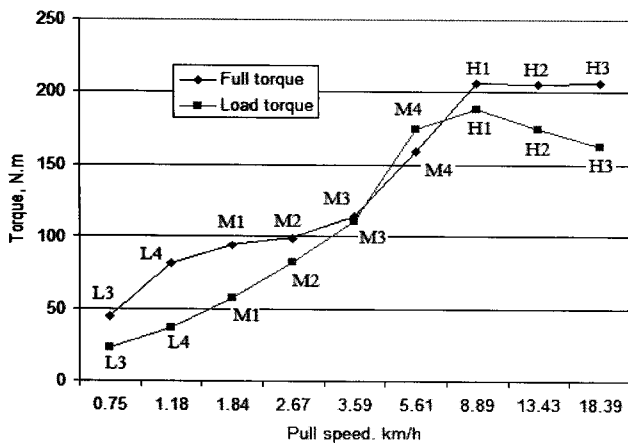
\* Dynamic wheel radius of D701 tractor: 0.695 m



**Fig. 2** Full and tractive loads for D701 tractor by engine speed.



**Fig. 4** Torque load ratio of D701 tractor.



**Fig. 3** Full and tractive loads for D701 tractor by pull speed.

최대 견인 출력시 견인 부하에 의하여 엔진에 작용하는 부하 토크의 정도를 나타내기 위하여 식 (2)에서와 같이 토크 부하비를 정의하였다. 즉 토크 부하비는 엔진의 전부하 토크

에 대한 최대 견인 출력시 엔진에 작용하는 부하 토크의 비로서 정의하였다.

Ratio of torque load (%)

$$= \frac{\text{Torque load at engine by pull}}{\text{Engine torque at full load}} \times 100 \quad (2)$$

표 2는 엔진의 견인 부하 토크 분석의 예로서 D701 트랙터의 견인 출력 시험 데이터, 엔진의 전부하 토크, 변속 단수별 감속비, 구동륜의 동반경을 이용하여 구한 변속 단수별 엔진의 견인 부하 토크와 토크 부하비를 나타낸 것이다. 그림 2와 3은 표 2의 분석 결과를 이용하여 엔진의 전부하 토크와 견인 부하 토크를 각각 엔진 속도와 견인 속도의 함수로서 나타낸 것이다. 그림에서 1, 2, 3, 4는 주변속을 L, M, H는 주변속으로서 저속, 중속, 고속 변속 단수를 나타낸 것이다. 즉, L4는 저속 4단, M3는 중속 3단 등과 같다. 그림 4는 식 (2)로써 구한 D701 트랙터의 부하 토크비를 견인 속도에 따라 나타낸 것이다.

국내에서 시험한 국산 트랙터 5대, 수입 트랙터 14대 총 19대의 트랙터와 해외에서 시험한 16대의 트랙터에 대한 견인 출력 시험과 전부하 성능 시험 결과를 표 2에서와 같이 분석하여 엔진의 토크 부하비를 결정하고 이를 이용하여, 변속 단수, 감속비, 최대 견인력에 따른 토크 부하비의 변화를 구명하였다. 그림 2와 그림 3에서 M4의 경우 부하 토크가 전부하 성능보다 큰 현상이 나타났으나, 이는 기록 착오이거나 측정 에러의 가능성이 있을 것으로 판단된다. 그러나 분석에 사용된 다른 데이터에서는 이러한 현상이 없었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 견인 속도와 토크 부하비

그림 5와 그림 6은 각각 국내에서 시험한 국산 트랙터 5대와 수입 트랙터 14대에 대한 토크 부하비를 견인 속도의 함수로서 나타낸 것이다. 그림 5와 그림 6에서 보는 바와 같이 견인 속도가 저속일 때는 토크 부하비가 낮고 고속일 때는 높았다. 국산 트랙터의 경우 견인 속도가 5 km/h 이하일 때는, 견인 속도가 저속일수록 토크 부하비가 낮았으며 최소

20% 정도까지 낮았다. 5 km/h 이상일 때는 80~110% 정도이었다. 즉, 저속일수록 전부하 성능을 활용하는 정도가 낮았다. 수입 트랙터의 경우에도 견인 속도가 5 km/h 이하일 때는 토크 부하비가 40% 정도까지 낮았다. 그러나 5 km/h 이상일 때는 큰 차이가 없었다.

