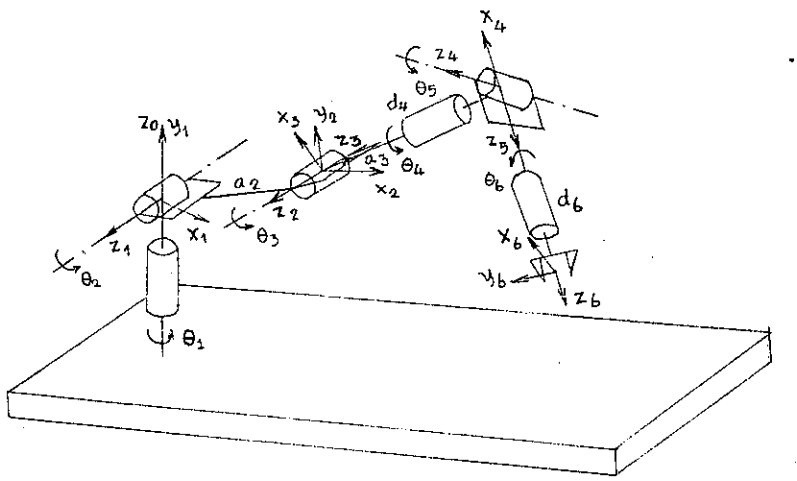
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การศึกษา kinematics หุ่นยนต์ KAWASAKI UNIMATE MACHINE TYPE 260 RIS6



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการเคลื่อนไหว และตัวแปรต่าง ๆ ของหุ่นยนต์

4.1.1 Forward kinematics

Link	a_n	$\propto_n$	d_n	θ_n
1	0	$\pi/2$	0	θ_1
2	a_2	0	d_2	θ_2
3	a_3	$\pi/2$	d_3	θ_3
4	0	$-\pi/2$	0	θ_4
5	0	$\pi/2$	0	θ_5
6	0	0	d_6	θ_6

ตารางที่ 1 แสดง Link parameters ของ KAWASAKI UNIMATE MACHINE TYPE 260 RIS6

จากสมการ matrix Transformer ระหว่างจุดต่อ 2 จุด จะได้

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

$$ {}^{1}_{2}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_2\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_2\sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

$$
{}^{2}_{3}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & 0 & \sin\theta_3 & a_3\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & 0 & -\cos\theta_3 & a_3\sin\theta_3 \\ 0 & 1 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

$$
{}^{3}_{4}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & 0 & -\sin\theta_4 & 0 \\ \sin\theta_4 & 0 & \cos\theta_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

$$
{}^{4}_{5}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & 0 & \sin\theta_5 & 0 \\ \sin\theta_5 & 0 & -\cos\theta_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

$$
{}^{5}_{6}T = \begin{bmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & 0 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
$$

ซึ่งจะได้ Forward kinematics ของหุ่นยนต์ KAWASAKI UNIMATE MACHINE TYPE 260 RIS6 ดังนี้

$$ {}^{0}_{6}T = {}^{0}_{1}T * {}^{1}_{2}T * {}^{2}_{3}T * {}^{3}_{4}T * {}^{4}_{5}T * {}^{5}_{6}T $$

$$ {}^{0}_{6}T = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & d_x \\ n_y & s_y & a_y & d_y \\ n_z & s_z & a_z & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

$n_x = c_1[c_{23}[c_4c_5c_6 - s_4s_6] - s_{23}s_5c_6] + s_1[s_4c_5c_6 + c_4s_6]$

$n_y = s_1[c_{23}[c_4c_5c_6 - s_4s_6] - s_{23}s_5c_6] - c_1[s_4c_5c_6 + c_4s_6]$

$n_z = s_{23}[c_4c_5c_6 - s_4s_3] + c_{23}s_5c_6$

$s_x = c_1[-c_{23}[c_4c_5s_6 + s_4c_6] + s_{23}s_5s_6] + s_1[-s_4c_5s_6 + c_4c_6]$

$s_y = s_1[-c_{23}[c_4c_5s_6 + s_4c_6] + s_{23}s_5s_6] - c_1[-s_4c_5s_6 + c_4c_6]$

