

트랙터용 전동식 동력 조향 제어시스템 개발⁺

Development of Electronic Power Steering Control System for Tractor

이규승*	박원엽**	이충호***	이제용****	이상식*	문정환*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
S. S. Lee	W, Y, Park	C. H. Lee	J. Y. Lee	K. S. Lee	J. H. Mun

1. 서론

현재 전동식 동력 조향 제어시스템은 모터 및 컴퓨터 산업의 급속한 성장으로 인하여 기존의 유압식의 단점인 원가와 생산성에 대한 문제점을 보완할 수가 있다.(윤석찬, 2000) 전동식 동력 조향장치는 국내에서는 전동지게차에 적용되고 있는 실정이고 자동차의 경우는 적용 초기단계에 있다. 자동차의 경우 소형을 위주로 연구개발 및 일부 양산 적용되고 있으며 점점 중대형 쪽으로 적용되어 갈 것으로 예상된다. 농업용 트랙터의 경우는 적용된 사례가 국내, 외 모두 전무한 상태이고, 현재 농업용 트랙터의 경우는 볼 스크류 방식 혹은 유압 방식을 사용하고 있다.(이상식, 2004) 그러나 선진국에서는 일본을 중심으로 적용 가능성이 검토되었고, 이미 연구개발을 착수한 상태이다. 또한 자동차 분야에서는 상용화가 급속도로 진행되고 있으며 기존의 유압 방식에서 전동식 동력 조향장치로 점차 전환되고 있다. 그러므로 머지않아 고부가가치를 창출이 가능한 이 시스템으로의 적용이 가속화 될 것으로 판단된다.(Nakayama 등, 1990)

그리고 트랙터의 조향력을 예측하기 위하여 노면상태, 타이어 공기압 및 축하중이 조향력에 미치는 영향을 알아야한다.(박원엽 등, 2004) 또한 트랙터 특성상 비도로에서 작업을 하므로 트랙터의 사양뿐만 아니라 토양특성을 고려한 조향력 분석을 이루어져야 한다.(Bekker, 1969; wong, 1993)

본 연구의 목적은 트랙터 크기에 상관없이 설계가 가능하도록 하는 조향력 예측모델을 개발하고, 작업자가 포장에서 작업을 할 때 어떠한 토양 조건에 관계없이 부드럽게 조향할 수 있는 조향 제어시스템을 개발하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 조향력 예측 모델링

그림 1은 트랙터의 조향장치의 개략도로서 작업자의 동작에 의한 트랙터의 조향 원리는

+: 본연구는 농림기술개발사업 연구과제로 수행되었음.

* : 성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스전공

** : 한경대학교 농업생명과학대학 생물자원기계학과

*** : 전주대학교 AMTI 사업단

**** : (주)미도테크

다음과 같다. 운전자가 트랙터를 조향하기 위해 조향휠에 가한 회전토크 즉, 조향력(steering torque)은 토션바(torsion bar)로 전달되고, 토션바의 토크는 볼스크류 타입의 기어박스를 통해 감속되어 피트만암(pitman arm)에 회전토크를 전달한다. 피트만암의 회전토크는 푸시바(push bar)를 통해 직선운동으로 변환되어 푸시바에 압축력(좌조향) 또는 인장력(우조향)을 전달한다. 푸시바의 압축력 또는 인장력은 트랙암(track arm)에 킹핀축(kingpin axis)을 중심으로 회전토크를 발생시켜 타이어를 조향시키게 된다.

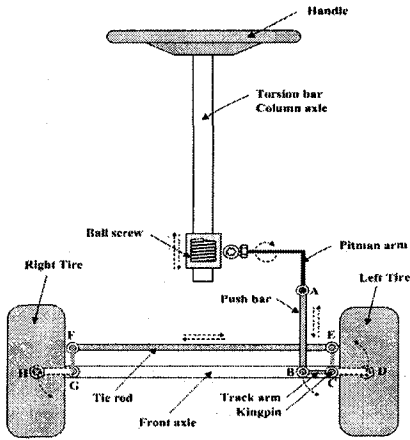


Fig. 1 Schematic diagram of steering system.

따라서 운전자의 조향휠 조작력은 결국 조향휠부터 타이어나까지의 전체 조향 기구부를 통해 전달된다. 조향휠조작에 필요한 힘 즉, 조향력은 킹핀축을 중심으로 한 타이어의 조향에 요구되는 힘에 의해 결정된다. 따라서 타이어의 조향에 요구되는 힘을 예측할 수 있을 경우, 타이어의 조향력과 전체 조향시스템의 기구부의 해석을 통해 조향휠 조작에 요구되는 힘인 조향력을 예측할 수 있다.

