



การสร้างแผนที่แผลกดทับด้วยตัวตรวจรู้แบบเพียโซ
Pressure Ulcer Mapping Based on Piezo Transducer

ภราดร เรืองกุล

Paradon Ruangkool

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Electrical Engineering
Prince of Songkla University**

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การสร้างแผนที่แปลกดทับด้วยตัวตรวจรู้แบบเปียโซ

ผู้เขียน นายภราดร เรืองกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พุกฤษัฏธานนท์)

(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนะเดชะ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริงวุฒิ ชูเมือง)

.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรชัย พุกฤษัฏธานนท์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การสร้างแผนที่ผลกดทับด้วยตัวตรวจรู้แบบเปียโซ
ผู้เขียน นายภราดร เรืองกุล
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

ผลกดทับเป็นหนึ่งในปัญหาเรื้อรังที่พบได้บ่อยในผู้ที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ด้วยตนเอง โดยเฉพาะในผู้สูงอายุ เมื่อมีการกดทับผิวหนังที่ทาบบ่มกระดูกเป็นเวลานาน ทำให้ผิวหนังและเนื้อเยื่อรอบๆ ขาดออกซิเจนจากโลหิตมาหล่อเลี้ยง ทำให้เกิดการตายของผิวหนังและเนื้อเยื่อต่างๆ หากเกิดเป็นผลกดทับจะทำให้ยากในการรักษา ผู้ป่วยต้องใช้เวลาในการอยู่ในโรงพยาบาล ผู้ป่วยเสียคุณภาพชีวิต และทำให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายอย่างมาก การป้องกันการเกิดผลกดทับจึงเป็นวิธีที่ดีที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการวัดแรงกดของผิวหนัง เพื่อหาบริเวณที่มีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดแผล และทำการสร้างแผนที่ เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันการเกิดผลกดทับ โดยการประยุกต์ใช้คุณสมบัติของคลื่นเสียงโดยใช้เปียโซอิเล็กทริก สำหรับเปียโซอิเล็กทริกที่เลือกใช้เป็นชนิดแบบควออร์ต ขนาด 2.7 เซนติเมตร นำมาใช้เป็นตัวกำเนิดและตัวรับคลื่นเสียง ความถี่ 3 kHz เพื่อทำการวัดแรงกดของผิวหนัง จำลองการกดทับโดยใช้น้ำหนักหลายค่า วางตำแหน่งที่แตกต่างกันบนแผ่นรองที่เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ขนาด 30x30 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ใช้ในการวางก้อนน้ำหนักจะแบ่งเป็นลักษณะของเมทริกซ์ ก้อนน้ำหนักที่ใช้มีน้ำหนักก้อนละ 86 กรัม บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของคลื่นซึ่งได้แก่ ขนาดแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และการเลื่อนเฟส ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการจำแนกบริเวณตำแหน่งและระดับของแรงกดทับ ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ (back propagation neural network) มี feature input ทั้งหมด 32 features เอาต์พุตได้แก่ ตำแหน่งและขนาดของน้ำหนัก มีชั้นซ่อนทั้งหมด 2 ชั้นซ่อน ใช้ ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบซิกมอยด์แบบลอกลิทึม (Log-Sigmoid) และ ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (Purelin) ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตตามลำดับ จากนั้นนำผลของเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทซึ่งได้แก่ ตำแหน่งและขนาดของน้ำหนักมาสร้างแผนที่ผลกดทับโดยใช้แผนภูมิระดับสีแบบ 3 มิติ เพื่อแสดงให้เห็นบริเวณที่มีการกดทับได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

คำสำคัญ ผลกดทับ การสร้างแผนที่ผลกดทับ เปียโซอิเล็กทริก

Thesis Title Pressure Ulcer Mapping Based on Piezo Transducer
Author Mr. Paradon Ruangkool
Major Program Electrical Engineering
Academic Year 2009

ABSTRACT

Pressure Ulcer is the chronic problem which occurred with patients who cannot move themselves, especially in the elderly. The pressing of the skin over a bony can lead to the pressure or pressure in combination with shear and friction from constant pressure. It causes the lack of oxygen from blood to nourish the skin and tissue and incurs to injure. Patients must take a long time in hospital and loss of significant costs for treatment. Hence, this thesis studies the measuring of the skin compression by evaluating acoustic wave characteristics in order to prevent pressure ulcer. The proposed method was employed on commercially available piezoelectric transducer, i.e., the type of Quartz with size 2.7 cm operating at 3-kHz acoustic wave generators and receivers. A variety of different weights and positions on the cushion were applied to simulate the loading skin pressures. Substrate is a Printed Circuit Board (PCB) with size 30x30 cm. Each testing object weights 86 grams. The propagated acoustic wave properties were recorded and processed. Back propagation artificial neural network was performed to classify the location and level of the interface pressures. The neural network structure consists of 32 input nodes and 2 hidden layers. The log sigmoid and linear are used as transfer functions. The output from the neural network includes location and size of weight, which can be mapped into a color-shaded image.

Keywords: Pressure Mapping, Pressure Ulcer, Piezoelectric

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	11
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	11
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	12
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
2. ทฤษฎีและหลักการ.....	15
2.1 แพลกคัทป.....	15
2.2 วัสดุเปียโซอิเล็กทริก.....	19
2.3 ตัวตรวจรู้คลื่นเสียง.....	21
2.4 คลื่น (Wave)	21
2.5 การสร้างแผนที่การกคัทป	26
2.6 โครงข่ายประสาทเทียม.....	26
2.7 หลักการของงานวิจัย.....	35
3. วัสดุ อุปกรณ์และการทดลอง.....	38
3.1 การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริก นำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของคลื่นเสียง (acoustic wave)	38
3.2 การทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักโดย ตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริก.....	42
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	44
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
	(6)

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
3.5 ความไวของโครงข่ายประสาทเทียม.....	47
3.6 การศึกษาคุณสมบัติของตัวตรวจรู้	47
3.7 การทดลองวางก้อนน้ำหนักที่ตำแหน่งระหว่างช่วงของเมทริกซ์	47
3.8 อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัยและมาตรการในการแก้ไข.....	48
4. ผลการทดลอง	
4.1 ผลการทดลองการศึกษาคูณลักษณะเบื้องต้นของตัวตรวจรู้แบบเปียโซ- อิล็กทริกนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของคลื่นเสียง (acoustic wave)	49
4.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักโดยตัวตรวจรู้ แบบเปียโซอิล็กทริก.....	53
4.3 ผลการทดลองเมทริกซ์ขนาด 6x6	69
4.4 ผลการทดลองความไวของโครงข่ายประสาทเทียม.....	78
4.5 ผลการศึกษาคูณสมบัติของตัวตรวจรู้	80
4.6 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลการวางก้อนน้ำหนักระหว่างช่วง	81
4.7 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลเมทริกซ์ 3x3 นำมาทดสอบกับ เมทริกซ์ 6x6.....	83
5. สรุปและวิจารณ์	84
5.1 สรุปผลและวิจารณ์	84
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
บรรณานุกรม.....	88
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก.....	90
ภาคผนวก ข.....	109
ประวัติผู้เขียน.....	172

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1-1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวตรวจรู้.....	4
2-1 จำนวนอุบัติการณ์การเกิดแผลกดทับ.....	17
4-1 สรุปผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักของเมทริกซ์ 3x3 เมื่อดวง น้ำหนัก 1 ตำแหน่ง.....	54
4-2 สรุปผลการปรับค่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของเมทริกซ์ 3x3 เมื่อดวงน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง.....	54
4-3 ตัวอย่างสรุปผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักของเมทริกซ์ 3x3 แบ่งย่อยเป็น 2x2 เมื่อดวงน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง.....	72
4-4 ตัวอย่างสรุปผลการปรับค่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมเมื่อดวง น้ำหนัก 1 ตำแหน่ง.....	73

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า	
1-1	ลักษณะของ Pressure Sensitive Film.....	2
1-2	ลักษณะการจัดวางตัวตรวจรู้ Electro-pneumatic cells.....	3
1-3	ตัวอย่างผลการทดลองเมื่อทำการสร้างแผนที่การกดทับ.....	4
1-4	การเปรียบเทียบผลการกดทับเมื่อกดทับโดยตรงกับใช้นวมบาง ๆ รอง.....	5
1-5	FSA Pressure mapping system.....	7
1-6	ผลการทดลองจากการสร้างแผนที่การกดทับเมื่อไม่มีเบาะรองนั่ง.....	8
1-7	ผลการทดลองจากการสร้างแผนที่การกดทับเมื่อมีเบาะรองนั่ง.....	8
1-8	การจัดวาง Pressure Sensor.....	9
1-9	การติดตั้งตัวกำเนิดคลื่นบนบริเวณผิวหนัง.....	10
2-1	ผลกระทบที่เกิดจากการกดทับบริเวณปุ่มกระดูก.....	14
2-2	บริเวณที่อาจเกิดแผลกดทับ.....	15
2-3	อิริยาบถกับบริเวณที่มีการกดทับ.....	15
2-4	อุปกรณ์ป้องกันการเกิดแผลกดทับ.....	18
2-5	โครงสร้างของเปียโซอิเล็กทริก.....	18
2-6	ปรากฏการณ์ Piezoelectricity.....	19
2-7	การสะท้อนของคลื่น (ก) คลื่นผลลัพท์จากคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน ที่ตำแหน่งเฟสเสริมกัน (ข) คลื่นผลลัพท์จากคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนที่ตำแหน่ง เฟสตรงข้ามกัน	22
2-8	รูปแบบของการสะท้อนกลับ.....	23
2-9	รูปแบบของคลื่นนิ่ง.....	24
2-10	(a) นิเวรอนที่มีอินพุตเพียงอินพุตเดียว โดยไม่นำค่าไบแอสมาคิด (b) นิเวรอนที่มี อินพุตเพียงอินพุตเดียว โดยนำค่าไบแอสมาคิด.....	26
2-11	นิเวรอนที่มีหลายอินพุต.....	27
2-12	นิเวรอนที่มีอินพุต R อินพุตแบบย่อ.....	28
2-13	โครงข่ายแบบชั้นเดียวที่มีนิเวรอนจำนวน S นิเวรอน.....	29
2-14	โครงข่ายแบบชั้นเดียวที่มีนิเวรอนจำนวน S นิเวรอนแบบย่อ.....	30
2-15	โครงข่ายแบบ 3 ชั้น.....	30

ภาพประกอบ (ต่อ)		หน้า
2-16	โครงข่ายแบบ 3 ชั้นแบบย่อ.....	31
2-17	โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ.....	32
2-18	ลักษณะของเปียโซอิเล็กทริกขนาดต่างๆ.....	35
3-1	วงจรการทดลองผลตอบสนองของเปียโซ.....	38
3-2	ลักษณะการเลื่อนเปียโซอิเล็กทริกตัวรับออกจากตัวส่ง.....	39
3-3	การจัดวางชุดทดลองคุณสมบัติความเหมือนและความต่างของเปียโซ.....	40
3-4	การทดลองลักษณะความเหมือนและความต่างของเปียโซอิเล็กทริก.....	40
3-5	ชุดทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	41
3-6	การจัดวางตัวตรวจรู้เปียโซอิเล็กทริกบนวัสดุตัวนำขนาดของเมทริกซ์ 3x3.....	42
3-7	การจัดวางตัวตรวจรู้เปียโซอิเล็กทริกบนวัสดุตัวนำขนาดของเมทริกซ์ 6x6.....	43
3-8	การแบ่งย่อยเมทริกซ์เพื่อทำการฝึกและทดสอบ.....	45
3-9	การจัดวางตัวตรวจรู้เปียโซอิเล็กทริกบนวัสดุตัวนำโดยวางน้ำหนักระหว่างช่วงเมทริกซ์.....	46
4-1	ตัวอย่างรูปสัญญาณที่ได้การวัดเมื่อเลื่อนเปียโซอิเล็กทริกตัวรับ.....	48
4-2	กราฟผลตอบสนองต่อระยะทางและน้ำหนักของเปียโซขนาด 2 เซนติเมตร.....	49
4-3	กราฟผลตอบสนองต่อระยะทางและน้ำหนักของเปียโซขนาด 2.7 เซนติเมตร.....	50
4-4	กราฟผลตอบสนองต่อระยะทางและน้ำหนักของเปียโซขนาด 5 เซนติเมตร.....	50
4-5	ผลการทดลองลักษณะความเหมือนและความต่างเปียโซอิเล็กทริก ภาพ (ก) เปียโซอิเล็กทริกตัวที่ 2 กับ 4 ภาพ (ข) เปียโซอิเล็กทริกตัวที่ 1 กับ 3	51
4-6	โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกรางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง.....	52
4-7	ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ.....	53
4-8	ค่าเอาต์พุตของระบบที่ได้จากการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาท ภาพ (ก) และ (ค) เป็นข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทของตำแหน่งเมทริกซ์ A ภาพ (ข) และ (ง) เป็นข้อมูลที่ผ่านการปิดเศษ.....	55
4-9	ค่าเอาต์พุตของระบบที่ได้จากการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาท ภาพ (ก) และ (ค) เป็นข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทของตำแหน่งเมทริกซ์ E ภาพ (ข) และ (ง) เป็นข้อมูลที่ผ่านการปิดเศษ.....	56
4-10	ผลการนำเอาต์พุตมาทำเป็นภาพสีแบบ 3 มิติ ภาพ (บน) ผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ A ภาพ (ล่าง) ผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ E.....	57

ภาพประกอบ (ต่อ)	หน้า
4-11 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง วางน้ำหนักเท่ากัน.....	58
4-12 กราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง โดยวางกอนน้ำหนักเท่าๆกัน.....	59
4-13 ผลการวางน้ำหนักเท่ากันครั้งละ 2 ตำแหน่ง (ซ้าย) ผลจากการวางน้ำหนัก 1 กอน บนตำแหน่งเมทริกซ์ A และ เมทริกซ์ B (ขวา) ผลจากการวางน้ำหนัก 1 กอน บนตำแหน่ง เมทริกซ์ A และ เมทริกซ์ C.....	60
4-14 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง วางน้ำหนักไม่เท่ากัน.....	61
4-15 กราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง โดยวาง กอนน้ำหนักขนาดต่างกัน.....	62
4-16 ผลการวางน้ำหนักต่างกันครั้งละ 2 ตำแหน่ง (ซ้าย) ผลจากการวางน้ำหนัก 1 กอนบน ตำแหน่งเมทริกซ์ A และ วาง 2 กอนบนตำแหน่งเมทริกซ์ C (ขวา) ผลจากการวาง น้ำหนัก 3 กอนบน ตำแหน่งเมทริกซ์ A และ วาง 2 กอนบนตำแหน่งเมทริกซ์ I.....	63
4-17 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง วางน้ำหนักเท่ากัน.....	63
4-18 กราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง โดยวางกอนน้ำหนักแต่ละตำแหน่งเท่ากัน.....	64
4-19 ผลการวางน้ำหนักเท่ากันบนเมทริกซ์ 3 ตำแหน่ง.....	65
4-20 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง วางน้ำหนักเท่ากัน.....	66
4-21 กราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง โดยวางจำนวนกอนน้ำหนักแต่ละตำแหน่งที่ต่างกัน.....	67
4-22 ผลการวางน้ำหนักบนเมทริกซ์ 3 ตำแหน่ง โดยวางกอนน้ำหนัก.....	68
4-23 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง.....	69
4-24 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง ของเมทริกซ์ที่ทำการแบ่งย่อยเป็น 2x2.....	70
4-25 ตัวอย่างผลจากการนำเอาดีพูตมาสร้างแผนที่การกดทับ	71
4-26 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนักหลายตำแหน่ง.....	74

ภาพประกอบ (ต่อ)		หน้า
4-27	ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนักหลายตำแหน่งพร้อมกัน ของเมทริกซ์ที่ทำการแบ่งย่อยเป็น 2x2.....	75
4.28	ผลจากการนำเอาดีพุดมาสร้างแผนที่การกดทับ	76
4.29	Sensitivity of Neural Networks ของเมทริกซ์ 3x3 วางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง.....	77
4.30	Sensitivity of Neural Networks ของเมทริกซ์ 3x3 วางน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง.....	77
4-31	Sensitivity of neural networks ของโครงข่ายประสาทที่ทำการฝึกด้วยข้อมูลเมทริกซ์ขนาด 6x6	78
4-32	ตัวอย่างผลการทดลองการทำซ้ำ.....	79
4-33	ตัวอย่างผลการทดสอบ Hysteresis.....	80
4-34	ตัวอย่าง ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลการวางก้อนน้ำหนักระหว่างช่วง.....	81
4-35	ตัวอย่างผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลเมทริกซ์ 3x3 นำมาทดสอบกับเมทริกซ์ 6x6.....	82
5-1	การเปรียบเทียบจำนวนการใช้ตัวตรวจรู้.....	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

แผลกดทับเป็นหนึ่งในปัญหาเรื้อรังที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ด้วยตนเอง เมื่อมีการกดทับผิวหนังที่ทับกับปุ่มกระดูกเป็นเวลานาน ทำให้ผิวหนังและเนื้อเยื่อรอบๆขาดออกซิเจนจากโลหิตมาหล่อเลี้ยงไม่ได้ จึงมีผลให้เกิดการตายของผิวหนังและเนื้อเยื่อต่างๆ กลุ่มผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดแผลกดทับได้แก่ ผู้ป่วยสูงอายุไม่ว่าจะเป็นความเจ็บป่วยระยะเฉียบพลันหรือเรื้อรัง ผู้ป่วยทางระบบประสาทเช่น โรคหลอดเลือดสมอง โรคสมองเสื่อมระยะรุนแรง ผู้ป่วยที่มีการบาดเจ็บของไขสันหลัง ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดทางออร์โธปิดิกส์ ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาในหอผู้ป่วยวิกฤต และผู้ที่อยู่ในระยะสุดท้ายของชีวิต หากมีการกดทับจนเกิดเป็นแผลนั้นจะยากในการรักษาให้หายเป็นปกติ ผู้ป่วยต้องใช้เวลาในการอยู่ในโรงพยาบาล หรือแม้จะได้รับการจำหน่ายให้กลับบ้าน ก็ต้องมีบุคลากรทางการแพทย์ไปดูแลที่บ้าน ทำให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง จากการศึกษาในโรงพยาบาล 265 แห่งพบความชุกของแผลกดทับร้อยละ 10.1 ร้อยละ 74 เป็นแผลชนิดตื้นระยะที่ 1-2 ร้อยละ 95 พบที่ส่วนล่างของลำตัว ตำแหน่งที่พบมากที่สุดคือที่ ก้นกบ (ร้อยละ 36) และ ส้นเท้า (ร้อยละ 30) ดังนั้นการป้องกันการเกิดแผลกดทับจึงเป็นวิธีที่ดีที่สุด

วิธีการป้องกันการเกิดแผลกดทับมีหลายวิธีด้วยกันได้แก่ การพลิกตัว การจัดทำ การจัดให้มีการเคลื่อนไหวโดยผู้ดูแล ภาวะโภชนาการ และการใช้อุปกรณ์เพื่อรองรับแรงกดที่จุดต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น alternating pressure air mattress, air-fluidized therapy พบว่าอุปกรณ์เหล่านี้สามารถลดอุบัติการณ์ของแผลกดทับได้อย่างมีนัยสำคัญถึงร้อยละ 70

นอกจากจะใช้อุปกรณ์ในการช่วยลดอุบัติการณ์แล้วนั้น การป้องกันการเกิดแผลกดทับในปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีการวัดแรงกดและจำแนกบริเวณที่มีการกดทับเพื่อหาแนวทางการป้องกันกันอย่างแพร่หลาย เทคโนโลยีโดยทั่วไปส่วนใหญ่ใช้ตัวตรวจรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน และ ค่าเก็บประจุ แต่ตัวตรวจรู้เหล่านี้มีข้อจำกัด เช่น ข้อจำกัดทางด้านราคา คือมีราคาตามท้องตลาดที่ค่อนข้างสูง และข้อจำกัดของจำนวนตัวตรวจรู้ต่อพื้นที่ คือต้องเพิ่มตัวตรวจรู้จำนวนมากในการจัดวางบนพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการศึกษาการวัดแรงกดของผิวหนัง เพื่อหาบริเวณที่มีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดแผล และทำการสร้างแผนที่ เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันการเกิดแผลกดทับ โดยการประยุกต์ใช้คุณสมบัติของคลื่นเสียงโดยใช้เปียโซอิเล็กทริกเพื่อนำมาตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนัก ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการจำแนก

บริเวณตำแหน่งและระดับของแรงกดทับ จากนั้นจะสร้างแผนที่แสดงการกดทับโดยใช้แผนภูมิระดับสี เพื่อแสดงให้เห็นบริเวณที่มีการกดทับได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

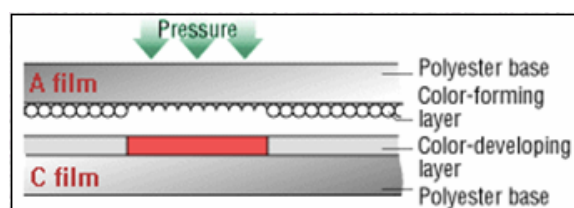
1.2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

องค์ประกอบของการตรวจรู้ตำแหน่งและแรงกดที่สำคัญคือ ส่วนของตัวตรวจรู้ที่นำมาใช้ตรวจรู้โดยทีมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้รับการตีพิมพ์ได้แก่

1.2.1 A Practical application of pressure-sensitive film for preventing pressure sores.[1]

บทความนี้เขียนโดย H. Kuno , M. Nambu, T. Yoshimura, T. Ando, I. Saito, K. Nakajima', and T. Tamura ตีพิมพ์ใน Proceedings of the 22nd Annual EMBS International Conference, July 23-28, 2000.

บทความนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจรู้ตำแหน่งการกดทับของผิวหนังที่มีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดเป็นแผลกดทับ โดยการประยุกต์ใช้ Pressure Sensitive Film เป็นตัวตรวจรู้บริเวณตำแหน่งของของน้ำหนักที่มีการกดทับ ทำการทดสอบกับบริเวณสะโพกของผู้ป่วยจากการนั่งสำหรับผู้ป่วยที่นั่งเก้าอี้ล้อเลื่อน (Wheelchair) วิธีการคือทำการวางแผ่นฟิล์มให้สัมผัสโดยตรงกับสะโพกผู้ป่วย เพื่อที่จะประเมินปริมาณการกดทับของน้ำหนักบริเวณของสะโพก การทดสอบขนาดของแรงจากการกดทับจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่าง Wheelchair ทั่วไป กับที่มีเบาะรองเพื่อดูความแตกต่าง จากการทดสอบเมื่อมีการกดทับบริเวณแผ่นฟิล์ม



ภาพประกอบ 1-1 ลักษณะของ Pressure Sensitive Film [1]

เมื่อมีแรงกดบนแผ่นฟิล์มแผ่นฟิล์มก็จะมีการเปลี่ยนสีไปตามแรงกด หลังจากนั้นจะได้แผ่นฟิล์มที่มีลักษณะที่มีสีที่แตกต่างกัน นำแผ่นฟิล์มที่ได้มาทำการสแกนให้เป็นภาพ แล้วปรับเป็นภาพที่ความละเอียด 50 dpi ภาพที่ได้จะนำมาทำการปรับเป็นภาพโมเสสเพื่อให้เห็นผลของการกดทับอย่างชัดเจน ทำการแสดงผลเป็น pressure histogram ข้อดีของตัวตรวจรู้ ซึ่งในที่นี้ก็คือ Pressure Sensitive Film คือไม่สามารถที่จะวัดในพื้นที่กว้างๆได้ เนื่องจากแผ่นฟิล์มมีขนาดที่จำกัด

1.2.2 Active interface pressure sensor integrated into a seat [2]

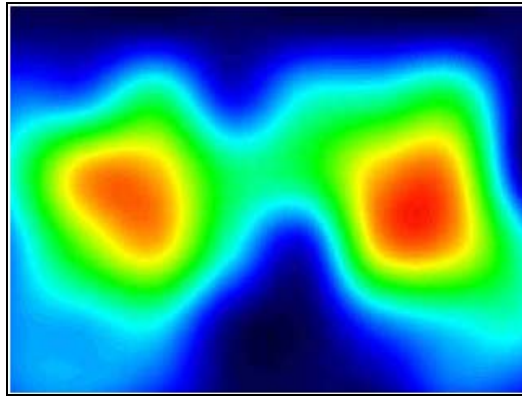
บทความนี้เขียนโดย R. Meffre, Member, IEEE, C. Gehin, Member, IEEE, A. Dittmar, Member, IEEE ตีพิมพ์ใน Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS Cité Internationale, Lyon, France August 23-26, 2007.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแผนที่การกดทับของผิวหนังบริเวณสะโพกของผู้ป่วยในท่านั่งกับพื้นผิวสัมผัสบนเก้าอี้ เพื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหาทางป้องกันการเกิดแผลกดทับ ในการทดลองได้ใช้ตัวตรวจรู้ชนิด Electro-pneumatic cells มาเป็นตัววัดค่าความดันที่ได้เมื่อมีการกดทับ ใช้ตัวตรวจรู้ทั้งหมด 64 ตัว วางเรียงกันเป็นเมทริกซ์ ขนาด 8x8 ทั่วบริเวณที่นั่ง



ภาพประกอบ 1-2 ลักษณะการจัดวางตัวตรวจรู้ Electro-pneumatic cells [2]

เมื่อมีการนั่งกดทับบริเวณเซ็นเซอร์ก็จะได้ค่าความดันที่แตกต่างกันไปของเซ็นเซอร์แต่ละตำแหน่ง นำข้อมูลที่ได้จากการวัดได้จากตัวตรวจรู้มาทำการสร้างแผนที่การกดทับแสดงผลเป็นรูปภาพโดยการใช้วิธี Interpolation เพื่อจะได้เห็นบริเวณที่มีอัตราเสี่ยงที่อาจจะเกิดแผลกดทับได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



ภาพประกอบ 1-3 ตัวอย่างผลการทดลองเมื่อทำการสร้างแผนที่การกดทับ[2]

1.2.3 Pressure Mapping System for Physiological Measurement. [3]

บทความนี้เขียนโดย Satu Kärki and Jukka Leikkala ตีพิมพ์ใน XVIII IMEKO

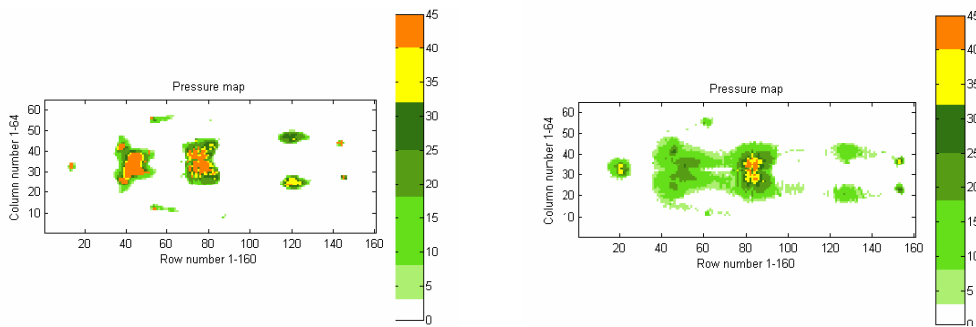
WORLD CONGRESS Metrology for a Sustainable Development September, 17 – 22, 2006, Rio de Janeiro, Brazil

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแผนที่แผลกดทับโดยการทดสอบตัวตรวจรู้ที่มีจำหน่ายสำหรับเพื่อทดสอบการกดทับโดยเฉพาะ เป็นตัวตรวจรู้สำเร็จรูปของ Xsensor pressure mapping System ที่มีคุณสมบัติเป็น Capacitive มาทำการทดสอบและศึกษาคุณสมบัติของตัวตรวจรู้ ซึ่งได้แก่ Repeatability, sensitivity, temperature, sensitivity and hysteresis โดยก่อนทดสอบจะทำการการเปรียบเทียบคุณสมบัติเบื้องต้นกับตัวตรวจรู้ชนิดอื่นที่มีการใช้กันอยู่ในเทคโนโลยีการสร้างแผนที่แผลกดทับ ได้แก่ Tekscan เป็นตัวตรวจรู้ชนิด Resistive, Vista medical คือ Piezoresistive

ตารางที่ 1-1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวตรวจรู้

Property	Tekscan	Vista Medical	Xsensor
Sensor type	resistive	piezoresistive	capacitive
Sensor array size (cmxcm)	196 x 85	192 x 67	203 x 81
Number of sensors	16128	1024	10240
Pressure range (mmHg)	0-250	0-200	0-220
Temperature range (°C)	-9...+60	+15...+32	0...+40

การทดลองจะให้บุคคลนอนราบบนแผ่น Xsensor โดยจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างกรนอนราบโดยตรงกับแผ่นตัวตรวจรู้กับการนอนราบเมื่อมีแผ่นรองบาง ๆ วางบนตัวตรวจรู้เพื่อพิจารณาความแตกต่างของผลที่ได้ ทำการเก็บข้อมูลที่วัดได้แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB ในการสร้างแผนที่แสดงเป็นลักษณะภาพ



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 1-4 การเปรียบเทียบผลการกดทับเมื่อกดทับโดยตรงกับใช้นวมบาง ๆ รอง
ภาพประกอบ 1-4 (ก) กดทับโดยตรงกับแผ่นทดสอบ ภาพประกอบ 1-4 (ข) มีนวมบางๆรองบน
แผ่นทดสอบ [3]

1.2.4 เครื่องวัดแรงกดฝ่าเท้าแบบไร้สาย (Wireless Foot Scan System)

บทความนี้เขียนโดย คนพ ราชภัณฑารักษ์ วีระศักดิ์ นิชยพันธ์ และ บุญช่วย
ทรัพย์มันชัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายน้ำหนักบนฝ่าเท้าจะช่วยให้แพทย์สามารถวินิจฉัยลักษณะรูปเท้าที่ผิดปกติของผู้ป่วยได้ รวมถึงการหาสมุหฐานของโรคที่เกี่ยวข้องเพื่อประโยชน์ในการหาแนวทางรักษาต่อไปโดยที่ตัวเครื่องจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนตรวจจับและส่วนระบบไร้สาย ส่วนตรวจจับใช้ตัวตรวจรู้วัดแรงกดอาศัยหลักการของ Piezoresistive Effect ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ ที่ความต้านทานของวัตถุเปลี่ยนแปลงไป ตามแรงที่กระทำ งานวิจัยนี้ใช้ตัวตรวจรู้ของ Flexiforce จำนวน 8 ตัว โดยจะติดตั้งได้แผ่นรองเท้าในรองเท้าตามจุดต่าง ๆ 8 จุดทั่วแผ่น เพื่อทำการวัดการกระจายน้ำหนัก ในส่วนที่สำคัญ ส่วนระบบไร้สายที่ประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับ มีหน้าที่ส่งสัญญาณที่ได้ผ่านระบบไร้สายเพื่อนำไปแสดงผล

1.2.5 Piezoelectric Sensor for Foot Pressure Measurement. [4]

บทความนี้เขียนโดย Sudhakar Bhat, John G. Webster, Willis J. Tompkins, and Jacqueline J. Wertsch ตีพิมพ์ใน IEEE Eng. Med. Bio. Society. 11TH Annual International Conference, 1989.

บทความนี้ได้ออกแบบการวัดแรงกดบริเวณใต้ฝ่าเท้า โดยใช้ตัวตรวจรู้แบบ Piezo film thickness ติดตั้งไว้ที่รองเท้า ประโยชน์เพื่อการตรวจรู้การกดหรือแรงกดบริเวณเท้าที่อาจมีการรู้ความรู้สึกสำหรับผู้ป่วย เช่นผู้ป่วยโรคเบาหวานซึ่งหากมีการกดโดยไม่มีความรู้สึกเป็นระยะเวลานานอาจจะทำให้เกิดเป็นแผลกดทับได้ ซึ่งการทดสอบเห็นว่าเซ็นเซอร์มีความเป็นเชิงเส้นที่ดี การตรวจรู้จะพิจารณาในขณะที่ผู้ป่วยเดินหรือวิ่ง การจัดวางตัวตรวจรู้จะทำการจัดวางแบบเมทริกซ์ แต่ผลที่ได้จากการตรวจรู้จะมีแรงดันที่ต่ำจึงต้องมีส่วนของวงจรขยายสัญญาณ ปัญหาที่พบก็คือตัวตรวจรู้แบบเพียโซจะตอบสนองได้ดีต่อค่าพลวัต แต่ก็ยังมีข้อดีคือเพียโซมีรูปร่างที่บาง ราคาถูก มีความเป็นเชิงเส้น ไม่มีผลกับฝุ่นหรือความชื้น

1.2.6 Development of Bedsore Prevention System Base on LabVIEW. [5]

บทความนี้เขียนโดย Hao Xiaoxia, Zhou Runjing ตีพิมพ์ใน Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology and Application in Biomedicine, in conjunction with The 2nd International Symposium & Summer School on Biomedical and Health Engineering Shenzhen, China, May 30-31, 2008

บทความนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องช่วยบรรเทาและป้องกันการเกิดแผลกดทับสำหรับผู้ป่วยที่นอนบนเตียงที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวตัวเองได้ หลักการของอุปกรณ์ชนิดนี้คือ การนำตรวจรู้ชนิดสเตรนเกจซึ่งใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าติดตั้งพร้อมกับชุดวงจรขยายเนื่องจากสัญญาณที่ได้จากตัวสเตรนเกจเป็นสัญญาณที่มีค่าน้อย นำมาคิดตั้งบนที่นอนเพื่อทำการตรวจรู้การเคลื่อนไหวของผู้ป่วยเมื่อได้ค่าของแรงดันในแต่ละตำแหน่งแล้วทำการบันทึกค่าและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยที่โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ว่าตำแหน่งใดที่จำเป็นที่จะต้องนวดผ่อนคลายกล้ามเนื้อ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดัน หากมีการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันที่ตัวตรวจรู้ตำแหน่งใดแล้วระบบก็จะทำการจำว่าตำแหน่งนั้นมีการเคลื่อนไหวแล้วไม่จำเป็นต้องมีการนวดผ่อนคลาย ในทางกลับกันหากตำแหน่งที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันจากตัวตรวจรู้ก็แสดงว่าผู้ป่วยไม่มีการเคลื่อนไหวหลังจากที่รู้ตำแหน่งแล้วระบบจะทำการสั่งให้ปั๊มลมทำการปรับเบาะลมเพื่อนวดผู้ป่วย

1.2.7 Evaluation of discomfort using real-time Measurement of whole body vibration and seat pressure distribution while driving trucks [6]

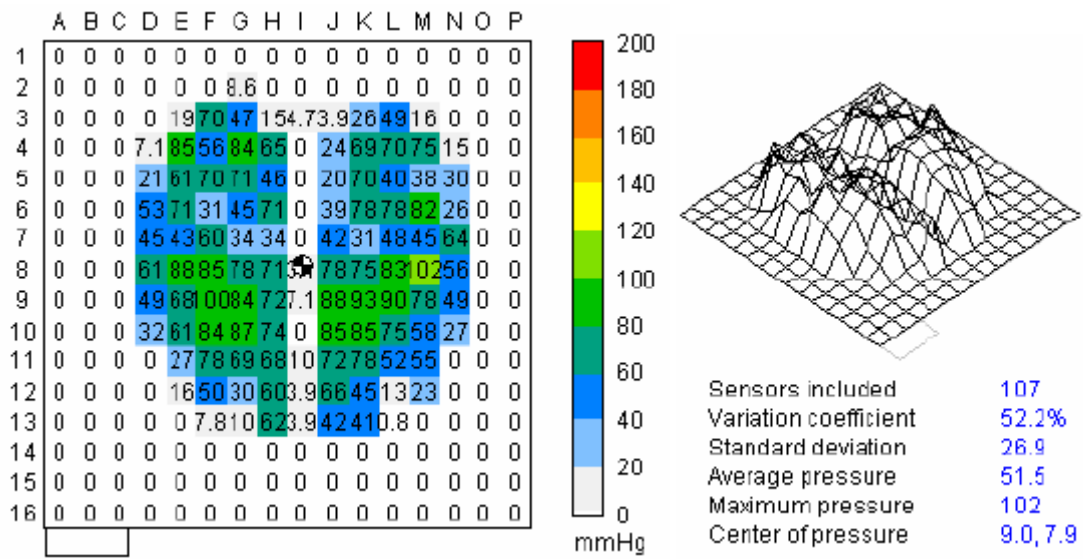
วิทยานิพนธ์นี้เขียนโดย Anna Johansson, Linda Nilsson ตีพิมพ์ใน Master's Thesis in Ergonomic design and production at Luleo University of technology performed at Volvo technology Corporation. Department of Human Work Sciences division of Sound and Vibration.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคือการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยการวัดแบบ Real time โดยทำการวัดการเคลื่อนไหวของร่างกายทั้งหมด และวัดการกระจายของแรงในการกดทับของร่างกายของคนขับรถบรรทุกที่นั่งเป็นระยะเวลาสั้น ในการวัดการกดทับจากการนั่งจะทำการใช้ตัวตรวจรู้ของ FSA Pressure mapping system ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างร่างกายกับพื้นผิวสัมผัส ทำการวางไว้ที่หลังและที่นั่งของคนขับ

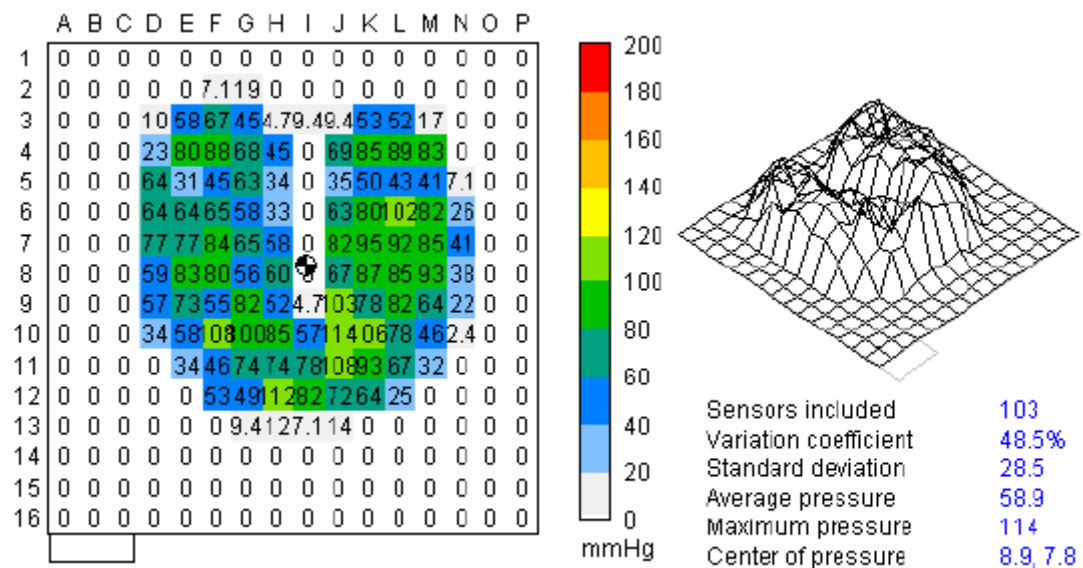


ภาพประกอบ 1-5 FSA Pressure mapping system [6]

ลักษณะของตัวตรวจรู้แบบ FSA Pressure mapping system เป็น piezo resistive จัดวางเป็นลักษณะของเมทริกซ์ ขนาด 16x16 ใช้ piezo resistive ทั้งหมด 256 ตัว มีความหนา 0.36 มิลลิเมตร การทดสอบมีการเปรียบเทียบกันระหว่างที่นั่งแบบไม่มีเบาะรองกับที่นั่งที่มีเบาะรองทดสอบโดยการนั่งเป็นเวลา 1 นาที ในแต่ละส่วน



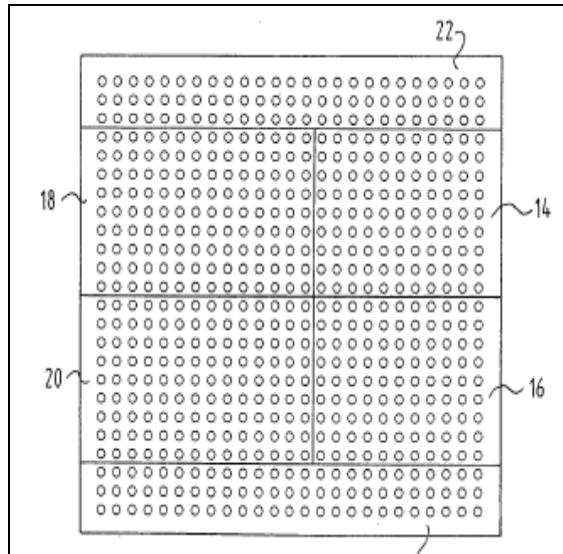
ภาพประกอบ 1-6 ผลการทดลองจากการสร้างแผนที่การกดทับเมื่อไม่มีเบาะรองนั่ง [6]



ภาพประกอบ 1-7 ผลการทดลองจากการสร้างแผนที่การกดทับเมื่อมีเบาะรองนั่ง [6]

1.2.8 Method for Analyzing Support

งานวิจัยนี้เขียนโดย Grady Vanden Nieuwboer, Johanna ตีพิมพ์ในข้อมูลสิทธิบัตร จากเว็บไซต์ www.wipo.int เมื่อปี 2005 งานวิจัยได้ทำการศึกษาการวัดแรงกดทับบริเวณผิวหนังบน ร่างกายกับพื้นผิวสัมผัสจากการนั่งบนเก้าอี้ล้อเลื่อน (wheel chair)

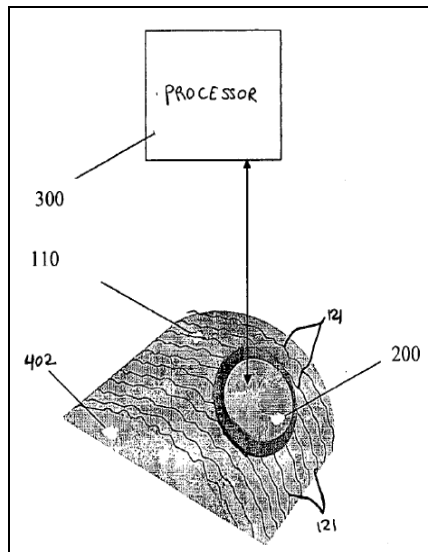


ภาพประกอบ 1-8 การจัดวาง Pressure Sensor

ใช้ตัวตรวจรู้เป็นลักษณะเป็น Pressure sensors มาทำการจัดเรียงเป็นลักษณะของ Array เป็นเมทริกซ์ขนาด 25x25 วางบนแผ่นรองนั่งของเก้าอี้ล้อเลื่อน ดังภาพประกอบ 1-8 เพื่อทำการตรวจหาบริเวณตำแหน่งที่มีการกดทับซึ่งมีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดแผลกดทับ เพื่อหาวิธีการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดเป็นแผลกดทับ แบ่งเป็น 3 ย่านการวัด คือ 0-60 mmHg , 60-100 mmHg และ ที่มากกว่า 100 mmHg

1.2.9 System and Method For Surface Acoustic Wave Treatment of Skin

งานวิจัยนี้เขียนโดย Zumeris . “et al” ตีพิมพ์ในข้อมูลสิทธิบัตรจากเว็บไซต์ www.wipo.int เมื่อปี 2008 งานวิจัยได้นำเสนอการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิก มาใช้ในรูปแบบ surface acoustic wave มาใช้เพื่อทำการช่วยในการรักษาแผล โดยการนำเปียโซอิเล็กทริกมาทำการติดโดยตรงกับผิวหนัง ดังภาพประกอบ 1-9 เพื่อทำหน้าที่สร้างคลื่น เพื่อกระตุ้นแผล ให้มีการไหลเวียนของเลือดที่ดีขึ้น อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นผิวหนังเพื่อป้องกันการเกิดแผลกดทับได้อีกทางหนึ่งด้วย



ภาพประกอบ 1-9 การติดตั้งตัวกำเนิดคลื่นบนบริเวณผิวหน้า

1.2.10 Acoustic Biosensor. [7]

บทความนี้เขียน โดย Ryszard M. Lec and Peter A. Lewin ตีพิมพ์ใน Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 20, No 6, 1998

บทความนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับ Acoustic Wave Biosensors โดยอธิบายเกี่ยวกับ ลักษณะและการประยุกต์ใช้โดยแบ่งเป็น 2 แบบคือ Bulk และ Surface Acoustic Waves โดยแสดงกลไกการทำงานและย่านการตรวจจับของ Bulk และ Surface Acoustic Waves ซึ่งใช้ในการพัฒนาในรายละเอียดของเซ็นเซอร์ เพื่อจะได้นำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆเช่น ในทางการแพทย์ เป็นต้น อีกทั้งยังกล่าวถึงลักษณะของ Acoustic Biosensor ,Acoustic Wave, Piezoelectric Transducer , Sensing Mechanisms, Acoustic Biosensor Measurement Systems รวมถึงการประยุกต์ใช้ ไปจนถึงลักษณะของเอาต์พุตที่ได้ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตาม องค์ประกอบต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ค่าความยืดหยุ่น และความนำไฟฟ้า เป็นต้น องค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้คุณสมบัติของ Acoustic Wave เปลี่ยนซึ่งจะได้ค่าเอาต์พุต คือ ความเร็ว, การลดทอนสัญญาณ แรงดัน ความถี่ และอิมพีแดนซ์ งานนี้ยังได้กล่าวถึง ลักษณะการส่งและรับคลื่น โดยมีการนำ Piezoelectric มาใช้เป็นตัวรับและตัวส่งคลื่น โดย Bulk จะกำเนิดคลื่นโดยนำ Bulk Piezoelectric มาเป็นตัวกระตุ้นและรับคลื่น ส่วน Surface จะกำเนิดคลื่นโดยนำ ระบบ Interdigital (IDT) มาใช้ส่งและรับคลื่น บทความนี้ยังได้สรุปการนำ Acoustic Wave Biosensors ที่มีการนำมาประยุกต์ใช้แล้วทางการแพทย์ในปัจจุบัน

สรุปการทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมสามารถที่จะจำแนกได้เป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ปัญหาของผลกคทบ, ชนิดของตัวตรวจรู้ที่นำมาใช้ และ ข้อมูลสถิติบัตร

ปัญหาของผลกคทบหลัก ๆ ก็จะทำให้เห็นว่า ผลกระทบจากการเกิดผลกคทบจะทำให้ผู้ป่วยได้รับความเจ็บปวดและทุกข์ทรมานเป็นอย่างมากเสียคุณภาพชีวิต ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการดูแลรักษา ต้องอยู่ในโรงพยาบาลเป็นเวลานาน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มงานให้กับเจ้าหน้าที่ในการเฝ้าดูแลอาการและคอยพลิกตัวผู้ป่วย

ส่วนของตัวตรวจรู้ที่นั่นล้วนแต่มีข้อจำกัดทางด้านราคาและขนาดและจำนวนต่อพื้นที่ในการจัดวางเพื่อตรวจรู้

ส่วนของสถิติบัตรจะพบว่ามีทางเลือกเช่นเซอร์หรือตัวตรวจรู้ต่างๆมากมาย เช่น สเตรนเกจ, เปียโซรีซิสทีฟ, คาปาซิทีฟ และแผ่นฟิล์ม

จึงเห็นว่าการนำเปียโซอิเล็กทริกมาใช้ในรูปแบบของคลื่นเสียงเพื่อนำมาจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำมาใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริกโดยการประยุกต์ใช้ในรูปแบบ Acoustic Wave
- 1.3.2 เพื่อออกแบบและสร้างชุดตรวจรู้ตำแหน่งการกคทบได้ในราคาถูกลงและแม่นยำ
- 1.3.3 เพื่อศึกษาและนำหลักการของการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เพื่อทำการแยกน้ำหนักและหาตำแหน่งของการกคทบบนพื้นผิว
- 1.3.4 เพื่อสร้างแผนที่แสดงตำแหน่งและน้ำหนักการกคทบได้

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 สร้างชุดตรวจรู้ต้นแบบตรวจวัดตำแหน่งการกคทบโดยการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้แบบเปียโซ
- 1.4.2 ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการแยกน้ำหนักและตำแหน่งของการกคทบ
- 1.4.3 สร้างแผนที่บริเวณที่มีการกคทบ

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ คือทำการศึกษาในส่วน of เครื่องมือวัดและตัวตรวจรู้ที่ได้นำมาใช้แล้วในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่าได้มีการนำตัวตรวจรู้ชนิดต่างๆมาทำการสร้างเป็นเครื่องมือเพื่อใช้ในการวัดขนาดของแรงกดทับของผิวหนังตัวตรวจรู้ที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายอย่างเช่น Piezoresistive, Stain gauge, Pressure Sensitive film, Capacitive Sensor และ Electro-pneumatic cells เป็นต้น และยังมีสร้างเป็นชุดสำเร็จรูปเพื่อจำหน่ายโดยบริษัทต่างๆเช่น XSENSOR Technology Corporation ได้ทำการออกแบบชุดตรวจรู้การกดทับแบบสำเร็จรูปที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลง ค่าเก็บประจุ จัดวางเป็นลักษณะของเมทริกซ์ตามขนาดของการนำไปใช้ แต่อย่างไรก็ดี การนำตัวตรวจรู้ต่างๆที่กล่าวมาแล้วล้วนแต่มีข้อจำกัด ทั้งทางด้านราคาที่สูง และข้อจำกัดทางด้านจำนวนของตัวตรวจรู้ที่ต้องเพิ่มขึ้นตามขนาดของพื้นที่ที่ต้องการวัด ต้องใช้ตัวตรวจรู้จำนวนมากมาจัดวางเป็นเมทริกซ์เพื่อทำการวัดบริเวณที่มีขนาดใหญ่เช่น การวัดการกดทับทั้งร่างกาย เป็นต้น

2. ศึกษาคุณสมบัติของตัวตรวจรู้แบบเพียโซ

วัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวตรวจรู้เพียโซอิเล็กทริก จากการศึกษาพบว่าตัวตรวจรู้ชนิดนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) เป็นเซรามิกประเภทหนึ่ง เป็นสารพวกผลึกกลุ่มที่ไม่สมมาตรกัน มีสมบัติพิเศษกล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) แต่ในทางกลับกัน เมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) เกิดแรงกล การเปลี่ยนไปมาระหว่างพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ มีหลายอย่างด้วยกัน ขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์ การเปลี่ยนแปลง สำหรับการประยุกต์ใช้แบบ Acoustic Wave เป็นแนวทางหนึ่งที่จะนำมาเพื่อใช้ในการงานวิจัยนี้ จากการนำ เพียโซอิเล็กทริกมาสร้างเป็นคลื่นเสียงเป็นทั้งตัวส่งและรับ เห็นว่าสามารถตอบสนองกับระยะทางและน้ำหนัก

3. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผลกดทับ

วัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผลกดทับ สาเหตุการเกิดแผล บริเวณที่มีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดแผลกดทับ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแผลกด เป็นหนึ่งในปัญหาเรื้อรังที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ด้วยตนเอง เป็นแผลที่เกิดจากการกดทับ หรือมีแรงกดบริเวณหลอดเลือดฝอย โดยมีแรงกดเฉลี่ย 32 มม.ปรอทขึ้นไป จะทำให้เนื้อเยื่อ

ขาดเลือดและขาดออกซิเจนไปเลี้ยง จึงเกิดการตายของเนื้อเยื่อส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณปุ่มกระดูก บริเวณหลังและสะโพกเป็นส่วนที่มีความเสี่ยงที่สุด หากเกิดเป็นแผลจะทำให้ยากต่อการรักษา โดยเฉพาะผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานอาจต้องทำการตัดอวัยวะที่เป็นแผลออกได้ การรักษาต้องใช้ระยะเวลานานถึงจะหาย ต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก อีกทั้งยังทำให้ผู้ป่วยมีความทุกข์ทรมานเสียคุณภาพชีวิต

4. ออกแบบและสร้างเครื่องมือทดสอบการกดทับโดยการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริก

เครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบจะเป็นลักษณะของการสร้างและรับคลื่นเสียง โดยการประยุกต์ใช้ตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริก ซึ่งใช้เป็นทั้งตัวกำเนิดและรับ โดยส่งผ่านตัวนำ ที่ทำการแบ่งบริเวณที่วางตำแหน่งเป็นลักษณะของเมทริกซ์ เพื่อเป็นบริเวณที่จะทำการวางน้ำหนักทดสอบซึ่งจะกล่าวไว้ในบทที่ 3

5. ทดสอบการกดทับโดยใช้ค้อนน้ำหนัก พร้อมบันทึกผล

การทดลองนี้เป็นการจำลองน้ำหนักที่มากกดทับ โดยทำการทดสอบการกดทับโดยการวางค้อนน้ำหนักหลายๆค่า โดยวางในแต่ละตำแหน่งของเมทริกซ์บันทึกผลเพื่อนำมาวิเคราะห์ รวมทั้งการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติบางประการของตัวตรวจรู้ เช่น ค่าการทำซ้ำ และค่า Hysteresis เป็นต้น

6. นำผลที่ได้มาทำการแยกเพื่อหาตำแหน่งและน้ำหนักของการกดทับ

ประสาทเทียม โดยเมื่อได้ผลที่ได้จากการทดสอบแล้วนำมาทำการจำแนกขนาดของน้ำหนักและตำแหน่งที่กดทับ โดยใช้หลักการของโครงข่ายประสาทเทียมจากโปรแกรม MATLAB ทำการหาค่า sensitivity ของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ทราบถึงขีดความสามารถของโครงข่ายประสาท

7. สร้างแผนที่แสดงตำแหน่งและน้ำหนักของการกดทับ

ทำการสร้างแผนที่การกดทับจากผลการจำแนกขนาดของน้ำหนักและตำแหน่งที่กดทับที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม โดยการนำมาทำเป็นลักษณะของภาพและแถบสี

8. ตรวจสอบสรุปผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริกในการประยุกต์รูปแบบ Acoustic Wave
2. ได้ทราบถึงความเป็นไปได้ของตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริกที่สามารถตรวจรู้ตำแหน่งการกดทับได้หรือไม่
3. ได้ชุดตรวจรู้ตำแหน่งการกดทับได้ในราคาถูกและแม่นยำ
4. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม
5. ได้แผนที่แสดงตำแหน่งและน้ำหนักของการกดทับ
6. ได้องค์ความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันการเกิดแผลกดทับสำหรับผู้ป่วยได้

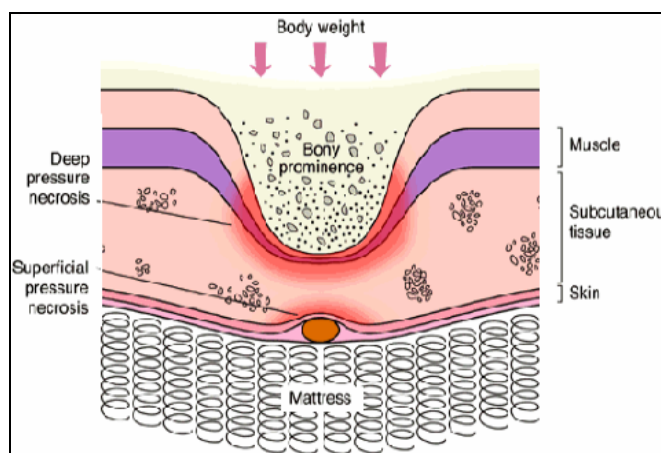
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นล้วนแต่เป็นการหาตำแหน่งบริเวณที่มีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดแผลกดทับ เพื่อหาวิธีการป้องกัน ผู้วิจัยได้แบ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังต่อไปนี้ 1) แผลกดทับ 2) วัสดุเปียโซอิเล็กทริก 3) คลื่นเสียง 4) โครงข่ายประสาทเทียม

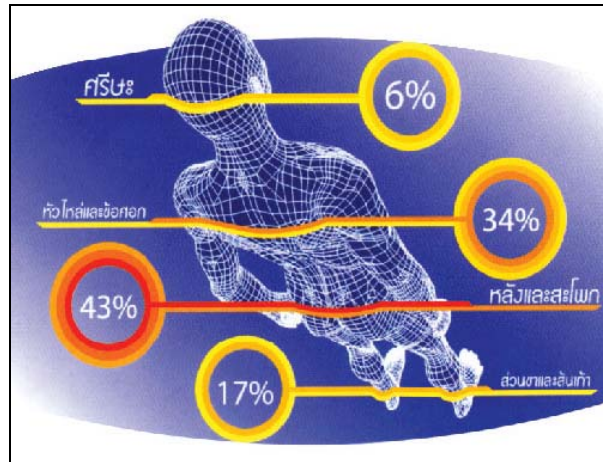
2.1 แผลกดทับ (Pressure Ulcer , Bed Sore or Pressure Sore) [8]

แผลกดทับ (Pressure Ulcer , Bed Sore or Pressure Sore) เป็นหนึ่งในปัญหาเรื้อรังที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ด้วยตนเอง เป็นแผลที่เกิดจากการกดทับ หรือมีแรงกดบริเวณหลอดเลือดฝอย (capillary) โดยมีแรงกดเฉลี่ย 32 มม.ปรอทขึ้นไป จะทำให้เนื้อเยื่อขาดเลือดและขาดออกซิเจนไปเลี้ยง (tissue anoxia) จึงเกิดการตายของเนื้อเยื่อ (tissue necrosis) ทำให้เกิดแผลที่ผิวหนังบริเวณนั้นได้ บริเวณที่มีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดแผลกดทับนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณปุ่มกระดูกค้ำภาพประกอบ 2-1 เพราะร่างกายของผู้ป่วยขณะนอนน้ำหนักทั้งหมดของผู้ป่วยจะ กดทับลงในส่วนโบนของกระดูกจะเห็นได้ว่าบริเวณ หลังและสะโพก เป็นส่วนที่มีความเสี่ยงที่สุด[3] กลุ่มผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดแผลกดทับได้แก่ ผู้ป่วยสูงอายุไม่ว่าจะเป็นความเจ็บป่วยระยะเฉียบพลันหรือเรื้อรัง ผู้ป่วยทางระบบประสาทเช่น โรคหลอดเลือดสมอง โรคสมองเสื่อมระยะรุนแรง ผู้ป่วยที่มีการบาดเจ็บของไขสันหลัง ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดทางออร์โธปิดิกส์ ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาในหอผู้ป่วยวิกฤต และผู้ที่อยู่ในระยะสุดท้ายของชีวิต



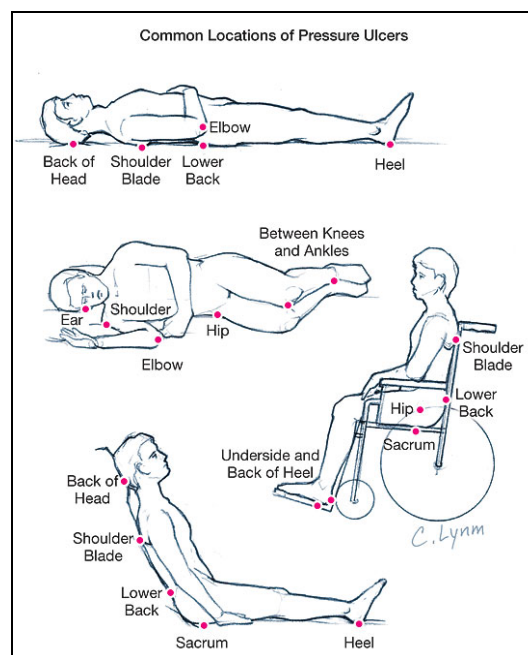
ภาพประกอบ 2-1 ผลกระทบที่เกิดจากการกดทับบริเวณปุ่มกระดูก [8]

2.1.1 บริเวณที่อาจเกิดแผลกดทับ



ภาพประกอบ 2-2 บริเวณที่อาจเกิดแผลกดทับ [8]

บริเวณที่มีอัตราเสี่ยงที่จะเกิดแผลกดทับดังภาพประกอบ 2-2 จะเห็นว่าบริเวณหลังและสะโพกมีความเสี่ยงที่จะเกิดแผลกดทับมากที่สุด อีกทั้งการเกิดแผลกดทับขึ้นอยู่กับอิริยาบถของผู้ป่วยดังแสดงในภาพประกอบ 2-3 ไม่ว่าจะเป็นการนอนในท่าปกติ หรือนอนตะแคง ท่านั่งหรือแม้กระทั่งผู้ป่วยที่นั่งบนเก้าอี้ล้อเลื่อนนั้นล้วนแต่มีอัตราเสี่ยงในการเกิดแผลกดทับได้



ภาพประกอบ 2-3 อิริยาบถกับบริเวณที่มีการกดทับ [9]

2.1.2 ความรุนแรงของแผลกดทับ แบ่งออกเป็น 4 ระดับ

ระดับ 1 ลักษณะที่สำคัญและเป็นอาการเริ่มแรกสุดคือ การอักเสบเฉียบพลันของผิวหนังและเนื้อเยื่อชั้นต่างๆ ที่อยู่เหนือปุ่มกระดูกได้แก่ การขยายตัวของหลอดเลือดและการบวม (Edema) จากการขาดเลือด อาการทางคลินิกที่ตรวจพบคือ เนื้อเยื่อบริเวณนั้นจะบวมแดง ร้อน และแข็งตัวขึ้นกว่าปกติ และถ้าผู้ป่วยไม่ได้สูญเสียการรับรู้สัมผัส ก็จะรู้สึกเจ็บบริเวณนั้นด้วย ระดับที่รุนแรงที่สุดของระดับ 1 คือแผลจะแฉะ มีการหลุดลอกของหนัง กำพรั้งจนมองเห็นหนังแท้ การรู้จักสังเกตแผลกดทับมีความสำคัญมาก เพราะระดับ 1 นี้ ถ้าได้ดูแลรักษาแผลให้สะอาด และหลีกเลี่ยงการกดทับซ้ำอีกแผลจะหายเป็นปกติได้ภายใน 5-10 วัน

ระดับ 2 ถ้าแรงกดทับยังดำเนินต่อไปเรื่อยๆ การอักเสบของเนื้อเยื่อจะเป็นมากขึ้น จนทำให้เกิดปฏิกิริยา fibroelastic ขึ้นในเนื้อเยื่อทุกชั้น ต่อมาจะเกิดการติดเชื้อแบคทีเรียร่วมกับความเปื่อยขึ้นจากอูจาระ ปัสสาวะ ทำให้แผลขยายกว้างขึ้น และกินลึกเลยชั้นหนังแท้ (dermis) ไปถึงรอยต่อกับชั้นไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous fat) ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นทางคลินิกคือ เป็นแผลขอบชัด เนื่องจากเริ่มมี fibrosis และ pigmentation ส่วนรอบ ๆ จะมี ลักษณะบวมแดง ร้อน แผลกดทับระดับ 2 นี้ แม้ว่ากินลึกขึ้นและมีการอักเสบมากขึ้น แต่ก็ยังสามารถรักษาแผลอย่างดี ร่วมกับการป้องกันและหลีกเลี่ยงการกดทับต่อไป

ระดับ 3 แผลจะกินลึกถึงชั้นไขมันใต้ผิวหนังอย่างกว้างขวาง และรวดเร็ว มีการติดเชื้อและการเน่าตายของไขมัน (fat necrosis) ผิวหนังรอบ ๆ จะบวมแดงและเป็นขอบแข็งม้วนเข้าใน การอักเสบจะลามถึงชั้นพังผืด (deep fascia) ส่วนชั้นกล้ามเนื้อแม้ว่าแผลจะลามไปไม่ถึงชั้นนี้ แต่ก็มีการอักเสบบวมแดง ซึ่งอาจทำให้เกิด การยึดติด (contracture) ของกล้ามเนื้อ และการผิดรูปของข้ออันเป็นผลจากการเกร็งของกล้ามเนื้อได้ ส่วนกระดูกอาจมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อการอักเสบ เช่น มี subperiosteal new bone และ local osteoporosis ลักษณะอาการทางคลินิกคือ เห็นเป็นแผลลึกถึงชั้นไขมันใต้ผิวหนัง มีกลิ่นเหม็นมีการอักเสบติดเชื้อ และการตายของเนื้อเยื่อที่ฐานของแผลขอบแผลจะคล้ำแยกจากผิวหนังดีได้ชัดเจน ข้อบริเวณใกล้เคียงจะเริ่มติดเชื้อ ผู้ป่วยอาจมีไข้ อาการขาดน้ำ ซีด และเม็ดเลือดขาวในเลือดเพิ่มขึ้น จากการสูญเสียของเหลวและโปรตีนออกจากแผลนี้มาก ๆ ระดับนี้ถือว่าเป็น 'classical decubitus ulcer ' การรักษาแผลกดทับระดับนี้จึงต้องดูแลอย่างใกล้ชิด เพราะอาจทำให้ผู้ป่วยถึงตายได้จากการติดเชื้ออย่างรุนแรง และการ เสียโปรตีน และน้ำ และการรักษาต้องอาศัยการผ่าตัดร่วมด้วย

ระดับ 4 จากภาวะติดเชื้อและเน่าตายของเนื้อเยื่ออย่างมาก ทำให้แผลกินลึกผ่านชั้น deep fascia เข้าไปถึงชั้นกล้ามเนื้อ และกระดูกอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการติดเชื้อในกระดูก (osteomyelitis) และข้อ (septic joint) จนอาจทำให้ข้อเคลื่อนหรือหลุดได้ ลักษณะอาการทางคลินิก

คล้ายระดับ 3 ต่างกันเพียงว่าระดับนี้จะกินลึกจนเห็นกระดูกที่ฐานของแผล และถ้าเป็นบริเวณ pelvis อาจเห็นว่าที่ฐานของแผลอาจโป่งออกมาเวลาความดันในช่องท้องสูงขึ้น ภาพทางรังสีจะพบลักษณะของการอักเสบติดเชื้อของกระดูกและมีการเสียเนื้อกระดูกไป การรักษาในระดับนี้ก็เช่นเดียวกับระดับ 3 คือต้องดูแลอย่างใกล้ชิดทั้งในเรื่องแผล ซึ่งต้องอาศัยการผ่าตัดช่วยด้วย ต้องให้ยาปฏิชีวนะอย่างแรง แก้ไขภาวะความไม่สมดุลของเกลือแร่ (electrolyte imbalance) ให้เลือดและน้ำให้เพียงพอ

ตารางที่ 2-1 จำนวนอุบัติการณ์การเกิดแผลกดทับ [10]

รายการ ปี พ.ศ.	จำนวน อุบัติการณ์ (ราย)	แผลกดทับ ระดับ 1 (ราย)	แผลกดทับ ระดับ 2 (ราย)	แผลกดทับ ระดับ 3 (ราย)	แผลกดทับ ระดับ 4 (ราย)
2545	138	14	118	2	4
2546	225	25	218	10	2
2547	233	11	209	13	0
2548	254	18	205	23	8
2549	208	17	184	6	1
2550	256	24	226	4	2

จากตารางที่ 2-1 เป็นข้อมูลจากการสำรวจจำนวนอุบัติการณ์ของการเกิดแผลกดทับของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545-2550 จากข้อมูลจะคิดเป็นร้อยละจากผู้ป่วยทั้งหมด เห็นได้ว่าจำนวนอุบัติการณ์ของการเกิดแผลกดทับจะเกิดขึ้นทุกปี แต่แต่ละปีก็จะมียอดผู้ป่วยที่เกิดแผลกดทับจะมีจำนวนมาก ปัญหาที่ตามมาเมื่อเกิดแผลกดทับนั้นจะทำให้ผู้ป่วยมีความเจ็บปวดและทุกข์ทรมาน มีคุณภาพชีวิตที่ไม่ดี มีโรคแทรกซ้อน พิกัด เสียชีวิต ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลสูง ระยะเวลาในการรักษาและนอนโรงพยาบาลนานขึ้นทำให้ต้องเพิ่มงานให้กับเจ้าหน้าที่เพื่อคอยดูแลอย่างใกล้ชิด ในปัจจุบันมีการสร้างอุปกรณ์เพื่อนำมาใช้เพื่อป้องกันการเกิดแผลกดทับไม่ว่าจะเป็นระบบการแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่พยาบาลในการพลิกตัวผู้ป่วย หรือการออกแบบเตียงและที่นอนเช่น เตียงอัตโนมัติ เตียงน้ำ แผ่นเจลรองนอน เบาะลม และโฟม มาประยุกต์ใช้เพื่อลดการกดทับดังกล่าวอย่างที่แสดงในภาพประกอบ

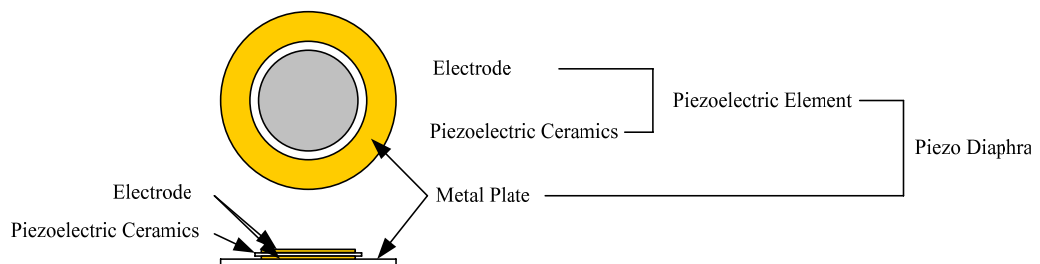


ภาพประกอบ 2-4 แสดงอุปกรณ์ป้องกันการเกิดแผ่นดินไหว [10]

2.2 วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) [11]

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) [11] เป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่เรียกว่าปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect) ในทางกลับกันเมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้า จะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) เกิดแรงกลซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์ อินเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (inverse piezoelectric effect) การเปลี่ยนไปมาระหว่างพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

สมบัติเพียโซอิเล็กทริก จะเกิดขึ้นในวัสดุที่มีสภาพเป็นขั้วทางไฟฟ้าเท่านั้น วัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีทั้งที่พบในธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ โดยวัสดุที่พบในธรรมชาติได้แก่แร่ควอร์ทซ์ แร่ทัวร์มาลีน ส่วนวัสดุสังเคราะห์ได้แก่ เลดเซอร์โคเนียมไททานเนต (Lead zirconia titanate) ซึ่งนิยมเรียกว่า PZT เลดไททานเนต เซอร์โคเนต (Lead titanate zirconate) และแบเรียมไททานเนต (Barium titanate)



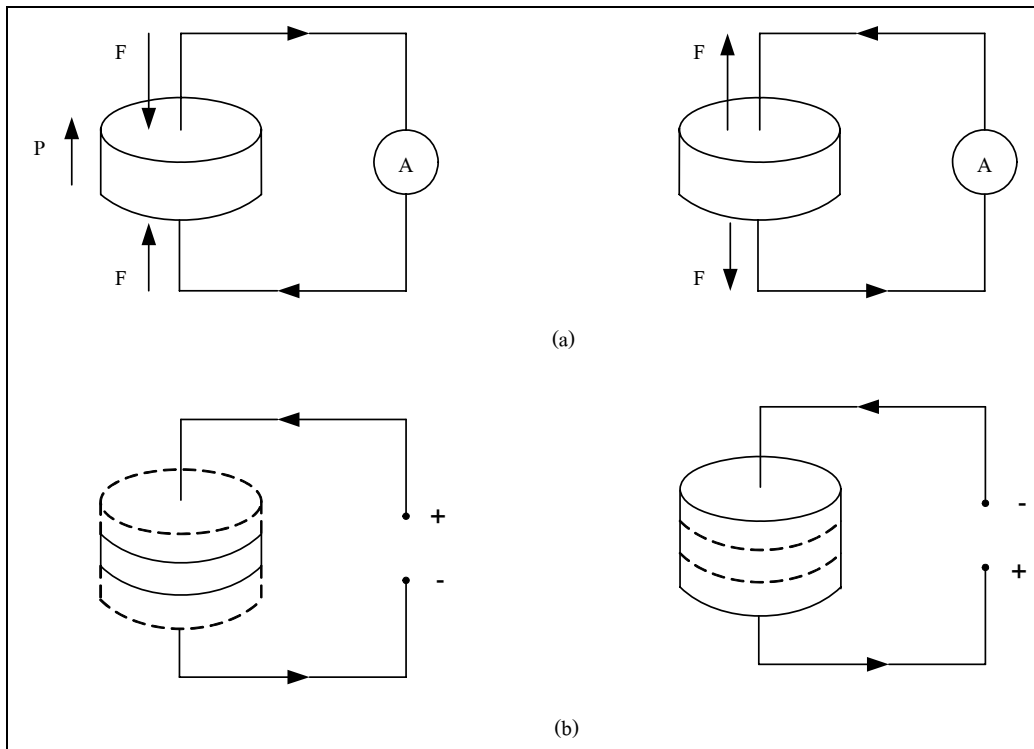
ภาพประกอบ 2-5 โครงสร้างของเพียโซอิเล็กทริก [11]

เพียโซอิเล็กทริก เป็นสารพวกผลึกกลุ่มที่ไม่สมมาตรกัน ซึ่งผลึกเพียโซอิเล็กทริกที่นิยมใช้กัน คือ ผลึกควอตซ์ (Single Crystal Quartz) [12] ผลึกดังกล่าวนี้เมื่อถูกกระทำด้วยแรงหรือความดันเป็นห้วง ๆ จะปล่อยแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา ตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$E = \frac{DF}{C} \quad (1)$$

- เมื่อ
- E = แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมา
 - F = แรงที่กระทำ
 - D = ค่าคงที่ความเครียดของเพียโซอิเล็กทริก
 - C = Capacitance ของ Piezoelectric

จากสมการที่ 1 จะได้ว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับแรงที่กระทำให้กับเพียโซอิเล็กทริก จากความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น ทำให้เพียโซอิเล็กทริกมีคุณสมบัติที่มีประโยชน์คือสามารถเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้



ภาพประกอบ 2-6 ปรากฏการณ์ Piezoelectricity [11]

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ประโยชน์จากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีหลายอย่างด้วยกัน ขึ้นกับปรากฏการณ์ การเปลี่ยนแปลง ในกรณีที่มีการป้อนแรงดันให้วัสดุทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเกิดแรงกล สามารถนำมาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ในอุปกรณ์อัลตราโซนิก (Ultrasonic) ทาง การแพทย์ ลำโพง และนำมาใช้เป็น Actuator ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประกอบ ที่สำคัญของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ในกล้องถ่ายภาพ วาล์วไฮดรอลิก (hydraulic valve) เป็นต้น และในกรณีให้แรงแก่วัสดุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า สามารถใช้เป็นอุปกรณ์จุดแก๊ส (gas ignitor) ในเตาเครื่องทำความร้อน ใช้เป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ใช้เป็นตัวตรวจจับความดัน (pressure sensor) บางครั้งอาจใช้การ ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจในรูปแบบคลื่น เช่น Acoustic Wave Sensor เป็นต้น

หน่วยงานที่วิจัยและพัฒนาด้านวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในประเทศไทยมีอยู่หลาย แห่ง อาทิ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ซึ่งสามารถผลิตวัสดุเพียโซ อิเล็กทริก เพื่อใช้ในเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิก ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งคาดว่าในอนาคต เราจะสามารถผลิต ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เพื่อใช้ได้ในประเทศได้มากขึ้น

2.3 ตัวตรวจรู้คลื่นเสียง (Acoustic Wave Sensor)

สำหรับ เพียโซอิเล็กทริก สามารถนำมาใช้ในส่วนของการตรวจรู้ทางการแพทย์ต้อง พิจารณาถึงคุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญในการเลือกชนิดของตัวตรวจรู้ในการวัดเพื่อให้ได้ผลดีที่สุด [1] โดยเมื่อทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับตัวส่ง จากนั้นคลื่นไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนรูป เป็นคลื่นเชิงกล เคลื่อนที่ไปตามชั้นรองแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยเพียโซอิเล็กทริก อีกครั้ง

2.4 คลื่น (Wave) [12]

หลักการของคลื่นคือ คลื่นเมื่อเกิดและเคลื่อนที่แพร่ออกไปในตัวกลาง ถ้าสมบัติ ของตัวกลางที่มีต่อคลื่นคงที่สม่ำเสมอตลอดเส้นทางที่คลื่นต้องเคลื่อนที่ผ่านไป คลื่นก็จะเคลื่อนที่ ต่อเนื่องผ่านไปเรื่อยๆ แต่ถ้าที่จุดใดจุดหนึ่งของตัวกลางมีสมบัติเปลี่ยนไป เรียกว่าเกิดการไม่ ต่อเนื่อง (discontinuity) บนตัวกลาง เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาถึงจุดนั้นๆจะมีคลื่นบางส่วนเคลื่อนที่ ต่อไปและมีบางส่วนสะท้อนกลับเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น เดิม เรียกคลื่นเดิมว่าคลื่นตกกระทบ (incident wave) และคลื่นที่สะท้อนกลับว่าคลื่นสะท้อน (reflected wave)

2.4.1 สมการคลื่น

ถ้าพิจารณาแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวกลางที่ตำแหน่ง x ใดๆ และเวลา t ใดๆ ค่าของแรงดันไฟฟ้านี้เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา เขียนเป็นรูปแบบคณิตศาสตร์ว่า $v(x,t)$ แรงดันไฟฟ้านี้จะเป็นผลบวกของแรงดันไฟฟ้า 2 จำนวนคือ $v^+(x,t)$ และ $v^-(x,t)$ เขียนบรรยายเป็นสมการได้ดังนี้

$$v(x,t) = v^+(x,t) + v^-(x,t) \quad (2)$$

โดยที่ $v^+(x,t)$ จะเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในแนว $x+$ คือทิศทางที่ x มีค่าเพิ่มขึ้น เรียกคลื่นตกกระทบ $v^-(x,t)$ จะเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ไปในแนว $x-$ คือทิศทางที่ x มีค่าลดลง เรียกคลื่นสะท้อน แล้วคลื่นทั้งสองนี้มีหน้าตาลักษณะอย่างไร มันข้อมขึ้นกับแหล่งกำเนิด

ถ้าให้แหล่งกำเนิดสัญญาณสร้างสัญญาณออกมา เป็นสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาแล้วเป็นแบบที่เรียกว่า time-harmonic หรือที่เรียกว่าแบบ sinusoidal เขียนได้ดังนี้

$$v^+(x,t) = V_+ e^{-\alpha x} \cos(\omega t - \beta x) \quad (3)$$

และ

$$v^-(x,t) = V_- e^{\alpha x} \cos(\omega t + \beta x + \phi) \quad (4)$$

โดยที่ V_+ และ V_- เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดสัญญาณว่าจะส่งสัญญาณขนาดสูงใหญ่เพียงใด

α คือ ค่าคงตัวการลดทอน(attenuation constant)

β คือ ค่าคงตัวเฟส (phase constant) ของตัวกลาง

ϕ คือ ค่าที่ใช้บอกเฟสเริ่มต้นระหว่าง $v^+(x,t)$ และ $v^-(x,t)$

$\omega = 2\pi f$ เมื่อ f คือความถี่ของแหล่งกำเนิดคลื่น

ค่าคงตัวเฟสมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น λ ดังนี้

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (5)$$

สามารถบรรยายสัญญาณที่เกิดขึ้นด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า phasor form ซึ่งใช้รูปแบบที่เรียกว่า instantaneous form หรือ time-varying form สามารถบรรยายด้วยรูปแบบ phasor form ดังต่อไปนี้

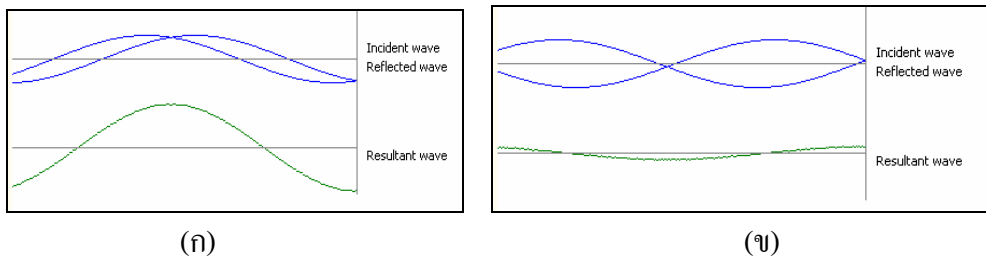
$$\underline{V}^+(x) = \underline{V}_+ e^{-\alpha x} e^{-j\beta x} \quad (6)$$

และ

$$\underline{V}^-(x) = \underline{V}_- e^{\alpha x} e^{j\beta x} \quad (7)$$

โดยที่ $j = \sqrt{-1}$

ให้ ϕ ไปอยู่ใน \underline{V}_+ และ \underline{V}_- ทั้งคู่ขึ้นอยู่กับรูป phasor บรรยายขนาดของแรงดันทั้งสอง



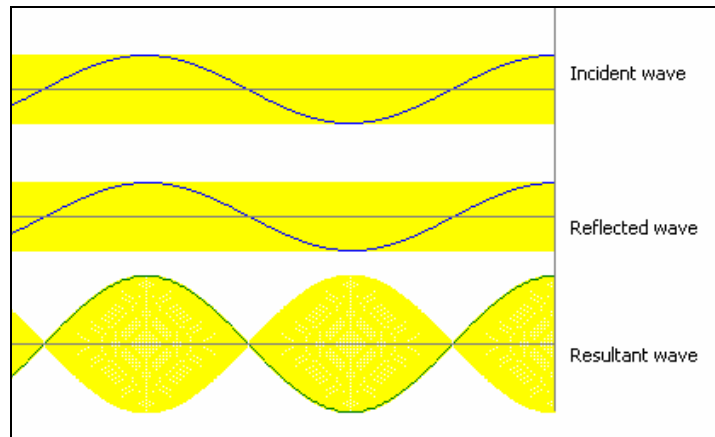
ภาพประกอบ 2-7 การสะท้อนของคลื่น (ก) คลื่นผลลัพท์จากคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนที่ตำแหน่งเฟสเสริมกัน (ข) คลื่นผลลัพท์จากคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนที่ตำแหน่งเฟสตรงข้ามกัน

จากภาพประกอบ 2-7 เมื่อจ่ายแรงดันและความถี่ให้กับเปียโซตัวส่ง เปียโซก็จะกำเนิดคลื่น เป็นคลื่นตกกระทบ(incident wave) ซึ่งเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา หลังจากที่ส่งคลื่นออกไป คลื่นก็จะมีการสะท้อนกลับเรียกว่าคลื่นสะท้อน(reflected wave) เคลื่อนที่จากขวาไปซ้าย และเมื่อคลื่นทั้งสองเคลื่อนที่มาจนเสริมกัน และเมื่อมาหักล้างกัน ก็จะได้คลื่นผลลัพท์(resultant wave) การเคลื่อนดูเหมือนจะอยู่กับที่ หรือเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา ภาพ (ก) คลื่นผลลัพท์โตขึ้น เมื่อคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนเคลื่อนที่มาจนมีเฟสที่ทุกตำแหน่งเสริมกัน ส่วนภาพ (ข) คลื่นผลลัพท์เล็กลงจนเกือบเป็นศูนย์ เมื่อคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนเคลื่อนที่มาจนมีเฟสที่ทุกตำแหน่งตรงข้ามกัน

2.4.2 รูปแบบของการสะท้อนกลับ

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปถึงปลายด้านรับ จะเกิดมีคลื่นสะท้อนกลับ คลื่นสะท้อนกลับมากน้อยเท่าไร และคลื่นที่สะท้อนกลับมีเฟสเริ่มต้นเท่าไรเมื่อเทียบกับคลื่นตกกระทบ ข้อมทำให้เกิดคลื่นผลลัพท์ที่แตกต่างกันออกไปได้ ให้สังเกตการเกิดการสะท้อนสองกรณีต่อไปนี้

- สะท้อนกลับหมดแต่เฟสไม่เปลี่ยนแปลง
- สะท้อนกลับหมดแต่กลับเฟส



ภาพประกอบ 2-8 รูปแบบของการสะท้อนกลับ [12]

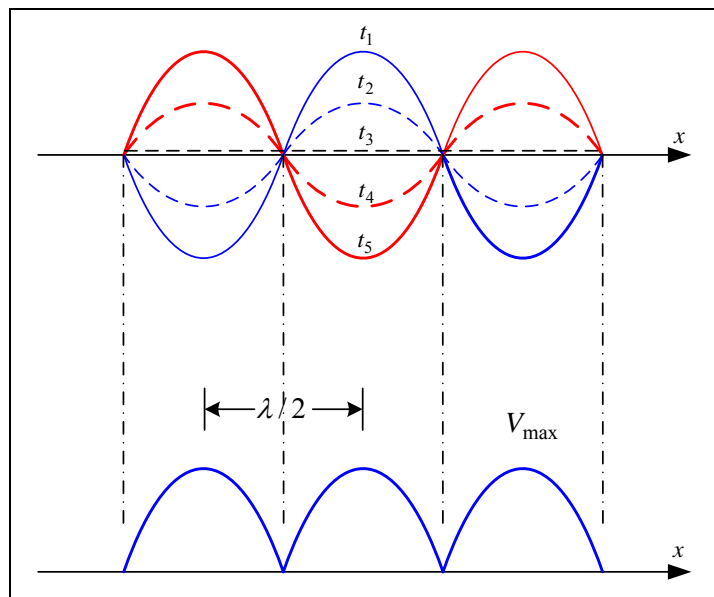
ถ้าแหล่งกำเนิดคลื่นสร้างให้มีคลื่นเกิดต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นบริเวณตัวกลางตั้งแต่จุดกำเนิดคลื่นไปจนถึงจุดที่มีความไม่ต่อเนื่องจะมีคลื่น 2 จำนวนเคลื่อนที่สวนทิศทางกัน คลื่นทั้งสองจะปรากฏรวมกันมองเห็นเหมือนเป็นเพียงคลื่นเดียวเรียกคลื่นผลลัพธ์ (resultant wave) บางครั้งจะมองแยกไม่ออกกว่าส่วนไหนเป็นคลื่นตกกระทบหรือคลื่นสะท้อน ในบางเงื่อนไขอาจทำให้มองเห็นเหมือนเกิดเป็นคลื่นไม่เคลื่อนที่ แต่ขยับขึ้นลงอยู่กับที่ซึ่งเรียกว่าเกิดคลื่นนิ่ง (standing wave)

2.4.3 คลื่นนิ่ง (standing wave) [12]

คลื่นผลลัพธ์ที่ได้กล่าวผ่านมาในหัวข้อข้างต้น จะพบว่าคลื่นผลลัพธ์มีลักษณะขยับขึ้นลงเป็นคลื่น แต่ดูเหมือนไม่เคลื่อนที่ไปในแนวซ้ายขวา บางครั้งดูเหมือนว่ามันจะเลื่อนจากซ้ายไปขวา คือจากด้าน sending end ไปยังด้าน receiving end ก็จริง แต่คลื่นไม่ได้เลื่อนไหลไปในลักษณะที่เห็นได้อย่างชัดเจน เหมือนอย่างอาการเลื่อนไหลของคลื่นตกกระทบหรือคลื่นสะท้อน ทำให้เห็นการเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า pure standing wave คือดูเหมือนว่าคลื่นจะไม่มีเคลื่อนที่แต่กระเพื่อมอยู่กับที่ได้ ดังนั้นจึงพบว่าบางตำแหน่งในคลื่นผลลัพธ์จะมีค่าเป็น 0 ตลอดเวลา หมายความว่าถ้าหากไปยืนในตัวกลางที่จุดนี้แล้วจะไม่พบสัญญาณใดๆของคลื่น ถ้าเป็นเสียงจะไม่ได้ยินเสียงเลยที่ตำแหน่งนี้ คลื่นนิ่งที่เป็นแบบ pure standing wave จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดคลื่นสะท้อนกลับหมด และตัวกลางไม่มีความสูญเสีย

2.4.3.1 รูปแบบคลื่นนิ่ง (standing wave pattern)

คลื่นผลััพท์ที่สังเกตเห็นจะมีอาการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา แต่มีระเบียบที่แน่นอนรูปแบบหนึ่ง ที่ทุกตำแหน่งในตัวกลาง ถ้าทำการวัดค่าของสัญญาณในคลื่นซึ่งมันเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาอยู่นั้น เลือกเอาเฉพาะค่าที่เป็นบวกมากที่สุด และที่เป็นลบมากที่สุดที่แต่ละตำแหน่ง พล็อตค่าที่เป็นบวกมากที่สุดเทียบกับระยะทาง และพล็อตค่าที่เป็นลบมากที่สุดเทียบกับระยะทาง กราฟทั้งสองเส้นเขียนอยู่บนแกนของระยะทางอันเดียวกัน เราจะได้สิ่งที่เรียกว่า กรอบ (envelope) ของคลื่นผลััพท์ สำหรับกรอบของคลื่นผลััพท์ เรียกว่า standing wave pattern ลักษณะของคลื่นสามารถบ่งบอกสมบัติบางอย่างของคลื่น ของตัวกลางและการสะท้อนกลับของคลื่นได้ เช่น บอกความยาวคลื่น(wavelength), การลดทอน(attenuation)ของตัวกลาง, ค่า load reflection coefficient ที่ปลายด้านรับ และสิ่งที่เรียกว่า standing wave ratio เป็นต้น



ภาพประกอบ 2-9 รูปแบบของคลื่นนิ่ง [12]

2.5 การสร้างแผนที่การกดทับ

การสร้างแผนที่การกดทับเป็นการอาศัยกฎพื้นฐานทางฟิสิกส์ คือวัตถุหรือบุคคลที่มีมวล วางหรือนอนราบบนพื้นระนาบ จะทำให้เกิดแรง $F = mg$ ที่ทำกับเตียง โดยที่ g คือค่าสัมประสิทธิ์ของแรงโน้มถ่วงของโลก แรงที่เกิดขึ้นจะมีผลกับบุคคลที่สามารถที่จะแสดงให้เห็นเป็นค่าของความดันได้ โดยที่ค่าของความดันมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแรงต่อพื้นที่ $p = F/A$ หน่วยของความดันในระบบ SI จะใช้ Pascal (Pa) แต่ มิลลิเมตร.ปรอท ก็ได้มีการนำมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ในทางการแพทย์ ค่าของแรงกดบนพื้นผิวได้จากการวัดคุณสมบัติพิเศษแสดงจากการสร้างแผนที่ โดยอาจแสดงได้ใค้คดี ประโยชน์หลักๆของการสร้างแผนที่การกดทับก็คือการอธิบายค่าที่ได้จากการวัดด้วยภาพ

2.6 โครงข่ายประสาทเทียม [13]

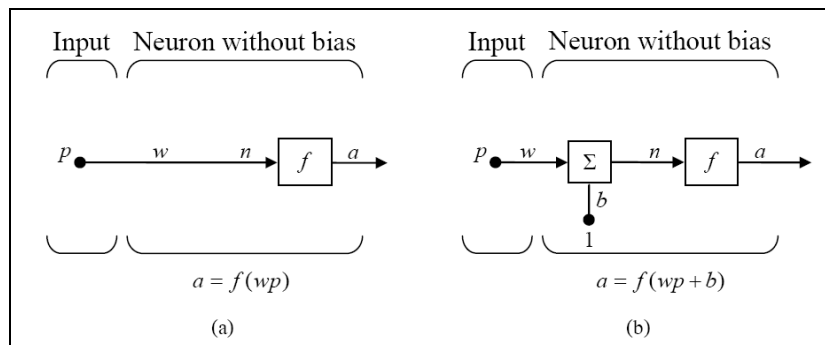
โครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาโดยอาศัยหลักการทำงานของระบบประสาททางชีววิทยา จากลักษณะการทำงานของเซลล์ประสาทที่ได้อธิบายมาแล้วนั้นสามารถเปรียบเทียบขั้นตอนต่างๆ ระหว่าง เซลล์ประสาททางชีววิทยา กับ เซลล์ประสาทเทียมได้ดังต่อไปนี้

โครงสร้างของเซลล์ประสาทมีการเชื่อมต่อกันอย่างมากมาด้วยการส่งสัญญาณไฟฟ้าทางเคมี (electrochemical) จากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่งผ่านไซแนปส์นำเข้า ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นสัญญาณอินพุต (Input) ผ่านจุดประสานประสาท ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้าไปกระบวนการประมวลผล ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผล (Processing elements) ที่เรียกว่า นิวรอน (neurons) ยูนิต (units) เซลล์ (cells) หรือ โหนด (nodes) ภายในตัวเซลล์หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณผ่านแอกซอน ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นสัญญาณเอาต์พุต (output) ไปยังเซลล์อื่นๆ ต่อไปในลักษณะการเชื่อมต่อแบบเดียวกันนี้เรื่อยๆ ไป ซึ่งถ้าเกิดการไซแนปส์เป็นแบบการกระตุ้น (excitatory synapse) มีผลทำให้สัญญาณมีความถี่สูงขึ้น แต่ถ้าเกิดการไซแนปส์เป็นแบบยับยั้ง (inhibitory) มีผลทำให้สัญญาณมีความถี่ต่ำลง การเชื่อมต่อนี้เองจะมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละจุดของการเชื่อมต่อให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมในการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ เพื่อให้สอดคล้องในการแก้ไขปัญหาต่างๆ เช่น การเรียนรู้และจดจำรูปแบบ (pattern recognition) การประมวลผลสัญญาณ (signal processing) การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ (control robot) และการพยากรณ์ (forecasting) เป็นต้น โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยส่วนสำคัญทั้งหมด 3 ส่วน ดังนี้

- แบบจำลองของนิวรอน (neuron model)
 - Single input neuron
 - Multi-input neuron
- สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาท (neural network architectures)
 - A layer of neurons
 - Multiple layers of neurons
 - Recurrent networks
- การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาท (neural network training or learning)

2.6.1 แบบจำลองของนิวรอน (neuron model)

2.6.1.1 Single input neuron เป็นแบบจำลองนิวรอนอย่างง่าย ๆ มีค่าอินพุต (p) เพียงค่าเดียวเท่านั้น ซึ่งค่าอินพุตในกรณีนี้จะเป็นปริมาณสเกลาร์ จากภาพประกอบ 2-10(a) แสดงแบบจำลองของนิวรอนอย่างง่ายในกรณีที่ไม่มีค่าไบแอส (b) ส่วนภาพประกอบ 2-10(b) แสดงแบบจำลองของนิวรอนอย่างง่ายในกรณีที่มีค่าไบแอส



ภาพประกอบ 2-10 (a) นิวรอนที่มีอินพุตเพียงอินพุตเดียว โดยไม่นำค่าไบแอสมาคิด

(b) นิวรอนที่มีอินพุตเพียงอินพุตเดียว โดยนำค่าไบแอสมาคิด[13]

จากภาพประกอบ 2-10 จะเห็นได้ว่ามีค่าอินพุตถูกส่งผ่าน นำไปคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก (w) เป็นปริมาณ สเกลาร์ กำหนดอยู่ในแต่ละการเชื่อมต่อ ผลคูณที่ได้อยู่ในรูป wp นำค่าที่ได้นี้ ไปรวมกับค่าไบแอสจะได้ผลรวมกันของค่าที่ได้เรียกว่า ค่า Net Input (n) จากนั้นถูกส่งผ่านไป ยังฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer or activation function) ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นค่าเอาต์พุต (a) เป็นปริมาณสเกลาร์ จากรูปสามารถเขียนสมการของค่าอินพุตและเอาต์พุตได้ดังนี้

$$a = f(wp + b) \quad (8)$$

$$n = wp + b \quad (9)$$

$$a = f(n) \quad (10)$$

ค่าไบแอสมีลักษณะเหมือนกับค่าถ่วงน้ำหนัก แต่จะกำหนดให้มีค่าเป็น 1 ในตอนเริ่มต้นหรือไม่ต้องการกำหนดให้มีค่าไบแอสก็ได้เช่นกัน ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสจะถูกปรับให้มีความสัมพันธ์กับฟังก์ชันการถ่ายโอนที่เลือกใช้ การปรับค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเรียนรู้ของโครงข่ายนั้น ๆ และค่าที่แท้จริงของเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการถ่ายโอน เพราะฉะนั้นการเลือกฟังก์ชันการถ่ายโอนให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function) อาจเป็นฟังก์ชันแบบเชิงเส้น (Linear Function) หรือเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear Function) ก็ได้ ฟังก์ชันการถ่ายโอนมีให้เลือกใช้อย่างมากมาย แต่มีฟังก์ชันการถ่ายโอนอยู่ 3 รูปแบบที่ถูกเลือกใช้อยู่เสมอได้แก่ ฟังก์ชันแบบ Hard Limit (*hardlim(n)*), Linear (*purelin(n)*) และ Log-Sigmoid (*logsig(n)*) เป็นต้น

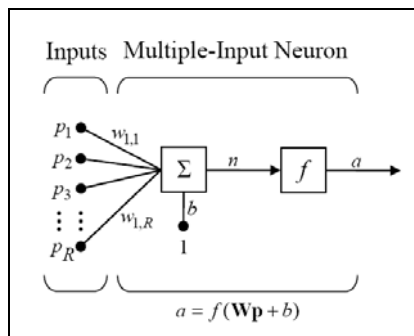
2.6.1.2 Multi input neuron เป็นแบบจำลองนิวรอนที่มีจำนวนอินพุตมากกว่า 1

อินพุต ซึ่งเป็นเวกเตอร์อินพุต สามารถเขียนได้ดังนี้ p_1, p_2, \dots, p_R โดยที่ R แทนจำนวนของสมาชิกในเวกเตอร์อินพุต สมาชิกทุกตัวในเวกเตอร์อินพุตคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก $w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,R}$ จากนั้นค่าทั้งหมดจะถูกนำมารวมกันที่ summing junction ถ้ามีค่าไบแอสก็จะถูกนำมารวมด้วย ณ จุดนี้ ค่าผลรวมที่ได้คือค่า Net Input หลังจากนั้นจะส่งไปยังฟังก์ชันการถ่ายโอน เพื่อหาค่าเอาต์พุต สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$n = w_{1,1}p_1 + w_{1,2}p_2 + \dots + w_{1,R}p_R + b \quad (11)$$

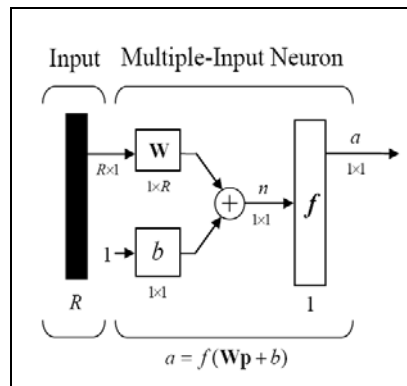
$$n = Wp + b \quad (12)$$

$$a = f(Wp + b) \quad (13)$$



ภาพประกอบ 2-11 นิวรอนที่มีหลายอินพุต [13]

จากภาพประกอบ 2-11 ของนิวรอนเพียงนิวรอนเดี่ยวข้างบน ประกอบไปด้วย รายละเอียดที่มากมายเมื่อพิจารณาถึง โครงข่ายที่ประกอบไปด้วยนิวรอนจำนวนมาก มีจำนวนของ ชั้นมากๆ ก็ยังมีรายละเอียดที่มากขึ้นไปอีก ดังนั้นจึงมีการใช้สัญลักษณ์ย่อ (Abbreviated notation) เพื่อให้เข้าใจต่อความเข้าใจแสดงดังภาพประกอบ 2-12



ภาพประกอบ 2-12 นิวรอนที่มีอินพุต R อินพุตแบบย่อ [13]

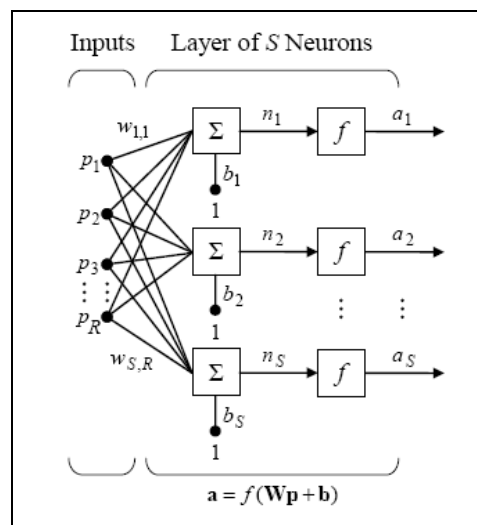
จากภาพประกอบ 6 ค่าอินพุตเวกเตอร์ แทนด้วยแท่งสี่เหลี่ยมทึบแนวตั้งทางด้าน ซ้ายมือ มีขนาดของเวกเตอร์เท่ากับ $R \times 1$ นำไปคูณกับเวกเตอร์ของค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งมีขนาดเท่ากับ $1 \times R$ แล้วนำค่าไบแอสที่มีขนาดเท่ากับ 1×1 มาบวกรวมไปด้วยที่ Summing Junction ก่อนที่จะส่ง ผลรวมนี้ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 1×1 ไปยังฟังก์ชันการถ่ายโอนเพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตออกมา ในกรณีนี้ค่า เอาต์พุตที่ได้จะมีขนาดเท่ากับ 1×1 เป็นปริมาณสเกลาร์ แต่ถ้ามีจำนวนนิวรอนมากกว่า 1 นิวรอน ค่า เอาต์พุตที่ได้จะเป็นปริมาณเวกเตอร์

2.6.2 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาท (Neural Network Architectures)

ชั้นของโครงข่าย (A layer of network) จะต้องประกอบด้วย การรวมกันของค่า ถ่วงน้ำหนัก ได้แก่ กระบวนการคูณและการบวกเขียนอยู่ในรูปของเวกเตอร์ Wp การบวกด้วยค่า ไบแอส และการส่งผลรวมที่ได้ไปยังฟังก์ชันการถ่ายโอน ทั้งหมดที่กล่าวมาคือคุณสมบัติที่สามารถ เรียกว่า ชั้น (layer) ได้ เพราะฉะนั้นจึงไม่นับอินพุตว่าเป็น “ ชั้น ” รูปแบบการเชื่อมต่อของ นิวรอนภายใน และระหว่างชั้น เรียกว่า สถาปัตยกรรมของโครงข่าย สามารถแบ่งออกได้ 3 แบบคือ

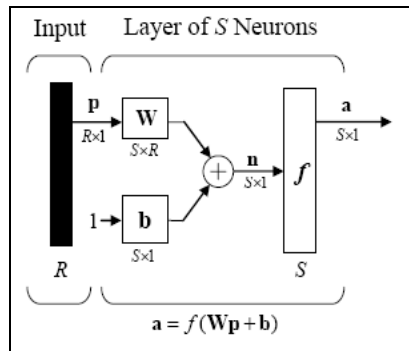
2.6.2.1 A layer of neurons

โครงข่ายแบบนี้จะประกอบด้วยอินพุตเวกเตอร์(p) แต่ละนิวรอนเชื่อมต่อไปยัง Summing junction โดยมีเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนัก(w) เป็นค่าที่กำหนดการเชื่อมต่อ ลำดับการเชื่อมต่อของนิวรอน (i) ซึ่งแต่ละนิวรอนประกอบไปด้วยค่าไบแอส(b_i), Summing node, ฟังก์ชันการถ่ายโอน(f) และค่าเอาต์พุต(a_i) โดยปกติแล้วจำนวนของอินพุตจะมีจำนวนที่ไม่เท่ากับจำนวนของนิวรอน ($R \neq S$) และสามารถสร้างชั้นของนิวรอนให้มีฟังก์ชันการถ่ายโอนที่แตกต่างกันได้เช่นกัน ซึ่งมีลักษณะโครงข่ายที่ขนานกัน เพื่อหาค่าเอาต์พุต



ภาพประกอบ 2-13 โครงข่ายแบบชั้นเดียวที่มีนิวรอนจำนวน S นิวรอน [13]

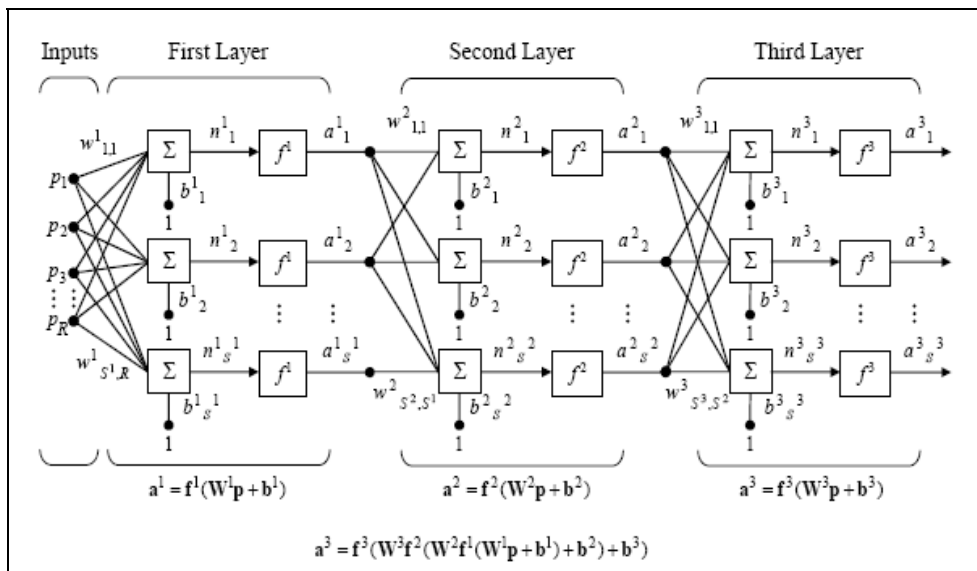
ถ้าจะวาดรูปของโครงข่ายที่มี S นิวรอน R อินพุต ของโครงข่ายแบบชั้นเดียว สามารถเขียนโครงข่ายอย่างย่อได้ดังภาพประกอบ 2-14



ภาพประกอบ 2-14 โครงข่ายแบบชั้นเดียวที่มีนิวรอนจำนวน S นิวรอนแบบย่อ [13]

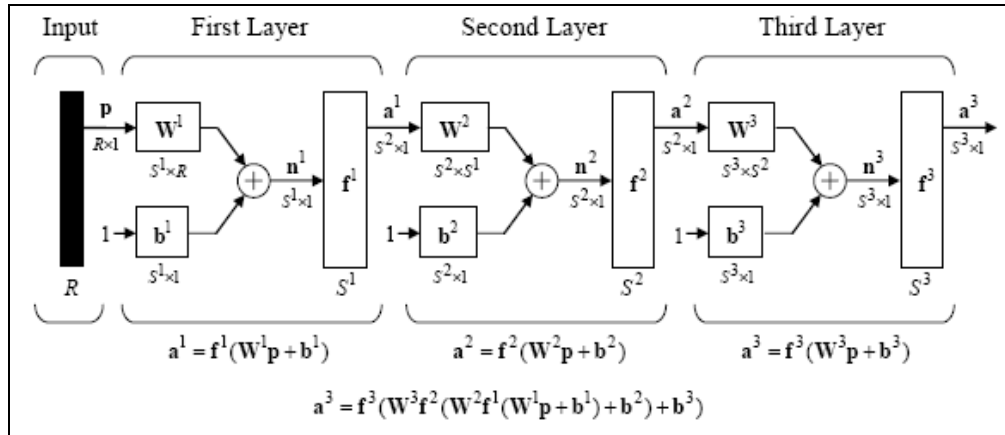
2.6.3 Multiple Layers of Neurons

โครงข่ายแบบนี้สามารถมีจำนวนชั้นของโครงข่ายได้มากกว่า 1 ชั้น ในแต่ละชั้น จะมีเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนัก ไบแอสเวกเตอร์ และเอาต์พุตเวกเตอร์ ในชั้นๆ นั้น เช่น w^1 คือ เมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นแรก ส่วน w^2 คือ เมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นที่ 2 สัญลักษณ์ดังกล่าวนี้แสดงอยู่ในภาพประกอบ 2-15 ซึ่งมีจำนวนชั้นอยู่ทั้งหมด 3 ชั้น เรียกว่า Three-Layer Network



ภาพประกอบ 2-15 โครงข่ายแบบ 3 ชั้น [13]

