

การฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเลขโกบ์ใช้ระบบการมองเห็นของมนุษย์  
สำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์

WAVELET-BASED DIGITAL WATERMARKING USING  
HUMAN VISUAL SYSTEM FOR COPYRIGHT PROTECTION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของกรณีที่ขาดแคลนวัสดุรูปพิมพ์จากวารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขละบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขละบุรี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-45-1830-0

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเลตโดยใช้ระบบการมองเห็นของมนุษย์  
สำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์

WAVELET-BASED DIGITAL WATERMARKING USING  
HUMAN VISUAL SYSTEM FOR COPYRIGHT PROTECTION



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 60528  
วัน,เดือน,ปี..... 3 ก.ค. 2549

b. 11๗๘.๖12x  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1636-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**WAVELET-BASED DIGITAL WATERMARKING USING  
HUMAN VISUAL SYSTEM FOR COPYRIGHT PROTECTION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN COMPUTER ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2005**

**ISBN 974-15-1636-3**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2005**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเลทโดยใช้ระบบการมองเห็นของ  
มนุษย์สำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์

นักศึกษา                    นายอนุวัตร สมบุญ

รหัสนักศึกษา              43061607

ปริญญา                    วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา                วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

พ.ศ.                        2548

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์      รศ. ดร. เอื้อน ปิ่นเงิน

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเลทกับข้อมูลที่เป็นรูปภาพ ซึ่งไม่ต้องการภาพต้นฉบับในการทำการตรวจสอบค้นหาลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมาได้ โดยใช้ประโยชน์จากระบบการมองเห็นของมนุษย์มาพิจารณาเพื่อเพิ่มความคงทนและความมองไม่เห็นของลายน้ำดิจิทัล โดยทำการฝังลายน้ำดิจิทัลที่สัมพันธ์กับลักษณะย่อยของการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง ระบบการมองเห็นของมนุษย์เป็นปัจจัยที่มีผลกับส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวนของการมองเห็นของมนุษย์เพื่อเพิ่มความคงทนและความมองไม่เห็นของลายน้ำดิจิทัล ผลการทดลองพบว่าวิธีการที่นำเสนอ มีความคงทนต่อการประมวลผลภาพ การบีบอัดภาพแบบ JPEG และ JPEG 2000

