หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองและการวิเคราะห์ผล

เนื่องจากการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัลนั้นมี พารามิเตอร์และ รูปแบบในการเรียนรู้เกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งพิจารณาถึงพารามิเตอร์ ที่สำคัญคือ อัตราการเรียนรู้, แฟคเตอร์โมเมนตัม และค่าฟังก์ชันกระตุ้น โดยจะทำการศึกษาที่สภาวะต่างๆ สำหรับรูปแบบในการเรียนรู้ แบบ ป้อนหน้า (feedforward) ชนิดต่างๆ ก็มีผลโดยตรงต่อการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้ฝึกข่ายงานนิวรัลให้เรียนรู้นั้น ก็มีความเหมาะสมกับโครงสร้างข่ายงานนิวรัลที่แตกต่างกัน

4.1 ศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่มีการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล

ในการเรียนของข่ายงานนิวรัลได้เลือกให้ข่ายงานนิวรัลเรียนรู้โอปะเรเตอร์ แบบ XOR ชนิด 2 และ 3 ตัวแปรที่มีโครงสร้างของข่ายงานนิวรัลทั่วๆไป ดังตารางที่ 4.1 การเรียนรู้ ของข่ายงานนิวรัล ใช้เทคนิคการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ เปรียบเทียบการเรียนรู้ โดยดูจากค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง (RMS, Root Mean Square) หลังจากการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัลเมื่อครบจำนวนรอบของการเรียนรู้ที่กำหนด

ตารางที่ 4.1 โครงสร้างข่ายงานนิวรัล มาตราฐานสำหรับการเรียนรู้โอปะเรเตอร์ XOR

ชั้นของข่ายงาน	จำนวนหน่วย [2 ตัวแปร]	จำนวน หน่วย [3 ตัวแปร]	ฟังก์ชัน กระตุ้น	อัตราการเรียนรู้
อินพุท	2	3	ซิกมอยด์	0.85
ฮิดเดน	5	7	ซิกมอยด์	0.85
เอาท์พุท	1	1	ซิกมอยด์	0.85

ในขั้นนี้จะยังไม่วิเคราะห์ ถึงผลลัพธ์ที่ได้หลังจาก การเรียนรู้ ของข่ายงานนิวรัล แต่จะพิจารณาถึงแนวโน้มและ คุณสมบัติทั่วไป ของข่ายงานนิวรัลเท่านั้น อย่างไรก็ตาม จะได้แสดงการศึกษา และ วิเคราะห์ผลอย่างละเอียดในหัวข้อการทดลองถัดไป

ตารางที่ 4.2 ค่าน้ำหนักเริ่มต้นสำหรับการเรียนรู้ตัวแปร 2 ตัวแปร

ฮิดเดน	อินพุทนิวรอน			เอาท์พุทนิวรอน
นิวรอน	1	2	ไบอัส	1
1	0.27	0.55	-0.73	-0.05
2	0.37	1.13	-0.34	-0.38
3	-0.48	-0.04	-0.63	-0.14
4	0.63	1.45	0.87	-0.28
5	0.80	1.12	1.17	0.32
ไบอัส				-0.46

ตารางที่ 4.3 ค่าน้ำหนักเริ่มต้นสำหรับการเรียนรู้ตัวแปร 3 ตัวแปร

ฮิดเดน	อินพุทนิวรอน				เอาท์พุทนิวรอน
นิวรอน	1	2	3	ไบอัส	1
1	0.27	0.55	-0.73	0.39	0.34
2	1.13	-0.34	0.48	-0.04	-0.1
3	-0.63	0.63	1.45	0.87	0.06
4	0.80	1.12	1.17	0.65	1.07
5	-0.31	0.50	-0.60	0.84	1.39
6	-0.4	1.34	0.39	0.02	0.33
7	1.51	1.06	1.65	1.44	0.11
8	0.64	-0.23	1.34	0.56	-0.11
9	1.08	0.94	-0.01	0.59	0.12
ไบอัส					0.28

4.1.1 จำนวนหน่วยฮิดเดน (hidden neuron)

ก. การทดลอง

ให้ข่ายงานนิวรัลเรียนรู้โอปะเรเตอร์ XOR ชนิด 3 ตัวแปร โดยการปรับค่าจำนวน หน่วยฮิดเดน ในชั้นฮิดเดน เป็นจำนวน 5, 7 และ 9 หน่วย โดยใช้ ฟังก์ชันกระตุ้น เป็นแบบ ซิกมอยด์ ซึ่งมีค่าโมเมนตัม เป็น 0.85 ทั้งนี้ให้เลือก ค่าน้ำหนักแบบสุ่มเริ่มต้น เหมือนกัน กำหนดค่าอัตราการเรียนรู้เป็น 0.85 บันทึกค่ารากเฉลี่ยกำลังสองที่จำนวนรอบการเรียนรู้

จนครบ 3000 รอบ

ข. ข้อมูลการทดลองและผลการวิเคราะห์

ข้อมูลการทดลอง ที่ได้จากการบันทึกผลการเรียนรู้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.1 พบว่าจำนวนหน่วยฮิดเดน สำหรับการเรียนรู้โอปะเรเตอร์ XOR 3 ตัวแปร มีค่าเหมาะสมที่ 5 หรือ 7 หน่วย ดังจะเห็นได้จาก การเปลี่ยนแปลง ค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง ที่ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อผ่านการเรียนรู้ได้ประมาณ 1000 รอบ หมายความว่าผลลัพธ์ที่ได้จากข่ายงาน นิวรัล มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากขึ้น ในขณะที่จำนวนหน่วยฮิดเดน 9 หน่วย มีแนวโน้ม ที่จะต้องใช้ เวลาในการเรียนรู้มาก (จำนวนรอบการเรียนรู้มาก) จึงจะสามารถสร้างแบบจำลองภายใน เพื่อคำณวนผลลัพธ์ให้ใกล้เคียงกับ ค่าเป้าหมาย ดังนั้น จำนวนหน่วยฮิดเดน 9 หน่วย จึงไม่มีความเหมาะสม ที่จะนำมาใช้ กำหนดในโครงสร้างของ ข่ายงานนิวรัล

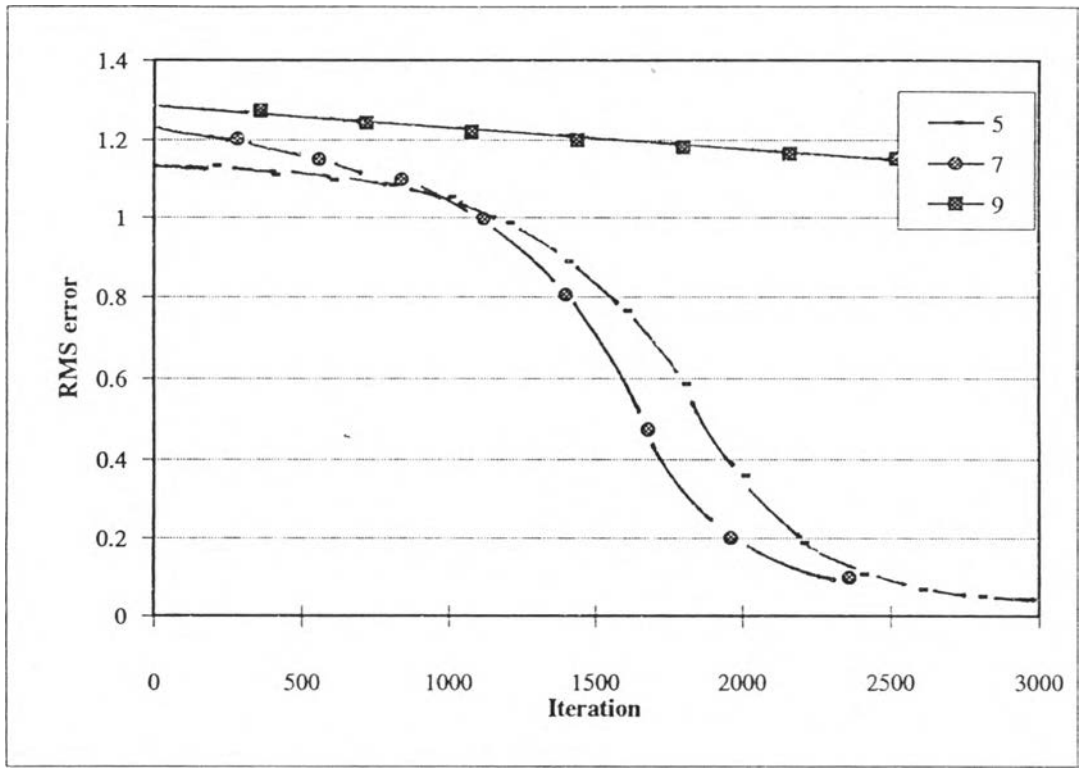
4.1.2 ผลของอัตราการเรียนรู้

ก. การทดลอง

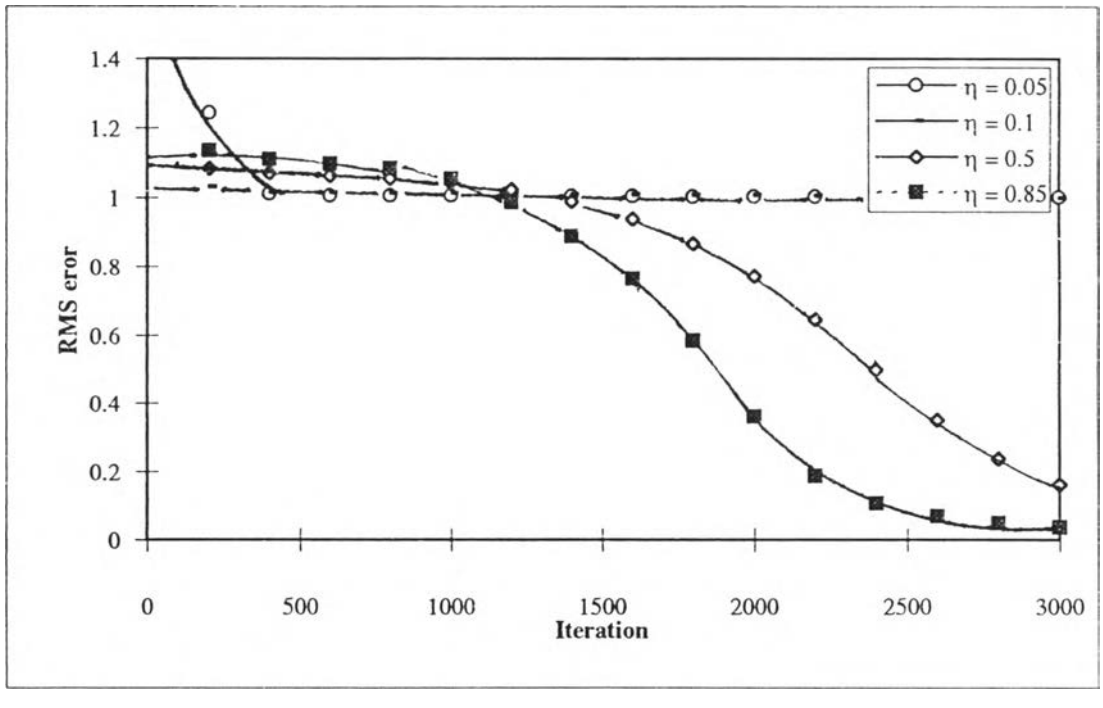
ให้ข่ายงานนิวรัลเรียนรู้ XOR ชนิด 3 ตัวแปร โดยการปรับอัตราการเรียนรู้เป็น 0.05, 0.1, 0.5, และ 0.85 ทั้งนี้ให้เลือก ค่าน้ำหนักแบบสุ่มเริ่มต้น เหมือนกัน โดยเลือกฟังก์ชันกระตุ้นเป็นแบบฟังก์ชันซิกมอยด์ และ ค่าโมเมนตัม เป็น 0.85 บันทึกค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง ที่จำนวนรอบ การเรียนรู้ จนครบ 3000 รอบ

ข. ข้อมูลการทดลองและผลการวิเคราะห์

ข้อมูลการทดลอง ที่ได้จากการบันทึก ผลการเรียนรู้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 พบว่าค่าอัตรา การเรียนรู้มากกว่า มีแนวโน้มการเรียนรู้ได้รวดเร็วกว่า อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถ



รูปที่ 4.1 ผลของหน่วยฮิดเดนในชั้นฮิดเดน ที่มีต่อการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล



รูปที่ 4. 2 ผลของแฟคเตอร์อัตราการเรียนรู้ ที่มีต่อการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล

สรุปได้ว่า การเรียนรู้ที่รวดเร็วกว่าจะให้ ผลลัพธ์ของคำตอบที่แม่นยำกว่า ตารางที่ 4.4 แสดงค่าน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองของข่ายงานนิวรัล หลังจากการเรียนรู้ 3000 รอบ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าน้ำหนักที่ได้จากแบบจำลองของข่ายงานนิวรัลหลังจากการเรียนรู้ โอปะเรเตอร์ XOR 3 หน่วย (โครงสร้าง 3:7:1 ;iteration 1504 ; RMS 0.0056)

Hidden node	**Input node**				**Output**
	1	**2**	**3**	**bias**	**1**
1	-0.85	0.47	-0.97	-0.16	1.79
2	-3.68	0.6	0.2	1.51	4.77
3	0.29	-0.12	0.14	-1.38	0.03
4	-5.18	6.17	-5.33	2.12	-0.22
5	0.72	0.25	0.95	0.07	0.51
6	3.32	-1.42	-0.89	-0.60	-2.46
7	-3.74	-4.25	5.23	1.34	-5.47

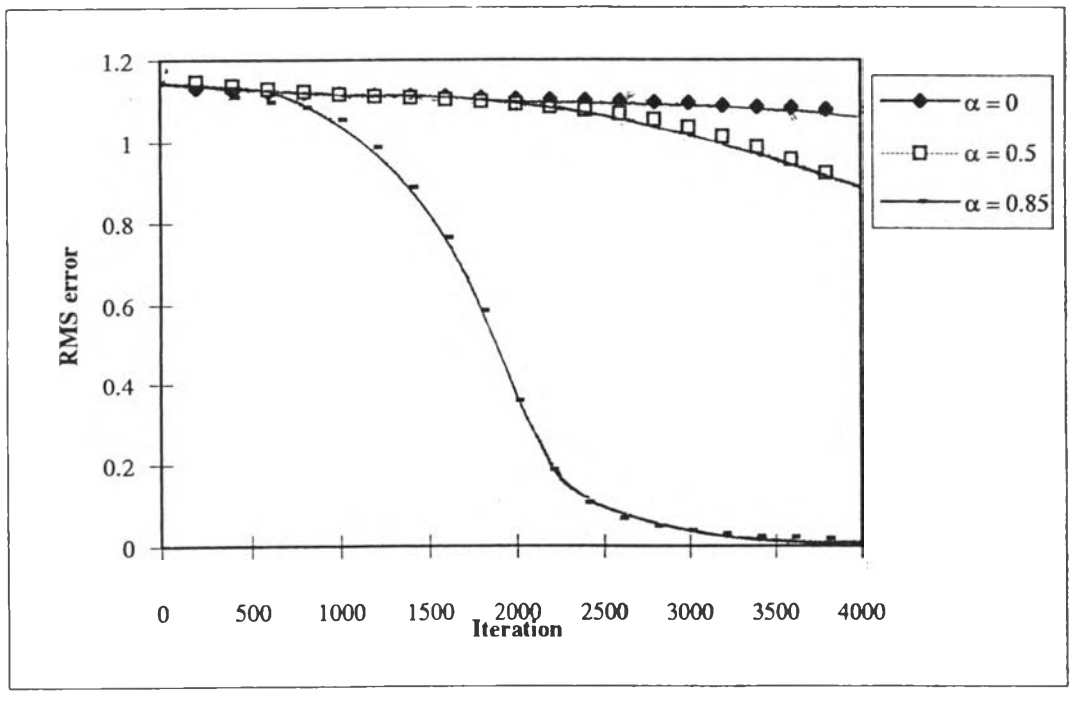
4.1.3 ผลของแฟคเตอร์โมเมนตัม

ก. การทดลอง

ให้ข่ายงานนิวรัลเรียนรู้ XOR ชนิด 3 ตัวแปร โดยการปรับค่า โมเมนตัมเป็น 0, 0.5 และ 0.85 กำหนดค่าน้ำหนักแบบสุ่มเริ่มต้นเหมือนกัน โดยเลือก ฟังก์ชันกระตุ้น แบบ ฟังก์ชันซิกมอยด์ และอัตราการเรียนรู้ 0.85 บันทึกค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง จนครบ 3000 รอบ

ข. ข้อมูลการทดลองและผลการวิเคราะห์

ข้อมูลการทดลอง ที่ได้จากการบันทึกผลการเรียนรู้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.3 พบว่า ค่าโมเมนตัมที่มากกว่า จะมีแนวโน้มการเรียนรู้ได้รวดเร็วกว่า อย่างไรก็ตาม ในการทดลอง ยังไม่ได้แสดงถึง ขอบเขตสูงสุดของค่าโมเมนตัมที่ข่ายงานยังคงสามารถเรียนรู้ได้ดี



รูปที่ 4.3 ผลการเรียนรู้โอปะเรเตอร์ XOR 3 ตัวแปร ที่มีค่าโมเมนตัม แตกต่างกัน

4.2 ศึกษาผลของฟังก์ชันกระตุ้นและโครงสร้างแบบจำลองข่ายงานนิวรัล

ฟังก์ชันกระตุ้น ทำหน้าที่ แปลงสัญญาณของผลรวมของสัญญาณเชิงเส้นในชั้นของข่ายงานนิวรัล ออกไปเป็นสัญญาณไม่เชิงเส้น ดังนั้นฟังก์ชันกระตุ้นจึงมีความสำคัญต่อการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัลมาก โดยจะมีผลต่อความแม่นยำในการทำนายผลลัพธ์ และความรวดเร็วในการเรียนรู้ ในการหาแบบจำลองของระบบโดยใช้ข่ายงานนิวรัลนั้น สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ แบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ และ แบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป ดังได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ในการทดลองให้ข่ายงานนิวรัล ได้เรียนรู้ กระบวนการทางวิศวกรรมเคมีที่มีความไม่เชิงเส้น ได้แก่ ระบบถังกวนต่อเนื่องอุณหภูมิไม่คงที่ และระบบการไหลของของเหลวโดยแรงโน้มถ่วง ที่แทนด้วยสมการอนุพันธ์ธรรมดาไม่เชิงเส้น

4.2.1 ระบบถังกวนต่อเนื่องที่อุณหภูมิไม่คงที่

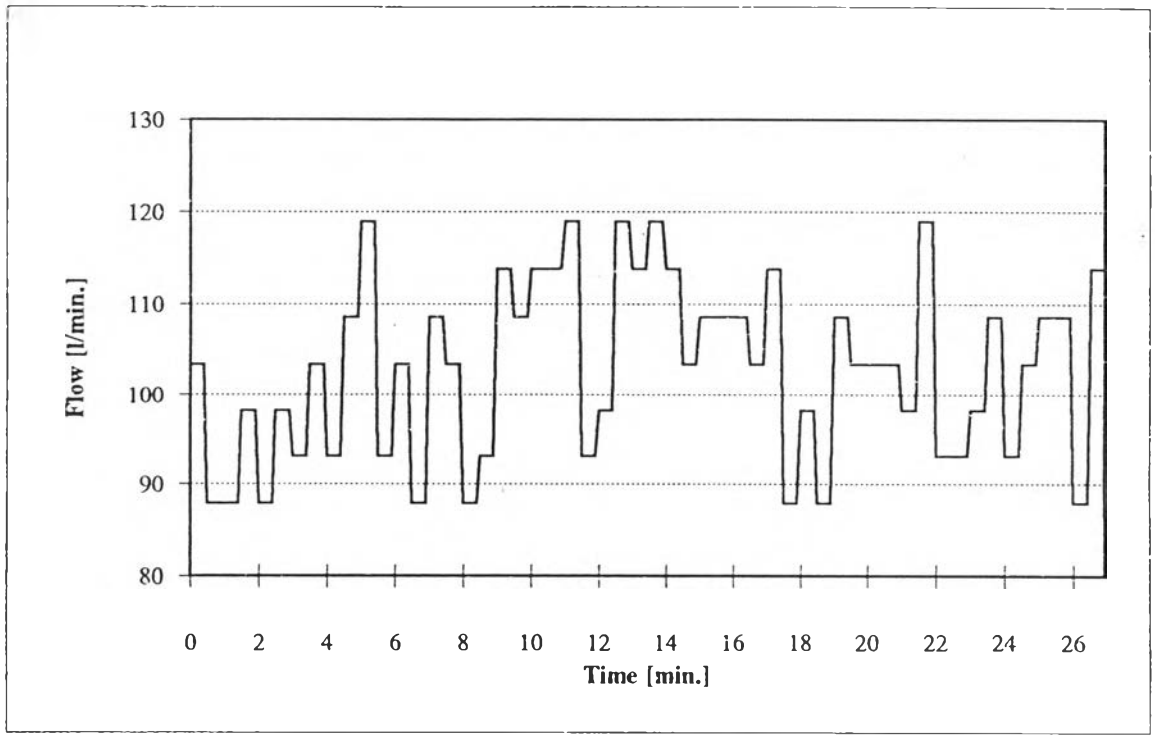
ระบบถังกวนต่อเนื่องอุณหภูมิไม่คงที่ แสดงไว้ในหัวข้ อที่ 3.1.3 โดยการกำหนดตัวแปรทุกตัวในระบบให้คงที่ แล้วให้ค่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นในขดลวด, Fc เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็พอย่างสุ่ม (random step change) ทุก 1 นาที อยู่ในช่วง +/- 10% ของค่าที่สภาวะคงตัว บันทึกค่า ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ ที่ออกจากถังปฏิกรณ์, C_A ในทุก 0.1 นาที เป็นเวลา 24 นาที จะได้ชุดข้อมูล ที่ สอดคล้อง กันระหว่างค่า อินพุท กับ เอาท์พุท จำนวน 240 ค่า ทั้งนี้ให้ทำข้อมูลเป็น 2 ชุดที่มีค่า อินพุท ของกระบวนการแตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลในชุดที่ 1 เพื่อฝึกข่ายงานนิวรัลได้เรียนรู้ แสดงดังในรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 ใช้เพื่อทดสอบแบบจำลองของข่ายงานนิวรัล (cross validation) ที่ผ่านการเรียนรู้กระบวนการ

มาแล้ว ค่าอินพุท และ ค่าเอาท์พุท เพื่อใช้ในทดสอบข่ายงานนิวรัล แสดงดังในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 การเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล ใช้เทคนิคการกระจายความผิดพลาดย้อนกลับ ที่มีค่าแฟคเตอร์โมเมนตัม 0.85, อัตราการเรียนรู้ 0.65 โดยให้มีค่าน้ำหนักเริ่มต้นเหมือนกัน

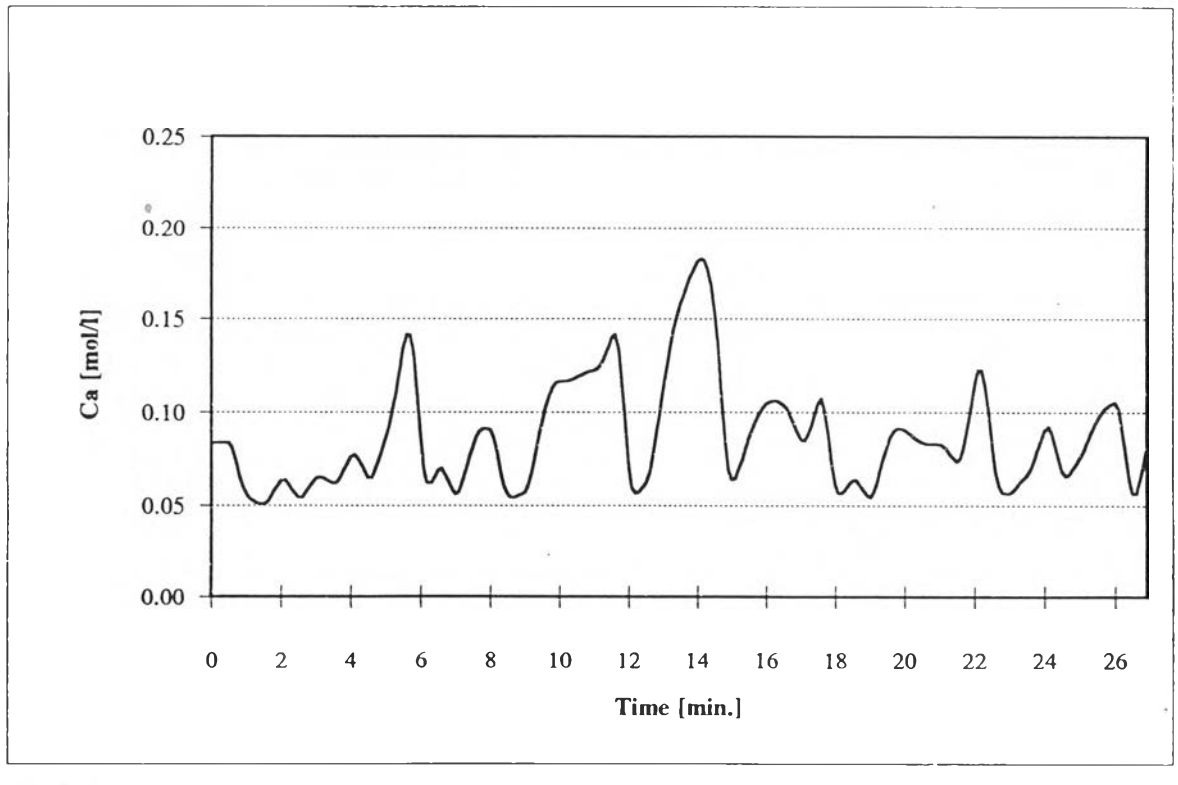
ก. การทดลอง

ตอนที่ 1 เลือกแบบจำลองแบบเชิงขนานแบบไม่วกกลับ สำหรับใช้หาแบบจำลองให้กับข่ายงานนิวรัล กำหนดโครงสร้างของข่ายงานนิวรัล ในชั้นอินพุท = 6 , ชั้นฮิดเดน = 9 และชั้นเอาท์พุท = 6 กำหนดข้อมูลในชั้นอินพุท เป็นค่าของอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นในขดลวดที่มีการหน่วงเวลาต่างกัน 0.1 นาที 5 จำนวนในอดีต และค่าในปัจจุบัน 1 จำนวน เพื่อทำนายผลลัพธ์เป้าหมายของค่าความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ A ในเวลาที่สอดคล้องกัน บันทึกค่ารากเฉลี่ยกำลังสองที่จำนวนรอบการเรียนรู้ ต่างๆ พร้อมกับทดสอบการเรียนรู้ ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ ให้เปรียบเทียบความสามารถในการเรียนรู้ โดยการใช้ฟังก์ชันกระตุ้นซิกมอยด์ กับ แบบไบโพลาร์

