

假想 히치점의 位置가 트랙터의 操向 安定性에 미치는 影響(I)⁺

—假想 히치점의 安全 領域에 대한 理論的 考察—

Effects of VHP Positions on the Steering Stability of Agricultural Tractors(I)⁺

—Derivation of Safe Region for VHP Locations—

申 秀 一* 金 景 旭*

S. I. Shin K. U. Kim

Summary

This study was conducted to investigate the influences of virtual hitch point (VHP) positions of a three-point hitch on the steering stability of agricultural tractors. The VHP locations were determined analytically from the linkage geometry and implement posture during the normal tillage operations. The maximum force applicable to the VHP was also determined under the given soil and power constraints. From these possible ranges of the VHP locations, a safe region for steering control was determined theoretically by using maximum applicable forces for the given tractor and implement combinations. With VHP positions within the safe region, tractor can maintain the minimum soil reaction forces, assumed 20% of the total tractor weight in this study, at the front wheels which is required for the steering control under the maximum traction conditions.

This paper mainly concerns with mathematical developments for the determination of VHP locations and maximum forces applicable to the VHP for steering control. Experimental validation of the theory developed here follows as the second part of this study.

1. 緒 論

트랙터의 작업기 연결 방식은 크게 드로우바 히치 연결과 3점 링크 연결 방식으로 나눌 수 있다. 드로우바 히치 연결 방식은 히치점이 實 히치점(real hitch point)으로서 트랙터 車體에 固定되어 있는 반면, 3점 링크 연결 방식은 히치점의 위치가 耕深이나 작업기의 연결 상태, 작업기에 작용하는 土壤 抵抗力 등에 따라서 변화한다. 따라서 이러한 특성 때문에 3점 링크 연결 방식

의 히치점을 假想 히치점(virtual hitch point)이라고 한다.

假想 히치점의 위치는 작업 조건이나 작업기의 연결 상태 등에 따라서 변화하기 때문에 트랙터의 操向 安定性에 큰 영향을 미친다. 본 연구는 트랙터의 假想 히치점의 위치가 操向 安定性에 미치는 영향을 糾明하기 위한 것으로서 구체적인 目的은 다음과 같다.

첫째, 3점 링크 연결 방식에서 假想 히치점의 領域을 나타낼 수 있는 理論式을 유도한다.

+ 이 研究는 1989년도 韓國科學財團 研究費 支援에 의한 結果의 일부임(과제 번호 891-1501-069-2)

* 서울大學校 農科大學 農工學科

둘째, 假想 히치점에 작용할 수 있는 限界 水平 및 垂直 견인력을 결정한다.

셋째, 이를 이용하여 操向 安定性을 유지할 수 있는 가상 히치점의 安全 領域을 결정하고, 안전 영역의 확대 방안을 모색한다.

2. 研究史

트랙터의 3점 히치 및 假想 히치점의 위치와 작업 安定性에 대한 연구는 주로 重量 轉移의 效果를 증가시켜 驅動輪에서 큰 견인력을 얻기 위한 目的으로 수행되었다. Inns(1985)은 自由 링크 연결 방식의 牽引式, 固定 링크 연결 방식의 裝着式, 및 耕深 調節輪 등을 부착한 半裝着式 3점 링크 시스템에서 假想 히치점의 위치가 重量 轉移와 耕深에 미치는 影響을 考察한 바 있다. 그는 이 연구에서 自由 링크 연결 방식이 重量 轉移의 效果를 最大化할 수 있다고 하였다. 그러나, 固定 링크 연결 방식과 半裝着式 작업기 연결 방식에서, 작업기의 土壤 浸透 및 重量 轉移의 效果를 最大化하기 위해서는 假想 히치점의 위치가 상부 링크와 하부 링크의 연장선이 교차하는 지점에 近接해야 한다고 하였다. Sakai, 등 (1987)은 트랙터 附着型 振動式 深土 破碎機에 대한 振動을 分析하고, 시뮬레이션과 圃場 實驗을 통하여 假想 히치점의 위치가 트랙터의 振動 상태를 결정하는 주요한 要因임을 입증하였다. 이 연구에서 그는 假想 히치점의 위치를 最適의 위치에 오게함으로써 트랙터의 車體 振動을 감소시킬 수 있다고 하였다. Ikemi(1987)는 로터리 작업시, 작업기를 높이 들어 올릴 수 있도록 상부 링크의 길이를 짧게 한 로터리용 3점 히치의 假想 히치점에 대한 安定性을 연구하였다. 이 연구에서 그는 로터리용 3점 히치의 假想 히치점은 일정한 耕深을 유지하기 위하여 後輪의 車軸 아래에 위치하여야 하며, 制動에서는 重量 轉移의 效果를 고려하여 假想 히치점의 위치가 가능한 낮아야 한다고 하였다. Kim, 등 (1987)은 트랙터의 安定性 고찰에서 트랙터가 操向 安定性을 유지하기 위해서는 前輪에 작용하는 土壤의 수직 반력이 최소한 트랙터 總重量의 20%는 되어야 한다고 하였다.

