

# 타이어 공기압이 언더트레이드면의 3방향 접지압에 미치는 영향

## Tire Inflation Pressures Effects on 3 Directional Contact Pressures Between Soil and Undertread for a Tractor Tire

전형규                      이규승  
정회원                      정회원  
H. G. Jun                  K. S. Lee

### SUMMARY

The research described in this paper was aimed toward improving the understanding of the interaction of tire inflation pressure and the soil-tire interface stresses. A three-directional stress transducer was developed to measure stress distribution on undertread for a tractor tire. The transducer can directly measure three-directional stresses (normal stress, tangential stress and lateral stress) simultaneously and has both strong structure and high sensitivity, which is not changed by the abrasion of the detecting plate. Measurements of soil-undertread interface stresses were made at tire center on undertread on a 12.4-R24 radial tractor tire operated at three combinations of a dynamic load (11.8kN) and three inflation pressures (59kPa, 108kPa and 157kPa). These measurements showed that as inflation pressure increased, the soil-undertread interface stresses increased. The results of three stresses comparisons were shown that the peak normal stresses were considerably higher than the tangential peak stresses and the peak lateral stresses.

**Keywords** : Radial ply tire, Contact Pressure, Undertread, Transducer, Three-directional stresses.

### 1. 서      론

1970년대에 들어서면서 타이어 디자인의 변화로 등장한 레이디얼타이어는 타이어의 카캐스(carass) 부분이 보강되었기 때문에 저압화(低壓化)를 가능하게 하였고 타이어에 대한 연구방향이 보다 더 다양하게 대두되기 시작했다. Raper (1995a)는 과도한 견

인에 의해 발생하는 견인불안정(일명 power hop)을 개선하기 위해 농업용 타이어로서는 극도로 낮은 공기압인 41kPa를 적극적으로 권장하였다. 낮은 공기압에서는 타이어 변형이 증가하기 때문에 접지면적이 증가하고 이에 따른 접지압의 감소에 의해 주행안정성을 확보할 수 있기 때문이다. 또한 접지압의 감소는 토양의 다짐현상 (Soil Compaction)을 줄일 수 있

The article was submitted for publication in February 2001, reviewed in February 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2001. The authors are Hyung-gyu Jun, Senior Researcher, and Kyou Seung Lee, Professor, Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. The corresponding author is Hyung-gyu Jun, Senior Researcher, Dept. of Bio-mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University, 440-744, Suwon, Korea. fax: +82-31-290-7830; E-mail: <hyunggyu@nature.skku.ac.kr>

고 접지면적의 증가에 의한 견인성능을 향상시킬 수 있다(Jun, 1997a; Jun, 1998a; Jun, 1998b; Raper, 1995a; Raper, 1995b; Burt, 1992).

토양-타이어 상호간에 발생하는 접지압을 측정 한 연구는 많이 보고되어져 왔다. 하지만 3차원적 으로 측정하려는 시도는 거의 보고되어지고 있지 않다. 그것은 센서의 발전과 무관하지 않고 특히 타이어와 같은 악조건적인 환경에서 무리없이 사 용할 수 있는 센서의 개발이 어렵기 때문이다. 특 히 상용의 압력센서는 한 방향만 측정이 가능하고 농업기계와 같은 작업환경에서는 충분한 능력을 발휘할 수 없다. 과거의 연구에서 Hatamura(1992) 는 굴삭기가 작업할 때 에너지손실을 막고 마모를 최대한 줄일 수 있을 뿐 만 아니라 작업을 보다 정 교하게 할 수 있는 버켓을 개발하기 위해 3방향의 응력을 동시에 측정할 수 있는 센서를 개발했다. 그의 연구결과는 토양-버켓의 상호작용에 관한 역학적인 특성을 밝혀 냈다. 본 연구는 Hatamura 의 연구결과를 토대로 언더트레이드면(undertread face; The outermost surface of the rubber on the carcass where no lugs are located (ASAE의 정의)) 에서의 접지압을 측정할 수 있는 센서를 개발하고 지금까지 측정이 불가능했던 3방향의 응력을 동시 에 측정하였다. 이를 통해 타이어 공기압이 3방향 의 응력에 어떠한 영향을 미치는 지와 언더트레이 드면이 토양에 작용하는 특성 등을 구명했다.