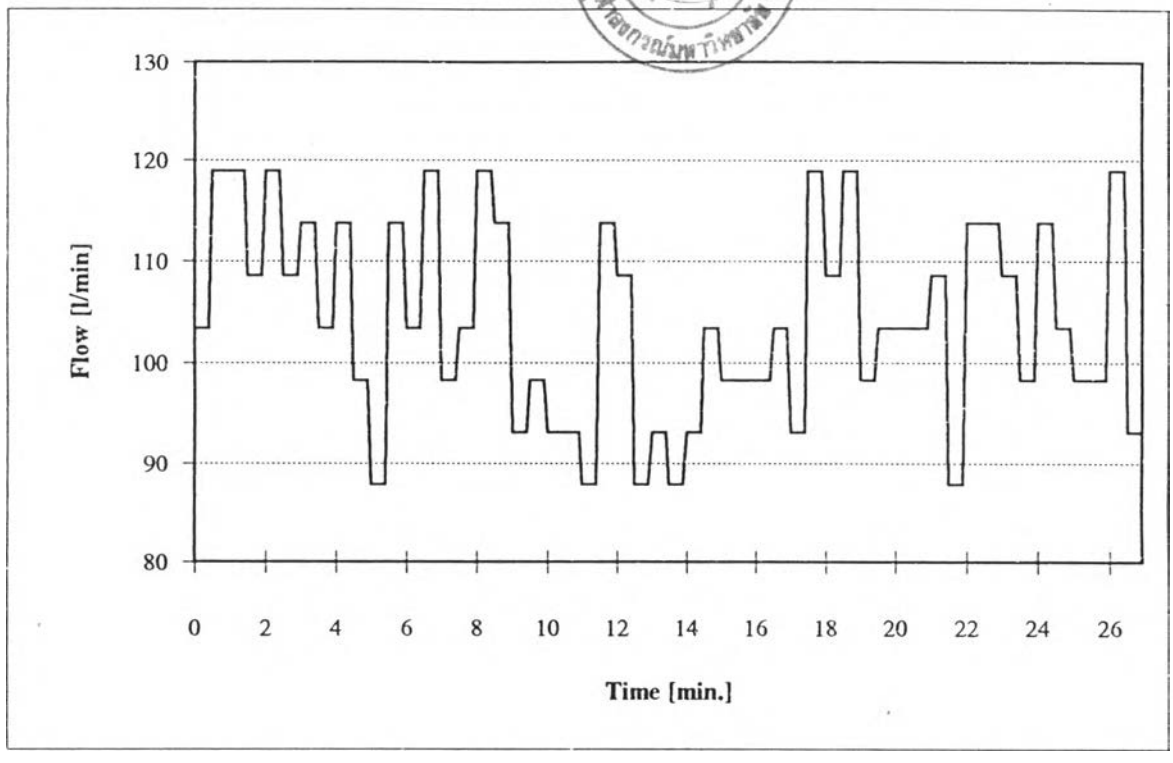
ตอนที่ 2 เลือกแบบจำลองตามเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป โดยกำหนดโครงสร้างของข่ายงานนิวรัล ในชั้นอินพุท = 6 , ชั้นฮิดเดน = 9 และ ชั้นเอาท์พุท = 1 กำหนดข้อมูลในชั้นอินพุท เป็นค่าของอัตราการไหล ของน้ำหล่อเย็นในขดลวด ที่มีการหน่วงเวลาต่างกัน 0.1 นาที 2 จำนวนในอดีต ค่าในปัจจุบัน 1 จำนวน และค่าเป้าหมายในอดีต 3 จำนวน เพื่อทำนายผลลัพธ์เป้าหมายของค่าความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ A ในเวลาที่สอดคล้องกัน บันทึกค่ารากเฉลี่ยกำลังสองที่จำนวนรอบการเรียนรู้ ต่างๆ พร้อมกับทดสอบการเรียนรู้ ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ ให้เปรียบเทียบความสามารถในการเรียนรู้ โดยการใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ ซิกมอยด์ กับ แบบไบโพลาร์



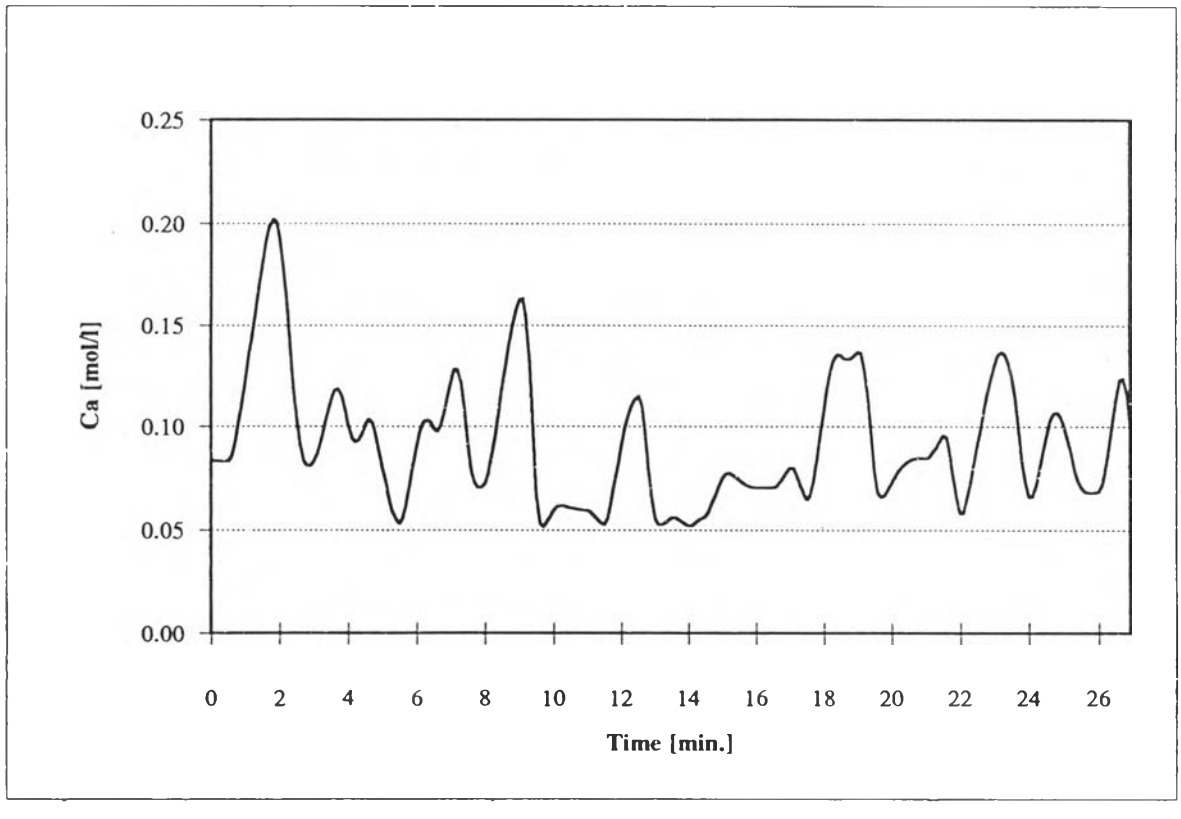
รูปที่ 4.5 อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นในระบบถังกวนต่อเนื่องที่มีอุณหภูมิไม่คงที่ ใช้เป็นข้อมูลในการฝึกข่ายงานนิวรัล



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของสาร A ที่แปรผันตามค่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ใช้เป็นข้อมูลในการฝึกข่ายงานนิวรัล



รูปที่ 4.7 อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นในระบบถังกวนต่อเนื่องที่มีอุณหภูมิไม่คงที่ ใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบข่ายงานนิวรัล



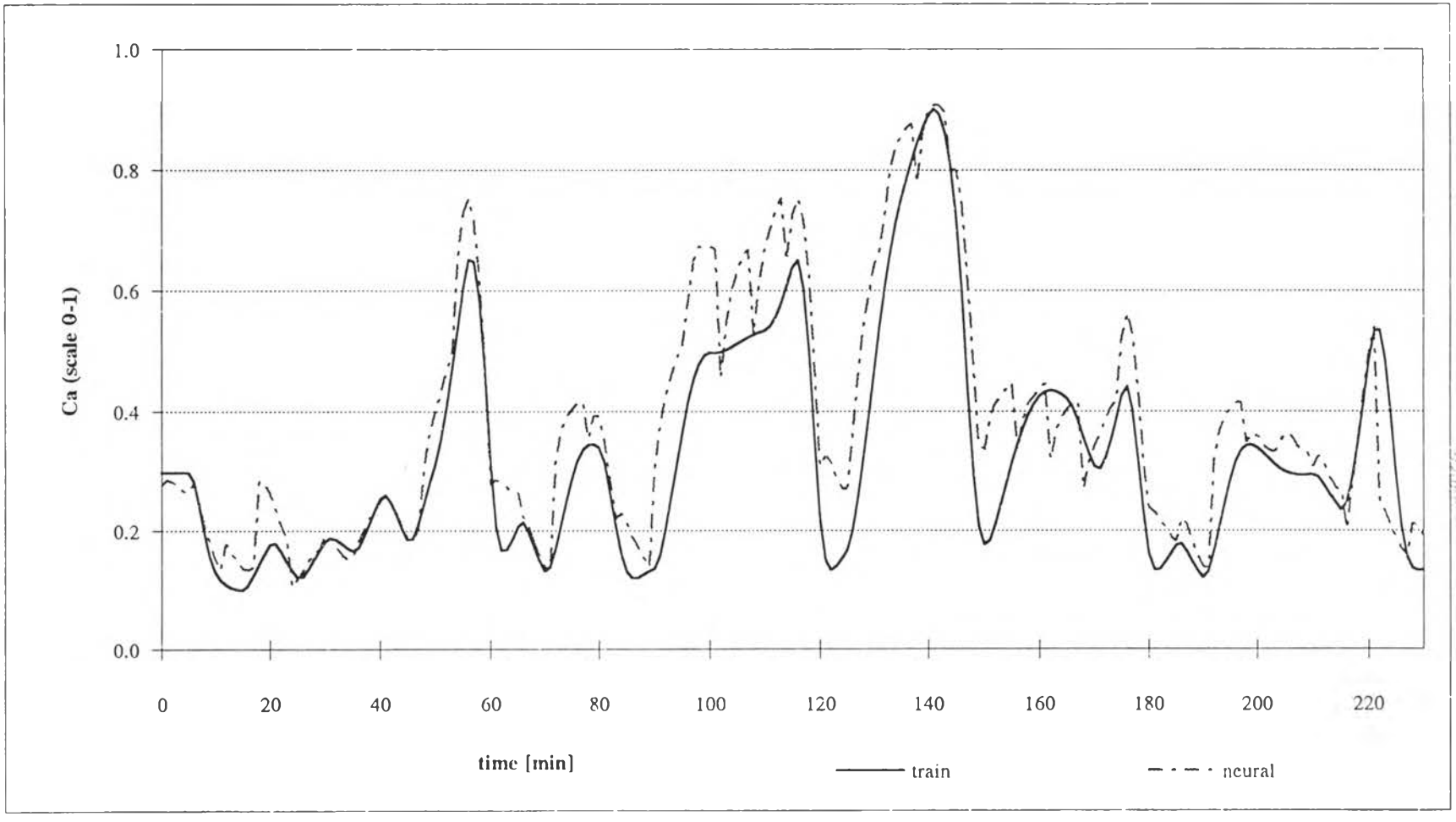
รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของสาร A ที่แปรผันตามค่าอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบข่ายงานนิวรัล

ข. ข้อมูลการทดลองและผลการวิเคราะห์

ตอนที่ 1 การเรียนรู้กระบวนการโดยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

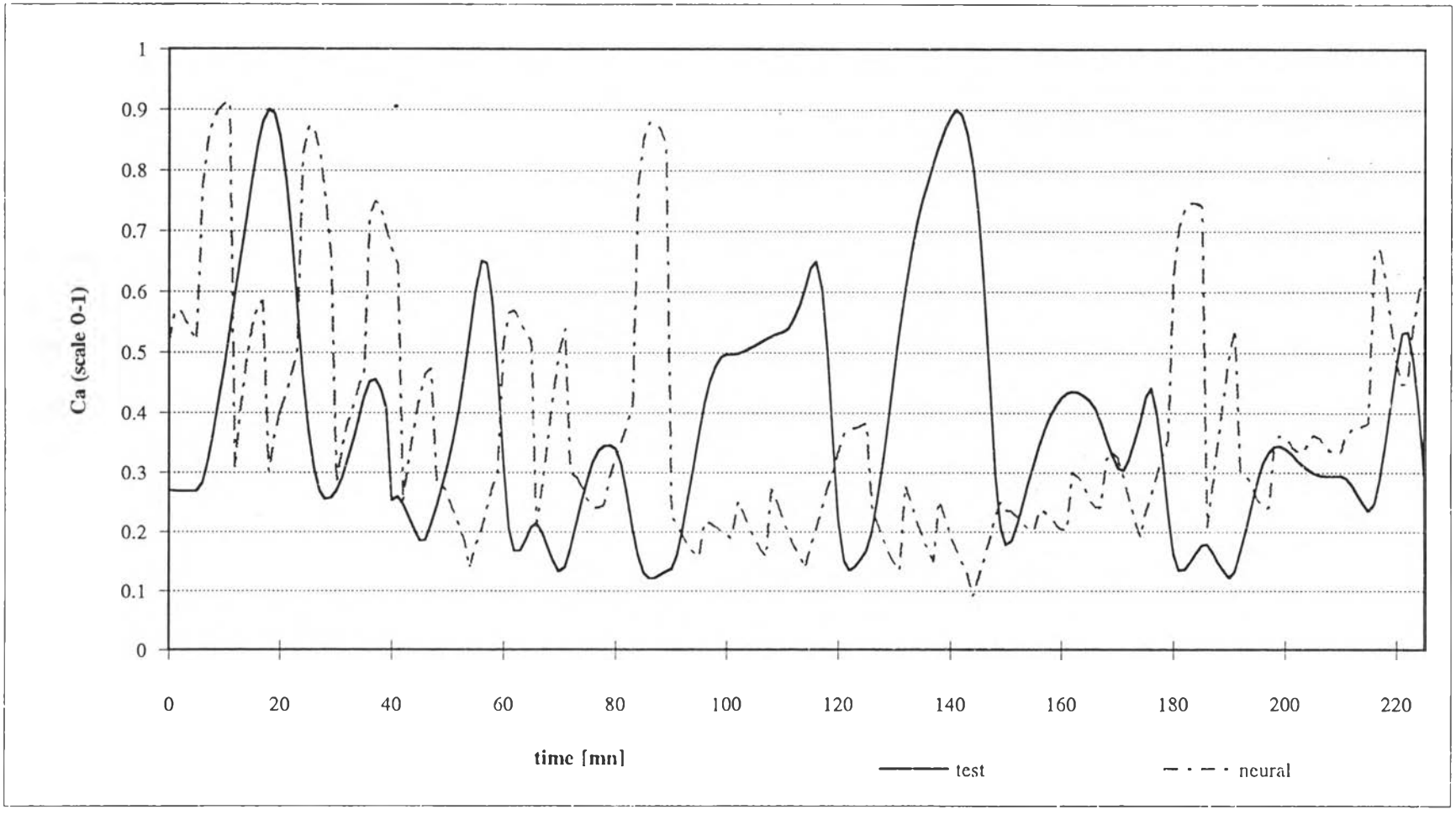
ข่ายงานนิวรัลที่มีโครงสร้าง 6-9-6 ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น แบบ ซิกมอยด์ ได้เรียนรู้ผ่านไปได้ 25000 รอบ พบว่าค่ารากเฉลี่ยกำลังสองเป็น 0.9799 ดังแสดงในรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า ข่ายงานนิวรัลมีแนวโน้มที่สามารถเรียนรู้กระบวนการได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองของข่ายงานนิวรัล ด้วย ข้อมูลชุดทดสอบแบบข้าม ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าการทำนายผลมีแนวโน้มไปทางเดียวกัน แต่ความถูกต้องแม่นยำยังไม่ดีเท่าที่ควรโดยได้ค่ารากเฉลี่ยกำลังสองเป็น 13.6991 เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัลที่มีโครงสร้าง 6-9-6 ที่ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น แบบไบโพลาร์ เมื่อผ่านไปได้ 25000 รอบ พบว่าค่ารากเฉลี่ยกำลังสองเป็น 6.9491 ดังแสดงในรูปที่ 4.11 จะเห็นว่า ข่ายงานนิวรัลมีแนวโน้มที่สามารถเรียนรู้กระบวนการได้แต่ยังไม่ดี และเมื่อทำการทดสอบแบบจำลองของข่ายงานนิวรัล ด้วย ข้อมูลชุดทดสอบแบบข้าม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าการทำนายผลมีความถูกต้องแม่นยำไม่ดี มีค่ารากเฉลี่ยกำลังสองเป็น 15.2543

ผลการวิเคราะห์ เมื่อให้ข่ายงานนิวรัลได้เรียนรู้กระบวนการโดยใช้แบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ จะเห็นว่า สามารถเรียนรู้กระบวนการได้แต่ต้องใช้เวลานาน โดยที่ความสามารถในการทำนายผลภายหลังจากการเรียนรู้ยังมีความแม่นยำไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบการใช้ฟังก์ชันกระตุ้น พบว่า ฟังก์ชันซิกมอยด์ มีความสามารถในการเรียนรู้ดีกว่า ฟังก์ชัน ไบโพลาร์



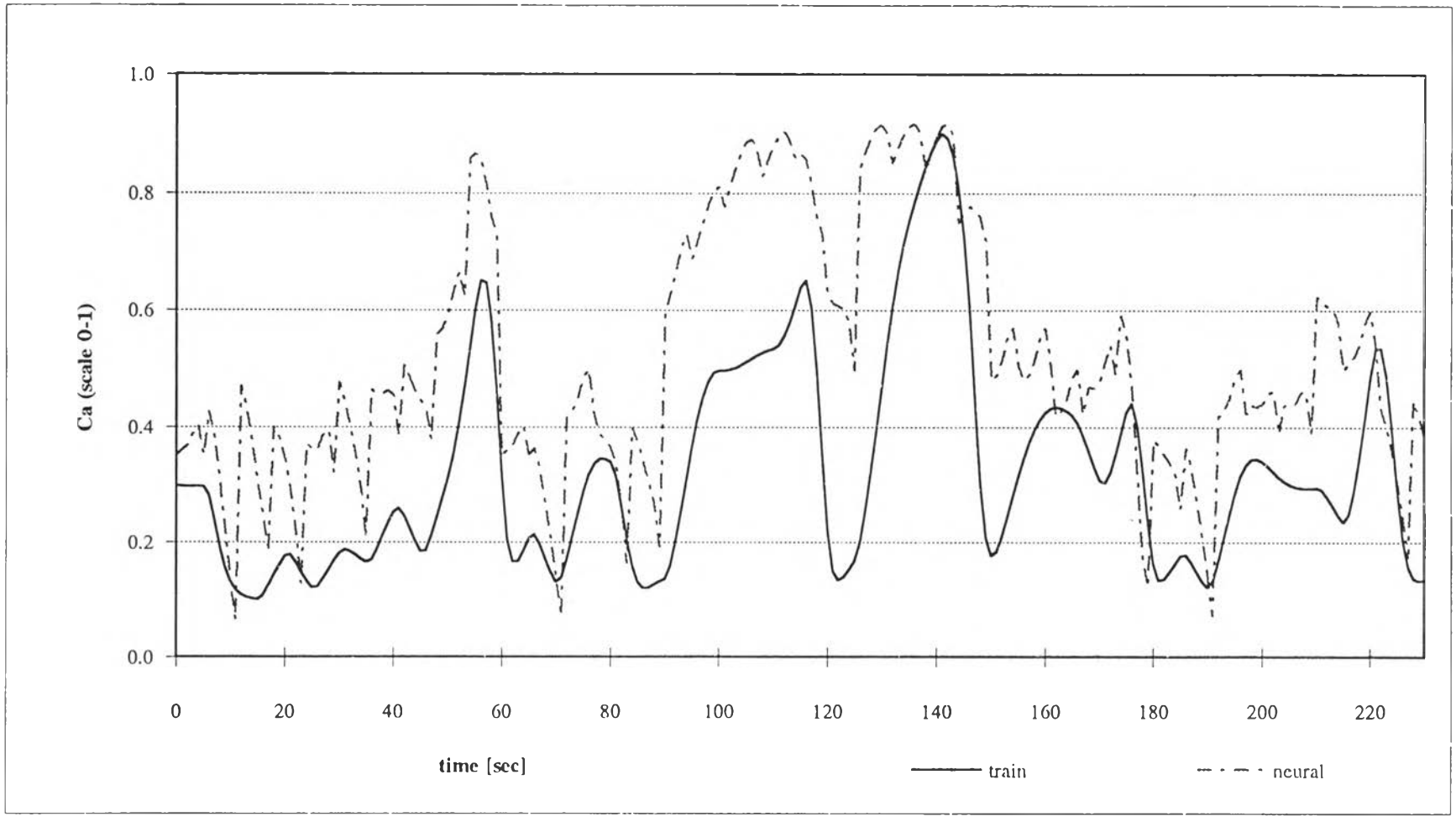
รูปที่ 4.9 การเรียนรู้ระบบถังกวนอุณหภูมิไม่คงที่ โดยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

(โครงสร้าง 6-9-6 , ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ , 25000 รอบ, RMS 0.9799, อัตราการเรียนรู้ 0.65, โมเมนตัม 0.85)



