บทที่ 5
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

แบบจำลองเครือข่ายใยประสาทเทียมมีความสามารถที่จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจำนวนมากได้โดยไม่ต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ความสามารถลักษณะนี้เหมาะสมกับงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี ที่ลักษณะความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรค่อนและพารามิเตอร์ข้างที่จะซับซ้อน แบบจำลองที่ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Back-propagation ถูกใช้เพื่อสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ทั้งเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ จากข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มต่างๆ ที่ได้เก็บรวบรวมมา เพื่อใช้สร้างแบบจำลอง

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม เป็นอีกหนึ่งในหลายวิธีที่คล้ายๆ กับสมการถดถอยทางสถิติ ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ในทางทั่วๆไป สมการถดถอยทางสถิติต้องใช้ข้อมูลเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์สร้างความสัมพันธ์เพื่อความน่าเชื่อถือ และไม่ง่ายที่จะเลือกใช้วิธีทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับแต่ละชุดของข้อมูลหรือแต่ละกลุ่มความสัมพันธ์ แต่ข้อดีของแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทที่ดีกว่าสมการถดถอยทางสถิติ คือความสามารถในการวิเคราะห์ การสร้างความสัมพันธ์ที่ขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง ด้วยวิธีการสร้างความสัมพันธ์จากตัวแปรด้านเข้าไปสู่ตัวแปรด้านออกโดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลที่ซับซ้อนมาก จึงทำให้แบบจำลองค่อนข้างยืดหยุ่นและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง โดยเฉพาะในกรณีที่สมการถดถอยไม่สามารถทำความเข้าใจในความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร

5.1 การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์ผลกำลังรับน้ำหนัก 2 แบบจำลอง คือแบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอก และแบบจำลองสำหรับเสาเข็มเจาะ ผลการวิเคราะห์การเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมในวิทยานิพนธ์นี้ ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมพื้นฐานคือ MATLAB และทำการทดสอบโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่ติดตั้ง CPU Duron ความเร็ว 750 MHz RAM 128 MB ระบบปฏิบัติการ WindowXP โดยรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองเป็นดังนี้

5.1.1 แบบจำลองสำหรับวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก

จากบทที่ 4 ได้ทำการศึกษาผลของจำนวนชั้นซ่อน จำนวนหน่วยประสาท และจำนวนรอบการคำนวณ หลังจากนั้นทำการทดสอบหากระบวนการเรียนรู้ที่ดีที่สุดสำหรับแบบจำลอง สุดท้ายมีการปรับเปลี่ยนค่า α ในแอกติเวชันฟังก์ชัน เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุด แบบจำลองที่ใช้สำหรับเสาเข็มตอกประกอบไปด้วยตัวแปรด้านเข้าทั้งหมด 8 ตัวแปร โดยอ้างอิงจากทฤษฎีการตอกเสาเข็มซึ่งใช้ Newton's law และ Impulse momentum

1) พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม
2) เส้นรอบรูปของเสาเข็ม
3) ความยาวของเสาเข็ม
4) ชนิดของดินใต้เสาเข็ม
5) น้ำหนักของตุ้มตอก
6) ระยะยกของตุ้มตอก
7) ชนิดของตุ้มตอก
8) ระยะเคลื่อนตัวสุดท้าย

โดยแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกคือ แบบจำลองที่มี 2 ชั้นซ่อนและมีจำนวน 20 หน่วยประสาทในแต่ละชั้นซ่อน และ 2000 รอบการคำนวณเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเสาเข็มตอก ใช้แอกติเวชันฟังก์ชันแบบ Hyperbolic tangent ที่มี α= 0.9 โดยทำผลการทดสอบกับข้อมูลสร้างแบบจำลอง 40 ตัวอย่างและข้อมูลสำหรับทดสอบแบบจำลองจำนวน 39 ตัวอย่าง ได้ค่า R^2 = 0.893 และค่า RMSE = 80.06 ตัน ดีที่สุดในกลุ่มทดสอบแบบจำลอง

5.1.2 แบบจำลองสำหรับวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะ

จากบทที่ 4 ได้ทำการศึกษาผลของจำนวนชั้นซ่อน จำนวนหน่วยประสาท และจำนวนรอบการคำนวณ หลังจากนั้นทำการทดสอบหากระบวนการเรียนรู้ที่ดีที่สุดสำหรับ

แบบจำลอง สุดท้ายมีการปรับเปลี่ยนค่า α ในแอกติเวชันฟังก์ชัน เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุด โดยทำการแบ่งชั้นดินออกเป็น 6 ชั้นเท่าๆ กัน โดยในแต่ละชั้น จะทำการหาค่า σ' และ SPT ที่กึ่งกลางของแต่ละชั้น และใช้ค่า σ' และ SPT ที่บริเวณปลายของเสาเข็ม แบบจำลองยังใช้ค่าประมาณสัดส่วนเพื่อหาว่าในแต่ละชั้นดินเป็นชั้นดินหรือชั้นทรายเป็นตัวแปรหนึ่งในแบบจำลอง แบบจำลองที่ใช้สำหรับเสาเข็มเจาะประกอบไปด้วยตัวแปรด้านเข้าที่สำคัญโดยสรุปทั้งหมด 5 ตัวแปร

1) เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม
2) ความยาวของเสาเข็ม
3) ชนิดของดินระหว่างเสาเข็ม
4) σ' กึ่งกลางชั้นดิน
5) SPT กึ่งกลางชั้นดิน

โดยแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะคือ แบบจำลองที่มี 1 ชั้นซ่อนและมีจำนวน 20 หน่วยประสาทในแต่ละชั้นซ่อน และ 2000 รอบการคำนวณเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับเสาเข็มเจาะ ใช้แอกติเวชันฟังก์ชันแบบ Hyperbolic tangent ที่มี α= 1.0 โดยทำผลการทดสอบกับข้อมูลสร้างแบบจำลอง 30 ตัวอย่างและข้อมูลสำหรับทดสอบแบบจำลองจำนวน 32 ตัวอย่าง ได้ค่า R^2 = 0.916 และค่า RMSE = 317.64 ตัน ดีที่สุดในกลุ่มทดสอบแบบจำลอง

5.2 วิเคราะห์ผลของแบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอก

สำหรับวิเคราะห์ผลการทดสอบของเสาเข็มตอก ผู้วิจัยใช้ข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (validation set) จำนวน 93 ตัวอย่าง และ 67 ตัวอย่าง (ข้อมูลตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 93 ตัวอย่าง – ข้อมูลส่วนที่มีการทดสอบด้วยวิธี CAPWAP จำนวน 26 ตัวอย่าง) ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดที่เหลือได้ทำการทดสอบแบบ static load test เพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของแต่ละตัวอย่างเป็นตัวอ้างอิง โดยทำการเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ของเสาเข็มตอกโดยใช้สูตรการตอกเสาเข็ม คือ Engineering news formula , Janbu's formula และ Hiley's formula กับผลการทดสอบ static load test เพื่อหาความถูกต้องในแต่ละสูตร และใช้

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก เทียบกับผลการทดสอบเสาเข็มแบบ static load test เพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลอง หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบ สรุปผล และวิจารณ์ผลหาวิธีการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดระหว่างสูตรเสาเข็มตอก และแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม เพื่อนำไปใช้งาน

5.2.1 การวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักโดยใช้สูตรเสาเข็มตอก

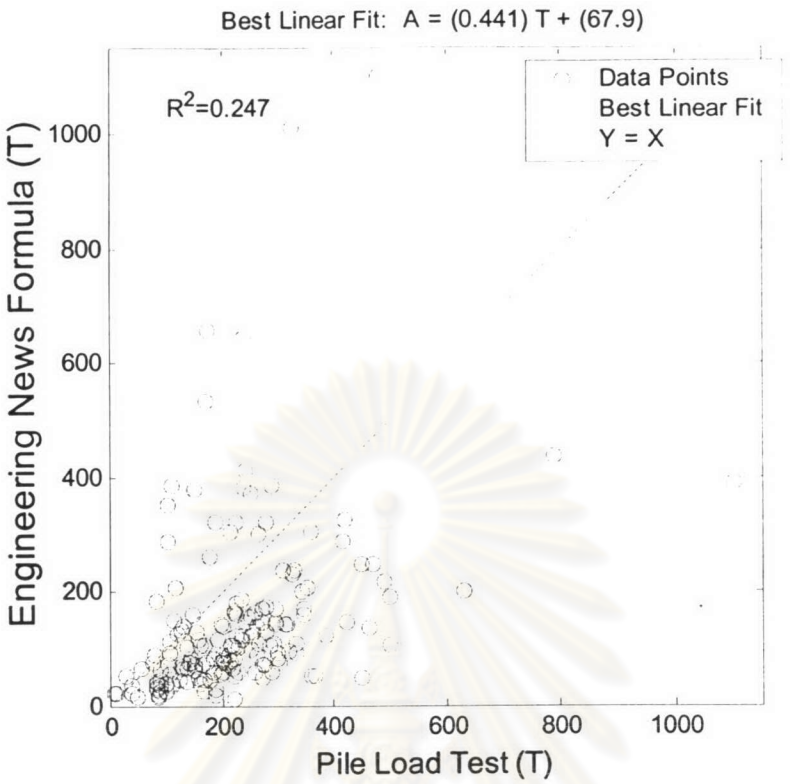
สูตรเสาเข็มตอกถูกใช้กันอย่างกว้างขวาง เพื่อใช้วิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก สูตรเหล่านี้โดยทั่วไปพัฒนามาจาก ความสัมพันธ์ของแรงต้านทานจากการตอกเข็มกับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม หลายๆสูตรตอกเสาเข็มที่ใช้กัน ไม่ว่าจะเป็น Engineering News, Hiley และ Janbu หลักใหญ่ของสูตรเหล่านี้สร้างมาจากหลักของ Newton's law หรือ Impulse-momentum จากสมมุติฐานเหล่านี้ทำให้ทราบว่า สูตรการตอกเสาเข็มไม่ได้นำ ลักษณะของชั้นดิน (characteristics of soil) เข้าไปวิเคราะห์ด้วยเลย บ่อยครั้งสูตรการตอกเสาเข็มเหล่านี้ถูกนำไปใช้วิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักเสาเข็มในสนามล่วงหน้าก่อนทำการทดสอบจริงในสนาม

บ่อยครั้งที่การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักเสาเข็มถูกใช้วิเคราะห์ด้วยสมการของคลื่น (6.1) และถูกใช้วิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มกันอย่างกว้างขวาง

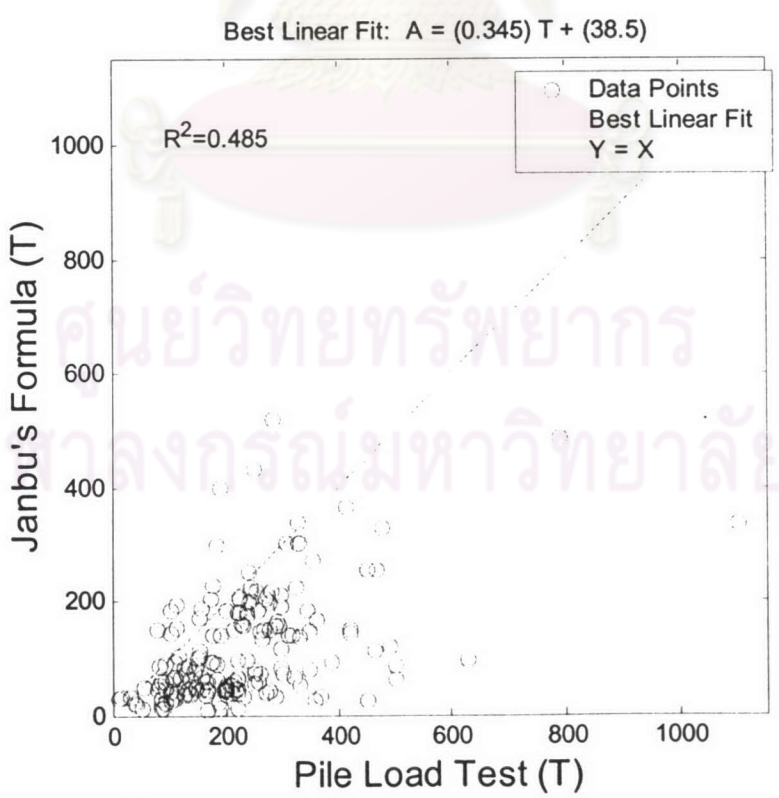
$$Ep = \int_0^{t_1} F_t(t) V_p(t) dt \qquad (5.1)$$

โดยนำมาใช้ครั้งแรกโดย Rausche et al. และพัฒนาเป็นโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (CAPWAP) การใช้ CAPWAP กับกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มใช้ลักษณะการฝึกฝนการใช้ในสนามเป็นสำคัญ ความเชี่ยวชาญและความชำนาญในการใช้เครื่องมือทำให้ได้ ค่ากำลังรับน้ำหนักที่ค่อนข้างดี

ข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มตอกทั้งหมดจำนวน 93 ต้น ถูกนำมาทดสอบกับสูตรเสาเข็มตอกทั้ง 3 สูตรตามที่ ว.ส.ท.(น้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม, 2521) ได้แนะนำว่าเป็นสูตรที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ ได้แก่ Engineering news formula, Janbu's formula และ Hiley's formula ด้วยการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักวิบัติที่ได้จากสูตรกับค่าวิบัติที่ได้การการทดสอบในสนามแบบให้แรงสถิตย์ (static load test) ให้ผลการทดสอบดังนี้

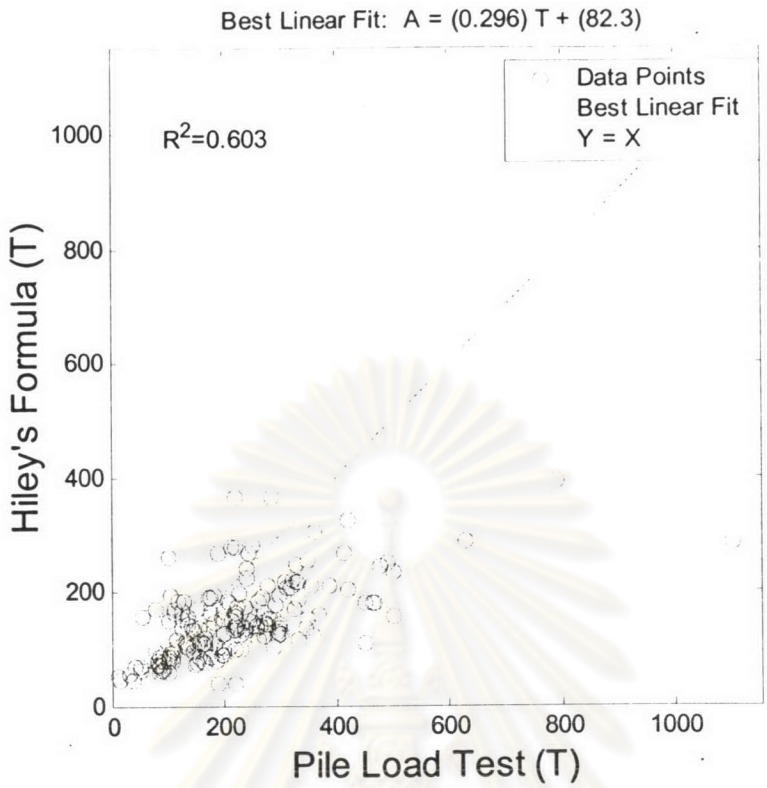


รูปที่ 5.1 ผลทดสอบ static load test กับ Engineering news formula



รูปที่ 5.2 ผลทดสอบ static load test กับ Janbu's formula

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 ผลทดสอบ static load test กับ Hiley's formula

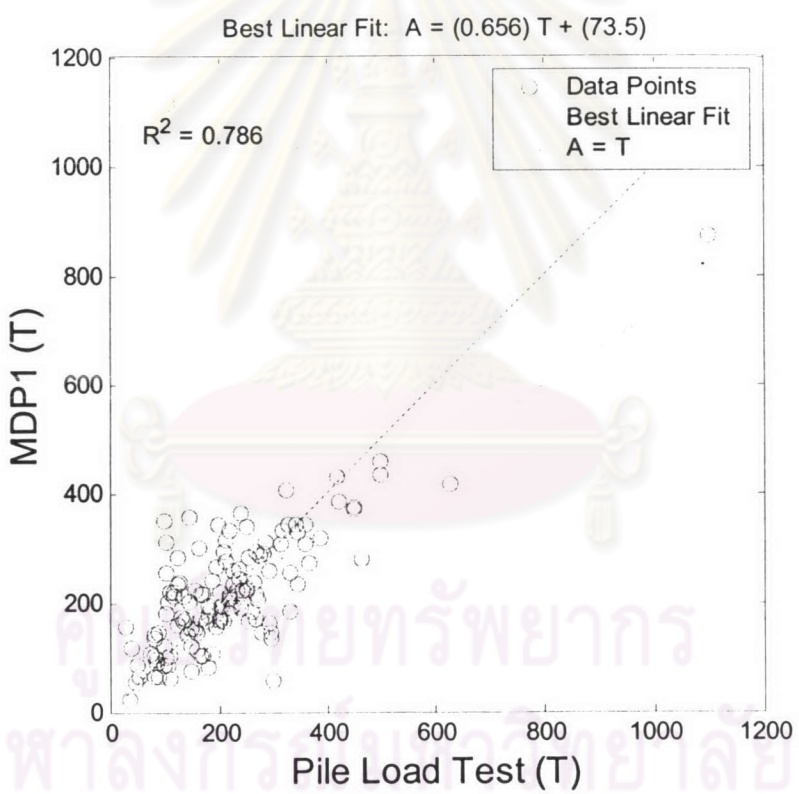
ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบจากสูตรเสาเข็มตอก

สูตรการตอกเสาเข็ม	R^2	RMSE (t)
Engineering News Formula	0.247	251.73
Janbu's Formula	0.485	163.31
Hiley's Formula	0.603	132.21

ซึ่งเห็นได้ว่าสูตรที่มีความเหมาะสมที่สุด คือสูตรของ Hiley's formula ซึ่งมีความสัมพันธ์กับผลการทดสอบแบบ static load test มากที่สุด โดยมีค่า RMSE น้อยที่สุด ส่วนผลของการคำนวณโดยใช้ Janbu's formula และ Engineering news formula ให้ค่า RMSE สูงกว่าและสูงที่สุดตามลำดับ โดยสูตรเสาเข็มตอกของ Engineering news ให้ค่าการกระจายของผลสูงที่สุด