3. 假想 히치점의 安全 領域

가. 假想 히치점의 위치

假想 히치점의 위치를 결정하기 위하여 그림1에서와 같이 後輪 車軸의 中央을 지나는 垂直線이 後輪의 接地 平面과 만나는 점을 원점으로 하고 트랙터의 진행 방향을 X축, 接地 平面의 수직 방향을 Z 축으로 하는 O-X-Z 좌표계를 설정하였다. 그림1에서 H, L은 각각 상부 링크와 하부 링크의 取付點을 나타내고 r_2, r_3, r_4 와 $\theta_2, \theta_3, \theta_4$ 는 각각 하부 링크, 작업기의 마스터 및 상부 링크의 길이와 X축 방향을 기준으로 한 角變位를 나타낸다. 고정 링크 LH를 수평 성분 r_0 와 수직 성분 r_1 으로 나누면, r_0, r_1, r_2, r_3, r_4 의 관계는

$$\vec{r}_0 + \vec{r}_1 + \vec{r}_4 = \vec{r}_2 + \vec{r}_3$$

혹은

$$r_0 e^{i\pi} + r_1 e^{i\pi/2} - r_2 e^{i\theta_2} - r_3 e^{i\theta_3} + r_4 e^{i\theta_4} = 0 \quad (1)$$

가 된다. 여기서 $r_0, r_i, i=1, 2, 3, 4$ 는 벡터 $\vec{r}_0, \vec{r}_i, i=1, 2, 3, 4$ 의 크기를 나타낸다. (1)식을 實數部와 虛數部로 나누면

$$r_4 \cdot \cos\theta_4 - r_0 - r_2 \cdot \cos\theta_2 - r_3 \cdot \cos\theta_3 = 0 \quad \dots(2)$$

$$r_4 \cdot \sin\theta_4 + r_1 - r_2 \sin\theta_2 - r_3 \cdot \sin\theta_3 = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

가 되며

$$a_1 = -r_0 - r_2 \cdot \cos\theta_2$$

$$b_1 = r_1 - r_2 \cdot \sin\theta_2$$

라고 하면

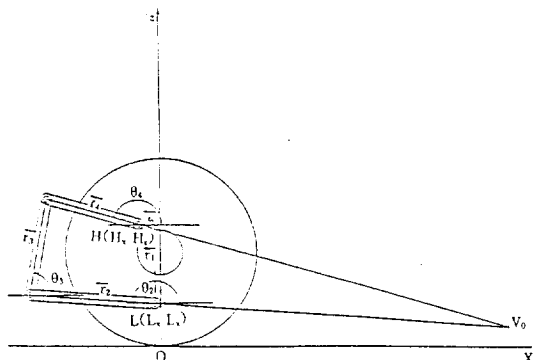


Fig.1 Determination of VHP.

$$r_3 \cdot \cos\theta_3 - a_1 = r_4 \cdot \cos\theta_4 \dots\dots\dots(4)$$

$$r_3 \cdot \sin\theta_3 - b_1 = r_4 \cdot \sin\theta_4 \dots\dots\dots(5)$$

가 된다. (4)식과 (5)식의 양변을 제곱하여 θ_4 을 소거하면,

$$r_3^2 - 2r_3(a_1 \cdot \cos\theta_3 + b_1 \sin\theta_3) + a_1^2 + b_1^2 = r_4^2$$