**Thesis Title** Wavelet-based Digital Watermarking Using Human Visual System for Copyright Protection

**Student** Mr. Anuwat Sombun

**Student ID.** 43061607

**Degree** Master of Engineering

**Programme** Computer Engineering

**Year** 2005

**Thesis Advisor** Assoc. Prof. Dr. Ouen Pinngern

## ABSTRACT

This thesis proposes a wavelet-based digital watermarking technique for digital images that is blind watermark method (uncorrupted image is not required). To exploit the human visual system to be increased the robustness and perceptual invisibility of watermark. The Watermarking embedding is modified discrete wavelet transform significant coefficient of subbands of the images. The human visual system is number of factors that effect the noise sensitivity of human eyes that is considered to increase the robustness and perceptual invisibility of watermark. Experimental results show that the proposed method is robust to the image processing, including jpeg and jpeg 2000 compression.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 แนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.5 ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย.....	4
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 พื้นฐานลายนํ้าคิจิตอลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การช้อนข้อมูลข่าวสาร สเตรทโนกราฟี และการทำลายนํ้า.....	6
2.2 ลายนํ้าคิจิตอล.....	7
2.3 ชนิดของลายนํ้าคิจิตอล.....	7
2.3.1 ลายนํ้าแบบมองเห็น.....	8
2.3.2 ลายนํ้าแบบไม่สามารถมองเห็นได้.....	10
2.4 การประยุกต์ใช้ลายนํ้าคิจิตอล.....	12
2.4.1 ใช้เป็นลายเซ็นต์.....	12
2.4.2 ใช้แทนลายพิมพ์นิ้วมือ.....	12
2.4.3 การถ่ายทอดสัญญาณและแสดงสัญลักษณ์.....	12
2.4.4 การรับรองความถูกต้อง.....	13
2.4.5 ควบคุมการคัดลอก.....	13
2.4.6 การสื่อสารข้อมูลลับ.....	14
2.5 คุณสมบัติสำคัญของลายนํ้าคิจิตอล.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6	หลักการในการทำลายน้ำดิจิทัล	15
2.7	เทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัล	18
2.7.1	เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล	18
2.7.2	เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนความถี่	18
2.8	การโจมตีลายน้ำ	19
2.8.1	การบีบอัดภาพแบบ JPEG	20
2.8.2	การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณ	20
2.8.3	การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต	20
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.10	สรุป	22
บทที่ 3	ทฤษฎีพื้นฐาน	23
3.1	ความเป็นมาของการแปลงเวฟเวท	23
3.2	หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเลข	26
3.3	การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด	27
3.3.1	ฟังก์ชันสเกลลิง	28
3.3.2	ฟังก์ชันเวฟเลข	30
3.4	การแปลงเวฟเลขแบบไม่ต่อเนื่อง	32
3.4.1	การแปลงเวฟเลขโดยใช้หลักการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์	32
3.4.2	การแปลงกลับเวฟเลขโดยใช้หลักการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์	34
3.5	การนำเวฟเลขมาใช้กับข้อมูลภาพแบบ 2 มิติ	34
3.6	ระบบการมองเห็นของมนุษย์	37
3.6.1	หลักการของระบบการมองเห็นของมนุษย์	38
3.6.2	ประสิทธิภาพความสว่างสัมพัทธ์	40
3.6.3	กฎของเวเบอร์	41
3.6.4	โมเดลระบบการมองเห็นของมนุษย์	43
3.7	สรุป	44
บทที่ 4	วิธีการฝังและการถอดลายน้ำดิจิทัลที่น่าเสนอ	45
4.1	วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัล	45
4.2	การคำนวณหาฟังก์ชันน้ำหนักโดยใช้ระบบการมองเห็นของมนุษย์	48
4.3	การตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4	เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่.....	51
4.4.1	ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในภาพ.....	52
4.4.2	ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำในภาพ.....	54
4.5	สรุป.....	54
บทที่ 5	การทดลองและผลการทดลอง.....	55
5.1	จุดประสงค์การทดลอง.....	55
5.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	55
5.3	ข้อมูลที่ใช้การทดลองและวิธีการทดลอง.....	56
5.4	ผลการทดลองโดยไม่ผ่านการโจมตีลายน้ำ.....	56
5.5	การทดสอบความคงทนลายน้ำ.....	74
5.6	การทดสอบกับคีย์ขนาดต่างๆ.....	79
5.7	การทดสอบกับภาพลักษณะต่างๆ.....	88
5.8	การทดสอบฝังลายน้ำในแต่ละระดับของภาพ.....	89
5.9	เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่.....	98
5.10	อภิปรายผลการทดลอง.....	115
5.11	ข้อจำกัดของวิธีการฝังและการตรวจสอบลายน้ำที่นำเสนอ.....	116
บทที่ 6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	117
6.1	สรุปผลการวิจัย.....	117
6.2	ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ.....	118
	เอกสารอ้างอิง.....	119
	ภาคผนวก ก. การวัดคุณภาพของภาพหลังการทำลายน้ำ.....	121
	ภาคผนวก ข. ผลการทดลองการฝังลายน้ำบนภาพดิจิทัล.....	122
	ภาคผนวก ค. ผลการวัดประสิทธิภาพระบบการมองเห็นของมนุษย์.....	156
	ภาคผนวก ง. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	158
	ประวัติผู้เขียน.....	159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ผลการทดลองการฝังลายน้ำบนภาพต้นฉบับโดยไม่ผ่านการ โจมตีลายน้ำ.....	74
5.2 ผลการทดสอบความคงทนลายน้ำโดยผ่านการ โจมตีด้วยตัวกรองภาพแบบมัธยฐาน (median filter) โดยใช้ตัวกรองมัธยฐานขนาด 3x3 พิกเซล.....	75
5.3 ผลการทดสอบความคงทนลายน้ำโดยผ่านการ โจมตีด้วยการใส่สัญญาณรบกวนแบบ เกาส์เซียน โดยใช้สัญญาณรบกวนที่ 10 เปอร์เซ็นต์.....	76
5.4 ผลการทดสอบความคงทนลายน้ำโดยผ่านการ โจมตีด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพการบีบอัดต่ำสุดที่ $Q_0$ .....	77
5.5 ผลการทดสอบความคงทนลายน้ำโดยผ่านการ โจมตีด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000 ที่ระดับคุณภาพการบีบอัดต่ำสุดที่ 10 เปอร์เซ็นต์.....	78
5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Lena.....	79
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Tiffany.....	80
5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Kid.....	80
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Baboon.....	81
5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Bear.....	81
5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Bandon.....	82
5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Lochness.....	82
5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Skyline_arch.....	83
5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรี่เลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ F16.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ FishBoat.....	84
5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Peppers.....	84
5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Pills.....	85
5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Earth.....	85
5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Pantagon.....	86
5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Sandiego.....	86
5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Opera.....	87
5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคี่ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทร โชลของ ภาพ Z1x25.....	87
5.23 แสดงขนาดของคี่ที่ทำการฝังบนภาพ ระดับต่างๆของการแปลงเวฟเลข.....	88
5.24 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ LENA.....	98
5.25 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ TIFFANY.....	99
5.26 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ KID.....	100
5.27 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ BABOON.....	101
5.28 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ BEAR.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.5 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ BEAR.....	130
ข.6 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ BANDON.....	132
ข.7 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ LOCHNESS.....	134
ข.8 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ SKYLINE ARCH.....	136
ข.9 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ F16.....	138
ข.10 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ FISHBOAT.....	140
ข.11 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ PEPPERS.....	142
ข.12 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ PILLS.....	144
ข.13 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ EARTH.....	146
ข.14 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ PANTAGON.....	148
ข.15 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ SANDIEGO.....	150
ข.16 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ OPERA.....	152
ข.17 ผลการทดลองการฟังลายน้ำภาพ Z1X25.....	154
ค.1 ผลการวัดประสิทธิภาพระบบการมองเห็นของมนุษย์.....	157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การใส่ลายน้ำดิจิทัลด้วยการติดโลโก้ของสถานีโทรทัศน์ CNN.....	8
2.2 การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงในเอกสาร.....	9
2.3 การใส่ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ (ก) การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงในบริเวณ มุมขวาล่างของรูปภาพ (ข) การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงในบริเวณกลางรูปภาพ.....	10
2.4 ตัวอย่างภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (ก) ภาพถ่ายต้นฉบับ (ข) ภาพถ่ายที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ.....	11
2.5 รูปแสดงภาพที่ถูกตกแต่งโดยผู้หญิงในภาพด้านซ้ายถูกลบออกไปอย่างง่ายดายด้วย โปรแกรมแต่งภาพ.....	13
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็น และความจุของข้อมูล.....	15
2.7 กระบวนการทำลายน้ำทั่วไป (ก) กระบวนการใส่ลายน้ำ (ข) กระบวนการตรวจสอบลายน้ำ ดิจิทัล.....	17
2.8 รูปแบบการฝังลายน้ำใน โดเมนความถี่.....	19
3.1 ระยะเวลาและความถี่แบบคงที่ (Constant time frequency plan).....	25
3.2 ระยะเวลาและความถี่สำหรับการแปลงเวฟเลท.....	25
3.3 ลักษณะของเวฟเลทแบบคาบิซึ 8.....	26
3.4 การซ้อนทับกันของปริภูมิฟังก์ชันสเกลลิง.....	29
3.5 ปริภูมิของฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเลทกรณีตั้งฉากกัน.....	30
3.6 ฟیلเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ.....	32
3.7 การวิเคราะห์ฟیلเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ.....	33
3.8 การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiresolution decomposition).....	33
3.9 การสังเคราะห์ฟیلเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ.....	34
3.10 การแปลงเวฟเลทของข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยใช้หลักการของฟیلเตอร์แบงค์(ก) การแยก องค์ประกอบของเวฟเลท (ข) การรวมองค์ประกอบของเวฟเลท.....	35
3.11 การแปลงเวฟเลทแบบหลายระดับ.....	36
3.12 ภาพการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ (ก) ภาพต้นแบบ Lena (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้ จากการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ.....	37
3.13 พลังงานแสงที่เข้ามาจากวัตถุ.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ข่าวดารภาพที่ตาของมนุษย์ มุม $\theta = 2 \arctan(x_1 / 2y_1) = 2 \arctan(x_2 / 2y_2)$ พิจารณา จากขนาดของภาพบนเรตินา.....	39
3.15 ตัวแจกจ่ายของตัวรับเซลล์โรดและโคนในเรตินา.....	40
3.16 ตัวอย่างฟังก์ชันประสิทธิภาพความสว่างสัมพัทธ์.....	41
3.17 การกระตุ้นค่าความแตกต่าง รูปวงกลมเล็กตรงกลางมีความสว่างเท่ากัน แต่แสงสว่างต่างกัน.....	41
3.18 ความแตกต่างแสงและความสว่าง.....	42
3.19 แสงสว่าง (B) และความสว่าง (L).....	43
3.20 ภาพแสดง Match band effect.....	44
4.1 ภาพการแปลงเวฟเลขแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ.....	46
4.2 (ก) ภาพ Lena ต้นฉบับ (ข) ภาพ Lena ผ่านการแปลงเวฟเลข 4 ระดับโดยใช้ตัวกรองเวฟเลข คาบิชิ 6.....	47
4.3 ขั้นตอนการฝังลายน้ำโดยวิธีที่นำเสนอ.....	47
4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิตอล.....	50
4.5 การฝังลายน้ำด้วยเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลแบบคงที่.....	53
4.6 การตรวจสอบลายน้ำด้วยเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลแบบคงที่.....	53
5.1 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพLENA (ก) รูปภาพ LENA ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ LENA ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิตอลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิตอลจากภาพที่ ทำการฝังลายน้ำดิจิตอลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1005 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 40.0853 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 50.4033 ค่าเทรโซลเท่ากับ 23.2361.....	57
5.2 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิตอลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ TIFFANY (ก) รูปภาพ TIFFANY ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ TIFFANY ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิตอลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำ ดิจิตอลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิตอลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 648 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 36.5367 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 82.8871 ค่าเทรโซลเท่ากับ 40.85043.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ KID (ก) รูปภาพ KID ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ KID ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1087 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.3969 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 67.1614 ค่าเทร โชลเท่ากับ 19.9797.....	59
5.4 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ BABOON (ก) รูปภาพ BABOON ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ BABOON ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 4294 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 35.1651dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 55.4452 ค่าเทร โชล เท่ากับ 8.5793.....	60
5.5 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ BEAR (ก) รูปภาพ BEAR ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ BEAR ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 704 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 37.9534 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 55.846 ค่าเทร โชล เท่ากับ 16.5892.....	61
5.6 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ BANDON (ก) รูปภาพ BANDON ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ BANDON ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1148 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 37.7791 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 35.3737 ค่าเทร โชล เท่ากับ 12.6375.....	62
5.7 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ LOCHNESS (ก) รูปภาพ LOCHNESS ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ LOCHNESS ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 861 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.0583 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 63.4239 ค่าเทร โชลเท่ากับ 15.5813.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 ผลการทดลองการฝึกลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ SKYLINE ARCH(ก) รูปภาพ SKYLINE ARCH ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ SKYLINE ARCH ที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝึเท่ากับ 1340 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 36.7057 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 31.6958 ค่าเทร โชลเท่ากับ 14.7705.....	64
5.9 ผลการทดลองการฝึกลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ F16 (ก) รูปภาพ F16 ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ F16 ที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝึเท่ากับ 1535 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 37.3415 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 66.4305 ค่าเทร โชลเท่ากับ 16.2707.....	65
5.10 ผลการทดลองการฝึกลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ FISHBOAT (ก) รูปภาพ FISHBOAT ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ FISHBOAT ที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝึเท่ากับ 1809 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.4879 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 50.8753 ค่าเทร โชลเท่ากับ 13.0541.....	66
5.11 ผลการทดลองการฝึกลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ PEPPERS (ก) รูปภาพ PEPPERS ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ PEPPERS ที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝึเท่ากับ 800 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 39.6226 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 57.0088 ค่าเทร โชลเท่ากับ 22.3757.....	67
5.12 ผลการทดลองการฝึกลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ PILLS (ก) รูปภาพ PILLS ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ PILLS ที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝึกลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝึเท่ากับ 1418 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.0715 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 58.1611 ค่าเทร โชลเท่ากับ 15.931.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ EARTH (ก) รูปภาพ EARTH ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ EARTH ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1335 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.4247 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 58.5285 ค่าเทรโซลเท่ากับ 16.0928.....	69
5.14 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ PANTAGON(ก) รูปภาพ PANTAGON ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ PANTAGON ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1702 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 36.7201 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 52.6837 ค่าเทรโซลเท่ากับ 13.3798.....	70
5.15 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ SANDIEGO (ก) รูปภาพ SANDIEGO ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ SANDIEGO ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 2913 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 36.6422 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 58.4453 ค่าเทรโซลเท่ากับ 10.1166.....	71
5.16 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ OPERA (ก) รูปภาพ OPERA ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ OPERA ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1432 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.2912dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 48.0925ค่าเทรโซลเท่ากับ 13.8658.....	72
5.17 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ Z1X25 (ก) รูปภาพ Z1X25 ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ Z1X25 ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 746 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 39.0382 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 55.48 ค่าเทรโซลเท่ากับ 21.5456.....	73
5.18 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ LENA ที่ระดับ 1, 2, 3.....	89
5.19 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ TIFFANY ที่ระดับ 1, 2, 3.....	89
5.20 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ KID ที่ระดับ 1, 2, 3.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.21 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ BABOON ที่ระดับ 1, 2, 3.....	90
5.22 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ BEAR ที่ระดับ 1, 2, 3.....	91
5.23 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ BANDON ที่ระดับ 1, 2, 3.....	91
5.24 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ LOCHNESS ที่ระดับ 1, 2, 3.....	92
5.25 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ SKYLINE ARCH ที่ระดับ 1, 2, 3.....	92
5.26 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ F16 ที่ระดับ 1, 2, 3.....	93
5.27 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ FISHBOAT ที่ระดับ 1, 2, 3.....	93
5.28 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ PEPPERS ที่ระดับ 1, 2, 3.....	94
5.29 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ PILLS ที่ระดับ 1, 2, 3.....	94
5.30 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ EARTH ที่ระดับ 1, 2, 3.....	95
5.31 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ PANTAGON ที่ระดับ 1, 2, 3.....	95
5.32 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ SANDIEGO ที่ระดับ 1, 2, 3.....	96
5.33 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ Opera ที่ระดับ 1, 2, 3.....	96
5.34 กราฟแสดงผลการฟุ้งลายน้ําบนภาพ Z1x25 ที่ระดับ 1, 2, 3.....	97
ข.1 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ LENA (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	123
ข.2 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ TIFFANY (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	125
ข.3 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ KID (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	127
ข.4 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ BABOON (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	129
ข.5 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ BEAR (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	131
ข.6 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ BANDON (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	133
ข.7 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ LOCHNESS (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.8 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ SKYLINE ARCH (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	137
ข.9 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ F16 (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	139
ข.10 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ FISHBOAT (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	141
ข.11 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ PEPPERS (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	143
ข.12 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ PILLS (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	145
ข.13 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ EARTH (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	147
ข.14 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ PANTAGON (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	149
ข.15 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ SANDIEGO (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	151
ข.16 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ OPERA (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	153
ข.17 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ Z1X25 (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000.....	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

