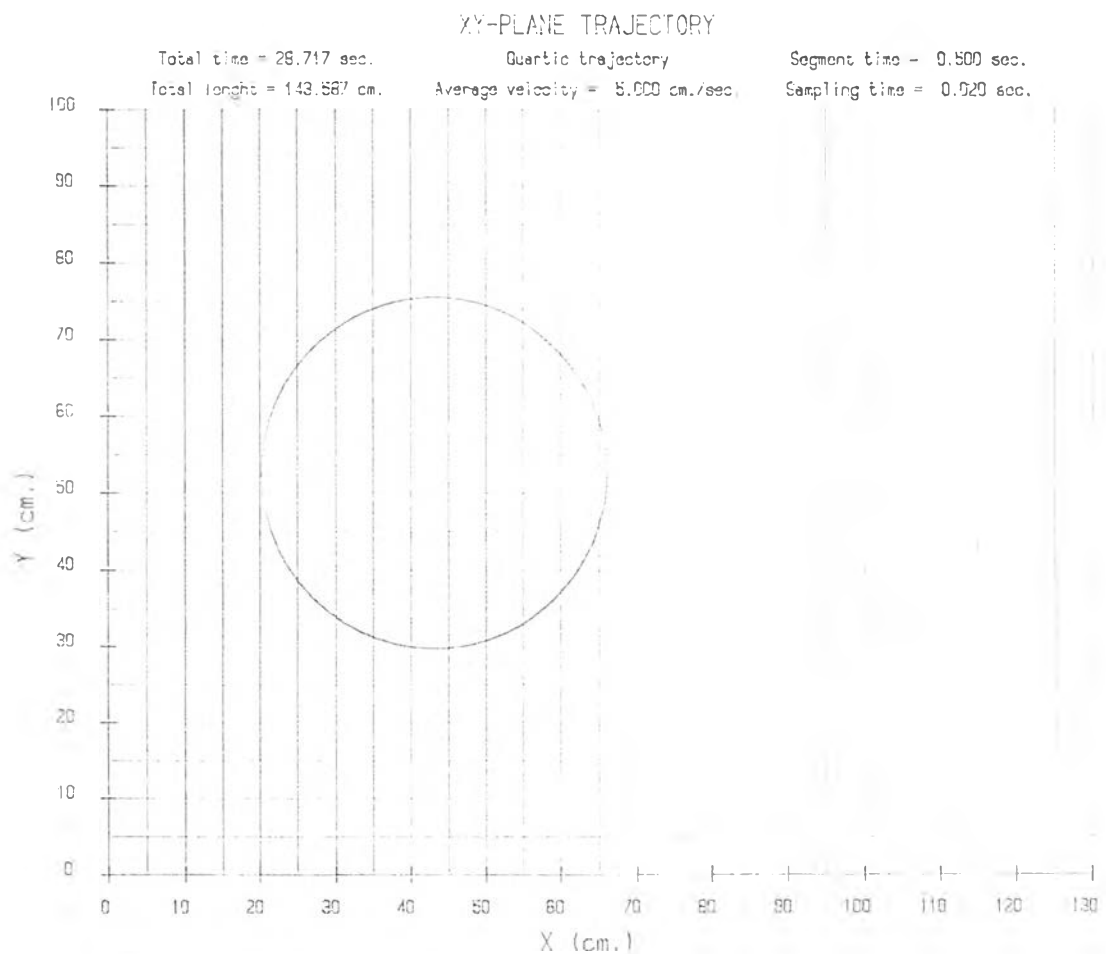
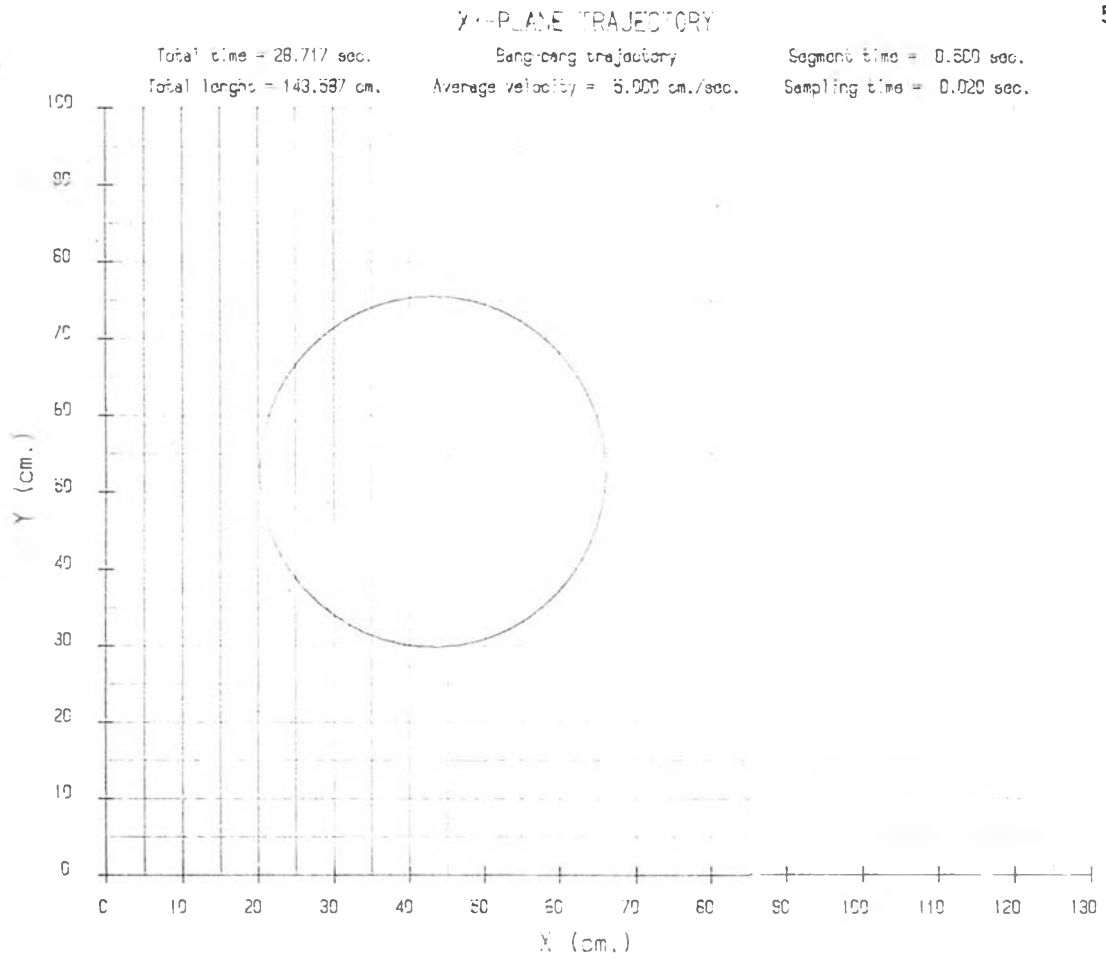


เอกสารอ้างอิง

- C.W. Clenshaw and B.Negus, "The cubic X-spline and its application to interpolation", Journal of Instrument and Mathematics Applications, Vol. 22, pp. 109-119, 1978.
- Chun-shin lin and Po-rong chang, "Joint Trajectory of Mechanical Manipulators for Cartesian Path Approximation", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-13, No. 6, pp. 1094-1102, November/December 1983.
- Daniel. E. Whitney, "The Mathematics of Coordinated Control of Prosthetic Arms and Manipulators", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, pp. 303-309, 1972.
- G.H. Behforooz, N. Papamichael and A.J. Worsey, "A class of piecewise-cubic interpolatory polynomials", Journal of Instrument and Mathematics Applications, Vol. 25, pp. 53-65, 1980.
- John J. Craig, "Introduction to Robotics Mechanics and Control", Stanford University, Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- Michael Brady, "Trajectory Planning", Stanford University, CA., 1983.
- Richard P.C. Paul, "Manipulator Cartesian Path Control", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9 (1979), No.6, pp. 702-711 November/December 1979.

ภาคผนวก ก.

กราฟประกอบการศึกษาความเบนเบียงระหว่างวิถีทางเดินที่สร้างขึ้นกับวิถีทางเดินที่ต้องการ



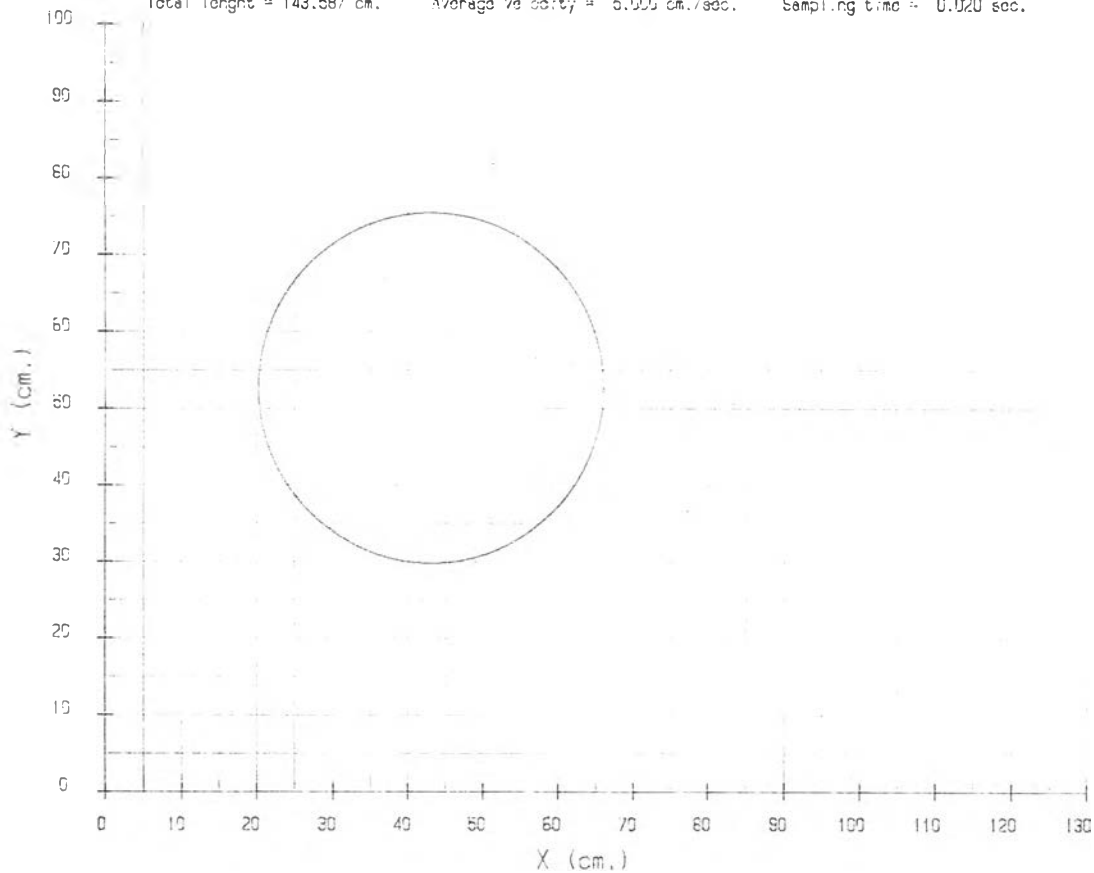
รูปที่ 1 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปร่างกลมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบ
 แบน-แบน และคาวตติก

XY-PLANE TRAJECTORY

Total time = 28.717 sec.
Total length = 143.687 cm.

X¹-spline trajectory
Average velocity = 5.000 cm./sec.

Segment time = 0.600 sec.
Sampling time = 0.020 sec.

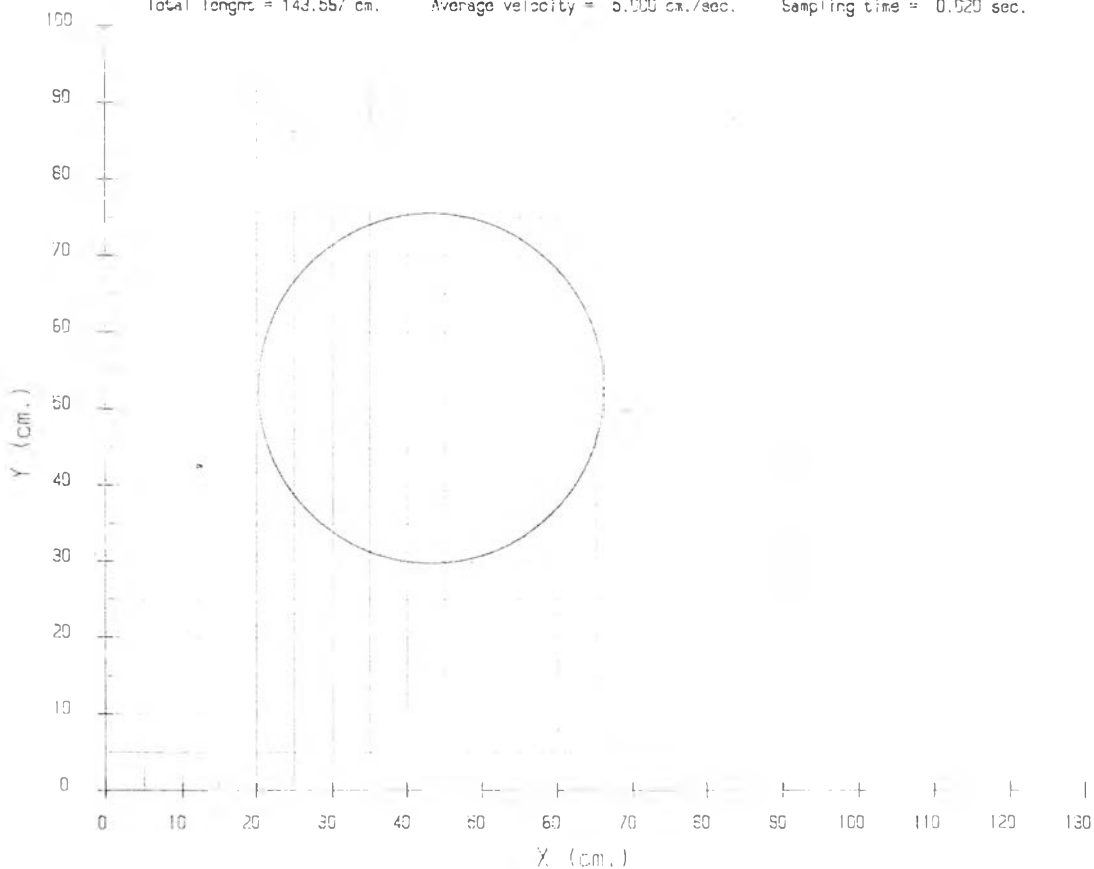


XY-PLANE TRAJECTORY

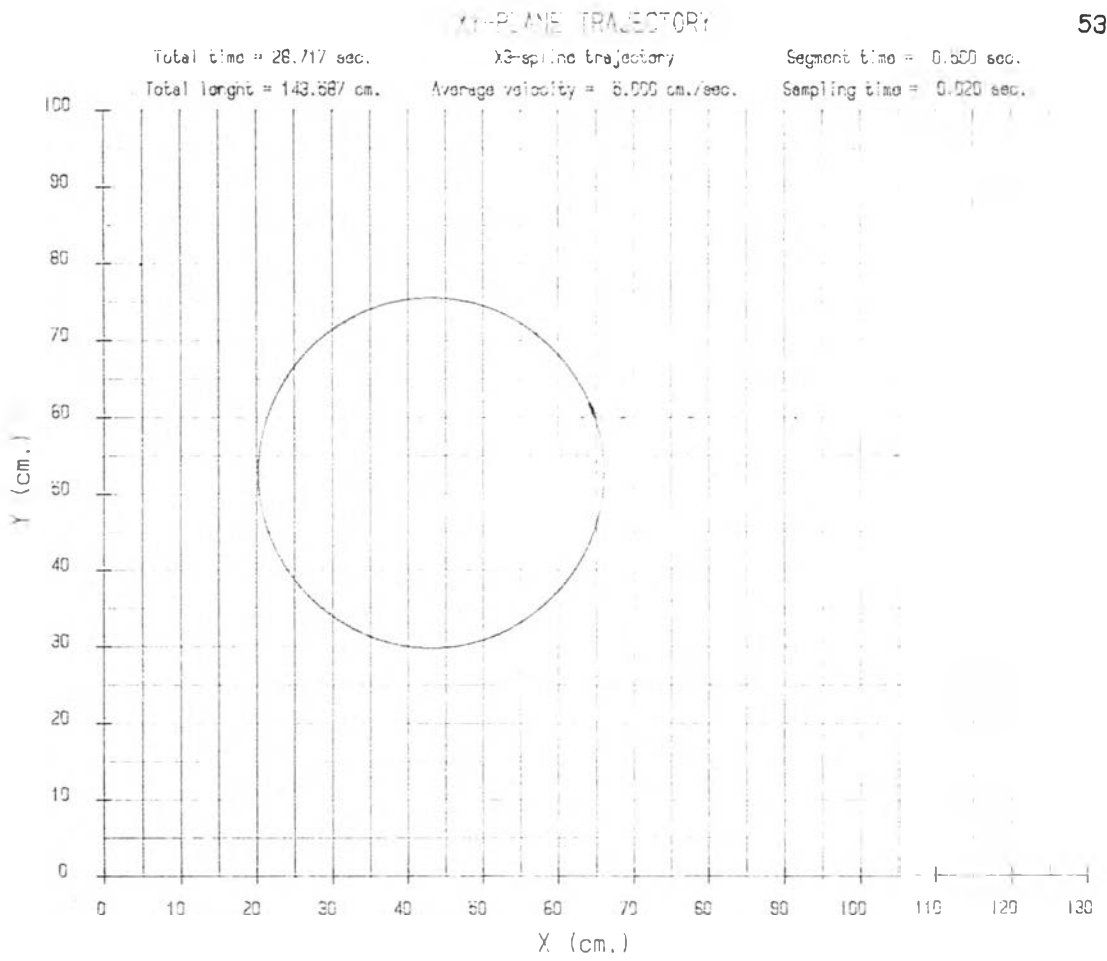
Total time = 28.717 sec.
Total length = 143.657 cm.

X²-spline trajectory
Average velocity = 5.000 cm./sec.

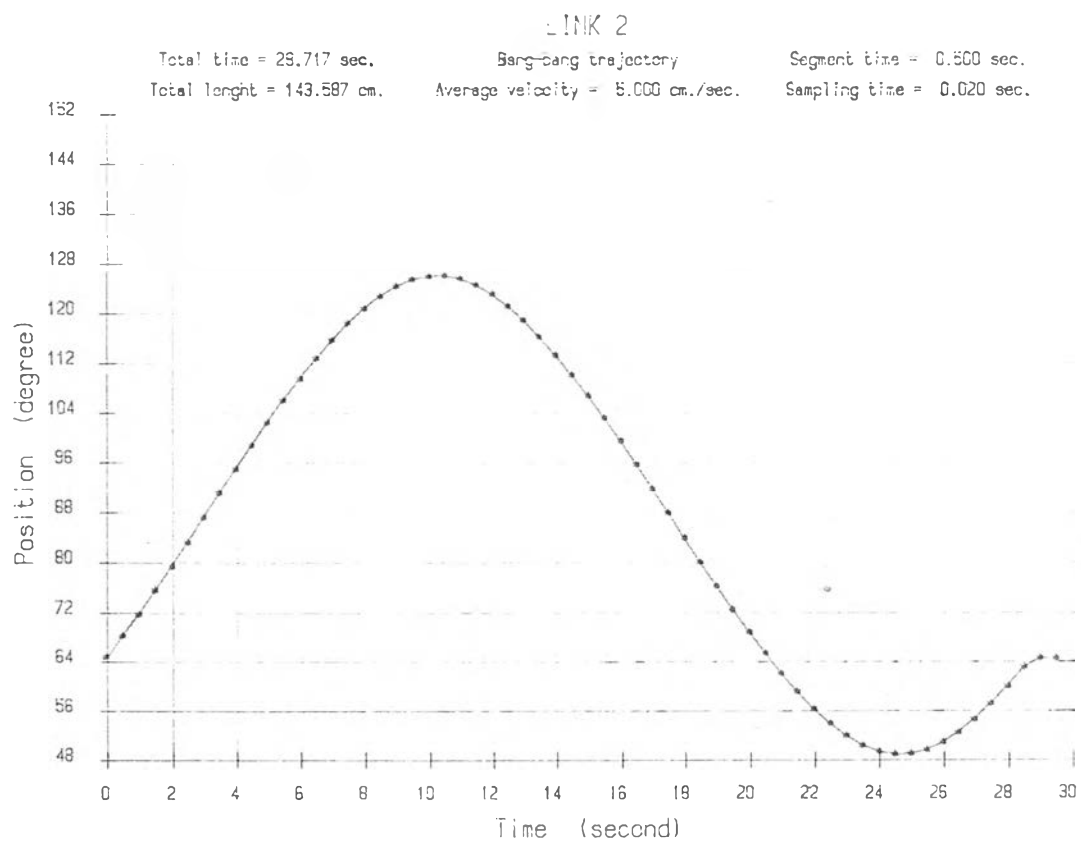
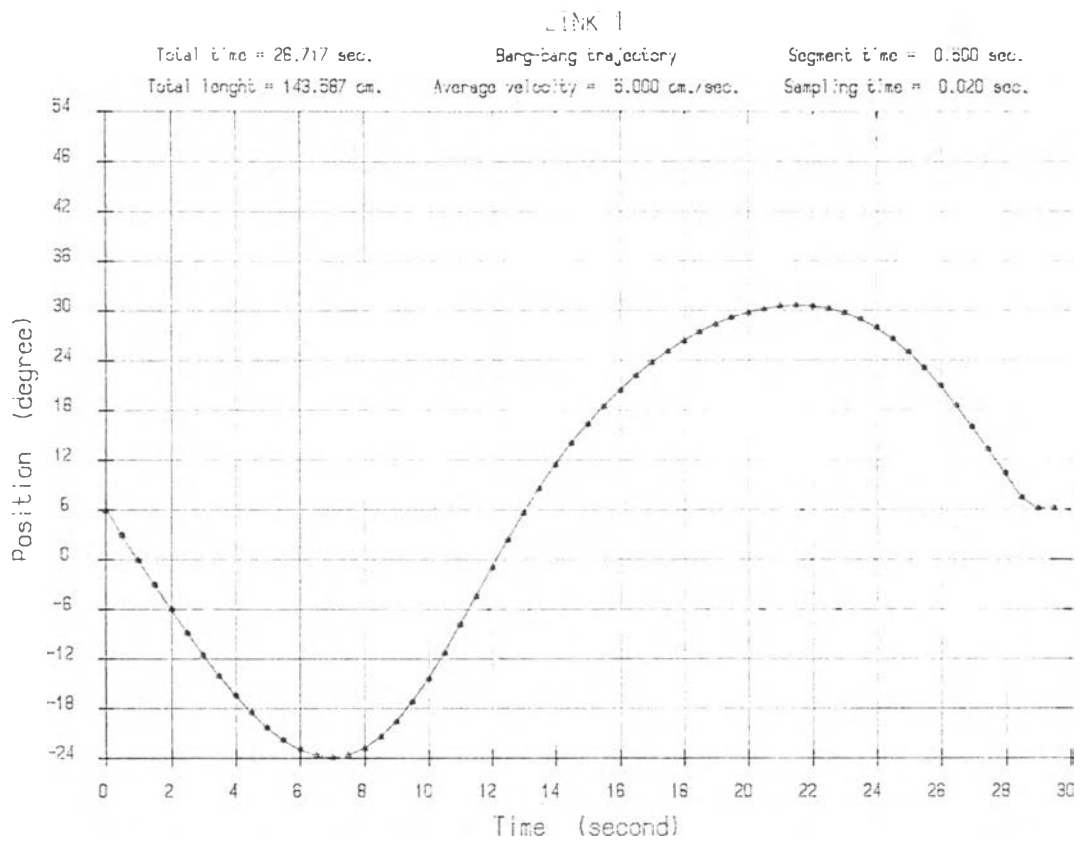
Segment time = 0.600 sec.
Sampling time = 0.020 sec.



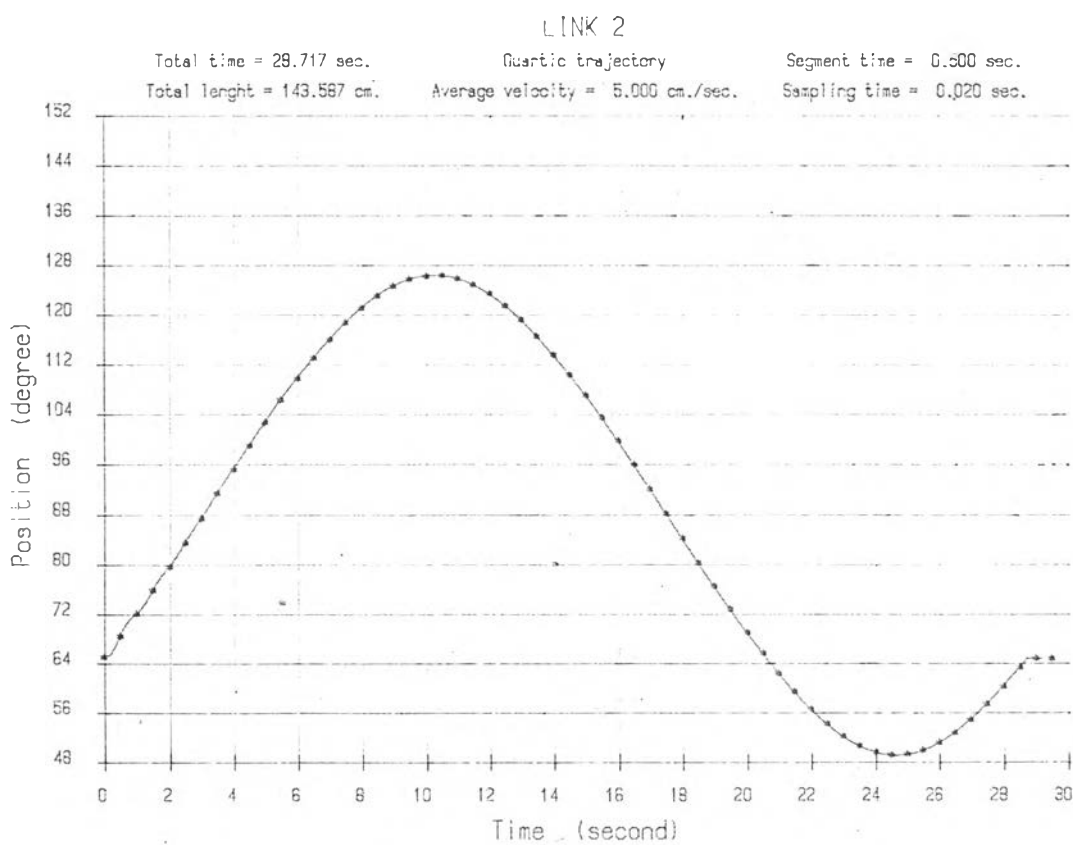
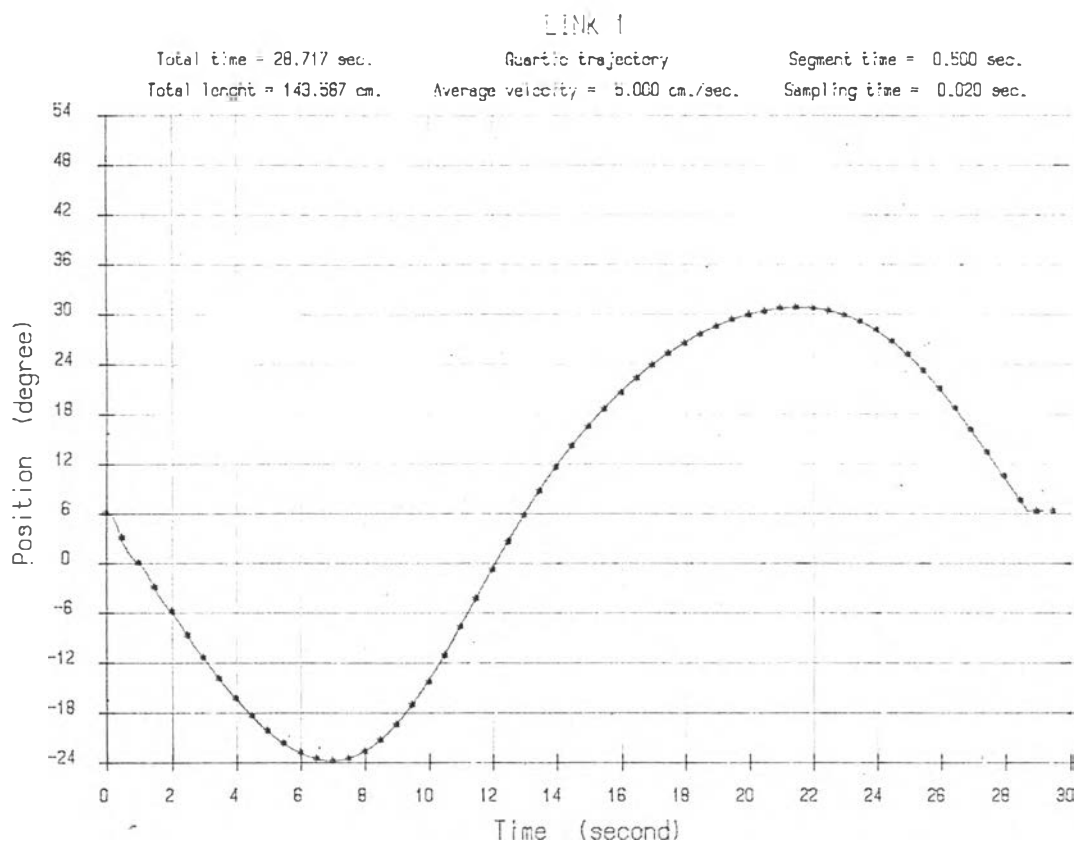
รูปที่ 2 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปร่างกลมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบ เอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 1 และเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 2



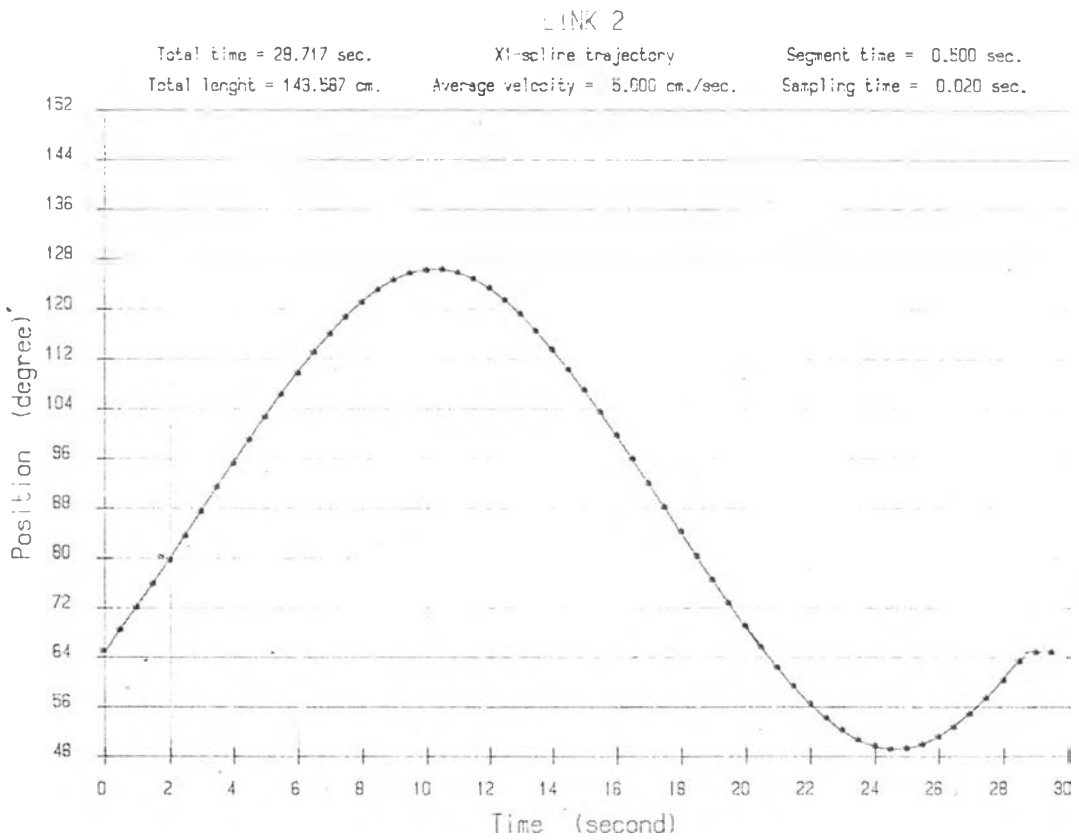
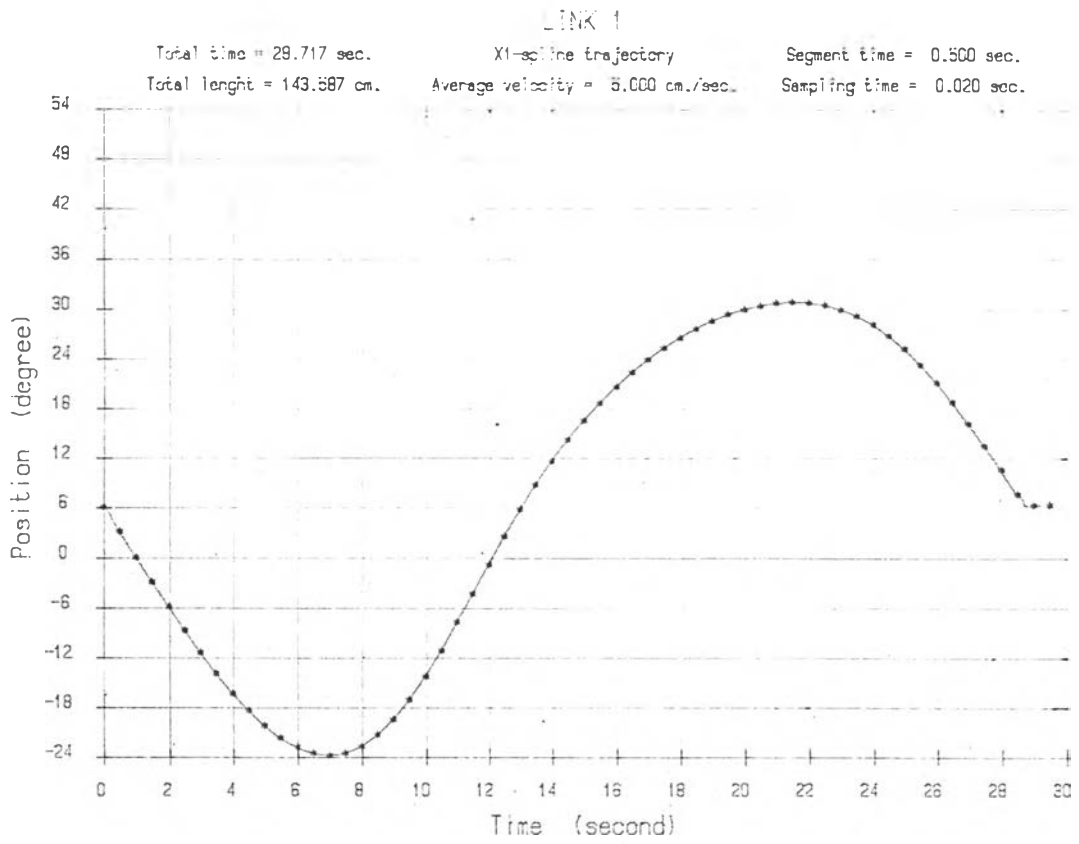
รูปที่ 3 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปวงกลมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบ เอ็กสไปไซน์นิตที่3



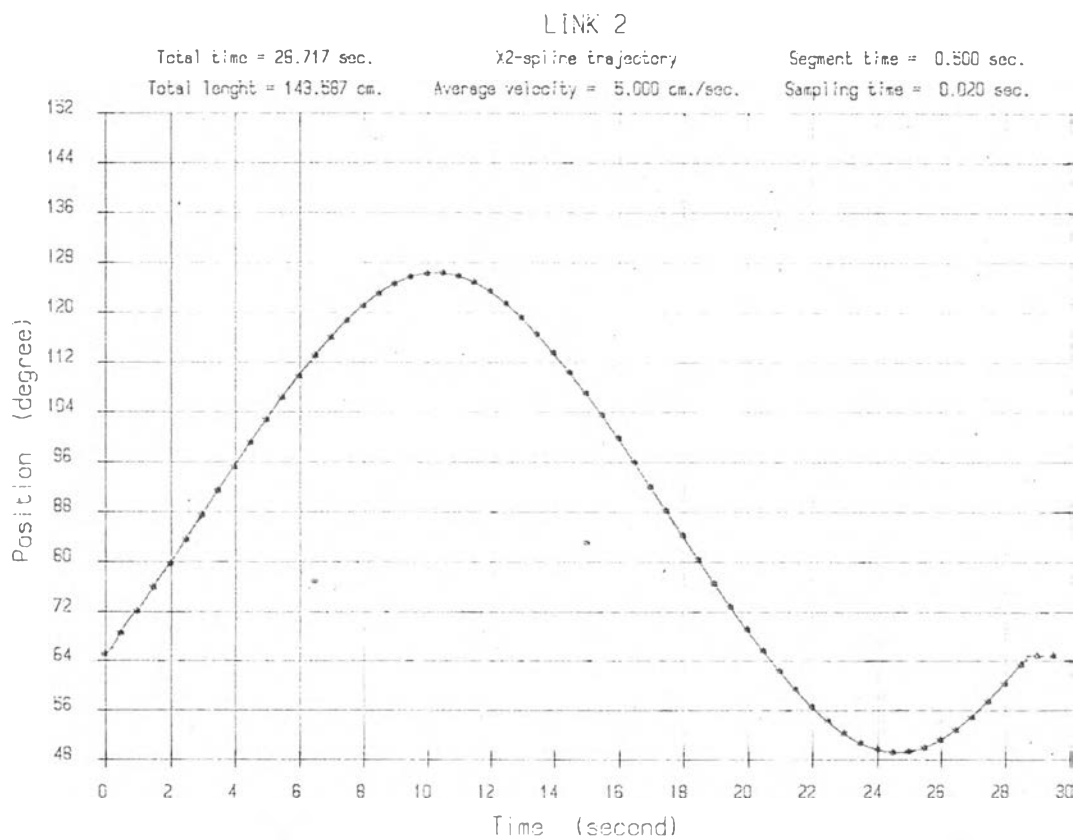
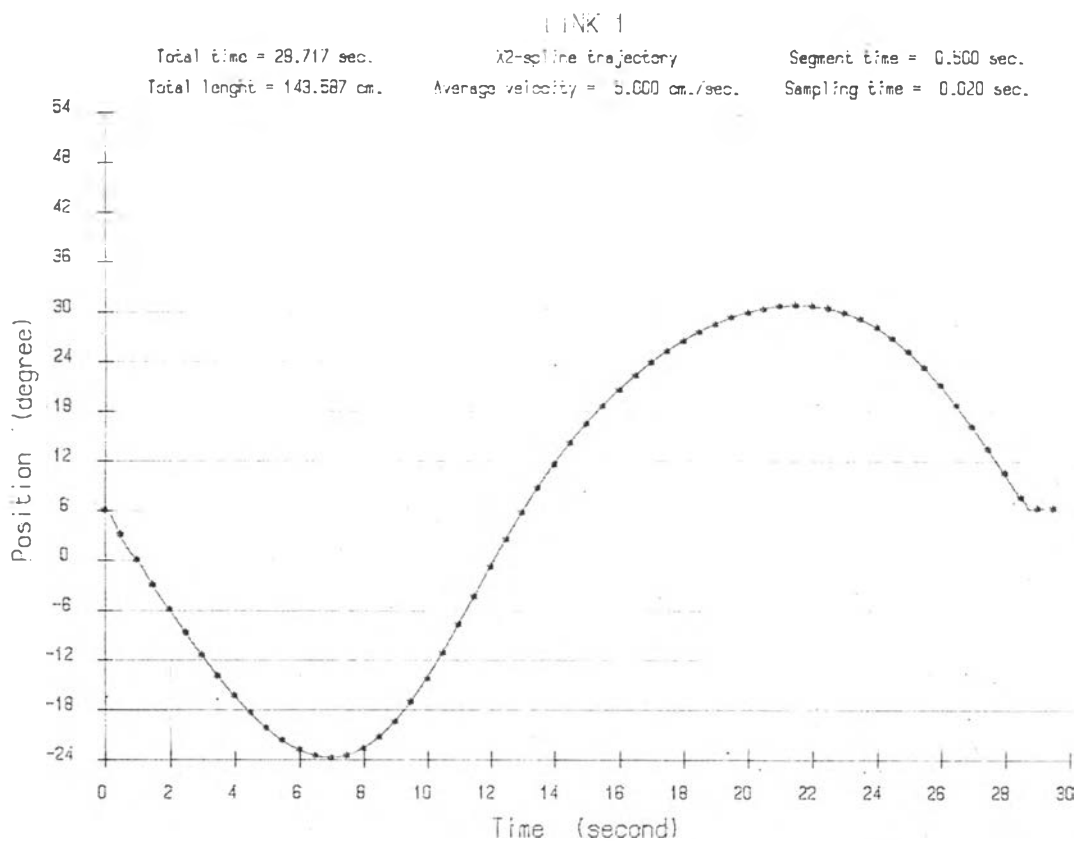
รูปที่ 4 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปวงกลม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแบ่ง-แบ่ง



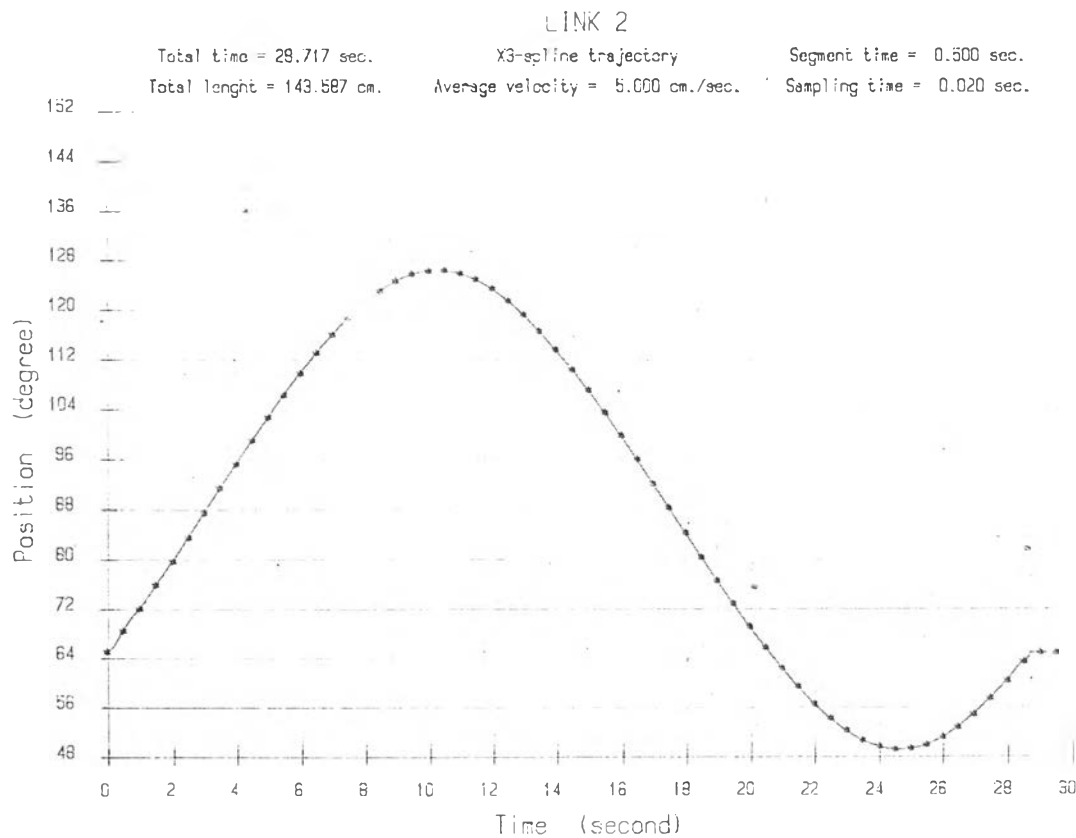
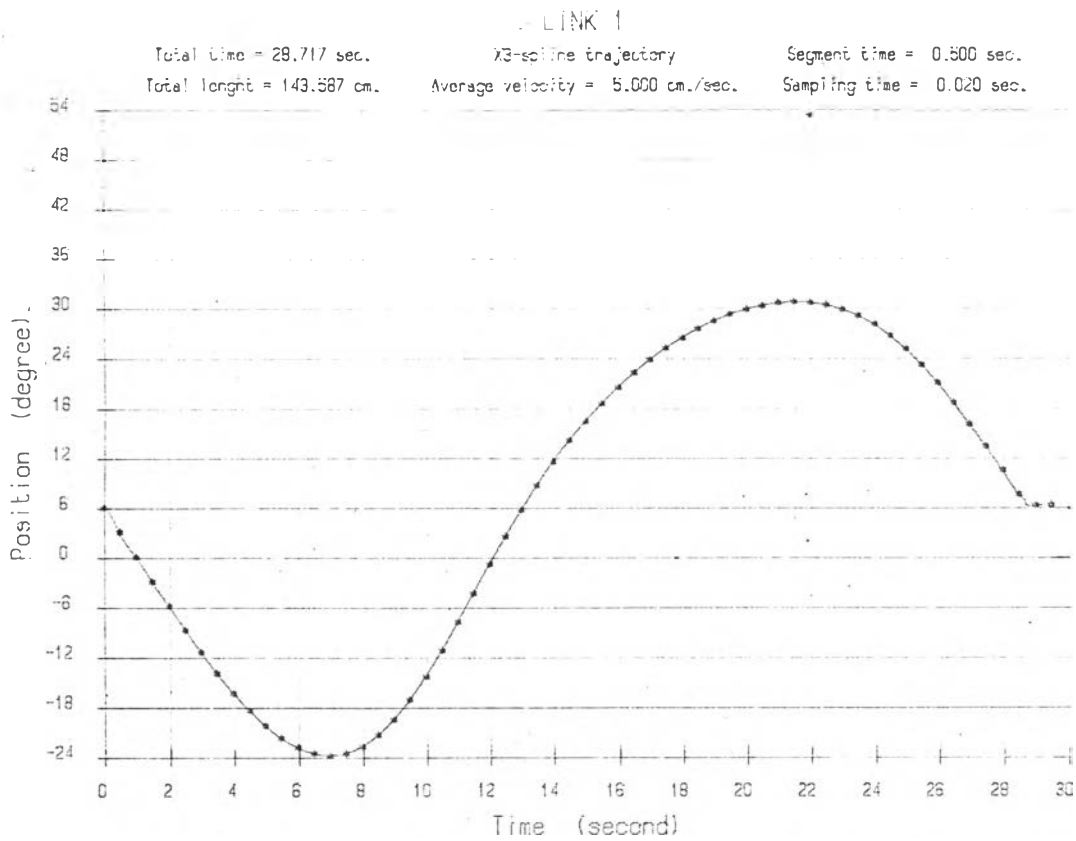
รูปที่ 5 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปวงกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดตริก



รูปที่ 6 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปร่างกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสโพลไนซ์ชนิดที่ 1



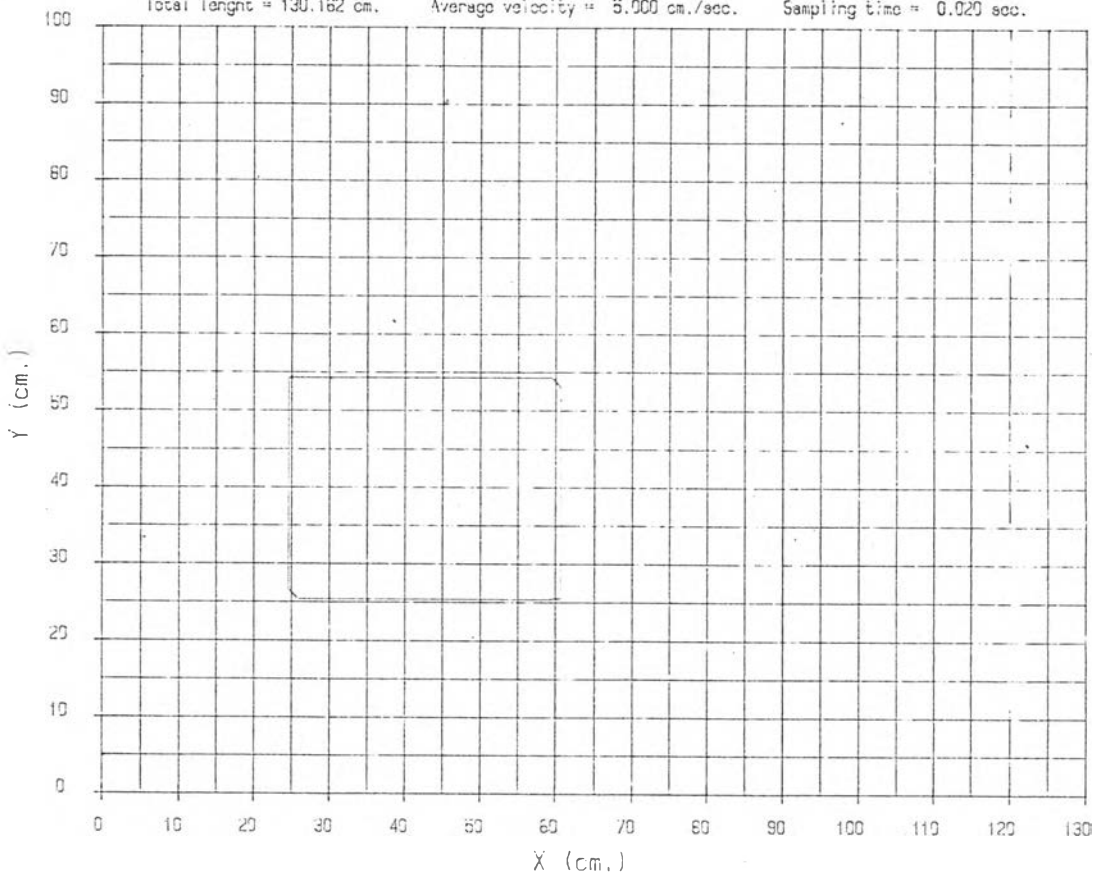
รูปที่ 7 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปร่างกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปซ์ชนิดที่ 2



รูปที่ 8 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปร่างกลมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปซ์ชนิดที่ 3

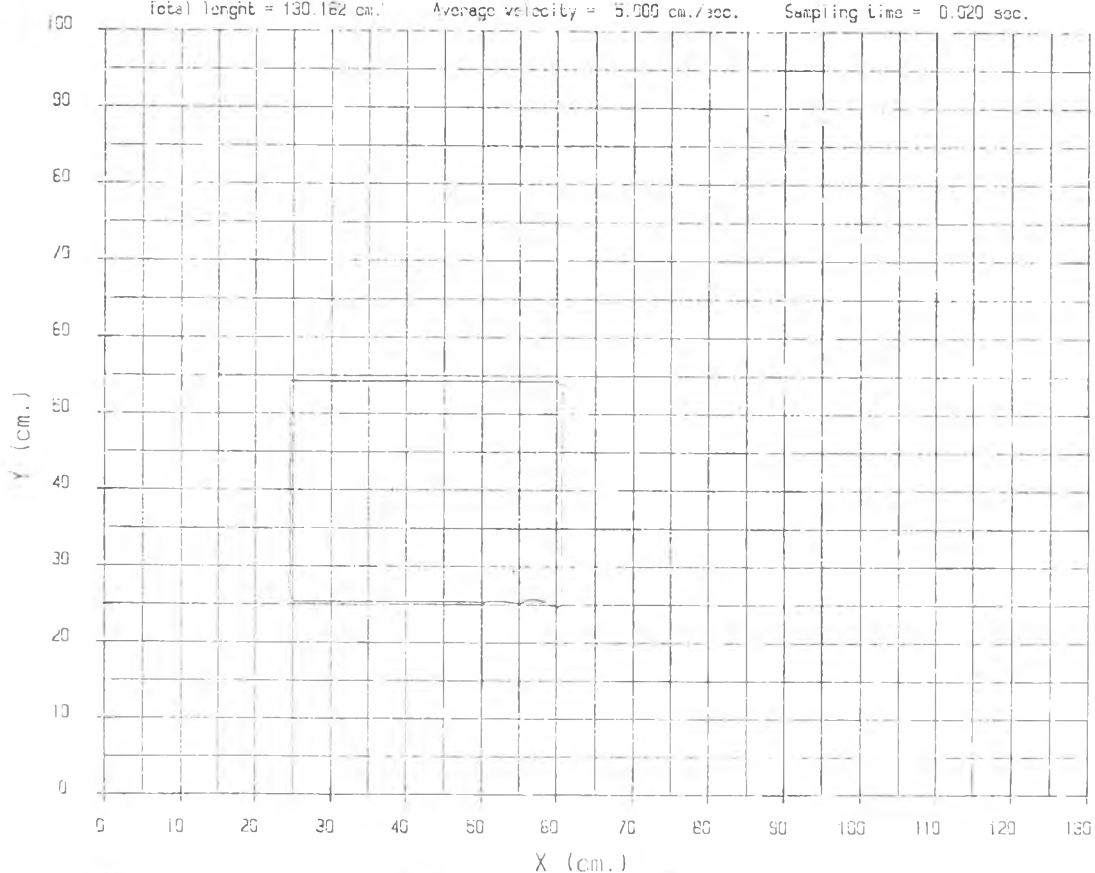
XY-PLANE TRAJECTORY

Total time = 26.032 sec. Bang bang trajectory Segment time = 0.500 sec.
Total length = 130.162 cm. Average velocity = 5.000 cm./sec. Sampling time = 0.020 sec.