5.2.2 การวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม

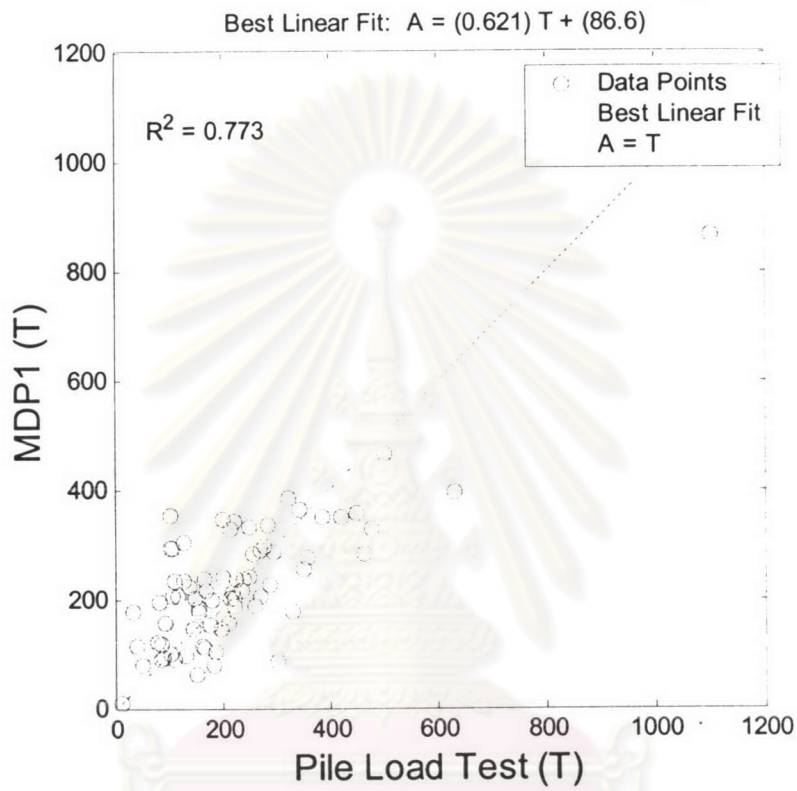
แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ชั้นซ่อน 20 หน่วยประสาทในแต่ละชั้นซ่อนและ รอบการคำนวณ 2000 รอบ โดยจะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกทดสอบโดยใช้ ข้อมูลผลทดสอบเสาเข็มทั้งหมด 93 ตัวอย่าง ช่วงที่สองใช้ข้อมูลผลทดสอบเสาเข็มทั้งหมด 67 ตัวอย่าง (ข้อมูลกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 93 ตัวอย่าง - ข้อมูลจำนวน 26 ตัวอย่าง (ผลทดสอบกำลังรับน้ำหนักแบบพลศาสตร์ที่ได้แปลงเป็นกำลังรับน้ำหนักแบบสถิตศาสตร์จากโปรแกรม CAPWAPC))



รูปที่ 5.4 ผลทดสอบ static load test กับ ANN (20-20) ที่ 2000 รอบการคำนวณ กับข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็ม 93 ต้น

จากรูปที่ (5.4) เป็นการทดสอบช่วงที่หนึ่ง แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกกับผล static load test จำนวน 93 ตัวอย่าง ผลการทดสอบเห็นได้ชัดว่าแบบจำลองให้ผลที่ค่อนข้างดี โดยมีค่า R^2 = 0.786 และได้ค่า RMSE = 81.311 ตัน แสดงถึงความสัมพันธ์และการกระจายของผลค่อนข้างดีมาก

จากผลการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่พัฒนาขึ้นในการวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม นำแบบจำลองมาทำการทดสอบอีกครั้งกับกลุ่มชุดข้อมูลกลุ่มที่สอง เพื่อวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ในการนำเอาแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมไปใช้งาน โดยจะทำการเปรียบเทียบกับ กลุ่มชุดข้อมูลเสาเข็ม 67 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลการทดสอบจาก static load test ทั้งหมด



รูปที่ 5.5 ผลทดสอบ static load test กับ ANN (20-20) ที่ 2000 รอบการคำนวณกับข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็ม 67 ต้น

จากผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทกับผลการทดสอบเสาเข็มแบบ static load test อย่างเดียวจะเห็นได้ว่า ได้ค่า R^2 = 0.773 และ ได้ค่า RMSE = 86.827 ตัน ซึ่งได้ผลการทดสอบค่อนข้างดีมาก

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบแบบจำลองสำหรับหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม	R^2	RMSE (t)
ผลการทดสอบกับเสาเข็ม 93 ต้น (รวมผลจาก CAPWAP)	0.786	81.311
ผลการทดสอบกับเสาเข็ม 67 ต้น	0.773	86.827

จากผลการทดสอบได้ผลการทดสอบจากข้อมูล static load test น้อยกว่า ผลการทดสอบจากข้อมูลที่รวม CAPWAP เล็กน้อยตามตาราง 5.2 จะเห็นว่าผลจาก CAPWAP มีผลน้อยมาก เพราะค่า R^2 และค่า RMSE ไม่ต่างกันมาก และผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 2 ชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบ

ตารางที่ 5.3 ค่าถ่วงน้ำหนักของแบบจำลองสำหรับหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก

Hidden neuron	A	peri	L	W_{ram}	H_{drop}	hydra	drop	S	sand	clay
1	-0.57340	-0.31305	0.37302	-0.59225	0.81866	-0.96709	-0.78015	0.63059	-0.24208	0.37024
2	-0.12922	0.80711	0.28005	0.37505	0.1066	0.89631	0.34631	0.96622	0.84933	-0.40149
3	-0.91073	0.039088	0.75466	-0.06096	0.38428	0.726	0.54183	-0.64455	0.56109	-0.54229
4	-0.71344	-0.50100	-0.9315	-0.43872	0.2701	-0.62189	-0.05365	0.087268	0.27334	-1.0530
5	-0.81024	-0.33817	-0.79679	-0.45026	-0.7351	0.35273	-0.64111	0.71590	0.54965	0.06269
6	-0.44150	-0.41432	0.51543	-0.68543	-0.0962	-0.80263	-0.52496	0.74561	-0.69086	0.60629
7	0.37155	-0.49663	-0.0458	-0.1764	-0.6786	-0.47156	0.65478	-0.43692	0.87183	0.95645
8	-0.19212	0.36364	-0.7474	0.27446	-0.56039	-0.19134	-0.82283	0.85402	0.57433	0.88741
9	0.42520	-0.85198	0.13095	-0.3647	-0.57932	1.042	-0.81327	0.33087	0.51417	0.03208
10	0.17484	1.2763	0.027872	1.0459	0.46969	0.09068	-0.24661	0.62637	-0.31409	0.12079
11	-0.56887	0.62899	0.74993	-0.02405	-0.63383	-0.57672	-0.62554	0.31369	0.69424	0.69789
12	0.50974	0.72308	0.70561	-0.70235	0.21351	0.44308	-0.48461	-0.50517	0.99213	0.00033
13	0.14768	-0.83651	0.023609	-0.17635	1.0371	0.56759	0.050509	-0.62566	-0.45866	0.80727
14	-0.41763	0.18867	-0.28457	-0.55059	0.62855	-0.29791	-0.34134	-0.82972	-0.86141	0.97799
15	-0.25251	-0.72603	0.2743	-0.64911	0.70481	0.99119	-0.5132	-0.85853	-0.42016	-0.10608
16	-0.78162	0.2797	0.92714	-0.01349	-0.11143	-0.85962	0.27276	-0.05543	-0.74561	-0.74815
17	0.90982	0.83723	-0.56471	0.85108	-0.45683	0.12000	-0.31402	0.16456	-0.34826	-0.68757
18	-0.85485	-0.46068	-0.52292	-0.36431	0.59904	-0.19621	-0.02755	0.72865	0.59327	-0.43852
19	0.23216	-0.31465	0.30654	-0.22141	-1.0198	-0.14998	0.78074	-0.69778	0.35357	-1.0099
20	0.8787	-0.13539	-0.88345	-0.45407	0.32009	0.17488	-0.27636	0.7751	0.59018	0.82285

จากตารางที่ 5.3 แสดงค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆของตัวแปรด้านเข้าไปกับหน่วยประสาทของชั้นซ่อน ของแบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอก ความสำคัญของแต่ละตัวแปรด้านเข้าแสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ความสำคัญของแต่ละตัวแปรของแบบจำลองเทียบเป็น (%)

Hidden neuron	A	peri	L	W_{ram}	H_{drop}	hydra	drop	S	sand	clay
(%) relative	9.93	10.37	9.42	8.21	10.08	10.11	8.63	11.14	11.09	10.97

จากตารางที่ 5.4 ตัวแปรที่มีความสำคัญที่สุดในแบบจำลองคือ ค่าระยะสุดตัวสุดท้ายของเสาเข็มตอก (S) และชนิดของดินใต้เสาเข็ม (ทราย/ดินเหนียว) ตามลำดับ

5.2.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทกับสูตรเสาเข็มตอก

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกแสดงผลลัพธ์ได้ดีในการทดสอบ แบบจำลองสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านเข้าไปสู่ตัวแปรด้านออกได้ โดยไม่จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรภายในแบบจำลอง ความสามารถของแบบจำลองจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ ชนิดของตัวแปรด้านเข้าแบบจำลองที่เหมาะสมทั้งจำนวนชั้นซ่อน จำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน และจำนวนรอบของการคำนวณ และปริมาณข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง ตัวแปรทั้งหมดนี้มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการสร้างแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม เพื่อความมั่นใจและความถูกต้องของความสัมพันธ์ของแบบจำลองก่อนนำไปใช้งานจริง

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก

วิธีการทดสอบ	R^2	RMSE (t)
Engineering News Formula	0.247	251.73
Janbu's Formula	0.485	163.31
Hiley's Formula	0.603	132.21
MDP1 (ข้อมูล 93 ต้น)	0.786	81.311
MDP1 (ตัดข้อมูล CAPWAP)	0.773	86.827

การวิเคราะห์ผลจากการทดสอบทั้งหมดสำหรับเสาเข็มตอกดังเห็นได้จากตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสามารถวิเคราะห์ผลกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกได้ดีกว่าสูตรการตอกเสาเข็มทั่วไป โดยมีทั้ง R^2 ที่สูงที่สุด และค่า RMSE ที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.6 แสดงถึงงานวิจัยแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยใช้ตัวแปรด้านเข้าแบบต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวกับแบบจำลองโครงสร้างใยประสาทเทียม

งานวิจัยของ	ปี	ตัวแปรที่ใช้	Output	R^2 Train	R^2 Test	จำนวนข้อมูล
Anthony T.C. Goh	1996	Pile Elastic modulus , L , A , Pile Weight , Hammer drop , Hammer weight , last10blow , Hammer type	Pile Capacity	0.956	0.965	59
M.A. Abu Kiefa	1998	M1 : $\tan(\phi_{shaft})$, $\tan(\phi_{tip})$, $\sigma'_{v(tip)}$, L , A M2 : $\tan(\phi_{shaft})$, $\tan(\phi_{tip})$, $\sigma'_{v(tip)}$, L , A M3 : $\tan(\phi_{shaft})$, SPT_{shaft} , L , D	Q_{total} Q_{tip} Q_{shaft}	ANN ให้ค่า 0.95 ส่วนวิธีอื่นๆ ให้ประมาณ 0.52-0.63		38 30 31
Lee and Lee	1996	Depth of pile/pile diameter , SPT_{shaft} , SPT_{tip} , last10blow , Hammer Energy	Pile bearing cap	Error สูงสุดไม่เกิน 20%		21
C.I. Teh , K.S. Wong A. T. C. Goh and S. jaritngam	1997	CAPWAP : Velocity , Force , E , A	Pile Capacity	Error สูงสุดไม่เกิน 10%		10
W.T. Chan , Y.K Chow and L.F. Liu	1995	CAPWAP : E_{pile} , E_{soil} , last10blow , Driving energy	Pile Capacity	RMSE 12%		34

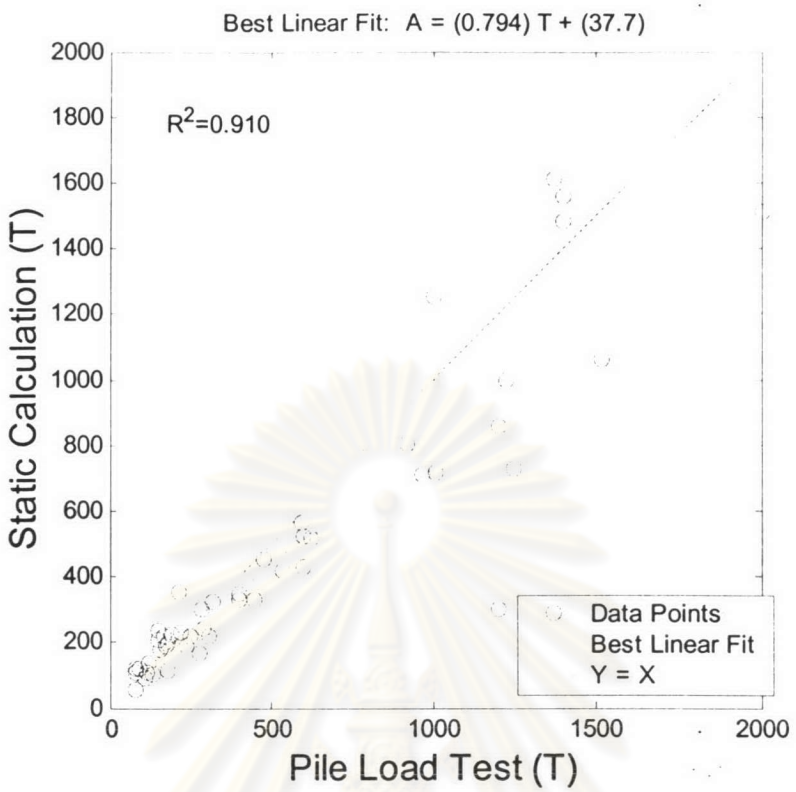
5.3 วิเคราะห์ผลของแบบจำลองสำหรับเสาเข็มเจาะ

สำหรับวิเคราะห์ผลการทดสอบของเสาเข็มเจาะ ผู้วิจัยใช้ข้อมูลสำหรับตรวจสอบแบบจำลองทั้งหมดจำนวน 47 ตัวอย่าง (validation set) ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดได้ทำการทดสอบแบบ static load test เพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของแต่ละตัวอย่างเป็นตัวอ้างอิง โดยทำการเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะโดยใช้วิธีสมดุลทางกลศาสตร์ (static approach) กับผลการทดสอบ static load test เพื่อหาความถูกต้องในการคำนวณ และใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะเทียบกับผลการทดสอบเสาเข็มแบบ static load test เพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลอง หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบ สรุปผล และวิจารณ์ผลหาวิธีการวิเคราะห์ที่ดีที่สุดสำหรับเสาเข็มเจาะ เพื่อนำไปใช้งาน

5.3.1 การวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักสำหรับเสาเข็มเจาะโดยวิธีสมดุลทางกลศาสตร์

วิธีการสมดุลทางกลศาสตร์ (static calculation) ใช้ความรู้ทางปฐพีวิศวกรรมธรรมดาคำนวณจากลักษณะคุณสมบัติของดิน และขนาดเสาเข็มหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากคุณสมบัติของดินที่ได้จากการสำรวจ และทดสอบตัวอย่างชั้นดิน การคำนวณนี้ใช้สมมุติฐานว่า ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับเดียวกับผิวดิน และไม่คิดคำนวณการเกิด drawdown และ negative skin friction วิธีการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะใช้วิธีการคำนวณ ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

ข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็มเจาะทั้งหมดจำนวน 47 ตัวอย่าง ถูกนำมาทดสอบกับวิธีการคำนวณแบบ static calculation ด้วยการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักวิบัติที่ได้จากการวิเคราะห์กับค่าวิบัติที่ได้การการทดสอบในสนามแบบให้แรงสถิตย์ (static load test) ให้ผลการทดสอบดังนี้

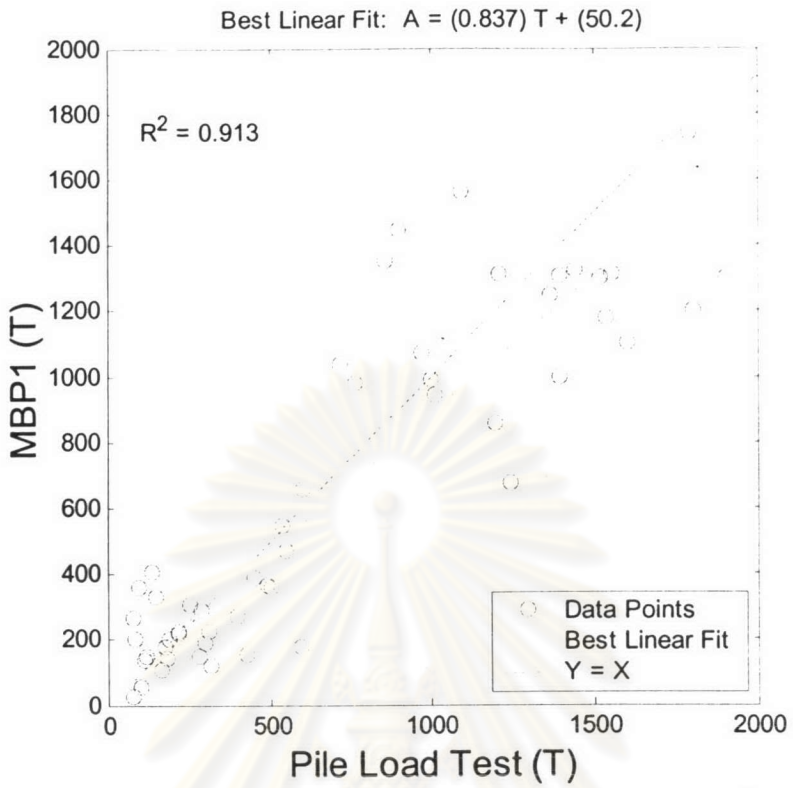


รูปที่ 5.6 ผลทดสอบ static load test กับวิธีคำนวณแบบ static calculation

ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะแบบ static calculation นี้เป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบผลกับผลการทดสอบจริง static load test โดยมีค่า R^2 = 0.910 และ RMSE = 257.61 ตัน

5.3.2 การวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม

จากผลการเลือกแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะ ตามบทที่ 3 เราได้แบบจำลองที่ดีที่สุดซึ่งประกอบไปด้วย 1 ชั้นซ่อน 20 หน่วยประสาทในชั้นซ่อนและ รอบการคำนวณ 2000 รอบ โดยทดสอบกับข้อมูลโดยใช้ ข้อมูลผลทดสอบเสาเข็มทั้งหมด 47 ต้น



รูปที่ 5.7 ผลทดสอบ static load test กับ ANN (20) รอบการคำนวณที่ 2000 รอบ กับข้อมูลเสาเข็มจำนวน 47 ต้น

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะด้วยแบบจำลอง

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม	R^2	RMSE (t)
ผลการทดสอบกับเสาเข็ม 47 ต้น	0.913	238.91

จากผลการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทกับผลการทดสอบเสาเข็มแบบ static load test จะเห็นได้ว่า ได้ค่า R^2 = 0.913 และ ได้ค่า RMSE = 238.91 ตัน สำหรับข้อมูล 47 ตัวอย่าง