การพัฒนาอย่างรวดเร็วของคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต ทำให้สื่อข้อมูลดิจิทัลสามารถทำการคัดลอกและทำการแจกจ่ายได้อย่างรวดเร็วและง่ายขึ้น โดยผ่านทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นที่นิยมในการใช้งานในปัจจุบันนี้ ทำให้เกิดปัญหาการลักลอบละเมิดลิขสิทธิ์สื่อข้อมูลดิจิทัลโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ โดยสื่อข้อมูลดิจิทัลที่นำมาใช้งาน เช่น รูปภาพ เสียง เอกสารข้อความ วิดีโอ เมื่อถูกทำการคัดลอกหรือตัดแปลงแล้ว บุคคลซึ่งเป็นเจ้าของสื่อข้อมูลดิจิทัลต้นฉบับเหล่านั้น ไม่สามารถทำการพิสูจน์แสดงได้ว่าสื่อข้อมูลดิจิทัลเหล่านั้นเป็นของตนหรือไม่ เนื่องจากข้อมูลดิจิทัลเหล่านั้นถูกเปลี่ยนแปลงข้อมูลไป ซึ่งเมื่อข้อมูลดิจิทัลต้นฉบับเหล่านั้นถูกเปลี่ยนแปลงไปแล้ว จึงเป็นการยากที่จะทำการตรวจสอบได้ว่าใครเป็นเจ้าของสื่อข้อมูลดิจิทัลเหล่านั้น สถาบัน Motion Picture Association of America (MPAA) [7] ได้คำนวณรายได้ที่ต้องสูญเสียไปของบริษัทของชาวอเมริกัน จากการละเมิดลิขสิทธิ์ทั่วโลกคิดเป็นเงินประมาณ 2.5 พันล้านเหรียญ ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายมูลค่ามหาศาลทางการค้าแก่เจ้าของลิขสิทธิ์ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีกฎหมายปกป้องลิขสิทธิ์ทางปัญญาออกมาบังคับใช้อย่างชัดเจน แต่ในบางครั้งตัวบทกฎหมายที่มีอยู่ไม่สามารถดำเนินการกับผู้กระทำผิดเหล่านั้นได้ เพราะรูปแบบของคดีที่จะมีการจับกุมและดำเนินคดีได้นั้นต้องมีเจ้าของลิขสิทธิ์แจ้งจับหรือเข้าทุกขร้องเรียนต่อเจ้าหน้าที่ แต่ในความเป็นจริงนั้นเป็นไปได้ยากที่เจ้าของลิขสิทธิ์จะดูแลได้ทั่วถึง จึงเป็นการดีกว่าถ้าสามารถคิดค้นพัฒนาวิธีการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์ตัวผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าจะมีกลไกในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์หลายวิธีเช่น การเข้ารหัส การลงทะเบียน หรือการใส่เลขทะเบียนก็ยังไม่สามารถยับยั้งปัญหาดังกล่าวได้ ตัวอย่างเช่นกรณีของการเข้ารหัสลับตัวข้อมูล ข้อมูลที่ผ่านการถอดรหัสแล้วจะสามารถถูกคัดลอกหรือทำซ้ำได้โดยที่เราไม่สามารถที่จะติดตามตัวผู้กระทำความผิดดังกล่าวมาลงโทษได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการยับยั้งหรือติดตามร่องรอยของการละเมิดลิขสิทธิ์ จึงได้มีแนวคิดที่จะซ่อนสัญลักษณ์เข้าไปในสื่อแบบดิจิทัลเพื่อใช้ในการตรวจสอบและแสดงว่าใครเป็นเจ้าของสื่อจริงๆจริง วิธีการซ่อนสัญลักษณ์ลับเข้าไปในสื่อข้อมูลดิจิทัลเรียกว่า การทำลายน้ำดิจิทัล (Digital Watermarking) เทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลสามารถทำการแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ เนื่องจากการทำลายน้ำดิจิทัลสามารถแสดงความเป็นเจ้าของในสื่อข้อมูลดิจิทัลได้ การทำลายน้ำดิจิทัลจะทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไปที่สื่อข้อมูลดิจิทัลและทำการตรวจสอบหรือค้นหาลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมาในภายหลัง งานวิจัยทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบเซิร์ฟเวอร์อินเทอร์เน็ตการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพนั้นง่ายต่อการละเมิดลิขสิทธิ์ และยังอาจจะมีการนำรูปภาพนั้นไปเปลี่ยน และทำการแจกจ่าย สร้างความเสียหายให้แก่เจ้าของภาพได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อทำการศึกษาวิธีการฝังและการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล

1.2.2 เพื่อทำการศึกษาวิธีการฝังลายน้ำที่ทนต่อการประมวลผลสัญญาณภาพและการบีบอัดข้อมูลภาพ

1.2.3 เพื่อทำการศึกษาภาพแบบต่างๆ ว่ามีผลต่อวิธีการฝังลายน้ำที่นำเสนออย่างไร

1.2.4 เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพ ข้อจำกัดของวิธีการฝังลายน้ำที่ได้นำเสนอ

1.2.5 เพื่อสามารถนำวิธีการฝังและการตรวจสอบลายน้ำ ไปประยุกต์ใช้งานเพื่อป้องกันลิขสิทธิ์ได้

## 1.3 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยทางด้านการทำลายน้ำดิจิทัลส่วนใหญ่จะเป็นการฝังลายน้ำดิจิทัลกับข้อมูลที่เป็นรูปภาพ เนื่องจากสื่อข้อมูลที่เป็นรูปภาพนั้นมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ง่ายต่อการละเมิดลิขสิทธิ์ และยังอาจจะมีการนำรูปภาพนั้นไปเปลี่ยน และทำการแจกจ่าย สร้างความเสียหายให้แก่เจ้าของภาพได้ การฝังลายน้ำดิจิทัลทั่วไปรวมไปถึงการฝังลายน้ำดิจิทัลกับข้อมูลที่เป็นรูปภาพสามารถใช้แสดงความเป็นเจ้าของในสื่อข้อมูลดิจิทัลได้ การทำลายน้ำดิจิทัลจะทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไปที่สื่อข้อมูลดิจิทัลและทำการตรวจสอบหรือค้นหาลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมาในภายหลัง ดังนั้นบุคคลอื่นจะต้องไม่สามารถทำลาย ลายน้ำออกจากข้อมูลรูปภาพได้โดยไม่ได้รับอนุญาต หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ข้อมูลลายน้ำเป็นเหมือนรหัสลับจะต้องมีความปลอดภัยสูง ต่อการทำลายจากบุคคลอื่น ดังนั้นการฝังลายน้ำดิจิทัลจะต้องมีความคงทนต่อการประมวลผลภาพ และการบีบอัดข้อมูลรูปภาพเป็นอีกปัญหาหนึ่งในการตรวจสอบหรือค้นหาลายน้ำดิจิทัล เพราะเมื่อมีการบีบอัดข้อมูลที่มากแล้วทำให้ลายน้ำที่ทำการฝังไว้หายไป หรือไม่สามารถทำการค้นหากลับคืนมาได้ ทำให้ไม่สามารถนำลายน้ำดิจิทัลที่ทำการฝังไว้มาแสดง ถึงความเป็นเจ้าของรูปภาพดิจิทัลนั้นได้ สิ่งหนึ่งที่สำคัญในการฝังลายน้ำดิจิทัลคือค่า PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) ของรูปภาพซึ่งจะแสดงถึงความเหมือนของรูปภาพต้นฉบับกับรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัล ซึ่งถ้าเราทำการพิจารณาค่า PSNR ถ้าค่า PSNR ของรูปภาพต้นฉบับกับรูปภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลนั้นมีค่ามากจะยิ่งดีเพราะจะแสดงให้เห็นว่า รูปภาพมีความเหมือนกันมากจะไม่มีผลกระทบต่อมุมมองเห็นหรือแยกแยะของมนุษย์

เทคนิคการทำลายน้ำได้ถูกนำเสนอเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถแบ่งตามกรรมวิธีออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่คือ วิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล (Spatial Domain) และวิธีการทำลายน้ำในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งวิธีการทำลายน้ำในโดเมนความถี่จะมีความคงทนต่อการโจมตีลายน้ำด้วยกระบวนการประมวลผลทางสัญญาณ และการบีบอัดภาพ มากกว่าวิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล โดยทั่วไปงานวิจัยการฝังลายน้ำลงบนภาพ จะมุ่งเน้นที่ตำแหน่งของการฝังลายน้ำให้ลายน้ำที่ทำการฝังมีความทนทานต่อการโจมตีพื้นฐาน และยังคงรักษาคุณภาพของภาพที่ทำการฝังลายน้ำให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ สำหรับการฝังลายน้ำในโดเมนความถี่ ส่วนข้อมูลของภาพจะอยู่ในแถบความถี่ต่ำและความถี่กลาง ดังนั้นการรวมลายน้ำเข้ากับสัมประสิทธิ์นัยสำคัญในโดเมนความถี่ โดยทั่วไปจะทำให้ภาพมีความคงทน และลายน้ำที่ใส่มีความโปร่งใส

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลในโดเมนความถี่ โดยใช้เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเลท (Wavelet Transform) โดยการนำภาพต้นฉบับมาทำการแปลงเวฟเลทแบบหลายระดับ (Multiresolution Discrete Wavelet Transform) ซึ่งข้อดีของการแปลงเวฟเลทคือการแยกองค์ประกอบของภาพแบบหลายระดับ ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์แบนย่อยในย่านความถี่ของการแปลงเวฟเลท LL, LH, HL, HH จากนั้นเลือกทำการฝังลายน้ำดิจิทัล ลงในค่าสัมประสิทธิ์นัยสำคัญแบนย่อยของการแปลงเวฟเลท โดยทำการเลือกจากค่าเทรโซลซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำให้ลายน้ำมีความคงทนต่อการโจมตี ในขณะที่เดียวกันคุณภาพของภาพที่ใส่ลายน้ำเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แต่การฝังลายน้ำเช่นนี้อาจมีผลกระทบทำให้คุณภาพของภาพลดลง จึงได้นำประโยชน์จากระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) มาทำการพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพความคงทนและความมองไม่เห็นของลายน้ำดิจิทัล ในขั้นตอนการฝังลายน้ำเพื่อให้ภาพต้นฉบับและภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลนั้นมีความเหมือนกันมากที่สุด สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบหรือการนำลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมา เป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับ (Blind watermark) ซึ่งทำให้สะดวกในการทำการตรวจสอบลิขสิทธิ์ โดยทำการหาค่าคอริเลชัน (Correlation values) ระหว่างลายน้ำดิจิทัลกับค่าสัมประสิทธิ์แบนย่อยของการแปลงเวฟเลทของภาพที่นำมาทำการทดสอบ จากนั้นนำค่าคอริเลชันมาทำการเปรียบเทียบกับค่าเทรโซล (Threshold value) เพื่อทำการตัดสินใจว่ามีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่หรือไม่ เพื่อใช้ในการแสดงความเป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ในภาพนั้น

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งมีความทนทานต่อการประมวลผลภาพและการบีบอัดภาพ โดยใช้วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform) โดยทำการเลือกฝังลายน้ำดิจิทัลในค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความสำคัญของการแปลงเวฟเลท และได้นำประโยชน์จากระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) มาพิจารณาเพื่อเพิ่มความคงทนและความมองไม่เห็นของลายน้ำดิจิทัล เพื่อให้ภาพที่ถูกฝังลายน้ำดิจิทัลแล้วไม่มีเกิดความเพี้ยนของภาพเมื่อสังเกตด้วยตาของมนุษย์ สำหรับการตรวจสอบหรือการนำลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมา เป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับ (Blind watermark) ซึ่งทำให้กระบวนการในการตรวจสอบทำได้ง่ายและสะดวกสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ โดยข้อมูลภาพที่นำมาทำการฝังลายน้ำเป็นภาพดิจิทัลระดับสีเทา โดยการวัดคุณภาพของภาพที่ทำการฝังลายน้ำจะทำการเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว โดยทำการสังเกตด้วยตาเปล่า ถึงความแตกต่างของภาพก่อนขั้นตอนการฝังลายน้ำและหลังการฝังลายน้ำ และทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการทำภาพลายน้ำ สามารถทำได้โดยการหาอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (PSNR) ของภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว เพื่อวัดคุณภาพของภาพจากนั้นในขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำได้ทำการทดลองโจมตีภาพด้วยการประมวลผลทางสัญญาณ เพื่อทดสอบความคงทนของลายน้ำโดยทำการทดสอบกับข้อมูลภาพลักษณะต่างๆ