$s_z = -s_{23}[c_4c_5s_6 + s_4c_6] - c_{23}s_5s_6$

$a_x = c_1[c_{23}c_4s_5 + s_{23}c_5] + s_1s_4s_5$

$a_y = s_1[c_{23}c_4s_5 + s_{23}c_5] - c_1s_4s_5$

$a_z = s_{23}c_5c_4 - c_{23}c_5$

$P_x = c_1[c_{23}c_4s_5d_6 + s_{23}c_5d_6 + c23a3 + a_2c_2] + s_1[s_4s_5d_6 + d_3 + d_2]$

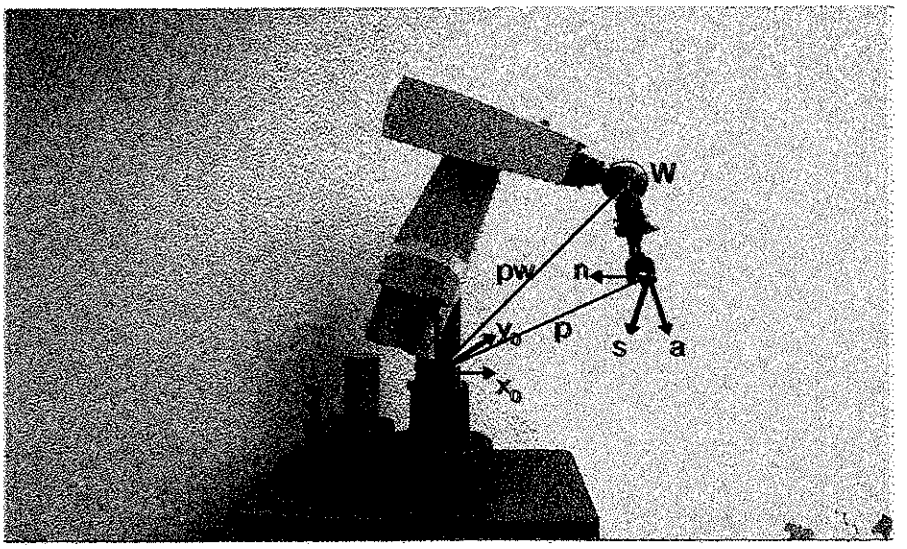
$P_y = s_1[c_{23}c_4s_5d_6 + s_{23}c_5d_6 + c23a3 + a_2c_2] - c_1[s_4s_5d_6 + d_3 + d_2]$

$P_z = s_{23}c_4s_5d_6 - c_{23}c_5d_6 + s23a3 + a_2s2$

โดยที่ $c_n = \cos\theta_n$, $s_n = \sin\theta_n$, $c_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3)$

4.1.2 Inverse kinematics ของหุ่นยนต์ KAWASAKI UNIMATE MACHINE TYPE 260 RIS6

KAWASAKI UNIMATE MACHINE TYPE 260 RIS6 มีลักษณะการวางตัวของแขนกล ที่ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน ทำให้ยากแก่การหา Inverse kinematics



รูปที่ 4.2 แสดงรูปลักษณะการวางตัวของหุ่นยนต์ KAWASAKI UNIMATE MACHINE TYPE 260 RIS6

ดังนั้น สำหรับการหา Inverse kinematics นี้เราจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็น Anthropomorphic Arm กับ Spherical Wrist โดยมีสมการช่วยคือ

$$pw = p - d_6 a$$

โดยที่ p คือตำแหน่งของปลายหุ่นยนต์

pw คือตำแหน่งของข้อต่อที่เป็น Spherical Wrist

a เป็นองค์ประกอบการ rotation matrix ($R = [\, n \;\; s \;\; a \,]$)

จะช่วยลดตัวแปรจากสมการของ 6 degree of mobility เป็น 3 degree of mobility ทำให้สามารถแบ่งขั้นตอนการหา Inverse kinematics ของ KAWASAKI UNIMATE MACHINE TYPE 260 RIS6 ได้ดังนี้