그러나 타이어의 조향에 요구되는 힘은 주로 타이어나와 노면간의 마찰력 및 접지면적에 크게 영향을 받는다. 타이어나와 노면간의 마찰력은 도로조건(on-road)과 비도로조건(off-road)에서 각각 다르게 나타나며, 특히 비도로 조건에서의 조향력은 타이어나-토양간의 역학적 상호관계에 영향을 받는다. 따라서 비도로에서 주로

운용되는 트랙터의 조향력 예측 모델을 개발하기 위해서는 먼저 다양한 토양 조건에 대해 타이어나-토양간의 역학적 관계의 구명을 통해 단일 타이어나 조향기구부에 대한 조향력 모델이 개발되어야 하고, 단일 타이어나의 조향력 모델로부터 트랙터의 전체 조향 기구부의 특성을 고려한 조향력 예측 모델이 개발되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 트랙터의 조향력 예측 모델을 개발하기에 앞서 먼저 단일 타이어나 조향기구부에 대한 조향력 예측 모델을 개발하였다. 전체를 고려한 모델은 트랙터 구조가 타이로드 형태로 구성되어 있기 때문에 단일 타이어나에 작동하는 조향력의 2배로 나타난다.

모델링 해석에 고려된 단일 타이어나 조향 시스템 변수로는 타이어나의 축하중, 타이어나의 직경과 폭, 피트만암의 길이, 킹핀축과 타이어나 중심축간의 거리, 트랙암의 길이 등이고, 토양변수로는 토양의 전단응력 및 압력-침하 특성 등이다.

따라서 조향 시스템 변수와 토양 변수를 고려하여 구한 조향력 예측 방정식은 다음 식(1)과 같으며, 수학적 모델링을 바탕으로 어떠한 조건에서 조향력을 예측할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.

$$T_S = 2 \cdot G_R \cdot \frac{L_P}{L_T} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_T \cos \alpha_P} \cdot b \int_0^\alpha \tau(\theta) r \sin \theta d\theta + b \int_0^\beta \tau(\theta) r \sin \theta d\theta \quad \text{----- (1)}$$

여기서 T_S : 조향력[N.m], G_R : 감속기어의 기어비, L_P : 피트만암의 길이[mm], L_T : 트랙암의 길이[mm], α_T : 킹핀축에 대한 트랙암의 회전각[degree], α_P : 피트만암의 회전각[degree], b : 타이어의 폭[mm], α : 타이어의 진입각[degree], β : 타이어의 탈출각[degree], $\tau(\theta)$: 토양-타이어 접지면의 임의의 위치에서 작용하는 전단응력[kPa], r : 타이어의 반경[mm], θ : 노면-타이어 접지면상의 임의 지점의 수평면에 대한 회전각(rad)

나. 실험장치

1) 예측모델

조향력 측정장치는 국내 D사의 22마력 트랙터의 조향 기구부를 이용하여 인공토조시스템용 단일 타이어 조향력 측정 장치로 개량 설계, 제작하였다. 단일 타이어 조향력 측정장치는 인공토조시스템의 측정대차에 장착된 차륜 프레임에 부착되고, 조향력 측정장치가 부착된 차륜프레임은 웜기어와 미끄럼 베어링에 의해 좌·우 및 상·하 방향으로 자유롭게 이동할 수 있다.(박원엽 등, 2004)

2) 시작기

트랙터용 전동식 조향 제어시스템은 조향 휠을 조작했을 때, 조타 입력에 따른 전압 신호를 발생시키는 토크 센서에서 조작력을 검출하여 제어장치에 의해 모터의 전류를 제어하여 적절한 보조 동력을 발생시키도록 설계하였고, 그림 2에서 보는바와 같이 설계, 제작하였다.

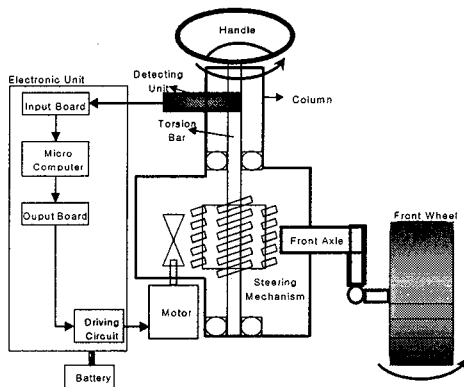


Fig. 2 Configuration and view of tractor.

