

การใช้ดอปเพลอร์เรดาร์วัดหาการสั่นไถล ของรถแทรกเตอร์

อาจณรงค์ ฐานสันโตษ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

บทความนี้จะพูดถึงวิธีการสั่นไถลของรถแทรกเตอร์แบบใหม่ โดยใช้ไมโครเวฟ ดอปเพลอร์ เรดาร์ วิธีการดังกล่าวก็คือใช้เรดาร์สองตัว วัดหาความเร็วที่แท้จริงของรถแทรกเตอร์ และความเร็วรอบวงของล้อที่ขับเคลื่อน ผลต่างของความเร็วทั้งสอง เมื่อเทียบกับความเร็วรอบวงของล้อก็จะเป็นค่าการสั่นไถลขณะใดขณะหนึ่งของรถแทรกเตอร์ สัญญาณที่ได้รับจากเรดาร์ขณะที่ทำการทดลองใน field นั้น ได้ถูกอัดเอาไว้ในเครื่องเทปเพื่อนำมาวิเคราะห์ในห้องทดลองโดยใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองที่ได้ให้ผลตรงกับผลการทดลองโดยใช้วิธีแบบธรรมดา ซึ่งได้กระทำไปพร้อม ๆ กัน

บทนำ

ท่านที่คุ้นเคยเกี่ยวกับการใช้รถแทรกเตอร์คงจะทราบดีว่า เมื่อรถแทรกเตอร์ถูกลากเครื่องมือใดพรวนต่าง ๆ จะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การสั่นไถล (Slip) หรือความเปลี่ยนแปลงของระยะทางที่รถเคลื่อนที่จากค่าที่ควรจะเป็น (Travel reduction) การลดเหลือการควบคุมการสั่นไถลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม นั้นจะสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของรถแทรกเตอร์ดีขึ้น ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และช่วยลดการสึกหรอของล้อยาง เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เท่ากันสำหรับพลังงานกล (mechanical energy) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เราสามารถแสดงให้เห็นได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน 2 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงได้ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ในสมัยปัจจุบันอันเป็นภาวะที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาแพง และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ เราไม่ควรละเลยต่อวิธีการใด ๆ ที่จะช่วยในการประหยัดน้ำมัน

ผู้ที่ใช้รถแทรกเตอร์ส่วนมากต้องการหาวิธีง่าย ๆ สำหรับหาค่าของการสิ้นเปลืองภายใต้สภาพการทำงานขອງรถ การสิ้นเปลืองไม่ควรจะมีมากเกินไป ทั้งนี้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุด และช่วยลดการสึกหรอของล้อยางที่ขับเคลื่อน โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ประสิทธิภาพในการทำงานของรถแทรกเตอร์จะมีค่ามากที่สุดเมื่อการสิ้นเปลืองของล้อที่ขับเคลื่อน มีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการทำงานขອງรถจะลดจากค่าสูงสุดเมื่อการสิ้นเปลืองมีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไป ดังนั้นถ้าหากว่ามีเครื่องมือวัดหาการสิ้นเปลือง (Slip meter) ที่เชื่อถือได้ติดตั้งไว้กับรถแทรกเตอร์ เราก็สามารถควบคุมค่าของการสิ้นเปลืองให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้อย่างสะดวกโดยเปลี่ยนเกียร์รถให้เหมาะสม หรือโดยการใส่ของเหลวบางชนิดลงไปในยางด้วยปริมาณที่พอเหมาะ (ballasting)

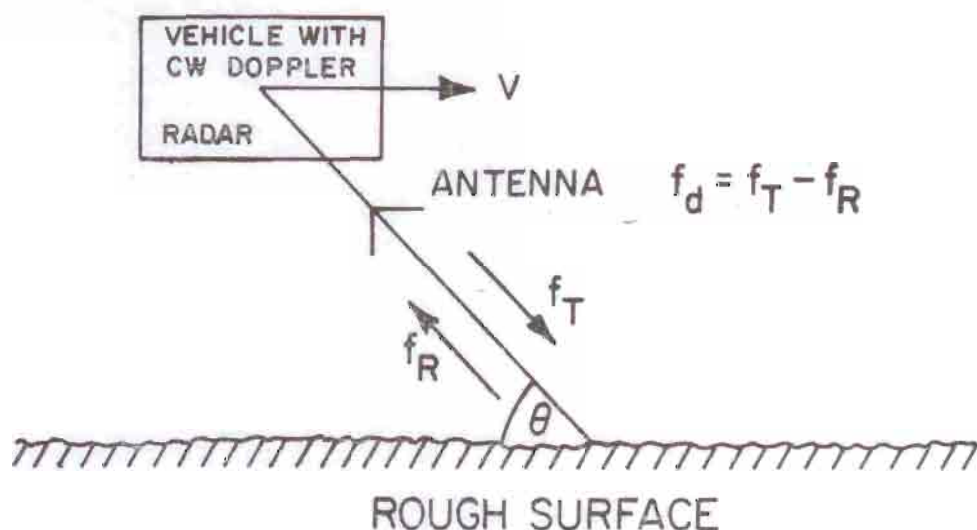
วิธีแบบธรรมดา (conventional methods) ที่ใช้หาค่าการสิ้นเปลืองก็ค่อนข้างจำนวนรอบของล้อที่เคลื่อนที่ตลอดระยะทางที่กำหนดให้ โดยที่รถแทรกเตอร์อยู่ในสภาพที่ทำการฉุดลากและไม่มีการฉุดลากตามลำดับ แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองเวลาและเราไม่สามารถจะหาค่าการสิ้นเปลืองขณะใดขณะหนึ่งได้ ในรอบสิบปีที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายคนพยายามหาวิธีการใหม่ ๆ มาใช้ในการควบคุมค่าการสิ้นเปลืองของรถแทรกเตอร์ อย่างไรก็ตามวิธีการที่ได้ทำมาแล้วก็ยังไม่ได้แสดงให้เห็นว่าเป็นประโยชน์ในทางปฏิบัติต่อผู้ใช้รถแทรกเตอร์แต่อย่างใด

