

ทฤษฎีการออกแบบล้อเหล็กสำหรับงานไถดินของรถไถเดินตาม DESIGN THEORIES OF IRON WHEELS FOR PLOWING WITH WALKING TRACTOR

สุรินทร์ พงศ์สุกสมิทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SURIN PHONGSUPASAMIT

Mechanical Engineering, Chulalongkorn University Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

บทความวิจัยและพัฒนานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยและพัฒนารถไถเดินตามและอุปกรณ์เตรียมดิน การที่ล้อเหล็กที่ใช้กับรถไถเดินตามเพื่องานไถดินจะทำงานได้ดีนั้น จำเป็นจะต้องได้รับการออกแบบที่ถูกต้องและเหมาะสม ดังนั้น ทฤษฎีการออกแบบในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรถไถเดินตามอุปกรณ์ไถสภาพพื้นที่ และเงื่อนไขการไถดินเพื่องานเกษตรกรรมกับล้อเหล็ก ในขณะที่รถไถเดินตามทำการไถดินได้ถูกกำหนดขึ้น ทฤษฎีการออกแบบนี้ใช้สำหรับคำนวณหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางล้อ ลักษณะรูปร่างใบล้อ จำนวนใบล้อ มุมใบล้อตามแนวรัศมีกับวงล้อและพื้นที่ผิวใบล้อ ล้อเหล็กที่สร้างขึ้นจากทฤษฎีการออกแบบสามารถตะกุดดินได้ดี ช่วยพยุกรถไถเดินตามและช่วยการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม ขณะที่ไถดินมีเสถียรภาพไปในแนวที่ต้องการได้โดยที่เกษตรกรออกแรงช่วยที่คันบังคับน้อยมาก หรือแทบไม่ต้องออกแรงเลย ทำให้เกษตรกรไถรถไถเดินตามไถดินได้สะดวกและปลอดภัยยิ่งขึ้น

ABSTRACT

In this paper, the mathematical equations expressing relations between walking tractors, plows and soil conditions were developed while the whole machine was operated in the standard plowing form. These design theories are used to develop planning design and part design of iron wheels for plowing. Moreover, in order to obtain better tractive and floating performance and to achieve stable plowing, structural principles and design equations of iron wheel lugs for plowing are proposed with better understanding of mutual relationships between the above mentioned working components.

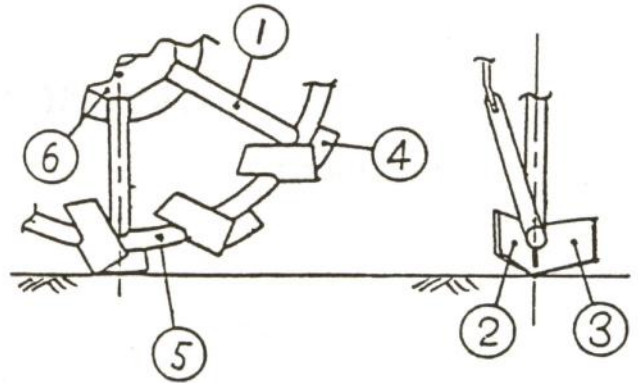
บทนำ

ล้อนับว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญอันหนึ่งของรถไถเดินตามที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงบิดของเพลารถไถเดินตามมาเป็นแรงผลักดันที่บริเวณล้อสัมผัสกับพื้นดินทำให้รถไถเดินตามเคลื่อนที่ และสามารถลากอุปกรณ์การเกษตรที่พ่วงข้างหลังทำงานได้ เนื่องจากว่ารถไถเดินตามที่ใช้ในงานเกษตรกรรมถูกนำไปใช้ในสภาพพื้นที่การเกษตรกรรมที่มีลักษณะสมบัติของดินแตกต่างกันและอุปกรณ์ที่พ่วงข้างหลังก็แตกต่างกันตามลักษณะงานเกษตร ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมียาล้อหลายชนิดสำหรับรถไถเดินตามเพื่อการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และอุปกรณ์พ่วงข้างหลัง อาทิเช่น ล้อยางและล้อเหล็กแบบต่าง ๆ ล้อเหล็กจะทำให้รถไถเดินตามทำงานได้ดีกว่าล้อยางในสภาพพื้นที่ดินเปียกและชั้นผิวดินอ่อน ล้อเหล็กแบ่งออกเป็นหลายชนิดตามชนิดของอุปกรณ์ที่พ่วงข้างหลัง เช่น ล้อเหล็กสำหรับงานไถดิน ล้อเหล็กสำหรับงานตีเทือกและคราดดิน ล้อเหล็กสำหรับงานพรวนดิน และล้อเหล็กสำหรับงานหยอดเมล็ดพืช เป็นต้น ลักษณะโครงสร้างของล้อเหล็กชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ส่วนใหญ่จะคล้ายกัน ยกเว้นส่วนของใบล้อจะมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพราะว่าใบล้อของล้อเหล็กนอกจากทำหน้าที่ตะกุดดินและช่วยพยุงน้ำหนักรถไถเดินตามแล้ว ยังต้องทำหน้าที่ช่วยให้รถไถเดินตามเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพขณะทำงานโดยมีอุปกรณ์พ่วงข้างหลัง

