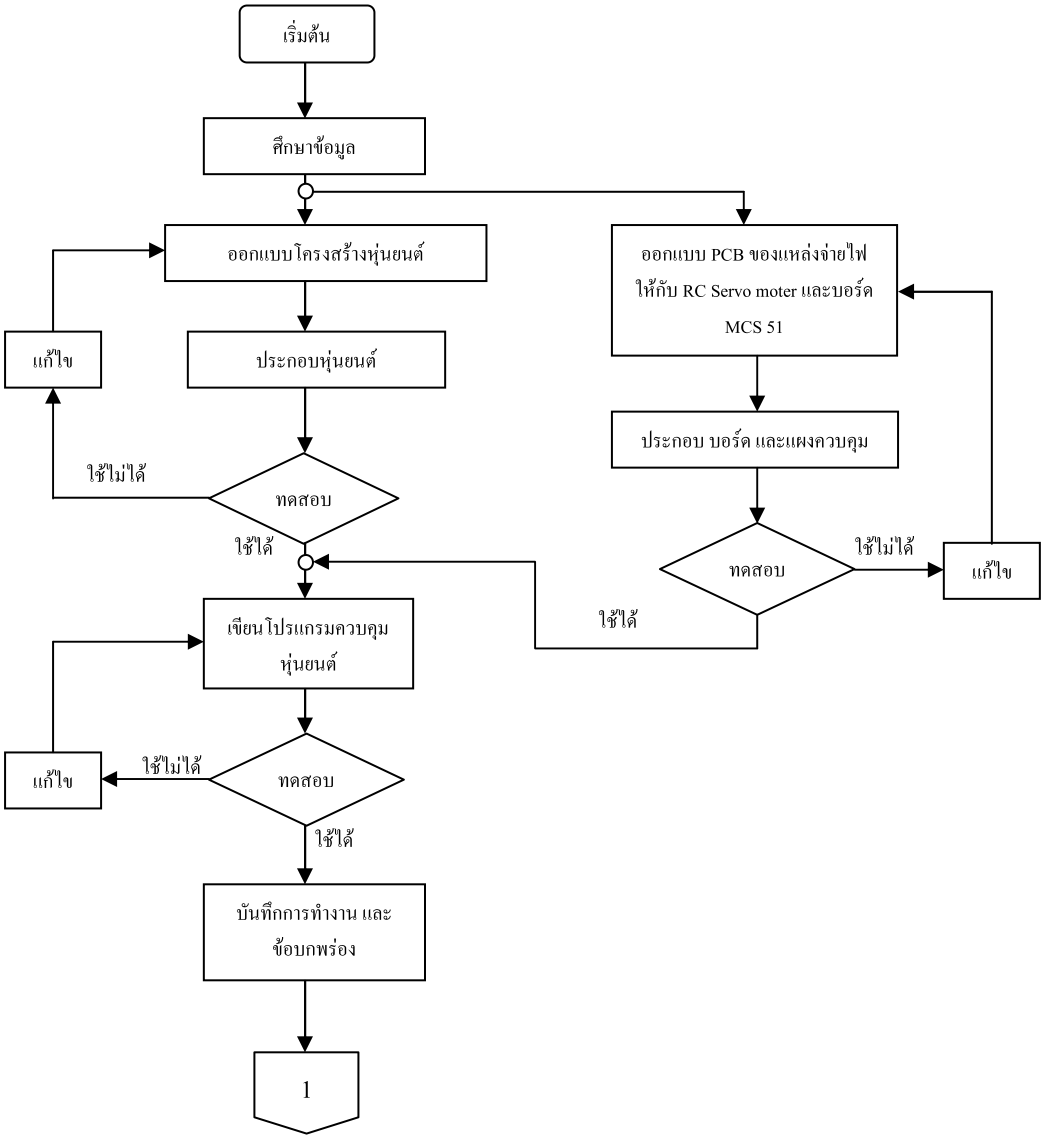
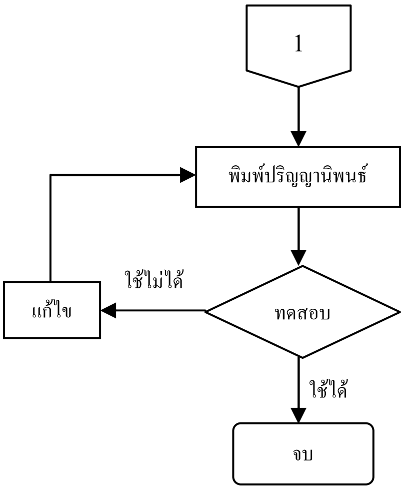
บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

จากทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง หุ่นยนต์เดินสองขาแบบ 5 องศาอิสระ มีขั้นตอน และแผนผังการทำงานต่างๆเรียงลำดับไว้ดังนี้



ภาพที่3.1 ขั้นตอน และวิธีเนินงานของโครงการ

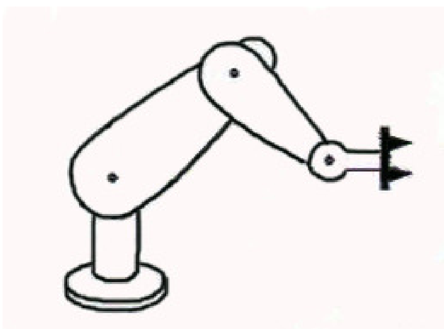


ภาพที่3.1 ขั้นตอน และวิธีเนินงานของโครงการ (ต่อ)

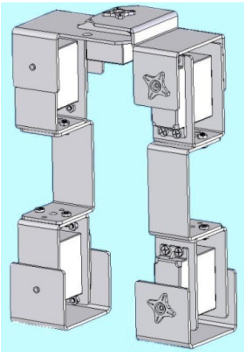
3.1 ออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์

ชิ้นส่วนโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ทั้งหมด ผู้ทำครงงานได้ออกแบบโดยมีแนวคิดมาจากลักษณะการเดินของหนอนชาเขียว และแขนหุ่นยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรม มารวมกัน โดยคิดว่าจะทำอย่างไรให้แขนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ จึงได้ออกแบบหุ่นยนต์แบบ 5องศาอิสระ โดยให้หลักการคำนวณหาค่าต่างๆแบบให้ขาข้างหนึ่งเป็นฐานในการคำนวณ

ภาพที่3.2 ลักษณะการเดินของหนอน



ภาพที่3.3 แขนหุ่นยนต์



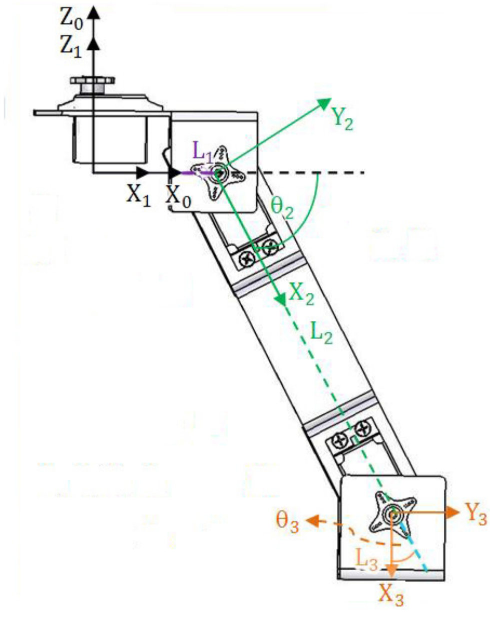
ภาพที่3.4 หุ่นยนต์ที่ออกแบบ

3.2 วิเคราะห์การเดินของหุ่นยนต์

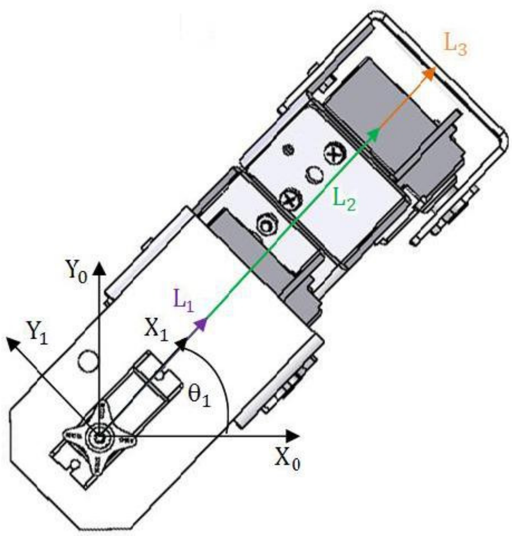
ในส่วนของกลไกการเคลื่อนไหวของขา ผู้ทำโครงการได้ออกแบบโดยใช้ความรู้ในเรื่อง Centroids of lines จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward kinematics) และจลนศาสตร์แบบผกผัน (Inverse kinematics) โดยในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการพิจารณาองศาของมุมในแต่ละข้อต่อ ในแต่ละก้าวของหุ่นยนต์ เพื่อนำไปกำหนดค่าในโปรแกรม เนื่องจากเมื่อแบ่งครึ่งส่วนของหุ่นยนต์