## 2. 트랙터 타이어의 접지압

주행방향을 기준으로 했을 때 접지면에서의 응 력은 3방향으로 나눌 수 있다. 즉 주행면에 대하 여 주행방향의 응력을 접선응력 (tangential stress), 축을 향하는 응력을 법선응력 (normal stress) 그리 고 주행방향에 수직이면서 타이어를 향하는 응력 을 횡응력(lateral stress)이라고 한다 (Karafiath, 1978). 고전적인 개념의 접지압은 가해진 하중을 접지면적으로 나눈 평균값으로 표현했다. 실제로 Raper(1995a)는 타이어의 러그와 언더트레이드면에 압력센서를 장착하여 타이어가 주행할 때 센서가 반응한 길이를 접지길이로 하고 타이어폭과 굽한 값을 접지면적으로 간주했다. 그리고 그는 압력센

서에 의해 얻어진 값과 비교하였다. 하지만 접지 면적은 타이어 변형과 연동하여 나타나기 때문에 측정대상의 토양상태에 따라 다르게 나타날 수 있 다. 최근에는 접지면적을 3차원적으로 측정한 연 구 (Jun, 1997b)가 보고되는 등 접지압에 대한 새 로운 노력들이 이루어지고 있다. 그러므로 접지압 을 단순히 하중과 접지면적에 대한 함수관계로 인 지하는 것보다 측정이 가능한 변수로서 취급되어 져야 한다. 더 나아가 토양의 항복조건을 3차원적 으로 해석하기 위해서는 반드시 3방향의 접지압을 측정할 수 있는 시스템의 개발도 선행되어야 하 겠다.

기존의 연구를 살펴보면 타이어의 러그특성에 관한 연구(Ali, 1978; Burt, 1987; Burt, 1989; Cho, 2000; Gee-Clough, 1976; Jun, 1997a; Jun, 1998a)는 많이 보고되어져 왔다. 물론 러그의 작용특성이 언더트레이드에 비해 상대적으로 크게 나타나므로 소홀하게 다루어지는 것은 어쩔 수 없다. 하지만 타이어의 언더트레이드면이 견인성능 및 토양다짐 에 어떠한 영향을 미치는 지는 반드시 밝혀져야 한다.

## 3. 3방향 계측용 압력센서의 측정원리

농업기계에 이용되어지는 압력센서도 일반적인 센서와 같이 감도가 좋아야 하고 이외에 강도, 내 충격성, 내기후성, 내구성, 안정성 등이 요구된다. 또한 토양과 접촉 경우에는 내마모성과 밀폐성 등 이 추가된다. 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

① 강도 : 농업기계에 센서를 부착하기 위하여 기계자체의 강도가 감소하거나 센서부분이 약해지 면 안된다. 이것은 힘 및 압력을 측정하는 센서의 설치에 특히 문제가 된다.

② 내기후성 : 농업기계자체가 악조건적인 환경 에서 이용되어지는 경우가 많다. 그 때문에 농업 기계에 부착된 센서는 풍우에 대한 방수성, 토사 분진에 대한 방진성, 직사광선에 노출로 생기는 고온에 대한 내열성 등이 요구된다.

③ 내마모성 : 농업기계의 작업기에는 직접 토 사에 접하는 것이 많다. 그래서 부착된 센서에 심

한 마모가 생기기 때문에 내마모성이 요구된다.

