

## บทที่ 5

### การทดลอง

การทดลองการทำงานของหุ่นยนต์โคบอทสามมิติในงานวิจัยนี้ จะเป็นการทดลองในระดับเบื้องต้น เนื่องจากในงานวิทยานิพนธ์นี้จะเน้นไปที่การสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์หุ่นยนต์โคบอทสามมิติ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการทดลองเพื่อทดสอบหุ่นยนต์โคบอทที่ได้สร้างขึ้นมา ซึ่งจะเป็นการทดลองควบคุมหุ่นยนต์โคบอทสามมิติแบบเบื้องต้น ให้สร้างเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงของปลายแขนกล ข้อแตกต่างหลักที่สำคัญ คือการใช้สมการเป็นฟังก์ชันของระยะทางการเคลื่อนที่(Path length parameter) แทนที่จะเป็นเวลา

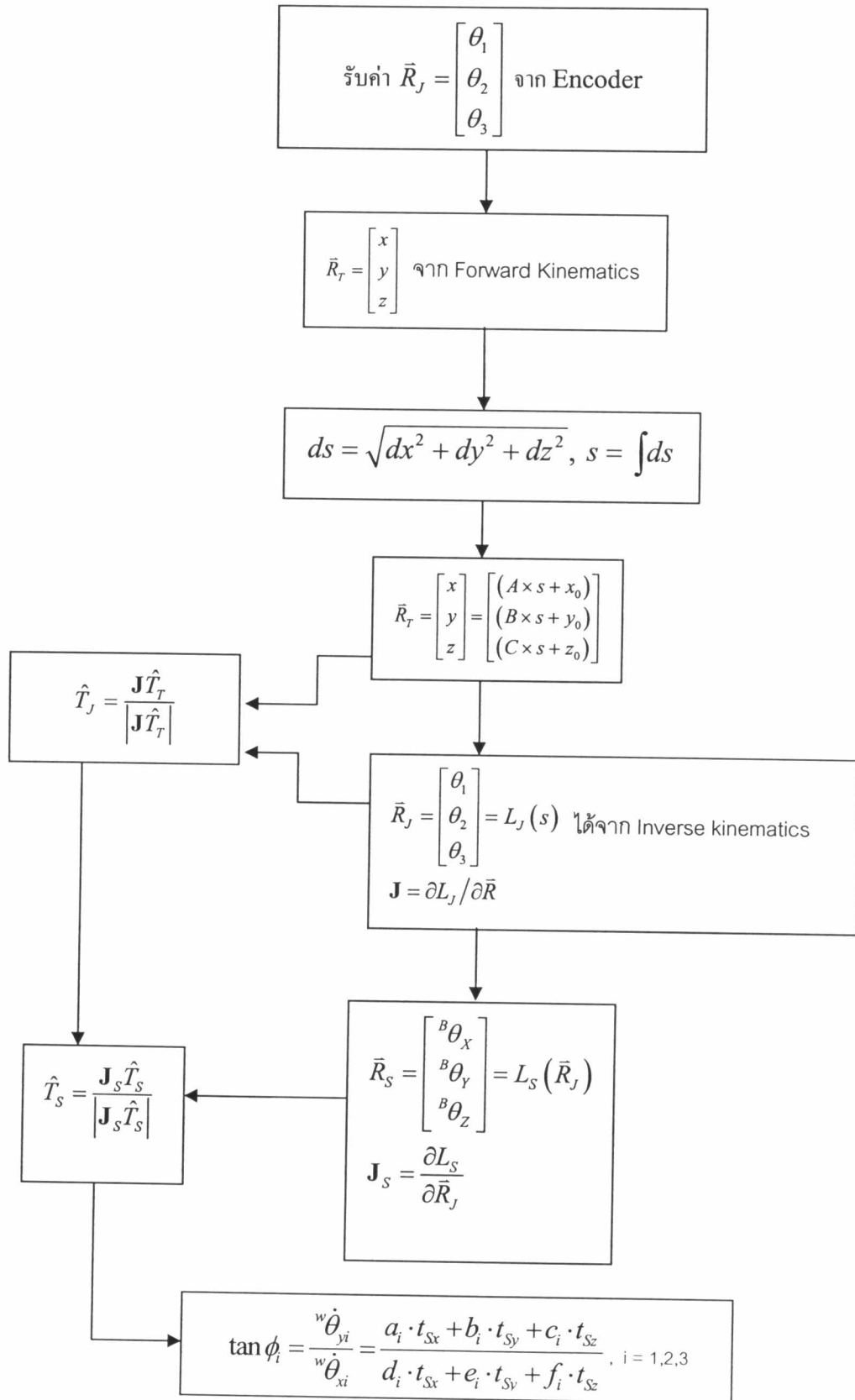
#### 5.1 หลักการควบคุมหุ่นยนต์โคบอทสามมิติเพื่อสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

การทดลองนี้จะทำการทดลองควบคุมหุ่นยนต์โคบอทสามมิติแบบเบื้องต้น ให้สร้างเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นตรงที่ปลายแขนกล ตามสมการ

$$f(s) = (A \times s + x_0)i + (B \times s + y_0)j + (C \times s + z_0)k \quad (5.1)$$

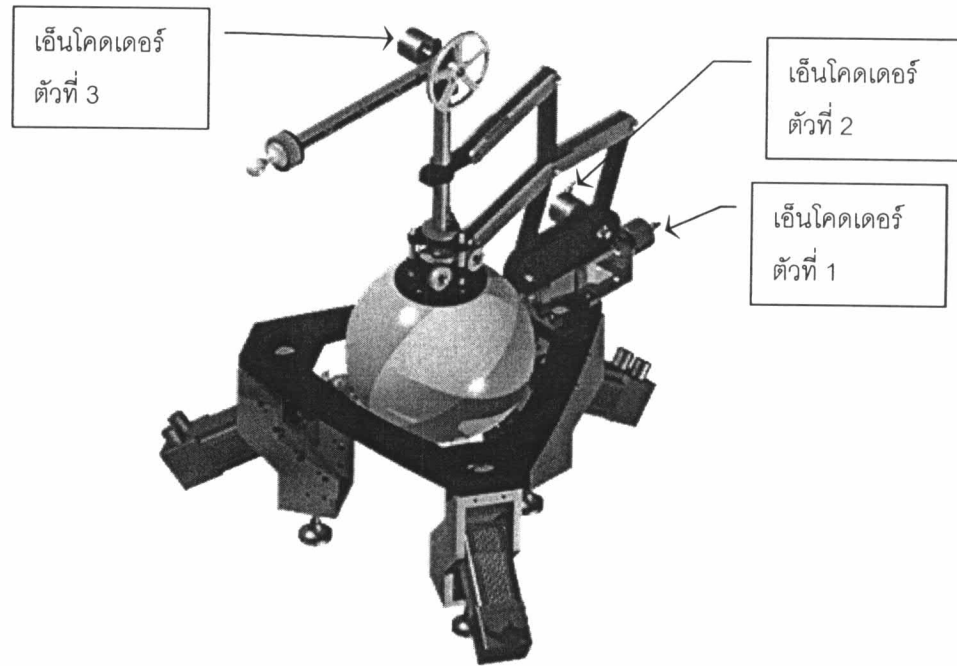
สมการที่ (5.1) จะเป็นสมการเส้นตรงในสเปซ  $X, Y, Z$  ใดๆ โดยที่  $s$  คือระยะทางการเคลื่อนที่ (Path length parameter)  $x_0, y_0, z_0$  คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของปลายแขนของหุ่นยนต์ (Task Space)

ในการทดลองสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ดังในสมการ (5.1) ผู้วิจัยจะใช้วิธีการควบคุมด้วยการหมุนตำแหน่งของล้อที่ชุดซีวีทีทั้งสาม ให้ได้เวกเตอร์สัมผัสการเคลื่อนที่ทรงกลมหนึ่งหน่วยตามความสัมพันธ์ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ที่เป็นไปตามสมการข้างต้น จะสามารถแสดงวิธีการหาตำแหน่งแกนหมุนของล้อได้ดังแผนผังในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 วิธีการหาดำเน่งมุมบิดของล้อยให้เป็นที่ไปตามการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง

ในรูปที่ 5.1 จะเป็นการแสดงแผนผังที่เริ่มจากการรับข้อมูลจากเอ็นโคดเดอร์ทั้ง 3 ตัว ที่ติดตั้งเอาไว้ที่หุ่นยนต์ดังตำแหน่งที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 มุมที่วัดได้คือเป็นตำแหน่งของแต่ละข้อต่อ จากนั้นทำการเปลี่ยนค่ามุมของข้อต่อที่วัดได้ไปเป็นตำแหน่งของปลายแขนของหุ่นยนต์โดยใช้สมการจลศาสตร์แบบไปข้างหน้า (Forward kinematics) เพื่อนำไปหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ของปลายแขน ระยะทางที่ได้นั้นจะสามารถที่จะนำไปแทนในสมการที่ (5.1) ทำให้จะได้ตำแหน่งของปลายแขนที่ควรเป็น