그림 3은 트랙터용 전동 조향시스템의 제어 흐름도를 보여주고 있다. 조향 휠을 포함하는 조작부, 트랙터 배터리, 정전압 전원부, 모터구동회로, 마이콤, 입출력보드, 전류/전압감

지회로가 포함된 전자제어부로 이루어진 제어부, 상기 조작부의 조향휠 동작에 따른 조향력을 검출하기 위한 포텐쇼미터가 설치된 검출부, 전자제어부의 모터구동회로와 연결된 모터부 및 모터부와 연결된 기구부가 포함되어 구성된 제어시스템으로 이루어져 있다.

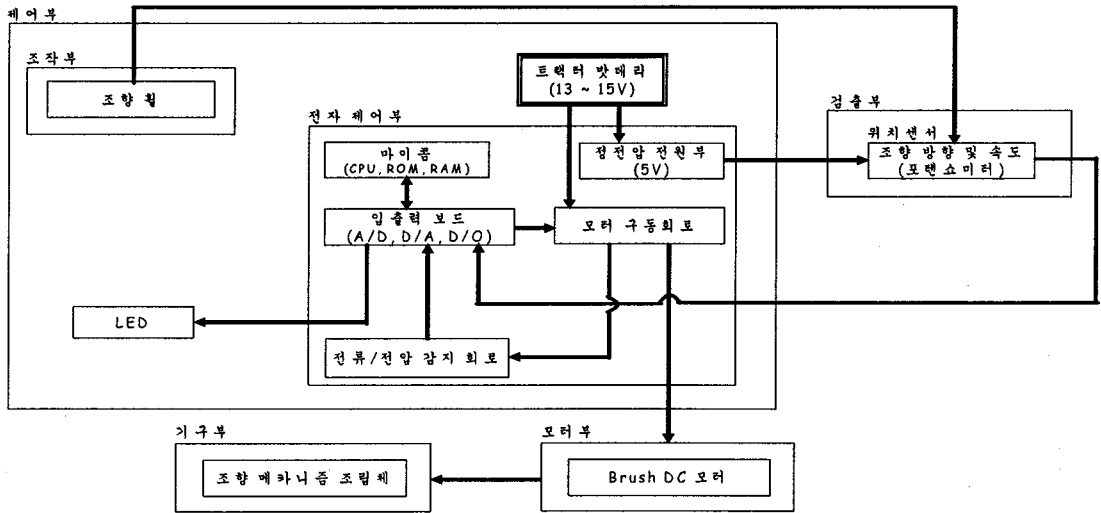


Fig. 3 Block diagram of electronic power steering control system for tractor.

다. 실험 방법

1) 예측모델

3가지 비도로 노면(연약한 토양, 중간 토양, 단단한 토양)과 4 수준의 축하중 조건(1470 N, 1960 N, 2450 N, 2940 N)에 대하여 측정된 조향력과 모델에 의해 예측된 조향력 결과를 비교하였다. 또한 측정된 결과와 예측된 결과간의 비교는 각각의 조건에서 조향각이 45° 일 때 얻은 최대 조향력 값을 이용하여 수행하였다.

2) 시작기를 이용한 실외 실험

실외에서 트랙터 속도에 따른 조향 최대토크를 실험적으로 구명하기 위해 타이어의 조향 토크를 속도별 3회 반복 실험하였다. 트랙터의 속도는 정지, 3 km/hr, 8 km/hr, 11 km/hr, 15 km/hr, 18 km/hr, 22 km/hr, 25 km/hr로 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 조향력 예측 모델 검증

그림 4에서 보는바와 같이 개발된 조향력 예측 모델은 타이어의 침하가 크게 발생하는 연약한 노면에서는 예측을 평균이 약 91.1%로 조향력을 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났으나, 상대적으로 노면이 제일 단단한 지역에서는 예측을 평균이 약 63.8%로 예측치의 신뢰성

이 떨어지는 것으로 나타났다. 그러나 실제의 경우에 있어, 트랙터는 일반적으로 노면이 연약한 지역에서 운용되기 때문에 본 연구에서 개발한 조향력 예측 모델은 트랙터의 조향력을 예측하는데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