XY-PLANE TRAJECTORY

Total time = 26.032 sec. Quartic trajectory Segment time = 0.500 sec.
Total length = 130.162 cm. Average velocity = 5.000 cm./sec. Sampling time = 0.020 sec.



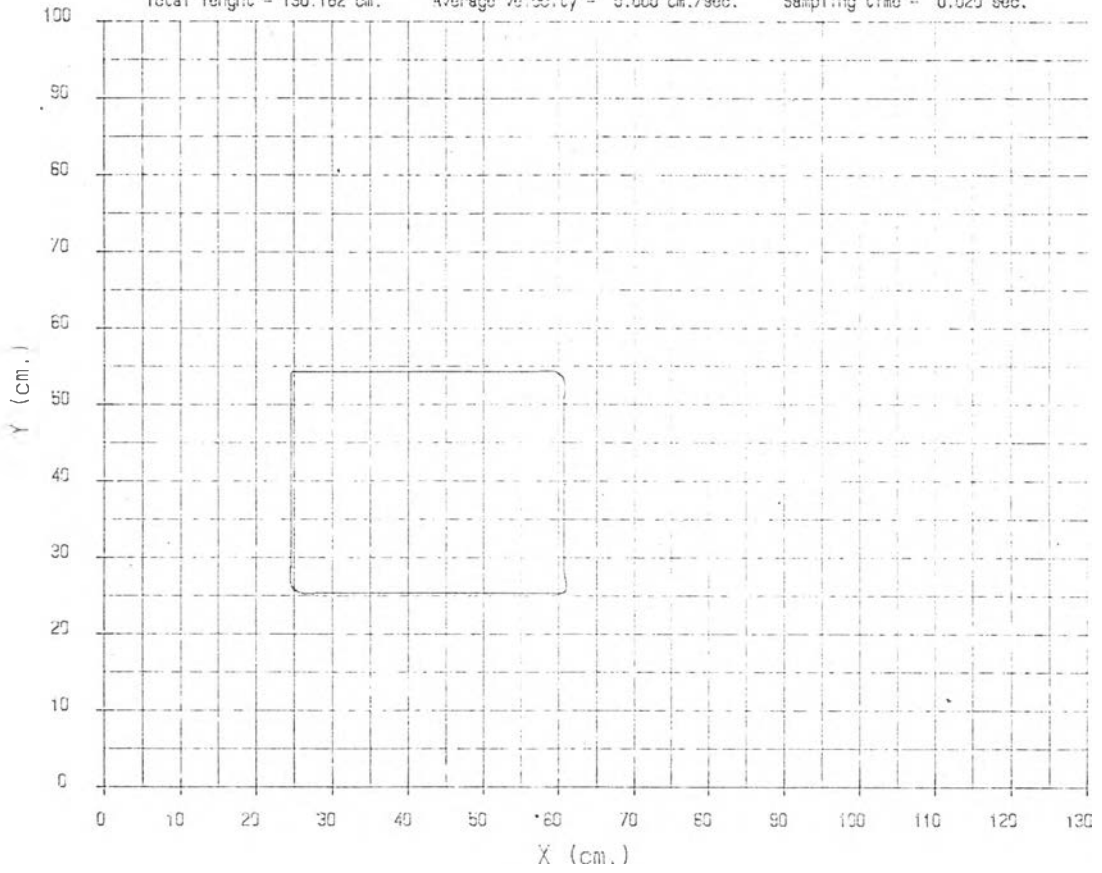
รูปที่ 9 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปเส้นตรงหักมุมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแบ่ง-แบ่ง และควอดตติก

XY-PLANE TRAJECTORY

Total time = 26.032 sec.
Total length = 130.162 cm.

X1-sepline trajectory
Average velocity = 5.000 cm./sec.

Segment time = 0.500 sec.
Sampling time = 0.020 sec.

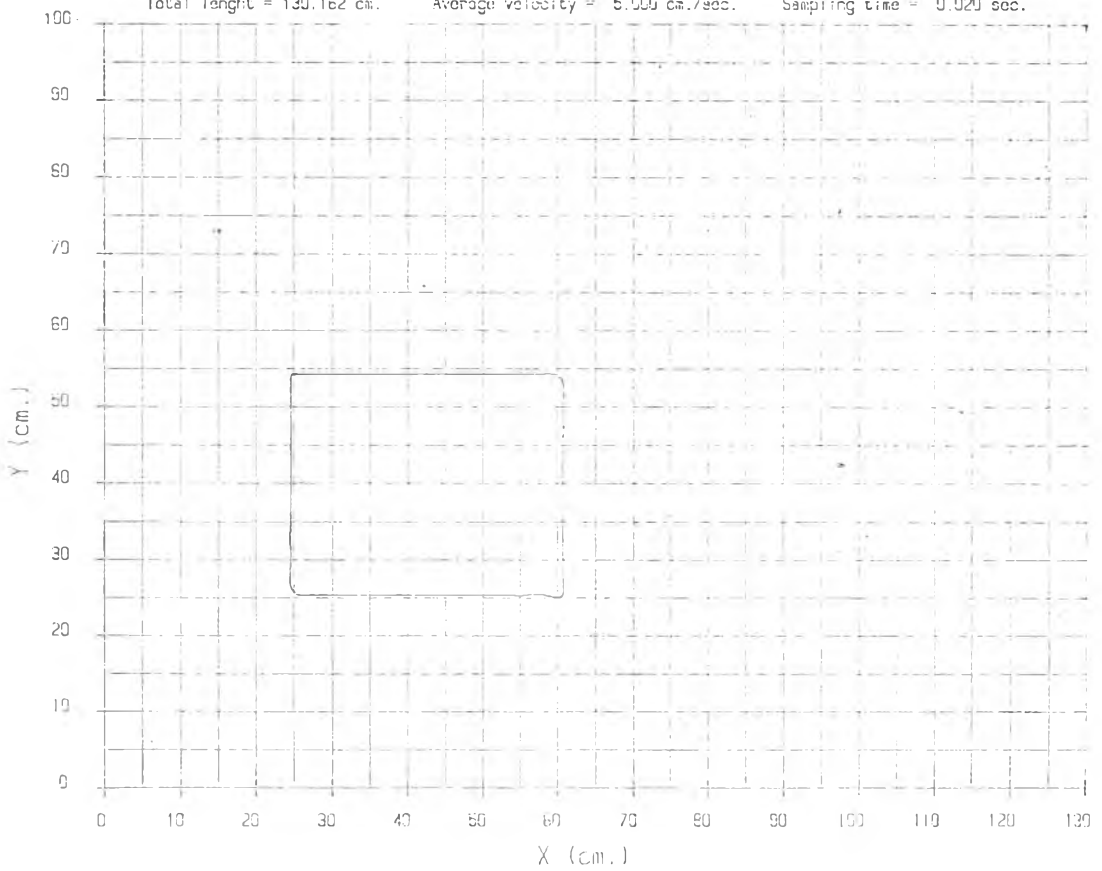


XY-PLANE TRAJECTORY

Total time = 26.032 sec.
Total length = 130.162 cm.

X2-sepline trajectory
Average velocity = 5.000 cm./sec.

Segment time = 0.500 sec.
Sampling time = 0.020 sec.



รูปที่ 10 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปเส้นตรงหักมุมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปชันชนิดที่ 1 และเอ็กสไปชันชนิดที่ 2

X-Y PLANE TRAJECTORY

Total time = 26.932 sec.

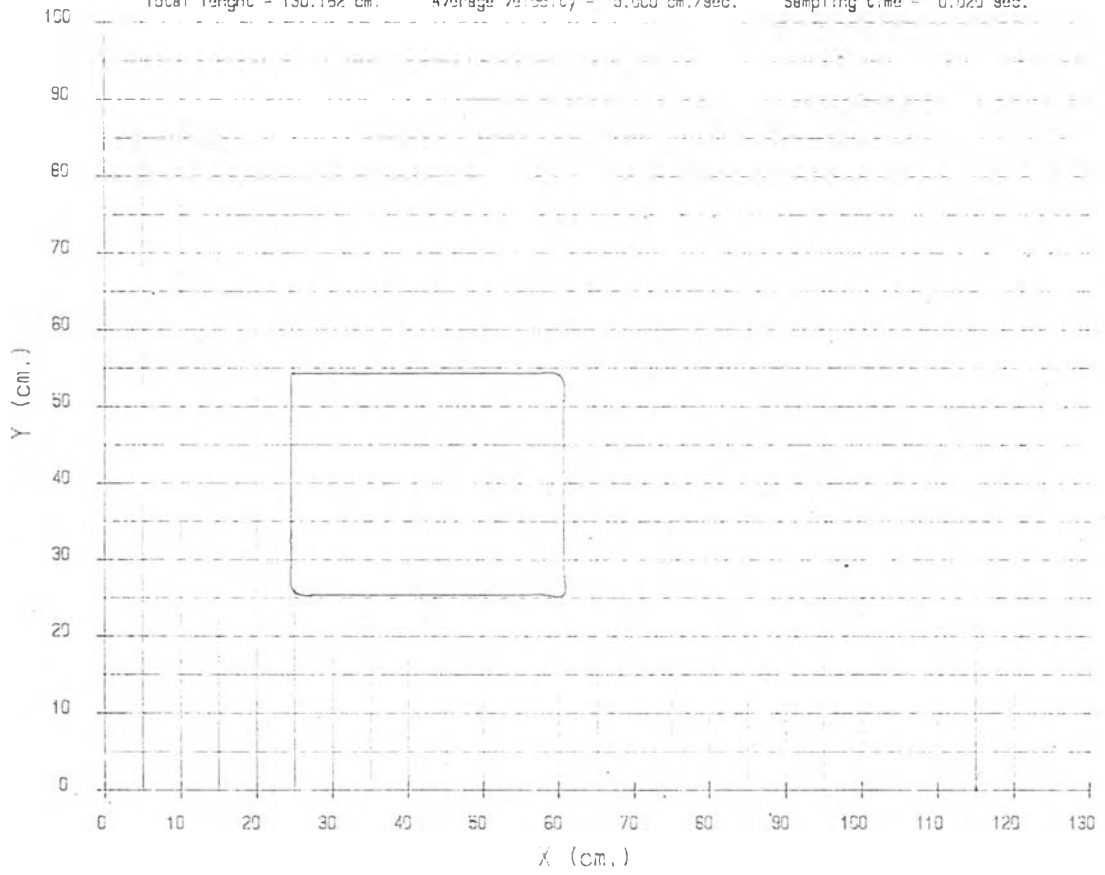
X3-quadrant trajectory

Segment time = 0.500 sec.

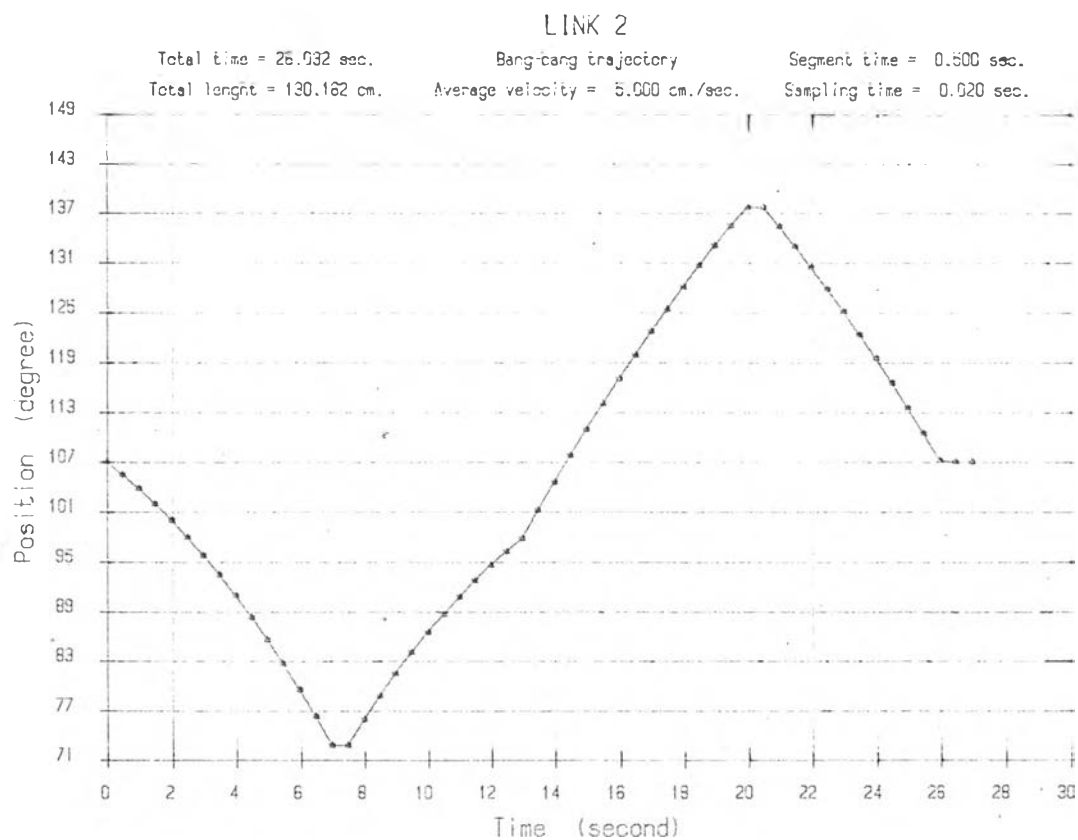
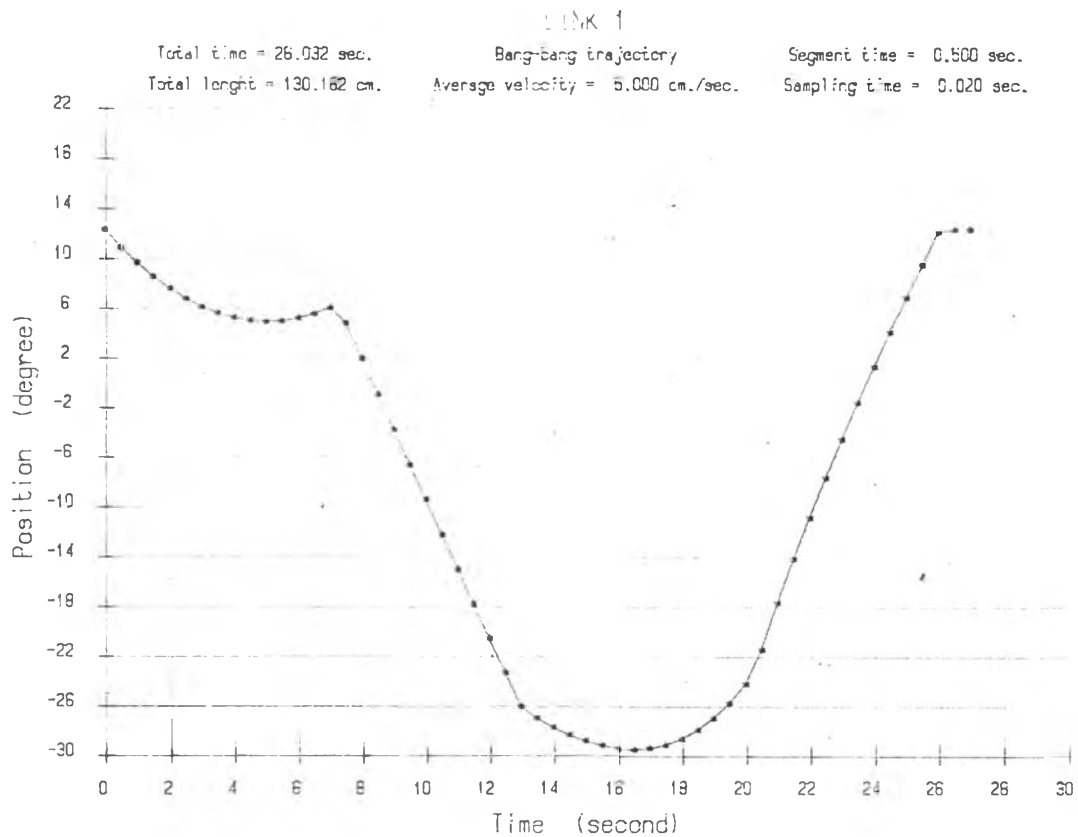
Total length = 130.162 cm.

Average velocity = 5.000 cm./sec.

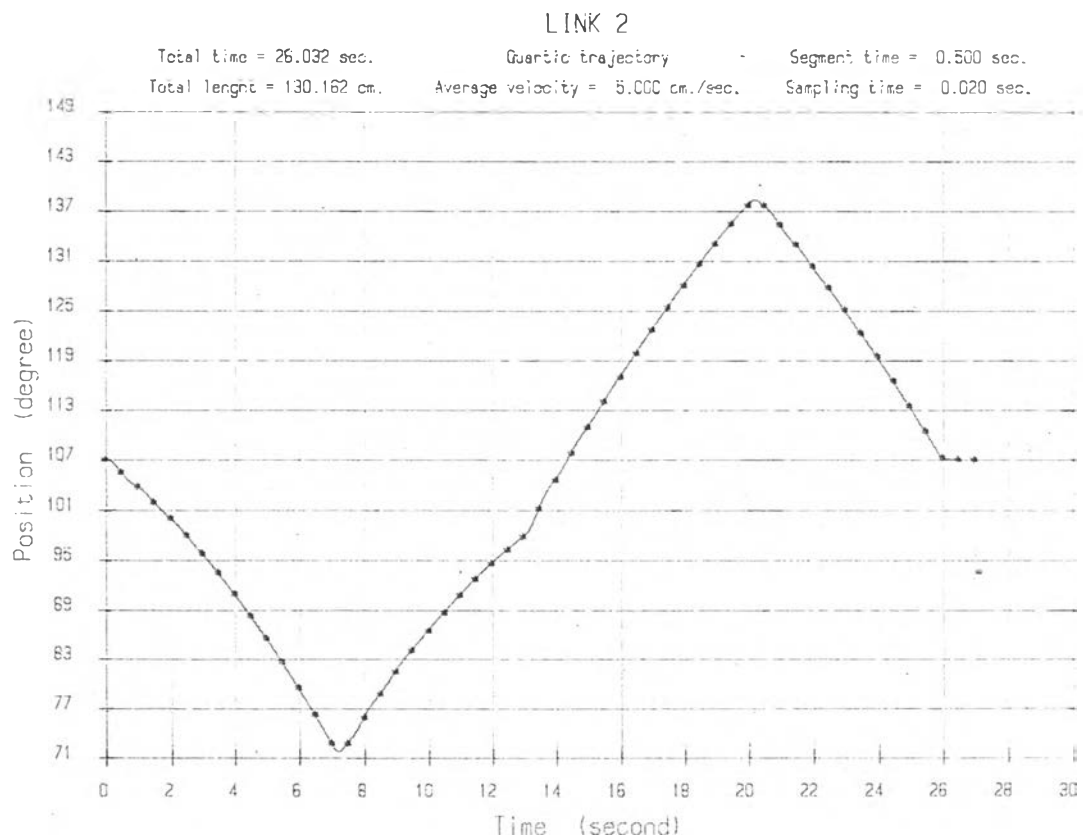
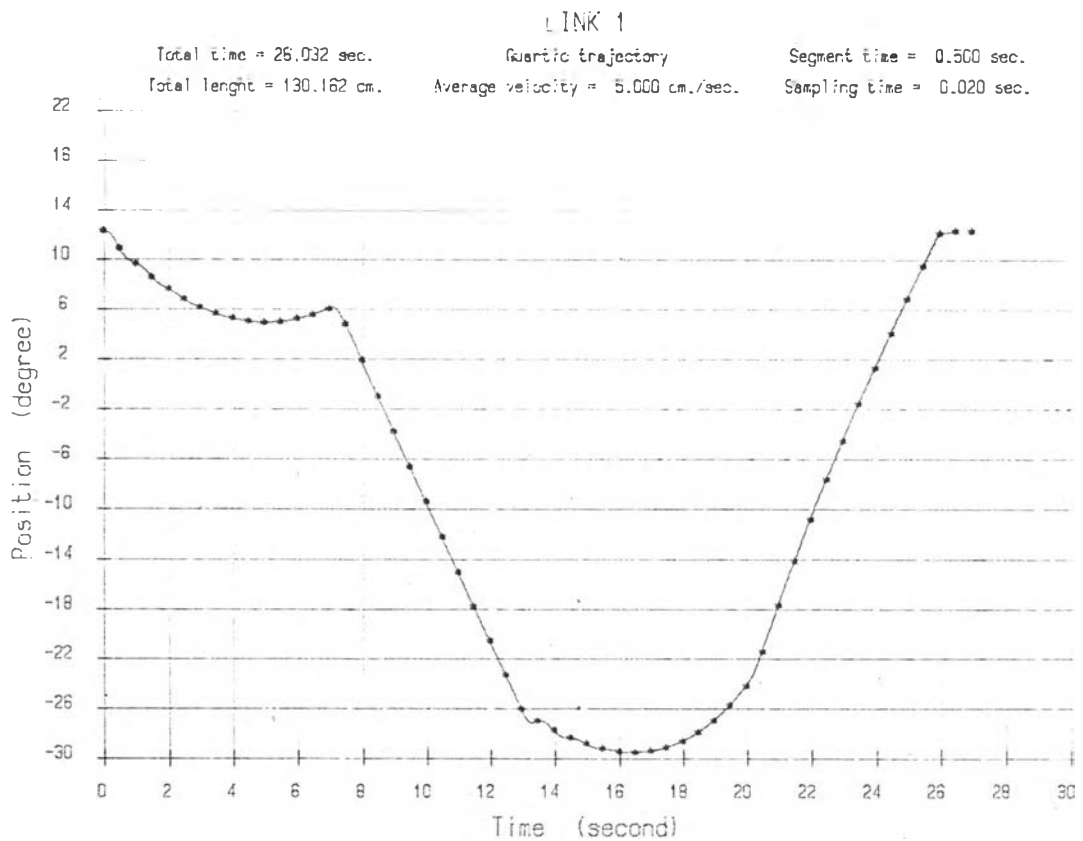
Sampling time = 0.020 sec.



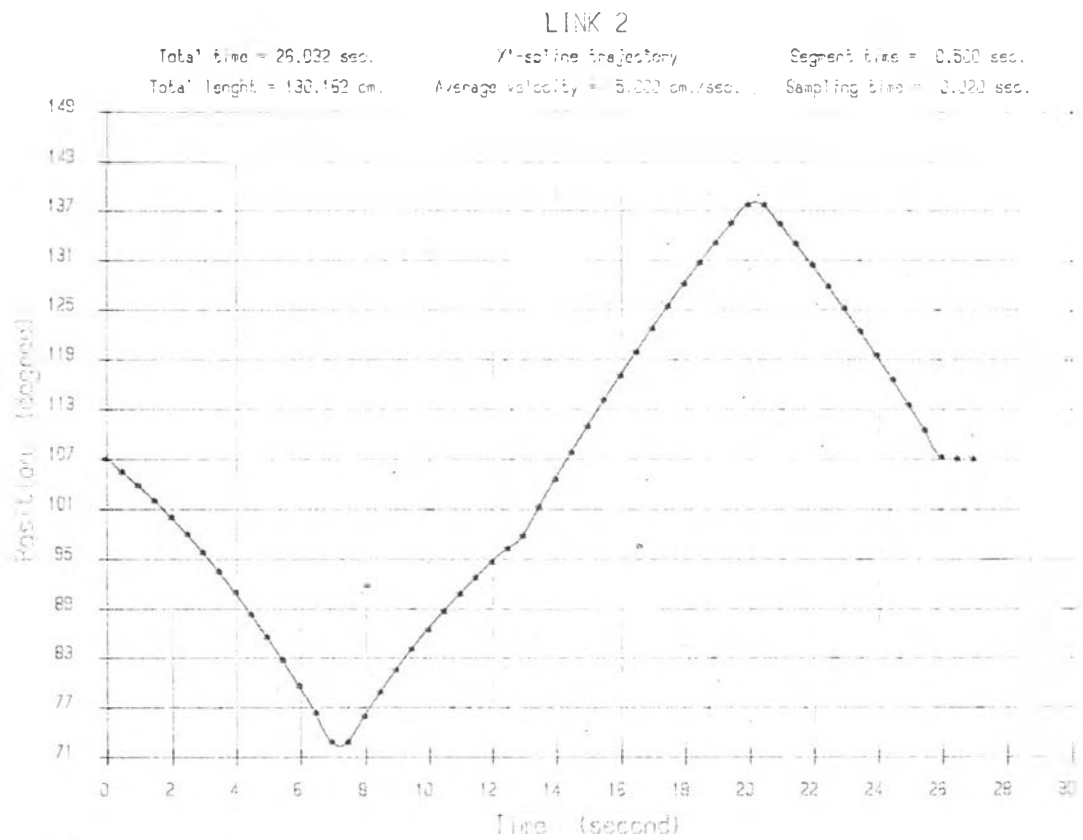
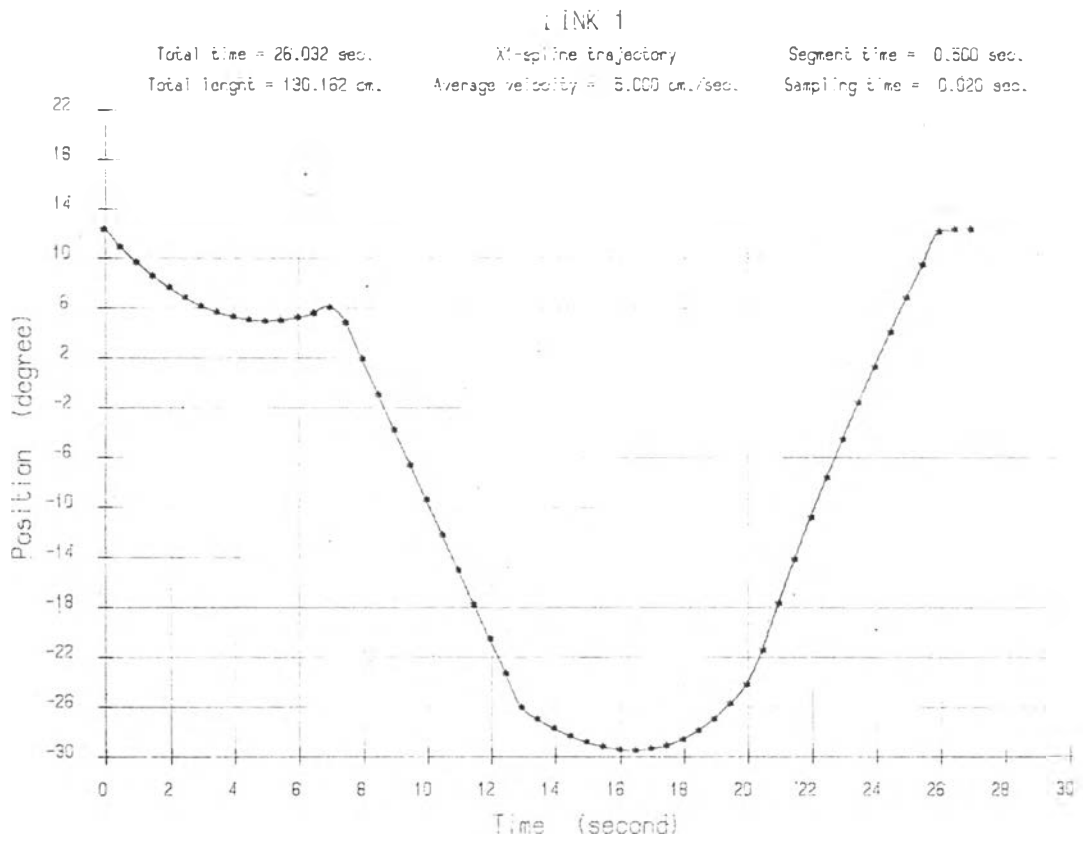
รูปที่ 11 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปเส้นตรงหักมุมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสโพนัสชนิดที่ 3



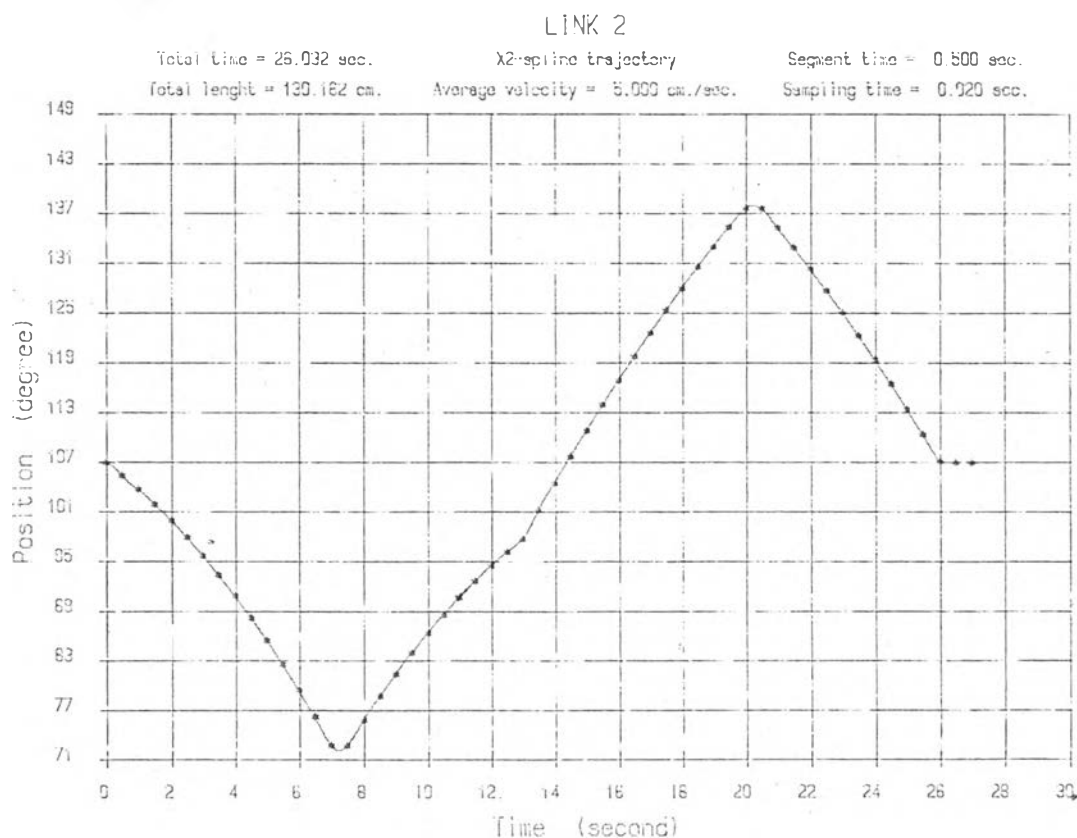
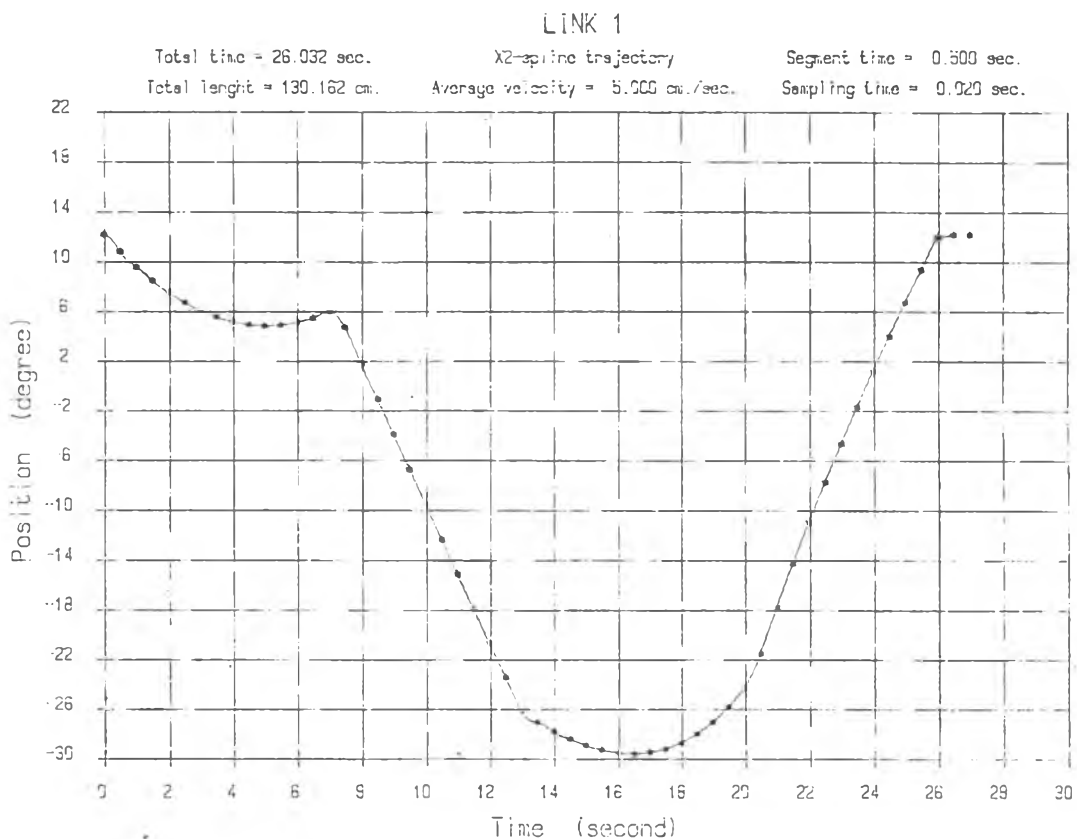
รูปที่ 12 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแบ่ง-แบ่ง



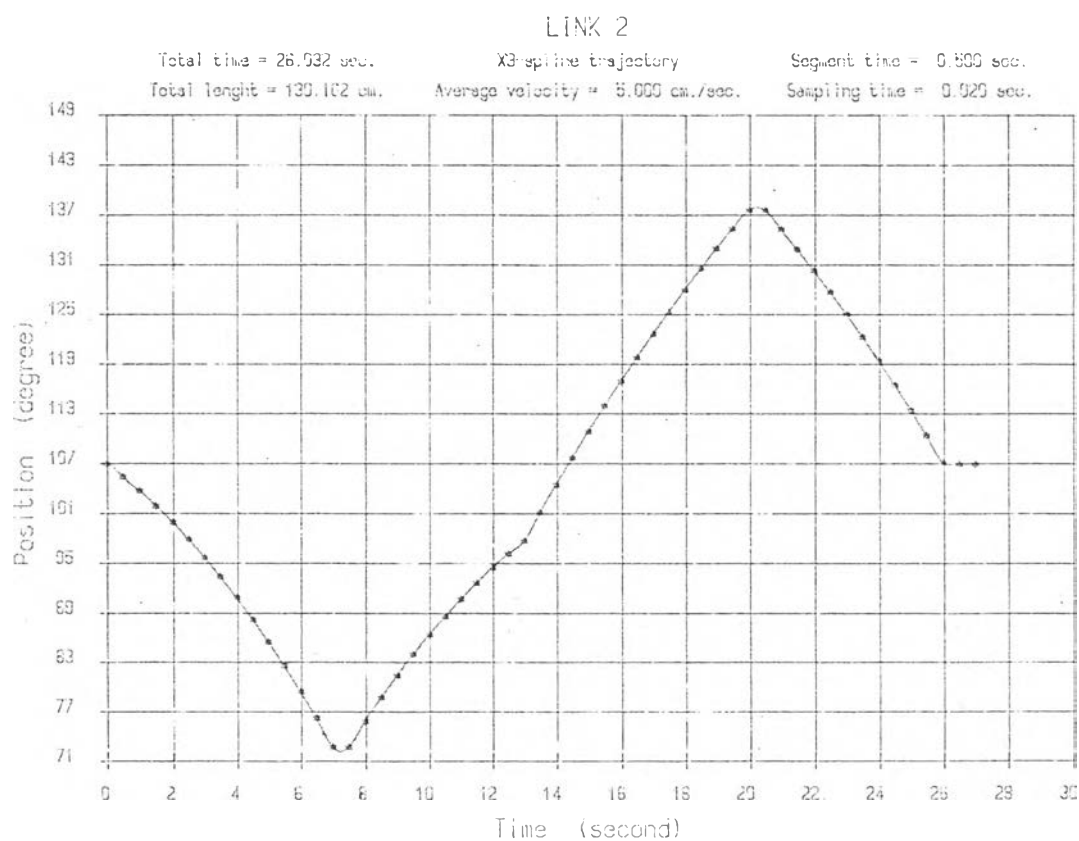
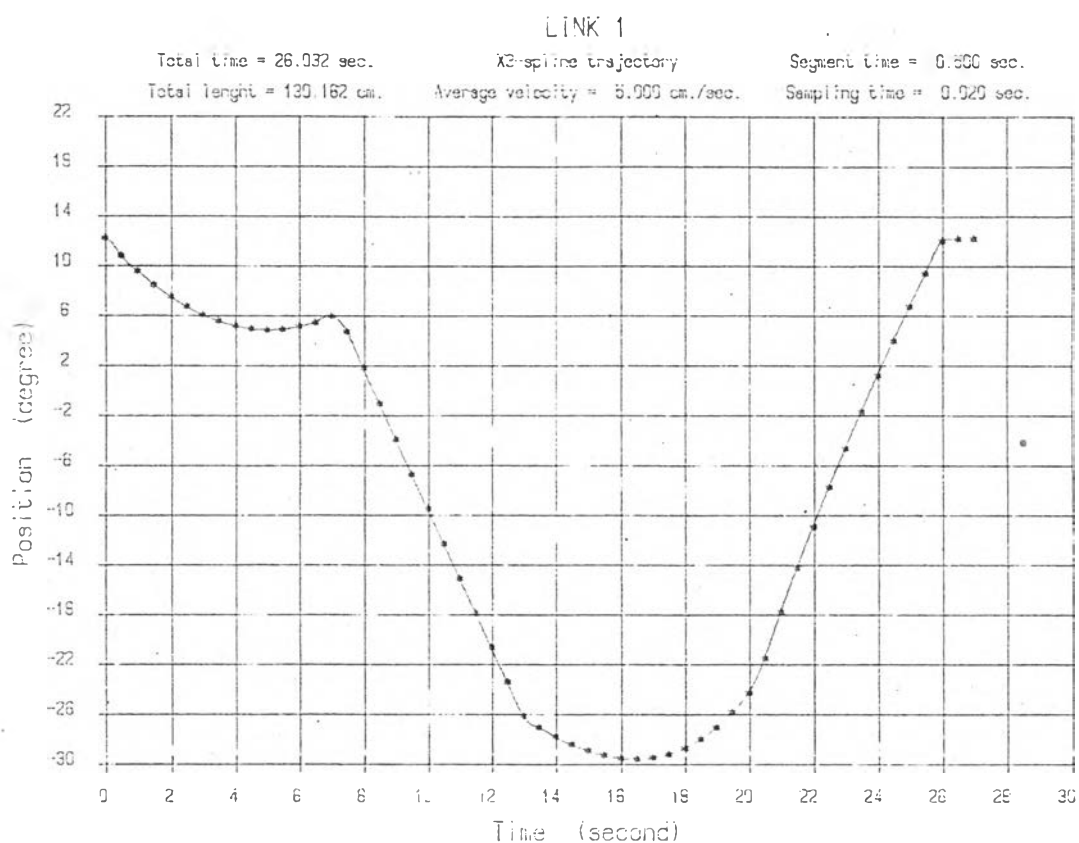
รูปที่ 13 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดิน
 รูปเส้นตรงหักมุมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติก



รูปที่ 14 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 1



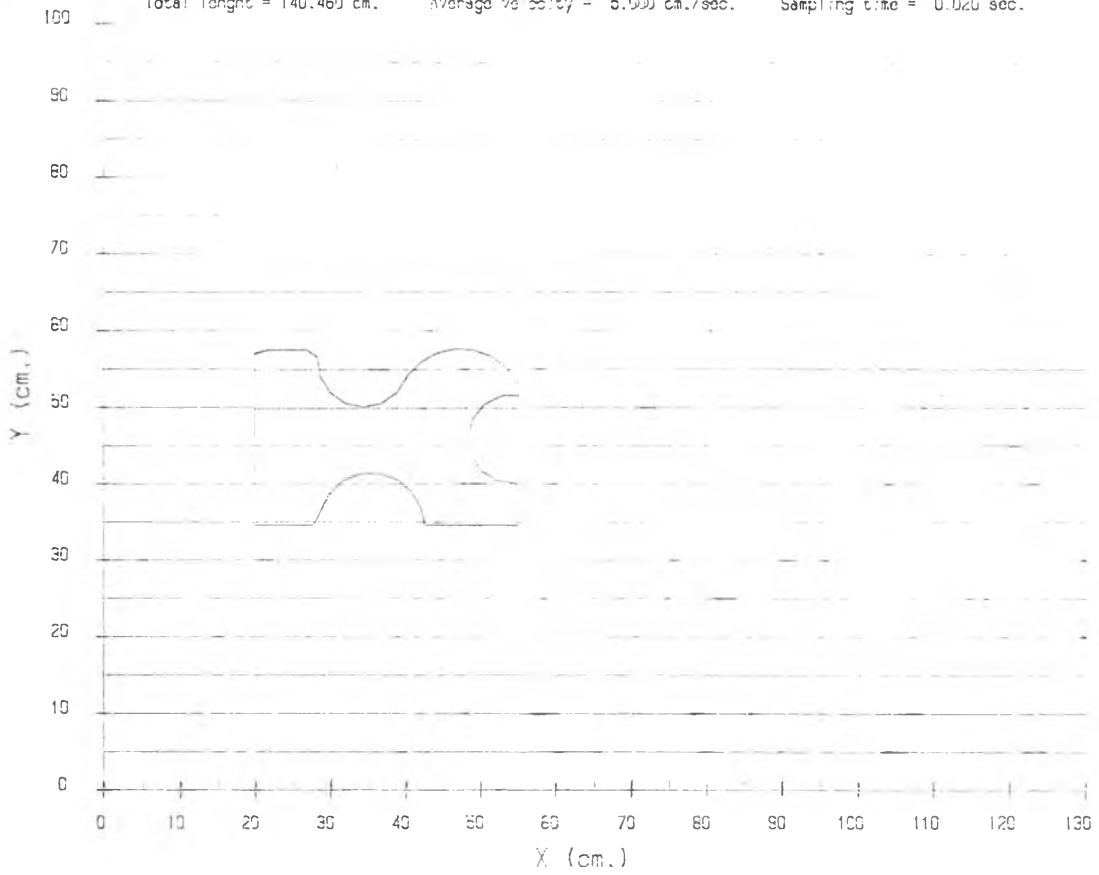
รูปที่ 15 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปซ์ชนิดที่ 2



รูปที่ 16 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปเส้นตรงหักมุมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปซ์ชนิดที่ 3

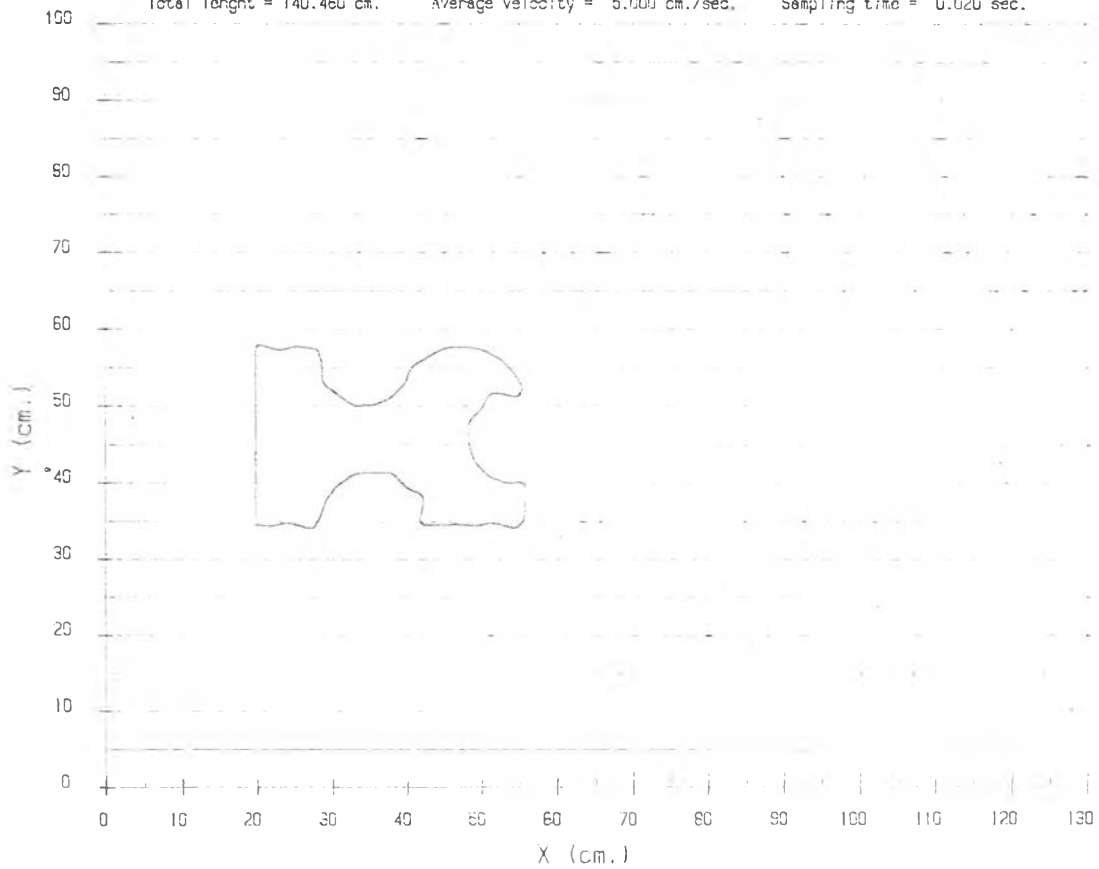
XY-PLANE TRAJECTORY

Total time = 28.092 sec. Bang-bang trajectory Segment time = 0.500 sec.
 Total length = 140.460 cm. Average velocity = 5.000 cm./sec. Sampling time = 0.020 sec.