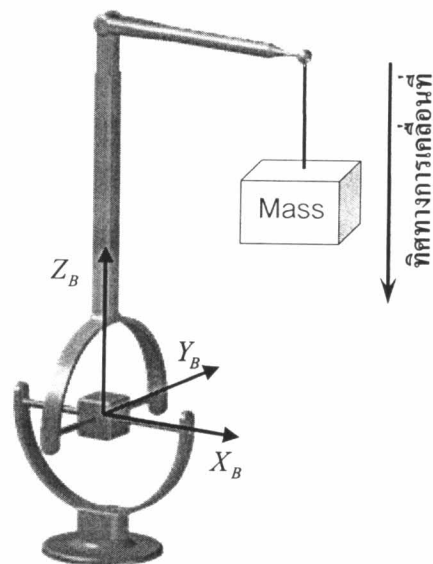
รูปที่ 5.2 ตำแหน่งการติดตั้งเอ็นโคดเดอร์

ส่วนที่เหลือของแผนผังจะเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งของปลายแขนที่ควรจะเป็นย้อนกลับไปที่การเคลื่อนที่ของข้อต่อ จนถึง การเคลื่อนที่ของทรงกลม ในแผนผังดังกล่าวยังได้ทำการหาเวกเตอร์สัมผัสของข้อต่อ ( $\hat{r}_i$ ) เวกเตอร์สัมผัสของสเปซการเคลื่อนที่ของทรงกลม ( $\hat{r}_s$ ) และจะถูกนำไปหาตำแหน่งแกนหมุนของล้อ ( $\phi$ ) เพื่อนำไปควบคุมมอเตอร์

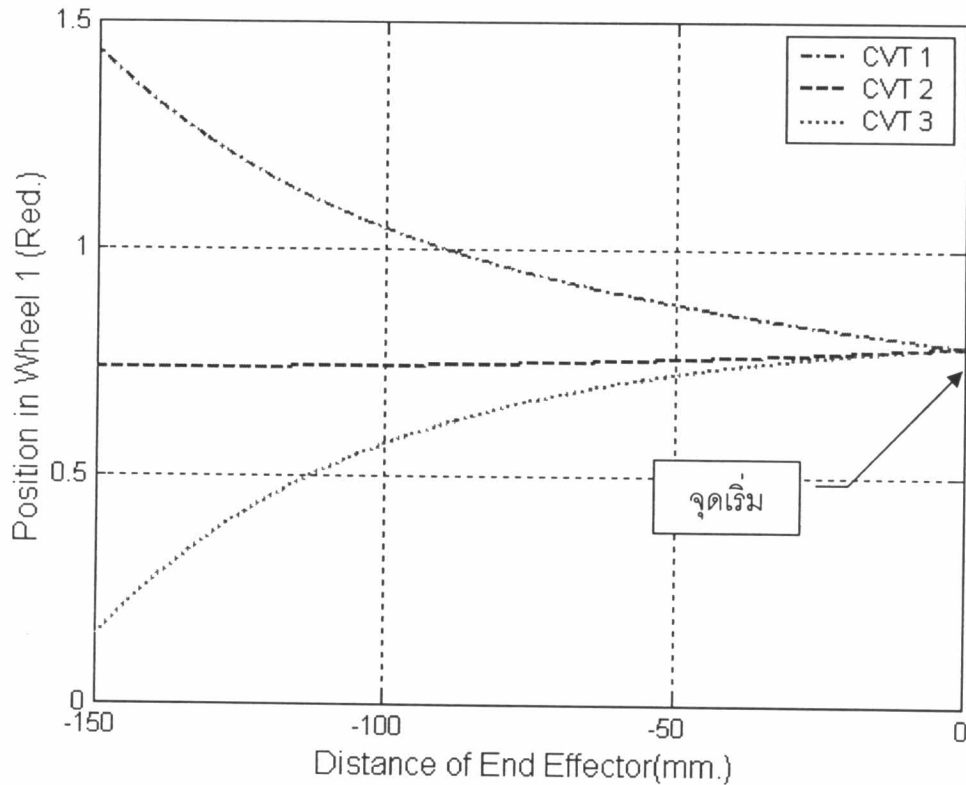
### 5.1 การทดลองและผลการทดลอง

จากหลักการควบคุมหุ่นยนต์ข้างต้น สามารถนำไปทดลองควบคุมหุ่นยนต์โคบอทสามมิติ การทดลองจะกำหนดให้ค่าคงที่ต่างๆ ตามสมการเส้นตรง (5.1) ดังนี้  $A = 0$ ,  $B = 0$ ,  $C = 1$ ,  $x_0 = 250$ ,  $y_0 = 0$ ,  $z_0 = 400$  ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในแกน Z โดยแกน X และแกน Y จะต้องไม่เคลื่อนที่

เหตุผลที่เราทำการทดสอบในแกนนี้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ในแกน Z เพียงแกนเดียวจะเป็นการเคลื่อนที่ที่ง่าย และทำให้มีความชัดเจนในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกับผลทดสอบ ถึงแม้ว่าเคลื่อนที่ปลายแขนกลในหนึ่งองศาอิสระตามแกน Z แต่ในการเคลื่อนที่ของแกนหมุนล้อทั้ง 3 ชุด จะไม่เคลื่อนที่ในลักษณะเชิงเส้นและเป็นฟังก์ชันของระยะทางปลายแขนกล ในการทดลองจะเคลื่อนที่ปลายแขนกล โดยอาศัยลูกตุ้มน้ำหนักขนาดน้ำหนัก 250 กรัม 350 กรัม และ 450 กรัม มาถ่วงปลายแขนกลเพื่อให้เคลื่อนที่ลงตามแนวแกน Z เป็นระยะทาง 150 มม. ดังรูปที่ 5.3 และสามารถแสดงการเคลื่อนที่ของแกนหมุนล้อทั้งสามชุดในรูปที่ 5.4



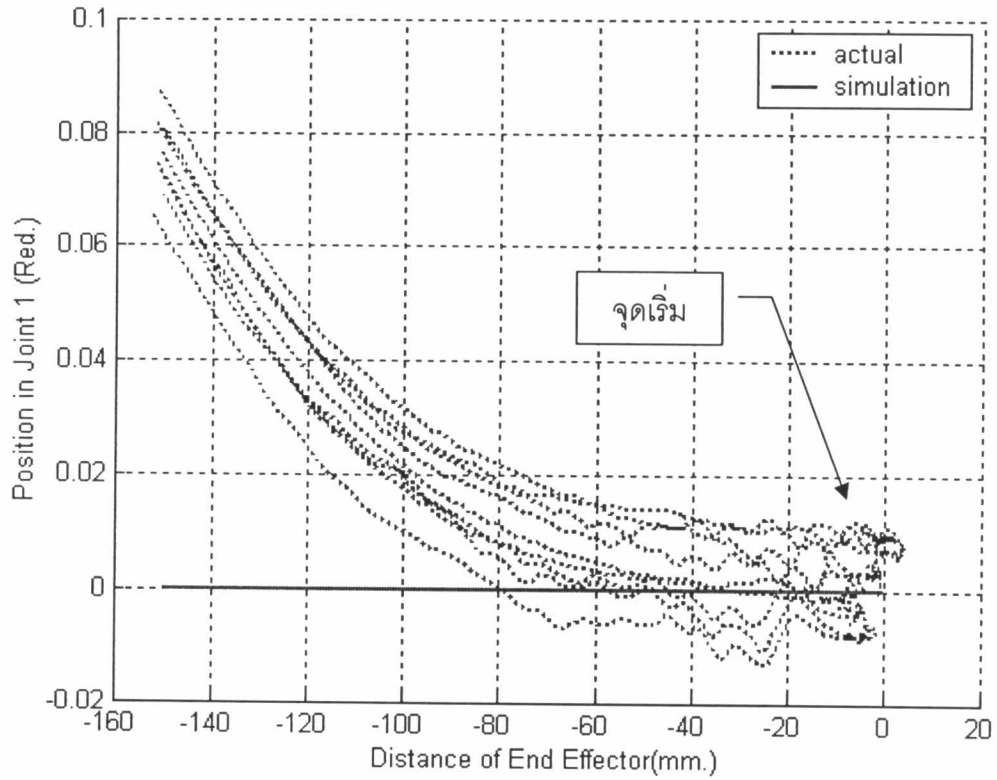
รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะวิธีทดลองด้วยการแขวนมวลที่ปลายแขนกล