혹은

$$\cos(\theta_3 - \phi) = \frac{r_3^2 + a_1^2 + b_1^2 - r_4^2}{2r_3 \cdot c_1} \dots\dots\dots(6)$$

가 된다. 여기서,

$$\phi = \tan^{-1} \frac{b_1}{a_1}$$

$$c_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

이다. (6) 식에서 마스터의 角變位 θ_3 를 구하면

$$\theta_3 = \cos^{-1} \frac{r_3^2 + a_1^2 + b_1^2 - r_4^2}{2r_3 \cdot c_1} + \phi \dots\dots\dots(7)$$

$$0 < \theta_3 \leq \pi / 2$$

이다. 따라서 상부 링크의 角變位 θ_4 는 (2), (3) 식으로 부터

$$\theta_4 = \tan^{-1} \frac{r_2 \cdot \sin\theta_2 - r_1 + r_3 \cdot \sin\theta_3}{r_0 + r_2 \cdot \cos\theta_2 + r_3 \cdot \cos\theta_3} \dots\dots\dots(8)$$

가 되며 θ_3 는 (7)식에서 구할 수 있다. 플라우용 3점 링크 연결 방식은 일정한 耕深과 경폭을 유지하기 위하여 마스터를 地面에 대하여 수직으로 설치하고 상부 링크의 길이를 조정하는 것이 일반적이다. 따라서 플라우용 3점 링크 연결 방식에서는 마스터의 角變位 θ_3 가 90° 가 된다. (8) 식으로부터 상부 링크의 角變位 θ_4 가 결정되면 상부 링크와 하부 링크의 연장선이 교차하는 점 V_0 는 自由 링크 연결 방식의 假想 히치점이 되며, 상부 링크와 하부 링크를 나타내는 직선의 방정식은 각각

$$Z_H = X \cdot \tan\theta_4 + H_2 - H_x \cdot \tan\theta_4, \pi/2 < \theta_4 \leq \pi$$

$$Z_L = X \cdot \tan\theta_2 + L_2 - L_x \cdot \tan\theta_2, \pi/2 < \theta_2 \leq \pi$$

가 된다. 따라서 두 직선의 교점 V_0 의 X, Z 좌표를 각각 V_x, V_z 라고 하면

$$V_x = \frac{(L_x - H_z) + (H_x \cdot \tan\theta_4 - L_x \cdot \tan\theta_2)}{\tan\theta_4 - \tan\theta_2} \dots\dots\dots(9)$$

$$V_z = V_x \cdot \tan\theta_4 + H_2 - H_x \cdot \tan\theta_4 \dots\dots\dots(10)$$

이다. 여기서, (H_x, H_z) 와 (L_x, L_z) 는 각각 상부 링크와 하부 링크의 取付點 H, L 의 좌표이다. 또한 固定 링크 연결 방식에서는 리프트 링크의 油壓 上昇力에 따라 가상 히치점이 상부 링크의 연장선 Z_H 상에서 이동하므로, 이 때 假想 히치점의 좌표는

$$V_x = X \dots\dots\dots(11)$$

$$V_z = X \cdot \tan\theta_4 + H_z - H_x \cdot \tan\theta_4 \dots\dots\dots(12)$$

가 된다.

나. 操向 安定性

操向 安定性은 操向하는 데 필요한 충분한 操向力을 車輪이 發生할 수 있을 때 얻을 수 있다. 일반적으로 트랙터가 操向 安定性을 유지하기 위해서는 前輪에 작용하는 토양의 수직 반력이 최소한 트랙터 總重量의 약 20% 수준은 되어야 한다. 重量 轉移의 效果는 驅動輪에 작용하는 動荷重을 증가시켜 견인력의 증가를 가져오지만 前輪에서는 토양의 수직 반력이 감소되어 操向 安定性을 喪失할 가능성이 있다. 따라서 操向 安定性을 유지하기 위해서는, 假想 히치점이 重量 轉移의 效果를 考慮하여, 적절하게 위치하여야 한다. 또한 견인력의 크기도 假想 히치점의 위치에 따라서 변화하므로, 前輪이 操向 安定性을 유지할 수 있는 범위 내에서 假想 히치점에 作用할 수 있는 최대의 수평 및 수직 견인력을 결정할 필요가 있다.