นับเป็นเวลาหลายปีที่ ไมโครเวฟ คัปเปิลเลอร์ เรดาร์ ได้ถูกนำมาใช้ในการเดินเรือ การนำเครื่องบิน ควบคุมการจราจร และใช้จับขโมยอย่างเข้าบ้านตอนดึก ๆ มีผู้ที่ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติ และขีดความสามารถของเครื่องมือชนิดนี้อย่างละเอียด เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีคนนำเอา คัปเปิลเลอร์ เรดาร์ มาใช้วัดหาความเร็วของรถยนต์ จนเป็นผลสำเร็จ คัปเปิลเลอร์ เรดาร์ นี้สามารถใช้วัดหาความเร็วของรถยนต์ได้ทุกชนิดโดยไม่ต้องคำนึงถึงลักษณะ หรือสภาพของพื้นผิวดินหรือถนนที่มันเคลื่อนที่ไป คัปเปิลเลอร์ เรดาร์ มีราคาไม่แพงมากจนเกินไป ในขณะนี้บริษัท Microwave Associates ผลิตขายในราคาตัวละประมาณ 2,000 บาท ส่วนบริษัท General Electric ขายในราคาตัวละ 1,000 บาท ยังมีบริษัทบางแห่งผลิต คัปเปิลเลอร์ เรดาร์ ขายในราคาถูก ๆ แต่ขีดความสามารถของมันขึ้นอยู่กับชนิดของงานที่จะนำไปใช้ เชื่อกันว่าอีกไม่กี่ปีข้างหน้าราคาของมันจะถูกลง เพราะ

ว่าวิวัฒนาการของ Solid-state devices เช่น Gunn diode และ Schottky diode อันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ คอปเปิ้ลอร์ เรดาร์ ได้ก้าวหน้าไปเป็นอย่างมาก

หลักของการทำงาน

ในตอนแรกจะพูดถึงการทำงานคร่าว ๆ ของ คอปเปิ้ลอร์ เรดาร์ ที่ส่งสัญญาณแบบต่อเนื่อง (Continuous Wave Doppler radar) ก่อน คอปเปิ้ลอร์ เรดาร์ ชนิดนี้จะมีเครื่องส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (Continuous electromagnetic signals) และมีเครื่องรับสัญญาณที่สะท้อนมาจากวัตถุ (target) สัญญาณที่สะท้อนกลับมาจะนำเอาข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วสัมพัทธ์ของเรดาร์ เมื่อเทียบกับวัตถุเข้ามาด้วย อันเป็นผลเนื่องมาจาก คอปเปิ้ลอร์ เอฟเฟกต์ (Doppler effect) ซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในเรื่องเสียง (sound applications) ในขณะที่เรดาร์เคลื่อนที่เทียบกับวัตถุ ความเปลี่ยนแปลงในช่วงความยาวของคลื่น (Path length) ของสัญญาณที่ส่งออกจากเรดาร์ และสัญญาณที่รับเข้ามา จะทำให้ความถี่ของสัญญาณที่รับเข้ามาเปลี่ยนแปลงไป จากความถี่ของสัญญาณที่ส่งออก ผลต่างระหว่างความถี่ของสัญญาณที่ส่งออกจากเรดาร์ และสัญญาณที่รับเข้ามา เราเรียกว่า Doppler frequency ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของเรดาร์ที่เคลื่อนที่เข้าหาหรือออกห่างจากวัตถุ รูปที่ 1 แสดงหลักการของการใช้ คอปเปิ้ลอร์เรดาร์ วัดหาความเร็วของรถยนต์



รูปที่ 1 หลักการทำงานของ คอปเปิ้ลอร์เรดาร์ ซึ่งใช้วัดหาความเร็วของรถ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของเรดาร์และ Doppler frequency เขียนได้ดังนี้

$$V = \frac{\lambda}{2 \cos \Theta} f_d \quad (1)$$

ในเมื่อ V = ความเร็วของรถหรือเรดาร์มีหน่วยเป็น เมตร / วินาที

λ = ความยาวคลื่นของสัญญาณที่ส่งออกมีหน่วยเป็น เมตร

Θ = มุมระหว่างแอนเทนนา (antenna) กับพื้นผิวที่สะท้อนสัญญาณในที่นี้เรียกว่า Viewing angle

f_d = Doppler frequency มีหน่วยเป็น Hz

ยกตัวอย่างถ้าสมมติว่า $\Theta = 45^\circ$ และให้ความถี่ของสัญญาณที่ส่งออกเป็น 10.525 GHz เราจะได้ว่าความเร็วของรถ 1 กม./ชม. จะมีค่าเทียบเท่ากับความเร็ว Doppler frequency จำนวน 13.78 Hz.