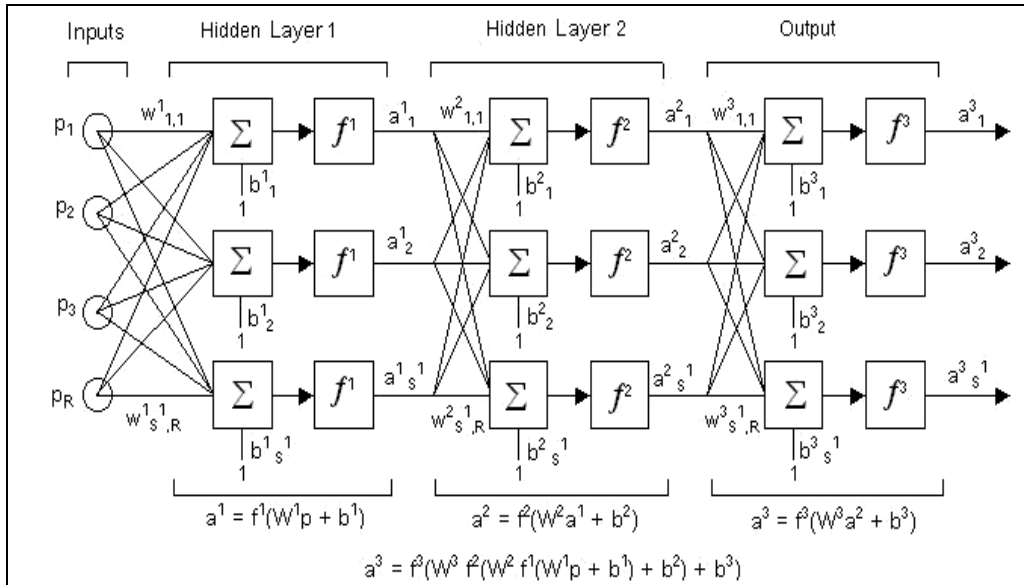
สามารถเขียนโครงข่ายอย่างย่อได้ดังภาพประกอบ 2-16



ภาพประกอบ 2-16 โครงข่ายแบบ 3 ชั้นแบบย่อ [13]

โครงข่ายแบบหลายชั้นนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนกันได้ดีว่าโครงข่ายแบบชั้นเดียว และสามารถนำไปประยุกต์ร่วมกับการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Backpropagation) ได้อีกด้วย การเลือกใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนสำหรับโครงข่ายที่มี 2 ชั้นแรกจะเลือกใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Sigmoid ส่วนชั้นที่ 2 จะเลือกใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Linear ส่วนใหญ่จะพบว่ามีารออกแบบให้โครงข่ายมีจำนวนชั้นเพียง 2 หรือ 3 ชั้น มักไม่ค่อยพบโครงข่ายที่มีจำนวนของชั้นมากกว่านี้

2.6.4 อัลกอริทึมการแพร่กลับ (Back-propagation)



ภาพประกอบ 2-17 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ [13]

การพัฒนาอัลกอริทึมการแพร่กลับจะใช้โครงข่าย 3 ชั้นดังแสดงในภาพประกอบ 2-17 สำหรับโครงข่ายหลายชั้น เอาต์พุตของชั้นหนึ่งจะกลายเป็นอินพุตของชั้นถัดไป ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$a^{m+1} = f^{m+1}(w^{m+1} a^m + b^{m+1}) \quad \text{เมื่อ } m = 0, 1, 2, \dots, n-1 \quad (14)$$

เมื่อ m คือจำนวนชั้นของโครงข่าย และเซลล์ประสาทชั้นที่หนึ่งจะรับอินพุตจากภายนอก

$$a^0 = p \quad (15)$$

เอาต์พุตของเซลล์ประสาทของชั้นสุดท้ายคือเอาต์พุตของโครงข่าย

$$a = a^m \quad (16)$$

- เมื่อ
- a = สัญญาณของโครงข่าย
 - w = ค่าน้ำหนัก
 - b = ไบอัส

2.6.4.1 ดัชนีสมรรถนะ

อัลกอริทึมการแพร่กลับสำหรับโครงข่ายหลายชั้นจะใช้ดัชนีสมรรถนะโดยใช้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองโดยให้กลุ่มตัวอย่างในการเรียนรู้คือ

$$\{p_1, t_1\}, \{p_2, t_2\}, \dots, \{p_n, t_n\}$$

เมื่อ p = อินพุต
 t = เอาท์พุตเป้าหมาย

เมื่อป้อนอินพุตให้กับโครงข่าย เอาท์พุตของโครงข่ายจะถูกเปรียบเทียบกับเป้าหมาย อัลกอริทึมจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของโครงข่ายเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองเท่ากับ

$$F(x) = E[e^2] = E[(t - a)^2] \quad (17)$$

เมื่อ x คือเวกเตอร์ของน้ำหนักและไบอัส
 e คือค่าความผิดพลาด
ถ้าโครงข่ายมีหลายเอาท์พุตสมการทั่วไปคือ

$$F(x) = E[e^T e] = E[(t - a)^T (t - a)] \quad (18)$$

$$\hat{F} = (t(k) - a(k))^T (t(k) - a(k)) = e^T(k) e(k) \quad (19)$$

เมื่อ expectation ของความผิดพลาดกำลังสองถูกแทนด้วยความผิดพลาดกำลังสองรอบที่ k ซึ่ง steepest descent algorithm สำหรับการหาค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองคือ

$$w_{i,j}^m(k+1) = w_{i,j}^m(k) - \alpha \frac{\partial \hat{F}}{\partial w_{i,j}^m} \quad (20)$$

$$b_i^m(k+1) = b_i^m(k) - \alpha \frac{\partial \hat{F}}{\partial b_i^m} \quad (21)$$

เมื่อ α คือ อัตราการเรียนรู้

เราสามารถเขียนสมการของความไวด้วยเมทริกซ์โดยใช้ Chain rule ดังสมการที่ 22

$$S^m = \frac{\partial \hat{F}}{\partial n^m} = \left[\frac{\partial n^{m+1}}{\partial n^m} \right] \frac{\partial \hat{F}}{\partial n^{m+1}} = F^m(n^m)(w^{m+1})^T \frac{\partial n^{m+1}}{\partial n^m} = F^m(n^m)(w^{m+1})^T s^{m+1} \quad (22)$$

เมื่อ S^m คือความไวของ \hat{F} สำหรับเซลล์ประสาทของเน็ตอินพุตที่ชั้น m

จะเห็นได้ว่าความไวของอัลกอริทึมแบบแพร่กลับจะแพร่จากชั้นสุดท้ายไปยังชั้นแรกของโครงข่าย

$$s^M \rightarrow s^{M-1} \rightarrow \dots \rightarrow s^2 \rightarrow s^1$$

สุดท้ายจะได้ค่าน้ำหนักดังสมการที่ 23 และ 24

$$W^m(k+1) = W^m(k) - \alpha s^m (a^{m-1})^T \quad (23)$$

$$b^m(k+1) = b^m(k) - \alpha s^m \quad (24)$$

2.7 หลักการของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวัดแรงกดทับเพื่อจำแนกบริเวณตำแหน่งและน้ำหนักที่มากคับ สิ่งสำคัญก็คือชุดของเครื่องมือวัดที่ทำหน้าที่ตรวจรู้ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็คทริกมาใช้เป็นตัวตรวจรู้ สำหรับเปียโซอิเล็คทริกเป็นตัวตรวจรู้ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด มีราคาถูก ดังแสดงในภาพประกอบ 2-8 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบ รูปแบบของคลื่นเสียง (Acoustic wave) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้นำมาประยุกต์ใช้กับการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนัก เนื่องจากว่าเปียโซอิเล็คทริกมีคุณสมบัติพิเศษคือเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่ให้กับตัวเปียโซแล้วจะให้แรงทางกลนั้นก็หมายถึงจะมีเสียงเกิดขึ้น ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้ คุณสมบัติอีกข้อหนึ่งของตัวตรวจรู้ชนิดนี้ก็คือเมื่อมีแรงมากระทำกับเปียโซแล้วจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า ด้วยเหตุผลตามคุณสมบัติสองประการนี้ จึงเห็นว่าเปียโซอิเล็คทริกสามารถนำมาทำเป็นตัวกำเนิดและตัวรับคลื่นได้



ภาพประกอบ 2-18 ลักษณะของเป็ยโซอิเล็กทริกขนาดต่างๆ

การออกแบบเครื่องมือวัดหรือชุดทดลองในการทดลองนี้จะใช้หลักการของคลื่นเสียงจากการนำเป็ยโซอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้ เป็นตัวกำเนิดและตัวรับเสียง ทำการส่งผ่านตัวกลางนำคลื่นซึ่งในชุดทดลองนี้ได้ใช้เป็นแผ่นทองแดง โดยที่แผ่นตัวกลางนำคลื่นนี้จะเป็ยบริเวณที่ใช้ในการจำลองการกค้บด้วย ชุดทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบเพื่อศึกษาคุณสมบัติของตัวตรวจรู้แบบเป็ยโซอิเล็กทริกเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของคลื่นเสียง ในการทดลองได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองผลตอบสนองของเป็ยโซอิเล็กทริกต่อระยะทางและน้ำหนัก และการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักโดยตัวตรวจรู้แบบเป็ยโซอิเล็กทริก

2.7.1 การทดลองผลตอบสนองของเป็ยโซอิเล็กทริกต่อระยะทางและน้ำหนัก

การทดลองเพื่อศึกษาผลตอบสนองของเป็ยโซอิเล็กทริกต่อระยะทางและน้ำหนัก ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวตรวจรู้ชนิดนี้เกี่ยวกับการกำเนิดและรับคลื่นเสียง และเพื่อศึกษาความสามารถหรือผลตอบสนองเมื่อน้ำหนักมากค้บระหว่างตัวรับและตัวส่งโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจากตัวรับคลื่นรวมทั้งสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากระยะทางการวางน้ำหนักเปลี่ยนไป

2.7.2 การทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักโดยตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริก

สำหรับการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริกมาตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักที่กดทับ เมื่อบริเวณที่มีการกดทับเป็นพื้นผิวระนาบซึ่งเป็นตัวกลางนำคลื่น โดยกำหนดให้บริเวณที่วางก้อนน้ำหนัก ทำเป็นลักษณะของเมทริกซ์ขนาดต่างๆ พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของรูปสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปจากตัวรับนั่นคือสัญญาณเอาต์พุตจากตัวรับ เมื่อมีการเปลี่ยนน้ำหนักและตำแหน่งในการวาง แล้วทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลง นำข้อมูลที่บันทึกมาเข้าระบบโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแบบแพร่ย้อนกลับเพื่อทำการจำแนกบริเวณตำแหน่งและระดับของแรงกดทับ และนำผลที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมาทำการวิเคราะห์ค่าและสร้างเป็นลักษณะภาพ เบื้องต้นของการทดลองเป็นการทดลองโดยเริ่มจากเมทริกซ์ 3×3 และ 6×6 ตามลำดับ โดยมีการพิจารณาจากเงื่อนไขการจำแนกดังต่อไปนี้ คือ การจำแนกเพื่อหาตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อทำการวางก้อนน้ำหนักครั้งละ 1 ตำแหน่ง และการจำแนกเพื่อหาตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อทำการวางก้อนน้ำหนักครั้งละหลายตำแหน่ง รวมทั้งการทดลองหาค่า Sensitivity of Neural Networks เพื่อให้ทราบว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการที่จะปรับตัวตามค่าอินพุตที่ใส่เข้าไปในการทดสอบระบบ อีกทั้งการศึกษาคุณสมบัติบางประการของตัวตรวจรู้ เช่น คุณสมบัติการทำซ้ำ และการหาค่า Hysteresis เป็นต้น

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์และการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการในการทำวิทยานิพนธ์ โดยเริ่มจากการทดลองคุณลักษณะเบื้องต้นของตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริกในการนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของคลื่นเสียง (acoustic wave) รวมทั้งผลตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริกต่อระยะทางและน้ำหนักรวม และการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักโดยตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริก

3.1 การทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริกนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของคลื่นเสียง (acoustic wave)

การทดลองเป็นการประยุกต์ใช้คุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริกทั้ง 2 รูปแบบ โดยการทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เปียโซอิเล็กทริกทำให้เกิดแรงทางกลนั้นก็คือคลื่นเสียงซึ่งกำหนดให้เป็นตัวกำเนิดคลื่น และใช้เป็นตัวรับคลื่นโดยอาศัยหลักการคือเมื่อมีแรงมากระทำจะทำให้เปียโซอิเล็กทริกให้แรงดันไฟฟ้าออกมา กำหนดให้เป็นตัวรับคลื่น สำหรับพื้นผิวที่เป็นตัวกลางนำคลื่นได้นำแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) มาประยุกต์ใช้ให้เป็นตัวกลางนำคลื่น

3.1.1 การทดลองผลตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริกต่อระยะทางและน้ำหนัก

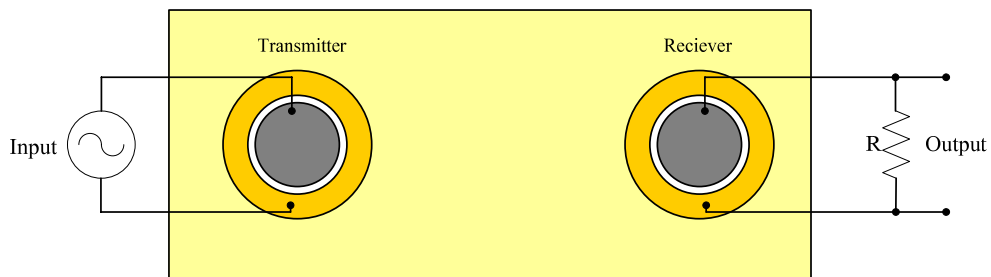
ทำการทดลองเพื่อทำการศึกษาว่าคลื่นเสียงที่สร้างและรับด้วยเปียโซนั้นสามารถที่จะตอบสนองเมื่อน้ำหนักมากค้ำบดบังระหว่างตัวส่งและตัวรับ ทั้งนี้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนัก เพราะฉะนั้นจึงต้องทำการทดลองโดยการวางก้อนน้ำหนักขนาดต่างและเลื่อนตำแหน่ง เพื่อพิจารณาว่าสัญญาณว่ามีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบใดบ้าง เพื่อให้ทราบว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานได้หรือไม่

สมมติฐาน

1. เมื่อมีวัตถุมามากบังคลื่นเสียงสัญญาณที่ออกจากตัวรับนั้นย่อมมีการเปลี่ยนแปลง
2. ระยะห่างของเปียโซตัวกำเนิดกับเปียโซตัวรับย่อมมีการผลต่อสัญญาณเอาต์พุต

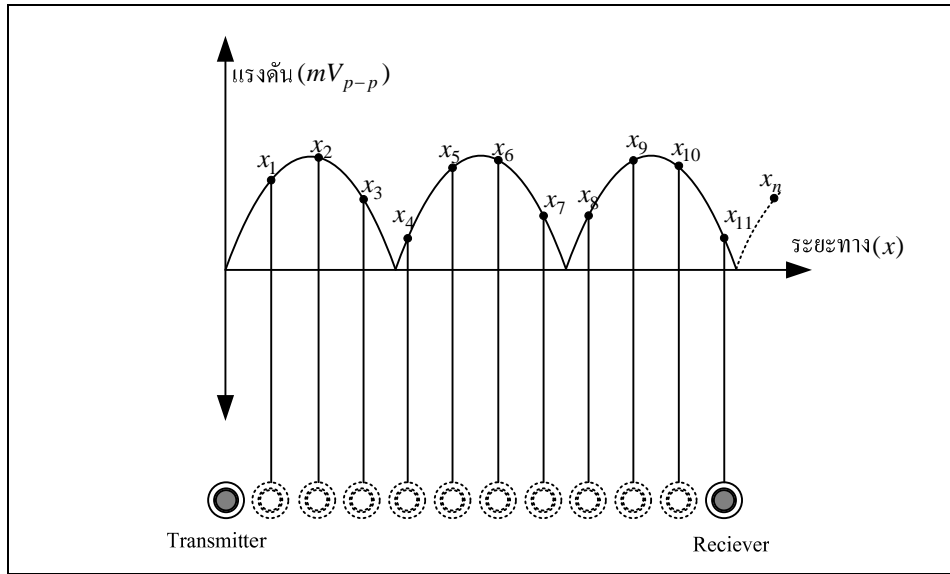
ขั้นตอนการทดลอง

1. สร้างชุดทดลอง ดังภาพประกอบ 3-1 วงจรจะประกอบด้วยเปียโซอิเล็กทริกขนาด 2, 2.7 และ 5 เซนติเมตร ทั้งหมด 2 ตัว คือตัวรับและตัวส่ง วางบนตัวกลางซึ่งเป็นแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) โดยการติดตั้งโดยตรงกับแผ่นตัวกลางโดยใช้กาวสองหน้าแบบบางติดระหว่างเปียโซอิเล็กทริกกับตัวกลาง



ภาพประกอบ 3-1 วงจรการทดลองผลตอบสนองของเปียโซ

2. ป้อนแรงดันอินพุตให้กับเปียโซ เพื่อเป็นตัวส่งโดยขนาดของแรงดัน 20 Vp-p ความถี่สำหรับใช้กับเปียโซอิเล็กทริกขนาด 2, 2.7 และ 5 เซนติเมตร คือ 126 ,100 และ 56 kHz ตามลำดับ
3. พิจารณาสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการเลื่อนตำแหน่งของเปียโซอิเล็กทริกตัวรับออกจากเปียโซอิเล็กทริกตัวส่งครั้งละ 5 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 100 มิลลิเมตร ดังภาพประกอบ 3-2
4. วัดสัญญาณเอาต์พุตซึ่งเป็นแอมพลิจูดขนาดสูงสุดที่ได้จากการเลื่อนตัวรับโดยค่าที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS2024B
5. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลง
6. เพิ่มน้ำหนักร่วมกัน 2 ค่า พร้อมกับเลื่อนของเปียโซอิเล็กทริกตัวรับออกจากเปียโซอิเล็กทริกตัวส่งครั้งละ 5 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 100 มิลลิเมตร
7. วัดสัญญาณเอาต์พุตซึ่งเป็นแอมพลิจูดขนาดสูงสุดที่ได้จากการเลื่อนตัวรับและเพิ่มน้ำหนัก
8. บันทึกผลการเปลี่ยนแปลง
9. นำข้อมูลทั้งหมดมาพลอตกราฟ



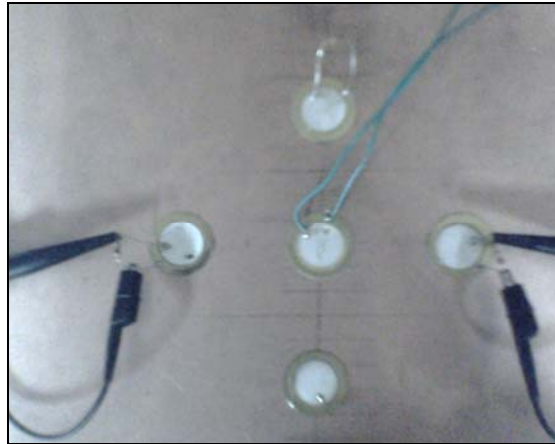
ภาพประกอบ 3-2 ลักษณะการเคลื่อนเป็ยโซอิเล็กทริกตัวรับออกจากตัวส่ง

3.1.2 การทดลองคุณสมบัติความเหมือนและความต่างของเป็ยโซอิเล็กทริก

เนื่องจากเป็ยโซอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดทำให้มีการผลิตหลายบริษัท ซึ่งแต่ละบริษัทคุณสมบัติของเป็ยโซอาจจะต่างกันการทดลองนี้จึงได้ทำการวัดค่าที่ได้จากเป็ยโซตัวรับเพื่อนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติความเหมือนและความต่างในการรับคลื่นเสียง

สมมติฐาน

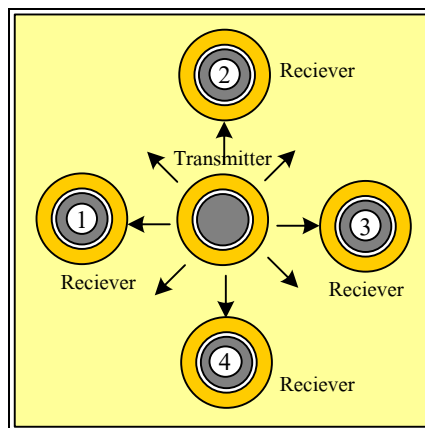
1. ระยะทางระหว่างตัวรับและตัวส่งที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวรับย่อมมีค่าใกล้เคียงกัน
2. ตัวตรวจรู้ที่มาจากเทคโนโลยีสายการผลิตเดียวกันย่อมมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 3-3 การจัดวางชุดทดลองคุณสมบัติความเหมือนและความต่างของเปียโซ

ขั้นตอนการทดลอง

1. สร้างชุดทดลอง ดังภาพประกอบ 3-4 วงจรจะประกอบด้วยเปียโซอิเล็กทริกขนาด 2.7 เซนติเมตร ทั้งหมด 5 ตัว คือตัวส่งวางอยู่ตรงกลางและตัวรับทั้งหมด 4 ตัววางอยู่รอบๆ ตัวส่ง โดยให้มีระยะห่างเท่ากัน วางบนตัวกลางที่เป็นแผ่น PCB

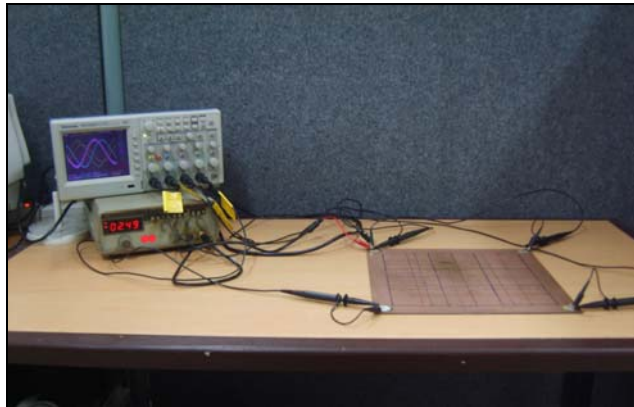


ภาพประกอบ 3-4 การทดลองลักษณะความเหมือนและความต่างของเปียโซอิเล็กทริก

2. ป้อนแรงดันอินพุตให้กับเปียโซ เพื่อเป็นตัวส่งโดยขนาดของแรงดัน 20 Vp-p ความถี่ 100-kHz
3. วัดค่าของแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากตัวรับแต่ละตัว
4. พิจารณาเปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของสัญญาณที่วัดได้

3.2 การทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักโดยตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริก

การทดลองโดยใช้เปียโซอิเล็กทริกทั้งหมด 4 ตัว จัดวางไว้ทั้ง 4 มุม ซึ่งทุกตัวจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่งและตัวรับ โดยที่ตัวส่งจะจ่ายแรงดันอินพุตเป็นรูปคลื่นแบบต่อเนื่องเป็นลักษณะของคลื่นรูปไซน์ตำแหน่งที่วางน้ำหนักเพื่อทดสอบจะอยู่ระหว่างเปียโซอิเล็กทริกทั้ง 4 ตัว มีลักษณะเป็นเมทริกซ์ ใช้น้ำหนักก้อนละ 86 กรัมแทนแรงกดของผลกดทับ ทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตซึ่งเป็นแอมพลิจูดที่มีขนาดสูงสุดและวัดขนาดของเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตของแต่ละตำแหน่งและน้ำหนักจากเปียโซอิเล็กทริกแต่ละตัว ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำหนักและตำแหน่ง



ภาพประกอบ 3-5 ชุดทดลองในห้องปฏิบัติการ

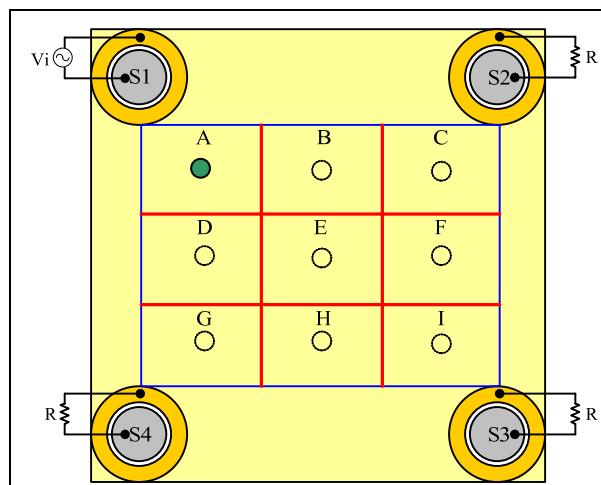
สมมติฐาน

1. การกำหนดพื้นที่การวางก้อนน้ำหนักเป็นลักษณะของเมทริกซ์จะเป็นการสะดวกในการระบุตำแหน่งที่วางได้อย่างชัดเจน
2. การวัดค่าแรงดันเอาต์พุตซึ่งเป็นแอมพลิจูดที่มีขนาดสูงสุดและวัดขนาดของเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่มีการเมื่อวางก้อนน้ำหนักและการเปลี่ยนตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงสามารถที่จะบ่งบอกตำแหน่งและขนาดของน้ำหนักได้

3.2.1 การทดลองเมทริกซ์ขนาด 3x3

ขั้นตอนการทดลอง

1. สร้างชุดทดลองโดยทำการจัดวางตัวตรวจรู้เปียโซอิเล็กทริกบนวัสดุตัวนำเป็นการติดตั้ง โดยตรงกับแผ่นตัวกลางโดยใช้กาวสองหน้าแบบบางติดระหว่างเปียโซอิเล็กทริกกับตัวกลาง ขนาด 30x30 cm ตัวกลางที่ใช้เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ดังภาพประกอบ 3-6
2. ป้อนแรงดันอินพุตให้กับเปียโซตัวที่ 1 (S1) เพื่อเป็นตัวส่งโดยขนาดของแรงดัน 20 Vp-p ความถี่ 3 kHz โดยที่แรงดันที่ป้อนให้เปียโซอิเล็กทริกตัวส่งจะป้อนโดยตรงกับตัวส่งเพื่อทำการ สร้างคลื่นเสียง ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อผู้ป่วย
3. วางก้อนน้ำหนักจำนวน 5 ก้อน วางครั้งละ 1,2,3,4 และ 5 ก้อนตามลำดับ ในแต่ละตำแหน่ง ของเมทริกซ์ 3x3 จนครบทุกตำแหน่งเมทริกซ์ตั้งแต่ A-I วัดค่าแรงดันเอาต์พุตซึ่งเป็น แอมพลิจูดขนาดสูงสุด จากเปียโซตัวที่ 2, 3 และ 4 บันทึกผล

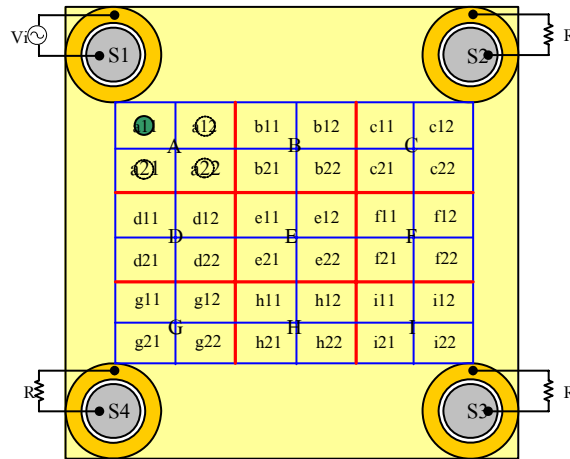


ภาพประกอบ 3-6 การจัดวางตัวตรวจรู้เปียโซอิเล็กทริกบนวัสดุตัวนำขนาดของเมทริกซ์ 3x3

4. เปลี่ยนตัวส่งไปตามลำดับ และวัดค่าจากตัวรับ บันทึกผล
5. ทำการทดลองข้างต้นซ้ำอีกครั้งเพื่อที่จะได้ข้อมูลเพื่อทดสอบ
6. ประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมจากโปรแกรม MATLAB เพื่อทำการจำแนกน้ำหนัก และตำแหน่ง

3.2.2 การทดลองเมทริกซ์ขนาด 6x6

เพื่อเพิ่มความละเอียดในการวัดแรงของการกดทับ การวิจัยจึงทำการเพิ่มขนาดของเมทริกซ์ เป็น 6x6 แสดงในภาพประกอบ 3-7 ทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนการทดลองในหัวข้อ 3.2.1



ภาพประกอบ 3-7 การจัดวางตัวตรวจรู้เปียโซอิเล็กทริกบนวัสดุตัวนำขนาดของเมทริกซ์ 6x6

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นการเก็บค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการวางก้อนน้ำหนักที่มีขนาดที่แตกต่างกัน และที่ตำแหน่งต่างๆตามขนาดของเมทริกซ์ ค่าที่ทำการวัดนั้นได้ใช้เครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการเป็นออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Tektronix รุ่น TDS2024B โดยทำการวัดค่าจากตัวรับคลื่นแต่ละตัว ทำการวัดแอมพลิจูดที่มีขนาดสูงสุดและวัดขนาดของเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุต แล้วนำค่าที่ได้เก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการประมวลผลเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลรวมทั้งจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักต่อไป

ในเบื้องต้นข้อมูลที่ทำการจัดเก็บก็จะจัดเก็บจากการทดลองของขนาดเมทริกซ์ขนาดเล็กก่อนเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ หลังจากนั้นจะทำการเพิ่มขนาดของเมทริกซ์เพื่อเพิ่มความละเอียดในการวัดต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB R2008a ทำการประมวลผลโดยใช้ Neural Network Toolbox โดยหน่วยประมวลผลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ Intel(R) Core(TM) 2Duo CPU T6500 ในงานวิจัยนี้สามารถนำข้อมูลที่วัดได้แล้วนำค่าที่ได้เก็บไว้ในหน่วยความจำ นำค่าดังกล่าวมาทำการประมวลผล

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการหาความสัมพันธ์และจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักในการวางก้อนน้ำหนักค่าต่างๆ นำค่าที่วัดได้จากการทดลองทั้งแอมพลิจูดและเฟส มาทำการจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนักโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (back propagation neural network) มี Feature input ทั้งหมด 32 features เอาต์พุตได้แก่ ตำแหน่งและขนาดของน้ำหนัก มีจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนโครงข่ายที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับข้อมูลและขนาดของเมทริก ใช้ ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Log-Sigmoid และ ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ purelin ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตตามลำดับ การวิเคราะห์มีรูปแบบ คือ กรณีวางน้ำหนักขนาดต่างที่ หนึ่ง สอง สาม และสี่ ตำแหน่ง ของข้อมูลที่วัดได้จากเมทริกซ์ขนาดต่างๆ

สมมติฐาน

ข้อมูลมีที่วัดได้และเก็บไว้ในหน่วยความจำมีจำนวนมาก และสลับซับซ้อน จึงได้เลือกการประมวลผลเพื่อจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนักโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

3.4.1 การจำแนกเพื่อหาตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อทำการวางก้อนน้ำหนักครั้งละ 1 ตำแหน่ง

การจำแนกน้ำหนักและตำแหน่งจากข้อมูลที่วัดได้จากการวางก้อนน้ำหนักครั้งละ 1 ตำแหน่ง ตรงตำแหน่งกึ่งกลางของแต่ละเมทริกซ์ การวิเคราะห์คือต้องทำการปรับตั้งค่าโครงข่ายเพื่อให้สามารถจำแนกตำแหน่งและขนาดของก้อนน้ำหนักแต่ละค่า โดยจะนำข้อมูลทั้งหมดของเมทริกซ์ 3x3 และ 6x6 มาทำการฝึกและทดสอบ

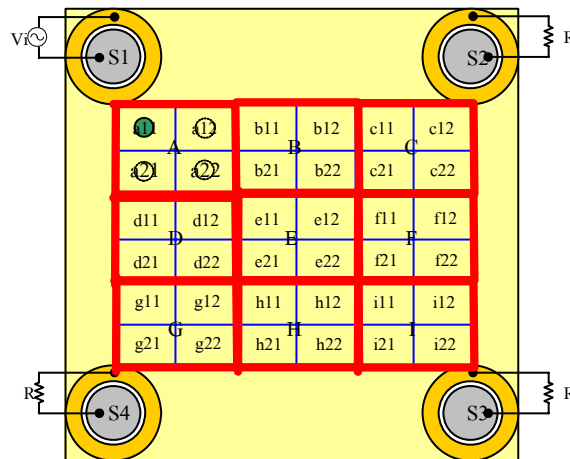
3.4.2 การจำแนกเพื่อหาตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อทำการวางก้อนน้ำหนักครั้งละหลายตำแหน่ง

เนื่องจากในความเป็นจริงของการกวดทาบของผิวหนังนั้นการกวดทาบจะกวดทาบพร้อมกันหลายๆตำแหน่ง ดังนั้นเบื้องต้นการทดสอบจึงต้องทำการทดสอบเมื่อมีน้ำหนักมาวางพร้อมๆกัน 1,2,3 และ 4 ตำแหน่ง ทั้งจำนวนก้อนน้ำหนักที่วางเท่าๆกันและน้ำหนักไม่เท่ากัน การวิเคราะห์คือ นำข้อมูลที่วัดได้จากการวัดค่าทั้งขนาดแอมพลิจูดและการเลื่อนเฟส ที่เกิดจากการวางก้อนน้ำหนัก

ครั้งละหลายๆตำแหน่งที่มีน้ำหนักเท่ากันและแตกต่างกันไป มาทำการทดสอบกับโครงข่ายที่ทำการฝึก เพื่อจำแนกหาตำแหน่งต่างๆและจำนวนก้อนน้ำหนักที่วาง

3.4.3 การจำแนกข้อมูลโดยการฝึกและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมโดยการแบ่งย่อยเมทริกซ์

จากข้อมูลเมทริกซ์ 6×6 ที่วัดได้นั้นจะเห็นได้ว่ามีข้อมูลจำนวนมากอีกทั้งยังสลับซับซ้อน จึงเห็นว่าการนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการฝึกและทดสอบที่เดียวนั้นจะทำให้มีความล่าช้าและทำให้การปรับโครงข่ายมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการแยกฝึกและทดสอบครั้งละ 1 เมทริกซ์ แล้วทำการเลือกโครงข่ายที่เหมาะสมและดีที่สุดของแต่ละตำแหน่งและน้ำหนักเพื่อนำมาใช้ต่อไป การแยกเมทริกซ์จะทำการอ้างอิงจากเมทริกซ์ 3×3 นำมาแบ่งเป็นเมทริกซ์ 2×2 ดังแสดงใน ภาพประกอบ 3-8



ภาพประกอบ 3-8 การแบ่งย่อยเมทริกซ์เพื่อทำการฝึกและทดสอบ

สมมติฐาน

จากข้อมูลที่มีจำนวนมากและสลับซับซ้อนการนำข้อมูลมาฝึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่เดียวทั้งหมดนั้นอาจจะต้องใช้เวลานาน จึงเห็นว่าการแยกเอาข้อมูลมาทำการฝึกและทดสอบครั้งละ 1 เมทริกซ์ย่อย น่าจะช่วยให้ประหยัดเวลาในการฝึก และทำให้สะดวกในการปรับตั้งค่าโครงข่ายประสาทเทียมได้

3.5 ความไวของโครงข่ายประสาทเทียม

การวิเคราะห์ค่าความไวของโครงข่ายประสาทเทียม ทำให้ทราบว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการที่จะปรับตัวตามค่าอินพุตที่ใส่เข้าไปในการทดสอบระบบ

3.6 การศึกษาคุณสมบัติของตัวตรวจรู้

3.6.1 ค่าการทำซ้ำ (Repeatability)

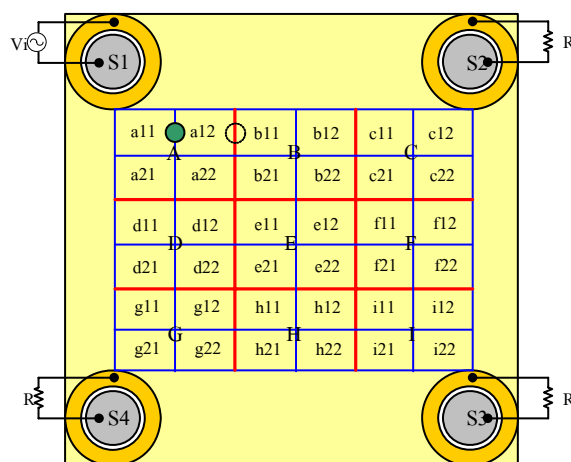
ค่าการทำซ้ำเป็นค่าที่ทำการวัดหลายๆครั้งในสถานะเดียวกัน ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดการเปลี่ยนค่าแรงดันเอาต์พุต และการเลื่อนเฟส เมื่อมีการเพิ่มน้ำหนัก 5 ค่า ทำการวัด 5 ครั้งติดต่อกัน ทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าการวัดแต่ละครั้ง

3.6.2 ค่า Hysteresis

ค่า Hysteresis เป็นค่าที่ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตจากการเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 1 ค่า ไปจนครบ 5 ค่า แล้วทำการลดน้ำหนักครั้งละ 1 ค่า ไปจนครบ 5 ค่าเช่นเดียวกัน

3.7 การทดลองวางก้อนน้ำหนักที่ตำแหน่งระหว่างช่วงของเมทริกซ์

การทดลองนี้เพื่อทำการเก็บผลเพื่อนำผลที่ได้มาทำการฝึกและทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อความหลากหลายของข้อมูลที่นำมาประมวลผล การทดลองแสดงดังภาพประกอบ 3-9



ภาพประกอบ 3-9 การจัดวางตัวตรวจรู้เปียโซอิเล็กทริกบนวัสดุตัวนำโดยวางน้ำหนักระหว่างช่วงเมทริกซ์

3.7.1 การจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลการวางก้อนน้ำหนักระหว่างช่วง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 3.4.4 ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด โดยการวางก้อนน้ำหนักระหว่างช่วงของเมทริกซ์ การวิเคราะห์คือการนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการทดสอบด้วยโครงข่ายที่เหมาะสมที่ได้จากหัวข้อที่ 3.4.3 เพื่อนำผลที่ได้มาทำการพิจารณาถึงค่าที่เกิดจากการวางก้อนน้ำหนักระหว่างเมทริกซ์ และเพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของโครงข่ายนั้นๆ ด้วย

3.7.2 การจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลเมทริกซ์ 3x3 นำมาทดสอบกับเมทริกซ์ 6x6

การวิเคราะห์ในหัวข้อนี้เป็นการนำข้อมูลที่เก็บไว้ของเมทริกซ์ขนาด 3x3 ของทุกตำแหน่งมาทำการทดสอบกับโครงข่ายที่ได้จากหัวข้อที่ 3.4.3 ซึ่งเปรียบเสมือนว่าทำการวางก้อนน้ำหนักตรงตำแหน่งกึ่งกลางของเมทริกซ์ขนาด 2x2 นั้นเอง

3.8 อุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวิจัยและมาตรการในการแก้ไข

1. การจัดวางชุดทดลองจะพบปัญหาคือเมื่อมีการขยับหรือมีการสั่นสะเทือนของพื้นผิวจากสิ่งแวดล้อมภายนอกทำให้สัญญาณมีการสั่นจากการตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริก
2. เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษา การวางน้ำหนักจึงมีน้ำหนักค่อนข้างน้อย ทำให้มีการปรับตั้งค่าความถี่จากแหล่งจ่ายค่อนข้างต่ำทำให้เปียโซอิเล็กทริกมีเสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินทำให้ส่งเสียงรบกวน เหตุที่ต้องใช้ความถี่ต่ำนั้นเนื่องจากความถี่ต่ำสามารถตอบสนองกับน้ำหนักน้อยๆ ได้ดี แต่หากต้องใช้กับน้ำหนักมากๆสามารถที่จะใช้ความถี่สูงที่มนุษย์ไม่ได้ยินได้

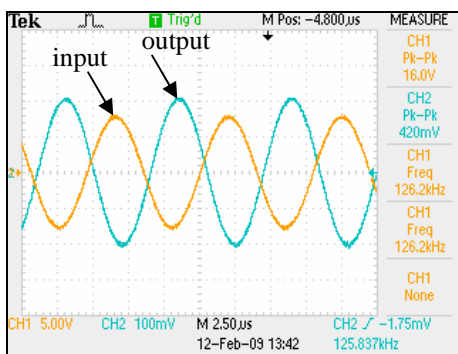
บทที่ 4

ผลการทดลอง

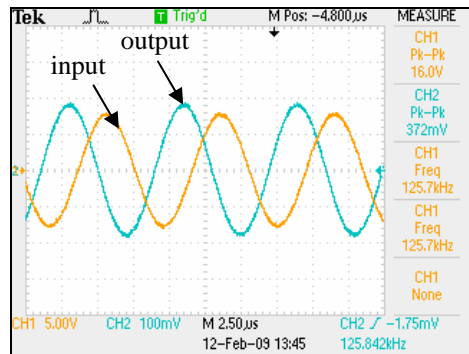
4.1 ผลการทดลองการศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทริกนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของคลื่นเสียง (acoustic wave)

4.1.1 ผลการทดลองผลตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริกต่อระยะทางและน้ำหนัก

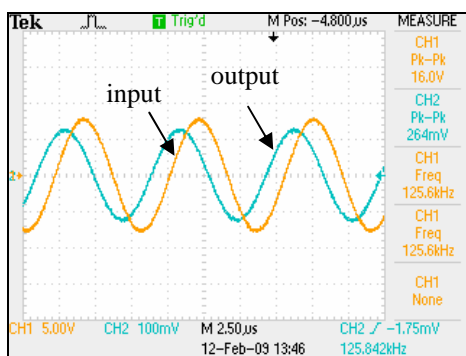
การทดลองนี้ทำเพื่อศึกษาเกี่ยวกับผลที่ได้เมื่อมีการทดลองเลื่อนระยะห่างของเปียโซอิเล็กทริกตัวรับออกจากเปียโซอิเล็กทริกตัวส่ง เพื่อจะได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณของแต่ละระยะทางซึ่งตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงได้แสดงในภาพประกอบ 4-1



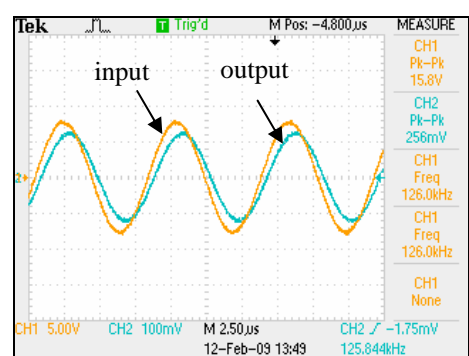
(ก) ระยะ 5 mm.



(ข) ระยะ 10 mm.



(ค) ระยะ 15 mm.

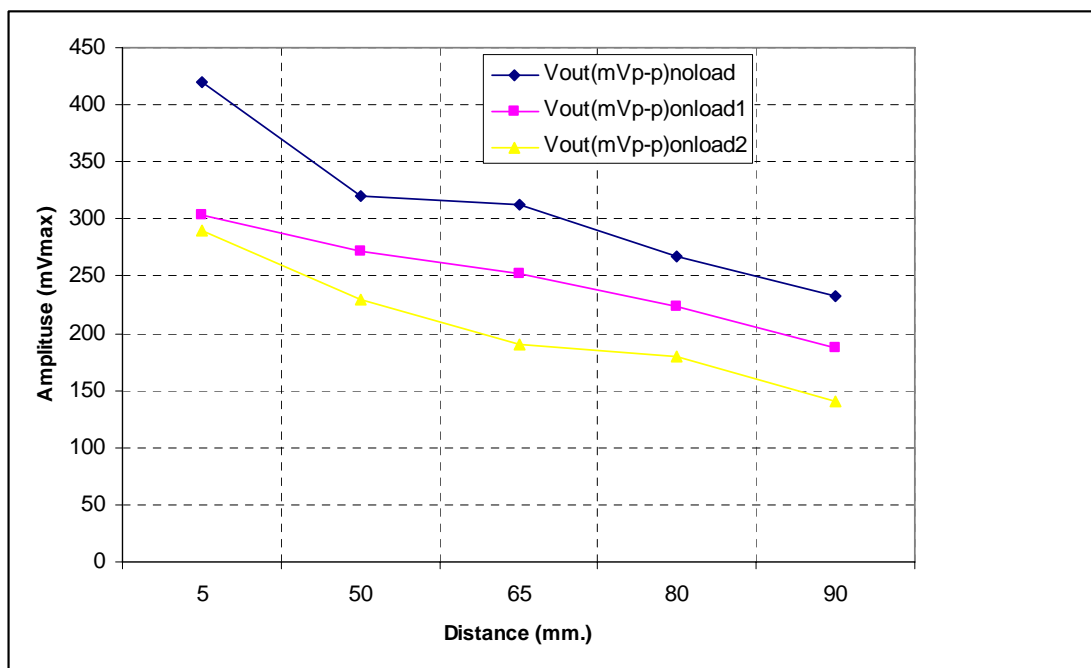


(ง) ระยะ 20 mm.

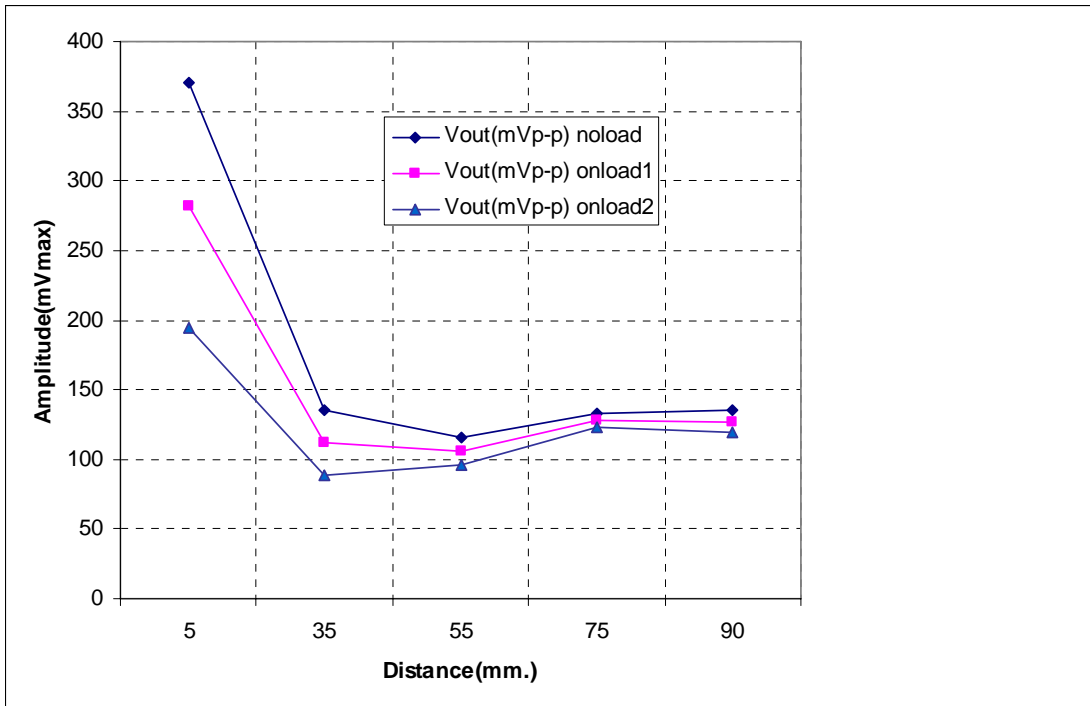
ภาพประกอบ 4-1 ตัวอย่างรูปสัญญาณที่ได้การวัดเมื่อเลื่อนเปียโซอิเล็กทริกตัวรับ

จากภาพประกอบ 4-1 ตัวอย่างรูปสัญญาณที่ได้การวัดเมื่อเลื่อนเปียโซอิเล็กทริกตัวรับออกจากตัวส่งจะเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงคือเมื่อระยะทางเปลี่ยนแปลงขนาดของแอมพลิจูดและการเลื่อนเฟสของเอาต์พุตกับอินพุตก็เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่าระยะทางมีผลต่อแรงดันเอาต์พุต

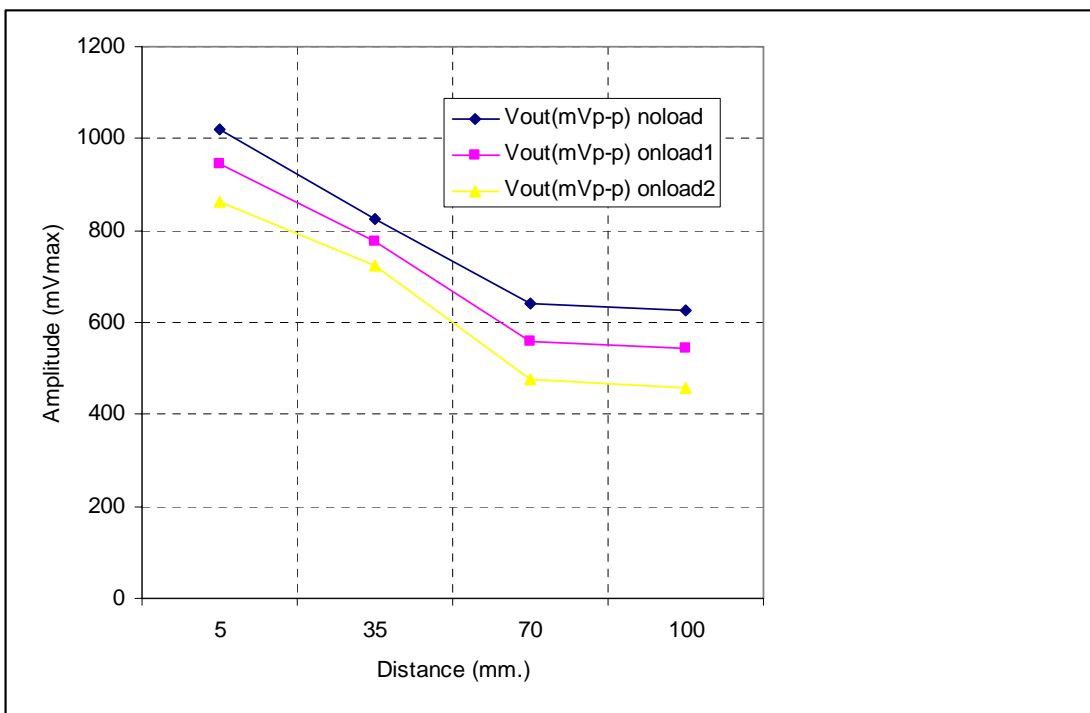
การทดลองขั้นตอนต่อไปก็คือ ทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากตัวรับเป็นค่าแอมพลิจูดขนาดสูงสุด ทำการวัดสองกรณีคือ เมื่อไม่มีก๊อนน้ำหนักราง และเมื่อมีก๊อนน้ำหนักรางระหว่างตัวส่งและตัวรับ ซึ่งจะบอกถึงผลตอบสนองของเปียโซอิเล็กทริกต่อระยะทางและน้ำหนัก การทดลองจะทำการทดสอบเปียโซอิเล็กทริกที่มีขนาดต่างกัน ได้แก่ ขนาด 2, 2.7 และ 5 เซนติเมตร ผลที่วัดได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4-2



ภาพประกอบ 4-2 กราฟผลตอบสนองต่อระยะทางและน้ำหนักของเปียโซขนาด 2 เซนติเมตร



ภาพประกอบ 4-3 กราฟผลตอบสนองต่อระยะทางและน้ำหนักของเปียโซขนาด 2.7 เซนติเมตร

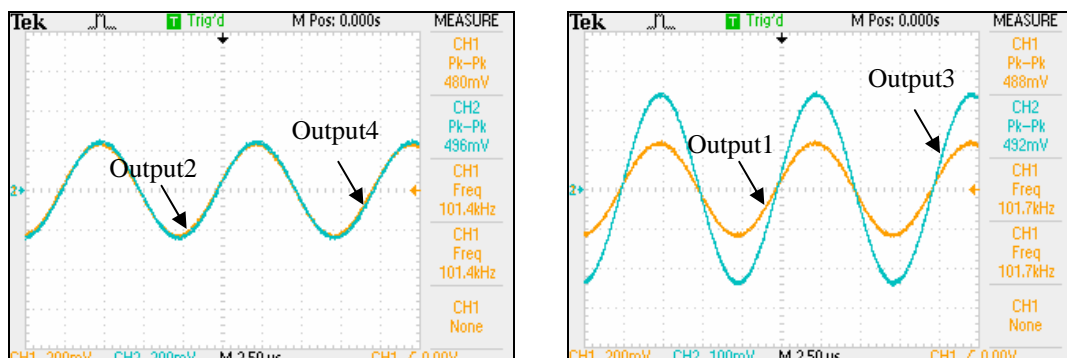


ภาพประกอบ 4-4 กราฟผลตอบสนองต่อระยะทางและน้ำหนักของเปียโซขนาด 5 เซนติเมตร

จากภาพประกอบที่ 4-2 ถึง 4-4 เป็นกราฟแสดงผลการทดลองค่าที่ได้จากการวัดของเปียโซอิเล็กทริกขนาด 2, 2.7 และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้เป็นลักษณะของคลื่นนิ่ง หรือ Standing wave ข้อมูลจากกราฟประกอบด้วยระยะทางของคลื่น ซึ่งจากข้อมูลสามารถที่จะหาความยาวคลื่นได้ประมาณ 28 , 34 และ 60 มิลลิเมตร ตามลำดับ และยังสามารถหาค่าความเร็วของคลื่นในการส่งของเปียโซอิเล็กทริกทั้ง 3 ขนาด บนชั้นรองที่เป็นทองแดง ได้ประมาณ 3528, 3400 และ 3360 m/s ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความเร็วคลื่นบนแผ่นทองแดงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนลักษณะของกราฟจะเห็นการลดทอนของสัญญาณเมื่อมีน้ำหนักรวม 2 ค่ามากกดทับ และขณะที่ไม่มีกรวางน้ำหนักกดทับ