그림 7은 OECD 코드 2에 따라 해외에서 시험한 15대의 외산 트랙터에 대한 토크 부하비를 견인 속도의 함수로서 나타낸 것이고, 그림 8과 9는 그림 7에서 중국산 트랙터와 유럽

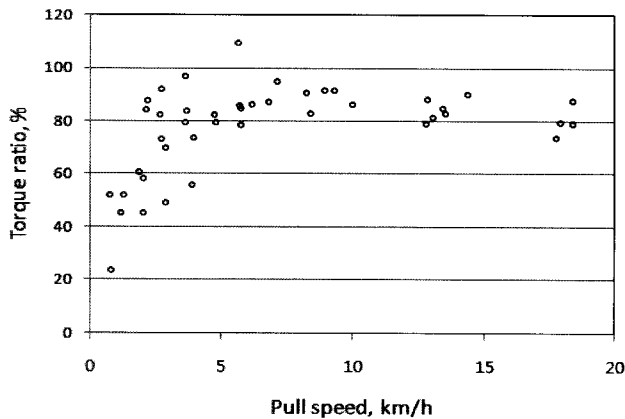


Fig. 5 Torque load ratio of locally-made tractors tested in Korea.

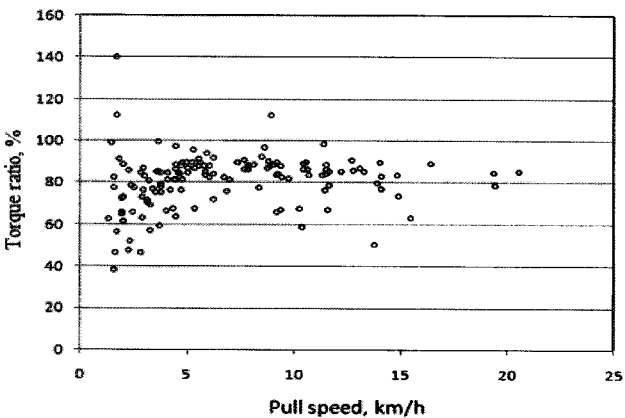


Fig. 6 Torque load ratio of imported tractors tested in Korea.

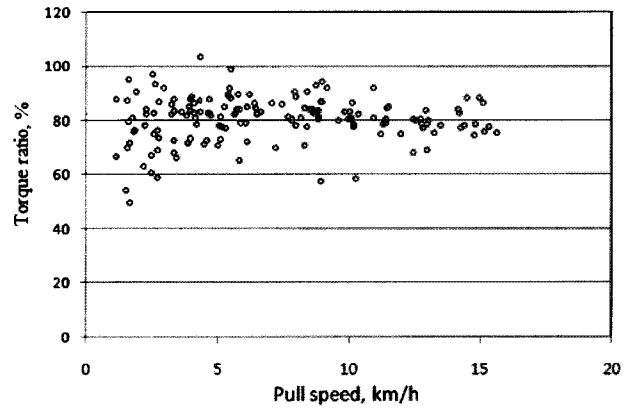


Fig. 7 Torque ratio of tractors tested in foreign countries.

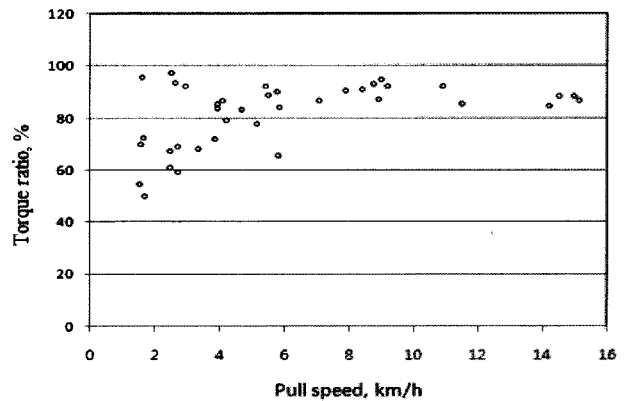


Fig. 8 Torque ratio of Chinese-made tractors tested in China.

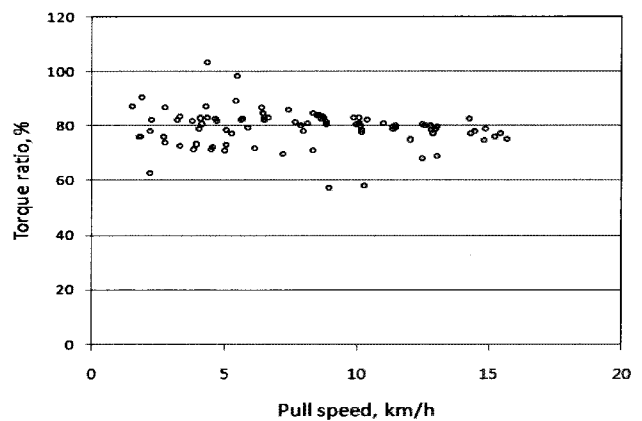


Fig. 9 Torque ratio of European tractors tested in Europe.

