

## 트랙터의 조타력 특성에 관한 실험적 연구

이상식 강진석 문정환 이충호 홍종호 박원엽

### Experimental Study on Steering Torque Characteristics of Tractor

S. S. Lee J. S. Kang J. H. Moon C. H. Lee J. H. Hong W. Y. Park

#### Abstract

The purpose of this paper was to investigate experimentally the steering torque characteristics of a tractor operated in various ground conditions. The experiments were conducted with the tractor reconstructed for steering torque test of the tractor at two different off-road conditions (ground- I and ground- II) and a on-road condition (ground-III), three different levels of tire inflation pressures (69 kPa, 138 kPa and 207 kPa), and four different levels of axle loads (4120 N, 4730 N, 5340 N and 5950 N). The results of this study are summarized as follows:

- 1) The steering torque was increased with the increase in steering angle for all experimental levels of ground conditions, axle loads and inflation pressures of tire.
- 2) As the axle load increased, the steering torque of the tractor increased for all ground conditions, and the increasing rate of the steering torque with the increase of axle load was greater at on-road than at off-road.
- 3) As the tire inflation pressure decreased, the steering torque increased. Also the increasing tendency of the steering torque with decreasing the tire inflation pressure showed that the harder the ground was, the larger the effect was. But for the soft ground condition, ground- I , no specific trend with inflation pressures was found.
- 4) Steering angle-steering torque relationship with ground conditions showed that the increasing rate of the steering torque was greater at on-road than off-road for small steering angle under 10 degree, and was greater at off-road than on-road for large steering angles over 10 degree.

**Keywords :** Steering angle, Steering torque, Ground condition, Tire inflation pressure, Axle load

## 1. 서론

조타력(steering torque)은 차량의 조향시 운전자가 가해주는 핸들(steering wheel) 조작력으로서 차량의 하중이 무거울수록, 고속보다는 저속시, 그리고 주행시 보다는 정지(정차)시에 더욱 크게 나타난다(Kim et al., 2006). 조타력의 크기는 차량운동의 안전성 및 운전자의 안락감에 직접적으로 영향을 미친다(Park and You, 1999). 차량의 조향을 수행하는 조향

장치는 높은 기어비의 감속기어를 이용한 기계식 조향장치로부터 유압 또는 모터 등의 보조 동력장치(assisted power system)를 통해 조향시 작은 조타력으로도 큰 조향력을 발생시켜 운전자의 부담을 경감시킬 수 있는 다양한 방식의 동력 조향장치(power steering system)가 개발되어 사용되고 있다(Holt, 2001; Nakayama and Suda, 1990, 1994; Yun, 2001).

차량의 조향시 발생하는 조타력 특성에 관한 연구는 차량에 대한 적정 조향장치의 선정뿐만 아니라 조향기구부의 최

This work was supported by a research grant from Academic Research Foundation of Hankyong National University for a scholarly exchange program in 2008. The article was submitted for publication on 2010-07-20, reviewed on 2010-08-03, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2010-08-11. The authors are Sang Sik Lee, Jung Whan Mun, KSAM member, Professor, Sungkyunkwan University, Jin Seok Kang, Geonggi-do Agricultural Research & Extension Services, Choong Ho Lee, KSAM member, Professor, Jeonju University, Jong Ho Hong and Won Yeop Park, KSAM member, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Hankyong National University. Corresponding author: W. Y. Park, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Hankyong National University, Ansong, Gyeonggi, 456-749, Korea; Fax: +82-31-672-5110; E-mail: <pwypark@hanmail.net>.

적 설계 및 적용을 위해 필요하다(Kim et al., 2006). 차량의 조향시 발생하는 조타력에 관한 연구는 국내외적으로 많이 수행되고 있으나 수학적 해석이 어렵기 때문에 주로 실험적인 방법에 의해 수행되고 있으며(Dixon, 1996), 이 또한 대부분 on-road에서 운용되는 차동차를 위주로 연구되고 있는 실정이다.

그러나 트랙터가 운용되는 off-road 특히, 연약지는 on-road와 다른 조건을 갖고 있기 때문에 on-road의 한정된 노면조건에서 수행된 결과를 트랙터에 직접적으로 적용하기에는 무리가 있다. 즉, off-road에서의 조타력은 on-road와는 달리 조타력에 미치는 인자가 다르기 때문에 동일한 차량 및 조향기구부에 대해서도 노면의 특성에 따라 조타력 특성이 다르게 나타난다(Park et al., 2004; Kim et al., 2006). 트랙터의 조타력 크기 및 특성은 유압식 조향시스템의 경우에는 유량 및 유압시스템의 설계 및 적용을 위해, 전동식 조향시스템의 경우에는 모터의 선정 및 제어방법의 적용을 위해 매우 중요한 변수이다(Lee et al., 2005).

