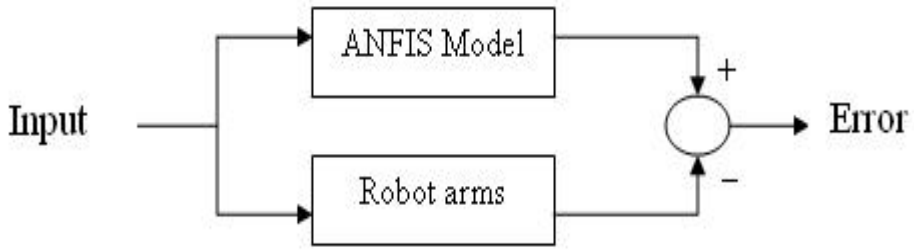
3. <u>การทดลองการตรวจสอบและคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด</u>

หลังจากนำแบบจำลอง ANFIS แบบต่าง ๆ มาผ่านกระบวนการเรียนรู้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำเอาแบบจำลอง ANFIS ที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกในส่วนของกระบวนการเรียนรู้มาทำการตรวจสอบว่าจะใช้แบบจำลองตัวใดมาเป็นแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์ได้บ้าง โดยในส่วนการทดลองนี้จะนำเอาแบบจำลองเหล่านั้นมาทำการตรวจสอบแบบวงเปิด แล้วนำผลตอบสนองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์ วิธีการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 63



<u>ภาพที่ 63</u> การตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

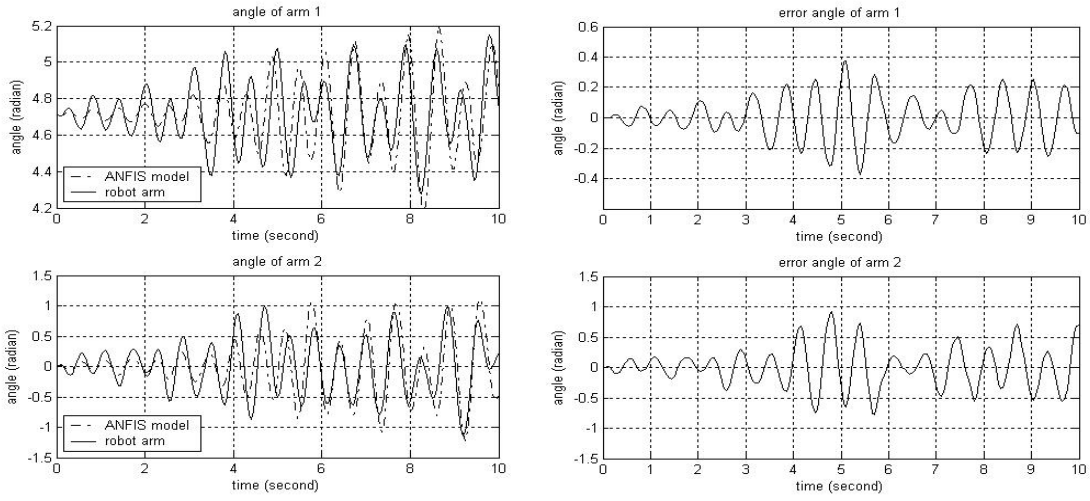
3.1 การตรวจสอบและคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Open-Loop System Identification ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

โดยการตรวจสอบจะกำหนดให้อินพุตที่ใช้ป้อนให้กับระบบแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง ANFIS เป็นสัญญาณ PRBS ซึ่งเป็นสัญญาณเดียวกันกับที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้แล้วทำการวัดผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองจากแบบจำลอง ANFIS โดยสามารถแสดงผลในรูปแบบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่าง ระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองจากแบบจำลอง ANFIS ที่แต่ละเวลายกกำลังสอง (RMSE) ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Open-Loop System Identification ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

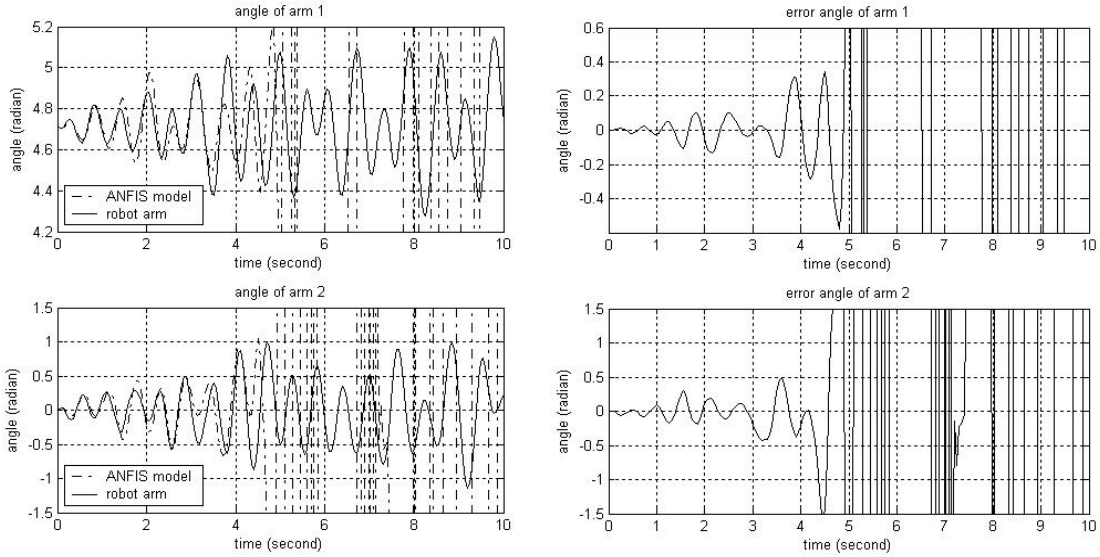
แบบจำลอง ANFIS	ค่า RMSE	
	แขนหุ่นยนต์ที่ 1	แขนหุ่นยนต์ที่ 1
openSID2	0.142986	0.330117
openSID3	35828.337137	505715.578901
openSID5	0.032712	0.082892
openSID6	1.2×10^{26}	1.2×10^{26}
openSID7	2.9×10^{20}	8.9×10^{20}

และสามารถแสดงผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง ANFIS รวมถึงกราฟแสดงความแตกต่างของผลตอบสนองได้ดังนี้ สำหรับแบบจำลอง openSID2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 64, สำหรับแบบจำลอง openSID3 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 65, สำหรับแบบจำลอง openSID5 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 66, สำหรับแบบจำลอง openSID6 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 67 และสำหรับแบบจำลอง openSID7 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 68



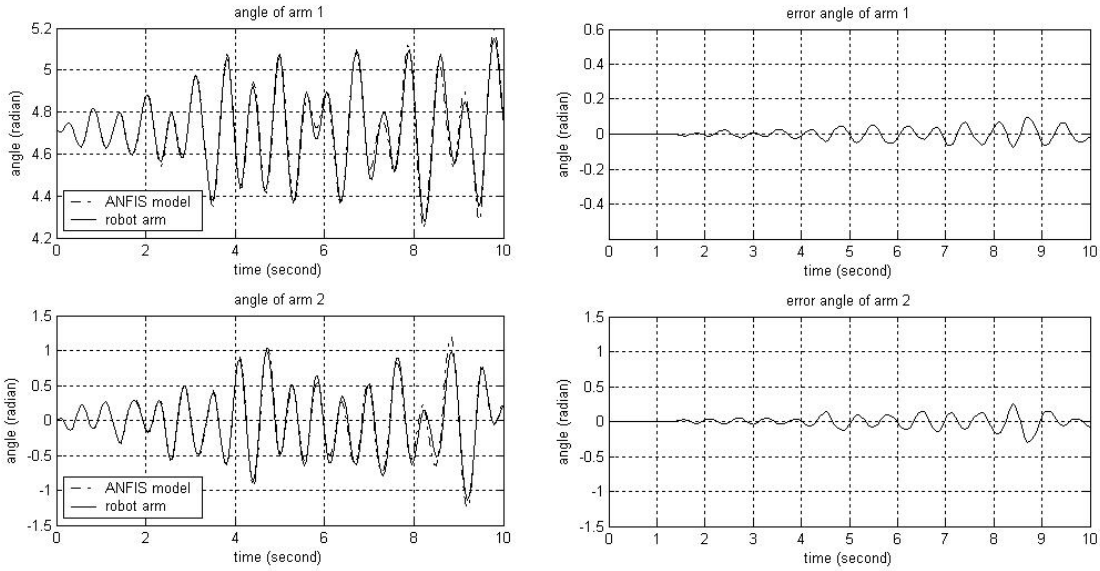
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 64 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



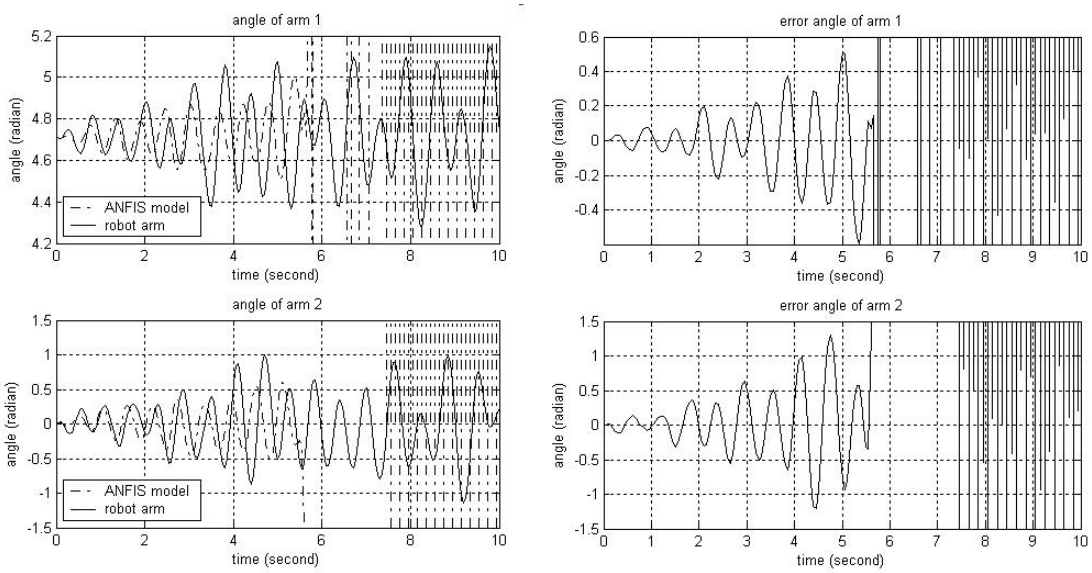
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 65</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID3 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