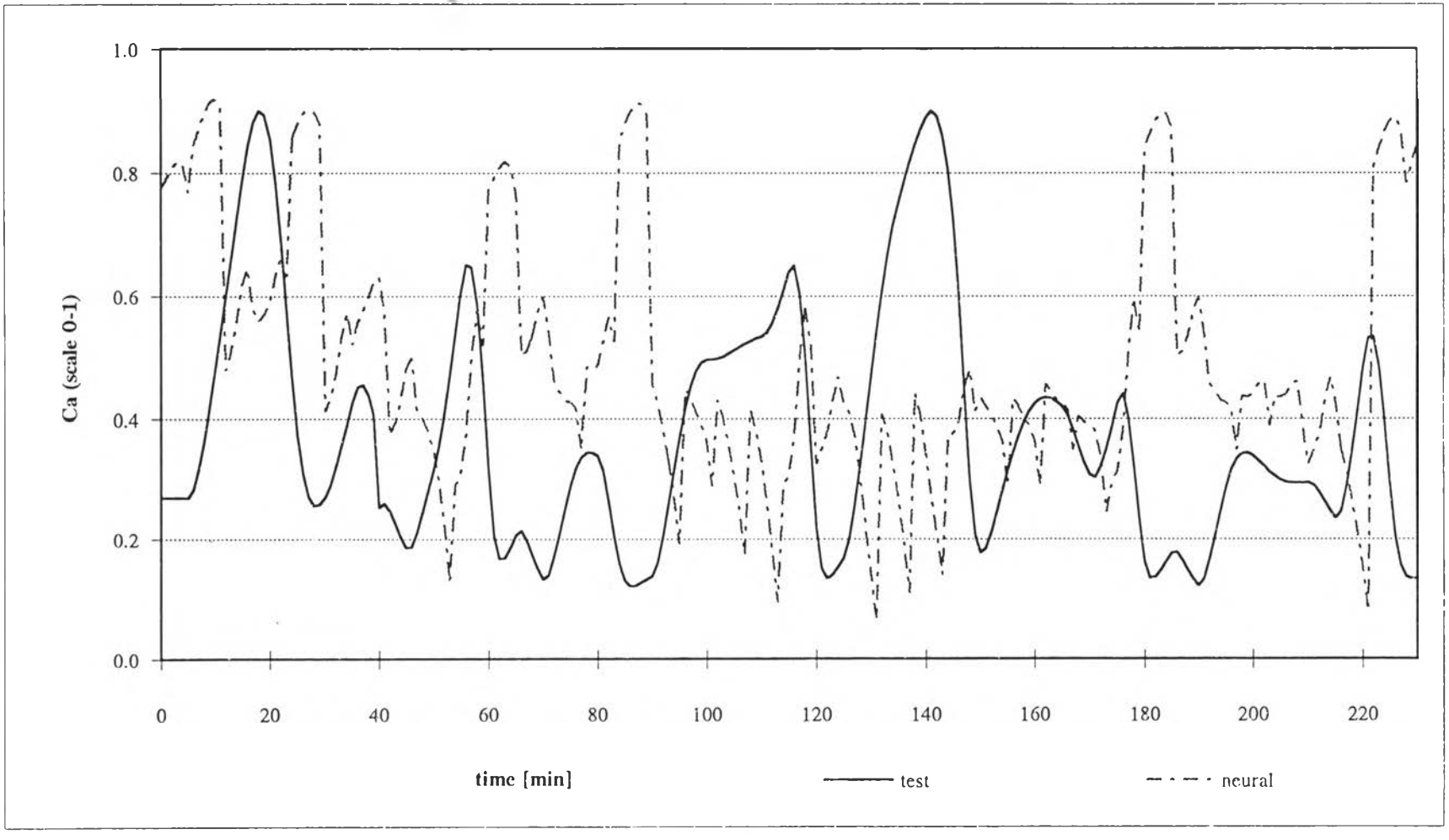
รูปที่ 4.10 การทดสอบการเรียนรู้ระบบถังกวนอุณหภูมิไม่คงที่ โดยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

(โครงสร้าง 6-9-6 , ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ , 25000 รอบ, RMS 13.6991, อัตราการเรียนรู้ 0.65, โมเมนตัม 0.85)



รูปที่ 4.11 การเรียนรู้ระบบถังกวนอุณหภูมิไม่คงที่ โดยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

(โครงสร้าง 6-9-6 , ฟังก์ชันกระตุ้น : ไบโพลาร์ , 25000 รอบ, RMS 6.9491, อัตราการเรียนรู้ 0.65,โมเมนตัม 0.85)



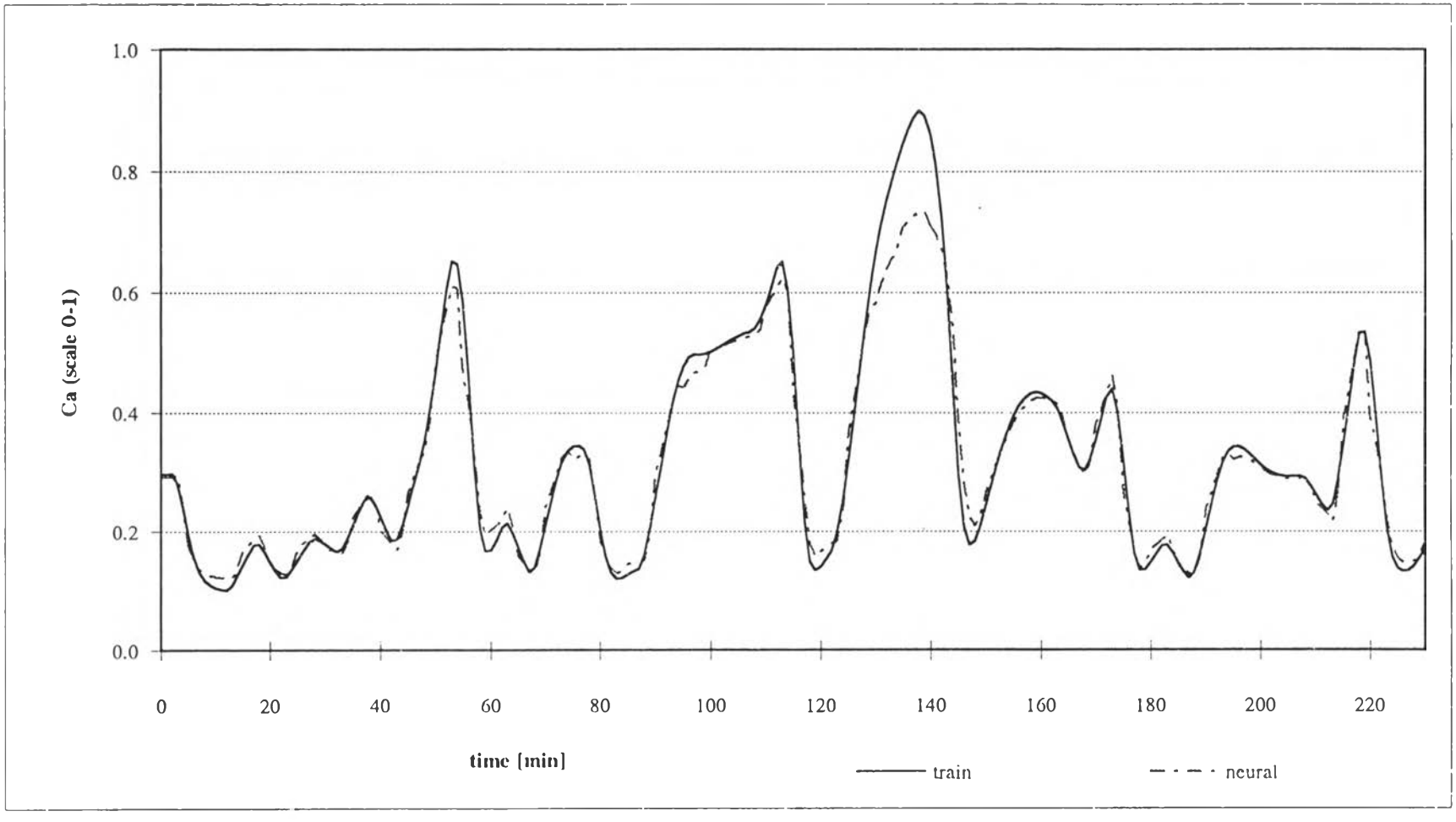
รูปที่ 4.12 การทดสอบการเรียนรู้ระบบถังกวนอุณหภูมิไม่คงที่ โดยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

(โครงสร้าง 6-9-6 , ฟังก์ชันกระตุ้น : ไบโพลาร์ , 25000 รอบ, RMS 15.2543, อัตราการเรียนรู้ 0.65, โมเมนตัม 0.85)

ตอนที่ 2 การเรียนรู้กระบวนการโดยแบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป

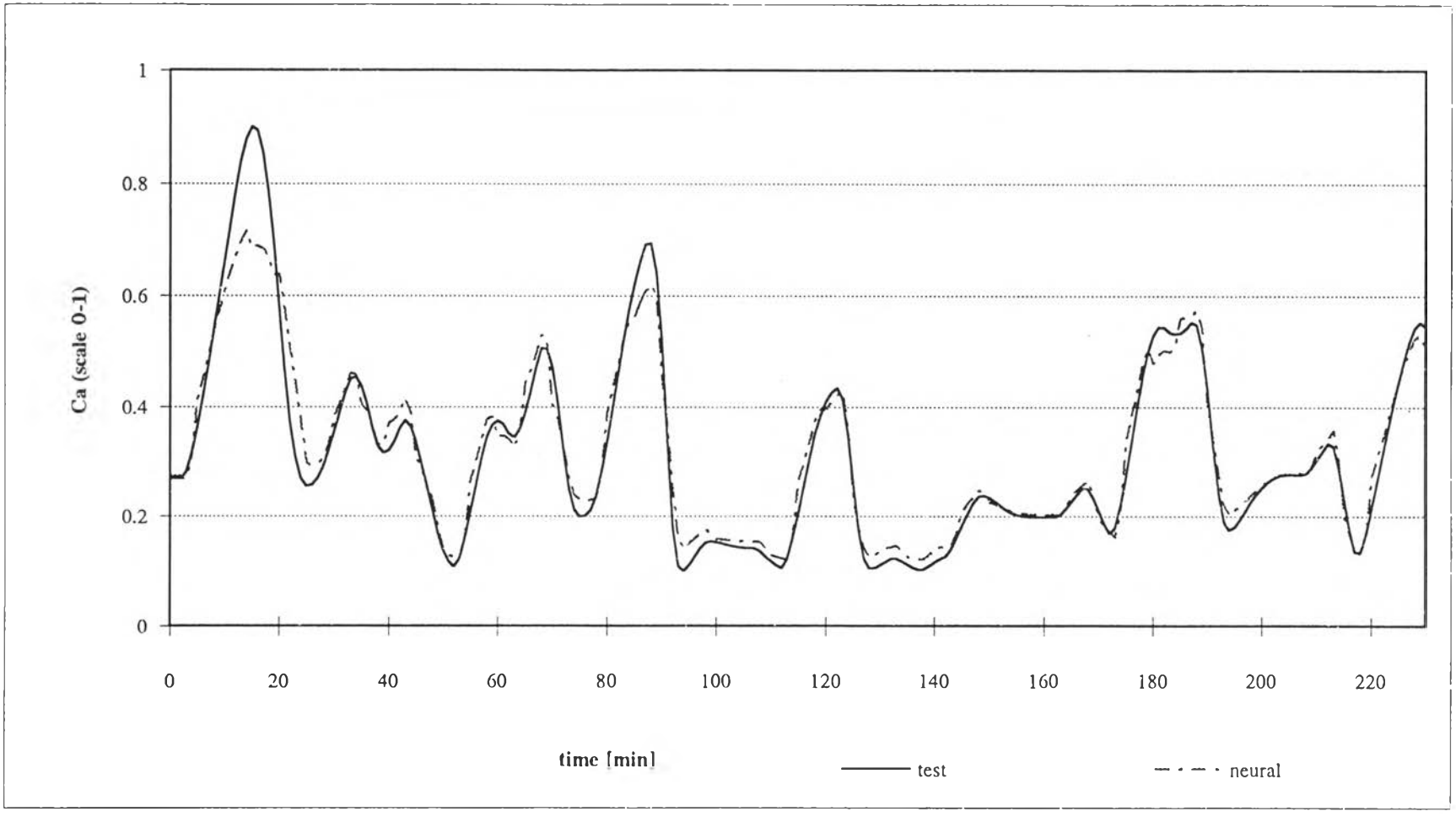
ข่ายงานนิวรัลที่มีโครงสร้าง 6-9-1 ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น แบบ ซิกมอยด์ ได้เรียนรู้ผ่านไปได้ 4720 รอบ พบว่าค่ารากเฉลี่ยกำลังสองเป็น 0.1529 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จะเห็นว่า ข่ายงานนิวรัลมีแนวโน้มที่สามารถเรียนรู้กระบวนการได้ดี และ เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองของข่ายงานนิวรัล ด้วย ข้อมูลชุดทดสอบแบบข้าม ดังแสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าการทำนายผลมีแนวโน้มไปทางเดียวกันที่มีความถูกต้องแม่นยำดี ได้ค่ารากเฉลี่ยกำลังสองเป็น 0.3303 เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัลที่มีโครงสร้าง 6-9-1 ที่ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น แบบไบโพลาร์ เมื่อผ่านไปได้ 4720 รอบ พบว่าค่ารากเฉลี่ยกำลังสองเป็น 3.2307 พบว่าการเรียนรู้ยังมีความถูกต้องแม่นยำไม่ดี ดังนั้นจึงให้ข่ายงานนิวรัลได้เรียนรู้ต่อไป จนถึง 7552 รอบ ทำให้ค่ารากเฉลี่ยกำลังสองลดลงเหลือ 0.1955 ดังแสดงในรูปที่ 4.15 การเรียนรู้ของนิวรัลดีขึ้นมาก ในขณะที่การทดสอบด้วยข้อมูลทดสอบข้าม ก็ให้ผลการทำนายได้ค่อนข้างแม่นยำ แสดงดังรูปที่ 4.16 ค่าน้ำหนักเริ่มต้นสำหรับการเรียนรู้ระบบที่มีโครงสร้าง 6-9-1 แสดงดังตารางที่ 4.5 ภายหลังการเรียนรู้ไป 4720รอบ ค่าน้ำหนักของข่ายงานนิวรัลเปลี่ยนไปดังตารางที่ 4.6

ผลการวิเคราะห์ เมื่อให้ข่ายงานนิวรัลได้เรียนรู้กระบวนการโดยใช้แบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป จะเห็นว่า เมื่อใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ สามารถเรียนรู้กระบวนการได้ดีในเวลาไม่นาน เมื่อเปรียบเทียบการเลือกใช้ฟังก์ชันไบโพลาร์ พบว่า สามารถในการเรียนรู้ได้ดีเช่นกัน แต่ต้องใช้เวลานานกว่า การใช้ ฟังก์ชันกระตุ้น แบบซิกมอยด์



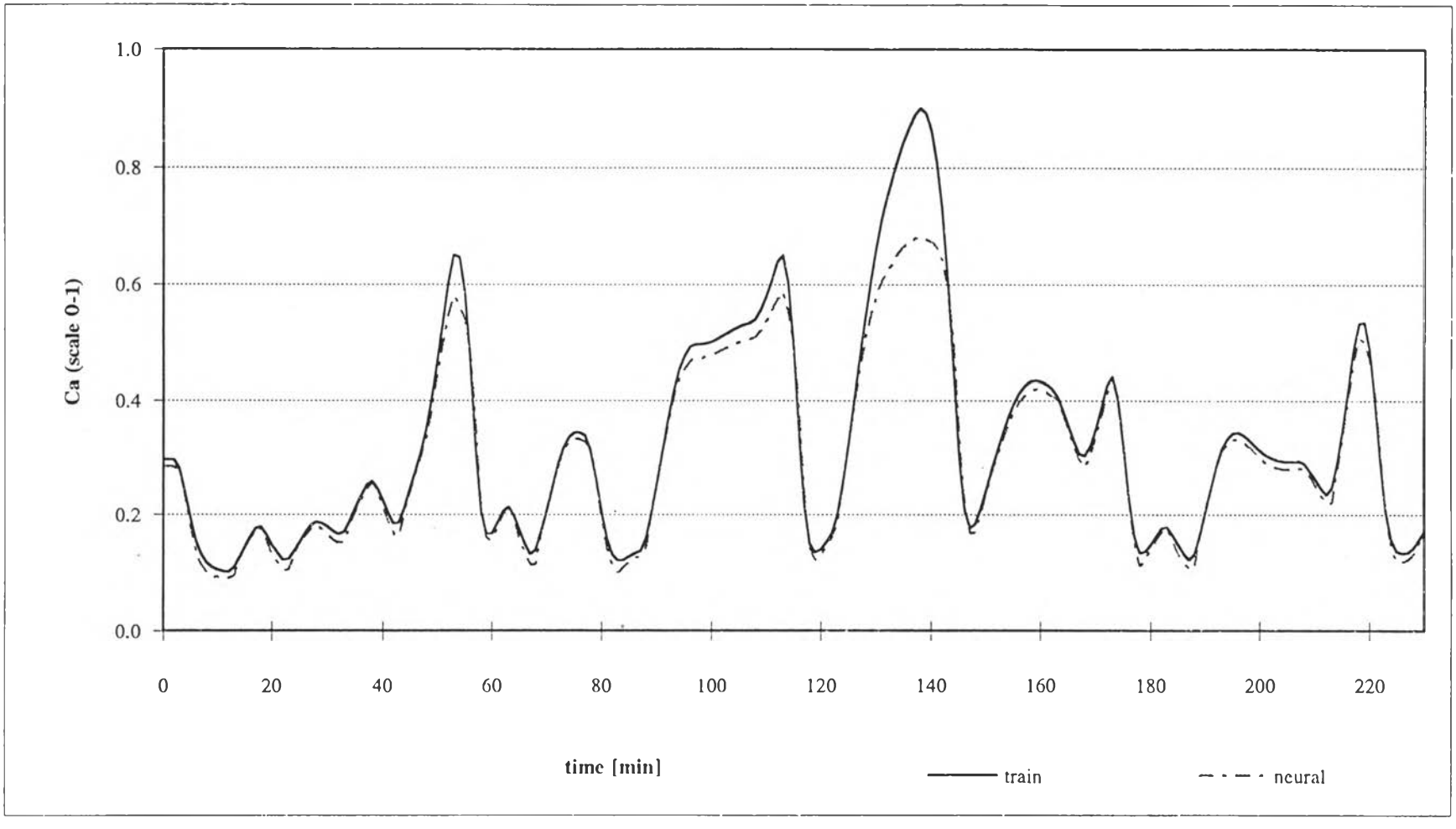
รูปที่ 4.13 การเรียนรู้ระบบถังกวนต่อเนื่องอุณหภมิไม่คงที่ โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-9-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 4720 รอบ : RMS 0.1529 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



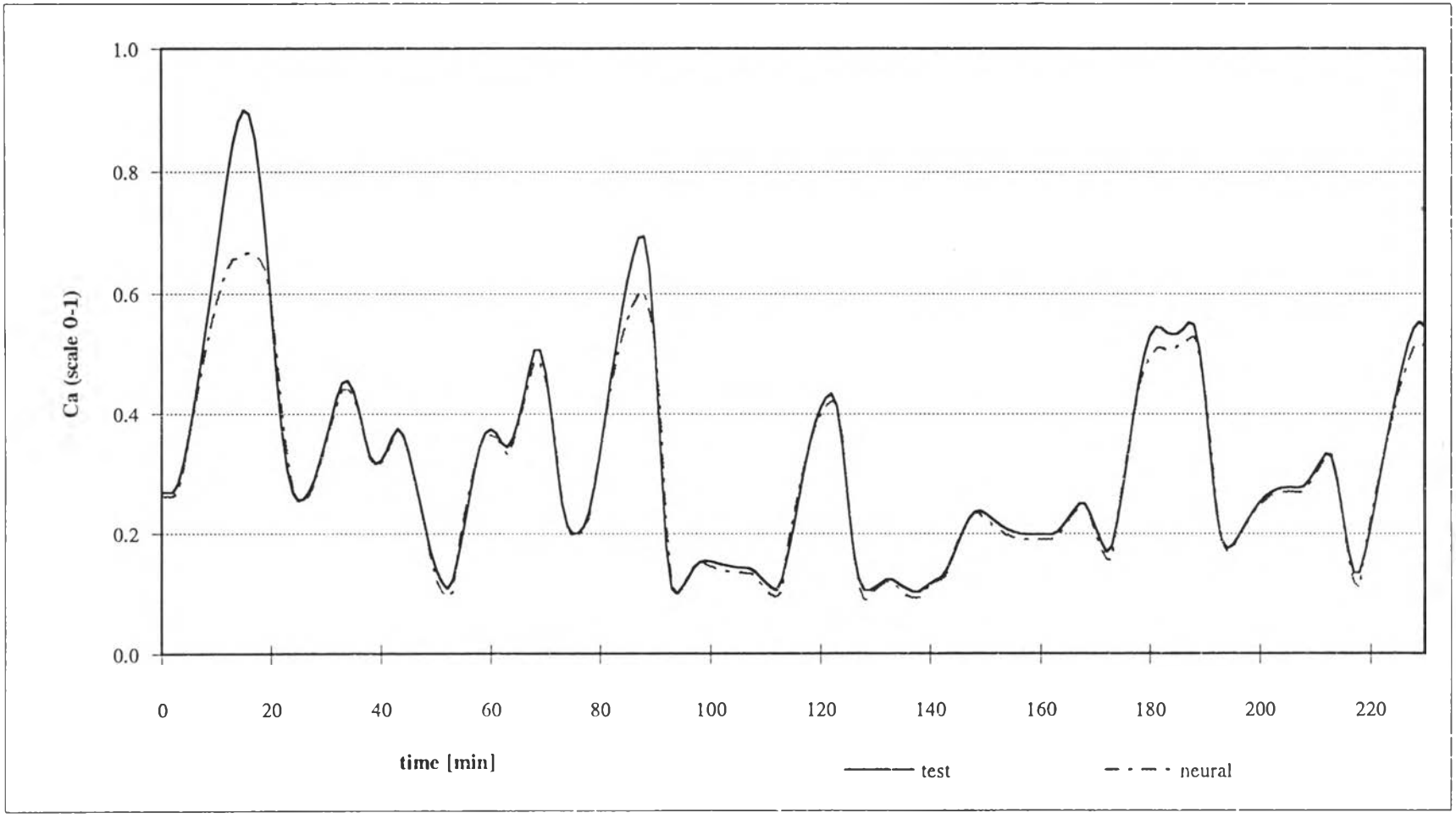
รูปที่ 4.14 การเรียนรู้ระบบถังกวนต่อเนื่องอุณหภมิไม่คงที่ โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-9-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 4720 รอบ : RMS 0.3303 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



รูปที่ 4.15 การเรียนรู้ระบบถังกวนต่อเนื่องอุณหภมิไม่คงที่ โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-9-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ไบโพลาร์ : 7552 รอบ : RMS 0.1955 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



รูปที่ 4.16 การทดสอบการเรียนรู้ระบบถังกวนต่อเนื่องอุณหภูมิไม่คงที่ โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-9-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ไบโพลาร์ : 7552 รอบ : RMS 0.3106 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)

ตารางที่ 4.5 ค่าน้ำหนักเริ่มต้นสำหรับการเรียนรู้ระบบถังกวนต่อเนื่องอุณหภูมิไม่คงที่
(โครงสร้าง 6-9-1 : แบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป)

Hidden	Input node							Output
	1	2	3	4	5	6	bias	1
1	1.55	-0.14	.82	0.9	0.15	0.9	-0.57	1.13
2	0.62	-0.75	-0.75	0.56	1.36	-0.54	0.65	0.44
3	-0.15	0.6	-0.14	0.01	-0.6	-0.32	-0.76	1.59
4	-0.48	1.32	0.83	0.07	0.31	0.29	0.19	-0.17
5	0.21	0.58	1.18	1.47	0.09	0.95	0.46	1.0
6	-0.44	-0.84	0.1	-0.4	-0.38	-0.81	0.57	-0.29
7	0.58	0.06	0.5	-0.69	-0.5	0.84	-0.72	-0.15
8	0.33	-0.43	0.13	0.53	0.47	0.33	-0.78	0.45
9	1.01	0.51	0.7	1.03	0.9	0.5	-0.71	1.33

ตารางที่ 4.6 ค่าน้ำหนักหลังการเรียนรู้สำหรับระบบถังกวนต่อเนื่องอุณหภูมิไม่คงที่
(โครงสร้าง 6-9-1 : แบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป : ITERATION 4720 ;

Hidden	Input node							Output
	1	2	3	4	5	6	bias	1
1	0.86	-1.13	-0.29	-0.47	0.25	2.33	-2.53	1.3
2	-0.3	-1.4	-1.33	1.06	0.83	-1.98	0.21	-1.69
3	-0.41	0.22	-0.61	-0.36	-0.68	-0.16	-1.88	-0.37
4	-1.54	0.42	-0.03	-0.2	-0.48	-0.94	-0.85	-0.74
5	-0.72	-0.52	0.01	0.35	-0.32	1.18	-1.73	0.6
6	-0.44	-0.47	0.22	1.02	-1.55	-4.08	1.70	-2.64
7	0.02	-0.48	0.01	-1.01	-0.82	0.52	-1.39	0.34
8	-0.16	-0.91	-0.34	0.15	0.15	0.08	-1.63	0.13
9	0.34	-0.47	-0.4	-0.48	1.04	2.12	-2.90	1.19