## 1.5 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาบทความเกี่ยวกับวิธีการฝังลายน้ำและการตรวจสอบลายน้ำแบบต่างๆ
- 1.5.2 ศึกษาความคงทนของลายน้ำดิจิทัลต่อการกระทำกับข้อมูลแบบต่างๆ
- 1.5.3 ศึกษารายละเอียดของวิธีการฝังลายน้ำและการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลกับรูปภาพ
- 1.5.4 เขียน โปรแกรมเพื่อทำการทดสอบวิธีการฝังลายน้ำที่นำเสนอ
- 1.5.5 วิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้
- 1.5.6 สรุปผลการทดลอง
- 1.5.7 เสนอแนวทางในการพัฒนา

## 1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยรายละเอียดและเนื้อหาต่างๆ แบ่งออกเป็น 6 บท ซึ่งในแต่ละบทมีหัวข้อและเนื้อหาดังต่อไปนี้

### บทที่ 1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการศึกษางานวิจัย และเนื้อหาต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

### บทที่ 2 พื้นฐานลายน้ำดิจิทัลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง หลักการพื้นฐานของการทำลายน้ำดิจิทัล โดยทำการอธิบายถึงความหมายของลายน้ำดิจิทัล คุณสมบัติของลายน้ำดิจิทัล ชนิดของลายน้ำดิจิทัล การประยุกต์ใช้งานลายน้ำดิจิทัลสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ในด้านต่างๆ หลักการทำลายน้ำดิจิทัล เทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัล และการโจมตีลายน้ำดิจิทัลในแบบต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐาน

ในบทนี้ประกอบด้วย ทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ โดยจะกล่าวถึง หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเลต การนำเวฟเลตมาใช้กับข้อมูลภาพแบบ 2 มิติ การแปลงเวฟเลตแบบหลายระดับ และการแปลงกลับเวฟเลตซึ่งเป็นกระบวนการนำภาพกลับคืนมาเป็นดั้งเดิม ระบบการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งใช้ในการคำนวณหาฟังก์ชันน้ำหนักเพื่อใช้ในขั้นตอนการทำลายน้ำดิจิทัล

### บทที่ 4 วิธีการฝังลายน้ำและการถอดลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอ

ในบทนี้ได้กล่าวถึง หลักการและวิธีการฝังลายน้ำและการตรวจสอบลายดิจิทัล โดยวิธีที่นำเสนอ โดยแบ่งเป็นขั้นตอน 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิทัลบนรูปภาพดิจิทัล และขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลบนรูปที่ทำการฝังลายน้ำไว้แล้ว

### บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้ได้แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทำลายน้ำดิจิทัลโดยวิธีการที่นำเสนอ กับภาพดิจิทัลแบบต่างๆ และทำการทดสอบประสิทธิภาพของลายน้ำดิจิทัล ด้วยการโจมตีลายน้ำดิจิทัลด้วยการประมวลสัญญาณภาพแบบต่างๆ และการบีบอัดข้อมูลภาพแบบ JPEG และ JPEG 2000

### บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึง สรุปผลการทดลอง ข้อจำกัดและประสิทธิภาพของระบบการทำลายน้ำดิจิทัลโดยวิธีการที่นำเสนอ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการพัฒนางานวิจัยต่อไป

### ส่วนท้ายสุดเป็นภาคผนวก

## พื้นฐานลายน้ำดิจิทัลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง หลักการ โดยทั่วไปของลายน้ำดิจิทัล ชนิดของลายน้ำดิจิทัล ข้อกำหนด ในการทำลายน้ำดิจิทัล การประยุกต์ใช้เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลสำหรับการป้องกันลิขสิทธิ์ คุณสมบัติของลายน้ำ การจำแนกประเภทเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัล

### 2.1 การซ่อนข้อมูลข่าวสาร สเตกาโนกราฟี และการทำลายน้ำ

การทำลายน้ำมีความสัมพันธ์กับสาขาการซ่อนข้อมูลข่าวสารและสเตกาโนกราฟี ทั้งสามสาขามีการซ้อนทับกันอยู่ อย่างไรก็ตามนิยามพื้นฐานมีความแตกต่างในข้อกำหนดและการออกแบบทางเทคนิค โดยเราสามารถพิจารณาถึงความแตกต่างแต่ละสาขาได้ดังนี้

การซ่อนข้อมูลข่าวสาร (Information Hiding) เป็นการฝังข่าวสารลงในเนื้อหาข้อมูล คำว่า hiding ในที่นี้อาจหมายถึงการทำให้ข้อมูลข่าวสารไม่สามารถมองเห็นได้ (ซึ่งคล้ายกับการทำลายน้ำ) หรือการเก็บความลับของข้อมูลข่าวสารเช่น การรักษาความลับของฐานข้อมูลสำหรับผู้ใช้ที่ไม่ได้รับอนุญาต

สเตกาโนกราฟี (Steganography) มาจากคำในภาษากรีก “Stegano” ที่หมายถึง “Covered” และ “graphia” ที่หมายถึง “writing” สเตกาโนกราฟีเป็นศาสตร์ของการปกปิดข้อมูลข่าวสารในการสื่อสารซึ่งยังคงมีอยู่ในการสื่อสารปัจจุบัน จุดมุ่งหมายของสเตกาโนกราฟีคือ การซ่อนข้อมูลข่าวสารไว้ภายในข้อมูลที่ไม่เป็นที่น่าสงสัย ซึ่งทำให้เป็นไปได้ยากในการตรวจได้ว่ามีข่าวสารที่เป็นความลับปรากฏซ่อนอยู่ภายใน ตัวอย่างเรื่องราวที่เกี่ยวกับเทคนิคสเตกาโนกราฟีคือ พงสาวดารของ Herodotus [8] โดยมีผู้ตีชาวเปอร์เซียชื่อว่า Histiaeus ต้องการส่งสารลับไปยังเมือง Miletus โดยทำการโกนผมทาสของเขาออกและสักข่าวสารไว้บนหัวของทาส หลังจากที่เส้นผมของทาสผู้นั้นยาวขึ้นปกปิดข้อความเหล่านั้นจึงให้ทาสผู้นี้เดินทางไปยังเมือง Miletus จากนั้น Aristagoras จึงเริ่มก่อการจลาจลต่อกษัตริย์เปอร์เซีย ตัวอย่างความแตกต่างระหว่างสเตกาโนกราฟีและการทำลายน้ำ สมมุติว่าข้อความที่สักบนหัวของทาสเขียนว่า “ทาสผู้นี้เป็นของ Histiaeus” ข้อความนี้อ้างถึงทาส ถ้ามีคนอ้างถึงการเป็นเจ้าของทาสคนนั้น Histiaeus ก็สามารถใช้โกนศีรษะทาสและพิสูจน์ถึงความเป็นเจ้าของทาสคนนั้นได้

## 2.2 ลายน้ำดิจิทัล

ทุกวันนี้สื่อดิจิทัลได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ข้อมูลข่าวสารที่มีอยู่มากมายถูกเก็บอยู่ในรูปแบบดิจิทัล เนื่องจากข้อดีหลายอย่างของสื่อดิจิทัลเมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บข้อมูลในรูปแบบเดิม นั่นคือข้อมูลดิจิทัลสามารถนำไปทำสำเนาได้โดยง่ายโดยปราศจากการสูญเสียความคมชัด ซึ่งทำให้เหมือนต้นฉบับอย่างสมบูรณ์ และในปัจจุบันระบบเครือข่ายทางอินเทอร์เน็ตมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราที่สูงบริการต่างๆ เช่นการทำพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ การโฆษณาท้องสมมุติดิจิทัล การประชุมทางไกล วารสารออนไลน์และอื่นๆ อีกมากมายทำให้การติดต่อสื่อสารและการเผยแพร่สื่อข้อมูลดิจิทัลสามารถกระทำได้อย่างสะดวกรวดเร็วและง่ายดาย ถ้าหากข้อมูลดิจิทัลนั้นๆ ถูกคัดลอกแพร่ต่อไปโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของข้อมูลเสียก่อน ก็จะทำให้เจ้าของข้อมูลที่แท้จริงเสียผลประโยชน์ที่พึงจะได้รับ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ และการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ตที่มีการพัฒนากันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ดังนั้นเพื่อยับยั้งการละเมิดสิทธิของเจ้าของข้อมูลโดยมิชอบธรรม จึงจำเป็นที่จะต้องมีการมีกฎหมายเพื่อควบคุมการใช้งานของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิทธิทางปัญญา โดยมีให้ผู้ที่ไม่ได้เป็นเจ้าของข้อมูลนั้นๆ นำข้อมูลไปใช้โดยมิได้รับอนุญาต จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการทำลายน้ำดิจิทัล (Digital watermarking) ขึ้นมาเพื่อยับยั้งการกระทำที่จะเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาโดยอนุญาตให้ข้อมูลเหล่านี้ถูกเผยแพร่ออกไปได้โดยสามารถติดตามตรวจสอบภายหลังได้ ด้วยวิธีนี้จำนวนข้อมูลในการทำสำเนาจึงไม่ถูกจำกัด และยังสามารถควบคุมไม่ให้งานต้นฉบับเผยแพร่ออกไปได้อีกด้วย