จากตารางที่ 5.8 แสดงค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆของตัวแปรด้านเข้าไปกับหน่วยประสาทของชั้นซ่อนชั้นที่ 1 ของแบบจำลองสำหรับเสาเข็มเจาะ ตารางที่ 5.9 แสดงค่าความสำคัญของตัวแปรด้านเข้าของแบบจำลอง โดยค่าถ่วงน้ำหนักแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านเข้ากับหน่วยประสาทของชั้นซ่อนที่ 1 ไม่ได้รวมค่าถ่วงน้ำหนักส่วนที่เป็นชั้นซ่อนชั้นที่ 1 กับชั้นซ่อนชั้นที่ 2

ตารางที่ 5.8 ค่าถ่วงน้ำหนักของแบบจำลองสำหรับหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะ

Hidden Node	Dia	Len	$Clay_1$	$Sand_1$	$Clay_2$	$Sand_2$	$Clay_3$	$Sand_3$	$Clay_4$	$Sand_4$	$Clay_5$	$Sand_5$	$Clay_6$	$Sand_6$	$Clay_7$	$Sand_7$	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	SPT_1	SPT_2	SPT_3	SPT_4	SPT_5	SPT_6	SPT_7
1	0.44	0.34	-0.19	0.07	-0.40	0.16	0.19	0.15	-0.15	-0.43	0.41	-0.20	-0.18	-0.25	-0.09	0.38	0.39	0.46	-0.46	0.44	-0.29	0.01	0.12	-0.14	0.03	-0.47	-0.31	-0.11	0.03	-0.02
2	0.13	-0.34	-0.11	0.47	-0.06	-0.16	-0.50	-0.03	0.20	-0.12	-0.08	-0.02	-0.31	0.08	0.12	0.10	-0.42	-0.14	0.41	0.00	0.43	-0.24	0.45	-0.49	0.15	0.38	0.25	-0.20	0.49	-0.11
3	0.39	0.36	-0.35	0.45	-0.26	0.17	0.19	0.10	-0.42	-0.42	-0.09	0.31	0.03	0.08	0.01	0.00	-0.12	-0.25	-0.27	-0.17	-0.11	-0.38	0.30	0.27	-0.43	0.46	-0.09	-0.24	0.24	0.39
4	-0.12	0.41	-0.06	0.06	-0.27	-0.18	0.16	0.06	-0.35	-0.28	0.20	0.14	-0.19	0.27	0.38	-0.28	0.37	0.05	-0.49	0.39	0.42	-0.30	-0.06	-0.27	-0.34	-0.43	0.41	-0.24	-0.08	0.36
5	0.29	0.14	0.50	0.11	0.37	0.20	0.41	-0.29	-0.24	0.38	0.19	-0.06	0.02	0.03	-0.52	-0.33	0.06	-0.13	0.33	0.29	0.21	-0.35	0.14	-0.38	0.33	-0.14	0.40	0.43	0.04	0.35
6	-0.12	-0.22	-0.08	0.27	-0.50	-0.08	0.46	0.31	-0.17	-0.09	0.22	-0.34	-0.10	0.29	-0.36	0.43	-0.10	0.04	-0.30	-0.11	-0.45	-0.17	-0.24	0.20	0.35	-0.28	0.40	0.29	-0.19	0.44
7	0.32	-0.39	-0.27	-0.02	-0.44	0.22	-0.41	-0.25	-0.29	0.13	0.28	0.01	-0.21	0.43	0.11	-0.12	-0.18	0.41	0.41	0.26	-0.24	-0.07	-0.25	0.48	0.24	-0.07	-0.27	-0.24	0.42	-0.12
8	-0.27	-0.47	0.37	-0.16	0.10	0.32	0.08	-0.24	0.42	-0.04	0.22	-0.35	0.20	0.01	-0.07	-0.34	0.34	-0.34	0.39	-0.33	0.30	0.35	0.26	0.12	-0.06	-0.36	-0.17	-0.29	-0.14	-0.39
9	0.38	0.12	0.31	-0.12	-0.45	-0.08	-0.35	0.07	-0.17	0.28	0.08	-0.11	0.35	-0.41	0.01	0.45	0.38	0.30	0.03	-0.46	-0.02	-0.46	-0.21	-0.26	0.29	-0.23	0.28	-0.13	0.36	-0.23
10	0.39	0.03	-0.07	-0.17	-0.34	0.28	-0.03	0.11	-0.51	0.31	0.32	-0.05	0.40	-0.33	0.07	0.02	-0.39	0.17	0.19	0.37	-0.22	0.43	-0.10	0.26	-0.50	-0.22	0.34	0.17	-0.03	0.36
11	-0.35	0.10	0.00	0.18	-0.32	0.10	-0.47	0.00	0.09	-0.44	0.40	0.08	-0.32	0.08	-0.41	-0.48	0.18	-0.46	0.49	0.44	0.16	0.17	-0.22	-0.04	0.16	0.01	-0.02	-0.34	-0.16	0.20
12	-0.26	0.06	0.46	-0.29	-0.22	-0.38	0.07	0.44	0.34	-0.05	0.07	-0.22	0.30	0.17	-0.39	0.02	-0.09	0.40	0.26	0.22	-0.30	-0.06	0.40	0.38	0.14	0.29	0.12	0.46	0.00	-0.39
13	0.14	-0.34	-0.30	-0.21	0.47	0.38	-0.05	-0.08	0.12	0.08	-0.29	-0.06	-0.22	-0.05	0.11	-0.09	0.17	-0.26	-0.04	0.57	0.19	0.33	-0.18	-0.27	-0.40	-0.42	-0.50	0.20	-0.50	0.03
14	-0.33	0.00	-0.08	-0.08	-0.04	-0.19	-0.12	-0.19	0.28	-0.43	0.38	0.26	0.04	-0.25	-0.24	-0.30	0.44	0.28	0.37	0.31	-0.29	0.39	-0.25	0.41	0.48	-0.37	-0.15	-0.35	-0.21	0.25
15	0.12	0.19	-0.39	0.41	0.19	-0.23	0.12	0.14	0.18	-0.26	-0.30	-0.26	-0.03	-0.44	0.39	0.18	-0.19	-0.18	-0.40	0.34	-0.23	-0.22	0.43	-0.22	0.35	0.01	-0.24	0.21	0.37	-0.32
16	0.44	-0.03	0.08	-0.19	-0.53	-0.18	-0.16	0.42	0.01	0.22	-0.47	-0.34	-0.41	0.35	0.25	0.17	0.10	-0.26	-0.23	0.40	0.40	-0.05	-0.02	0.06	-0.35	-0.11	-0.14	0.31	0.44	-0.05
17	-0.29	0.27	0.08	0.20	0.41	0.16	0.23	0.03	0.15	0.48	-0.01	-0.07	-0.24	0.23	0.19	-0.14	0.20	-0.32	0.12	-0.48	0.45	0.41	0.21	0.04	0.47	-0.24	-0.28	0.26	0.37	-0.37
18	0.28	-0.24	0.36	0.15	-0.46	-0.31	-0.45	0.03	-0.45	0.29	0.04	0.07	0.32	0.36	0.46	0.29	0.00	0.03	-0.44	-0.01	-0.07	-0.24	-0.20	0.49	-0.07	-0.07	-0.36	-0.22	-0.02	0.31
19	-0.32	0.21	-0.15	-0.43	0.27	0.09	0.24	0.38	-0.11	0.32	-0.19	0.14	-0.30	0.43	0.32	-0.37	0.21	0.03	0.18	0.01	0.41	-0.02	0.18	0.31	0.30	0.13	0.29	0.51	-0.34	0.38
20	0.07	-0.20	0.22	-0.32	-0.43	-0.04	-0.14	-0.43	0.36	0.04	0.00	0.04	-0.14	0.25	0.38	-0.16	0.05	-0.11	-0.08	0.14	-0.41	-0.42	0.40	-0.46	-0.32	-0.47	-0.32	-0.37	0.22	-0.45

ตารางที่ 5.9 ความสำคัญของแต่ละตัวแปรของแบบจำลองเทียบเป็น (%)

Hidden Node	Dia	Len	$Clay_1$	$Sand_1$	$Clay_2$	$Sand_2$	$Clay_3$	$Sand_3$	$Clay_4$	$Sand_4$	$Clay_5$	$Sand_5$	$Clay_6$	$Sand_6$	$Clay_7$	$Sand_7$	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	SPT_1	SPT_2	SPT_3	SPT_4	SPT_5	SPT_6	SPT_7
%relative	3.70	3.03	3.00	2.97	5.45	2.66	3.30	2.53	3.39	3.45	2.89	2.11	2.97	3.24	3.30	3.14	2.98	3.15	5.00	3.91	3.79	3.44	3.14	3.76	3.91	3.50	3.62	3.77	3.18	3.71

5.3.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทกับวิธีกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบ static approach

เปรียบเทียบผลการทดสอบโดยใช้ข้อมูลจำนวน 47 ต้นของเสาเข็มเจาะระหว่างวิธีการคำนวณแบบ static calculation และแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะ

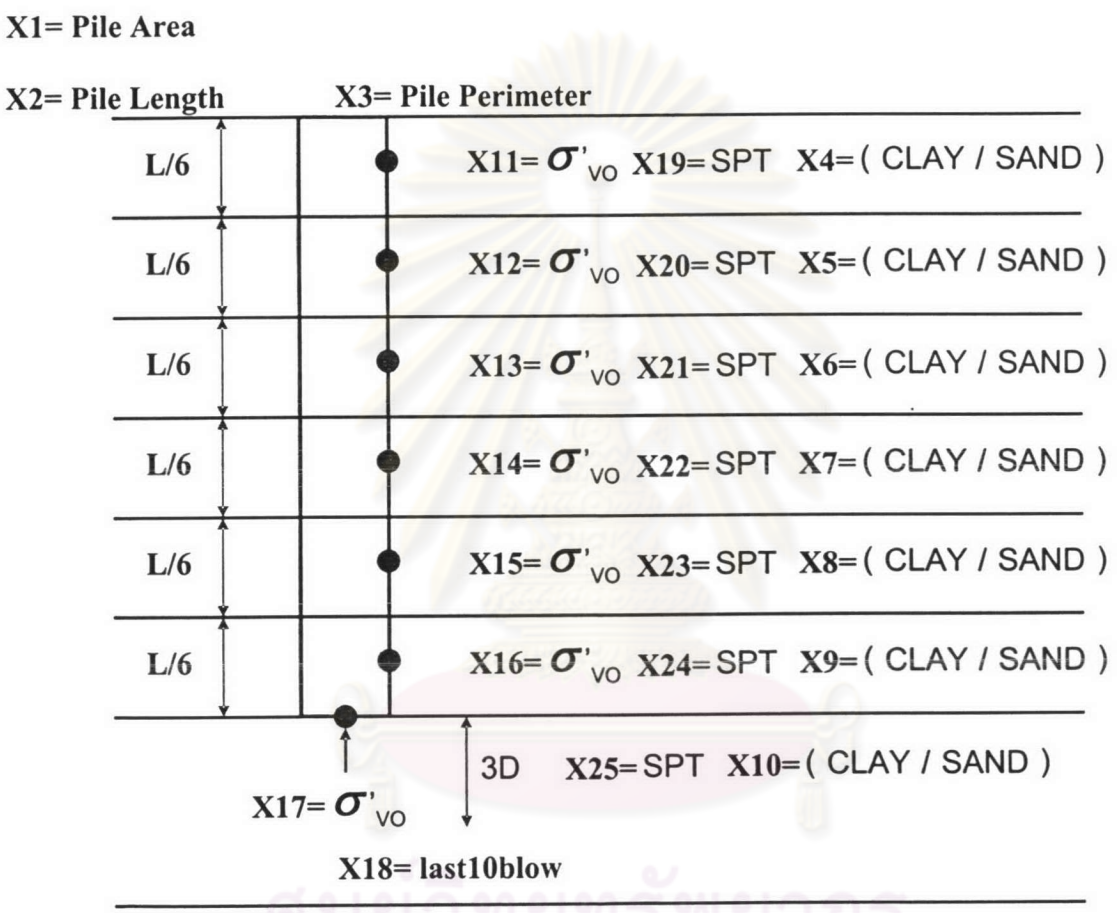
ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะ

วิธีการทดสอบ	R^2	RMSE (t)
Static calculation	0.910	257.61
MBP1	0.913	238.91

การวิเคราะห์ผลจากการทดสอบทั้งหมดสำหรับเสาเข็มเจาะดังเห็นได้จากตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสามารถวิเคราะห์ผลกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกได้พอๆกับวิธีการวิเคราะห์แบบ static calculation โดยที่แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทไม่สามารถให้ค่าที่ดีกว่าวีการคำนวณทั่วๆ ไป เพราะว่า การหากำลังของเสาเข็มเจาะมีปัจจัยและเทคนิคการก่อสร้างต่างๆมากมาย เช่น base grout ดังนั้นเป็นไปได้ว่าในอนาคตแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมน่าจะสามารถหากำลังถูกต้องมากยิ่งขึ้นถ้าเราเพิ่มตัวแปรด้านเข้าต่างๆเหล่านี้เข้าไปในแบบจำลอง จากพิจารณาพบว่าวิธีการวิเคราะห์แบบ static calculation ให้ผลกำลังรับน้ำหนักที่ค่อนข้างต่ำกว่าค่าที่ได้จากผลการทดสอบเสาเข็มในสนาม ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ได้ดีกว่า แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะได้ แต่ขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนความปลอดภัยของการใช้งานที่เหมาะสม

5.4 แบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอกโดยใช้ชั้นดิน

การใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม ทำให้เราสามารถวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกได้ โดยหลักการของสูตรตอกเสาเข็ม นอกจากนี้เรายังใช้หลักการของ static calculation ในการคำนวณหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกได้ ดังนี้



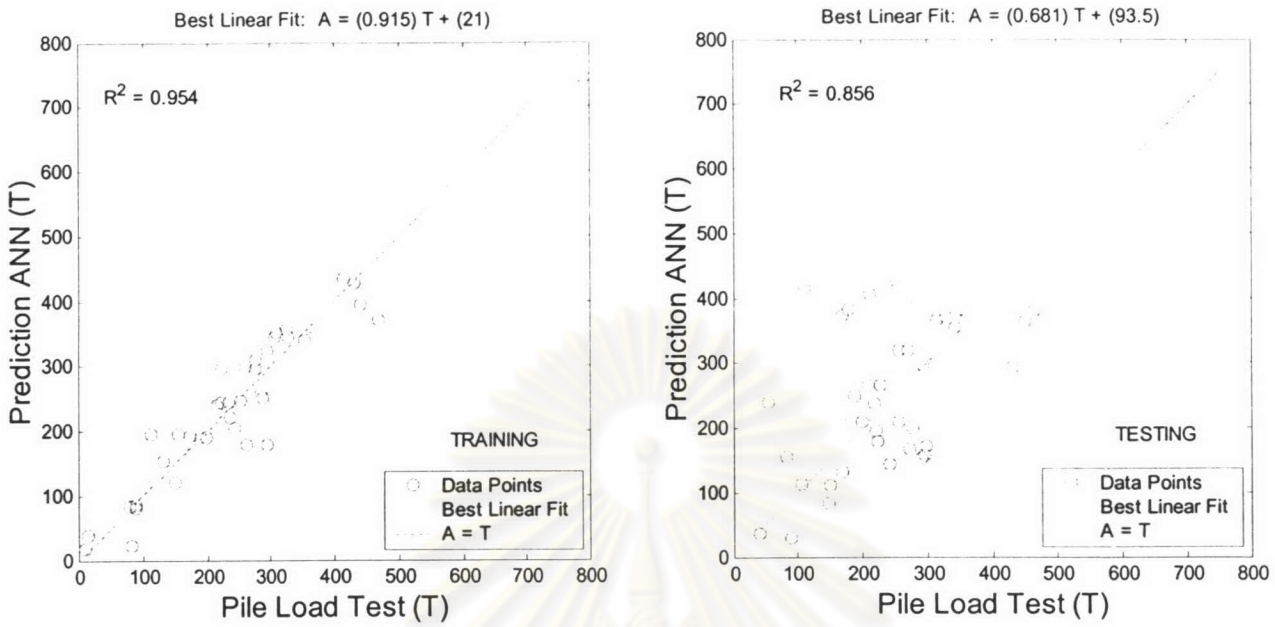
รูปที่ 5.8 ตัวแปรสำหรับแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับเสาเข็มตอก

ตัวแปรสำหรับแบบจำลองของเสาเข็มเจาะนำมาจาก ทำการแบ่งชั้นดินออกเป็น 6 ชั้นเท่าๆ กัน โดยในแต่ละชั้น จะทำการหาค่า σ' และ SPT ที่กึ่งกลางของแต่ละชั้น ใช้ลักษณะของดินในแต่ละชั้นโดยให้เลือกเป็น clay หรือ sand ถ้าในชั้นใดชั้นหนึ่งมีดินชนิดไหนมากกว่าโดยประมาณให้ถือว่าเป็นดินชั้นนั้นเป็นการประมาณโดยสัดส่วน และใช้ค่า σ' และ SPT ที่บริเวณปลายของเสาเข็ม

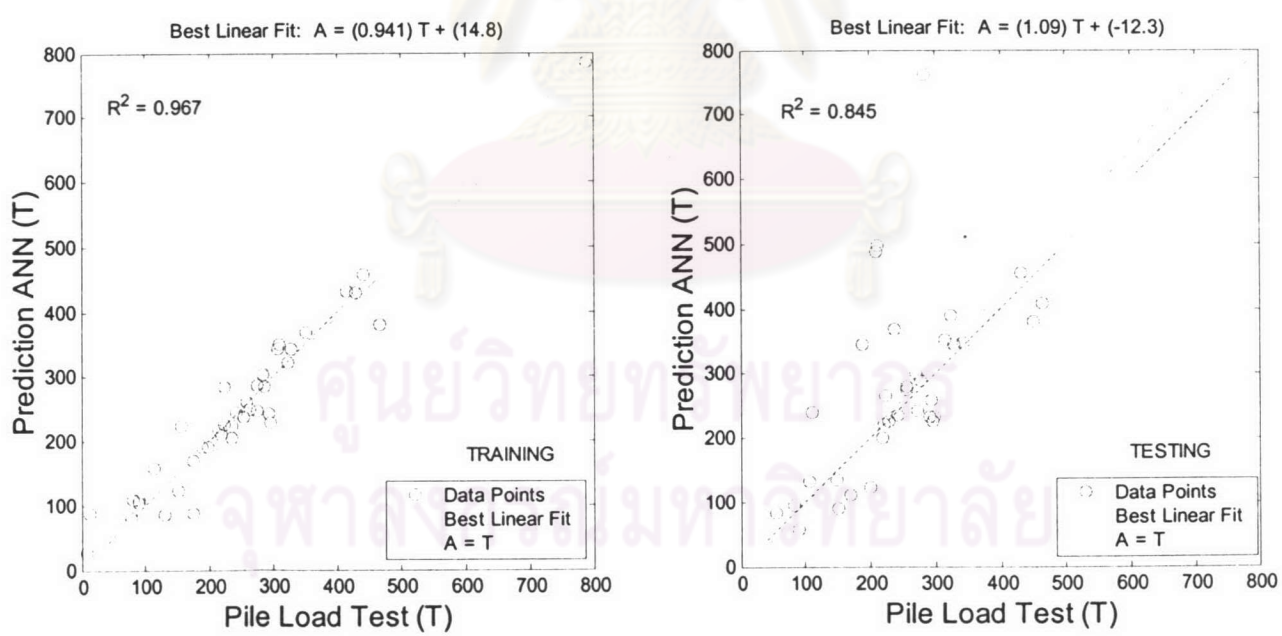
ตารางที่ 5.11 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับแบบจำลองเสาเข็มตอก

Category	Parameter	Detail Items	Input Node No.
Pile Geometry	(1) พื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม		1
	(2) เส้นรอบรูป		2
	(3) ความยาวของเสาเข็ม		3
Geological Conditions	(4) ชนิดดินในชั้นที่ 1	Clay (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	4
		Sand (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	5
	(5) ชนิดดินในชั้นที่ 2	Clay (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	6
		Sand (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	7
	(6) ชนิดดินในชั้นที่ 3	Clay (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	8
		Sand (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	9
	(7) ชนิดดินในชั้นที่ 4	Clay (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	10
		Sand (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	11
	(8) ชนิดดินในชั้นที่ 5	Clay (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	12
		Sand (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	13
	(9) ชนิดดินในชั้นที่ 6	Clay (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	14
		Sand (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	15
	(10) ชนิดดินที่ปลายเสาเข็ม	Clay (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	16
		Sand (1=ใช่,0=ไม่ใช่)	17
	(11) σ' กึ่งกลางชั้นที่ 1		18
	(12) σ' กึ่งกลางชั้นที่ 2		19
	(13) σ' กึ่งกลางชั้นที่ 3		20
	(14) σ' กึ่งกลางชั้นที่ 4		21
	(15) σ' กึ่งกลางชั้นที่ 5		22
	(16) σ' กึ่งกลางชั้นที่ 6		23
	(17) σ' ปลายเสาเข็ม		24
Operation Factors	(18) ระยะทรุดตัวสุดท้าย		25
	(19) SPT กึ่งกลางชั้นที่ 1		26
	(20) SPT กึ่งกลางชั้นที่ 2		27
	(21) SPT กึ่งกลางชั้นที่ 3		28
	(22) SPT กึ่งกลางชั้นที่ 4		29
	(23) SPT กึ่งกลางชั้นที่ 5		30
	(24) SPT กึ่งกลางชั้นที่ 6		31
	(25) SPT ที่ปลายเสาเข็ม		32

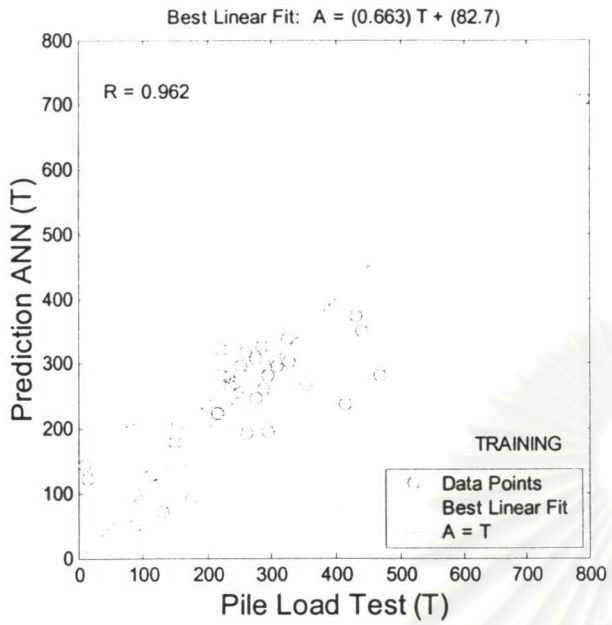
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



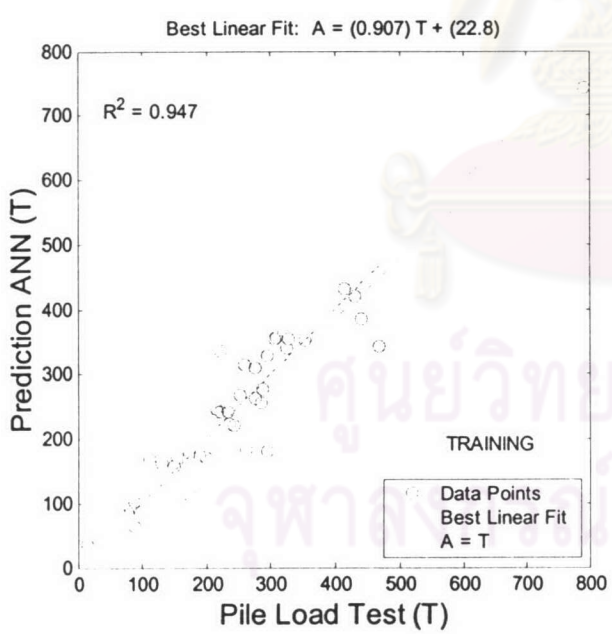
รูปที่ 5.9 BP Tansig (10–1) Epoch = 1000 (Training) และ (Testing)



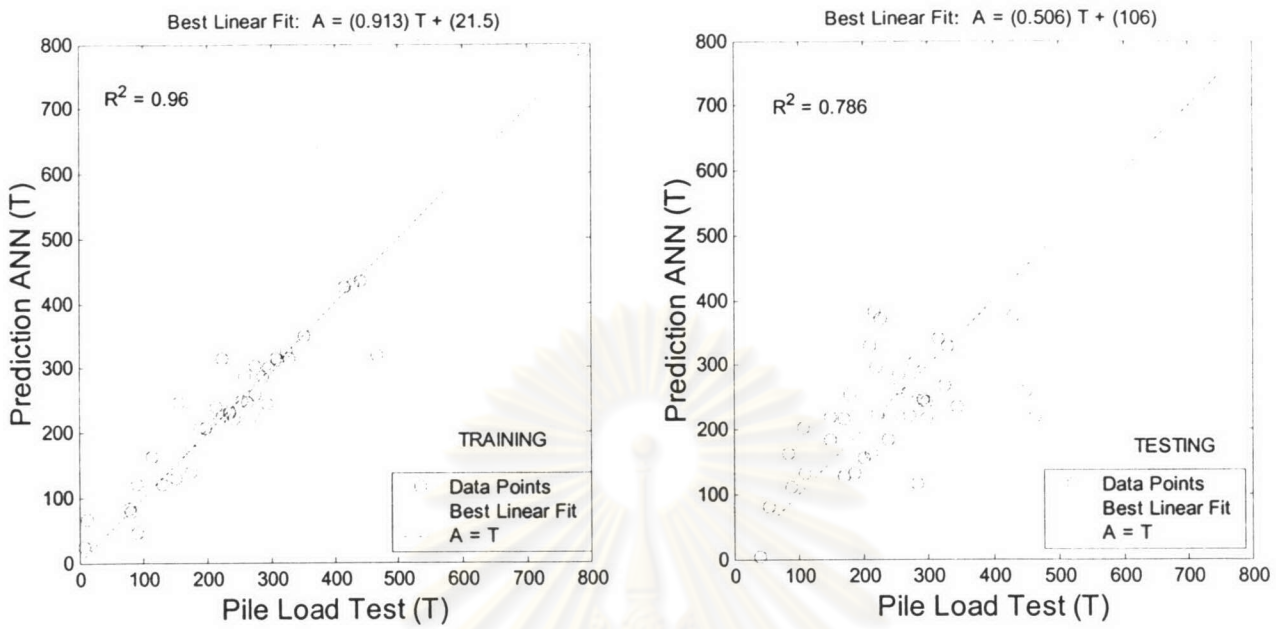
รูปที่ 5.10 BP Tansig (20–1) Epoch = 1000 (Training) และ (Testing)



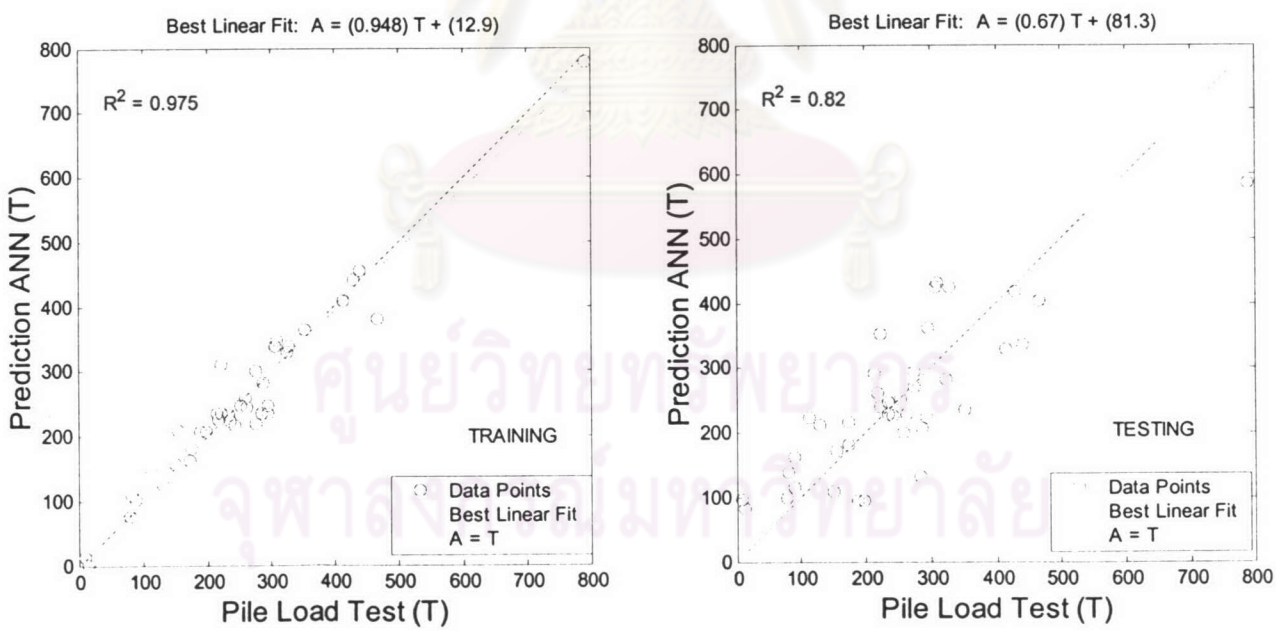
รูปที่ 5.11 BP Tansig (30–1) Epoch = 1000 (Training) และ (Testing)



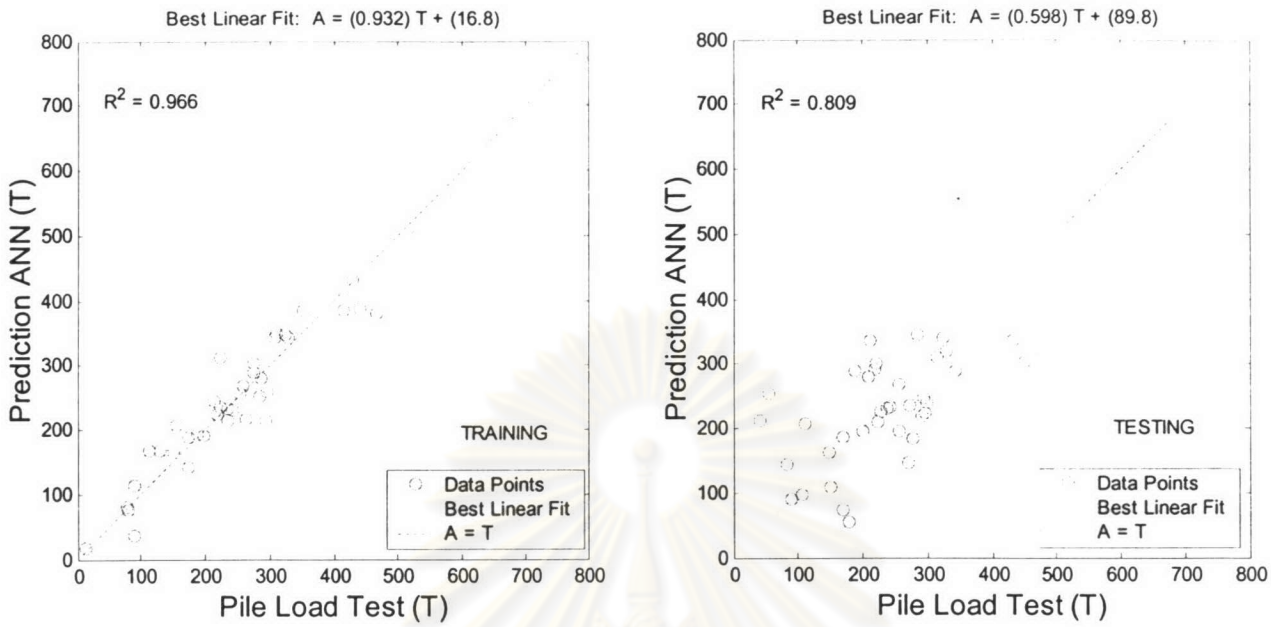
รูปที่ 5.12 BP Tansig (10-10–1) Epoch = 1000 (Training) และ (Testing)



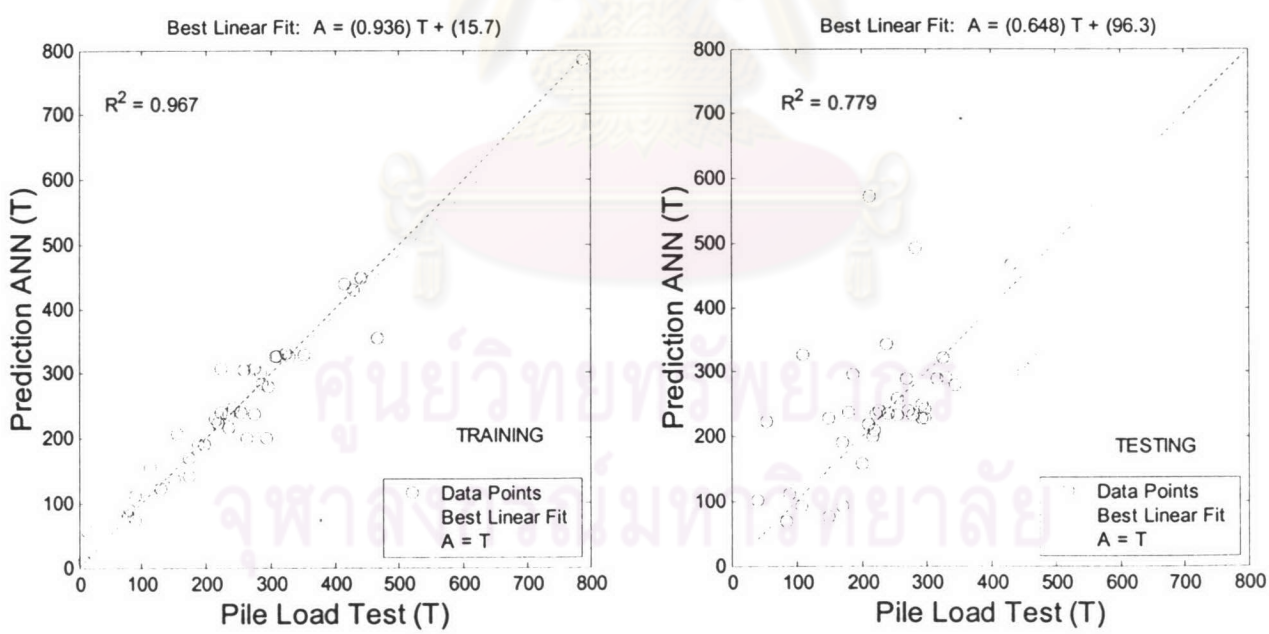
รูปที่ 5.13 BP Tansig (20-20–1) Epoch = 1000 (Training) และ (Testing)



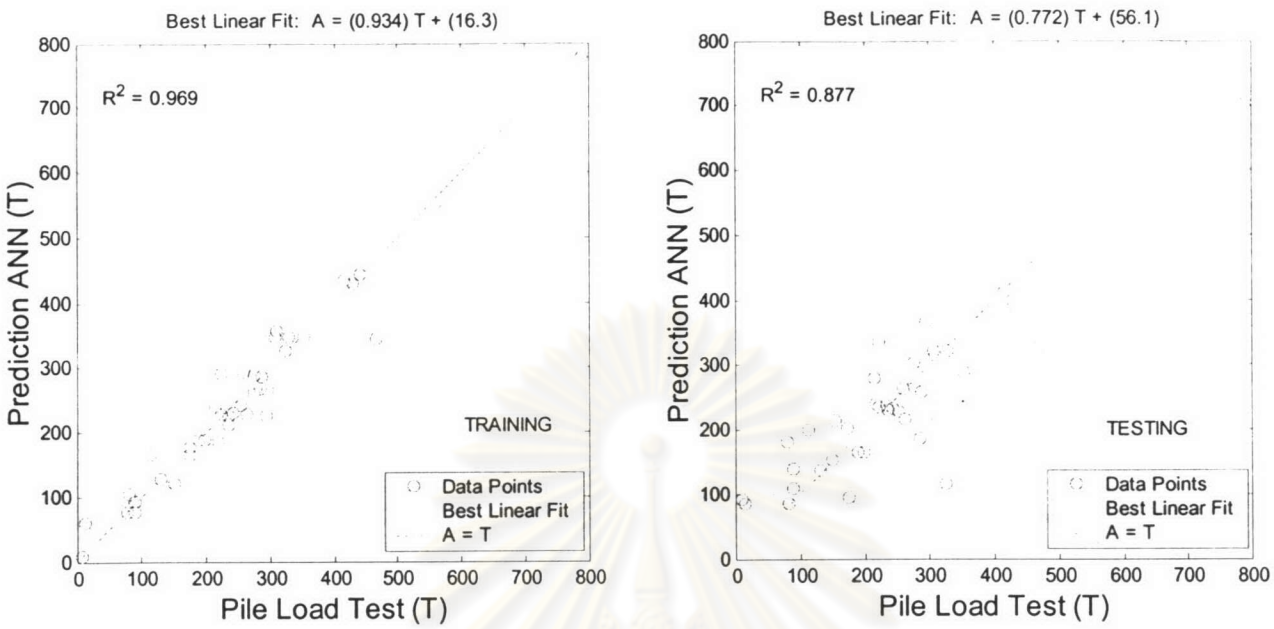
รูปที่ 5.14 BP Tansig (30-30–1) Epoch = 1000 (Training) และ (Testing)