산 트랙터를 분리하여 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 중국산 트랙터의 경우에도 5 km/h 이하의 견인 속도에서는 토크 부하비가 50% 정도까지 낮았다. 5 km/h 이상의 견인 속도에서는 80~100%의 범위로서 높았다. 유럽산 트랙터의 경우에는 전 견인 속도의 범위에서 60~110%이었으나 대부분은 70~90%로서 변화의 폭이 크지 않았다. 이는 국내에서 시험한 트랙터와 중국산 트랙터의 경우 저속일수록 토크 부하비가 낮은 것과 비교하였을 때 큰 차이점이었다. 이러한 차이점은 국산 트랙터와 중국산 트랙터의 타이어가 바이어스 플라이 타이어이기 때문인 것으로 판단된다. 국내에서 시험한 수입 트랙터의 경우에도 바이어스 플라이 타이어를 장착하였기 때문에 같은 현상이 나타난 것으로 판단된다. 유럽에서 시험한 트랙터의 타이어는 모두 레이디얼 타이어이었다. 즉, 바이어스 플라이 타이어는 레이디얼 타이어에 비하여 지면으로 전달할 수 있는 토크가 작기 때문에 엔진 토크를 활용하는 정도도 낮은 것으로 판단된다. 레이디얼 타이어는 바이어스 플라이 타이어에 비하여 동일한 슬립 상태에서 견인 성능이 우수한 것으로 알려져 있으며, 최근 논문에 의하면 레이디얼 타이어를 장착한 트랙터에서는 견인 계수가 1.0이 넘는 경우도 보고되고 있다(Kim et al., 2005).

**나. 최대 견인력과 토크 부하비**

그림 10은 견인력이 최대일 때의 토크 부하비를 나타낸 것이다. 견인력이 최대일 때도 국내에서 시험한 트랙터의 경우에는 토크비가 30~90%이었으나, 해외에서 시험한 경우에는 70~100%로서 국내에서 시험한 경우보다 높았다.

이상의 결과를 정리하면 표 5에서와 같이 최대 견인 출력시 엔진에 작용하는 토크 부하는 전부하 토크의 20~110%이었으나 견인 속도가 5 km/h 이상인 경우에는 변속 단수에 관계 없이 토크 부하비의 범위가 감소되었다. 그러나 대부분의 토크 부하는 전부하 토크의 70~90%인 것으로 나타났다. 이러한 결과를 이용하면 엔진에서 구동륜까지의 전동 효율을 75%로 가정할 때 트랙터 변속기의 가속 수명 시험에서 입력 토크는 전부하 토크의 120%까지 안전할 것으로 판단된다.

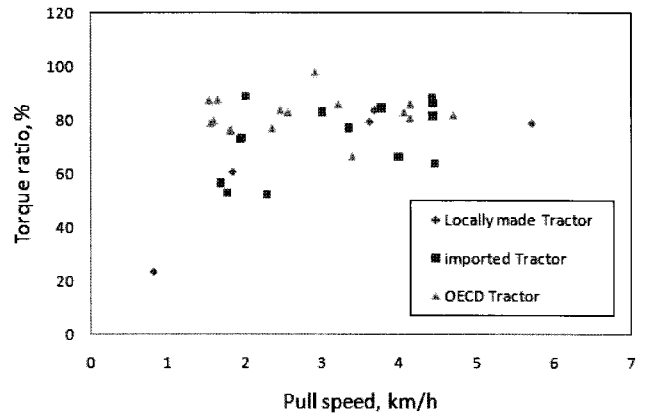


Fig. 10 Torque load ratio at maximum pull.

**4. 요약 및 결론**

본 연구는 변속 단수별 최대 견인 출력시 견인 부하에 의하여 트랙터 엔진에 작용하는 토크 부하를 구명하기 위하여 수행되었으며, 국내에서 시험한 국산 트랙터 5대, 수입 트랙터 14대 총 19대의 트랙터와 해외에서 시험한 15대의 트랙터에 대한 견인 출력 시험과 전부하 성능 시험 결과를 분석하여 엔진의 토크 부하비를 결정하고 이를 이용하여, 변속 단수, 감속비, 최대 견인력에 따른 토크 부하비의 변화를 구명하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 최대 견인 출력시 견인 부하에 의하여 트랙터 엔진에 작용하는 부하 토크는 전부하 토크의 20~110%에 이르고 있으며, 대부분은 70~90% 정도인 것으로 나타났다.
- (2) 국내에서 시험된 트랙터와 중국에서 시험한 중국산 트랙터의 경우, 토크 부하비는 견인 속도가 저속일수록 낮았으며 5 km/h 이하에서는 40% 정도까지 낮았다. 그러나 유럽에서 시험한 유럽산 트랙터의 경우에는 견인 속도에 상관없이 70~90%를 유지하였다.
- (3) 국산 트랙터와 중국산 트랙터는 유럽산 트랙터에 비하여 전부하 성능을 충분히 활용하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국산과 중국산 트랙터가 견인 성능