ในปัจจุบันเรานิยมใช้ solid state oscillator เป็นเครื่องส่งสัญญาณออกจากเรดาร์ที่ใช้วัดหาความเร็วของรถ พลังงานไมโครเวฟ (microwave energy) ซึ่งกระจายออกมาจาก แอนเทนนา จะไปกระทบกับพื้นผิวดินที่มุม Viewing angle มุมหนึ่งเมื่อเทียบกับพื้นผิวดินนั้นในที่นี้จะมีพลังงานที่ส่งออกไปส่วนหนึ่งสะท้อนขึ้นมา และกลับเข้าสู่ แอนเทนนา ตัวเดิมและเข้าสู่มิกเซอร์ (mixer) ตามลำดับ ในเรดาร์บางชนิด เช่น Self-detecting radar เครื่องส่งซึ่งทำหน้าที่เป็น local oscillator อาจจะทำหน้าที่เป็นมิกเซอร์ ด้วยก็ได้ สัญญาณที่ได้จาก เอ้าพุท ของมิกเซอร์ จะเป็นสัญญาณซึ่งมีความถี่สัมพันธ์กับความเร็วของรถ (Vehicle ground speed)

สมการเบื้องต้นของค่าการสั่นโดปเปลเราสามารถเขียนได้ดังนี้

$$S = \frac{V_o - V}{V_o} \quad (2)$$

ในเมื่อ S = ค่าการสั่นโดป

V_o = ความเร็วเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ของรถ

V = ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถขณะที่เกิดการสั่นโดป

ความเร็วเริ่มต้น V_o จะมีค่าเท่ากับความเร็วรอบวงของล้อรถ (circumferential velocity) ที่ขับเคลื่อนทุกๆ ขณะ ค่าการสั่นโดปอาจจะหาได้จากระยะทางที่รถเคลื่อนที่ดังนี้

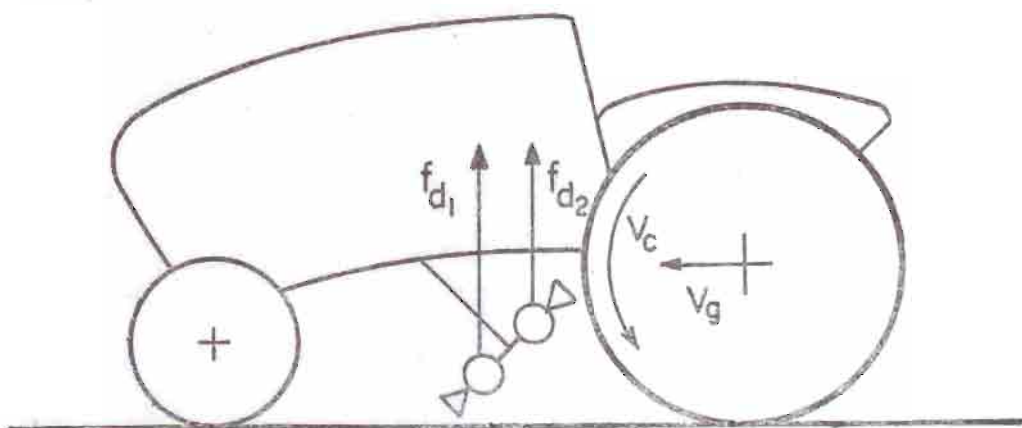
$$S = \frac{D - d}{D} \quad (3)$$

ในเมื่อ D = ระยะทางที่รถเคลื่อนที่ขณะที่ไม่มีการจุดลาก

d = ระยะทางที่รถเคลื่อนที่ขณะที่มีการจุดลาก

ปริมาณ D และ d เราทำการวัดโดยให้จำนวนรอบของล้อที่ขับเคลื่อนมีค่าเท่ากัน ค่าการเคลื่อนไถลในสมการที่ 3 นั้น หมายถึง ค่าความเปลี่ยนแปลงของระยะทางที่รถเคลื่อนที่จากค่าที่ควรจะเป็น (travel reduction) อันที่จริงแล้ว ปัญหาในการวัดหาค่าการเคลื่อนไถลของรถแทรกเตอร์ซึ่งมีล้อขับเคลื่อนค่อนข้างจะยุ่งยากเนื่องจากว่า เราให้ค่าจำกัดความหรือวัดค่าการเคลื่อนไถลตอนที่เบรคอยู่ได้ลำบาก ในที่นี้ผู้เขียนจะกำหนดหาค่าการเคลื่อนไถลตอนที่เบรคอยู่นั้น ทำการวัดเมื่อรถแทรกเตอร์ไม่มีแรงดึงที่กระทำต่อเครื่องมือใดพรวน (zero drawbar pull) ซึ่งกำหนดก่อนนี้ได้นำมาจาก A.S.A.E. Recommendation (ASAE R 296.1)