그림 1은 3차원 계측용 압력센서의 측정부이다. 측정부는 양단고정보의 구조를 하고 있고 보의 양 옆에는 구멍이 있는데 Hatamura(1992)는 평행평판구조(parallel plate structure)라고 했다. 평행평판 구조는 고정부(그림 1의 거리 a), 변형부(그림 1의 거리 t)와 가동부(그림 1의 A<sub>2</sub>지점에서 B<sub>1</sub>지점사이의 부분)로 나누어진다. 평행평판구조는 단순한 구조이지만 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

① 하중을 받는 가동부가 대략 평행으로 이동하기 때문에 양쪽의 변형부에 의해 각각 인장(고정부와 변형부의 경계)과 압축변형(변형부와 가동부의 경계)을 얻을 수 있다.

② 변형부 구멍의 크기를 조절함으로써 임의의 강성을 쉽게 얻을 수 있고 소형 및 정밀을 요하는 압력센서에 적합하다.

③ 변형부의 설정으로 횡방향의 강성이 높아서 간섭량을 감소시킬 수 있다.

④ 필요한 방향에 변형부를 설정함으로써 각종 방향의 힘을 동시에 측정할 수 있다.

그림 1에 나타난 측정부의 측정원리는 기본적으로 평행평판구조의 원리를 이용하지만 스트레인게이지의 부착위치, 구멍의 모양 및 크기, 센서의 적용대상에 따라 응용방법이 다를 수 있다. 이 논문에서는 트랙터 타이어의 접지압을 측정대상으로 하여 개발방향을 설정했고 이에 따른 측정원리를 정리했다. 우선 측정부는 양단고정보의 구조로서 양쪽 끝이 고정되어 있고 하중은 보의 중간( $\frac{l}{2}$ ) 부분에서 받도록 설정되었다.

양단고정보에서 스트레인게이지를 부착한 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>과 B<sub>2</sub>지점의 굽힘모멘트는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$M_{A1} = R_A a - M_A \quad (1)$$

$$M_{A2} = R_A b - M_A \quad (2)$$

$$M_{B1} = R_A(l - b) - M_A - W\left(\frac{l}{2} - b\right) \quad (3)$$

$$M_{B2} = R_A(l - a) - M_A - W\left(\frac{l}{2} - a\right) \quad (4)$$

여기서

W : 집중하중(N)

l : 양단고정보의 길이

a : 고정부에서 A<sub>1</sub> 및 B<sub>2</sub>까지 거리

b : 고정부에서 A<sub>2</sub> 및 B<sub>1</sub>까지 거리

t : b에서 a를 뺀 거리로 구멍의 크기를 나타낸다.

M<sub>A</sub> : A점에서의 고정모멘트

R<sub>A</sub> : A점에서의 집중반력

고정모멘트 및 집중반력은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$M_A = \frac{l}{8} W \quad (5)$$

$$R_A = \frac{l}{2} W \quad (6)$$

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>과 B<sub>2</sub>지점의 굽힘모멘트 및 집중반력의 식(5)과 (6)을 식(1)~ (4)에 대입하면 다음과 같다.

$$M_{A1} = \frac{W}{8}(4a - l) \quad (7)$$

$$M_{A2} = \frac{W}{8}(4b - l) \quad (8)$$

$$M_{B1} = \frac{W}{8}(4b - l) \quad (9)$$

$$M_{B2} = \frac{W}{8}(4a - l) \quad (10)$$

일반적으로 보에서 굽힘모멘트가 발생했을 때 보의 변형율은 다음과 같다.

$$\epsilon = \frac{M}{E \times Z} \quad (11)$$

ε : 변형율(strain)

Z : 단면계수

E : 종탄성계수

M : 굽힘모멘트

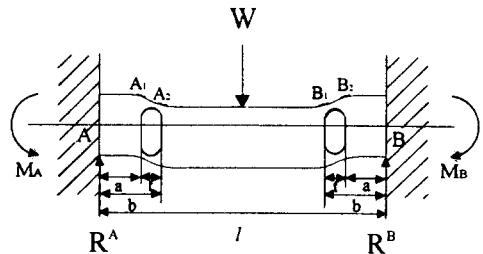


Fig. 1 Parallel plate structure.