การออกแบบล้อเหล็กสำหรับงานไถดินของรถไถเดินตามเพื่อกำหนดขนาด รูปร่างและรายละเอียดต่างๆของชิ้นส่วนที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นล้อนั้นจำเป็นที่จะต้องอาศัยทฤษฎีการออกแบบที่แสดงความสัมพันธ์การทำงานระหว่างรถไถเดินตาม อุปกรณ์ไถดิน สภาพพื้นที่และเงื่อนไขการไถดินกับล้อ ในขณะที่รถไถเดินตามทำการไถดินในลักษณะการทำงานที่เหมาะสมที่สุด

1. โครงสร้างของล้อเหล็กสำหรับใช้งานไถดิน

ล้อเหล็กสำหรับใช้ในงานไถดินประกอบด้วย ใบล้อ (Forward lug) ใบล้อตรง (Straight running lug) ชี้อ (Spoke) วงล้อ (Rim) และหน้าแปลนล้อ (Hub plate) รายละเอียดดังรูปที่ 1



- | | |
|-----------------|----------------|
| 1. ชี้อ | 4. ใบล้อตรง |
| 2. ใบล้อด้านใน | 5. วงล้อ |
| 3. ใบล้อด้านนอก | 6. หน้าแปลนล้อ |

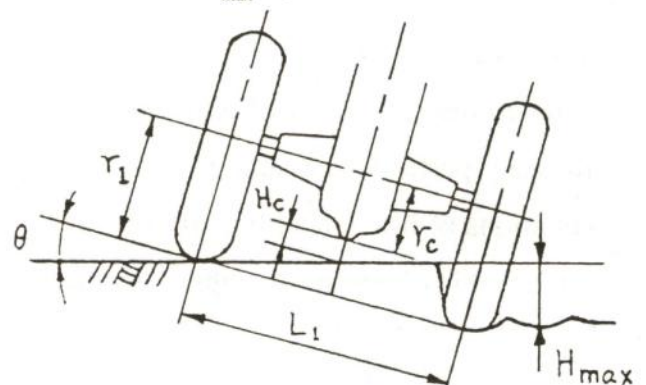
รูปที่ 1 โครงสร้างของล้อเหล็ก

2. สมการการออกแบบล้อเหล็กเพื่อใช้งานไถดิน

2.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกสูงสุดการไถกับรัศมีล้อเหล็ก

ขณะที่รถไถเดินตามไถดินล้อข้างหนึ่งจะเคลื่อนที่อยู่ในร่องไถ ส่วนล้ออีกข้างหนึ่งเคลื่อนที่บนพื้นดินที่ยังไม่ได้ไถ ดังนั้นตัวรถไถเดินตามจะเอียง ดังรูปที่ 2 ค่ามุมเอียง θ คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\theta = \sin^{-1} (H_{\max} / L_1) \quad (1)$$



รูปที่ 2 รถไถเดินตามขณะไถดิน

เมื่อ

$H_{\max}$	=	ความลึกการไถสูงสุด, ซม.
L_1	=	ช่วงห่างระหว่างล้อ, ซม.
r_c	=	ระยะจากแกนเพลาล้อถึงจุดต่ำสุดของเรือนถ่ายทอดกำลัง, ซม.
H_c	=	ระยะห่างจากพื้นดินถึงจุดต่ำสุดของเรือนถ่ายทอดกำลัง, ซม.
r_1	=	รัศมีล้อ, ซม.

สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ บริเวณต่ำสุดของเรือนถ่ายทอดกำลังที่เฟืองขับสุดท้ายของรถไถเดินตามจะต้องไม่แตะพื้นดิน มิฉะนั้นจะเกิดการต้านทานการเคลื่อนที่และเรือนถ่ายทอดกำลังสึกหรอ

จากรูปที่ 2 จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$(r_1 - (r_c + H_c)) / (L_1 / 2) = \tan \theta$$

ดังนั้น

$$r_1 = (L_1 \tan \theta + 2r_c + 2H_c) / 2 \quad (2)$$

และ

$$\tan \theta = H_{\max} / \sqrt{L_1^2 - H_{\max}^2} \quad (3)$$

โดยการแทนค่าสมการที่ (3) ลงในสมการที่ (2) จะได้ค่า r_1 ดังนี้

$$r_1 = \frac{L_1 H_{\max}}{2\sqrt{L_1^2 - H_{\max}^2}} + r_c + H_c \quad (4)$$

ในการออกแบบโดยทั่วไปค่าของ H_c ควรมีค่า 5 ซม. หรือมากกว่า เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ต่อไปนี้

ช่วงห่างระหว่างล้อ (L_1) = 70 ซม.

ความลึกการไถสูงสุด ($H_{\max}$) = 15 ซม.

ระยะจากแกนเพลาล้อถึงจุดต่ำสุด

ของเรือนถ่ายทอดกำลัง (r_c) = 15 ซม.