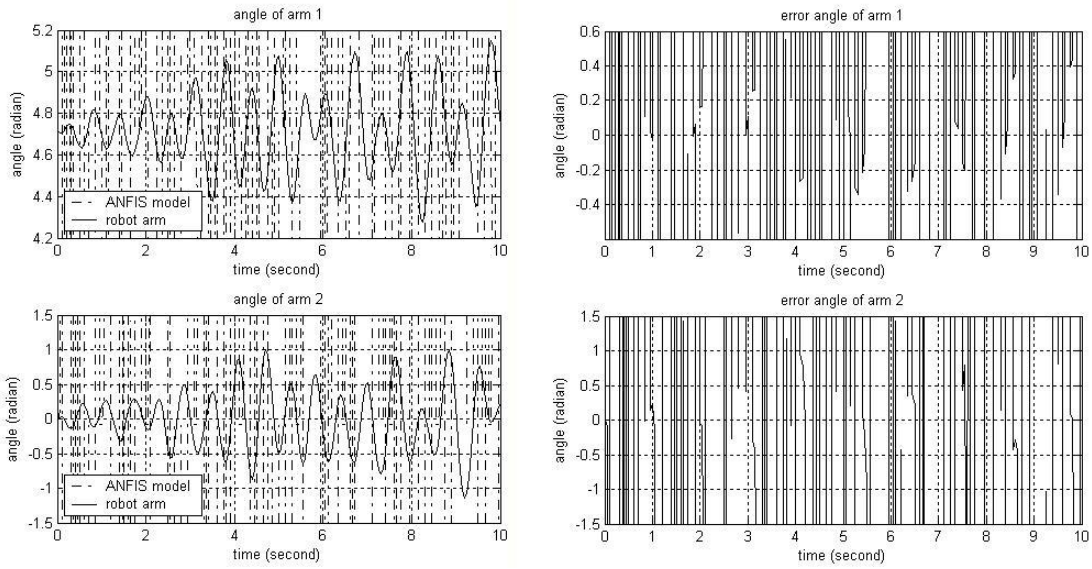
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 66</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 67 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID6 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 68 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง openSID7 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

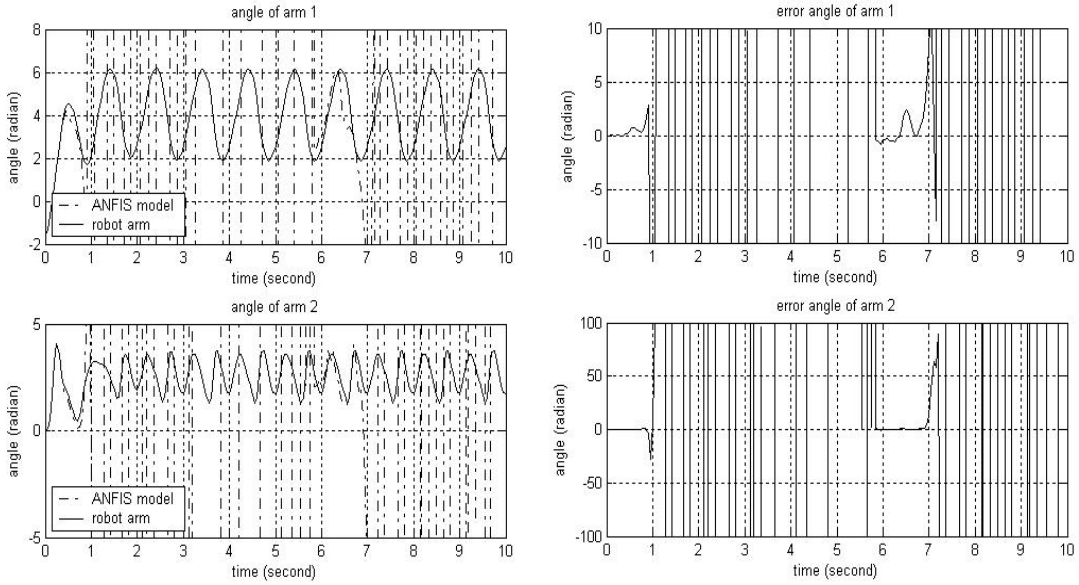
3.2 การตรวจสอบและคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

โดยการตรวจสอบจะกำหนดให้อินพุตที่ป้อนให้กับแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง ANFIS จะใช้เป็นสัญญาณเดียวกันกับที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ โดยสามารถแสดงผลในรูปแบบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองจากแบบจำลอง ANFIS ที่แต่ละเวลายกกำลังสอง (RMSE) ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ Feedback Linearization ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

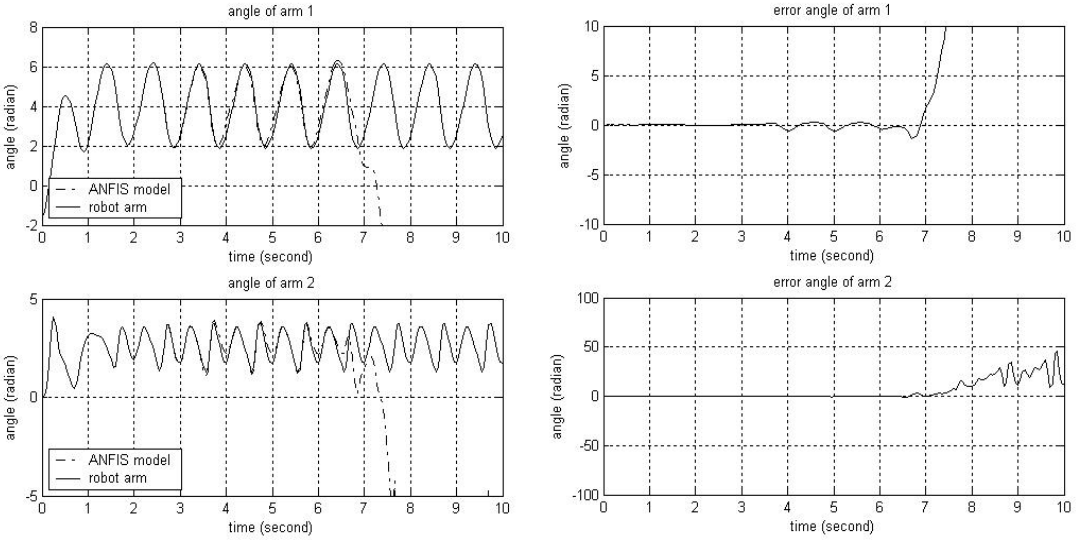
แบบจำลอง ANFIS	ค่า RMSE	
	แขนหุ่นยนต์ที่ 1	แขนหุ่นยนต์ที่ 1
closedSID1	2.04×10^{34}	11.88×10^{34}
closedSID2	43.513575	10.97112
closedSID3	0.000261	0.000261
closedSID4	0.004401	0.002973
closedSID5	3.438185	1.538125
closedSID6	3.54×10^{6}	1.65×10^{6}
closedSID7	4.59×10^{16}	8.91×10^{16}

โดยสามารถแสดงผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง ANFIS รวมถึงกราฟแสดงความแตกต่างของผลตอบสนองได้ดังนี้ สำหรับแบบจำลอง closedSID1 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 69 สำหรับแบบจำลอง closedSID2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 70 สำหรับแบบจำลอง closedSID3 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 71 สำหรับแบบจำลอง closedSID4 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 72 สำหรับแบบจำลอง closedSID5 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 73 สำหรับแบบจำลอง closedSID6 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 74 และสำหรับแบบจำลอง closedSID7 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 75



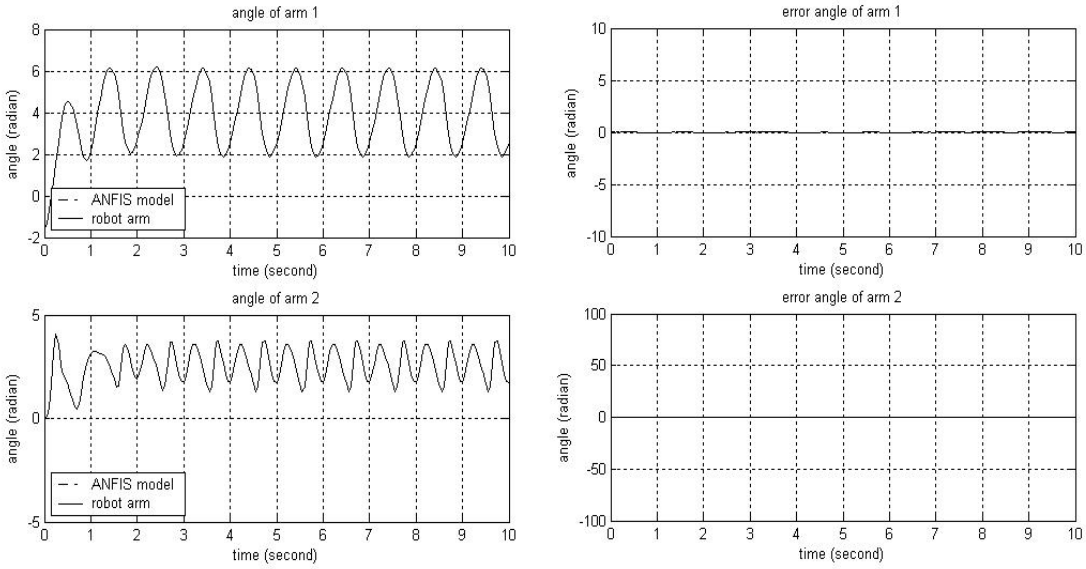
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 69</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID1 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



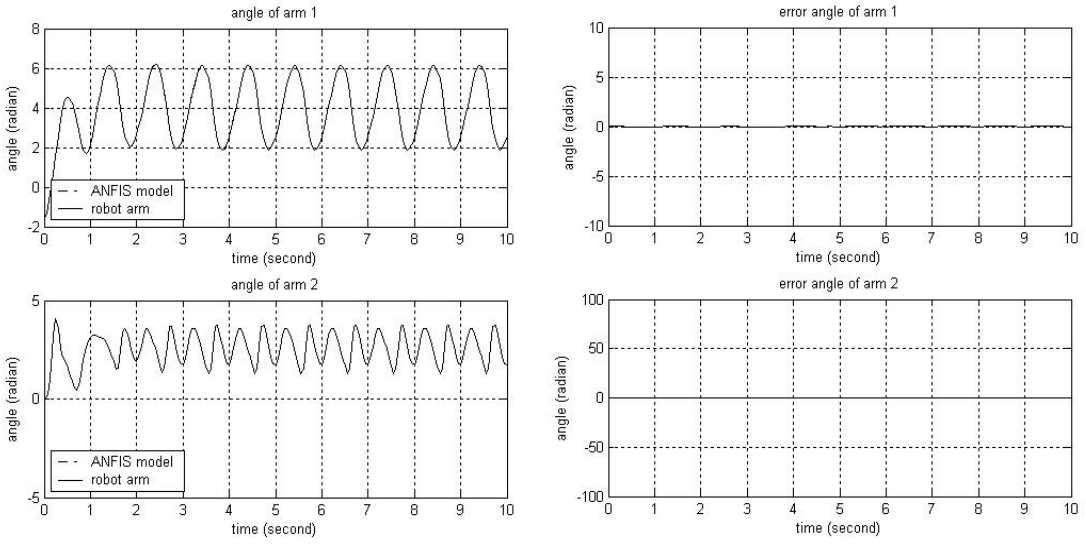
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 70</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



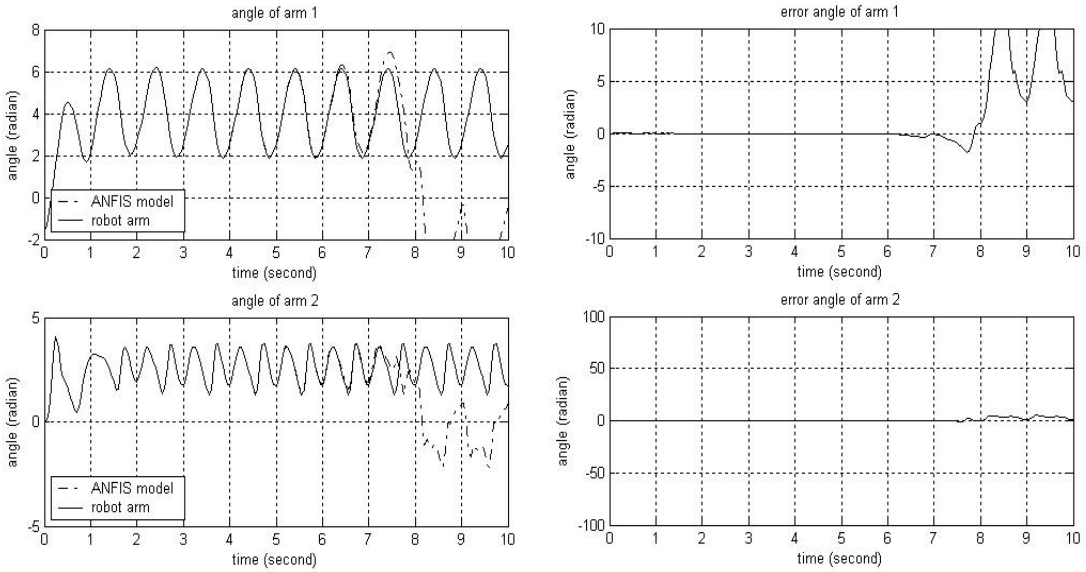
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 71 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID3 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