스트레인게이지를 부착한 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>과 B<sub>2</sub>지점의 변형율은 식(11)에 식(7)~(10)을 대입함으로써 얻을 수 있다.

$$\epsilon_{A1} = \frac{M_{A1}}{E \times Z} = \frac{W(4a-d)}{8(E \times Z)} \quad (12)$$

$$\epsilon_{A2} = \frac{M_{A2}}{E \times Z} = \frac{W(4b-d)}{8(E \times Z)} \quad (13)$$

$$\epsilon_{B1} = \frac{M_{B1}}{E \times Z} = \frac{W(4b-d)}{8(E \times Z)} \quad (14)$$

$$\epsilon_{B2} = \frac{M_{B2}}{E \times Z} = \frac{W(4a-d)}{8(E \times Z)} \quad (15)$$

인장변형이 발생하는 A<sub>1</sub>과 B<sub>2</sub>부분의 변형율  $\epsilon_{A1}$ 과  $\epsilon_{B2}$ 가 플러스일 때, 압축변형이 발생하는 A<sub>2</sub>와 B<sub>1</sub>의 변형율  $\epsilon_{A2}$ 와  $\epsilon_{B1}$ 은 마이너스가 된다.

임의 하중이 가해질 때 측정기에 의한 변형율은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$(\epsilon_{A2} - \epsilon_{A1}) + (\epsilon_{B1} - \epsilon_{B2}) = \left( \frac{W(4b-d)}{8(E \times Z)} - \frac{W(4a-d)}{8(E \times Z)} \right) + \left( \frac{W(4b-d)}{8(E \times Z)} - \frac{W(4a-d)}{8(E \times Z)} \right) \quad (16)$$

위의 식을 W에 관하여 정리하면 다음 식과 같이 된다.

$$W = \frac{E \times Z}{(b-a)} \{ (\epsilon_{A2} - \epsilon_{A1}) + (\epsilon_{B1} - \epsilon_{B2}) \} \quad (17)$$

하중 W를 측정기의 접지면적 A로 나누면 다음 식으로 된다.

$$\sigma = \frac{W}{A} \quad (18)$$

## 4. 재료 및 방법

### 가. 압력센서의 제작

3방향 압력센서는 접지판, 측정부 및 장착판으로 구성되고 그림 2에 측정부의 개략도를 나타냈다. 측정부는 6mm×6mm, 길이 30mm의 4각봉을 직교시킨 십자형을 하고 평행판구조를 이용하여 압력을 측정한다. 접지판의 직경은 30mm이고 접지면에서 받은 임의 방향의 힘을 측정부에 전달하는 것을 목적으로 설계했다. 장착판은 직경35mm이고 측정부의 보호 및 탈착이 쉽도록 설계되었다. 접지판에 임의 방향의 힘이 작용할 경우 접지

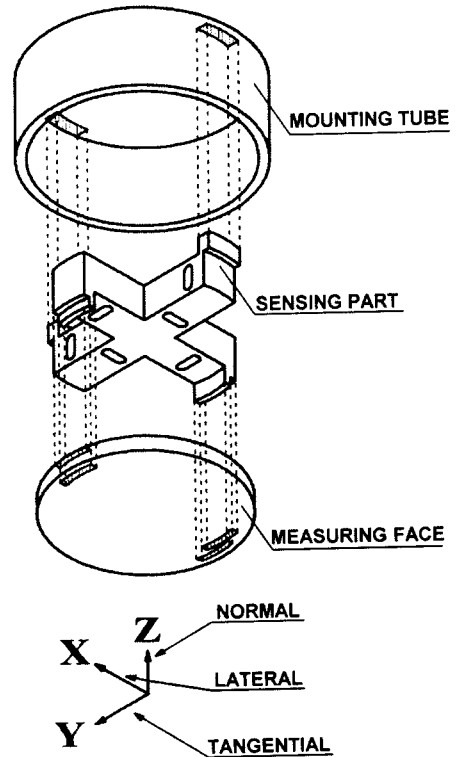


Fig. 2 A transducer with sensing part.