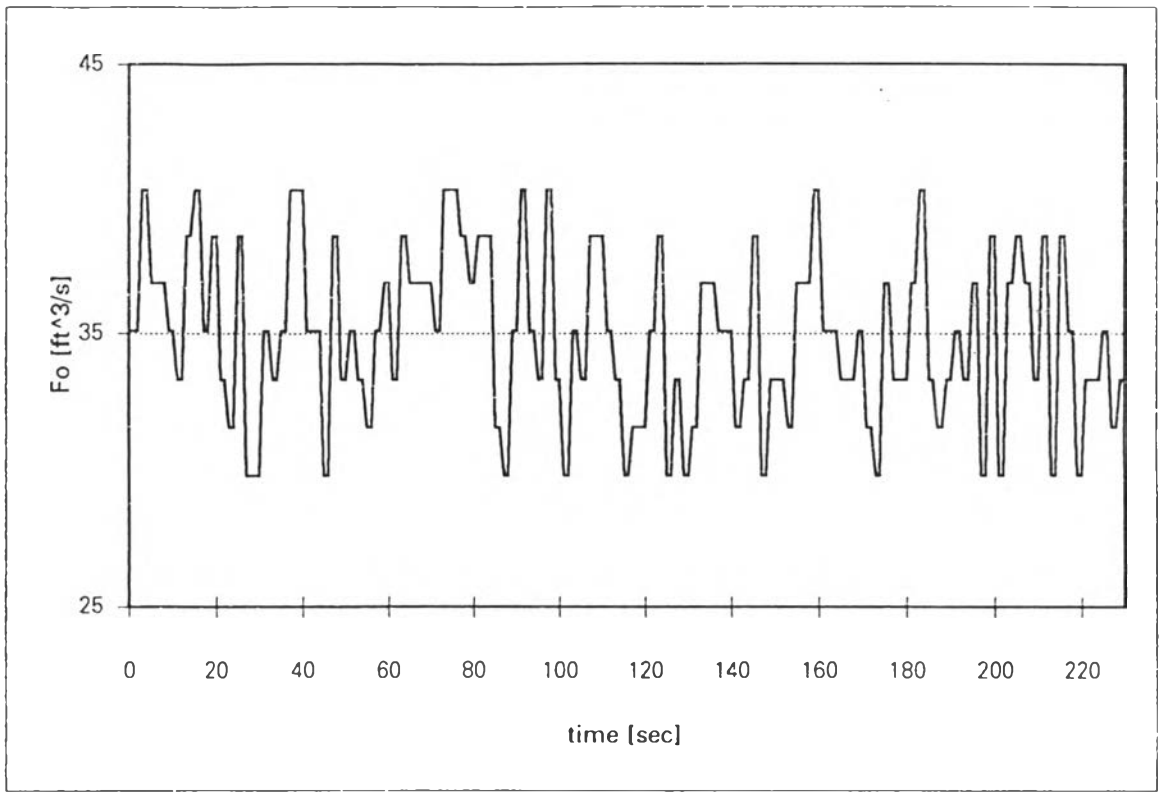
4.2.2 กระบวนการไหลของของเหลวโดยแรงโน้มถ่วง

การไหลของของเหลวออกจากถังตามแรงโน้มถ่วง แสดงดังรูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงของระบบอธิบายด้วยสมการอนุพันธ์ 2 สมการ คือ สมการ (3.9) และ (3.10) เมื่อกำหนดตัวแปรทุกตัวในระบบให้คงที่ แล้วให้ค่าอัตราการไหลของของเหลวขาเข้า, *Fo* เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสเต็พอย่างสุ่มทุก 1 นาที อยู่ในช่วง +/- 10% ของค่าที่สภาวะคงตัว บันทึกค่า ระดับความสูงของของเหลวในถัง, *h* ในทุก 0.1 นาที เป็นเวลา 24 นาที จะได้ชุดข้อมูลที่สอดคล้องกันระหว่างค่า อินพุท กับ เอาท์พุท จำนวน 240 ค่า ทั้งนี้ให้ทำข้อมูลเป็น 2 ชุดที่มีค่า อินพุท และ เอาท์พุทของกระบวนการแตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลในชุดที่ 1 เพื่อฝึกข่ายงานนิวรัลได้เรียนรู้ แสดงดังในรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18 ส่วนข้อมูลชุดที่ 2 ใช้เพื่อทดสอบแบบจำลองของข่ายงานนิวรัล หลังจากที่ผ่านการเรียนรู้กระบวนการมาแล้ว แสดงดังในรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 การเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล ใช้เทคนิคการ กระจายความผิดพลาดย้อนกลับ ที่มีค่าแฟคเตอร์โมเมนตัม 0.85, อัตราการเรียนรู้ 0.65 โดยให้ค่าน้ำหนักเชื่อมโยงข่ายงานเริ่มต้นเหมือนกัน

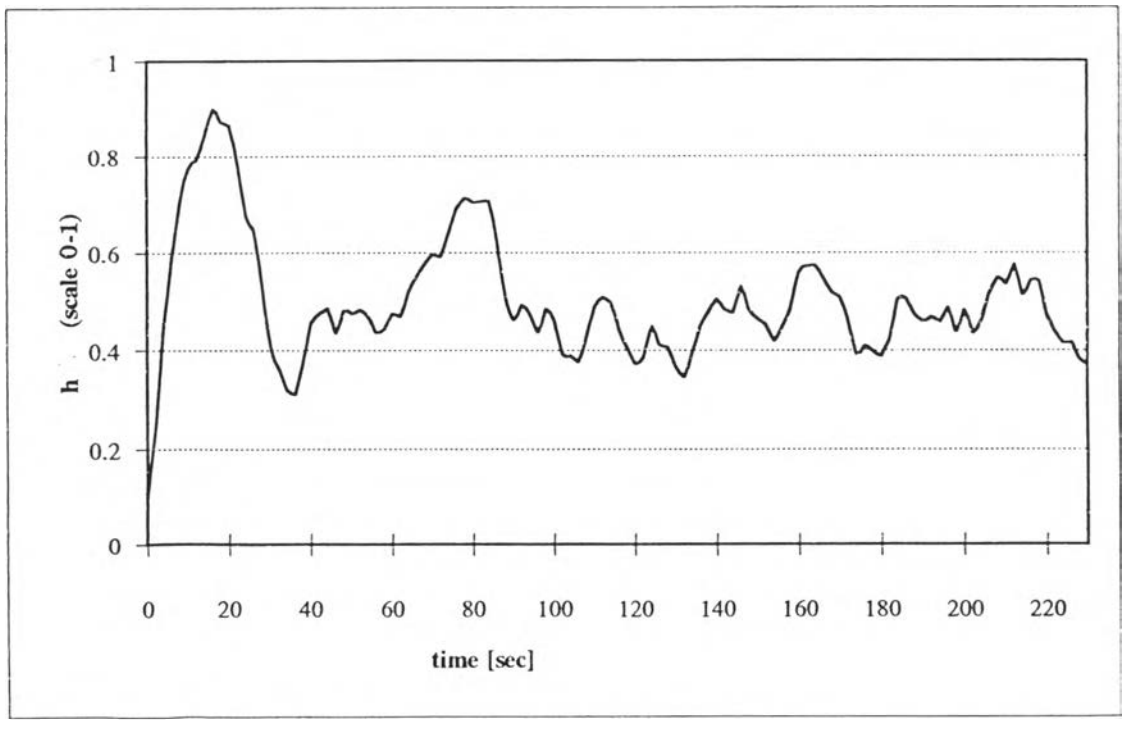
ก. การทดลอง

ตอนที่ 1 การเรียนรู้ด้วยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

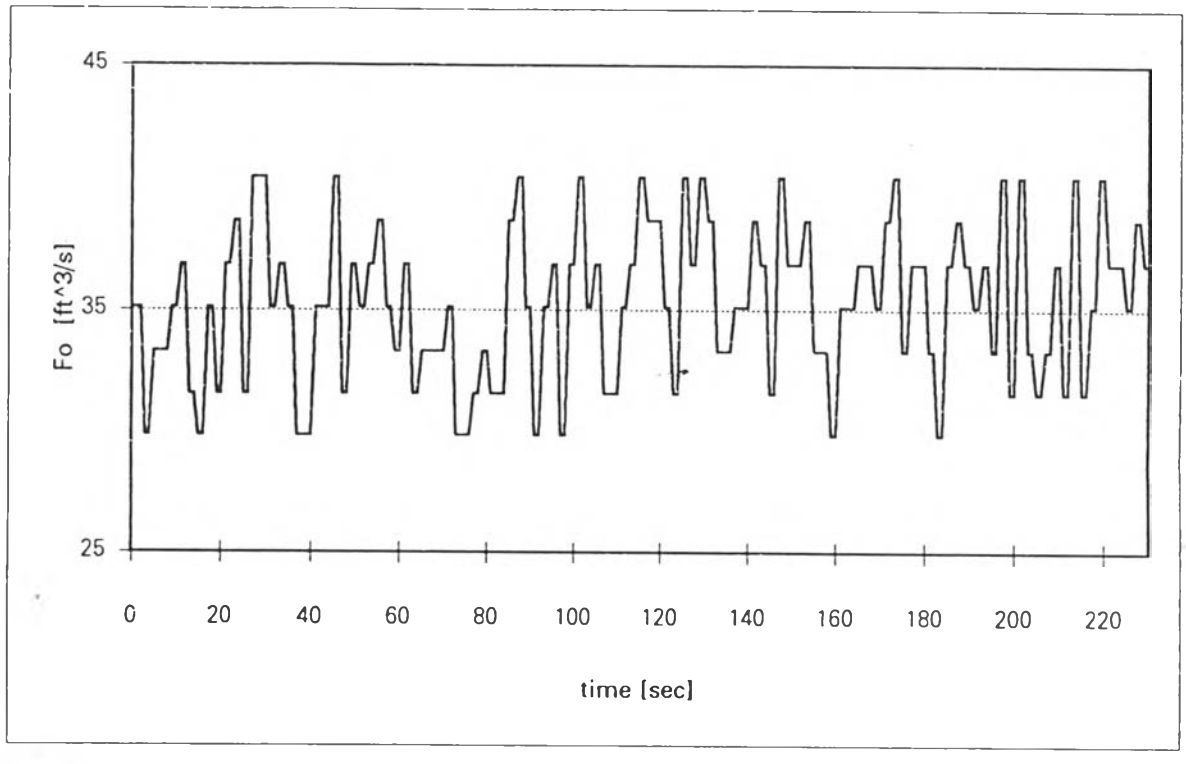
สำหรับใช้หาแบบจำลองให้กับข่ายงานนิวรัล กำหนดโครงสร้างของข่ายงานนิวรัล ในชั้นอินพุท = 6 , ชั้นฮิดเดน = 9 และชั้นเอาท์พุท = 6 กำหนดข้อมูลในชั้นอินพุท เป็นค่าของอัตราการไหลของของเหลวขาเข้า ที่มีการหน่วงเวลาต่างกัน 0.1 นาที 5 จำนวนในอดีต และค่าในปัจจุบัน 1 จำนวน เพื่อทำนายผลลัพธ์เป้าหมายของค่าระดับความสูงของของเหลวในถังใน



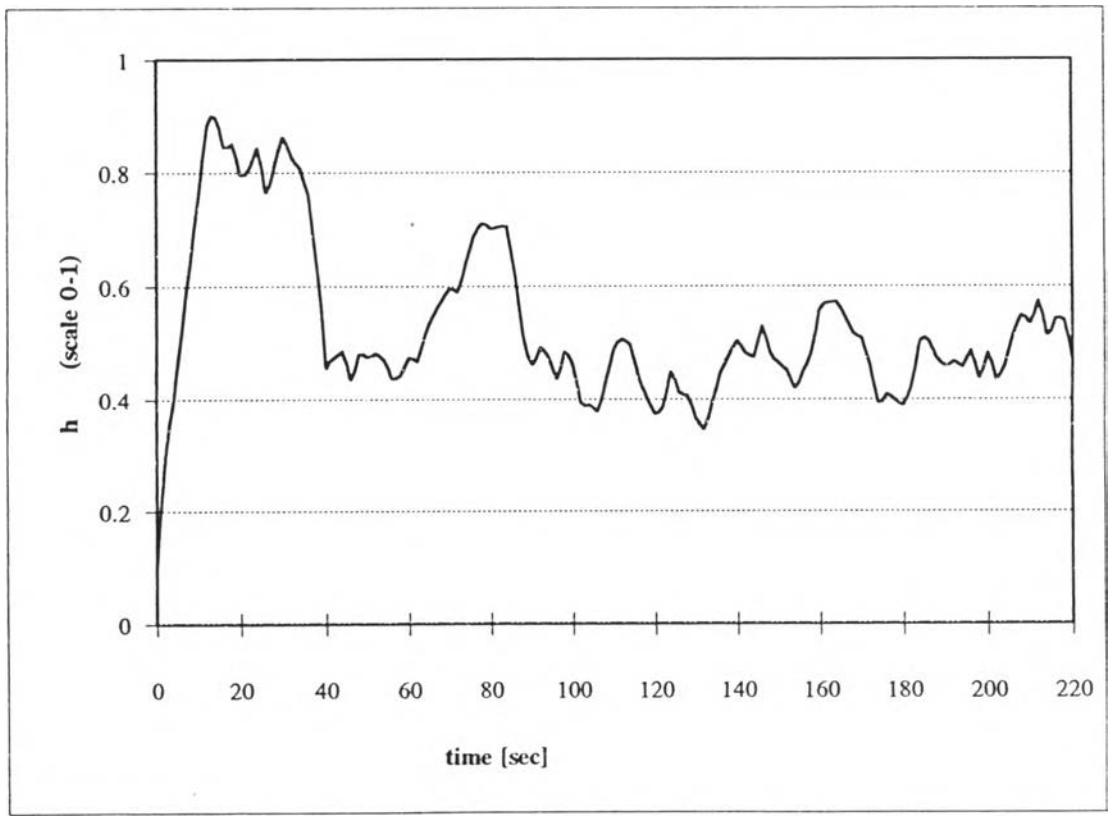
รูปที่ 4.17 อัตราการไหลของของเหลวขาเข้า ใช้เป็นสัญญาณอินพุทให้กับข่ายงานนิวรัลเรียนรู้



รูปที่ 4.18 ระดับความสูงของของเหลวในถัง ข้อมูลเป้าหมายสำหรับการเรียนรู้



รูปที่ 4.19 อัตราการไหลของของเหลวขาเข้า ใช้เป็นสัญญาณอินพุทในการทดสอบข่ายงานนิวรัล



รูปที่ 4.20 ระดับความสูงของของเหลวในถัง ข้อมูลเป้าหมายสำหรับการทดสอบการเรียนรู้

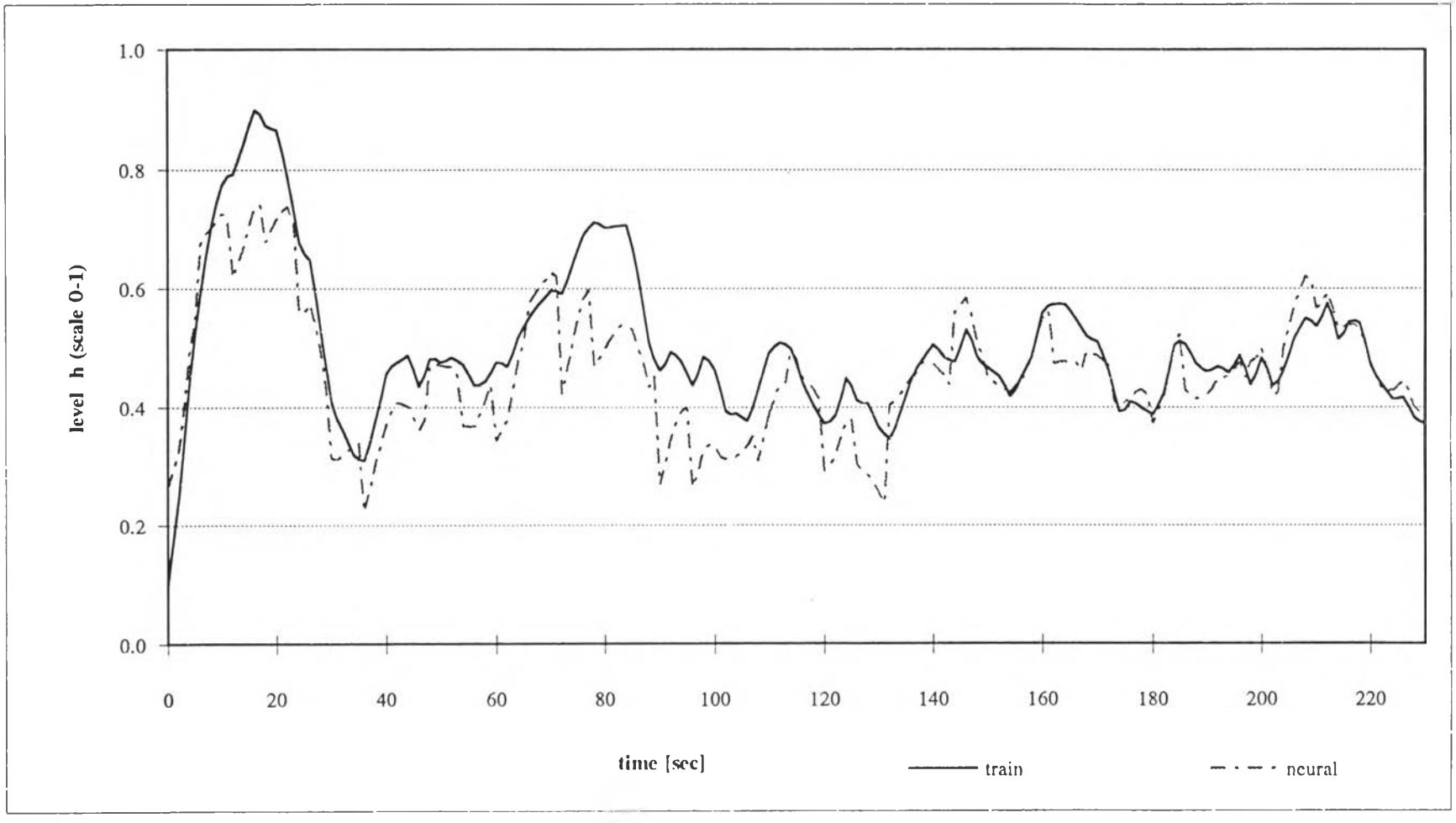
เวลาที่สอดคล้องกัน บันทึกค่ารากเฉลี่ยกำลังสองที่จำนวนรอบการเรียนรู้ ต่างๆ พร้อมกับทดสอบการเรียนรู้ ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ

ตอนที่ 2 การเรียนรู้ด้วยแบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป โดยกำหนดโครงสร้างของข่ายงานนิวรัล ในชั้นอินพุท = 6 , ชั้นฮิดเดน = 9 และ ชั้นเอาท์พุท = 1 กำหนดข้อมูลในชั้นอินพุท เป็นค่าของอัตราการไหลของของเหลวขาเข้าที่มีการหน่วงเวลาต่างกัน 0.1 นาที 2 จำนวนในอดีต ค่าในปัจจุบัน 1 จำนวน และค่าเป้าหมายในอดีต 3 จำนวน เพื่อทำนายผลลัพธ์เป้าหมายของค่าระดับความสูงของของเหลวในถังในเวลาที่สอดคล้องกัน บันทึกค่ารากเฉลี่ยกำลังสองที่จำนวนรอบการเรียนรู้ ประมาณ 25000 รอบ พร้อมกับทดสอบการเรียนรู้ ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ ทั้งนี้ให้เปรียบเทียบการเรียนรู้กับโครงสร้าง ของข่ายงานนิวรัลที่มีหน่วยฮิดเดนเป็น 3, 5 และ 7 หน่วย เมื่อได้โครงสร้างที่เหมาะสม ให้ทดลองหาค่าขอบเขตของอัตราการเรียนรู้ ที่ทำให้การเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล เหมาะสมที่สุด และหาค่าโมเมนตัมที่เหมาะสมด้วย

ข. ข้อมูลการทดลองและผลการวิเคราะห์

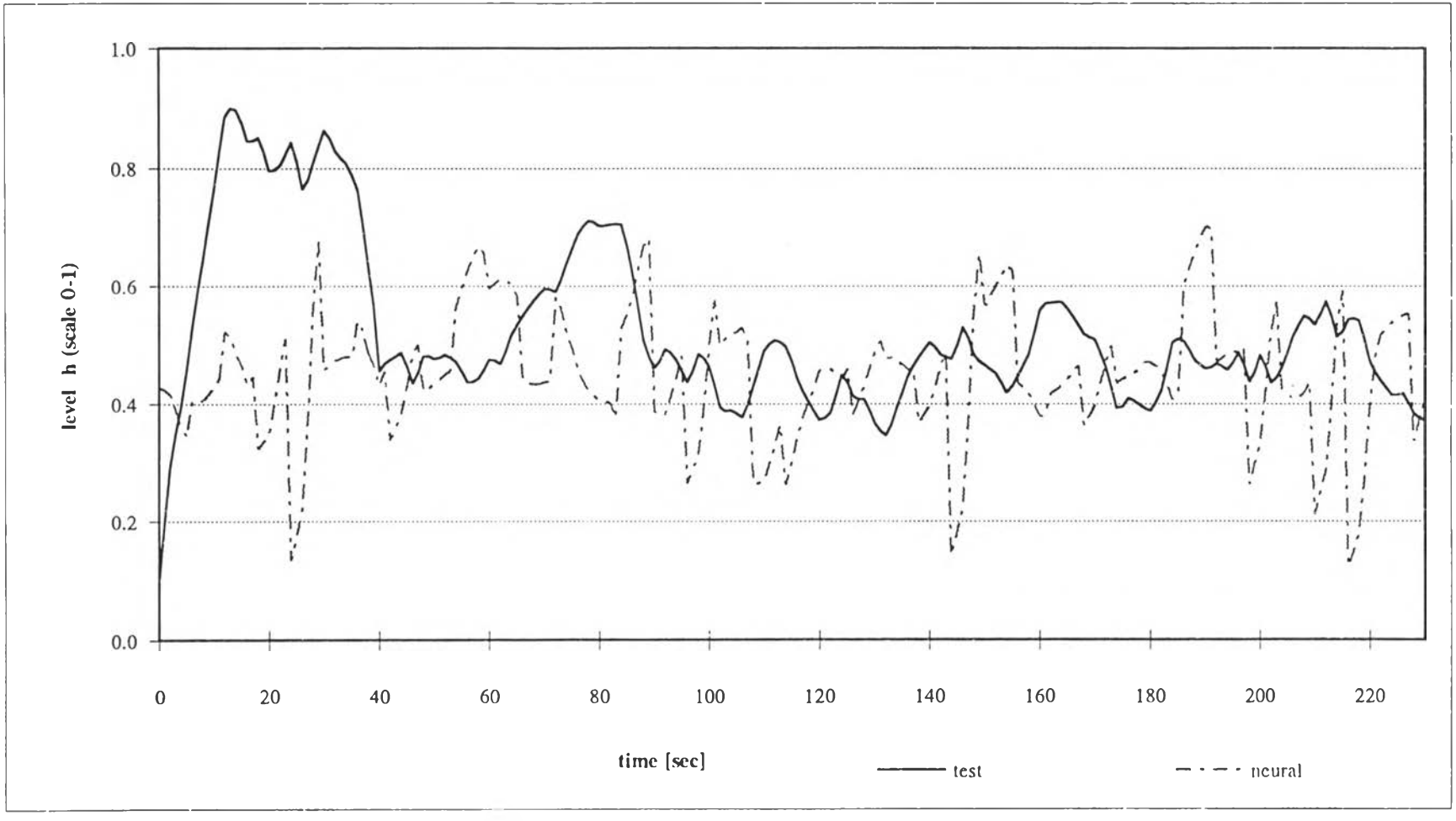
ตอนที่ 1 การเรียนรู้ด้วยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

เมื่อให้ข่ายงานนิวรัลที่มีโครงสร้าง 6-9-6 ใช้แบบจำลองแบบเชิงขนานแบบไม่วกกลับทำการเรียนรู้ ระบบการไหลของของเหลวออกจากถังด้วยแรงโน้มถ่วง พบว่าเมื่อการเรียนรู้ผ่านไปได้จำนวน 25000 รอบ แล้วข่ายงานนิวรัลสามารถเรียนรู้กระบวนการได้โดยมีค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง เป็น 1.0545 ดังแสดงในรูปที่ 4.21 แต่ผลการทดสอบการเรียนรู้ที่แสดงในรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าค่าที่ได้ ยังมีค่าความแตกต่างจากค่าเป้าหมายมาก



รูปที่ 4.21 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

(โครงสร้าง 6-9-6: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25000 รอบ : RMS 1.05165 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



รูปที่ 4.22 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงขนานแบบไม่วกกลับ

(โครงสร้าง 6-9-6: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25000 รอบ : RMS 6.3137 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)

ตอนที่ 2 การเรียนรู้ด้วยแบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป

หลังจากที่ข่ายงานนิวรัลที่มีโครงสร้าง 6-9-1 ใช้แบบจำลองแบบเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป ทำการเรียนรู้ ระบบการไหลของของเหลวออกจากถังด้วยแรงโน้มถ่วง พบว่าเมื่อการเรียนรู้ผ่านไปได้จำนวน 25016 รอบ แล้วข่ายงานนิวรัลสามารถเรียนรู้กระบวนการได้โดยมีค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง เป็น 0.7577 ดังแสดงในรูปที่ 4.23 จะเห็นว่าข่ายงานนิวรัลสามารถเรียนรู้กระบวนการได้ดี โดยเส้นกราฟของข่ายงานนิวรัล มีความใกล้เคียงกับเส้นกราฟของกระบวนการที่ใช้ในการฝึก และผลการทดสอบการเรียนรู้ยังมีแนวโน้ม ในการทำนายผลออกมาค่อนข้างดี ดังในรูปที่ 4.24