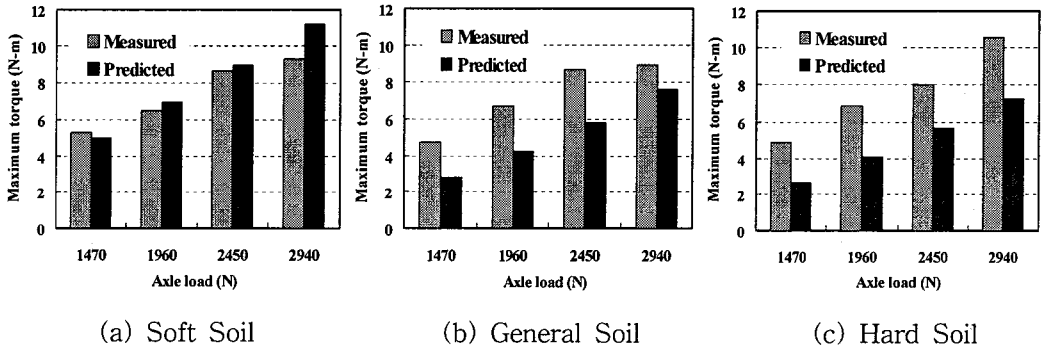


Fig. 4 Comparison of measured and predicted maximum steering torques.

나. 실외 실험

시작기를 이용한 실외실험에서 정지상태에서의 작동 토크는 주행상태보다 크게 난다. 그리고 그림 5에서 보는바와 같이 트랙터의 주행속도가 크면 조향휠의 작동 토크는 적어지는 경향을 보이고 있으며, 최저속에서 최고 약 17 N·m 나타났으며 최고속에서는 약 8.5 N·m으로 나타났다. 조향 제어시스템에서 설계된 모터의 동력은 9 N·m이고, 사람이 조향휠을 최대 로 돌릴 수 있는 최대 토크는 7.5 N·m이므로 개발된 조향 제어시스템은 시작기에 맞게 설계 및 개발되었음을 알 수가 있다.

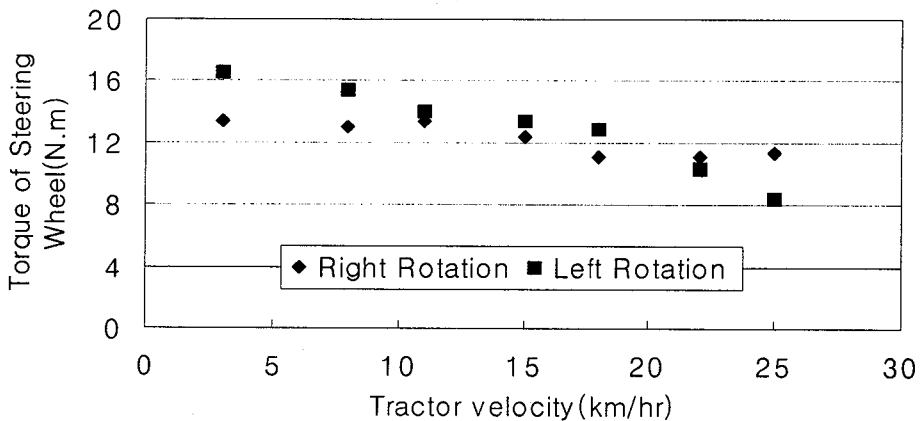


Fig. 5 Toque of steering wheel on off-road.

4. 요약 및 결론

본 연구는 트랙터의 조향력 예측모델을 개발하였고, 어떠한 토양 조건에 관계없이 부드럽게 조향할 수 있는 조향 제어시스템을 개발하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 개발된 조향력 예측 모델은 타이어의 침하가 크게 발생하는 연약한 노면에서는 조향력을 잘 예측할 수 있는 것으로 나타났으나, 상대적으로 노면이 단단한 지역에서는 예측치의 신뢰성이 떨어지는 것으로 나타났다.
- 2) 일반 토양에서 정지상태의 작동 토크는 주행상태보다 크게 난다. 그리고 트랙터의 주행 속도가 크면 조향휠의 작동 토크는 적어진다.
- 3) 개발된 조향 제어시스템은 시작기에 맞게 설계 및 개발되었다.

5. 참고문헌

1. Bekker, M. G. 1969. Introduction to Terrain-Vehicle Systems. University of Michigan Press.
2. Nakayama, T. and Suda, E. 1990. Present and Future of Electric Power Steering, Automotive Technology. J. of Vehicle Design 44(1):106-111.
3. Wong, J. Y. 1993. Theory of Ground Vehicles. John Wiley & Sons.
4. 박원엽, 김성엽, 이충호, 최달문, 이상식, 이규승. 2004. 노면상태, 타이어공기압 및 축하중이 조향력에 미치는 영향. 바이오공학회지 29(5):419-424.
5. 윤석찬. 2000. 볼 스크류형 전동식 동력 조향장치의 제어 성능 향상에 관한 연구. 한양대학교 박사학위 논문.
6. 이상식. 2004. 트랙터용 전동식 동력 조향 제어시스템 개발, 농림부 농림기술개발사업 최종보고서.