บทที่ 5

การปรับปรุงรูปแบบของสมการการเคลื่อนที่ของยวดยาน

5.1 การปรับปรุงรูปแบบของสมการการเคลื่อนที่ของยวดยานแนวในของวงเลี้ยว

ในการศึกษาวิเคราะห์ที่ผ่านมา ได้รับรูปแบบสมการของล้อหน้ากับมุมของยวดยานขณะเลี้ยว แต่ในสภาพความเป็นจริงการกำหนดแนวการเลี้ยว จะถูกกำหนดจากส่วนที่ยื่นออกไปด้านในสุด และยื่นออกด้านนอกสุดของตัวถัง รวมกับระยะปลอดภัย (off-set) ฉะนั้นในการกำหนดแนวการเลี้ยวจะต้องนำขนาดของยวดยานมาพิจารณาด้วย ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การกำหนดการเคลื่อนที่ของแนวเลี้ยววงในก็คือ ล้อหลังด้านหลังที่อยู่ในวงเลี้ยว ยวดยานแต่ละขนาดจะมีลักษณะและช่วงล้อแตกต่างกันออกไป ในการศึกษาในบทนี้ ได้ใช้ขนาดต่าง ๆ จากยวดยานที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อเก็บข้อมูล ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 เมื่อพิจารณารูปแบบของสมการของล้อหน้า กับมุมของยวดยานขณะเลี้ยว จากสมการ (1) จะนำมาพิจารณาได้ดังนี้

$$XF' = XF - (W + OS) - a \text{ SIN } \theta + (W + OS.) \text{ COS } \theta$$

$$= (0.439 + 0.585 \text{ RX}) \, \theta^{(0.810 + 0.019 \text{ RX})} + (\text{COS } \theta - 1)(W + OS.) - a \text{ SIN } \theta \qquad (5)$$

$$YF'' = YF' - (W + OS) - a \text{ COS } \theta + UR$$

$$YF'' = a + (0.333 + 0.785 \text{ RY}) \, \theta^{(0.220 + 0.021 \text{ RY})} - a \text{ COS } \theta - (W + OS.) \text{ SIN } \theta$$

$$= (0.333 + 0.785 \text{ RY}) \, \theta^{(0.220 + 0.021 \text{ RY})} - a (\text{COS } \theta - 1) - (W + OS.) \text{ SIN } \theta \qquad (6)$$

สมการ (5) และ (6) มีค่าต่างๆดังนี้

a = ระยะระหว่างช่วงล้อหน้ากับล้อหลัง (Wheel base)

W = ระยะระหว่างศูนย์กลางล้อ ถึงส่วนที่ยื่นออกด้านข้าง

θ = มุมขณะเลี้ยว

OS = ระยะจากส่วนกว้างสุดของรถถึงแนวการเลี้ยวบนถนน (off-set) ซึ่งจะประมาณจาก (ความกว้างของช่องการจราจร - ความกว้างของยวดยาน)/2

จากสมการที่ได้นำไปปรับปรุงรูปแบบของสมการการเคลื่อนที่ของยวดยานชนิดต่างๆดังนี้

5.1.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของรถบรรทุก (TRUCK) แนวด้านในของวงเลี้ยว สิ่งที่กำหนดแนวด้านในของวงเลี้ยว ก็คือ a = 4.40 เมตร, W = 0.3275 เมตร, OS. = 0.50 เมตร (ตารางที่ 3.2) และแทนค่าในสมการ (5), (6)

$$XFT\ (in) = (0.439 + 0.585\ RX)\ \theta^{(0.810+0.019RX)} + 0.8275\ (COS\ \theta - 1) - 4.40\ SIN\ \theta \quad (7)$$

$$YFT\ (in) = (0.333 + 0.785\ RY)\ \theta^{(0.220 + 0.021\ RY)} - 4.40\ (COS\ \theta - 1) - 0.8275\ SIN\ \theta \quad (8)$$

5.1.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของรถยนต์ส่วนบุคคล (PASSENGER CAR) แนวด้านในของวงเลี้ยว สิ่งที่กำหนดแนวด้านในของวงเลี้ยวเช่นเดียวกับรถบรรทุก และรูปแบบสมการก็ใช้เช่นเดียวกัน คือสมการ (5), (6) แต่ขนาดของยวดยานแตกต่างออกไป a = 2.495 เมตร, W = 0.125 เมตร, OS. = 0.90 เมตร (ตารางที่ 3.1)

$$XFP\ (in) = (0.439 + 0.585\ RX)\ \theta^{(0.810 + 0.019\ RX)} + 1.025\ (COS\ \theta - 1) - 2.495\ SIN\ \theta \quad (9)$$

$$YFP\ (in) = (0.333 + 0.785\ RY)\ \theta^{(0.220 + 0.221\ RY)} - 2.495\ (COS\ \theta - 1) - 1.025\ SIN\ \theta \qquad (10)$$