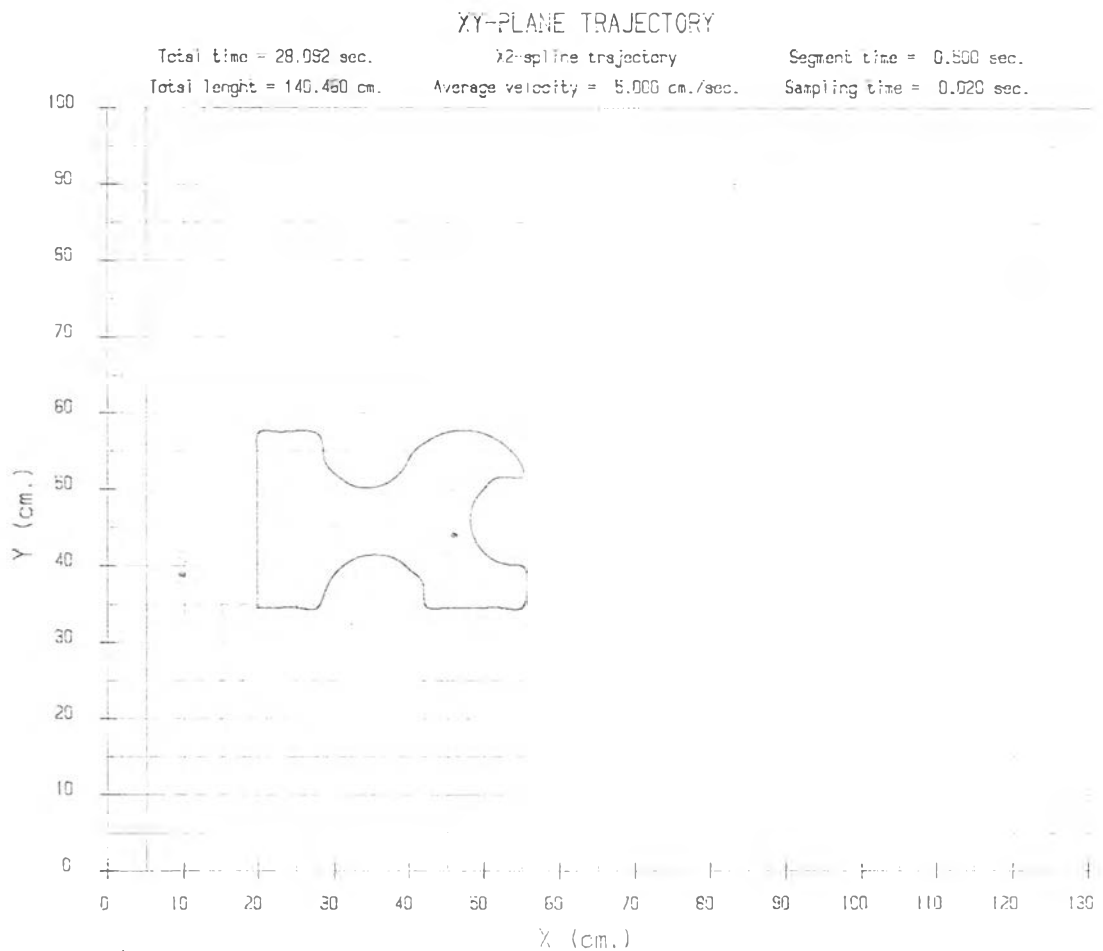
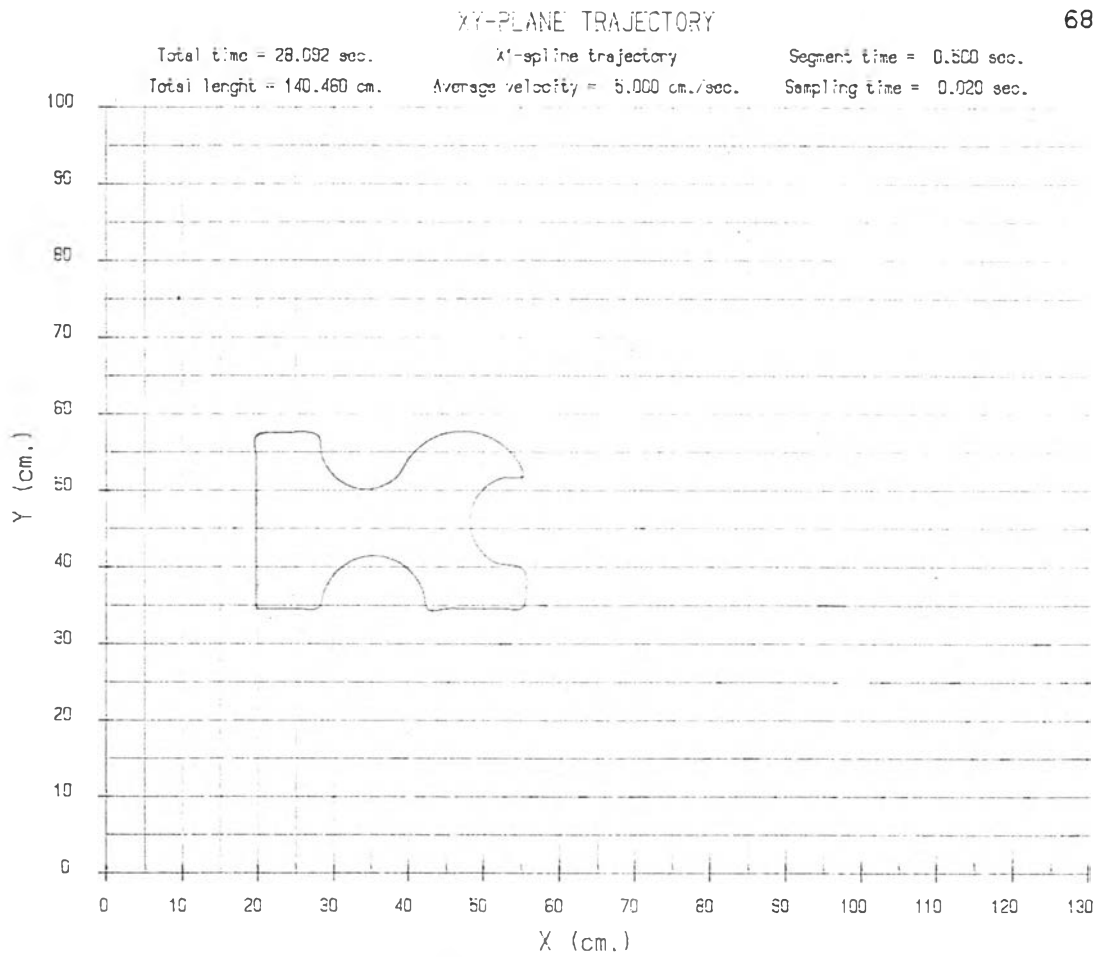


XY-PLANE TRAJECTORY

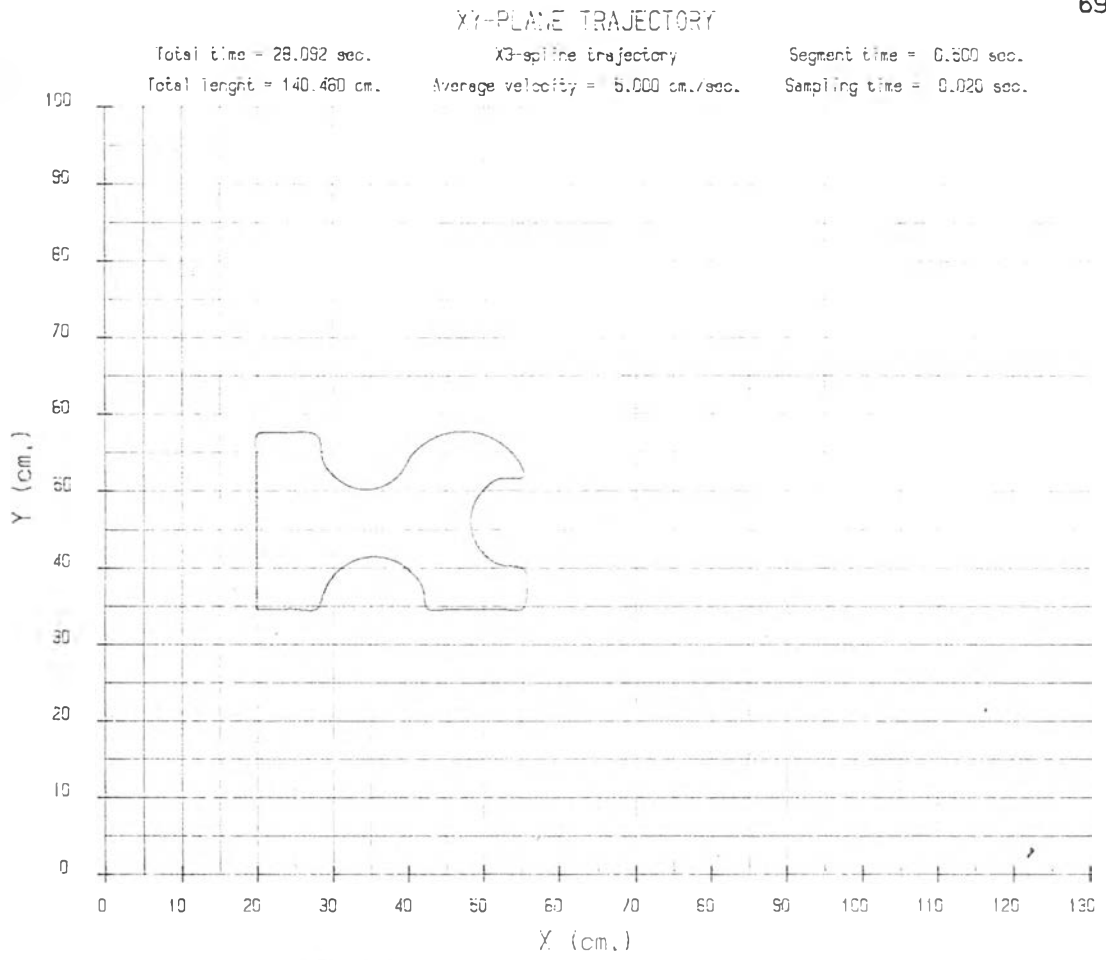
Total time = 29.092 sec. Quintic trajectory Segment time = 0.500 sec.
 Total length = 140.460 cm. Average velocity = 5.000 cm./sec. Sampling time = 0.020 sec.



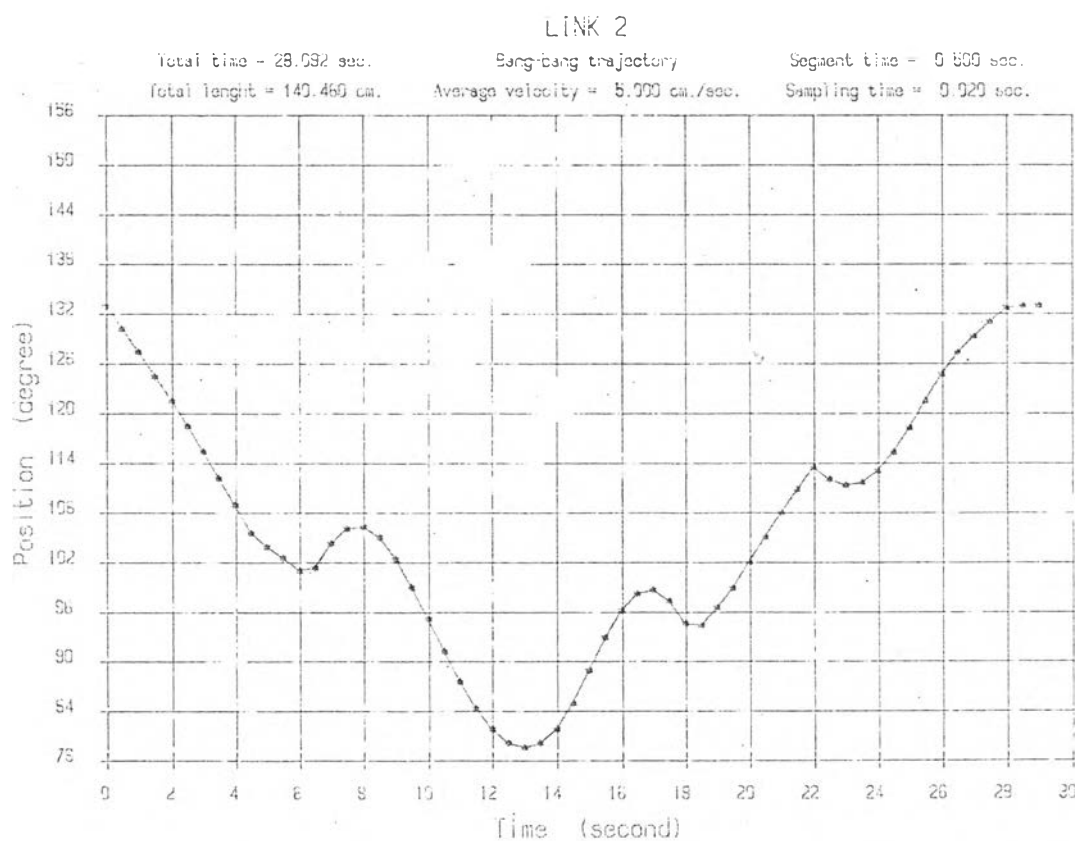
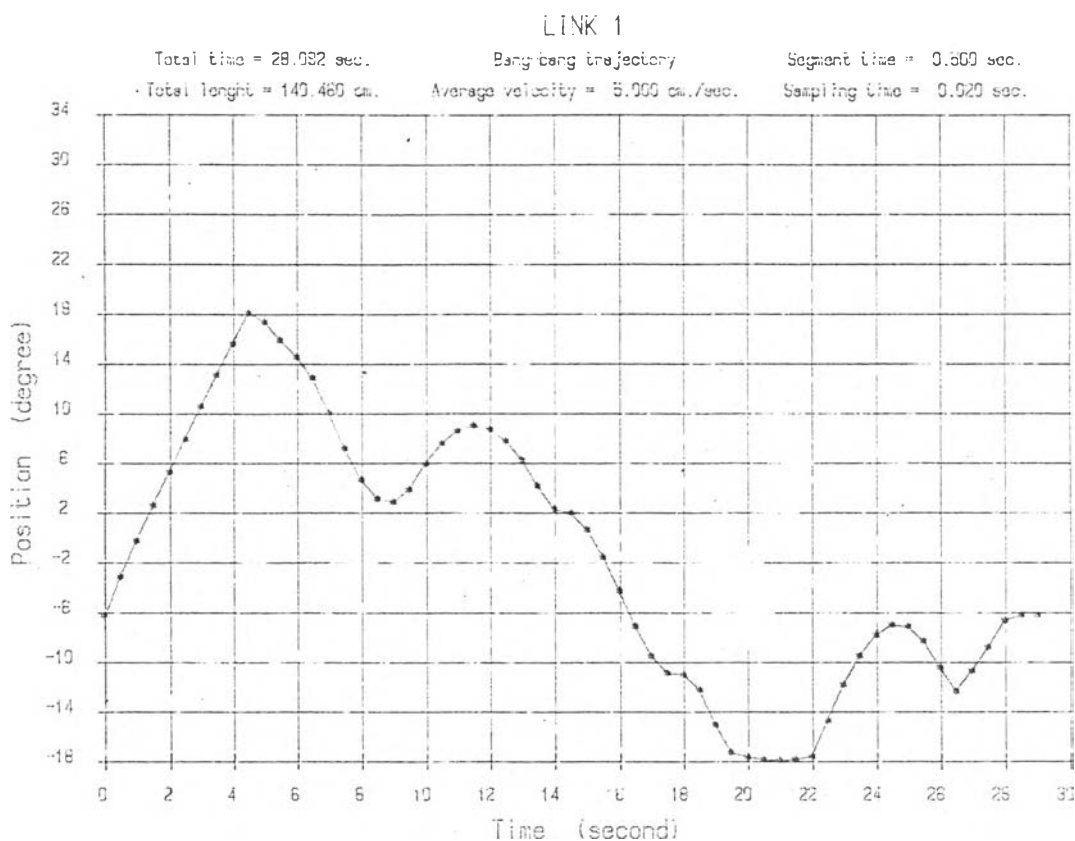
รูปที่ 17 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปหลายเหลี่ยมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแบ่ง-แบ่ง และควอดติก



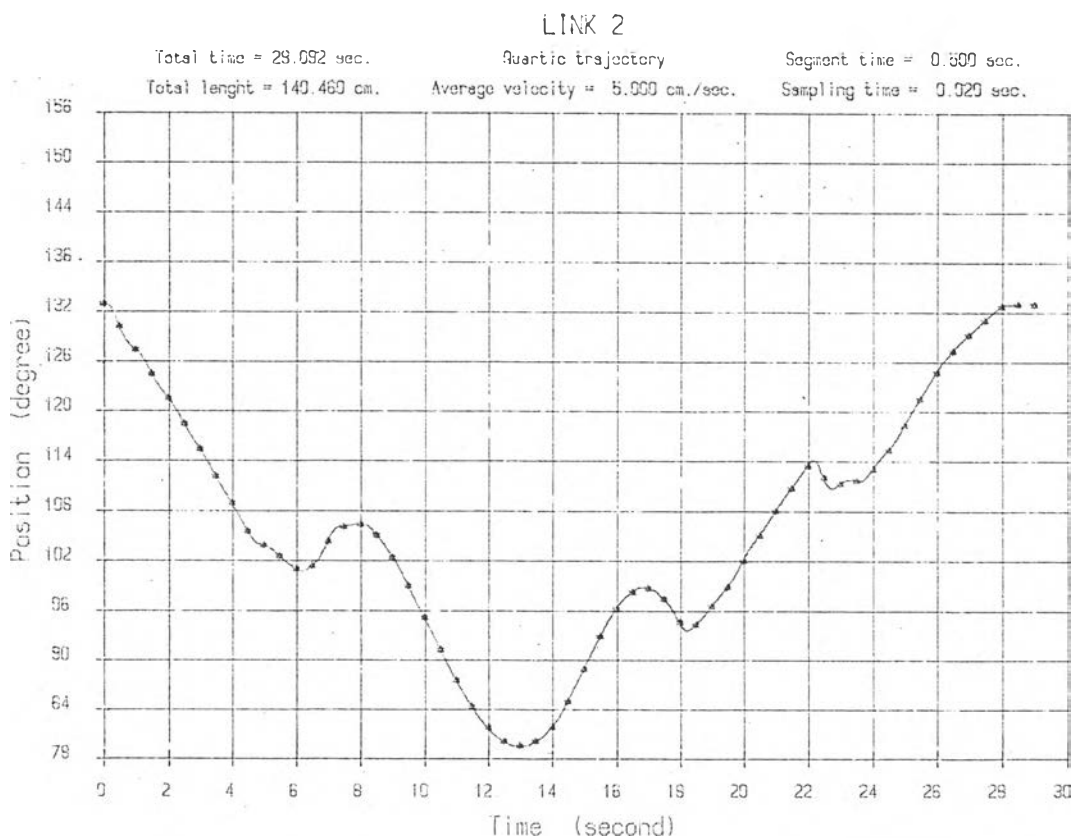
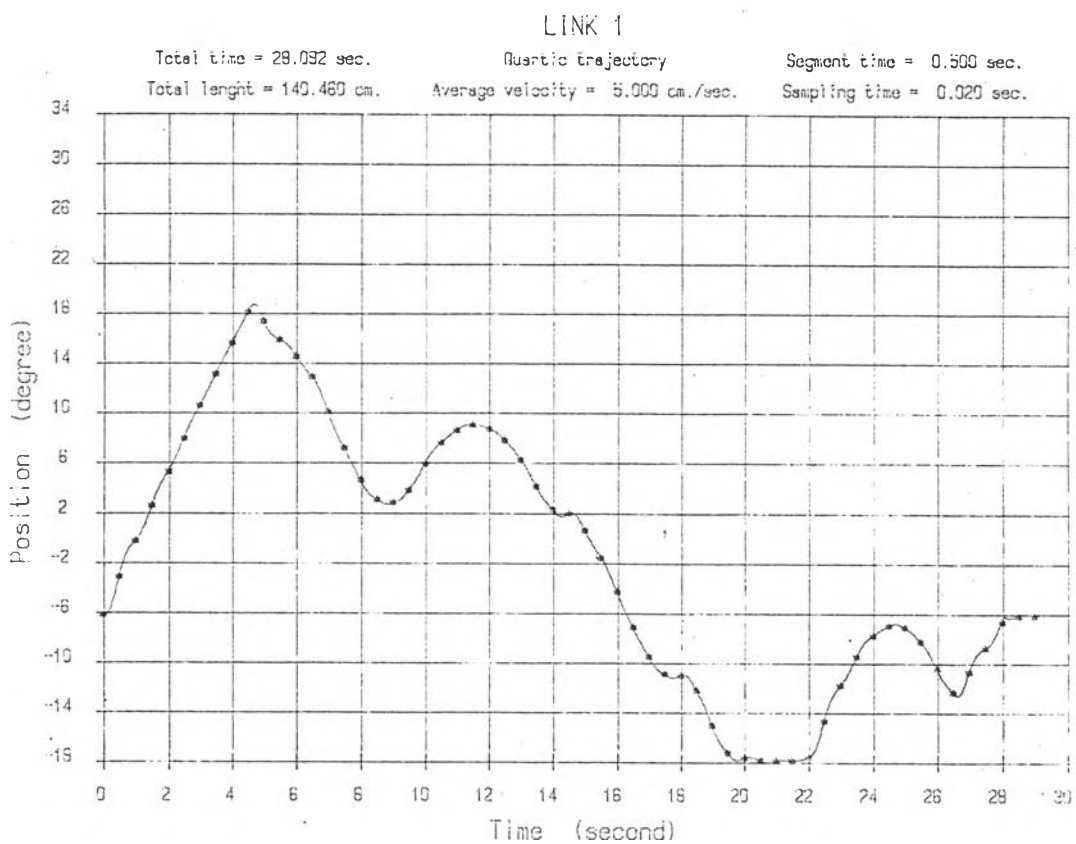
รูปที่ 18 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนื่องรูปหลายเหลี่ยมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 1 และเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 2



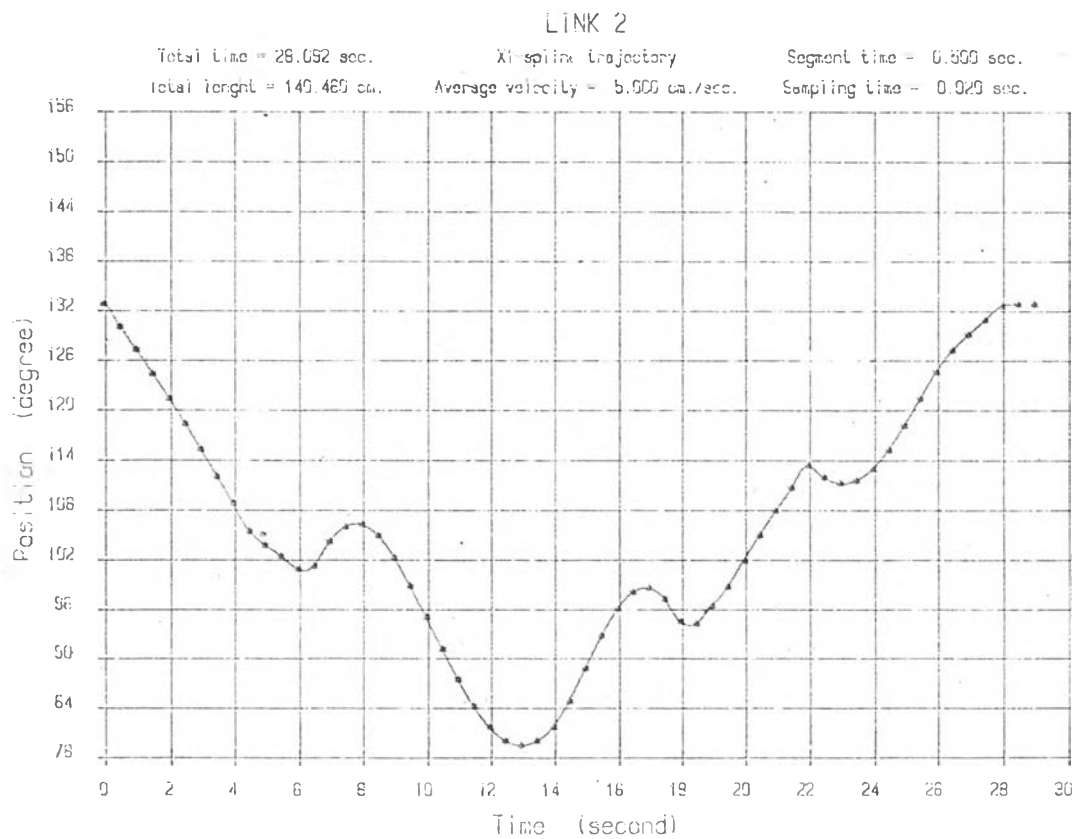
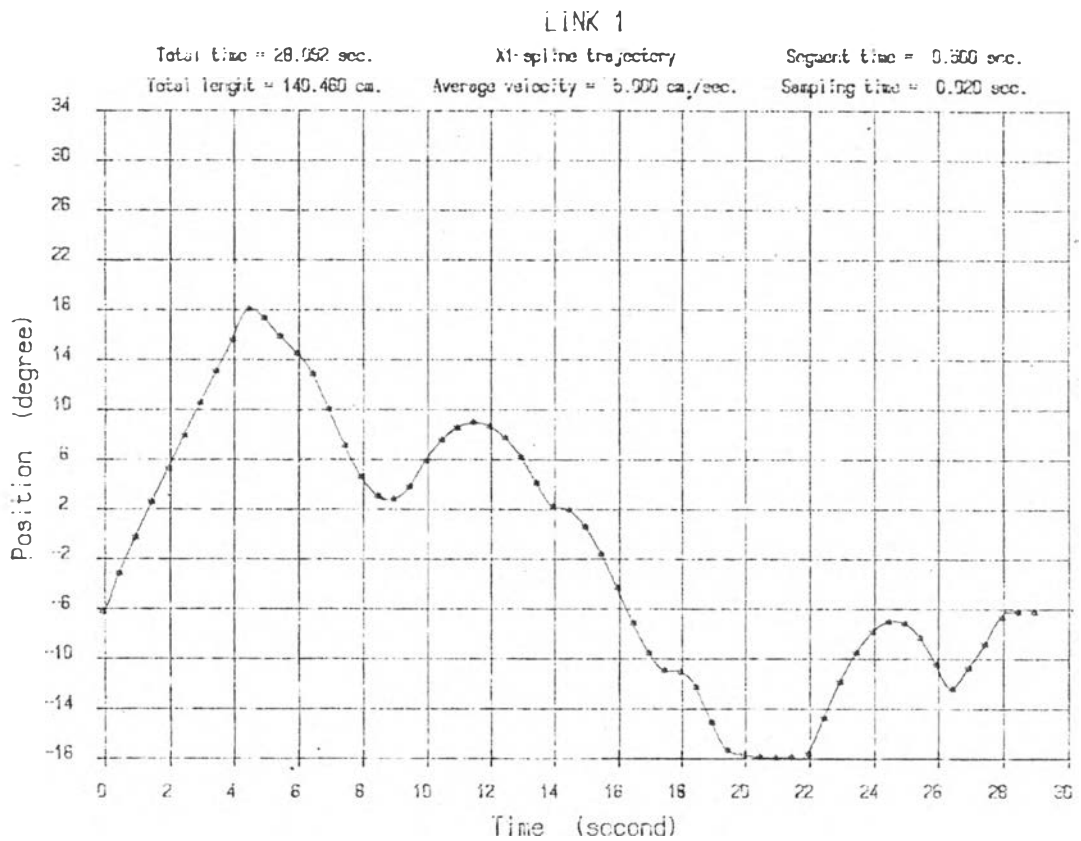
รูปที่ 19 กราฟแสดงวิถีทางเดินต่อเนืองรูปหลายเหลี่ยมที่สร้างโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันนิตที่ 3



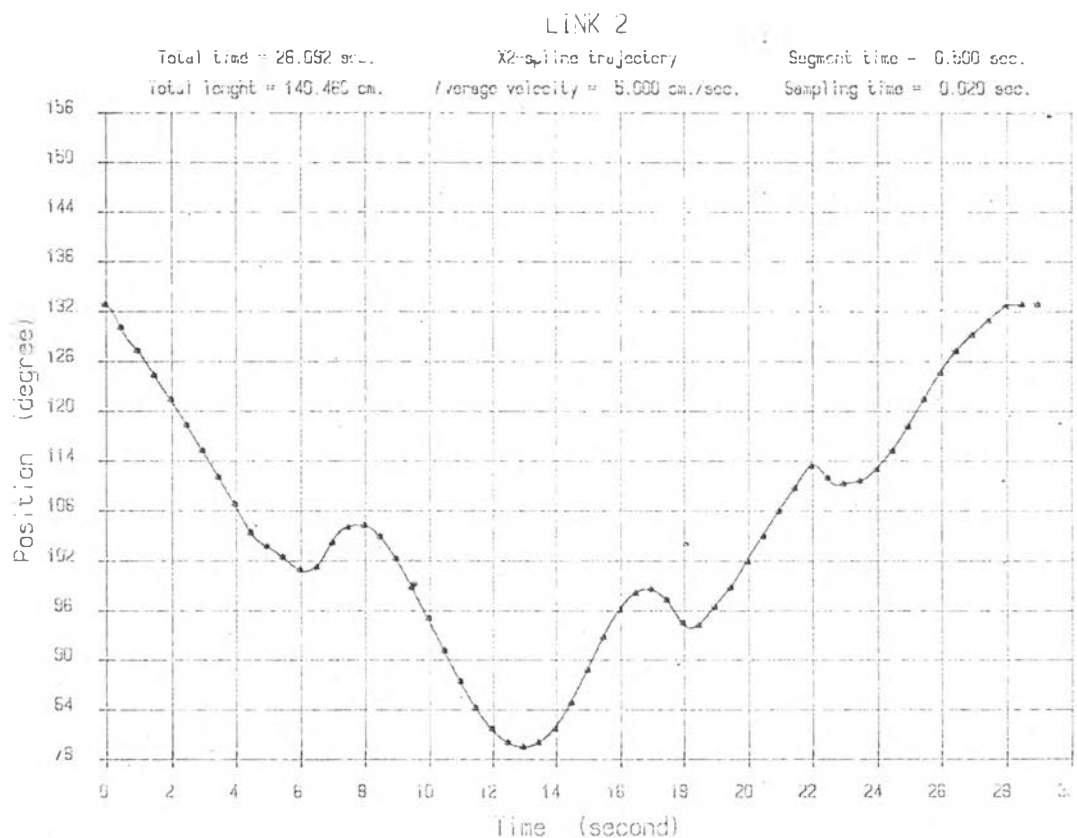
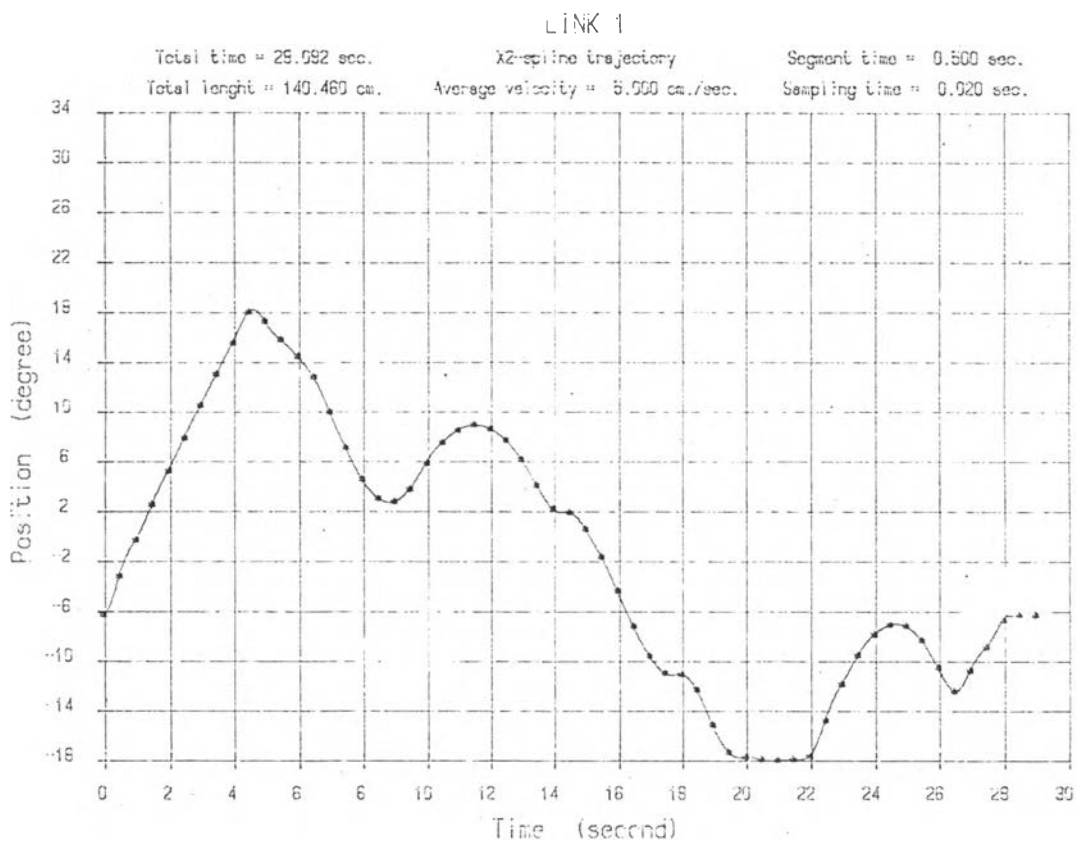
รูปที่ 20 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแบ่ง-แบ่ง



รูปที่ 21 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดตริก

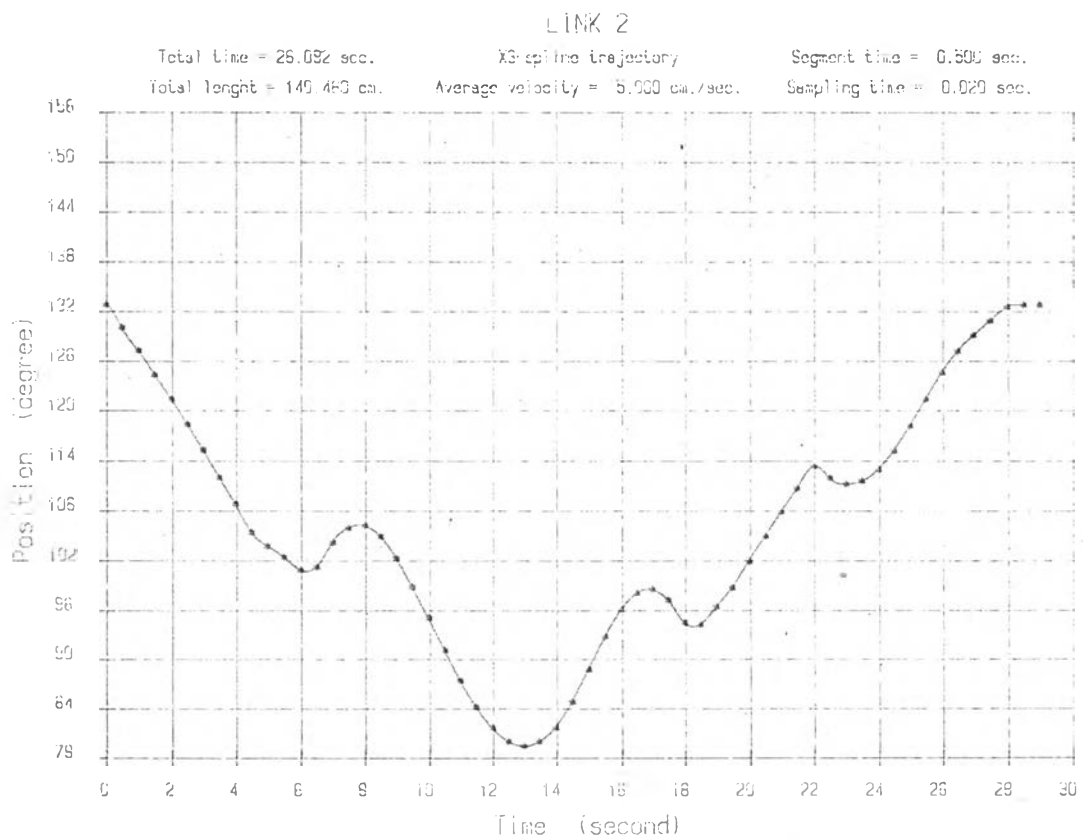
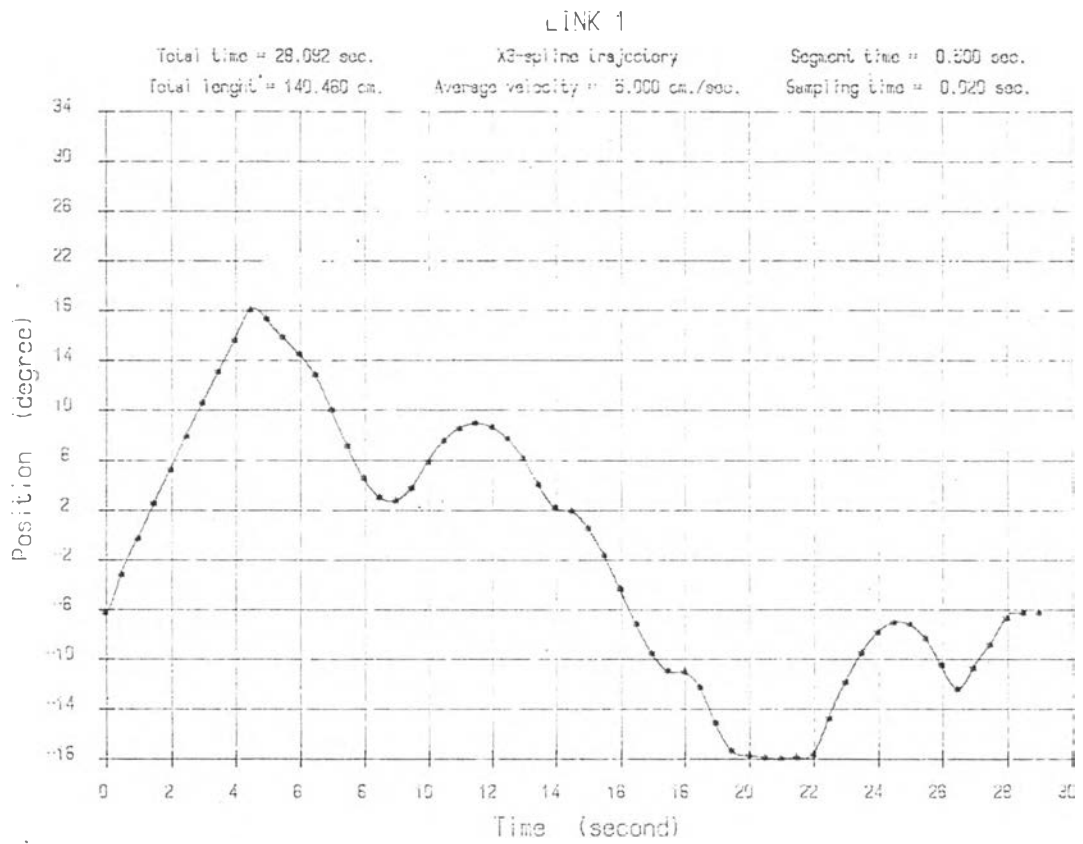


รูปที่ 22 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปนซ์ชนิดที่ 1



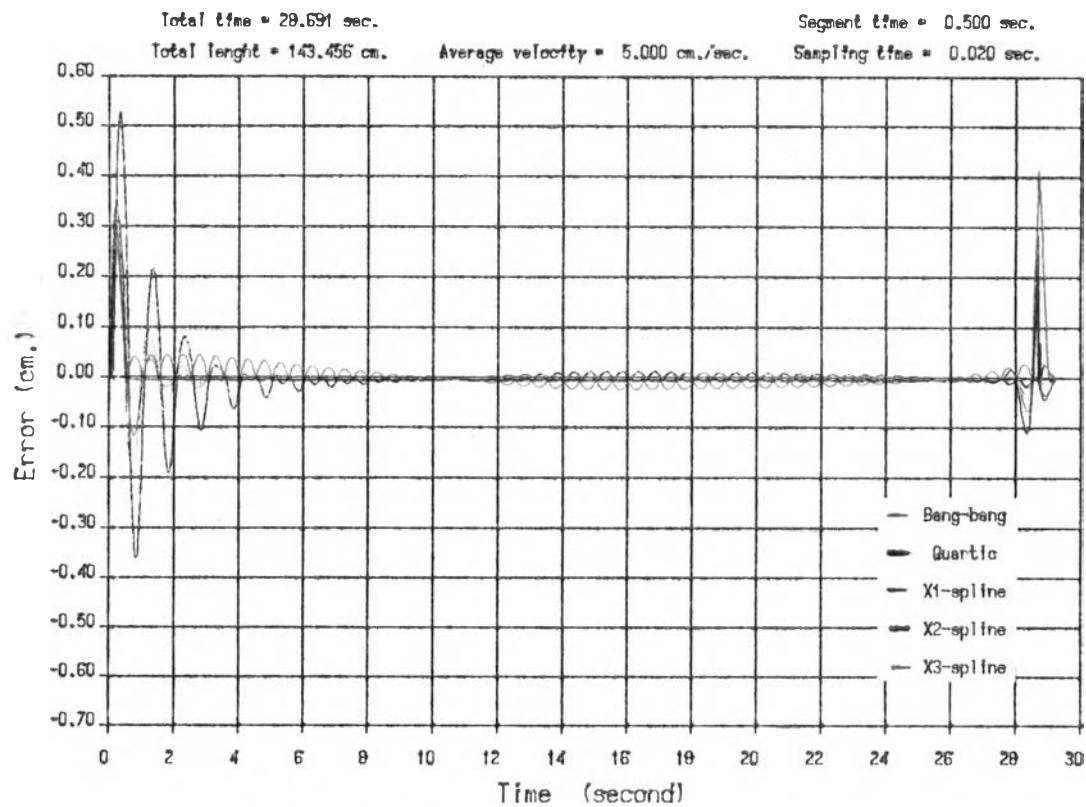
รูปที่ 23 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ปอนันต์ที่ 2

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

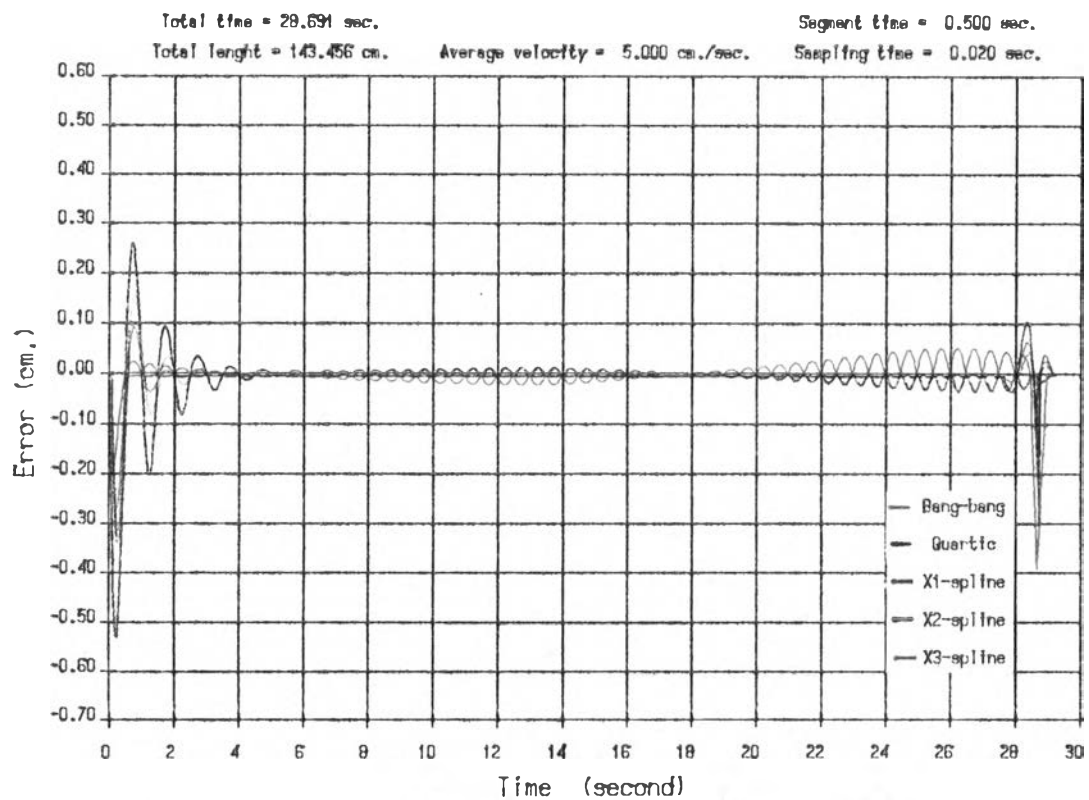


รูปที่ 24 กราฟแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อย 1 และ 2 เทียบกับเวลาสำหรับแนววิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยมโดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปซ์ชนิดที่ 3

POSITION ERROR ON X-AXIS

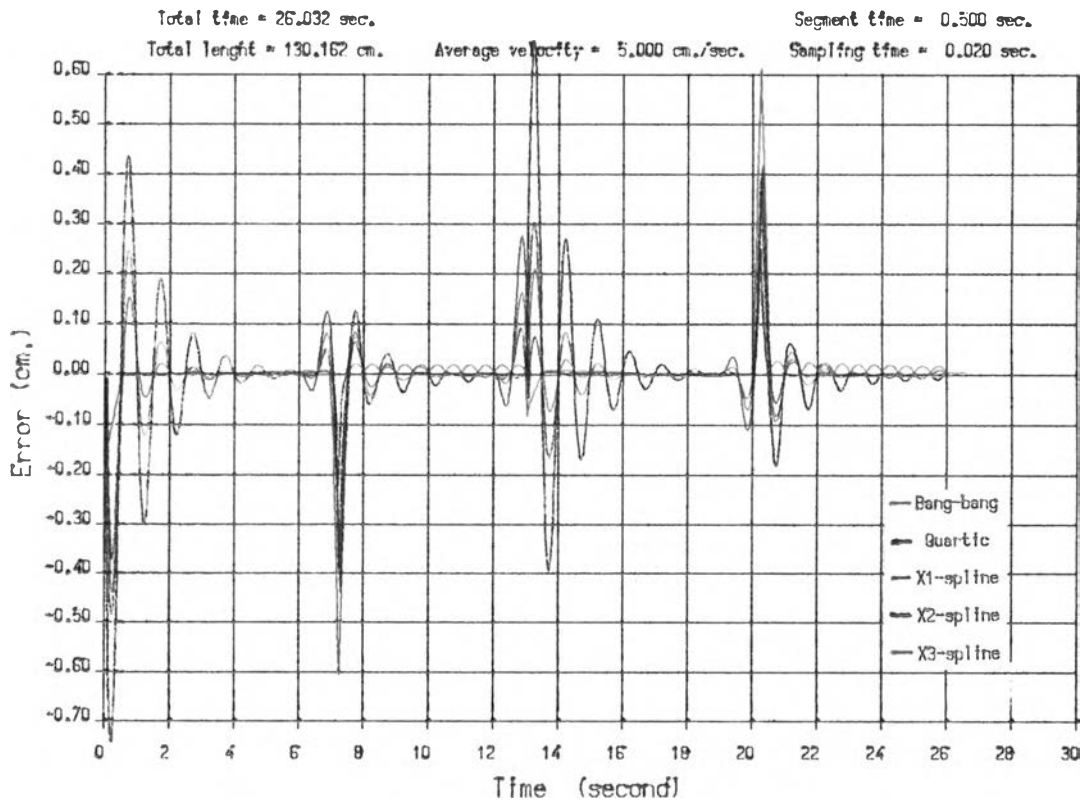


POSITION ERROR ON Y-AXIS

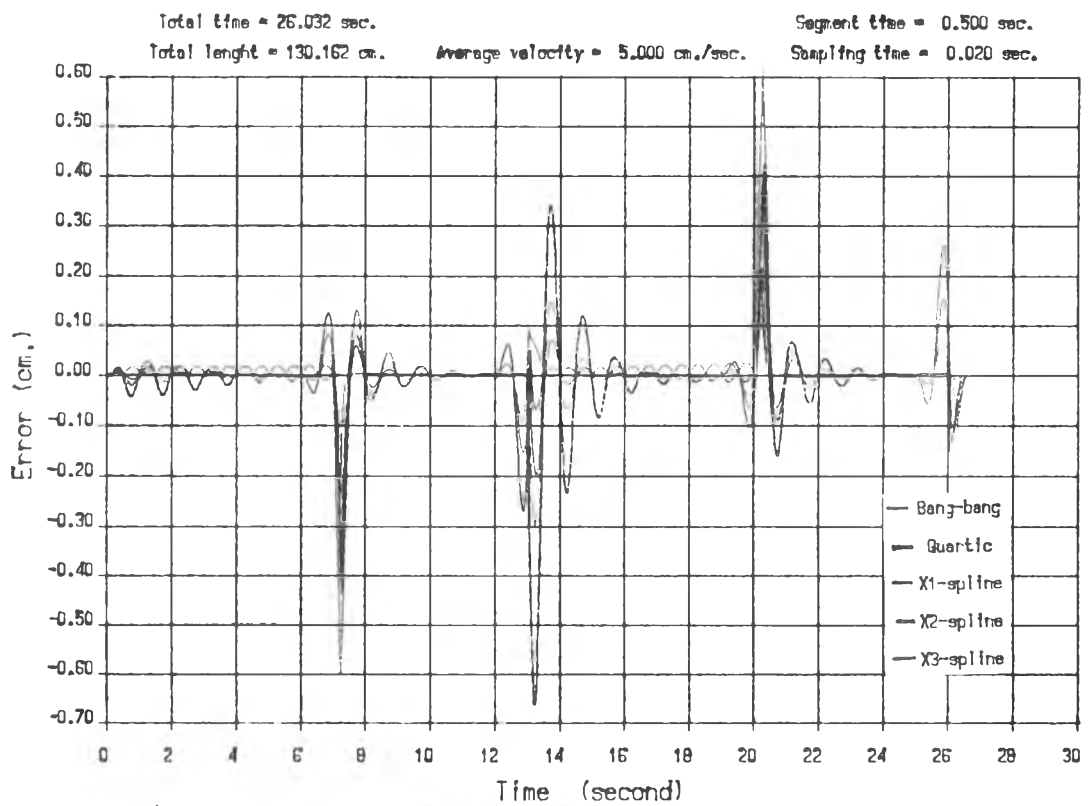


รูปที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนของวิถีทางเดินรูปวงกลมในแนวแกน X และ Y โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบต่างๆกับเวลาที่อัตราเร็ว 5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm...