ระยะห่างจากพื้นดินถึงจุดต่ำสุด

ของเรือนถ่ายทอดกำลัง (H_c) = 8 ซม.

แทนในสมการที่ 4 จะได้ $r_1 = 30.67$ ซม.

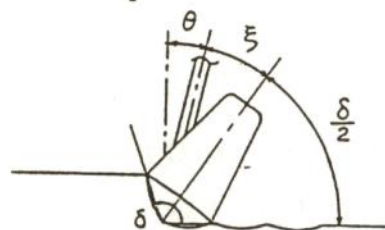
ผลการคำนวณเบื้องต้นได้ค่า r_1 อย่างน้อยควรเท่ากับ

30.67 ซม. หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อเหล็กควรมีอย่างน้อย 620 มม.

2.2 สมการสำหรับการออกแบบใบล้อ

สิ่งที่สำคัญอย่างมากและจะต้องจำไว้เสมออีกคือ ขณะรถไถเดินตามไถดินนั้นตัวรถไถเดินตามจะทำมุมเอียง (Inclined angle) " θ " กับพื้นดิน ยกเว้นกรณีที่รถไถเดินตามเปิดร่องไถครั้งแรก ด้วยเหตุนี้การออกแบบขนาดและรูปร่างของใบล้อที่ดีควรมีความเกี่ยวข้องกับมิติอย่างอื่น และข้อกำหนดรายละเอียดของไถที่ติดรถไถเดินตาม

การไถดินด้วยรถไถตามติดอุปกรณ์ไถหัวหมูแบบเอเชีย (หัวผาลของไถหัวหมูแบบเอเชียจะมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยม ส่วนไถหัวหมูแบบยุโรปนั้น หัวผาลมีลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู) จะได้มุมร่องไถ (Furrow profile angle) " δ " ซึ่งเกิดจากการตัดดินของหัวผาลจะมีค่าระหว่าง 105 องศา ถึง 120 องศา ดังรูปที่ 3 ค่าของมุมดังกล่าวอาจจะแตกต่างจากนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบรูปร่างหัวผาล



δ : furrow profile angle

รูปที่ 3 มุมร่องไถ δ

ดังนั้นใบล้อจะต้องออกแบบให้สัมพันธ์กับมุมเอียง

" θ " และมุมร่องไถ " δ "

2.2.1 มุมยกด้านนอก (Outside lift angle) " θ_o " รูปที่

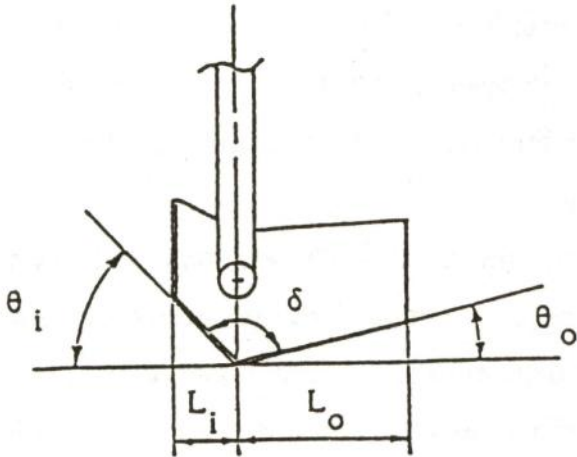
4 แสดงลักษณะใบล้อเมื่อมองจากด้านหลังซึ่งจะสังเกตเห็นว่ามุมยกด้านนอก " θ_o " จะสัมพันธ์กับมุมเอียง " θ " ของรถไถเดินตาม หากกำหนดว่าการจมดินของล้อทั้งสองเท่ากันแล้ว ค่าโดยประมาณของมุม θ_o คำนวณได้จากสมการ

$$\theta_o = \sin^{-1} (H/L_i) \quad (5)$$

เมื่อ H = ความลึกของการไถ, ซม.

L_i = ช่วงห่างระหว่างล้อ, ซม.

จากการแทนค่า $H = 15$ ซม., $L_i = 70$ ซม. ในสมการที่ 5 คำนวณมุม θ_o ได้เท่ากับ 12.4 องศา สำหรับการออกแบบจะเลือกใช้มุม θ_o เท่ากับ 13 องศา



รูปที่ 4 ลักษณะใบล้อ

2.2.2 มุมยกด้านใน (Inside lift angle) " θ_i "

มุมยกด้านในของใบล้อคำนวณได้จากสมการ

$$\theta_i = 180^\circ - \theta_o - \delta$$

หรือ

$$\theta_i = 180^\circ - \sin^{-1} (H/L_i) - \delta \quad (6)$$

จากการแทนค่า มุม $\theta_o = 13$ องศา และมุม $\delta = 115^\circ$ ในสมการ 6 จะได้ค่ามุม θ_i เท่ากับ 52 องศา

2.2.3 ความกว้างใบล้อด้านนอก (Outside lug width) " L_o "