5.1.3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของรถโดยสาร (BUS) แนวด้านในของวงเลี้ยว สิ่งที่กำหนดแนวด้านในของวงเลี้ยว เช่นเดียวกับรถบรรทุก และรูปแบบสมการก็ใช้สมการ (5), (6) เช่นเดียวกัน ซึ่ง a = 6.17 เมตร, W = 0.225 เมตร, OS. = 0.50 เมตร,

$$XFB\ (in) = (0.439 + 0.585\ RX)\ \theta^{(0.810 + 0.019\ RX)} + 0.725\ (COS\ \theta - 1) - 6.17\ SIN\ \theta \qquad (11)$$

$$YFB\ (in) = (0.333 + 0.785\ RY)\ \theta^{(0.220 + 0.021\ RY)} = 6.170\ (COS\ \theta - 1) - 0.725\ SIN\ \theta \qquad (12)$$

5.1.4 การพิจารณาแนวการเลี้ยวต่ำสุด ในการพิจารณาแนวการเลี้ยวต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบ และการรวบรวมข้อมูลตามข้อกำหนดของรถแต่ละชนิด ซึ่งเมื่อพิจารณารัศมีวงเลี้ยวต่ำสุดของข้อกำหนด และรัศมีวงเลี้ยวได้จากการทดสอบ พบว่าไม่ใช่แนวการเลี้ยวต่ำสุด เพราะรัศมีการเลี้ยวต่ำสุดนั้นพิจารณาที่ล้อของยวดยานนั้นๆ แต่แนวการเลี้ยวต่ำสุดจะพิจารณาที่ผิวถนนที่สามารถเลี้ยวได้อย่างปลอดภัย ฉะนั้นในการหาแนวการเลี้ยวต่ำสุดจะต้องพิจารณาสมการที่ (7), (9) และ (11) เมื่อ $\theta = \frac{11}{7}$ และ RX เป็นรัศมีต่ำสุดของการทดสอบ หรือรัศมีต่ำสุดตามข้อกำหนดของรถ ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

แนวการเลี้ยวต่ำสุดของรถบรรทุก ซึ่งจะหาจากสมการที่ (7)

แนวการเลี้ยวต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบ RX = 10.135 เมตร

(จากตารางที่ 4.5 ค่า Rx =7.863เมตรไม่ใช้เพราะน้อยกว่า 8.86 เมตร)

$\theta = \frac{11}{7}$ rad หรือ 90 องศา

$$XFT\ (Min) = (0.439 + 0.585 \times 10.135)\ \left(\frac{11}{7}\right)^{(0.810 + 0.019 \times 10.135)}$$

$$+ 0.285\ (COS\ 90 - 1) - 4.40\ SIN\ 90$$

$$= 6.368\ (11/7)^{1.003} - 0.8275 - 4.40$$

$$= 4.787 \quad \text{เมตร}$$

แต่ถ้าพิจารณากึ่งกลางระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง

$$XFT\ (Min) = 4.487 + 4.40/2$$

$$= 6.987 \quad \text{เมตร}$$

แนวการเลี้ยวต่ำสุดที่ได้จากข้อกำหนดของรถแต่ละชนิด RX = 8.86 เมตร ตารางที่ 3.47 , $\theta = \frac{11}{7}$ rad. หรือ 90 องศา

$$XFT\ (Min) = (0.439 + 0.585 \times 8.86)\ \left(\frac{11}{7}\right)^{(0.810 + 0.019 \times 8.86)}$$

$$+ 0.8275\ (COS\ 90 - 1) - 4.40\ SIN\ 90$$

$$= 5.622\ (11/7)^{0.978} - 0.8275 - 4.40$$

$$= 3.518 \quad \text{เมตร}$$

แต่ถ้าพิจราณาที่กึ่งกลางระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง

$$XFT\ (Min) = 3.518 + 4.40/2$$

$$= 5.718 \quad \text{เมตร}$$

แนวการเลี้ยวต่ำสุดของรถยนต์ส่วนบุคคล (PASSENGER CAR) จะหาได้จากสมการที่ (๑)