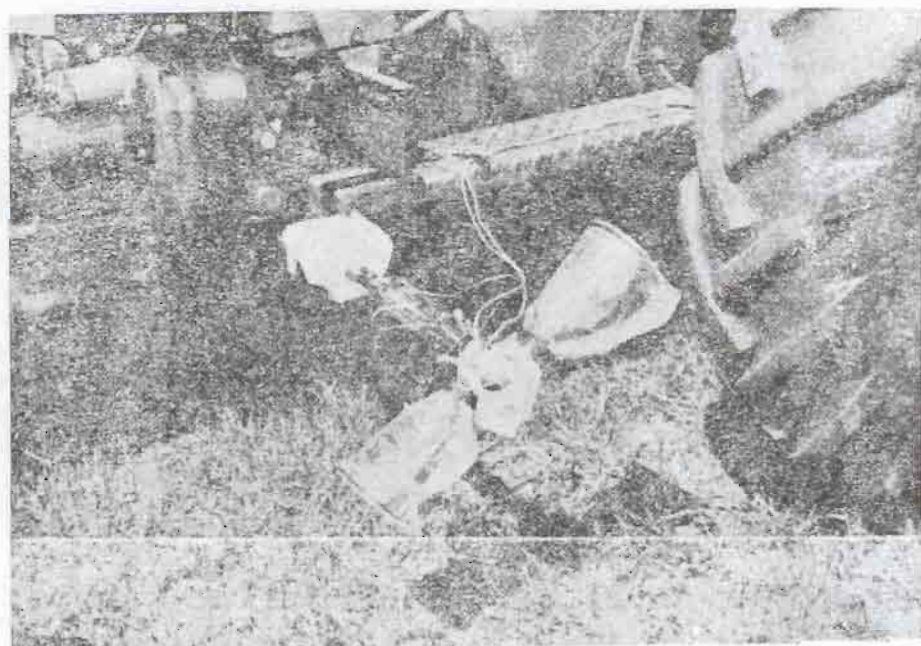
ในการวัดและควบคุมค่าการเคลื่อนไถลโดยใช้คอปเปิ้ลอร์เรตอร์นั้น เราใช้เรตาร์ 2 ตัว วัดหาความเร็วที่แท้จริงของรถแทรกเตอร์ (true ground velocity) และความเร็วรอบวงของล้อขับเคลื่อน (circumferential velocity of the drive wheel) ความถี่ f_{d1} และ f_{d2} (ในรูปที่ 2) ของสัญญาณจาก เอ้าพุทของ คอปเปิ้ลอร์ เรตาร์ทั้งสองได้นำเอาข้อมูลที่เกี่ยวกับความเร็วที่แท้จริง และความเร็วรอบวงของล้อเข้ามาด้วย ค่าความแตกต่างระหว่างความเร็วทั้งสองเมื่อเทียบกับความเร็วรอบวงของล้อจะเป็นค่าการเคลื่อนไถลของรถแทรกเตอร์ (สมการที่ 2)



รูปที่ 2 หลักการทำงานของการใช้คอปเปิ้ลอร์เรตาร์ วัดหาค่าการเคลื่อนไถลของรถแทรกเตอร์

ในการทดลองนี้เราใช้คอปเปิลอร์ เรดาร์ model MA-86656 A ซึ่งผลิตจำหน่ายโดยบริษัท Microwave Associates เป็นตัวส่งและรับสัญญาณ ความถี่ของสัญญาณที่ส่งออกจากเรดาร์ตัวนี้มีประมาณ 10.525 GHz เราใช้ไฟขนาด 7.5 โวลท์ และ 120 มิลลิแอมป์ (DC) เป็นพาวเวอร์ซัพพลายของเรดาร์

ตัวกระจายสัญญาณ (radiator) นั้น เราใช้แอนเทนนาปรุปรวย, model AT 245/APG-30, ซึ่งมีปากเปิดเป็นรูปวงรี ความยาวของ แอนเทนนาประมาณ 23 ซม. แอนเทนนาตัวนี้มีขนาดกระทัดรัด มีค่าเกน (gain) สูงและความกว้างของบีม (beam) ที่ส่งออกค่อนข้างจะแคบ แอนเทนนาคงกล่าวได้ทีเดียวว่าได้ใกล้กับจุดศูนย์กลางของเรดาร์ เพื่อที่จะลดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าการคืนโกล ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากการกระคกชน ๆ ลง ๆ และการสั่นสะเทือนของเรดาร์เรดาร์เอง มุมของแอนเทนนาที่กระทำกับพื้นผิวดินควรจะอยู่ในช่วงระหว่าง 20° ถึง 45° ถ้ามุมดังกล่าวมีค่าน้อยจะช่วยทำให้ noise อันเกิดจากการสั่นสะเทือนมีค่าน้อยลง อย่างไรก็ตาม viewing angle ไม่ควร