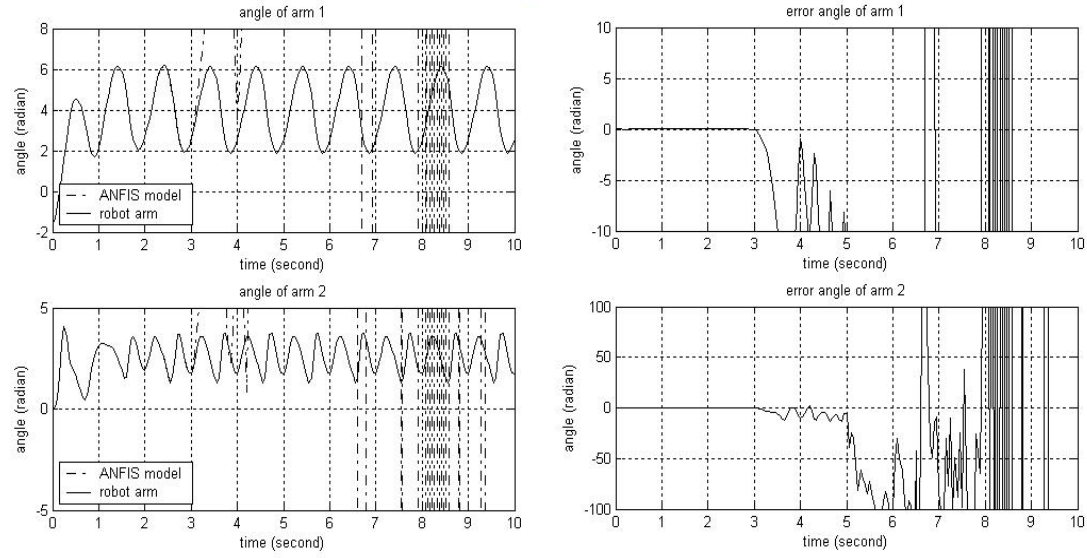
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 72 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID4 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



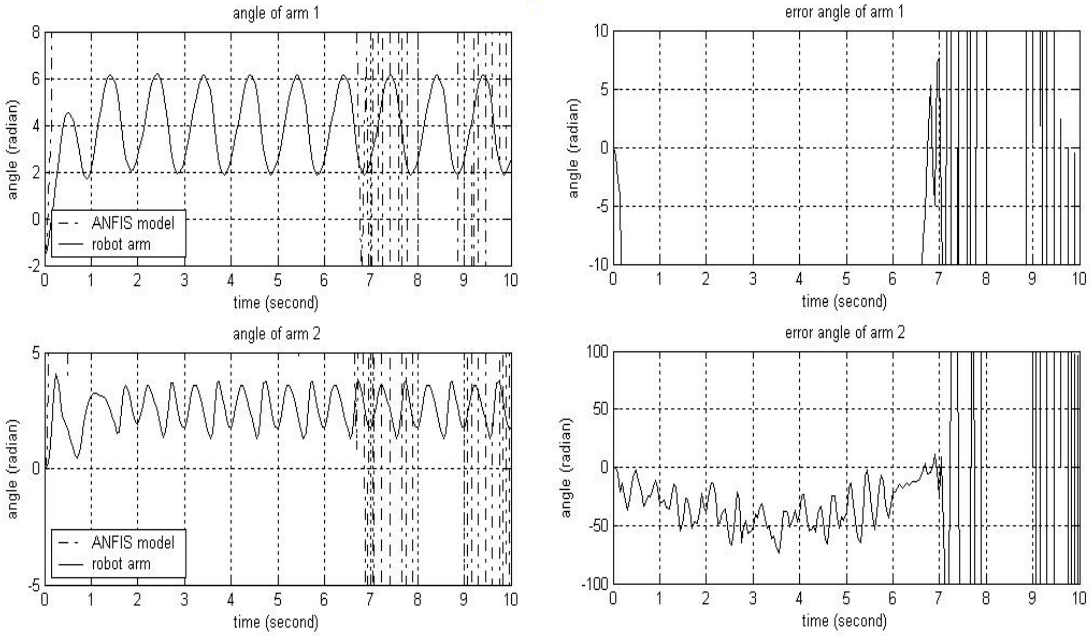
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 73</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID5 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 74</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID6 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 75 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID7 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