แนวการเลี้ยวต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบ RX = 4.208 เมตร (ตารางที่ 4.5) $\theta = 11/7$ rad หรือ 90 องศา

$$XFP\ (Min) = (0.439 + 0.585 \times 4.208)\ (11/7)^{(0.810 + 0.019 \times 4.208)}$$

$$+ 1.025\ (COS\ 90-1) - 2.495\ SIN\ 90$$

$$= 2.901\ (11/7)^{0.809} - 1.025 - 2.495$$

$$= 4.335 - 1.025 - 2.495$$

$$= 0.815 \quad \text{เมตร}$$

แต่ถ้าพิจารณากึ่งกลางระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง

$$XFP\ (Min) = 0.815 + 2.495/2$$

$$= 2.062 \quad \text{เมตร}$$

แนวการเลี้ยวต่ำสุดที่ได้จากข้อกำหนดของรถแต่ละชนิด RX = 5.60 เมตร (ตารางที่ 3.4) , θ = 11/7 rad หรือ 90 องศา

$$XFP\ (Min) = (0.493 + 0.585 \times 5.60)(11/7)^{(0.810 + 0.019 \times 5.60}$$

$$+ 1.025\ (COS\ 90 - 1) - 2.495\ SIN\ 90$$

$$= 3.715\ (11/7)0.916 - 1.025 - 2.495$$

$$= 2.098$$

แต่ถ้าพิจาณากึ่งกลางระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง

$$XFP\ (Min) = 2.098 + 2.495/2$$

$$= 3.346 \quad \text{เมตร}$$

แนวการเลี้ยวต่ำสุดของรถโดยสาร (BUS) จะหาได้จากสมการที่ (11)

แนวการเลี้ยวต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบ RX = 13.092 เมตร (จากตาราง 4.5 ไม่ใช้ RX = 10.628เมตร เพราะมีค่าน้อยกว่า 11.90 เมตร)

θ = 11/7 radหรือ 90 องศา

$$XFB\ (Min) = (0.493 + 0.585 \times 13.096)(11/7)^{(0.810 + 0.0I9 \times 13.092)}$$

$$+ 0.25\ (COS\ 90 - 1) - 6.17\ SIN\ 90$$

$$= 8.100\ (11/7)^{1.059} - 0.725 - 6.17$$

$$= 6.171 \qquad \text{เมตร}$$

แต่ถ้าพิจารณากึ่งกลางระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง

$$XFB\ (Min) = 6.171 + 6.17/2$$

$$= 9.256 \qquad \text{เมตร}$$

แนวการเลี้ยวต่ำสุดที่ได้จากข้อกำหนดของรถแต่ละชนิด RX = 11.90 เมตร (ตารางที่ 3.4), θ = 11/7 หรือ 90 องศา

$$XFB\ (Min) = (0.439 + 0.585 \times 11.90)(11/7)^{(0.810 + 0.019 \times 11.90)}$$