다. 限界 垂直 및 水平 牽引力

트랙터가 操向 安定性을 유지할 수 있는 범위 내에서 驅動輪에 작용할 수 있는 최대 動荷重과 최대 牽引力을 각각 限界 動荷重과 限界 牽引力이라고 정의하고, 이를 결정하기 위하여 그림2에서와 같이 트랙터에 대한 靜的 힘 분석을 실시하였다. X, Z 방향의 힘의 평형 방정식은

$$F_r - TF_r - TF_l - F_H = 0 \dots\dots\dots(13)$$

$$R_r - W_t + R_l - F_v = 0 \dots\dots\dots(14)$$

여기서 R_r : 前輪에 작용하는 수직 반력
 R_l : 驅動輪에 작용하는 수직 반력
 TF_l : 前輪의 구름 저항

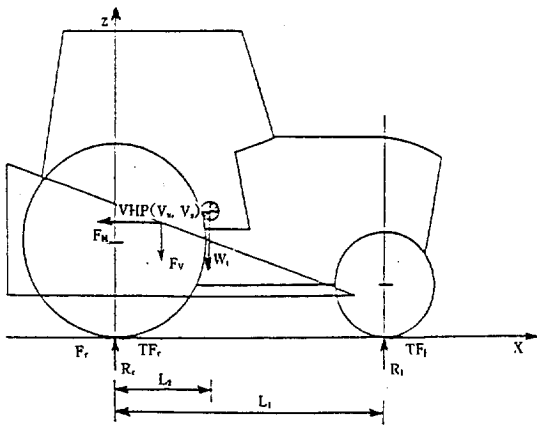


Fig.2 Static force analysis of tractor.

- TF_r : 驅動輪의 구름 저항
- F_r : 驅動輪의 토양 推進力
- W_i : 트랙터의 總 重量
- F_H : 假想 히치점에 작용하는 수평 せん인력
- F_V : 假想 히치점에 작용하는 수직 せん인력

이다. 前輪에 작용하는 수직 반력을 決定하기 위하여 假想 히치점 VHP에 대한 모우멘트를 취하면,

$$-R_r V_x - W_i(L_2 - V_x) + R_r(L_1 - V_x) + (F_r - TF_r - TF_r)V_z = 0 \dots\dots\dots(15)$$

- 여기서 V_x : 假想 히치점의 X 좌표
- V_z : 假想 히치점의 Z 좌표
- L₁ : 後輪 車軸과 前輪 車軸間 수평 거리
- L₂ : 後輪 車軸과 트랙터 重心間 수평 거리

가 된다. (15)식에서 前輪에 작용하는 수직 반력 R_r를 구하면

$$R_r = \frac{R_r V_x + W_i(L_2 - V_x) - (F_r - TF_r - TF_r)V_z}{L_1 - V_x}$$

가 되고, TF_r = ρ · R_r, TF_r = ρ · R_r, F_r = μ · R_r의 관계를 대입하면

$$R_r = \frac{R_r[(\mu - \rho) \cdot V_z - V_x] - W_i(L_2 - V_x)}{\rho \cdot V_z - (L_1 - V_x)} \dots\dots\dots(16)$$

여기서 μ = せん인 계수

ρ = 구름 저항 계수

이다. 트랙터가 操向 安定性을 유지할 수 있는 조건으로서, 前輪에 작용하는 토양의 수직 반력이 트랙터 總 重量의 K% 이상 되어야 한다면

$$R_r = \frac{R_r[(\mu - \rho) \cdot V_z - V_x] - W_i(L_2 - V_x)}{\rho \cdot V_z - (L_1 - V_x)} \geq K \cdot W_i$$

가 된다. 따라서 前輪에 작용하는 토양의 수직 반력이 트랙터 總 重量의 K%일 때 驅動輪에 작용하는 수직 반력을 限界 垂直 反力이라고 하고, 이를 R_{r,lim}으로 표시하면

$$R_{r,lim} = \frac{K \cdot W_i S_1 + W_i(L_2 - V_x)}{S_2} \dots\dots\dots(17)$$

여기서, S₁ = ρ · V_z - (L₁ - V_x)

S₂ = (μ - ρ) · V_z - V_x

가 된다.