3.2.1 จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward kinematics)

การวิเคราะห์ จลนศาสตร์แบบไปข้างหน้านั้น ไม่คิดเรื่องแรง, ขนาด และน้ำหนัก เมื่อเราได้สมการจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้าเพื่อนำไปทดสอบกับ สมการจลนศาสตร์แบบผกผัน ในที่นี้ในการวิเคราะห์จะหาตำแหน่งของข้อต่อของหุ่นย์แต่ละข้างดังนี้



ภาพที่3.5 แกนในแต่ละข้อต่อ (ด้านหน้า)



ภาพที่3.6 แกนในแต่ละข้อต่อ (ด้านบน)

นำตัวแปรในแต่ละข้อต่อ นำมาใส่ในตาราง Denavit-Hartenberg

ตารางที่3.1 ตารางค่าตัวแปร Denavit-Hartenberg

i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	90	L_1	0	θ_2
3	0	L_2	0	θ_3
4	0	L_3	0	0

จากนั้นแทนค่าลงใน ${}^{i-1}_{i}T$ General Transformations

$$
{}^{i-1}_{i}T = \left[\begin{array}{ccc|c}
c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\
s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} d_i \\
s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} d_i \\
\hline
0 & 0 & 0 & 1
\end{array}\right]
$$

ความสัมพันธ์ระหว่างฐาน กับ ข้อต่อที่1

$$
{}^{0}_{1}T = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อต่อที่1 กับ ข้อต่อที่2

$$
{}^{1}_{2}T = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อต่อที่2 กับ ข้อต่อที่3

$$
{}^{2}_{3}T = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & L_2 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อต่อที่3 กับ ข้อต่อที่4

$$
{}^{3}_{4}T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

ความสัมพันธ์ระหว่างฐาน กับ ข้อต่อที่ 2

$$
{}^{0}_{2}T = \begin{bmatrix} c_1c_2 & -c_1s_2 & s_1 & L_1c_1 \\ s_1c_2 & -s_1s_2 & -c_1 & L_1s_1 \\ s_2 & c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

ความสัมพันธ์ระหว่างฐาน กับข้อต่อที่3

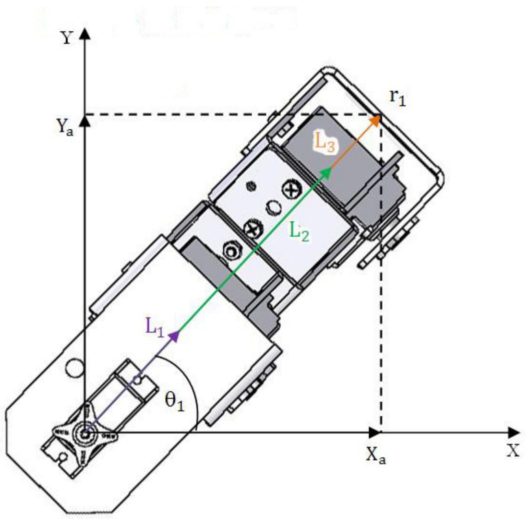
$$
{}^{0}_{3}T = \begin{bmatrix} c_1c_{23} & -c_1s_{23} & s_1 & L_2c_1c_2+L_1c_1 \\ s_1c_{23} & -s_1s_{23} & -c_1 & L_2s_1c_2+L_1s_1 \\ s_{23} & c_{23} & 0 & L_2s_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