เมื่อเปรียบเทียบการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัลที่มีโครงสร้างใกล้เคียงกัน ระหว่างโครงสร้าง 6-9-6 ของแบบจำลองแบบเชิงขนานแบบไม่วกกลับ กับโครงสร้าง 6-9-1 ของแบบจำลองแบบเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป ดังผลการทดลองที่ผ่านมา พบว่า เมื่อจำนวนรอบการเรียนรู้ผ่านไปได้ประมาณ 25000 รอบ การเรียนรู้ด้วยแบบจำลองแบบเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป มีความสามารถในการเรียนรู้ได้ดีกว่า โดยให้ค่ารากเฉลี่ยกำลังสองต่ำกว่า และ มีเส้นกราฟของการเรียนรู้ใกล้เคียงกับค่าของกระบวนการมากกว่า ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการเรียนรู้ด้วยข้อมูลชุดทดสอบ จะเห็นว่าโครงสร้าง 6-9-1 ของแบบจำลองแบบเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป สามารถทำนายผลของค่าเป้าหมายได้ดีกว่า ในการทดสอบหาโครงสร้างของข่ายงานนิวรัลที่มีจำนวนหน่วยฮิดเดน ที่เหมาะสมที่สุด โดยการปรับจำนวนหน่วยฮิดเดน เป็น 3, 5 และ 7 หน่วยนั้น พบว่า เมื่อให้ข่ายงานนิวรัลเรียนรู้ไปได้ 25016 รอบ ได้ผลการเรียนรู้ และ

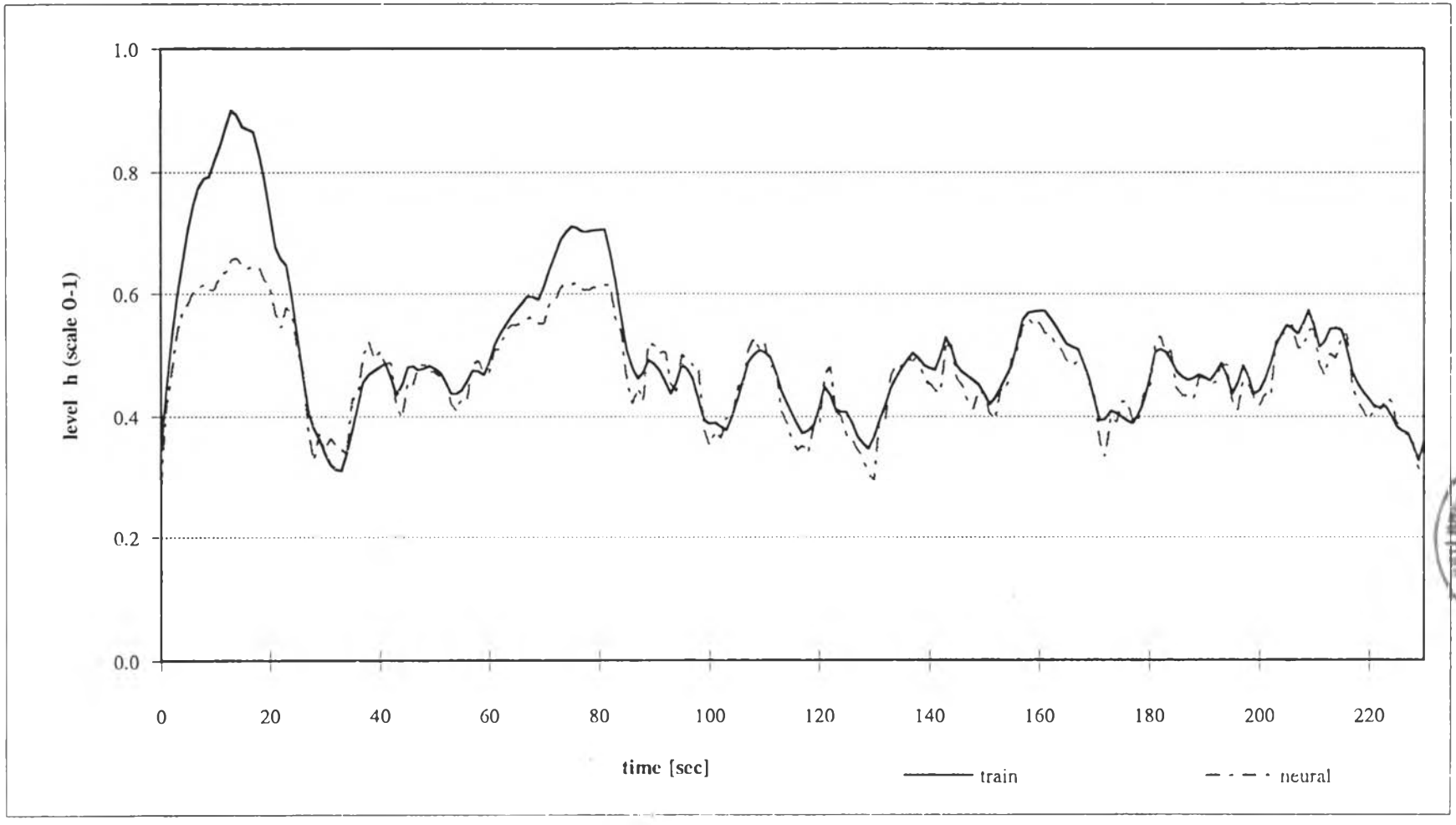
การทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 และ 4.30 โครงสร้างที่ให้ผลการเรียนรู้เหมาะสมที่สุดคือ 6-5-1 ในรูปที่ 4.27 และ 4.28

จากโครงสร้าง 6-5-1 ที่มีค่าอัตราการเรียนรู้ 0.65 และแฟคเตอร์โมเมนตัม 0.85 เมื่อทดลองลดค่าอัตราการเรียนรู้เป็น 0.3, 0.05 และ 0.01 ดังแสดงในรูปที่ 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 และ 4.36 พบว่าการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัลดีขึ้น เมื่อปรับค่าอัตราการเรียนรู้ลดลงมา โดยที่ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.05 ให้การเรียนรู้ดีที่สุด ถ้าลดค่าอัตราการเรียนรู้ต่อไปจนถึง 0.01 การเรียนรู้จะเริ่มเลวลง

โครงสร้าง 6-5-1 ที่มีค่าอัตราการเรียนรู้ 0.05 และค่าแฟคเตอร์โมเมนตัม 0.85 ดังการทดลองที่ผ่านมา ให้ผลการเรียนรู้ดีที่สุด ผลการทดลองเมื่อเพิ่มค่า และลดค่าจาก 0.85 เป็น 0.5 กับ 0.95 ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.37, 4.38, 4.39 และ 4.40 พบว่าค่าโมเมนตัม 0.85 ให้ผลการเรียนรู้ที่เหมาะสมดีอยู่แล้ว

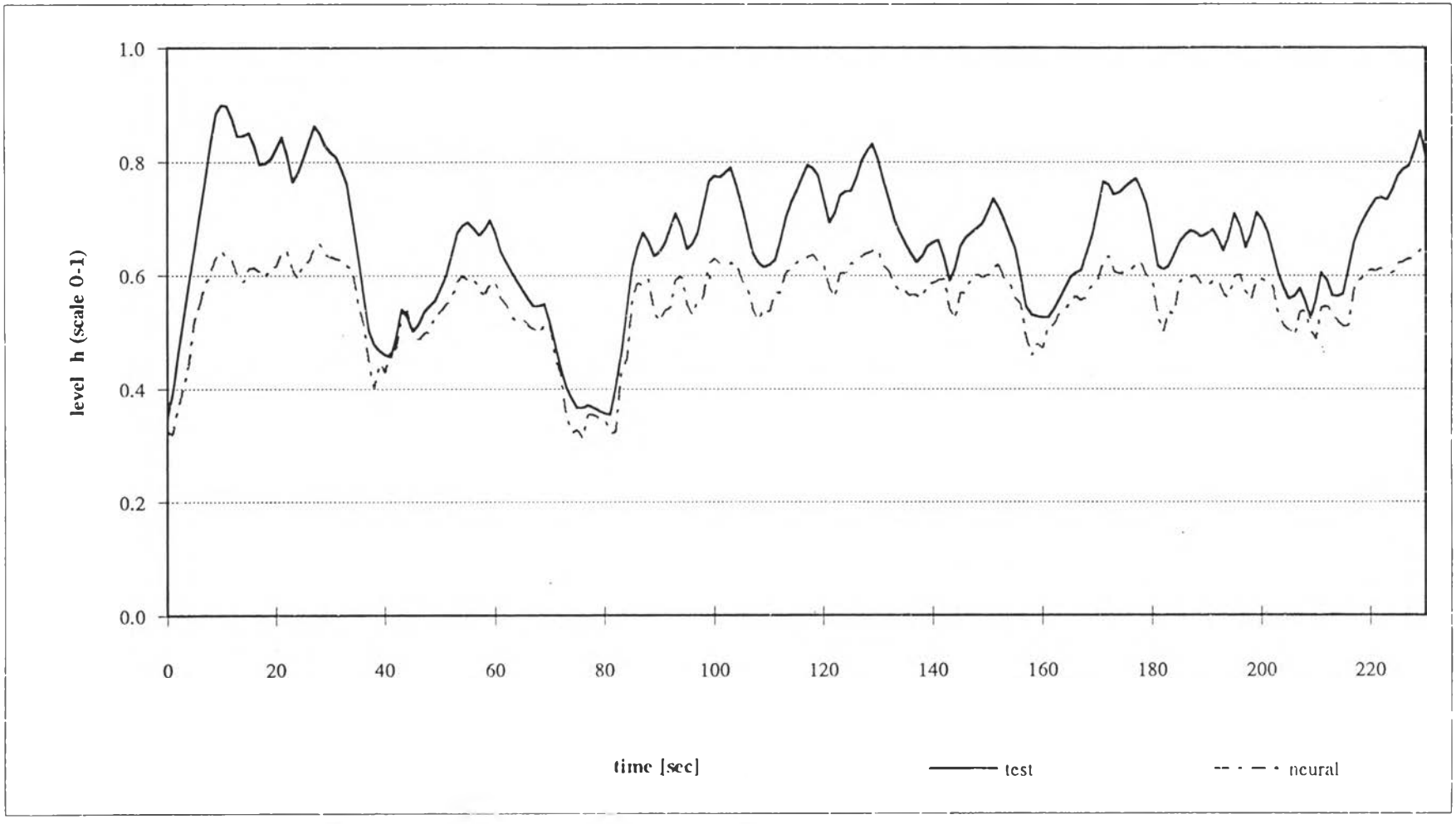
4.3 ศึกษาผลของจำนวนชั้นฮิดเดนในข่ายงานนิวรัล

ในการหาแบบจำลองกระบวนการไม่เชิงเส้นจำเป็นต้องมีชั้นฮิดเดนรวมอยู่ในข่ายงานนิวรัล ดังตัวอย่างการเรียนรู้โอปะเรเตอร์ XOR ซึ่งเป็นตัวอย่างพื้นฐานของระบบไม่เชิงเส้น ถ้าข่ายงานนิวรัลไม่มีชั้นฮิดเดน พบว่าจะไม่สามาเรียนรู้โอปะเรเตอร์ XOR ดังนั้นจำนวนชั้นฮิดเดนในข่ายงานนิวรัลจึงมีอิทธิพลโดยตรงต่อ การเรียนรู้ของข่ายงาน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่



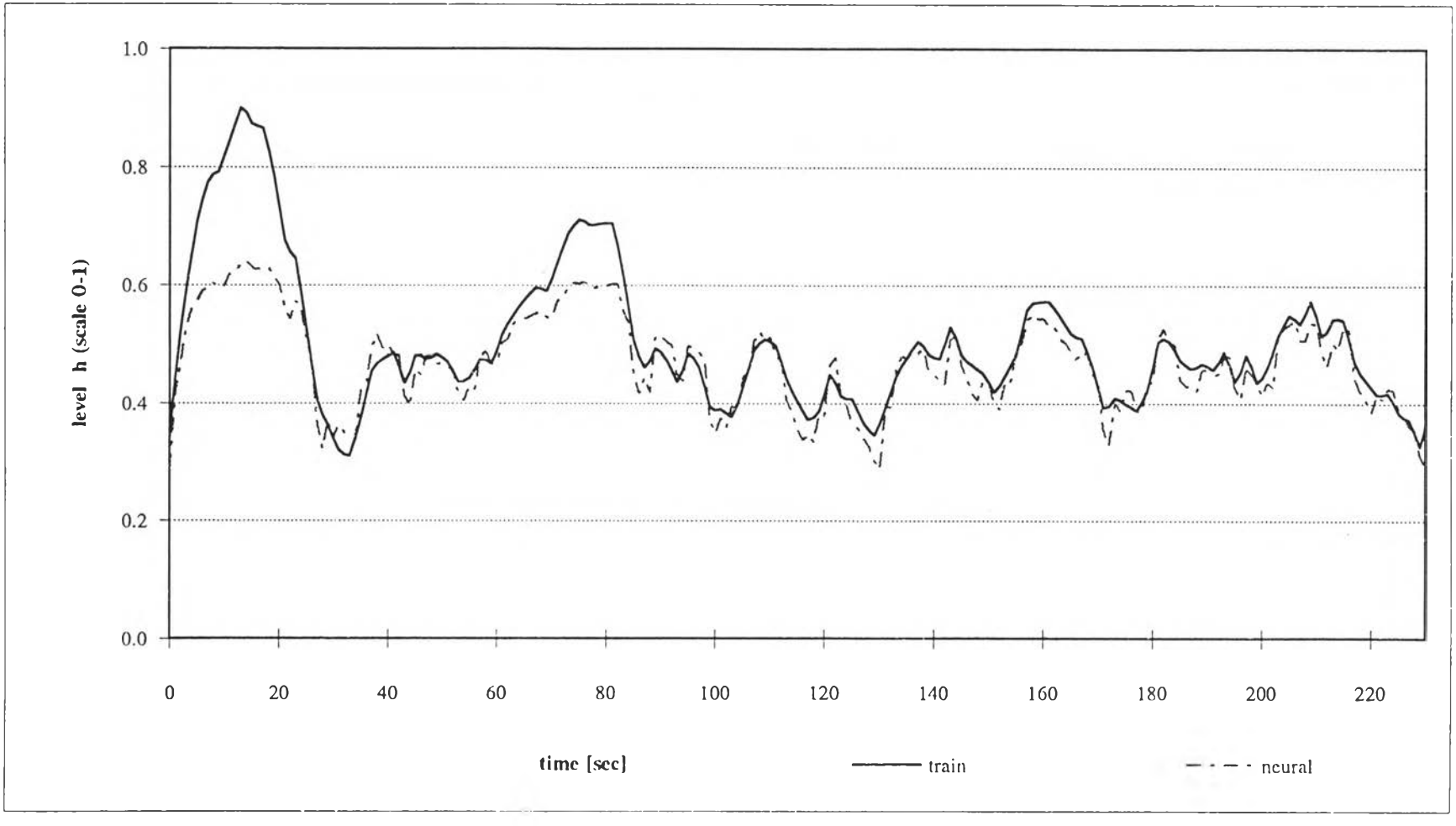
รูปที่ 4.23 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-9-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.7577 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



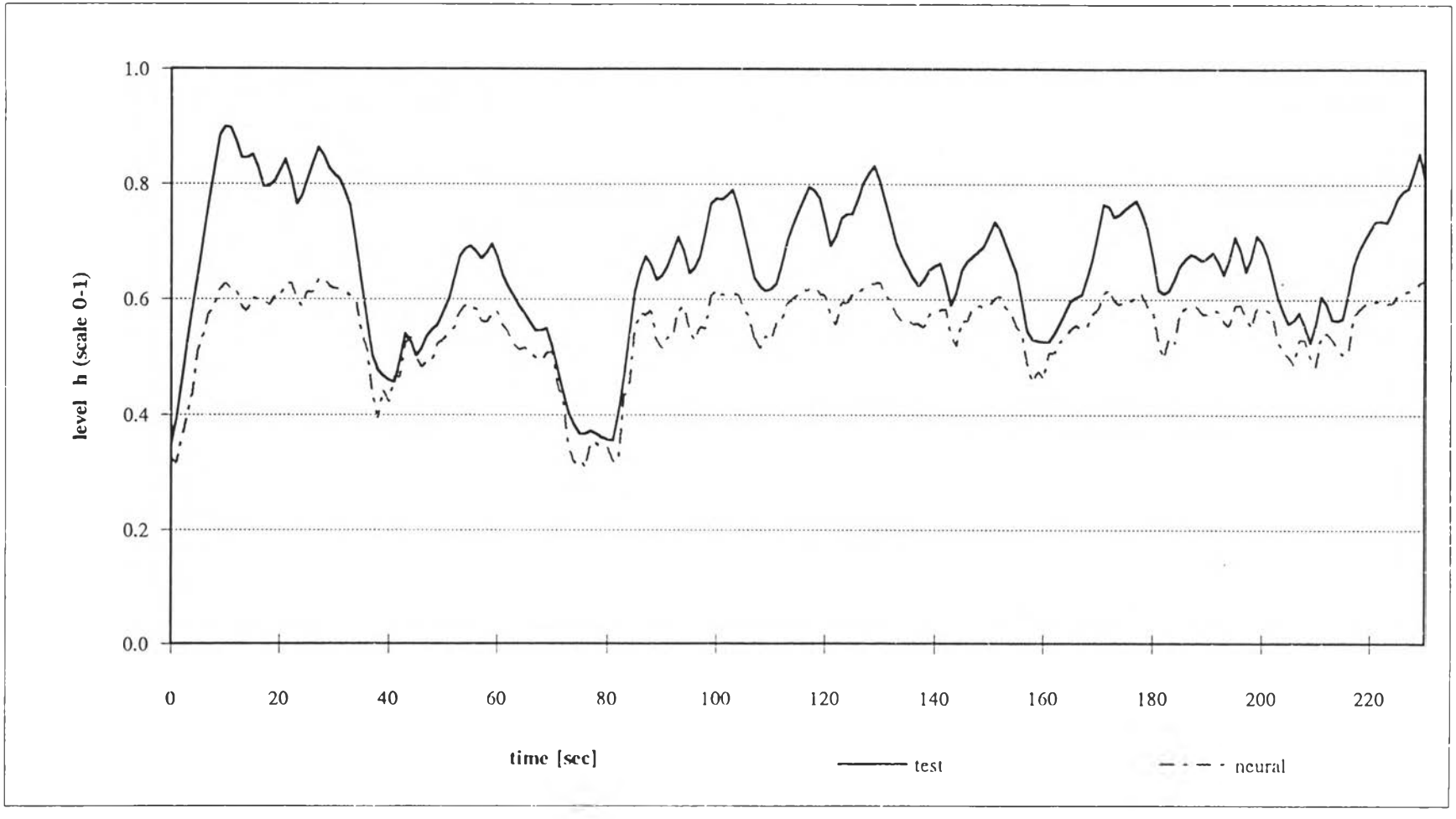
รูปที่ 4.24 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-9-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 1.9175 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



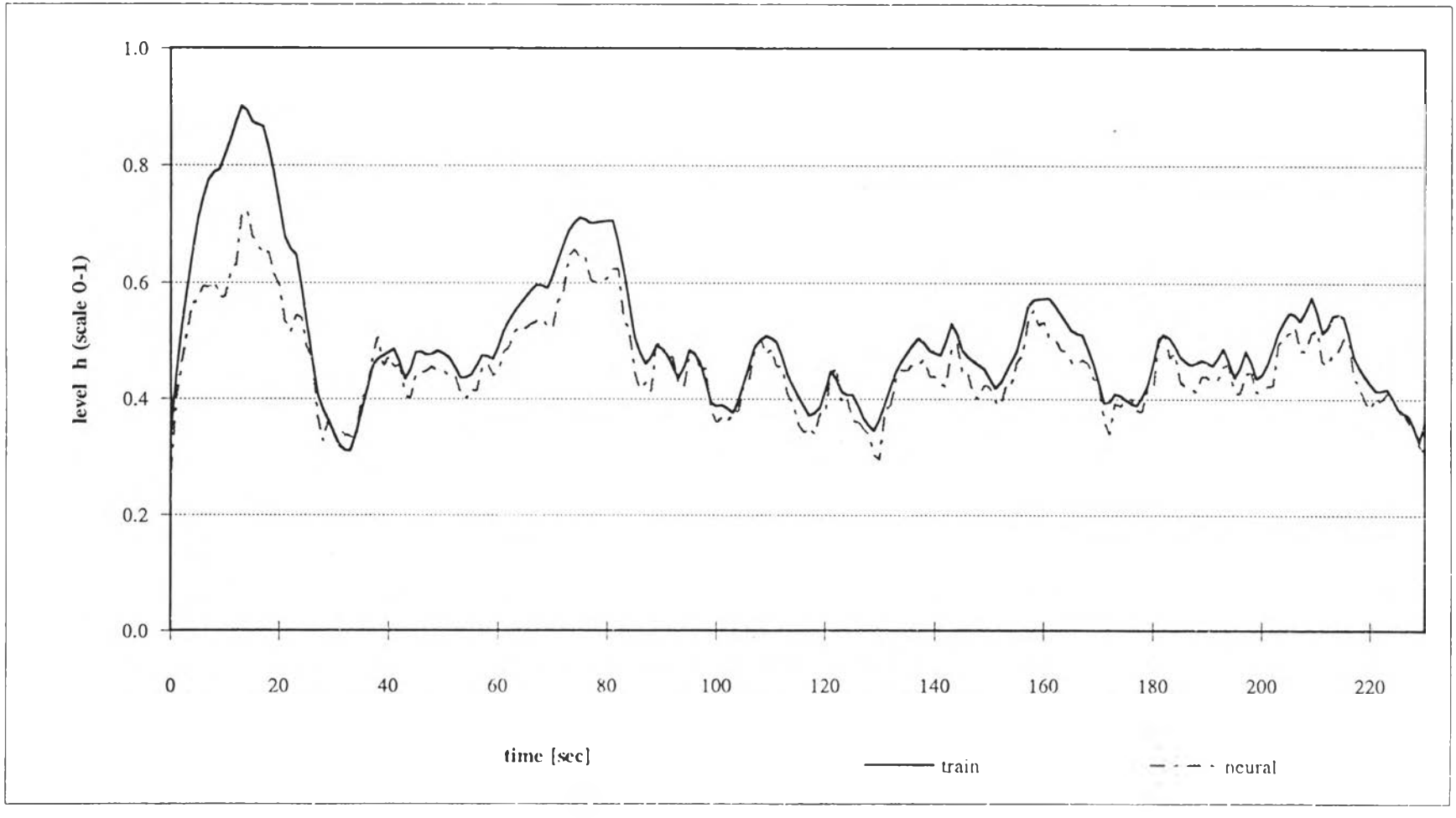
รูปที่ 4.25 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-7-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.8695 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



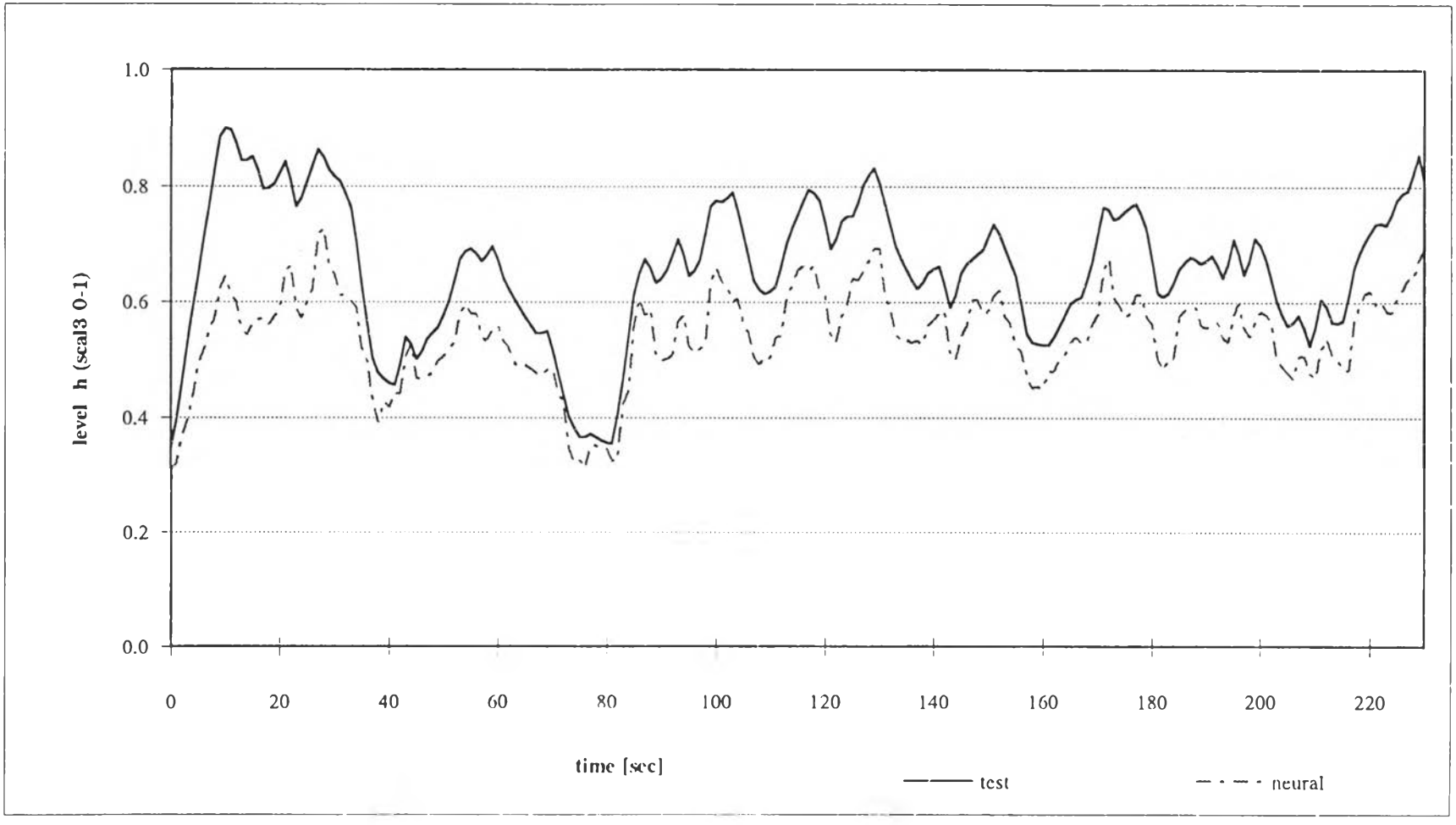
รูปที่ 4.26 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-7-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 2.1801 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



