

光彈性法에 의한 러그달린 驅動輪下의 應力分布에 關한 解析

Analysis of the stress distribution under a driving lugged wheel by photoelastic method

金 震 顯* · 崔 相 寅*

Kim, Jin Hyun · Choi, Sang In

Summary

Stress distribution under a driving lugged wheel was obtained by photoelastic method. The distribution showed two distinct parts, one part is due to sinkage and other due to compression.

Results of the study are summarized as follows.

1. The tangential reactions of sinkage as well as compressing parts were directly proportional to tangential load to the driving wheel, that's appeared to be thrust of the driving wheel. The normal reactions of both sinkage and compressing parts were directly proportional to the vertical load to the driving wheel, that's appeared to be resistance against wheel motion.
2. When the tangential load was constant, changing the vertical load did not show any significant thrust variation of the driving wheel.
3. Under the condition of this experiment, the ratio of vertical load to tangential load (T.L/V.L) must be greater than 1.0 in order for the wheel to roll.

1. 結 論

車輪의 走行性은 驅動輪과 地盤의 力學的인 關係를 究明하므로서 解析된다고 하겠다.

이에 一般的으로 土壓 Sensor를 (使用⁴⁾) 하거나 Soil bin에서의 實驗으로 沈下時 驅動輪에 作用하는 垂直荷重과 回轉力이 前進力과 굴름抵抗에 미치는 影響을 實驗的으로 研究檢討된 바 있다. 最近에는 初音波나 X-線^{10) 11)}을 利用한 實驗方法도 試圖되고 있다.

本 實驗에서는 地盤의 沈下時 驅動輪이 接하는 土壤을 一時的 彈性狀態로 假定하여 光彈性法의 適用을 試圖한 것이다. 즉 lug 달린 驅動輪을 高分子 化學物質인 Epoxy에 作用시켰을 때 얻어지는 Fringe pattern으로 接線反力과 法線反力を 求하였다. 또한 驅動輪의 垂直荷重과 回轉力을 變化시킴으로써 나타나는 前進力과 굴름抵抗 으로부터 走行與否를 判斷하여 驅動輪의 理論値와 比較하여 보았다.

2. 實驗裝置 및 方法

가. 實驗裝置

그림 1, 2는 光彈性 實驗裝置와 使用된 光學系를 나타내고 있다.

光學系는 光源으로 使用한 200W의 水銀燈과 필터, 集光렌즈, 偏光子, $\frac{1}{4}$ 波長板이 試片 좌우에 있으며 스크린에는 等色線을 撮影하기 위하여 Ortho系의 Monochromatic 複寫用 필름을 使用하였다. 또한 그림 3은 荷重裝置를 表示하며 直徑 38mm, 幅 8mm의 剛體輪에 1mm높이의 lug를 붙였으며 荷重은 그림에서와 같이 垂直荷重과 接線荷重을 作用시켰다. 이때 接線荷重의 크기는 應力集中現象이 나타나도록 lug가 Epoxy에서 Slip이 생기지 않는 범위내에서 荷重을 주었다. 使用한 Epoxy의 규격은 그림 4와 같으며 두께는 3mm로서 比較的 感度가 양호한 것을 선택했다.

加工時 接觸部에는 精密을 要하므로 손가공을 했다.

*尚州農蠶專門大學

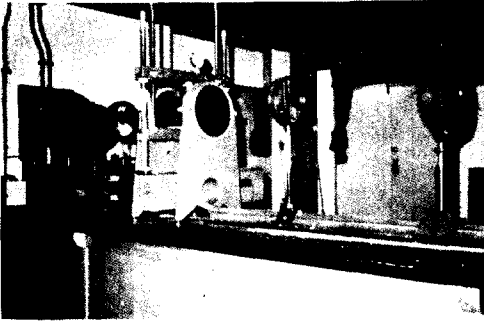
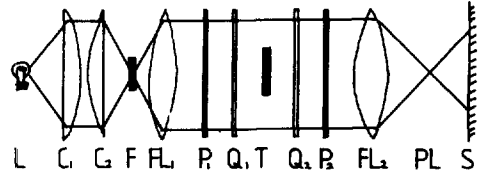