판에 수직인 법선방향응력과 접지판에 평행한 접선방향응력과 횡방향응력을 각각 동시에 독립하여 검출하도록 했다. 스트레인게이지는 평행판구조의 양단에 부착하고 4개의 스트레인게이지를 브릿지회로로 조합하는 것에 따라 출력을 얻도록 했다. 스트레인게이지는共和電業社 (KFR-02N-120-C1-11)로서 그리드(grid)는 길이 0.2mm-폭 0.9mm이고 베이스(base)는 길이1.6mm-폭 1.2mm이다.

### 나. 압력센서의 교정시험

제작한 압력센서의 교정시험결과에 따르면 출력은 직선적으로 높은 상관관계를 나타냈고 간섭량은 횡방향에 대한 법선방향이 5.3%로 나타났다. 간섭량이 다소 높게 나타났지만 스트레인게이지가 작기 때문에 부착과정에서 약간 기울어졌거나 측정부의 각봉이 방향에 따른 변형이 일어났다고 볼

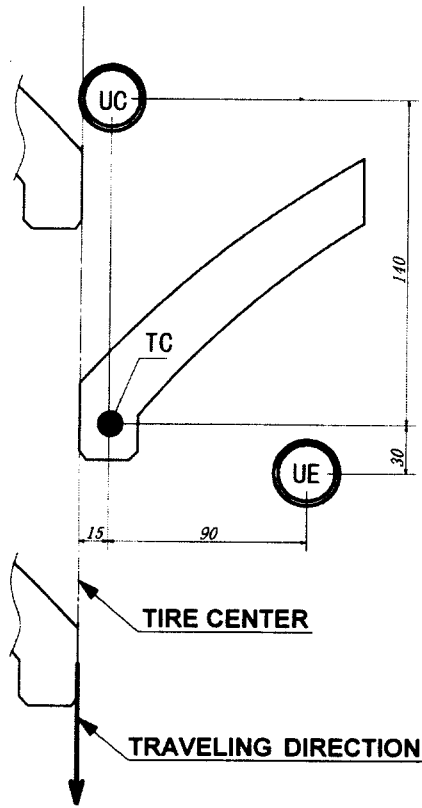


Fig. 3 Locations of transducers mounted on undertread (units of dimensions are mm).

수 있다. 하지만 측정대상에 따라 간섭량은 센서의 제작과정에서 충분히 감소시킬 수 있고 측정시에 컴퓨터로 보정하여 사용하면 간섭량의 문제는 해소될 수 있다. 히스테리시스는 어느 방향에 있어서도 2.5% 이내의 값을 나타냈다.

#### 다. 접지압측정실험

실험데이터는 압력센서를 타이어의 언더트레이드의 타이어 중심부(그림 3의 UC부분)에 장착하여 수집했다. 그림 3에서의 UE는 타이어의 모서리부분을 나타내고 있다. 레이디얼 타이어는 카캐스부분을 보강하였기 때문에 낮은 공기압에서 타이어의 중심보다 높은 접지압을 나타낼 수 있다. 하지만 본 연구에서는 제작된 3방향 압력센서의 성능

과 타이어 공기압의 영향을 살펴보는 것이 목적이기 때문에 UE부분의 실험은 후속연구에서 다루기로 하겠다. 실험용 타이어는 피렐리(Pirelli)제 래디얼타이어(12.4R28)를 사용하였고 접지판은 타이어표면과 같은 상태로 만들기 위하여 고무수지를 도포했다. 실험토양은 로터리경운작업을 했고 토양조건은 함수율 22.8%, 습윤밀도  $1.19\text{g/cm}^3$ 이다. 진행저하율은 20%로 했고 공기압은 59kPa, 108kPa과 157kPa이고 하중은 11.8kN으로 하고 4회 반복실험을 했다.