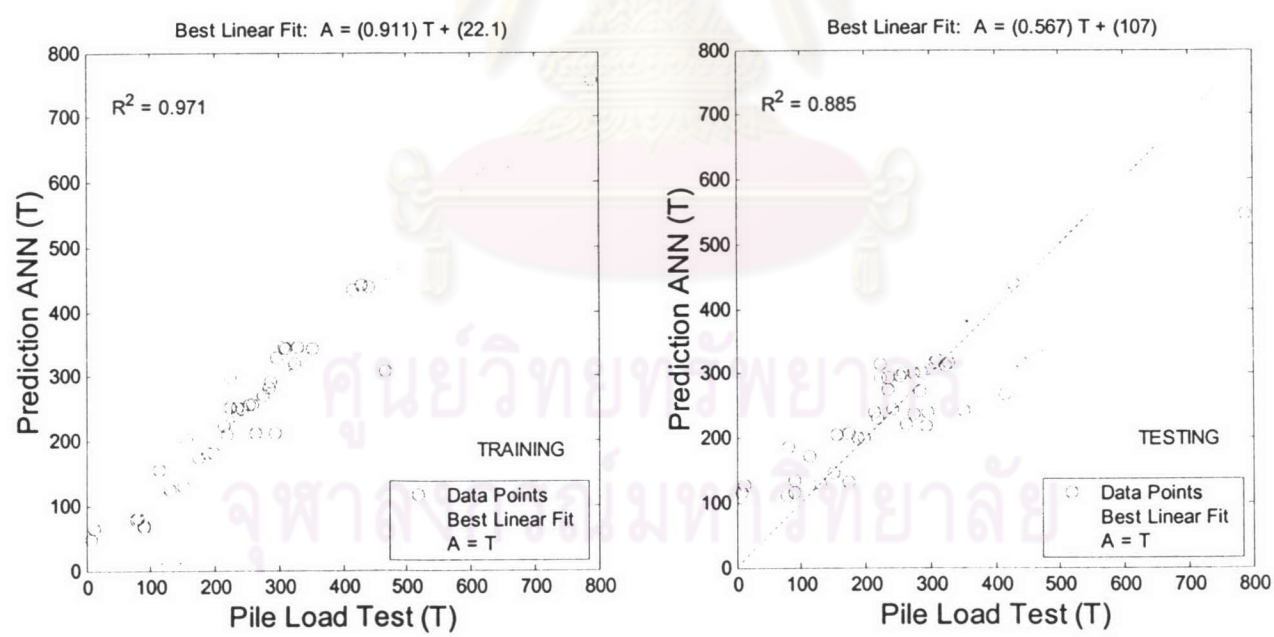
รูปที่ 5.15 BP Tansig (10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



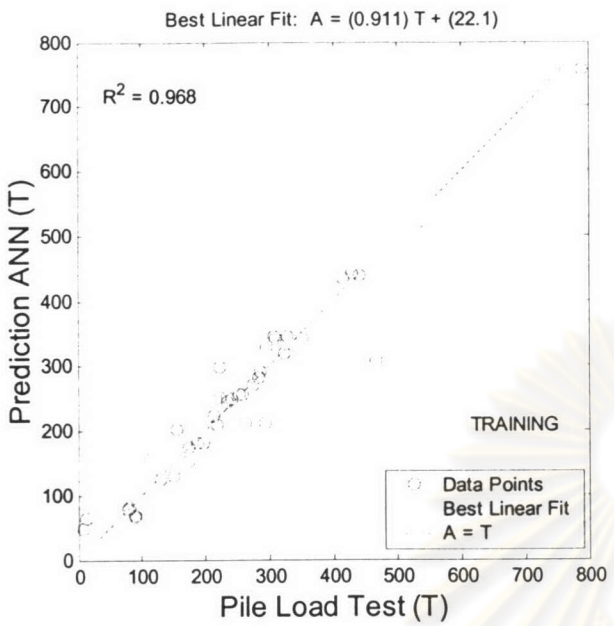
รูปที่ 5.16 BP Tansig (20–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)

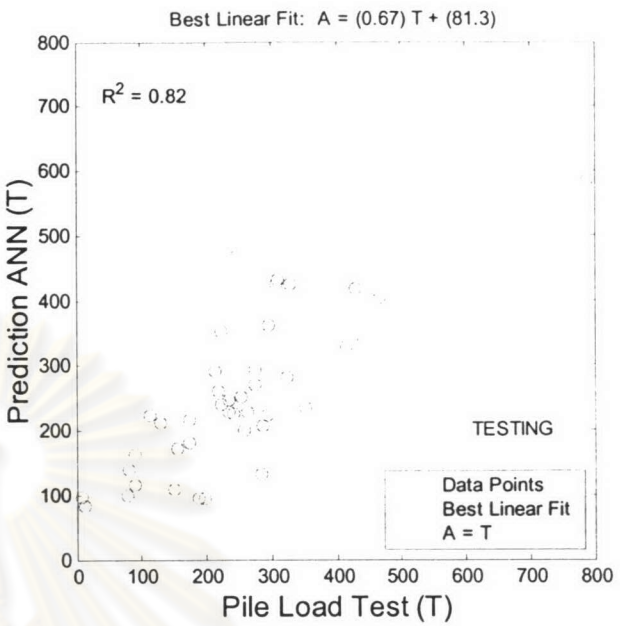


รูปที่ 5.17 BP Tansig (30–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)

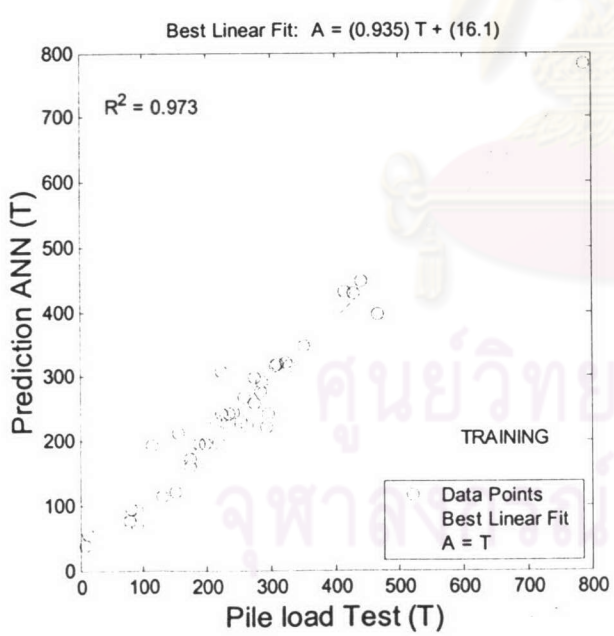


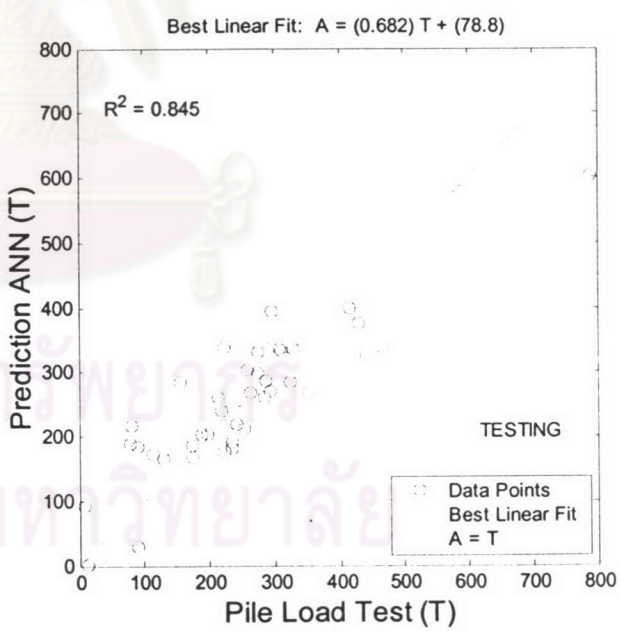
รูปที่ 5.18 BP Tansig (10-10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



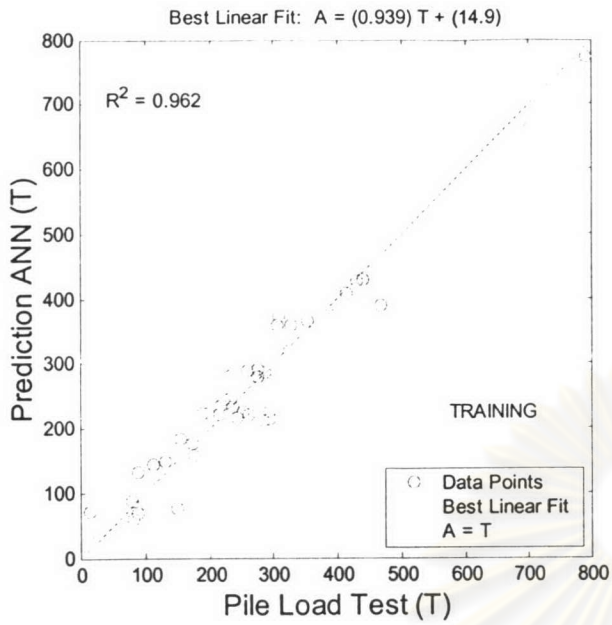


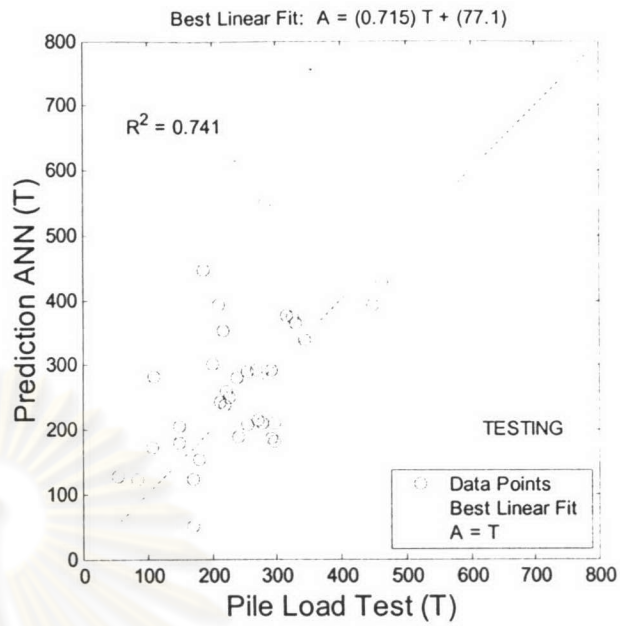
รูปที่ 5.19 BP Tansig (20-20–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



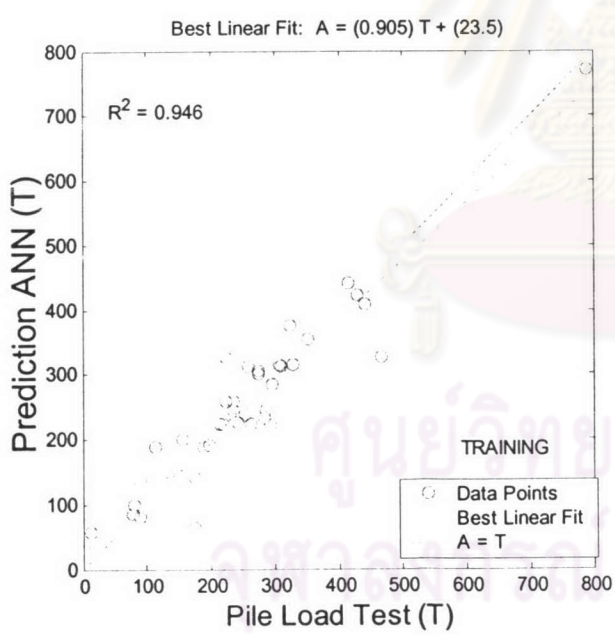


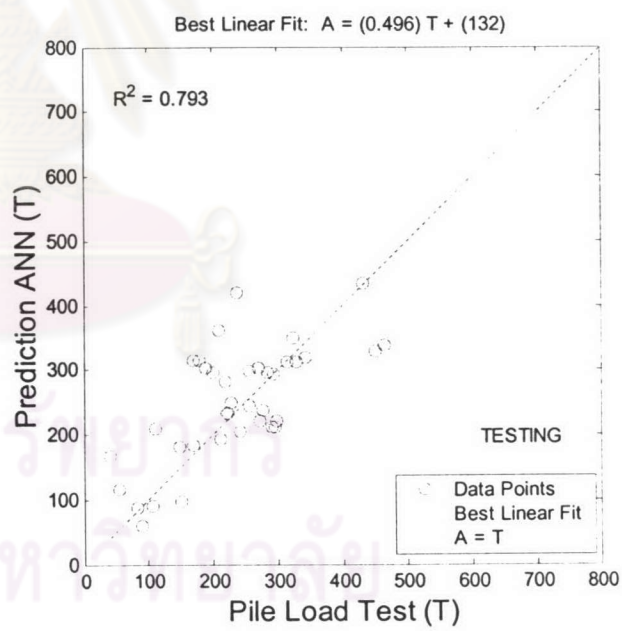
รูปที่ 5.20 BP Tansig (30-30–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



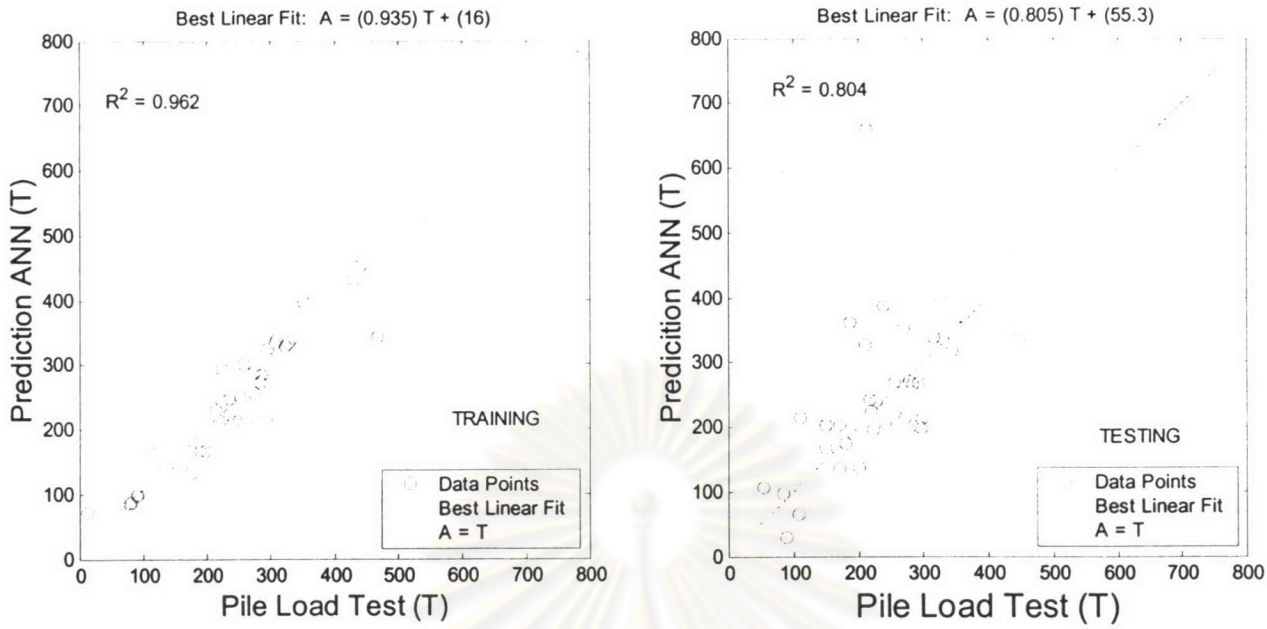


รูปที่ 5.21 BP Tansig (10–1) Epoch = 3000 (Training) และ (Testing)

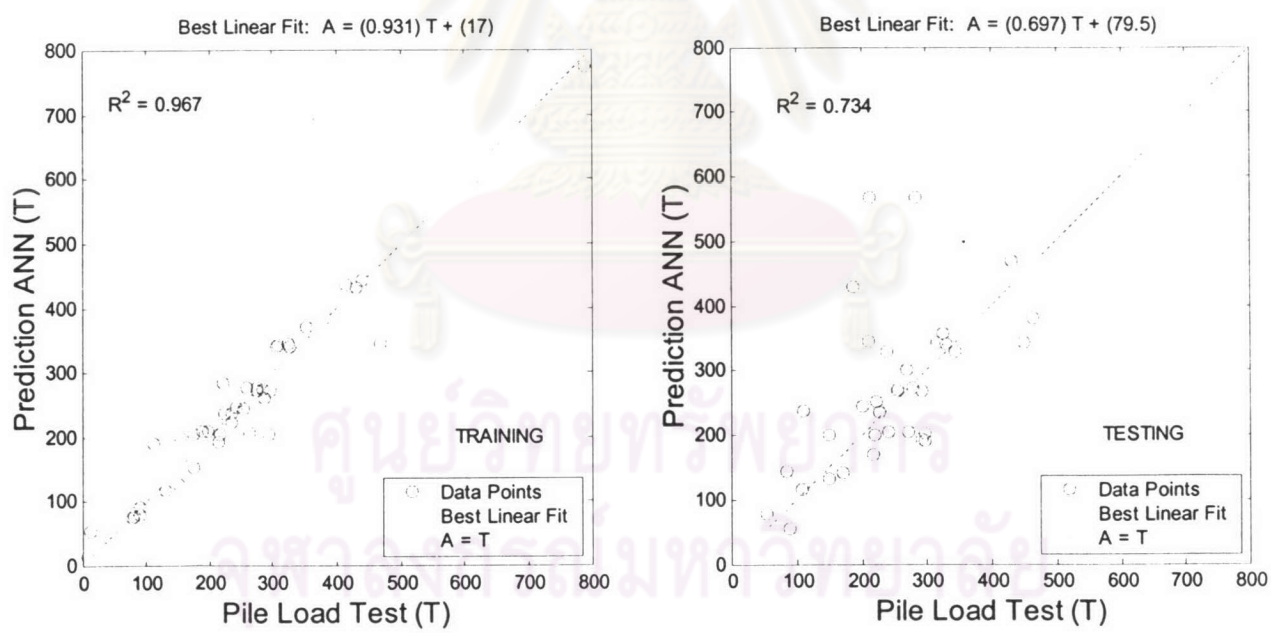




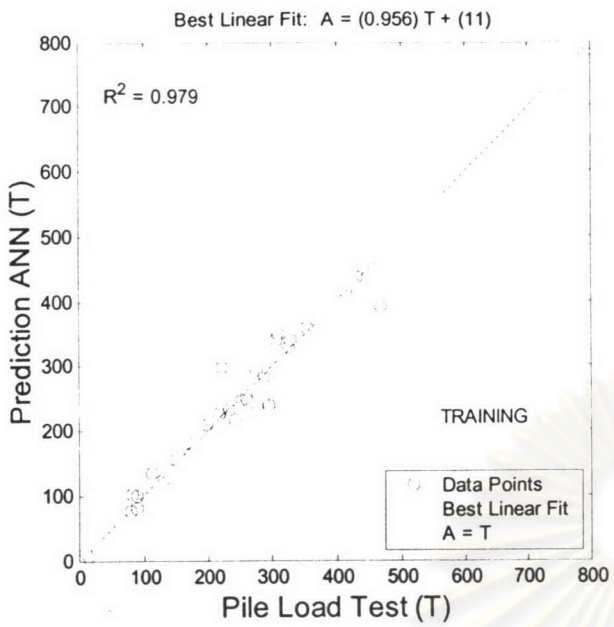
รูปที่ 5.22 BP Tansig (20–1) Epoch = 3000 (Training) และ (Testing)