Fig. 1. Arrangement of photoelastic experiment apparatus



L: Light source Q, Q: Quarter wave plate
 C, C: Condenser lens PL: Project lens
 F: Filter T: Specimen S: Screen
 FL, FL: Field lens P, P: Polarized

Fig. 2. Arrangement of photoelastic experiment apparatus

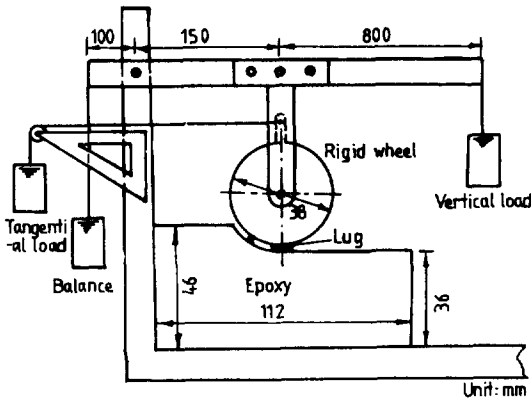


Fig. 3. The experimental apparatus

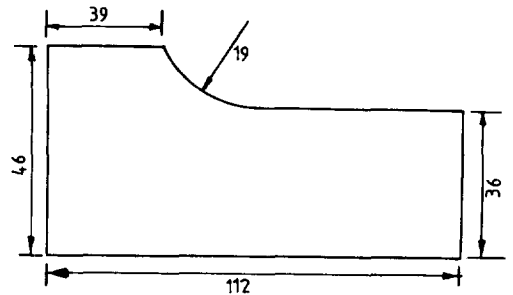


Fig. 4. Test piece used in the photoelastic experiment

나. 實驗方法

荷重裝置를 사용하여 垂直荷重 19kg_r, 29.3kg_r, 31.7kg_r을 各各 作用시키고 接線荷重은 各各의 垂直荷重에 대하여 0.6kg_r에서 4.88kg_r까지 段階的으로 增加시켜 等色線 寫眞撮影을 하였다. 그리고 Epoxy 板과 빛의 屈折率이 同一한 α-Bromnaphthalene 과 流動 paraffine을 溶積比 1:0.585가 되게 混合한 溶液을 Epoxy에 발라 Epoxy의 機械加工으로 인한 Fringe의 粗雜性을 防止했다.

다. 解析方法

lug 달린 驅動輪에 垂直荷重W와 接線荷重 P를 作用시킬때 나타나는 2個의 等色線圖로 부터 求한 應力分布圖는 그림 5와 같다.

〈記號〉

- P : 車輪에 作用하는 接線方向荷重 (kg_r)
- P₀ : 接地部分의 接線荷重 (kg_r)
- W : 驅動車에 걸리는 垂直荷重 (kg_r)
- D_r : 水平方向力 (kg_r)
- X : 合成力 (kg_r)
- N : 驅動軸의 回轉數 (rpm)
- T : 回轉力 (kg_r-cm)
- R : 車輪半徑 (cm)
- NH₁ : 前向反力 (kg_r)
- NH₂ : 後向反力 (kg_r)
- G₁, G₂ : 沈下部分, 壓縮部分의 應力分布 領域 (cm²)
- A, B, C, D, E, F : 接地部分의 各點
- V₁, V_i, V₂ : B, C, D點의 合成力 (kg_r)
- v₁, v_i, v₂ : B, C, D點의 前進力 (kg_r)