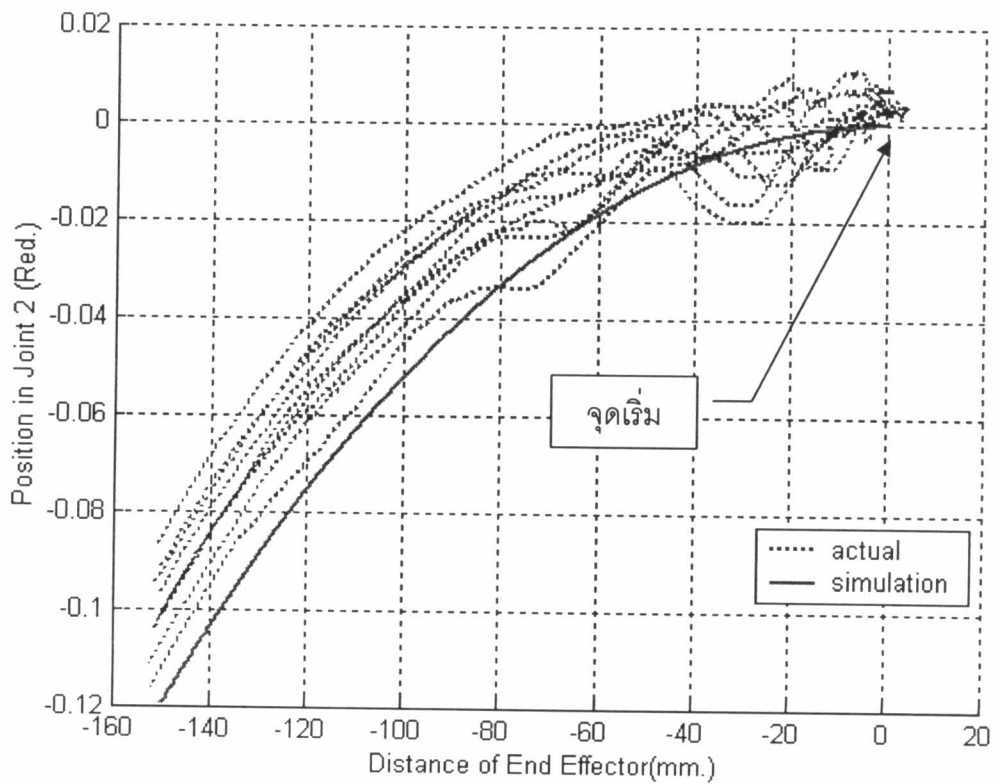
รูปที่ 5.4 การเคลื่อนที่ของตำแหน่งแกนหมุนล้อเทียบกับระยะทางของปลายแขนที่เคลื่อนไป

การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมหุ่นยนต์จะอาศัยโปรแกรม "Microsoft Visual C++ .NET" ซึ่งเป็นภาษา C++ และโปรแกรม "Matlab version 6.1" สำหรับจำลองการทำงาน โดยจะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

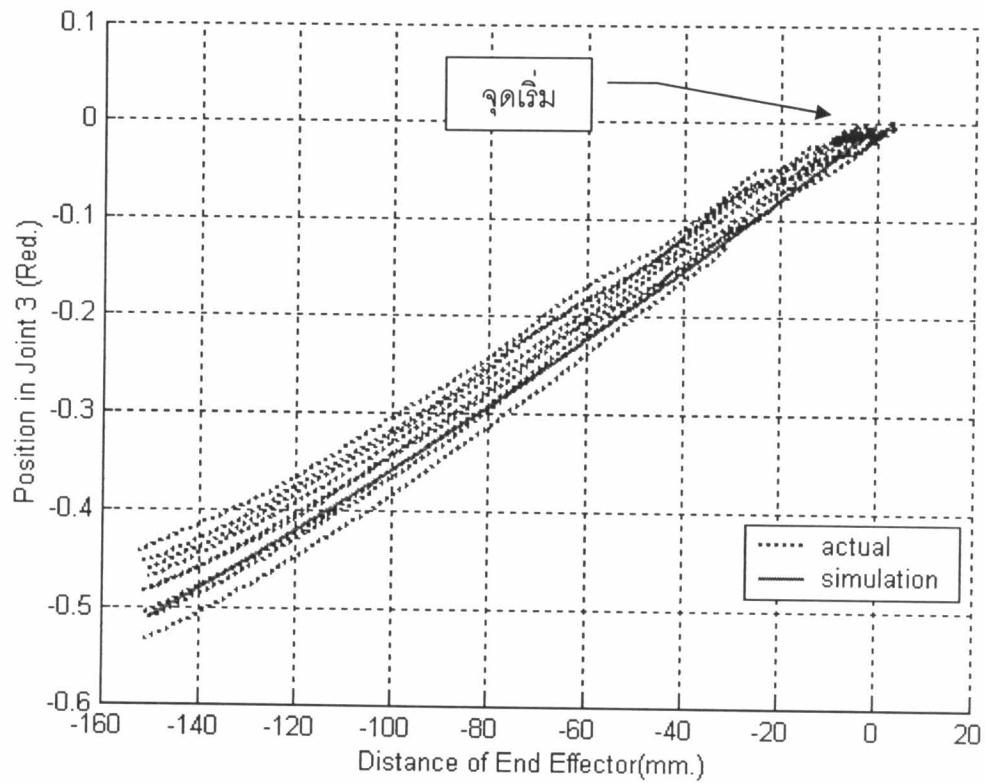
การทดลองแรกใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 250 กรัม แขนงที่ตำแหน่งปลายแขนกลเพื่อให้แขนเคลื่อนที่ลงตามแนวแกน Z ทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ผลที่ได้จากการเก็บค่าตำแหน่งของเอ็นโคเดออร์แต่ละตัว แสดงได้ดังรูป 5.5 ถึงรูป 5.7



รูปที่ 5.5 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 250 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 1

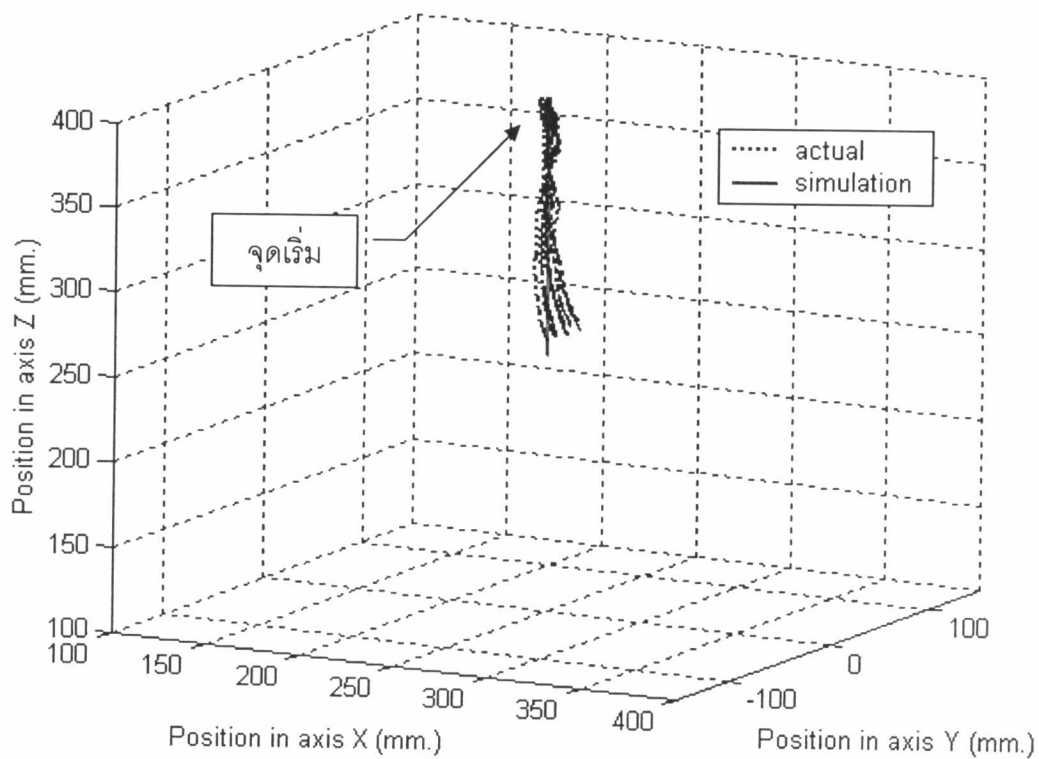


รูปที่ 5.6 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 250 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 2