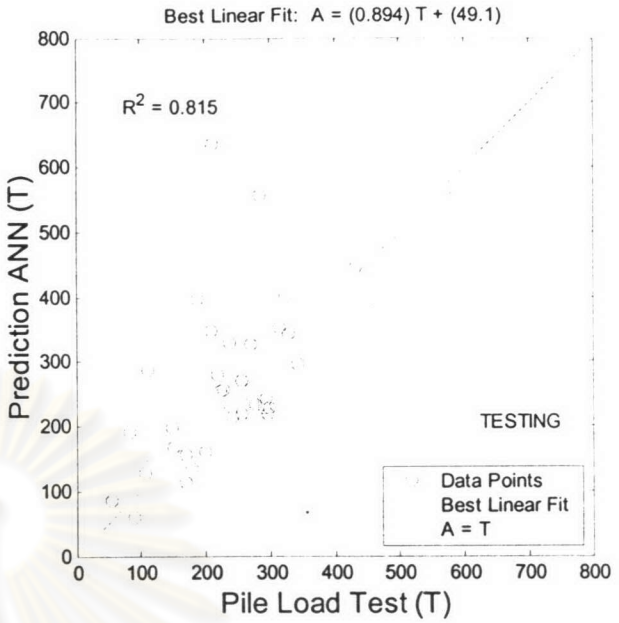


รูปที่ 5.23 BP Tansig (30–1) Epoch = 3000 (Training) และ (Testing)

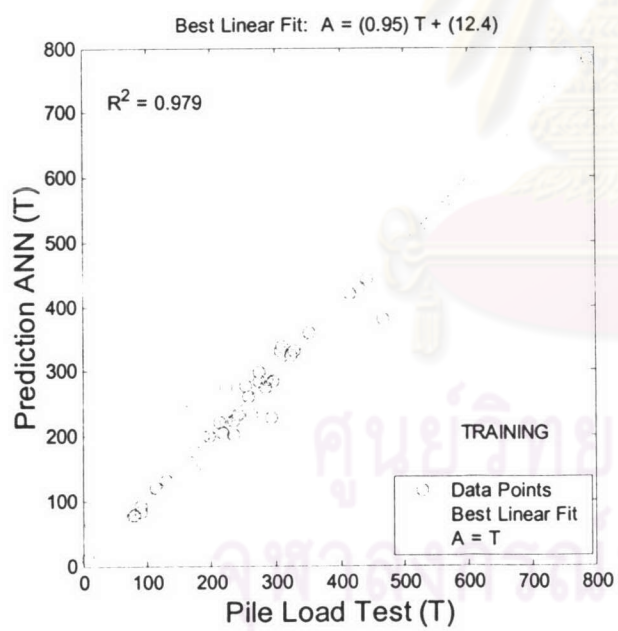


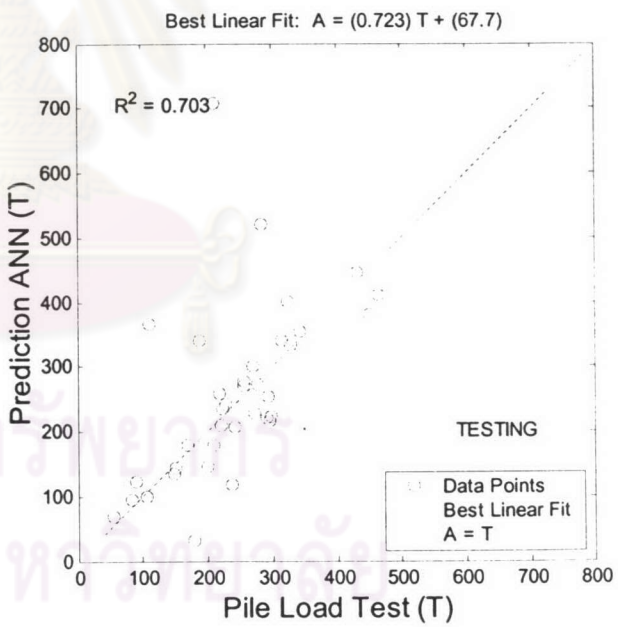
รูปที่ 5.24 BP Tansig (10-10–1) Epoch = 3000 (Training) และ (Testing)





รูปที่ 5.25 BP Tansig (20-20–1) Epoch = 3000 (Training) และ (Testing)





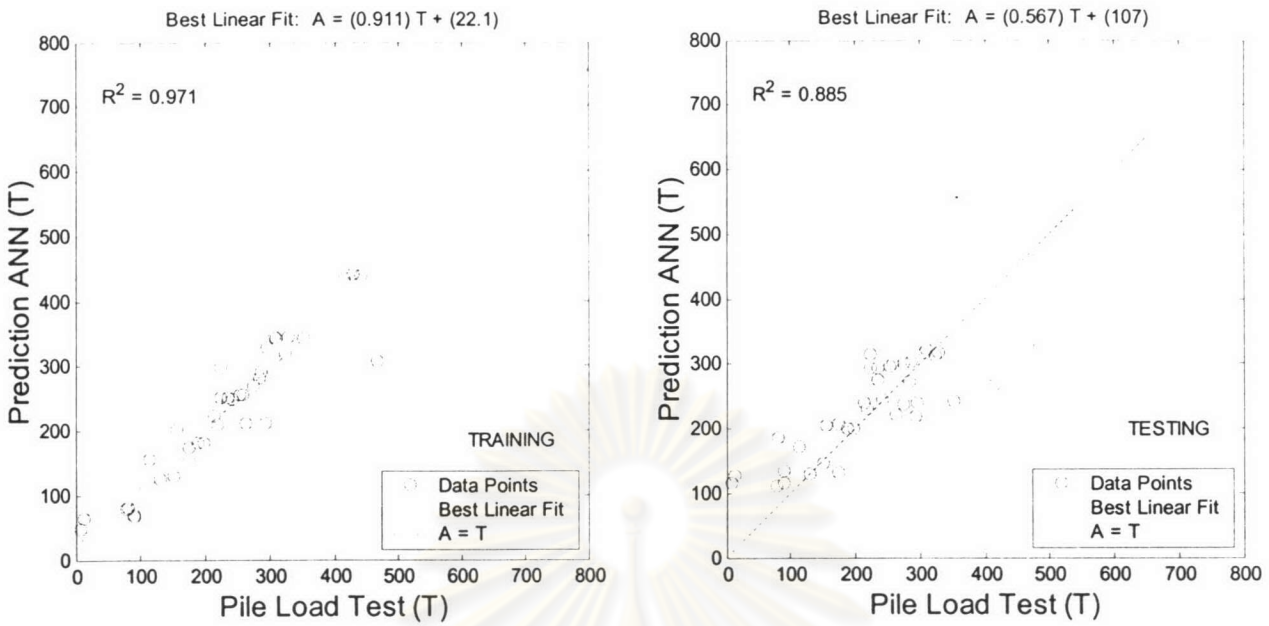
รูปที่ 5.26 BP Tansig (30-30–1) Epoch = 3000 (Training) และ (Testing)

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบแบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอก

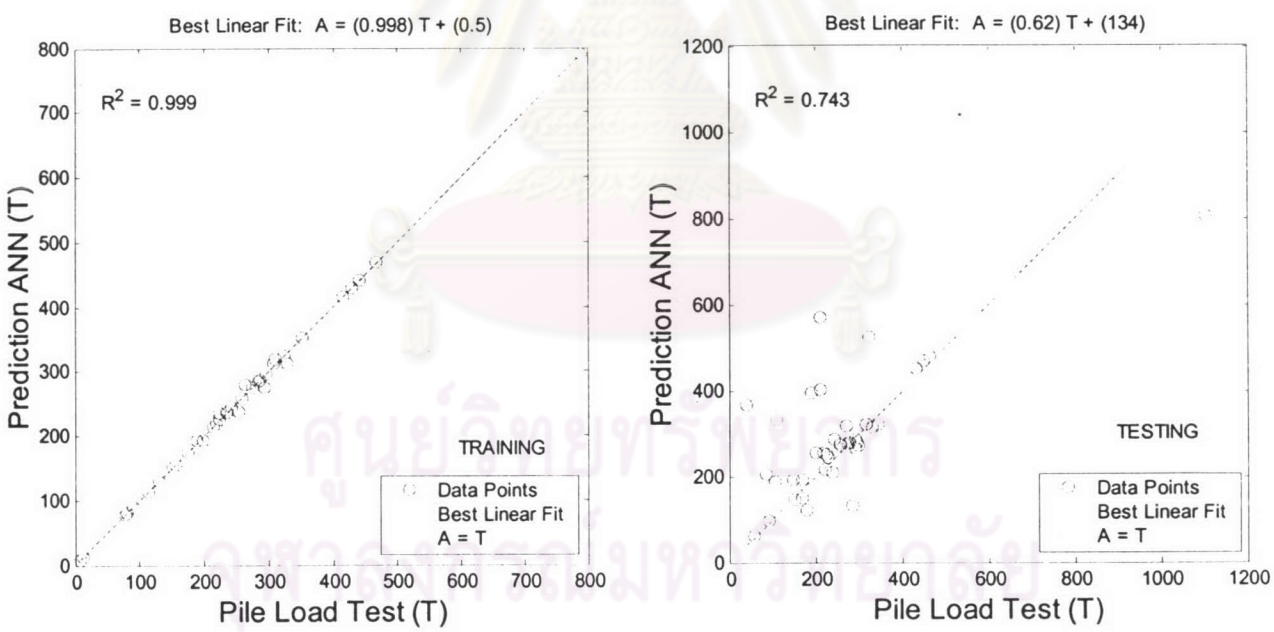
Model	Network Architecture	Epochs	Training (R^2)	Testing (R^2)	Training (RMSE)(t)	Testing (RMSE)(t)
1	10 hidden nodes	1000	0.954	0.856	55.33	105.48
2	20 hidden nodes	1000	0.966	0.845	48.60	105.12
30	30 hidden nodes	1000	0.962	0.741	40.71	123.32
4	10-10 hidden nodes	1000	0.947	0.834	59.74	105.38
5	20-20 hidden nodes	1000	0.960	0.786	42.98	123.28
6	30-30 hidden nodes	1000	0.975	0.820	36.63	103.58
7	10 hidden nodes	2000	0.967	0.809	42.57	110.55
8	20 hidden nodes	2000	0.967	0.779	42.51	130.59
9	30 hidden nodes	2000	0.969	0.877	38.83	97.30
10	10-10 hidden nodes	2000	0.971	0.885	35.61	91.66
11	20-20 hidden nodes	2000	0.968	0.820	38.67	101.03
12	30-30 hidden nodes	2000	0.973	0.845	35.55	107.85
13	10 hidden nodes	3000	0.962	0.741	40.50	126.64
14	20 hidden nodes	3000	0.946	0.793	59.80	116.51
15	30 hidden nodes	3000	0.962	0.804	43.30	111.29
16	10-10 hidden nodes	3000	0.967	0.734	40.69	130.37
17	20-20 hidden nodes	3000	0.979	0.815	41.08	105.44
18	30-30 hidden nodes	3000	0.979	0.703	39.01	127.66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

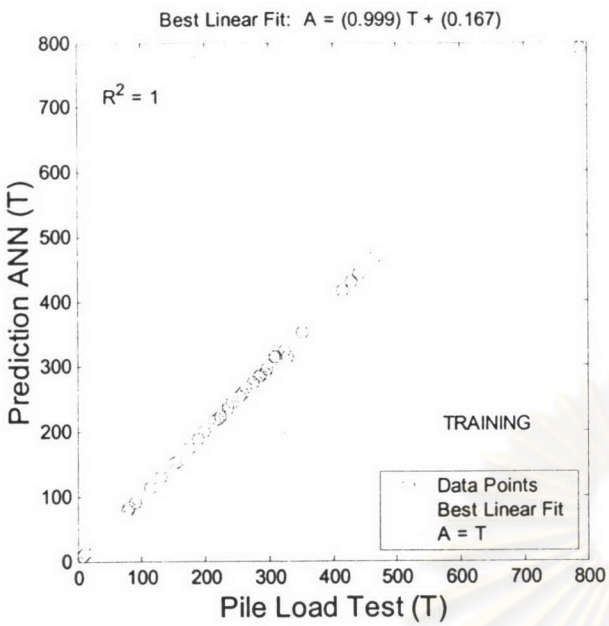
จากการทดสอบที่ผ่านมา แบบจำลองที่ดีที่สุดคือ แบบจำลองที่มี 2 ชั้น มีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนแต่ละชั้น เท่ากับ 10 หน่วยประสาท รอบการคำนวณที่ 2000 รอบ แบบจำลองจะถูกนำมาทดสอบหากระบวนการเรียนรู้ที่ดีที่สุดจากชุดกลุ่มข้อมูลเดิม โดยใช้ ชุดข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองจำนวน 40 ต้น และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบแบบจำลองจำนวน 39 ต้น แบบจำลองทั้งหมด 6 แบบจำลองถูกทดสอบด้วยกระบวนการเรียนรู้แบบต่างๆ

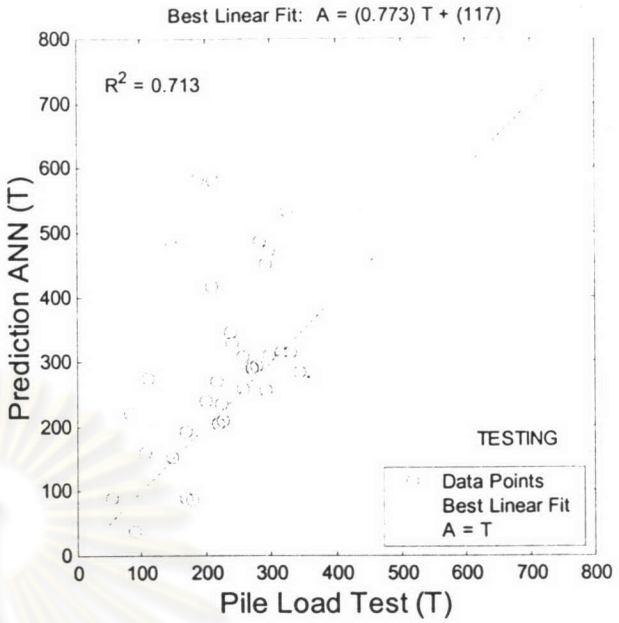


รูปที่ 5.27 BP Tan-Sig (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)

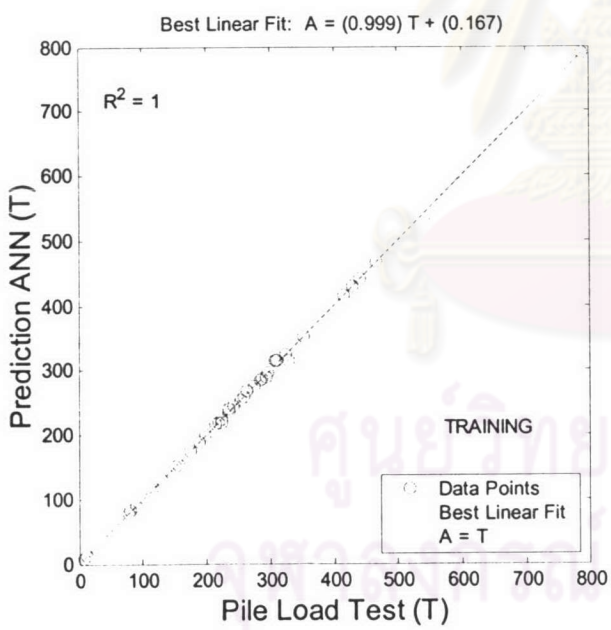


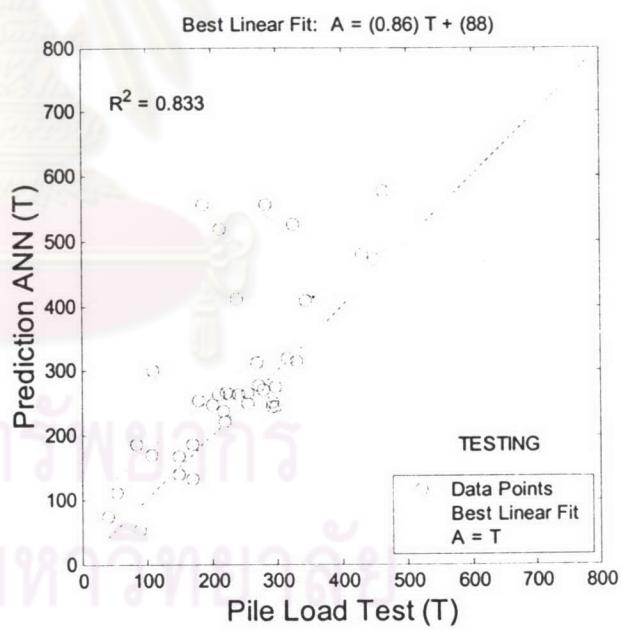
รูปที่ 5.28 RPROP (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



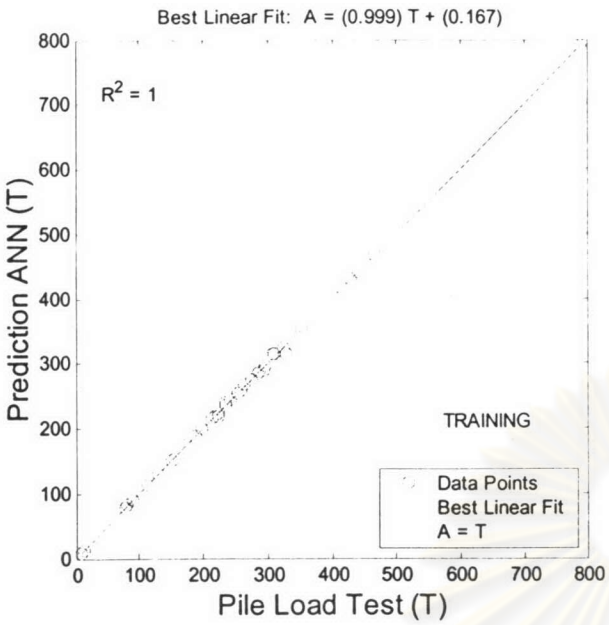


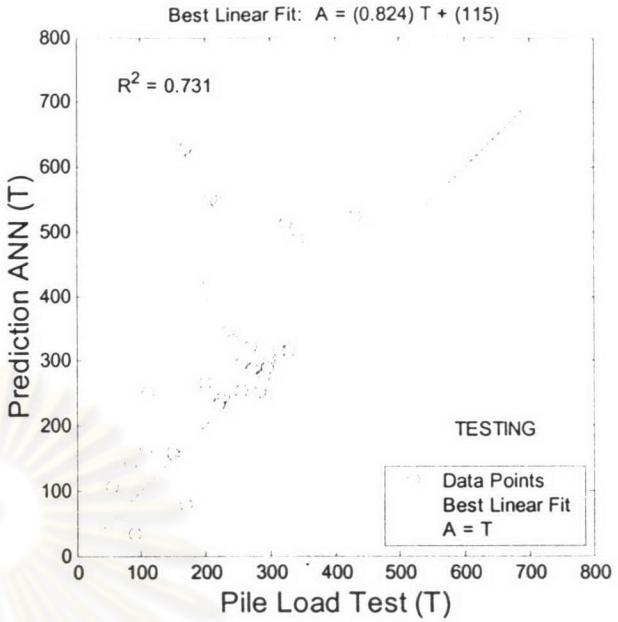
รูปที่ 5.29 Powell-Beale Conjugate (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