POSITION ERROR ON X-AXIS

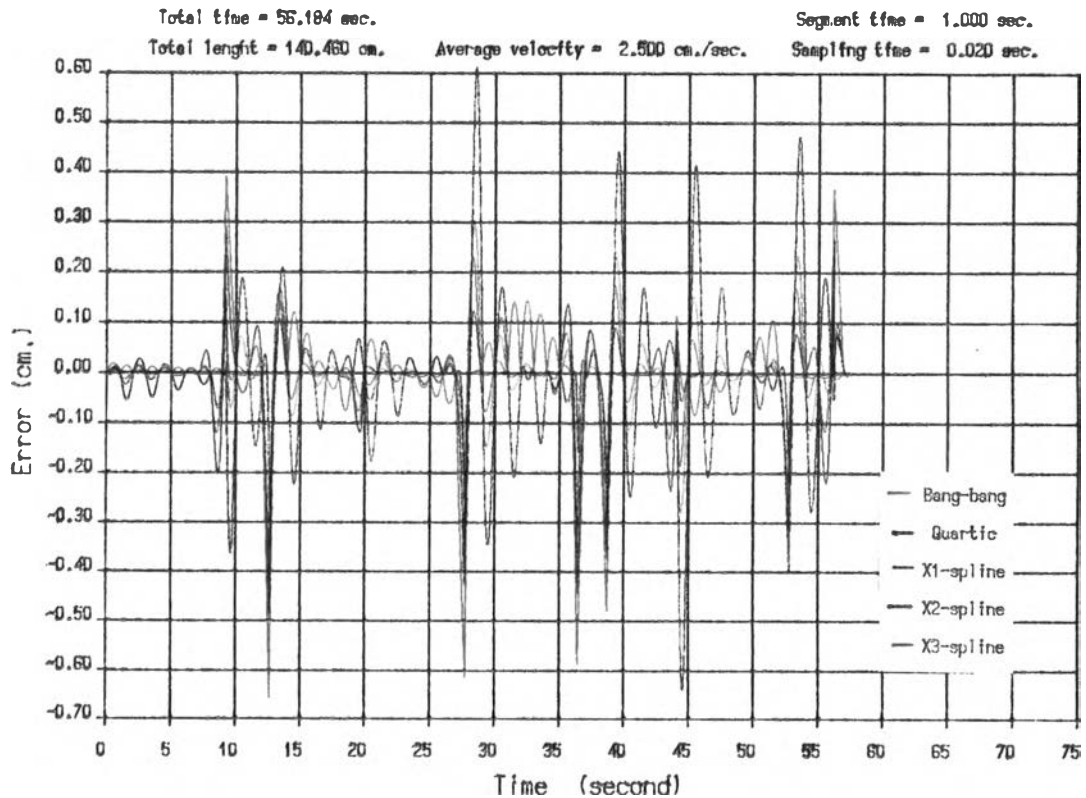


POSITION ERROR ON Y-AXIS

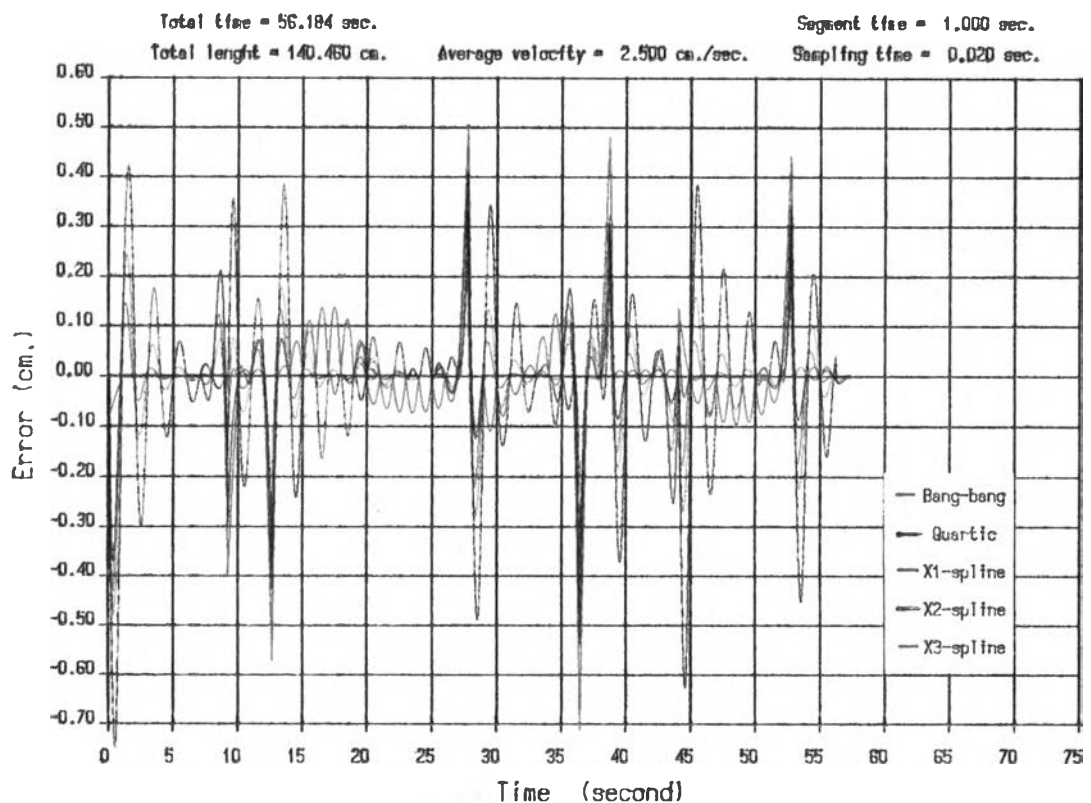


รูปที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนของวิถีทางเดินรูป
 เส้นตรงหักมุมในแนวแกน X และ Y โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบต่างๆ
 กับเวลาที่อัตราเร็ว 5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.

POSITION ERROR ON X-AXIS

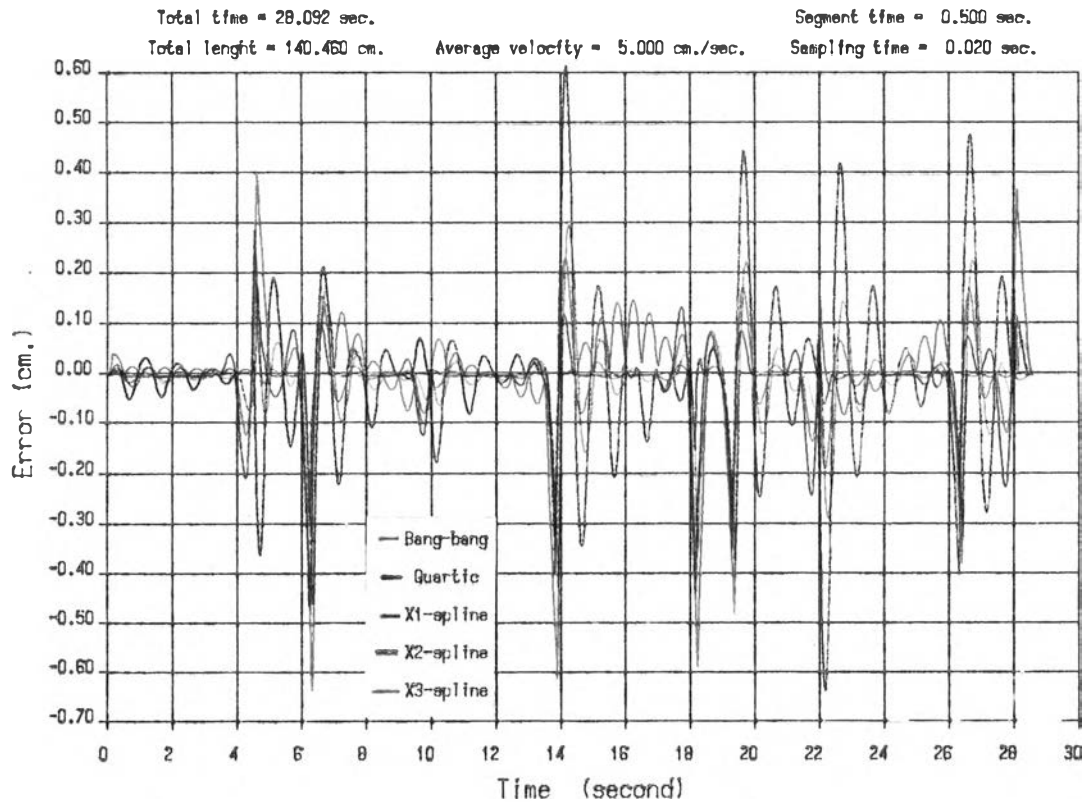


POSITION ERROR ON Y-AXIS

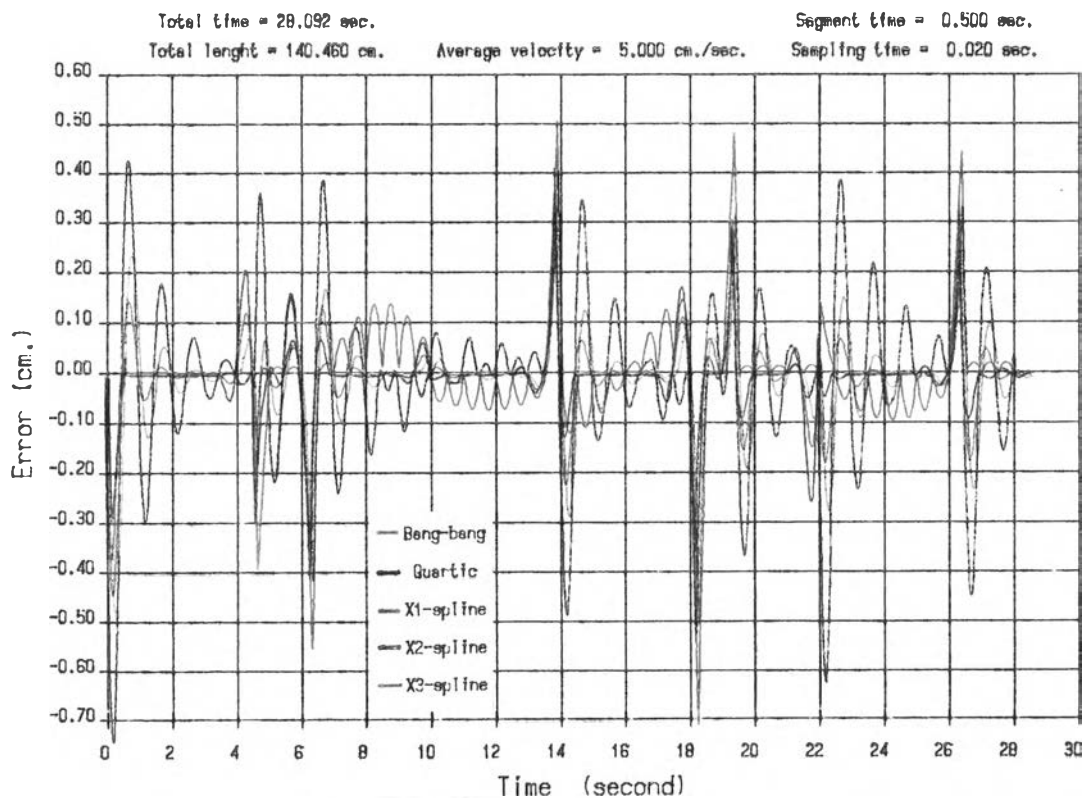


รูปที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนของวิถีทางเดินรูป
 หลายเหลี่ยมในแนวแกน X และ Y โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบต่างๆ
 กับเวลาที่อัตราเร็ว 5 cm./s. และระยะขยวิถีทางเดินห้อย 2.5 cm

POSITION ERROR ON X-AXIS



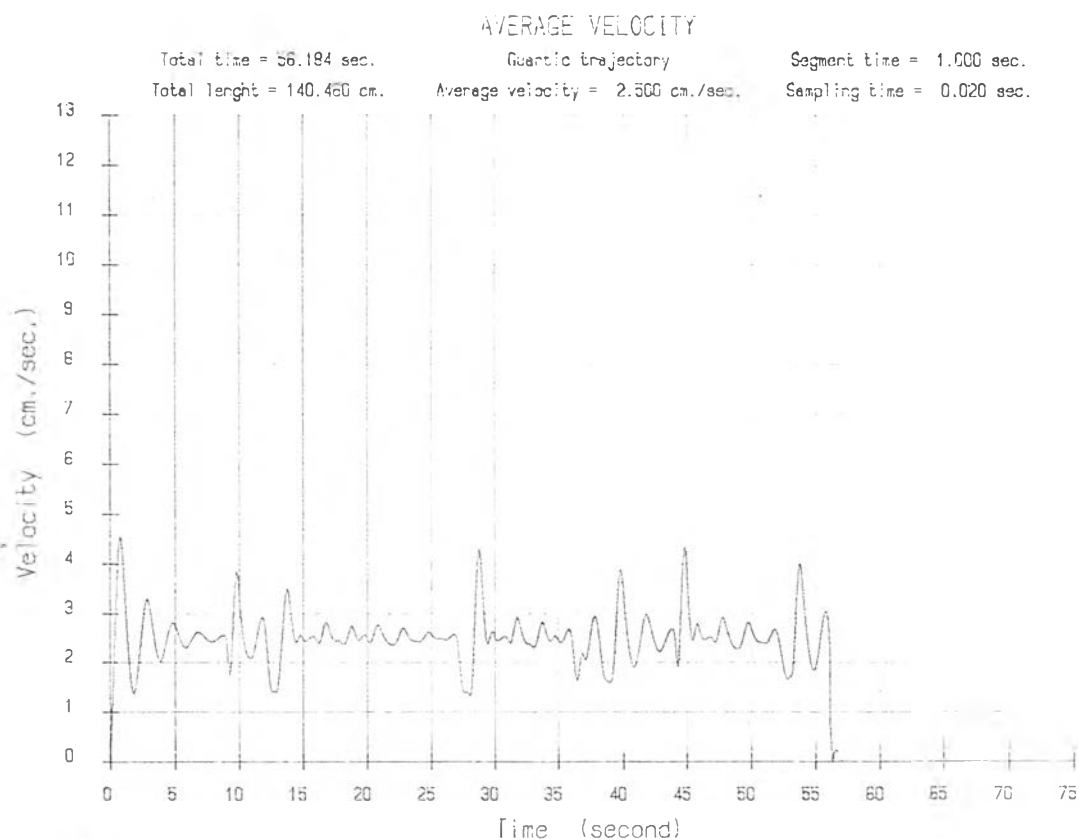
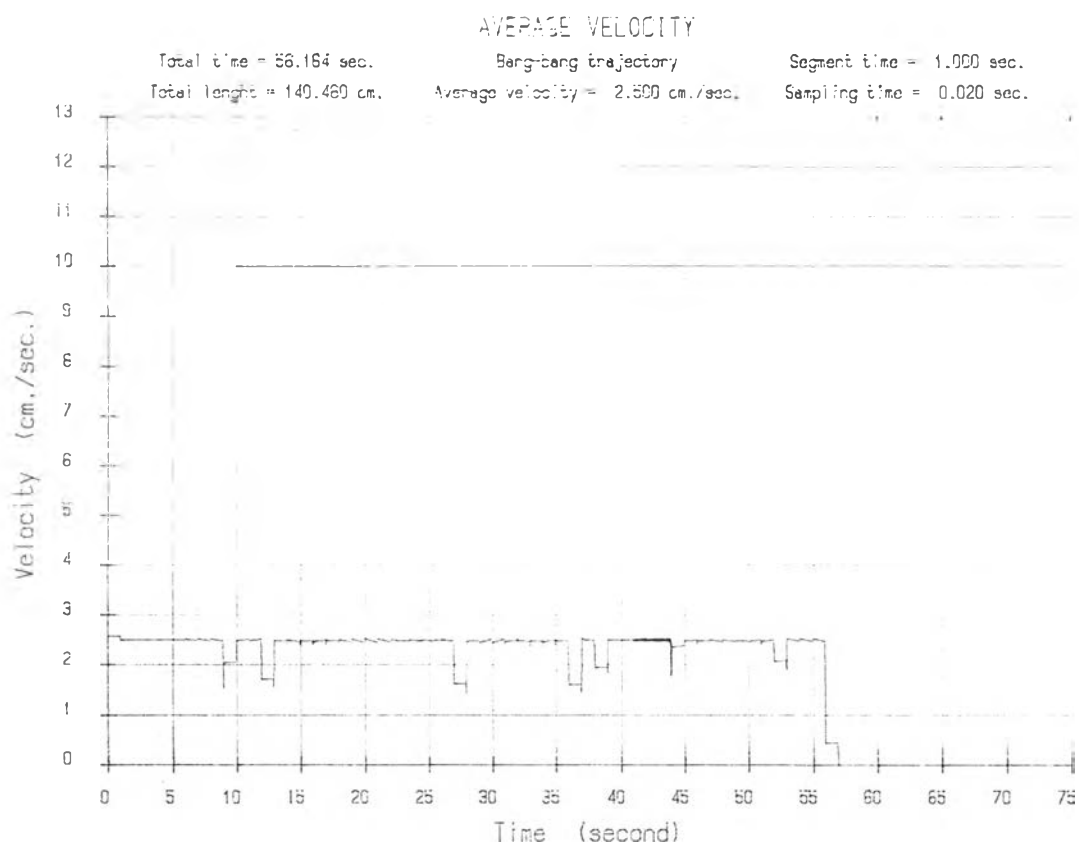
POSITION ERROR ON Y-AXIS



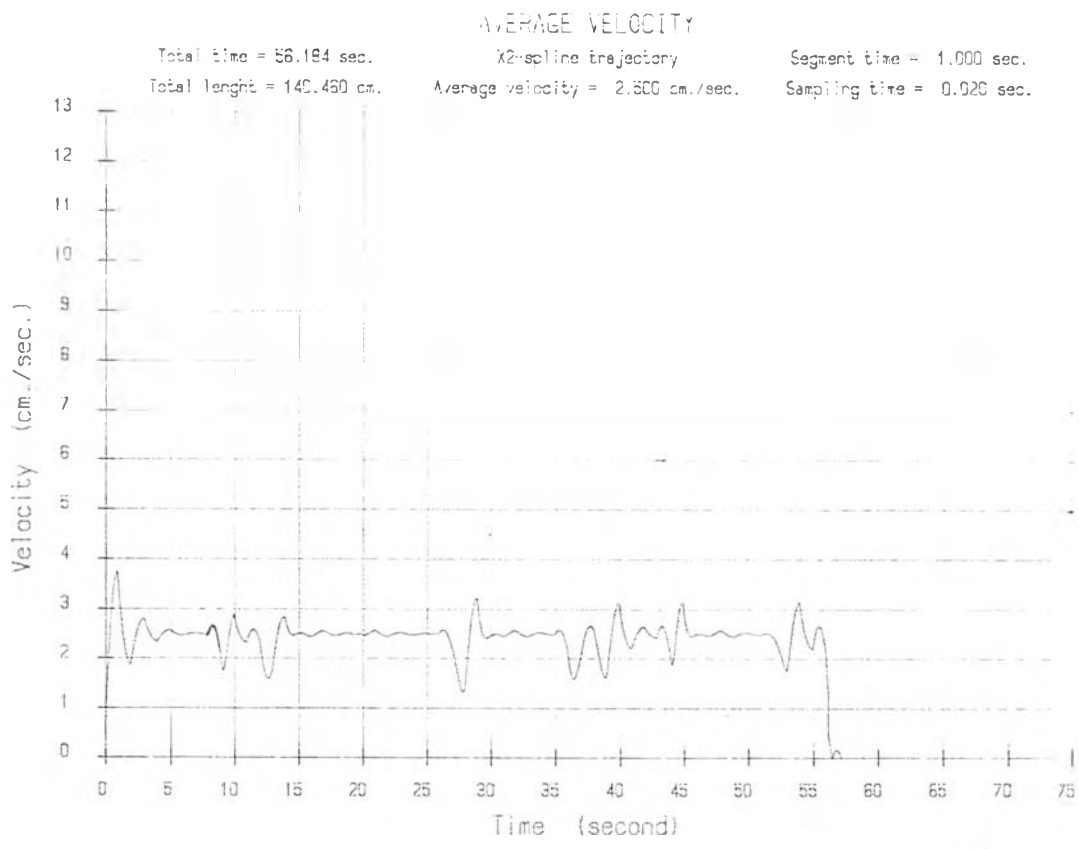
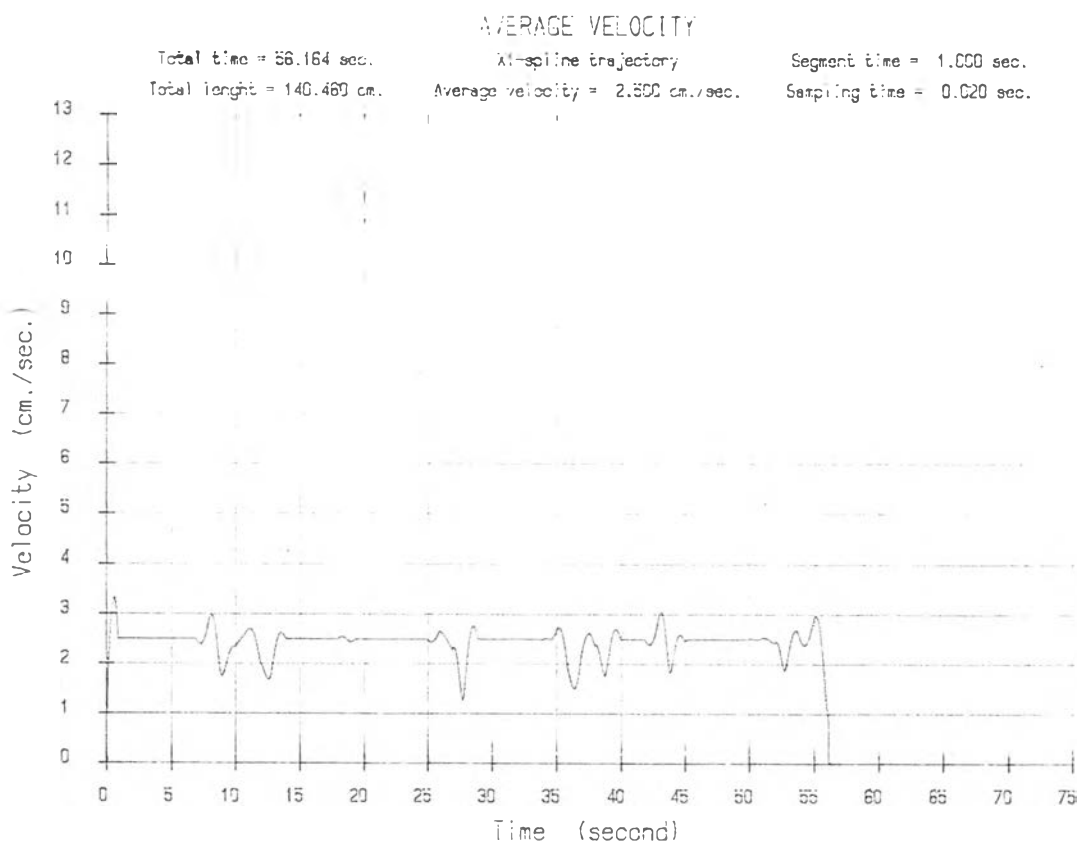
รูปที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนของวิถีทางเดินรูป
 หลายเหลี่ยมในแนวแกน X และ Y โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบต่างๆ
 กับเวลาที่อัตราเร็ว 2.5 cm./s. แลหระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.

ภาคผนวก ช.

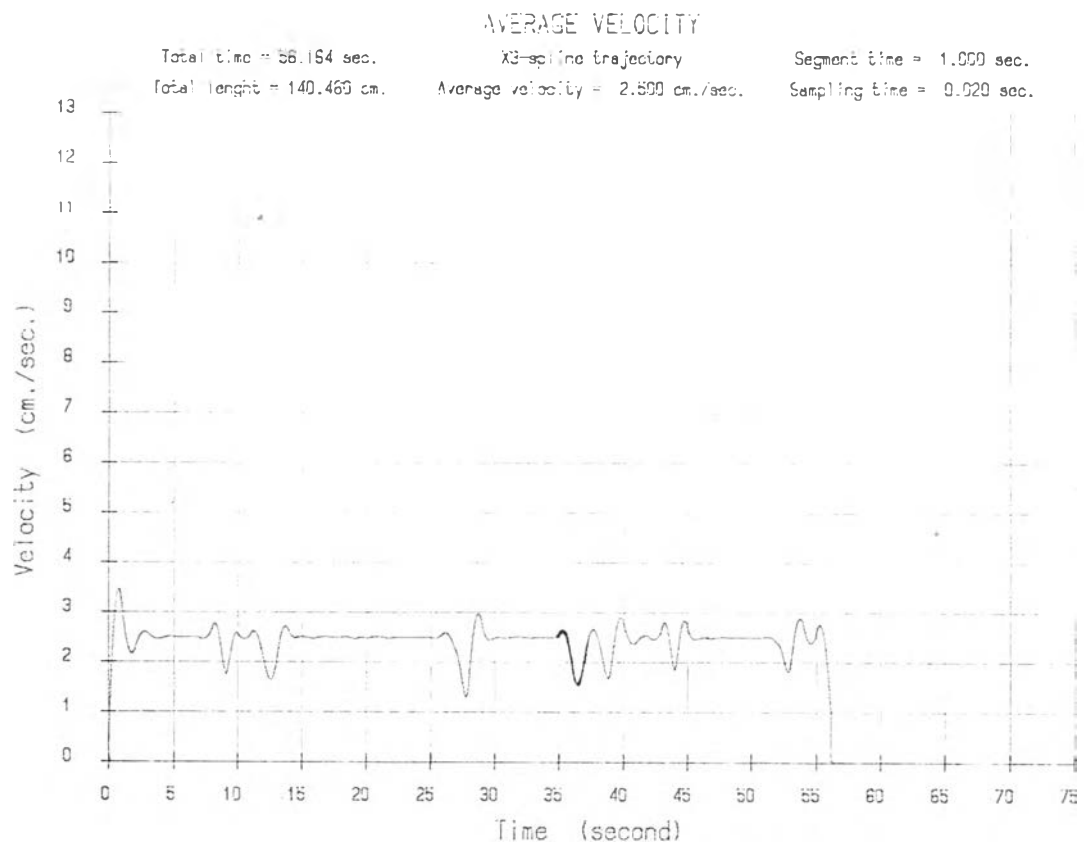
กราฟประกอบการศึกษาความเบี่ยงเบนระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้น
กับอัตราเร็วที่กำหนด



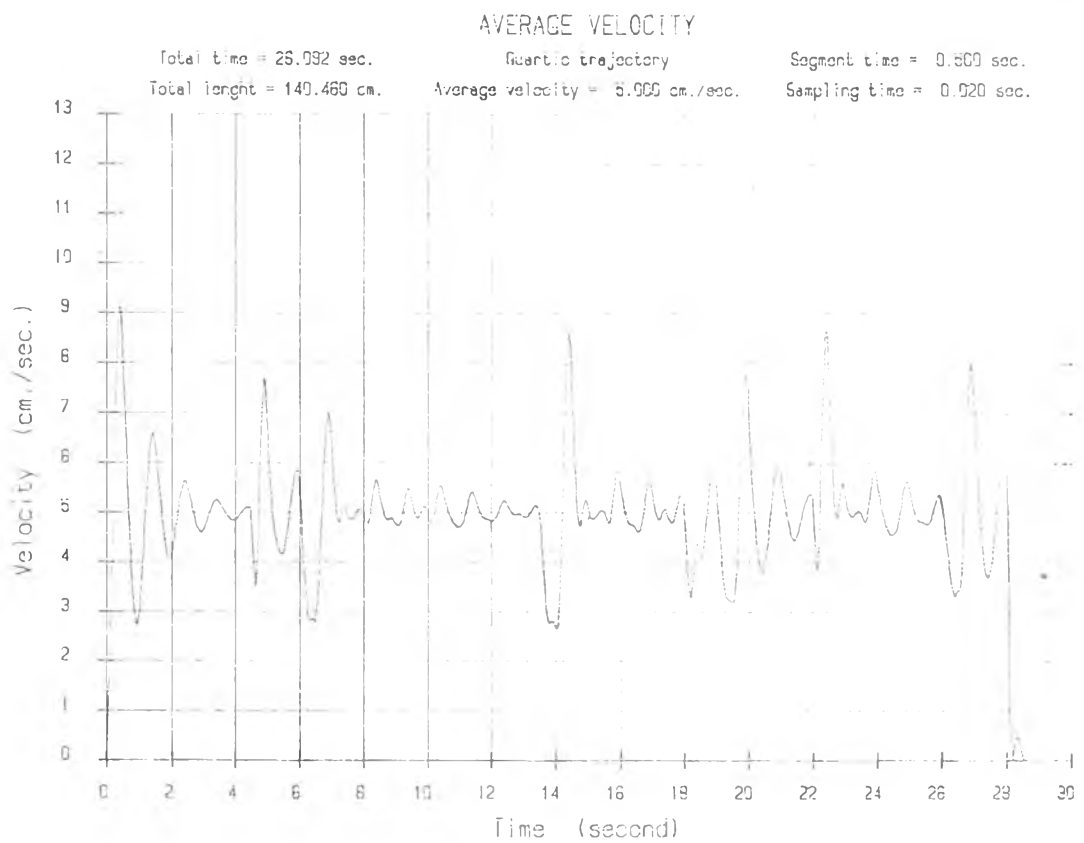
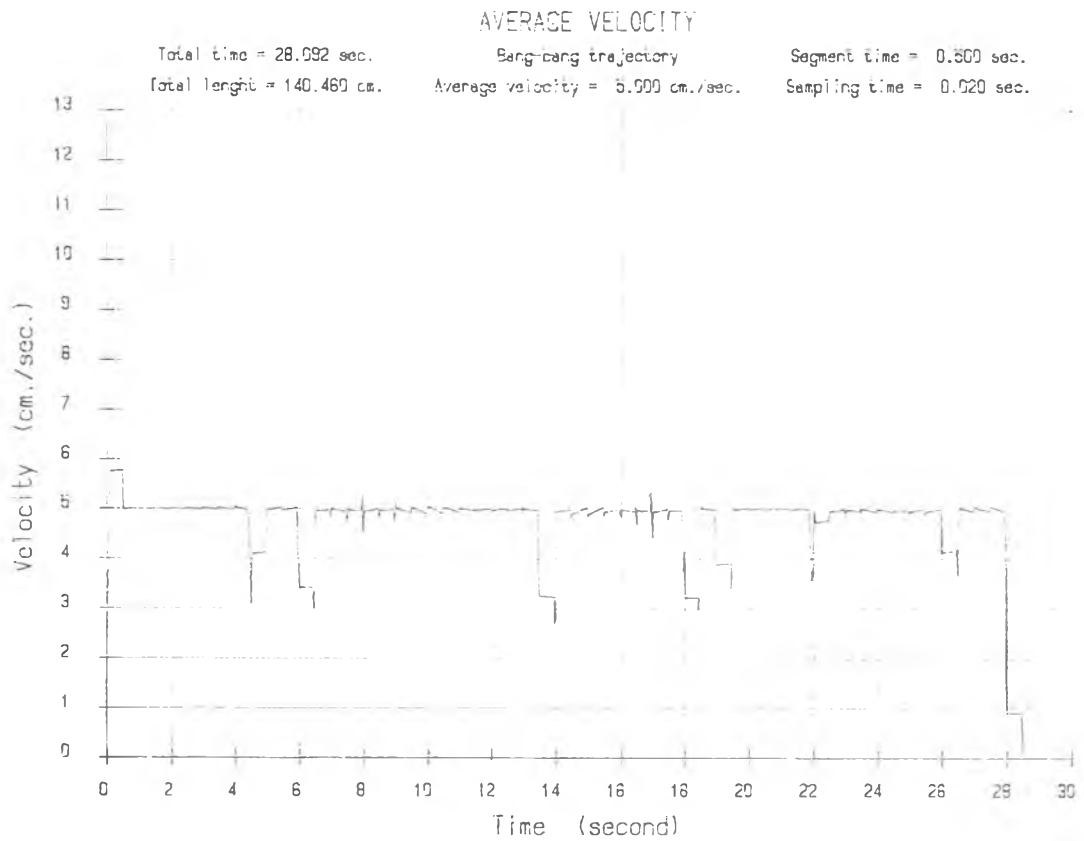
รูปที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแวง-แวง และควอดตติก กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



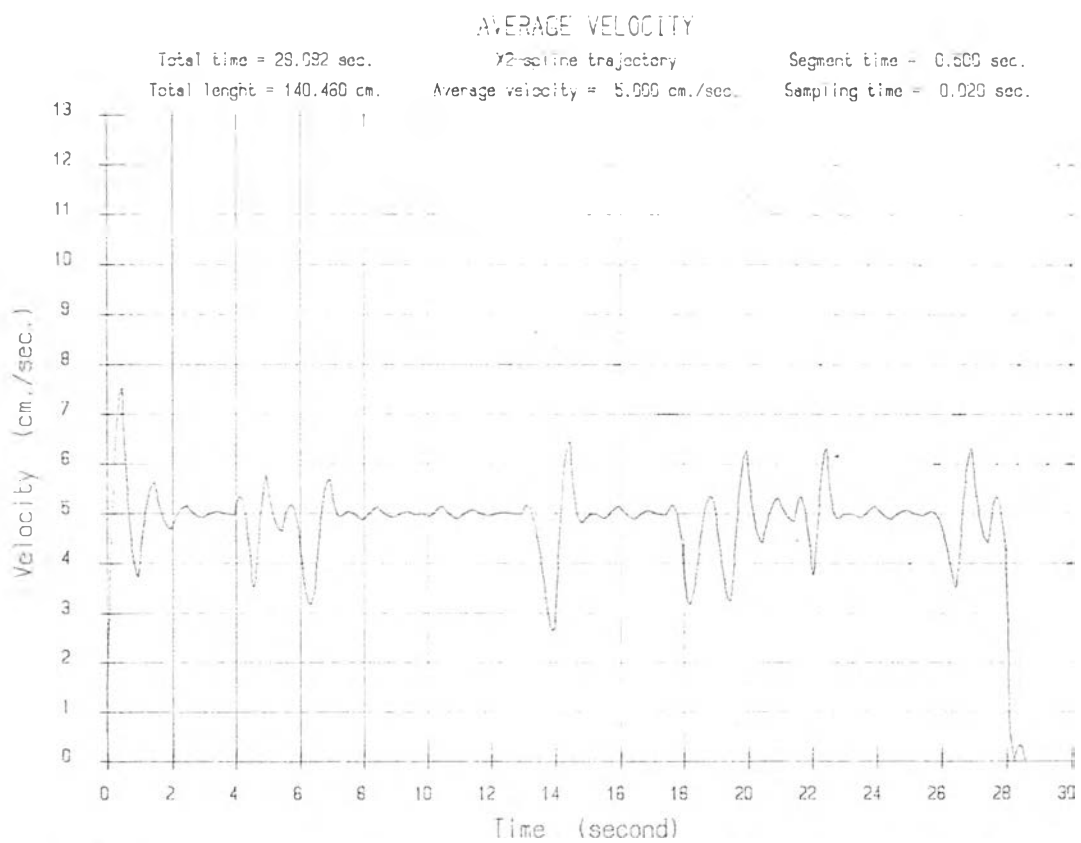
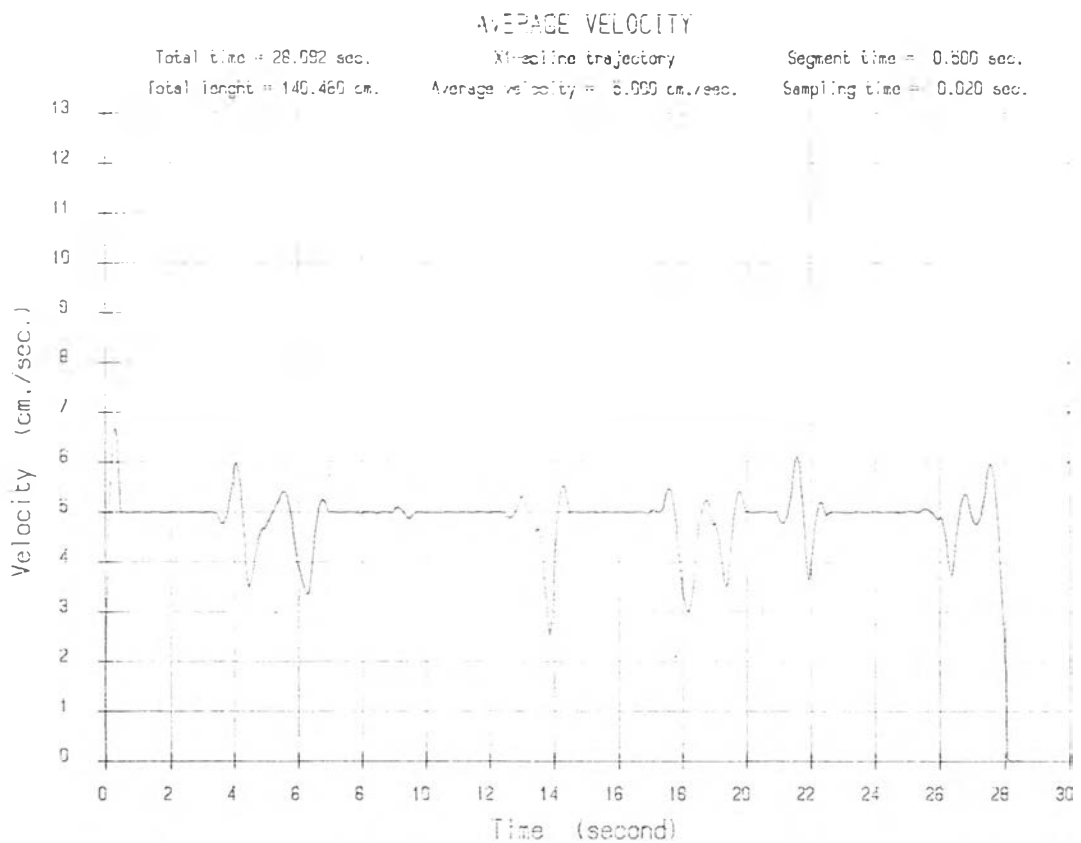
รูปที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์โพลีชนิดที่ 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm.



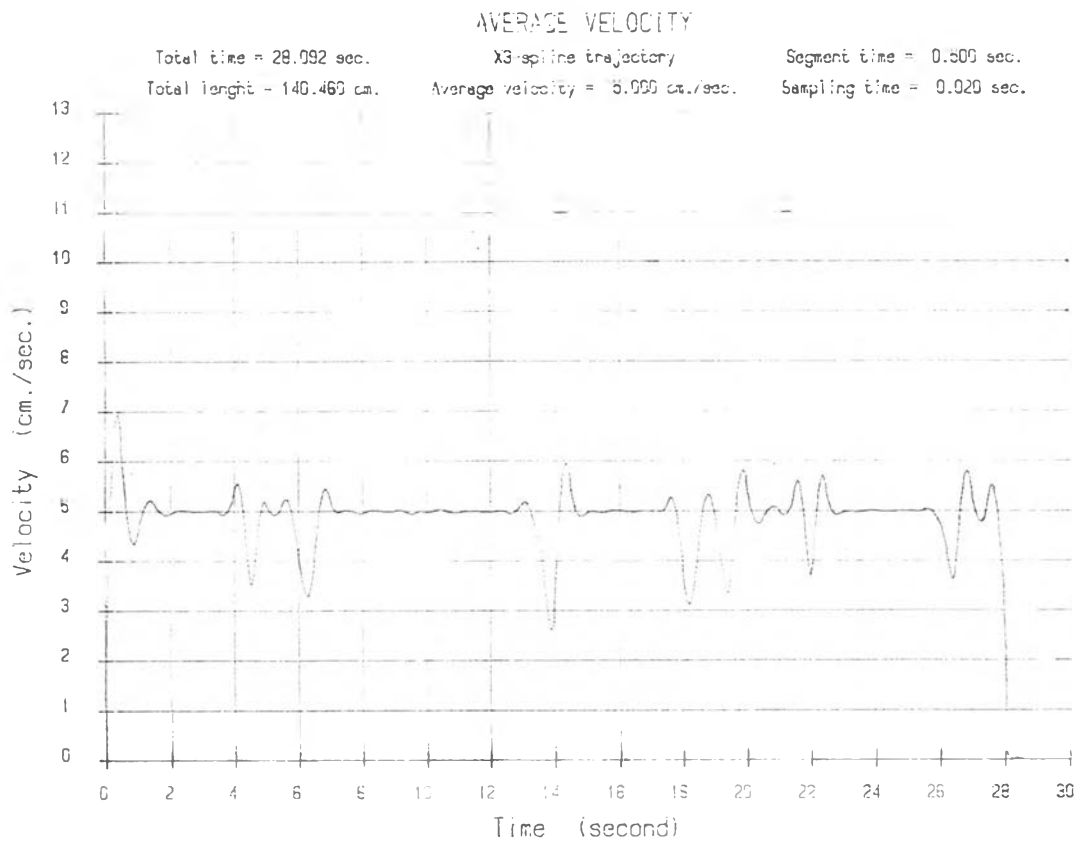
รูปที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสโพลีชนิดที่ 3 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm.



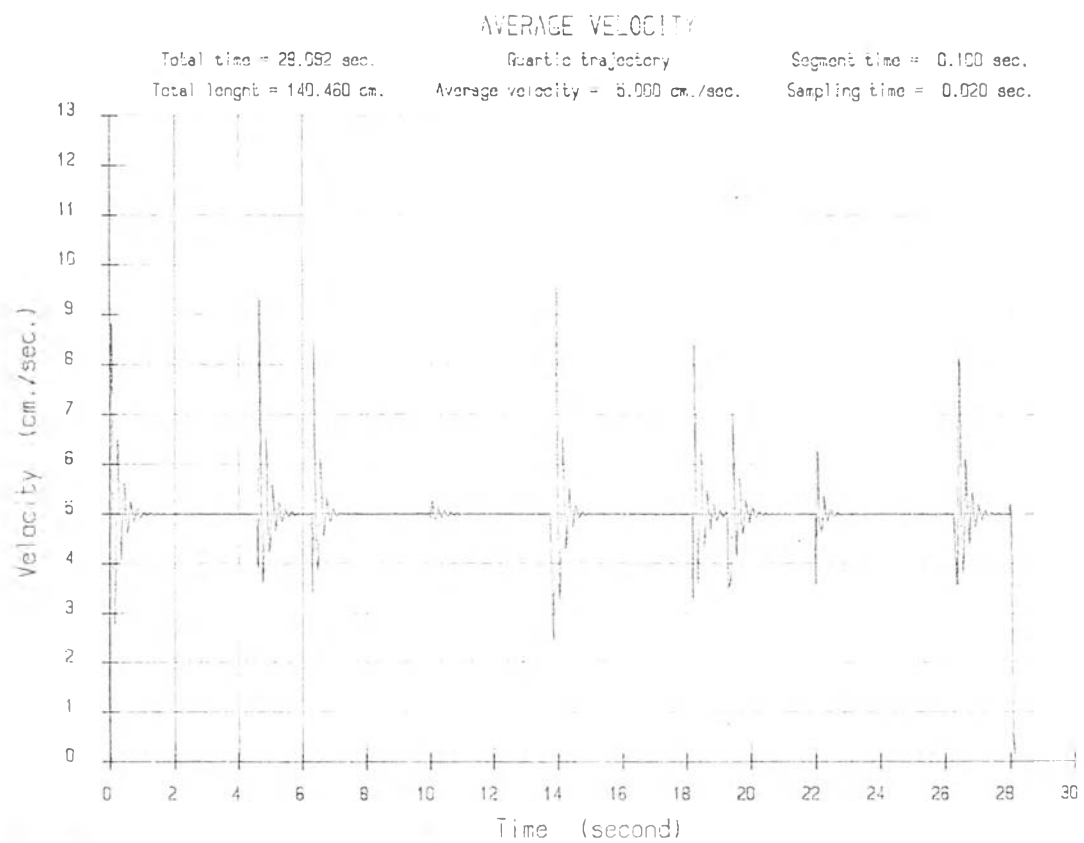
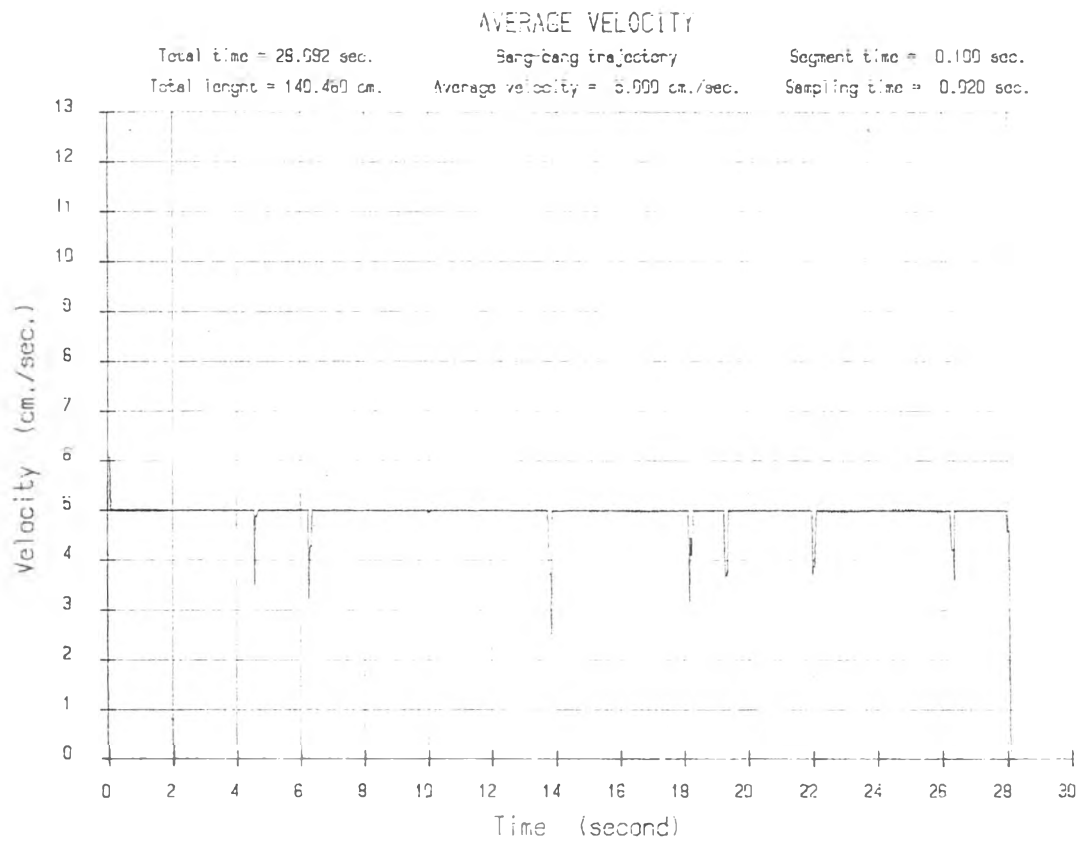
รูปที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแวง-แวง และควอดตติก กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



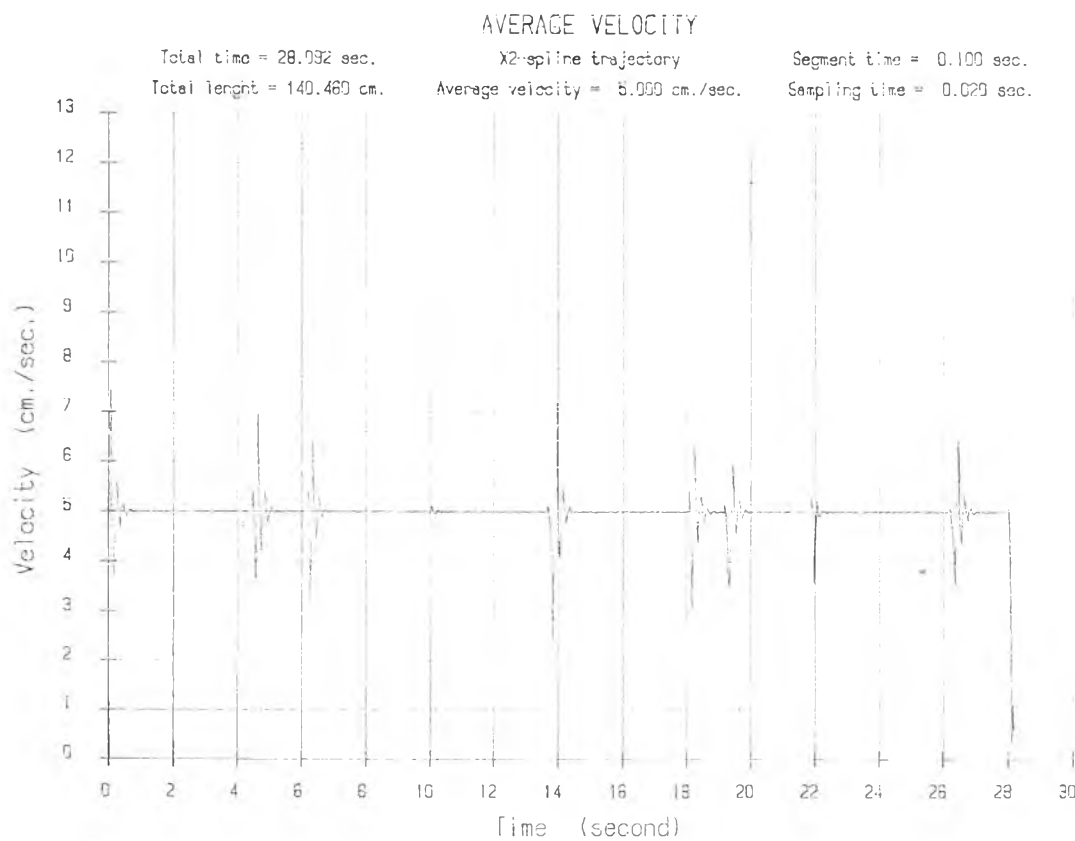
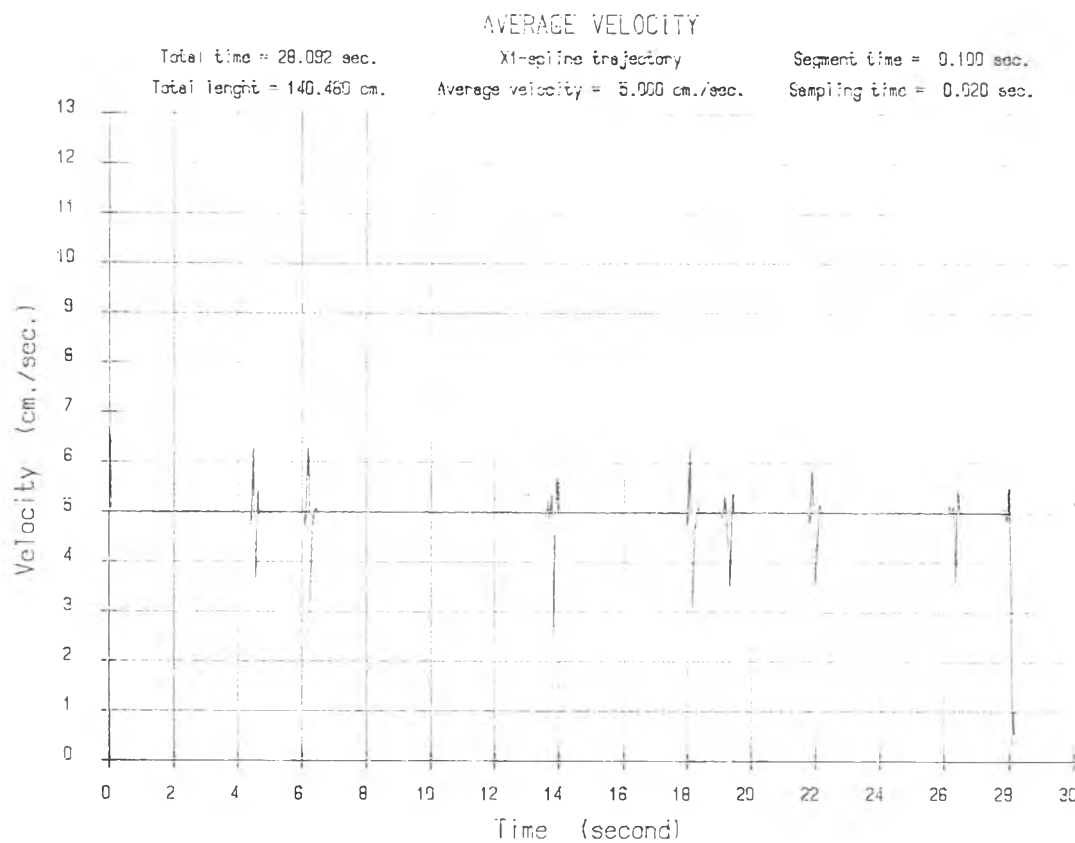
รูปที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



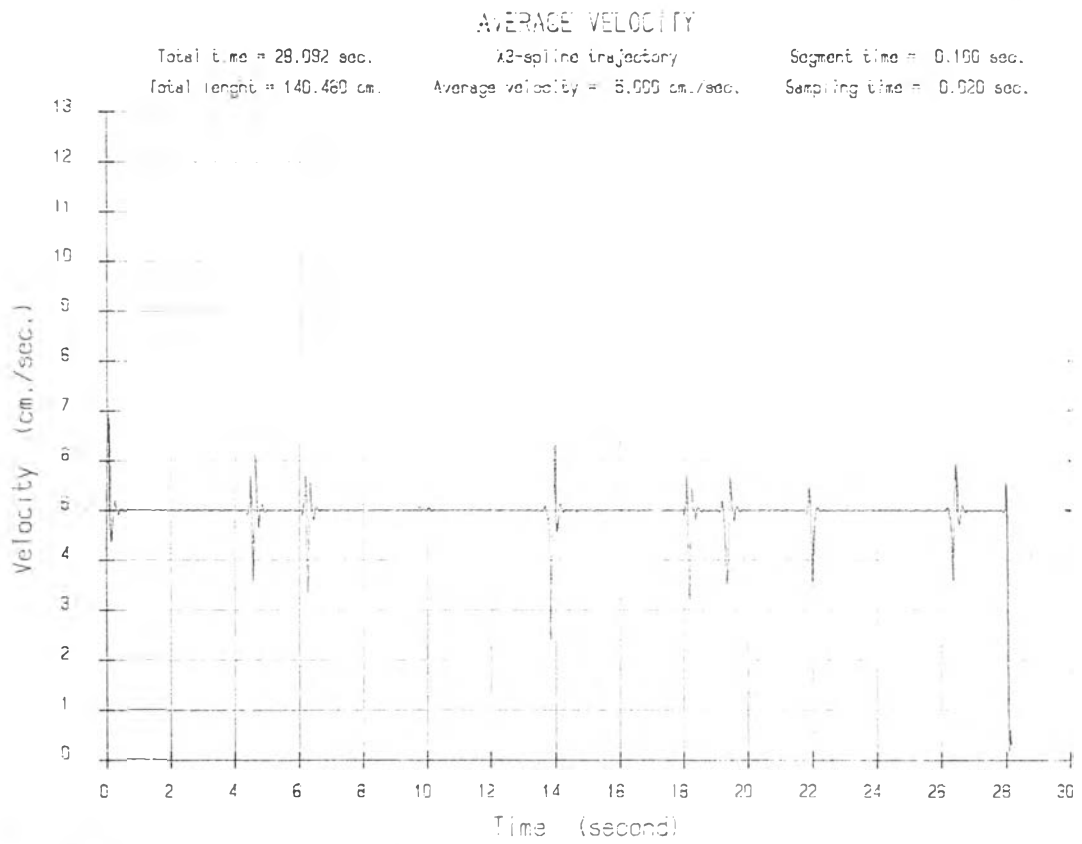
รูปที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์ชนิดที่ 3 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



รูปที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเบง-เบง และควอดตติก กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 0.5 cm.