$$+ 0.725\ (COS\ 90 - 1) - 6.17\ SIN\ 90$$

$$= 7.400\ (11/7)^{1.036} - 0.725 - 6.17$$

$$= 4.921 \qquad \text{เมตร}$$

แต่ถ้าพิจารณากึ่งกลางระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง

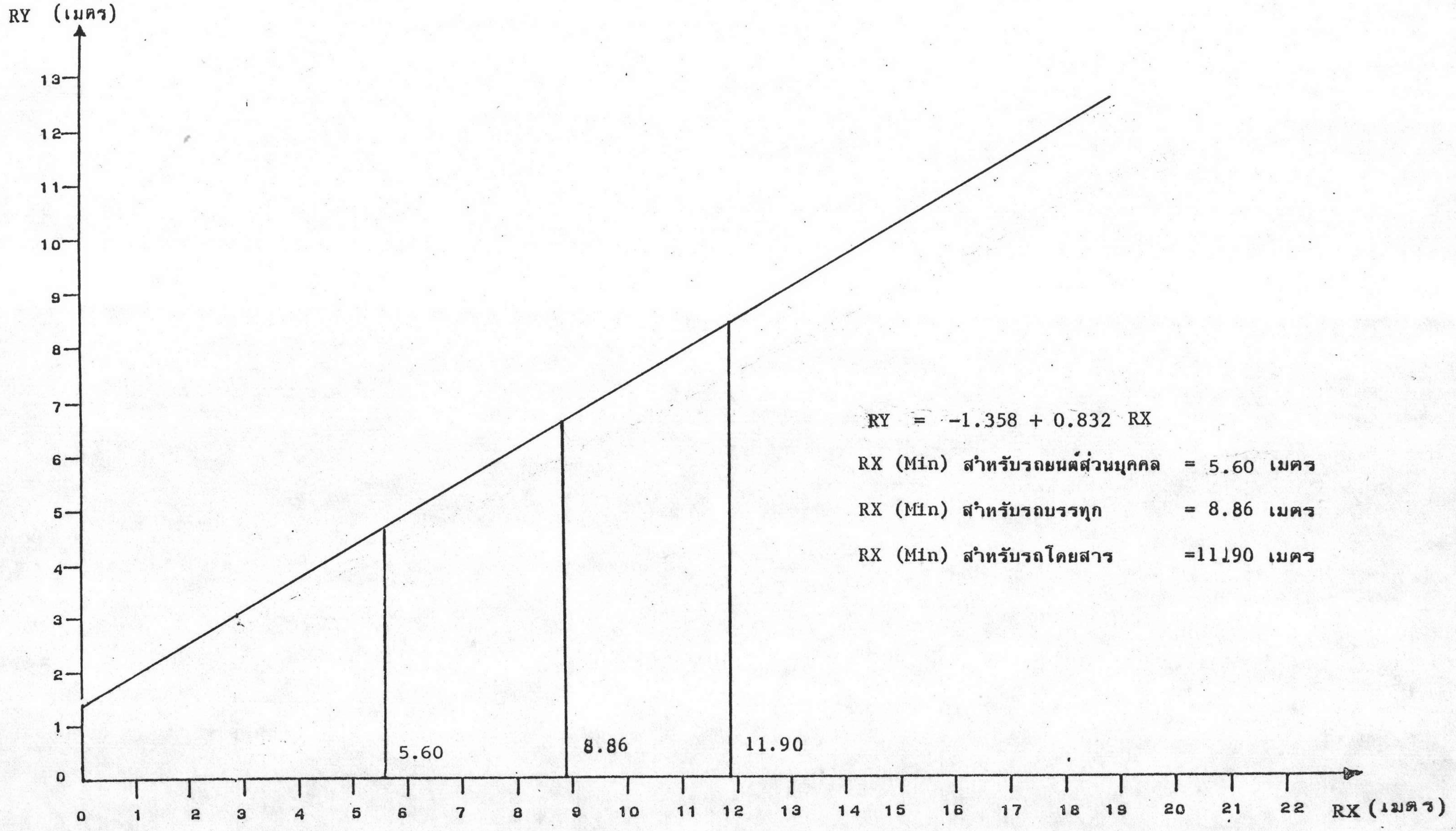
$$XFB\ (Min) = 4.921 + 6.17/2$$

$$= 8.006 \qquad \text{เมตร}$$

จากการได้ศึกษาและพิจารณารัศมีการเลี้ยวต่ำสุดนั้น จะพบว่ารัศมีการเลี้ยวต่ำสุดขึ้นอยู่กับขนาดของยวดยานแต่ละชนิด และสามารถจะสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ตามสมการที่ (4) หาความสัมพันธ์ระหว่าง RX และ RY

$$RY = -1.358 + 0.832\ RX$$

อย่างไรก็ดีในการหารัศมีการเลี้ยว ก็ไม่สามารถที่จะทำการออกแบบให้สอดคล้องความเป็นจริงได้ ซึ่งในสภาพความเป็นจริงนั้น จะต้องได้จากช่วงการเลี้ยวที่มีอยู่ ซึ่งความสัมพันธ์



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงการเลี้ยวในแนวดิ่ง (แกนY) กับช่วงการเลี้ยวในแนวราบ (แกนX)