Park 등(2004)은 인공토조에서 단일 타이어(single tire)로 구성된 조타력 측정장치를 제작하여 노면상태, 타이어의 축하중 및 공기압에 따른 단일 타이어 조향시스템에 대한 조타력 특성을 연구하였다. 그러나 Park 등(2004)의 연구는 인공토조에 구성된 단일 타이어 시스템을 이용한 조타력 특성 결과로서 off-road에서 트랙터의 조타력 특성을 정확히 구명하기 위해서는 실제 노면에서 트랙터를 이용한 조타력 특성의 구명에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 off-road에서 주로 운용되는 트랙터 조향기구부의 적정 설계 및 적용기술을 확보하기 위한 기초 연구로서 노면상태, 트랙터의 타이어 축하중 및 공기압에 따른 트랙터의 조타력 특성을 실험적으로 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 실험 장치

#### 1) 실험용 트랙터

트랙터의 조타력 특성 구명을 위해 일본 I사의 22마력 트랙터(TS220S)를 사용하였다. 실험용 트랙터의 조향장치는 유압 또는 모터 등의 동력에 의한 보조 조타력의 영향을 배제한 상태에서 조향휠(핸들)에서부터 타이어까지 전달되는 순수한 조타력 특성을 구명하기 위해 볼 스크류 타입의 기계식 조향기구부로 구성되었다. 그림 1은 실험에 사용된 트랙터의 조향기구부의 개략도로서 운전자에 의한 트랙터의 조향순서 및 원리는 다음과 같다.

운전자가 트랙터를 조향하기 위해 핸들에 가한 토크, 즉 조타력은 컬럼축(column axle)에 전달되고, 컬럼축의 토크는

볼스크류 타입의 기어박스를 통해 감속되어 피트만 암(pitman arm)에 토크를 전달한다. 피트만 암의 토크는 푸시바(push bar)를 통해 직선운동으로 변환되어 푸시바에 압축력(좌조향) 또는 인장력(우조향)을 전달한다. 푸시바의 압축력(인장력)은 트랙암(track arm)에 킹핀축(kingpin axis)을 중심으로 한 토크를 발생시켜 좌측 타이어를 조향시키게 된다. 한편 트랙암의 회전토크는 좌측 타이어를 조향시킴과 동시에 타이로드(tie rod)에 압축력(인장력)을 작용시켜 우측 타이어의 트랙암에 대해 우측 킹핀축을 중심으로 한 토크를 발생시켜 우측 타이어를 조향시키게 된다(Kim et al., 2006).

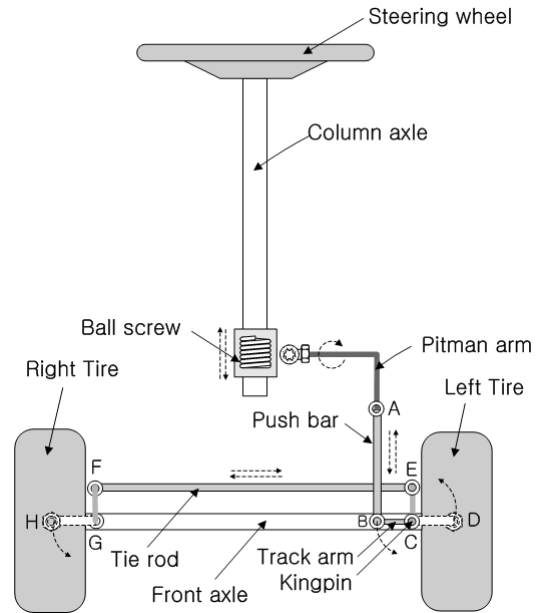


Fig. 1 Schematic diagram of steering system of the experimental tractor (Kim et al., 2006).

한편, 실험용 트랙터의 타이어는 원주 방향의 러그가 세 줄로 구성되어 있는 농업용 타이어로서 타이어의 단면 폭은 100 mm이고 타이어의 단면 폭에 대한 높이의 비는 0.9, 휠 직경은 40 cm이다. 한편, 타이어의 적정 공기압은 138 kPa(20 psi)이고, 최대 공기압은 310 kPa(45 psi)이다.

#### 2) 조타력 측정 장치

트랙터의 조타력 측정을 위해 전술한 트랙터를 본 연구의 목적에 맞도록 개조하였다. 조타력 실험 장치는 조타력 구동부, 조타력(컬럼축 토크) 측정부, 컬럼축 및 킹핀축의 회전각 측정부 등으로 구성되었다.

#### 가) 조타력 구동부

트랙터의 조향시 연속적이고 일정한 속도를 유지하기 위해 조타력 입력 즉, 컬럼축(핸들축) 회전력은 유압모터로 구동된

다(Fig. 2). 유압모터는 트랙터의 유압포트로부터 동력을 받고, 유압모터와 컬럼축에는 각각 기어비 5:1의 스퍼기어가 장착되어 두 개의 맞물려 있는 스퍼기어에 의해 유압모터의 회전력이 컬럼축에 전달되도록 구성하였다(Fig. 3).



Fig. 2 Hydraulic system for driving the column axle.