4.1.2 ผลการทดลองคุณสมบัติความเหมือนและความต่างของเปียโซอิเล็กทริก

คุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริกที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาด มีความแตกต่างกันทั้งชนิด หรือเทคโนโลยีการผลิต เพราะฉะนั้นการทดลองนี้จึงมีการทดสอบคุณสมบัติของเปียโซที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยการวางตัวรับทั้งหมด 4 ให้มีระยะห่างจากตัวส่งเท่าๆกัน ผลการทดลองวัดรูปสัญญาณดังแสดงในภาพประกอบ 4-5



(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 4-5 ผลการทดลองลักษณะความเหมือนและความต่างเปียโซอิเล็กทริก

ภาพ (ก) เปียโซอิเล็กทริกตัวที่ 2 กับ 4 ภาพ (ข) เปียโซอิเล็กทริกตัวที่ 1 กับ 3

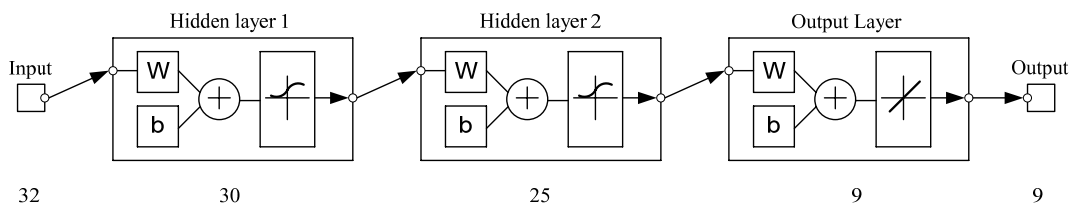
จากภาพประกอบ 4-5 จะเห็นได้ว่าหากวางเปียโซอิเล็กทริกตัวรับให้มีระยะห่างจากตัวส่งที่เท่าๆกัน ผลของเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ภาพ (ก) เป็นการทดสอบเปียโซอิเล็กทริกตัวที่ 2 กับ 4 ภาพ (ข) เป็นการทดสอบเปียโซอิเล็กทริกตัวที่ 1 กับ 3 ทั้ง 2 ภาพ จะเห็นได้ว่าทั้งแอมพลิจูดและเฟสมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

4.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักโดยตัวตรวจรู้แบบเป็ยโซอิเล็กทรอนิกส์

การทดลองนี้จะแบ่งพื้นที่การทดสอบเป็นเมตริกซ์ซึ่งจะเริ่มจากการทดลองเมตริกซ์ขนาด 3×3 และ 6×6 ตามลำดับ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความละเอียดน้อยแต่เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจรู้ตำแหน่งและน้ำหนักเบื้องต้นผู้วิจัยจึงได้เริ่มทดสอบพื้นที่ที่มีความละเอียดน้อย แต่หากต้องการความละเอียดของพื้นที่ทดสอบที่มากขึ้นต้องทำการเพิ่มขนาดของเมตริกซ์เพื่อทำการทดลองต่อไป

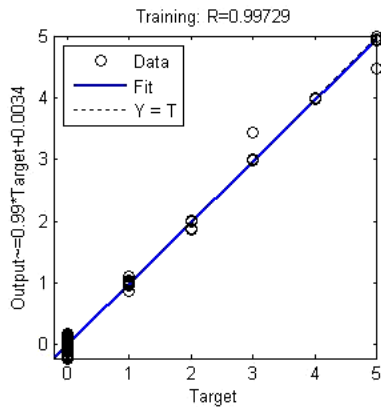
4.2.1 ผลการทดลองเมตริกซ์ขนาด 3×3 โดยการทดสอบวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง

ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจะมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ตั้งแต่ตำแหน่ง A ไปจนถึงตำแหน่ง I การจำแนกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการจำแนกโดยใช้ข้อมูลทั้งหมดมาทำการฝึกและทดสอบ ครั้งละ 1 ตำแหน่งโดยใช้ข้อมูลทดสอบของน้ำหนักในตำแหน่งนั้น ตั้งแต่ 1-5 ก้อน ซึ่งมีโครงสร้างของโครงข่ายประสาทดังภาพประกอบ 4-6

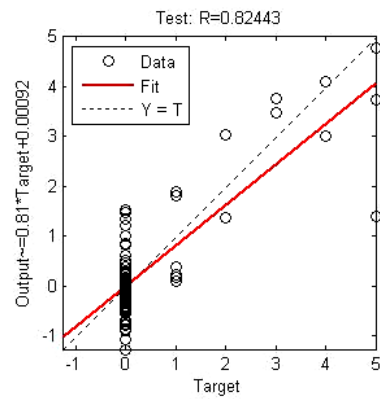


ภาพประกอบ 4-6 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง

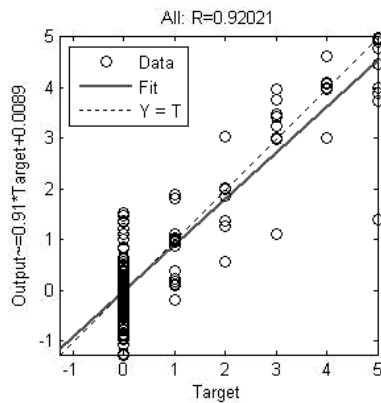
จากภาพประกอบ 4-6 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับข้อมูลอินพุตประกอบด้วยแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และการเลื่อนเฟส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดส่วนข้อมูลด้านเอาต์พุตประกอบด้วย ตำแหน่งและน้ำหนัก จากโครงสร้างที่เหมาะสมในการปรับจำนวนโหนดในชั้นอินพุตมี 32 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 1 มี 30 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 2 มี 25 และชั้นเอาต์พุตมี 9 โหนด ผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าทั้งหมดแสดงตัวอย่างดังในภาพประกอบที่ 4-7



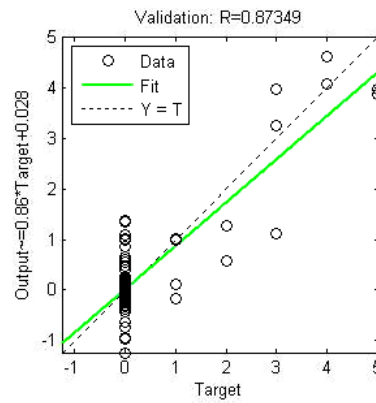
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบ 4-7 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของผลการฝึกและข้อมูลทดสอบ

ผลจากการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมตัวอย่างของตำแหน่งเมทริกซ์ A เป็นกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึก และข้อมูลทดสอบ จากภาพประกอบ 4-7 (ก) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึกเป็น 0.99729 จากภาพประกอบ 4-7 (ข) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดสอบเป็น 0.87349 พบว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก โดยการจำแนกพบว่าค่าของแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และค่าการเลื่อนเฟสที่ได้จากการวัดจากการส่งคลื่นเสียงจากตัวส่งไปยังตัวรับนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.92021 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-7 (ค) และเมื่อไปจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนัก จะได้ความแม่นยำ 87.34% ดังแสดงในภาพประกอบ 4-7 (ง) ผลการทดลองโครงข่ายประสาทได้สรุป ในตารางที่ 4-1 และ สรุปผลการปรับค่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของเมทริกซ์ 3x3 เมื่อวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่งในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 สรุปผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักของเมทริกซ์ 3x3 เมื่อวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง

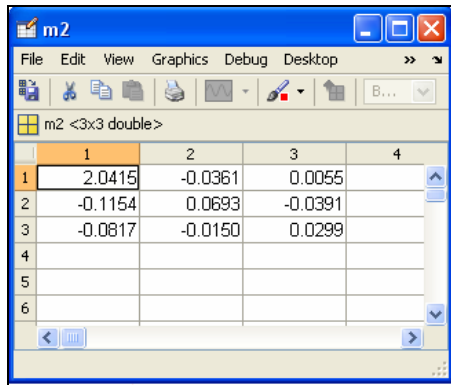
ตำแหน่ง	ค่าความสัมพันธ์ ของการฝึก	ค่าความสัมพันธ์ ของการทดสอบ	ค่าความแม่นยำ	ค่าสหสัมพันธ์
A	0.99729	0.82443	0.87349	0.92021
B	0.98778	0.7984	0.83003	0.89752
C	0.98778	0.7984	0.83003	0.89752
D	0.99302	0.82109	0.76613	0.8862
E	0.94459	0.73053	0.80227	0.85227
F	0.9982	0.79503	0.89394	0.91838
G	0.93213	0.57811	0.7022	0.77108
H	0.95127	0.70164	0.7615	0.82496
I	0.9866	0.72854	0.82659	0.87668

ตารางที่ 4-2 สรุปผลการปรับค่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของเมทริกซ์ 3x3 เมื่อวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง

ตำแหน่งเมทริกซ์	โครงสร้างการปรับจำนวนโหนดของโครงข่ายประสาทเทียม			
	อินพุต	ชั้นซ่อนที่1	ชั้นซ่อนที่2	เอาต์พุต
A	32	25	20	9
B	32	25	20	9
C	32	25	20	9
D	32	25	20	9
E	32	30	20	9
F	32	30	20	9
G	32	35	30	9
H	32	30	20	9
I	32	30	20	9

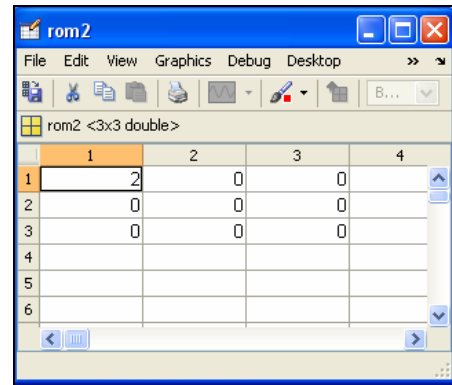
4.2.2 ผลของค่าเอาต์พุตที่ได้จากการฝึกและทดสอบด้วยโครงข่ายประสาท

หลังจากการนำข้อมูลทั้งหมดของเมทริกซ์ขนาด 3x3 มาทำการฝึกและทดสอบด้วยโครงข่ายแล้วนั้น ก็จะได้ค่าของเอาต์พุตที่ต้องการ คือ ตำแหน่งและก็น้ำหนักที่วาง ซึ่งผลของเอาต์พุตที่ได้จากการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทแสดงตัวอย่างดังภาพประกอบ 4-8



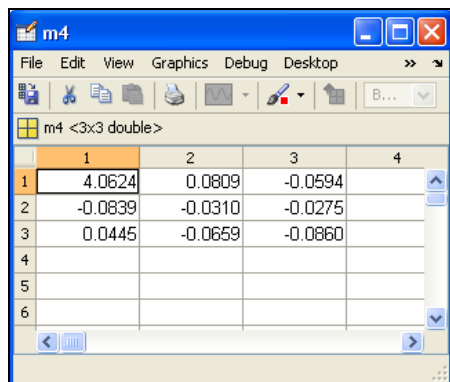
	1	2	3	4
1	2.0415	-0.0361	0.0055	
2	-0.1154	0.0693	-0.0391	
3	-0.0817	-0.0150	0.0299	
4				
5				
6				

(ก)



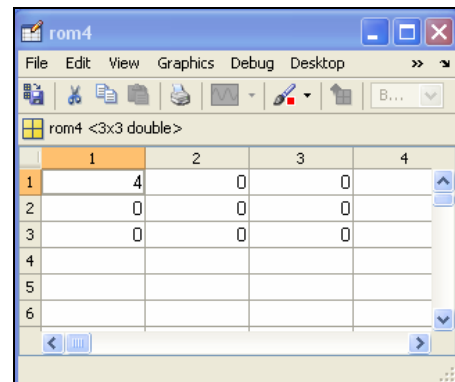
	1	2	3	4
1	2	0	0	
2	0	0	0	
3	0	0	0	
4				
5				
6				

(ข)



	1	2	3	4
1	4.0624	0.0809	-0.0594	
2	-0.0839	-0.0310	-0.0275	
3	0.0445	-0.0659	-0.0860	
4				
5				
6				

(ค)



	1	2	3	4
1	4	0	0	
2	0	0	0	
3	0	0	0	
4				
5				
6				

(ง)

ภาพประกอบ 4-8 ค่าเอาต์พุตของระบบที่ได้จากการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาท ภาพ (ก) และ (ค) เป็นข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทของตำแหน่งเมทริกซ์ A ภาพ (ข) และ (ง) เป็นข้อมูลที่ผ่านมาการปิดเศษ

	1	2	3	4
1	-0.5547	-0.4581	0.2931	
2	0.2992	0.6809	0.0898	
3	0.1376	0.0972	-0.0799	
4				
5				
6				

(ก)

	1	2	3	4
1	0	0	0	
2	0	1	0	
3	0	0	0	
4				
5				
6				

(ข)

	1	2	3	4
1	0.0783	-0.0236	-0.0718	
2	-0.0926	3.3989	-0.1233	
3	-0.1981	0.2569	0.1291	
4				
5				
6				

(ค)

	1	2	3	4
1	0	0	0	
2	0	3	0	
3	0	0	0	
4				
5				
6				

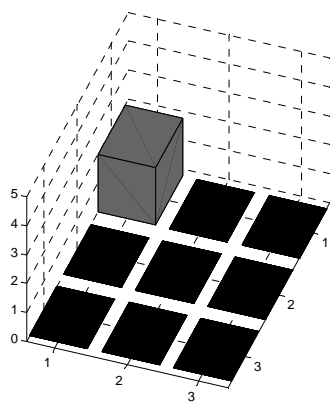
(ง)

ภาพประกอบ 4-9 ค่าเอาต์พุตของระบบที่ได้จากการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาท
 ภาพ (ก) และ (ค) เป็นข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทของตำแหน่งเมทริกซ์ E
 ภาพ (ข) และ (ง) เป็นข้อมูลที่ได้ผ่านการปิดเศษ

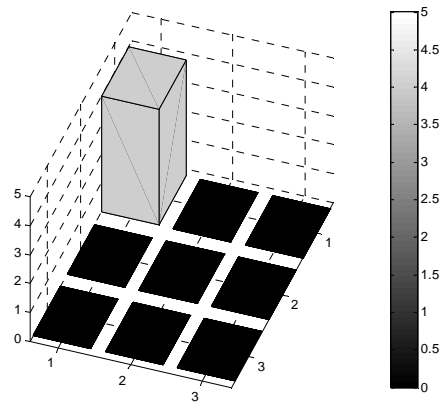
จากภาพที่ 4-8 และ 4-9 เป็นการแสดงผลค่าเอาต์พุตที่ได้จากระบบที่ทำการจำแนก
 ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ผลที่ได้จะเป็นลักษณะของตัวเลขในตำแหน่งของเมทริกซ์ขนาดตามที่
 กำหนดตามขนาดพื้นที่การวางก้อนน้ำหนัก ผลที่ได้ก็คือค่าของตัวเลขที่ได้นั้นระบุตำแหน่งและ
 น้ำหนักได้ชัดเจน แต่เพื่อให้ได้ความแม่นยำยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการปิดเศษ ซึ่งหลังจากปิดเศษ
 แล้วนั้นจะเห็นได้ว่าค่าที่ได้นั้นมีความชัดเจนและตรงตามค่าตำแหน่งและน้ำหนักที่วาง

4.2.3 การสร้างแผนที่การกดทับ

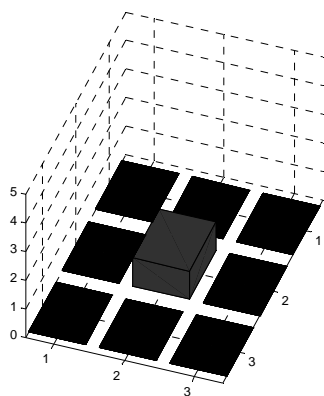
จากผลที่ได้จากการจำแนกโดยโครงข่ายประสาทเทียม และได้ทำการปิดเศษ จะได้ค่าของเอาต์พุต คือตำแหน่งและน้ำหนัก ที่วางก้อนน้ำหนัก ผลที่ได้จะเป็นลักษณะตาม เมทริกซ์ที่เรากำหนด และเพื่อแสดงผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงต้องทำการสร้างภาพให้เป็นเลขสี 3 มิติ ดังภาพประกอบ 4-10



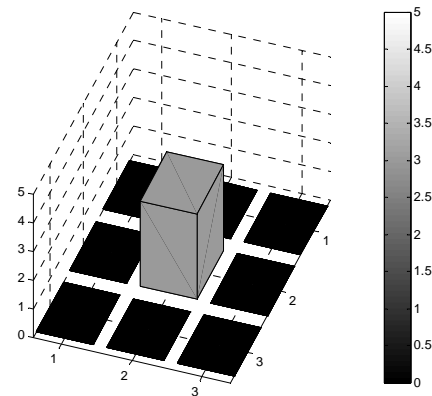
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

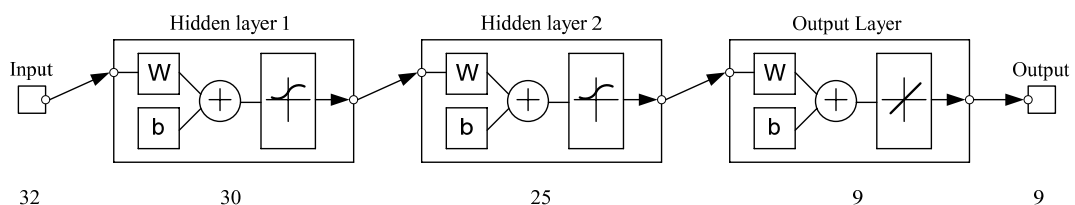
ภาพประกอบ 4-10 ผลการนำเอาต์พุตมาทำเป็นภาพสีแบบ 3 มิติ ภาพ (บน) ผลการทดลอง ตำแหน่งเมทริกซ์ A ภาพ (ล่าง) ผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ E

จากภาพประกอบ 4-10 เป็นผลการนำค่าเอาต์พุตที่ได้จากโครงข่ายประสาทมาทำการสร้างเป็นเจดสีแบบ 3 มิติ ภาพประกอบ 4-10 (ก) และ (ข) เป็นตัวอย่างในการวางน้ำหนักบนตำแหน่งเมทริกซ์ A ภาพประกอบ 4-10 (ก) เป็นภาพที่แสดงการวางน้ำหนัก 2 ก่อน ภาพประกอบ 4-10 (ข) แสดงการวางน้ำหนัก 4 ก่อน ส่วนภาพประกอบ 4-10 (ค) และ (ง) เป็นตัวอย่างในการวางน้ำหนักบนตำแหน่ง E ภาพประกอบ 4-10 (ค) เป็นภาพที่แสดงการวางน้ำหนัก 1 ก่อน ภาพประกอบ 4-10 (ง) แสดงการวางน้ำหนัก 3 ก่อน ผลที่ได้คือเมื่อทำการสร้างเป็นภาพสีแบบ 3 มิติ แล้วนั้นจะสามารถเห็นความแตกต่างของตำแหน่งและน้ำหนักได้อย่างชัดเจน

4.2.4 การทดลองเมทริกซ์ขนาด 3x3 โดยการทดสอบวางน้ำหนักครั้งละหลายตำแหน่ง

4.2.4.1 วางน้ำหนัก 2 ตำแหน่งเท่าๆกัน

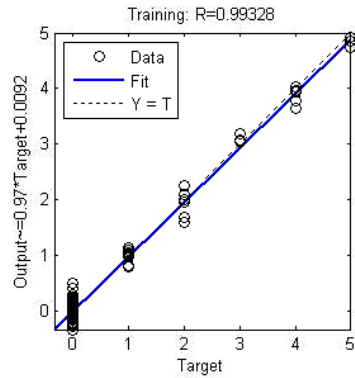
เนื่องจากการกดทับของผิวหนังโดยปกติจะมีการกดทับเป็นบริเวณกว้าง หากบริเวณที่มีการกดทับถูกกำหนดเป็นเมทริกซ์ ก็จะเห็นได้ว่าการกดทับหลายๆตำแหน่งพร้อมกัน การจำลองการกดทับเพื่อศึกษาจึงได้ทำการทดลองวางก้อนน้ำหนักครั้งละหลายตำแหน่งแล้วทำการเก็บผลการเปลี่ยนแปลงของรูปสัญญาณเอาต์พุต



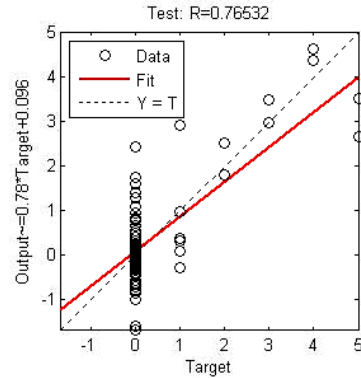
ภาพประกอบ 4-11 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่งวางน้ำหนักเท่ากัน

จากภาพประกอบ 4-11 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับข้อมูลอินพุตประกอบด้วยแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และการเลื่อนเฟส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด ส่วนข้อมูลด้านเอาต์พุตประกอบด้วย ตำแหน่งและน้ำหนัก จากโครงสร้างที่เหมาะสมในการปรับจำนวนโหนดในชั้นอินพุตมี 32 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 1 มี 30 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 2 มี 25 และชั้นเอาต์พุตมี 9 โหนด ผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าทั้งหมดแสดงตัวอย่างดังในภาพประกอบที่ 4-12

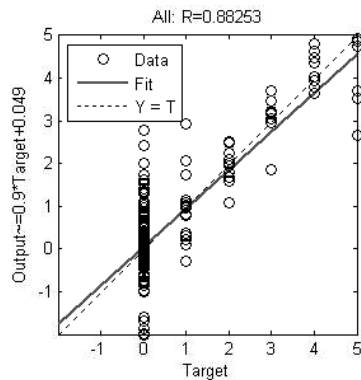
ก. ผลของโครงข่ายประสาทเทียม



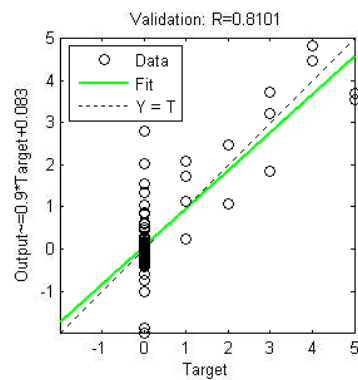
(ก)



(ข)



(ค)

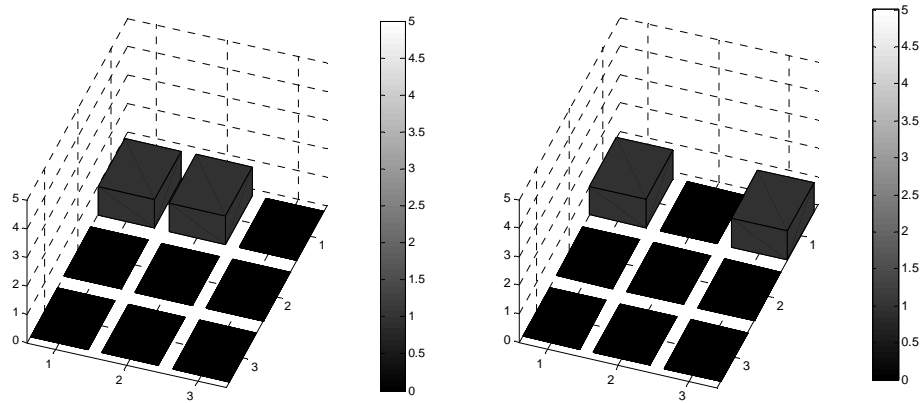


(ง)

ภาพประกอบ 4-12 กราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง โดยวางก้อนน้ำหนักเท่าๆกัน

ผลจากการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมด้วยการวางก้อนน้ำหนัก 2 ตำแหน่งเท่าๆกัน เป็นกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึก และข้อมูลทดสอบ จากภาพประกอบ 4-12 (ก) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึกเป็น 0.99328 จากภาพประกอบ 4-12 (ข) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดสอบเป็น 0.76532 พบว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก โดยการจำแนกพบว่าค่าของแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และค่าการเลื่อนเฟสที่ได้จากการวัดจากการส่งคลื่นเสียงจากตัวส่งไปยังตัวรับนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.88253 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-12 (ค) และเมื่อไปจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนัก จะมีความแม่นยำ 88.25% ดังแสดงในภาพประกอบ 4-12 (ง)

ข. ผลจากการนำเอาต์พุตมาสร้างแผนที่การกดทับ

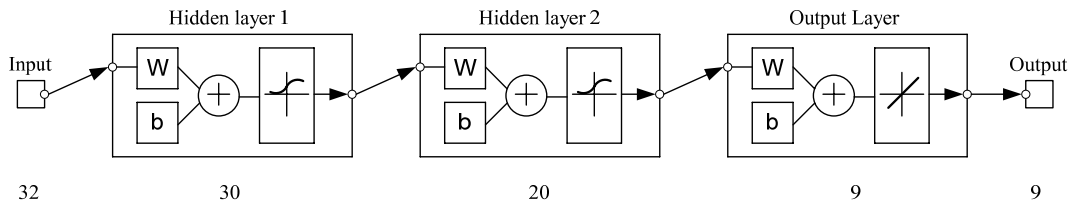


ภาพประกอบ 4-13 ผลการวางน้ำหนักเท่ากันครั้งละ 2 ตำแหน่ง(ซ้าย) ผลจากการวางน้ำหนัก 1 ก้อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ A และ เมทริกซ์ B (ขวา) ผลจากการวางน้ำหนัก 1 ก้อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ A และ เมทริกซ์ C

ผลที่ได้คือระบบของโครงข่ายประสาทสามารถจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักได้ เมื่อทำการวางก้อนน้ำหนัก 2 ตำแหน่งโดยการวางก้อนน้ำหนักขนาดเท่ากัน

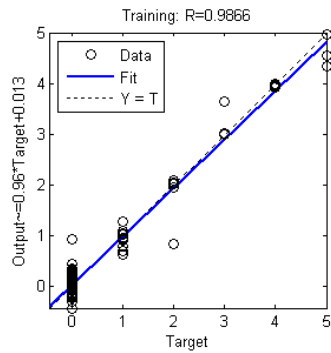
4.2.5 วางน้ำหนัก 2 ตำแหน่งน้ำหนักต่างกัน

ก. ผลของโครงข่ายประสาทเทียม

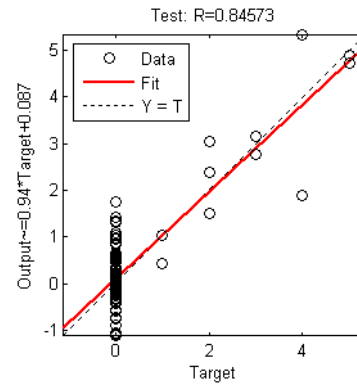


ภาพประกอบ 4-14 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่งวางน้ำหนักไม่เท่ากัน

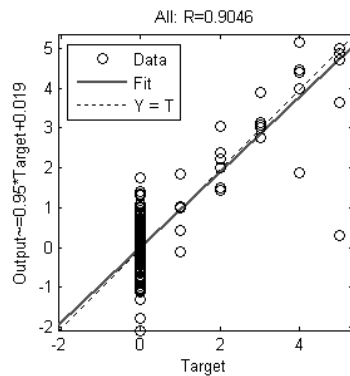
จากภาพประกอบ 4-14 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับข้อมูลอินพุตประกอบด้วยแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และการเลื่อนเฟส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด ส่วนข้อมูลด้านเอาต์พุตประกอบด้วย ตำแหน่งและน้ำหนัก จากโครงสร้างที่เหมาะสมในการปรับจำนวนโหนดในชั้นอินพุตมี 32 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 1 มี 30 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 2 มี 20 และชั้นเอาต์พุตมี 9 โหนด ผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าทั้งหมดแสดงตัวอย่างดังในภาพประกอบที่ 4-15



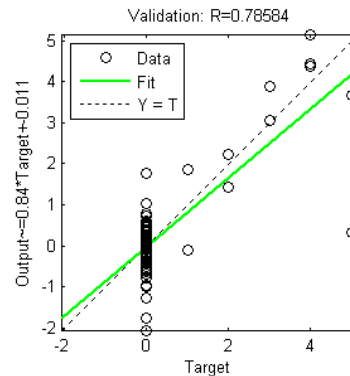
(ก)



(ข)



(ค)

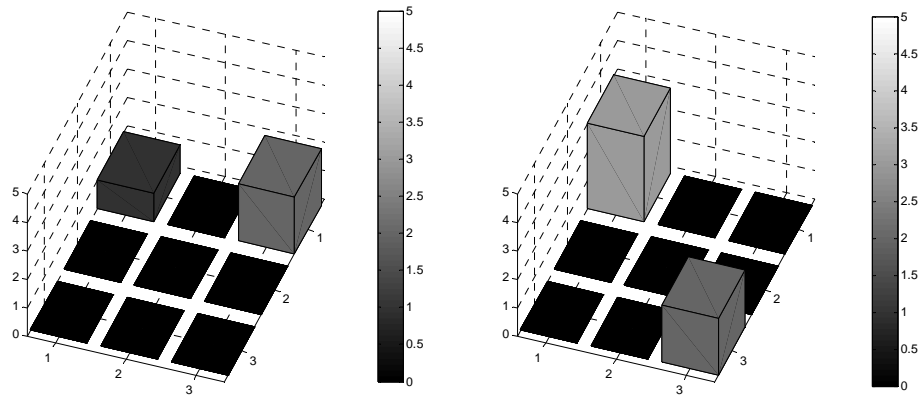


(ง)

ภาพประกอบ 4-15 กราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง โดยวางก๊อนน้ำหนักขนาดต่างกัน

ผลจากการออกแบบ โครงข่ายประสาทเทียมตัวอย่างการวางก๊อนน้ำหนัก 2 ตำแหน่งโดยวางก๊อนน้ำหนักขนาดต่างกัน เป็นกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึก และข้อมูลทดสอบ จากภาพประกอบ 4-15 (ก) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึกเป็น 0.9866 จากภาพประกอบ 4-15 (ข) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดสอบเป็น 0.84573 พบว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก โดยการจำแนกพบว่าค่าของแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และค่าการเลื่อนเฟสที่ได้จากการวัดจากการส่งคลื่นเสียงจากตัวส่งไปยังตัวรับนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9046 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-15 (ค) และเมื่อไปจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนัก จะได้ความแม่นยำ 78.58% ดังแสดงในภาพประกอบ 4-15 (ง)

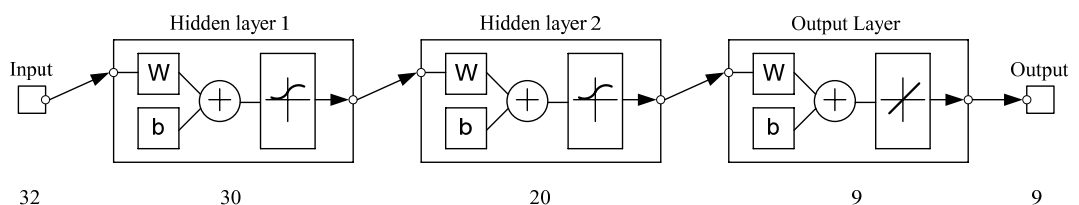
ข. ผลจากการนำเอาข้อมูลมาสร้างแผนที่การกดทับ



ภาพประกอบ 4-16 ผลการวางน้ำหนักต่างกันครั้งละ 2 ตำแหน่ง (ซ้าย) ผลจากการวางน้ำหนัก 1 ก่อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ A และ วาง 2 ก่อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ C (ขวา) ผลจากการวางน้ำหนัก 3 ก่อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ A และ วาง 2 ก่อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ I

จากภาพประกอบ 4-16 แสดงผลที่ได้คือระบบของโครงข่ายประสาทสามารถจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักได้เมื่อทำการวางก่อนน้ำหนัก 2 ตำแหน่งโดยการวางก่อนน้ำหนักที่ต่างกัน เป็นการแสดงข้อมูลเอาต์พุตของการวาง(ซ้าย) ผลจากการวางน้ำหนัก 1 ก่อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ A และ วาง 2 ก่อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ C (ขวา) ผลจากการวางน้ำหนัก 3 ก่อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ A และ วาง 2 ก่อนบนตำแหน่งเมทริกซ์ I แสดงให้เห็นความแตกต่างของตำแหน่งและน้ำหนักได้อย่างชัดเจน

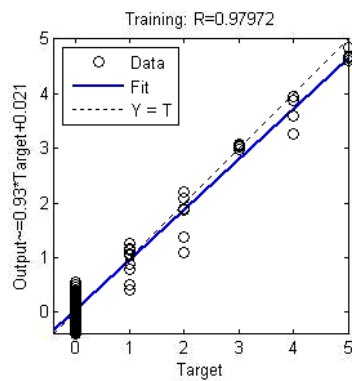
4.2.6 วางน้ำหนัก 3 ตำแหน่งเท่าๆกัน



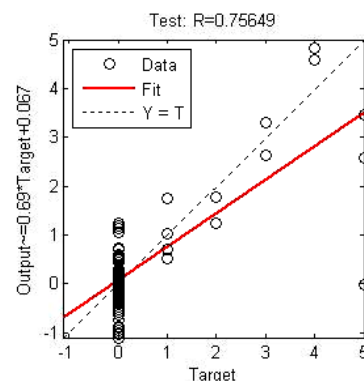
ภาพประกอบ 4-17 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง วางน้ำหนักเท่าๆกัน

จากภาพประกอบ 4-17 เป็นตัวอย่าง โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับข้อมูลอินพุตประกอบด้วยแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และการเลื่อนเฟส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด ส่วนข้อมูลด้านเอาต์พุตประกอบด้วย ตำแหน่งและน้ำหนัก จากโครงสร้างที่เหมาะสมในการปรับจำนวนโหนดในชั้นอินพุตมี 32 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 1 มี 30 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 2 มี 20 และชั้นเอาต์พุตมี 9 โหนด ผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าทั้งหมดแสดงตัวอย่างดังในภาพประกอบที่ 4-18

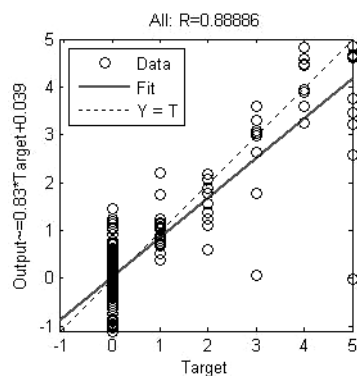
ก. ผลของโครงข่ายประสาทเทียม



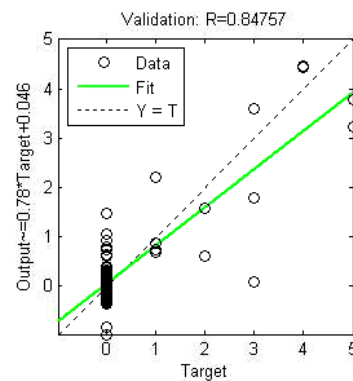
(ก)



(ข)



(ค)



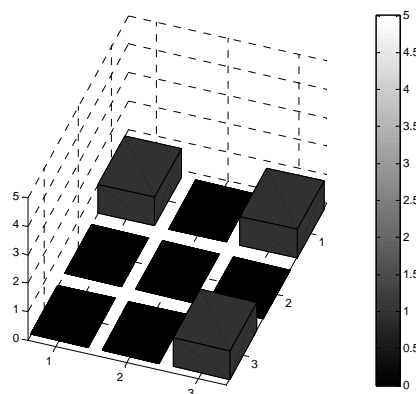
(ง)

ภาพประกอบ 4-18 กราฟความสัมพันธ์ของผลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง โดยวางก๊อนน้ำหนักแต่ละตำแหน่งเท่ากัน

ผลจากการออกแบบ โครงข่ายประสาทเทียมตัวอย่างการวางก๊อนน้ำหนัก 3 ตำแหน่งโดยวางก๊อนน้ำหนักขนาด 1 ก๊อนเท่าๆกัน จากภาพประกอบ 4-18 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึก และข้อมูลทดสอบ จากภาพประกอบ 4-18 (ก) มีค่าความสัมพันธ์

ของข้อมูลการฝึกเป็น 0.9797 จากภาพประกอบ 4-18 (ข) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดสอบ เป็น 0.76532 พบว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก โดยการ จำแนกพบว่าค่าของแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และค่าการเลื่อนเฟสที่ได้จากการวัดจากการส่งคลื่น เสียงจากตัวส่งไปยังตัวรับนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.88886 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-18 (ค) และเมื่อไปจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนัก จะ ได้ความแม่นยำ 84.75% ดังแสดงในภาพประกอบ 4-18 (ง)

ข. ผลจากการนำเอาต์พุตมาสร้างแผนที่การกดทับ

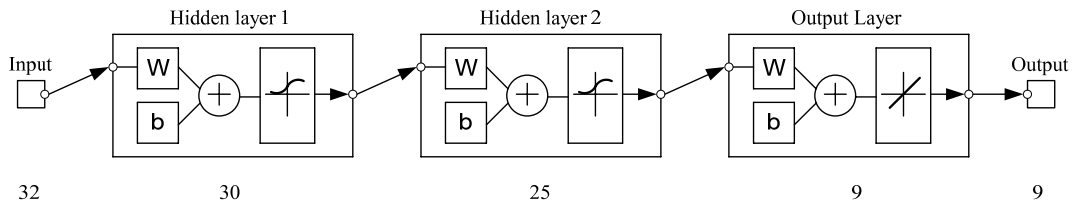


ภาพประกอบ 4-19 ผลการวางน้ำหนักเท่ากันบนเมทริกซ์ 3 ตำแหน่ง

จากภาพประกอบ 4-19 ผลที่ได้คือระบบของโครงข่ายประสาทสามารถจำแนก ตำแหน่งและน้ำหนักได้เมื่อทำการวางก้อนน้ำหนัก 3 ตำแหน่งโดยการวางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อน เท่ากัน เป็นการแสดงข้อมูลเอาต์พุตของการวางที่ตำแหน่ง A, C และ ตำแหน่ง I แสดงให้เห็น ตำแหน่งและน้ำหนักที่เท่ากันได้ชัดเจน

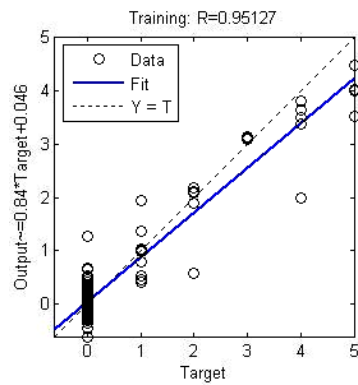
4.2.7 วางน้ำหนัก 3 ตำแหน่งน้ำหนักต่างกัน

ก. ผลของโครงข่ายประสาทเทียม

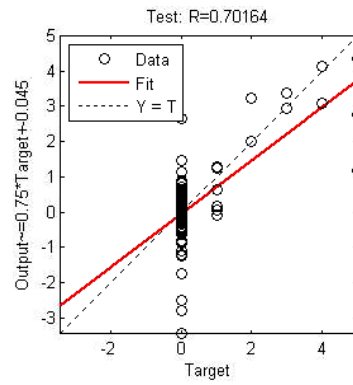


ภาพประกอบ 4-20 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนัก 3 ตำแหน่งวางน้ำหนักเท่ากัน

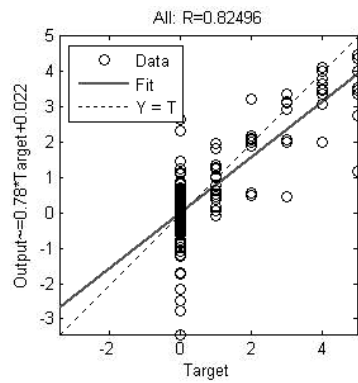
จากภาพประกอบ 4-20 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับข้อมูลอินพุตประกอบด้วยแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และการเลื่อนเฟส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด ส่วนข้อมูลด้านเอาต์พุตประกอบด้วย ตำแหน่งและน้ำหนัก จากโครงสร้างที่เหมาะสมในการปรับจำนวนโหนดในชั้นอินพุตมี 32 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 1 มี 30 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 2 มี 25 และชั้นเอาต์พุตมี 9 โหนด ผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าทั้งหมดแสดงตัวอย่างดังในภาพประกอบที่ 4-21



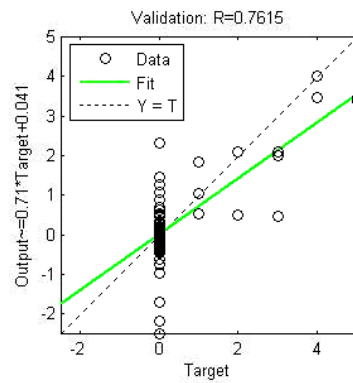
(ก)



(ข)



(ค)

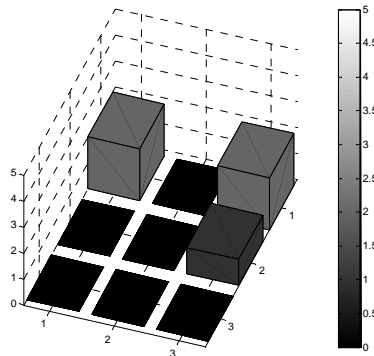


(ง)

ภาพประกอบ 4-21 กราฟความสัมพันธ์ของผลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง โดยวางจำนวนก้อนน้ำหนักแต่ละตำแหน่งที่ต่างกัน

ผลจากการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมตัวอย่างการวางก้อนน้ำหนัก 3 ตำแหน่งโดยวางก้อนแต่ละตำแหน่งแตกต่างกัน จากภาพประกอบ 4-21 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึก และข้อมูลการทดสอบ จากภาพประกอบ 4-21 (ก) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึกเป็น 0.95127 จากภาพประกอบ 4-21 (ข) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดสอบเป็น 0.70164 พบว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก โดยการจำแนกพบว่าค่าของแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และค่าการเลื่อนเฟสที่ได้จากการวัดจากการส่งคลื่นเสียงจากตัวส่งไปยังตัวรับนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.82496 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-21 (ค) และเมื่อไปจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนัก จะได้ความแม่นยำ 76.15% ดังแสดงในภาพประกอบ 4-21 (ง)

ข. ผลจากการนำเอาต์พุตมาสร้างแผนที่การกดทับ



ภาพประกอบ 4-22 ผลการวางน้ำหนักบนเมทริกซ์ 3 ตำแหน่ง โดยวางก้อนน้ำหนัก

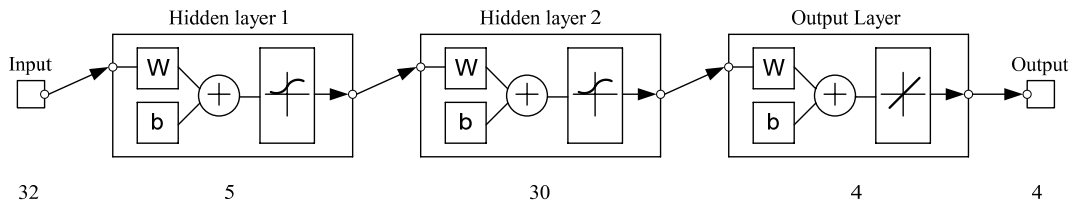
จากภาพประกอบ 4-22 ผลที่ได้คือระบบของโครงข่ายประสาทสามารถจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักได้เมื่อทำการวางก้อนน้ำหนัก 3 ตำแหน่งโดยการวางก้อนน้ำหนัก ขนาดต่างกัน เป็นการแสดงข้อมูลเอาต์พุตของการวางที่ตำแหน่งเมทริกซ์ A วางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ C วางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อน และ ตำแหน่งเมทริกซ์ F วางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อน ผลที่ได้แสดงให้เห็นตำแหน่งและน้ำหนักที่เท่ากัน ได้อย่างชัดเจน

4.3 ผลการทดลองเมทริกซ์ขนาด 6x6

การทดลองเมทริกซ์ขนาด 6x6 นั้นเมื่อนำข้อมูลที่ต้องการนำมาฝึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะเห็นได้ว่าข้อมูลที่มีทั้งหมดมีขนาดใหญ่และเป็นข้อมูลที่สลับซับซ้อนมาก ดังนั้นการที่จะนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการฝึกและทำการทดสอบนั้น จะทำให้ใช้เวลานานในการฝึก และยังทำให้การปรับโครงสร้างของโครงข่ายประสาทนั้นมีความยากกว่าเมทริกซ์ขนาด 3x3 จึงได้ทำการแบ่งย่อยเมทริกซ์เพื่อทำการประหยัดเวลาและความซับซ้อนของข้อมูล โดยทำการแบ่งย่อยจากเมทริกซ์ 6x6 โดยให้แต่ละเมทริกซ์ของ 6x6 แบ่งย่อยออกเป็น 2x2

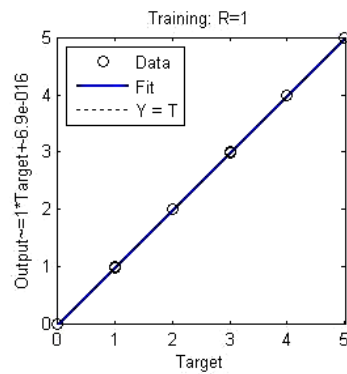
4.3.1 ผลจากการวางก้อนน้ำหนักรวม 1 ตำแหน่ง

ก. ผลของโครงข่ายประสาทเทียม

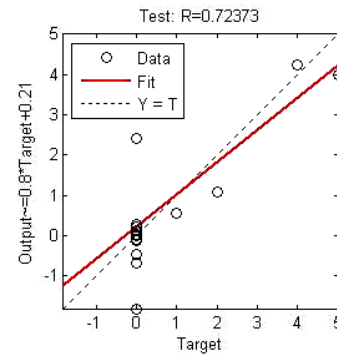


ภาพประกอบ 4-23 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกการวางน้ำหนักรวม 1 ตำแหน่ง

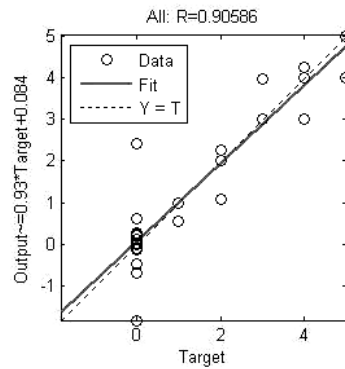
จากภาพประกอบ 4-23 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับข้อมูลอินพุตประกอบด้วยแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และการเลื่อนเฟส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด ส่วนข้อมูลด้านเอาต์พุตประกอบด้วย ตำแหน่งและน้ำหนักรวม จากโครงสร้างที่เหมาะสมในการปรับจำนวนโหนดในชั้นอินพุตมี 32 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 1 มี 5 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 2 มี 30 และชั้นเอาต์พุตมี 4 โหนด ผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักรวมจากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าทั้งหมดแสดงตัวอย่างดังในภาพประกอบที่ 4-24



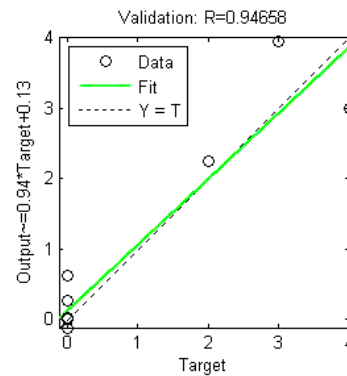
(ก)



(ข)



(ค)

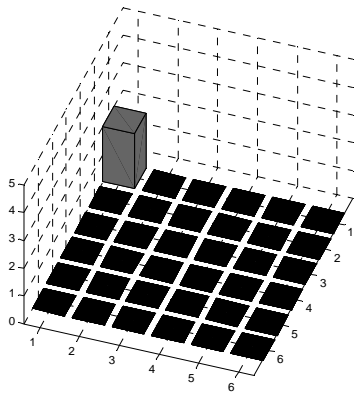


(ง)

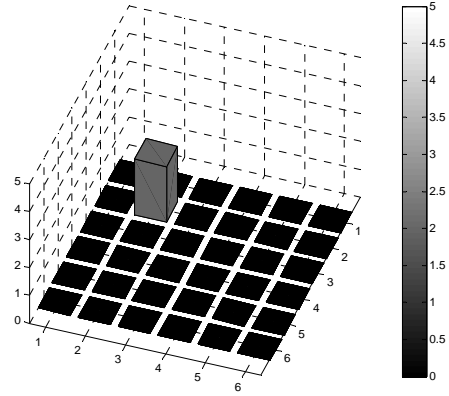
ภาพประกอบ 4-24 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของผลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง ของเมทริกซ์ที่ทำการแบ่งย่อยเป็น 2x2

ผลจากการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมตัวอย่างการวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง ของเมทริกซ์แบ่งย่อย 2x2 จากภาพประกอบ 4-24 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึก และข้อมูลการทดสอบ จากภาพประกอบ 4-24 (ก) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึกเป็น 1 จากภาพประกอบ 4-24 (ข) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดสอบเป็น 0.72373 พบว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก โดยการจำแนกพบค่าของแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และค่าการเลื่อนเฟสที่ได้จากการวัดจากการส่งคลื่นเสียงจากตัวส่งไปยังตัวรับนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.90586 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-24 (ค) และเมื่อไปจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนัก จะได้ความแม่นยำ 94.65% ดังแสดงในภาพประกอบ 4-24 (ง) ตัวอย่างสรุปผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักของเมทริกซ์ 3x3 แบ่งย่อยเป็น 2x2 เมื่อวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง และการปรับโครงข่ายประสาท ในตารางที่ 4-3 และ 4-4 ตามลำดับ

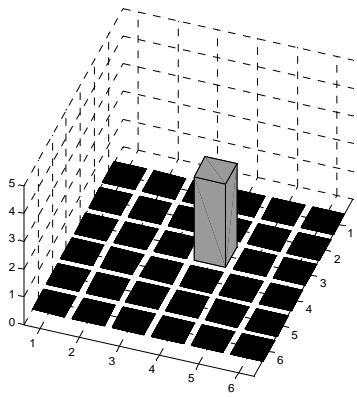
ข. ผลจากการนำเอาต์พุตมาสร้างแผนที่การกดทับ



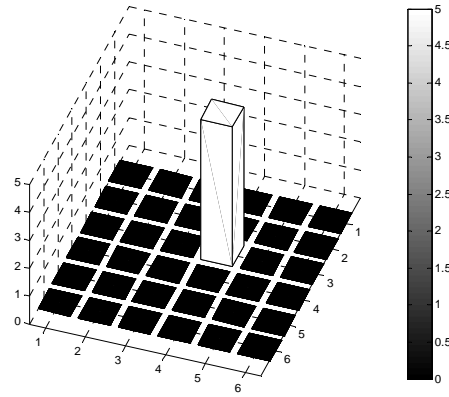
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบ 4-25 ตัวอย่างผลจากการนำเอาต์พุตมาสร้างแผนที่การกดทับ

จากภาพประกอบที่ 4-25 เป็นการนำข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการจำแนกผ่านการปิดเศษแล้วนำมารวมกันในตำแหน่งเมทริกซ์ 6×6 ภาพประกอบที่ 4-25 (ก) เป็นภาพที่แสดงการวางก้อนน้ำหนักรวม 2 ก้อน ที่ตำแหน่งเมทริกซ์ A ตำแหน่งย่อย a11 ภาพประกอบที่ 4-25 (ข) แสดงการวางก้อนน้ำหนักรวม 2 ก้อน ที่ตำแหน่งเมทริกซ์ A ตำแหน่งย่อย a22 ภาพประกอบที่ 4-25 (ค) แสดงการวางก้อนน้ำหนักรวม 3 ก้อน ที่ตำแหน่งเมทริกซ์ E ตำแหน่งย่อย e12 ภาพประกอบที่ 4-25 (ง) แสดงการวางก้อนน้ำหนักรวม 5 ก้อน ที่ตำแหน่งเมทริกซ์ E ตำแหน่งย่อย e12

ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างสรุปค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักของเมทริกซ์ 6x6 เมื่อวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง

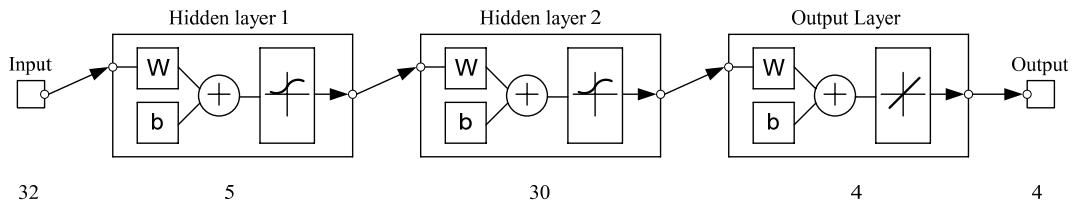
ตำแหน่งเมทริกซ์	น้ำหนัก (ก้อน)	ค่าความสัมพันธ์ของการฝึก	ค่าความสัมพันธ์ของการทดสอบ	ค่าความแม่นยำ	ค่าสหสัมพันธ์
a11	1	0.94299	0.82803	0.75013	0.86531
	2	1	0.72373	0.94658	0.90586
	3	1	0.85388	0.93887	0.94793
	4	1	0.71304	0.93692	0.91162
	5	1	0.7049	0.99316	0.91932
a12	1	1	0.95228	0.99629	0.96003
	2	1	0.94479	0.8737	0.95625
	3	1	0.74949	0.77318	0.89062
	4	1	0.87289	0.96687	0.94654
	5	0.98601	0.72148	0.91902	0.90033
a21	1	1	0.70848	0.96775	0.9052
	2	0.86803	0.80965	0.97851	0.8692
	3	0.93738	0.83999	0.88708	0.90056
	4	0.94251	0.74456	0.97104	0.88875
	5	0.99907	0.65795	0.91233	0.87163
a22	1	0.98071	0.85668	0.86709	0.91205
	2	0.99733	0.61243	0.81346	0.83336
	3	1	0.94193	0.9459	0.97126
	4	1	0.6687	0.86153	0.88626
	5	1	0.74937	0.65919	0.83716

ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างผลการปรับจำนวนโหนดของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อวางน้ำหนัก 1
ตำแหน่ง