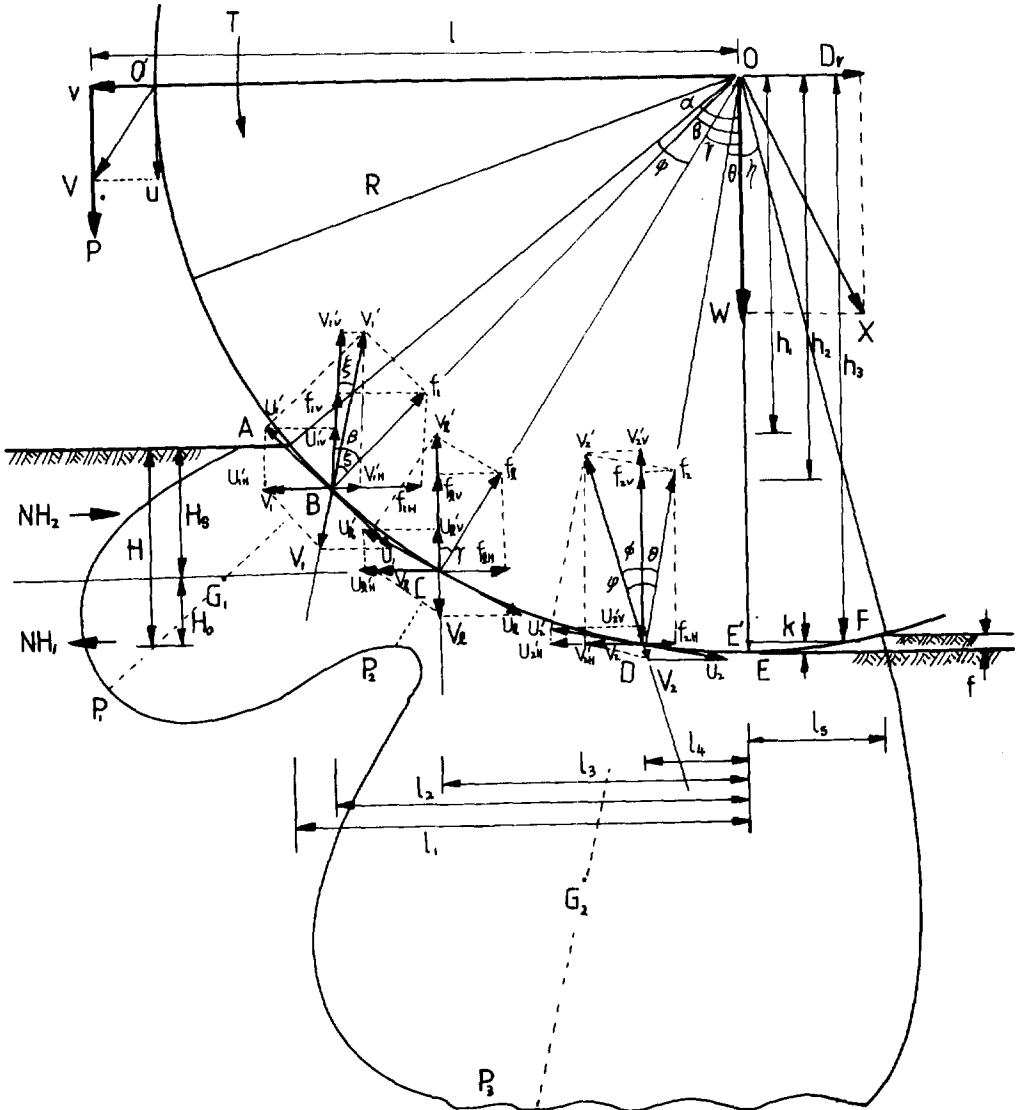


Fig. 5. Free body diagram of driving lugged wheel used for photo elastic method

- u_1, u_2, u_3 : B, C, D點의 接線力(kgf)
- u'_1, u'_2, u'_3 : B, C, D點의 接線反力(kgf)
- f_1, f_2, f_3 : B, C, D點의 法線反力(kgf)
- v'_1, v'_2, v'_3 : B, C, D點의 合成反力(kgf)
- $v'_{1H}, v'_{1V}, v'_{2H}, v'_{2V}, v'_{3H}, v'_{3V}$: B, C, D點의 合成反力の 水平分力(kgf)
- $f_{1H}, f_{1V}, f_{2H}, f_{2V}, f_{3H}, f_{3V}$: B, C, D點의 法線反力の 水平分力(kgf)
- $u_{1H}, u_{1V}, u_{2H}, u_{2V}, u_{3H}, u_{3V}$: B, C, D點의 接線反力の 水平分力(kgf)