ความสัมพันธ์ระหว่างฐาน กับ ข้อต่อที่4

$$
{}^{0}_{4}T = \begin{bmatrix} c_1c_{23} & -c_1s_{23} & s_1 & L_3c_1c_{23}+L_2c_1c_2+L_1c_1 \\ s_1c_{23} & -s_1s_{23} & -c_1 & L_3s_1c_{23}+L_2s_1c_2+L_1s_1 \\ s_{23} & c_{23} & 1 & L_3s_{23}+L_2s_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

3.2.2 จลนศาสตร์แบบผกผัน (Inverse kinematics)

จากการหาจลนศาสตร์แบบไปข้างหน้า จะทำให้เราทราบความสัมพันธ์ระหว่างข้อต่อต่างๆ ในที่นี้ เราเลือกพิจารณาจุดปลายเทียบกับฐาน จากภาพที่3.7 เป็นการแสดงค่าต่างๆที่ต้องการหา

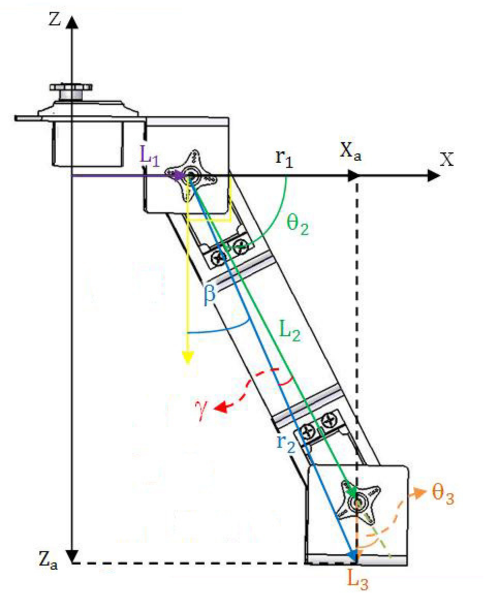


$$\theta_1 = \text{Atan2}\,(Ya\ ,\ Xa) \tag{3.1}$$

$$r_1 = \pm\sqrt{X_a^2 + Y_a^2} \tag{3.2}$$

ภาพที่3.7 ภาพด้านบน

จากสมการที่ (3.2) ค่าของ r_1 เนื่องมาจากจุดปลายของขาสามารถเคลื่อนที่สวนทางกับ L_1 แล้วค่าที่ได้สามารถมีค่าเป็นลบได้



$$r_2 = (r_1 - L_1)^2 + Z_a^2 \tag{3.3}$$

$$X_a = (r_1 - L_1)^2 \, {}_{\mathit{1}} \tag{3.4}$$

$$r_2^2 = L_2^2 + L_3^2 + 2L_2L_3c_3 \tag{3.5}$$

$$c_3 = \frac{r_2^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3}$$

$$s_3 = \pm\sqrt{1 - c_3^2}$$

$$\therefore \quad \theta_3 = \mathrm{Atan2}(s_3, c_3) \tag{3.6}$$

$$\theta_2 = \beta + \gamma - 90$$

$$\beta = \mathrm{Atan2}(X_a , Z_a)$$

$$k_1 = L_2 + L_3c_3$$

$$k_2 = L_3s_3 \tag{3.7}$$

$$\gamma = \mathrm{Atan2}(k_2 , k_1)$$

$$\therefore \quad \theta_2 = \mathrm{Atan2}(X_a , Z_a) + \mathrm{Atan2}(k_2 , k_1) - 90 \tag{3.8}$$

ภาพที่3.8 ภาพด้านหน้า

3.2.3 จุดศูนย์ถ่วงของเส้น (Centroids of lines)