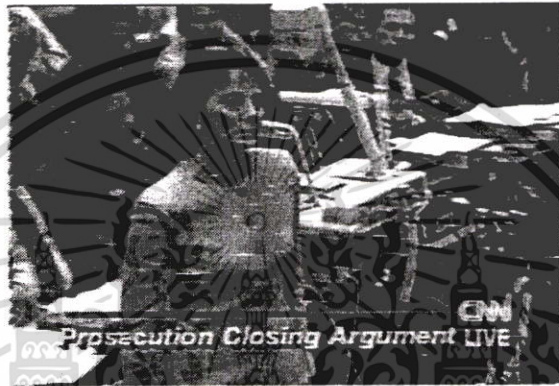
กล่าวโดยสรุปคือ ลายน้ำดิจิทัลเป็นสัญญาณดิจิทัล หรือข้อมูลสำคัญ (Key information) ที่ถูกใส่เข้าไปในสื่อดิจิทัล โดยที่สื่อดิจิทัลเป็นได้ทั้ง รูปภาพ เสียง วิดีโอ เอกสารข้อความหรือไฟล์มัลติมีเดีย ซึ่งผู้สร้างสรรค์หรือเจ้าของผลงานสามารถแสดงสิทธิในการแจกจ่าย ทำซ้ำ หรือเผยแพร่ผลงานได้อย่างถูกกฎหมาย

## 2.3 ชนิดของลายน้ำดิจิทัล

การทำลายน้ำดิจิทัลเป็นวิธีเสมือนกับวิธีการที่มีฝีมือในอดีตใช้ในการแสดงความเป็นเจ้าของต่อรูปภาพ โดยพวกเขาจะใส่สัญลักษณ์ที่แสดงถึงเอกลักษณ์ของตนเองไว้ในตัวรูปภาพ โดยสัญลักษณ์ที่ใส่เข้าไปนั้นอาจจะมีลักษณะที่มองเห็นได้หรือไม่ก็ได้ก็ได้ ดังนั้นแนวคิดของการทำภาพลายน้ำดิจิทัลจึงเป็นการใส่สัญญาณที่มีลักษณะเฉพาะเข้าไปในตัวข้อมูลรูปภาพซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะแสดงถึงความเป็นเจ้าของต่อข้อมูลนั้นๆ จากหลักการดังกล่าวเราอาจแบ่งประเภทลายน้ำดิจิทัลได้ออกเป็น 2 ชนิดคือลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ (Visible watermark) และลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Invisible watermark)

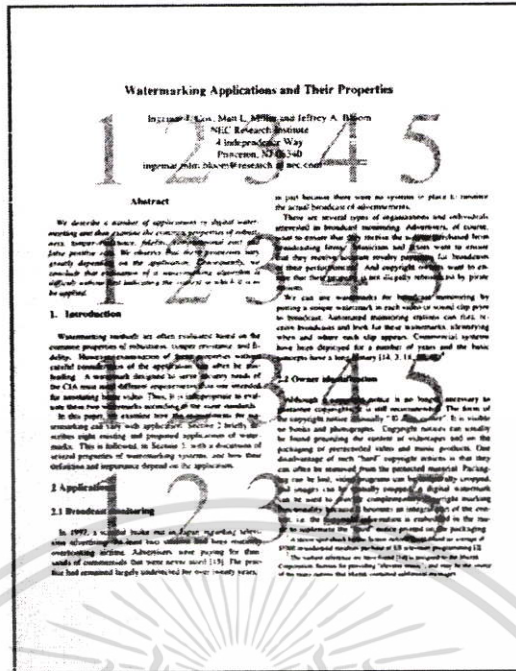
### 2.3.1 ลายน้ำแบบมองเห็น

ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่สามารถมองเห็นได้ถูกออกแบบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงความเป็นเจ้าของผลงานในสื่อชนิดต่างๆ เช่นภาพถ่ายโดยตัวลายน้ำจะมีลักษณะเป็นภาพซ้อนที่ถูกใส่เข้าไปในรูปภาพหลักโดยเมื่อใส่เข้าไปแล้วตัวลายน้ำควรจะลดทอนคุณภาพของภาพหลักที่มีอยู่ให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของลายน้ำดิจิทัลที่สามารถมองเห็นได้คือ โลโก้หรือตราประทับขององค์กรซึ่งจะแสดงถึงสิทธิความเป็นเจ้าของได้อย่างดี ในทำนองเดียวกันกับการติดโลโก้ของสถานีโทรทัศน์ตรงมุมล่างขวาของหน้าจอโทรทัศน์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การใส่ลายน้ำดิจิทัลด้วยการติดโลโก้ของสถานีโทรทัศน์ CNN

การใส่ลายน้ำดิจิทัลที่มองเห็นได้นั้นจะทำได้โดยการเขียนเติมหรือแทรกตัวข้อมูลที่ต้องการลงไปในรูปแบบภาพโดยตรง ซึ่งประโยชน์ของการทำลายน้ำดิจิทัลที่มองเห็นได้ก็คือ เป็นการแสดงสิทธิความเป็นเจ้าของในตัวข้อมูลมัลติมีเดียต่างๆ บุคคลทั่วไปพบเห็นจะสามารถรู้ได้โดยทันทีว่าภาพนั้นๆ เป็นของผู้ใด นอกจากนี้ยังเป็นการยับยั้งการกระทำที่เป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของข้อมูลนั้นๆ เช่นความยากลำบากในการที่จะนำลายน้ำออกจากตัวรูปภาพก่อนที่จะนำไปเผยแพร่อย่างมิชอบรูปที่ 2.2 ได้แสดงตัวอย่างเอกสารที่มีลายน้ำดิจิทัลที่มองเห็นได้



### รูปที่ 2.2 การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงในเอกสาร

อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียอย่างหนึ่งคือ ข้อมูลภาพจะมีคุณภาพลดลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากลายน้ำจะไปบดบังรายละเอียดของรูปภาพที่ใส่ แต่ถึงอย่างไรการทำลายน้ำภาพดิจิทัลในรูปแบบนี้ยังคงเป็นที่นิยมใช้ในการแสดงสิทธิความเป็นเจ้าของเพราะว่าสามารถดำเนินการได้ง่ายและไม่ซับซ้อน ในบางครั้งความพยายามที่จะกำจัดลายน้ำที่อยู่ในรูปภาพนั้นๆออกอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรูปซึ่งอาจจะเสียหายและมีคุณภาพต่ำลง เช่นในรูปที่ 2.3 (ก) เป็นการใส่ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ลงไป ในบริเวณมุมขวาล่างของรูปภาพซึ่งการใส่ในบริเวณนี้จะไม่กระทบต่อรายละเอียดที่สำคัญของรูปภาพมากนัก แต่ในขณะเดียวกันตัวลายน้ำดิจิทัลจะถูกกำจัดออกไปได้โดยง่ายโดยไม่กระทบต่อส่วนสำคัญของรูป ส่วนในรูปที่ 2.3 (ข) ลายน้ำจะถูกใส่ลงไปในบริเวณกลางรูปภาพ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสำคัญของรูปภาพทำให้ตัวลายน้ำดิจิทัลมีความยากลำบากในการเอาออกโดยที่ไม่กระทบถึงคุณภาพของรูปในขณะเดียวกันคุณภาพของรูปนั้นก็ลดลงไปมากเช่นกัน ในปัจจุบันมีโปรแกรมใช้งานหลายชนิดที่มีความสามารถในการทำภาพลายน้ำดังกล่าวได้ ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม Adobe photoshop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 การใส่ลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองเห็นได้ (ก) การใส่ลายน้ำดิจิทัลลงไปในบริเวณมุมขวาล่างของรูปภาพ (ข) การใส่ลายน้ำดิจิทัลไปในบริเวณกลางรูปภาพ

### 2.3.2 ลายน้ำแบบไม่สามารถมองเห็นได้

การทำลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้จะเป็นกระบวนการที่เจ้าของข้อมูลทำการใส่สัญญาณลายน้ำลงในตัวข้อมูลภาพ ซึ่งเป็นกระบวนการใส่ลายน้ำจะใช้กุญแจรหัสลับเป็นส่วนประกอบในการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงแก้ไขจากบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยผู้ที่เป็นเจ้าของภาพเท่านั้นที่จะรู้กุญแจรหัสลับนี้ ดังนั้นบุคคลอื่นจึงไม่สามารถล่วงรู้ถึงสิ่งที่ซ่อนอยู่ภายในรูปภาพนั้นๆ ได้ แม้ว่าบุคคลนั้นจะรู้ถึงกลไกการทำงานในการใส่และถอดสัญญาณลายน้ำออกก็ตามรูปที่ 2.4 (ก) เป็นภาพต้นฉบับซึ่งเมื่อผ่านการทำลายน้ำภาพดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้แล้วจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.4 (ข) โดยภาพที่ผ่านการใส่ลายน้ำแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาพต้นฉบับเล็กน้อย ซึ่งเราแทบจะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่ถ้าหากเรานำภาพมาพิจารณาอย่างละเอียดก็จะพบว่าในความเป็นจริงแล้วภาพทั้งสองนั้นมีความแตกต่างกันอยู่และมีเพียงผู้ที่เป็นเจ้าของข้อมูลเท่านั้นที่สามารถนำสัญญาณลายน้ำออกมาจากภาพดังกล่าวนี้ได้

สำหรับลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองไม่เห็นมีข้อได้เปรียบคือไม่ทำให้ภาพมีตำหนิ นอกจากนี้จะทำให้เกิดความกังวลของผู้ที่ต้องการจะทำการคัดลอก เนื่องจากไม่แน่ใจว่าสื่อสิ่งพิมพ์นั้นๆ ได้ถูกใส่ข้อมูลลายน้ำเอาไว้หรือไม่ เพราะถ้าสื่อสิ่งพิมพ์นั้นมีลายน้ำดิจิทัลอยู่การจะนำไปใช้เพื่อผลประโยชน์ทางการค้าจำเป็นต้องลบตัวลายน้ำออกก่อน ซึ่งจะต้องใช้เวลาและวิธีการที่ค่อนข้างซับซ้อนทางการประมวลผลภาพ (Image processing) เช่น scaling cropping หรือ rotation ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของลายน้ำดิจิทัลชนิดที่มองไม่เห็นก็คือ ภาพที่ได้หลังจากถูกใส่ตัวลายน้ำไม่ถูกลด

คุณค่าและความสวยงามลง ซึ่งคุณสมบัตินี้จะมีค่าแปรผกผันกับความคงทนของสัญญาณลายน้ำที่ ถูกใส่เอาไว้ในตัวข้อมูล



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลชนิดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (ก) ภาพถ่ายต้นฉบับ  
(ข) ภาพถ่ายที่ถูกใส่สัญญาณลายน้ำ

องค์ประกอบที่นำมาใช้ในการแยกประเภทนอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว จุดประสงค์ในการใช้งานยังอาจนำมาใช้ในการแบ่งแยกประเภทของลายน้ำดิจิทัลได้อีกด้วย เช่นความทนทานในการใช้งานของสัญญาณลายน้ำซึ่งอาจแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ เทคนิคที่มุ่งไปที่ความทนทานของสัญญาณลายน้ำ (Robust watermarking) ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ในตัวข้อมูลจะมีความทนทานต่อการโจมตีแบบต่างๆ ลายน้ำประเภทนี้จะเหมาะสมในการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการละเมิดสิทธิ์ของตัวข้อมูล เนื่องจากความยากลำบากในการเปลี่ยนแปลงแก้ไขทำลายสัญญาณลายน้ำที่อยู่ภายในนั่นเอง