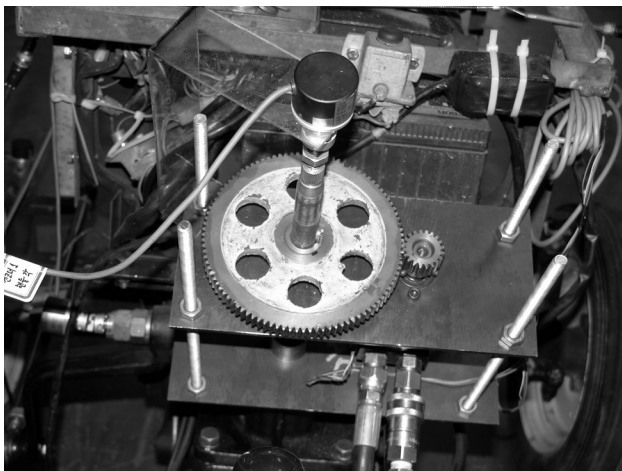


Fig. 3 View of gear combination for driving the column axle.

#### 나) 조타력 측정 장치

트랙터의 조타력을 측정하기 위해 Micro-Measurement사의 Four-element full-bridge type (Model : CEA-06-250US-350)의 스트레인 게이지를 컬럼축의 표면에 부착하여 컬럼축의 비틀림에 따른 스트레인 게이지의 출력 신호를 측정할 수 있도록 구성하였다. 스트레인 게이지에서 나오는 미세한 출력 신호는 스트레인 증폭기(dynamic strain amplifier)를 이용하여 증폭하였다. 그림 4는 컬럼축에 부착된 스트레인 게이지를 보여주고 있다.

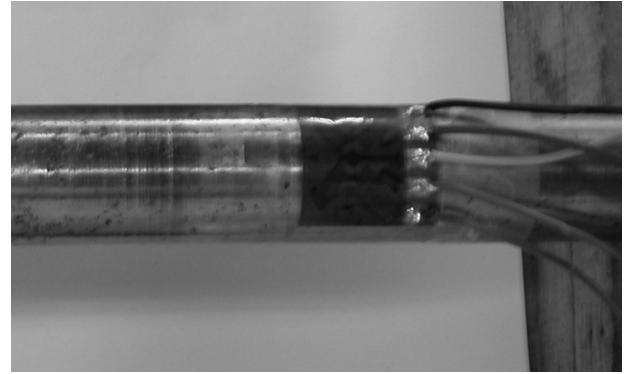


Fig. 4 Strain gage attached to column axle.

한편, 컬럼축을 0~110 N·m 범위에서 10 N·m의 간격으로 모멘트를 증감시키면서 입력모멘트에 따른 출력전압과의 관계를 3회 반복 측정하여 교정작업(calibration)을 수행하였으며, 그림 5에 컬럼축의 교정 결과를 나타내었다.

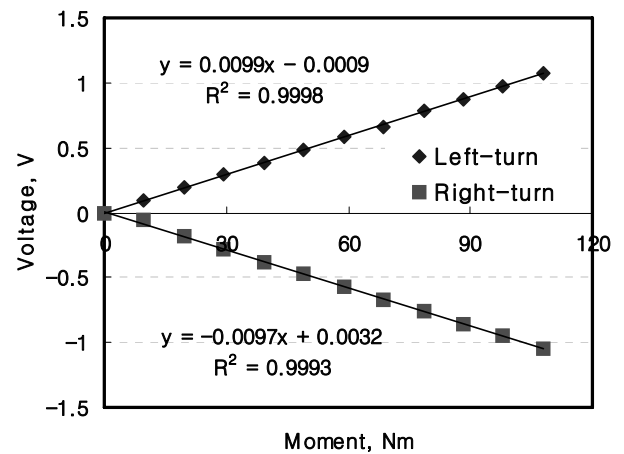


Fig. 5 Relationship between torque and voltage of column axle.

#### 다) 조향각 측정 장치

트랙터의 조향각을 측정하기 위하여 킹핀축에 로터리 엔코더를 부착하여 조향시 출력되는 펄스 신호로부터 킹핀축의 회전각을 측정할 수 있는 장치를 구성하였다. 로터리 엔코더는 1회전당 2500펄스를 출력하는 NEMICON사의 OEM-2500-2M을 사용하였으며, 회전편심으로 인한 로터리 엔코더의 손상을 방지하기 위해 컬럼축과 킹핀축에 연성커플링(flexible coupling)을 사용하였다. 그림 6은 킹핀축에 장착된 로터리 엔코더를 보여주고 있다.

#### 3) 자료 수집 장치

트랙터의 조타력을 측정하기 위해 구성된 각각의 센서로부터 출력되는 신호를 원하는 정보로 획득하기 위해서는 각각의 센서에 따라 다른 인터페이스를 통해 컴퓨터로 입력되어

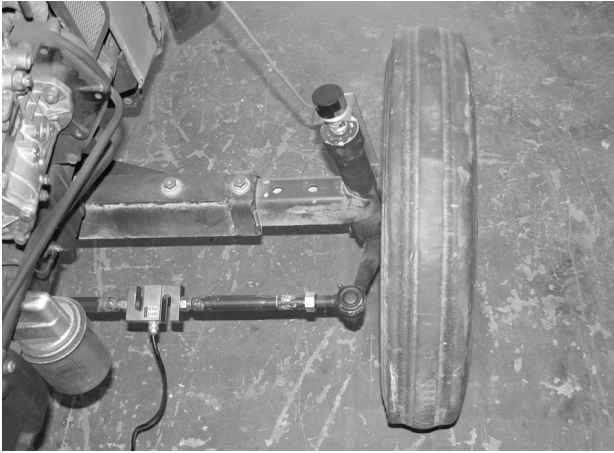


Fig. 6 View of rotary encoder attached to the kingpin axle.