1. คำนวณหาตำแหน่งของข้อต่อ Spherical Wrist $P_w(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$
2. หา Inverse kinematics สำหรับ $(\theta_1, \theta_2, \theta_3)$
3. คำนวณ $R^0_3 \ (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$
4. คำนวณ $R^3_6 \ (\theta_4, \theta_5, \theta_6) = R^{0\,T}_3 R$
5. หา Inverse kinematics สำหรับ โอเรียนเตชัน $(\theta_4, \theta_5, \theta_6)$

จาก ${}^0_6T$ และสมการข้างบนจะได้

$$P_{wx}=c_1[c_{23}a_3+a_2c_2]+s_1[d_3+d_2]$$

$$P_{wy}=s_1[c_{23}a_3+a_2c_2]-c_1[d_3+d_2]$$

$$P_{wz}=s_{23}a_3+a_2s_2$$

$$c_3 = \frac{P_{wx}^2 + P_{wy}^2 + P_{wz}^2 - a_3^2 - a_2^2 - [d_3 + d_2]^2}{2a_2a_3}$$

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

$$\theta_3 = \text{actan2}\,[s_3, c_3]$$

$$c_2 = \frac{a_2 + a_3c_3\sqrt{P_{wx}^2 + Pwy^2 - [d_2 + d_3]} + a_3s_3P_{wz}}{P_x^2 + P_y^2 + P_{wz}^2 - [d_2 + d_3]^2}$$

$$s_2 = \pm\sqrt{1 - c_2^2}$$

$$\theta_2 = \text{actan2}\,[s_2, c_2]$$

และ $${}^{0}_{3}T = {}^{0}_{1}T * {}^{1}_{2}T * {}^{2}_{3}T$$

$${}^{0}_{3}T = \begin{bmatrix} c_1c_{23} & s_1 & c_1s_{23} & c_1[a_3c_{23} + a_2c_2] + s_1[d_3 + d_2] \\ s_1c_{23} & -c_1 & -s_1c_{23} & s_1[a_3c_{23} + a_2c_2] - c_1[d_3 + d_2] \\ s_{23} & 0 & 0 & a_3s_{23} + a_2s_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

หรือ

$${}^{0}_{3}T = \begin{bmatrix} c_1c_{23} & s_1 & c_1s_{23} & P_{wx} \\ s_1c_{23} & -c_1 & -s_1c_{23} & P_{wy} \\ s_{23} & 0 & 0 & P_{wz} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

นำ ${}^{0}_{1}T^{-1}$ คูณทั้งสองข้างของสมการ

$${}^{0}_{1}T^{-1}\,{}^{0}_{3}T = {}^{1}_{2}T\,{}^{2}_{3}T$$

ทางด้านซ้ายของสมการ คือ

$$\begin{bmatrix} * & * & * & c_1P_{wx}+s_1P_{wy} \\ * & * & * & P_{wz} \\ * & * & * & c_1P_{wx}+s_1P_{wy} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(* คือแปรซึ่งไม่ได้แสดงในที่นี้)

ทางด้านซ้ายของสมการ คือ

$$\begin{bmatrix} c_{23} & 0 & s_{23} & a_3c_{23}+a_2c_2 \\ c_{23} & 0 & -c_{23} & a_3s_{23}+a_2s_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2+d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

พิจารณาตำแหน่งที่ (3,4) จะได้

$$c_1P_{wx}+s_1P_{wy} = d_2+d_3 \qquad (1)$$

กำหนด

$$t = \tan \theta_1/2$$

จะได้

$$c1 = \frac{1-t^2}{1+t^2} \qquad s1 = \frac{2t}{1+t^2}$$

แทนค่าใน (1) จะได้ $t = \dfrac{-P_{wx} \pm \sqrt{P^2_{wx}+P^2_{wy}-(d_2+d_3)^2}}{P_{wy}-(d_2+d_3)}$

$$\theta_1 = 2*\text{atant2}(-P_{wx} \pm \sqrt{P^2_{wx}+P^2_{wy}-(d_2+d_3)^2}, P_{wy}-(d_2+d_3))$$