ความกว้างใบล้อด้านนอกพิจารณาจากหลักการที่ว่า หากความกว้างดังกล่าวแคบไปทำให้ใบล้อมีขนาดเล็ก การตะกุกดินของล้อไม่ดี และล้ออาจจะจมดินลึกเกินไป ในทำนองกลับกันหากความกว้างของใบล้อด้านนอก กว้างมากเกินไป จะทำให้ล้อไม่สามารถเคลื่อนที่อยู่ในร่องไถ ได้สะดวก และบางส่วนของใบล้ออาจจะวิ่งทับบนก้อน ดินที่ไถแล้ว ทำให้รถไถเดินตามเส้นสะเทือนมาก เกษตรกรจะพบความยุ่งยากและลำบากในการควบคุม

รถไถเดินตามให้เคลื่อนที่ไปตามแนวร่องไถที่ต้องการ ดังนั้นสรุปได้ว่าความกว้างของใบล้อด้านนอกที่เหมาะสม สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$L_o \leq W \quad (7)$$

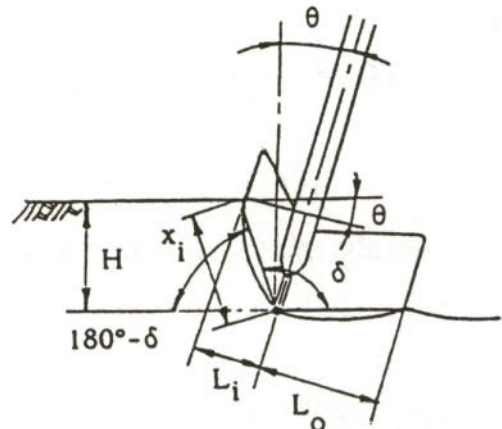
เมื่อ W = ความกว้างการไถหนึ่งแถว, ซม.

ความกว้างการไถขึ้นอยู่กับขนาดหัวผาลและจำนวน ไถใน 1 ชุด สำหรับรถไถเดินตามขนาดกลางเหมาะสำหรับการติดด้วยไถหนึ่งตัวที่มีความกว้างการไถจริง (Actual plowing width) ประมาณ 12 ซม. ถึง 15 ซม.

2.2.4 ความกว้างใบล้อด้านใน (Inside lug width) " L_i "

ใบล้อด้านในมีความสำคัญมากต่อการบังคับการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตามให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 จะได้สมการ



รูปที่ 5 ใบล้อขณะอยู่ในร่องไถ

$$x_i \leq H / \sin (180^\circ - \delta) \quad (8)$$

และ

$$L_i \leq x_i \cos (180^\circ - \delta - \theta) \quad (9)$$

แทนค่าจากสมการที่ 5 และที่ 8 ในสมการที่ 9 จะได้ค่า

$$L_i \leq \frac{H \cos (180^\circ - \delta - \sin^{-1} (H/L_i))}{\sin (180^\circ - \delta)} \quad (10)$$

จากการแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในสมการที่ 10 ก็สามารถคำนวณค่า L_i ได้ดังนี้

$$L_i \leq 10.2 \text{ ซม.}$$

2.2.5 จำนวนซี่ล้อ (Number of spokes)

จำนวนซี่ล้อที่จำเป็นของล้อเหล็กขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อขนาดล้อและขนาดของซี่ล้อ

โดยทั่วไปการกำหนดจำนวนซี่ล้ออาศัยแนวความคิดจากประสบการณ์ที่ว่าหากซี่ล้อใช้วัสดุ และขนาดท่อ

อย่างเดียวกับวงล้อ ก็เสนอแนะการกำหนดจำนวนซี่ล้อเท่าที่จำเป็นตามตารางที่ 1

2.2.6 จำนวนใบล้อ (Number of lugs)

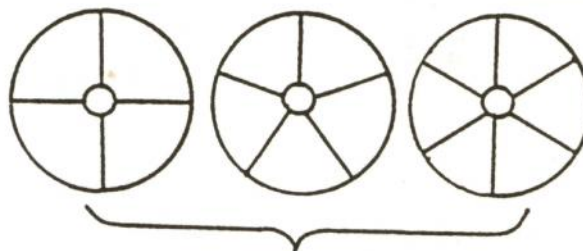
จำนวนใบล้อที่จำเป็นสำหรับล้อเหล็กนั้นสามารถกำหนดจากประสบการณ์ตามสภาพของพื้นที่ที่ทำการเกษตร ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การกำหนดจำนวนซี่ล้อ

ขนาดล้อ	จำนวนซี่ล้อ
ล้อขนาดเล็ก (Small wheel)	3
ล้อขนาดทั่วไป (Normal wheel) (ϕ 600 มม.)	4 ถึง 6
ล้อขนาดใหญ่ (Large wheel)	8



(Small wheel)



(Normal wheel)



(Large wheel)

ตารางที่ 2 การกำหนดจำนวนใบล้อ

สภาพพื้นที่เกษตรกรรม	จำนวนใบล้อ
พื้นที่ดินเลน	6
พื้นที่ดินโคลน	6 ถึง 8
พื้นที่ทำนาทั่วไป	8 ถึง 12
พื้นที่ทำไร่	8 ถึง 14