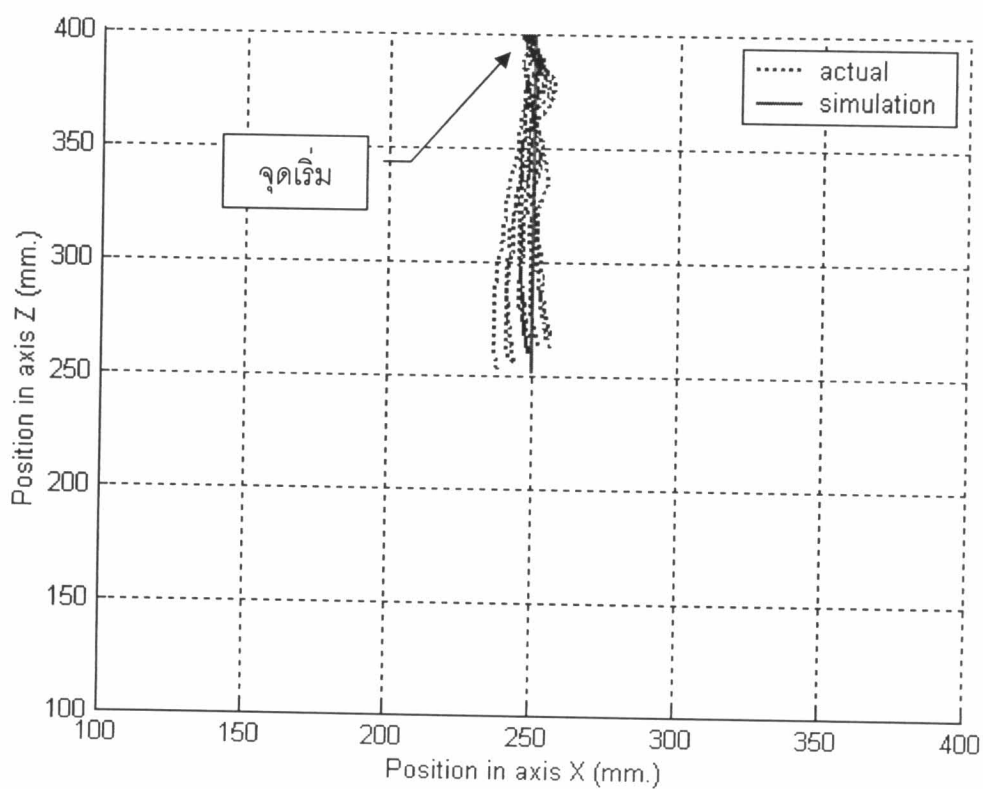


รูปที่ 5.7 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 250 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 3

ผลที่ได้ของแต่ละข้อต่อแขนกลเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดมากที่สุดประมาณ 0.08 เรเดียน ที่ข้อต่อแขนกล 1 ข้อต่อแขนกลทั้ง 3 สามารถแปลงเป็นการเคลื่อนที่ปลายแขนกลดังรูปที่ 5.8 ถึงรูปที่ 5.10

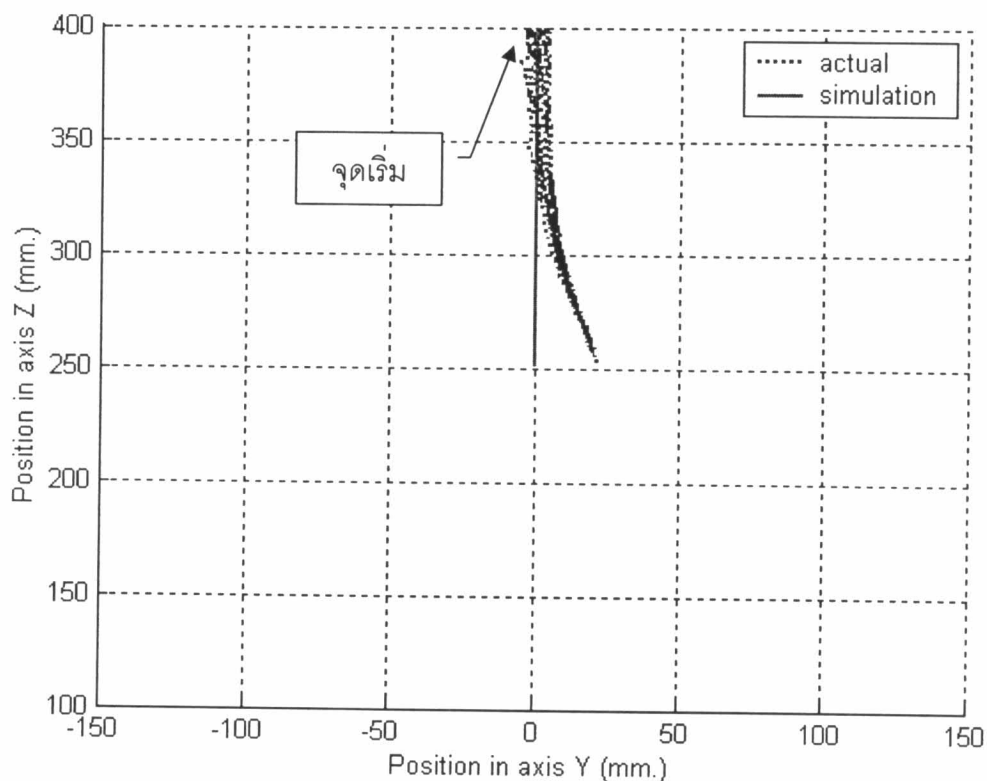


รูปที่ 5.8 การเคลื่อนที่ปลายแขนกลด้วยการถ่วงน้ำหนัก 250 กรัม



รูปที่ 5.9 การเคลื่อนที่ตำแหน่งปลายแขนด้วยกรถ่วงน้ำหนัก 250 กรัมในแกน X-Z

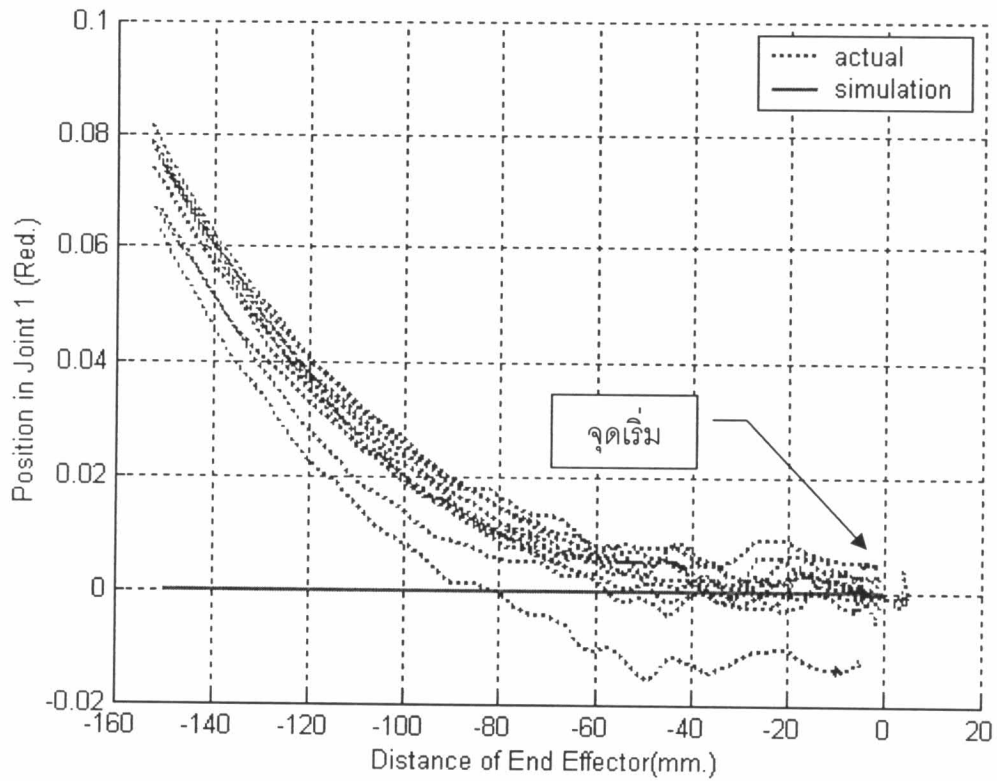




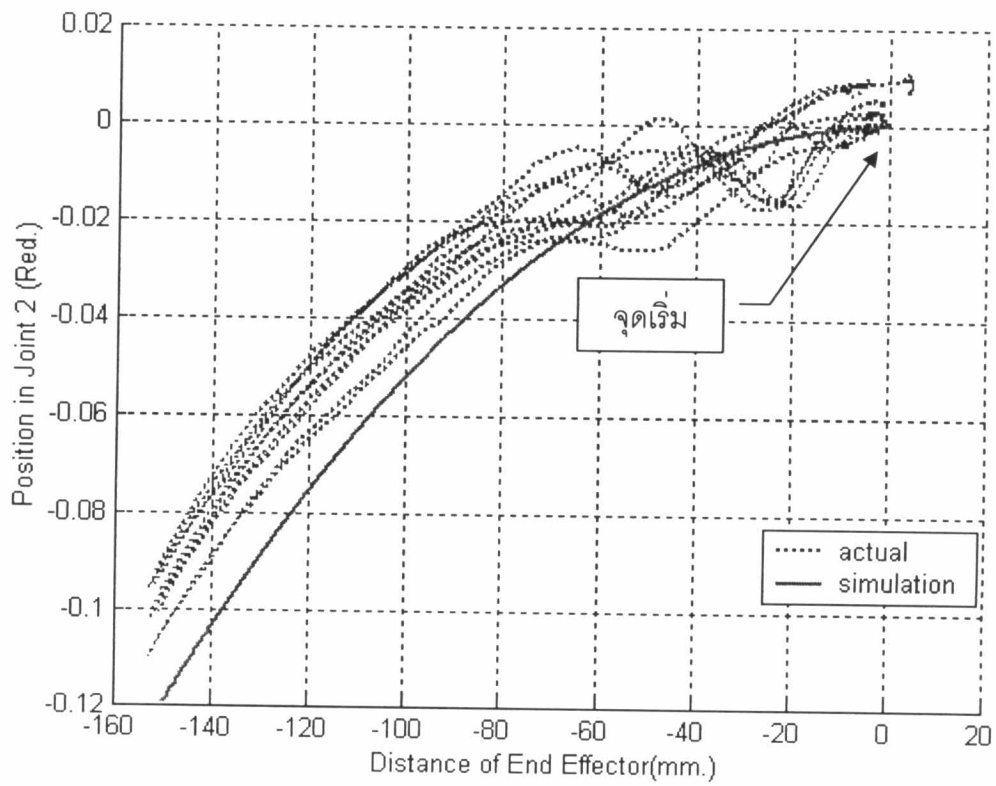
รูปที่ 5.10 การเคลื่อนที่ตำแหน่งปลายแขนด้วยการถ่วงน้ำหนัก 250 กรัมในแกน Y-Z