ประเภทที่สองคือ เทคนิคที่มุ่งไปที่ความเปราะบางของสัญญาณลายน้ำ (Fragile watermarking) ซึ่งสัญญาณลายน้ำที่ถูกใส่ไว้ในตัวข้อมูลจะมีความไวและเสียหายง่ายต่อการแก้ไข สัญญาณลายน้ำที่อยู่ภายในก็จะเสียหายจนตรวจสอบไม่ได้ ลายน้ำประเภทนี้จะมีเหมาะสมที่จะใช้ในการสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลว่าเป็นของที่ไม่ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงแก้ไขใดๆมาก่อน สำหรับวิธีการทำงานของเทคนิคดังกล่าวรวมทั้งรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวข้องผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก [9]

## 2.4 การประยุกต์ใช้ลายน้ำดิจิทัล

การนำเสนอสื่อดิจิทัลที่มีการจดลิขสิทธิ์เช่น ภาพยนตร์ เพลง และภาพถ่ายสำคัญ มีข้อได้เปรียบอย่างมาก อย่างไรก็ตามความเป็นจริงยังไม่สามารถจัดการกับปัญหาการทำซ้ำผลงาน โดยผิดกฎหมายได้อย่างจริงจังจนกระทั่งมีเทคนิคที่ช่วยในการป้องกันสิทธิข้อมูลของเจ้าของผลงาน นั่นคือเทคนิคการเข้ารหัสลับ การเข้ารหัสลับเป็นการป้องกันเนื้อหาข้อมูลในระหว่างการส่งผ่านข้อมูลจากผู้ส่งไปยังผู้รับ อย่างไรก็ตามหลังจากผู้รับทำการถอดรหัสข้อมูลแล้ว ข้อมูลนั้นก็ยังคงไม่สามารถป้องกันการคัดลอกได้อย่างถาวร การเข้ารหัสลายน้ำโดยใช้ลายน้ำดิจิทัลเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลข่าวสารที่ซ่อนไว้ในเนื้อหาข้อมูลของสื่อต่างๆ โดยที่สายตาไม่สามารถสังเกตเห็นได้ แต่ตรวจสอบได้ง่ายด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อดีของวิธีการนี้นั้นคือเนื้อหาข้อมูลไม่สามารถแยกลายน้ำออกไปได้ การฝังลายน้ำได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างมากมายเช่น

### 2.4.1 ใช้เป็นลายเซ็น

ลายน้ำเป็นสิ่งที่พิสูจน์ถึงการเป็นเจ้าของผลงาน ในข้อมูลข่าวสารเราสามารถนำมาใช้โดยที่ผู้รับสิทธิที่ถูกต้องทางกฎหมายในการทำซ้ำหรือตีพิมพ์ผลงานจากการติดต่อกับเจ้าของผลงาน ซึ่งในอนาคตลายน้ำอาจจะถูกนำมาใช้ช่วยในการกำหนดข้อโต้แย้งในการแสดงสิทธิการเป็นเจ้าของ

### 2.4.2 ใช้แทนการพิมพ์ลายนิ้วมือ

ลายน้ำสามารถใช้พิสูจน์ผู้ซื้อผลงาน ซึ่งอาจใช้ช่วยตามรอยแหล่งที่ทำการทำซ้ำผลงานอย่างผิดๆ ตัวอย่างเช่น ในธุรกิจสิ่งพิมพ์ หากการทำลายน้ำดิจิทัลมีความทนทานต่อการแปลงสัญญาณจากระบบดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Digital to analog) และจากระบบอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to digital) แล้วการที่จะพิมพ์หน้าปกหนังสือโดยใช้ภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลอยู่ก็จะเป็นไปได้เพื่อป้องกันการคัดลอกภาพนั้นไปใช้อย่างผิดกฎหมาย หรืออาจจะนำมาใช้ในการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ต (E-commerce) เพื่อที่ป้องกันมิให้รูปภาพที่ถูกคัดลอกมีการเผยแพร่หรือจำหน่ายและนำไปใช้อย่างผิดกฎหมาย เพราะบุคคลที่จะทำการคัดลอกก็ย่อมที่จะกลัวการติดตามและฟ้องร้องอันเนื่องมาจากลายน้ำที่ซ่อนอยู่ในตัวรูปภาพ นอกจากนี้การใช้ภาพที่ไม่ทราบที่มาที่ไปก็จะมีค่าธรรมเนียมระวังมากขึ้นด้วยเพราะถ้าเจ้าของภาพนั้นมาพบและพิสูจน์โดยใช้ลายน้ำดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในภาพถึงความเป็นเจ้าของได้ ก็จะสามารถฟ้องร้องต่อบุคคลที่นำภาพดังกล่าวมาใช้งานได้

### 2.4.3 การถ่ายทอดสัญญาณและแสดงสัญลักษณ์

สัญลักษณ์ลายน้ำใช้บ่งบอกถึงการเป็นเจ้าของผลงาน แต่ไม่เป็นการตรวจสอบโดยระบบอัตโนมัติ ทางจอโทรทัศน์และการถ่ายทอดสัญญาณเสียงทางวิทยุในธุรกิจภาพยนตร์ การทำลายน้ำดิจิทัลจะช่วยลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์โดยการคัดลอกตัวข้อมูลลงในแผ่นซีดีหรือดีวีดีเพื่อจัดจำหน่ายอย่างผิดกฎหมาย เพราะหากมีตัวอย่างของข้อมูลที่มีสัญญาณลายน้ำอยู่เราก็จะสามารถตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จับผู้กระทำผิดมาลงโทษได้ ยิ่งไปกว่านั้นการส่งผ่านข้อมูลวีดีโอ ผ่านทางระบบเครือข่ายยังได้รับการป้องกันได้อีกด้วย ตัวอย่างการใช้งานระบบวีดีโอผ่านเครือข่ายเช่น Video-on-demand และ Pay-per-view

#### 2.4.4 การรับรองความถูกต้อง

ในข้อมูลที่มีความสำคัญมากตัวอย่างเช่น การทำธุรกรรมพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์เกี่ยวกับข้อมูลมัลติมีเดีย ภาพถ่ายทางการแพทย์ ภาพข่าวสำคัญ ถ้าหากมีการปรับเปลี่ยนหรือแต่เดิมรายละเอียดข้อมูลลงไปให้แตกต่างจากต้นฉบับอาจก่อให้เกิดผลเสียอย่างมากหรือภาพตัดต่อของดาราที่มีชื่อเสียง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 ลายน้ำที่ถูกเข้ารหัสข่าวสารเพื่อใช้รับรองความถูกต้องในเนื้อหาข้อมูลจึงต้องถูกออกแบบให้มีความเปราะบาง (Fragile) สมมุติว่าข้อมูลสำคัญถูกแก้ไขก็จะทำให้ลายน้ำเสียหายได้ง่ายและระบุถึงผู้สร้างลายน้ำได้ด้วย หรือใช้รับรองสิทธิการฝังข้อมูลโดยตรงลงในเนื้อหาซึ่งง่ายต่อการตรวจสอบถ้าลายน้ำไม่ตรงกับรหัสที่ฝังไว้แสดงว่าเกิดความผิดปกติขึ้นในข้อมูล

#### 2.4.5 ความคุมการคัดลอก

ลายน้ำบรรจุข้อมูลเกี่ยวกับกฎเกณฑ์การใช้งานและการทำซ้ำของเจ้าของผลงานเพื่อบังคับใช้ทั่วไปเช่น “เนื้อหาข้อมูลไม่สามารถทำซ้ำได้อีก” อุปกรณ์ที่มีความสามารถคัดลอกข้อมูลเหล่านี้จะใช้ลายน้ำเพื่อป้องกันข้อมูลดิจิทัลวีดีโอในระบบปิดโดยใช้ฮาร์ดแวร์พิเศษสำหรับทำสำเนาและดูรายละเอียด ซึ่งจะมีรหัสที่แสดงถึงจำนวนครั้งที่อนุญาตให้ทำสำเนา ดังนั้นทุกครั้งเมื่อมีการทำสำเนาฮาร์ดแวร์ตัวนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงรหัสและเมื่อจำนวนเท่ากับศูนย์ระบบจะไม่สามารถดูข้อมูลได้อีกเช่น เครื่องเล่น DVD (Digital Versatile Disc)



รูปที่ 2.5 รูปแสดงภาพที่ถูกดัดแปลงโดยผู้หญิงในภาพด้านซ้ายถูกลบออกไปอย่างง่ายด้วยโปรแกรมแต่งภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.6 การสื่อสารข้อมูลลับ

สัญญาณที่ฝังไว้ นำมาใช้ส่งข้อมูลลับจากบุคคลหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่งโดยไม่ทำให้บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องทราบถึงข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งออกไป วิธีนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคสเตกาโนกราฟี ที่ใช้การซ่อนข้อมูลข่าวสารส่งไปให้บุคคลอื่น วิธีนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากในการทหาร ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์ก่อการร้ายตึกเวิลด์เทรดเซ็นเตอร์

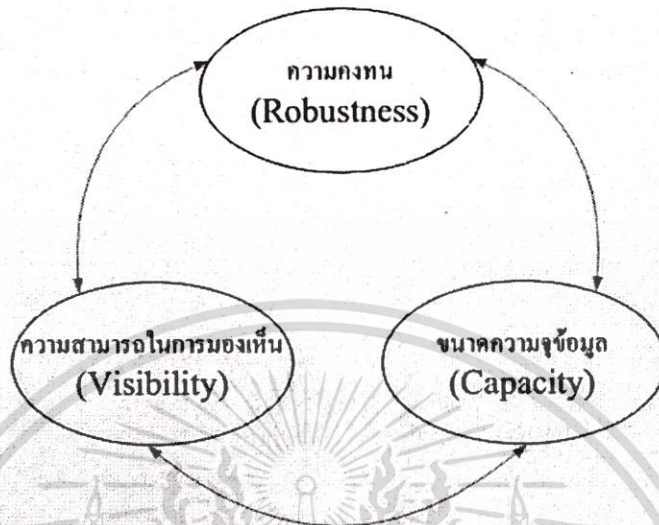
### 2.5 คุณสมบัติสำคัญของลายน้ำดิจิทัล

ในประเด็นของปัญหาการซ่อนข้อมูลข่าวสารทั่วไป มักจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างความคงทน (Robustness) ความสามารถในการมองเห็น (Visibility) และขนาดความจุของข้อมูลข่าวสาร (Capacity) ดังรูปที่ 2.6 โดยที่ความคงทนนั้นเป็นความสามารถของข้อมูลข่าวสารที่ถูกใส่ลงในภาพ และภาพนั้นทนต่อการตัดแปลงแก้ภาพอาจจะโดยตั้งใจหรือไม่ตั้งใจ อีกสิ่งหนึ่งที่นำมาพิจารณาในการซ่อนข่าวสารนั้นก็คือ ความสามารถในการมองเห็นหรือความโปร่งใส (Transparency) โดยที่ข่าวสารที่ซ่อนลงไปไม่ควรสังเกตเห็นความแตกต่างได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับต้นฉบับและสุดท้ายนั้นคือความจุของข้อมูลข่าวสาร ที่สามารถใส่ลงในรูปภาพ ในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดที่สำคัญทั้ง 3 ส่วนนี้เป็นอย่างมาก