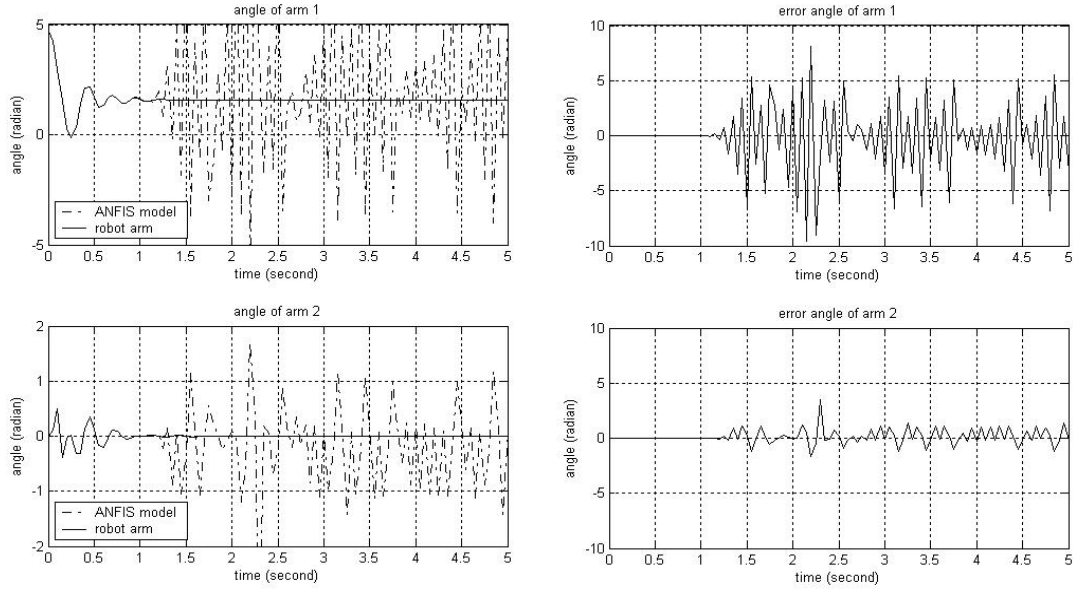
3.3 การตรวจสอบและคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

โดยการตรวจสอบจะกำหนดให้อินพุตที่ป้อนให้กับแขนหุ่นยนต์และแบบจำลอง ANFIS จะใช้เป็นสัญญาณเดียวกันกับที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ โดยสามารถแสดงผลในรูปแบบค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่าง ระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองจากแบบจำลอง ANFIS ที่แต่ละเวลายกกำลังสอง (RMSE) ในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ที่ได้จากการทำ Closed-Loop System Identification ที่ใช้ตัวควบคุมแบบ PD ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

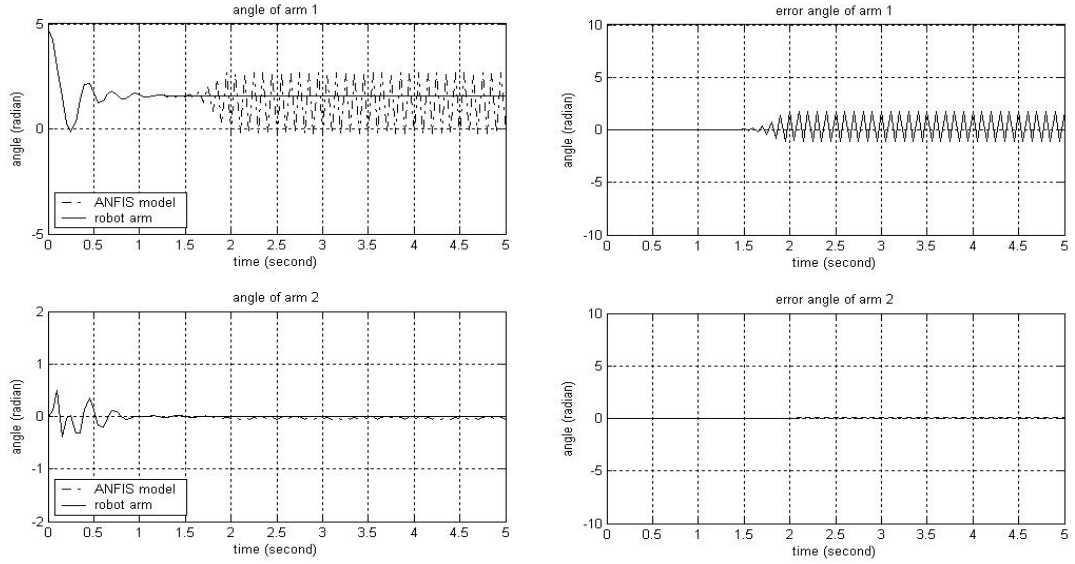
แบบจำลอง ANFIS	ค่า RMSE	
	แขนหุ่นยนต์ที่ 1	แขนหุ่นยนต์ที่ 1
closedSID1_Exp2	3.405241	0.697821
closedSID2_Exp2	1.169660	0.031072
closedSID3_Exp2	0.592226	0.017818
closedSID4_Exp2	7.447629	0.210631
closedSID5_Exp2	0.010928	0.000238
closedSID6_Exp2	1.579×10^{19}	1.444×10^{19}
closedSID7_Exp2	1.582942	0.776439

โดยสามารถแสดงผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง ANFIS รวมถึงกราฟแสดงความแตกต่างของผลตอบสนองได้ดังนี้ สำหรับแบบจำลอง closedSID1_Exp1 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 76 สำหรับแบบจำลอง closedSID2_Exp2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 77 สำหรับแบบจำลอง closedSID3_Exp2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 78 สำหรับแบบจำลอง closedSID4_Exp2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 79 สำหรับแบบจำลอง closedSID5_Exp2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 80 สำหรับแบบจำลอง closedSID6_Exp2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 81 และสำหรับแบบจำลอง closedSID7_Exp2 สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 82