3. ทฤษฎีการวิเคราะห์เพื่อคำนวณจำนวนใบล้อ

การคำนวณหาจำนวนใบล้อที่เหมาะสม และจำเป็น สามารถจะหาได้จากการลื่นของล้อด้วยการวิเคราะห์ การเคลื่อนที่ของใบล้อทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของใบล้ออาศัยสมการ ของการกำหนดตำแหน่งใบล้อตามแนวแกน x (แนวราบ) และตามแกนแนว y (แนวตั้ง) ด้วยอาศัยสมการของ Trochoid Curve ดังนี้

$$x = vt - R \sin \omega t$$

$$y = R(1 - \cos \omega t)$$

เมื่อ

$$v = \text{ความเร็วการไถ} \quad (\text{ซ.ม./วินาที})$$

$$\omega = \text{ความเร็วเชิงมุมของล้อ} \quad (\text{เรเดียน/วินาที})$$

$$\omega = (\pi n)/30$$

$$n = \text{ความเร็วการหมุนของล้อ} \quad (\text{รอบ/นาที})$$

$$R = \text{รัศมีของล้อ} \quad (\text{ซ.ม.})$$

$$t = \text{เวลา} \quad (\text{วินาที})$$

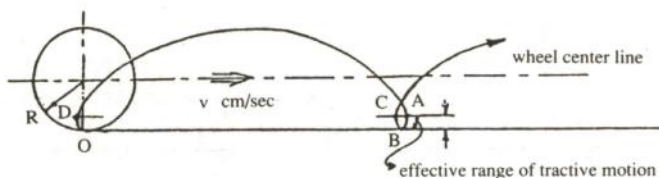
ดังนั้นจะได้

$$x = vt - R \sin (\pi nt/30) \quad (11)$$

$$y = R(1 - \cos (\pi nt/30)) \quad (12)$$

การเคลื่อนที่ของรถไถเดินตามทีลลดลง (Travel reduction) "S" เนื่องจากการลื่นของล้อสามารถกำหนด ได้ด้วยสมการ

$$S = (R\omega - v)/R\omega$$



รูปที่ 6 การเคลื่อนที่ของล้อ

$$S = 1 - (v/R\omega) \quad (13)$$

ดังนั้น

$$v = R\omega(1 - S) \quad (14)$$

แทนสมการที่ 14 ในสมการที่ 11 และที่ 12 ได้

$$x = R\omega(1 - S)t - R \sin \omega t \quad (15)$$

$$y = R(1 - \cos \omega t) \quad (16)$$

จากรูปที่ 6 แสดงการเคลื่อนที่ของล้อ ซึ่งพบว่าใบ ล้อเคลื่อนที่จากตำแหน่ง A ไป B จะเป็นช่วงการ เคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพต่อการตะกุกดินของใบล้อทำให้ รถไถเดินตามมีแรงฉุดลากได้ดี ดังนั้นหมายความว่าใบ ล้อถัดไปจะต้องเริ่มทำงานและเคลื่อนมาที่ตำแหน่ง A ก่อนที่ใบล้อหน้าจะเคลื่อนพ้นตำแหน่ง B ลักษณะการ เคลื่อนที่ของใบล้อจะเป็นเช่นนี้ตลอดไปอย่างต่อเนื่อง

จากสมการที่ 15 และที่ 16 สามารถใช้คำนวณ ความเร็วของใบล้อได้ดังนี้

$$dx/dt = R\omega(1 - S) - R\omega \cos \omega t \quad (17)$$

$$dy/dt = R\omega \sin \omega t \quad (18)$$

ดังนั้น สมการที่ 18 ทหารด้วยสมการที่ 17 จะได้

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy/dt}{dx/dt} = \frac{\sin \omega t}{(1 - S) - \cos \omega t} \quad (19)$$

โดยที่ จุด A ค่าของ $dy/dx = \infty$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$(1 - S) - \cos \omega t = 0$$

$$\omega t = \cos^{-1} (1 - S) \quad (20)$$

$$t = \frac{1}{\omega} \cos^{-1} (1 - S) \quad (21)$$

แทนค่า $\omega = (\pi n)/30$ ในสมการที่ 21 เพื่อหาค่า t ซึ่ง เป็นเวลาที่ปลายใบล้อใช้ในการหมุนจากตำแหน่ง O ถึงตำแหน่ง D ซึ่งเวลาดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับเวลาที่ใบ ล้อหมุนจากตำแหน่ง A มายังตำแหน่ง B และเท่ากับ จากตำแหน่ง B มายัง C ซึ่งเป็นช่วงการเคลื่อนที่ที่มี ประสิทธิภาพต่อการตะกุกดินของใบล้อ

$$t = 30 \cos^{-1}(1-S) \quad (22)$$

แทนค่าสมการที่ 20 ในสมการที่ 16 ได้

$$\begin{aligned} y &= R(1-\cos\omega t) \\ &= R(1-\cos(\cos^{-1}(1-S))) \\ &= RS \\ y &= RS \quad (23) \end{aligned}$$