โดยทั่วไปแล้วการทำลายน้ำดิจิทัลมีข้อกำหนดมากมายขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานในแต่ละชนิด ดังนั้นข้อกำหนดบางข้ออาจจะไม่มีเทคนิคการทำลายน้ำบางเทคนิค อย่างไรก็ตามการทำลายน้ำดิจิทัลส่วนใหญ่ก็มีข้อกำหนดต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ความโปร่งใส (Transparency) อัลกอริทึมการทำลายน้ำต้องฝังลายน้ำโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลต้นแบบหรือกล่าวอีกอย่างก็คือลายน้ำไม่ควรมองเห็นได้
- มีความคงทน (Robustness) เมื่อภาพที่มีลายน้ำถูกโจมตีโดยวิธีการประมวลผลสัญญาณต่างๆ ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นรวมถึงการบีบอัดข้อมูลแบบสูญเสียสัญญาณภาพบางส่วน วิธีการเหล่านั้นต้องไม่สามารถทำให้ข้อมูลลายน้ำหายไปหรือถูกทำลายได้ แม้ข้อมูลลายน้ำบางส่วนจะหายไป ข้อมูลที่คงอยู่ต้องชัดเจนพอที่จะระบุเจ้าของที่แน่นอนได้
- มีความปลอดภัย (Security) เทคนิคการทำลายน้ำในภาพต้องมีความปลอดภัยถึงแม้ว่าจะรู้อัลกอริทึมที่แท้จริงในการฝังหรือการถอดลายน้ำ บุคคลอื่นที่ไม่ได้รับอนุญาตก็ไม่สามารถลบลายน้ำทิ้งไปได้ นอกจากเจ้าของผลงานเอง

- การทำลายข้อมูลลายน้ำดิจิทัลในภาพอาจทำได้ต่อเมื่อภาพถูกโจมตีด้วยวิธีการใดๆ จนคุณภาพของภาพลดต่ำจนไม่อาจใช้การใดๆ ได้อีก



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงทน ความสามารถในการมองเห็น และความจุของข้อมูล

## 2.6 หลักการในการทำลายน้ำดิจิทัล

ลายน้ำดิจิทัลเราสามารถอธิบายได้จากสัญญาณดิจิทัลที่กำหนดดังสมการที่ 2.1[19]

$$W = \left\{ w(k) \mid w(k) \in U, k \in \hat{W}^d \right\} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$W$  คือสัญญาณลายน้ำดิจิทัล

$w(k)$  คือสัญญาณลายน้ำดิจิทัลที่สร้างจากคีย์  $k$

$k$  คือกุญแจลายน้ำ (key)

$U$  คือข้อมูลลายน้ำ

$\hat{W}^d$  คือโดเมนลายน้ำของมิติ  $d = 1, 2, 3$  สำหรับ เสียง ภาพนิ่ง และวีดิโอ ตามลำดับข้อมูลลายน้ำโดยปกติจะมีค่าอยู่ในเซตต่อไปนี้

$U = \{0,1\}$  (ไบนารี)

$U = \{-1,1\}$  (ไบโพลาร์)

$U = \{-\infty, \infty\} \in R$  (เกาส์เซียนนอยส์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบางครั้งเราเรียก  $W$  ว่าเป็นลายน้ำต้นกำเนิด (Original watermarking) เพื่อให้อยู่ในรูปของการแปลงลายน้ำ ( $W' = F(W)$ ) ที่นำมาใช้สำหรับการสร้างลายน้ำ โครงสร้างการทำลายน้ำสามารถกำหนดจากตัวแปรเหล่านี้

1.  $X$  เป็นเซตของภาพดิจิทัล  $X$  ที่ถูกป้องกัน
2.  $W$  เป็นเซตสัญญาณลายน้ำที่กำหนดจากสมการที่ 2.1
3.  $K$  เป็นเซตของกุญแจลายน้ำ
4.  $G$  แทนอัลกอริทึมที่ใช้สร้างสัญญาณลายน้ำจากสมการที่ 2.1 โดยใช้ภาพดิจิทัลกุญแจลายน้ำ

$$G: X \times K \rightarrow W, \quad W = G(X, K) \quad (2.2)$$

กำหนดให้  $A \times B$  หมายถึงผลคูณคาร์ทีเซียนของเซต  $A$  กับเซต  $B$

5.  $E$  เป็นอัลกอริทึมการฝังลายน้ำ  $W$  ลงในภาพต้นแบบ  $X_0$

$$E: X \times W \rightarrow X, \quad X_w = E(X_0, W) \quad (2.3)$$

โดยที่  $X_w$  เป็นภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว

6.  $D$  เป็นอัลกอริทึมการฝังลายน้ำ

$$D: X \times K \rightarrow \{0,1\} \quad (2.4)$$

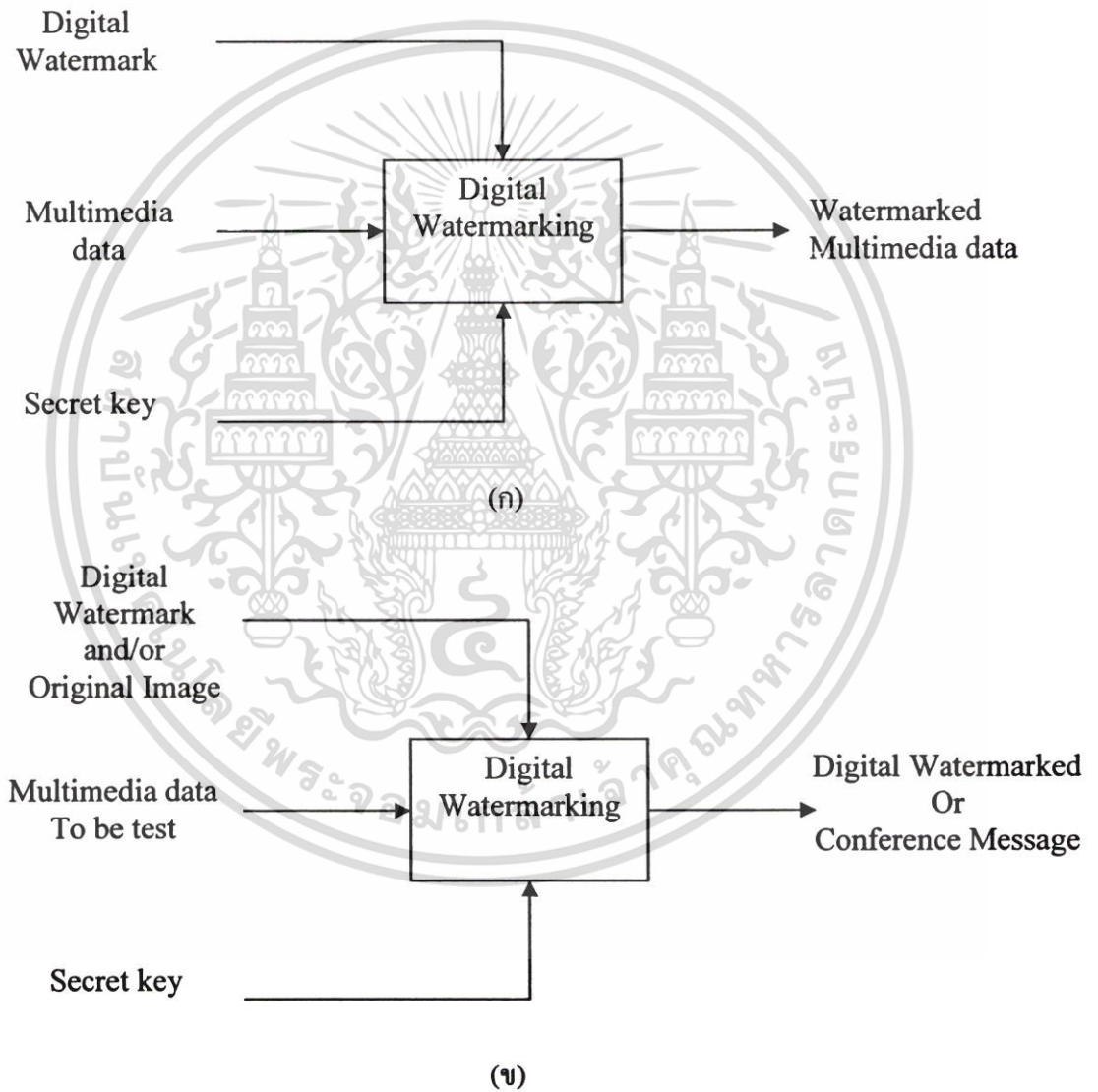
$$D(X, W) = \begin{cases} 1, & \text{if } W \text{ exist in } X \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

โดยทั่วไปเทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัลมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันนั่นคือ เป็นการใส่สัญญาณชนิดใดชนิดหนึ่งเข้าไปในตัวข้อมูลภาพก่อนที่ทำการเผยแพร่ ซึ่งสัญญาณนี้อาจถูกเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือตรวจสอบได้โดยผู้ที่เป็นเจ้าของหรือผู้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น

หลักการทั่วไปของการทำลายน้ำทุกประเภทประกอบด้วยขั้นตอนทั่วไปที่เหมือนกันคือ

1. การฝังลายน้ำดิจิทัล (Watermark embedding)
2. การตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล (Watermark detection) หรือการค้นคืนลายน้ำดิจิทัล (Watermark retrieval)