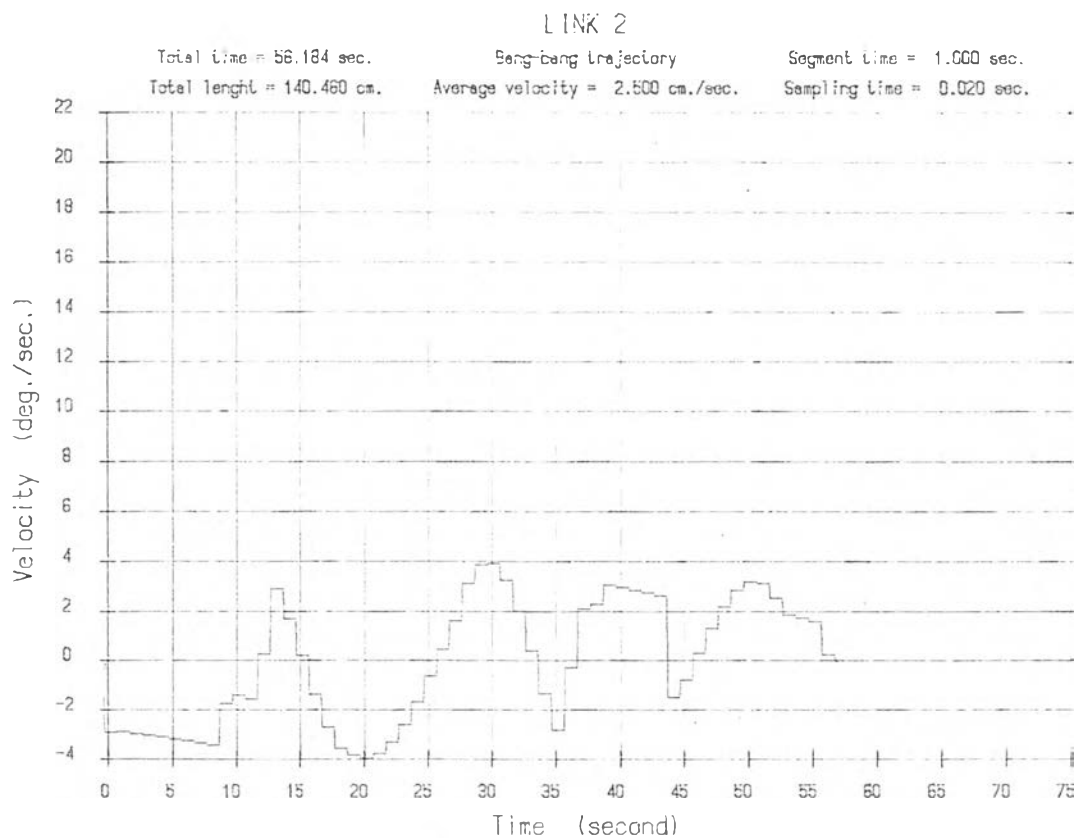
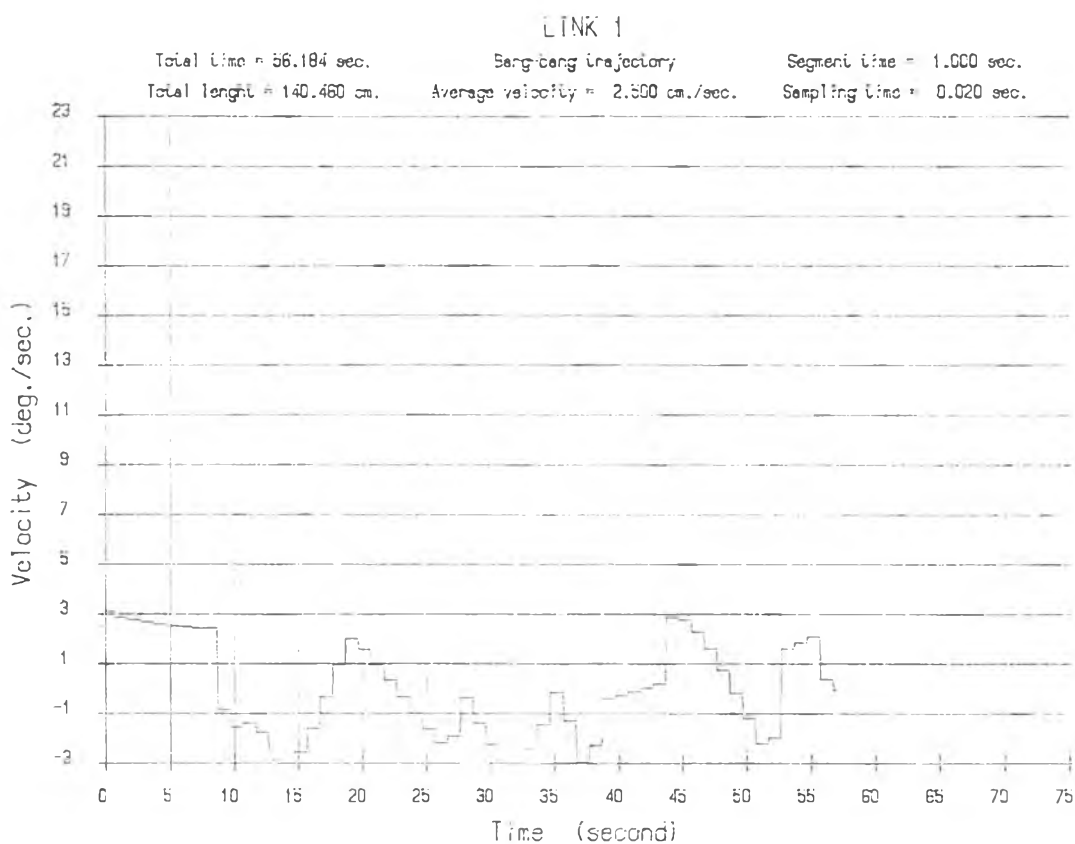
รูปที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสโพนีเชนัลที่ 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 0.5 cm.



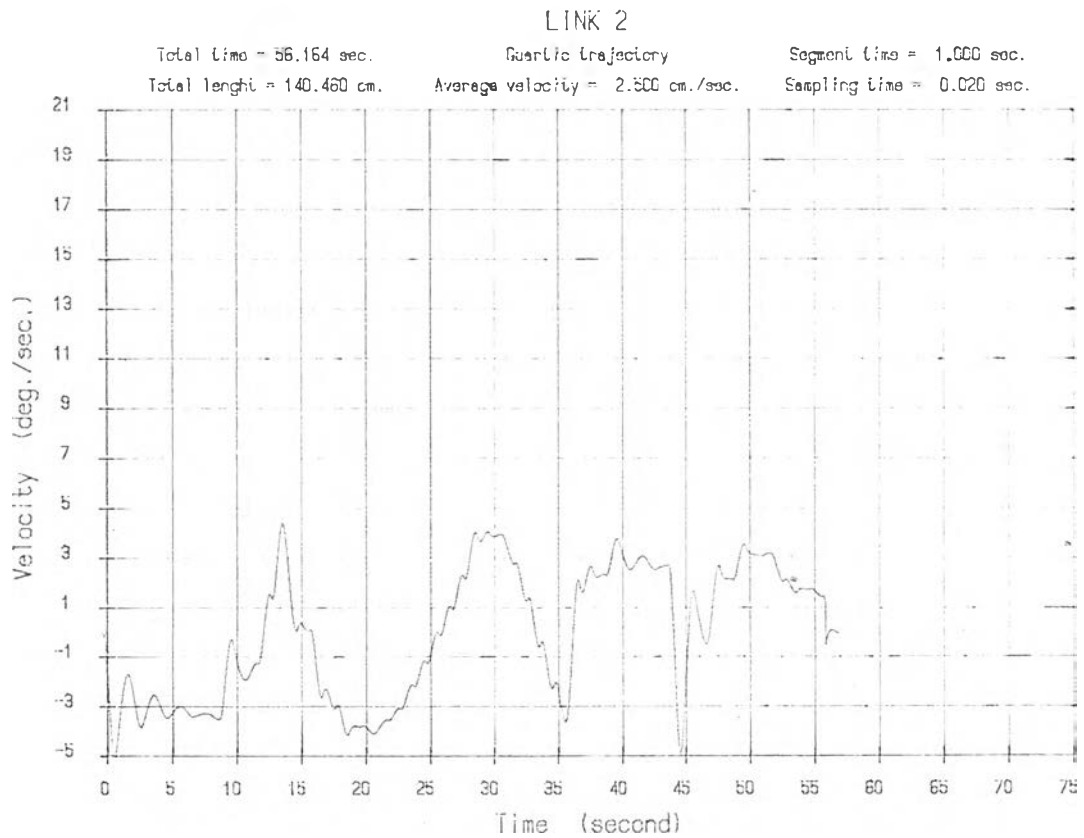
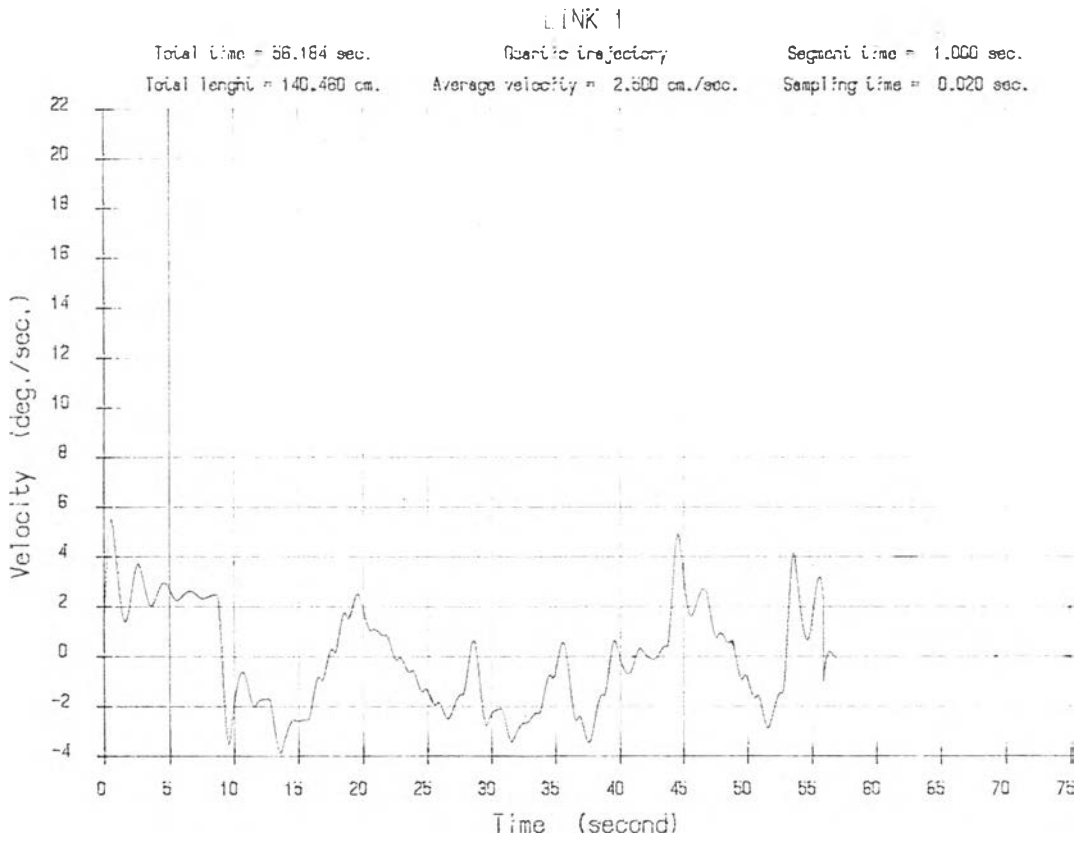
รูปที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปซ์ชนิดที่ 3 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 0.5 cm.

ภาคผนวก ค.

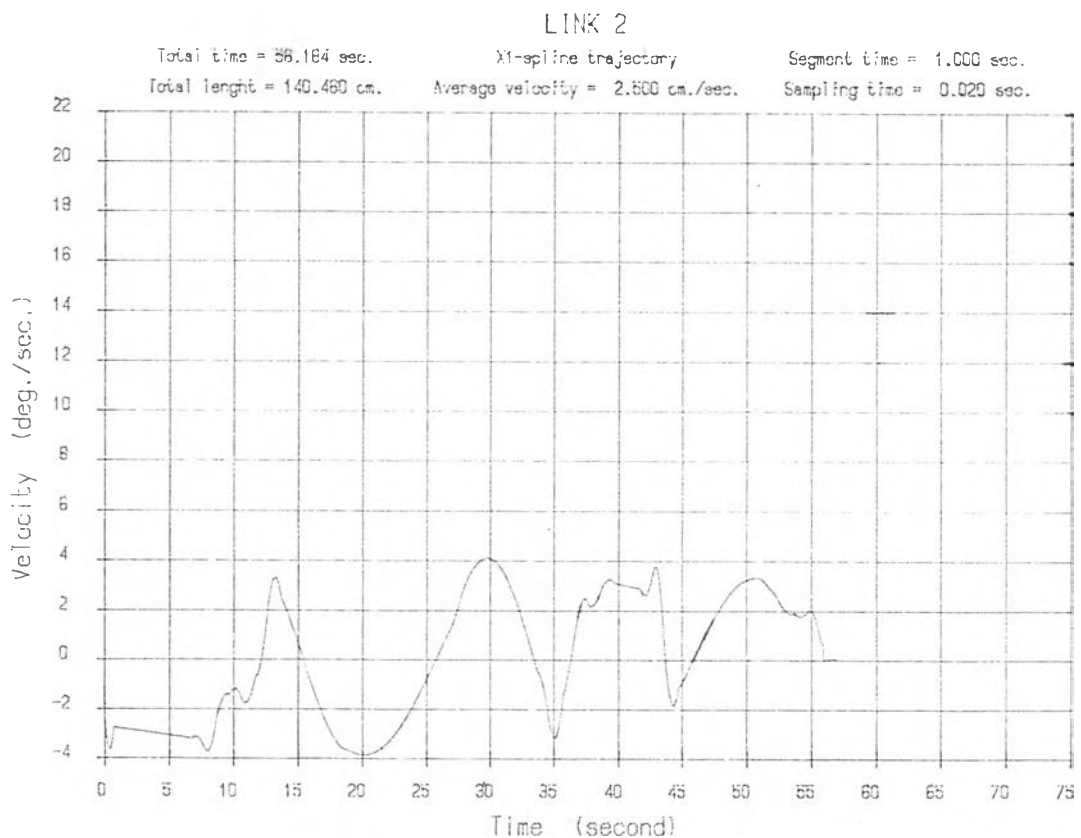
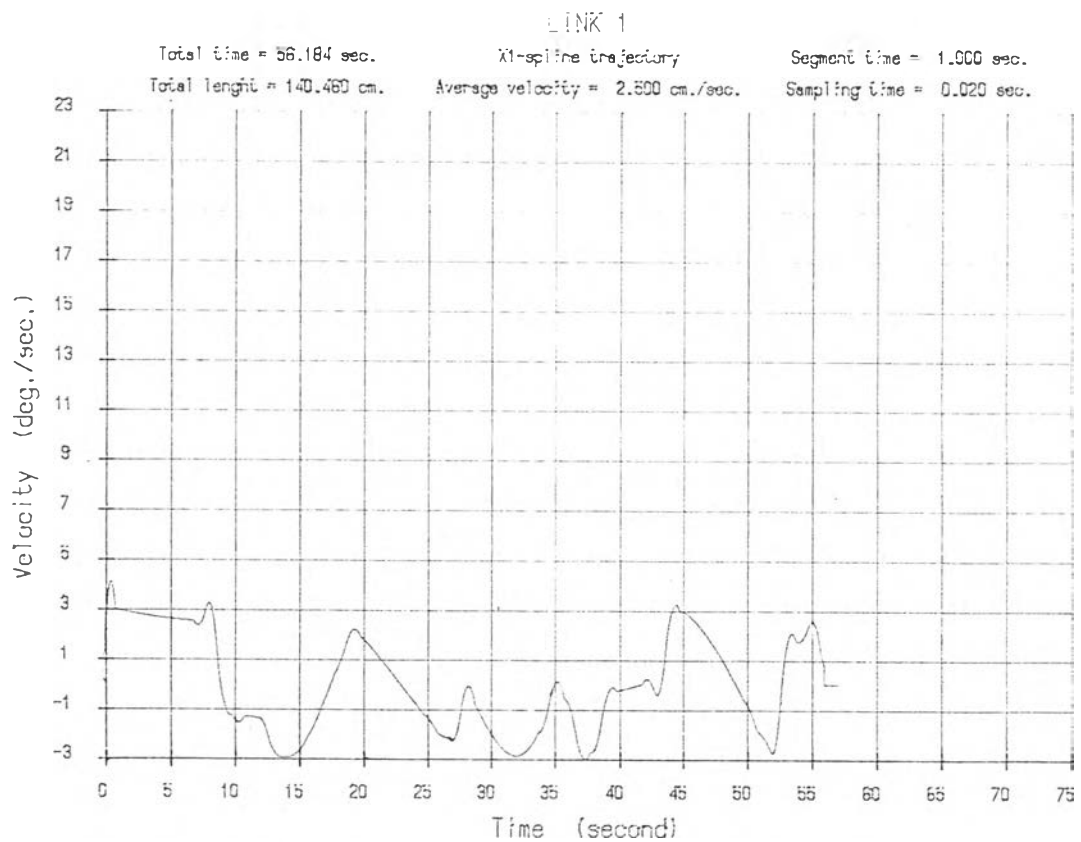
กราฟประกอบการศึกษาความราบเรียบของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้น



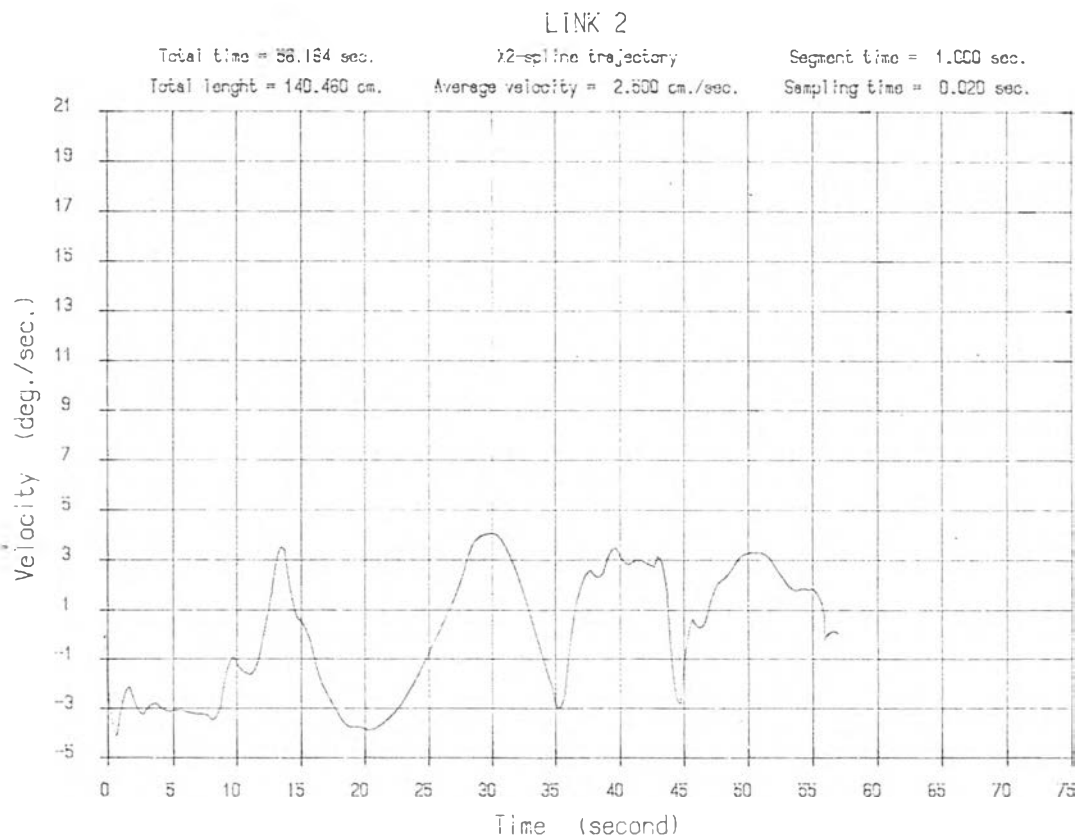
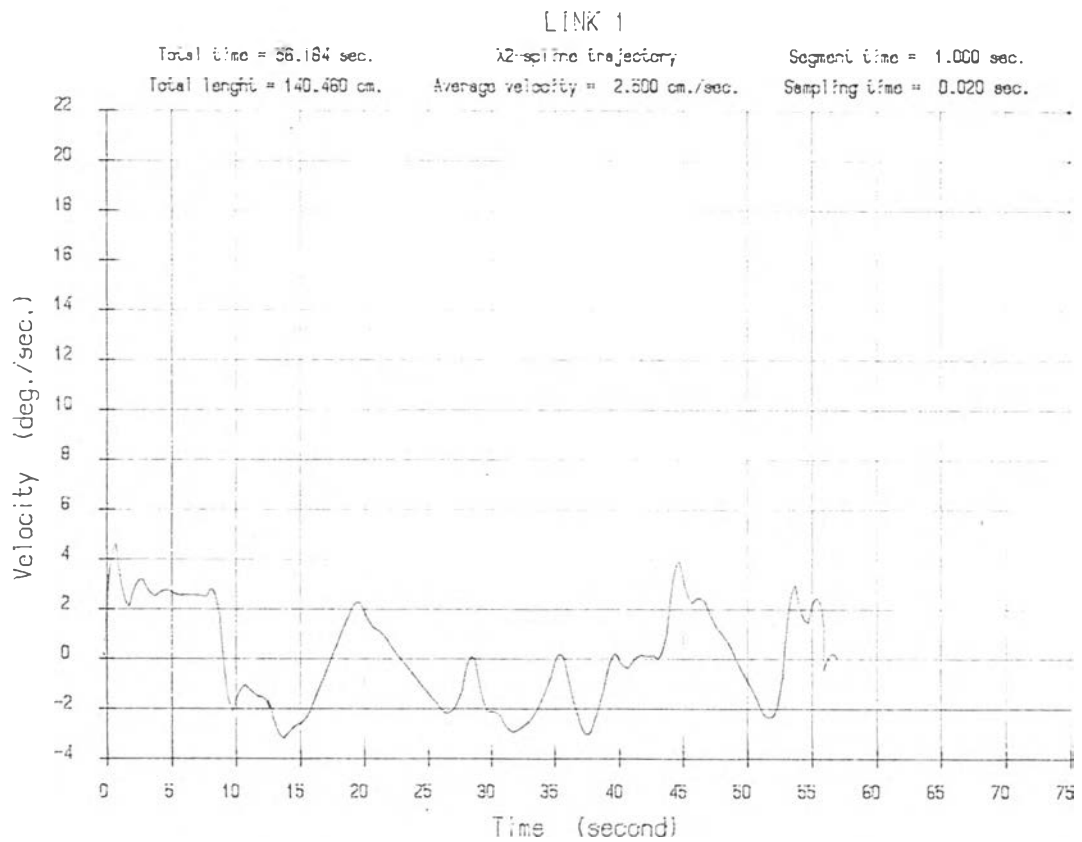
รูปที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแบ่ง-แบ่งของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



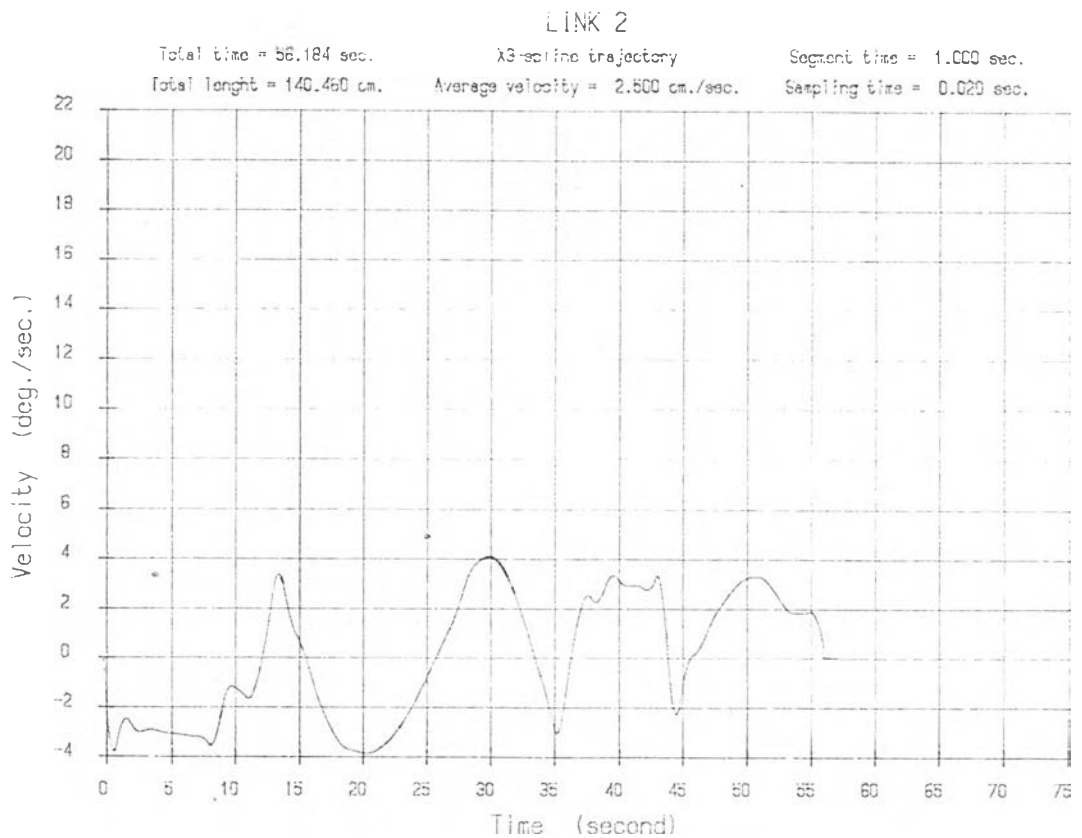
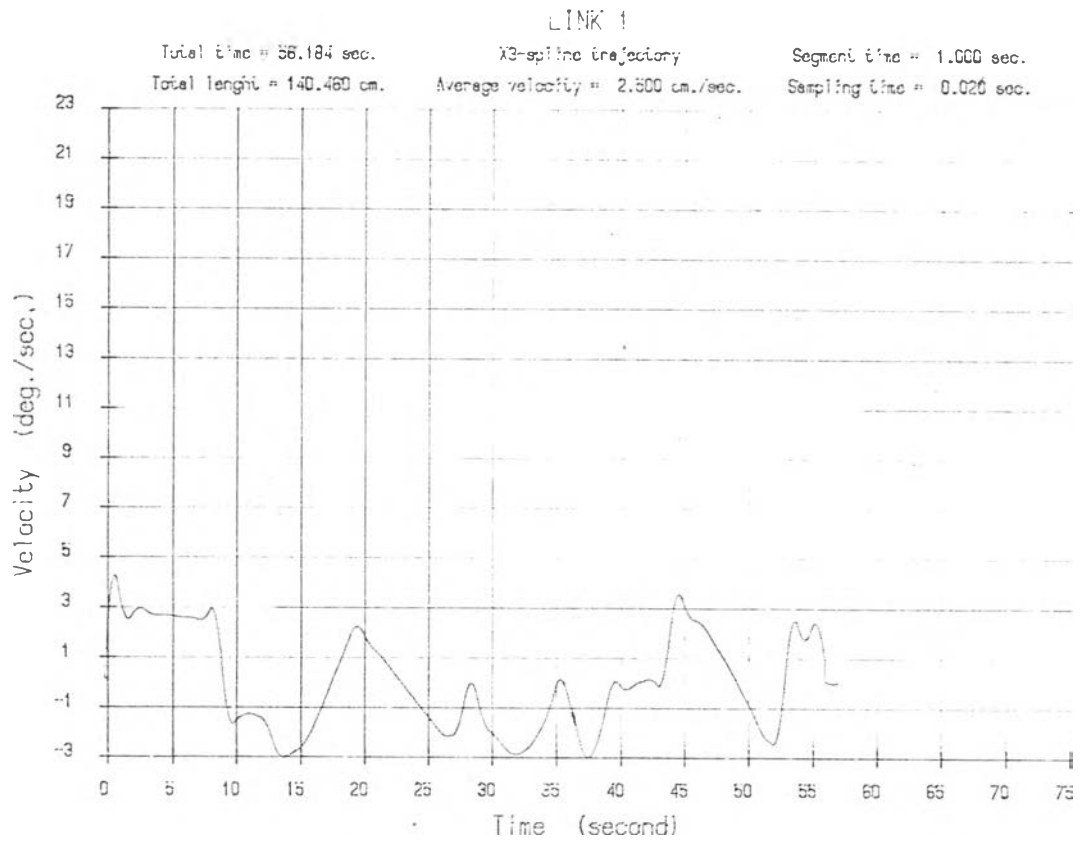
รูปที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดตริกของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



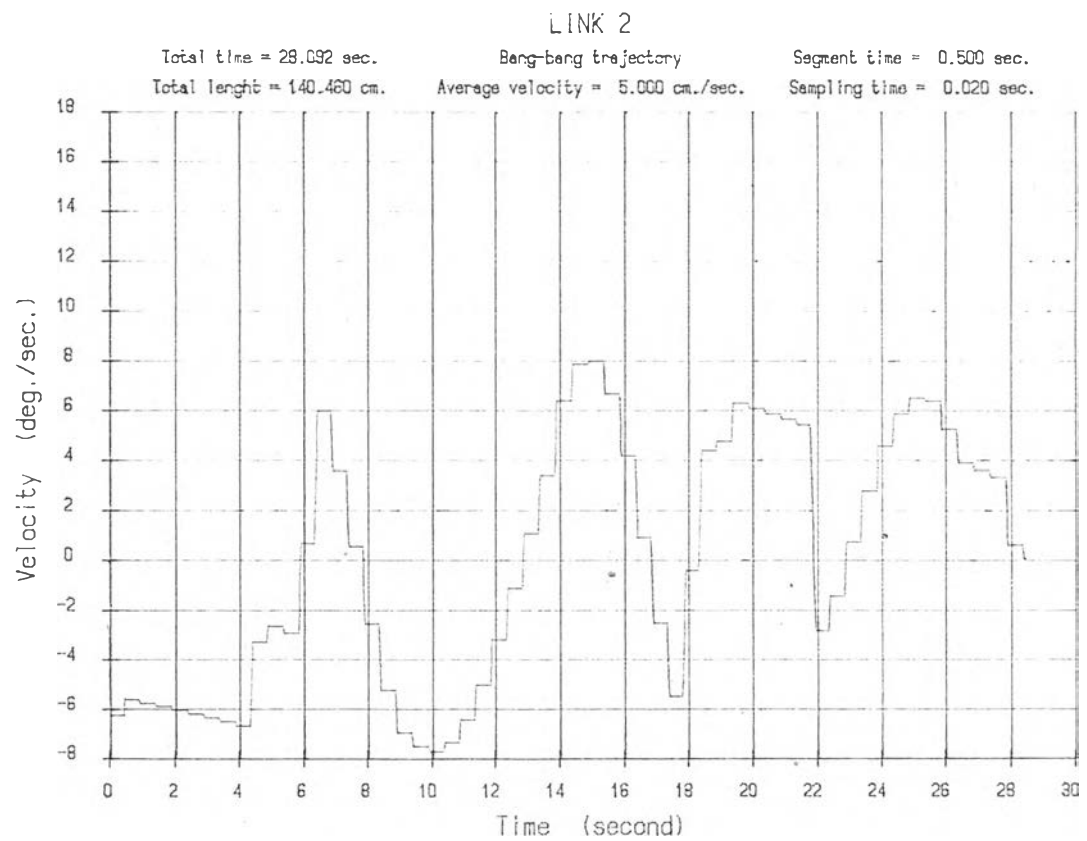
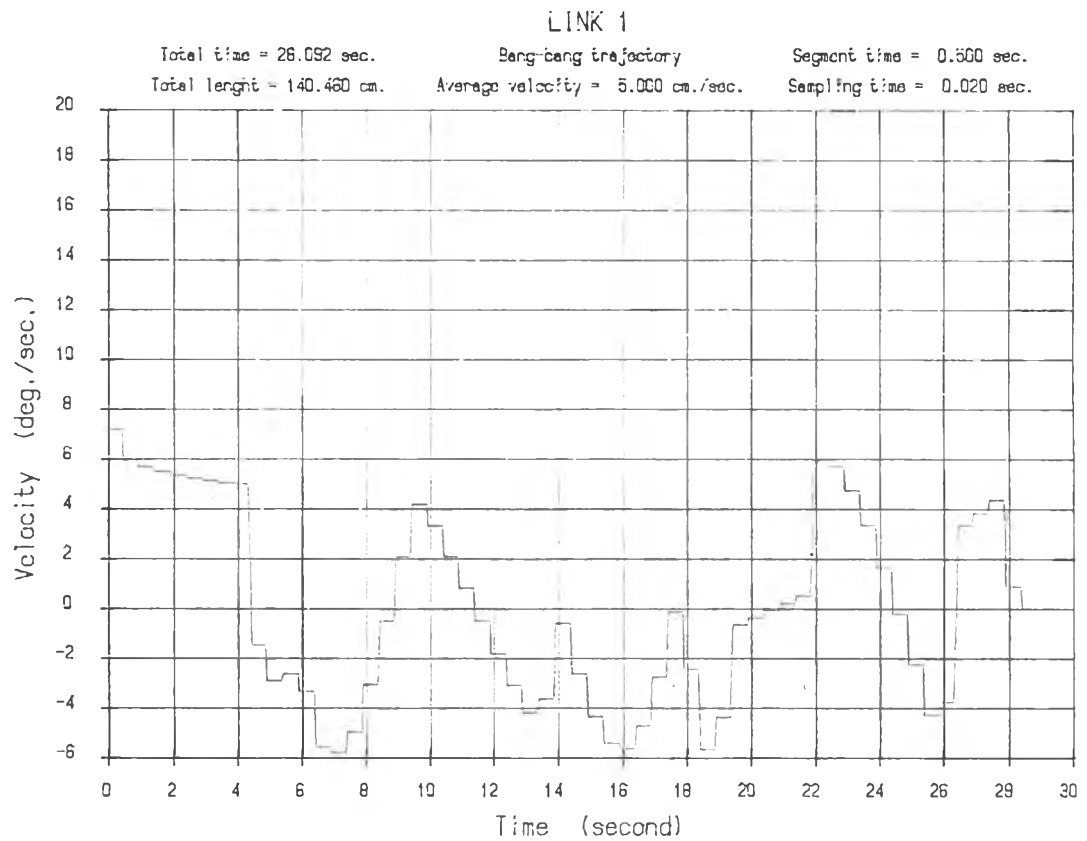
รูปที่ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์โพลีนชนิดที่ 1 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



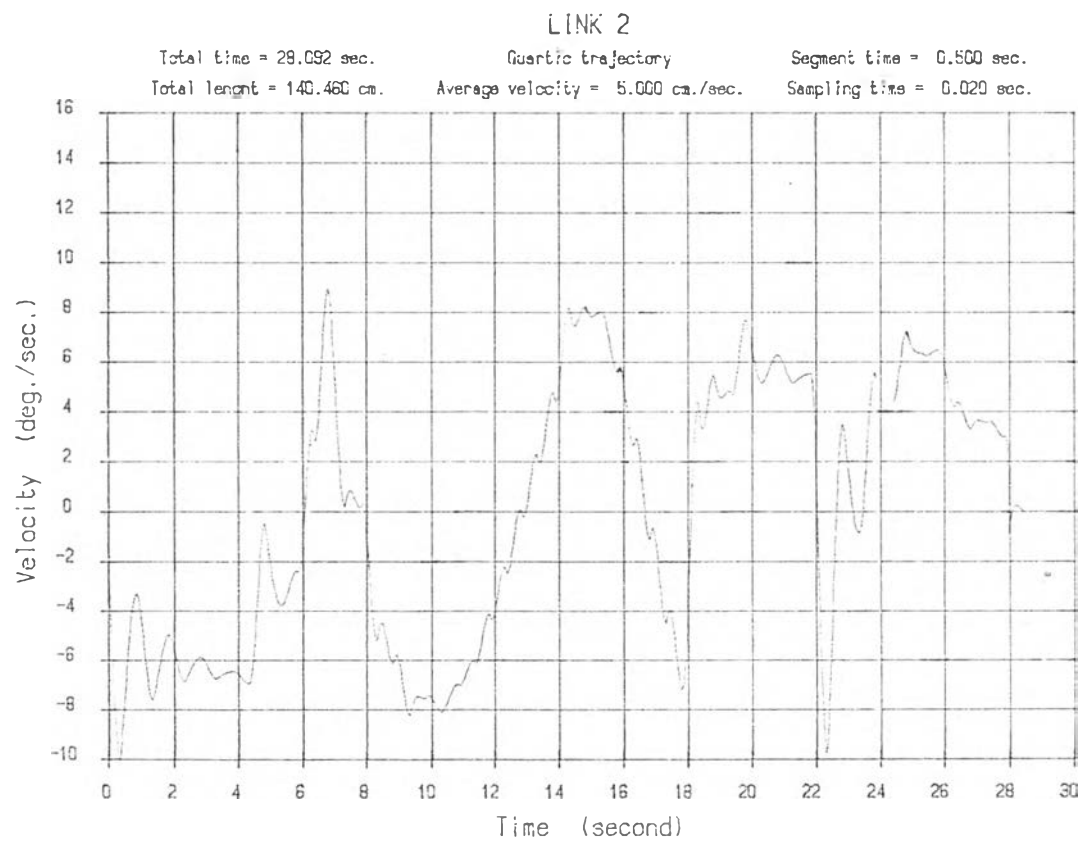
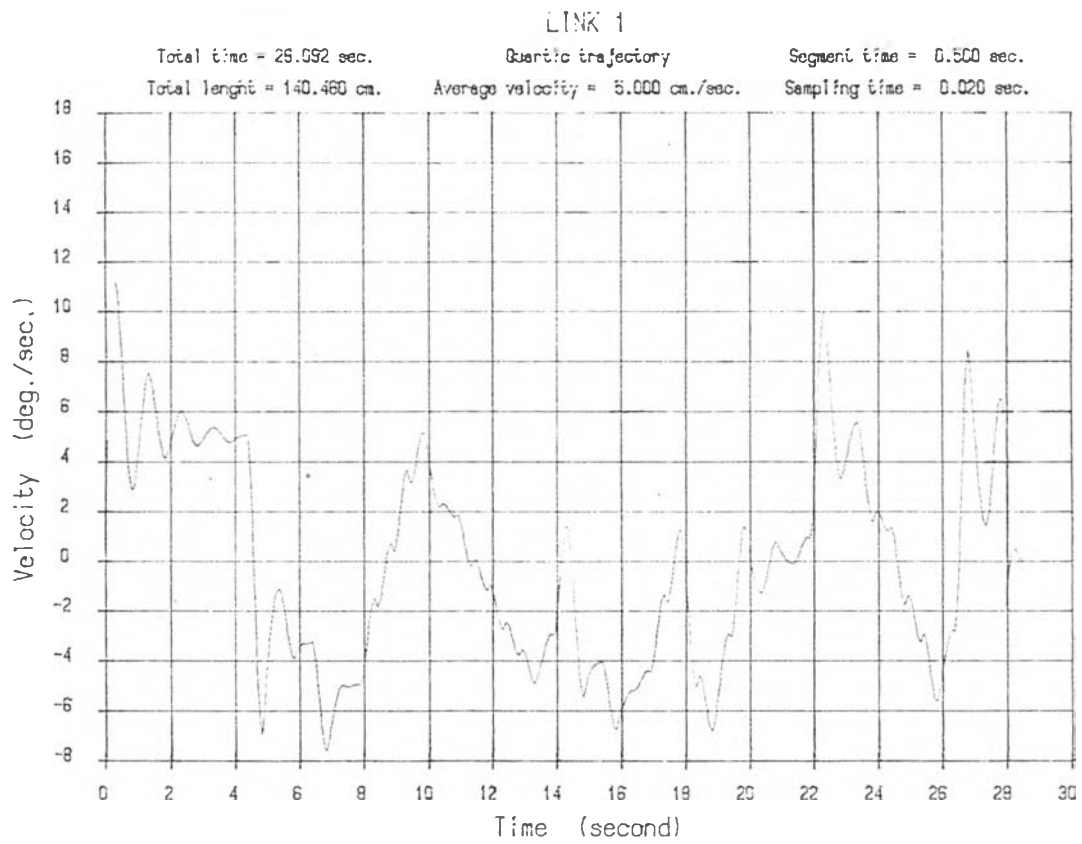
รูปที่ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนชันดีกรี 2 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



รูปที่ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปนซ์ชนิดที่ 3 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินน้อย 2.5 cm.



รูปที่ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแ่ง-แ่งของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



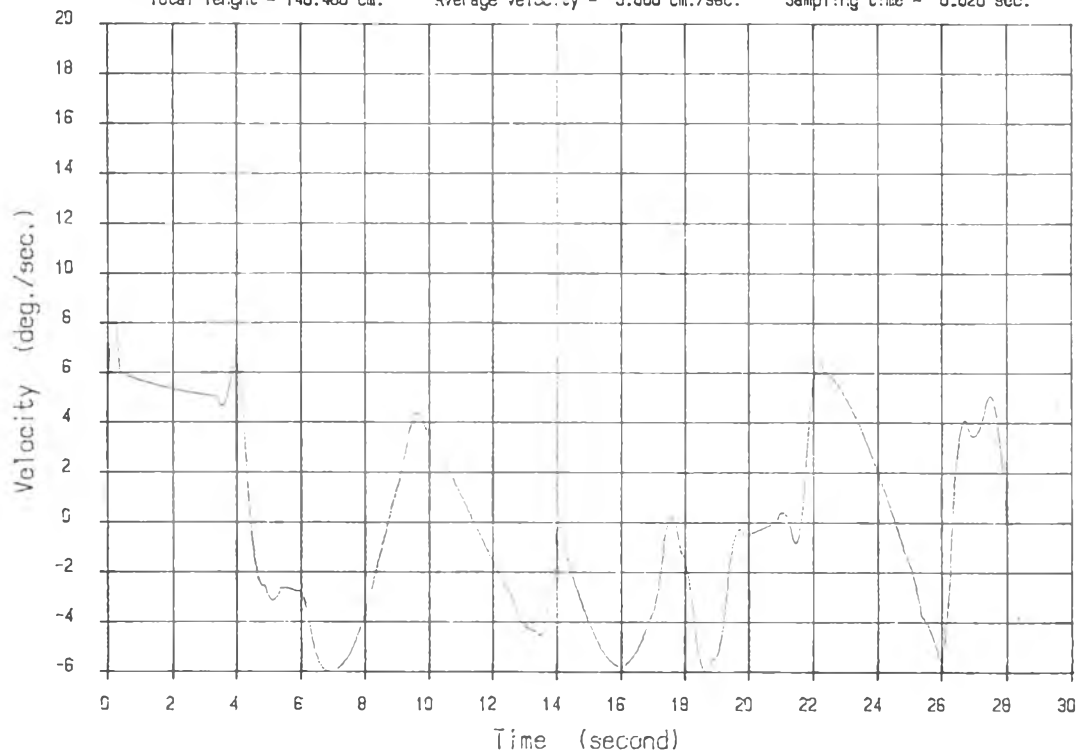
รูปที่ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติกของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.

LINK 1

Total time = 28.092 sec.
Total length = 140.460 cm.

X1-spline trajectory
Average velocity = 5.000 cm./sec.

Segment time = 0.500 sec.
Sampling time = 0.020 sec.