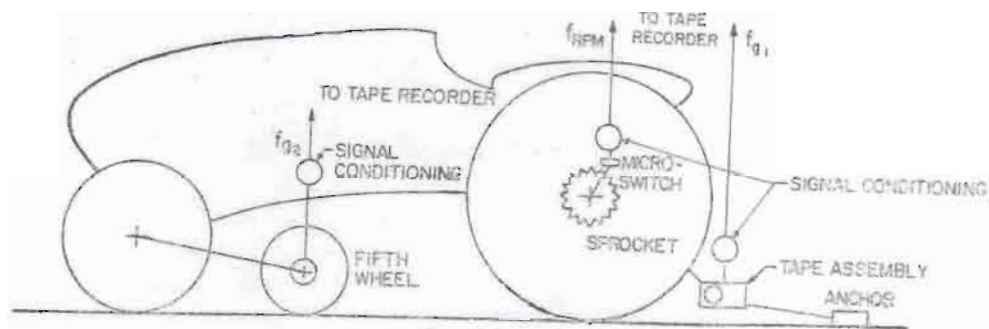


รูปที่ 3 คอปเปิลอร์ เรดาร์ สองตัวพร้อมด้วยแอนเทนนาติดตั้งไว้ตรงหน้าล้อรถขับเคลื่อน สำหรับการทดลองใน field.

จะมีค่าน้อยกว่า 15 มีฉะนั้นแล้วสัญญาณที่ได้รับจะอ่อนลงมากทำให้วิเคราะห์ได้ลำบาก
ก็กล่าวแล้วว่าคอปเปอร์เรเตอร์ เราใช้ไฟแค่ 7.5 โวลต์ ในขณะที่โวลเตจ ของแบตเตอรี่
ของรถแทรกเตอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 14 โวลต์ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดไฟที่ใช้
ขั้วพลาเรเตอร์ เราสามารถใช้ไฟโดยตรงจากแบตเตอรี่ โดยผ่านโวลเตจเรกูเลเตอร์
(voltage regulator) ก่อน

การทดลองนี้ได้กระทำกับรถแทรกเตอร์ Massey Ferguson model 150
เรเตอร์สองตัวพร้อมด้วยแอนเทนนาได้ติดตั้งไว้ตรงหน้าล้อที่ขับเคลื่อน สำหรับทำการทดลอง
ใน field (รูปที่ 3) แอนเทนนาตัวหนึ่งส่งไปยังพื้นดิน ส่วนอีกตัวหนึ่งส่งไป
ยังล้อ

ความเร็วที่แท้จริงนั้น เราก็คงได้วัดโดยใช้ magnetic pickup probe ติดตั้ง
ไว้กับล้ออย่างเล็ก ๆ (fifth wheel) ล้ออย่างอื่นลากพ่วงติดไปกับล้อหน้าของรถแทรก
เตอร์ นอกจากนี้เรายังได้ใช้ measuring tape system วัดหาความเร็วที่แท้จริงด้วย (รูป
ที่ 4) system อันนี้ประกอบด้วยแท่งสำหรับวัดความยาวซึ่งเจาะรูไว้ทุก ๆ 3 ฟุตและปลาย
หนึ่งของแท่งยึดไว้กับก้อนเหล็ก เมื่อรถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าแท่งก็จะเคลื่อน
จากตลับและผ่านเข้า Photoelectrical system และ system อันนี้จะสร้าง pulse ขึ้น
มาทุก ๆ ระยะ 3 ฟุต ที่รถแทรกเตอร์เคลื่อนที่ไป ความถี่ f_{g_1} ของ pulse เหล่านี้จะ
เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วที่แท้จริงของรถแทรกเตอร์ เช่นเดียวกัน magnetic
pickup ก็จะสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าขึ้นมา สัญญาณอันนี้จะมีลักษณะคล้าย ๆ กับ sine
wave โดยที่ความถี่ของมันเป็นส่วนโดยตรงกับความเร็วเชิงมุมของล้ออย่างเล็ก ๆ และ
จะสัมพันธ์กับความเร็วที่แท้จริงของรถด้วย ความเร็วเชิงมุมของล้อที่ขับเคลื่อนเรารู้ได้
โดยใช้ microswitch ติดตั้งเข้ากับเฟืองตัวหนึ่งซึ่งตรึงไว้กับแกนของล้อ (รูปที่ 4
ประกอบ) microswitch ตัวนี้ต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสร้าง pulse ขึ้นมา 36
pulses ในขณะที่ล้อรถหมุนไปได้ 1 รอบ ดังนั้นความถี่ของ Pulse เหล่านี้จะสัมพันธ์
โดยตรงกับความเร็วเชิงมุมของล้อ