야 한다. 조타력을 측정하기 위해 사용된 스트레인 게이지의 출력신호는  $\mu V$  단위의 아주 작은 아날로그 형태의 전위차이기 때문에 동적 스트레인 증폭기(dynamic strain amplifier)를 통하여 0~2V로 증폭시킨 후 A/D 변환기를 통해 디지털 신호로 변환시켰다. A/D 변환기는 12비트의 분해능과 16채널의 multiplexer를 내장한 AX5412를 사용하였다.

트랙터의 조향각을 측정하기 위해 사용된 로타리 엔코더의 펄스신호는 전용 카운터보드를 이용하여 측정하였다. 사용된 카운터 보드는 YS7400으로서 24비트의 분해능과 4채널의 Multi mode counter를 내장하고 있다. 한편, 자료 수집 장치로 수집되는 측정 결과는 모니터에 실시간으로 출력되며 동시에 파일로 저장할 수 있도록 구성하였다. 그림 7은 조타력 실험을 위해 구성한 트랙터와 자료수집 시스템의 모습을 보여주고 있다.



Fig. 7 Test tractor and data acquisition system.

나. 실험 방법

1) 실험 노면

노면상태에 따른 트랙터의 조타력 특성을 구명하기 위하여

한경대학교에 위치한 실험포장을 강도가 다른 2 종류의 off-road 노면상태로 가공하였고, 추가로 하나의 on-road 노면을 조성하여 총 3 종류의 노면을 준비하였다.

Off-road 노면은 로터리틸러(Rotary tiller)와 1 ton 하중의 표면다짐롤러(compaction roller)를 이용하여 강도가 다른 두 종류의 노면상태(Ground- I, Ground- II)로 가공하였다. Ground- I (soft soil)은 2회의 로터리 작업으로 토양을 파쇄시킨 노면으로 가공하였고, Ground- II (hard soil)는 로터리 작업을 Ground- I 과 동일하게 수행한 후 다짐롤러 작업을 2회 실시하여 Ground- I 에 비해 노면의 강도를 높게 가공하였다.

한편, on-road 노면(Ground-III)은 균평한 시멘트 바닥으로 타이어의 침하가 발생하지 않고 조향 시 일반 도로와 같은 마찰 효과를 낼 수 있도록 하였다. 표 1에 각각의 노면상태에 따른 토양가공 방법을 나타내었고, 그림 8은 off-road 노면(Ground- I, Ground- II)의 모습을 보여 주고 있다.

Table 1 Processing method of experimental ground

Ground types	Processing equipment	
	Rotary tiller	Compaction roller
Ground- I (soft soil)	2	-
Ground- II (hard soil)	2	2
Ground-III (On-road)	-	-



(a) Ground- I



(b) Ground- II

Fig. 8 View of the off-road grounds.

2) 노면의 물리적 특성 측정

노면가공이 끝난 후 트랙터의 조타력 실험을 수행하기 직전에 실험 노면에 대한 물리적 특성을 측정하였다. 물리적 특성은 노면 가공 상태가 다른 두 종류의 off-road 노면(Ground- I, Ground- II)에 대해 각각 수행하였으며, 측정된 토양의 물리적 특성 변수로는 원추지수(cone index; CI), 점착력(cohesion), 부착력(adhesion), 내부마찰각(angle of internal friction), 외부마찰각(angle of external friction) 및 토양의 압력-침하 변수 등이며 이 외에 토양의 겉보기 밀도(bulk density)와 함수율(moisture content) 등을 측정하였다.

**Table 2** Physical properties of the experimental grounds

Ground parameters	Ground types		
	Ground-I	Ground-II	Ground-III
Cone Index (CI), kPa	186	881	-
Adhesion, (a), kPa	4.66	4.36	-
Angle of external friction ( $\theta'$ ), degree	18.55	16.92	-
Cohesion, (c), kPa	10.80	12.56	-
Angle of internal friction ( $\theta$ ), degree	23.80	38.15	-
Pressure-sinkage parameter (k), $\text{kN/m}^{n+2}$	3531	-	-
Pressure-sinkage parameter (n), dimensionless	1.274	-	-
Moisture content (d. b), %	16.9	17.3	-
Bulk density ( $\rho$ ), $\text{g/cm}^3$	1.63	1.71	-

원추지수는 SR-2형 토양경도 측정 장치(cone penetrometer)를 이용하여 실험포장의 임의의 5곳을 선정하여 깊이에 따른 원추 관입저항을 측정한 후, 0~15 cm 사이의 토양 깊이별 측정값을 평균하여 구하였다. 토양의 압력-침하 변수  $k$ 와  $n$ 은 SR-2형 토양경도 측정 장치의 끝단에 길이와 폭이 각각 10 cm와 2.5 cm인 면적 25  $\text{cm}^2$ 의 직사각형 평판을 부착한 후 평판에 가해지는 압력에 따른 침하관계를 측정하여 구하였다.