ตำแหน่งเมทริกซ์	น้ำหนัก (ก่อน)	โครงสร้างการปรับจำนวนโหนดของโครงข่ายประสาทเทียม			
		อินพุต	ชั้นซ่อนที่ 1	ชั้นซ่อนที่ 2	เอาต์พุต
a11	1	32	5	30	4
	2	32	5	30	4
	3	32	5	30	4
	4	32	5	30	4
	5	32	5	30	4
a12	1	32	5	30	4
	2	32	5	30	4
	3	32	5	30	4
	4	32	5	30	4
	5	32	5	30	4
a21	1	32	5	30	4
	2	32	5	30	4
	3	32	5	30	4
	4	32	5	30	4
	5	32	5	30	4
a22	1	32	5	30	4
	2	32	5	30	4
	3	32	5	30	4
	4	32	5	30	4
	5	32	5	35	4

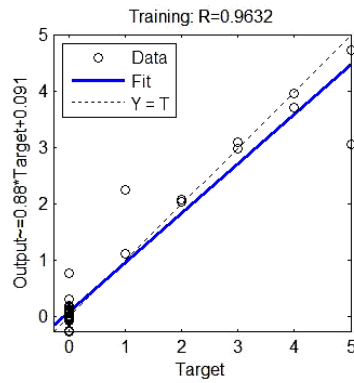
4.3.2 ผลการทดสอบวางน้ำหนักครั้งละหลายตำแหน่ง

ก. ผลของโครงข่ายประสาทเทียม

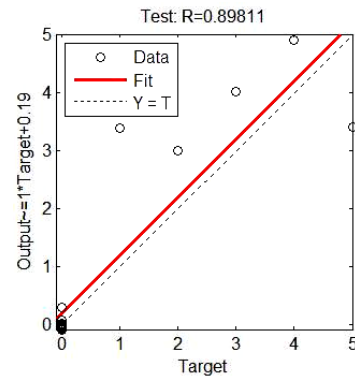


ภาพประกอบ 4-26 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกรางน้ำหนักหลายตำแหน่ง

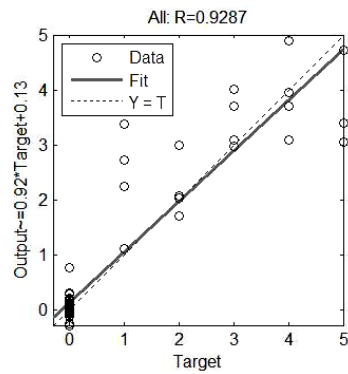
จากภาพประกอบ 4-26 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับข้อมูลอินพุตประกอบด้วยแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และการเลื่อนเฟส ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด ส่วนข้อมูลด้านเอาต์พุตประกอบด้วย ตำแหน่งและน้ำหนัก จากโครงสร้างที่เหมาะสมในการปรับจำนวนโหนดในชั้นอินพุตมี 32 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 1 มี 5 โหนด, ในชั้นซ่อนที่ 2 มี 30 และชั้นเอาต์พุตมี 4 โหนด ผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าทั้งหมดแสดงตัวอย่างดังในภาพประกอบที่ 4-27



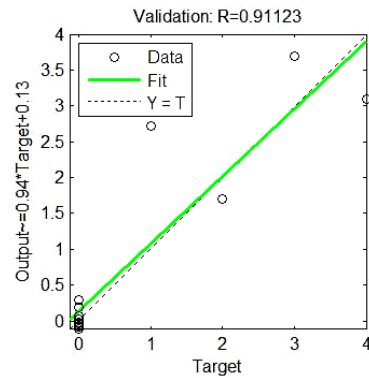
(ก)



(ข)



(ค)

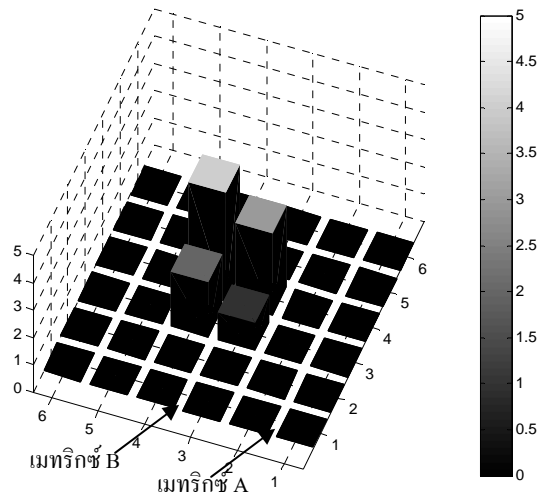


(ง)

ภาพประกอบ 4-27 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ของมูลการฝึกและข้อมูลทดสอบ ของการวางน้ำหนักหลายตำแหน่งพร้อมกัน ของเมทริกซ์ที่ทำการแบ่งย่อยเป็น 2x2

ผลจากการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมตัวอย่างการวางก๊อนน้ำหนักหลายตำแหน่ง ของเมทริกซ์แบ่งย่อย 2x2 จากภาพประกอบ 4-27 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึก และข้อมูลการทดสอบ จากภาพประกอบ 4-27 (ก) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการฝึกเป็น 0.9632 จากภาพประกอบ 4-27 (ข) มีค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดสอบเป็น 0.89811 พบว่าสามารถใช้โครงข่ายประสาทในการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก โดยการจำแนกพบค่าของแอมพลิจูดขนาดสูงสุด และค่าการเลื่อนเฟสที่ได้จากการวัดจากการส่งคลื่นเสียงจากตัวส่งไปยังตัวรับนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9287 ดังแสดงในภาพประกอบ 4-27 (ค) และเมื่อไปจำแนกตำแหน่งและจำนวนน้ำหนัก จะมีความแม่นยำ 91.12% ดังแสดงในภาพประกอบ 4-27 (ง)

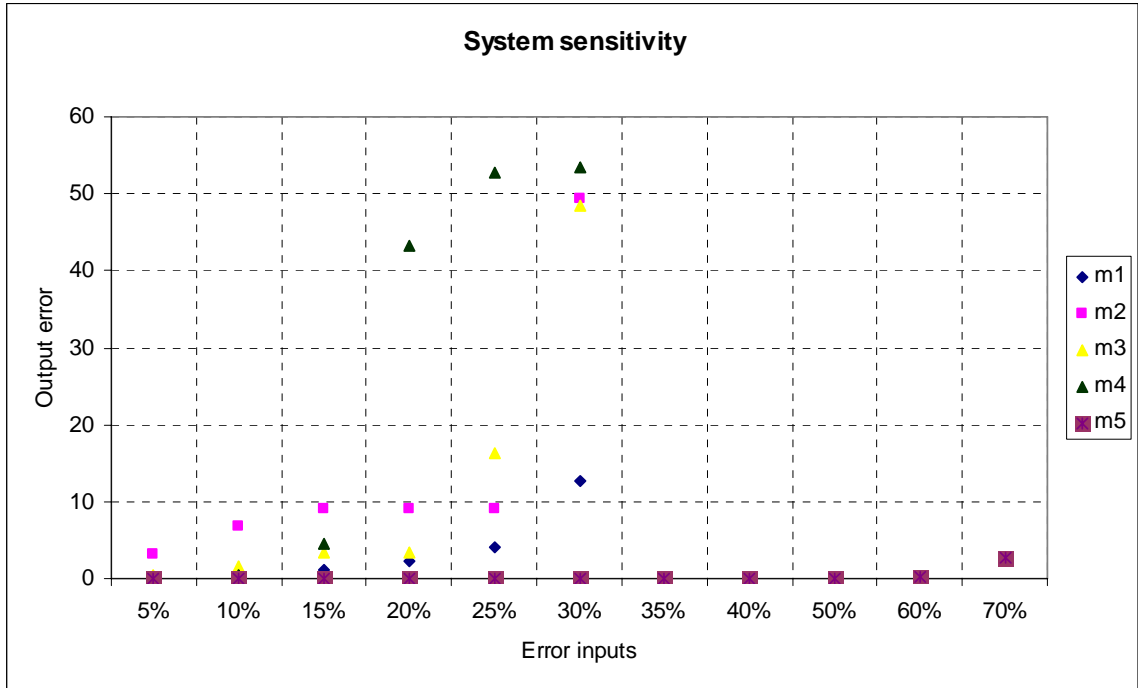
ข. ผลจากการนำเอาต์พุตมาสร้างแผนที่การกดทับ



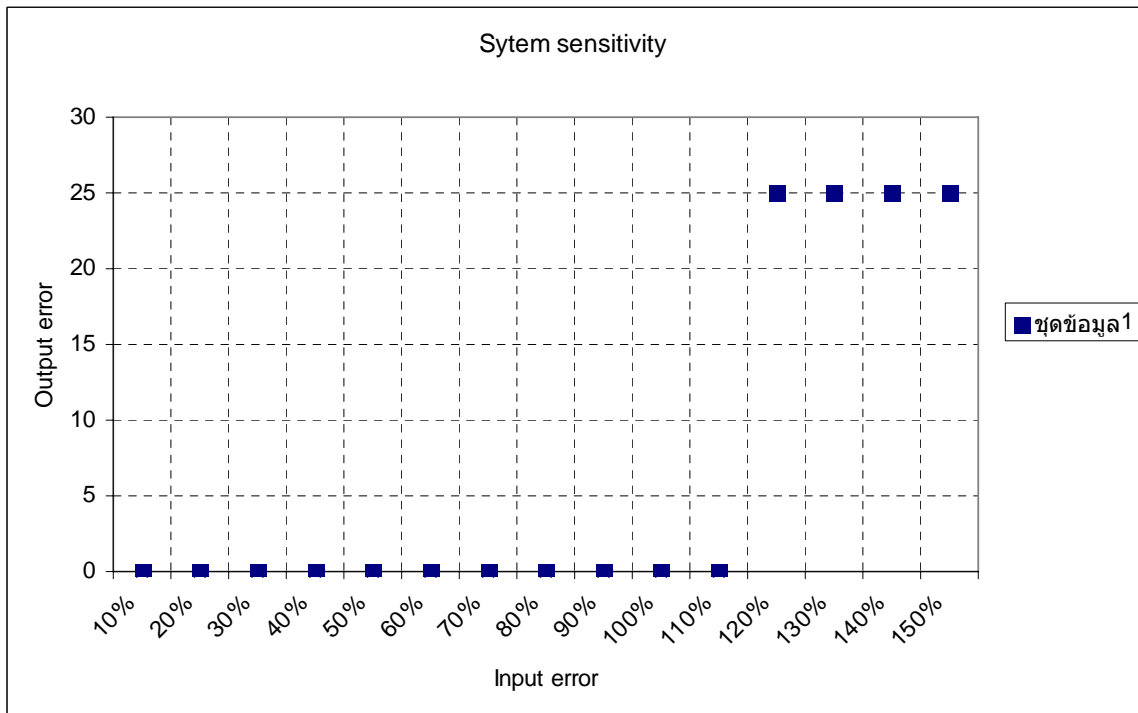
ภาพประกอบ 4.28 ผลจากการนำเอาต์พุตมาสร้างแผนที่การกดทับ

จากภาพประกอบ 4-28 ผลที่ได้คือระบบของโครงข่ายประสาทสามารถจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักได้เมื่อทำการวางก้อนน้ำหนัก 4 ตำแหน่งโดยการวางก้อนน้ำหนัก ขนาดต่างกัน เป็นการแสดงข้อมูลเอาต์พุตของการวางที่ตำแหน่งเมตริกซ์ E โดยวางก้อนน้ำหนักบริเวณเมตริกซ์ย่อย ดังนี้ วางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อนที่ตำแหน่ง e11 วางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อนที่ตำแหน่ง e12 วางก้อนน้ำหนัก 3 ก้อนที่ตำแหน่ง e21 และวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่ง e22 ผลที่ได้แสดงให้เห็นความแตกต่างของน้ำหนักและตำแหน่งได้อย่างชัดเจน

4.4 ความไวของโครงข่ายประสาทเทียม

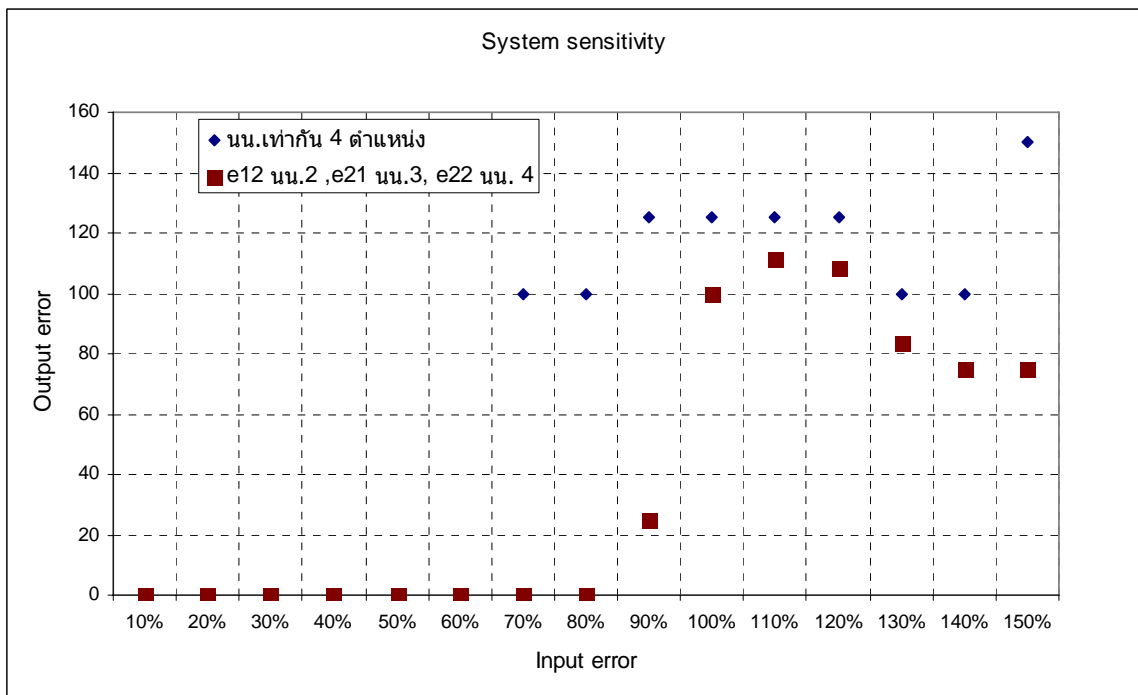


ภาพประกอบ 4.29 ความไวของโครงข่ายประสาทเทียมของเมทริกซ์ 3x3 วางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง



ภาพประกอบ 4.30 ความไวของโครงข่ายประสาทเทียมของเมทริกซ์ 3x3 วางน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง

จากภาพประกอบ 4-29 แสดงค่า Sensitivity of Neural Networks ของโครงข่ายประสาทที่ทำการฝึกด้วยข้อมูลเมทริกซ์ขนาด 3x3 ได้แก่ input error และ output error โดยที่ ข้อมูล 1 2 3 5 และ 5 คือน้ำหนักเป็นก้อนตามลำดับ โดยวาง 1 ตำแหน่ง ซึ่งแกนนอนคือ input error แกนตั้งคือค่าเฉลี่ยความผิดพลาด จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าในการเป็นค่า input error ในระดับต่างๆ ตั้งแต่ 5% - 80% พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถที่จะปรับเปลี่ยนตามค่า input ได้ โดยดูจากค่า output ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนภาพประกอบ 4-30 ก็เช่นเดียวกัน เป็นข้อมูลของการวางน้ำหนัก 2 ตำแหน่งน้ำหนักต่างกันผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าในการเป็นค่า input error ในระดับต่างๆ ตั้งแต่ 10% - 150% พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถที่จะปรับเปลี่ยนตามค่า input ได้ เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 4-31 ความไวของโครงข่ายประสาทเทียมของโครงข่ายประสาทที่ทำการฝึกด้วยข้อมูลเมทริกซ์ขนาด 6x6

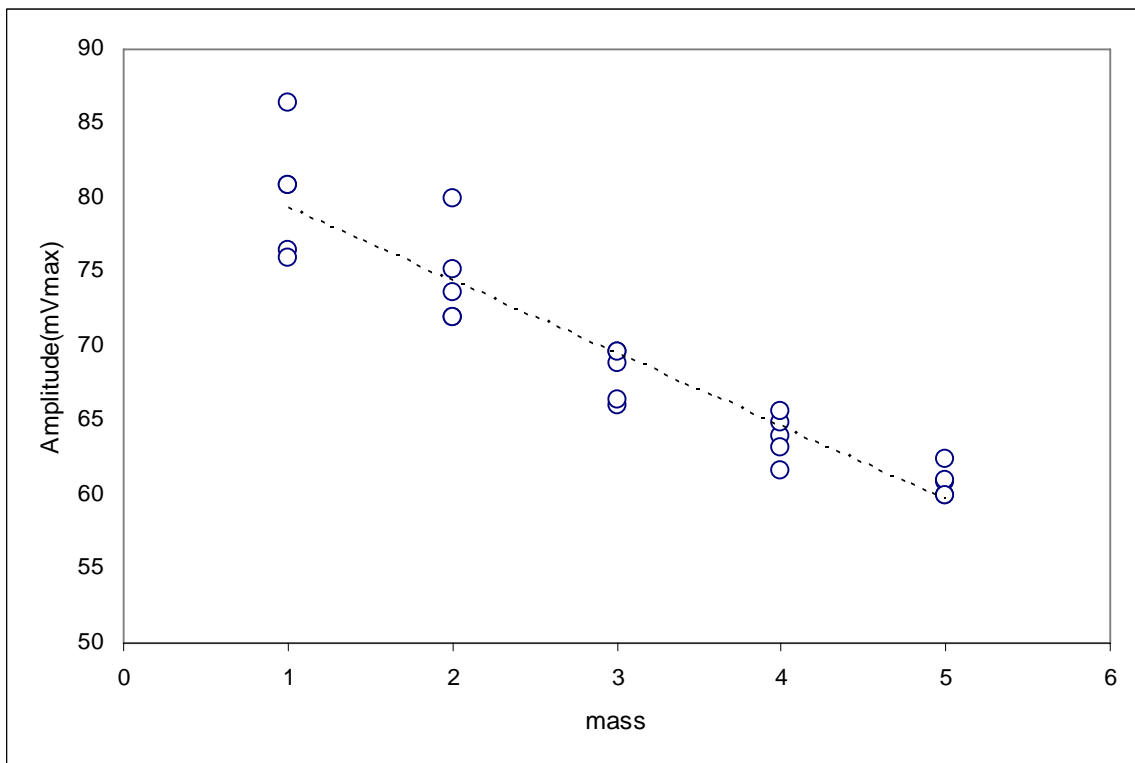
จากภาพประกอบ 4-31 แสดงค่า ความไวของโครงข่ายประสาทเทียมที่ทำการฝึกด้วยข้อมูลเมทริกซ์ขนาด 6x6 จากการวางก้อนน้ำหนักหลายตำแหน่ง เงื่อนไขคือ วางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อน เท่ากัน 4 ตำแหน่ง และ วางน้ำหนัก ต่างกัน 3 ตำแหน่ง แกนนอนคือ Input error แกนตั้งคือค่าเฉลี่ยความผิดพลาด จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าในการเป็นค่า input error ในระดับ

ต่างๆ ตั้งแต่ 10% - 150% พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมสามารถที่จะปรับเปลี่ยนตามค่า input ได้ โดยดูจากค่า output ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก

4.5 ผลการศึกษาคุณสมบัติของตัวตรวจรู้

4.5.1 ค่าการทำซ้ำ (Repeatability)

ค่าการทำซ้ำเป็นค่าที่ทำกรวัดหลายๆครั้งในสภาวะเดียวกัน ในการทดลองนี้ได้ ทำการวัดการเปลี่ยนค่าแรงดันเอาต์พุต และการเลื่อนเฟส เมื่อมีการเพิ่มน้ำหนัก 5 ค่า ทำการวัด 5 ครั้งติดต่อกัน ทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าการวัดแต่ละครั้ง ผลการทดลองแสดงใน ภาพประกอบ 4-32

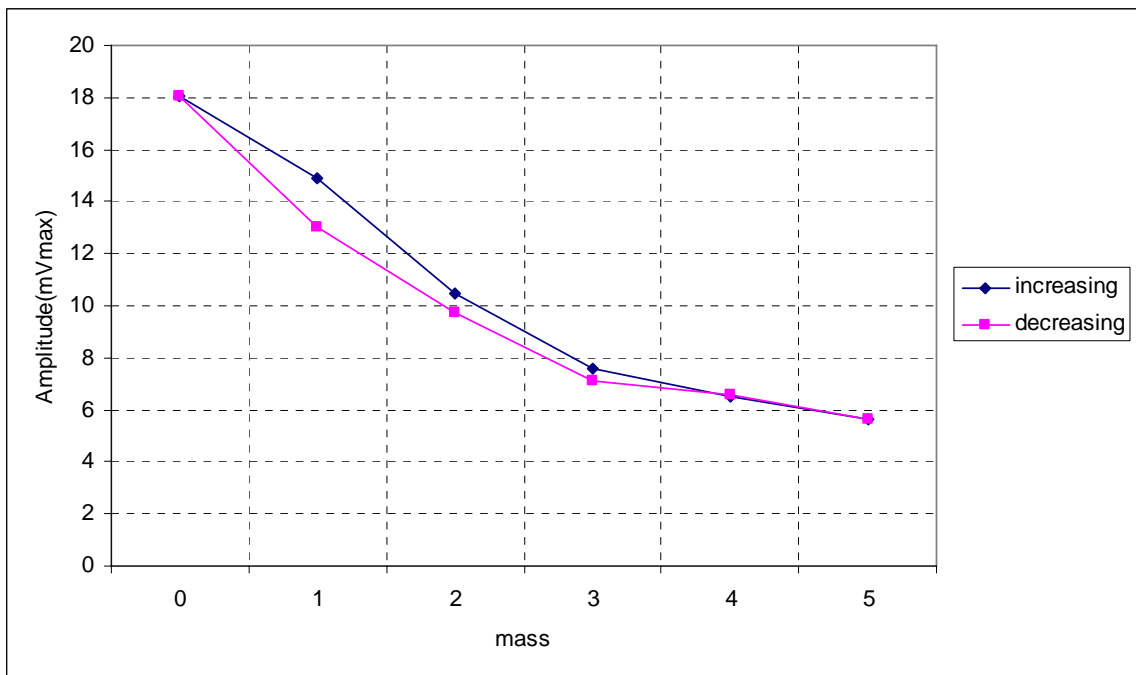


ภาพประกอบ 4-32 ตัวอย่างผลการทดลองการทำซ้ำ

จากภาพประกอบ 4-32 ได้แสดงตัวอย่างผลการทดลองการทำซ้ำ (Repeatability) เป็นการวัดที่ตำแหน่ง c12 เมื่อตัวส่งคือเปียโซตัวที่ 1 ส่วนเปียโซตัวที่ 2 เป็นตัวรับ ข้อมูล m1 m2 m3 m4 และ m5 เป็นค่าของน้ำหนักที่ทำการวาง แคนนอนคือ จำนวนครั้ง ส่วนแกนตั้งคือ output voltage ผลที่ได้พบว่าค่าแอมพลิจูดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อมีการวางน้ำหนักขนาดต่างๆ

4.5.2 ค่า Hysteresis

ค่า Hysteresis เป็นค่าที่ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตจากการเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 1 ค่า ไปจนครบ 5 ค่า แล้วทำการลดน้ำหนักครั้งละ 1 ค่า ไปจนครบ 5 ค่าเช่นเดียวกัน

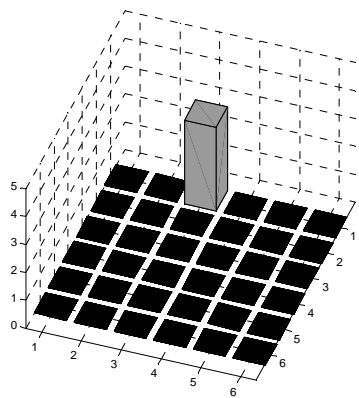


ภาพประกอบ 4-33 ตัวอย่างผลการทดสอบ Hysteresis

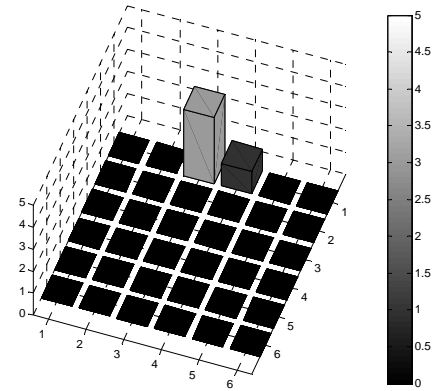
จากภาพประกอบ 4-33 ได้แสดงตัวอย่าง ผลการทดสอบ Hysteresis เป็นการวัดที่ ตำแหน่งเมทริกซ์ i22 เมื่อตัวส่งคือเปียโซตัวที่ 1 ส่วนเปียโซตัวที่ 3 เป็นตัวรับ แกนนอนคือ ค่าน้ำหนักที่ทำการเพิ่มและลด ส่วนแกนตั้งคือ output voltage ผลที่ได้พบว่าค่าแอมพลิจูดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อมีการวางน้ำหนักเพิ่มและลดน้ำหนัก ค่าต่างๆ

4.6 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลการวางก้อนน้ำหนักระหว่างช่วง

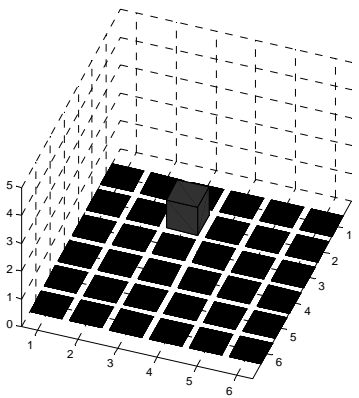
เมื่อมีการฝึกข้อมูลในหัวข้อ 4.3.1 ดังนั้นจะได้โครงข่ายประสาทที่เหมาะสมกับ ระบบของตำแหน่งและน้ำหนักแต่ละค่า ที่เป็นตำแหน่งเดียว สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้เป็นการ นำค่าจากการทดลองวางน้ำหนักระหว่างช่วงของเมทริกซ์มาทดสอบกับ โครงข่ายประสาทดังกล่าว เพื่อดูผลของเอาต์พุตว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ซึ่งตัวอย่างผลที่ได้ดังแสดงในภาพประกอบ 4-34



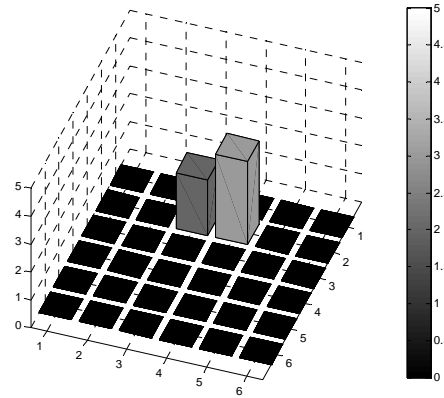
(ก)



(ข)



(ค)



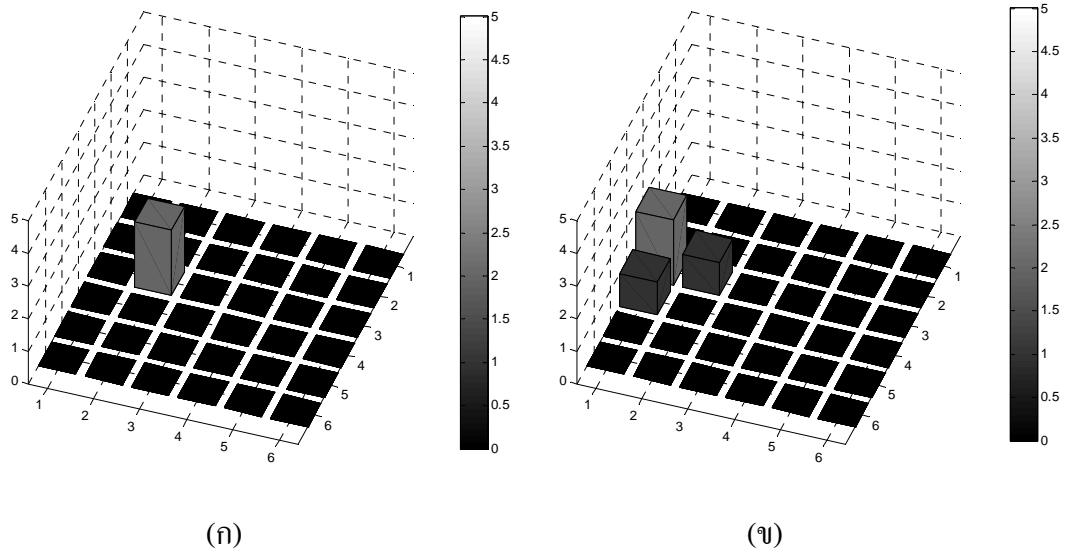
(ง)

ภาพประกอบ 4-34 ตัวอย่าง ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลการวางก้อนน้ำหนัก
ระหว่างช่วง

จากภาพประกอบ 4-34 เป็นผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลการวาง
ก้อนน้ำหนัก ระหว่างช่วง ภาพประกอบ 4-34 (ก) เป็นการทดลองวางน้ำหนัก 3 ก้อน ระหว่าง
เมทริกซ์ b_{11} กับ b_{12} ซึ่งผลที่ได้จะแสดงเป็นตำแหน่งเดียว คือ มีน้ำหนักอยู่ที่ตำแหน่ง b_{11} เท่ากับ
3 ก้อน ภาพ (ข) เป็นการวางน้ำหนัก 4 ก้อน ระหว่าง เมทริกซ์ b_{11} กับ b_{12} ผลที่ได้ก็คือที่
ตำแหน่ง b_{11} มีน้ำหนัก 3 ก้อน ส่วนตำแหน่ง b_{12} มีน้ำหนัก 1 ก้อน ภาพประกอบ 4-34 (ค) เป็น
การทดลองวางน้ำหนัก 1 ก้อน ระหว่าง เมทริกซ์ b_{21} กับ b_{22} ผลที่ได้คือมีการแสดงผลที่
ตำแหน่ง b_{21} ตำแหน่งเดียว มีน้ำหนัก เท่ากับ 1 ก้อน ภาพ (ง) เป็นการทดลองวางน้ำหนัก 5 ก้อน
ระหว่าง เมทริกซ์ b_{21} กับ b_{22} ผลที่ได้คือมีการแสดงผลที่ตำแหน่ง b_{21} มีน้ำหนัก 2 ก้อน
ตำแหน่ง b_{22} มีน้ำหนัก 3 ก้อน

4.7 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลเมทริกซ์ 3x3 นำมาทดสอบกับเมทริกซ์ 6x6

ข้อมูลการทดลองของตำแหน่งเมทริกซ์ขนาด 3x3 เปรียบเสมือนค่าที่ได้จากการวางก้อนน้ำหนักบริเวณกึ่งกลางของเมทริกซ์ย่อย 2x2 ได้นำมาทำการทดสอบกับโครงข่ายที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1 ซึ่งผลได้แสดงในภาพประกอบที่ 4-35



ภาพประกอบที่ 4-35 ตัวอย่างผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลเมทริกซ์ 3x3 นำมาทดสอบกับเมทริกซ์ 6x6

จากภาพประกอบ 4-35 เป็นตัวอย่างผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลเมทริกซ์ 3x3 นำมาทดสอบกับเมทริกซ์ 6x6 ซึ่งได้นำผลการเก็บข้อมูลของตำแหน่งเมทริกซ์ D ของ 3x3 ซึ่งผลที่ได้ดังภาพ คือ (ซ้าย) เป็นผลจากการวางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อน ผลที่ได้ก็คือ แสดงน้ำหนักอยู่ที่ตำแหน่ง d12 จำนวน 2 ก้อน (ขวา) เป็นผลจากการวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อน ผลที่ได้ก็คือ แสดงน้ำหนักอยู่ที่ตำแหน่ง 3 ตำแหน่งได้แก่ ตำแหน่ง d11 จำนวน 2 ก้อน ตำแหน่ง d12 จำนวน 1 ก้อน และ ตำแหน่ง d21 จำนวน 1 ก้อน

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

จากการศึกษาข้างต้น ในการศึกษาความเป็นไปได้เกี่ยวกับการจำแนกตำแหน่งและนำหน้าจากข้อมูลการทดลองด้วยตัวตรวจรู้แบบเปียโซ สามารถสรุปการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลและวิจารณ์

5.1.1 สรุปผลการทดลองผลตอบสนองของเปียโซอิเล็กทรอนิกส์ต่อระยะทางและนำหน้า

ผลที่ได้เมื่อมีการทดลองเลื่อนระยะห่างของเปียโซตัวรับออกจากเปียโซตัวส่ง เพื่อจะได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปสัญญาณของแต่ละระยะทาง จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้เป็นลักษณะของคลื่นนิ่ง หรือ Standing wave ข้อมูลจากกราฟประกอบด้วยระยะทางของคลื่น ซึ่งจากข้อมูลสามารถที่จะหาความยาวคลื่นได้ และยังสามารถหาค่าความเร็วของคลื่นได้เช่นกัน ส่วนลักษณะของกราฟจะเห็นการลดทอนของสัญญาณเมื่อมีและไม่มีกรวางนำหน้ากดทับ อีกทั้งรูปสัญญาณยังมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเลื่อนระยะทางของเปียโซตัวรับออกจากเปียโซตัวส่ง จึงเห็นได้ว่า ขนาดของนำหน้าและระยะทางมีผลต่อการลดทอนของคลื่นเสียง

5.1.2 สรุปผลการทดลองคุณสมบัติความเหมือนและความต่างของเปียโซอิเล็กทรอนิกส์

คุณสมบัติความเหมือนและความต่างของคุณสมบัติของเปียโซนั้น ได้ทำการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นว่าเปียโซที่จะนำมาใช้ในการทดลองต้องให้ผลที่มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งผลที่ได้นั้นเห็นว่ามีผลการวัดที่ใกล้เคียงกันเมื่อทำการทดลองโดยการวางเปียโซตัวรับแต่ละตัวห่างจากเปียโซตัวส่งที่ระยะทางเท่าๆกัน

5.1.3 สรุปผลการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจรู้ตำแหน่งและนำหน้าโดยตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทรอนิกส์

การทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจรู้ตำแหน่งและนำหน้าโดยตัวตรวจรู้แบบเปียโซอิเล็กทรอนิกส์การทดลองนี้จะแบ่งพื้นที่การทดสอบเป็นเมทริกซ์ ชั้นแรกของการทดลอง เป็นการทดลองเมทริกซ์ขนาด 3x3 และเมทริกซ์ขนาด 6x6 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ความความละเอียดที่ต่ำ แต่เป็นการเริ่มต้นศึกษาความเป็นไปได้จึงได้ศึกษาที่เมทริกซ์ขนาดเล็ก เริ่มต้นโดยการทดสอบวางนำหน้า 1 ตำแหน่ง ชุดทดลองเป็นการนำเปียโซอิเล็กทรอนิกส์มาติดไว้กับแผ่นทองแดงทั้ง

4 มุม ซึ่งทุกตัวจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่งและตัวรับ โดยที่ตัวส่งจะจ่ายแรงดันอินพุตเป็นรูปคลื่นแบบต่อเนื่องเป็นลักษณะของคลื่นรูปไซน์ที่มีขนาดแอมพลิจูดขนาด $20 V_{p-p}$ ความถี่ 3 kHz ตำแหน่งที่วางน้ำหนักเพื่อทดสอบจะอยู่ระหว่างเปียโซอิเล็กทริกทั้ง 4 ตัว มีลักษณะของเมทริกซ์ 3×3 ใช้น้ำหนักก้อนละ 86 กรัมแทนแรงกดของผลกดทับ ทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตซึ่งเป็นแอมพลิจูดที่มีขนาดสูงสุดและวัดขนาดของเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงโดยเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตของแต่ละตำแหน่งและน้ำหนักจากเปียโซอิเล็กทริกแต่ละตัว ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนน้ำหนักและตำแหน่ง หลังจากทำการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ตำแหน่งแล้วนั้น ต่อมาก็จะทำการทดลองวางน้ำหนักหลายตำแหน่งโดยที่มีน้ำหนักเท่ากันและต่างกัน แล้วทำการวัดผลแอมพลิจูดที่มีขนาดสูงสุดและวัดขนาดของเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงการทดลองวางก้อนน้ำหนักหลายตำแหน่งนี้เนื่องจากโดยทั่วไปการกดทับของผิวหนังนั้นมีการกดทับเป็นบริเวณกว้างหากบริเวณที่มีการกดเป็นเมทริกซ์ก็จะเห็นว่ามีมีการกดทับครั้งละหลายเมทริกซ์การทดลองนี้จึงมีความสำคัญเช่นกัน หลังจากได้ผลการทดลองก็จะทำการเข้ารระบบของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (back propagation neural network) มี Feature input ทั้งหมด 32 features เอาต์พุตได้แก่ ตำแหน่งและขนาดของน้ำหนัก มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้นซ่อน ใช้ ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบ Log-Sigmoid, Log-Sigmoid และ ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงเส้น ในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุตตามลำดับ ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจะมีทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ตั้งแต่ตำแหน่ง A ไปจนถึงตำแหน่ง I การจำแนกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการจำแนกโดยใช้ข้อมูลทั้งหมดมาทำการฝึกและทดสอบ ครั้งละ 1 ตำแหน่ง และหลายๆตำแหน่ง โดยใช้ข้อมูลทดสอบของน้ำหนักในตำแหน่งนั้นทั้งหมดทั้ง 5 ก้อน ตั้งแต่ $1-5$ ก้อน ผลที่ได้คือโครงข่ายประสาทเทียมสามารถจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักจากข้อมูลทั้งหมดของเมทริกซ์ขนาด 3×3 ได้ โดยที่ผลของการฝึกและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมนั้นได้ค่าสหสัมพันธ์ที่ดี และให้ค่าความแม่นยำที่ยอมรับได้ หลังจากมีการจำแนกโดยใช้โครงข่ายประสาทแล้ว ผลที่ได้ก็คือตำแหน่งและน้ำหนักที่วางบนเมทริกซ์ ผลที่ได้ก็คือค่าของตัวเลขที่ได้ในระบุตำแหน่งและน้ำหนักได้ชัดเจน แต่เพื่อให้ได้ความแม่นยำยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการปิดเศษต่อมาก็จะนำเอาต์พุตที่ได้จากการปิดเศษมาทำการสร้างแผนที่การกดทับโดยทำเป็นแผนภูมิระดับสี 3 มิติเพื่อให้เห็นลักษณะของการกดทับได้อย่างชัดเจน

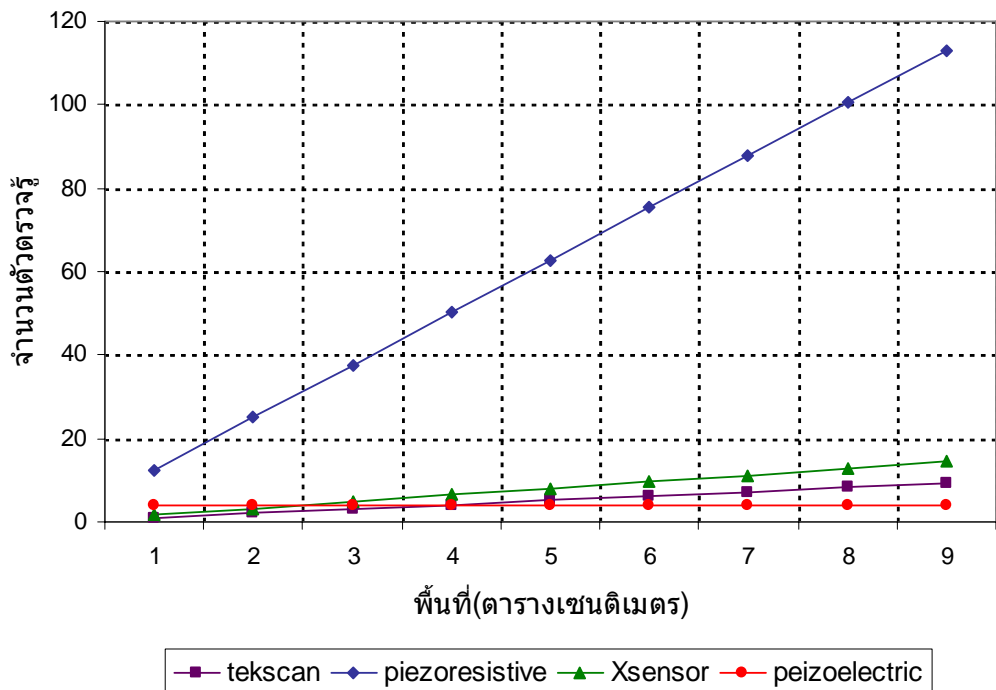
การวิเคราะห์ค่า Sensitivity ของโครงข่ายประสาทเทียม ทำให้ทราบว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการที่จะปรับตัวตามค่าอินพุตที่ใส่เข้าไปในการทดสอบระบบ

ค่าการทำซ้ำเป็นค่าที่ทำการวัดทุกครั้งในสภาวะเดียวกัน การทดลองนี้จะทำให้ทราบถึงความสามารถของตัวตรวจรู้ในการทดลองซ้ำๆหลายครั้ง แล้วพิจารณาผลที่ได้ว่าใกล้เคียงกันหรือไม่โดยการทดลองจะทดลองโดยการวางก้อนน้ำหนัก แต่ละค่า จำนวน 5 ครั้ง แล้วทำการวัดแต่ละครั้งมาทำการเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์ค่า Hysteresis เป็นการทดลองที่ทำให้ทราบว่าเมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักขึ้นเรื่อยๆกับการลดน้ำหนักลงมา ผลที่ได้จากเอาต์พุตของเปียโซตัวรับจะเท่ากันหรือไม่ซึ่งจากการทดลองจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

สำหรับการทดลองแบบการวางไม่ตรงรูปแบบคือการวางระหว่างช่วงของเมทริกซ์ และการใช้ข้อมูล 3x3 มาทดสอบกับโครงข่ายประสาทที่ได้จากการแบ่งย่อยของเมทริกซ์ ผลที่ได้ยังมีข้อผิดพลาดซึ่งไม่ตรงตามเงื่อนไข ทั้งนี้ ปัญหานี้จึงเป็นเรื่องที่ต้องมีการศึกษาต่อไป

สรุปจากการทดลองทำให้ทราบถึงการตอบสนองของคลื่นเสียง ที่สร้างจากเปียโซอิเล็กทรอนิกส์ และได้ทราบค่าของความยาวคลื่น ความเร็วของคลื่นเคลื่อนที่ และการลดทอนของคลื่นเมื่อมีการกีดกัน การทดลองสามารถจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักได้เมื่อทำการออกแบบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และได้ทราบได้ว่าการนำเปียโซอิเล็กทรอนิกส์มาใช้นั้น ได้ลดข้อจำกัดที่มีในตัวตรวจรู้ชนิดอื่นทั้งด้านราคาเนื่องจากเปียโซมีราคาตามท้องตลาดที่ถูก อีกทั้งยังสามารถลดจำนวนของตัวตรวจรู้สำหรับการติดตั้งในบริเวณกว้าง



ภาพประกอบ 5-1 การเปรียบเทียบจำนวนการใช้ตัวตรวจรู้

จากภาพประกอบ 5-1 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบจำนวนการใช้ตัวตรวจรู้ต่อพื้นที่ 900 ตารางเซนติเมตร ของตัวตรวจรู้ 4 ชนิด จากกราฟจะเห็นได้ว่า จากกราฟจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ตั้งแต่ 1-9 ตารางเซนติเมตร จำนวนเปียโซอิเล็กทริกที่นำมาใช้เท่ากับ 4 ตัว ส่วนตัวตรวจรู้ชนิดอื่นจะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่ทดสอบมีขนาดเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้เปียโซอิเล็กทริกจึงได้ลดข้อจำกัดในเรื่องจำนวนของตัวตรวจรู้ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเป็นการทดลองที่มีขนาดของ เมทริกซ์ 3x3 และ 6x6 มีความละเอียดของข้อมูลค่อนข้างน้อย เพราะฉะนั้นเพื่อต้องการให้ข้อมูลมีความละเอียดมากยิ่งขึ้นก็จะทำการเพิ่มขนาดของเมทริกซ์เป็นให้มีขนาดที่มากขึ้นในบริเวณพื้นที่เท่าเดิม สำหรับตัวกลางนำคลื่นอาจมีการทดลองนำตัวกลางอื่นที่แตกต่างกันมาทดลองใช้เพื่อพิจารณาความแตกต่างของการตอบสนอง ในส่วนของสัญญาณอินพุตก็อาจจะทำการปรับเปลี่ยนเป็นอินพุตลักษณะอื่นเพื่อศึกษาความแตกต่างและเลือกสัญญาณอินพุตที่มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้กับระบบ สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมนั้นการปรับ โครงข่ายของโครงข่ายประสาทนั้นสำคัญ การเลือกฟังก์ชันถ่ายโอนที่เหมาะสมก็มีความจำเป็น เพราะฉะนั้นหากมีการปรับตั้งค่าที่เหมาะสมก็จะได้ผลที่แม่นยำยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] H. Kuno, et al. "A practical application of pressure-sensitive film for preventing pressure sores," in *Proc.Int. EMBS Conf.*, 2000. pp. 306-309
- [2] R. Meffre et al., "Active interface pressure sensor integrated into a seat," *Proc. IEEE. EMBS.*, pp.1358-1361, 23-26, August. 2007.
- [3] S. Kärki and J. Lekkala, "Pressure Mapping System for Physiological Measurement." in *Congr. Metrology for a Sustainable Development world Congr.,2006*,
- [4] S. Bhat et al, " Wertsch, Piezoelectric Sensor For Foot Pressure Measurement." *IEEE Eng. Med. Bio Society.*, pp. 1435-1436 , 1989.
- [5] H. Xiaoxia et al, "Development of bedsore prevention system based on LabVIEW," in *Proc. Int. Information Technology and Application in Biomedicine Conf., 2008*, vol.5, pp. 506-509.
- [6] J. Anna , "Evaluation of discomfort using real-time Measurement of whole body vibration and seat pressure distribution while driving trucks," M.S. thesis, Dept. Human of Sciences. Lulea Univ., Gothenburg , Sweden, 2006.
- [7] M. Ryszard et al., "Acoustic biosensor," *IEEE Eng. Med. Bio Society.*, Vol. 2, no. 61998, pp. 2779-2784, 1998.
- [8] นภาพร อภิวดีวิเศษชัย, "Best Practices for the Prevention and Treatment of Pressure ulcers". http://www.si.mahidol.ac.th/KM/cops/wound_and_ostomy/admin/knowledge_files/pu_นภาพร.pdf, OCT. 31, 2008.

[9] สุภา สุรเศรษฐ์วงศ์, “การป้องกันและดูแลแผลกดทับที่บ้าน”:

<http://hp.anamai.moph.go.th/elderly/A1/Pressure%20sore%20prevention.pdf> ,OCT.31, 2008.

[10] จันทร์ฉาย แซ่ตั้ง, “ความปลอดภัยของผู้ป่วย เรื่องแผลกดทับ”:

<http://medinfo.psu.ac.th/KM/data/ksd/803.pdf>, OCT. 25,2008.

[11] “เปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric).”<http://research.crma.ac.th/2549/index.php/>, OCT.20,2008.