(17) 식에서 S₁과 S₂는 O-X-Z 平面에서 假想 히치점의 X 좌표에 대한 Z 좌표의 상대적인 위치를 나타내는 변수로서 S₁과 S₂의 크기에 따라 그림3에서와 같이 假想 히치점의 領域을 4 領域으로 나눌 수 있다. A 領域은 S₁ ≥ 0, S₂ < 0 인 경우로서 假想 히치점은 前輪 앞쪽에 위치한다. 假想 히치점이 A 領域에 위치할 때, 驅動輪의 動荷重이 한계 수직 반력보다 크면 트랙터는 操向 安定性을 상실한다. 따라서 操向 安定性을 유지하기 위해서는 せん인력이 後輪의 接地點 아래쪽으로 작용하여 驅動輪의 動荷重이 한계 수직 반력보다 작게 하여야 한다. B 領域은 S₁ < 0, S₂ < 0 인 경우로서 假想 히치점은 前輪과

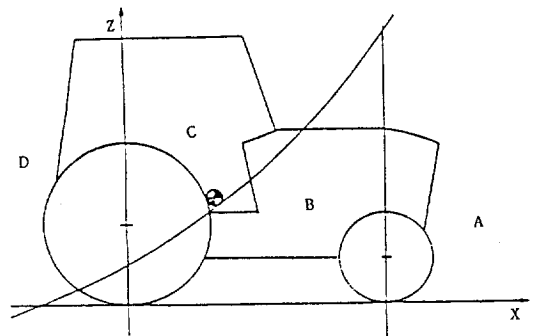


Fig.3 Variation of limit rear wheel forces by virtual hitch point locations.

後輪 사이에 비교적 낮게 위치한다. 이 領域에서는 驅動輪의 動荷重이 증가할수록 前輪의 操向 安定性은 증가하며 驅動輪의 推進力도 증가된다. C 領域과 D 領域은 각각 $S_1 < 0, S_2 < 0, S_1 \geq 0, S_2 < 0$ 인 경우로서 假想 히치점의 위치가 地面에서 비교적 낮게 위치하거나 後輪 뒷쪽에 위치하는 경우이다.

驅動輪에 한계 수직 반력 $R_{r, Lim}$ 이 작용할 때 假想 히치점에 작용하는 限界 牽引力의 수평 및 수직 분력을 각각 한계 수평 및 수직 견인력 $F_{H, Lim}, F_{v, Lim}$ 이라고 하면, 前輪에 작용하는 수직 반력 R_r 는 操向 安定性을 유지하기 위한 최소한의 반력이므로 (13) 식과 (14) 식에

$$R_t = K \cdot W_t$$

$$R_r = R_{r, Lim}$$

$$F_H = F_{H, Lim}$$

$$F_v = F_{v, Lim}$$

를 대입하면

$$F_r - TF_r - TF_t - F_{H, Lim} = 0 \dots\dots\dots(18)$$

$$R_{r, Lim} - W_t + K \cdot W_t - F_{v, Lim} = 0 \dots\dots\dots(19)$$

가 된다. 한계 수평 및 수직 견인력 $F_{H, Lim}, F_{v, Lim}$ 을 구하면

$$F_{H, Lim} = F_r - TF_r - TF_t$$

$$= (\mu - \rho) \cdot R_{r, Lim} - \rho \cdot K \cdot W_t \dots\dots\dots(20)$$

$$F_{v, Lim} = R_{r, Lim} - (1 - K) \cdot W_t \dots\dots\dots(21)$$

이다. 본 연구에서는 (20) 과 (21) 식을 이용하여 假想 히치점의 全 領域에서 前輪이 操向 安定性을 유지할 수 있는 한계 수평 및 수직 견인력을 구하였다.