คำนวณต่อตามขั้นตอนที่ 4 จะได้

$${}^3_6T = \begin{bmatrix} c_4c_5c_6-s_4s_6 & -c_4c_5s_6-s_4c_6 & c_4s_5 & c_4s_5d_6 \\ s_4c_5c_6+c_4s_6 & -s_4c_5s_6-c_4c_6 & s_4s_5 & s_4s_5d_6 \\ -s_5c_6 & s_5s_6 & c_5 & c_5d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

และ

$$R_0{}^3R = \begin{bmatrix} * & * & * & c_1c_{23}P_x+s_1P_y+s_1s_{23}P_z \\ * & * & * & s_1s_{23}P_x-c_1P_y-s_1c_{23}P_z \\ s_{23}n_x-c_{23}n_z & s_{23}s_x-c_{23}s_z & * & s_{23}P_x-c_{23}p_z \\ * & * & * & 1 \end{bmatrix}$$

โดยที่

$P_x-P_{wx} = c_1c_{23}P_x+s_1P_y+s_1s_{23}P_z = c_4s_5d_6$

$P_y-P_{wy} = s_1s_{23}P_x-c_1P_y-s_1c_{23}P_z = s_4s_5d_6$

$P_z-P_{wz} = s_{23}P_x = c_5d_6$

พิจารณาตำแหน่งที่ (1,4) และ (2,4) จะได้

$$\theta_4 = \text{atan2}(s_1 s_{23} P_x - c_1 P_y - s_1 c_{23} P_z , c_1 c_{23} P_x + s_1 P_y + s_1 s_{23} P_z)$$