#### 5. 실험결과 및 고찰

그림 4~6은 각각의 실험조건에 따라 얻어진 그래프이다. 차륜회전각은 압력센서가 차축의 바로 밑에 있는 점을 0°로 하고 압력센서가 차축의 전방에 있는 위치를 마이너스, 후방에 있는 위치를 플러스로 했다. 또 법선방향은 차축의 방향을 플러스, 접선방향은 타이어회전방향의 반대방향을 플러스, 횡방향은 주행방향에 대하여 타이어방향을 플러스로 했다.

그림4에서 법선응력 및 접선응력은 회전각 37° 부근에서 플러스의 값으로 되고 20° 부근에서 0kPa로 돌아왔다. 3응력의 최대값은 거의 차축 바로 밑에 나타났다. 법선응력은 다른 두 개의 응력보다 상대적으로 크게 나타났다. 접선응력이 토오크와 비례하여 나타난다고 하면 슬립 20%의 경우에 상대적으로 낮은 값을 형성하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 법선응력은 토양다짐에 주로 영향을 미친다는 연구결과 (Burt, 1987)와 낮은 접선응력 등을 추론했을 때 타이어 주행시의 언더트레이드는 차륜의 추진력을 발생시키는 것보다 부드러운 토양을 다지는 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 횡응력은 회전각 0° 까지 증가하다가 회전각 12° 부근까지 급격히 감소하는 사인곡선으로 나타났다. 여기서 횡응력의 방향이 회전각 12° 부근에서 증가하는 현상은 변형된 타이어가 복원되는 것과 함께 압축된 토양이 탄성적인 성질에 의해 힘의 작용방향이 바뀌었다고 생각된다. 이러한 현상은 기존의 연구에서 밝혀진 바는 없다. 하지만 Jun (1997c)의 연구결과에 의하면 슬립이 0%인 러

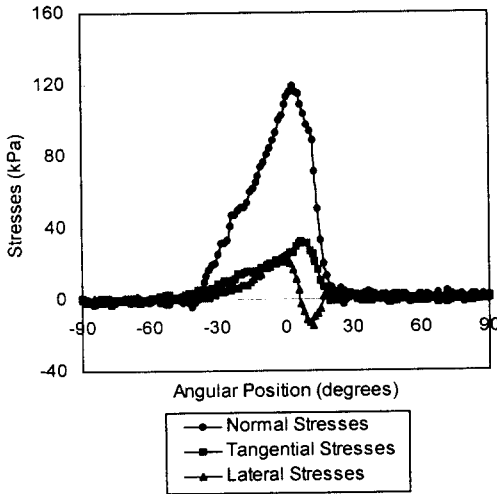


Fig. 4 Variation of stresses vs angular position of a transducer for an inflation pressure of 157kPa and a dynamic load of 11.8kN at 20% slip.

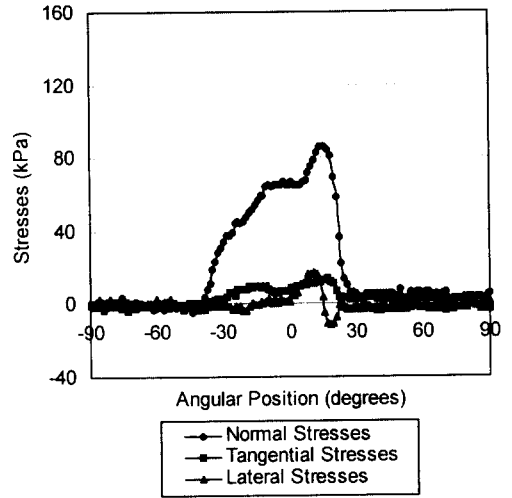


Fig. 6 Variation of stresses vs angular position of a transducer for an inflation pressure of 59kPa and a dynamic load of 11.8kN at 20% slip.