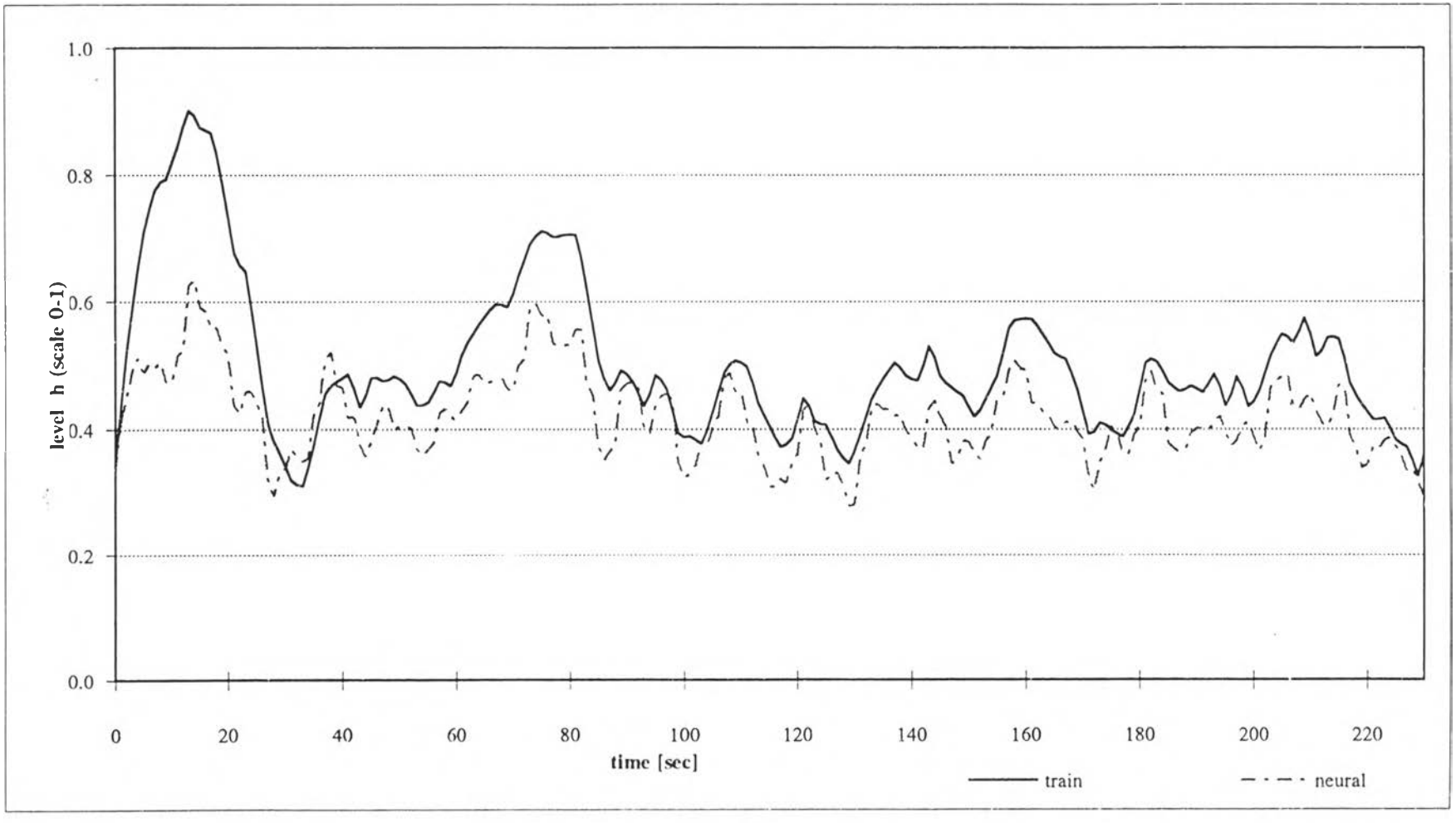
รูปที่ 4.27 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.8031 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



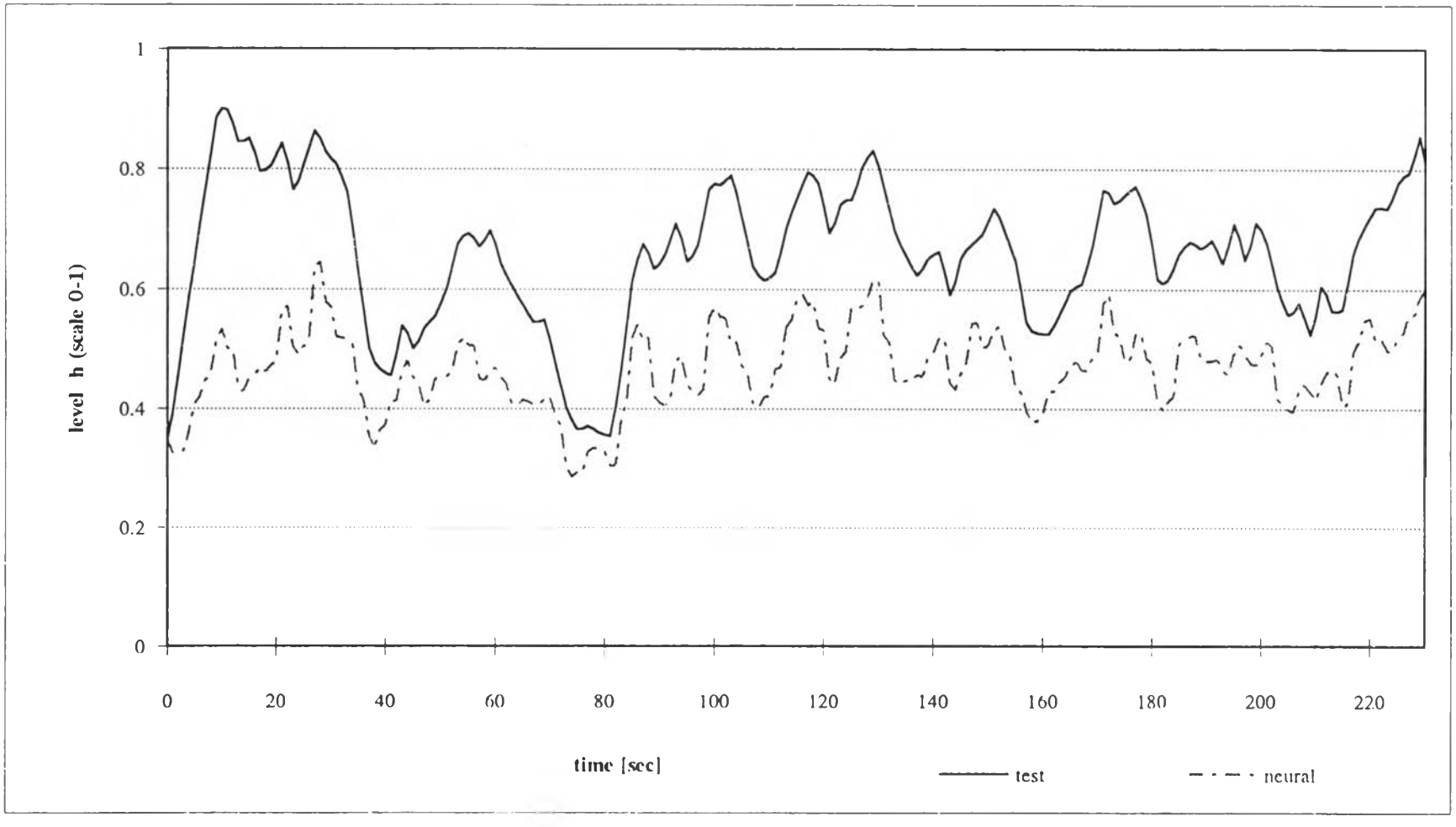
รูปที่ 4.28 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 2.3375 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



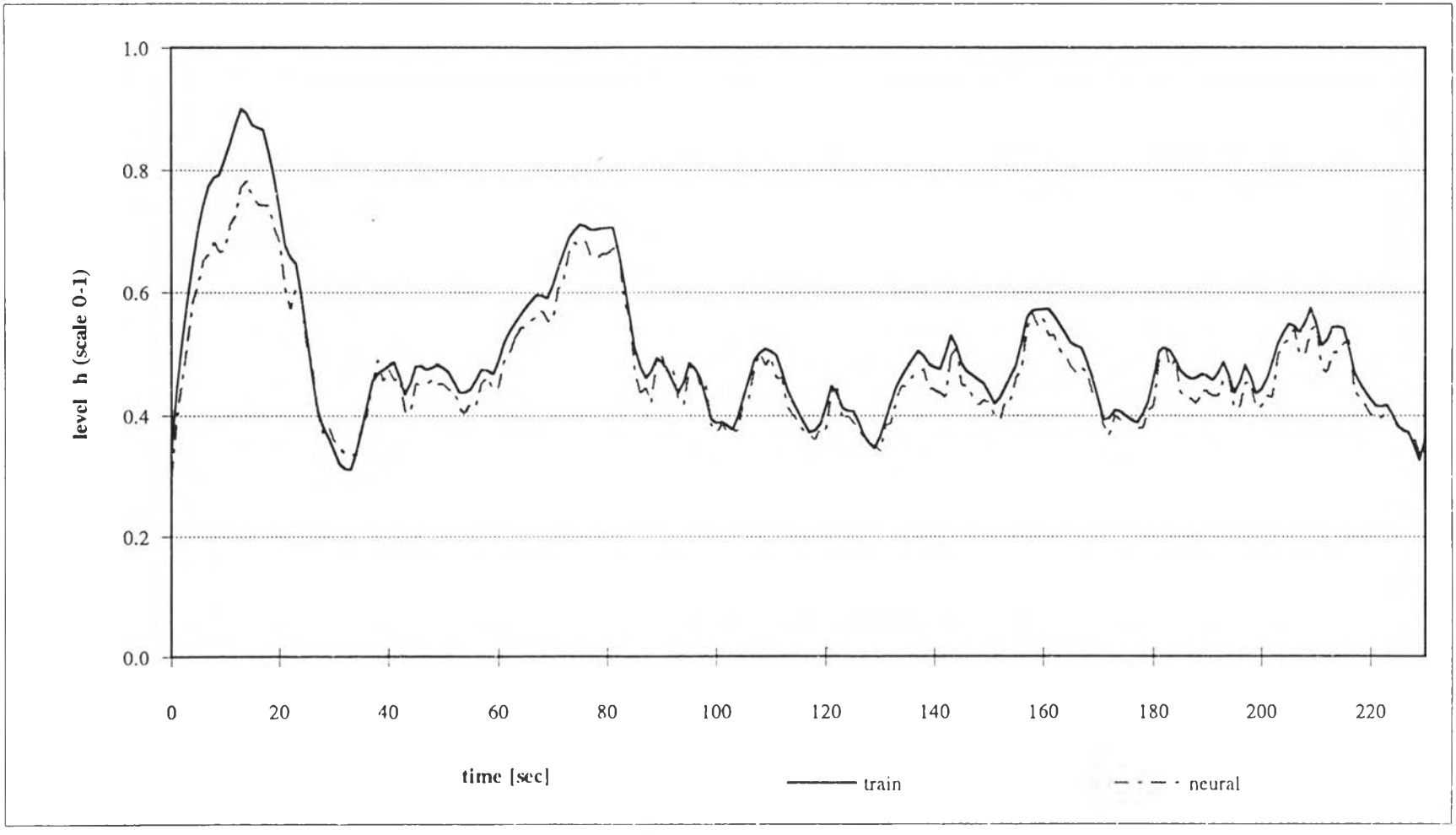
รูปที่ 4.29 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-3-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 12508 รอบ : RMS 2.0298 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



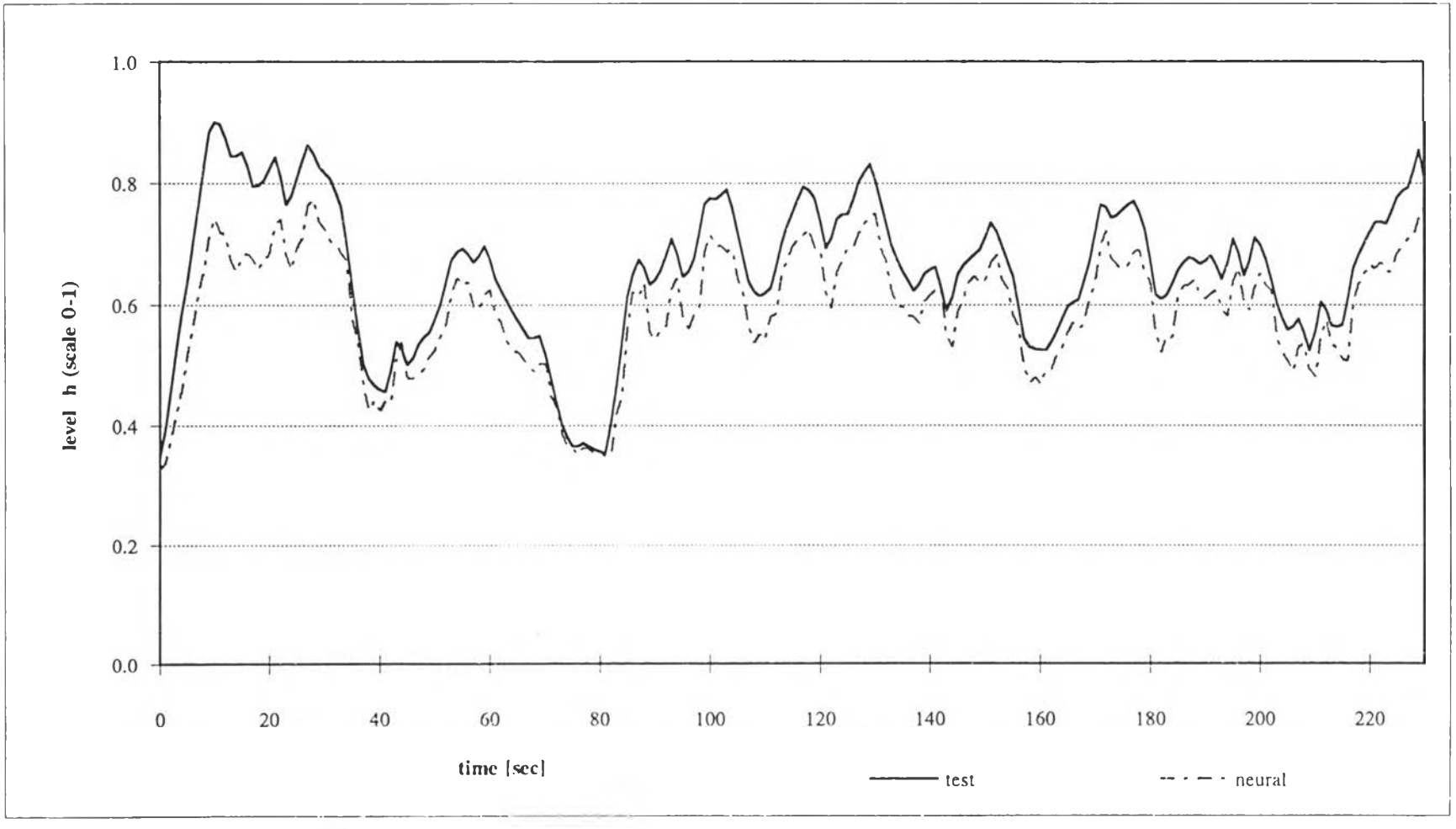
รูปที่ 4.30 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-3-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 12508 รอบ : RMS 5.520 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



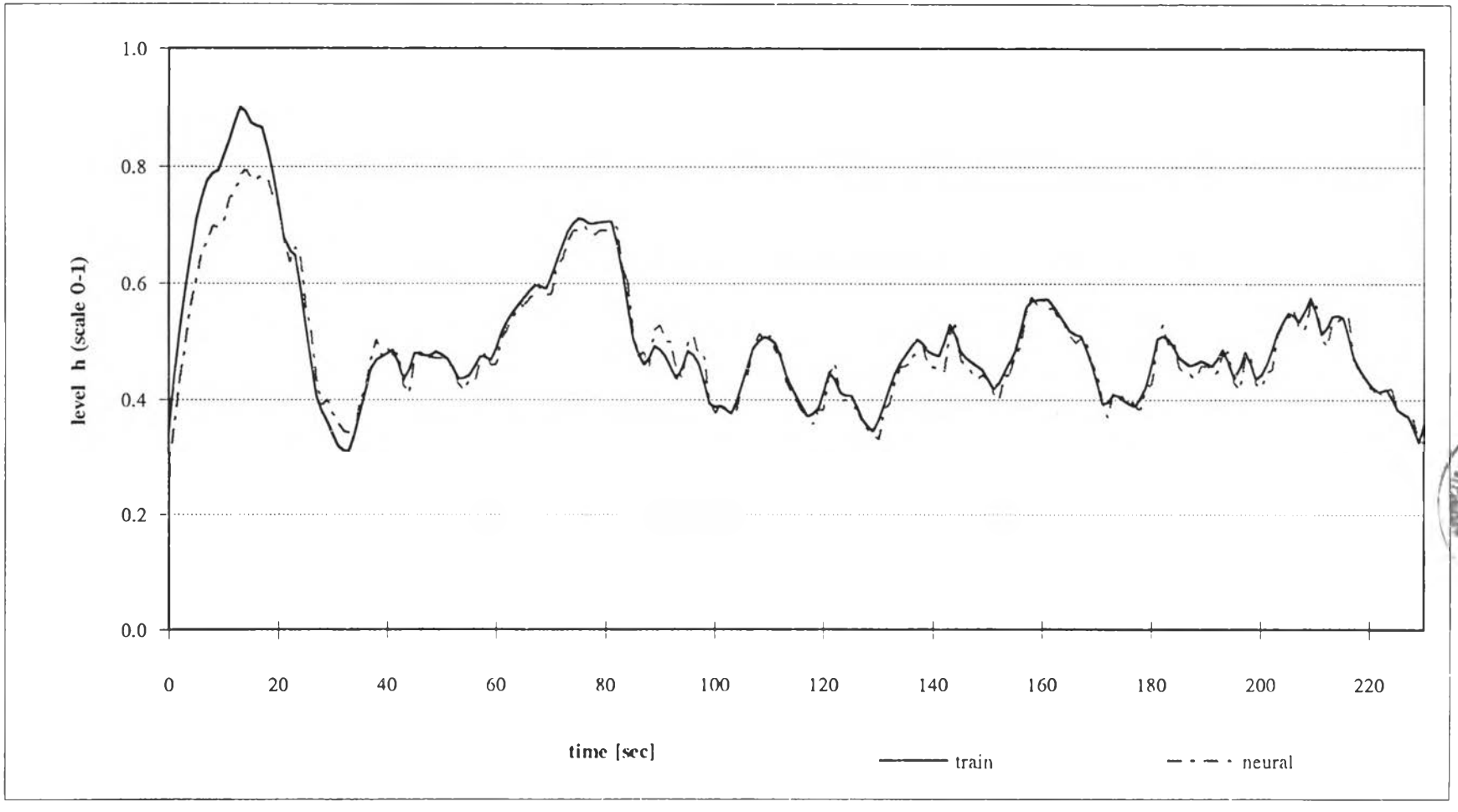
รูปที่ 4.31 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.2948 : อัตราการเรียนรู้ 0.3; โมเมนตัม 0.85)



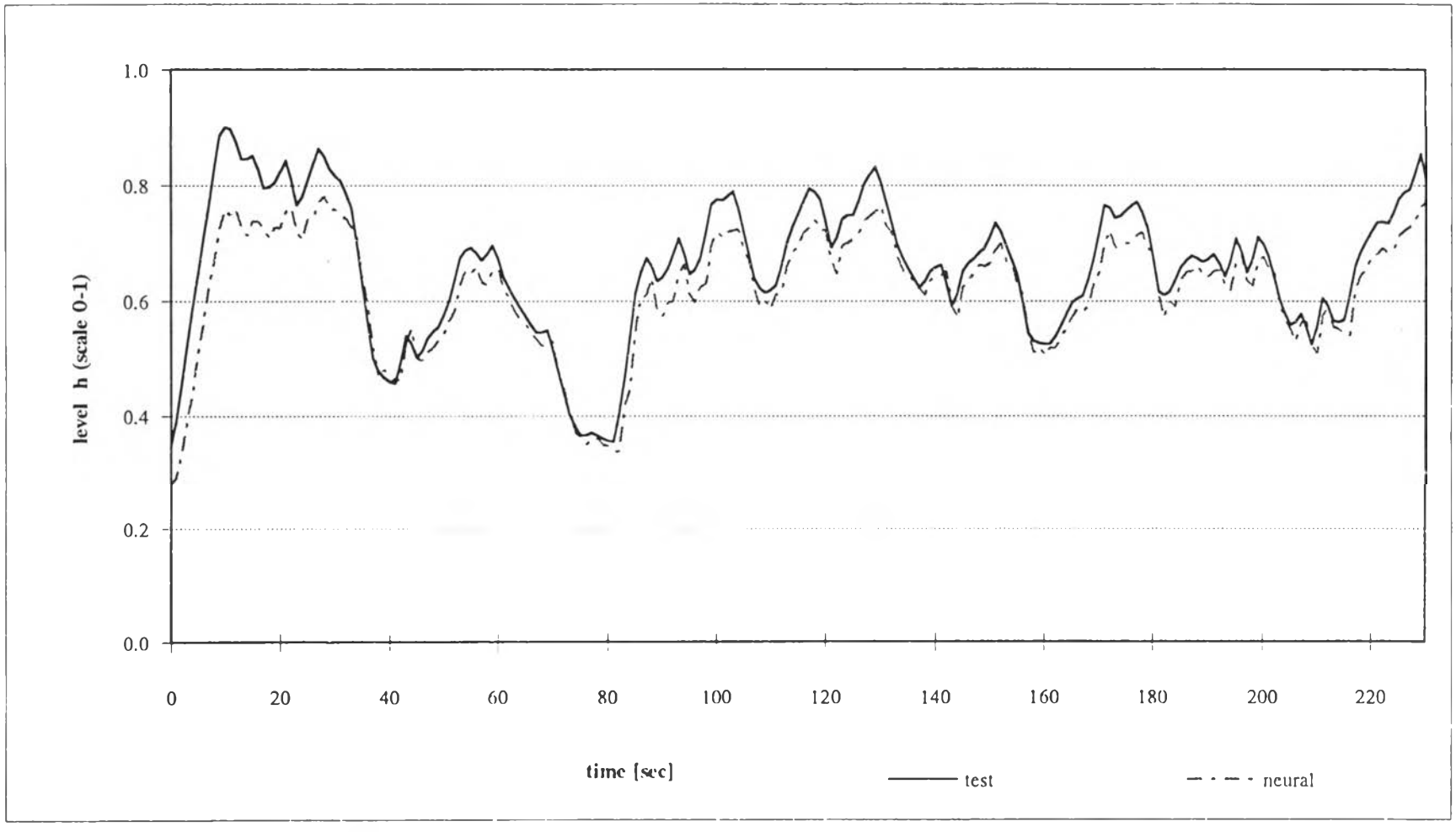
รูปที่ 4.32 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.8213 : อัตราการเรียนรู้ 0.3 ; โมเมนตัม 0.85)