พิจารณาตำแหน่งที่ (3,4) จะได้

$$c_5 = \frac{s_{23} P_x}{d_6}$$

$$s_5 = \pm\sqrt{(1 - c_5^2)}$$

$$\theta_5 = \text{atan2}(s_5 , c_5)$$

พิจารณาตำแหน่งที่ (3,1) และ (3,2) จะได้

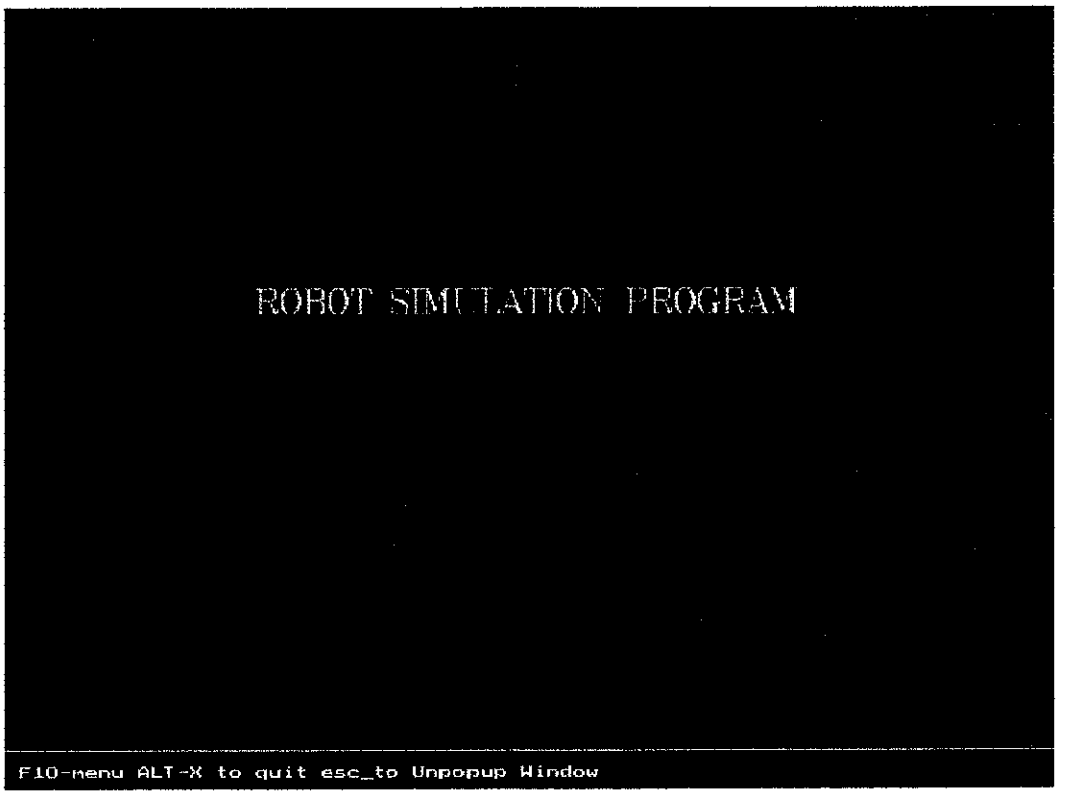
$$-s_5 c_6 = s_{23} n_x - c_{23} n_z$$

$$s_5 s_6 = s_{23} s_x - c_{23} s_z$$

$$\theta_6 = \text{atant2}(s_{23} s_x - c_{23} s_z , - s_{23} n_x + c_{23} n_z)$$