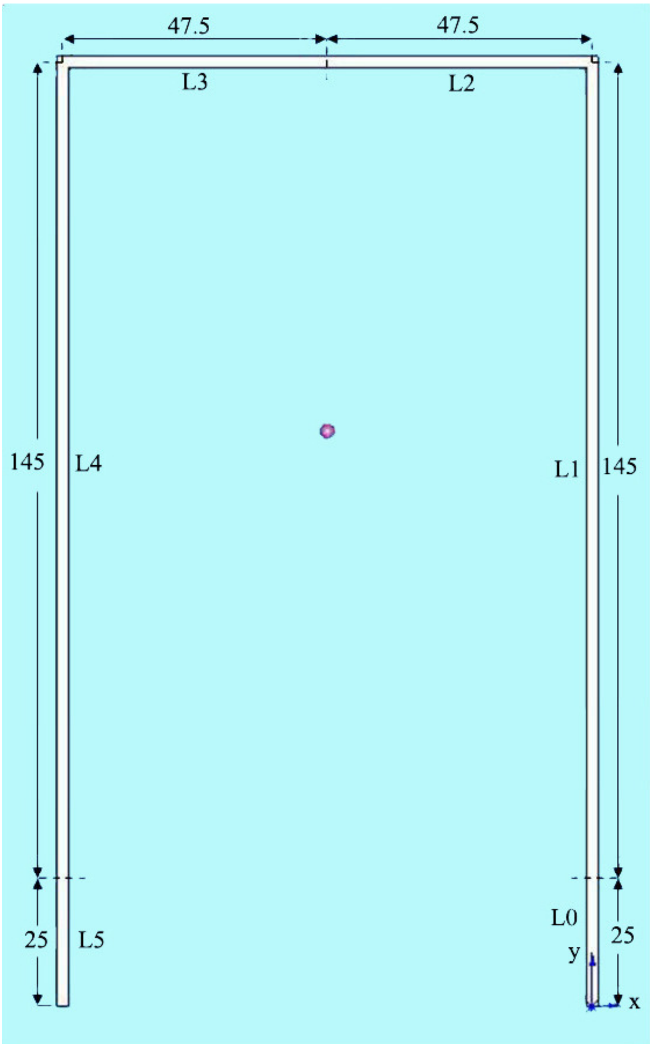
การหาจุดศูนย์ถ่วงของหุ่นยนต์นั้นเราจะกำหนดให้ตัวหุ่นยนต์นั้นเปรียบเสมือนเส้นที่มีความหนาแน่น พื้นที่หน้าตัด และความต่อเนื่องกันตลอดทั้งเส้น เพื่อให้งายต่อการพิจารณาจุดศูนย์ถ่วงในที่นี้คือ ตัวอย่างการหาจุดศูนย์ถ่วงของหุ่นยนต์ขณะยืนอยู่กับที่จาก ภาพที่3.9

ตารางที่3.2 ค่าจุดศูนย์ถ่วงของหุ่นยนต์สองขาแบบ 5 องศาอิสระ

ส่วนที่	L	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{x}$L	$\bar{y}$L
L0	25	12.5	0	312.5	0
L1	145	97.5	0	14137.5	0
L2	47.5	170	-23.75	8075	-1128.125
L3	47.5	170	-71.25	8075	-3384.375
L4	145	97.5	-95	14137.5	-13775
L5	25	12.5	-95	312.5	-2375
$\sum L = 435$				$\sum \bar{x}L = 45050$	$\sum \bar{y}L = -20662.5$

$\bar{X}\sum L = \sum \bar{x}L$; $\bar{X}(435) = 45050$ จุดศูนย์ถ่วง $\bar{X} = 103.56$ mm

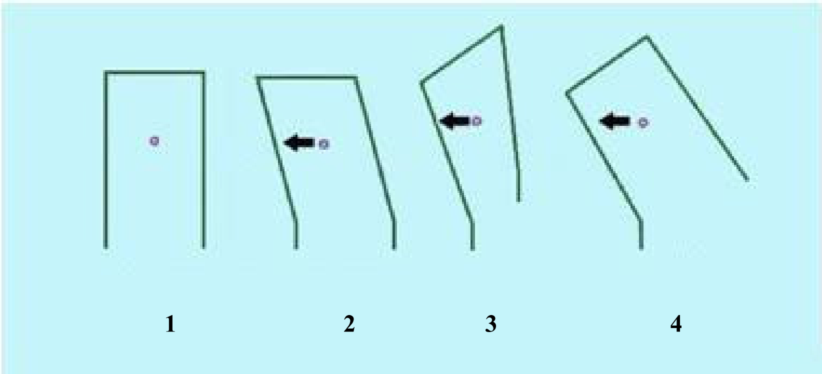
$\bar{Y}\sum L = \sum \bar{y}L$; $\bar{Y}(435) = -20662.5$ จุดศูนย์ถ่วง $\bar{Y} = -47.50$ mm