- $u'_{1V}, u'_{2V}, u'_{3V}$: B, C, D點의 接線反力の 垂直分力(kgf)

應力集中部分인 沈下部分 B와 壓縮部分 D에 各各의 接線反力和 法線反力を 求할 수 있다. 즉 接線反力の 크기는 接地길이 AC 및 CF에 比例 하므로 伊藤에 의하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_1 = P_0 \frac{AC}{AF} = P_0 \frac{\phi}{\alpha + \eta}$$

$$u_2 = P_0 \frac{CF}{AF} = P_0 \frac{\gamma + \eta}{\alpha + \eta} \dots\dots\dots(1)$$

그리고 B, D點의 法線反력과 法線反力の 垂直分力은 다음과³⁾式에서 求할 수 있다.

$$f_1 = \frac{f_{1v}}{\cos \beta} = \frac{G'_1}{G'_2 \cos \theta + G'_1 \cos \beta} \left[W + P_o \left(1 - \frac{\alpha - \gamma}{\alpha + \eta} \sin \beta - \frac{\gamma + \eta}{\alpha + \eta} \sin \theta \right) \right] \dots(2)$$

$$f_2 = \frac{f_{2v}}{\cos \theta} = \frac{G'_2}{G'_2 \cos \theta + G'_1 \cos \beta} \left[W + P_o \left(1 - \frac{\alpha - \gamma}{\alpha + \eta} \sin \beta - \frac{\gamma + \eta}{\alpha + \eta} \sin \theta \right) \right] \dots(3)$$

$$f_{1v} = \frac{G'_1 \cos \beta}{G'_2 \cos \theta + G'_1 \cos \beta} \left[W + P_o \left(1 - \frac{\alpha - \gamma}{\alpha + \eta} \sin \beta - \frac{\gamma + \eta}{\alpha + \eta} \sin \theta \right) \right] \dots(4)$$

$$f_{2v} = \frac{G'_2 \cos \theta}{G'_2 \cos \theta + G'_1 \cos \beta} \left[W + P_o \left(1 - \frac{\alpha - \gamma}{\alpha + \eta} \sin \beta - \frac{\gamma + \eta}{\alpha + \eta} \sin \theta \right) \right] \dots(5)$$

4. 實驗結果 및 考察

實驗結果 얻어진 等色線 寫眞은 그림 6~11과 같다.



Fig. 6. Isochromatic line diagram under V.L.19 kgf, TL.1. 22kg f



Fig. 7. Isochromatic line diagram under V.L.19 kgf, TL.3. 00kg f



Fig. 8. Isochromatic line diagram under V.L.25.3 kgf, T.L.1. 22kg f

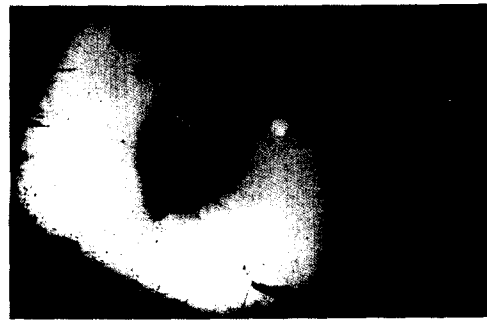


Fig. 9. Isochromatic line diagram under V.L.25.3 kgf, T.L. 3.66kg f

그림12는 垂直荷重과 接線荷重을 變化 시켰을 때 沈下部分과 壓縮部分에서 일어나는 接線反力の 크기를 表示하였다.