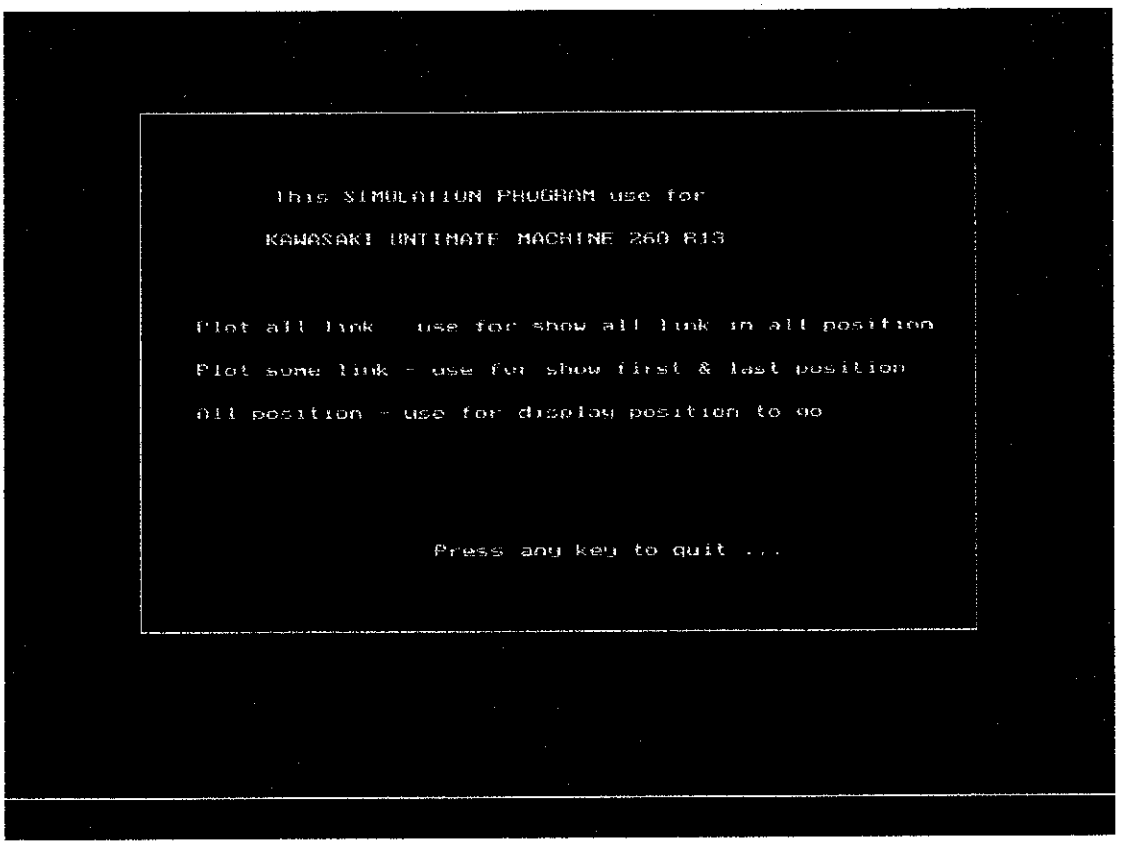
4.2 ภาพแสดงการทำงานของโปรแกรม

4.2.1 เมื่อเข้ามาในโปรแกรม Robot จะมีลักษณะดังข้างล่างนี้

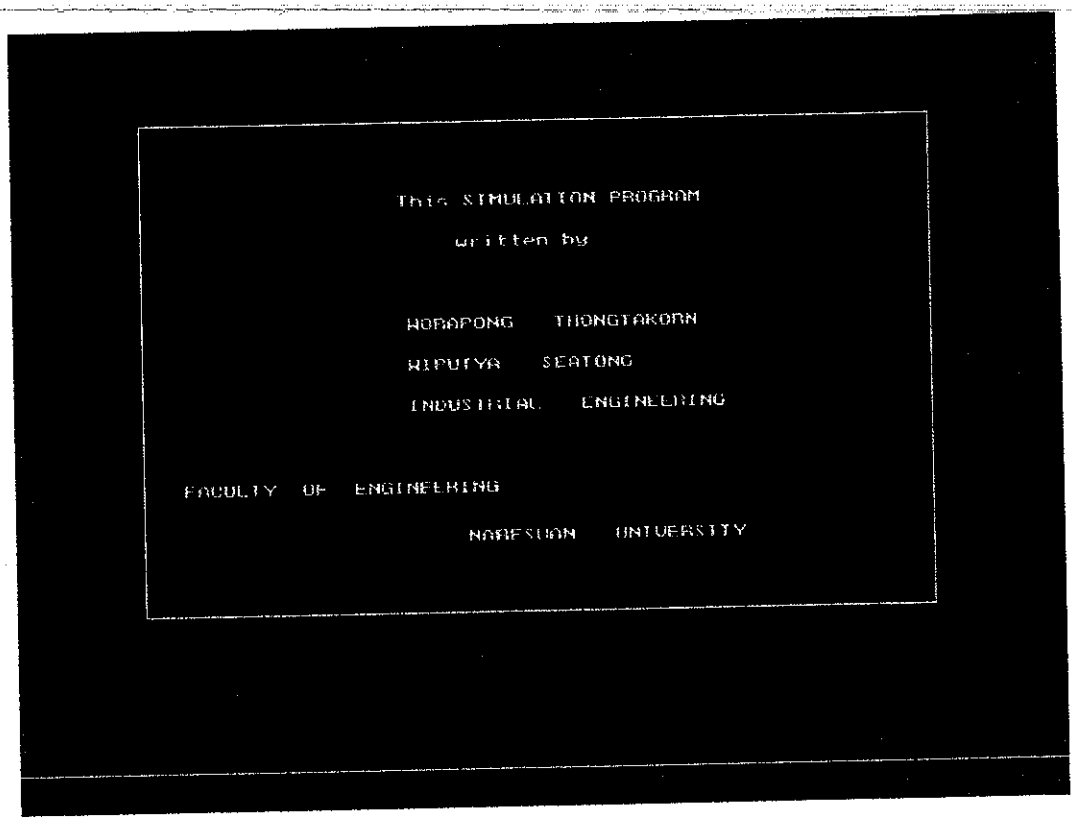


4.2.2 รูปแสดง menu function ของโปรแกรม