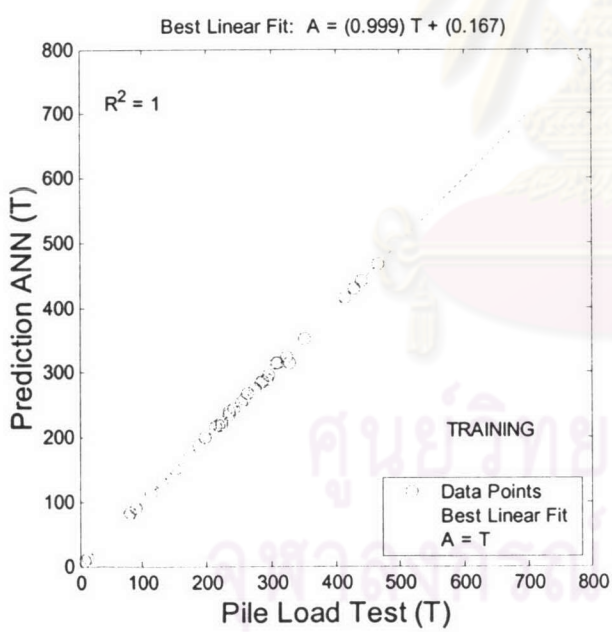


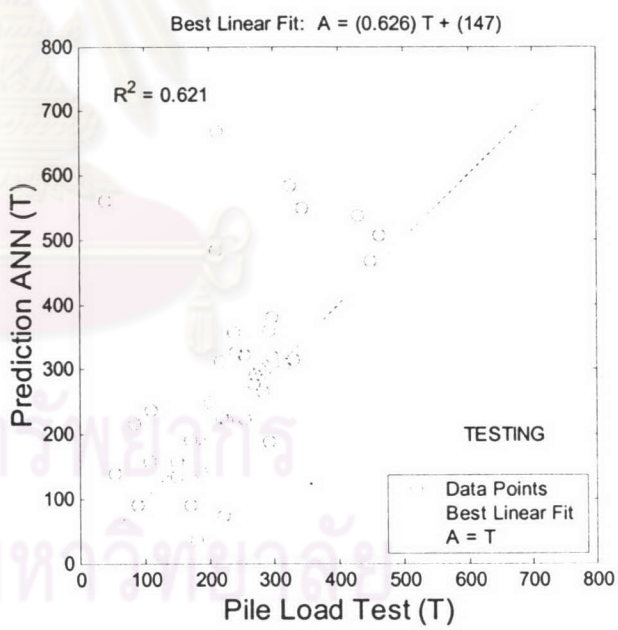
รูปที่ 5.30 Fletcher-Powell Conjugate (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)





รูปที่ 5.31 Polak-Ribiere Conjugate (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)





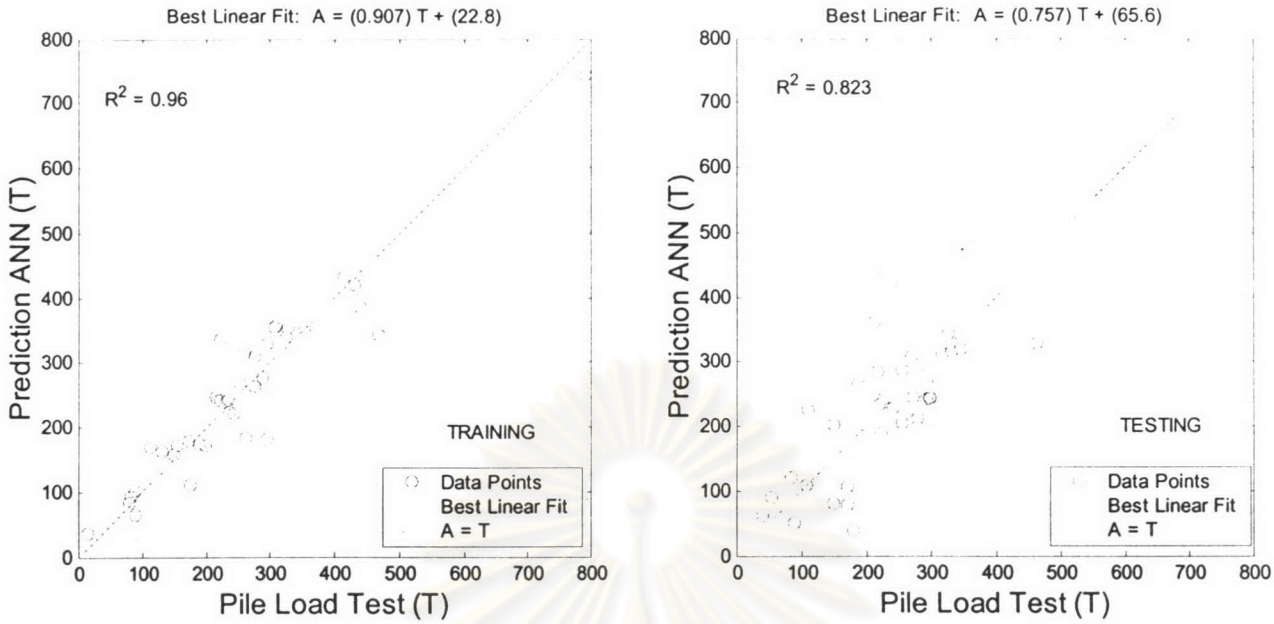
รูปที่ 5.32 Scaled Conjugate Gradient (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอก

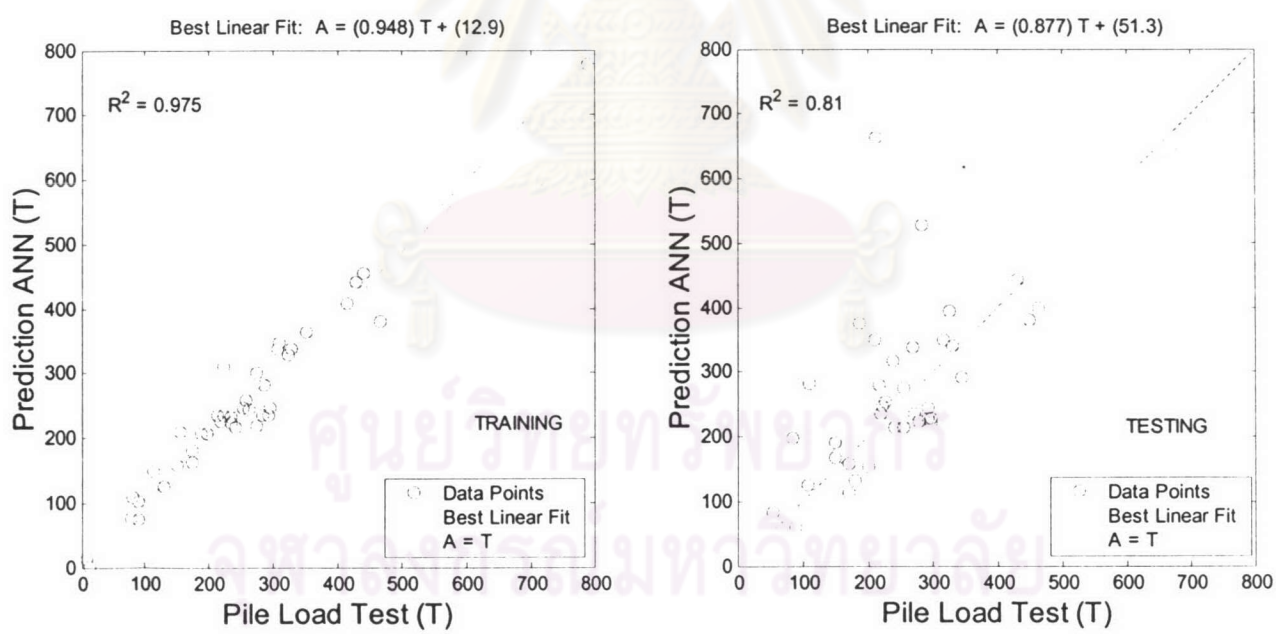
Model	Network Architecture	Training (R^2)	Testing (R^2)	Training (RMSE)(t)	Testing (RMSE)(t)
1	Back-Propagation (TanSig)	0.971	0.885	35.61	91.66
2	RPROP	0.999	0.743	10.69	137.41
30	Powell-Beale Conjugate	1	0.713	5.42	155.52
4	Fletcher-Powell Conjugate	1	0.833	6.17	135.92
5	Polak-Ribiere Conjugate	1	0.731	6.08	137.13
6	Scaled Conjugate	1	0.621	2.49	223.51

เมื่อแบบจำลองถูกนำมาทดสอบกับฟังก์ชันกระบวนการเรียนรู้แบบต่างๆ เพื่อหากระบวนการเรียนรู้ที่ดีที่สุดสำหรับแบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอก จะเห็นได้ว่า แบบจำลองที่ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ Back-propagation ยังให้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสูงที่สุดในกลุ่มข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองเมื่อเทียบกับกระบวนการเรียนรู้แบบอื่นๆ แต่กลับให้ผลของค่าความผิดพลาดจากกลุ่มข้อมูลทดสอบแบบจำลองต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม เป็นไปได้ว่าอาจจะเกิดจากผลของการสร้างความสัมพันธ์ที่ผิดพลาด (overfitting) ของกระบวนการเรียนรู้แบบอื่นๆที่สร้างความสัมพันธ์เฉพาะกับกลุ่มข้อมูลบางกลุ่มได้อย่างดีเยี่ยม แต่ความสัมพันธ์นั้นนำไปใช้กับกลุ่มของข้อมูลกลุ่มอื่นๆ ที่นอกเหนือจากกลุ่มข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองได้ไม่ดีมาก จนถึงแย่มาก

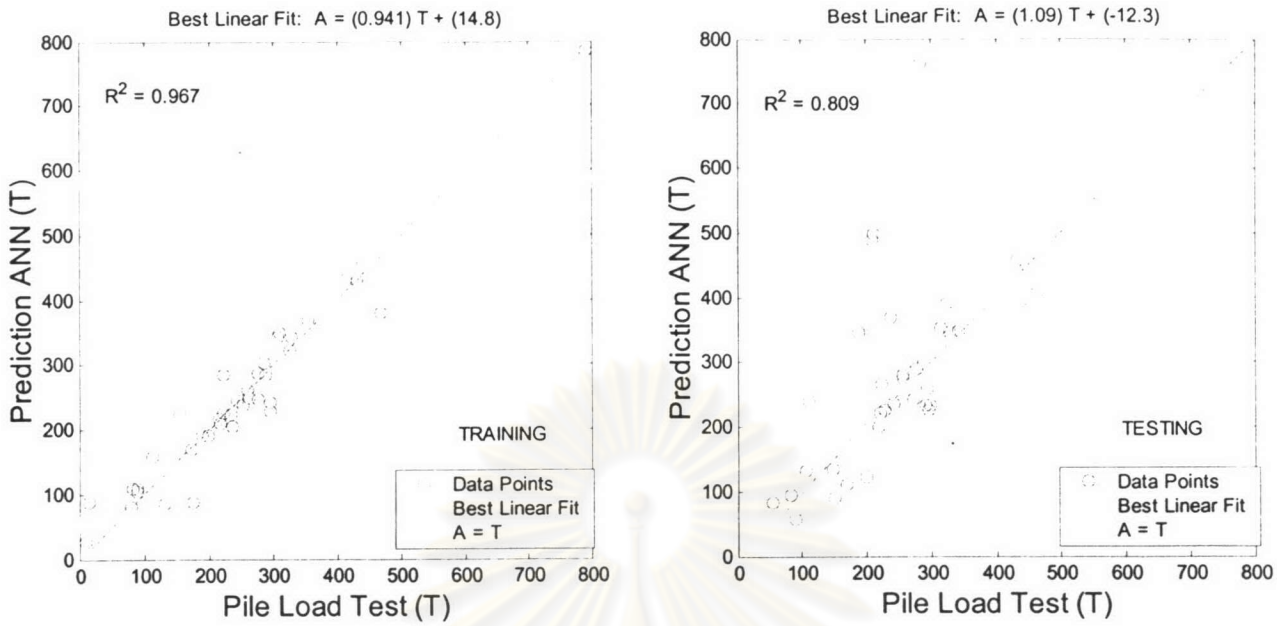
จากการทดสอบที่ผ่านมา แบบจำลองที่ดีที่สุดคือ แบบจำลองที่มี 2 ชั้น มีจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนแต่ละชั้นเท่ากับ 10 หน่วยประสาท รอบการคำนวณที่ 2000 รอบ และใช้กระบวนการการเรียนรู้แบบ Back-propagation แบบจำลองจะถูกนำมาทดสอบหาแอกติเวชันฟังก์ชันที่ดีที่สุดจากชุดกลุ่มข้อมูลเดิม โดยใช้ ชุดข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองจำนวน 40 ต้น และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบแบบจำลองจำนวน 39 ต้น แบบจำลองทั้งหมด 10 แบบจำลองถูกทดสอบด้วยการเปลี่ยนแอกติเวชันฟังก์ชัน



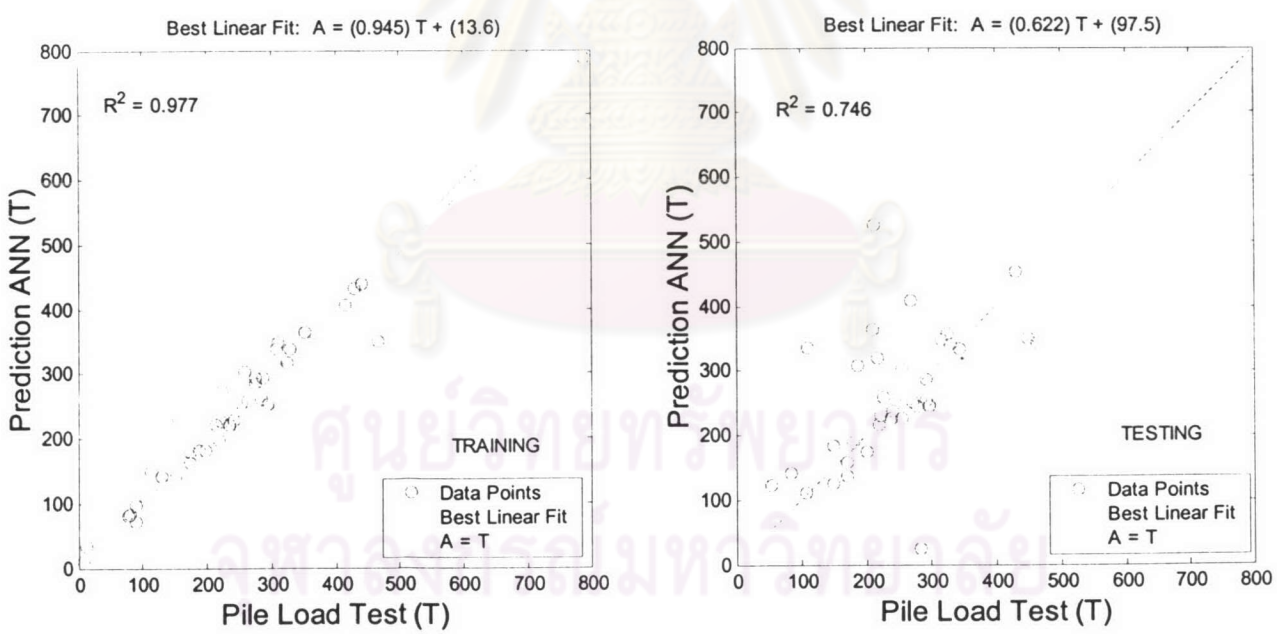
รูปที่ 5.33 Tansig α = 0.10 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



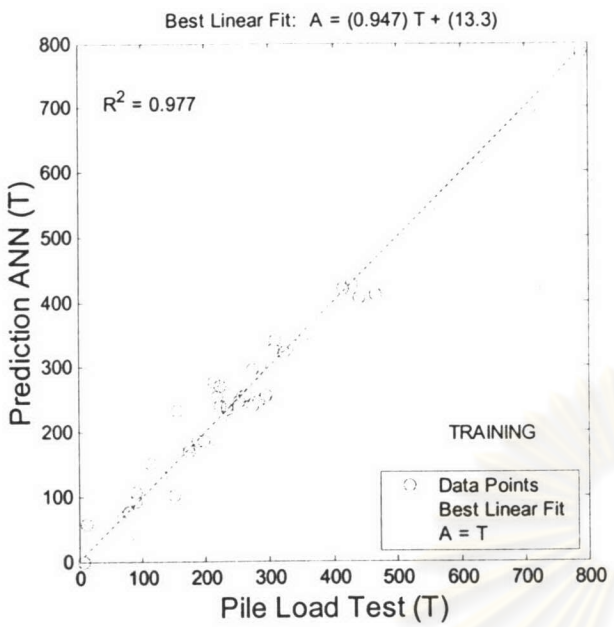
รูปที่ 5.34 Tansig α = 0.25 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)

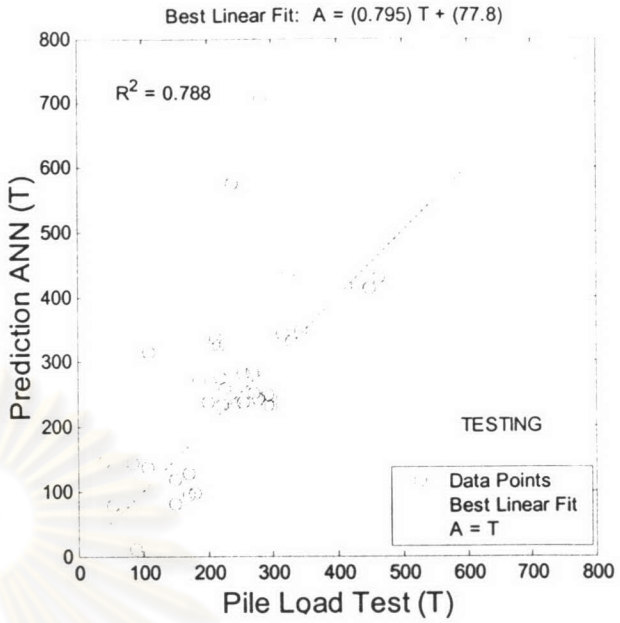


รูปที่ 5.35 Tansig α = 0.50 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)