ระหว่างรัศมีการเลี้ยว และช่วงการเลี้ยวในแนวราบ (แกน X) และสามารถหาได้จาก

$$RX = XF' + a/2 + W + OS. \qquad (13)$$

สำหรับรถบรรทุก

$$RXT = XF' + 3.0275 \qquad (14)$$

รถยนต์ส่วนบุคคล

$$RXP = XF' + 2.2725 \qquad (15)$$

รถโดยสาร

$$RXB = XF' + 3.8100 \qquad (16)$$

5.2 <u>การปรับปรุงรูปแบบของสมการการเคลื่อนที่ของยวดยานแนวนอกของวงเลี้ยว</u>

ในการศึกษาวิเคราะห์ที่ผ่านมานั้น จะพบว่าการกำหนดการเคลื่อนที่แนวเลี้ยววงนอก ก็คือ ส่วนยื่นด้านหน้าที่อยู่นอกวงเลี้ยว ซึ่งยวดยานแต่ละขนาดจะมีส่วนยื่น และช่วงล้อแตกต่างกันออกไปในการศึกษานี้ ได้ใช้ขนาดต่างๆ จากยวดยานที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 ซึ่งเมื่อพิจารณารูปแบบของสมการ (1) ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} XF'' &= XF - (b + W + OS.) \cos \theta + Uf \sin \theta - (W + OS.) \\ &= (0.439 + 0.585\, RX)\, \theta^{(0.810 + 0.019\, RX)} - (W + OS.)(\cos \theta + 1) \\ &\quad - b \cos \theta + Uf \sin \theta \end{aligned} \qquad (17)$$

$$\begin{aligned} YF''' &= YF' + b + W + OS.) \sin \theta + Uf \cos \theta \\ &= (0.333 + 0.785\, RY)\, \theta^{(0.220 + 0.021\, RY)} + a + (b + W + OS.) \\ &\quad \sin \theta + Uf \cos \theta \end{aligned} \qquad (18)$$

สมการที่ (17),(18) มีค่าต่างๆดังนี้

a = ระยะระหว่างช่วงล้อหน้ากับล้อหลัง (Wheel base)

W = ระยะระหว่างศูนย์กลางล้อถึงส่วนที่ยื่นออกด้านข้าง

θ = มุมขณะเลี้ยว

Uf = ส่วนยื่นหน้าของรถ (Over-hange front)

OS.= ระยะจากส่วนกว้างสุดของรถ ถึงแนวการเลี้ยวบนถนน ซึ่งจะประมาณจาก (ความกว้างของช่องการจราจร - ความกว้างของยวดยาน)/2

จากสมการที่ได้นั้นนำไปปรับปรุงแบบของสมภารการเคลื่อนที่ของยวดยานชนิดต่างๆ

5.2.1 รูปแบบการเคลื่อนที่ของรถบรรทุก (TRUCK) แนวนอกวงเลี้ยว สิ่งที่กำหนดแนวนอกวงเลี้ยว คือ a = 4.40 เมตร, b = 1.855 เมตร, W = 0.3275 เมตร, OS. = 0.50 เมตร, Uf = 1.195 เมตร (ตารางที่ 3.2)

$$\begin{aligned} XFT\ (out) = {} & (0.439 + 0.585\ RX)\ \theta^{(0.810 + 0.019\ RX)} - 0.8275(COS\ \theta + 1) \\ & - 1.855\ COS\ \theta + 1.195\ SIN\ \theta \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned} YFT\ (out) = {} & (0.333 + 0.785\ RY)\ \theta^{(0.220 + 0.021\ RY)} + 4.40 + 2.68\ SIN\theta \\ & + 1.195\ SIN\ \theta \end{aligned} \tag{20}$$

5.2.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของรถยนต์ส่วนบุคคล (PASSENGER CAR) แนวนอกวงเลี้ยว a = 2.495 เมตร, b = 1.44 เมตร, W = 0.125 เมตร, OS. = 0.90 เมตร, Uf = 1.05 เมตร (ตารางที่ 3.1)

$$\begin{aligned} XFP\ (out) = {} & (0.439 + 0.585\ RX)\ \theta^{(0.810 + 0.019\ RX)} - 1.025\ (COS\theta+1) \\ & - 1.44\ COS\ \theta + 1.05\ SIN\ \theta \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned} YFT\ (out) = {} & (0.333 + 0.785\ RY)\ \theta^{(0.220 + 0.021\ RY)} + 2.495 \\ & + 2.465\ SIN\ \theta + 1.05\ COS\ \theta \end{aligned} \tag{22}$$

5.2.3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของรถโดยสาร (BUS) แนวนอกวงเลี้ยว

a = 6.17 เมตร, b = 2.05 เมตร, W = 0.225 เมตร, OS. = 0.50 เมตร

เมตร (ตารางที่ 3.3)

$$XFT\ (out) = (0.439 + 0.585\ RX)\ \theta^{(0.810 + 0.019\ RX)} - 0.725\ (COS\ \theta + 1) - 2.05\ COS\ \theta + 2.00\ SIN\ \theta$$

$$YFB = (0.333 + 0.785\ RY)\ \theta^{(0.220 + 0.021\ RY)} + 6.17 + 2.775\ SIN\ \theta + 2.00\ COS\ \theta$$