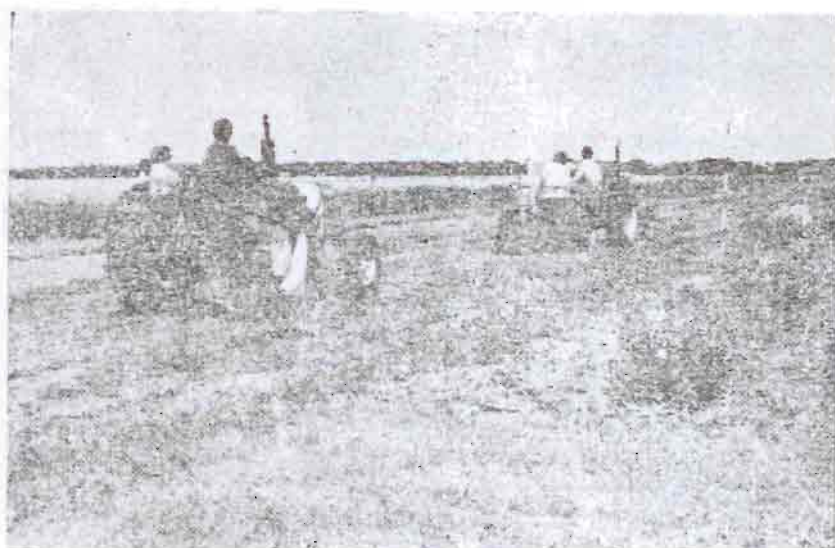


รูปที่ 4 ระบบควบคุมการล่นไถโดยใช้วิธีแบบธรรมดา

เนื่องจากว่าบรรดแทรกเตอร์มีทั้งเครื่องไม่เครื่องมือไม่มากนัก และเพื่อที่จะลดจำนวนเครื่องมือที่ใช้ในการทำการทดลองใน field ให้น้อยลง เราจึงใช้เครื่องอค์เทปอัดสัญญาณที่ได้จาก output ของ sensor ทุกๆ ตัวพร้อมกันไป การอัดสัญญาณในเทปนี้ช่วยประหยัดเวลาในการทดลองได้มาก นอกจากนี้วิธีนี้ยังได้ช่วยทำให้การวัดหาปริมาณต่างๆ มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และเป็นวิธีที่ประหยัดด้วย

สัญญาณที่อัดลงในเทปนั้นได้นำมาวิเคราะห์ในห้องทดลอง โดยใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิธีการวิเคราะห์สัญญาณนั้นก็เป็นการทำควมถี่ของสัญญาณต่างๆ ที่อัดมาเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาความเร็วต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว สัญญาณที่ได้จากเรดาร์นั้นเรายังได้ทำการวิเคราะห์ โดยใช้ minicomputer PDP 11/40 จุดประสงค์ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์นี้ ก็เพื่อที่จะใช้ผลเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือทางไฟฟ้า เพราะในทางปฏิบัติเราสามารถออกแบบเครื่องมือและวงจรทางไฟฟ้าติดตั้งไว้กับรถแทรกเตอร์ได้ แต่เราต้องแน่ใจว่าเครื่องมือที่ออกแบบขึ้นมานั้นให้ผลการวัดที่ถูกต้องและแม่นยำพอสมควรเมื่อเทียบกับคอมพิวเตอร์

การทดลองใน field เราได้กระทำทั้งตอนที่มีการจุดลากและไม่มีการจุดลาก ตอนที่มีการจุดลาก เราใช้รถแทรกเตอร์อีกคันหนึ่งลากพ่วงไปกับรถแทรกเตอร์ที่ทำการทดลอง (ดูรูปที่ 5) เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของรถแทรกเตอร์คันหลัง จะทำให้แรงจุดลากของรถแทรกเตอร์คันแรกเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5 การทดลองใน field ทดสอบการรถลาก

ผลการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลองก็เพื่อที่จะตรวจสอบว่าใช้เรดาร์วัดหาความเร็วและการสิ้นเปลืองของรถแทรกเตอร์ได้หรือไม่ ผลการทดลองดังกล่าวจะนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีแบบธรรมดา (conventional method) ซึ่งในที่นี้ประกอบด้วย mechanical systems ต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว

การทดลองในตอนที่ไม่มีการรถลาก ได้กระทำโดยขับรถแทรกเตอร์ไปบนพื้นถนนและพื้นหญ้า จุดประสงค์ของการทดลองตอนนั้นก็เพื่อจะเปรียบเทียบความเร็วของรถที่วัดด้วยเรดาร์กับความเร็วของรถที่วัดด้วย fifth wheel และ measuring tape systems ตามลำดับ นอกจากนั้นการทดลองอันนี้ยังได้ยึดถือเป็นจุดอ้างอิง (reference point) สำหรับหาค่าแห่งที่ค่าการสิ้นเปลืองเป็นศูนย์ เพื่อประโยชน์ในการคำนวณหาค่าการสิ้นเปลืองต่อไป

ตารางผลการทดลองที่ 1 ได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วที่แท้จริงของรถแทรกเตอร์ ซึ่งวัดโดยใช้ fifth wheel และ measuring tape systems เราจะเห็นได้ว่าความเร็วที่วัดได้จากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 0.6 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองอันนี้ได้แสดงให้เห็นว่าการวัดความเร็วของรถแทรกเตอร์ โดยใช้ fifth wheel มี