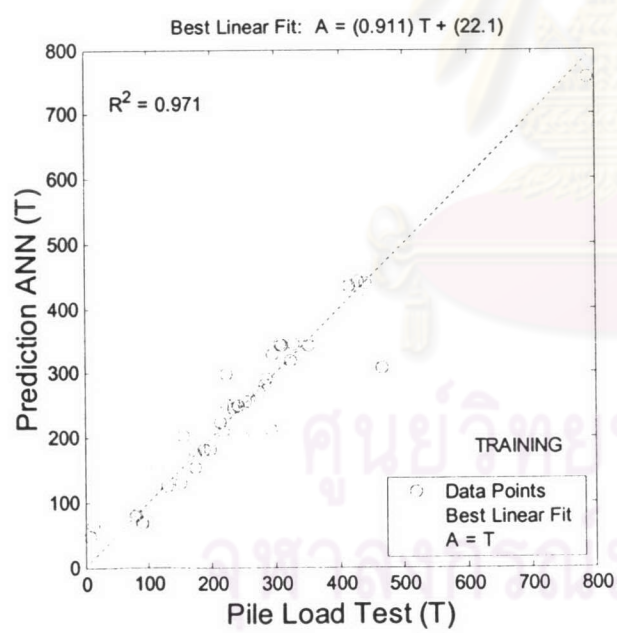


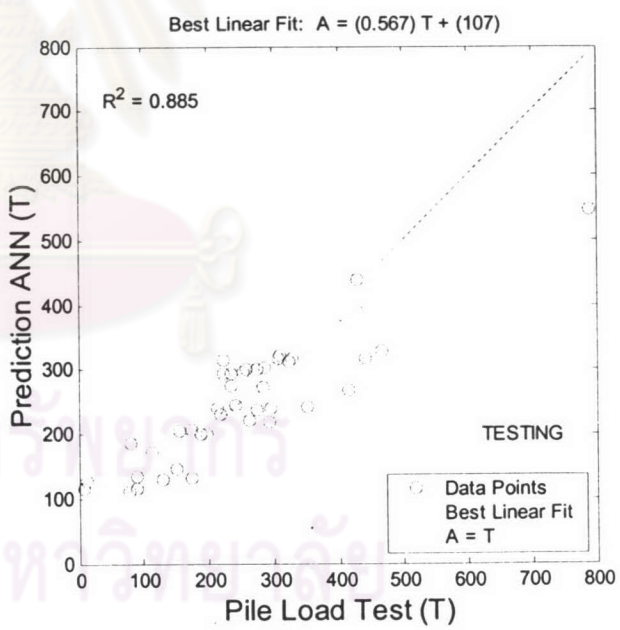
รูปที่ 5.36 Tansig α = 0.75 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



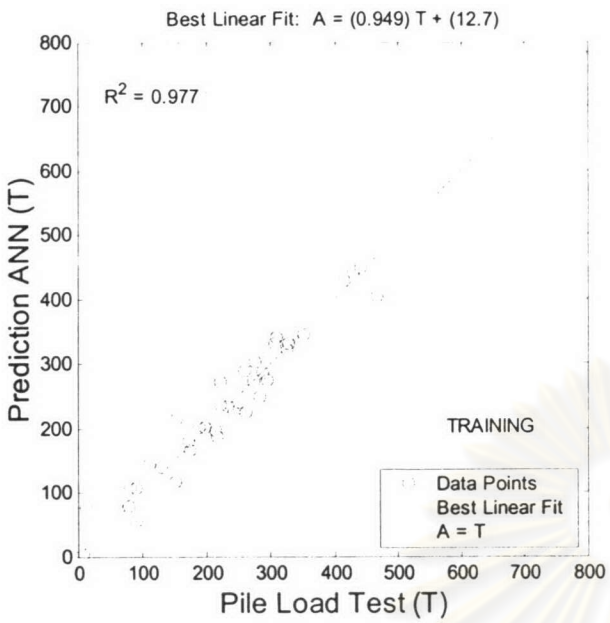


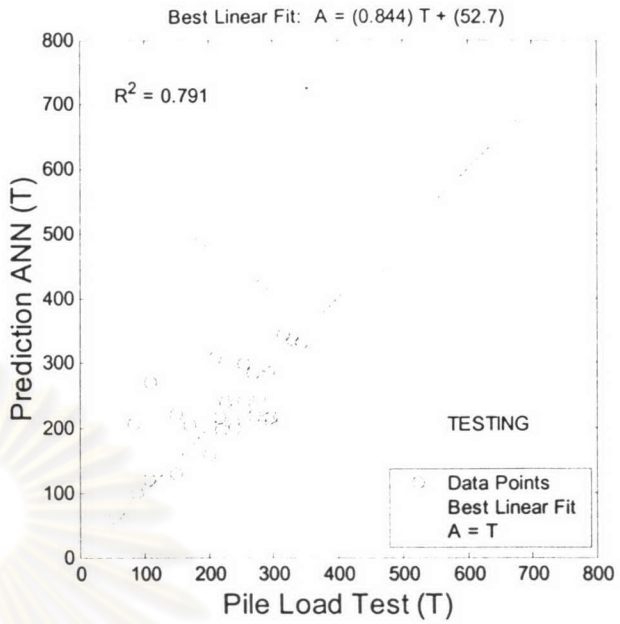
รูปที่ 5.37 Tansig α = 0.90 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



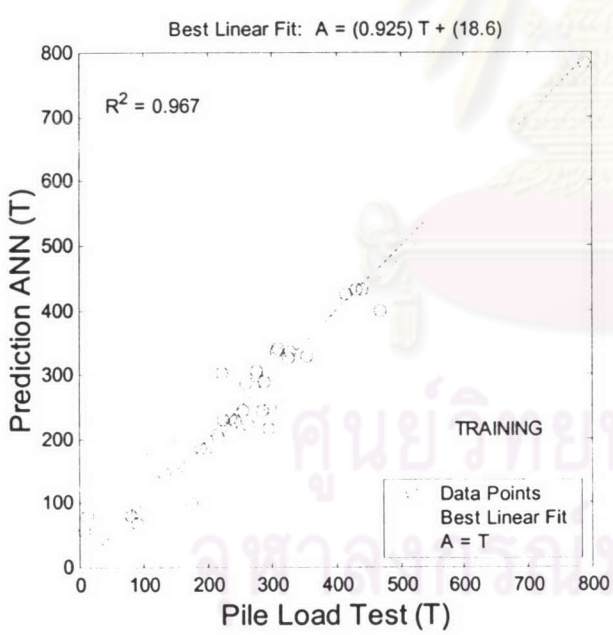


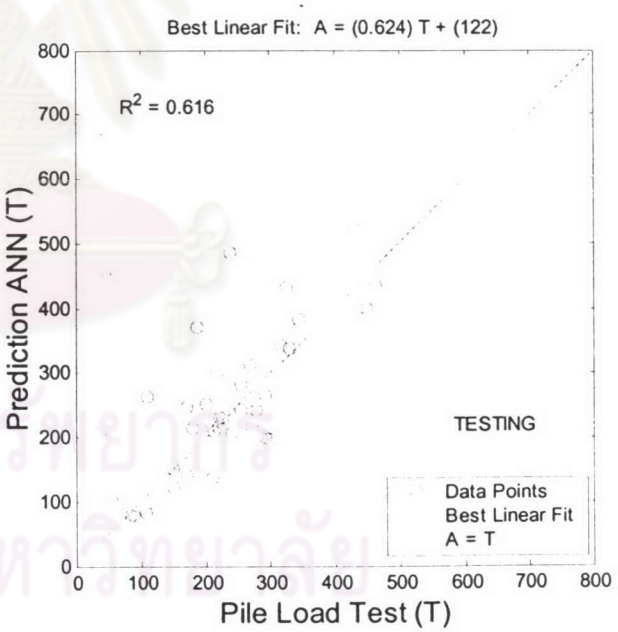
รูปที่ 5.38 Tansig α = 1.00 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



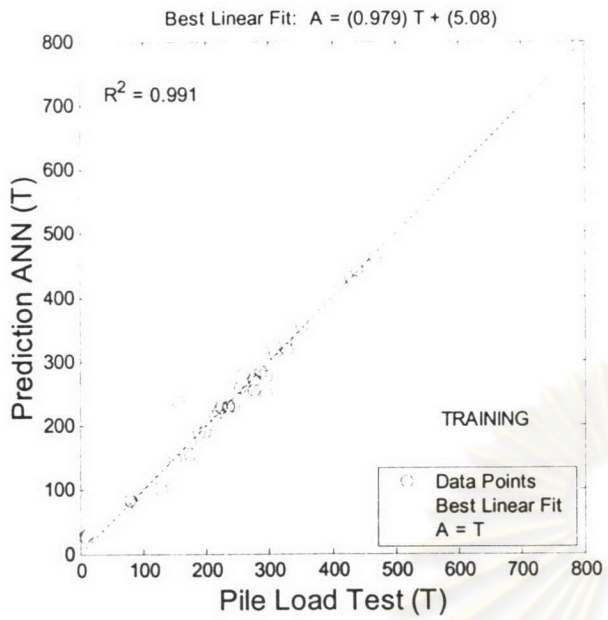


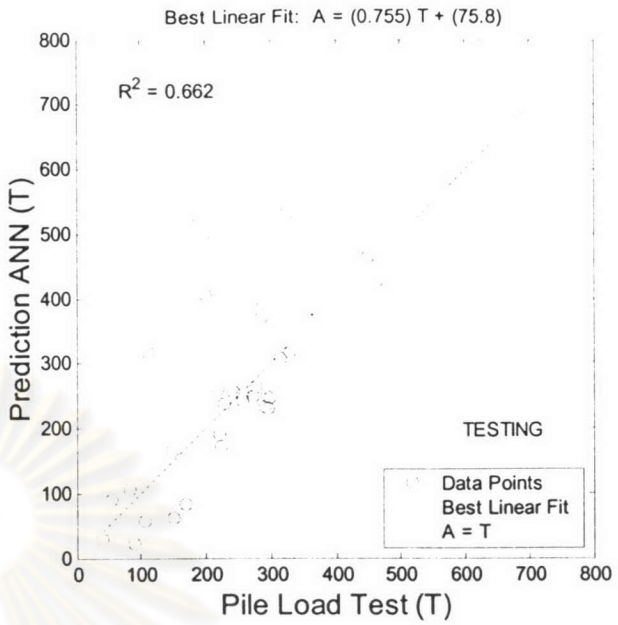
รูปที่ 5.39 Tansig α = 2.00 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)



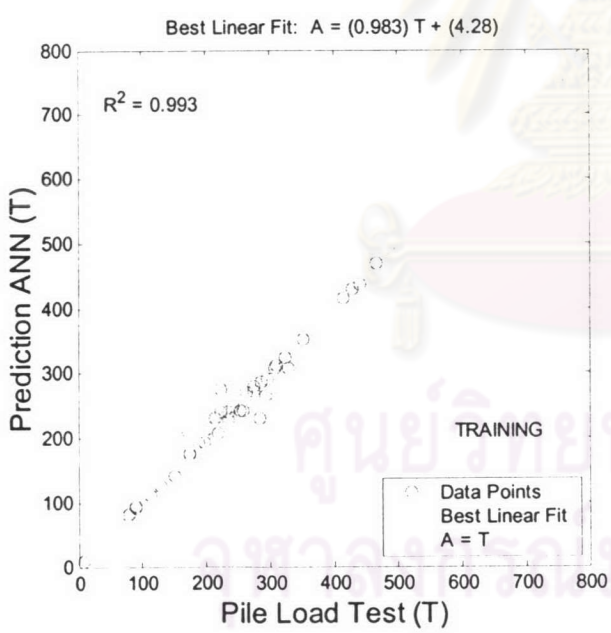


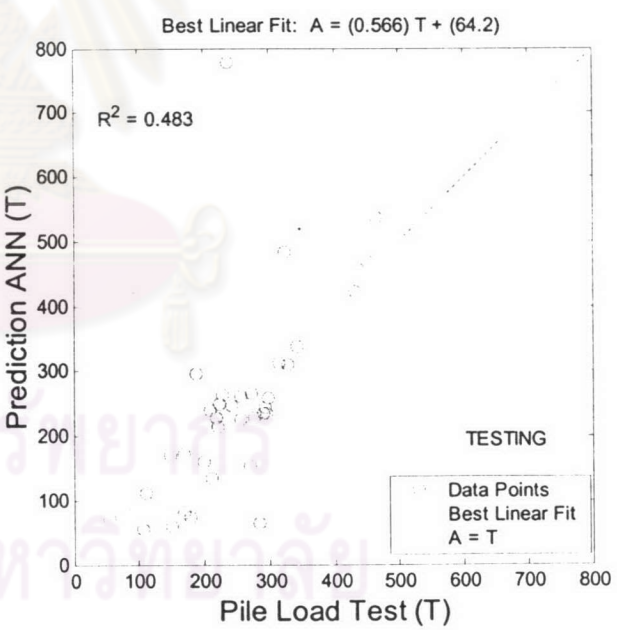
รูปที่ 5.40 Tansig α = 30.00 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)





รูปที่ 5.41 Tansig α = 4.00 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)





รูปที่ 5.42 Tansig α = 10.00 (10–10–1) Epoch = 2000 (Training) และ (Testing)

ตารางที่ 5.14 ปรับเปลี่ยนค่า α ของแอกติเวชันฟังก์ชันของแบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอก

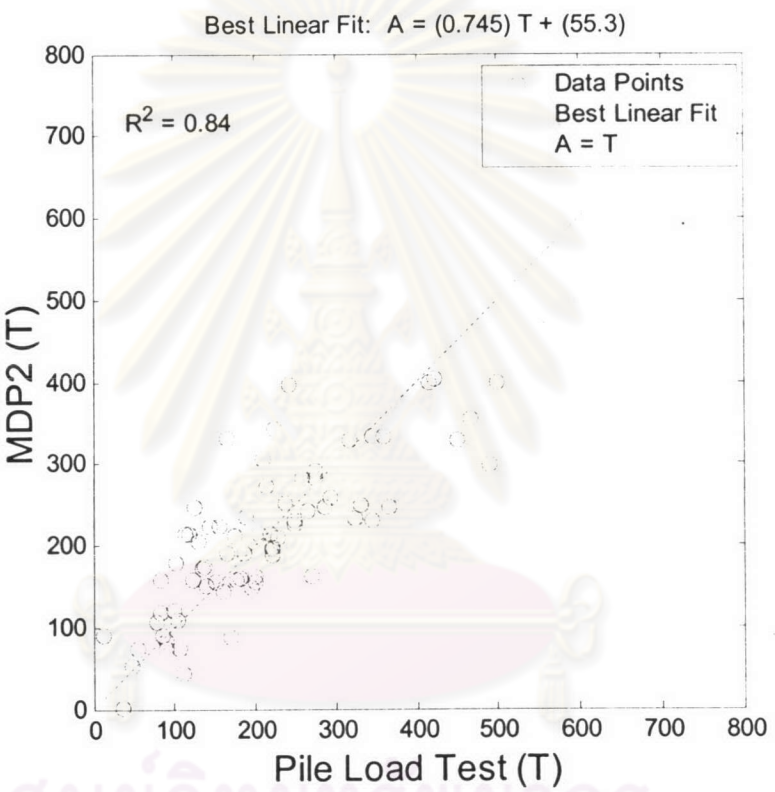
Model	Network Architecture	α	Training (R^2)	Testing (R^2)	Training (RMSE)(t)	Testing (RMSE)(t)
1	Back-Propagation	0.10	0.960	0.823	55.64	131.73
2	Back-Propagation	0.25	0.975	0.810	50.79	125.66
3	Back-Propagation	0.50	0.967	0.809	46.26	115.49
4	Back-Propagation	0.75	0.977	0.746	31.79	145.18
5	Back-Propagation	0.90	0.977	0.788	40.32	120.06
6	Back-Propagation	1	0.971	0.885	35.61	91.66
7	Back-Propagation	2	0.977	0.791	36.11	143.77
8	Back-Propagation	3	0.967	0.616	40.34	186.16
9	Back-Propagation	4	0.991	0.662	48.48	177.68
10	Back-Propagation	10	0.993	0.483	35.76	201.90

แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นนำมาทำการทดสอบสุดท้ายหาแอกติเวชันฟังก์ชันที่ดีที่สุดสำหรับแบบจำลองสำหรับเสาเข็มตอก การทดสอบจะทดสอบโดย เปลี่ยนค่า α ของฟังก์ชัน Hyperbolic tangent โดยมีค่าระหว่าง α = 0.10 จนถึง α = 10 ดังตาราง 5.14 จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนค่าจาก 0.1 จนถึง 1.0 จะเพิ่มความสามารถในการสร้างความสัมพันธ์ได้มากขึ้นตามลำดับโดยดูจากค่าความผิดพลาดที่ลดลงเรื่อยๆ แต่เมื่อเพิ่มค่าต่อไปจาก 1 จนถึง 10 ค่าความผิดพลาดกลับมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นค่า α ที่เหมาะสมและสามารถให้ค่าความผิดพลาดต่ำที่สุด คือ α = 1.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.1 การวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ชั้นซ่อน 10 หน่วยประสาทในแต่ละชั้นซ่อนและ รอบการคำนวณ 2000 รอบ ช่วงแรกทดสอบโดยใช้ ข้อมูลผลทดสอบเสาเข็มทั้งหมด 67 ตัวอย่าง ช่วงที่สองใช้ข้อมูลผลทดสอบเสาเข็มทั้งหมด 67 ตัวอย่าง (ข้อมูลกลุ่มตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ทดสอบด้วย static load test ทั้งหมด)



รูปที่ 5.43 ผลทดสอบ static load test กับ ANN (10-10) ที่ 2000 รอบการคำนวณ กับข้อมูลผลการทดสอบเสาเข็ม 67 ต้น

จากรูปที่ 5.43 เป็นการทดสอบช่วงที่หนึ่ง แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกกับผล static load test จำนวน 67 ตัวอย่าง ผลการทดสอบเห็นได้ชัดว่าแบบจำลองให้ผลที่ค่อนข้างดี โดยมีค่า R^2 = 0.84 และได้ค่า RMSE = 72.461 แสดงถึงความสัมพันธ์และการกระจายของผลค่อนข้างดีมาก

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบแบบจำลองสำหรับหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม	R^2	RMSE (t)
ผลการทดสอบกับเสาเข็ม 67 ต้น	0.840	72.461

5.4.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทกับสูตรเสาเข็มตอก

แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับวิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกแสดงผลลัพธ์ได้ดีในการทดสอบ แบบจำลองสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านเข้าไปสู่ตัวแปรด้านออกได้ โดยไม่จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ของตัวแปรภายในแบบจำลอง ความสามารถของแบบจำลองจะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ ชนิดของตัวแปรด้านเข้าแบบจำลองที่เหมาะสมทั้งจำนวนชั้นซ่อน จำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อน และจำนวนรอบของการคำนวณ และปริมาณข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง ตัวแปรทั้งหมดนี้มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการสร้างแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม เพื่อความมั่นใจและความถูกต้องของความสัมพันธ์ของแบบจำลองก่อนนำไปใช้งานจริง

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอก

วิธีการทดสอบ	R^2	RMSE (t)
Engineering News Formula	0.247	251.73
Janbu's Formula	0.485	163.31
Hiley's Formula	0.641	315.25
MDP1 (ข้อมูล 93 ต้น)	0.786	81.311
MDP1 (ตัดข้อมูล CAPWAP)	0.773	86.827
MDP2 (ตัดข้อมูล CAPWAP)	0.840	72.461

การวิเคราะห์ผลจากการทดสอบทั้งหมดสำหรับเสาเข็มตอกดังเห็นได้จากตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า แบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียมสามารถวิเคราะห์ผลกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มตอกได้ดีกว่าสูตรการตอกเสาเข็มทั่วไป โดยมีทั้ง R^2 ที่สูงที่สุด และค่า RMSE ที่ต่ำที่สุด