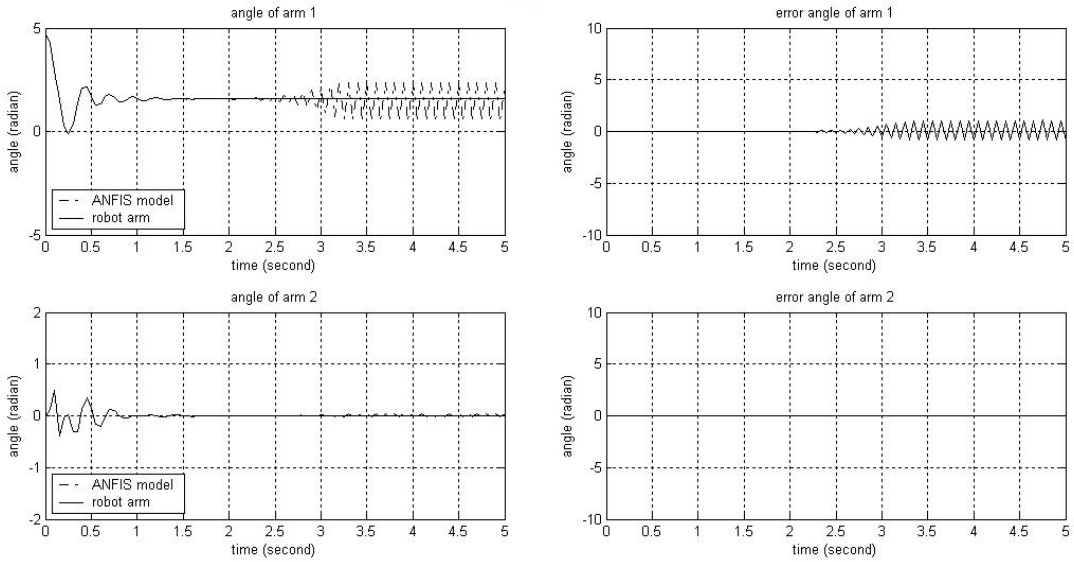
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 76</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID1_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



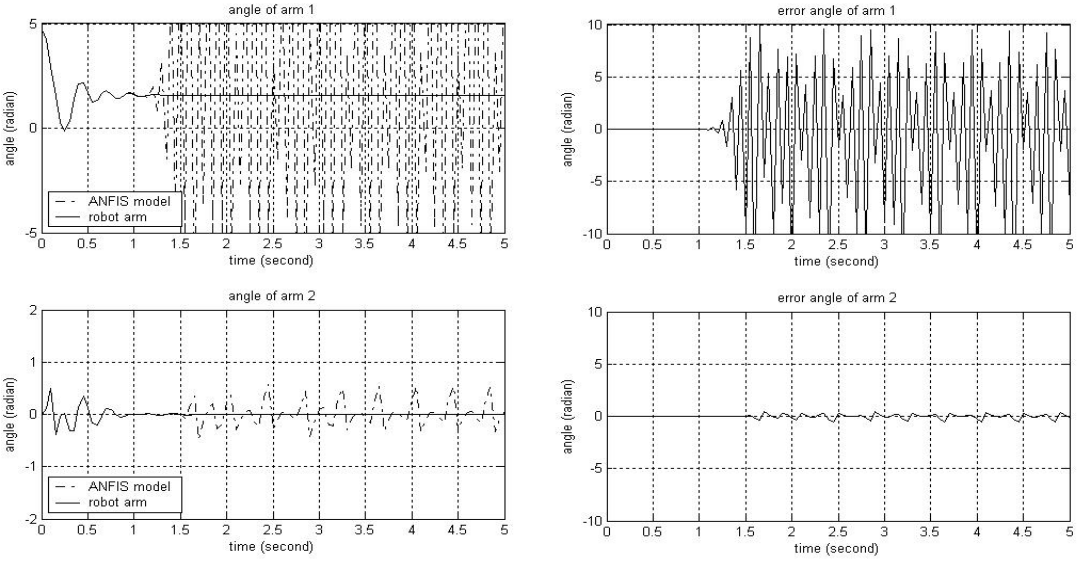
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 77</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID2_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



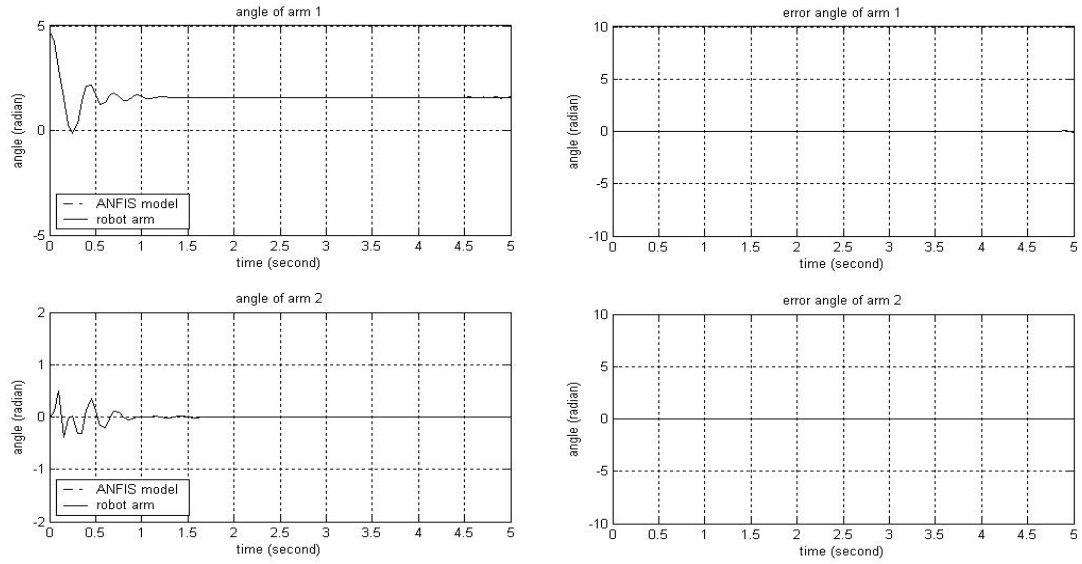
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 78</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID3_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