ความแม่นยำและถูกต้องพอสมควร แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้วเราไม่นิยมใช้ fifth wheel เพราะเวลาที่พุ่งติดไปกับรถแทรกเตอร์ บางทีมันจะกระโดดขึ้นลง หรือไม่ก็เบี่ยงเบนไปทางซ้ายหรือขวานิดหน่อยเป็นมุมประมาณ 2° - 3° หรือพุงๆ ล้อ fifth wheel ไม่เคลื่อนที่ไปตามแนวการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์จริงๆ ในการนี้จะทำให้ความแม่นยำในการวัดน้อยลงไป นอกจากนั้นล้อ fifth wheel ยังสร้างความวุ่นวายให้แก่ผู้ใช้รถแทรกเตอร์เมื่อเวลาที่จะถอยหลัง เพราะต้องคอยยกล้อขึ้นตลอดเวลา ความไม่สะดวกในการใช้ fifth wheel นี้ ผู้เขียนได้รับคำอธิบายจาก Dr.G.E. Paulson แห่ง University of Saskatchewan ประเทศแคนาดา ผู้ซึ่งได้ทำการวิจัยในเรื่องการควบคุมค่าการเดินไถของรถแทรกเตอร์มาก่อน

ผลของการวัดความเร็วของรถแทรกเตอร์โดยใช้คอปเปิ้ลอร์เรตาร์ และ fifth wheel ได้แสดงไว้ในตารางผลการทดลองที่ 2 จะเห็นได้ว่าโดยทั่วไป คอปเปิ้ลอร์เรตาร์ ให้ผลในการวัดความเร็วของรถตรงกับผลที่ได้โดยใช้ fifth wheel โดยที่ค่าความแตกต่างไม่เกิน ± 1.5 เปอร์เซ็นต์ มุม viewing angle ของแอนเทนนา ขณะที่ทำการทดลองมีค่าประมาณ 48°

ความถี่ของสัญญาณจากคอปเปิ้ลอร์เรตาร์ ซึ่งวัดโดยใช้เครื่องมือทางไฟฟ้า และ อิเล็กทรอนิกส์ (analog system) และวัดโดยใช้ digital minicomputer ได้แสดงไว้ในตารางผลการทดลองที่ 3 ความแตกต่างระหว่างความถี่ของสัญญาณซึ่งวัดโดยวิธีทั้งสอง อยู่ช่วงประมาณ ± 1 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ในการทดลองครั้งที่ 8 สัญญาณของเรดาร์ที่ได้จากพื้นดินเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเล็กน้อยหลังจากที่ออกมาจากเครื่องอัดเทป ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติ (characteristic) ของ amplifier ในเครื่องเทปเอง คือ frequency response ของ amplifier เริ่มจากความถี่ตั้งแต่ 50 Hz ไปจนถึง 10 kHz ดังนั้นสัญญาณที่มีความถี่ใกล้เคียงกับ lower cutoff frequency ย่อมจะเปลี่ยนรูปไปจากเดิมบ้าง เพราะว่า gain ของ amplifier ต่ำลง อันนี้ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ดีเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามก็ผลการวิเคราะห์ก็เป็นเครื่องยืนยันได้ว่า analog systems ที่ใช้ให้ผลแม่นยำและเชื่อถือ

Table 1. Comparison of the true ground velocity of the tractor measured by the fifth wheel and by the measuring tape systems (no-load test, paved road)

Test No.	True Ground Velocity by the Tape Systems (m/s)	True Ground Velocity by the Fifth Wheel (m/s)	Difference* %
1	1.37	1.37	0
2	1.72	1.73	+0.6
3	2.00	1.99	-0.5
4	2.57	2.57	0

* Normalized to the velocity determined by the measuring tape.

Table 2. Ground speed of the tractor measured by the Doppler radar and by the fifth wheel assembly (no-load test, grass-covered field)

Test no.	Velocity by Fifth Wheel (m/s)	Velocity by Doppler radar (m/s)	Difference* %
1	1.33	1.35	+1.5
2	1.92	1.93	+0.5
3	2.50	2.49	-0.4
4	2.89	2.65	-1.4
5	3.73	3.71	-0.5

* Normalized to the velocity determined by the fifth wheel assembly.

Table 3. Comparison of the Doppler frequency determined by the analog system and by the digital computer.

Test no.	DOPPLER SIGNAL FROM THE TIRE			DOPPLER SIGNAL FROM THE GROUND		
	Frequency by Analog System (Hz)	Frequency by Digital Computer (Hz)	Difference* %	Frequency by Analog System (Hz)	Frequency by Digital Computer (Hz)	Difference* %
1	129.6	130.5	-0.7	107.2	108.0	-0.7
2	130.3	131.5	-0.9	109.1	110.1	-0.9
3	117.7	117.8	-0.1	84.8	84.1	+0.8
4	115.3	114.3	+0.9	86.3	86.3	0
5	105.2	105.5	-0.3			
6	143.8	144.8	-0.7	118.4	116.9	+1.3
7	119.9	120.2	-0.2	91.4	90.9	+0.9
8	105.9	105.5	+0.4	74.0	71.8	+3.1

* Normalized to the Doppler frequency determined by a digital Computer.