ผลการเคลื่อนที่ปลายแขนกรุป 5.9 แสดงให้เห็นการทำซ้ำที่ค่อนข้างแย่ในแกน X ต่างจากรูป 5.10 ที่แกน Y การทำซ้ำให้ผลที่ดี การเคลื่อนที่ของปลายแขนกลที่ทำการทดสอบหลายครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งมีการเคลื่อนที่ในลักษณะเดียวกัน มีความผิดพลาดแกน X ประมาณ 20 มม. แกน Y ประมาณ 20 มม.

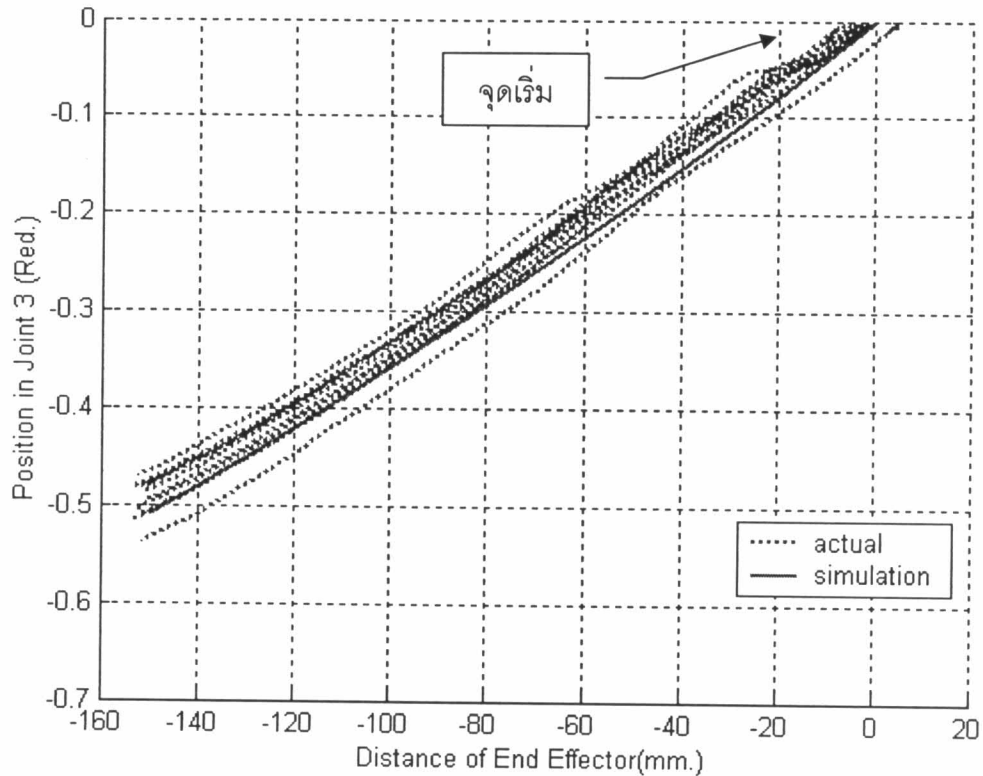
การทดลองสองใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 350 กรัม แขนงที่ตำแหน่งปลายแขนกลเพื่อให้แขนเคลื่อนที่ลงตามแนวแกน Z ทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ผลที่ได้จากการเก็บค่าตำแหน่งของเอ็นโคดเดอร์แต่ละตัว แสดงได้ดังรูป 5.11 ถึงรูป 5.13



รูปที่ 5.11 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 350 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 1

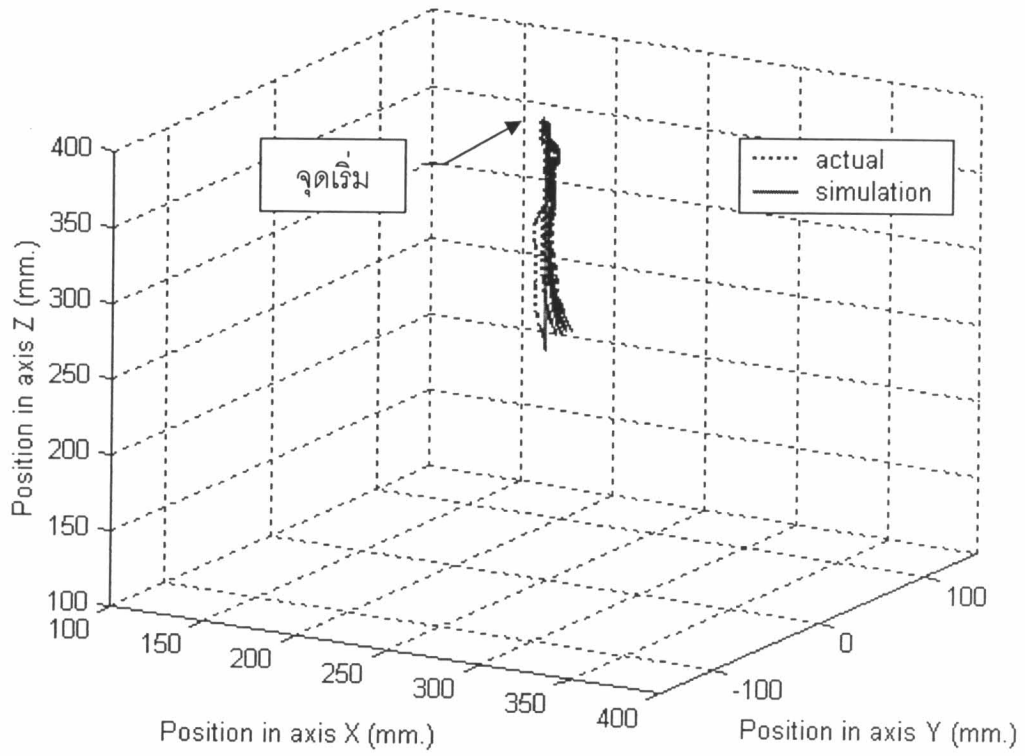


รูปที่ 5.12 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 350 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 2

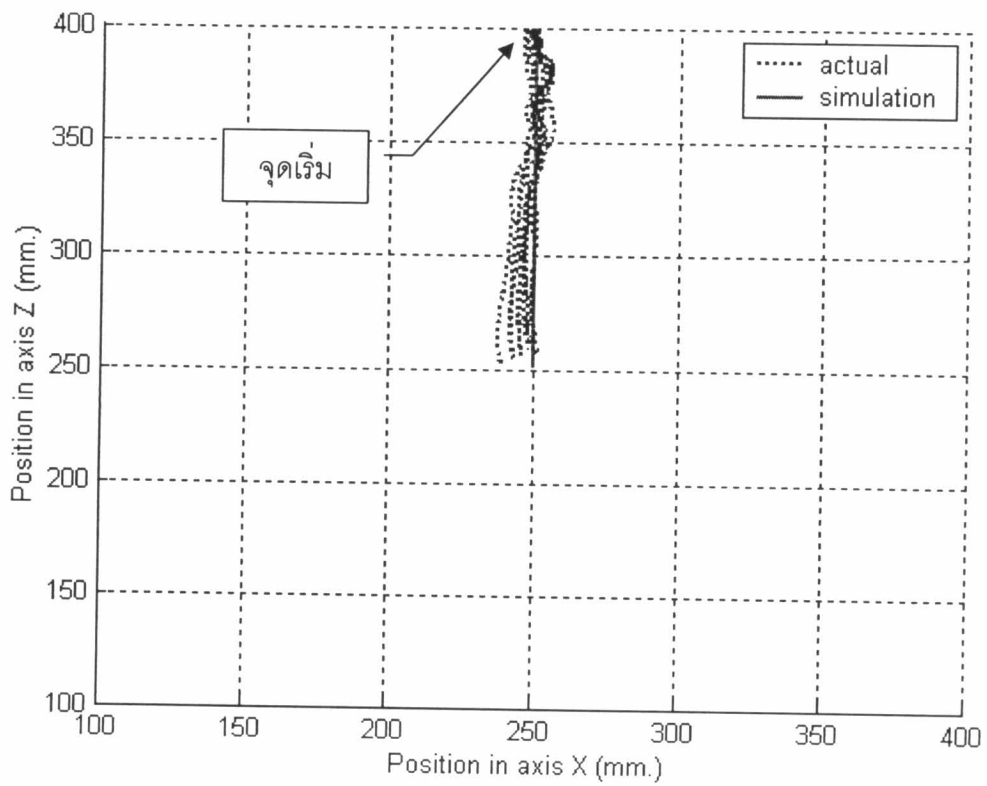


รูปที่ 5.13 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 350 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 3