接線荷重을 一定하게 變化시킬 때 壓縮部分의 接線反力은 垂直荷重 31.7kgf에서 가장 크게 나타났으며 沈下部分에서는 반대로 19kgf의 垂直荷重이 作用될 때 가장 크게 나타났다. 여기서 各各의 垂直荷重에 대한 沈下部分과 壓縮部分의 接線反力の 合은 驅動輪에 作用되는 接線力의 크기와 동일하며 또한 같은 크기의 接線荷重에 대하여 垂直荷重의 增加는, 壓縮部分에서는 接線反力을 크게 하여 前進力을 향상시키고 沈下部分에서는 오히려 줄어들어 抵抗을 나타내었다. 이것은 沈下部分에 있어서 接線反力의 水平分力의 크기와 壓縮部分에 있어서 接線反力의 水平分力을 比較할 때 同一한 接線反力에 대해서는 角 β 가 角 θ 보다 크기때문에 水平分力은 壓縮部分이 커지게 된다.

그림13은 接線荷重에 대한 法線反力의 크기를 沈下部分과 壓縮部分에서 比較하였다.

壓縮部分의 法線反力은 垂直荷重의 影響을 크게



Fig. 10. Isochromatic line diagram under V.L. 31.7kgf T.L. 1.22kgf



Fig. 11. Isochromatic line diagram under V.L. 31.7kgf T.L. 3.66kgf

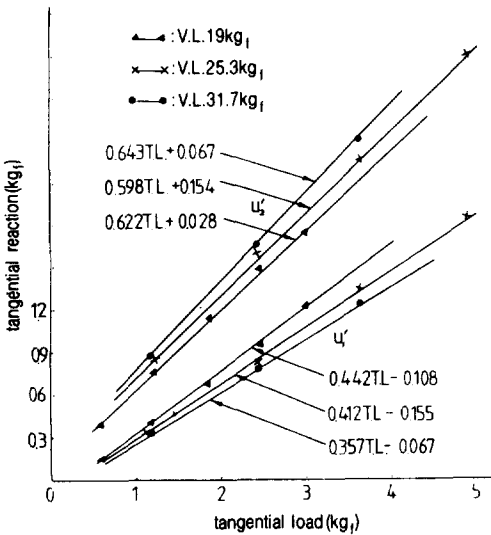


Fig. 12. Relation between tangential load and tangential reaction with various vertical load.

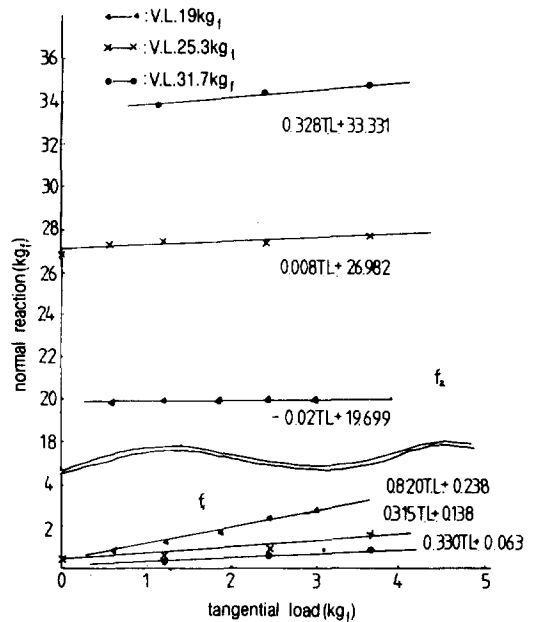


Fig. 13. Relation between tangential load and normal reaction with various vertical load.

받기 때문에 수직하중 31.7kgf에서 가장 크며 垂直荷重 19kgf에서는 f_2 가 約 20kgf 정도로 거의 變化가 없었다. 沈下部分에서 接線荷重에 대한 法線反력이 19kgf의 垂直荷重을 加할 때 가장 크게 나타났다.

이것은 동일한 크기의 垂直荷重에 대하여 接線荷重이 클수록 沈下部分의 法線反력이 增加함을 알 수 있다.

그림 14는 接線荷重에 대한 合成反력의 垂直分력의 크기를 沈下部分과 壓縮部分에서 比較하였다. 合成反력의 垂直分력은 地盤에 作用한 바퀴의 垂直荷重과 回轉力에 의한 垂直荷重의 크기와 同一하게 되어

야 하며 法線反력의 크기가 垂直荷重을 接線荷重에 비해 크게 作用시킨 경우에는 接線荷重보다 크므로 結局 合成反력의 垂直分력은 法線反력에 影響을 받아 그림 13과 비슷한 양상을 보이고 있다.