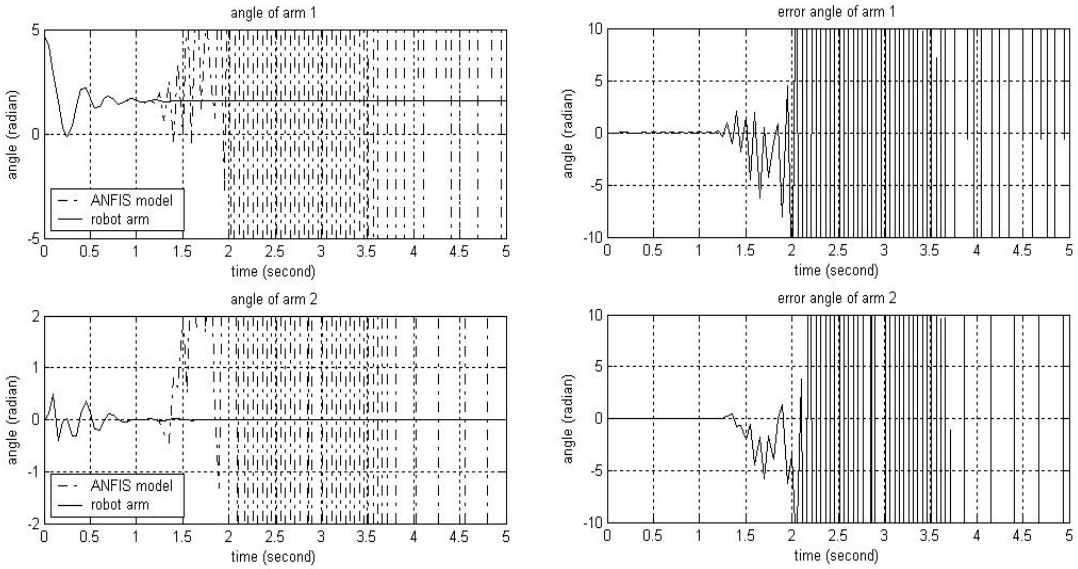
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

<u>ภาพที่ 79</u> ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID4_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



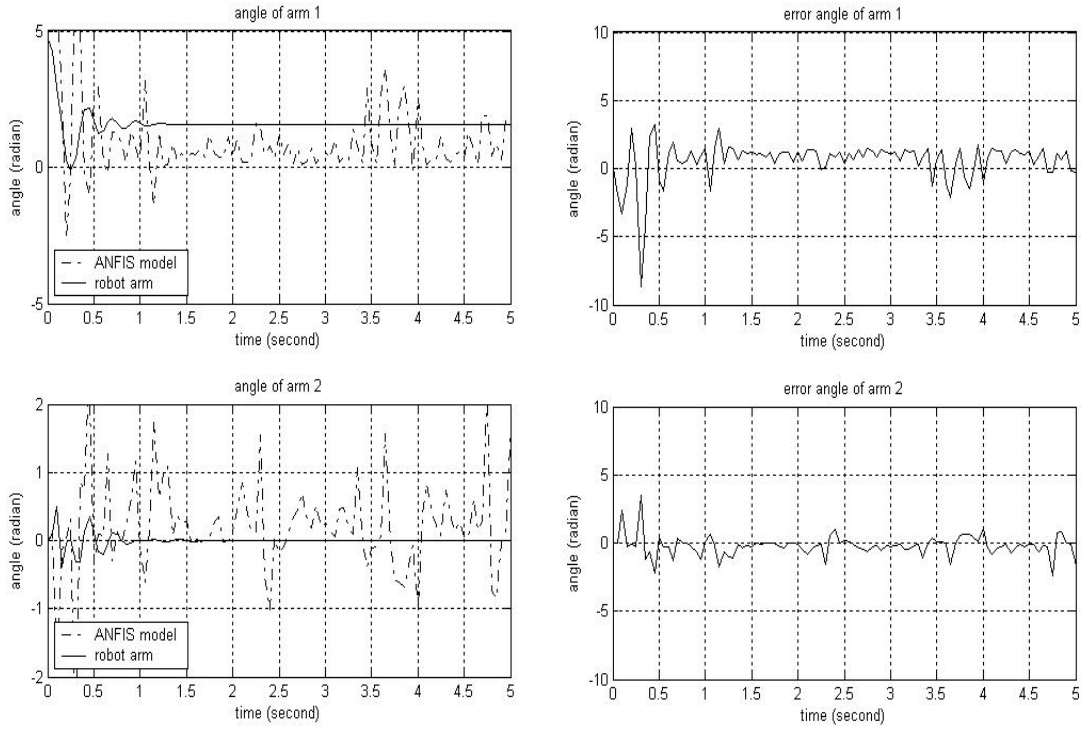
(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 80 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID5_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 81 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID6_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด



(1) เอาท์พุต (2) ค่าความแตกต่าง

ภาพที่ 82 ผลการเปรียบเทียบระหว่างผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง closedSID7_Exp2 สำหรับการตรวจสอบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

3.4 วิจารณ์ผลการทดลองการตรวจสอบและคัดเลือกแบบจำลอง ANFIS ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิด

จากผลการทดลองในส่วนของการตรวจสอบแบบจำลอง ANFIS ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบวงเปิดตามตารางที่ 8, 9 และตารางที่ 10 และจากการสังเกตกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์และผลตอบสนองของแบบจำลอง ANFIS ตั้งแต่ภาพที่ 64 จนถึงภาพที่ 82 จะพบว่าแบบจำลอง ANFIS ที่ให้ผลตอบสนองใกล้เคียงกับผลตอบสนองของระบบแขนหุ่นยนต์ได้แก่แบบจำลอง openSID5, closedSID3, closedSID4 และ closedSID5_Exp2 ดังนั้นเราจะนำเอาแบบจำลองเหล่านี้ ไปทำการตรวจสอบในขั้นตอนต่อไป เพื่อจะนำไปใช้เป็นแบบจำลองของระบบแขนหุ่นยนต์