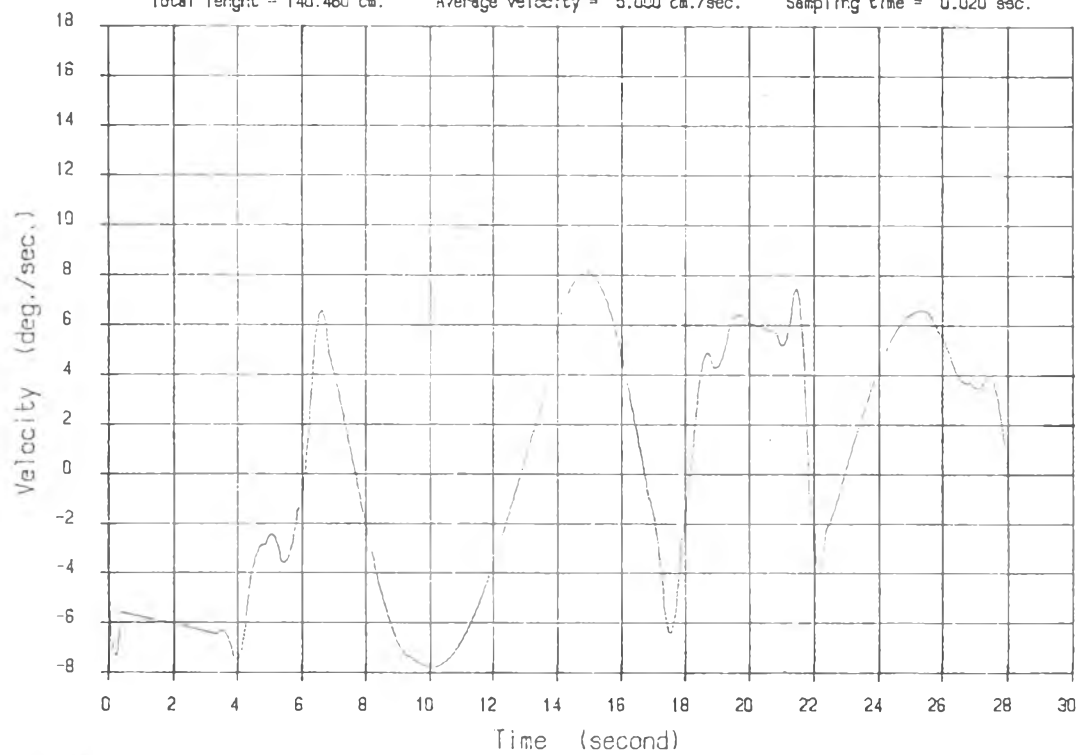


LINK 2

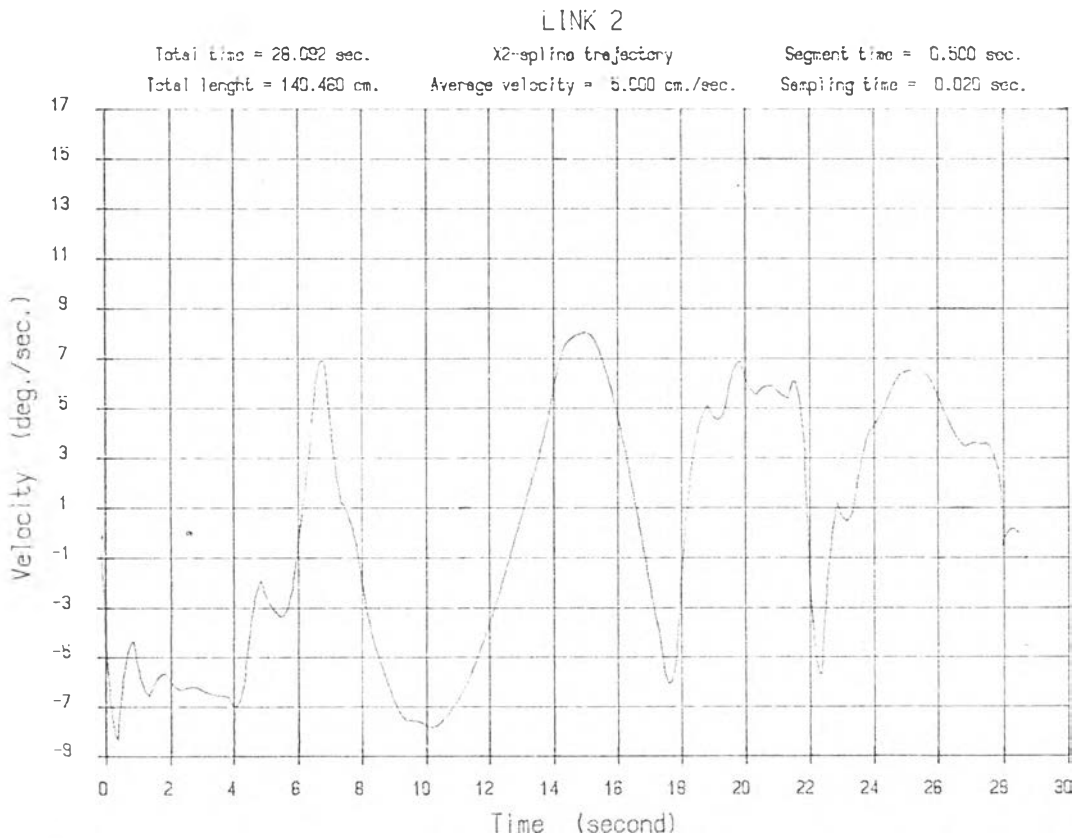
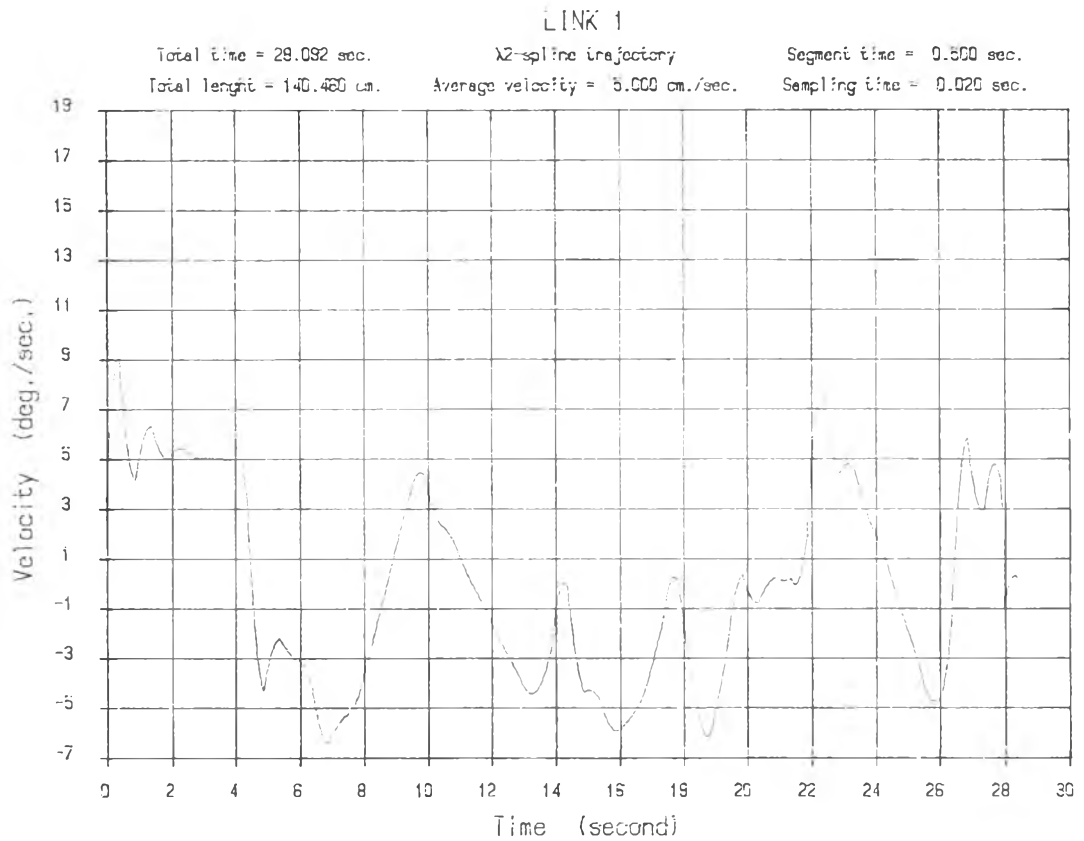
Total time = 28.092 sec.
Total length = 140.460 cm.

X1-spline trajectory
Average velocity = 5.000 cm./sec.

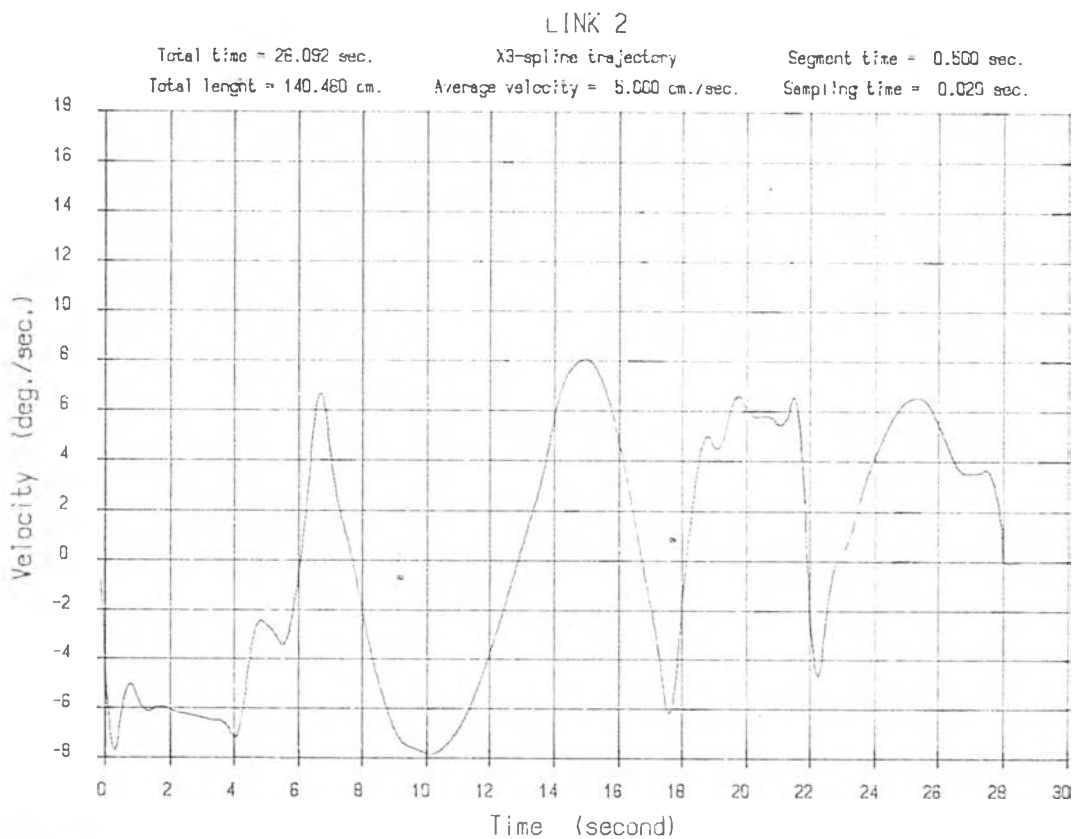
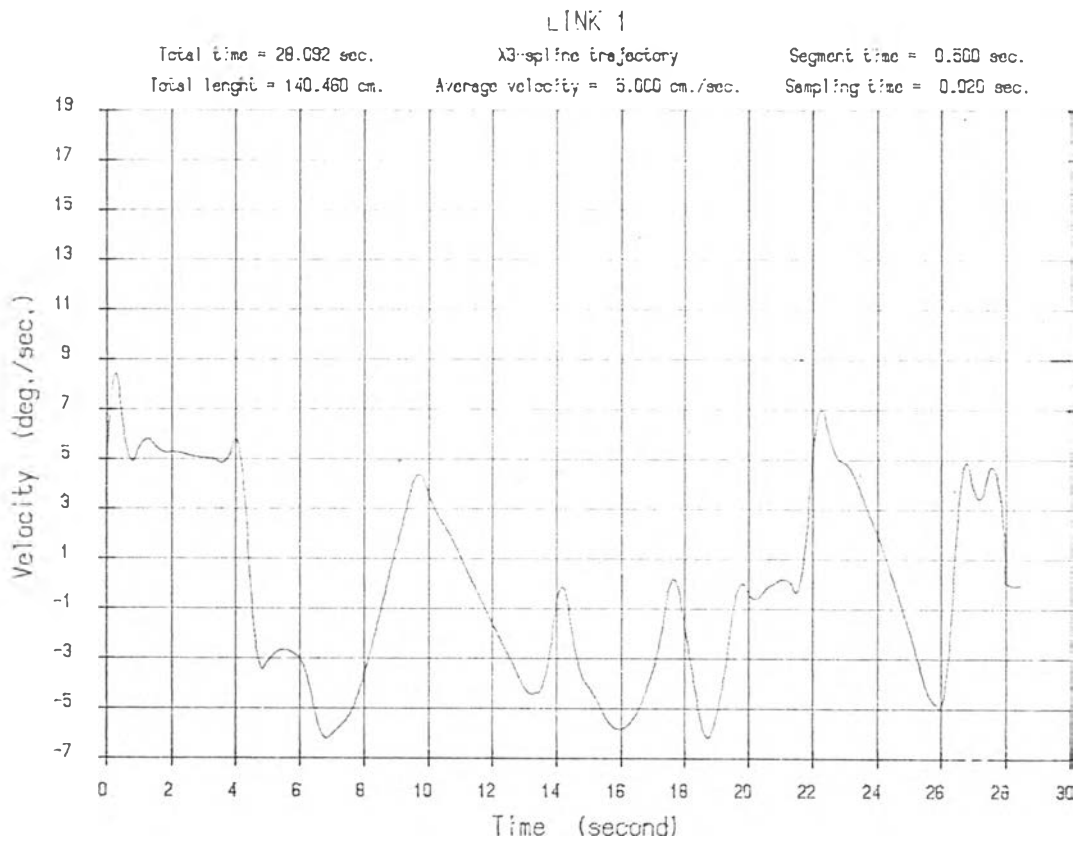
Segment time = 0.500 sec.
Sampling time = 0.020 sec.



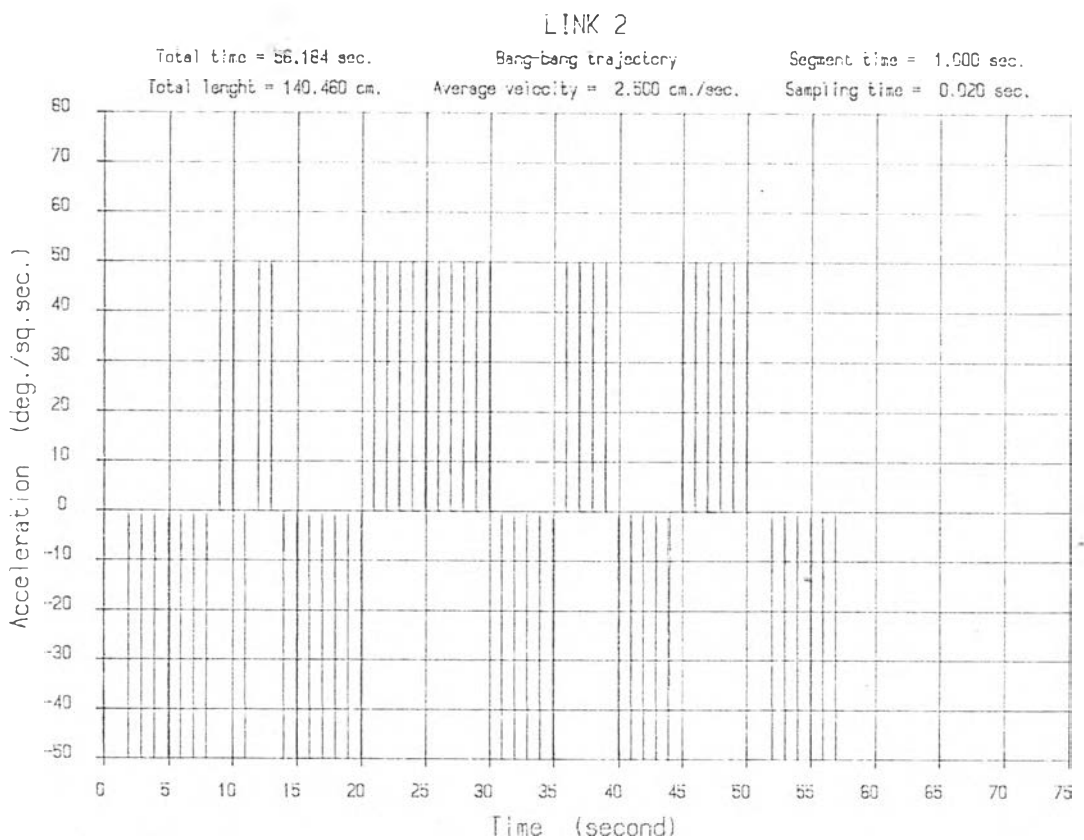
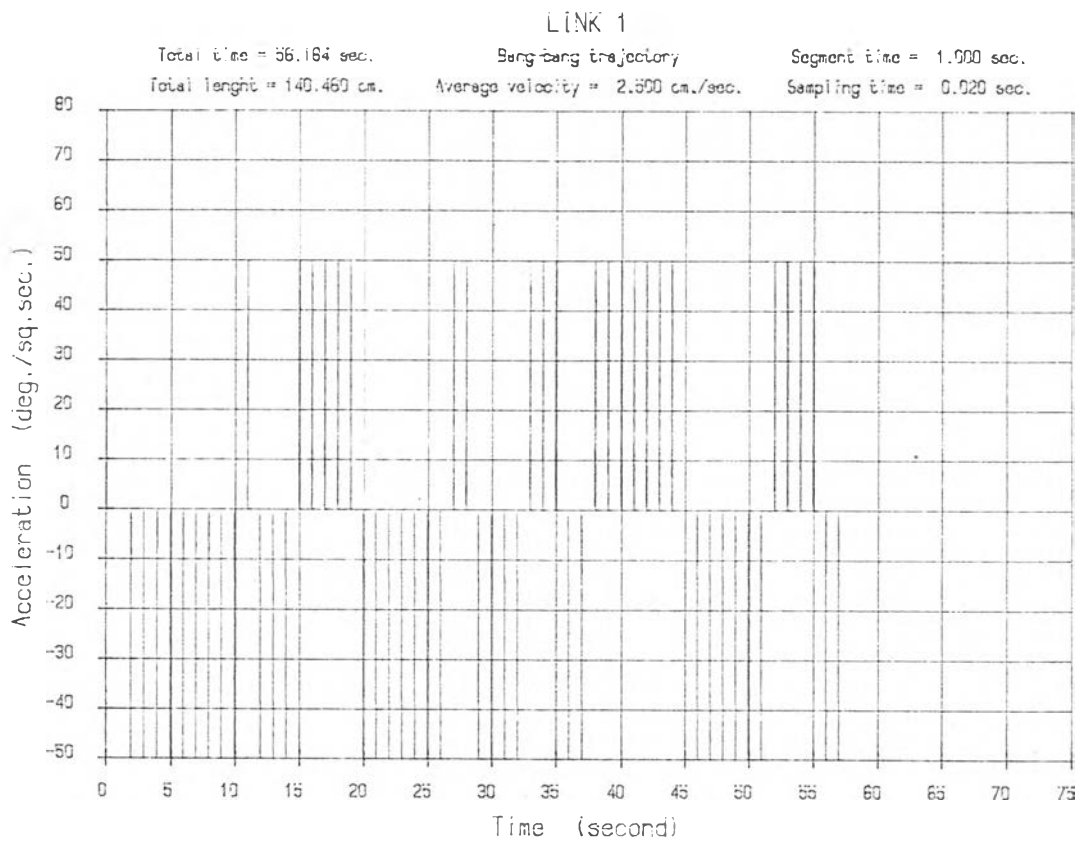
รูปที่ 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปซ์ชนิดที่ 1 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



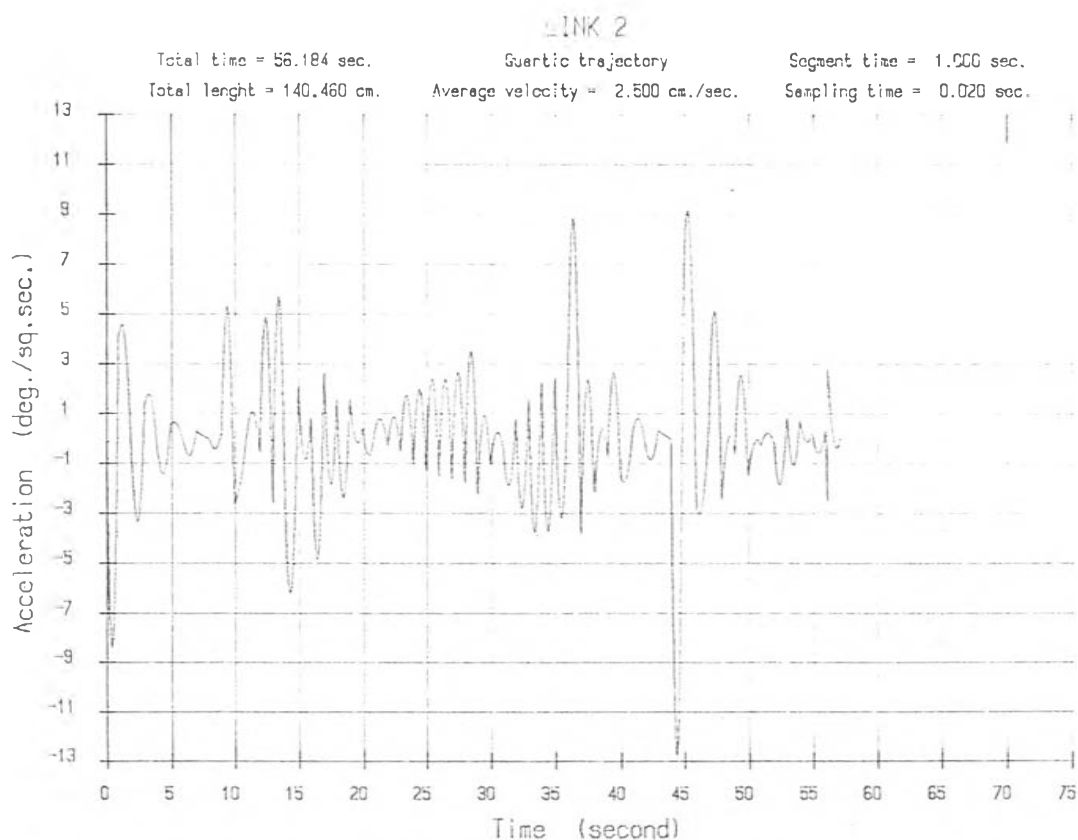
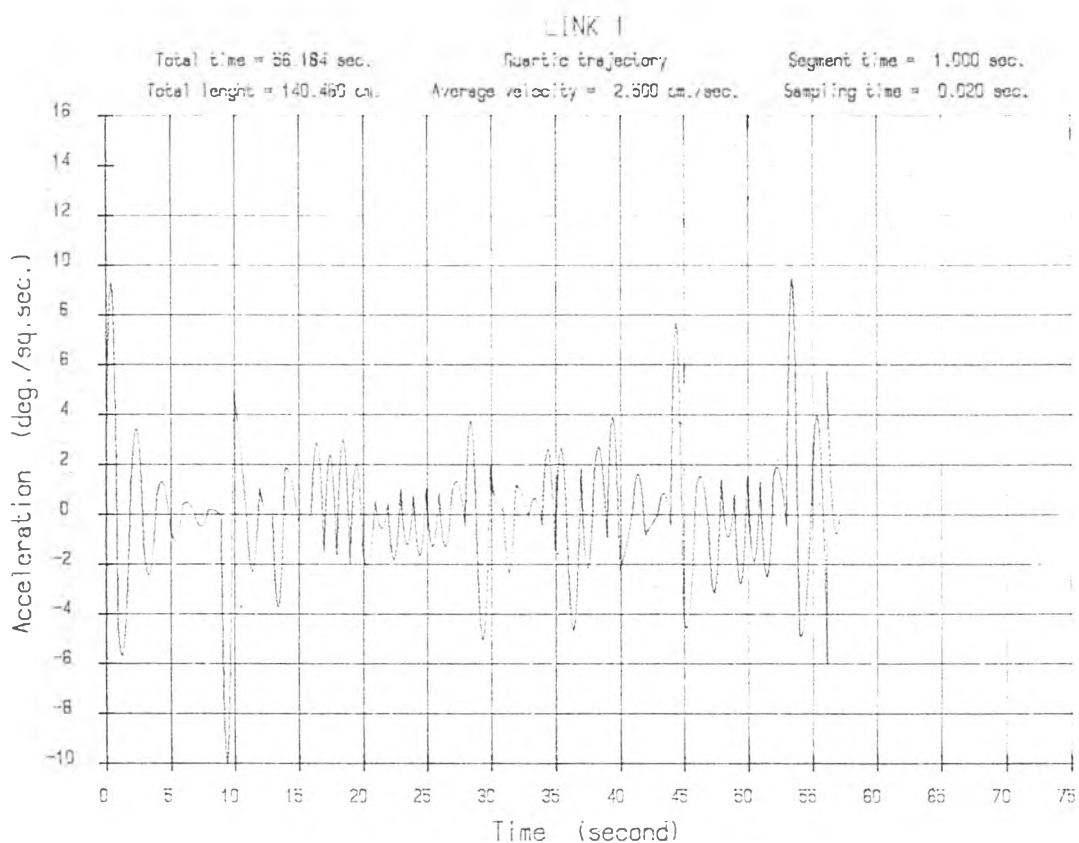
รูปที่ 46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์โพลีชนิดที่ 2 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



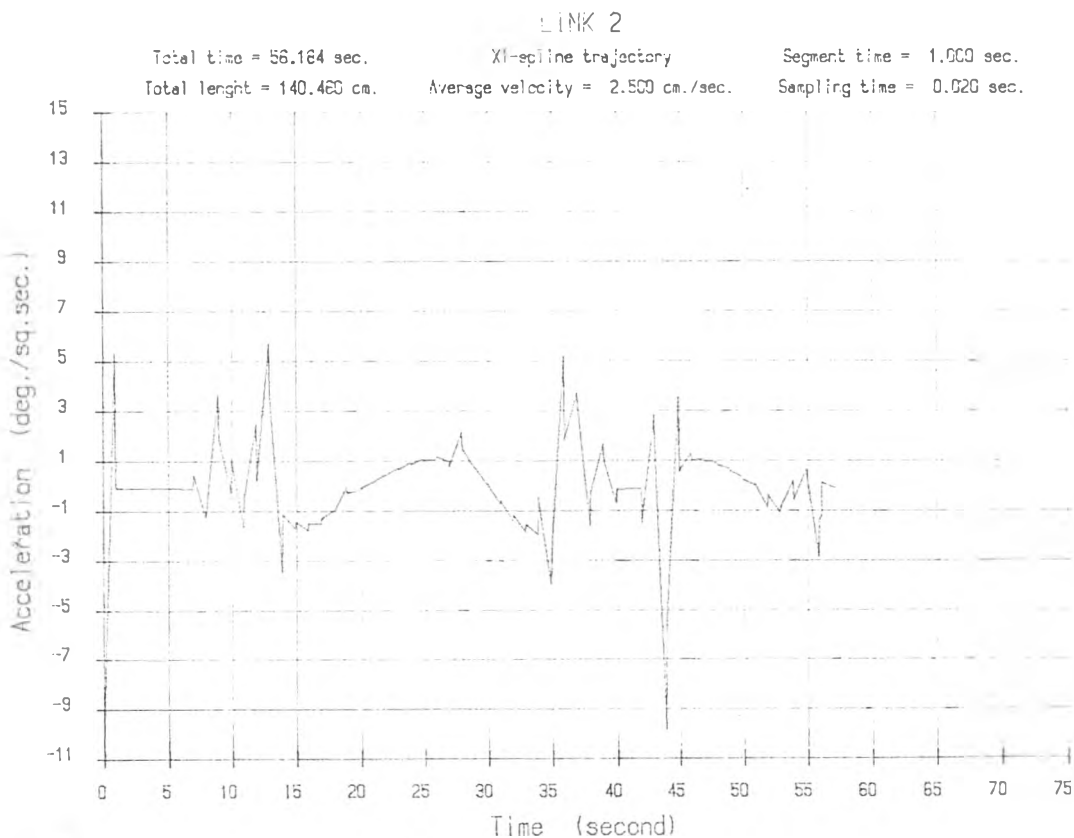
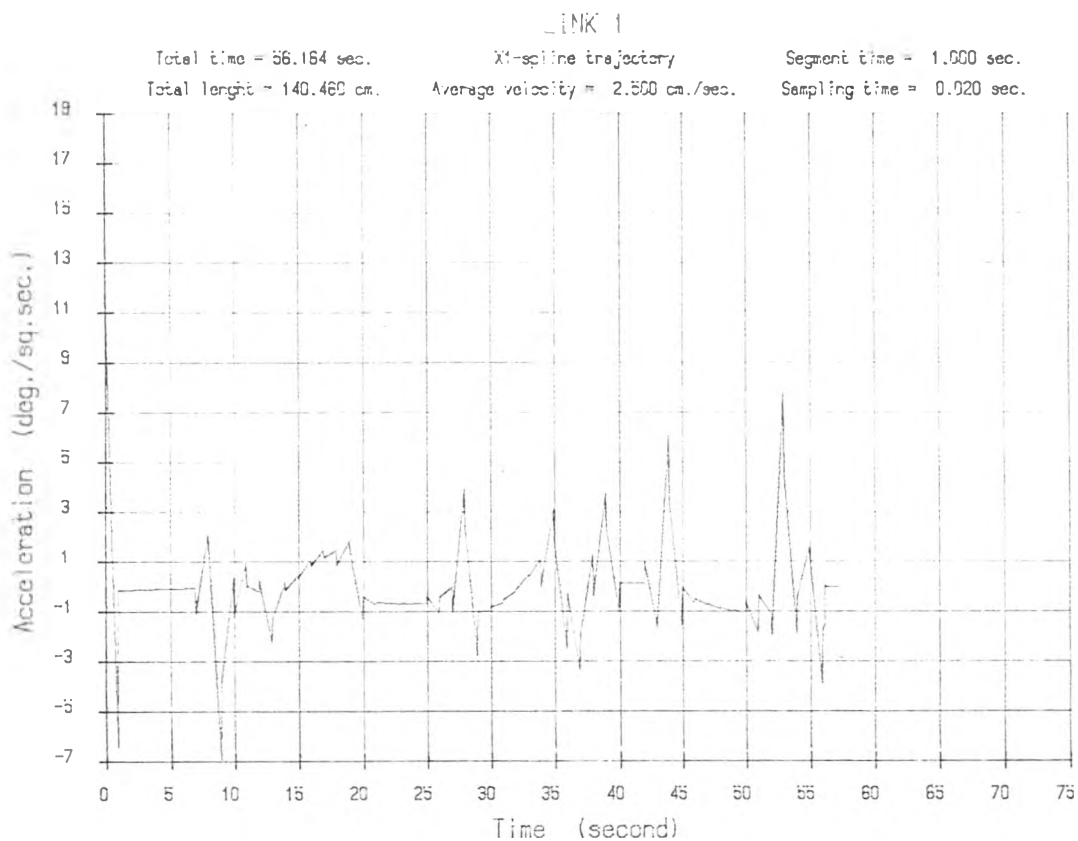
รูปที่ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสไปนซ์อันดับที่ 3 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



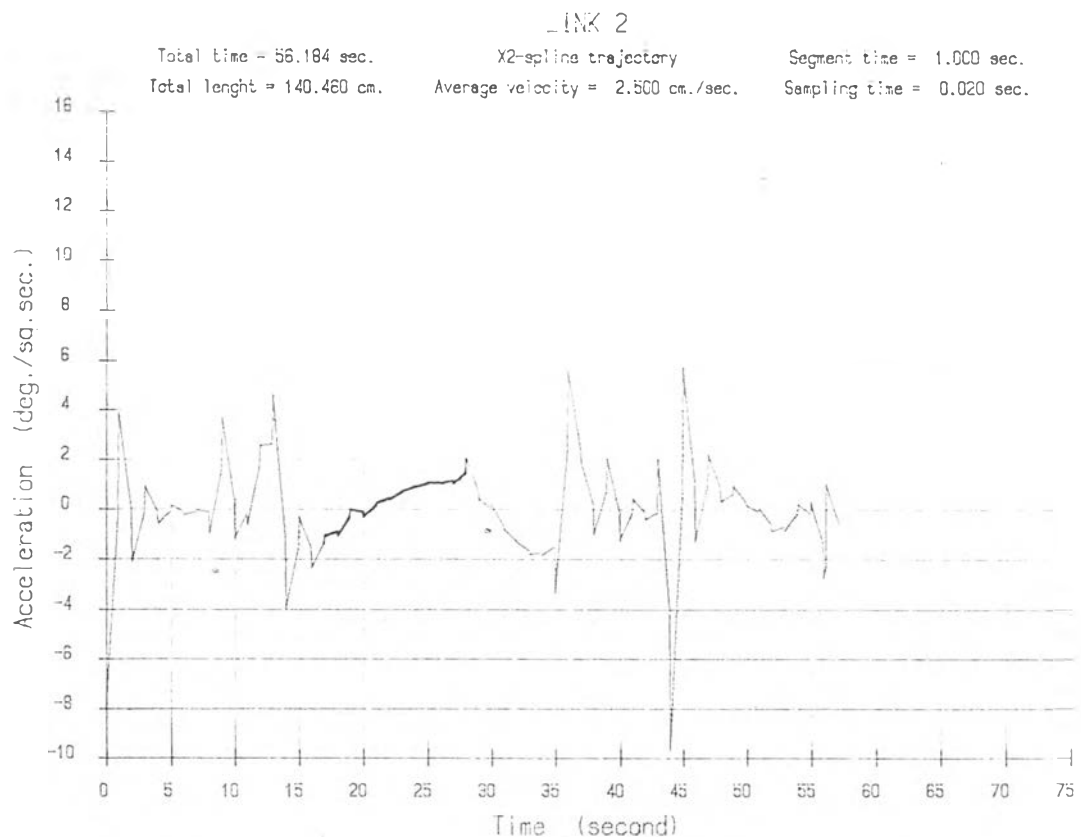
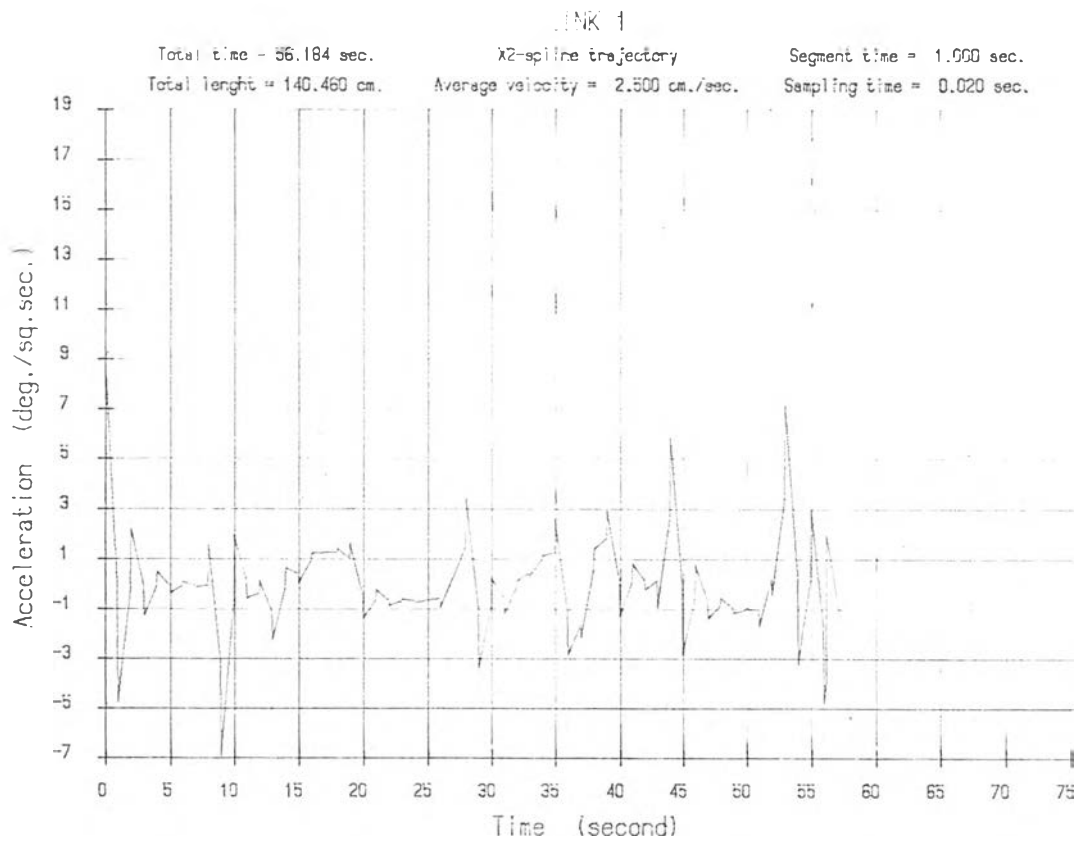
รูปที่ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแวง-แวงของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



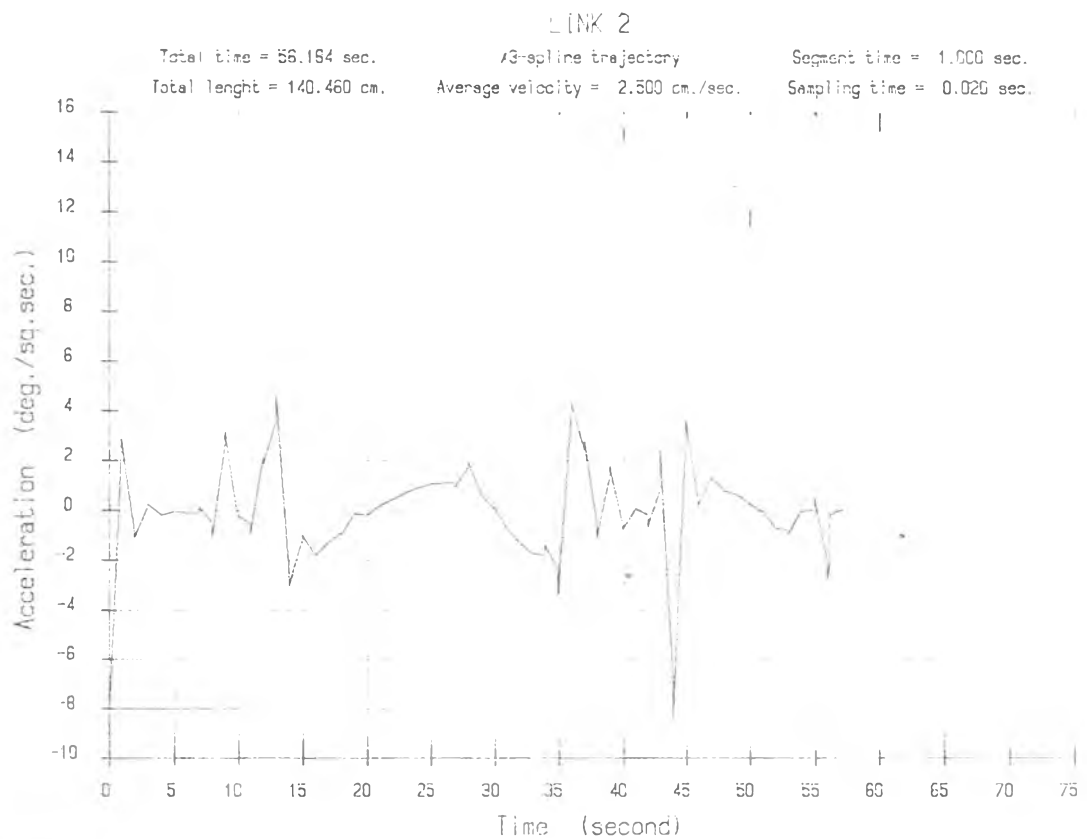
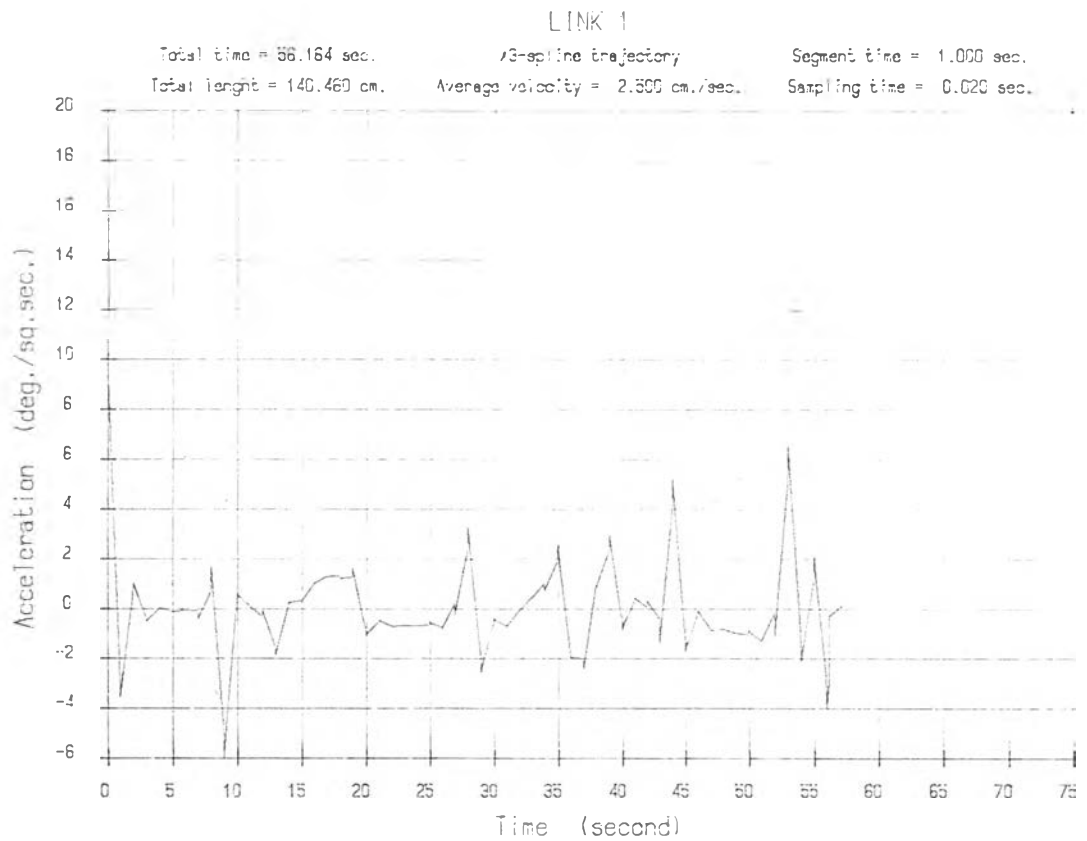
รูปที่ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดติกของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



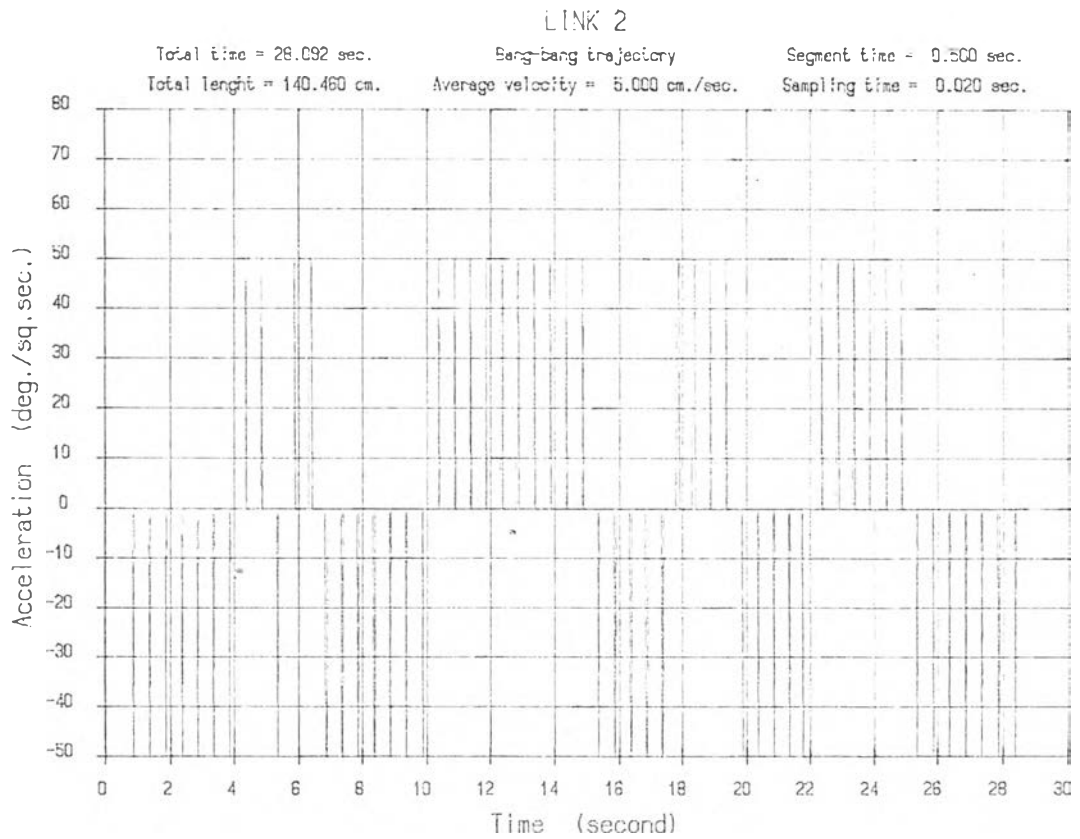
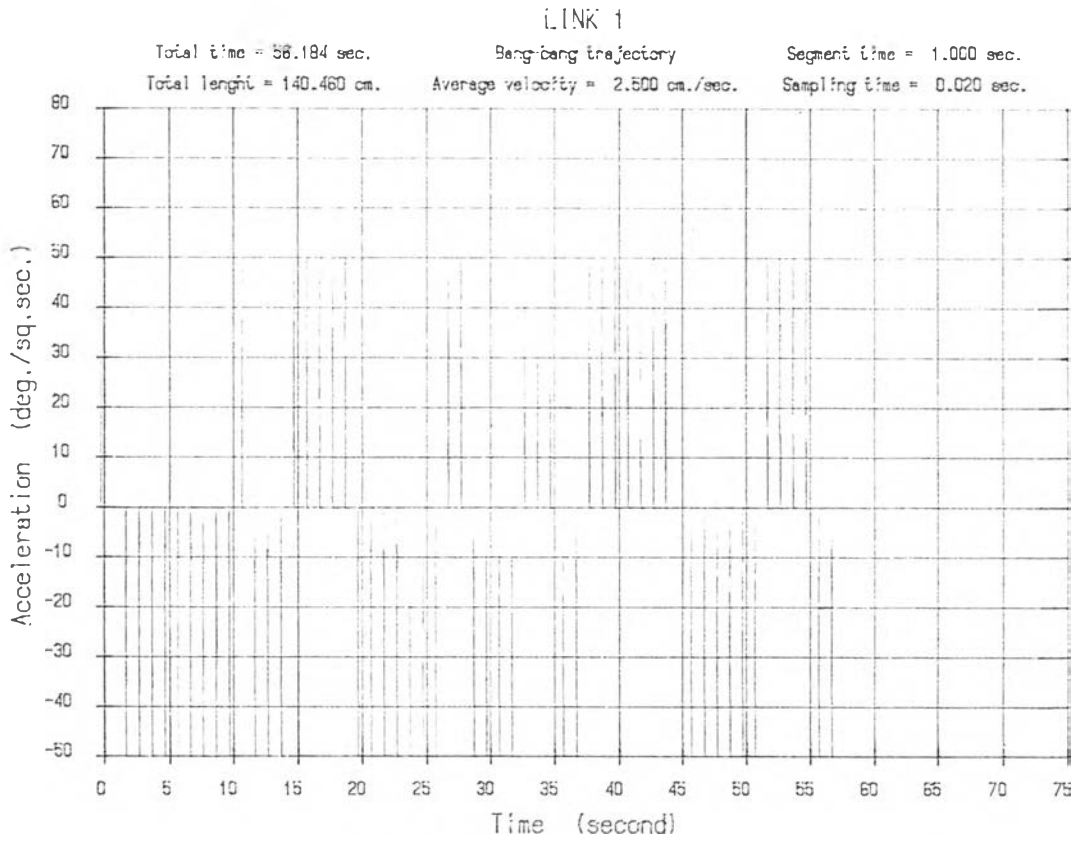
รูปที่ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปนซ์ชนิดที่ 1 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