ขณะล้อเคลื่อนที่ก็จะหมุนไปด้วย มุมที่หมุนไปได้ " ϕ " เมื่อใบล้อเคลื่อนที่จากตำแหน่ง B ไป C ภายในเวลา t วินาที

$$\phi = (360^\circ nt)/60 = 6nt \quad (24)$$

ดังนั้นจำนวนใบล้อที่จำเป็นน้อยสุด " N " ของล้อจะมีค่า

$$6ntN \geq 360^\circ$$

แทนค่าสมการที่ 22 ในสมการที่ 25 จะได้ค่า

$$N \times 6n \times \frac{30 \cos^{-1}(1-S)}{\pi n} \geq 360^\circ$$

$$N \geq \frac{2\pi}{\cos^{-1}(1-S)}$$

สมการที่ 26 ใช้คำนวณหาจำนวนใบล้อ " N " จาก

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง S และ N

การลื่นของล้อ(S)	จำนวนใบล้อ(N)
0.1	13.93
0.2	9.76
0.3	7.90
0.4	6.78
0.5	6.00
0.6	5.42
0.7	4.96
0.8	4.59
0.9	4.27
1.0	4.00

การกำหนดค่าการเคลื่อนที่ที่ลดลงเนื่องจากการลื่นของล้อ " S " ตัวอย่างการคำนวณที่แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองในตารางที่ 3

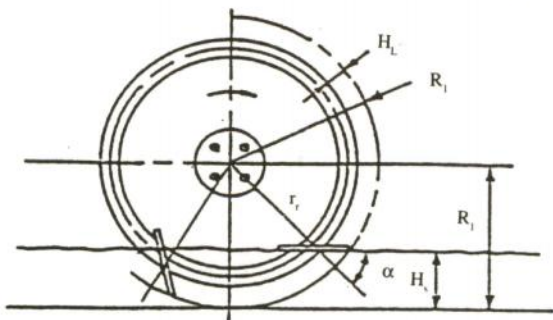
โดยทั่วไปแล้วรถไถเดินตามทำงานมีค่าของการเคลื่อนที่ลดลงเนื่องจากการลื่นของล้อ (S) ยังมีค่าน้อยยิ่งดี กล่าวคือ การทำงานของรถไถเดินตามที่มีค่า S น้อยแสดงว่ารถไถเดินตามทำงานได้มากโดยใช้เวลาน้อย ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงและลดการสึกหรอของชิ้นส่วนรวมทั้งใบล้อด้วย สำหรับการออกแบบเพื่อกำหนดจำนวนใบล้อของล้อเหล็กนั้นจะต้องพิจารณาทั้งพฤติกรรมการออกแบบและสภาพพื้นที่ที่ทำการเกษตรกรรมด้วย ผลจากการทดลองทั้งที่ประเทศญี่ปุ่นและประเทศไทย พบว่าหากล้อเหล็กมีจำนวนใบล้อน้อย (น้อยกว่า 8 ใบ) แล้วค่าการลื่นของล้อจะสูงแต่ก่อนดินโดยเฉพาะดินเหนียวจะไม่ค่อยจับติดที่ใบล้อ นอกจากนี้มีความแตกต่างการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวตั้ง (Lift reduction) ของล้อจะแตกต่างกันมาก ในทางตรงกันข้ามกันหากล้อเหล็กติดใบล้อมาก (มากกว่า 14 ใบ) จะทำให้ค่า

การลื่นลดลงแต่โอกาสที่ก้อนดินเหนียวจะติดที่ไบล้อสูง และหากก้อนดินเหนียวติดที่ไบล้อจำนวนมากจะมีผล ทำให้ค่าการลื่นสูงขึ้น และเครื่องยนต์ทำงานหนักขึ้น ด้วยจนในที่สุดเมื่อเครื่องยนต์ทำงานไม่ไหวเครื่องก็จะหยุด นอกจากนั้นกรณีที่ล้อเหล็กติดไบล้อจำนวนมาก ๆ ทำให้ระยะห่างระหว่างไบล้อน้อย จะมีผลทำให้การลื่นของล้อสูงเนื่องจากก้อนดินขนาดเล็ก ๆ ที่อยู่ระหว่างไบล้อและขณะไบล้อกดดินจะทำให้ดินแตกแยกจากกันได้ง่ายเมื่อไบล้อหมุนเคลื่อนที่ไป

สำหรับในการวิจัยนี้ ได้ออกแบบล้อเหล็กขึ้นมา 2 ชนิด คือ ล้อเหล็กชนิดที่ใช้สำหรับพื้นที่ทำนาดินเปียก ล้อเหล็กชนิดนี้จะมีไบล้อข้างละ 10 ใบ ส่วนล้อเหล็กที่ใช้สำหรับพื้นที่ทำไร่ดินแข็งจะมีไบล้อข้างละ 12 ใบ

4. มุมไบล้อตามแนวรัศมีกับวงล้อ (Installing angle of forward lugs to radius direction on the rim)

ในสภาพพื้นที่เกษตรกรรมที่ดินมีลักษณะเป็นดินเปียกหรือดินอ่อนไบล้อจะต้องทำหน้าที่ช่วยพยุงตัวรถไถเดินตามด้วย การที่ไบล้อจะช่วยพยุงรถไถเดินตามได้ ดันไบล้อควรจะมีสัมผัสกับพื้นดินในแนวขนานดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ลักษณะล้อเคลื่อนที่บนดินอ่อน

จากรูปที่ 7 จะได้ว่า

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{r_r^2 - (R_1 - H_s)^2}}{r_r}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{\sqrt{r_r^2 - (R_1 - H_s)^2}}{r_r} \quad (27)$$

เมื่อ

R_1 = รัศมีภายนอกของล้อ, ซม.