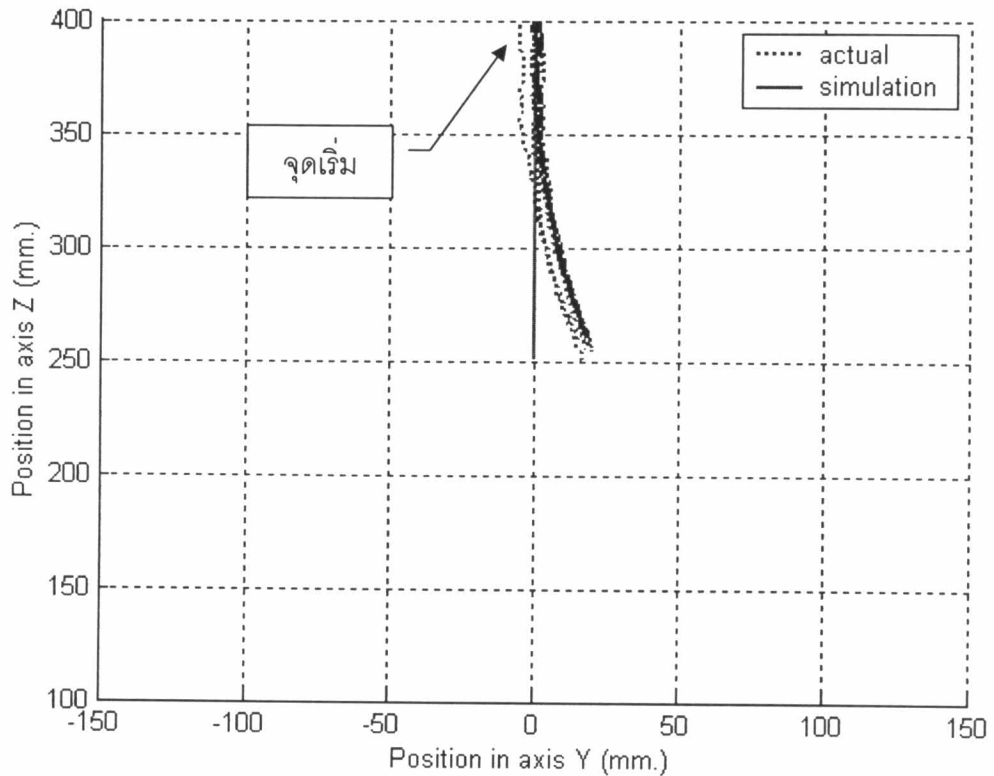
ผลที่ได้คล้ายกับผลที่ใช้มวล 250 กรัม เห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดมากที่สุดประมาณ 0.08 เรเดียน ที่ข้อต่อแขนกล 1 การทดลองนี้สิ่งหนึ่งที่สังเกตได้คือการทำซ้ำสามารถทำได้ดีขึ้น เมื่อแปลงเป็นการเคลื่อนที่ปลายแขนกลจะไดัดังรูปที่ 5.14 ถึงรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.14 การเคลื่อนที่ปลายแขนกลด้วยการถ่วงน้ำหนัก 350 กรัม



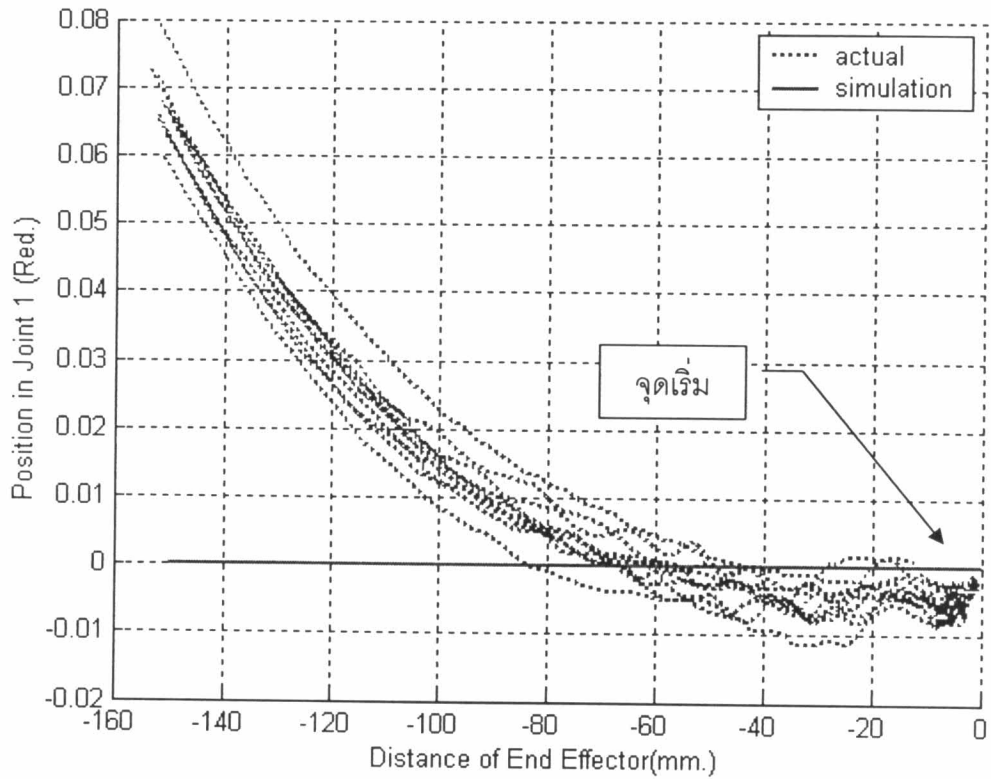
รูปที่ 5.15 การเคลื่อนที่ตำแหน่งปลายแขนด้วยการถ่วงน้ำหนัก 350 กรัมในแกน X-Z



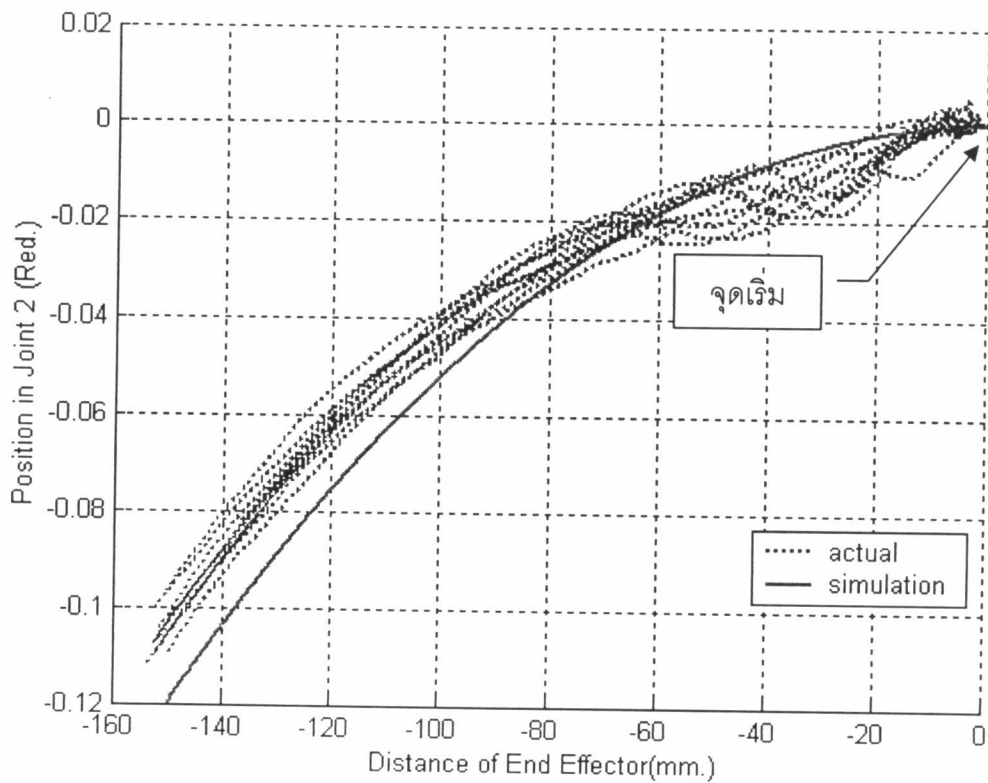
รูปที่ 5.16 การเคลื่อนที่ตำแหน่งปลายแขนด้วยการถ่วงน้ำหนัก 350 กรัมในแกน Y-Z

เช่นเดียวกับในสเปซข้อต่อผลการทำซ้ำให้ผลที่ดีขึ้นกว่าการใช้มวล 250 กรัม ค่าความผิดพลาดแกน X ประมาณ 20 มม. น้อยกว่าความผิดพลาดในแกน Y มีค่าผิดพลาดประมาณ 20 มม.