4. 安全 領域

假想 히치점의 全 領域에서 操向 安定性을 유지할 수 있는 安全 領域은 다음과 같이 결정하였다. (9) - (12) 식을 이용하여 먼저 상부와 하부 링크의 길이, 링크 취부점의 위치, 마스터의 높이 및 하부 링크의 角變位 범위에서 假想 히치점이 존재할 수 있는 全 領域을 결정하였다. 다음에, 이 全 領域에서 操向 安定性을 유지할 수 있는 假想 히치점의 安全 領域은 트랙터가 定格

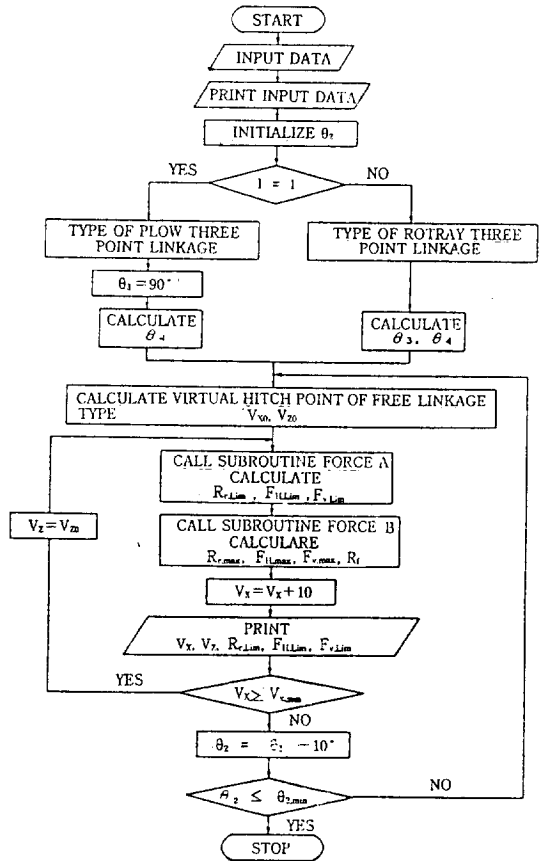


Fig.4 Flow chart for determination of safe VHP locations.

출력과 定格 엔진 속도로서 작업할 때 前輪에 작용하는 토양의 수직 반력이 트랙터 총 중량의 20% 이상을 유지하는 假想 히치점의 領域으로 결정하였다. 이 安全 領域에서 가상 히치점에 작용할 수 있는 限界 수평 및 수직 견인력은 (20) - (21) 식을 이용하여 구하였다. 그림 4는 가상 히치점의 안전 영역을 결정하는 컴퓨터 프로그램의 흐름도이다.

5. 要約 및 結論

트랙터의 3점 히치에 대한 假想 히치점의 全 領域과 이 領域中 前輪이 操向 安定性을 유지할 수 있는 安全 領域을 결정하기 위한 이론식을 제시하고, 이 理論式을 이용하여, 가상 히치점의 안전 영역을 결정하는 컴퓨터 프로그램을 개발

하였다.

參 考 文 獻

1. Heitshu, D.C. 1952. The kinematics of tractor hitches. Agricultural Engineering 33(6) : 343-347,356.
2. Hemingway, P.F. and T.A.Copland. 1989. Aspects of tractor front linkage design. The Agricultural Engineer, Winter : 102-105.
3. Inns, F. M. 1985. Some design and operational aspects of 3-link implement attachment systems. The Agricultural Engineer, Winter 40(4) : 136-144.
4. Sakai, K. and H. Terao. 1987. The study on the vibratory soil cutting of vibrating subsoiler. Journal of JSAM 49(1.2) : 71-79.
5. Kim, K. U. and G. E. Rehkugler. 1978. A review of tractor dynamics and stability. Transactions of the ASAE 30(3) : 615-623.
6. Roy, W. and P.E. Morling. 1979. Agricultural tractor hitches, Analysis of design requirement. ASAE Distinguished Lecture Series No.5
7. Ikemi, T. 1987. Studies on three-point linkage for rotary tilling tractor. Memoirs of the Faculty of Agriculture Kochi University, Vol. 50.



學 位 取 得



姓 名: 李 弘 柱
 生 年 月 日: 1942年 11月 8日
 勤 務 處: 안성농업전문대학
 取 得 學 位 名: 농학박사
 學 位 授 與 大 學: 충북대학교 대학원
 學 位 取 得 年 月 日: 1991年 2月 26日
 學 位 論 文: 韓國의 太陽強度 分析