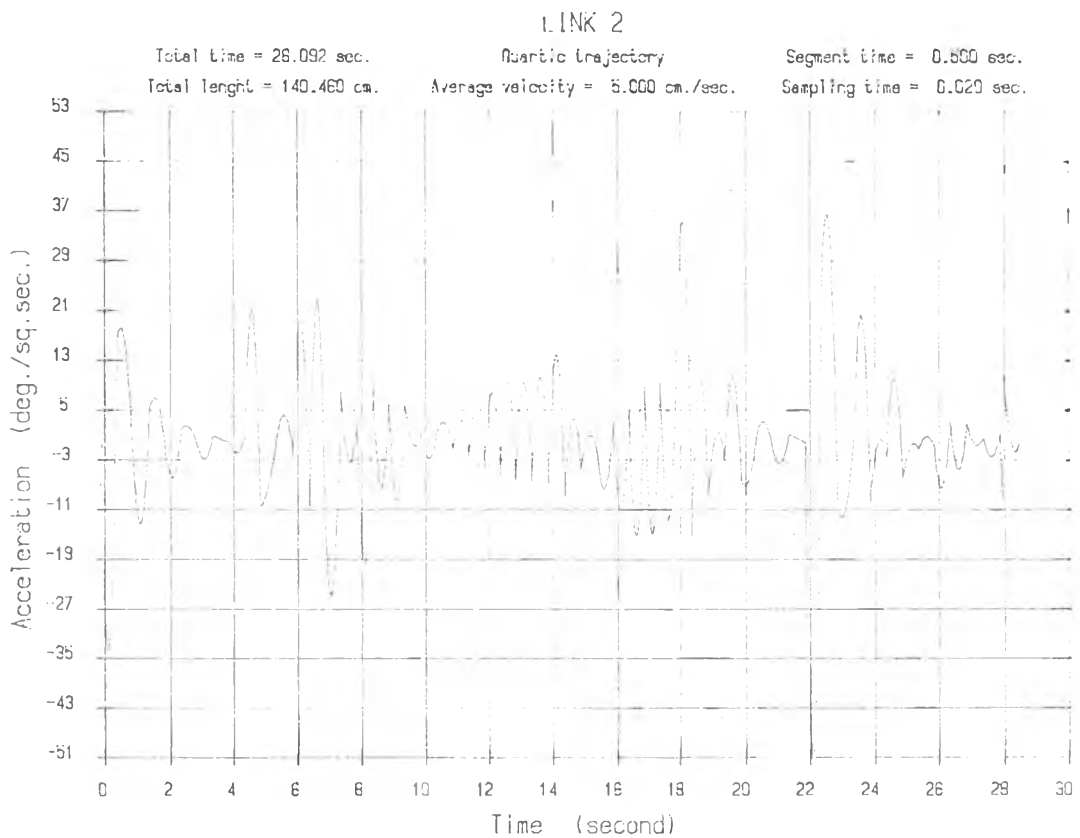
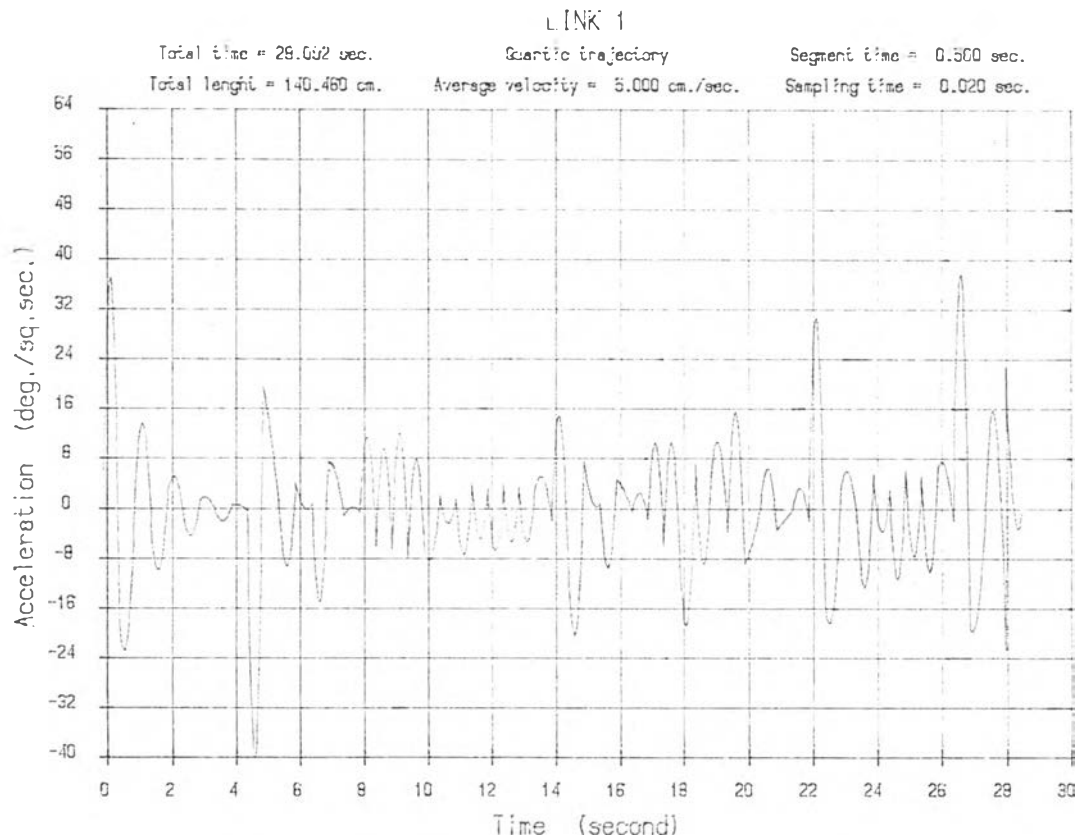
รูปที่ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปซ์ชนิดที่ 2 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



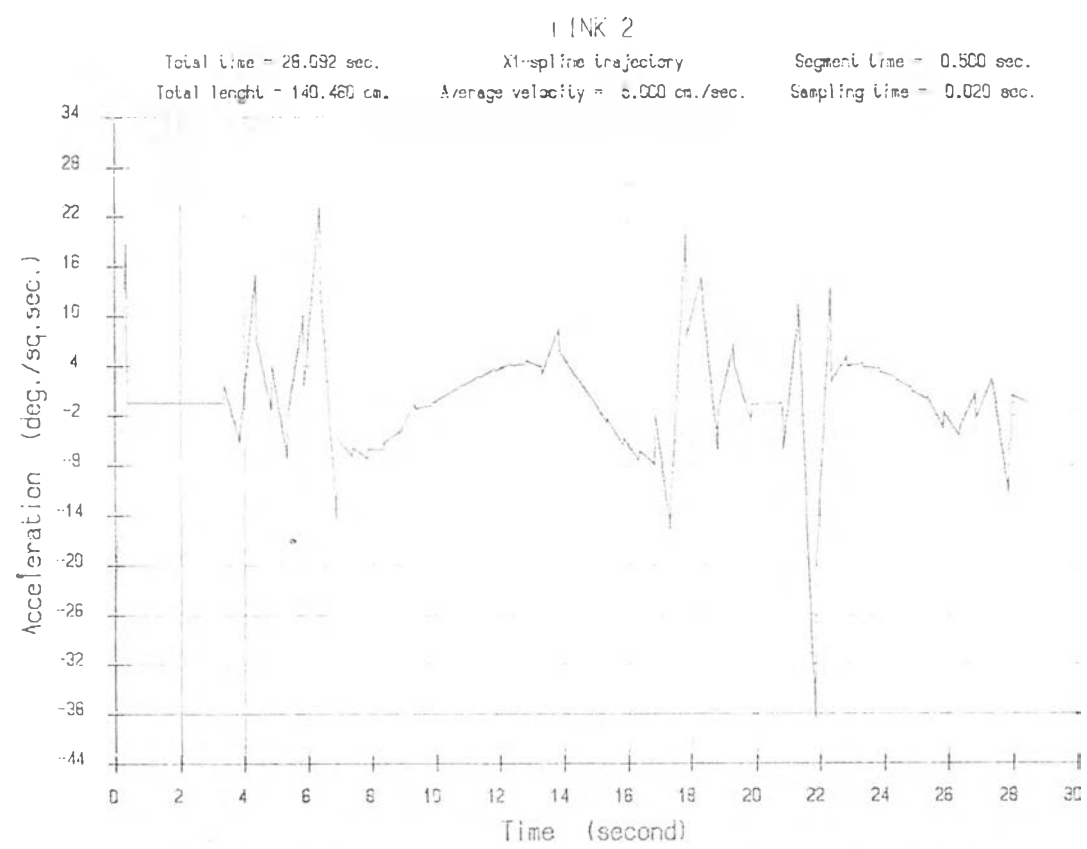
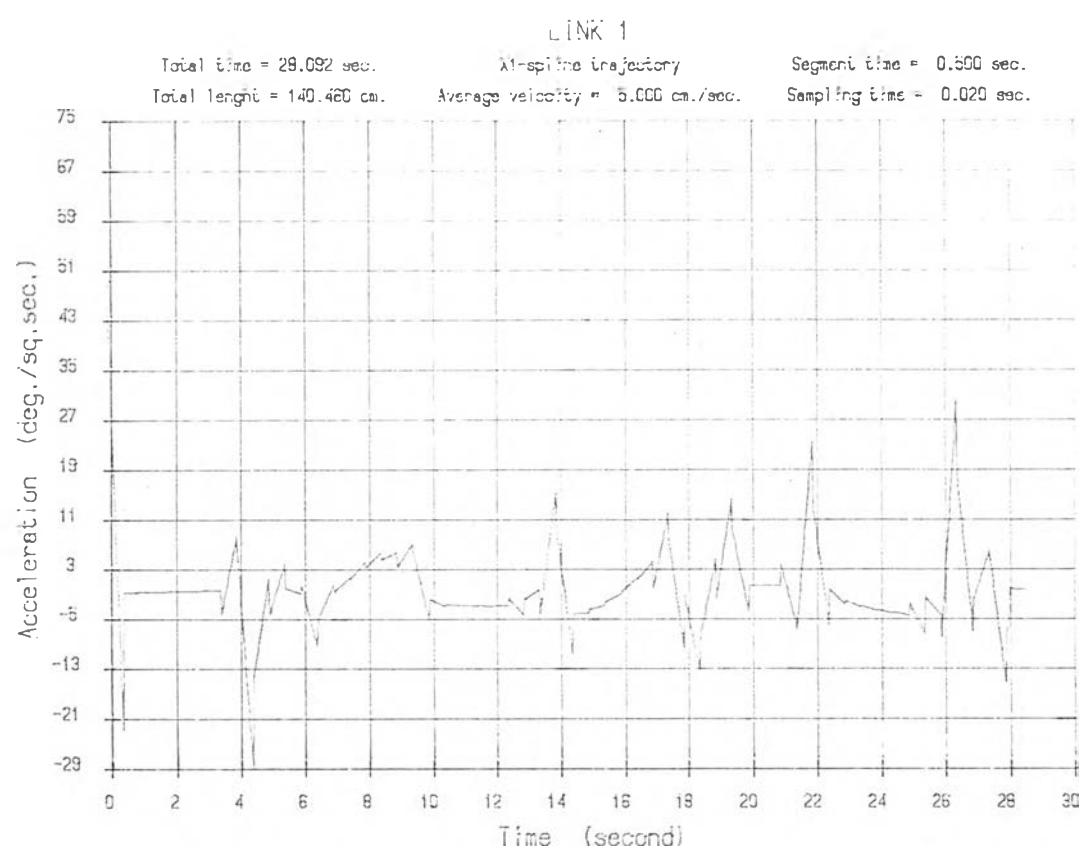
รูปที่ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กสโปลีเนชันที่ 3 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 2.5 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



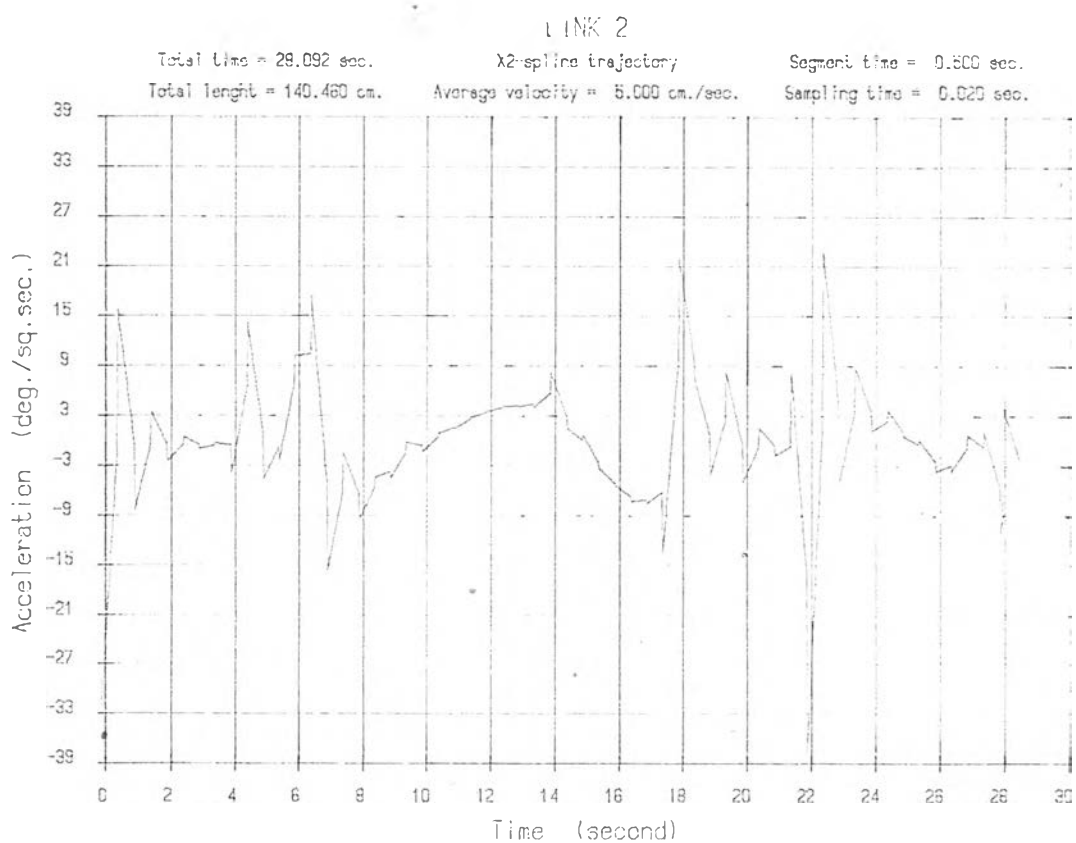
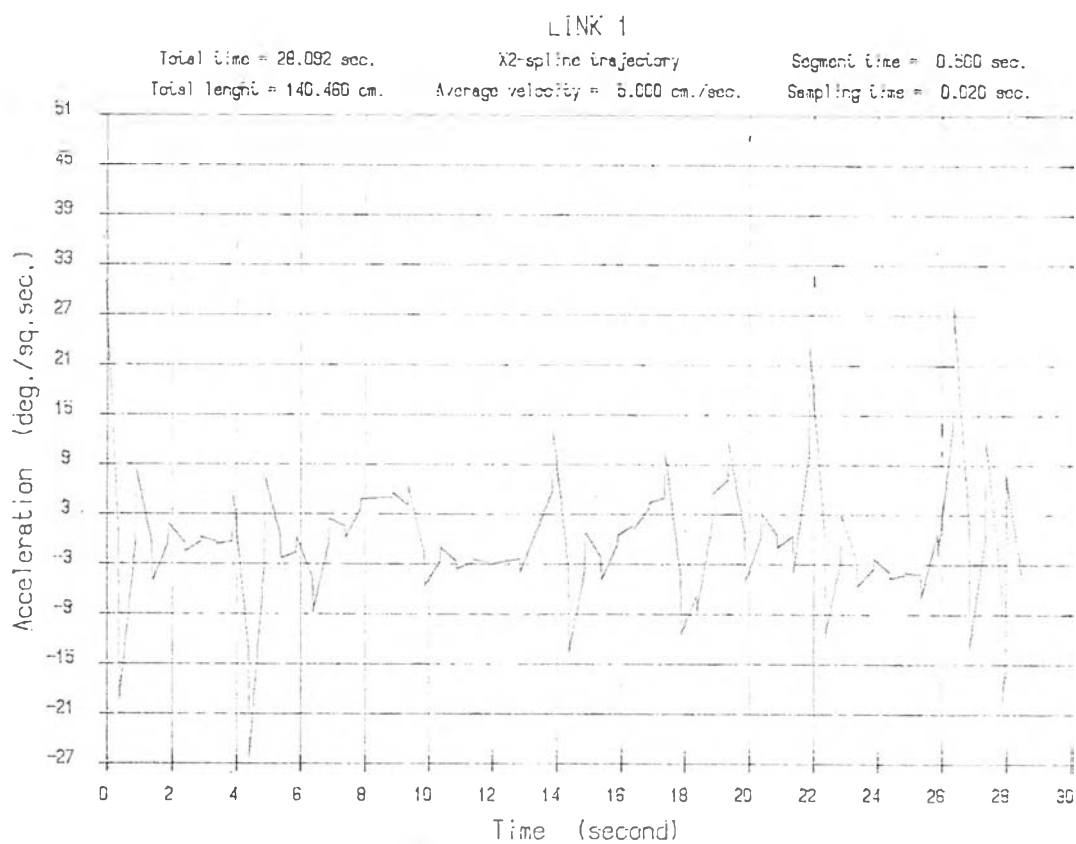
รูปที่ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบแบน-แบนของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



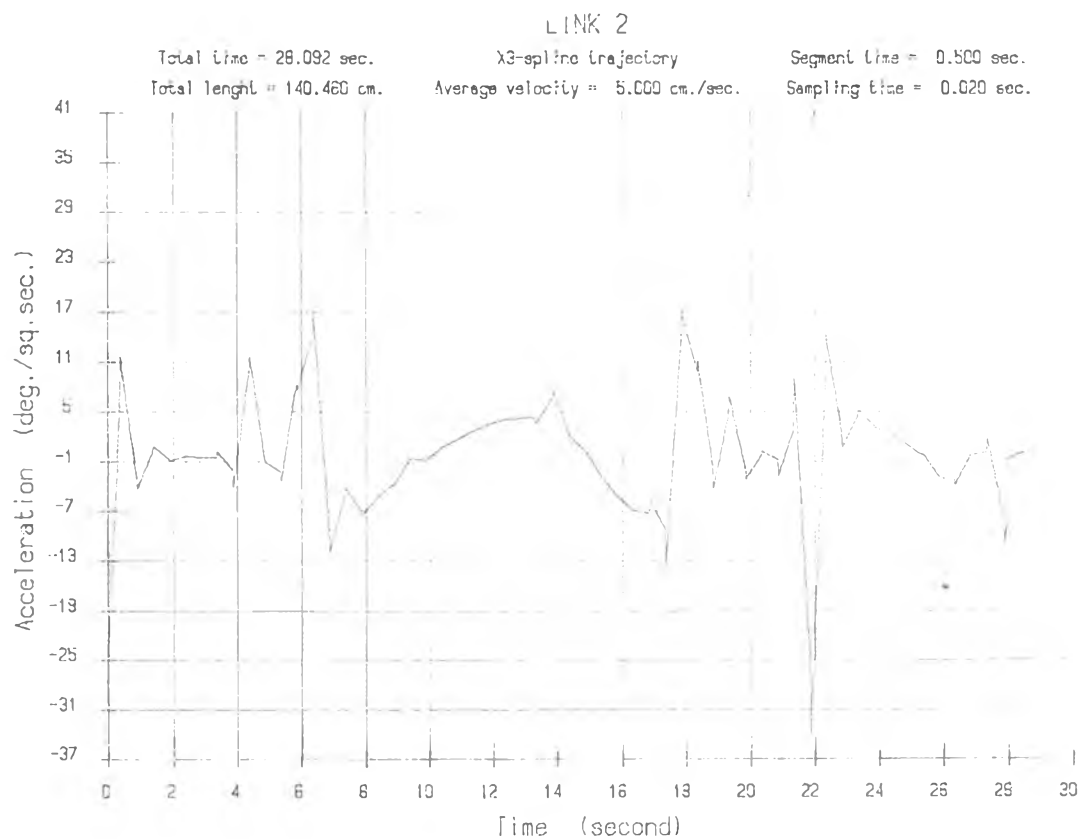
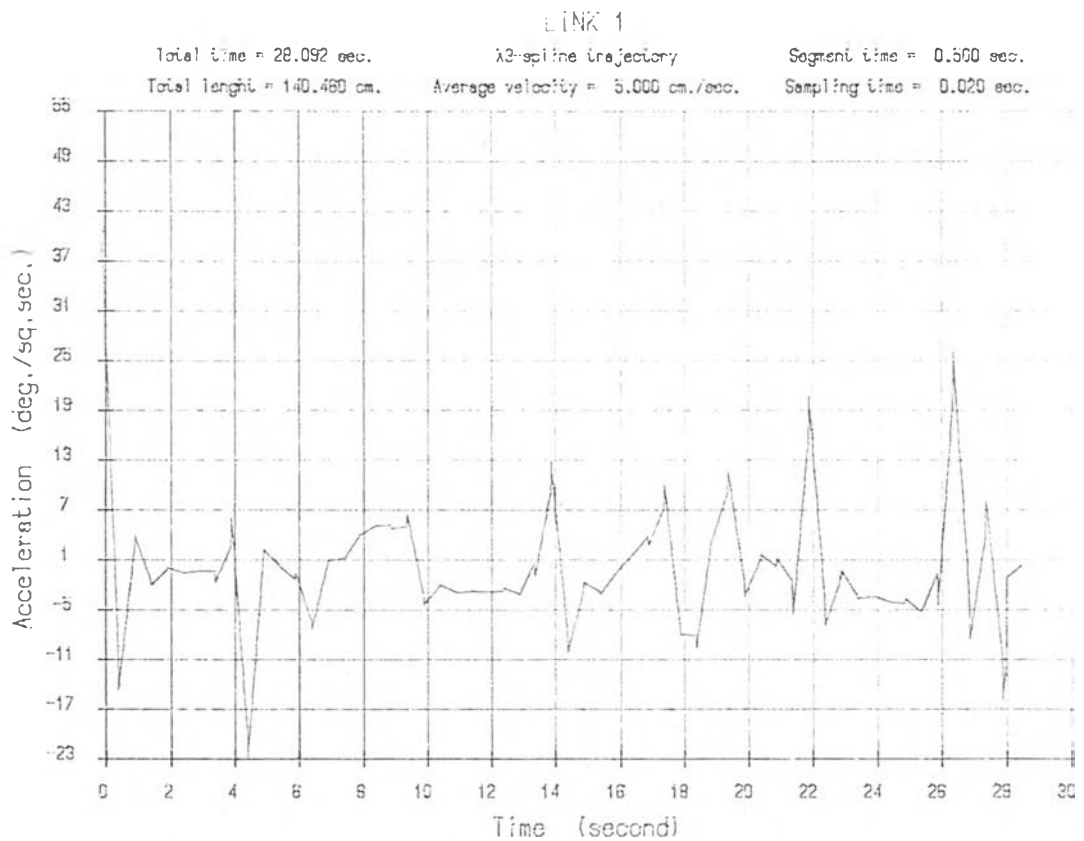
รูปที่ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบควอดตริกของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลา ที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



รูปที่ 55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปนซ์ชนิดที่ 1 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



รูปที่ 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปซ์ชนิดที่ 2 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.



รูปที่ 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวิถีทางเดินรูปหลายเหลี่ยม โดยการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กซ์ไปซ์ชนิดที่ 3 ของแขนย่อย 1 และ 2 กับเวลาที่อัตราเร็วที่กำหนด 5.0 cm./s. และระยะวิถีทางเดินย่อย 2.5 cm.

ภาคผนวก ง.

คู่มือการใช้โปรแกรมการสร้างทางเดินต่อเนื่อง

การใช้งานโปรแกรมการสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่อง

คำแนะนำก่อนการใช้โปรแกรม

1. โปรแกรมนี้ใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์พีซีรุ่น XT หรือ AT จอภาพเป็นจอ โมโนโครม มี Math Co-processor 8087 หรือ 80287 ติดตั้งอยู่
2. กรณีที่มีการใช้ควบคุมแขนกล จำเป็นต้องมีการติดตั้ง Virtual disk ก่อนการใช้งาน เนื่องจากในส่วนควบคุมต้องการการส่งถ่ายข้อมูลด้วยความเร็วสูง ดังนั้นจะมีการสร้างข้อมูลควบคุมไว้ใน Virtual disk นี้ (ความจุอย่างน้อยควรมากกว่า 256 กิโลไบต์)

เริ่มการใช้งาน

พิมพ์ "TG" แล้วกด [Enter] จอภาพจะแสดงภาพดังรูปที่ 58 กด [Enter] อีกครั้งจอภาพจะแสดงภาพดังรูปที่ 59 ซึ่งจะปรากฏคำสั่งที่มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. Path Gen. เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการสร้างไฟล์ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางเดินของแขนกล
2. Traj. Gen. เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับเลือกวิธีการสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่องแบบต่างๆ โดยเราสามารถเลือกได้ 5 วิธี คือ
 - การสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่องแบบ แวง-แวง
 - การสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่องแบบ ควอดตติก
 - การสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่องแบบ เอ็กซ์สไปร์ชนิดที่ 1
 - การสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่องแบบ เอ็กซ์สไปร์ชนิดที่ 2
 - การสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่องแบบ เอ็กซ์สไปร์ชนิดที่ 3
3. Traj. Spec. เป็นคำสั่งใช้สำหรับการแสดงคุณลักษณะต่างๆ ของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้น
4. Robot Control เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการสั่งงานและควบคุมแขนกลจนมา 2
5. Plotter เป็นคำสั่งใช้สำหรับแสดงคุณลักษณะของวิถีทางเดินต่างๆ ออกทางพล็อตเตอร์
6. Position error เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบความเบี่ยงเบนของเส้นทางเดิน (path) กับวิถีทางเดิน (trajectory) ของแขนกล

ใช้คีย์ลูกศรขึ้น-ลง เลื่อนแถบคำสั่งสำหรับเลือกคำสั่งที่ต้องการแล้วกด [Enter] ในที่นี้เลือกคำสั่ง Path Gen. จอภาพจะแสดงภาพดังรูปที่ 61 ซึ่งจะปรากฏคำสั่งที่มีหน้าที่ดังต่อไปนี้

- Select File ใช้สำหรับเลือกไฟล์ข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งไฟล์ข้อมูลที่สามารถเรียกได้จะต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล
 - DXF เป็นไฟล์สำหรับข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม AutoCad สำหรับสร้างเป็นเส้นทางเดินของปลายแขนกล
 - ROB เป็นไฟล์สำหรับข้อมูลที่เคยได้รับการสร้างเป็นแนวเส้นทางเดินมาแล้ว ซึ่งก็หมายถึง ตำแหน่งต่างๆ ของแขนย่อยแต่ละแขนของแขนกล
 - REC เป็นไฟล์สำหรับข้อมูลที่ได้จาก โปรแกรมออกแบบทางเดินของแขนกล Build Path ซึ่งก็คือตำแหน่งต่างๆของปลายแขนกลในระบบแกนอ้างอิงแบบ คาร์ทีเซียน
- Robot Config. เป็นคำสั่งสำหรับเตรียมรายละเอียดข้อมูลของแขนกลที่ต้องการสร้างทางเดิน และต้องการควบคุม
- Acad Transf. เป็นคำสั่งใช้สำหรับเปลี่ยนตำแหน่งต่างๆของทางเดินของปลายแขนกลที่ได้จากโปรแกรม AutoCad ในระบบแกนอ้างอิงแบบคาร์ทีเซียน ไปเป็นตำแหน่งต่างๆ ของแขนย่อยแต่ละแขนของแขนกล ในระบบแกนอ้างอิงแบบข้อหมุน เพื่อใช้สำหรับสร้างวิถีทางเดินต่อไป
- Path Design เป็นคำสั่งใช้สำหรับสร้างเส้นทางเดินของปลายแขนกลที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อความสะดวกในการออกแบบทางเดินของปลายแขนกล
- Save ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของเส้นทางเดินที่ต้องการ และถูกสร้างโดยคำสั่ง Acad Transf. และ Path Design เก็บลงแผ่นดิสเก็ตโดยมีนามสกุลไฟล์เป็น ROB

เลือกคำสั่ง Select File ในที่นี้สมมติให้ไฟล์ข้อมูลที่ต้องเป็นไฟล์นามสกุล DXF อยู่ในไดรว์ C:\TC\DATA\ ชื่อ T1.DXF โดยพิมพ์ชื่อไดรว์และชื่อไฟล์ต่อกันได้เลย แต่ในกรณีต้องการค้นหาไฟล์ให้พิมพ์ C:\TC\DATA*.* จอภาพจะแสดงภาพดังรูปที่ 62 จากนั้นใช้คีย์ลูกศรเลือกไฟล์ที่ต้องการแล้วกด [Enter] จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่เมนูเลือกอีกครั้งเลือกคำสั่งถัดมาคือ Robot Conf. เพื่อตรวจสอบและแก้ไขรายละเอียดคุณสมบัติของแขนกลที่ต้องการควบคุม ซึ่งจอภาพจะแสดงภาพดังรูปที่ 63 จากนั้นทำการแก้ไขข้อมูลโดย

ทำตามคำสั่งที่แสดงในส่วนแสดง message แล้วจึงกดคีย์ [Esc] เพื่อออกจากคำสั่งนี้

ลำดับต่อมาเลือกคำสั่ง Acad Transf. เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่ได้จาก AutoCad ซึ่งเป็นข้อมูลของเส้นทางเดินของปลายแขนกลในระบบคาร์ทีเซียนไปเป็นแนวทางเดินของแขนย่อยแต่ละแขนของแขนกลที่ต้องการ โดยในคำสั่งนี้ยังมีคำสั่งย่อยอีก 2 คำสั่ง คือ

- Path Config. ใช้กำหนดขนาด และตำแหน่งการวางรูปข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม AutoCad ให้กับแขนกลที่ต้องการควบคุม ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 64

- Run ใช้แสดงข้อมูลที่ถูกรังจากโปรแกรม AutoCad และข้อมูลที่ได้รับการเปลี่ยนเป็นเส้นทางเดินแล้ว โดยการเลือกคำสั่งย่อย ACAD Drawing จะแสดงถึงข้อมูลที่ถูกรังโดยโปรแกรม AutoCad ดังรูปที่ 65 และในคำสั่งย่อย Path Drawing จะมีการกำหนดอัตราเร็ว และระยะเวลาที่ใช้ในการควบคุมของวิถีทางเดินที่ต้องการซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 66 วิธีการกำหนดรายละเอียดข้อมูลที่ทำในทำนองเดียวกับที่ผ่านมา เมื่อทำการกำหนดรายละเอียดของวิถีทางเดินเรียบร้อยแล้ว จอภาพจะแสดงข้อมูลตำแหน่งของแขนย่อย และแนววิถีทางเดินที่สร้างขึ้นเทียบกับเวลา ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 67 โดยในแต่ละรูปย่อยทั้ง 4 รูปนี้เราสามารถเลือกให้แสดงเต็มจอภาพได้โดยกดคีย์ลูกศรขึ้น-ลงสำหรับเลือกรูปที่จะแสดงแล้วกด [Enter] หรือกดคีย์อักษร [p] เพื่อเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลไว้แสดงออกทาง Plotter หรือกดคีย์ [Esc] เพื่อออกจากคำสั่งนี้

ในกรณีที่เราต้องการเก็บข้อมูลของแนวทางเดินที่สร้างขึ้นทั้งหมดลงแผ่นดิสเก็ต เราสามารถกระทำได้โดยใช้คำสั่ง Save (รูปที่ 72) ซึ่งข้อมูลจะถูกอยู่ในไฟล์นามสกุล ROB จากนั้นให้กดคีย์ [Esc] เพื่อออกจากคำสั่ง Path Gen.

สำหรับในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการออกแบบทางเดินของปลายแขนกลอย่างง่าย ๆ สะดวก และรวดเร็ว สามารถทำได้โดยการเลือกคำสั่ง Path Design เมื่อเข้าสู่โปรแกรมการออกแบบทางเดินของปลายแขนกลที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดยเมื่อเลือกคำสั่งนี้แล้วกด [Enter] หน้าจอจะปรากฏคำสั่งย่อยอีก 2 คำสั่งคือ (รูปที่ 69)

- Build Path เป็นโปรแกรมออกแบบทางเดินของปลายแขนกล 3 มิติ ซึ่งอยู่ในระบบแกอ์อิงแบบคาร์ทีเซียน โดยคำสั่งย่อยต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมนี้อธิบายไว้แล้วในโปรแกรมโดยกดคีย์อักษร F โดยตำแหน่งของปลายแขนกลจะถูกแทนด้วยแกอ์อิงแบบคาร์ทีเซียนซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับที่ระบุไว้ที่ปลายแขนกลजूหน้า 2 (รูปที่ 70)

หลักการใช้งานโปรแกรมออกแบบทางเดินนี้คือ ใช้คีย์ลูกศรขึ้น-ลง เป็นตัวบังคับทิศทาง การเคลื่อนที่ของปลายแขนกล เพื่อต้องการกำหนดแนวทางเดินของปลายแขนกลในขั้นแรกเพื่อความสะดวกในการพิจารณาเส้นทางเดินจริงที่ต้องการ ให้กดคีย์ E และเมื่อต้อง

การเลือกเส้นทางเดินจริงให้กคคีย์ space bar เพื่อแสดงแนวทางเดินที่กำลังจะเลือก และเมื่อต้องการเลือกให้กด [Enter] ทำเช่นนั้นจะสามารถสร้างทางเดินที่ต้องการได้ ในกรณีต้องการดูเส้นทางเดินที่เลือกจริงทั้งหมดให้กคคีย์ M และถ้าต้องการสร้างทางเดินต่อให้กคคีย์ N เมื่อดำเนินการต่อไป และโดยทั่วไปของทางเดินของแขนกลจำเป็นต้องผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ ผู้พัฒนาจึงออกแบบให้โปรแกรมสามารถสร้างรูปกล่อง 3 มิติซึ่งเป็นตัวแทนของสิ่งกีดขวางที่อาจจะมีได้ในระหว่างทางเดินของแขนกลโดยกคคีย์ B และสร้างลบบอกได้โดยกคคีย์ D และในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการความสะดวกยิ่งขึ้นในการควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนกลสามารถทำได้โดยต่อ mouse เข้ากับระบบคอมพิวเตอร์ เมื่อต้องการเก็บข้อมูลของทางเดินที่สร้างขึ้นลงแผ่นดิสเก็ตให้กคคีย์ S ซึ่งควรเก็บอยู่ในไฟล์นามสกุล REC

- Converse Path เป็นคำสั่งสำหรับการเปลี่ยนข้อมูลของทางเดินของปลายแขนกลที่ถูกสร้างโดยโปรแกรม Build Path ซึ่งอยู่ในรูปของระบบแกนอ้างอิงแบบคาร์ทีเซียน ให้ไปอยู่ในรูปของตำแหน่งของแขนย่อยต่างๆ ของแขนกลซึ่งอยู่ในระบบแกนอ้างอิงแบบขั้วกลม เพื่อเตรียมข้อมูลไว้สำหรับการสร้างวิถีทางเดินต่อไป โดยเลือกชื่อไฟล์ข้อมูลจากคำสั่ง Select File เสียก่อน และเมื่อต้องการเก็บข้อมูลที่ทำการเปลี่ยนแล้วให้ใช้คำสั่ง Save ดังรูปที่ 71

ในคำสั่งที่ผ่านมาคือคำสั่ง Path Gen. จะเป็นการสร้างเส้นทางเดินของแขนกลเท่านั้นยังไม่ใช้การสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่อง คำสั่งถัดลงมาคือคำสั่ง Traj. Gen. จึงจะเป็นการสร้างวิถีทางเดินต่อเนื่องที่แท้จริง เมื่อเลือกคำสั่งนี้จอภาพจะแสดงภาพดังรูปที่ 72 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 4 ภาพย่อย ภาพที่ 1-3 จะกล่าวถึงวิธีการสร้างวิถีทางเดินแบบย่อยๆ แต่ละชนิด ส่วนภาพที่ 4 จะแสดงคุณสมบัติของแนวทางเดินที่เตรียมไว้รวมถึงความเร่งที่สามารถรับได้ของแขนย่อยแต่ละแขน ในขั้นแรกเมื่อเข้ามาในคำสั่งนี้เราจะต้องกำหนดความเร่งที่แขนย่อยแต่ละแขนที่แขนกลสามารถสร้างได้เสียก่อน เพื่อป้องกันการเกิดวิถีทางเดินที่ไม่ต่อเนื่องเมื่อนำไปใช้กับแขนกลจริง โดยการกคคีย์ลูกศรขึ้น-ลงเพื่อเลือกภาพย่อยภาพที่ 4 จากนั้นกด [Enter] แล้วคีย์ข้อมูลที่ต้องการผ่านทางคีย์บอร์ด (รูปที่ 73) เมื่อป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็ให้กดการกคคีย์ลูกศรขึ้น-ลงเพื่อวิธีการสร้างวิถีทางเดินต่อไป เมื่อเลือกวิธีได้แล้วให้กด [Enter] เมื่อรอการประมวลผลและเมื่อประมวลผลเสร็จ จอภาพจะแสดงค่าความเร็ว และความเร่งสูงสุดของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้นเมื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ (รูปที่ 74) และในกรณีที่ค่าความเร่งมีค่าเกินค่าที่แขนย่อยสามารถสร้างได้จอภาพจะแสดงแขนย่อยที่ไม่สามารถสร้างความเร่งได้ตามต้องการออกมา ซึ่งเมื่อเกิดกรณีเช่นนี้ ทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขได้ คือ การกลับไปเปลี่ยนอัตราเร็วที่ต้องการใหม่

ถัดจากคำสั่ง Traj. Gen. คือ Traj. Spec. เป็นคำสั่งที่มีไว้เพื่อให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้นได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว โดยเมื่อเข้ามาในคำสั่งนี้จอภาพจะแสดงคำสั่งย่อยอีก 4 คำสั่ง ดังรูปที่ 76 ซึ่งหน้าที่ของคำสั่งดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

- Path of link1 ใช้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของแขนย่อยที่1 กับเวลา
- Path of link2 ใช้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของแขนย่อยที่2 กับเวลา
- Path of link3 ใช้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของแขนย่อยที่3 กับเวลา
- 3D Path ใช้สำหรับแสดงตำแหน่ง อัตราเร็ว และอัตราเร่งของปลายแขนหุ่นยนต์ โดยมีคำสั่งย่อยอีก 3 คำสั่ง คือ
 - All Path ใช้สำหรับแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของแขนย่อยทั้ง3 และวิถีทางเดินที่ปลายแขนหุ่นยนต์กับเวลา
 - Path Speed ใช้สำหรับแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วที่ปลายแขนหุ่นยนต์กับเวลา
 - Path Acceleration ใช้สำหรับแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งที่ปลายแขนหุ่นยนต์กับเวลา

ในคำสั่งย่อยเหล่านี้จอภาพจะแสดงภาพดังรูปที่ 75-81 ตามลำดับ โดยในภาพแต่ละจะแบ่งเป็นภาพย่อยได้อีก 4 ภาพ และภาพย่อยเหล่านี้เราสามารถใช้อยู่คลิกครั้น-ลงเลือกรูปเพื่อแสดงรูปเต็มจอภาพโดยการกดคีย์ [Enter] ตาม หรือกดคีย์ [p] เพื่อเก็บภาพที่ต้องการลงแผ่นดิสเก็ตเพื่อแสดงออกทาง Plotter

การใช้วิถีทางเดินที่สร้างขึ้นไปควบคุมแขนกลजूน่า2 เราจะเลือกใช้คำสั่ง Robot Control ซึ่งเมื่อเข้ามาในคำสั่งนี้จอภาพจะแสดงดังรูปที่ 82 คำสั่งย่อยที่ปรากฏจะมีหน้าที่ดังนี้

- Power Up เป็นคำสั่งใช้สำหรับทำให้สถานะเครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ อยู่ในสภาวะพร้อมที่จะเริ่มควบคุม และในกรณีต้องการเริ่มควบคุมใหม่สามารถใช้คำสั่งนี้ได้
- SDP เป็นคำสั่งสำหรับเชื่อมระบบเก็บข้อมูลของแขนกลเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุม

- Manual control ใช้สั่งงาน และควบคุมแขนกลโดยผู้ควบคุมผ่านทางแป้นพิมพ์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยสามารถเลือกสั่งงานได้ที่ละแขนย่อยโดยกดคีย์ F1 สำหรับแขนย่อยแขนที่หนึ่ง F2 สำหรับแขนย่อยที่สอง และ F3 สำหรับแขนย่อยที่สาม และใช้คีย์ลูกศรซ้าย-ขวาเป็นหัวควบคุมทิศทาง และเราสามารถกลับทิศทางการทำงานของแขนกลโดยกดคีย์ F1 หรือ F2 อีกครั้ง และในกรณีต้องการหยุดแขนกลทันทีให้กดคีย์ F3 ส่วนคีย์ F4 ใช้สำหรับทำให้แขนกลพร้อมที่จะเคลื่อนที่ ฉะนั้นเมื่อต้องการสั่งงานทุกครั้งให้กดคีย์ F4 ก่อน

- Computer control ใช้สั่งงาน และควบคุมแขนกลโดยคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสร้างวิถีทางเดินที่เราสร้างมาในตอนต้น ซึ่งมีคำสั่งย่อยอีก 4 คำสั่ง คือ

- Install Controller (รูปที่ 83) ใช้สำหรับสร้างข้อมูลของวิถีทางเดินเพื่อใช้ควบคุมแขนกลไว้ใน Virtual disk D: ทั้งนี้เป็นเพราะการควบคุมแขนกลต้องการการรับ-ส่งข้อมูล และการประมวลผลที่มีความเร็วสูงมาก ฉะนั้นเพื่อให้เป็นไปข้อกำหนดดังกล่าวเราจึงมีความจำเป็นต้องทำการสร้างข้อมูลของวิถีทางเดินที่ใช้ควบคุมไว้ใน Virtual disk ดังกล่าว เมื่อทำการสร้างข้อมูลดังกล่าวแล้ว จอภาพจะแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องกำหนดในการควบคุมแขนกลหน้า 2 ซึ่งขั้นตอนการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แสดงไว้ที่จอภาพแล้วดังรูปที่ 84 และจากการสร้างข้อมูลด้วยวิธีนี้เราสามารถเก็บข้อมูลลงแผ่นดิสเก็ตเพื่อใช้ควบคุมในคราวต่อไปได้โดยไม่ต้องไปทำการสร้างใหม่อีกซึ่งจะเก็บในไฟล์ที่มีนามสกุล TRJ
- Start Control เป็นคำสั่งเริ่มสั่งให้แขนกลหน้า 2 เคลื่อนที่ตามวิถีทางเดินที่ต้องการ
- Stop Control เป็นคำสั่งหยุดการเคลื่อนที่ของแขนกลหน้า 2 อย่างทันทีทันใด
- External traj. เป็นคำสั่งใช้สำหรับใช้ข้อมูลเดิมที่เคยสร้างไว้แล้ว
- ในการสั่งงาน และควบคุม ซึ่งอยู่ในไฟล์ที่มีนามสกุล TRJ

สำหรับคำสั่ง Plotter เป็นคำสั่งใช้สำหรับแสดงผล

ลักษณะของวิถีทางเดินต่างๆ ออกทางพล็อตเตอร์ ซึ่งเป็นไฟล์นามสกุล PLT ที่เราได้สร้างไว้ในตอนต้น ขั้นตอนการสั่งพล็อตได้แสดงไว้ที่จอภาพดังแสดงในรูปที่ 85 พล็อตเตอร์ที่ใช้เป็นของ บริษัท ROLAND รุ่น DXY-880 ให้ bit rate 9600 baud 7 databit 1 stopbit even parity code command ของ DXY สามารถตั้งคิณลิตซ์ของ

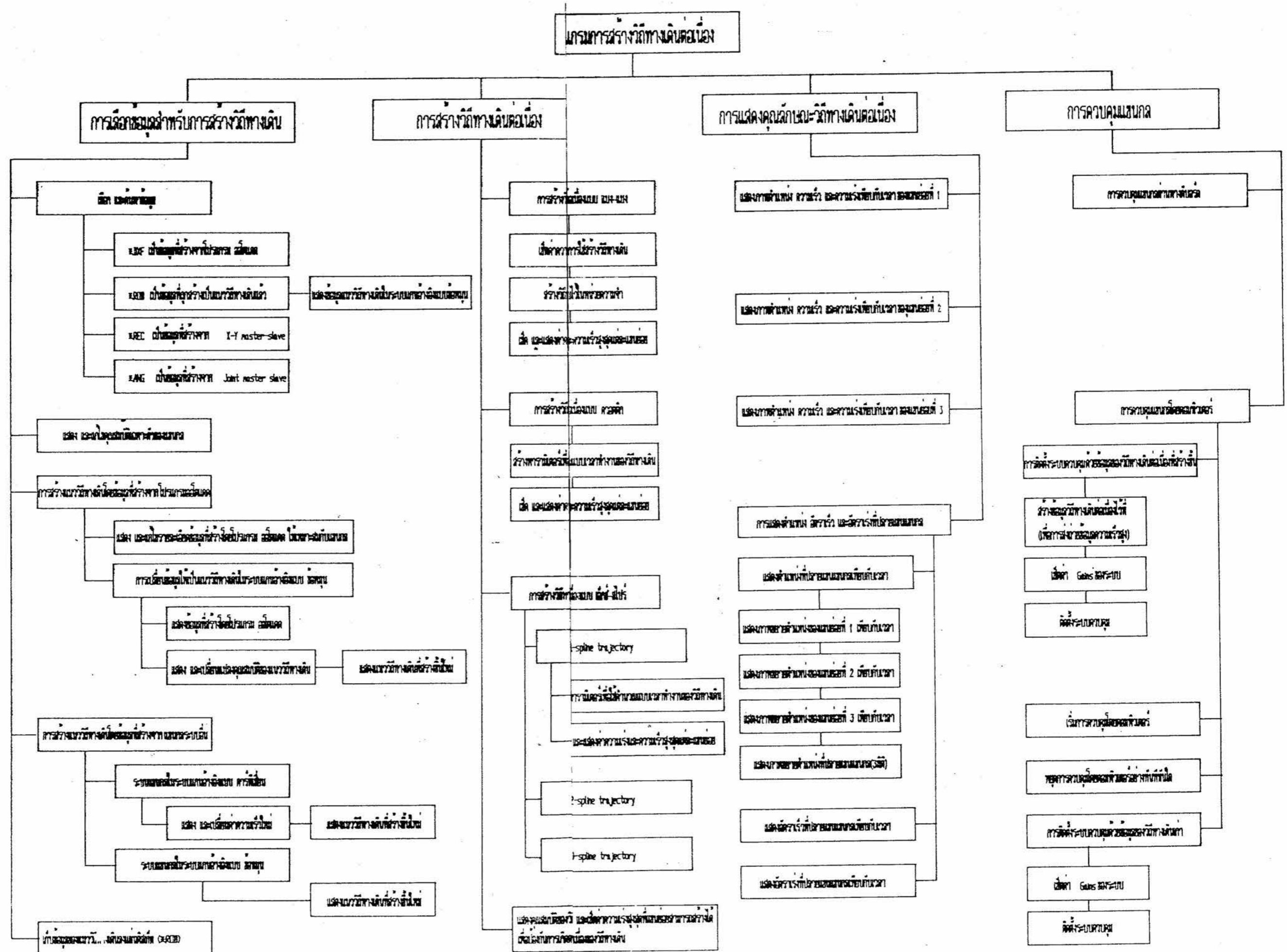
ผลลัพท์ที่ได้ดังนี้

sw1									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
off	off	off	off	on	off	off	off	off	on

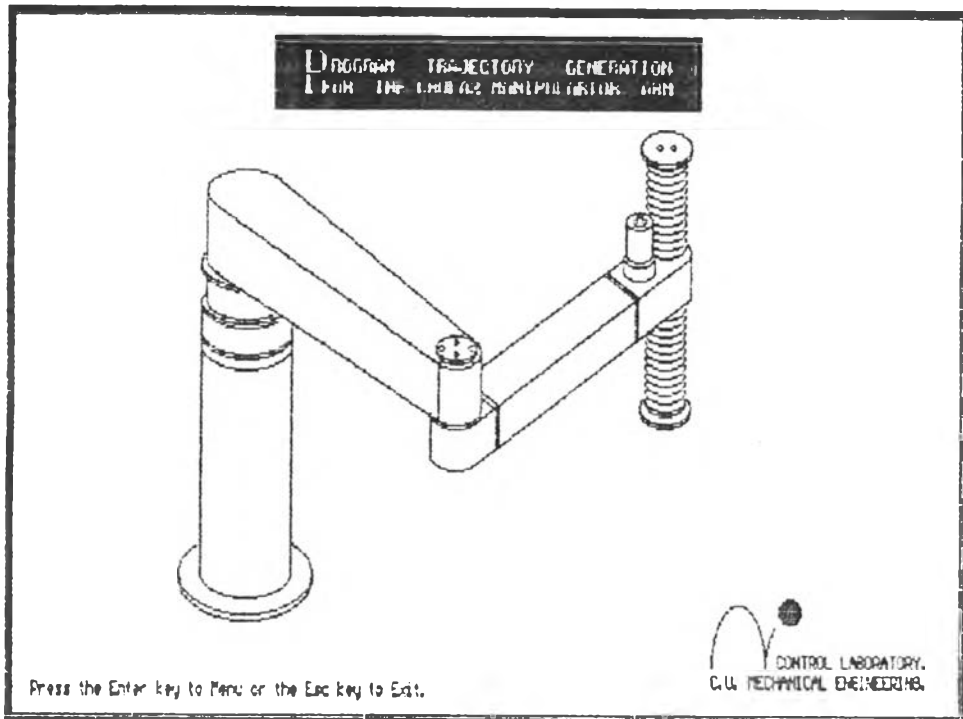
sw2									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
off	on	on	on	on	on	off	off	off	on

สำหรับคำสั่งสุดท้ายที่จะกล่าวในที่นี้คือคำสั่ง Position error เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบความเบี่ยงเบนของเส้นทางเดิน (path) กับวิถีทางเดินของแขนกล (trajectory) ซึ่งก็คือการนำเอาเส้นทางเดินของปลายแขนกลที่สร้างโดย โปรแกรม ออโตแคค มาเปรียบเทียบกับวิถีทางเดินที่สร้างขึ้นใหม่โดยคำสั่ง Traj. Gen. ซึ่งถูกเปลี่ยนกับมาอยู่ในรูปของตำแหน่งที่ปลายของแขนกลเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 86

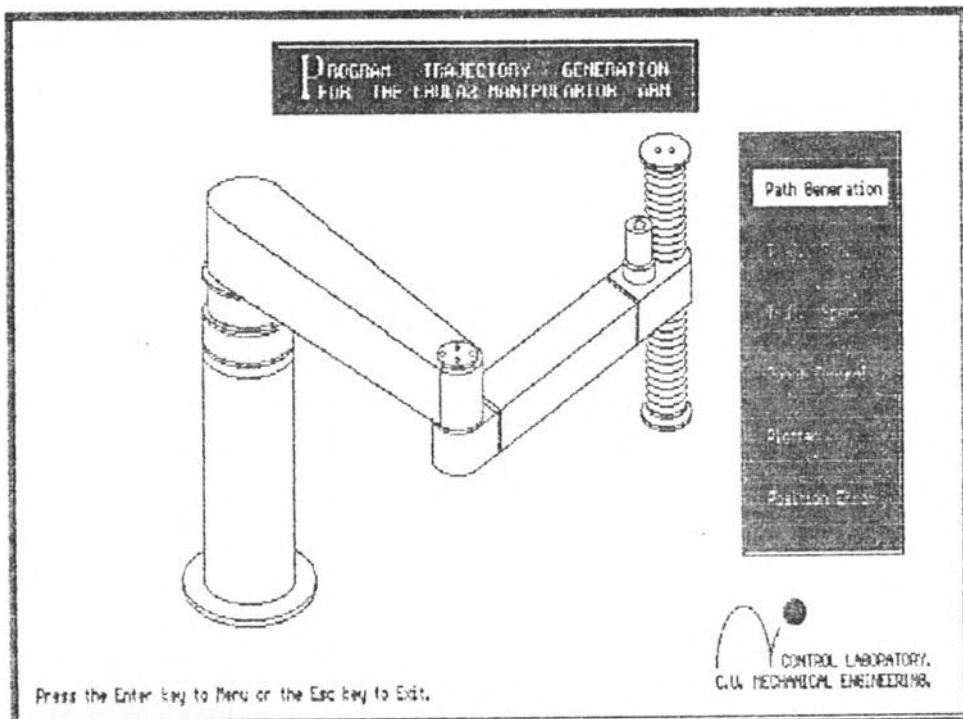
หมายเหตุ เนื่องจากการเขียนโปรแกรมนี้มีความจำเป็นต้องสงวนหน่วยความจำในเครื่องคอมพิวเตอร์ไว้ใช้งานสำหรับเก็บข้อมูลของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้นให้ได้เป็นจำนวนมากเท่าที่เป็นไปได้ ฉะนั้นฟังก์ชันบางฟังก์ชันสำหรับความสะดวกของผู้ใช้จำเป็นจะต้องตัดทิ้งจึงทำให้โปรแกรมขาดความสมบูรณ์ไปบ้างต้องขอภัยมา ณ. ที่นี้ด้วย



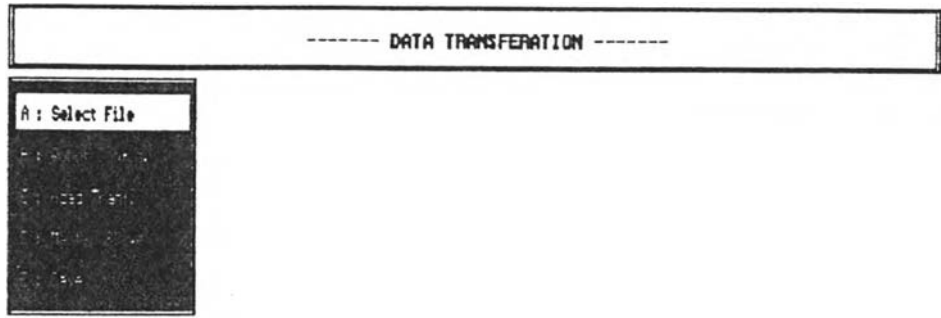
รูปที่ 58 ผังแสดงที่ของคำสั่งในโปรแกรมการสร้างวิถีทางเดิน



รูปที่ 59 แสดงหน้าจอเมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรมการสร้างวิถีทางเดิน

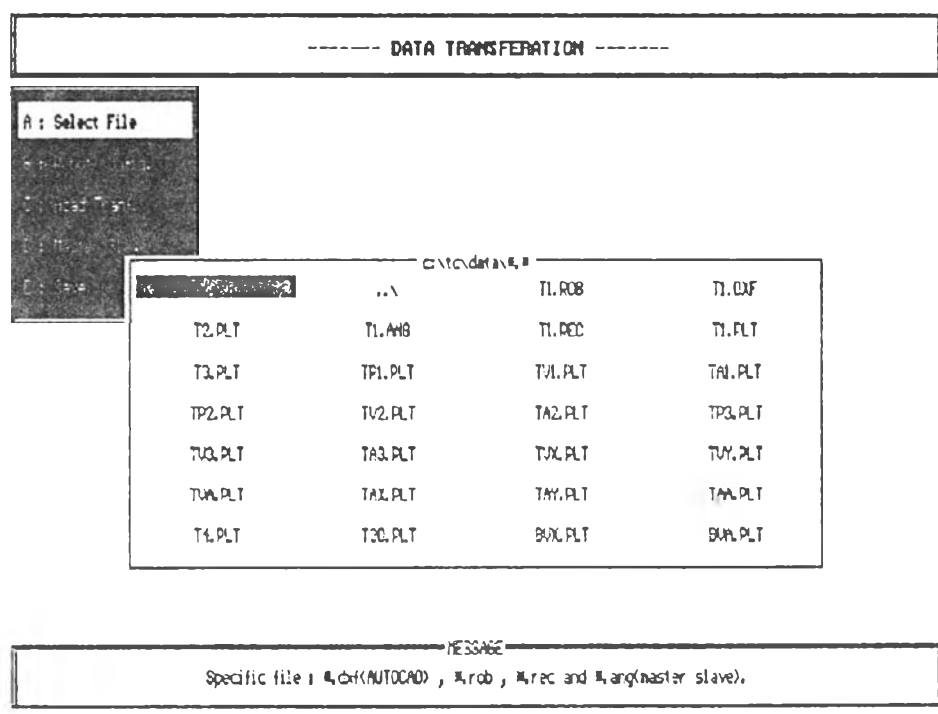


รูปที่ 60 แสดงหน้าจอหลังกดคีย์ Enter เพื่อเริ่มใช้งานโปรแกรม

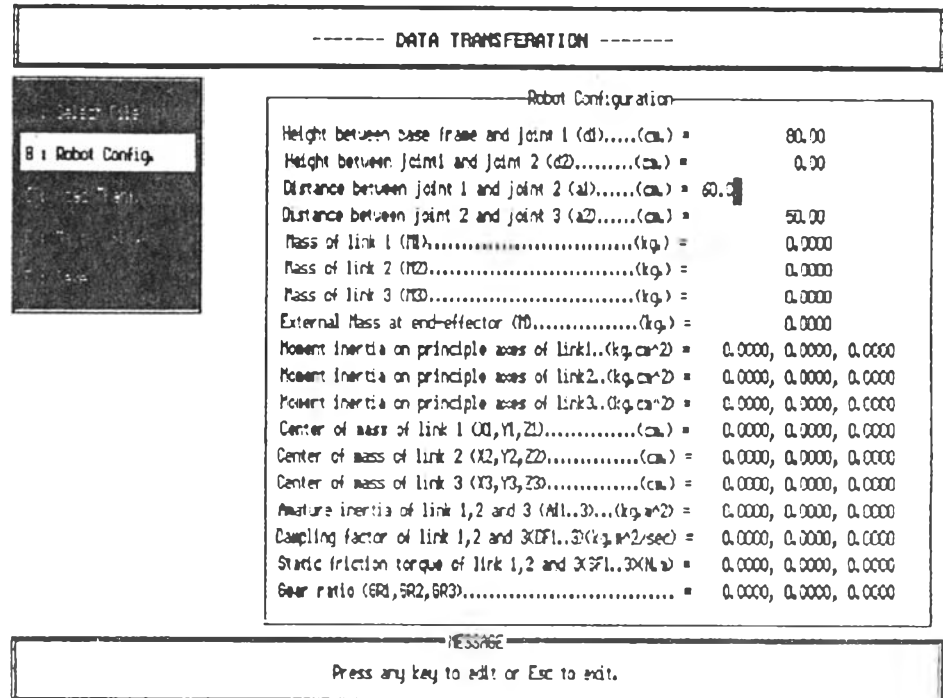


MESSAGE
Specific file : %ch(AUTOCAD) , %rob , %rec and %ang(master slave).