H_s = การจมของล้อ, ซม.

r_r = รัศมีภายนอกวงล้อ, ซม.

หรือ

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{R_1 - H_s}{R_1 - H_L} \quad (28)$$

เมื่อ

H_L = ความสูงไบล้อ, ซม.

การคำนวณเพื่อหามุมไบล้อตามแนวรัศมีกับวงล้อสามารถทำได้โดยการแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ต่อไปนี้ในสมการที่ 28

กำหนดให้ R_1 = 350 มม.

H_s = 160 มม.

H_L = 80 มม.

$$\alpha = \sin^{-1} \left(\frac{350 - 160}{350 - 80} \right)$$

$$= 44.72^\circ$$

$$\alpha \cong 45^\circ$$

ดังนั้นในการออกแบบจึงเลือกมุม α เท่ากับ 45 องศา

5. ขนาดพื้นที่ผิวของไบล้อ (Lug surface area)

ในหัวข้อที่ 2.2.3 และ 2.2.4 ได้กล่าวถึงหลักการการกำหนดขนาดความกว้างไบล้อด้านนอกและความกว้างไบล้อด้านในสำหรับการออกแบบขนาดของไบล้อตามลำดับสิ่งที่ควรพิจารณาอีกอย่างหนึ่งในการออกแบบไบล้อ ก็คือขนาดพื้นที่ผิวของไบล้อ ทั้งนี้ก็เพราะว่าหากไบล้อมีขนาดเล็กพื้นที่ผิวน้อยก็จะมีผลทำให้การตะกุดดินของล้อไม่ดี และล้อก็จะจมดินมากเกินไปเนื่องจากน้ำหนักของรถไถเดินตามที่กดบนไบล้อต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของไบล้อมีค่ามากและในทางกลับกันหากพื้นที่ผิวของไบล้อมากเกินไปก็จะมีผลทำให้โครงสร้างของล้อใหญ่มีน้ำหนัก มากกำลังของเครื่องยนต์ต้นกำลังที่ใช้ในการหมุนล้อก็จะสูญเสียมากและประการสำคัญก็คือ น้ำหนักของรถไถเดินตามที่กดบนไบล้อต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีค่าน้อยทำให้ไบล้อกดลงไปในพื้นที่ดินแข็งไม่ได้ โดยเฉพาะในกรณีของดินที่เหมาะสม

แก่การไถเพื่อการเตรียมดิน การที่ไบล้อไม่สามารถลงไป
ในดินได้ก็จะมีผลทำให้ล้อสิ้นหรือหมุนฟรีได้เมื่อรถไถเดิน
ตามรับภาระจากอุปกรณ์ที่ติดข้างหลัง อย่างเช่นในกรณี
ของการไถดิน ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วนี้การกำ-
หนดขนาดพื้นที่ผิวของไบล้อที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น
มากในการออกแบบล้อ การกำหนดขนาดพื้นที่ผิวไบล้อ
ของรถไถเดินตามที่เหมาะสมเบื้องต้นสามารถ พิจารณา
จากหลักการที่ว่าแรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ไบล้อที่กระทำ
ต่อพื้นดินควรจะมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับแรงงานกด
ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของถนนขณะยึบบนดินซึ่งมีค่าประมาณ
4.0 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร ด้วยเหตุผลที่ว่าหากพื้น
ดินอ่อนไม่สามารถจะรับน้ำหนักของคนซึ่งเป็นผู้ควบคุม
การทำงานของรถไถเดินตามได้แล้ว รถไถเดินตามก็ไม่สามารถจะทำงานได้

พื้นที่ผิวของไบล้อที่เหมาะสมสามารถคำนวณได้จาก
สมการข้างล่างนี้

$$P = \frac{W_t}{A} \quad (29)$$

เมื่อ

p = แรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จากน้ำหนักคนมีค่า

โดยประมาณ 4.0 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร

W_t = น้ำหนักรถไถเดินตาม, นิวตัน

A = พื้นที่ผิวของไบล้อรวมของล้อด้านซ้ายและขวา
ข้างละหนึ่งใบ, ตารางเซนติเมตร

กำหนดให้ น้ำหนักรถไถเดินตาม W_t มีค่าเท่ากับ
1,600 นิวตัน คำนวณหาพื้นที่ผิวของไบล้อได้

$$A = \frac{1600}{4} \frac{\text{นิวตัน}}{\text{นิวตัน/ตารางเซนติเมตร}} \\ = 400 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