ภาพที่3.9 จุดศูนย์ถ่วงขณะยืน

3.3 ลักษณะการเดินของหุ่นยนต์

การเดินของหุ่นยนต์ 2 ขา จะสามารถทำได้โดยการกำหนดองศาของแต่ละข้อต่อในแต่ละจังหวะของการก้าวและในการก้าวแต่ละครั้ง เมื่อขาที่จะก้าวถูกยกขึ้น จะเหลือขาอีก 1 ขาที่จะเป็นจุดรองรับน้ำหนัก ดังนั้น เมื่อจะมีการยกขาใดขึ้น จึงจำเป็นจะต้องมีการถ่ายน้ำหนักของตัวหุ่นยนต์ให้จุดศูนย์ถ่วงไม่ให้เกินพื้นที่ของฐาน เพื่อช่วยให้หุ่นยนต์ทรงตัวอยู่ได้ และในจังหวะที่ก้าวขาไปข้างหน้าจุดศูนย์ถ่วงจะต้องล้นจากฐานไปทางที่ขาก้าวจะทำให้หุ่นยนต์ก้าวไปข้างหน้าได้ ดังที่แสดงในภาพที่3.10 เป็นการถ่ายน้ำหนักของหุ่นยนต์



ภาพที่3.10 จังหวะการถ่ายน้ำหนัก

3.4 การใช้งานวงจรจับเวลา

เมื่อเราได้กำหนดจังหวะการเดินของหุ่นยนต์ และองศาของแต่ละข้อต่อแล้ว เราจะนำองศาที่ได้มาคำนวณความกว้างของสัญญาณพัลล์ เพื่อที่จะนำไปเขียนโปรแกรม ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ของเราใช้คริสตอลขนาด 18.432 MHz ใช้งานวงจรจับเวลาในโหมด 2 เป็นวงจรจับเวลาขนาด 8 บิต การใช้งานต้องกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ THx และ TLx เพื่อให้นับตามสัญญาณนาฬิกาของระบบจนถึง FFH แล้วเกิดโอเวอร์โฟลว์ การกำหนดค่าให้รีจิสเตอร์ THx และ TLx มีขั้นตอนดังนี้

3.4.1 ให้สร้างฐานเวลา ในที่นี้เรากำหนดฐานเวลาเท่ากับ ความกว้างของสัญญาณพัลล์สูงสุด / มุมองศาที่มอเตอร์หมุนได้

$$2\ \text{ms}\ /\ 180^{o}\ =\ 0.0111 \approx 0.01\ \text{ms}$$

3.4.2 คำนวณหาเวลาของแมชชีนไซเคิล

เวลา 1 สัญญาณนาฬิกา(T) = 1/ความถี่ = 1/18.432 MHz = 0.0542 μsec

เวลา 1 แมชชีนไซเคิล = เวลา 1 สัญญาณนาฬิกา × 12 = 0.0542 × 12 = 0.65104 μsec

3.4.3 คำนวณหาจำนวนแมชชีนไซเคิลที่ทำให้เกิดการโอเวอร์โฟลว์

จำนวนแมชชีนไซเคิล = 0.01 ms / 0.65104 μsec = 10 / 0.65104 = 15.36 ≈ 15

3.4.4 คำนวณการกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ THx และ TLx

THx และTLx = 256 – 15 = 241 = F1H

ค่าที่กำหนดให้รีจิสเตอร์ THx และ TLx คือ F1H จะทำให้ Timer ทำการนับจำนวนแมชชีนไซเคิลจำนวน 15 ครั้งจะได้เวลา 0.01 มิลลิวินาที และทำให้เกิดการโอเวอร์โฟลว์หรือนับเกิน FFH

3.4.5 เขียนฟังก์ชั่นการใช้งานด้วยภาษาซีได้ดังนี้

```
void delay(int pw)
{TL0=0xF1;                  //Timer 0 ,0.01 msec
TH0=0xF1;
TMOD=0x02;                  //Mode 2,8bits Auto Reload
while(pw--)
{TR0=1;                     //Set Timer0
do{                         //Waiting
   }while(TF0==0);
TF0=0;                      //Clear TF0
}
TR0=0;                      //Stop Timer 0
}
```