토양의 점착력, 내부마찰각, 부착력 및 외부마찰각은 SR-2형 토양경도 측정장치의 하부 끝단에 각각 돌기부가 달린 전단링(shear ring)과 돌기부가 없는 마찰링(friction ring)을 부착하여 실험포장의 임의의 5 곳에서 5회 반복 측정하여 구하였다.

겉보기밀도는 실험 포장 내 임의의 4 곳을 선정하여 표면에서 토양 속 10 cm 이내의 깊이에서 100 cc 용량의 토양 채취관을 이용하여 토양샘플을 채취하여 구하였으며, 토양의 수분함량은 채취된 토양 샘플을 오븐 건조법에 의해 구하였다. 표 2에 실험 노면의 물리적 특성을 나타내었다.

**3) 조타력 실험 방법**

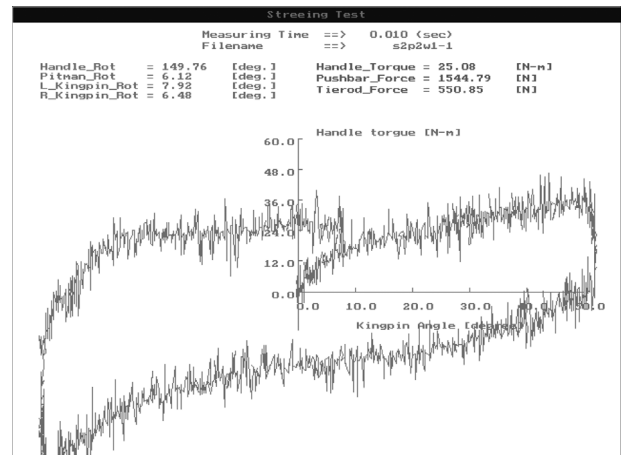
노면상태, 타이어의 공기압 및 축하중의 변화에 따른 트랙터의 조타력 특성을 실험적으로 구명하기 위해, 트랙터의 조타력 실험은 전술한 3가지 노면상태(Ground- I ~ III)에서 4 수준의 트랙터 앞차축 하중과 3 수준의 타이어 공기압에 대해 각각 수행하였다. 타이어 공기압은 제조회사에서 권장하는 적정공기압 138 kPa(20psi)을 고려하여 적정 공기압 전후로 69 kPa(10psi)을 가감한 69 kPa, 138 kPa 및 207 kPa로 설정하였다.

트랙터의 앞차축 하중은 트랙터가 공차일 때의 앞차축 하중 4,120 N과 무게 추를 이용하여 610 N씩 증가시켜서 4,730 N, 5,340 N 및 5,950 N의 4 수준으로 선정하였다. 표 3은 트랙터의 조타력 실험에 사용된 각각의 인자들의 수준을 보여 주고 있다.

**Table 3** Experimental treatments and levels

Variables	Levels
Ground types	Ground- I (soft soil) Ground- II (hard soil) Ground-III (on road)
Inflation pressure of tire, kPa	69, 138, 207
Front axle load of tractor, N	4120, 4730, 5340, 5950

트랙터의 핸들 조향은 타이어의 정렬상태를 기준으로 제자리에서 핸들 축을 우로 2회전, 좌로 4회전, 다시 우로 2회전하여 조향 시작점(핸들 정렬상태)까지를 한 사이클로 조향 실험(JASO C705 제자리조향력 시험방법)을 실시하였다. 한 사이클의 조향이 이루어지는 동안 컬럼축에 부착된 스트레인 게이지는 트랙터의 조타력을, 컬럼축 및 킹핀축에 부착된 로타리 엔코더는 핸들축의 회전각 및 타이어의 조향각을 측정하며 회전각에 따른 조타력 변화를 실시간으로 측정하여 수집하였다. 그림 9는 트랙터의 조타력 실험시 조향각(킹핀축의 회전각)에 따른 조타력 측정 결과를 실시간(real time)으로 모니터에 출력하는 모습을 보여 주고 있다.