[12] กิตติพัฒน์ ตันตระกูลโรจน์.โปรแกรม KDee Understanding Wave version 2007.1.ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, กันยายน 2551

[13] ธฤติ บุญยาน.การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นมากโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม.ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2549

ภาคผนวก

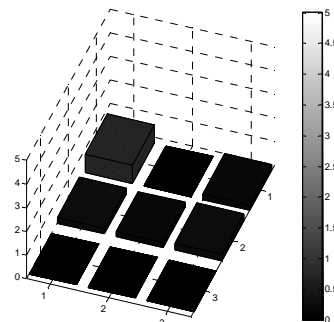
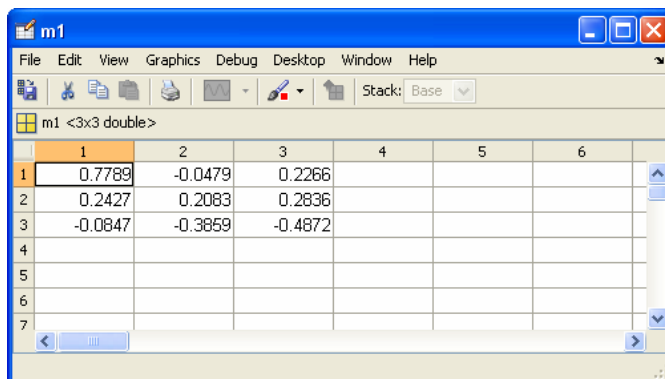
ภาคผนวก ก

รวมผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ขนาด 3x3

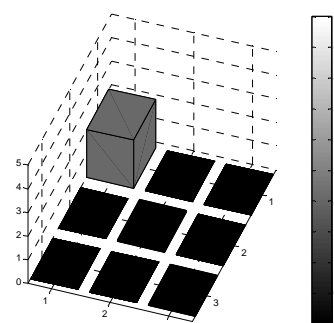
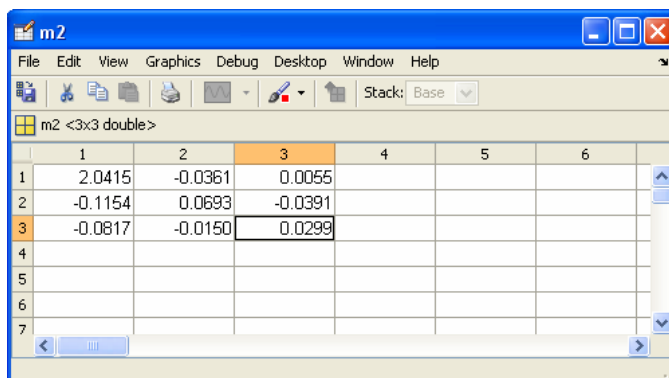
ผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ขนาด 3x3

ผลของเอาต์พุตที่ได้จากการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

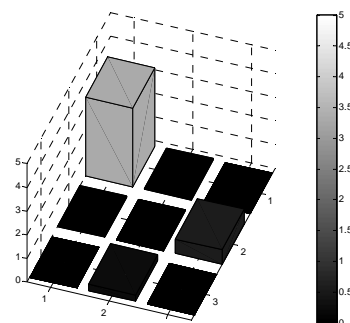
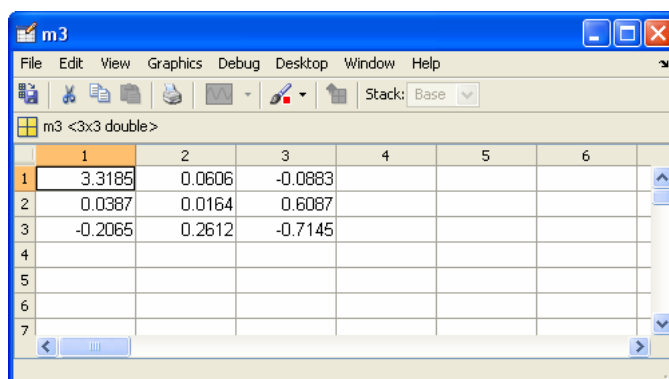
ตำแหน่งเมทริกซ์ A



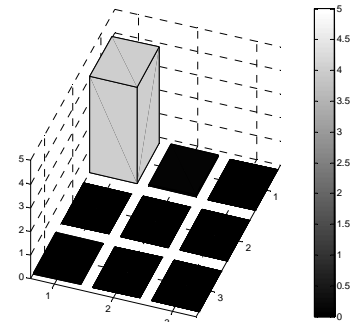
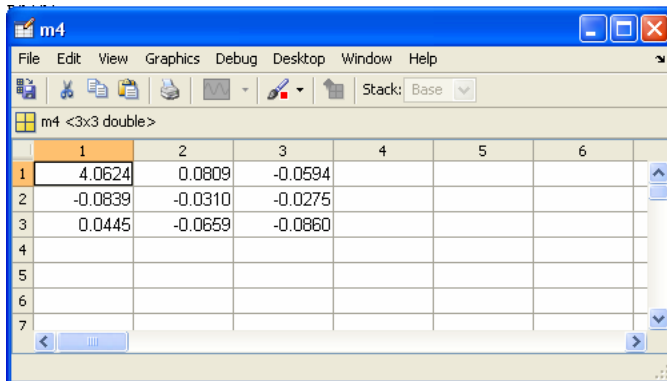
ภาพประกอบ ก-2 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ A



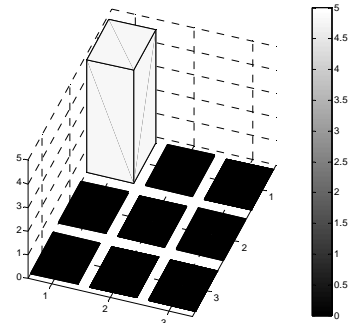
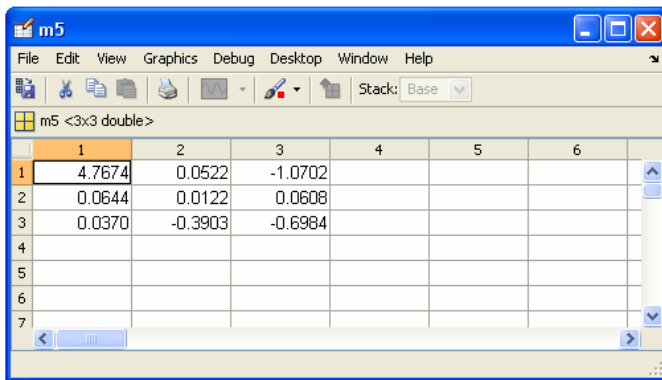
ภาพประกอบ ก-3 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ A



ภาพประกอบ ก-4 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ A

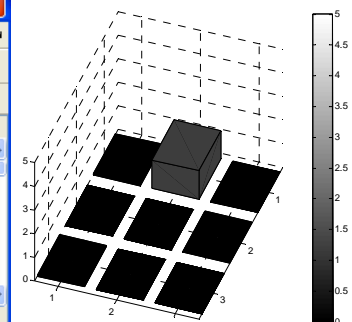
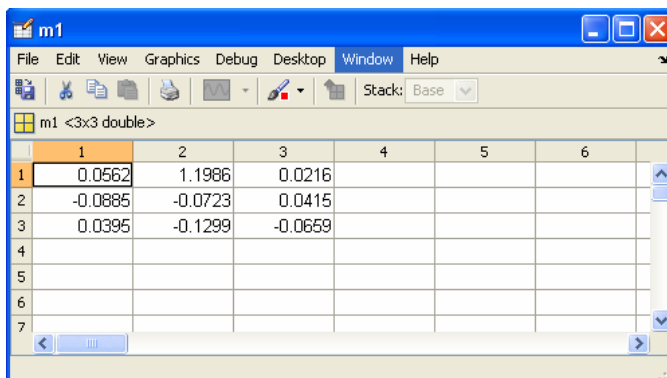


ภาพประกอบ ก-5 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ A

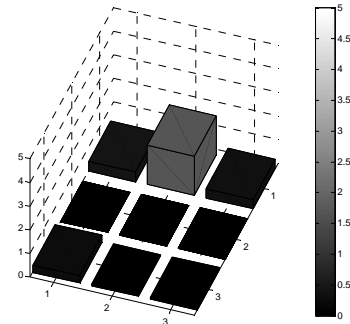
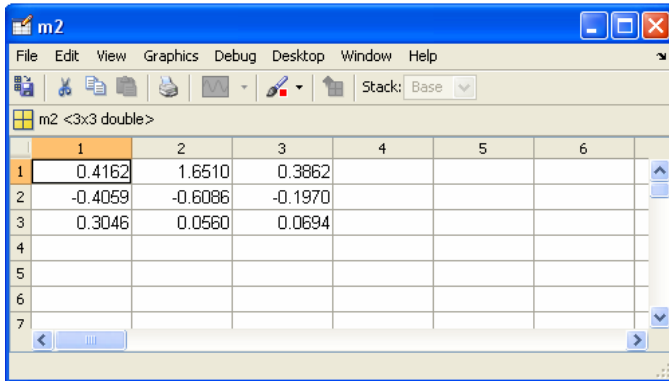


ภาพประกอบ ก-67 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ A

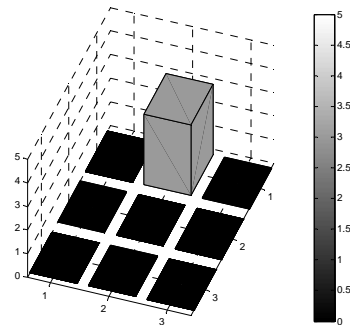
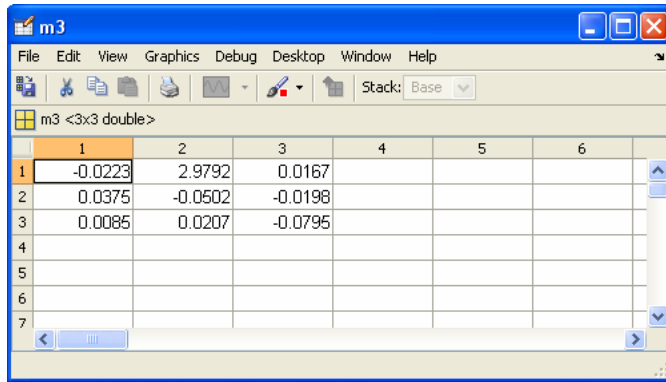
ตำแหน่งเมทริกซ์ B



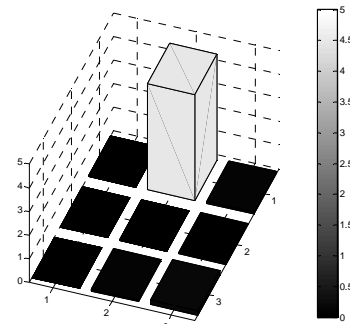
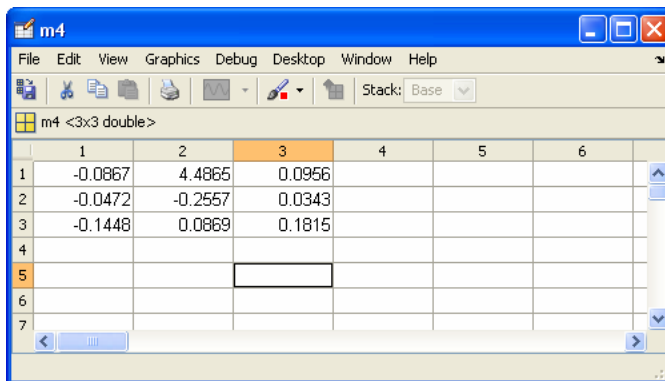
ภาพประกอบ ก-8 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ B



ภาพประกอบ ก-9 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ B

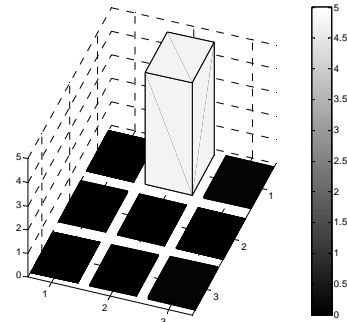


ภาพประกอบ ก-10 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ B



ภาพประกอบ ก-11 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ B

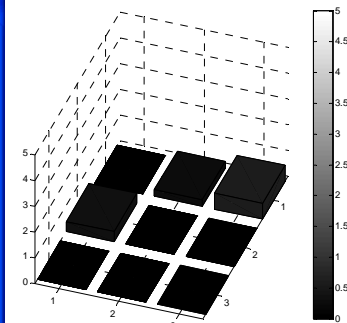
	1	2	3	4	5	6
1	-0.0851	4.7461	0.0844			
2	0.0433	0.0247	-0.0462			
3	-0.0888	0.0302	0.1117			
4						
5						
6						
7						



ภาพประกอบ ก-12 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ B

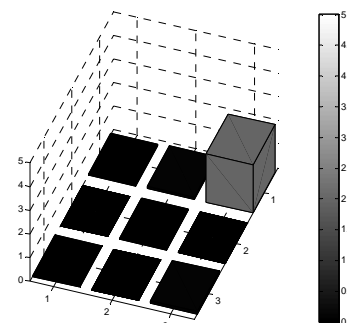
ตำแหน่งเมทริกซ์ C

	1	2	3	4	5	6
1	-0.0506	0.2637	0.6076			
2	0.3844	-0.0787	0.0224			
3	-0.2904	-0.5683	0.0473			
4						
5						
6						
7						

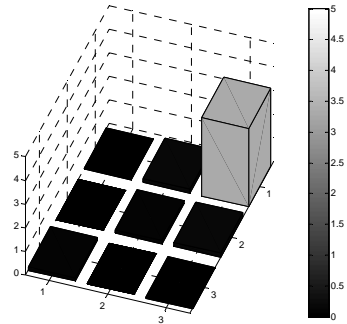
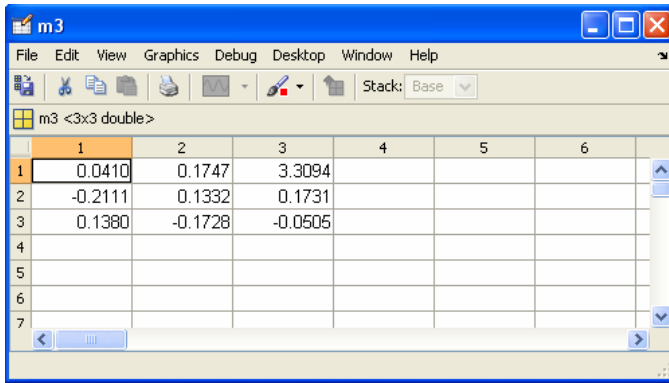


ภาพประกอบ ก-14 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ C

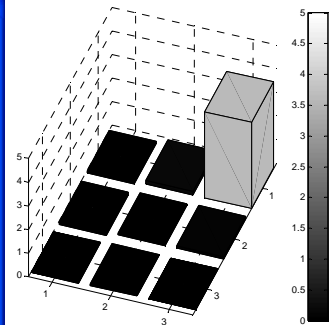
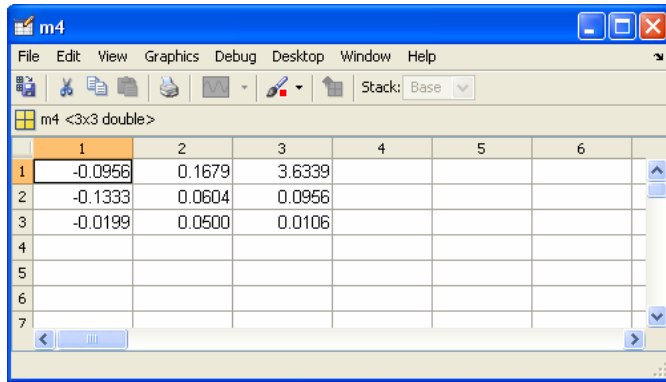
	1	2	3	4	5	6
1	0.0725	0.1056	2.0270			
2	-0.0410	0.0290	-0.0493			
3	0.0522	-0.2898	0.1005			
4						
5						
6						
7						



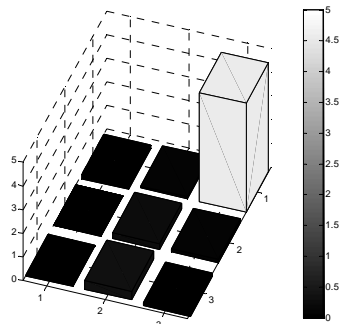
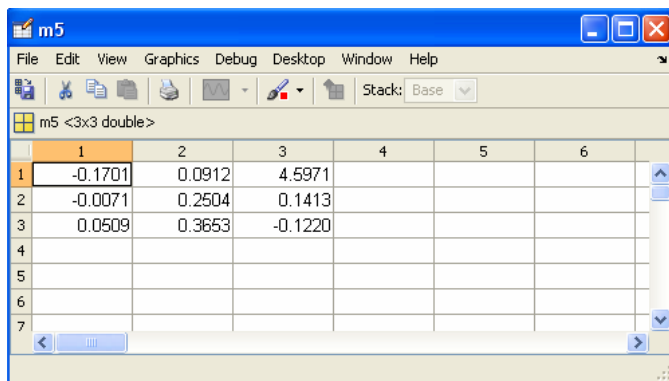
ภาพประกอบ ก-15 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ C



ภาพประกอบ ก-16 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ C

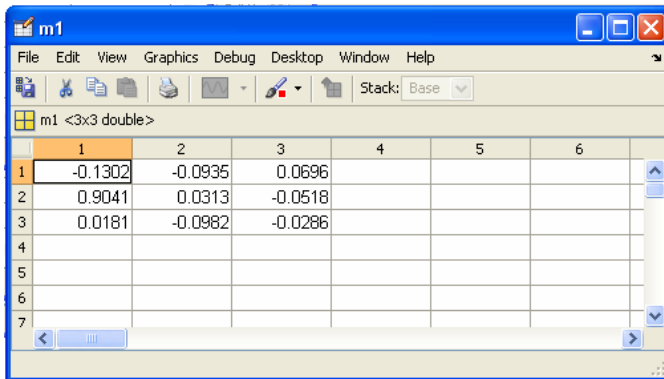


ภาพประกอบ ก-17 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ C

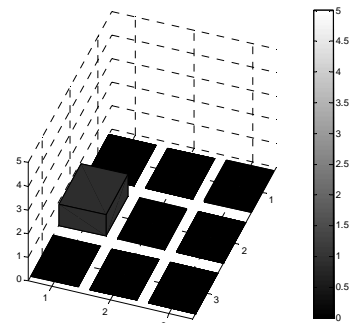


ภาพประกอบ ก-18 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ C

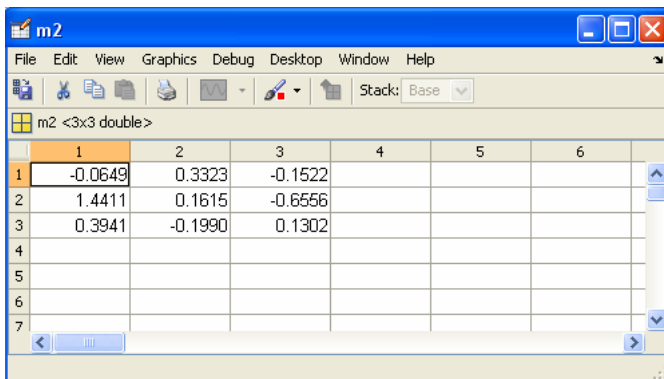
ตำแหน่งเมทริกซ์ D



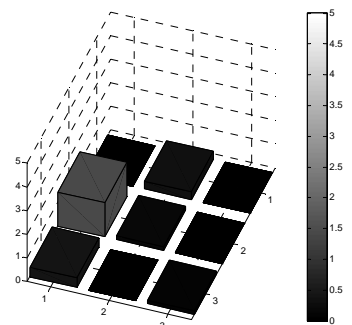
	1	2	3	4	5	6
1	-0.1302	-0.0935	0.0696			
2	0.9041	0.0313	-0.0518			
3	0.0181	-0.0982	-0.0286			
4						
5						
6						
7						



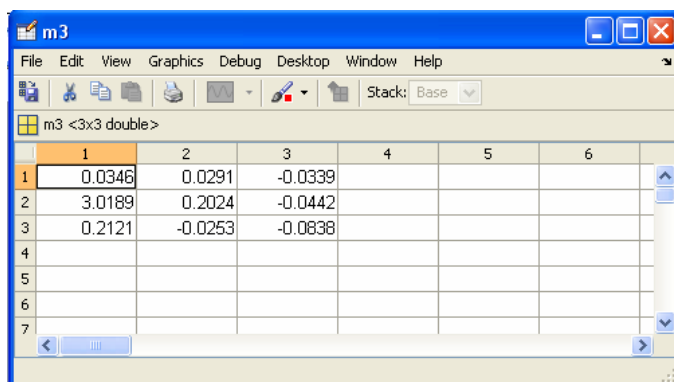
ภาพประกอบ ก-20 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ D



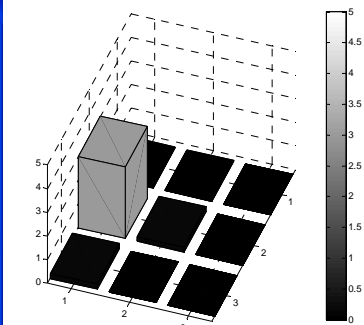
	1	2	3	4	5	6
1	-0.0649	0.3323	-0.1522			
2	1.4411	0.1615	-0.6556			
3	0.3941	-0.1990	0.1302			
4						
5						
6						
7						



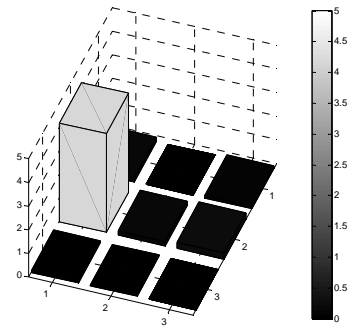
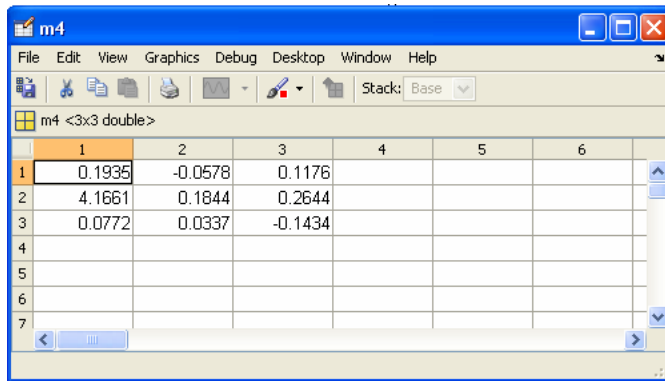
ภาพประกอบ ก-21 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ D



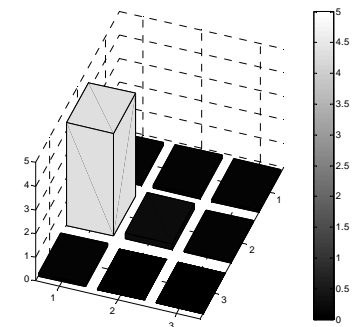
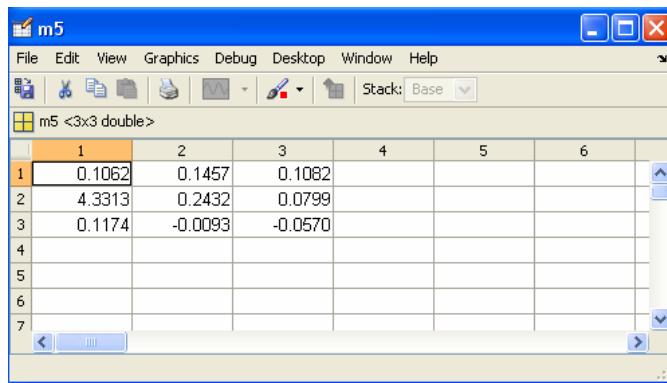
	1	2	3	4	5	6
1	0.0346	0.0291	-0.0339			
2	3.0189	0.2024	-0.0442			
3	0.2121	-0.0253	-0.0838			
4						
5						
6						
7						



ภาพประกอบ ก-22 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ D

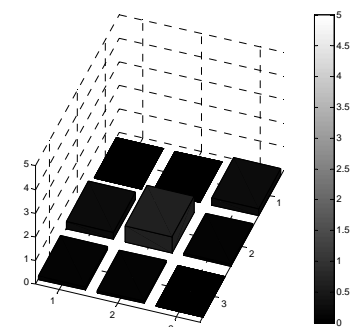
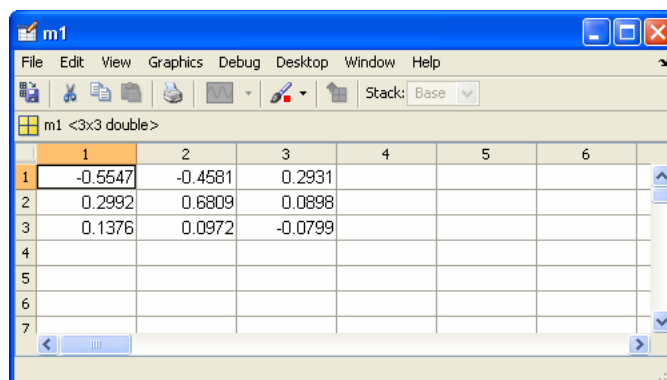


ภาพประกอบ ก-23 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ D

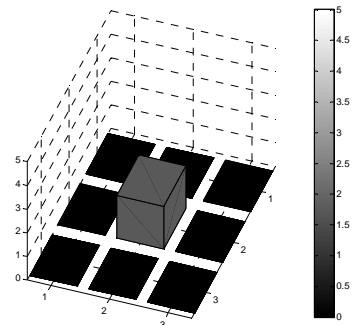
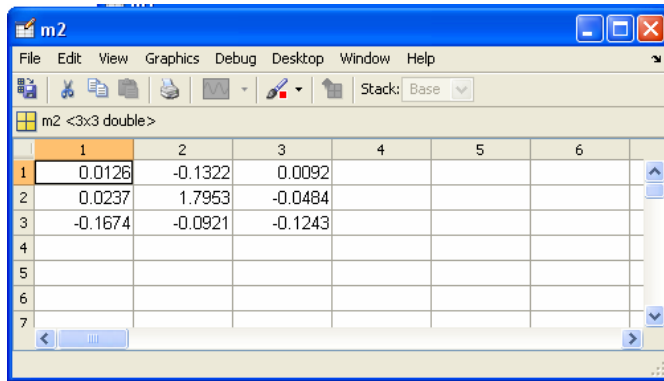


ภาพประกอบ ก-24 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ D

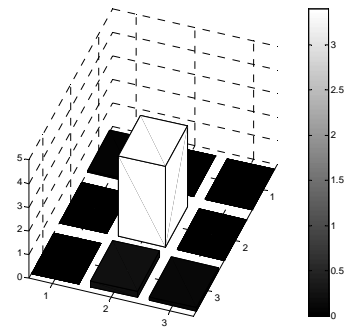
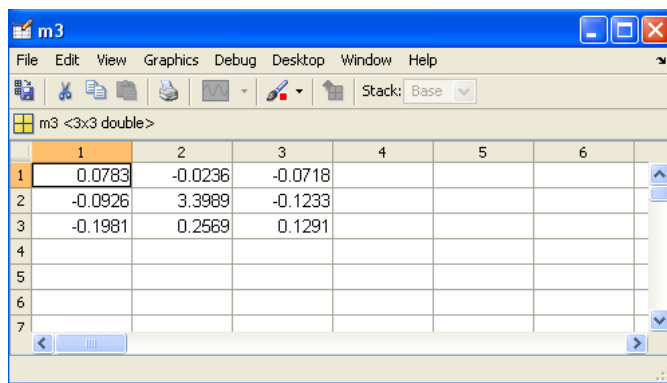
ตำแหน่งเมทริกซ์ E



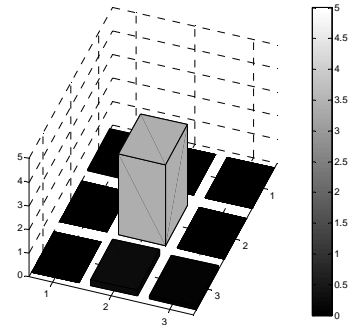
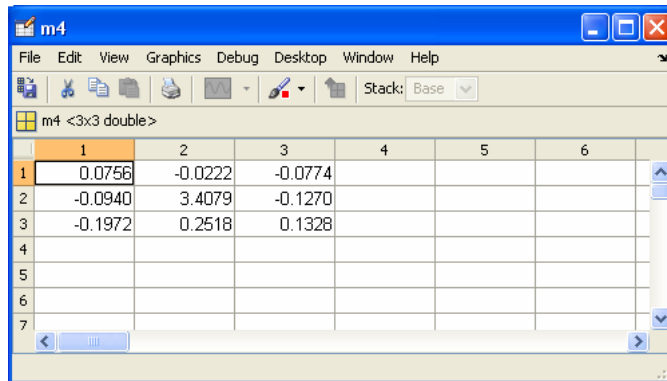
ภาพประกอบ ก-26 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ E



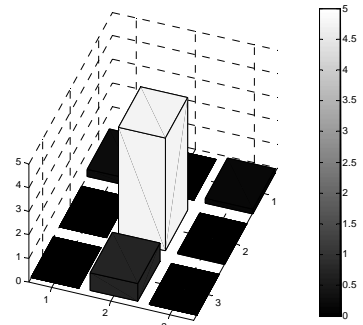
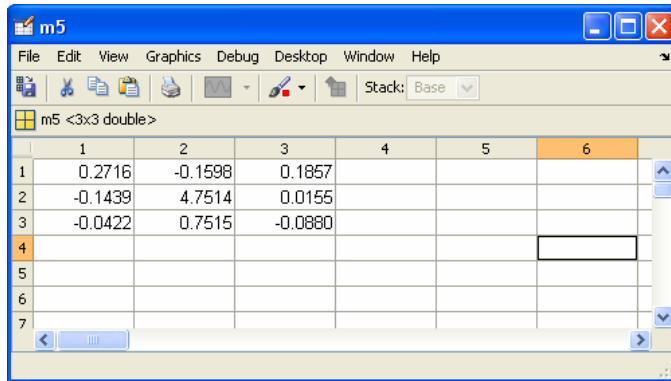
ภาพประกอบ ก-27 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ E



ภาพประกอบ ก-28 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ E

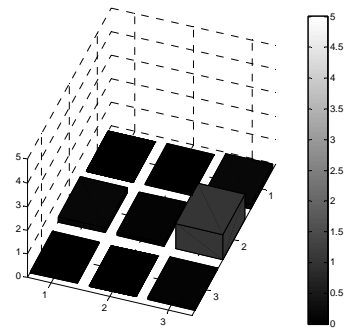
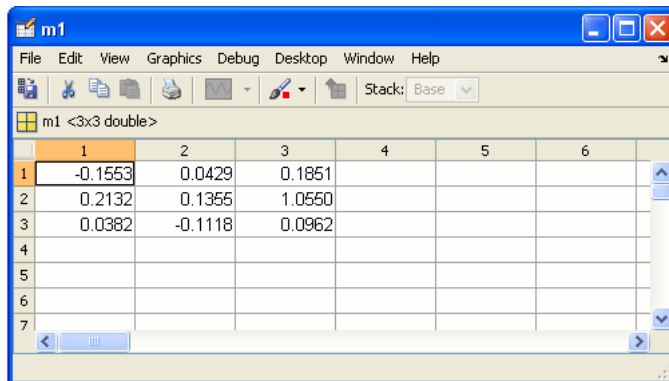


ภาพประกอบ ก-29 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ E

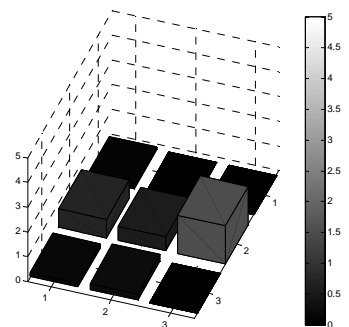
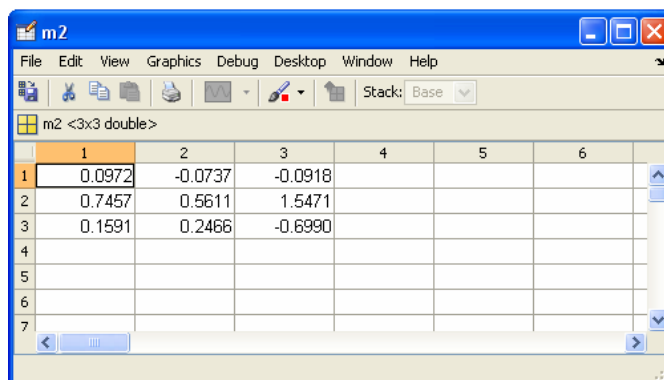


ภาพประกอบ ก-30 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ E

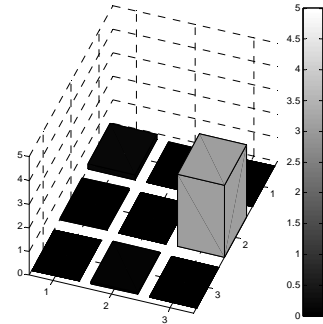
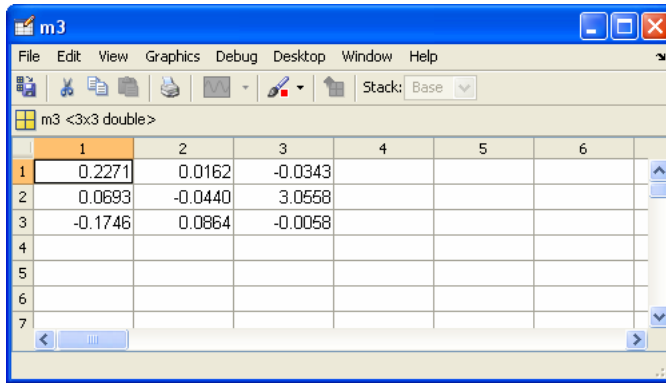
ตำแหน่งเมทริกซ์ F



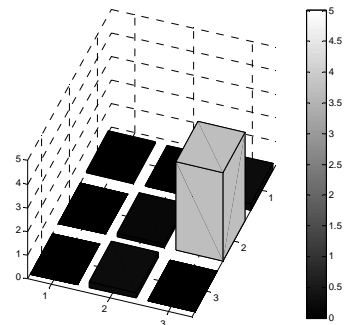
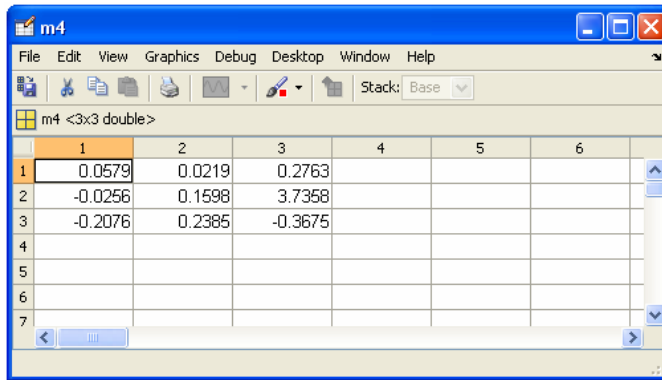
ภาพประกอบ ก-32 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ F



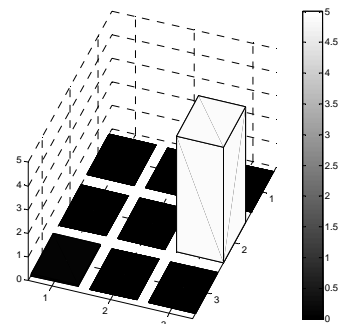
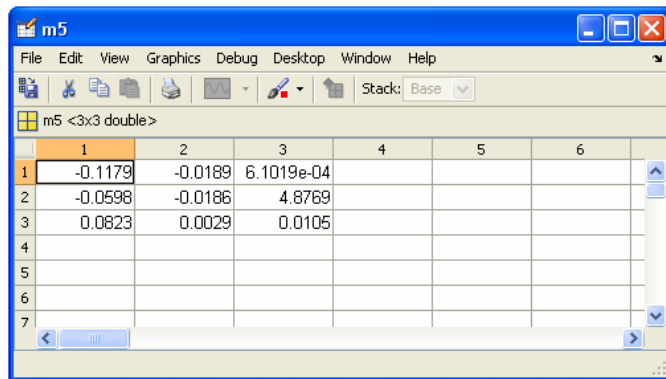
ภาพประกอบ ก-33 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ F



ภาพประกอบ ก-34 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ F



ภาพประกอบ ก-35 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ F



ภาพประกอบ ก-36 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ F

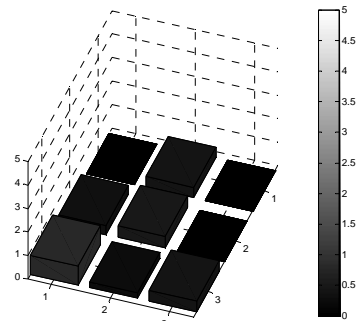
ตำแหน่งเมทริกซ์ G

m1

File Edit View Graphics Debug Desktop Window Help

m1 <3x3 double>

	1	2	3	4	5	6
1	-0.0404	0.4450	-0.4994			
2	0.4786	0.4907	-0.3984			
3	0.8086	0.2482	0.4406			
4						
5						
6						
7						



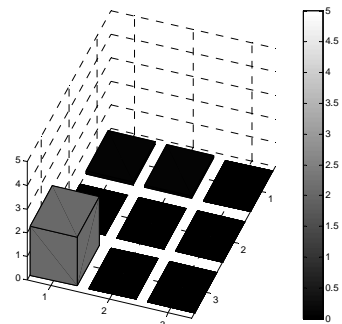
ภาพประกอบ ก-38 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ G

m2

File Edit View Graphics Debug Desktop Window Help

m2 <3x3 double>

	1	2	3	4	5	6
1	0.1270	0.1074	-0.0369			
2	-0.1110	-0.0647	-0.0108			
3	2.0693	-0.1395	-0.0944			
4						
5						
6						
7						



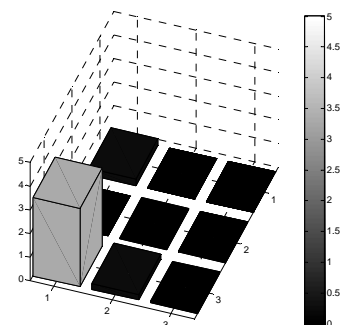
ภาพประกอบ ก-39 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ G

m3

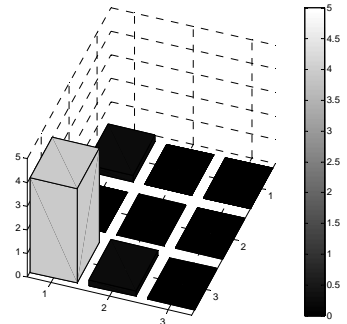
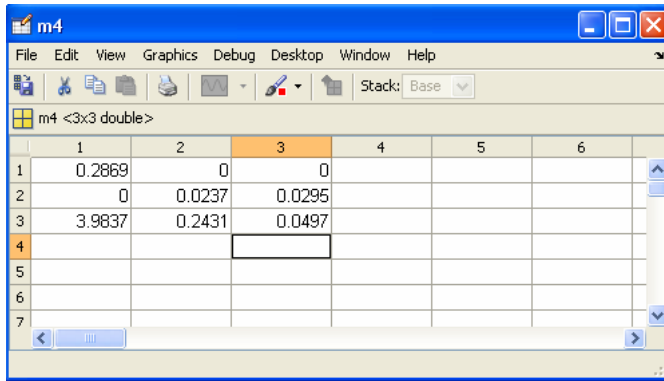
File Edit View Graphics Debug Desktop Window Help

m3 <3x3 double>

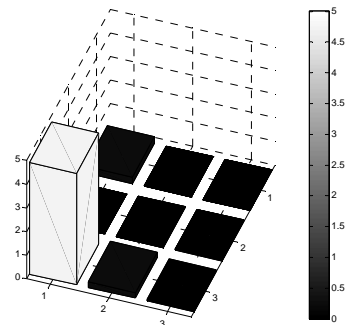
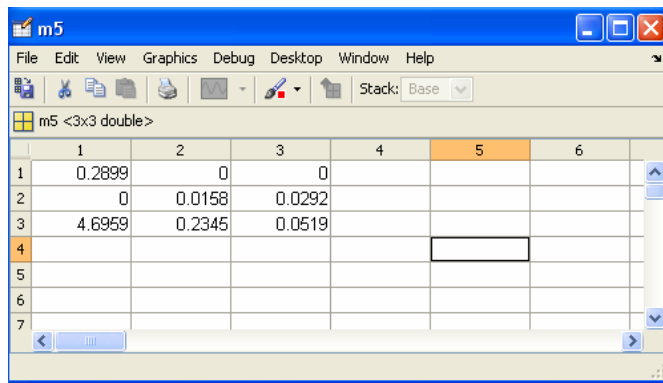
	1	2	3	4	5	6
1	0.2868	-0.1868	-0.0802			
2	-0.0305	0.0243	0.0295			
3	3.2983	0.2435	0.0496			
4						
5						
6						
7						



ภาพประกอบ ก-40 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก่อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ G

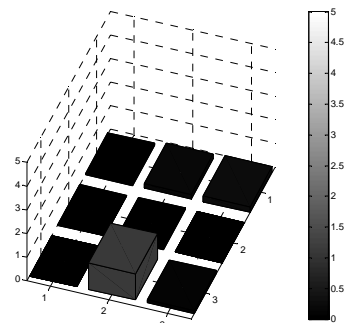
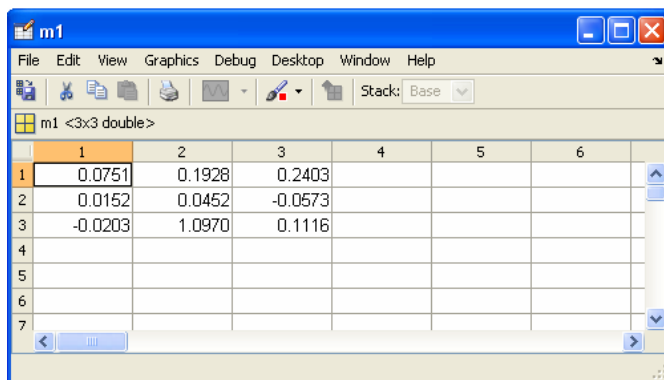


ภาพประกอบ ก-41 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ G

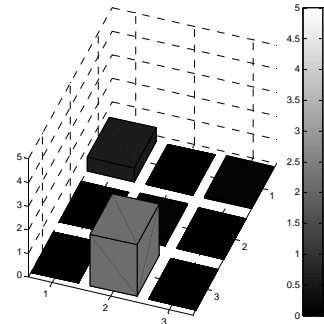
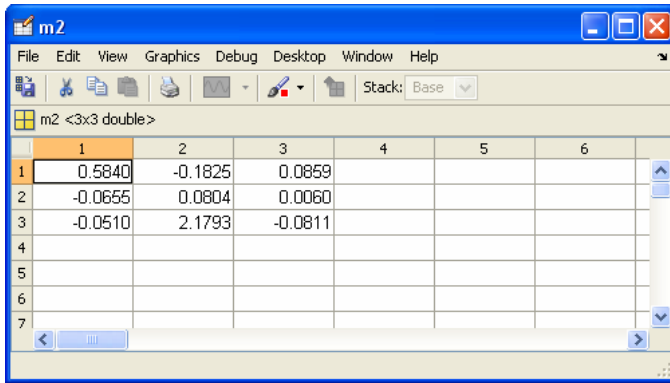


ภาพประกอบ ก-42 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ G

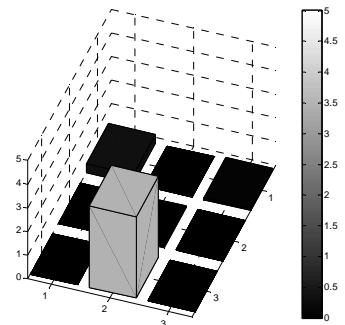
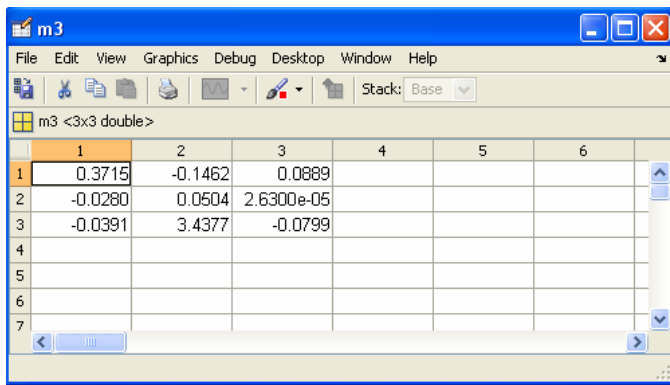
ตำแหน่งเมทริกซ์ H



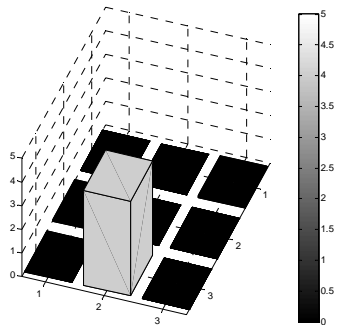
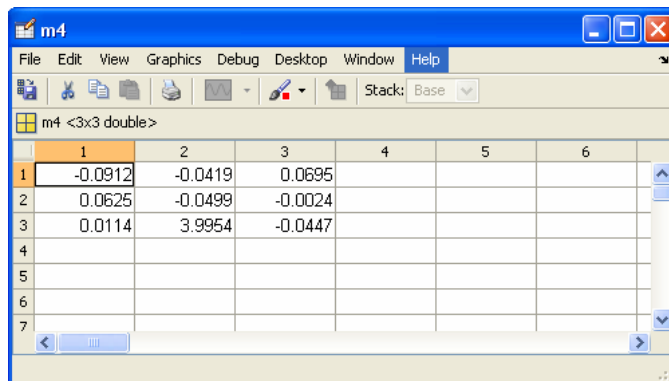
ภาพประกอบ ก-44 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ H



ภาพประกอบ ก-45 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ H

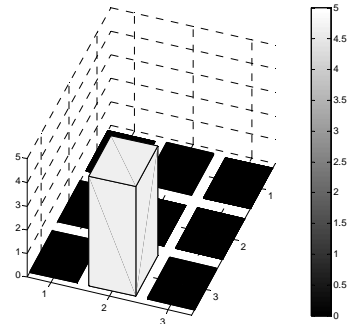


ภาพประกอบ ก-46 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ H



ภาพประกอบ ก-47 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ H

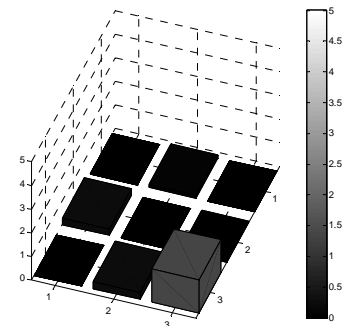
	1	2	3	4	5	6
1	-0.3716	0.0709	-0.0381			
2	0.0355	-0.1025	-0.0129			
3	0.0601	4.6370	0.0537			
4						
5						
6						
7						



ภาพประกอบ ก-48 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ H

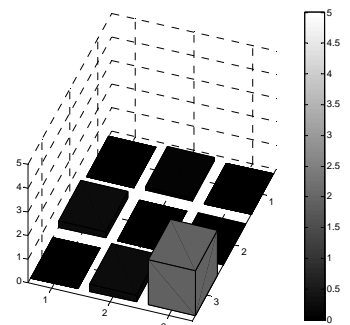
ตำแหน่งเมทริกซ์ I

	1	2	3	4	5	6
1	-0.2457	0.1279	-0.1714			
2	0.2665	-0.9462	0.0431			
3	-0.1473	0.2978	1.3838			
4						
5						
6						
7						

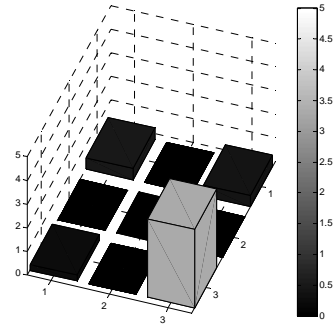
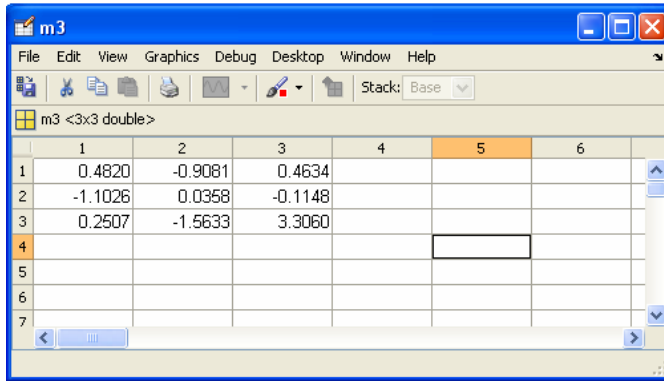


ภาพประกอบ ก-50 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 1 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ I

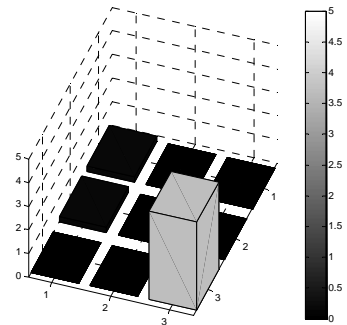
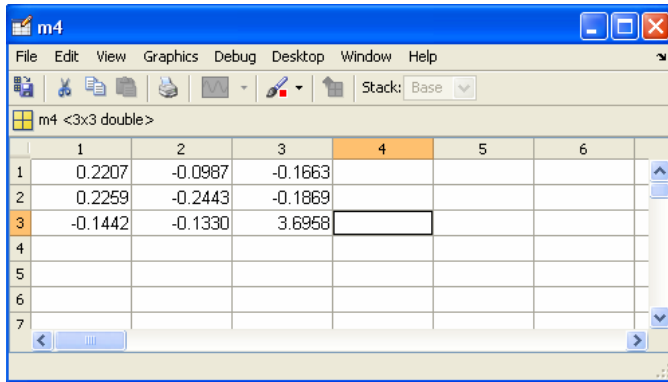
	1	2	3	4	5	6
1	-0.2452	0.1300	-0.1725			
2	0.2671	-0.9494	0.0339			
3	-0.1473	0.2957	1.8910			
4						
5						
6						
7						



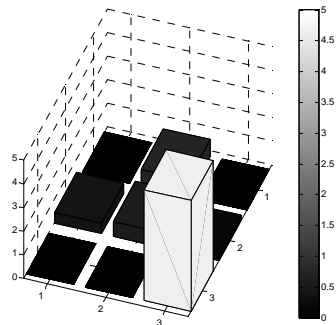
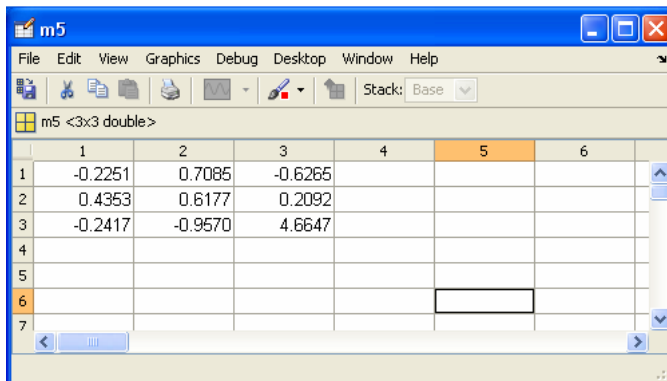
ภาพประกอบ ก-51 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 2 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ I



ภาพประกอบ ก-52 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 3 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ I

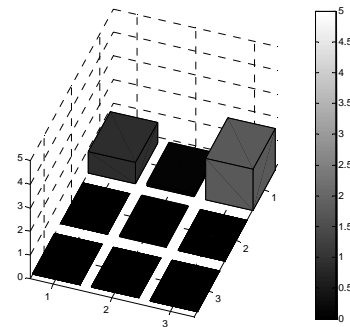
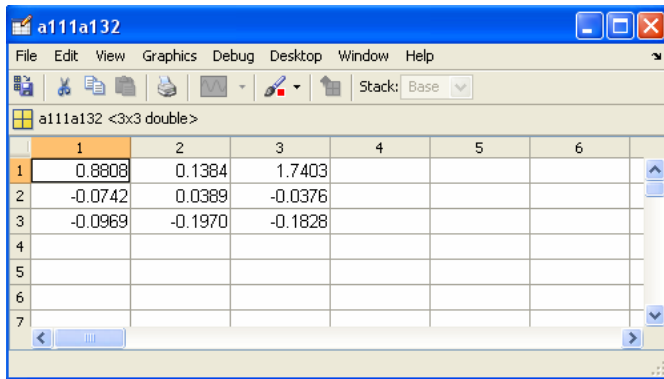


ภาพประกอบ ก-53 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 4 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ I

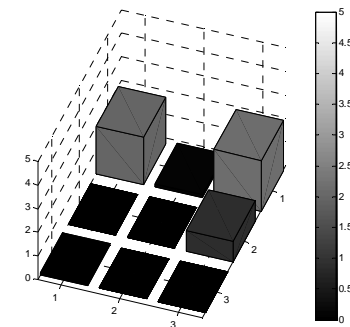
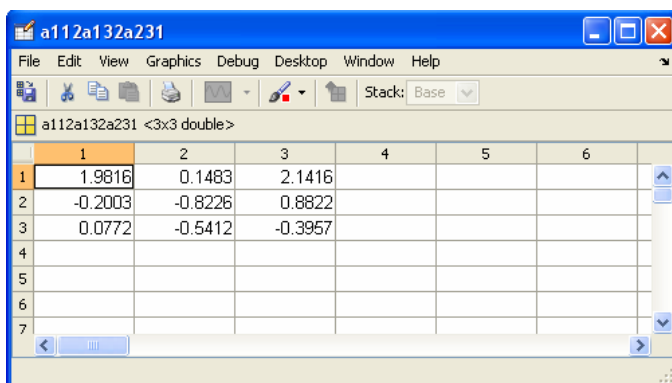


ภาพประกอบ ก-54 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัก 5 ก้อนที่ตำแหน่งเมทริกซ์ I

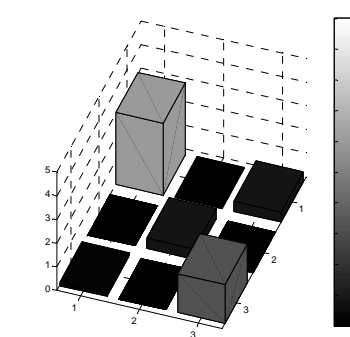
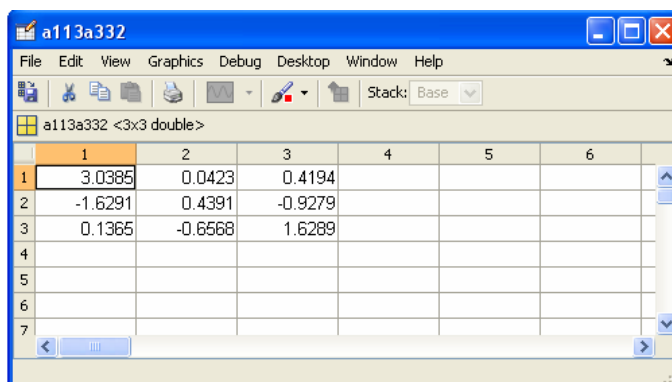
ผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ 3x3 โดยวางก้อนน้ำหนักหลายตำแหน่ง



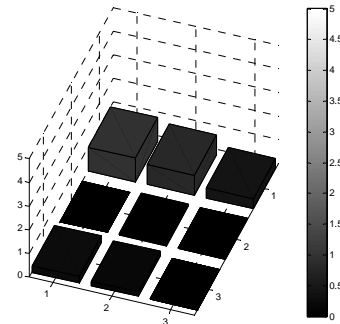
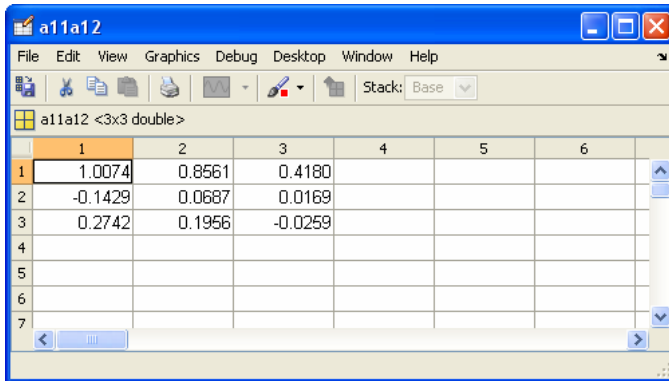
ภาพประกอบ ก-55 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนักตำแหน่งเมทริกซ์ A 1 ก้อน
ตำแหน่งเมทริกซ์ C 2 ก้อน



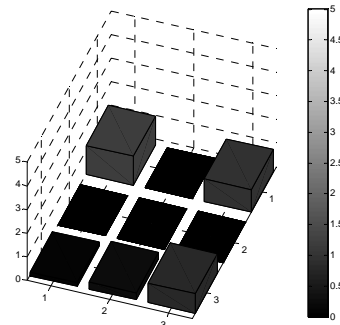
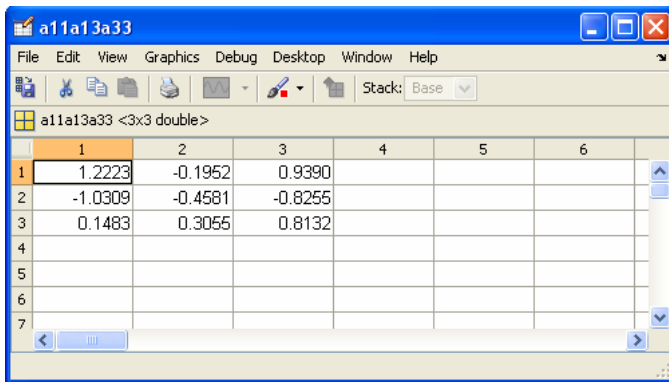
ภาพประกอบ ก-56 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนักตำแหน่งเมทริกซ์ A 1 ก้อน
ตำแหน่งเมทริกซ์ C 2 ก้อน และตำแหน่งเมทริกซ์ F 1 ก้อน



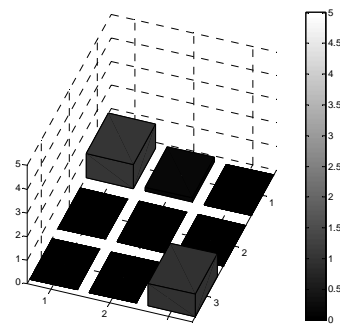
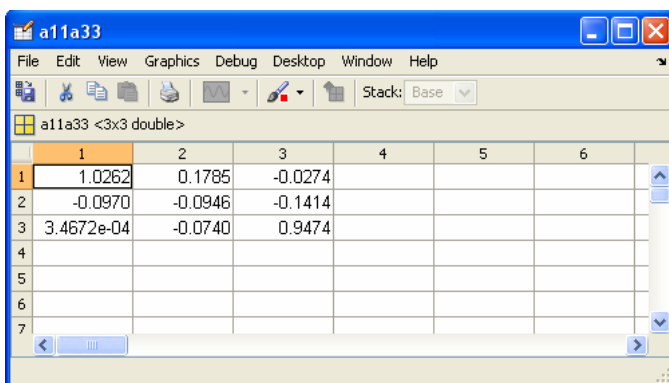
ภาพประกอบ ก-56 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนักตำแหน่งเมทริกซ์ A 3 ก้อน และ
ตำแหน่งเมทริกซ์ I 2 ก้อน



ภาพประกอบ ก-57 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนักตำแหน่งเมทริกซ์ A 1 ก้อน และ ตำแหน่งเมทริกซ์ B 1 ก้อน



ภาพประกอบ ก-58 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนักตำแหน่งเมทริกซ์ A 1 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ C 1 ก้อน และตำแหน่งเมทริกซ์ I 1 ก้อน



ภาพประกอบ ก-59 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนักตำแหน่งเมทริกซ์ A 1 ก้อน และ ตำแหน่งเมทริกซ์ I 1 ก้อน

ภาคผนวก ข

รวมผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ขนาด 6x6

ผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ขนาด 6x6

ตาราง ข-1 สรุปค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนัก ของเมทริกซ์ 6x6
เมื่อวางน้ำหนัก 1 ตำแหน่ง

ตำแหน่ง	น้ำหนัก (ก่อน)	ค่าความสัมพันธ์ของ การฝึก	ค่าความสัมพันธ์ของ การทดสอบ	ค่าความ แม่นยำ	ค่าสหสัมพันธ์
a11	1	0.94299	0.82803	0.75013	0.86531
	2	1	0.72373	0.94658	0.90586
	3	1	0.85388	0.93887	0.94793
	4	1	0.71304	0.93692	0.91162
	5	1	0.7049	0.99316	0.91932
a12	1	1	0.95228	0.99629	0.96003
	2	1	0.94479	0.8737	0.95625
	3	1	0.74949	0.77318	0.89062
	4	1	0.87289	0.96687	0.94654
	5	0.98601	0.72148	0.91902	0.90033
a21	1	1	0.70848	0.96775	0.9052
	2	0.86803	0.80965	0.97851	0.8692
	3	0.93738	0.83999	0.88708	0.90056
	4	0.94251	0.74456	0.97104	0.88875
	5	0.99907	0.65795	0.91233	0.87163
a22	1	0.98071	0.85668	0.86709	0.91205
	2	0.99733	0.61243	0.81346	0.83336
	3	1	0.94193	0.9459	0.97126
	4	1	0.6687	0.86153	0.88626
	5	1	0.74937	0.65919	0.83716