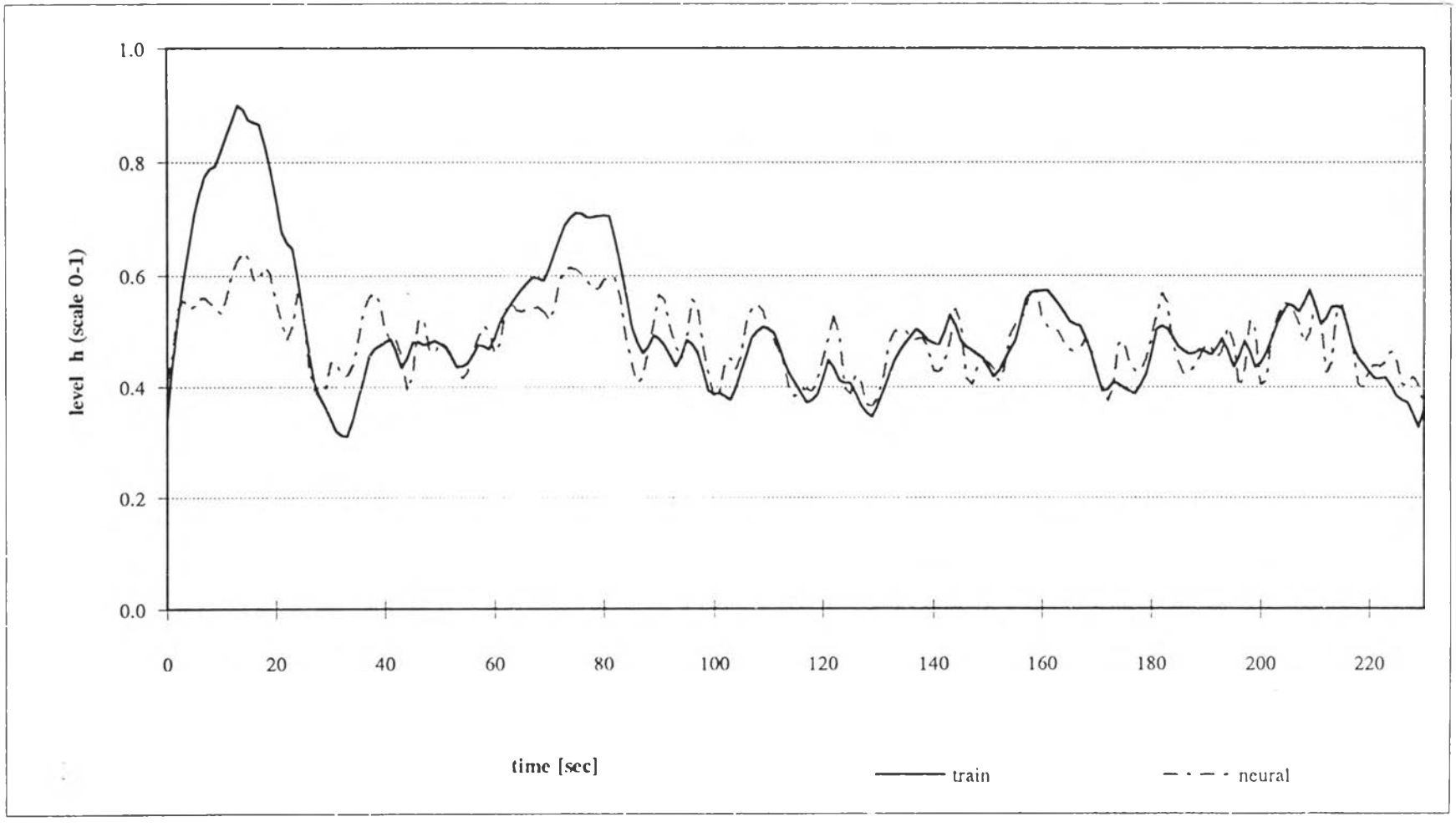
รูปที่ 4.33 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.2058 : อัตราการเรียนรู้ 0.05 ; โมเมนตัม 0.85)



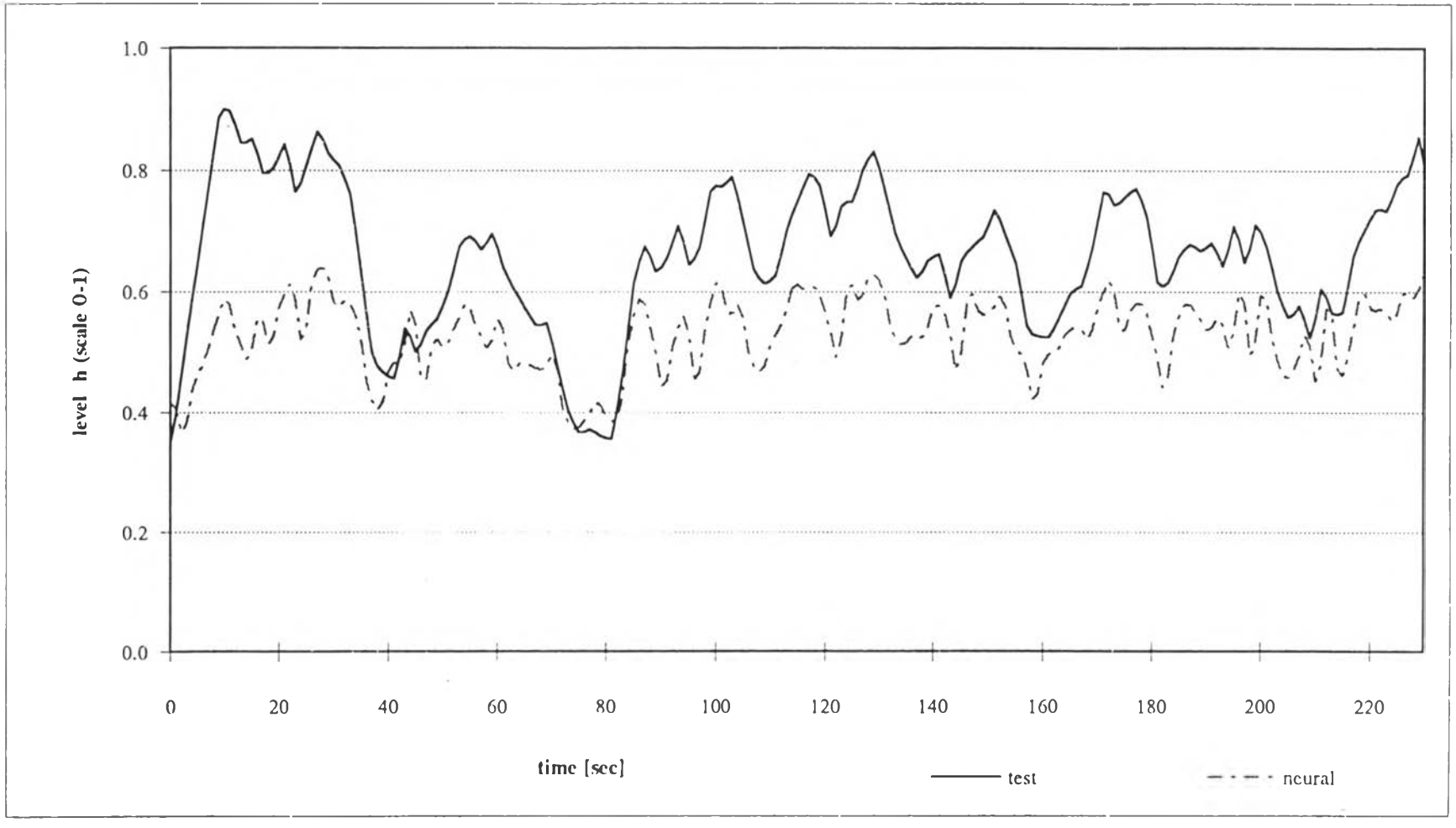
รูปที่ 4.34 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.4808 : อัตราการเรียนรู้ 0.05 ; โมเมนตัม 0.85)



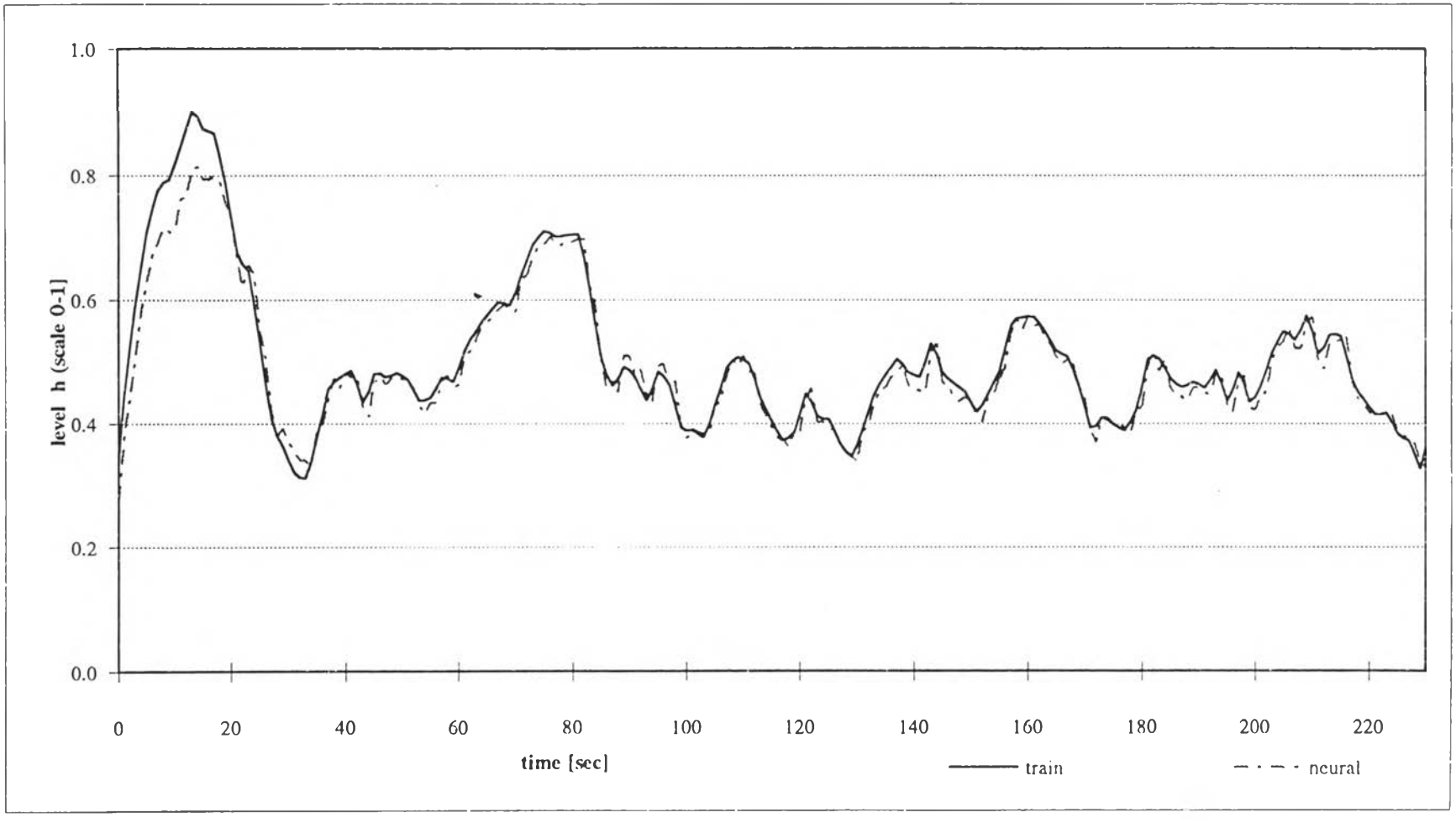
รูปที่ 4.35 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 1.2706 : อัตราการเรียนรู้ 0.01; โมเมนตัม 0.85)



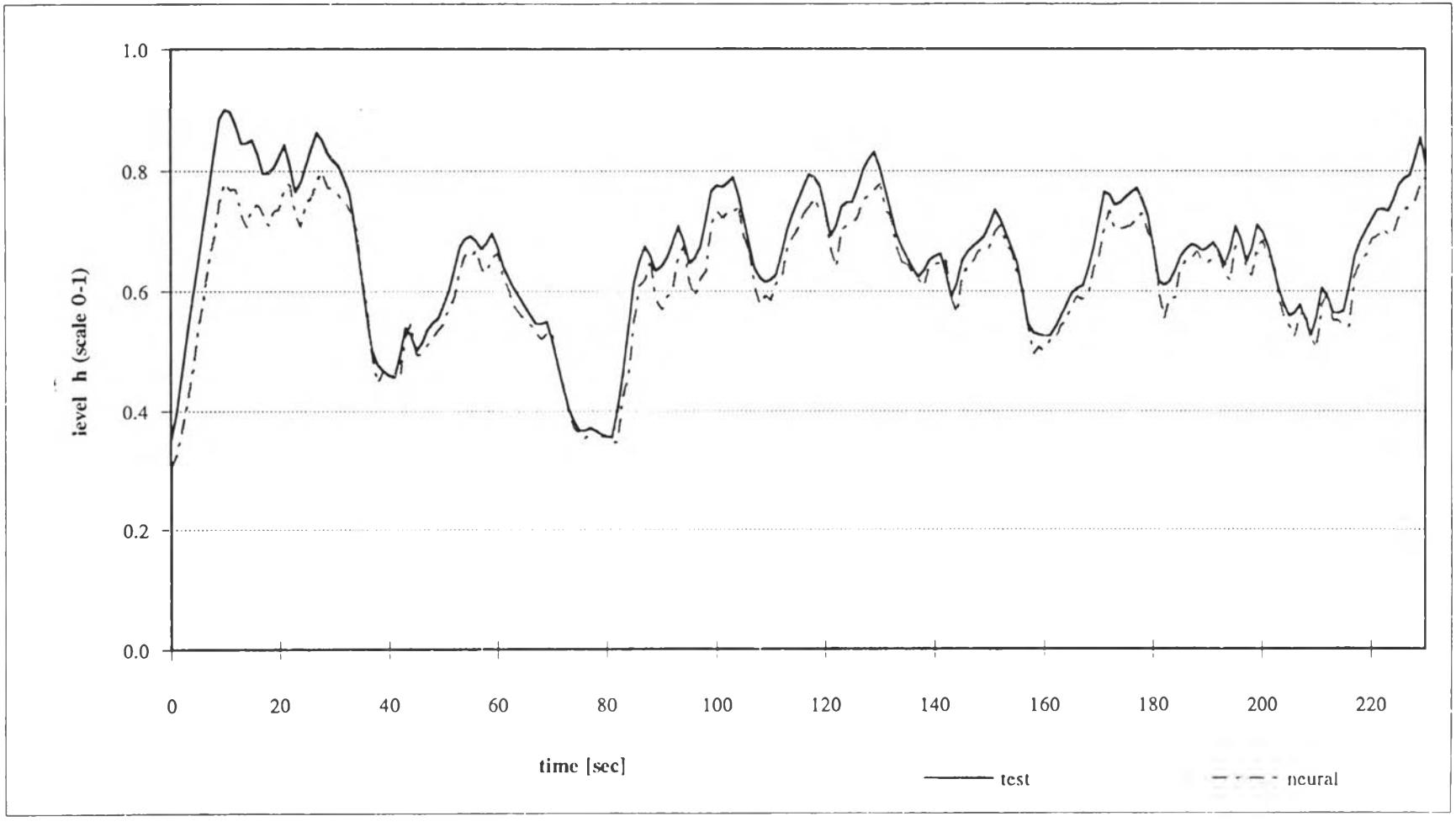
รูปที่ 4.36 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 2.1548 : อัตราการเรียนรู้ 0.01 ; โมเมนตัม 0.5)



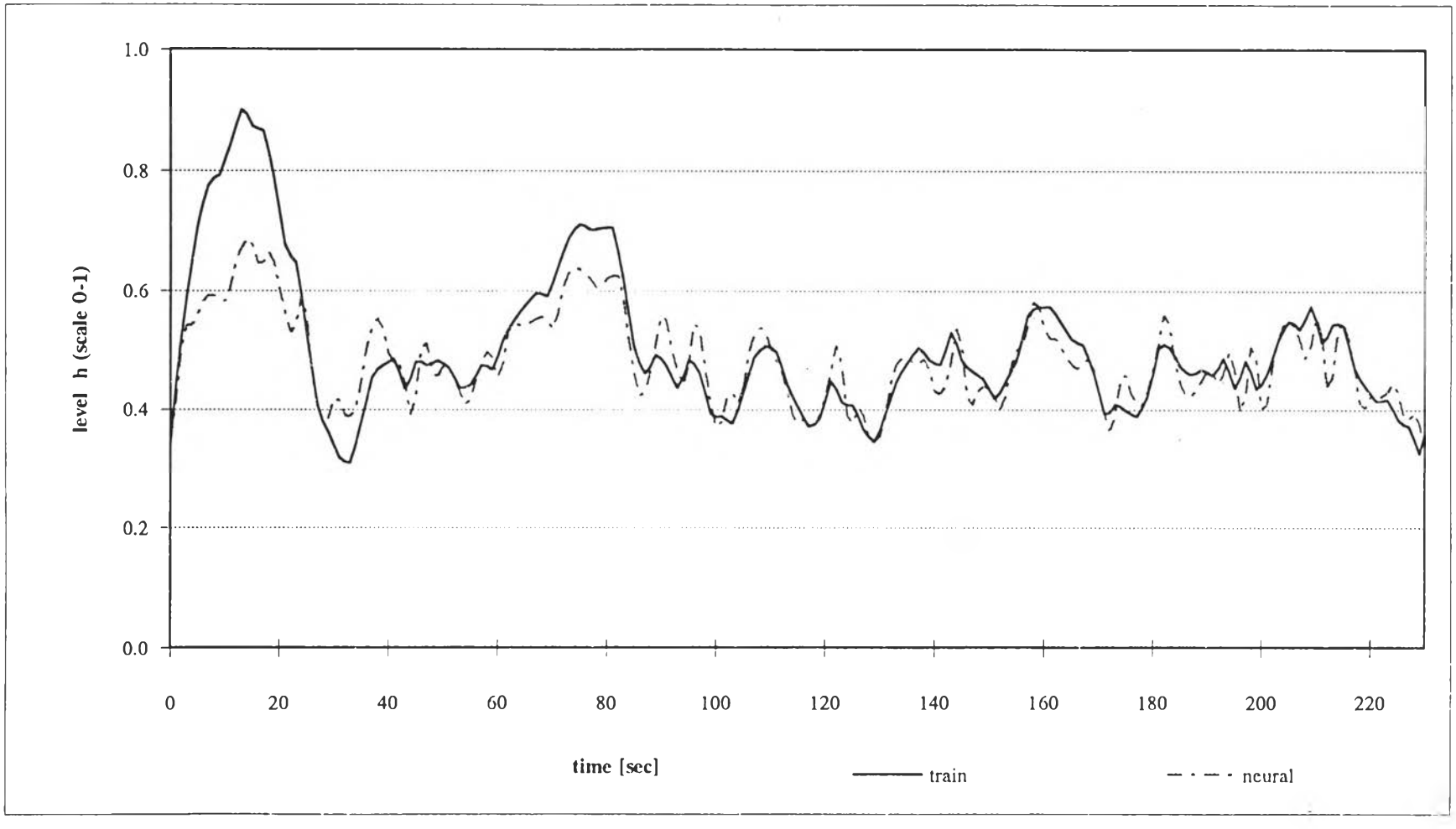
รูปที่ 4.37 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.1494 : อัตราการเรียนรู้ 0.05 ; โมเมนตัม 0.95)



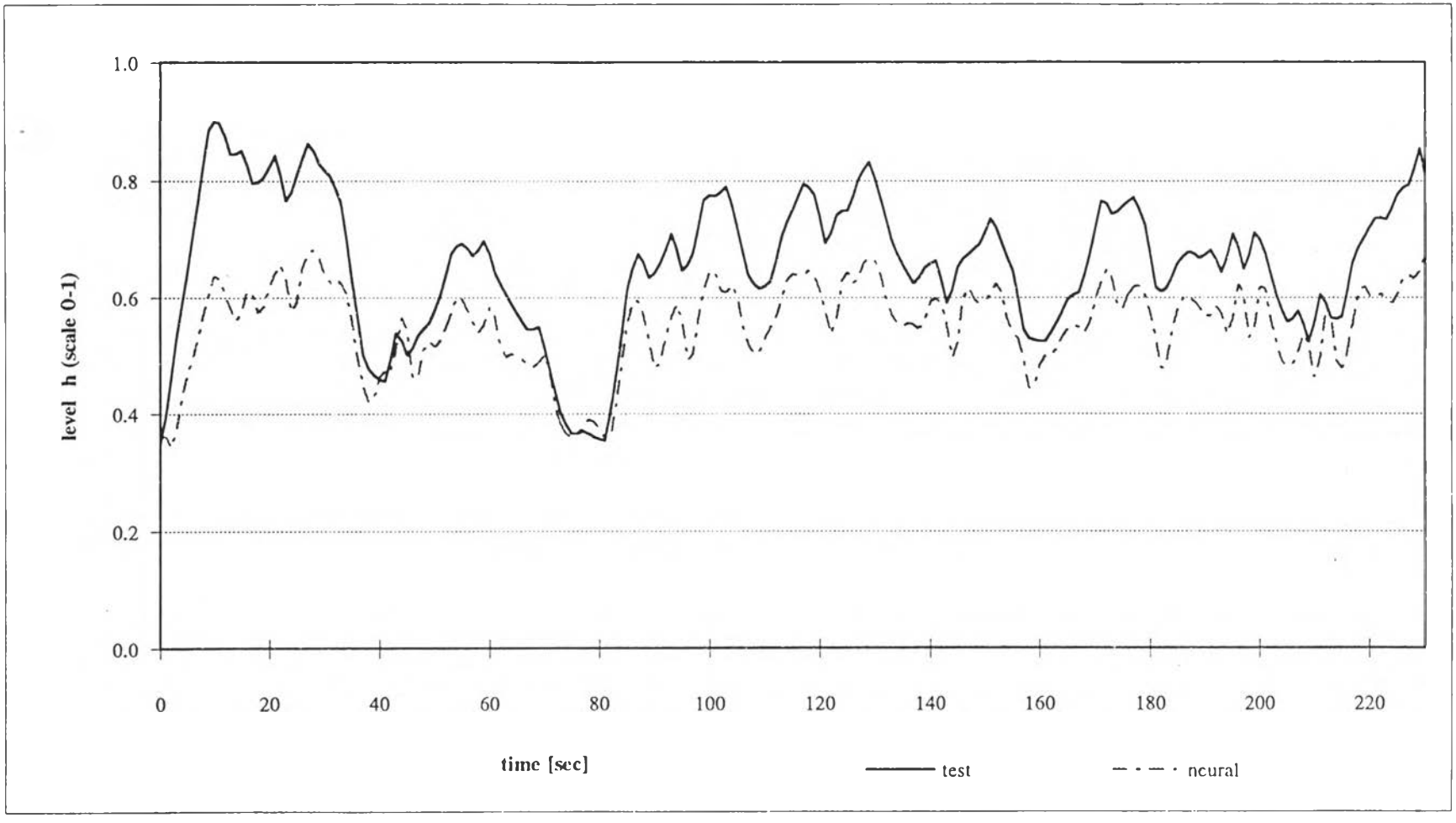
รูปที่ 4.38 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.3721 : อัตราการเรียนรู้ 0.05 ; โมเมนตัม 0.95)



รูปที่ 4.39 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.8205 : อัตราการเรียนรู้ 0.05 ; โมเมนตัม 0.5)



รูปที่ 4.40 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-1: ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 2.1548 : อัตราการเรียนรู้ 0.05 ; โมเมนตัม 0.5)