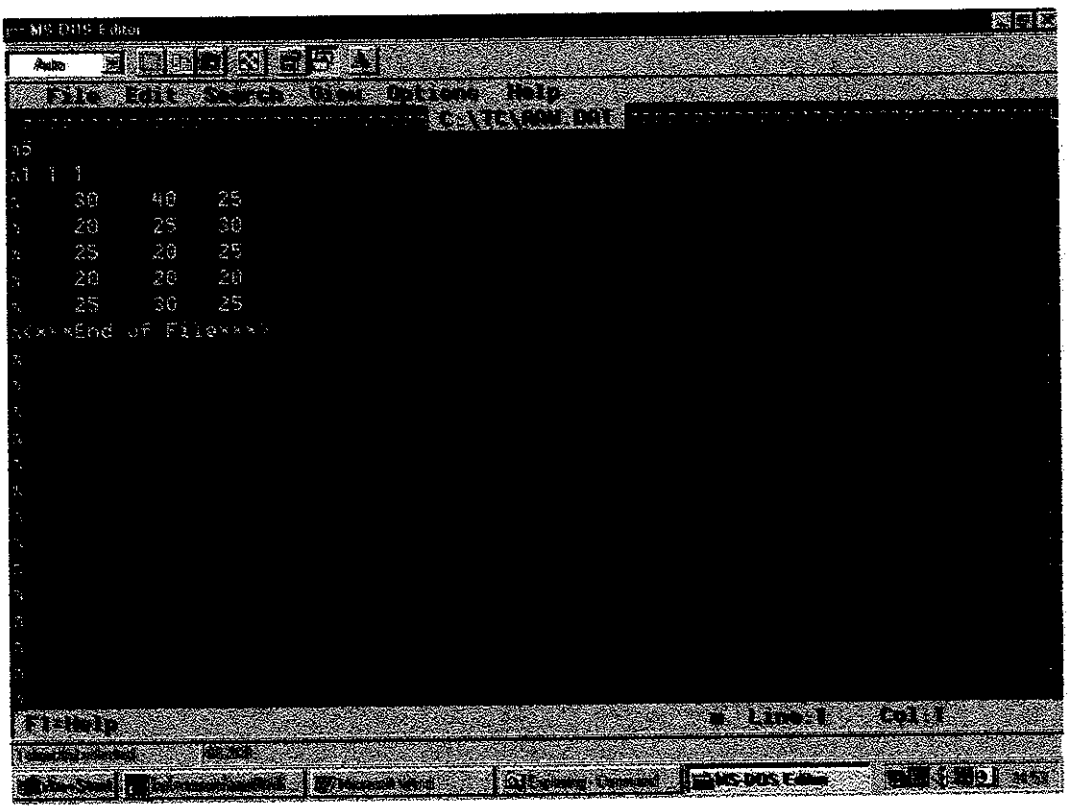
4.2.3 แสดงข้อความช่วยเหลือจาก menu Help



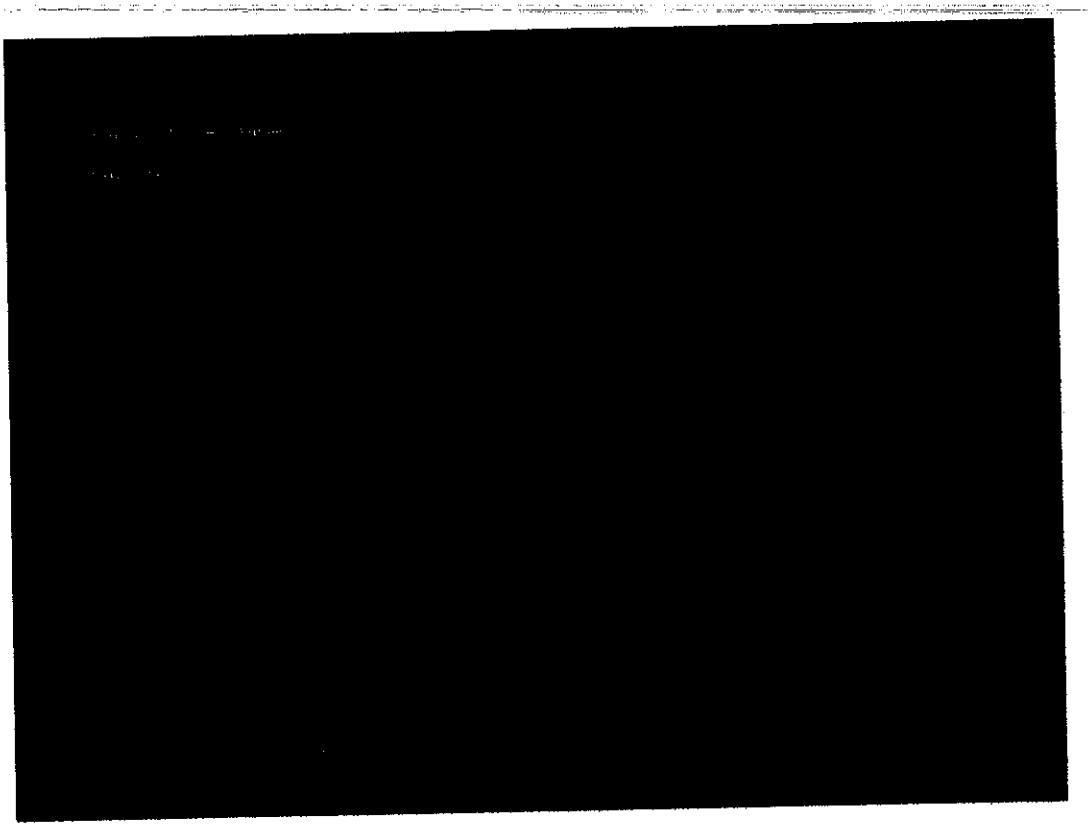
4.2.4 แสดงภาพเมื่อเข้า menu programmer



4.2.5 แสดงลักษณะของ data file และโปรแกรม Editor ที่ใช้ในการสร้างและแก้ไข data file