ตาราง ข-1 (ต่อ)

ตำแหน่ง	น้ำหนัก (ก่อน)	ค่าความ สัมพันธ์ของ การฝึก	ค่าความ สัมพันธ์ของ การทดสอบ	ค่าความ แม่นยำ	ค่าสหสัมพันธ์
b11	1	0.98674	0.71375	0.94592	0.89861
	2	1	0.80361	0.96243	0.93311
	3	0.97616	0.71382	0.71382	0.88497
	4	1	0.84796	0.85021	0.92077
	5	1	0.79978	0.93295	0.92425
b12	1	0.88353	0.79233	0.87278	0.85837
	2	1	0.51265	0.90261	0.82931
	3	1	0.89145	0.95924	0.96185
	4	1	0.89117	0.73266	0.9034
	5	1	0.84852	0.83706	0.91789
b21	1	1	0.88418	0.80395	0.92007
	2	0.90355	0.80082	0.8817	0.85841
	3	0.99957	0.76302	0.97468	0.93062
	4	0.98403	0.87809	0.80314	0.90553
	5	0.99371	0.80317	0.79436	0.89257
b22	1	1	0.70621	0.93857	0.91161
	2	0.98705	0.85144	0.76701	0.89279
	3	1	0.89117	0.93147	0.9551
	4	1	0.79621	0.84383	0.90645
	5	1	0.87635	0.93164	0.94665

ตาราง ข-1 (ต่อ)

ตำแหน่ง	น้ำหนัก (ก้อน)	ค่าความ สัมพัทธ์ของ การฝึก	ค่าความ สัมพัทธ์ของ การทดสอบ	ค่าความ แม่นยำ	ค่าสหสัมพัทธ์
d11	1	1	0.5155	0.73328	0.83398
	2	1	0.77753	0.53167	0.85128
	3	0.88839	0.63658	0.83546	0.81035
	4	0.99998	0.4867	0.92516	0.85174
	5	1	0.1879	0.91791	0.74675
d12	1	0.90785	0.81257	0.78313	0.84834
	2	1	0.29089	0.95948	0.80096
	3	0.9632	0.89811	0.91123	0.9287
	4	0.9287	0.77347	0.88467	0.90502
	5	1	0.31021	0.84256	0.77433
d21	1	0.96249	0.80736	0.88668	0.90294
	2	1	0.80487	0.92374	0.92198
	3	0.98016	0.80606	0.74431	0.89189
	4	0.99624	0.8684	0.80569	0.91432
	5	1	0.85953	0.91628	0.94661
d22	1	0.99972	0.9019	0.87054	0.94962
	2	0.98715	0.8709	0.78805	0.9187
	3	1	0.88656	0.89158	0.94698
	4	0.99999	0.67013	0.82091	0.86196
	5	0.94217	0.76662	0.90262	0.88696

ตาราง ข-1 (ต่อ)

ตำแหน่ง	น้ำหนัก (ก่อน)	ค่าความ สัมพันธ์ของ การฝึก	ค่าความ สัมพันธ์ของ การทดสอบ	ค่าความ แม่นยำ	ค่าสหสัมพันธ์
e11	1	1	0.77368	0.97122	0.93622
	2	0.93622	0.84868	0.96143	0.94915
	3	1	0.89518	0.98774	0.96415
	4	1	0.96291	0.94325	0.97759
	5	1	0.68245	0.96991	0.87964
e12	1	1	0.81434	0.92979	0.91788
	2	1	0.92647	0.98799	0.97194
	3	0.98601	0.9393	0.93899	0.86616
	4	1	0.90365	0.9628	0.96567
	5	1	0.77159	0.63973	0.84516
e21	1	1	0.82561	0.94992	0.94022
	2	1	0.69962	0.9498	0.89146
	3	1	0.83886	0.97053	0.95099
	4	1	0.95882	0.97145	0.98045
	5	1	0.83127	0.44261	0.8277
e22	1	0.98851	0.80476	0.83556	0.9058
	2	0.9976	0.75519	0.75015	0.85691
	3	0.99962	0.77689	0.63298	0.8529
	4	0.99962	0.77689	0.63298	0.8529
	5	1	0.90162	0.95297	0.96114

ตาราง ข-2 สรุปค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักของเมทริกซ์ 6x6
เมื่อวางน้ำหนักหลายตำแหน่ง

ตำแหน่ง	ค่าความสัมพันธ์ ของการฝึก	ค่า ความสัมพันธ์ ของการ ทดสอบ	ค่าความ แม่นยำ	ค่า สหสัมพันธ์
A11 3 ก้อน A13 2 ก้อน	0.9866	0.84573	0.78584	0.9046
A11 2 ก้อน A13 2 ก้อน และ A23 1 ก้อน	0.95127	0.70164	0.7615	0.82496
วางก้อนน้ำหนัก 3 ตำแหน่งน้ำหนักเท่ากัน A11, A13 & A33	0.97972	0.75649	0.84757	0.88886
น้ำหนักต่างกัน A11 1 ก้อน A13 2 ก้อน	0.97972	0.75649	0.84757	0.88886
ผลการทดลองเมทริกซ์ 3x3 วางก้อนน้ำหนัก เท่ากัน A11 & A12	0.99328	0.76532	0.8101	0.88253
A11 & A33	0.98354	0.76073	0.82195	0.88709

ตาราง ข-3 สรุปผลการปรับค่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของเมทริกซ์ 6x6 เมื่อวาง
 น้ำหนัก 1 ตำแหน่ง

ตำแหน่ง	น้ำหนัก (ก้อน)	โครงสร้างของโครงข่าย ประสาทเทียม
a11	1	32-5-30-4
	2	32-5-30-4
	3	32-5-30-4
	4	32-5-30-4
	5	32-5-30-4
a12	1	32-5-30-4
	2	32-5-30-4
	3	32-5-30-4
	4	32-5-30-4
	5	32-5-35-4
a21	1	32-5-30-4
	2	32-5-30-4
	3	32-5-30-4
	4	32-5-30-4
	5	32-5-30-4
a22	1	32-5-30-4
	2	32-5-30-4
	3	32-5-30-4
	4	32-5-30-4
	5	32-5-35-4

ตาราง ข-3 (ต่อ)

ตำแหน่ง	น้ำหนัก (ก้อน)	โครงสร้างของโครงข่าย ประสาทเทียม
b11	1	32-5-35-4
	2	32-5-40-4
	3	32-5-20-4
	4	32-5-45-4
	5	32-5-25-4
b12	1	32-5-25-4
	2	32-5-40-4
	3	32-5-20-4
	4	32-5-25-4
	5	32-5-45-4
b21	1	32-5-30-4
	2	32-5-30-4
	3	32-5-30-4
	4	32-5-40-4
	5	32-5-40-4
b22	1	32-5-35-4
	2	32-5-35-4
	3	32-5-30-4
	4	32-5-35-4
	5	32-5-45-4

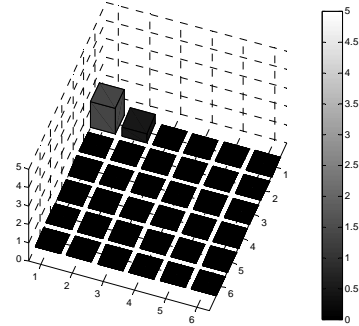
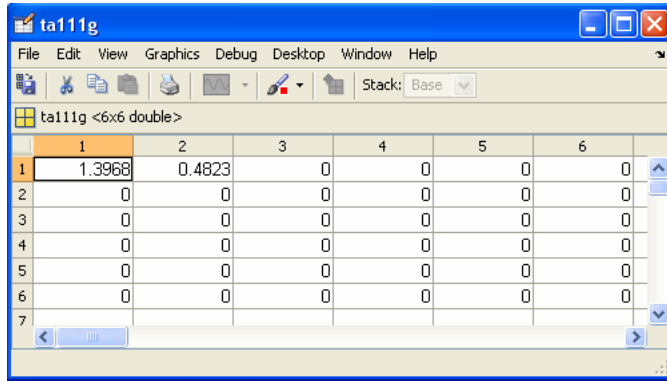
ตาราง ข-3 (ต่อ)

ตำแหน่ง	น้ำหนัก (ก้อน)	โครงสร้างของโครงข่าย ประสาทเทียม
d11	1	32-10-40-4
	2	32-10-45-4
	3	32-15-45-4
	4	32-4-25-4
	5	32-5-25-4
d12	1	32-5-35-4
	2	32-5-35-4
	3	32-10-40-4
	4	32-5-30-4
	5	32-5-25-4
d21	1	32-10-40-4
	2	32-10-40-4
	3	32-10-25-4
	4	32-5-25-4
	5	32-5-25-4
d22	1	32-10-40-4
	2	32-10-40-4
	3	32-15-40-4
	4	32-5-30-4
	5	32-5-30-4

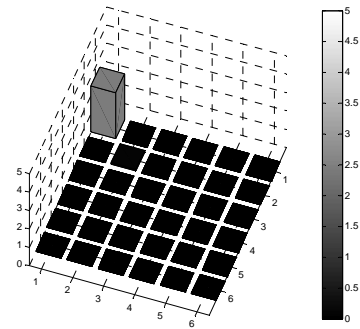
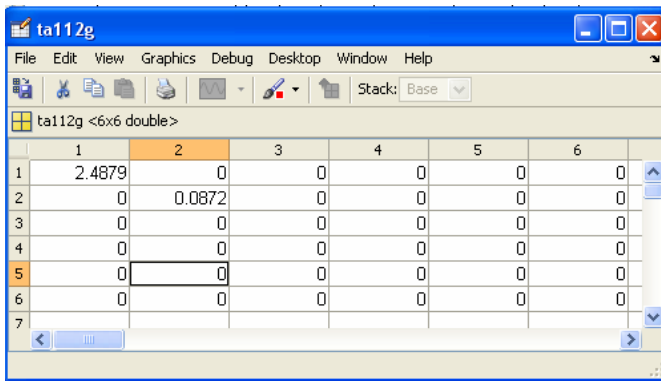
ตาราง ข-3 (ต่อ)

ตำแหน่ง	น้ำหนัก (ก้อน)	โครงสร้างของโครงข่าย ประสาทเทียม
e11	1	32-5-40-4
	2	32-5-30-4
	3	32-5-35-4
	4	32-5-35-4
	5	32-5-45-4
e12	1	32-5-35-4
	2	32-5-30-4
	3	32-5-30-4
	4	32-5-30-4
	5	32-5-35-4
e21	1	32-5-45-4
	2	32-5-45-4
	3	32-5-25-4
	4	32-5-50-4
	5	32-5-30-4
e22	1	32-5-35-4
	2	32-5-40-4
	3	32-5-40-4
	4	32-5-40-4
	5	32-5-30-4

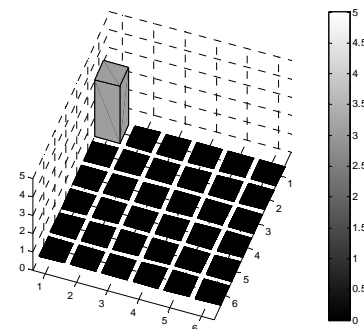
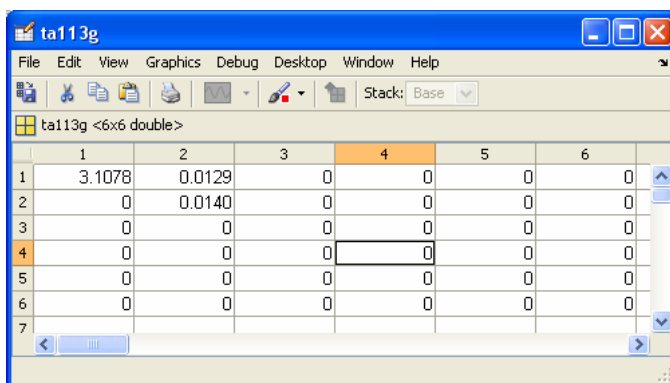
ผลของเอาต์พุตที่ได้จากการจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม



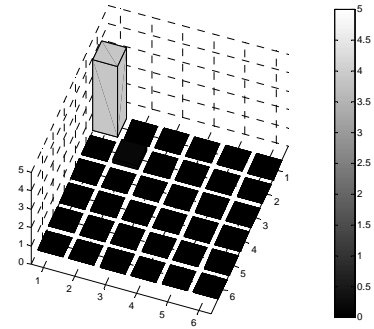
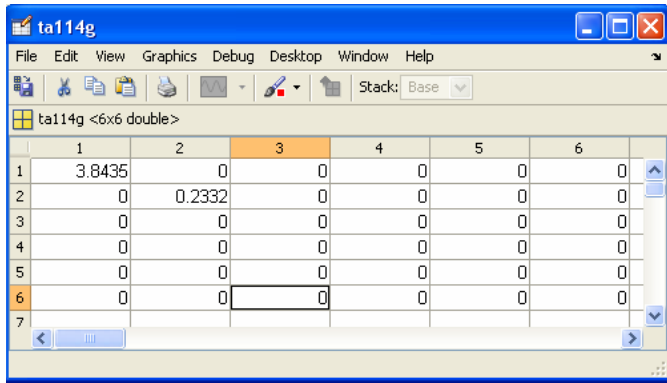
ภาพประกอบ ข-1 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก่อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a11



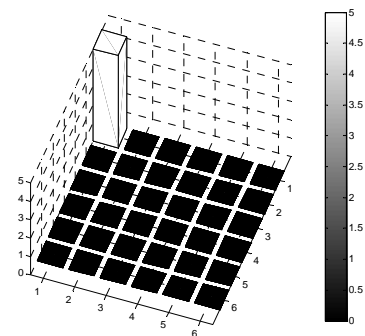
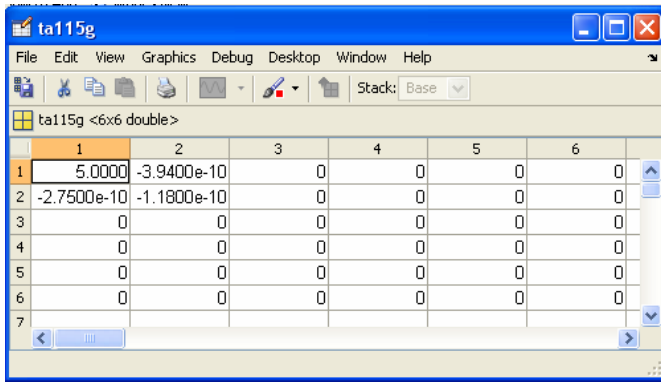
ภาพประกอบ ข-2 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก่อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a11



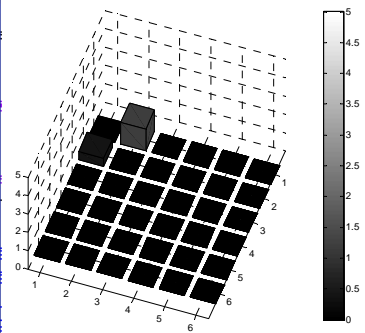
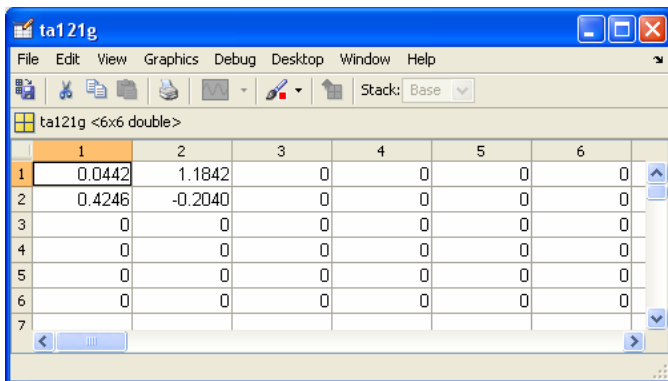
ภาพประกอบ ข-3 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก่อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a11



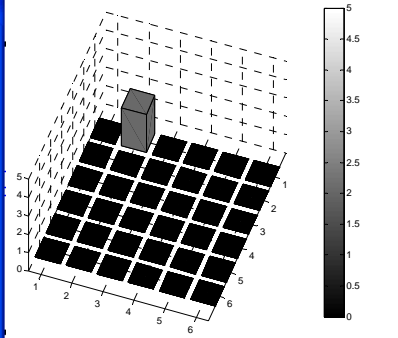
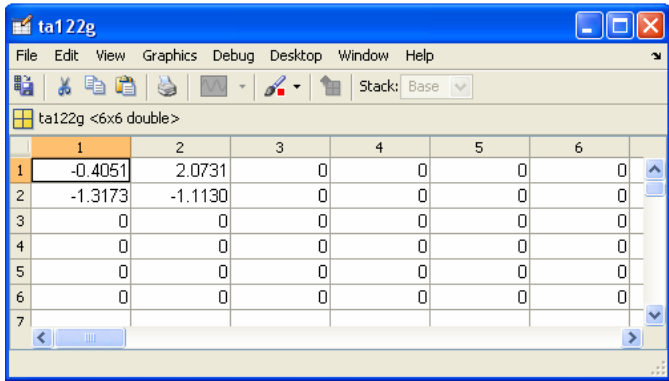
ภาพประกอบ ข-ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a11



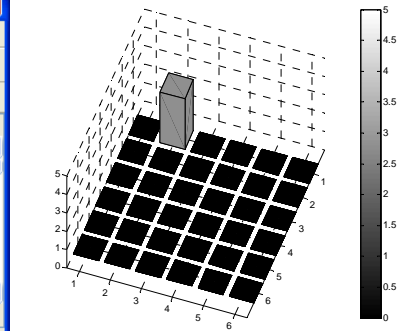
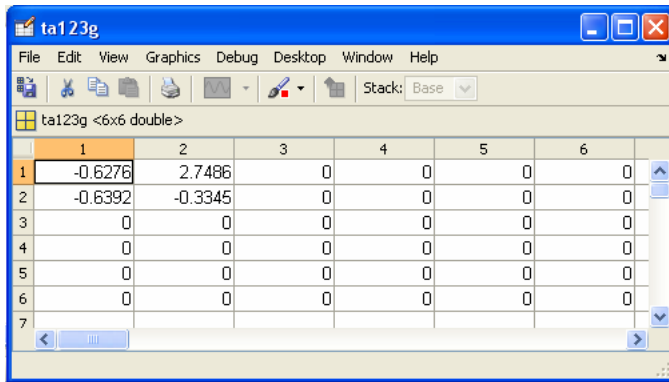
ภาพประกอบ ข-5 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a11



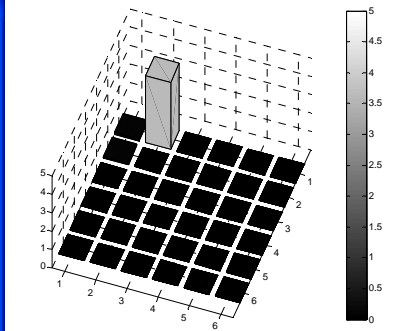
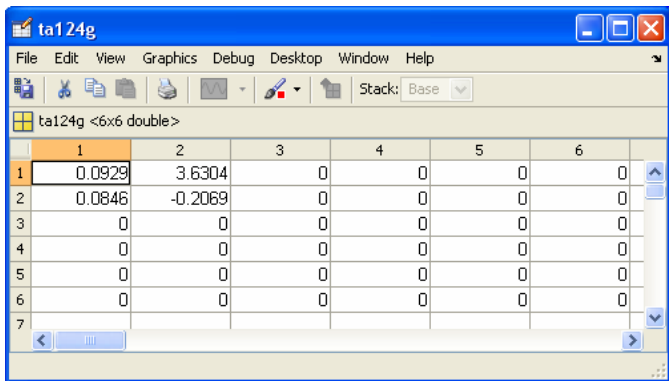
ภาพประกอบ ข-6 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a12



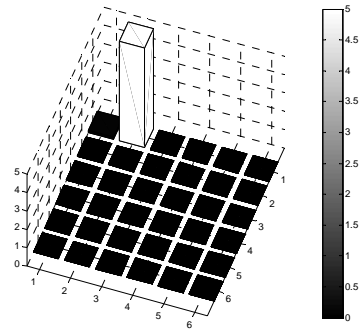
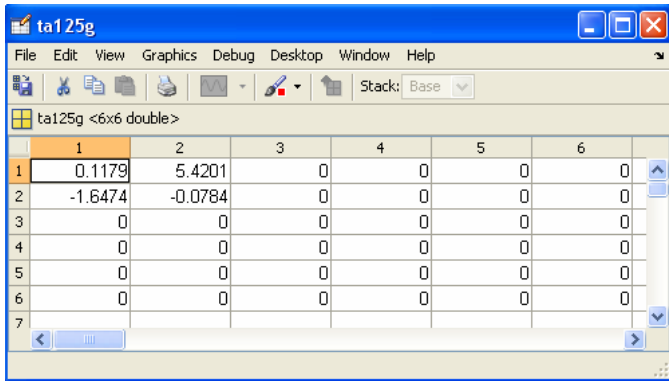
ภาพประกอบ ข-7 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a12



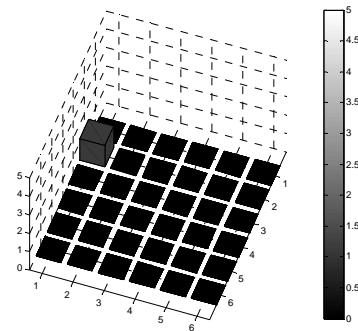
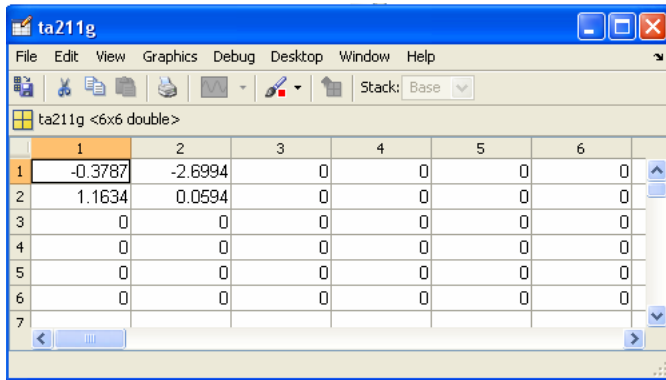
ภาพประกอบ ข-8 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a12



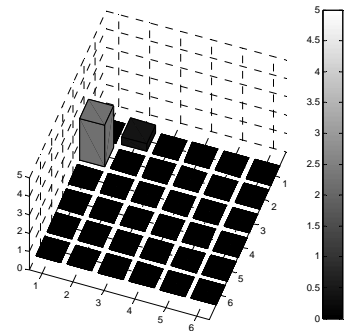
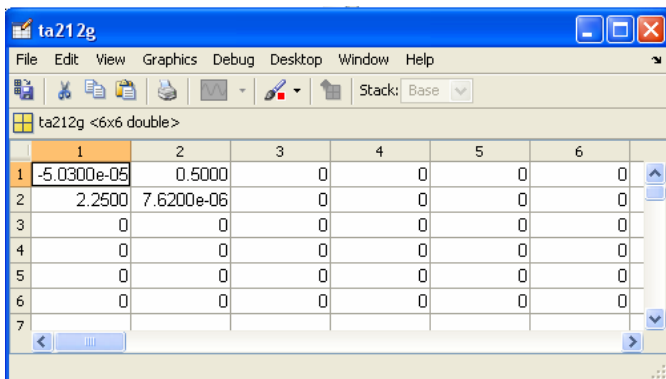
ภาพประกอบ ข-9 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ a12



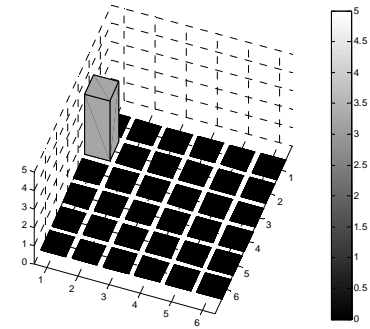
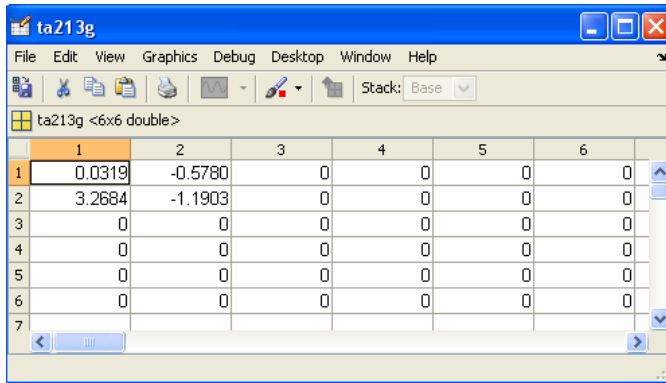
ภาพประกอบ ข-10 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ a12



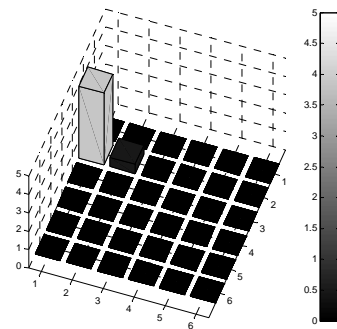
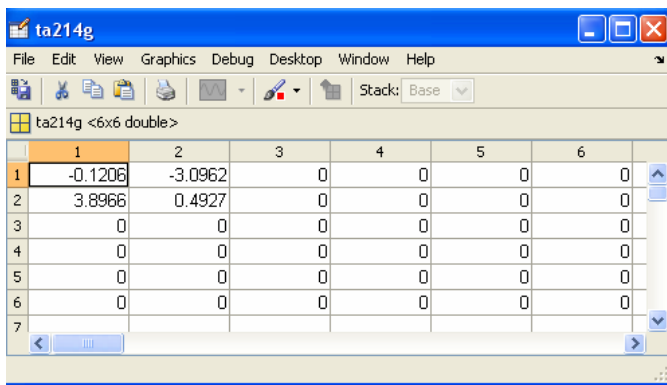
ภาพประกอบ ข-11 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ a21



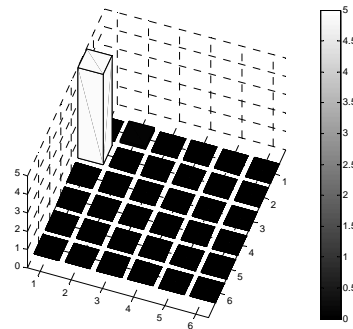
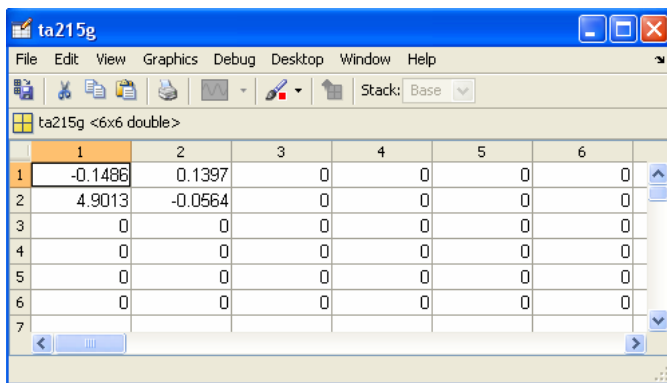
ภาพประกอบ ข-12 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ a21



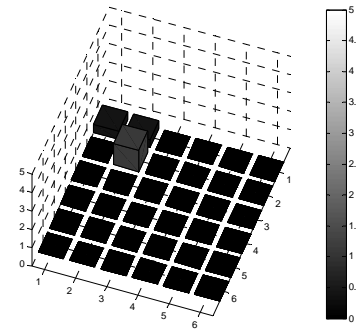
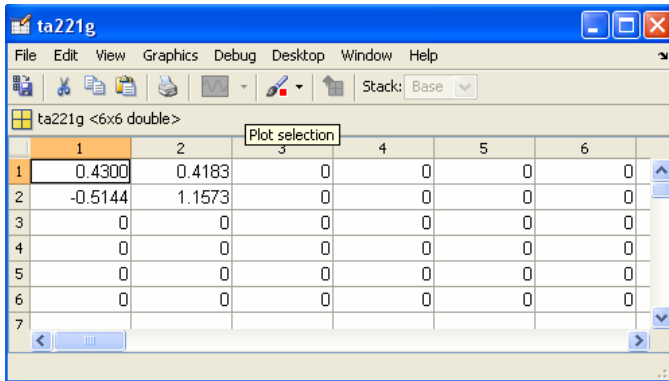
ภาพประกอบ ข-13 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ a21



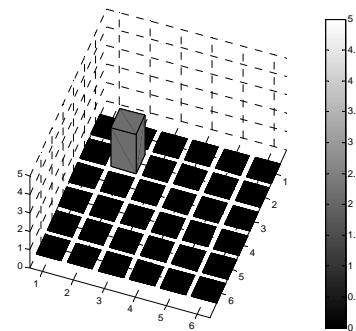
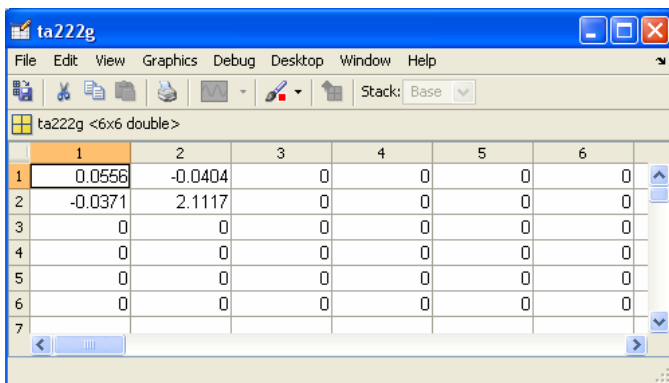
ภาพประกอบ ข-14 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ a21



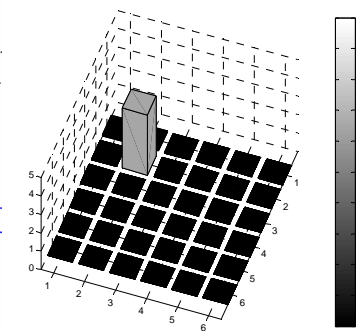
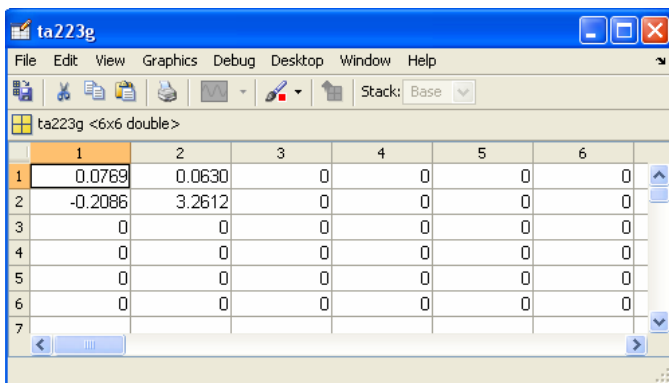
ภาพประกอบ ข-15 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ a21



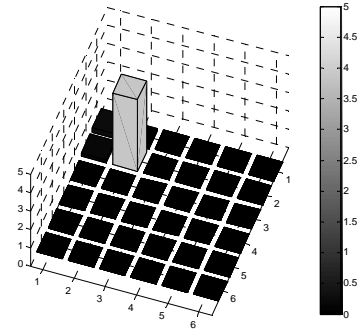
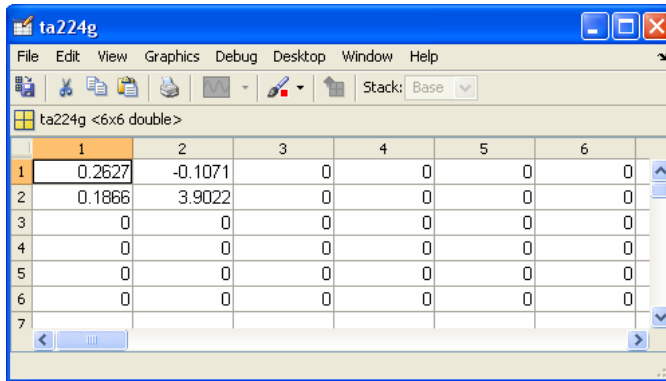
ภาพประกอบ ข-16 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ a22



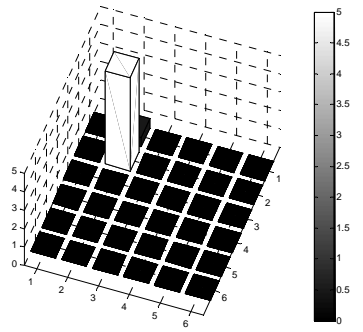
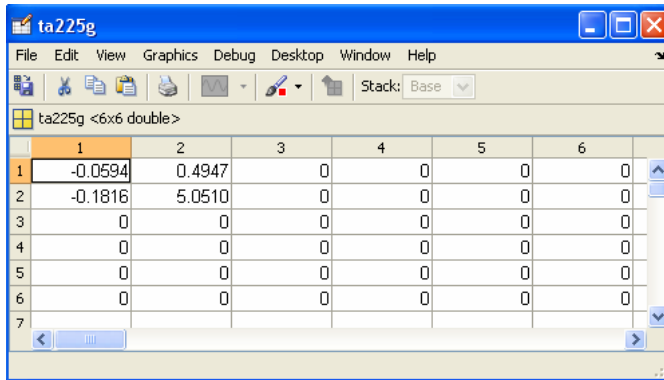
ภาพประกอบ ข-17 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ a22



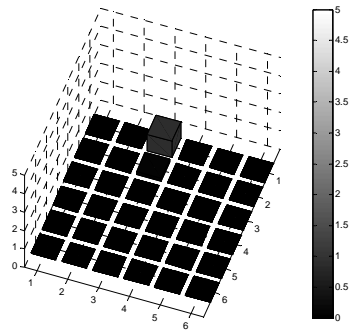
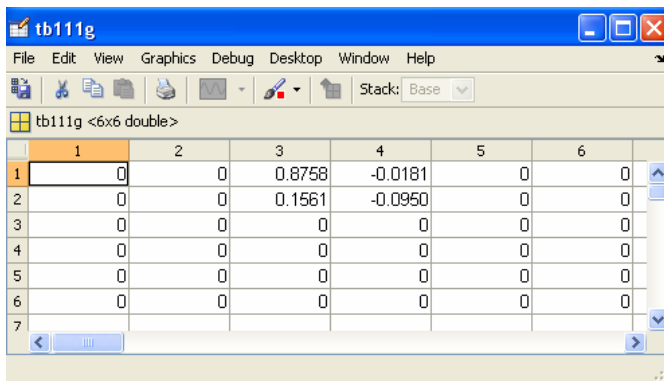
ภาพประกอบ ข-18 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ a22



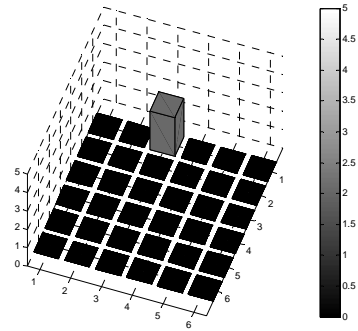
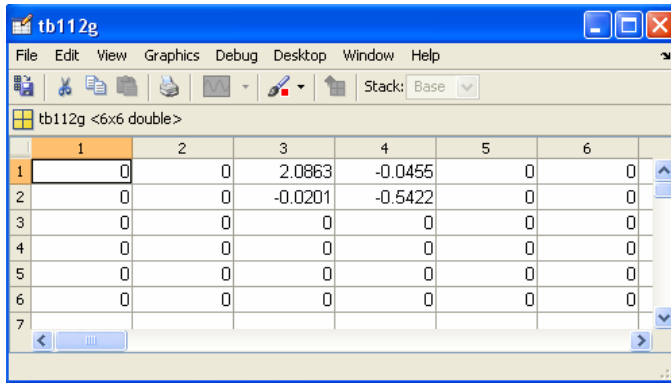
ภาพประกอบ ข-19 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ a22



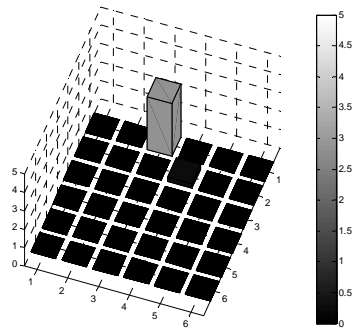
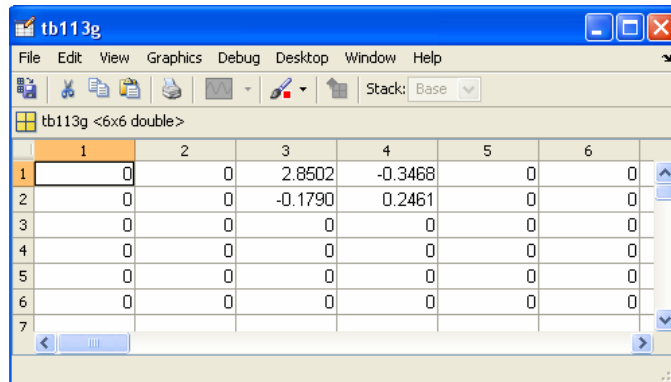
ภาพประกอบ ข-20 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ a22



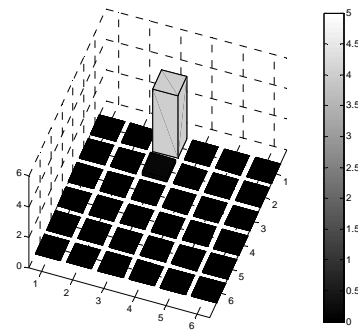
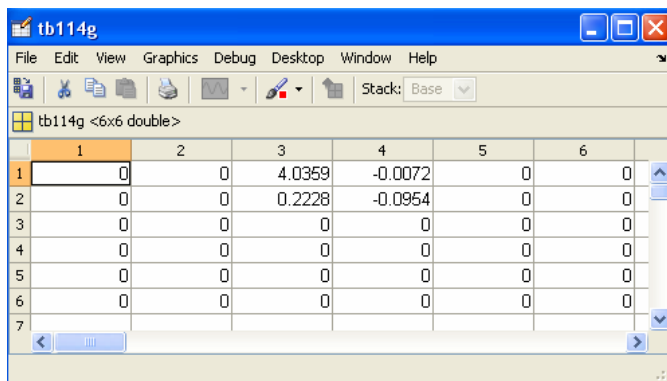
ภาพประกอบ ข-21 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b11



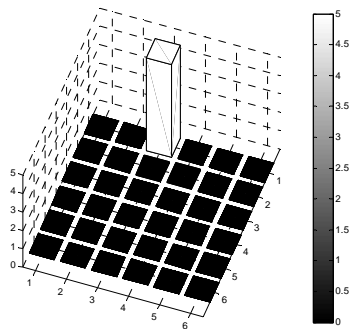
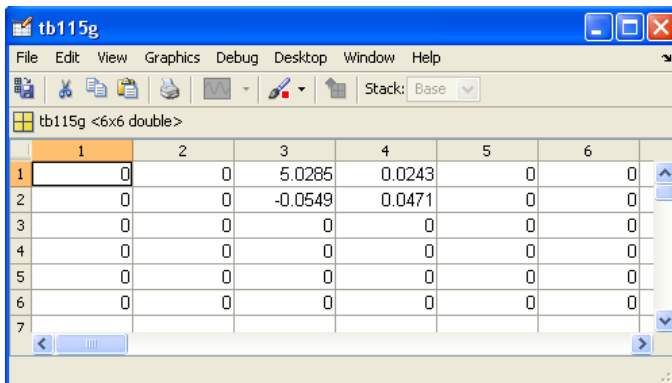
ภาพประกอบ ข-22 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ b11



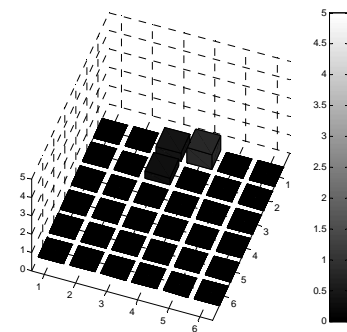
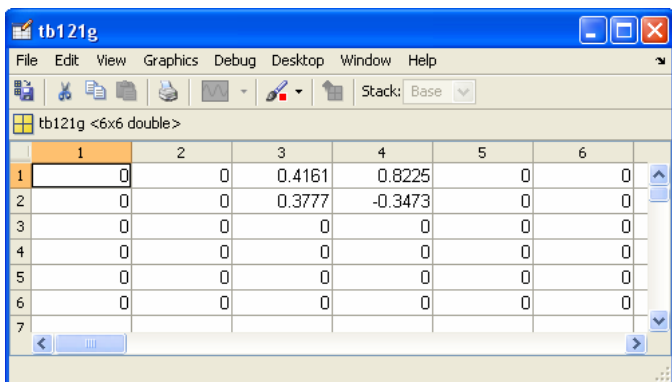
ภาพประกอบ ข-23 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ b11



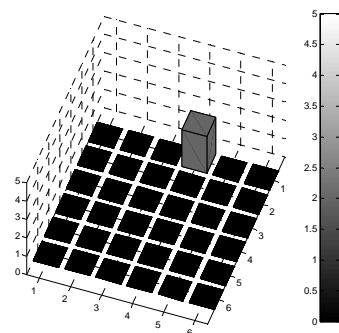
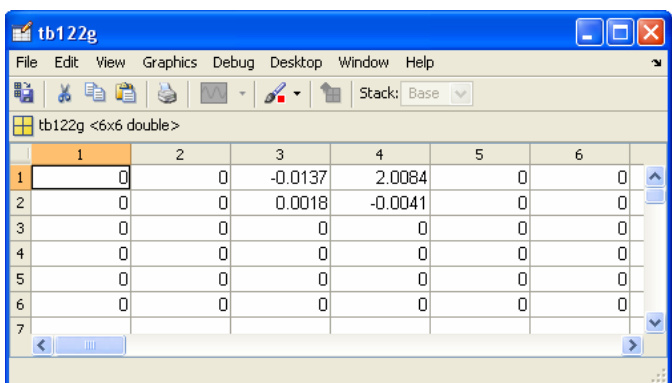
ภาพประกอบ ข-24 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ b11



ภาพประกอบ ข-25 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b11

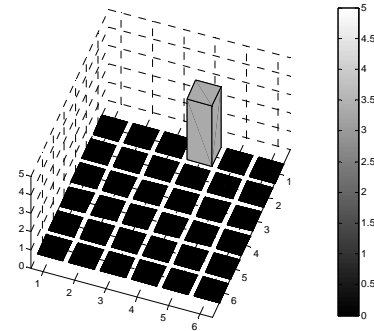


ภาพประกอบ ข-26 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b12



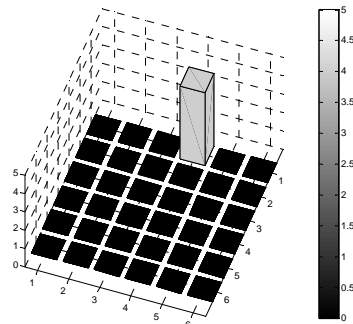
ภาพประกอบ ข-27 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b12

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	-0.1568	3.2959	0	0
2	0	0	-0.8834	0.0151	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0



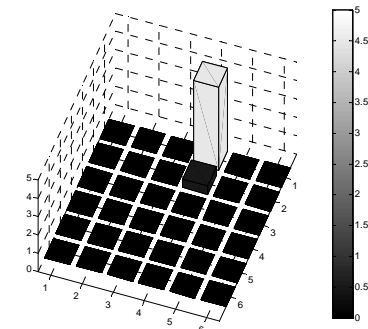
ภาพประกอบ ข-28 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b12

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0.0105	3.9844	0	0
2	0	0	0.0271	0.0094	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

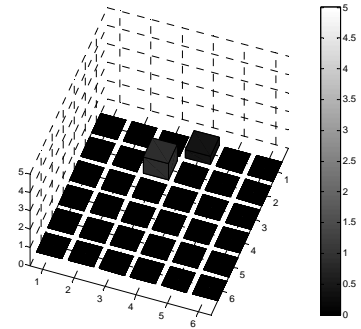
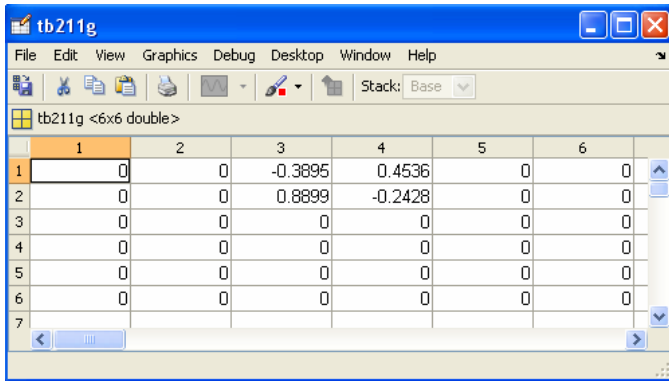


ภาพประกอบ ข-29 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b12

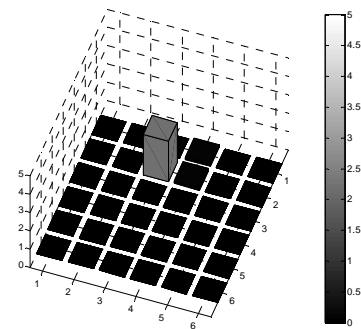
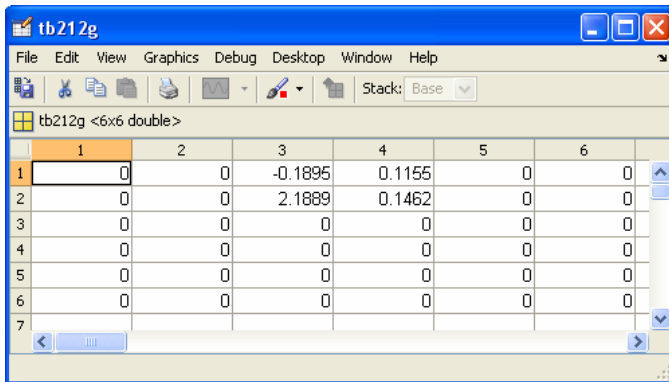
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	-0.6087	4.5291	0	0
2	0	0	-0.8040	0.4689	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0



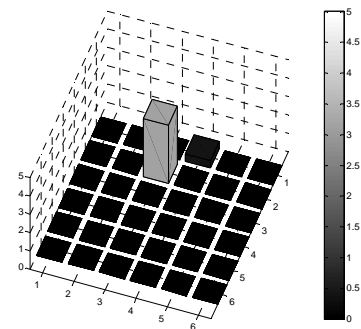
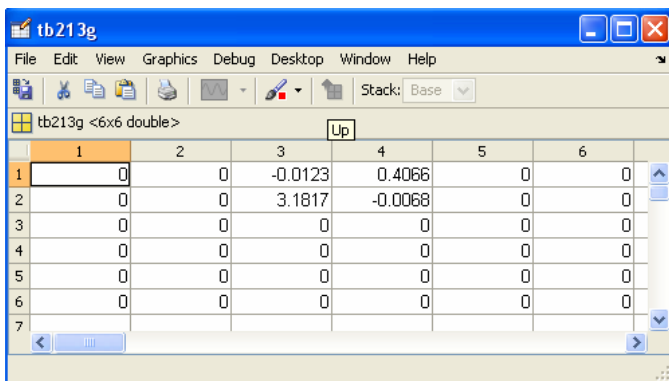
ภาพประกอบ ข-30 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b12



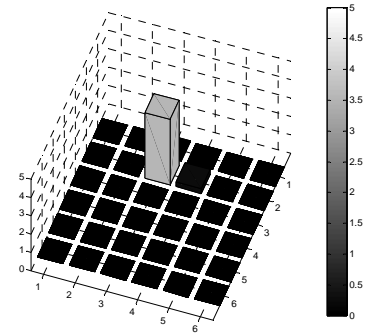
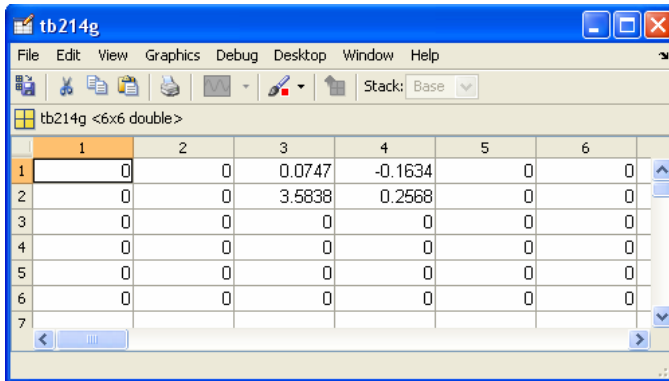
ภาพประกอบ ข-31 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ b21



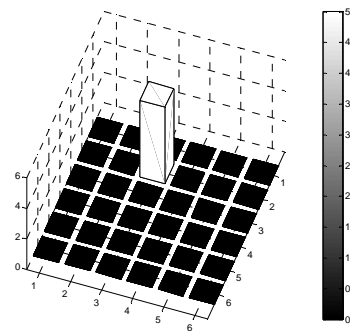
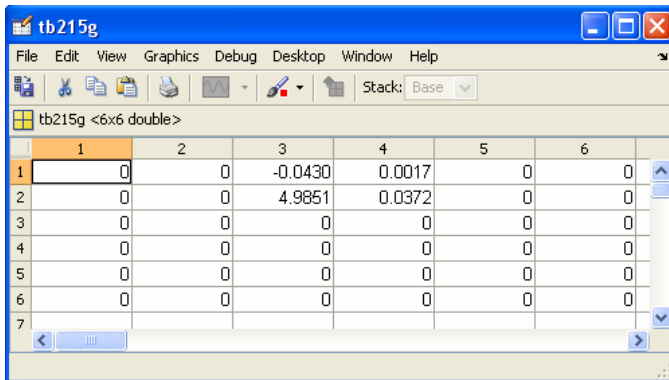
ภาพประกอบ ข-32 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ b21



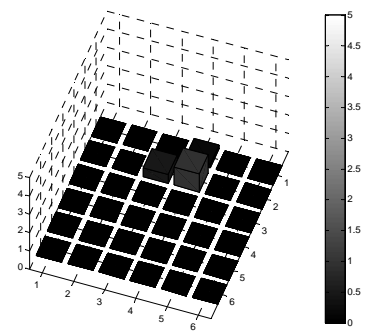
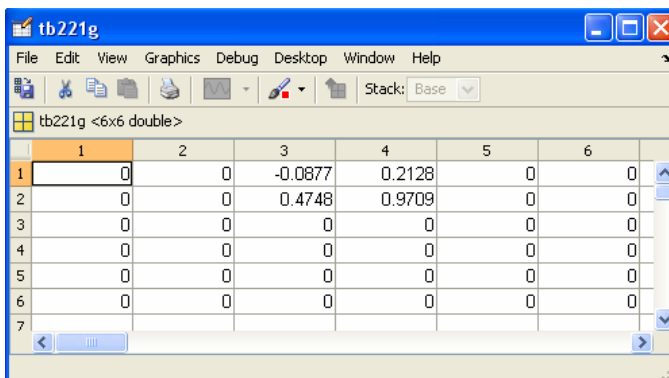
ภาพประกอบ ข-33 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ b21



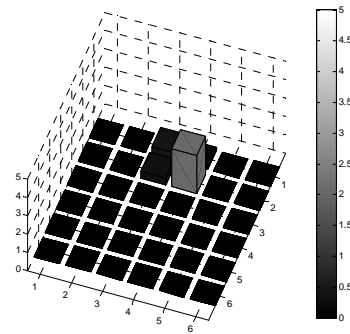
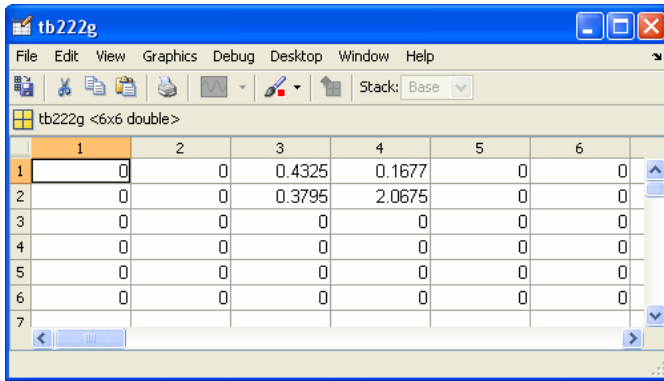
ภาพประกอบ ข-34 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b21



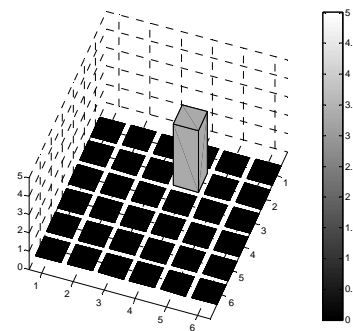
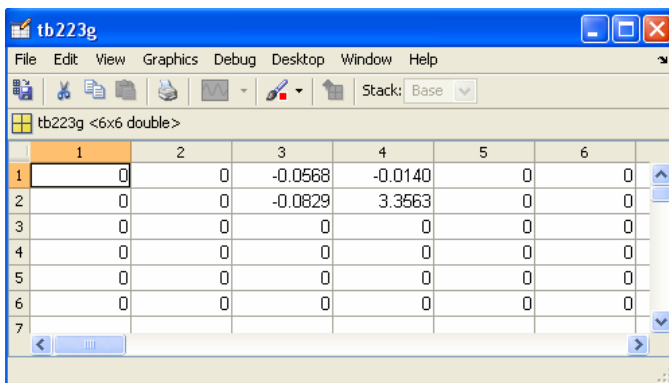
ภาพประกอบ ข-35 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b21