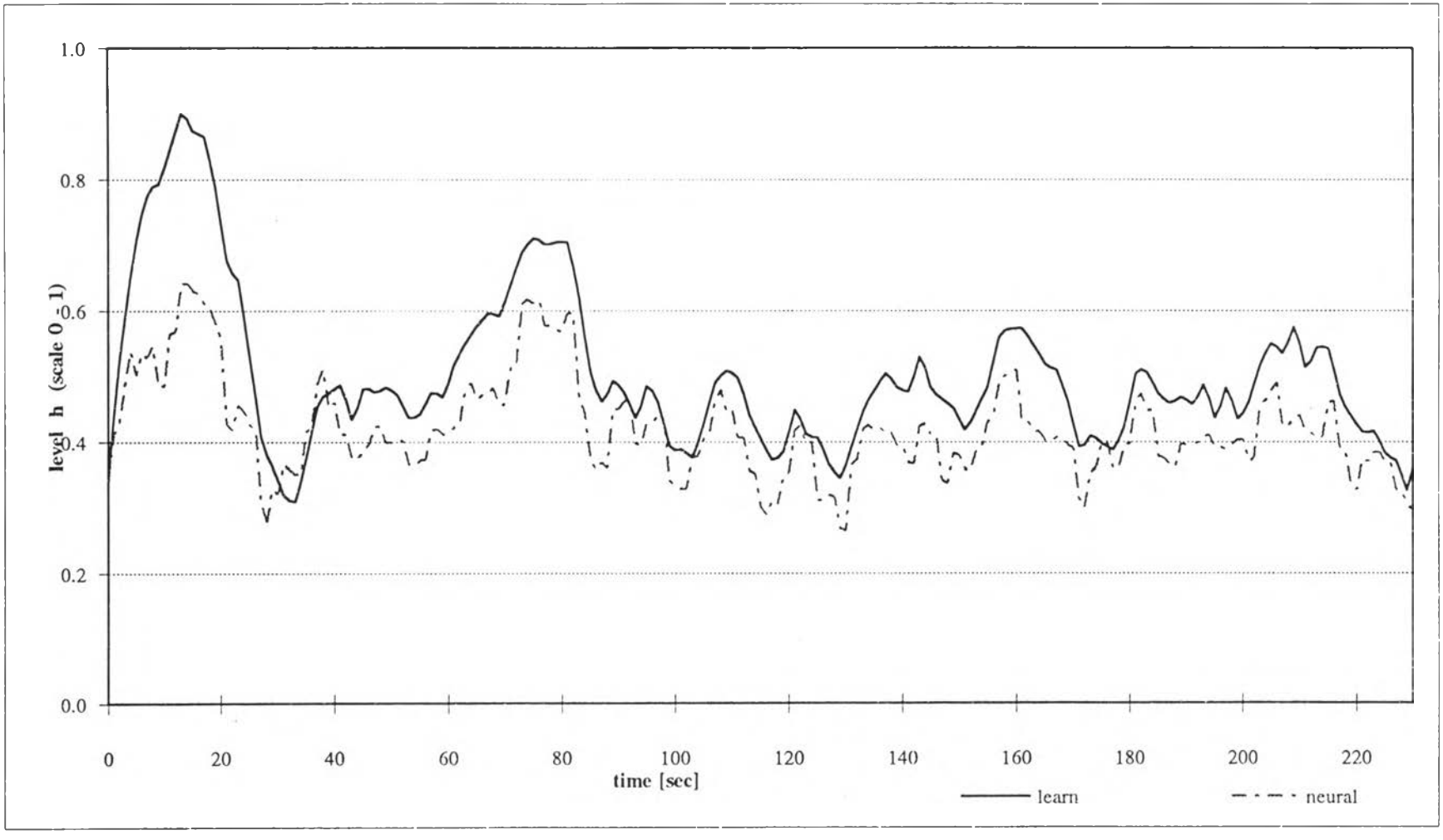
พัฒนาขึ้นนี้ สามารถศึกษาข่ายงานนิวรัลที่มีชั้นฮิดเดนได้ 2 ชั้น ซึ่งเพียงพอต่อการเรียนรู้ระบบไม่เชิงเส้นทั่วไป

ก. การทดลอง : แบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป

กำหนดโครงสร้างของข่ายงานนิวรัลในชั้นอินพุท = 6 , ชั้นฮิดเดนที่ 1 = 5 , ฮิดเดนที่ 2 = 5 และ ชั้นเอาท์พุท = 1 (แทนด้วย 6-5-5-1) ทั้งนี้ ค่าพารามิเตอร์ทั้งหลายยังคงเดิม คือ อัตราการเรียนรู้ 0.65 และค่าโมเมนตัม 0.85 กำหนดข้อมูลในชั้นอินพุท เป็นค่าของอัตราการไหลของของเหลวขาเข้าที่มีการหน่วงเวลาต่างกัน 0.1 นาที 2 จำนวนในอดีต ค่าในปัจจุบัน 1 จำนวน และค่าเป้าหมายในอดีต 3 จำนวน เพื่อทำนายผลลัพธ์เป้าหมายของค่าระดับความสูงของของเหลวในถังในเวลาที่สอดคล้องกัน บันทึกค่า RMS ที่จำนวนรอบการเรียนรู้ ประมาณ 25000 รอบ พร้อมกับทดสอบด้วยข้อมูลชุดทดสอบ ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับโครงสร้าง 6-7-7-1, 6-3-3-1

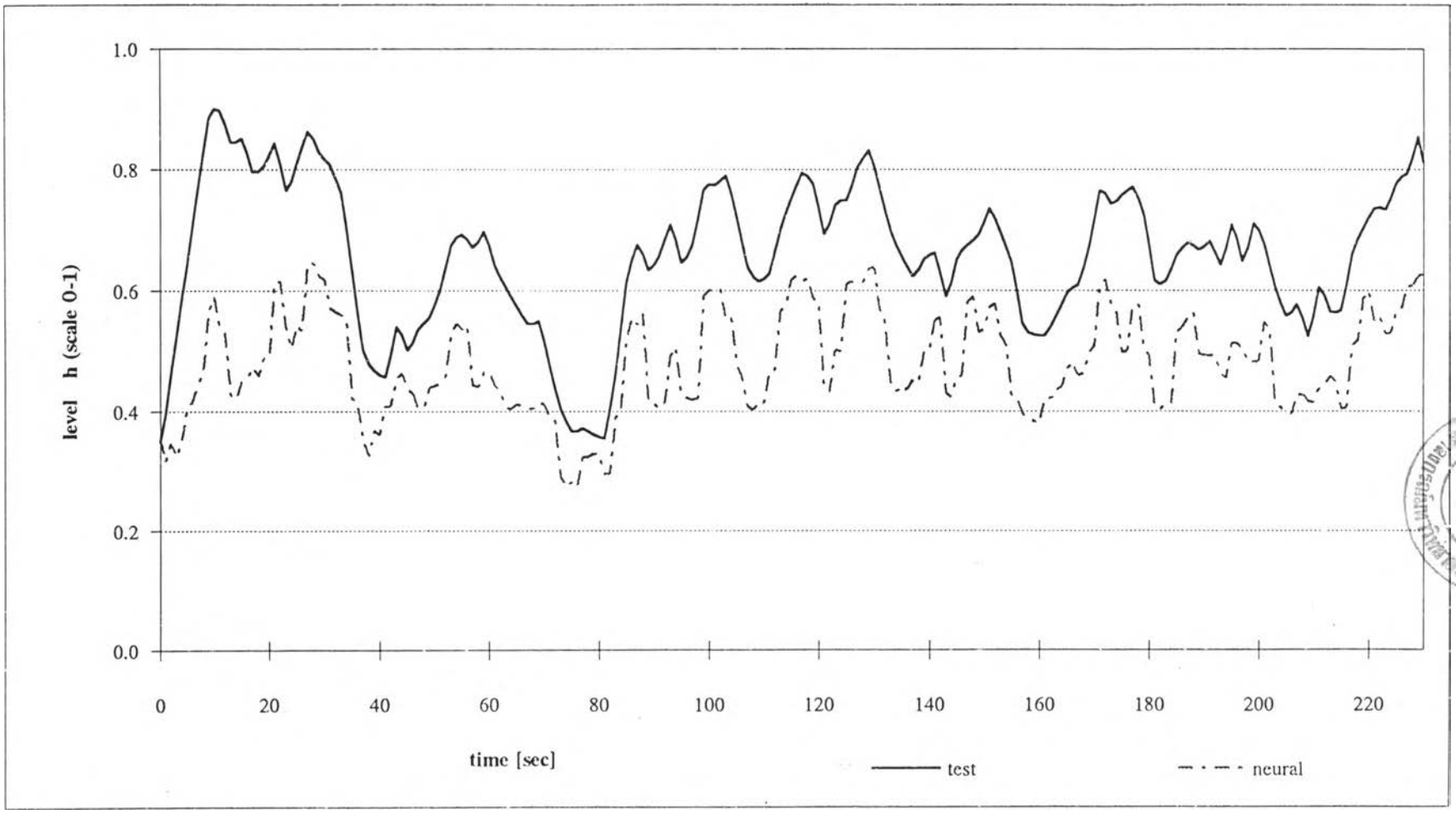
ข. ข้อมูลการทดลองและผลการวิเคราะห์

เมื่อให้ข่ายงานนิวรัลที่มีโครงสร้าง 6-5-5-1, 6-7-7-1 และ 6-3-3-1 ใช้แบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนาน แบบทั่วไป การเรียนรู้ ระบบดังกล่าว พบว่าเมื่อการเรียนรู้ผ่านไปได้จำนวน 25016 รอบ ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 4.41, 4.42, 4.43, 4.44, 4.45 และ 4.46 เมื่อเปรียบเทียบผล กับ โครงสร้างข่ายงานนิวรัลที่มีชั้นฮิดเดนชั้นเดียวที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกันคือ 6-5-1, 6-7-1 และ 6-3-1 แสดงผลดังในรูปที่ 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 และ 4.30 พบว่า ที่จำนวนรอบการเรียนรู้เท่ากัน โครงสร้างที่มีจำนวนชั้นฮิดเดนเพียงชั้นเดียวให้ผลการเรียนรู้ที่ดีกว่า โดยสังเกตจาก ค่ารากเฉลี่ยกำลังสองของผลการเรียนรู้ และ การทดสอบที่ให้ค่าที่ต่ำกว่า



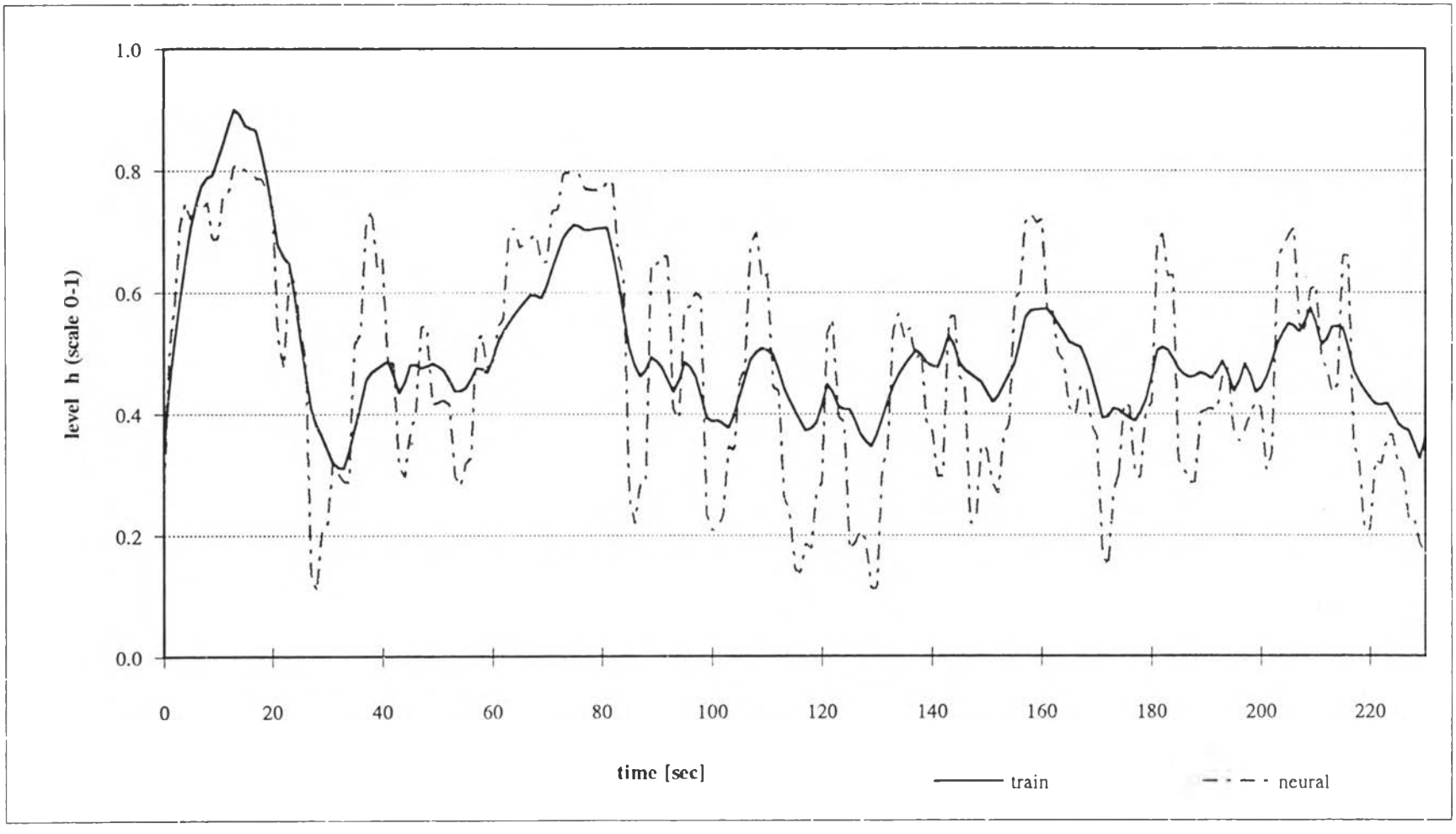
รูปที่ 4.41 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม--ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-5-1 ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 1.7568 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



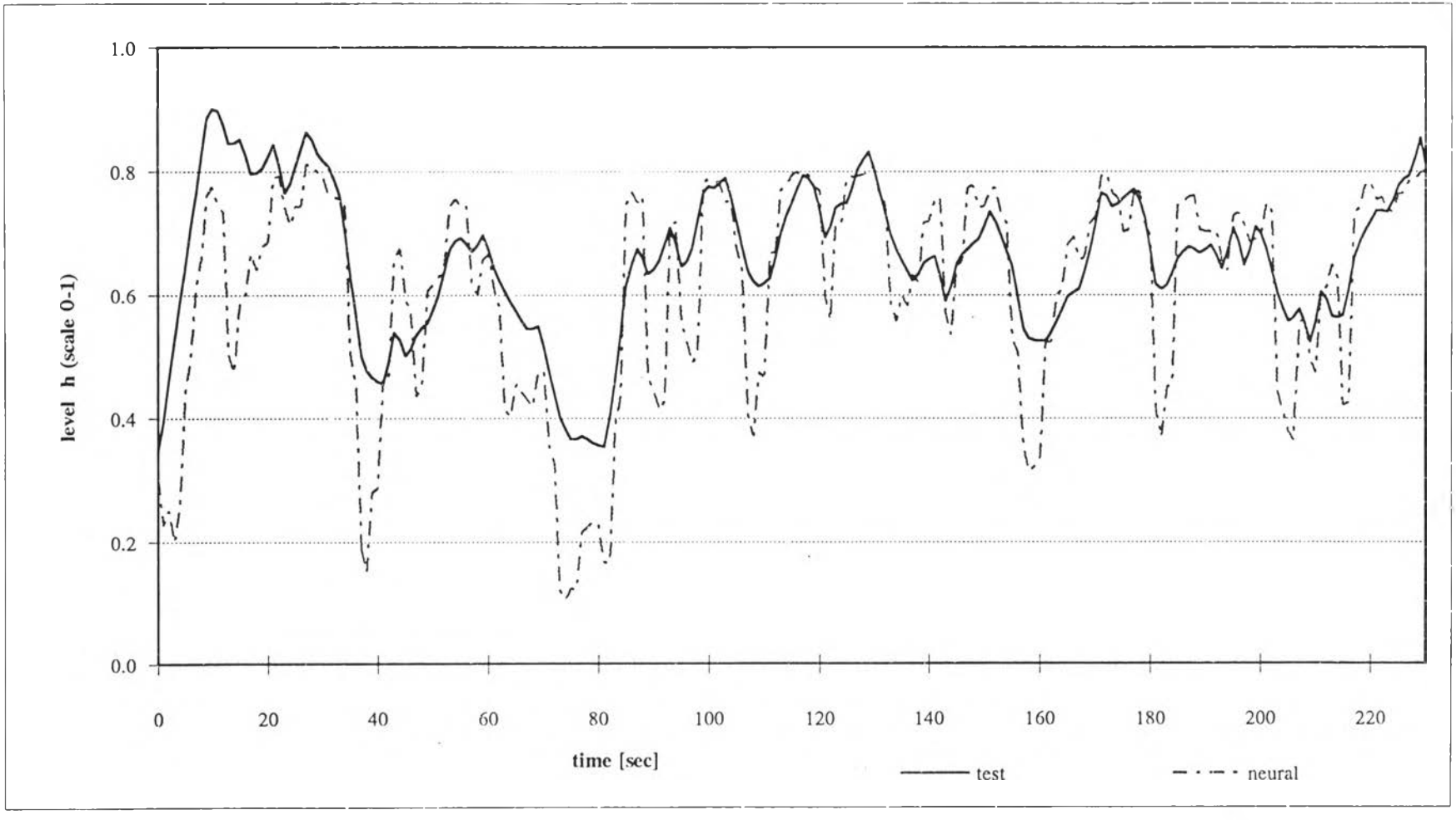
รูปที่ 4.42 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม--ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-5-5-1 ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 4.9951 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



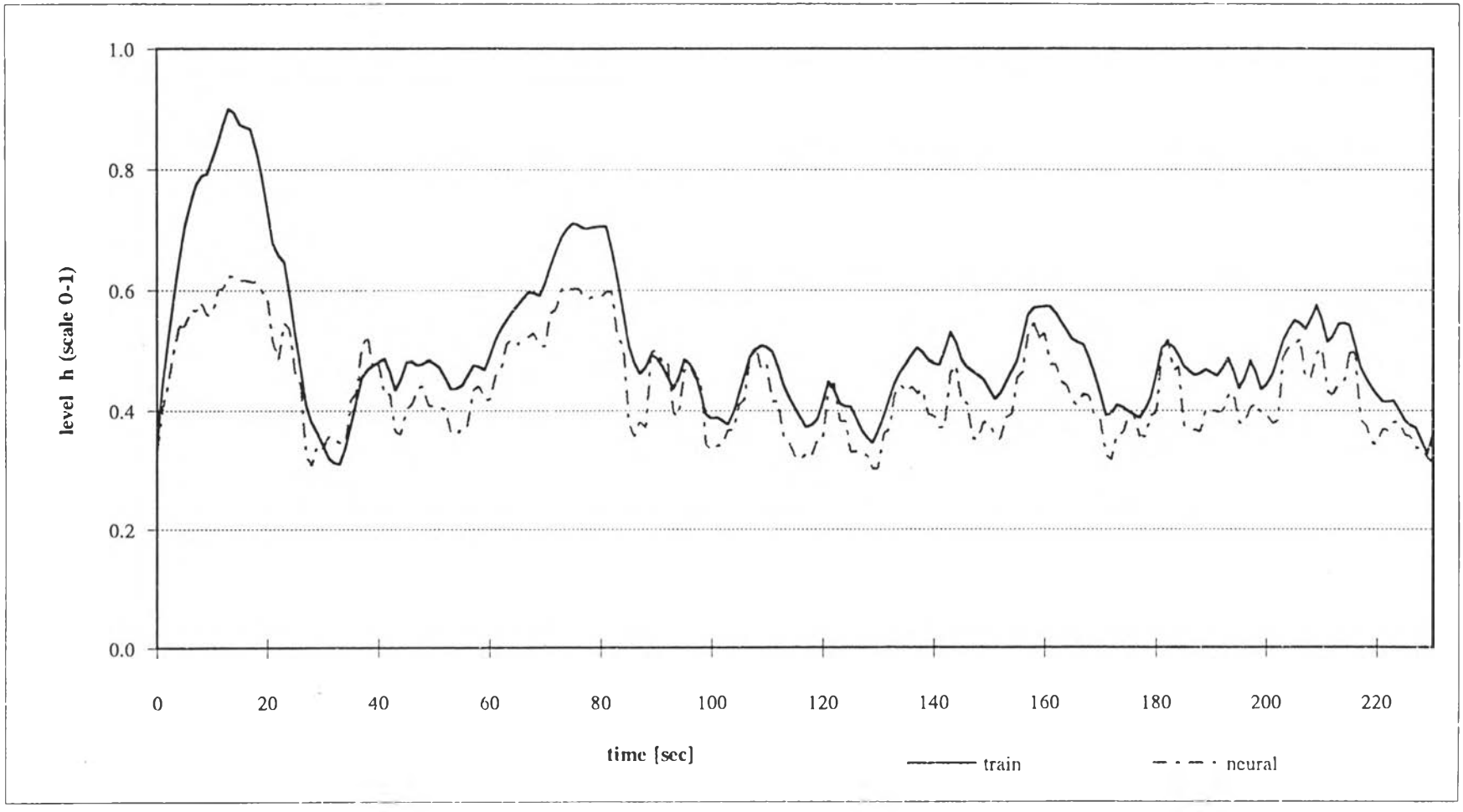
รูปที่ 4.43 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม--ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-7-7-1 ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 0.666 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



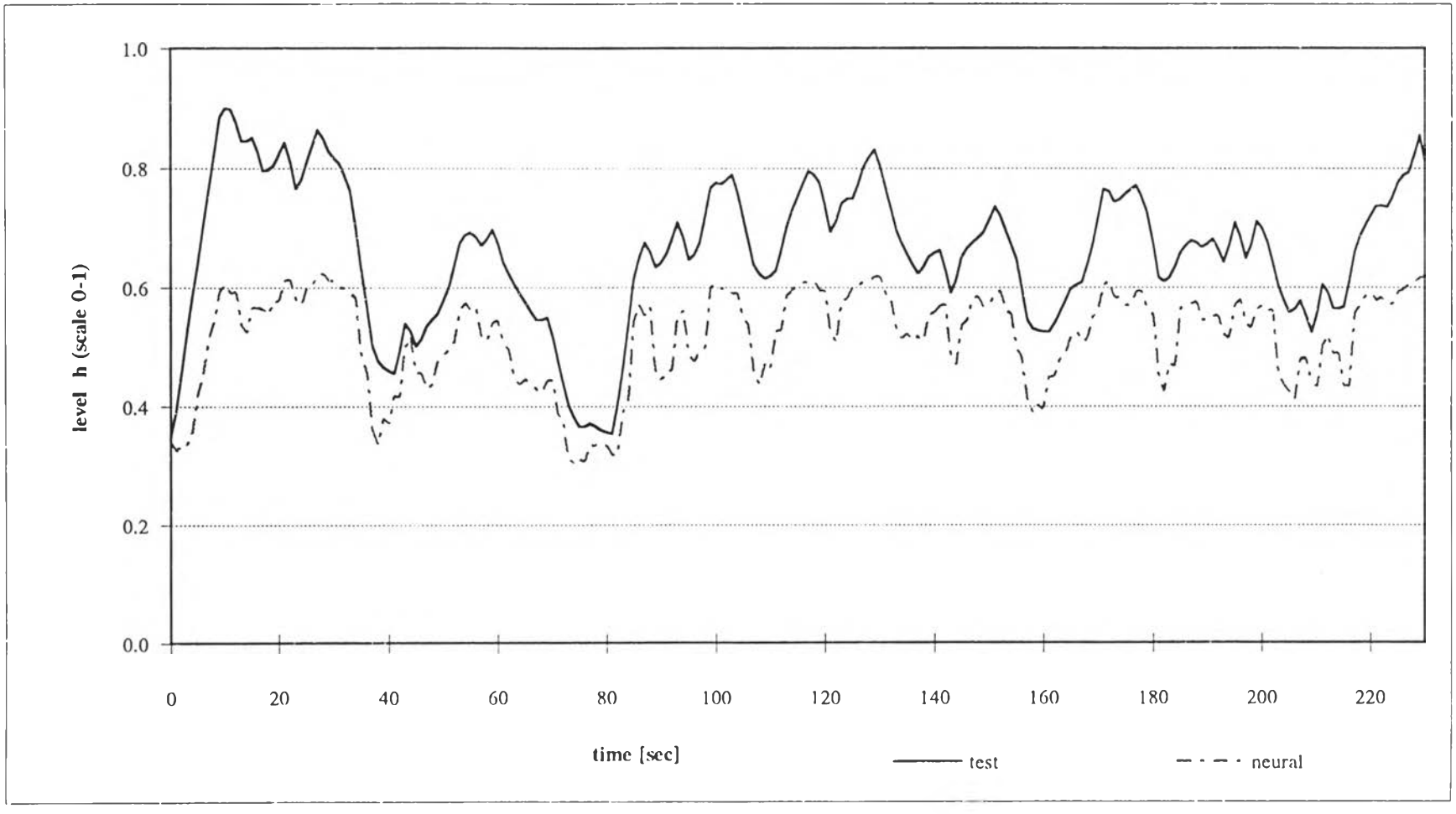
รูปที่ 4.44 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม--ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-7-7-1 ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 2.2049 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



รูปที่ 4.45 การเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม--ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-3-3-1 ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 1.2994 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)



รูปที่ 4.46 การทดสอบการเรียนรู้กระบวนการไหลของของไหลด้วยแรงโน้มถ่วง โดยแบบจำลองเชิงอนุกรม--ขนานแบบทั่วไป

(โครงสร้าง 6-3-3-1 ฟังก์ชันกระตุ้น : ซิกมอยด์ : 25016 รอบ : RMS 3.2527 : อัตราการเรียนรู้ 0.65 ; โมเมนตัม 0.85)