Table 4. Comparison of the slip measured by two Doppler radars and by the conventional method^{*}.

Test no.	Tractor speed (km/h)	DOPPLER FREQUENCY (Hz)		SLIP (%)	
		Reflection from the tire	Reflection from the ground	Two Doppler radars	Conventional method [*]
1	8.14	130.40	107.58	7.01	6.66
2	8.24	130.61	108.32	6.52	6.05
3	6.53	118.37	86.76	17.38	17.55
4	6.81	119.29	89.72	15.23	14.93
5	5.25	105.53	70.65	24.55	26.25
6	9.14	143.78	118.98	6.75	5.90
7	7.00	121.67	91.93	14.83	15.68
8	5.47	107.06	73.32	22.81	24.85

^{*} Consisting of the microswitch and the fifth wheel assemblies.

อย่างให้น้อยลงได้นั้น เราจะต้องมีการควบคุมการเดินไกลให้อยู่ช่วงที่เหมาะสม
10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นการสร้างเครื่องมือ "Doppler radar slip
มีประโยชน์เป็นอย่างมากต่อผู้ใช้รถแทรกเตอร์ ขณะนี้ที่ University of M
ดำเนินการวิจัย Doppler radar slip monitor อยู่ โดยที่ทางบริษัทรถแทร
satile ให้ความสนใจ ซึ่งถ้าสำเร็จตามเป้าหมาย ทางบริษัทก็จะออกแบบ
การเดินไกลโดยใช้ตัวอปพลิเคชันเรดาร์และติดตั้งไปกับรถแทรกเตอร์ การ
มือ Doppler radar slip monitor จะรวมไปถึงการหาระยะทางด้วย คือเมื่อ
เริ่มทำงานคนขับก็กด Switch เพื่อให้เครื่องมือได้นับระยะทางที่รถเคลื่อน
สุดการทำงาน คนขับก็กด Switch อีกครั้งหนึ่ง เครื่องมือก็จะหยุดนับระยะ
ปรากฏอยู่บนเครื่องมือ ก็บอกว่าระยะทางที่เคลื่อนที่ทั้งหมดในช่วงระยะเว
เป็นเท่าไร ถ้าสมมุติว่าเราทราบความต้องการของหน้าคินที่ไถพรวนไปแล้ว
จะคำนวณได้อย่างคร่าว ๆ ว่าพื้นที่ทำการไถพรวนไปแล้วเท่าไร อันนี้ก็เป
หนึ่งสำหรับผู้ผู้ใช้รถแทรกเตอร์.

REFERENCES

- E.L., J.B. Liljedahl, W.M. Carleten, and E.G. McKibben; *Tractors and Power Units*. New York: J. Wiley, 1963.
- Report on Development and Testing of a Slip Monitor for Traction Control; for the interval Apr. 1, 1975 through Feb 28, 1976, under contract to the Government of Canada (DSS), Contract no. OSW-0094, Feb. 1976.
- R. and G.E. Vanden Berg, *Soil Dynamics in Tillage and Tractor Performance*. Agricultural Handbook no 316. ARS, USDA, Washington, D.C., 1966.
- D.M. and R.D. Jones, "Automotive radar: a brief review" *Proc. IEEE*, vol. 62, no. 6. pp. 804-822 June, 1974.
- A. and S.S. Stuchly, "Microwave Doppler-effect flow monitor", *Trans. Ind. Electron. Contr. Instrum.*, Vol. IECI-22, no. 2, pp. 100-105, May 1975.
- T.M., T.D. Fuchser, H.B. Tyson, and W.R. Regueiro, "Vehicular speedometer", SAE Paper 730125, Jan. 1973.
- G.E. and G.C. Zoerb, "Automatic indication of tractor-wheel slip", Annual Meeting, ASAE, Chicago, Ill., Paper 71-584, Dec. 7-10 1971.
- G.E. and W.S. Elliott, "A digital slip meter" *IFAC Symp. on Control for Agr.*, Saskatoon, Sask., Paper B5, June 18-20, 1974.
- Thansandote, A., *A Doppler Radar Slip Monitor for Traction Equipment*. M.S. Thesis, University of Manitoba, Winnipeg, 1976.
- M.I., *Introduction to Radar Systems*. New York: McGraw-Hill, 1968.
- S.S., J.S. Townsend, and A. Thansandote, "Development of a Doppler radar slip meter for agricultural tractors" Annual Meeting, CSAE, Winnipeg, Man., Paper 75-312 June. 22-26, 1975.
- S.S., J.S. Townsend, and A. Thansandote, "Further development of Doppler radar slip meter for agricultural tractors", Annual Meeting, CSAE, Fargo, North Dakota, paper 75-101-NCR, Oct. 30-31, 1975.
- G., G.E. Paulson, and D. Archibald, "A test tractor for direct indication of draft and slip" Annual Meeting, ASAE (NCR) and CSAE (Manitoba), Winnipeg, Man., paper NC71-105. Sept. 30-Oct. 2, 1971.
- H.C., and J. Popoff, "Direct indication of tractor wheel slip", *Trans. ASAE*, vol. 9, no. 2, pp. 91, 92 and 108, 1967.