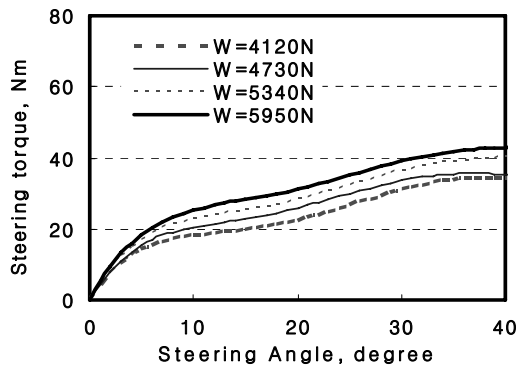


**Fig. 9** View of real time output on monitor.

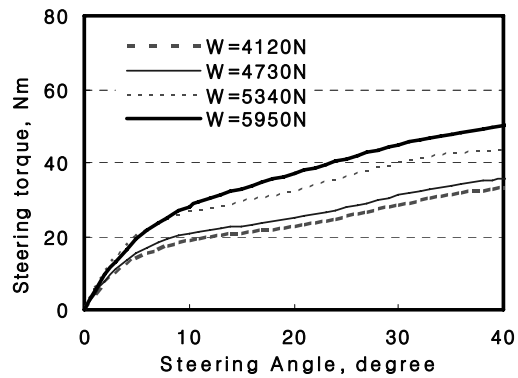
### 3. 결과 및 고찰

#### 1) 축하중에 따른 트랙터의 조타력 특성

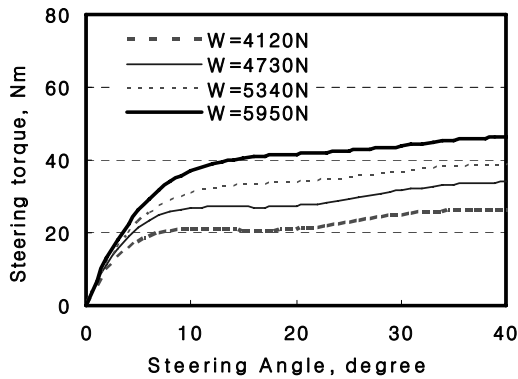
그림 10의 (a), (b), (c)는 각각 off-road 조건인 Ground-I, Ground-II와 on road 조건인 Ground-III에서 138 kPa의 일정 타이어공기압 조건에 대해 트랙터 타이어를 40° 조향하는 동안 4 수준의 앞차축 하중 조건하에서 측정한 트랙터의 조향각-조타력 관계를 나타낸 결과이다.



(a) Ground- I



(b) Ground- II

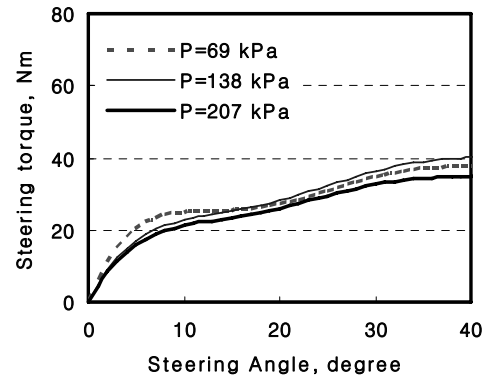


(c) Ground-III

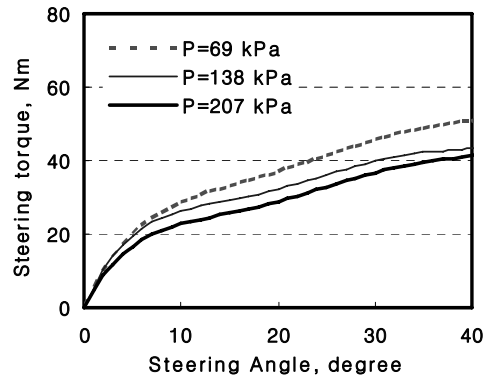
**Fig. 10** Variations of the steering torque with steering angle for four different axle loads over three different ground conditions.

그림 10에 나타난 바와 같이, off-road와 on-road 조건에서 수행한 트랙터의 조향각-조타력 관계는 3가지 노면상태와 4 수준의 축하중 조건에서 모두 조향각이 증가함에 따라 조타력도 함께 증가하였다. 이러한 결과는 트랙터의 조향각이 커질 경우 푸시바의 압축력에 의해 킹핀 축을 중심으로 회전하는 트랙암의 모멘트 팔의 길이가 감소하는 조향 기구부의 기구학적 특성 때문이다.