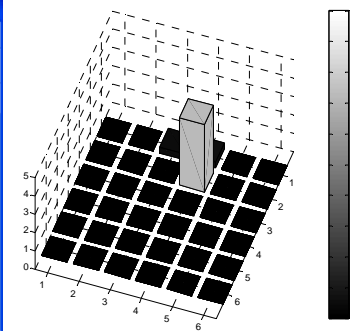
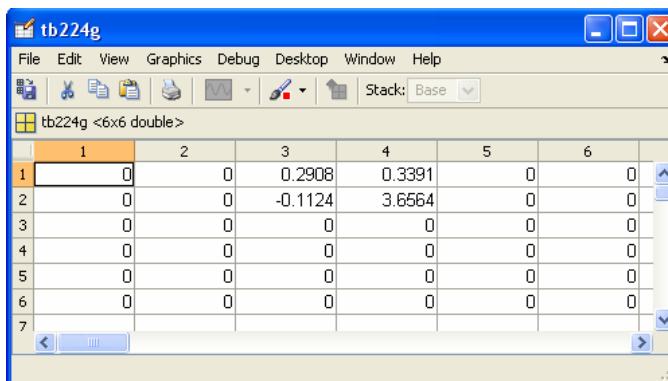
ภาพประกอบ ข-36 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b22



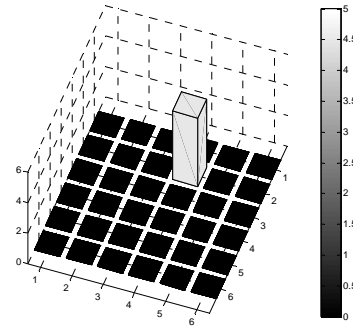
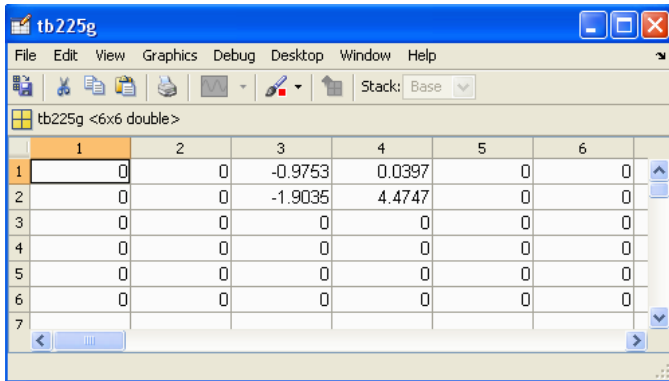
ภาพประกอบ ข-37 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b22



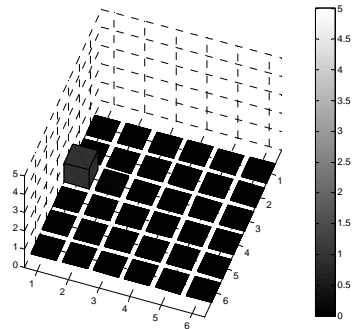
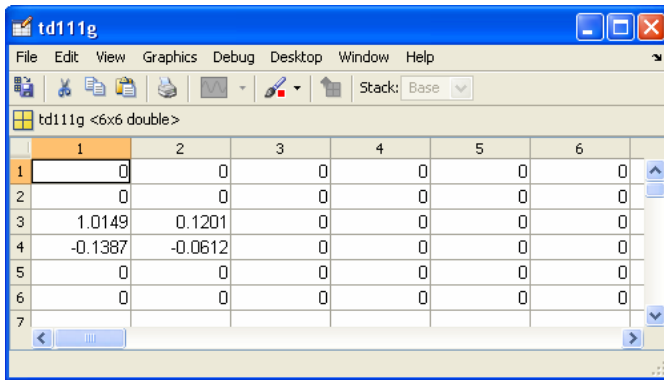
ภาพประกอบ ข-38 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b22



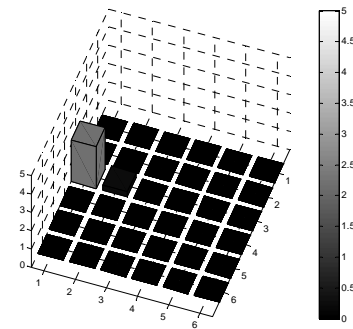
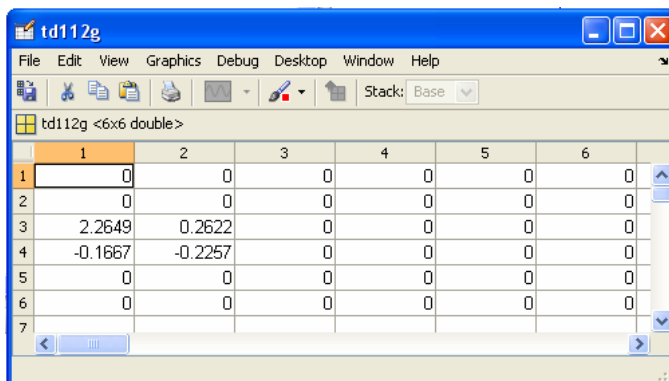
ภาพประกอบ ข-39 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ b22



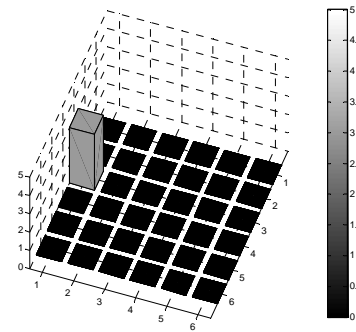
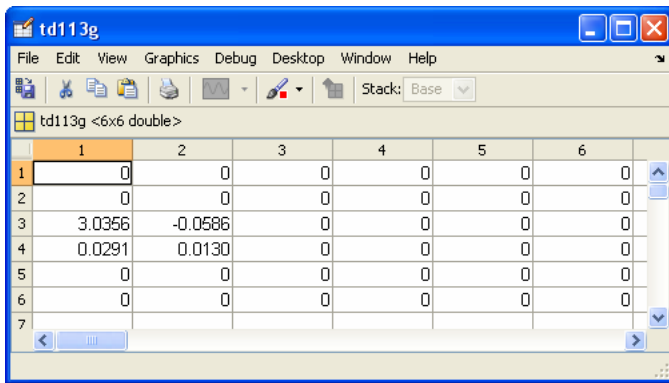
ภาพประกอบ ข-40 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ b22



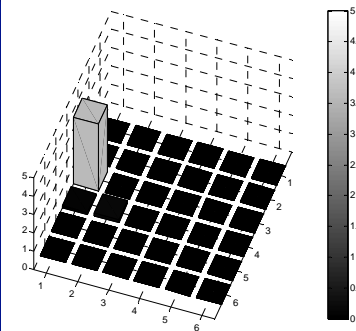
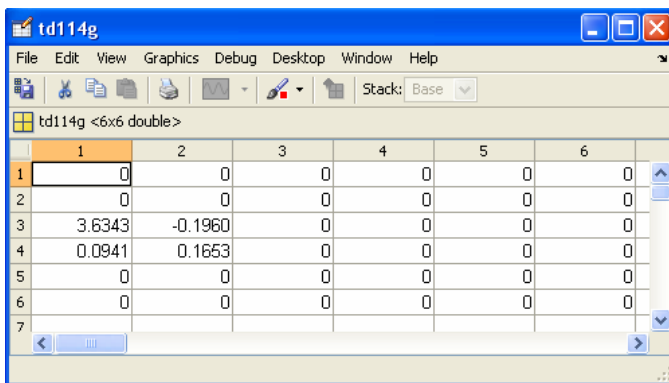
ภาพประกอบ ข-41 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ d11



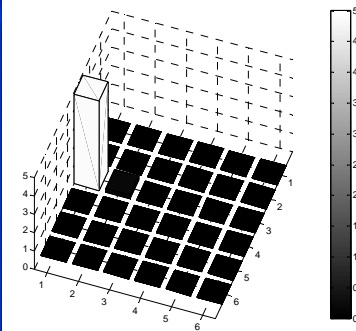
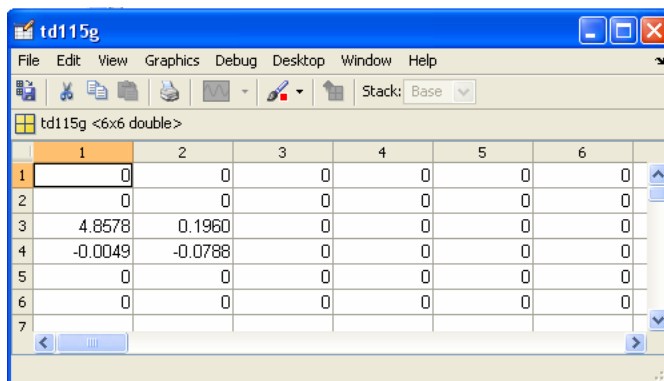
ภาพประกอบ ข-42 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ d11



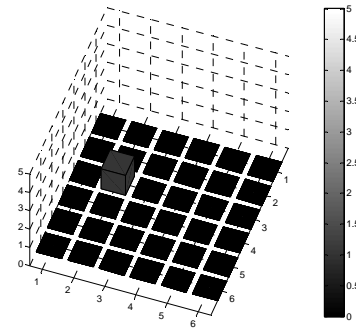
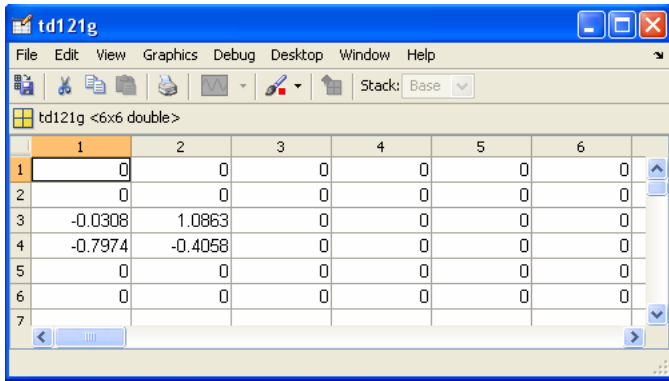
ภาพประกอบ ข-43 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d11



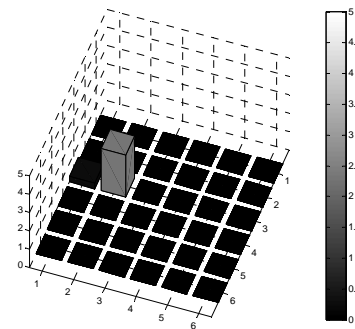
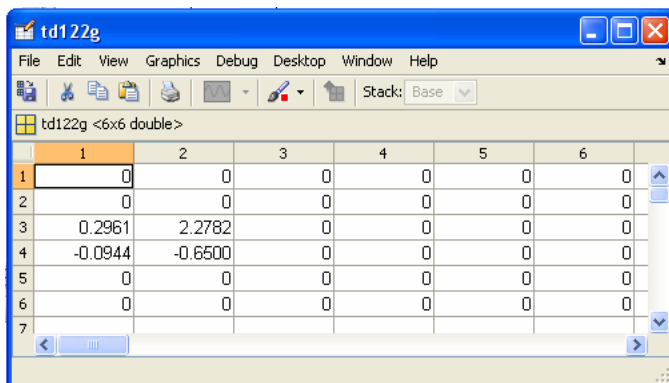
ภาพประกอบ ข-44 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d11



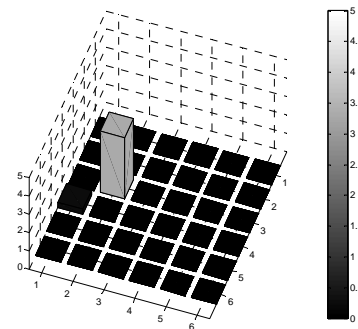
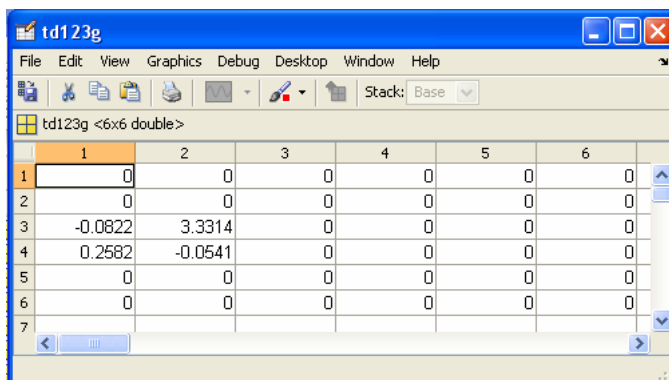
ภาพประกอบ ข-45 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d11



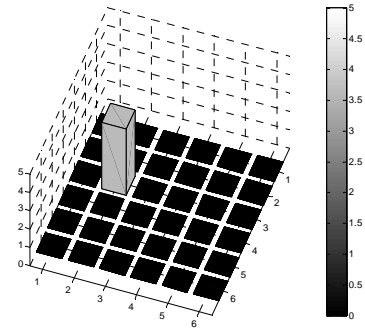
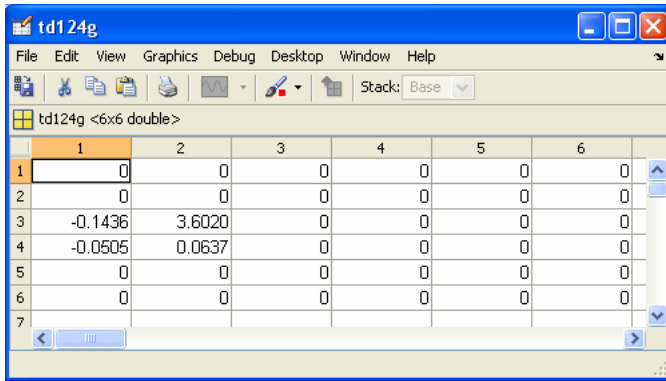
ภาพประกอบ ข-46 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d_{12}



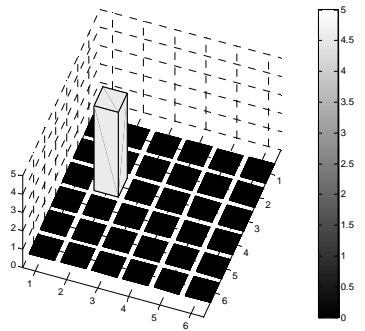
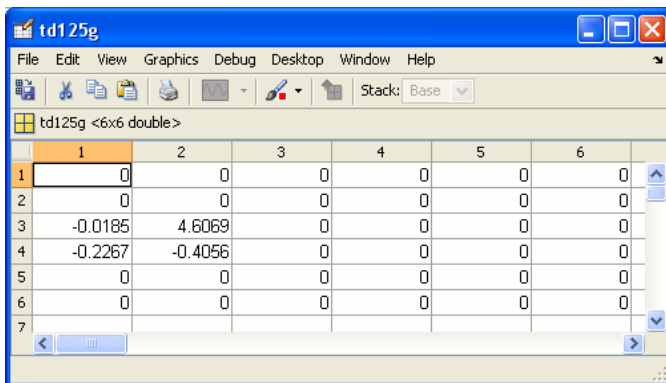
ภาพประกอบ ข-47 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d_{12}



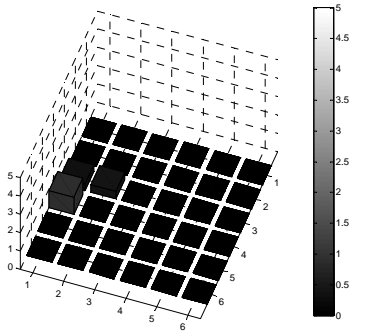
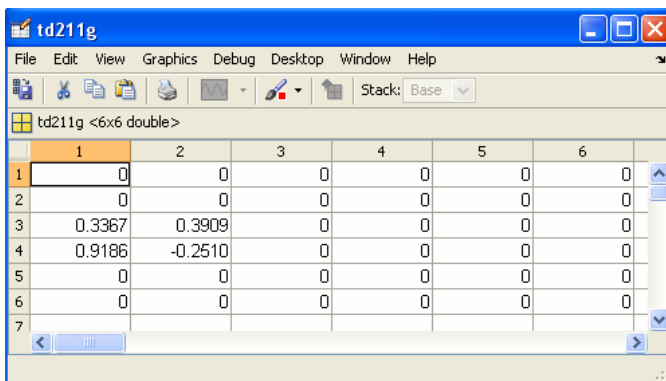
ภาพประกอบ ข-48 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d_{12}



ภาพประกอบ ข-49 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d12

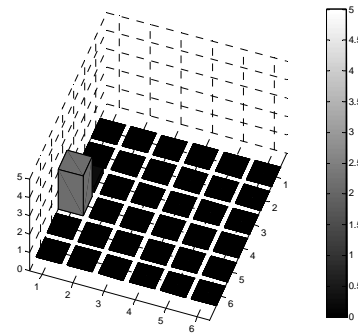


ภาพประกอบ ข-50 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d12



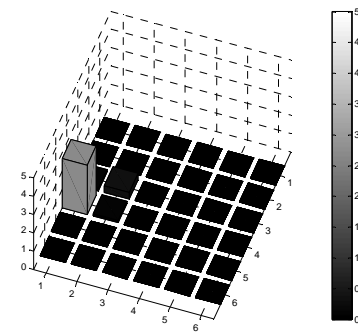
ภาพประกอบ ข-51 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d21

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0.2526	-0.8632	0	0	0	0
4	2.1639	-0.0441	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0



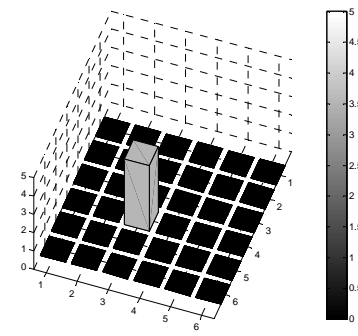
ภาพประกอบ ข-52 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d21

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0.0932	0.3740	0	0	0	0
4	2.6707	0.1206	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

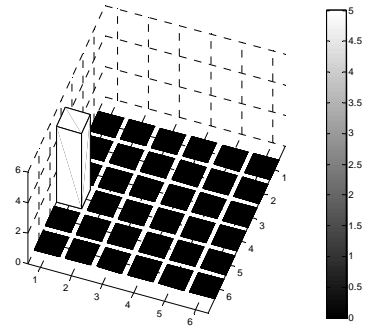
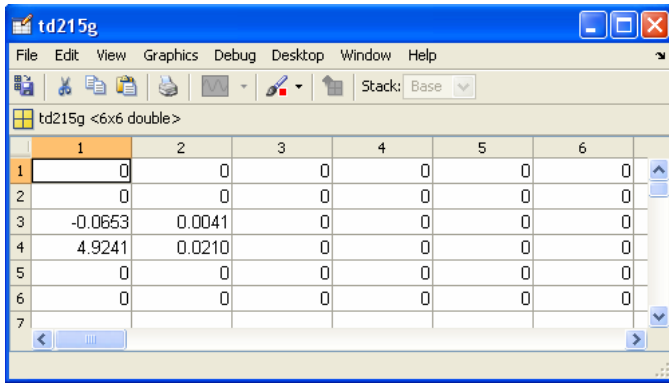


ภาพประกอบ ข-53 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d21

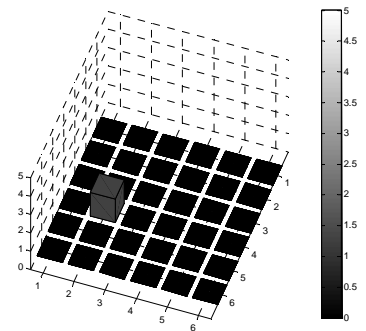
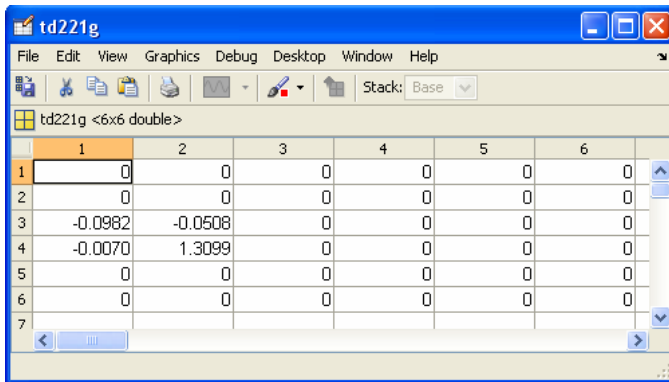
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	-0.6559	0.0179	0	0
4	0	0	3.5651	-0.2515	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0



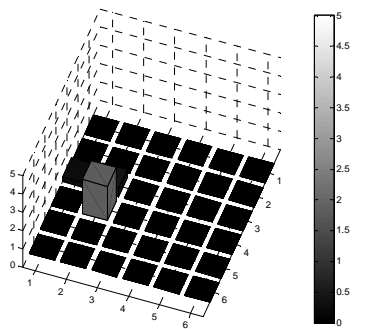
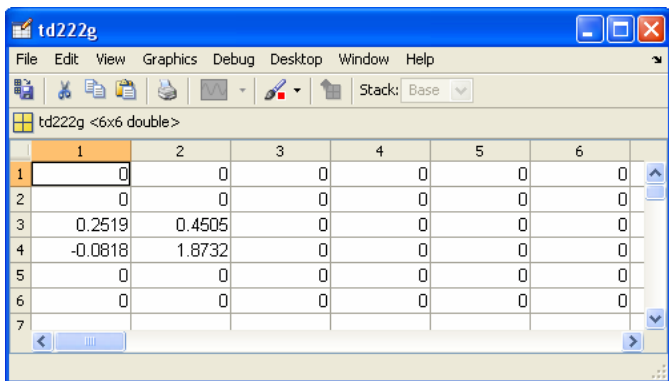
ภาพประกอบ ข-54 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d21



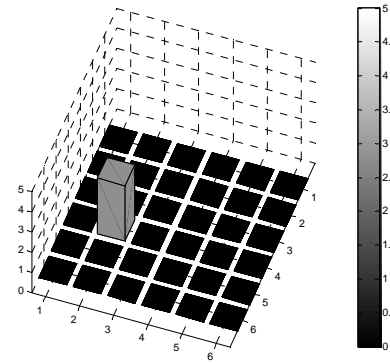
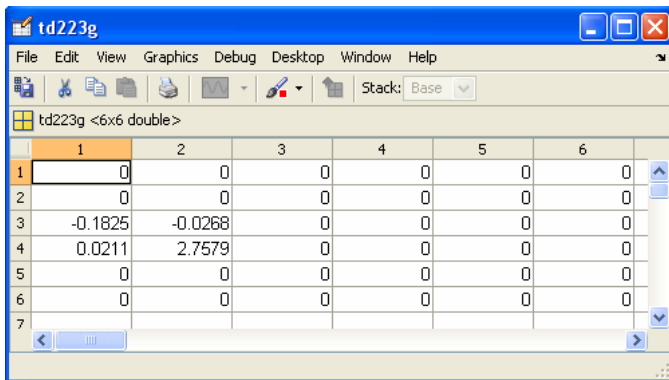
ภาพประกอบ ข-55 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ d21



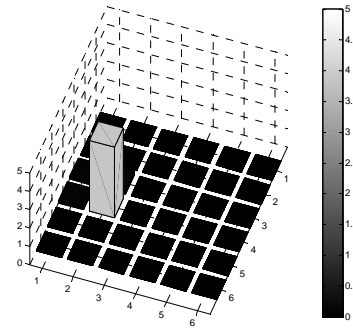
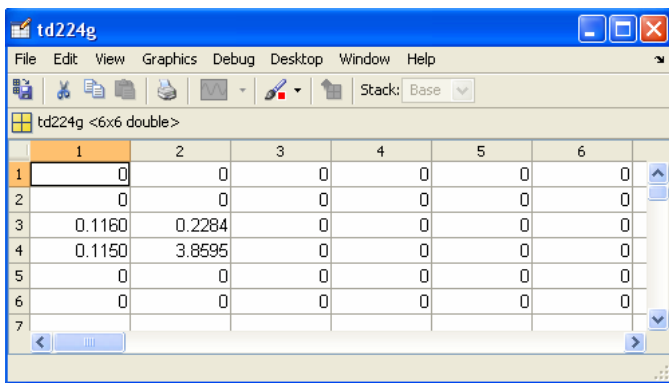
ภาพประกอบ ข-56 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ d22



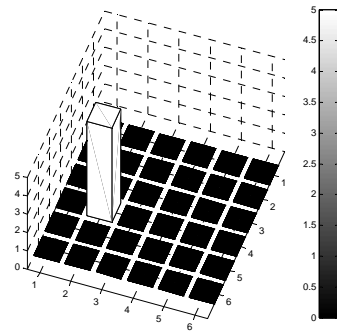
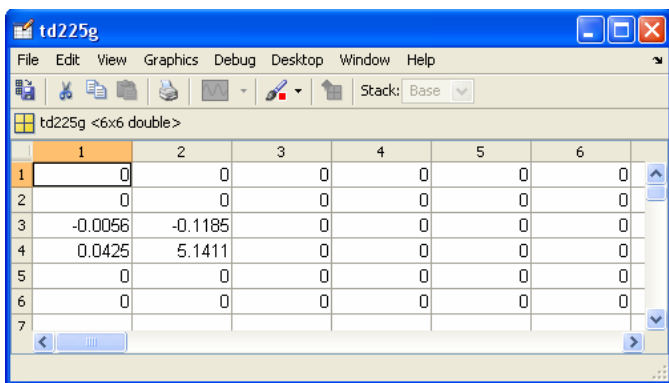
ภาพประกอบ ข-57 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก่อนตำแหน่งเมทริกซ์ d22



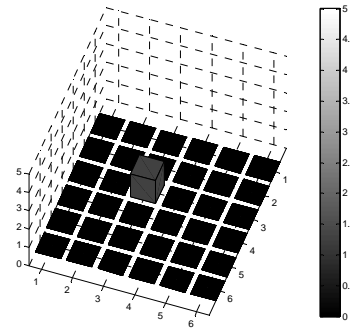
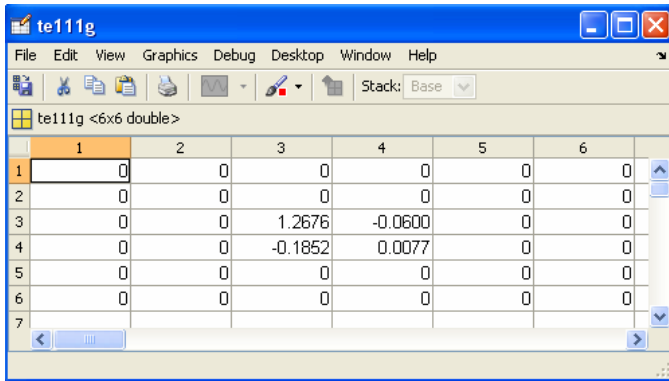
ภาพประกอบ ข-58 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d22



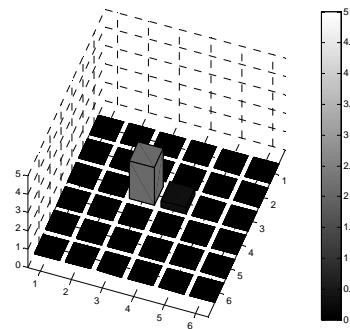
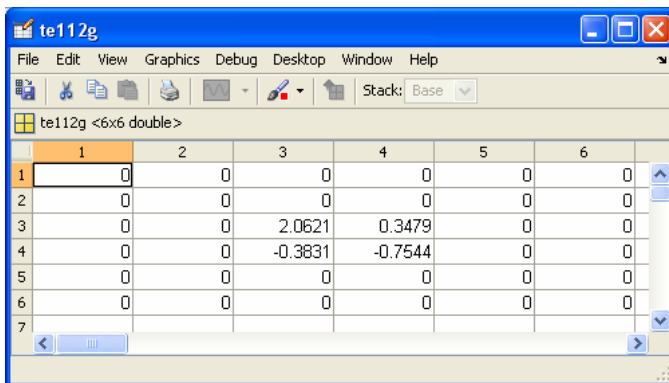
ภาพประกอบ ข-59 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d22



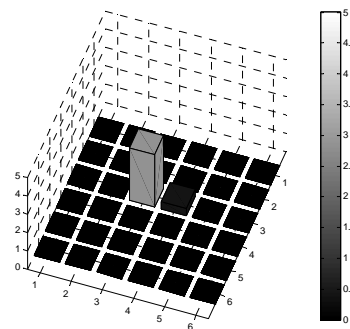
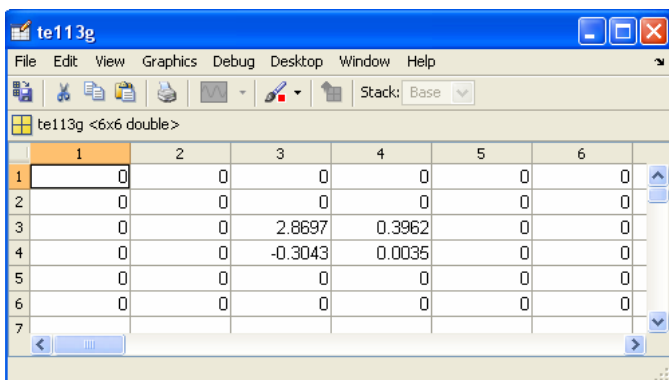
ภาพประกอบ ข-60 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ d22



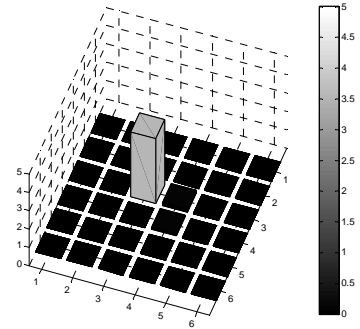
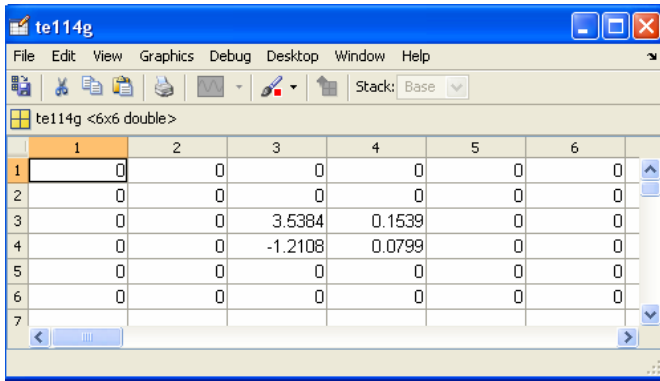
ภาพประกอบ ข-61 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e11



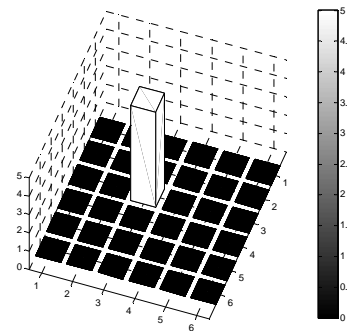
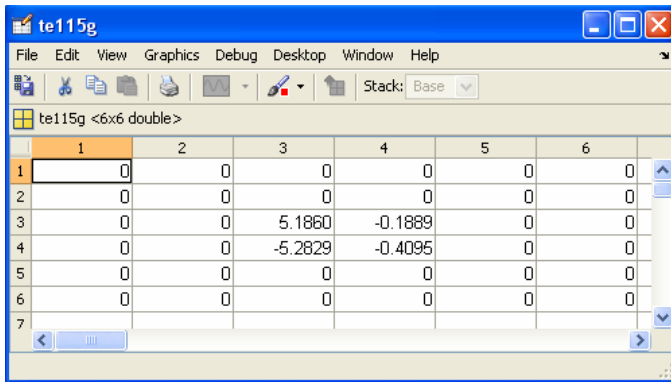
ภาพประกอบ ข-62 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e11



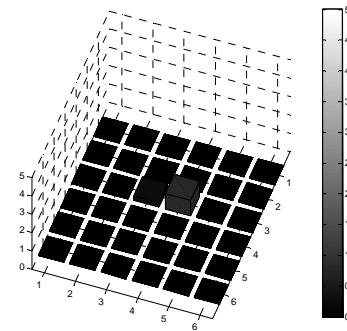
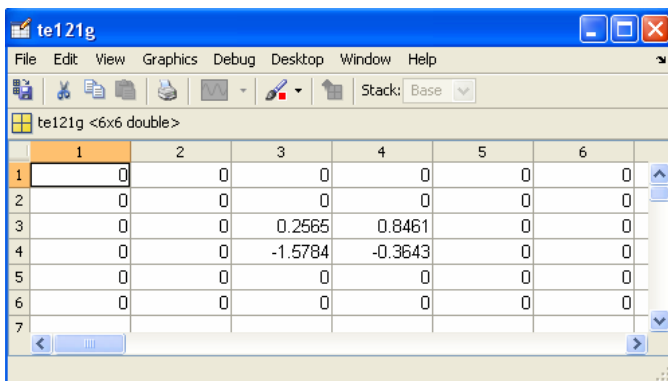
ภาพประกอบ ข-63 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e11



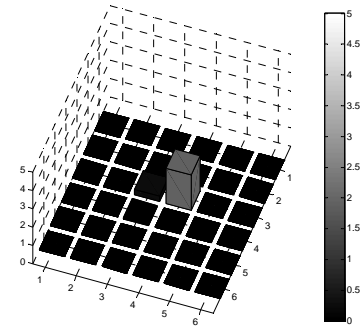
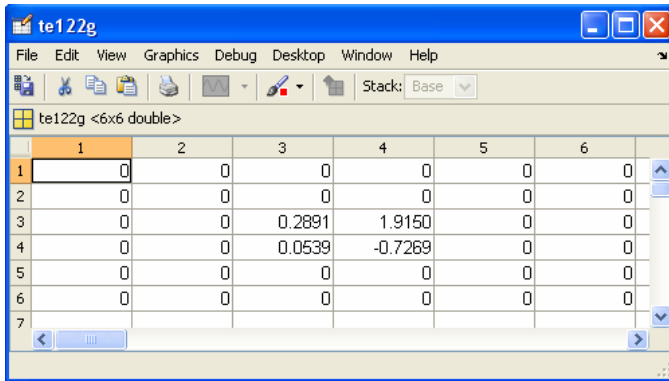
ภาพประกอบ ข-64 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e11



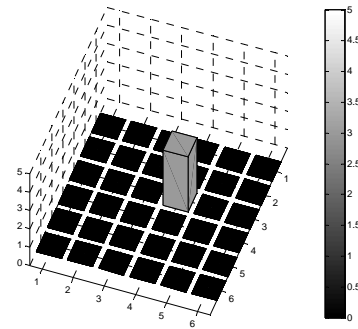
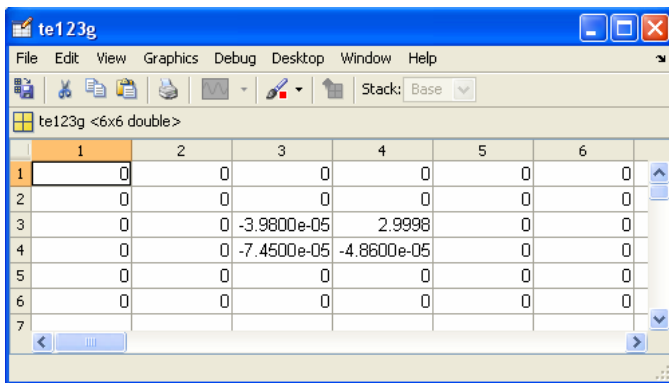
ภาพประกอบ ข-65 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e11



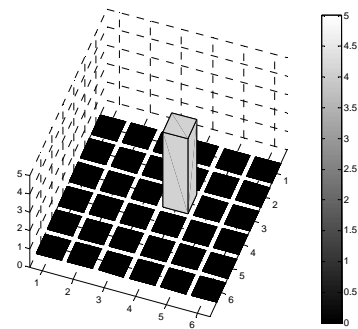
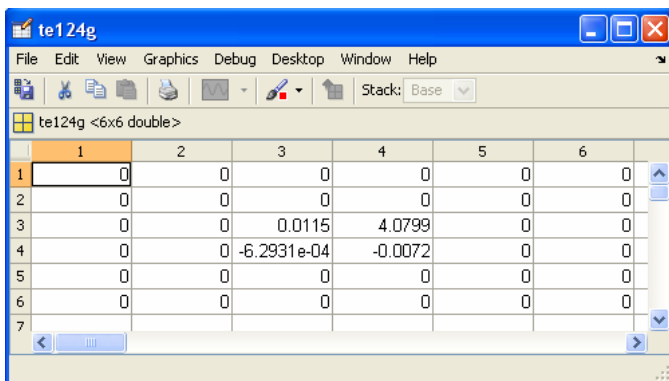
ภาพประกอบ ข-66 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e12



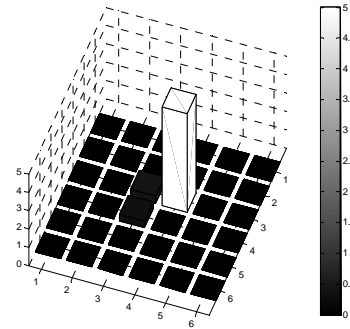
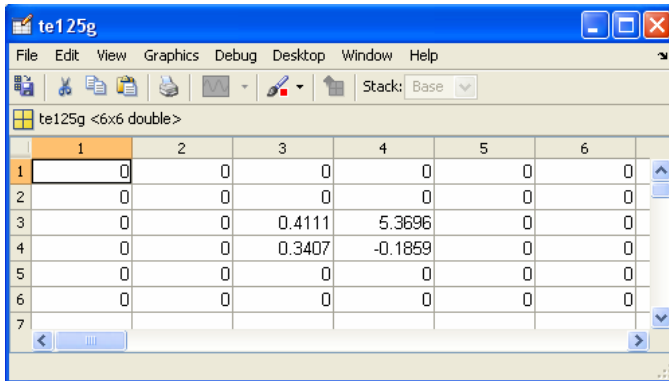
ภาพประกอบ ข-67 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e_{12}



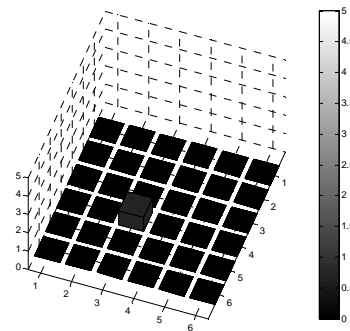
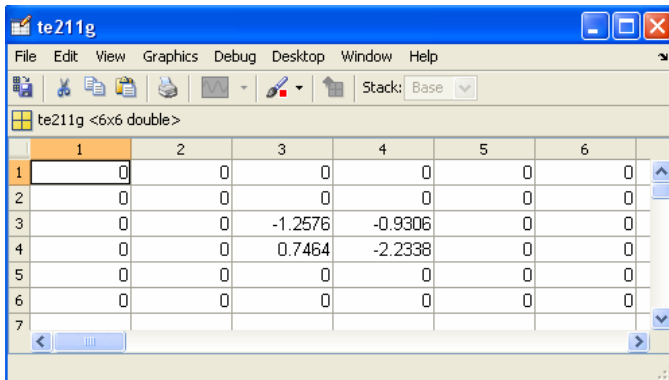
ภาพประกอบ ข-68 ค่าสหสัมพันธ์เมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อน ตำแหน่งเมทริกซ์ e_{12}



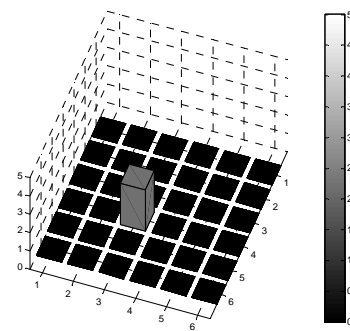
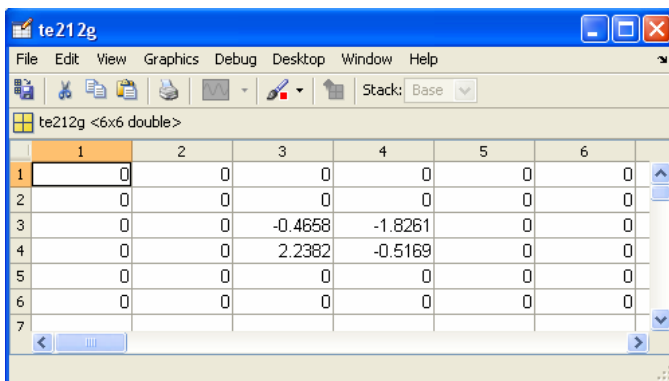
ภาพประกอบ ข-69 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e_{12}



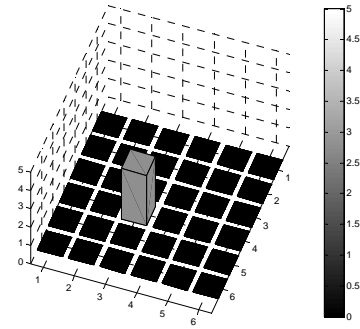
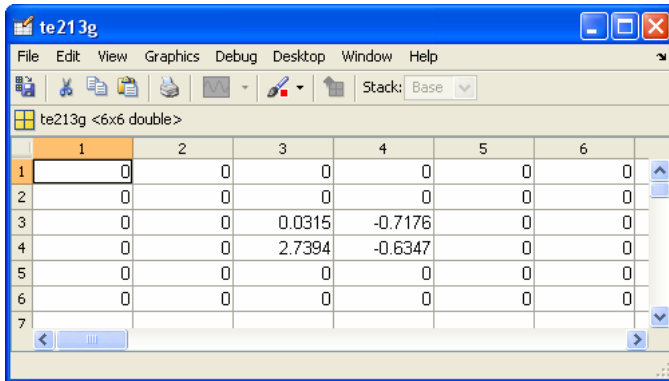
ภาพประกอบ ข-70 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e12



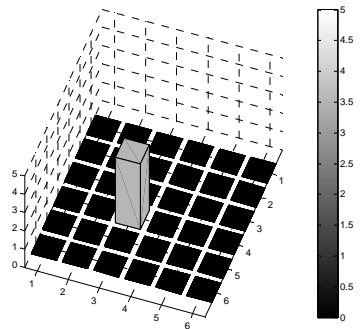
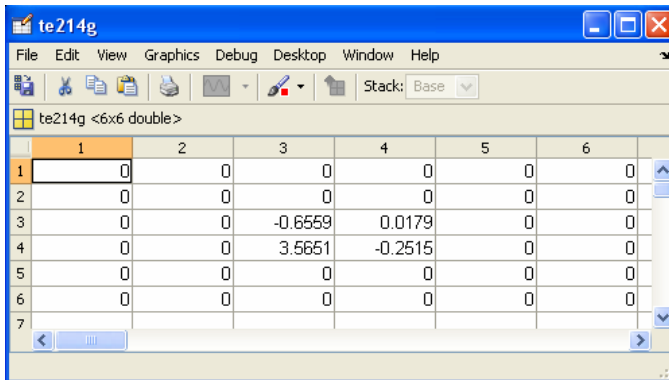
ภาพประกอบ ข-71 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e21



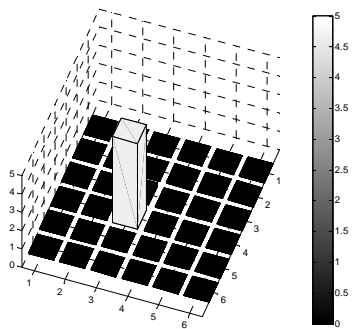
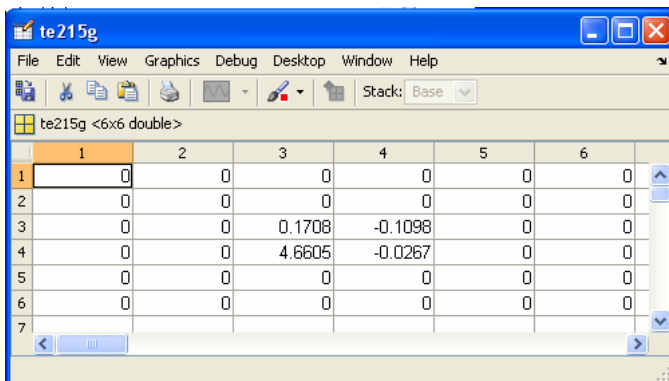
ภาพประกอบ ข-72 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e21



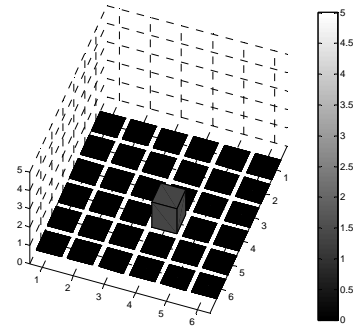
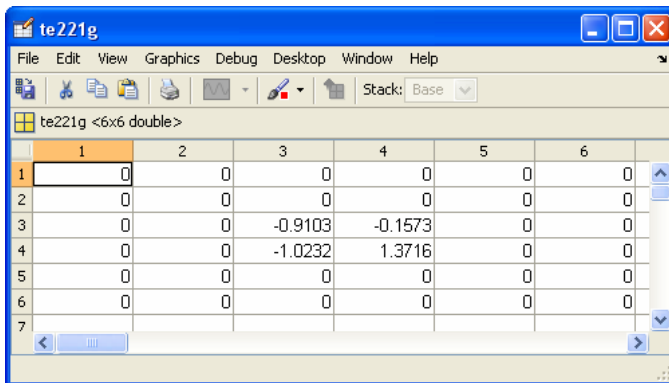
ภาพประกอบ ข-73 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e21



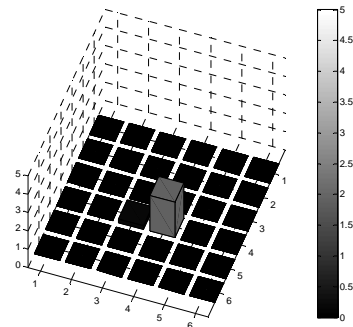
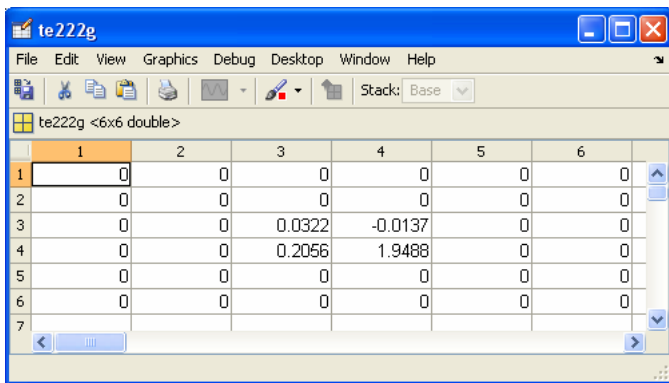
ภาพประกอบ ข-74 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e21



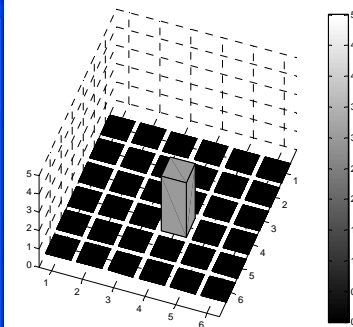
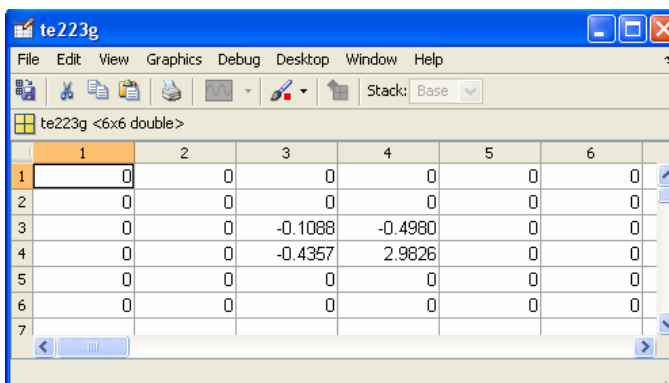
ภาพประกอบ ข-75 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e21



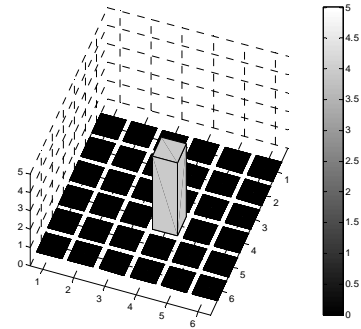
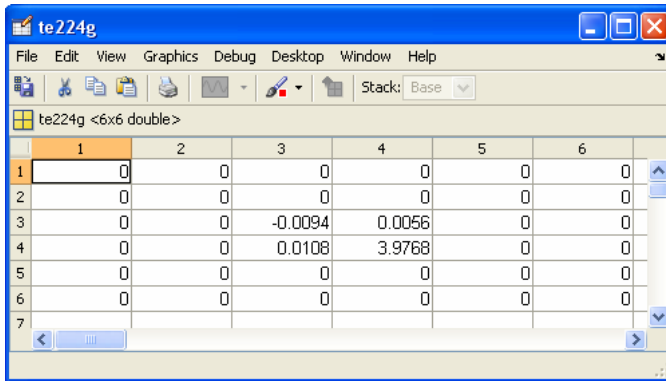
ภาพประกอบ ข-76 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 1 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e22



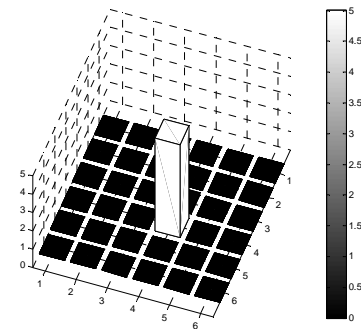
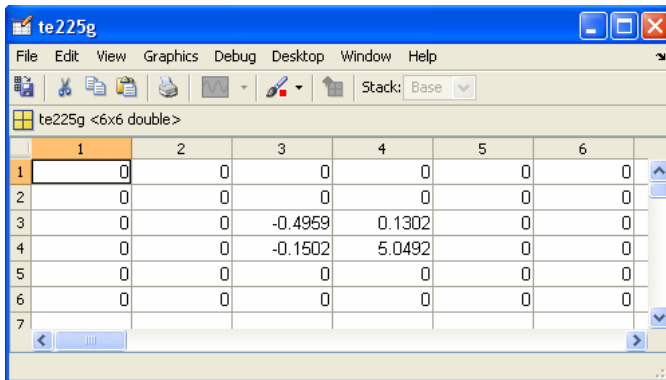
ภาพประกอบ ข-77 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 2 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e22



ภาพประกอบ ข-78 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 3 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e22



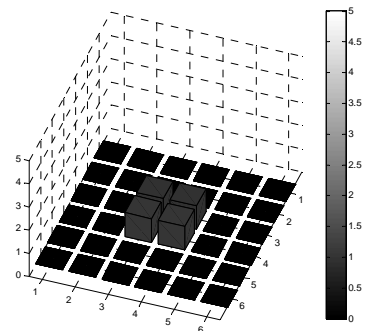
ภาพประกอบ ข-79 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 4 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e22



ภาพประกอบ ข-80 ผลการจำแนกตำแหน่งและน้ำหนักเมื่อวางน้ำหนัก 5 ก้อนตำแหน่งเมทริกซ์ e22

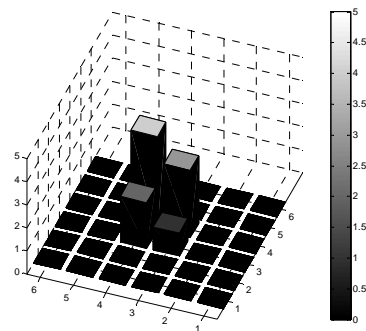
ผลการทดลองตำแหน่งเมทริกซ์ 6x6 โดยวางก้อนน้ำหนัหลายตำแหน่ง
ผลของโครงข่ายประสาทเทียม

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0.9844	1.0054	0	0
4	0	0	1.0330	1.0204	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0



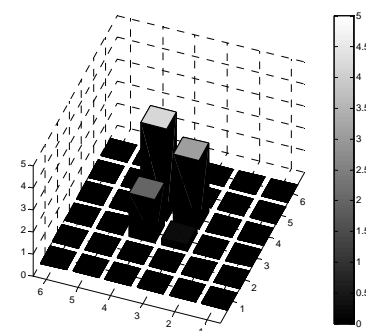
ภาพประกอบ ข- 81 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัตำแหน่ง e11,e12,e21 และ e22 วางก้อนน้ำหนั 1 ก้อนเท่าๆกัน

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0.9951	1.9822	0	0
4	0	0	2.9293	4.0505	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0



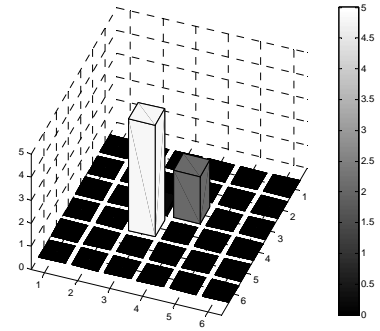
ภาพประกอบ ข- 82 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัตำแหน่ง e11 วาง 1 ก้อน, e12 วาง 2 ก้อน e21 วาง 3 ก้อน และ e22 วาง 4 ก้อน

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0.2789	1.9602	0	0
4	0	0	3.1225	4.1779	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0



ภาพประกอบ ข- 83 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนัตำแหน่ง e12 วาง 2 ก้อน, e21 วาง 3 ก้อน e22 วาง 4 ก้อน และ e22 วาง 4 ก้อน

	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0.1908	2.0395	0	0
4	0	0	4.8326	-0.0968	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0



ภาพประกอบ ข- 84 ผลการทดลองวางก้อนน้ำหนักตำแหน่ง e12 วาง 2 ก้อน, e21 วาง 5 ก้อน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล

นายภราดร เรืองกุล

รหัสประจำตัวนักศึกษา

5110120086

วุฒิการศึกษา

วุฒิ

ชื่อสถาบัน

ปีที่สำเร็จการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2542

(วิศวกรรมไฟฟ้า)

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ภราดร เรืองกุล พรชัย พฤกษ์ภัทรานนท์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา และสาวิตรี ตัฒนอนุช,
 “การศึกษาคุณลักษณะคลื่นเสียงที่สร้างจากตัวตรวจรู้แบบเพียโซสำหรับการสร้างแผนที่
 แผลกคตทับ,” การประชุมวิชาการนานาชาติร่วมสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมซอฟต์แวร์
 ครั้งที่ 7. มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ., 12-14 พฤษภาคม 2553.vol.2, pp.461-466