Table 5 Results of torque load analysis when Total analysis

Test site		Torque load ratio			Tire
		Pull Speed < 5 km/h	Pull speed > 5 km/h	Maximum pull	
Tested in Korea	Locally-made	20~100%	80~110%	30~90%	Bias ply tire
	Imported	40~100%	80~100%		
Tested in China		50~100%	80~100%	70~100%	Cross ply tire
Tested in Europe		60~110%	70~90%	70~100%	Radial ply tire

이 낮은 바이어스 플라이 타이어를 사용하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

- (4) 엔진에서 구동륜까지의 전동 효율을 75%로 가정하면 전동 라인에 대한 가속 시험시 입력 토크는 전부하 토크의 120%까지 안전하게 가할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

1. CEMAGREF. 2006a. OECD Performance Test of an Agricultural Tractor No. 15270. Groupement d'Antony Parc de tourvoie, BP 44, 92163 Antony cedex, France.
2. CEMAGREF. 2006b. OECD Performance Test of an Agricultural Tractor No. 15291. Groupement d'Antony Parc de tourvoie, BP 44, 92163, Antony cedex, France.
3. CFMITI. 2007. Report on Test in Accordance with OECD STANDARD CODE 2 for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractors No. T-589/1090/14/OECD, Central Farm Machinery Training & Test Institute, Budni-466, 455 MP, India.
4. COTTEC. 2005a. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 200507. China Official Tractor Test and Evaluation Center, Luoyang, Henan, China.
5. COTTEC. 2005b. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 200508. China Official Tractor Test and Evaluation Center, Luoyang, Henan, China.
6. COTTEC. 2005c. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 200505. China Official Tractor Test and Evaluation Center, Luoyang, Henan, China.
7. COTTEC. 2005d. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 200506. China Official Tractor Test and Evaluation Center, Luoyang, Henan, China.
8. COTTEC. 2007. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 200701, China Official Tractor Test and Evaluation Center, Luoyang, Henan, China.
9. COTTEC. 2008. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 200704. China Official Tractor Test and Evaluation Center, Luoyang, Henan, China.
10. DLG-Testing Station for Agricultural Machinery. 2005a. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 2004-006. DLG Testing Station for Agricultural Machinery. Max-Eyth-Weg 1 D-64823 Gross-Umstadt, Germany.
11. DLG-Testing Station for Agricultural Machinery. 2005b. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 2004-007. DLG Testing Station for Agricultural Machinery. Max-Eyth-Weg 1 D-64823 Gross-Umstadt, Germany.
12. DLG-Testing Station for Agricultural Machinery. 2005c. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 2004-008. DLG Testing Station for Agricultural Machinery. Max-Eyth-Weg 1 D-64823 Gross-Umstadt, Germany.
13. ISO. 1990. Standard 789-9: Agricultural Tractor -Test Procedures- Part 9: Power Test for Drawbar. International Organization for Standard, Geneva, Switzerland.
14. Kim, K. U., L. S. Bashford and B. T. Sampson. 2005. Improvement of tractor performance. Applied Engineering in Agriculture 21(6): 949-954.
15. NIAE. 2004. Agricultural Machinery Test Report 04-M-1-4~04-M-1-59. National Institute of Agricultural Engineering, Suwon, Korea.
16. NIAE. 2007a. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 06-M-5-16. National Institute of Agricultural Engineering, Suwon, Korea.
17. NIAE. 2007b. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractor Performance No. 05-M-5-5. National Institute of Agricultural Engineering, Suwon, Korea.
18. NTTL. 2006. Report on Test in Accordance with the OECD Standard Code 2 for the Official Testing of Agricultural Tractors No. 1861. Nebraska Tractor Test Laboratory, Lincoln, Nebraska, USA.
19. OECD. 2007. Code I Standard Code for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France.
20. SRI. 2005. OECD Restricted Standard Code for the Official Testing of Agricultural and Forestry Tractor Performance No. 2003-6648. Silsoe Research Institute, West Park Silsoe MK45 4HS, UK.