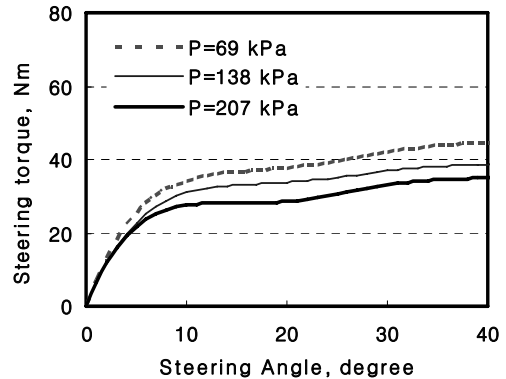
축하중에 따른 조타력의 크기는 세 가지 노면조건 모두에



(a) Ground- I

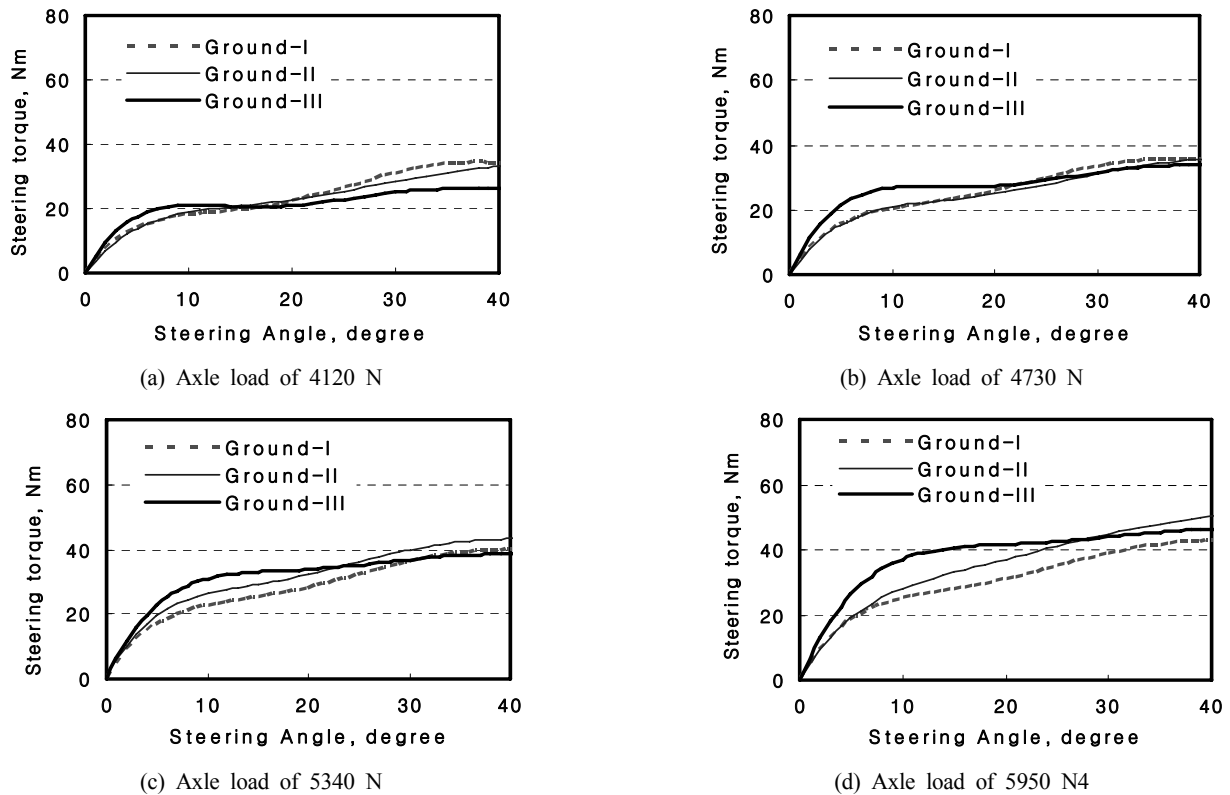


(b) Ground- II



(c) Ground-III

**Fig. 11** Variations of the steering torque with steering angle for various tire inflation pressures over three different ground conditions.



**Fig. 12** Variations of the steering torque with steering angle for three different ground conditions using the tractor with four levels of different axle load under constant tire inflation pressure of 138 kPa.

대해 전체 조향각 구간에서 축하중이 클수록 조타력이 크게 나타났다. 이러한 결과는 축하중이 커질 경우 타이어-노면 접지면에서의 마찰력이 증가하게 되고, 또한 축하중의 증가에 따른 타이어의 변형량 증가에 의한 타이어-노면간의 접지면적의 증가로 타이어 중심축에 대한 타이어 접지면의 단면 1차모멘트가 증가하여 조향시 타이어의 회전모멘트가 증가하기 때문으로 판단된다.

한편, 축하중의 증가에 따른 조타력의 증가량의 크기는 Ground-III, Ground-II 및 Ground-I의 순으로서 노면이 단단할수록 축하중의 증가에 따른 조타력의 증가 경향이 명확히 나타났다. 이러한 결과는 노면이 단단할수록 축하중의 증가에 따른 타이어 변형량의 증가량이 커지게 되어 타이어-노면간의 접지면적의 증가 경향이 크기 때문이다.

위의 결과로부터 축하중에 따른 조타력의 크기는 축하중이 클수록 조타력이 크게 나타났으며, 축하중의 증가에 따른 조타력의 증가경향은 노면이 단단할수록 그 효과가 큰 것으로 나타났다.

### 2) 타이어공기압에 따른 트랙터의 조타력 특성

그림 11의 (a), (b), (c)는 각각 off-road(Ground-I, Ground-II)와 on-road(Ground-III)에서 5,340 N의 일정 축하중 조건 하에서 타이어공기압의 변화에 따른 트랙터의 조향각-조타력 관계를 나타낸 결과이다.

타이어공기압의 변화에 따른 조타력의 크기를 비교해 보면, on-road 노면인 Ground-III의 경우에는 공기압이 낮을수록 전체 조향각 구간에서 조타력이 크게 나타났으며 공기압에 따른 조타력의 차이가 명확히 나타났다.

한편 off-road 노면에서의 타이어공기압에 따른 조타력의 크기는 Ground-II의 경우 on-road 노면에 비해 상대적으로 그 차이가 작았지만 공기압이 낮을수록 조타력이 크게 나타났다. 그러나 연약한 노면인 Ground-I의 경우에는 타이어 공기압에 따른 조타력의 차이가 명확히 나타나지 않았다.

이러한 결과는 연약한 노면보다는 단단한 노면에서 타이어 공기압의 감소에 따른 타이어 변형량의 증가폭이 커서 타이어-노면간의 접지면적의 증가율이 크기 때문이다. 즉, 타이어-노면간의 접지면적의 급격한 증가는 전술한 바와 같이 타이어의 회전 중심축에 대한 단면 1차모멘트의 급격한 증가를 유발하고, 이로부터 타이어-노면 접지면의 마찰력에 의해 발생하는 타이어 중심축에 대한 모멘트가 크게 증가하기 때문이다.

위의 결과로부터 타이어공기압에 따른 조타력의 크기는 공기압이 낮을수록 작았으며, 공기압의 감소에 따른 조타력의 증가경향은 노면이 단단할수록 그 효과가 큰 것으로 나타났다.