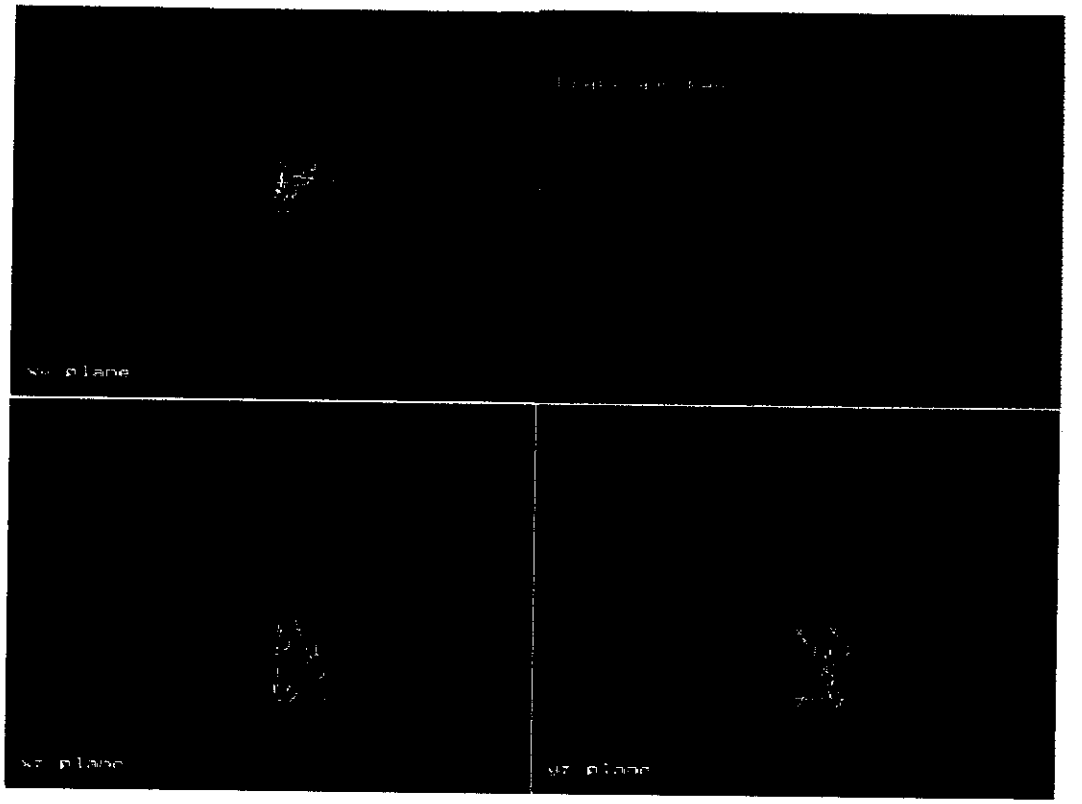


4.2.6 แสดงผลจากการเลือก menu All position



4.2.7 แสดงผลจากการเลือกและใช้งาน menu All position

4.2.8 แสดงผลจากการทำงานตาม menu View all link



4.2.9 แสดงผลจากการทำงานตาม menu View some link