ดังนั้นพื้นที่ผิวไบล้อหนึ่งใบจะมีค่าเท่ากับ 200 ตาราง
เซนติเมตร

อนึ่งเนื่องจากขณะที่รถไถเดินตามทำงานนั้น ไบล้อ
ที่กดพื้นดินมีจำนวนมากกว่าหนึ่งใบแต่เมื่อรวมพื้นที่ผิว
ไบล้อที่กดพื้นดินพร้อมกันในแนวตั้งฉากแล้วจะได้

ประมาณเท่ากับพื้นที่ผิวไบล้อหนึ่งใบ

6. บทสรุป

ทฤษฎีการออกแบบล้อเหล็กสำหรับงานไถดินของ
รถไถเดินตามที่ได้อธิบายมาทั้งหมดนี้ เป็นทฤษฎีการ
ออกแบบทางวิศวกรรมขั้นพื้นฐานเพื่อจะแสดงให้เห็นว่า
ในการดำเนินงานวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตร
ที่เหมาะสมและเป็นต้นแบบนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง
มีทฤษฎีการออกแบบที่ใช้ในการปฏิบัติได้ เพื่อใช้ในการ
กำหนด ขนาดลักษณะรูปร่างและจำนวนชิ้นส่วนที่เหมาะสม
สำหรับขั้นตอนในการสร้างทฤษฎีการออกแบบเชิงวิศวกรรม
นั้นจะต้องพิจารณาเครื่องจักรและอุปกรณ์การเกษตร
ที่ใช้งานร่วมกันตลอดจนสภาพพื้นที่และเงื่อนไขการทำงาน
ทางด้านเกษตรกรรมด้วยดังเช่นในกรณีของงานวิจัย
และการพัฒนาการออกแบบล้อเหล็กสำหรับไถดินพบว่าการ
ออกแบบล้อเหล็กนั้นจะต้องกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ล้อ ลักษณะรูปร่างไบล้อจำนวนซี่ล้อ จำนวนไบล้อ
ที่เหมาะสม มุมของไบล้อตามแนวรัศมีกับวงล้อและขนาด
พื้นที่ผิวของไบล้อการที่จะกำหนดค่าต่าง ๆ เหล่านี้ได้นั้น
จะพิจารณาเฉพาะล้อเหล็กอย่างเดียวไม่ได้ หากการออกแบบ
ล้อเหล็กนั้นพิจารณาเฉพาะล้อเหล็กอย่างเดียวแล้ว
เมื่อออกแบบและสร้างล้อเหล็กต้นแบบแล้วนำไปใช้งาน
กับรถไถเดินตามในการไถดินมักจะเกิดปัญหาแก่เกษตรกร
ผู้ใช้ในแง่ของการทำงานไม่สะดวกการที่ต้องออกแรงมาก
ในการบังคับควบคุมการที่ต้องรับการสั่นสะเทือนมากจาก
คันควบคุมในขณะที่ทำงาน ทำให้เกษตรกรเมื่อยล้าและมี
โอกาส เกิดอุบัติเหตุในการทำงานได้สูง ดังนั้นงานวิจัย
และพัฒนาสำหรับการออกแบบล้อเหล็กนี้ ได้วิเคราะห์
ให้เห็นว่าการออกแบบเพื่อสร้างล้อเหล็กสำหรับงานไถดิน
ของรถไถเดินตามที่เหมาะสมนั้นจะต้องพิจารณาเครื่อง
จักรและอุปกรณ์ตลอดจนสภาพพื้นที่ และเงื่อนไขการทำงาน
เกษตรกรรมทั้งหมดพร้อม ๆ กันอย่างเป็นระบบเพื่อ
จะได้กำหนดค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบล้อเหล็ก
ในเชิงความสัมพันธ์ของการทำงานร่วมกันที่ได้ผลดีที่สุด

บรรณานุกรม

1. Jun Sakai, Surin Phongsupasamit and Tadashi Kishimoto. "Engineering Design Theories of Hand-Tractor Plows -Relation between Hand Tractor, Wheels, Plows and Human Engineering-", "Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, Vol .18, No.3,1987. pp. 11-20.
2. Jun Sakai, Surin Phongsupasamit and Tadashi Kishimoto. "A Study on Engineering Design Theories of Iron Wheels for Plowing - Relations between the Whole Machine and Design Theories for the Wheel-", Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, Vol. 18, No.4, 1987. pp. 11-18.
3. Surin Phongsupasamit and Jun Sakai. "Technology Transfer Problems for Mechanizing Small - Scale Family Farms in Thailand,-Tillage and Tractorization-", International Symposium on Agricultural Mechanization and International Cooperation in High Technology Era, April 3, 1987 Tokyo. pp. 539-553.
4. สุรินทร์ พงศ์คุสมิทธิ์ และคณะ การพัฒนารถไถเดินตามและอุปกรณ์เตรียมดิน กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535; หน้า 344.