### 3) 노면조건에 따른 트랙터의 조향각-조타력 관계

그림 12의 (a), (b), (c), (d)는 각각 138 kPa의 일정 공기압

조건에서 축하중이 각각 4120 N, 4730 N, 5340 N 및 5950 N일 때 노면조건에 따른 트랙터의 조향각-조타력 관계를 나타낸 결과로서 트랙터의 조향각의 증가에 따른 조타력 크기의 경향은 4가지 축하중 조건에서 모두 노면조건 특히, off-road와 on-road에서 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다.

Off-road 노면인 Ground- I 과 Ground-II에서의 조향각-조타력 관계는 4가지 축하중 조건에서 모두 초기 10° 이하의 작은 조향각 구간에서는 조타력이 크게 증가한 후 그 이후부터는 조향각이 증가함에 따라 조타력이 거의 일정한 기울기로 증가하는 경향을 보였다, 그러나 on-road인 Ground-III의 경우에는 10° 이하의 조향각 구간에서는 조향각에 따른 조타력의 증가율이 off-road에 비해 급격히 크게 나타났으나 10° 이후의 조향각 구간에서는 off-road에 비해 조향각의 증가에 따른 조타력의 증가량이 매우 작게 나타났다.

또한 조향각이 작을 때에는 on-road의 경우가 off-road의 경우에 비해 트랙터의 조타력이 크게 나타났으나 조향각이 어느 수준 이상으로 증가했을 때에는 on-road의 경우가 off-road에 비해 조타력이 작게 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 off-road의 다양한 토양조건에서 운용되는 농용 트랙터에 대한 조향기구부의 적정 설계 및 적용기술을 확보하기 위한 기초 연구로서 off-road에서 트랙터의 조타력에 크게 영향을 미치는 요인으로 판단되는 노면상태, 타이어의 축하중 및 공기압에 따른 트랙터의 조타력 관계를 실험적으로 구명하였다.

실험을 위해 트랙터를 실험목적에 적합하도록 개량하였으며, 실험은 3 수준의 노면상태(하나의 on-road 노면과 강도가 다른 2 수준의 off-road 노면), 3 수준의 공기압(69 kPa, 138 kPa, 207 kPa) 및 4 수준의 타이어 축하중(4120 N, 4730 N, 5340 N, 5950 N) 조건에서 수행되었으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 실험이 수행된 모든 노면, 타이어의 축하중 및 공기압 조건에 대한 트랙터의 조향각-조타력 관계는 조향각이 커짐에 따라 조타력이 증가하는 것으로 나타났다.
- (2) 축하중의 증가는 트랙터의 조타력을 증가시키는 것으로 나타났으며 축하중의 증가에 따른 조타력의 증가경향은 off-road보다 on-road에서 크게 나타났다.

- (3) 타이어공기압에 따른 트랙터의 조타력은 공기압이 낮을수록 크게 나타났으며, 공기압의 감소에 따른 조타력의 증가경향은 노면이 단단할수록 그 효과가 큰 것으로 나타났다.
- (4) 노면조건에 따른 트랙터의 조향각-조타력 관계는 10° 이하의 작은 조향각 구간에서는 on-road의 경우가 off-road의 경우에 비해 조향각의 증가에 따른 조타력이 증가율이 크게 나타났으며, 10° 이후의 조향각 구간에서는 off-road의 경우가 on-road의 경우에 비해 조향각의 증가에 따른 조타력의 증가 경향이 큰 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. Dixon, H. C., 1996. Tires, Suspension and Handling (Second Edition). SAE International pp. 283-290.
2. Holt, D. J. 2001. Electric Steering: A Revolution in Steering Technology. SAE Inc., USA.
3. Kim, S. Y., K. S. Lee, S. S. Lee, S. B. Lee, J. W. Lee and W. Y. Park. 2006. A study on prediction of maximum steering torque of tractor on off-road. Journal of Biosystems Engineering 31(2):81-87. (In Korean)
4. Lee, S. S., K. S. Lee, W. Y. Park, J. Y. Lee and J. H. Mun, 2005. Effects of ground surface condition on steering force for tractors with electronic power steering system. Journal of Biosystems Engineering 30(6):327-332. (In Korean)
5. Nakayama, T. and E. Suda. 1990. Present and future of electric power steering. Automotive Technology 44(1):106-111.
6. Nakayama, T. and E. Suda. 1994. The Present and future of electric power steering. International Journal of Vehicle Design 15(3/4/5):243-254.
7. Park, I. R. and Y. H. You. 1999. Theoretical study of steering effort. Proceedings of 1999 Autumn Conference. pp. 497-502. Korean Society of Automatic Engineers. (In Korean)
8. Park, W. Y., S. Y. Kim, C. H. Lee, D. M. Choi, S. S. Lee and K. S. Lee. 2004. The effect of ground condition, tire inflation pressure and axle load on steering torque. Journal of Biosystems Engineering 29(5):419-424. (In Korean)
9. Yun, S. C. 2001. A Study on the Enhanced Control Algorithm for a Ball Screw Type of Motdr Driven Power Steering System. Ph.D. Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea. (In Korean)