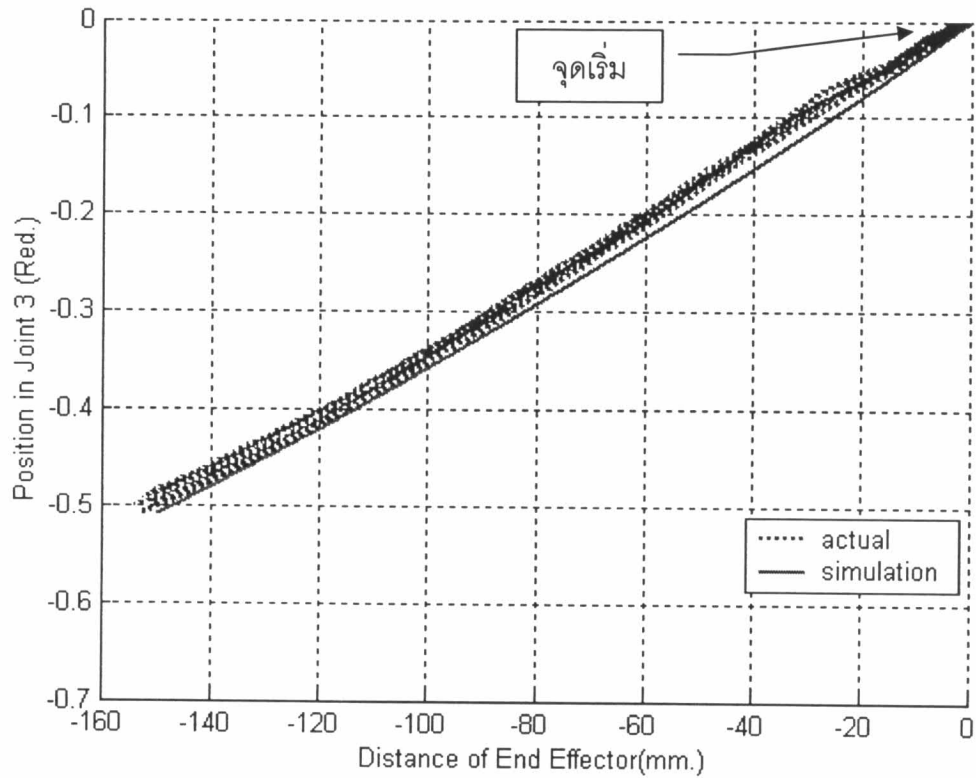
และสุดท้ายการทดลองสามใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 450 กรัม แขนที่ตำแหน่งปลายแขนกล เพื่อให้แขนเคลื่อนที่ลงตามแนวแกน Z ทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ผลที่ได้จากการเก็บค่าตำแหน่งของเอ็นโคดเดอร์แต่ละตัว แสดงได้ดังรูป 5.17 ถึงรูป 5.19



รูปที่ 5.17 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 450 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 1

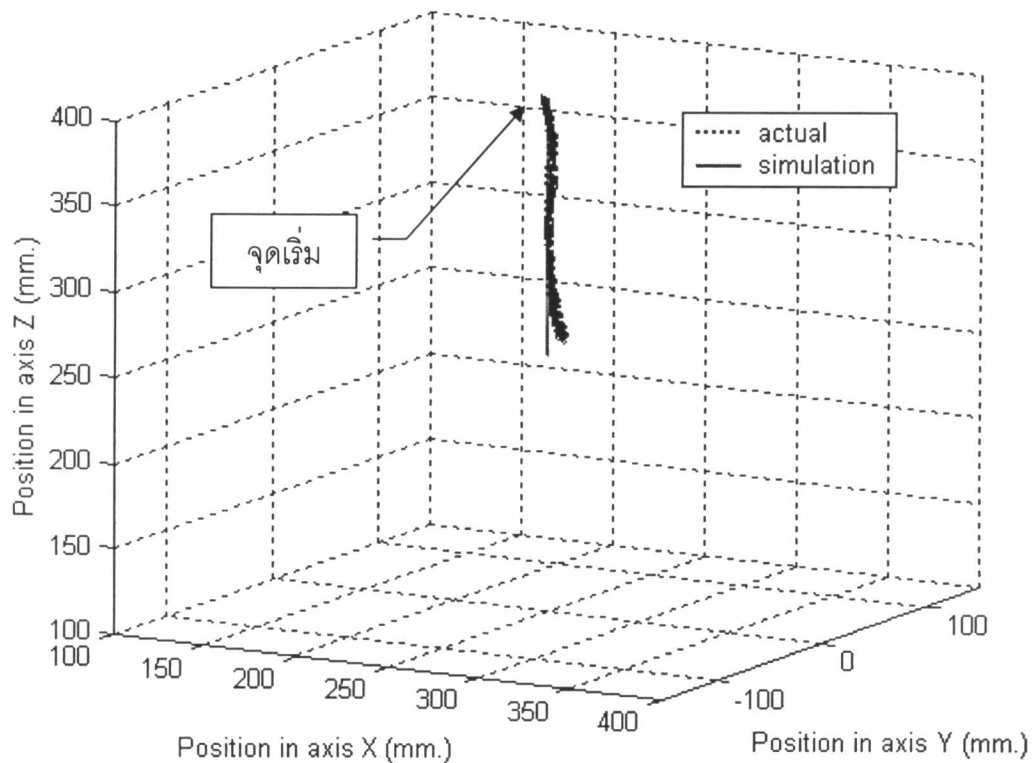


รูปที่ 5.18 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 450 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 2

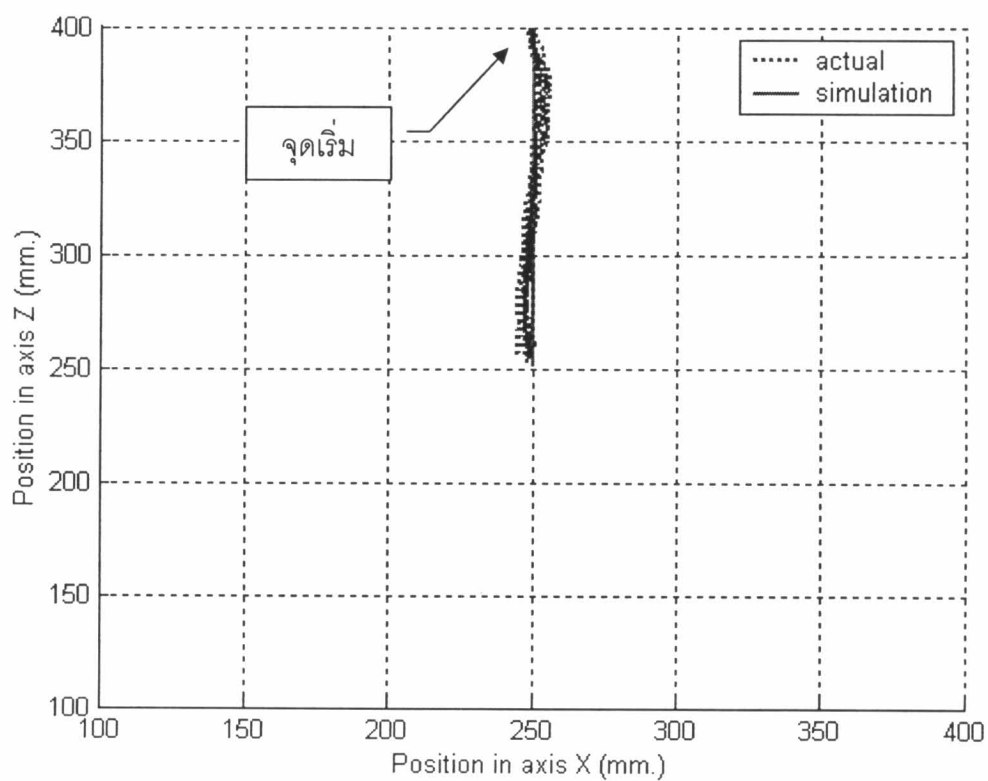


รูปที่ 5.19 ผลทดสอบจริงด้วยมวล 450 กรัม เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองของข้อต่อ 3