그림 15는 驅動輪의 前進에 가장 重要한 역할을 하는 接線荷重에 대한 合成反력의 水平分력인 前進力の 크기를 沈下部分과 壓縮部分에서 比較 하였다. 壓縮部分의 前進력이 ⊖로 나타난 것은 그림 1에서 右測方向으로 作用한 경우가 되어 前進할 수 없는

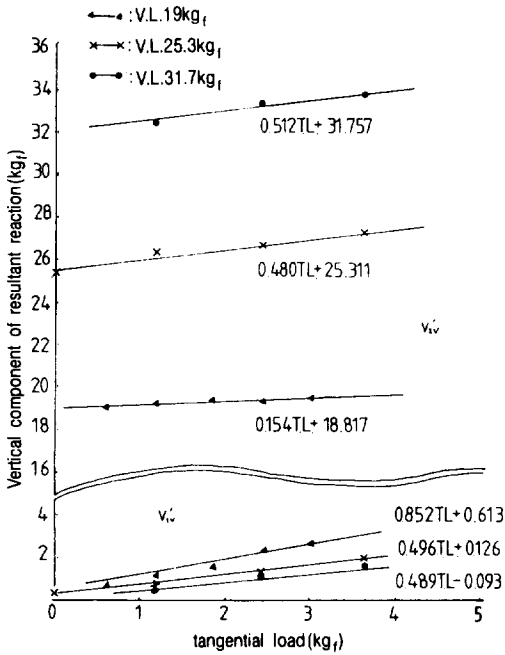


Fig. 14. Relation between tangential load and vertical component of resultant reaction with various vertical load.

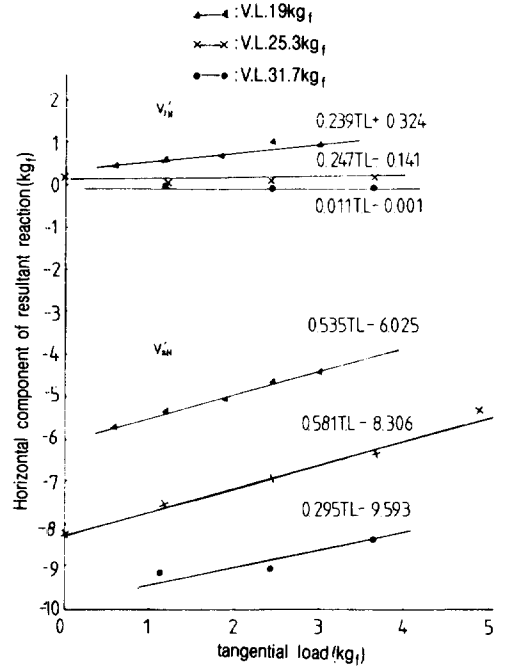


Fig. 15. Relation between tangential load and horizontal component of resultant reaction with various vertical load

抵抗을 나타내며 31.7kgf의 垂直荷重이 作用했을 때는 거의 Zero 狀態에 가까웠다. 현재 前進할 수 없는 狀態를 나타낸 것은 垂直荷重에 대한 接線荷重의 크기가 剛體輪의 lug와 Epoxy 사이에 허용되는 마찰력 범위내에서 한정되어 있기 때문이다. 여기서 前進력이 ⊕가 되어 走行할 수 있는 垂直荷重에 대한 接線荷重의 比 즉 $T.L./V.L.$ 을 垂直荷重 19kgf 25.3kgf

31.7kgf에서 各各 구하여 본 結果 $T.L./V.L. = 20.35/19 = 1.07$, $T.L./V.L. = 24.4/25.3 = 0.97$, $T.L./V.L. = 33.8/31.7 = 1.06$ 으로 나타났다.