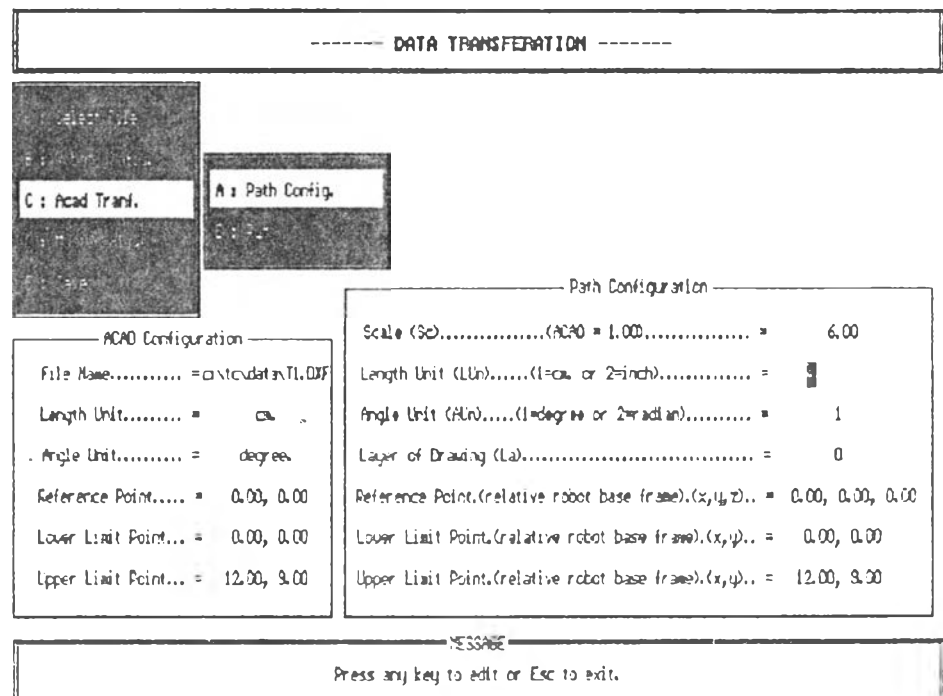
รูปที่ 61 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Sampling data



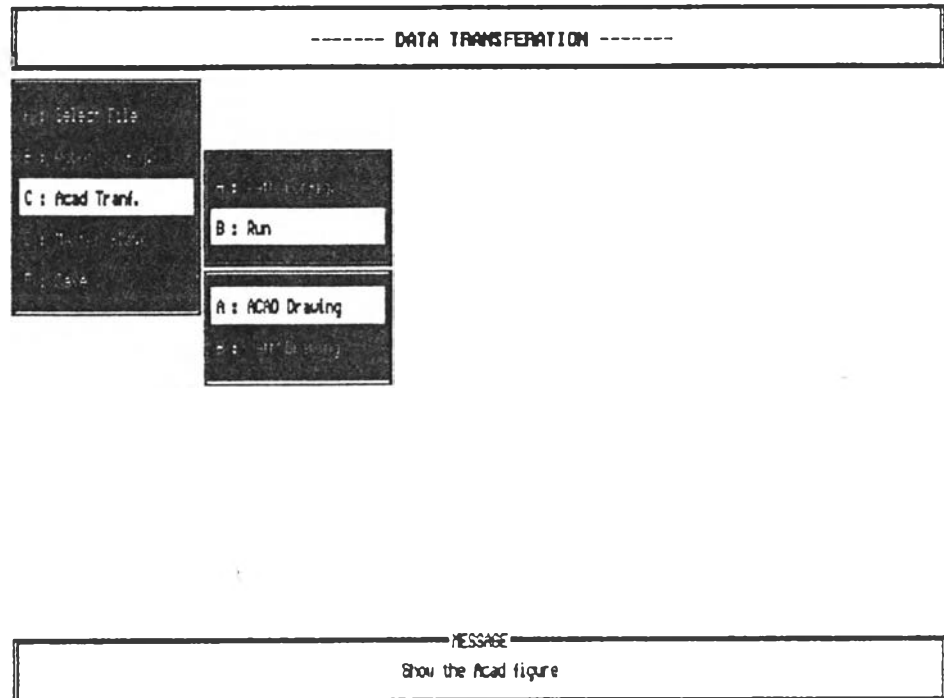
รูปที่ 62 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Select File



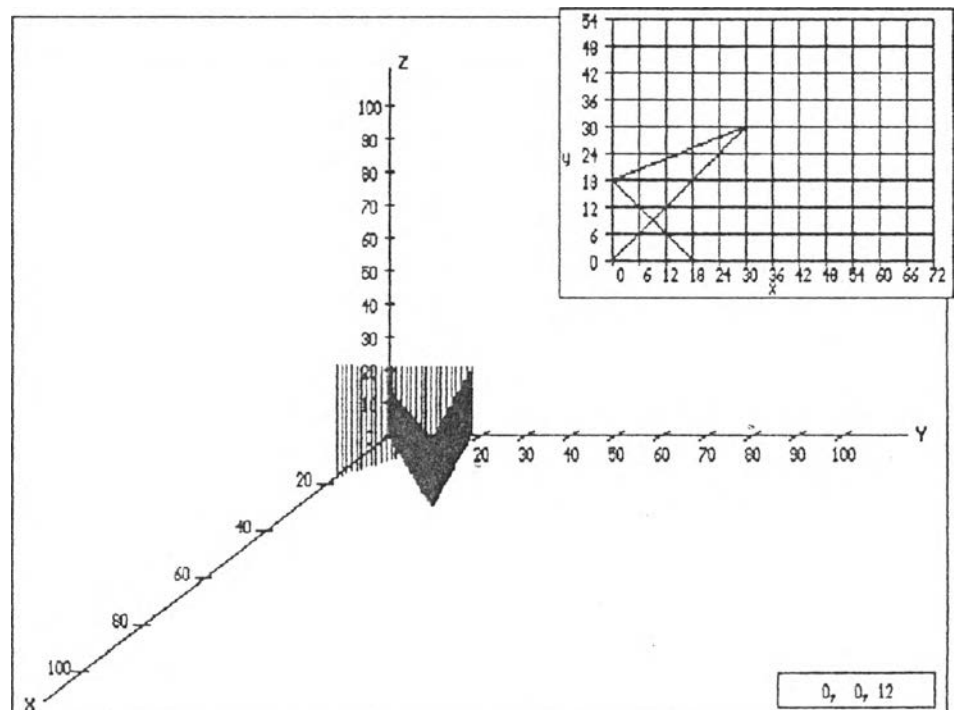
รูปที่ 63 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Robot config. และแสดงการกำหนดรายละเอียดของแขนกล



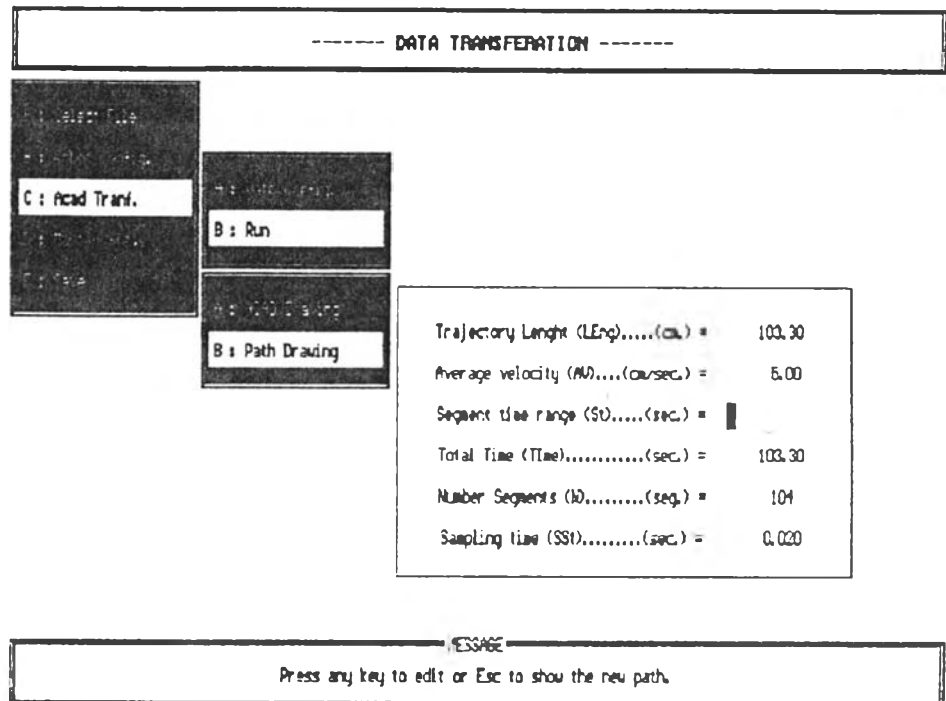
รูปที่ 64 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path config. และแสดงการกำหนดรายละเอียดของแนววิถีที่ทางเดิน



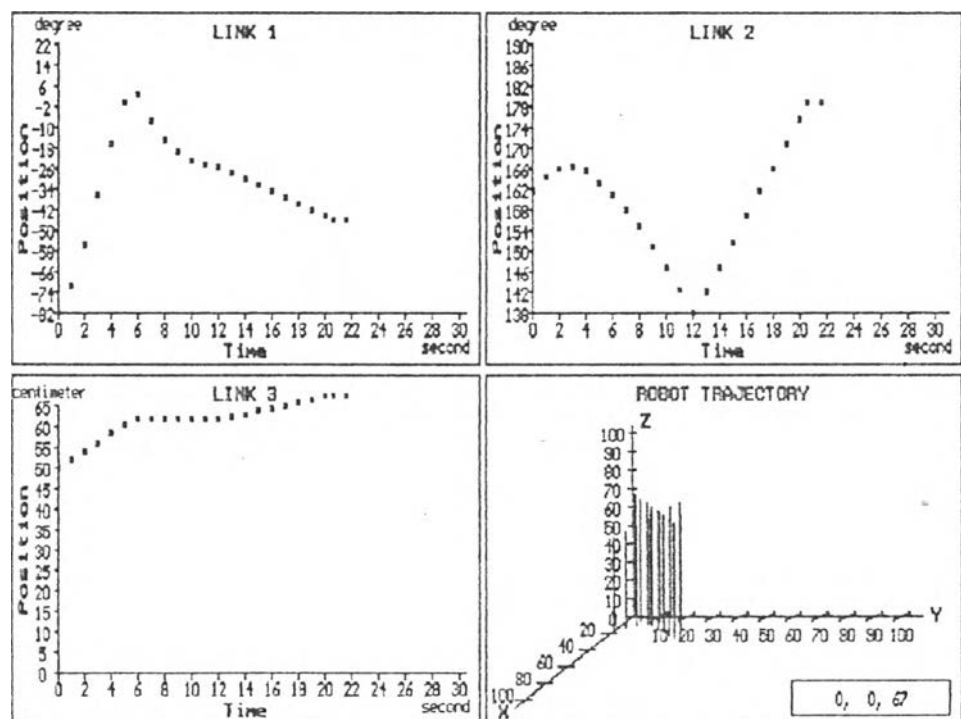
รูปที่ 65 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Run



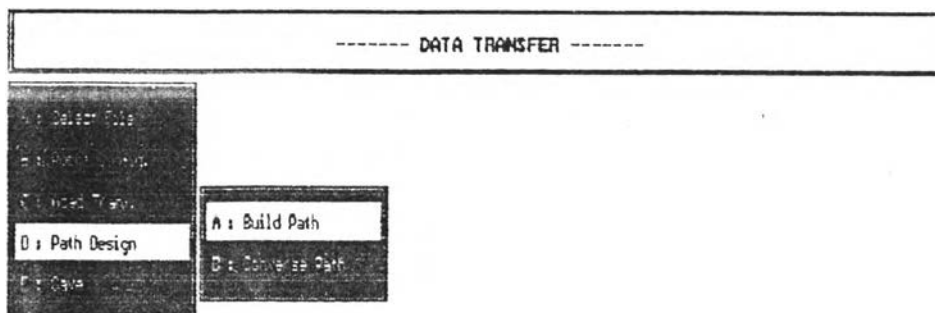
รูปที่ 66 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Acad Drawing ซึ่งแสดงรูปที่สร้างจากโปรแกรม ออโตแคด



รูปที่ 67 แสดงหน้าจอหลังจากเลือกใช้คำสั่ง Path Drawing และแสดงการกำหนดรายละเอียดของแนววิถีทางเดิน

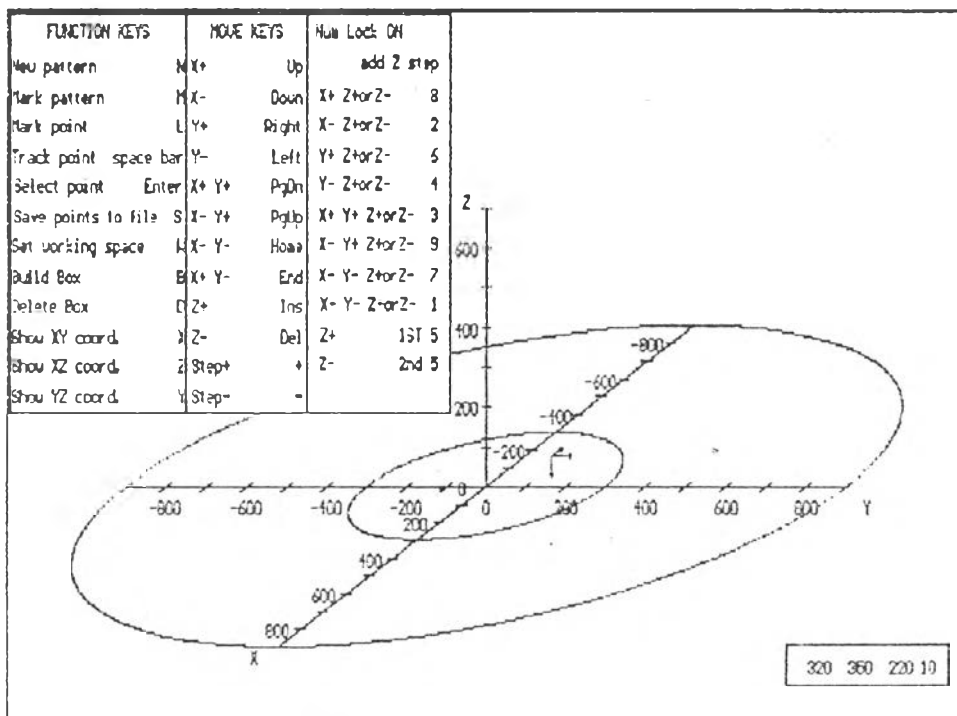


รูปที่ 68 แสดงหน้าจอการสร้างแนววิถีทางเดิน

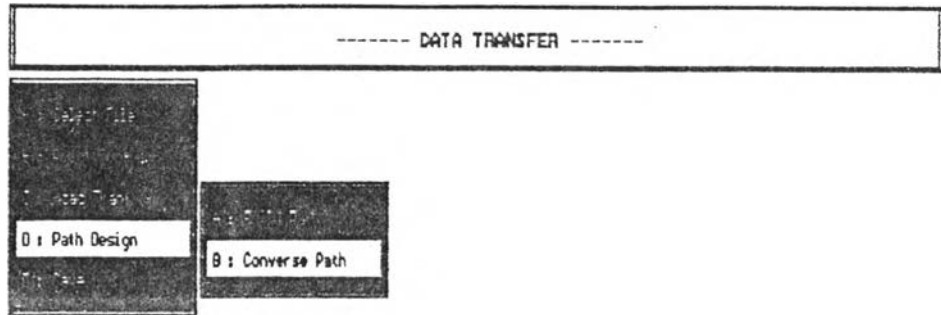


MESSAGE
This program is used to generate the path of SCALAR ROBOT.

รูปที่ 69 แสดงหน้าจอหลังเลือกคำสั่ง Path Design

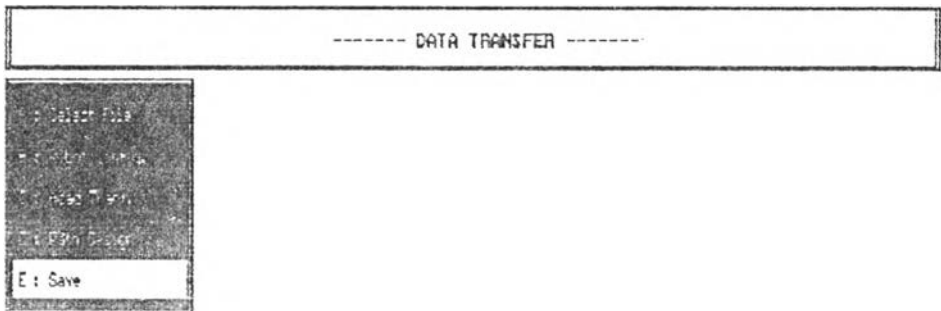


รูปที่ 70 แสดงหน้าจอหลังเลือกคำสั่ง Build Path



MESSAGE
The rectangular datas are built by Build Path converse to the angular datas.

รูปที่ 71 แสดงหน้าจอหลังเลือกคำสั่ง Converse Path



MESSAGE
Save configuration and transferred file (%rcb).

รูปที่ 72 แสดงหน้าจอหลังเลือกคำสั่ง Save

Bang-Bang Trajectory Generation	Quartic Trajectory Generation
<p>Bang-bang trajectory generation , the spline function of quadratic polynomial , is off-line trajectory generation and have discontinuous acceleration.</p> <p>The zero and maximum acceleration is used for the trajectory generation. Therefor , the acceleration values of the trajectory generation can be controlled and have the shortest trajectory.</p> <p>The max. acceleration is determined by characteristic of the actuators which is drive manipulator.</p> <p>Acceleration of Link1 : 50.00 deg./s² Acceleration of Link2 : 50.00 deg./s² Acceleration of Link3 : 50.00 deg./s²</p>	<p>Quartic spline function , the spline function of 4th degree , can be used to achieve run-time trajectory generation and have continuous acceleration.</p> <p>To form the piecewise polynomial $Q_i(t)$ in $[t_i, t_{i+1}]$, there are four condition to be satisfied , i.e. , position velocity and acceleration condition at t_{i-1} and a position condition at t_i. The last condition is the minimization $\int (Q_i''(t))^2 dt$ which is introduced to achieve local smoothness.</p>
X-spline Trajectory Generation	--- Message ---
<p>X-spline function , one kind of cubic spline which requires only local knot information for curve fitting, can be used for a trajectory generation. But the continuity condition of the joint acceleration has to be released. If the continuity condition is insisted , then the order of the polynomials must be increased, i.e. , a quartic spline function or can be controlled within an acceptable round by reducing the time interval between knots.</p> <p>X-spline trajectory generation can be choiced by different approximation errors , i.e. , X1-spline X2-spline and X3-spline technique.</p>	<p>Trajectory Length.....(cm) = 103.30 Average Velocity.....(cm/sec) = 5.00 Total Time.....(sec) = 20.66 Segment Time.....(sec) = 1.00 Sampling Time.....(sec) = 0.020 Max. acceleration of Link1...(deg./s²) = 50.00 Max. acceleration of Link2...(deg./s²) = 50.00 Max. acceleration of Link3...(deg./s²) = 50.00</p>

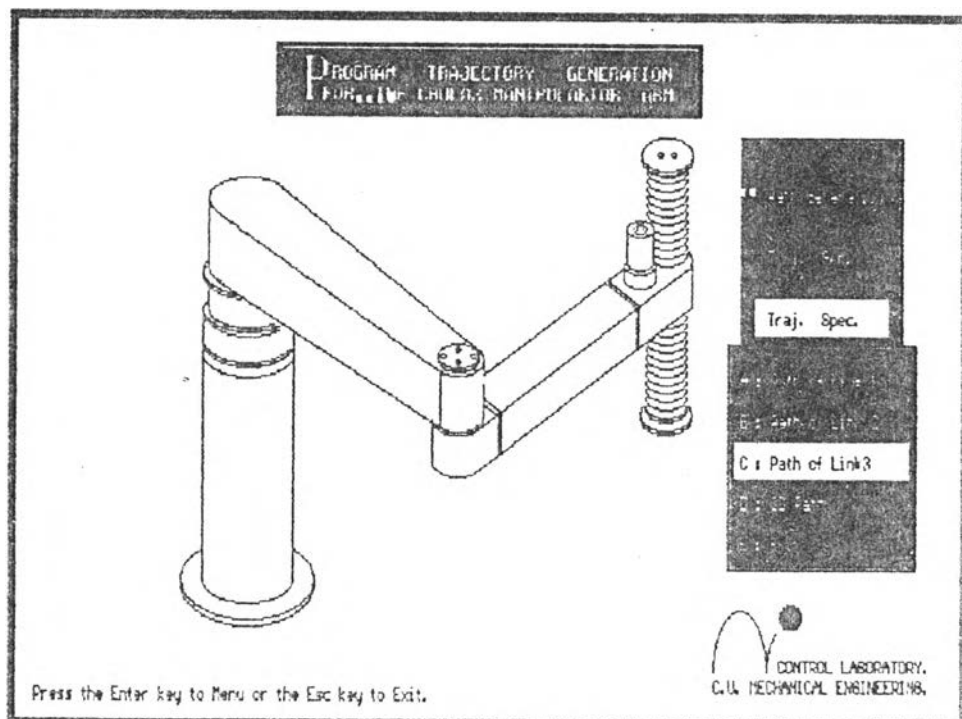
รูปที่ 73 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Selection และแสดงการกำหนดค่าความเร่งสูงสุดที่แขนกลสามารถกระทำได้

Bang-Bang Trajectory Generation	Quartic Trajectory Generation
<p>Bang-bang trajectory generation , the spline function of quadratic polynomial , is off-line trajectory generation and have discontinuous acceleration.</p> <p>The zero and maximum acceleration is used for the trajectory generation. Therefor , the acceleration values of the trajectory generation can be controlled and have the shortest trajectory.</p> <p>The max. acceleration is determined by characteristic of the actuators which is drive manipulator.</p> <p>Acceleration of Link1 : 50.00 deg./s² Acceleration of Link2 : 50.00 deg./s² Acceleration of Link3 : 50.00 deg./s²</p>	<p>Quartic spline function , the spline function of 4th degree , can be used to achieve run-time trajectory generation and have continuous acceleration.</p> <p>To form the piecewise polynomial $Q_i(t)$ in $[t_i, t_{i+1}]$, there are four condition to be satisfied , i.e. , position velocity and acceleration condition at t_{i-1} and a position condition at t_i. The last condition is the minimization $\int (Q_i''(t))^2 dt$ which is introduced to achieve local smoothness.</p>
X-spline Trajectory Generation	--- Message ---
<p>X-spline function , one kind of cubic spline which requires only local knot information for curve fitting, can be used for a trajectory generation. But the continuity condition of the joint acceleration has to be released. If the continuity condition is insisted , then the order of the polynomials must be increased, i.e. , a quartic spline function or can be controlled within an acceptable round by reducing the time interval between knots.</p> <p>X-spline trajectory generation can be choiced by different approximation errors , i.e. , X1-spline X2-spline and X3-spline technique.</p>	<p>Trajectory Length.....(cm) = 103.30 Average Velocity.....(cm/sec) = 5.00 Total Time.....(sec) = 20.66 Segment Time.....(sec) = 1.00 Sampling Time.....(sec) = 0.020 Max. acceleration of Link1...(deg./s²) = 50.00 Max. acceleration of Link2...(deg./s²) = 50.00 Max. acceleration of Link3...(deg./s²) = 50.00</p>

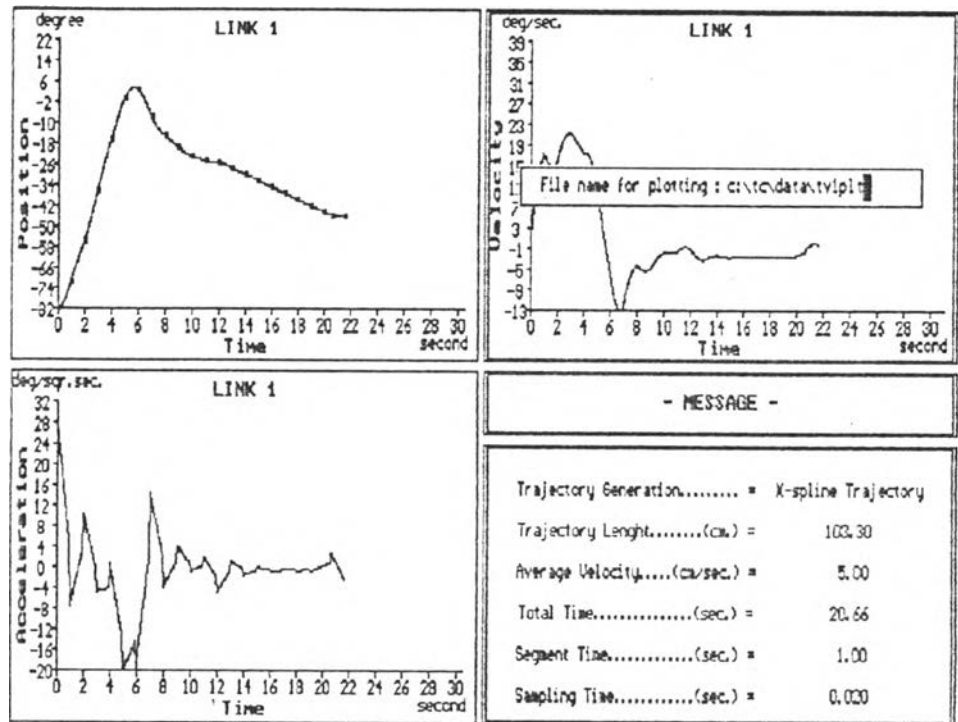
รูปที่ 74 แสดงหน้าจอขณะรอการสร้างวิถีทางเดินแบบเอ็กส์ไปร์

Bang-Bang Trajectory Generation	Quartic Trajectory Generation
<p>Bang-bang trajectory generation, the spline function of quadratic polynomial, is off-line trajectory generation and have discontinuous acceleration.</p> <p>The zero and maximum acceleration is used for the trajectory generation. Therefore, the acceleration values of the trajectory generation can be controlled and have the shortest trajectory.</p> <p>The max. acceleration is determined by characteristic of the actuators which is drive manipulator.</p> <p>Acceleration of Link1 : 50.00 deg./s². Acceleration of Link2 : 50.00 deg./s². Acceleration of Link3 : 50.00 deg./s².</p>	<p>Quartic spline function, the spline function of 4th degree, can be used to achieve run-time trajectory generation and have continuous acceleration.</p> <p>To form the piecewise polynomial $Q_i(t)$ in $[t_i, t_{i+1}]$, there are four condition to be satisfied, i.e., position velocity and acceleration condition at t_{i-1} and a position condition at t_i. The last condition is the minimization $\int (Q_i''(t))^2 dt$ which is introduced to achieve local smoothness.</p>
Data of X2-spline Trajectory Generation	--- Message ---
<p>Link 1</p> <p>Max. velocity : 21.54 rad/s Min. velocity : -12.38 rad/s Max. acceleration : 29.97 rad/s² Min. acceleration : -19.52 rad/s²</p> <p>Link 2</p> <p>Max. velocity : 7.64 rad/s Min. velocity : -5.30 rad/s Max. acceleration : 19.38 rad/s² Min. acceleration : -8.04 rad/s²</p> <p>Link 3</p> <p>Max. velocity : 3.20 rad/s Min. velocity : -0.34 rad/s Max. acceleration : 6.40 rad/s² Min. acceleration : -3.13 rad/s²</p>	<p>Trajectory Length.....(cm) = 103.30 Average Velocity.....(cm/sec) = 5.00 Total Time.....(sec) = 20.66 Segment Time.....(sec) = 1.00 Sampling Time.....(sec) = 0.020 Max. acceleration of Link1...(deg./s²) = 50.00 Max. acceleration of Link2...(deg./s²) = 50.00 Max. acceleration of Link3...(deg./s²) = 50.00</p>

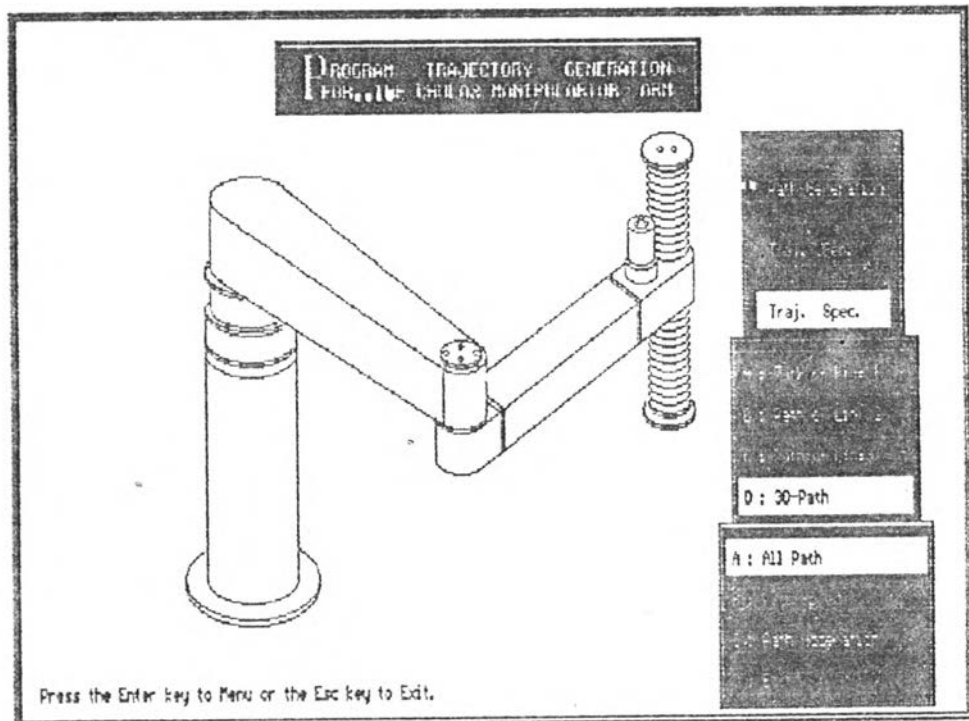
รูปที่ 75 แสดงหน้าจอหลังการสร้างวิถีทางเดิน และแสดงค่าความเร็ว และความเร่งสูงสุดของวิถีทางเดินที่สร้างขึ้น



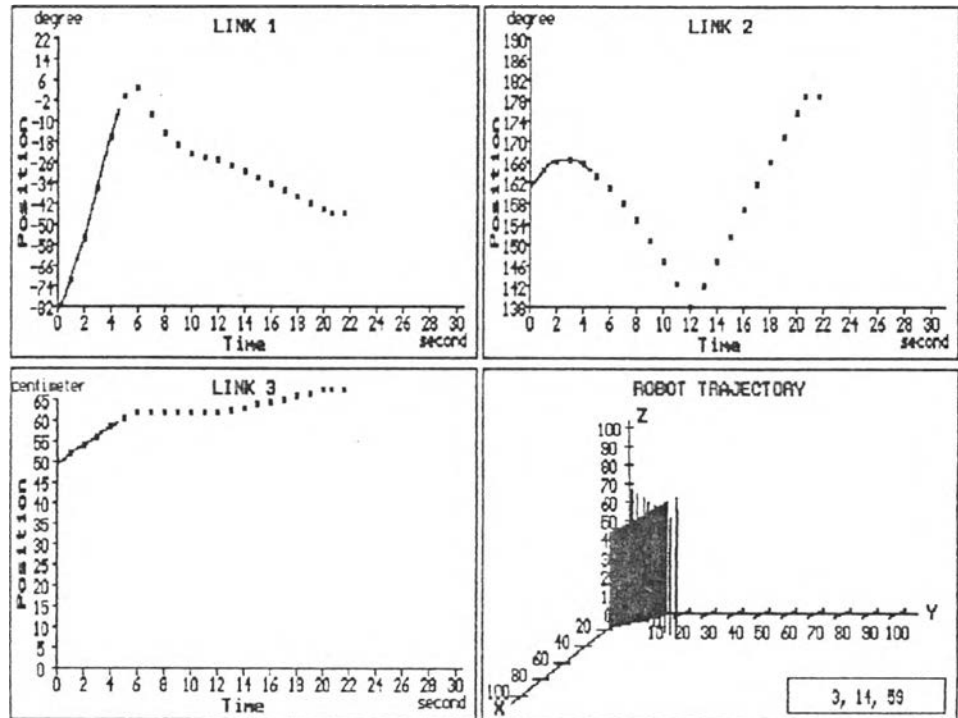
รูปที่ 76 แสดงหน้าจอหลังเลือกคำสั่ง Path Generation



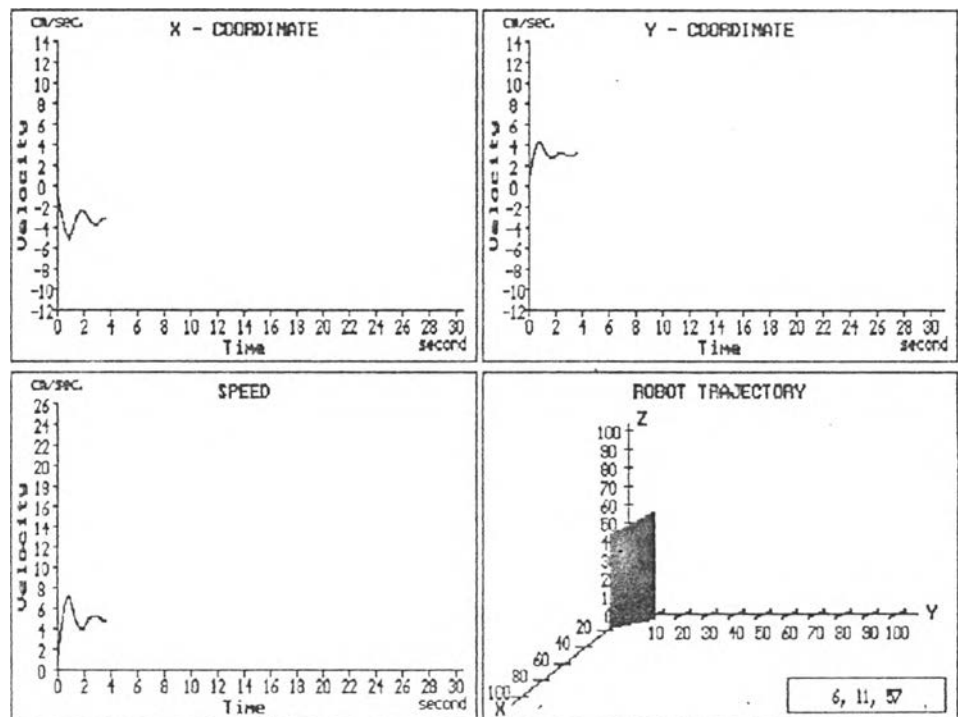
รูปที่ 77 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path of Link1 และเลือกเก็บข้อมูลสำหรับการแสดงผลออกทางพล็อตเตอร์



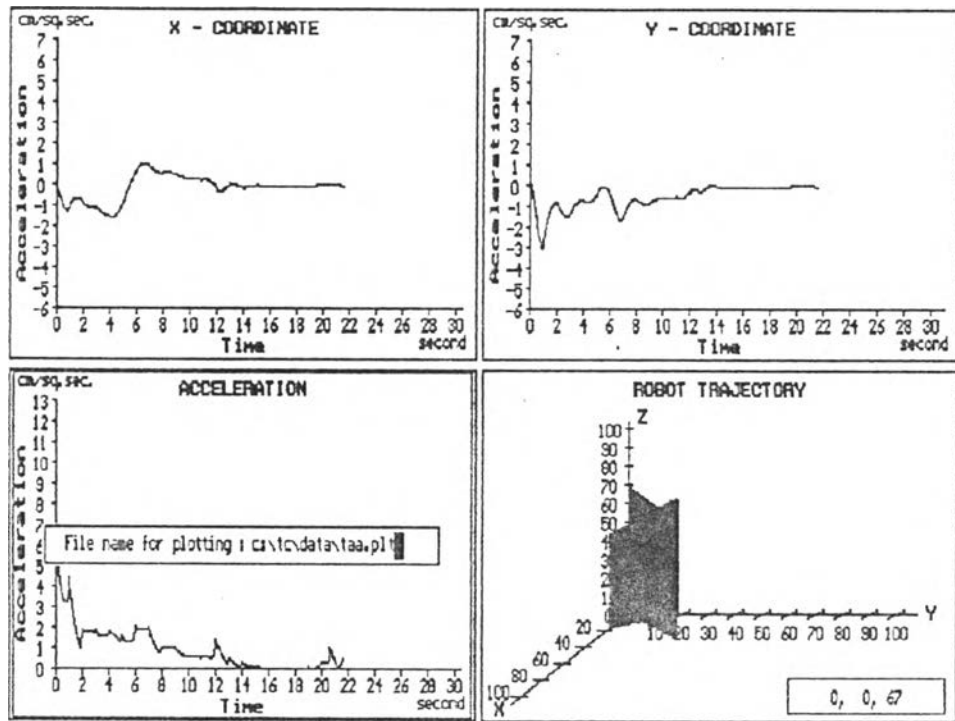
รูปที่ 78 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง 3D-Path



รูปที่ 79 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง All Path ซึ่งแสดงวิถีทางเดินของแขนย่อยทั้ง 3 และที่ปลายแขนแขนกล



รูปที่ 80 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Speed ซึ่งแสดงอัตราเร็วที่ปลายแขนแขนกล



รูปที่ 81 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Path Acceleration ซึ่งแสดงถึงความเร่งที่ปลายแขนแขนกล

----- ROBOT CONTROL -----

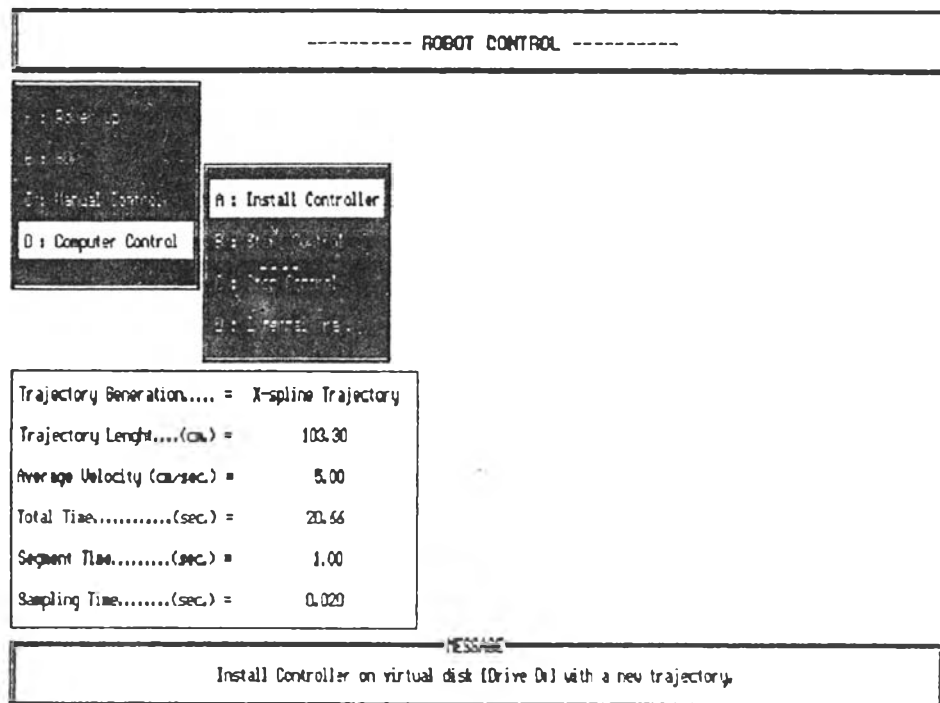
A : Power Up

Trajectory Generation..... = X-spline Trajectory
 Trajectory Length.....(cm) = 103.90
 Average Velocity (cm/sec) = 5.00
 Total Time.....(sec) = 20.56
 Segment Time.....(sec) = 1.00
 Sampling Time.....(sec) = 0.020

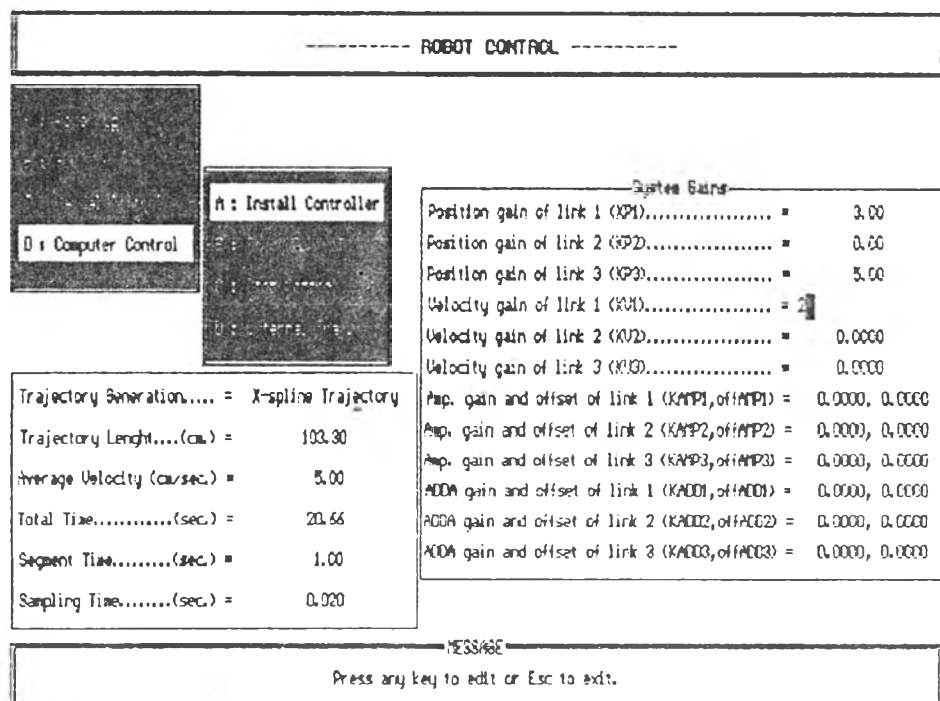
MESSAGE

Power up initialization of connected hardware

รูปที่ 82 แสดงหน้าจอหลังเลือกใช้คำสั่ง Control System



รูปที่ 83 แสดงหน้าจอหลังเลือกคำสั่ง Install Controller



รูปที่ 84 แสดงหน้าจอสำหรับกำหนดค่า Gain ของระบบ

----- DATA PLOTTING -----

Plotter Config.
 Plotter : Roland DX1-890
 Interface : Serial port 1
 Set serial mode : 9600 baud : even parity
 7 data bits : 1 stop bit
 Paper size : A4

Input graph position (0 : upper half or 1 : lower half) :
 Input file name for plotter :

----- MESSAGE -----
 File name for plotting must to be (.plt) only.

รูปที่ 85 แสดงหน้าจอหลัง เลือกใช้คำสั่ง Plotter

----- TRAJECTORY ERROR -----

Data Files
 Standard file name :
 Generated file name :
 Data error file name :

	Max. error (cm.)	time (sec.)
X axis :		
Y axis :		
Z axis :		
	No. error points	Average error(cm./point)
X axis :		
Y axis :		
Z axis :		
	Total points :	

----- MESSAGE -----
 Input standard file name.

รูปที่ 86 แสดงหน้าจอหลัง เลือกใช้คำสั่ง Position Error

maxell[®]
MINI-FLOPPY DISK

Reliable & Durable

โปรแกรมการสร้างทางเดินต่อเนื่อง (trajectory generation)

ประวัติผู้เขียน

นาย อุกัย เลิศชนะแสงธรรม เกิดเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2506 ที่อำเภอ
พญาไท จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจาก มหาวิทยาลัยเกษตร-
ศาสตร์ สาขา วิศวกรรมเกษตร เมื่อปีการศึกษา 2530