ผลที่ได้คล้ายกับผลที่ใช้มวล 250 กรัม และ 350 กรัม ค่าความผิดพลาดมากที่สุดประมาณ 0.07 เรเดียน ที่ข้อต่อแขนกล 1 การทำซ้ำสามารถทำได้ดีขึ้นกว่าการทดลองสองครั้งแรก เมื่อแปลงเป็นการเคลื่อนที่ปลายแขนกลจะได้นั่งรูปที่ 5.20 ถึงรูปที่ 5.22

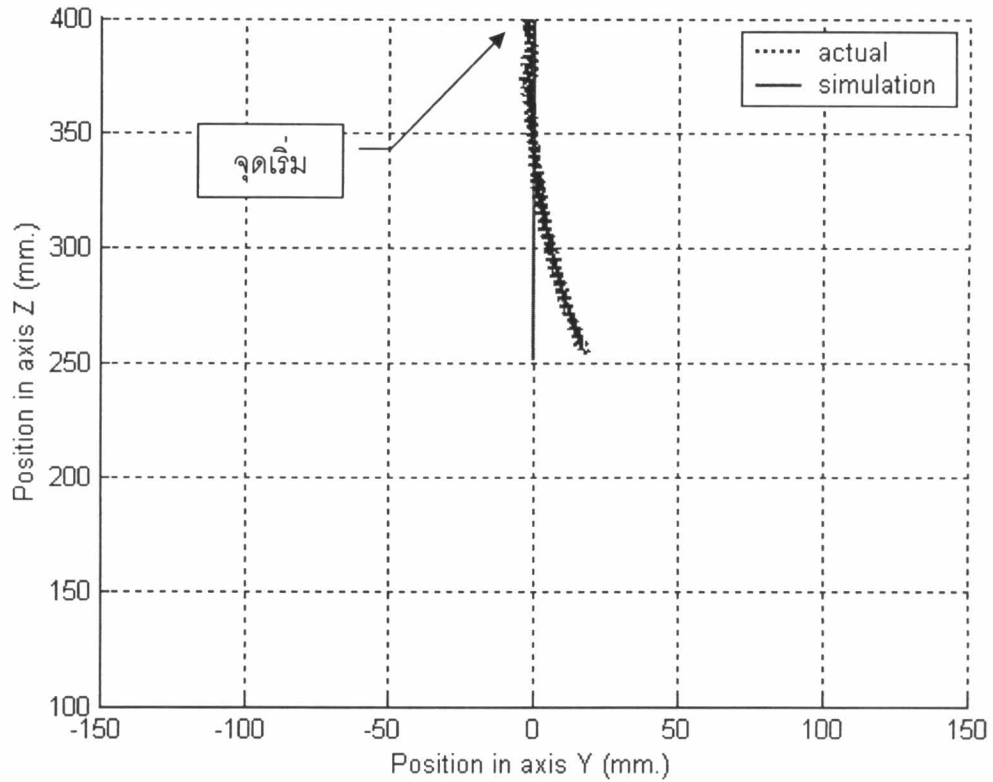


รูปที่ 5.20 การเคลื่อนที่ปลายแขนกลด้วยการถ่วงน้ำหนัก 450 กรัม



รูปที่ 5.21 การเคลื่อนที่ตำแหน่งปลายแขนด้วยการถ่วงน้ำหนัก 450 กรัมในแกน X-Z

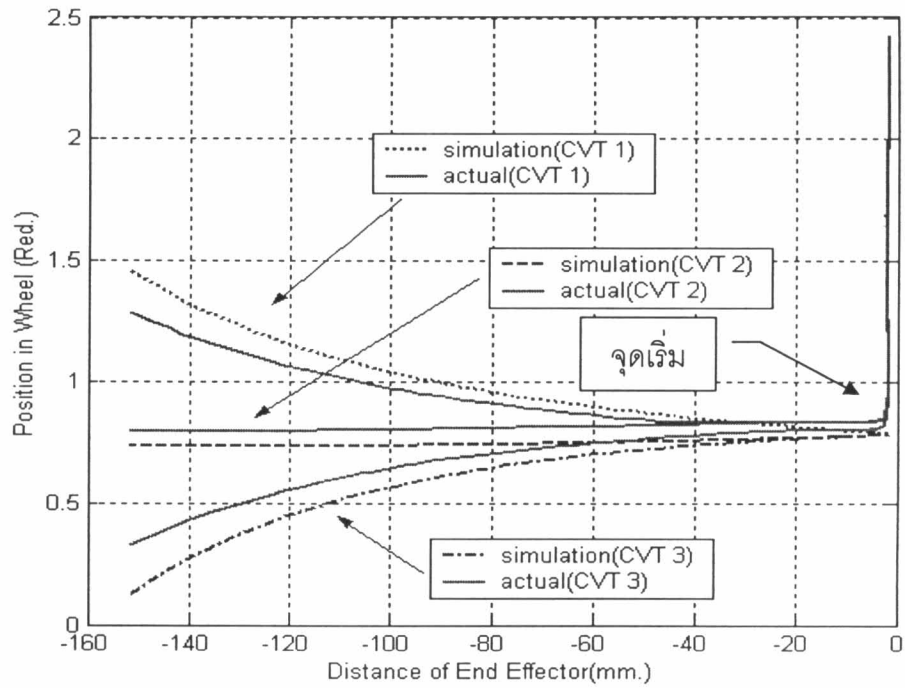




รูปที่ 5.22 การเคลื่อนที่ตำแหน่งปลายแขนด้วยการถ่วงน้ำหนัก 450 กรัมในแกน Y-Z

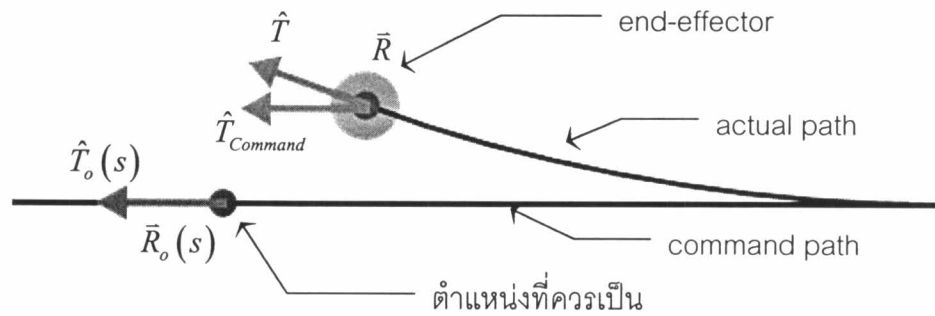
การทำซ้ำให้ผลที่ดีขึ้นกว่าการใช้มวล 250 กรัม และ 350 กรัม ค่าความผิดพลาดแกน X ประมาณ 10 มม. น้อยกว่าความผิดพลาดในแกน Y มีค่าผิดพลาดประมาณ 20 มม.

เนื่องจากผลทดลองทั้ง 30 ครั้งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นสามารถเลือกผลเปรียบเทียบของตำแหน่งล้อจริงในชุดซีวีที่ทั้งสาม กับผลที่ได้จากการจำลองการทำงานจากการทดสอบครั้งหนึ่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งล้อจริงกับการจำลองการทำงาน

สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนในรูปที่ 5.23 ก็คือการเกิดการชิฟเฟสการทำงานออกไปโดยแนวโน้มการเคลื่อนที่คล้ายกัน รูปนี้ยังแสดงให้เห็นถึงลักษณะของค่าความผิดพลาดที่สะสมมากขึ้นตามระยะทางการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.24 แสดงความผิดพลาดการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเพราะระยะ s ไม่ตรงกับตำแหน่งจริงในเส้นทางที่ต้องการ

เมื่อปลายแขนกลเคลื่อนที่เป็นระยะทาง  $s$  ไปที่ตำแหน่ง  $\bar{R}$  (ตำแหน่งจริงปลายแขนกล) ซึ่งมีความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ขึ้น คอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมจะ 모르ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ทำให้ระบบควบคุมใช้ตัวแปร  $s$  ที่ได้จากการอินทิเกรตของเส้นทางเคลื่อนที่จริง (actual path) ไปคำนวณหา  $\hat{T}_{Command}$  ในเส้นทางเคลื่อนที่ที่ควรเป็น (Command path) ดังแสดงในรูป 5.24 ทำให้คำสั่งที่ได้เพียงพอแค่ทำให้ปลายแขนกลขนานกับเส้นทางเคลื่อนที่ที่ควรเป็นเท่านั้น แท้จริง

แล้วระบบควบคุมต้องสั่งชดเชยเพิ่มให้ทิศทางมุ่งเข้าสู่เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ควรเป็นด้วย ด้วยเหตุผลนี้ทำให้เกิดความผิดพลาดสะสมขึ้น เนื่องจากระบบควบคุมเบื้องต้นนี้เป็นแบบการควบคุมแบบเปิด