實驗에서와 같이 沈下角이 59°인 狀態에서 走行할 수 있는 垂直荷重에 대한 接線荷重의 比가 約 1以上 되어야 走行이 可能함을 알 수 있으며 Slip이 없는 狀態에서 接線荷重이 一定할 때 垂直荷重의 크기가

Table 1. The load ratio T.L./V.L. for rear wheel of DAE DONG KUBOTA 2201 tractor

Travel speed	r. p. m of engine					max. traction power (Hp)	T. L. (kg_f)	T. L. / V. L.
	1000	1500	2000	2500	3000			
1.66 (km/h)	8.9	13.1	16.8	20.7	24	4.2	743.4 272.5	1.73 0.64
3.07	17	22.7	29	37.5	44	5.98	547.7 211.6	1.29 0.50
5.53	25.5	35	44.8	54	66.5	10.34	631.3 242.1	1.49 0.57
10.3	47	65.5	84.5	104.4		15.47	512.5 230.7	1.22 0.54

前進力에 거의 影響을 미치지 않음을 그림15에서 나타내고 있다. 표1은 대동 22마력 트랙터로서 測定한 結果와 比較할 때 實驗에서 구한 走行可能한 T_L/V_L 의 값이 約1인 것은 實際값에 有效함을 나타내고 있다.

5. 結 論

驅動輪에 垂直荷重과 回轉力을 機械的으로 變化시킴으로서 컴퓨터에 의한 無人乘車作業時 必要로 하는 前進力의 最適條件을 究明하기 위하여 光彈性實驗으로 lug달린 驅動輪下의 應力分布를 測定한 結果 應力集中部分에 나타난 Fringe로부터 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

1. 沈下時 驅動輪의 垂直荷重은 地盤의 法線反力에 影響을 주어 驅動에 대한 抵抗을 나타내는 要因으로 되고 接線荷重은 接線反力을 增加시켜 前進力을 향상 시키게 된다.

2. Slip이 없는 狀態에서 接線荷重을 一定하게 할 때 垂直荷重의 增加는 前進에 거의 無關係를 나타내었다.

3. 沈下角이 59°인 狀態에서 驅動輪의 走行可能한 接線荷重과 垂直荷重의 比는 約1以上 되어야만 可能함을 보여 주었다.

參 考 文 獻

1. 伊藤信考. 1971. 光彈性法による走行部下の應力分布について, 日本農業機械學會誌. 35(1): 4~13.
2. 伊藤信考. 1972. 光彈性法による走行部下の應力分布について, 日本農業機械學會誌. 35(2): 134

- ~142.
3. 伊藤信考. 1973. 光彈性法による走行部下の應力分布について, 日本農業機械學會誌, 36(1): 42~43.
4. 伊藤信考. 1974. 트랙터驅動輪의 沈下에 關하여, 日本農業機械學會誌, 36(4): 495~503.
5. 伊藤信考. 1974. 트랙터驅動輪의 沈下에 關하여, 日本農業機械學會誌, 36(4): 505~511.
6. 川林登의. 1980. 農業動力學. 文永堂: 126~131.
7. 守島正太郎. 1965. 트랙터驅動輪의 牽引特性과 스티어링에 關한 理論的考察, 日本農業機械學會誌. 28(3): 132~135.
8. 辻二郎의. 1978. 光彈性實驗法, 日刊工業新聞社: 121~153.
9. 芝野保徳. 1970. 小型 트랙터의 驅動性能에 關한 研究, 日本農業機械學會誌. 32(1): 2~8.
10. 島富의. 1971. 最近의 X線應力測定技術とその機器, 日本機械學研究. 23(11): 1476~1482.
11. 平의. 1972. 最近における X線應力測定とその裝置, 日本機械學研究, 24(2): 401~406.
12. Alvin, C. Bailey의. 1976. Theoretical considerations of a rigid wheel mechanics, ASAE: 1005~1007.
13. Richard, G. Budznas. 1977. Advanced strength and applied stress analysis, McGraw-Hill: 375~395.
14. William R. Gill. 1967. Soil dynamics in tillage and traction, U. S. Government Print Office: 355~368.