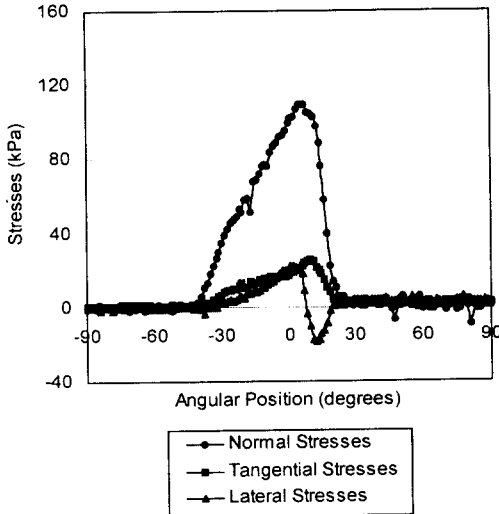


Fig. 5 Variation of stresses vs. angular position of a transducer for an inflation pressure of 108kPa and a dynamic load of 11.8kN at 20% slip.

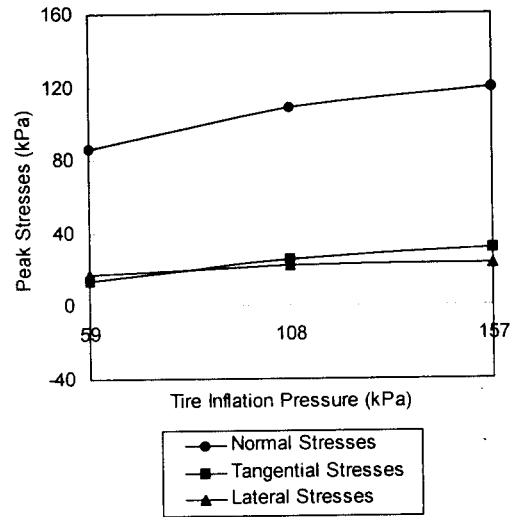


Fig. 7 Peak stresses vs. inflation pressures.

그의 경우에 접선응력이 그림 4의 횡응력과 유사한 파형을 하고 있다. 그는 사인파형의 원인은 토양의 압축과 인장에 의한 결과라고 표현하고 있고

그림 4의 횡응력도 토양의 역학적 성질에 의한 결과라고 유추할 수 있다.

그림 5와 6은 그림 4와 거의 유사한 경향을 나타낸다. 물론 결과 값에서는 조금씩 차이를 보이고 있는 데 이러한 값의 변화는 그림 7의 각각의

경우에서 나타난 최대값을 기준으로 살펴보는 것이 유용하겠다.

그림 7은 그림 4~6의 파형그래프에서 나타난 언더트레이드의 3응력의 최대값을 공기압에 따라 나타냈다. 전반적으로 공기압이 증가함에 따라 최대응력값이 증가한다는 것을 알 수 있다. 특히 108kPa의 공기압에서는 최대값이 109kPa을 나타냈는데 Burt(1992)가 시판용인 압력센서를 이용하여 상용트랙터 타이어에서 공기압에 따른 접지압의 변화를 살펴봤을 때, 부드러운 토양에서 접지압의 최대값은 공기압과 거의 일치한다는 것과 유사하게 나타났다.

여기서 공기압 108kPa은 타이어 제조사에서 정한 하중 11.8kN일 때의 정적공기압이다. 법선응력에 비해 접선응력 및 횡응력이 낮게 나타난 것은 나머지 두 응력을 무시해야 된다는 것이 아니라 응력의 분산을 이룰 수 있도록 설계시 검토해야 할 대상이라고 생각해야 하겠다.

## 6. 요약 및 결론

본 연구는 농업기계에서의 메카트로닉스화를 위한 센서를 개발하고 타이어 언더트레이드면의 접지압을 측정했다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 제작된 압력센서는 비교적 안정적으로 데이터를 수집할 수 있었으며 실험이 악조건적인 상황에서 이루어 졌다는 것을 볼 때, 유사한 다른 분야에도 무리없이 원용될 수 있다는 것을 보여줬다.

2) 타이어 공기압이 증가함에 따라 접지면의 3응력은 증가하였고 특히 법선응력은 접선응력이나 횡응력에 비해 상대적으로 높은 값을 형성했다.

3) 본 연구는 기존의 토양-타이어 연구에서 측정이 불가능했던 횡응력을 측정하는 데 성공했다.

## 참 고 문 헌

1. Ali, Omar S. and Edward McKyes. 1978. Traction Characteristics of Lugs for Tires, TRANS. of the ASAE, 21(2):239-243, 248.
2. ASAE. 1996. ASAE Standards, 118
3. Burt, E. C., R. K. Wood and A. C. Bailey. 1987. Tangential-to-Normal Stress Ratios for Pneumatic Tires. TRANS. of the ASAE, 30(6): 1591-1594.
4. Burt, E. C., R. K. Wood and A. C. Bailey. 1989. Dynamic Load Effects on the Tangential-to-Normal Stress Ratios for Pneumatic Tires. TRANS. of the ASAE, 32(4):1177-1181.
5. Burt, E. C., R. K. Wood and A. C. Bailey, 1992. Some Comparisons of Average to Peak Soil-Tire Contact Pressures. Transactions of the ASAE 35(2):401-404.
6. Cho, S. C., T. Kishimoto, K. S. Lee, K. Ohtomo, Y. K. Lee and J. S. Choe. 2000. Analysis of Soil-Lug Interaction Characteristics. J. of Korean Society for Agricultural Machinery, 25(3):179-186. (In Korean)
7. Gee-Clough, D. and W. J. Chancellor. 1976. Pull and Lift Characteristics of Single Lugs on Rigid Wheels in Wet Rice Soils, TRANS. of the ASAE, 19(3):433-441, 447.
8. Hatamura, Y. and T. Hanamoto, 1992, Development of a three-directional stress cell and measurement of stress distribution on a backhoe bucket, J. Terramechanics, Vol. 29(1), pp. 117-124.
9. Jun, H., T. Taniguchi, T. Kishimoto, M. Yoshida and T. Tamari, 1997a. Measurement of Tire-Lug Contact Stresses by a Three-Dimensional Stress Transducer, J. JSAM 59(6), 3-10. (In Japanese)
10. Jun, H., T. Taniguchi, K. Ohtomo, T. Kishimoto and T. Ohyama, 1997b. Determination of the Three Dimensional Contact Area between Tractor Tire and Soil, J. JSAM 59(5), 3-12. (In Japanese)
11. Jun, H. Studies on Interaction between a Tractor Tire and Soil. 1997c. Doctor's Thesis in Iwate Univ., Japan. (In Japanese)
12. Jun, H., T. Kishimoto, T. R. Way and T.

- Taniguchi, 1998a. Three directional contact stress distributions for a pneumatic tractor tire in soft soil. Transactions of the ASAE 41(5):1237-1242.
13. Jun. Hyung-gyu, T. R. Way, B. Lofgren, M. Landstrom, A. C. Bailey, E. C. Burt and T. P. McDonald. Dynamic Load and Inflation Pressure Effects on Contact Pressures of a Forestry Forwarder Tire, 1998b. ASAE Paper No. 98-1059. ASAE, Orland, FL.
14. Karafiath, L. L. and E. A. Nowatzki, 1978. Soil Mechanics for Off-road Vehicle Engineering, Trans Tech. Publications: 288-289.
15. Raper, R. L., A. C. Bailey, E. C. Burt, T. R. Way and P. Liberati, 1995a. Inflation pressure and Dynamic Load Effects on Soil Deformation and Soil-Tire Interface Stresses. Transactions of the ASAE 38(3):685-689.
16. Raper, R. L., A. C. Bailey, E. C. Burt, T. R. Way and P. Liberati, 1995b. The Effect of Reduced Inflation pressure on Soil-Tire Interface Stresses and Soil Strength. J. of Terramechanics 32(1):43-51.