การฝังลายน้ำดิจิทัลแสดงในรูปที่ 2.7(ก) ข้อมูลภาพจะผ่านกระบวนการใส่สัญญาณลายน้ำ โดยสัญญาณที่ใส่เข้าไปจะมีค่าขึ้นอยู่กับกุญแจลับ (Secret Key) ที่ใช้ในการเข้ารหัสเพื่อที่จะได้มีเพียงผู้ที่ถือกุญแจลับนี้เท่านั้นที่จะสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขสัญญาณลายน้ำดังกล่าวได้ ส่วนกระบวนการตรวจสอบสัญญาณลายน้ำแสดงในรูปที่ 2.7(ข) ซึ่งจำเป็นต้องใช้กุญแจลับในการนำสัญญาณลายน้ำที่ถูกต้องกลับคืนมา ในการแบ่งแยกประเภทของเทคนิคการภาพลายน้ำดิจิทัลนั้น เราสามารถอาจใช้ตำแหน่งที่ทำการใส่สัญญาณลายน้ำเป็นหลักคือ ใช้ลักษณะวิธีการของกระบวนการใส่ลายน้ำดิจิทัลหรือกระบวนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลเป็นหลักก็ได้ [10]



รูปที่ 2.7 กระบวนการทำลายน้ำทั่วไป (ก) กระบวนการใส่ลายน้ำ (ข) กระบวนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล

## 2.7 เทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัล

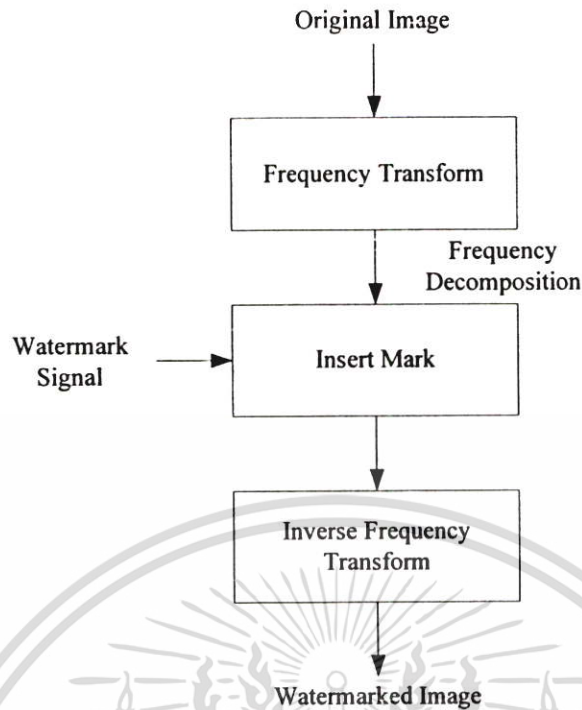
เทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลได้ถูกนำเสนอออกมาอย่างมากมายซึ่งพอจะแบ่งตามกรรมวิธีการออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ได้คือ วิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล (Spatial Domain) และวิธีการทำลายน้ำในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งพบว่าในโดเมนความถี่จะมีคุณสมบัติที่ดีกว่า เพราะว่าการประมวลผลสัญญาณส่วนใหญ่กระทำกับคุณลักษณะในโดเมนความถี่ได้ดี วิธีการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียลส่วนใหญ่มักต้องการภาพต้นแบบเพื่อช่วยในการตรวจหาลายน้ำ เพราะลายน้ำถูกฝังลงในพื้นที่ว่างของรูปภาพโดยตรง

### 2.7.1 เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนสเปเชียล

สำหรับเทคนิคประเภทนี้ค่าของพิกเซลในภาพจะถูกแก้ไขโดยตรงตามรหัสที่ทำการฝังลงไป โดยทั่วไปในการแก้ไขแบบนี้จะประกอบด้วยการเพิ่มสัญญาณที่ถูกมอดูเลตไปปรับความสว่างของภาพหรือย่านสีใดสีหนึ่งหรือรวมๆกัน วิธีหนึ่งที่ใช้แก้ไขค่าของพิกเซลคือการเพิ่มจำนวนแบบสุ่มขนาดเล็กเข้าไปในพิกเซล เช่นจาก 1D [1] หรือ 2D [11] ลำดับแบบสุ่มใน [12] ได้เสนอการใช้จำนวนแบบสุ่มในการเพิ่มหรือลดค่าพิกเซล ซึ่งลำดับแบบสุ่มนี้จะขึ้นอยู่กับค่าที่ใช้ในการสร้าง ลำดับจะแตกต่างกันออกไป โดยจำเป็นต้องรู้ค่าก็เพื่อใช้สำหรับการตรวจหาลายน้ำในภายหลัง ทั้งนี้จะป้องกันให้เฉพาะบุคคลที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่สามารถตรวจหาลายน้ำได้ เทคนิคดั้งเดิมถูกพัฒนาให้ใช้สำหรับระบบการสื่อสารแบบกระจายสเปกตรัม (Spread spectrum communication) โดยปกติการตรวจหาลายน้ำจะกระทำโดยใช้ค่าคอรีเลชันในการตัดสินใจว่ามีลายน้ำฝังอยู่หรือไม่ โดยทั่วไปเทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียลมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้คุณลักษณะพิเศษของระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) ซึ่งพิจารณาในส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวน สำหรับการฝังข้อมูลที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ สำหรับการป้องกันการตัดภาพออกบางส่วนทำได้ โดยการฝังข้อมูลเดิมในหลายๆส่วนของภาพ เทคนิคที่ทำในโดเมนสเปเชียลจะไม่ค่อยมีความคงทนต่อการเปลี่ยนขนาดภาพ

### 2.7.2 เทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนความถี่

สำหรับเทคนิคการทำลายน้ำในโดเมนความถี่จะทำการแปลงภาพด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ก่อนทำการฝังลายน้ำที่ข้อมูลภาพในโดเมนความถี่จะแตกต่างจากภาพในโดเมนสเปเชียล ซึ่งส่วนมากการฝังลายน้ำในโดเมนความถี่จะไม่มี การสูญเสียข้อมูลเลย การฝังลายน้ำจะทำการแก้ไขสัมประสิทธิ์ในโดเมนการแปลงและเมื่อทำการฝังลายน้ำเรียบร้อยแล้ว จะทำการแปลงกลับเพื่อให้ได้ภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่



รูปที่ 2.8 รูปแบบการฝังลายน้ำในโดเมนความถี่

รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบทั่วไปของการฝังลายน้ำในโดเมนความถี่ นำมาประยุกต์การแปลงความถี่โดยคำนวณหาสัมประสิทธิ์ส่วนที่สำคัญในสเปกตรัมที่สามารถใส่ลายน้ำลงไปโดยปราศจากความเสียหาย โดยค่าขนาดของลายน้ำจะมีเจ้าของเท่านั้นที่รู้ ที่สำคัญคือผู้บุกรุกอาจจะรู้ได้ว่าลายน้ำอยู่ในช่วงไหน ซึ่งการหาลายน้ำอยู่ในช่วงจำกัดผู้บุกรุกจึงต้องสมมุติว่าลายน้ำอยู่ในช่วงไหนซึ่งในความเป็นจริงไม่ใช่เรื่องง่ายในการตรวจหาลายน้ำ ผลการโจมตีที่ทำให้ข้อมูลเสียหายคล้ายกับความไม่เจตนาสัญญาณลดทอนเนื่องจากการบีบอัดหรือการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพที่จะต้องกำจัดส่วนสเปกตรัมที่มีนัยสำคัญที่มีอยู่ อีกสิ่งหนึ่งก็คือรูปผลลัพธ์ต้องเน้นในเรื่องการถูกลดทอนซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่าทำไมถึงต้องให้ลายน้ำมีความคงทน

## 2.8 การโจมตีลายน้ำ

การโจมตีลายน้ำคือการทำให้ข้อมูลลายน้ำซึ่งถูกฝังในภาพเกิดความเสียหาย โดยอาจเกิดจากความตั้งใจหรือไม่ได้ตั้งใจ รวมถึงในกระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพซึ่งข้อมูลลายน้ำในภาพถูกกระทำจนทำให้ลายน้ำลบเลือนหรือเกิดความเสียหายที่เกิดจากการโจมตีของผู้ประสงค์ร้ายทำให้เกิดความต้องการลายน้ำที่มีความทนทานต่อการโจมตีต่างๆเป็นอย่างมาก ลายน้ำที่ดีควรมีความทนทานต่อข้อกำหนดความคงทนเบื้องต้น ในหลายบทความ [13]

### 2.8.1 การบีบอัดภาพแบบ JPEG

เป็นการประมวลผลสัญญาณที่นิยมใช้กับภาพมากที่สุด การบีบอัดภาพแบบ JPEG ทำการตัดส่วนที่มองเห็นได้ที่ไม่สัมพันธ์กันในภาพ ซึ่งเป็นตัวทดสอบที่ดีสำหรับการทดสอบความคงทนของลายน้ำระดับการบีบอัดถูกควบคุมโดยปริมาณคุณภาพ แม้ว่าการบีบอัดภาพกับปริมาณคุณภาพต่ำไม่มีผลในเชิงพาณิชย์ ระบบการฝังลายน้ำบางระบบยังคงใช้ได้อยู่ ด้วยเหตุนี้การใช้ขนาดพารามิเตอร์การบีบอัดภาพยังให้การเปรียบเทียบที่แม่นยำมากกว่า

### 2.8.2 การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณ

การแก้ไขโดยการประมวลผลสัญญาณมีหลายประเภทได้แก่

2.8.2.1 การปรับค่าความสว่างและความแตกต่าง (Brightness and contrast enhancement) โดยทั่วไปแล้วไม่ทำให้เกิดปัญหาในการตรวจหาลายน้ำในทางตรงกันข้าม การทำปรับปรุงแบบนี้มักจะทำก่อนตรวจหา ซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า [19]

2.8.2.2 การปรับความคมชัด การทำการเลือน การกรองแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น (sharpening, blurring, linear and non linear filtering) ถ้าทำแบบนี้มากๆ สามารถทำให้ลายน้ำเลือนลงได้ แต่ในกรณีนี้สิ่งที่ทำให้มีการลดคุณภาพลงของภาพอย่างมาก คือตัวกรองภาพที่เรียกว่า despeckle ซึ่งมีกระบวนการแบบปรับเปลี่ยนได้โดยลดรายละเอียดของภาพแบบสุ่มเล็กน้อยต่างกันไป โดยยังคงรายละเอียดของภาพไว้

2.8.2.3 การเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบคอรีเลทและแบบไม่เป็นคอรีเลท (addition of correlated or uncorrelated noise) เข้าไปในเนื้อหาที่มีลายน้ำอยู่

2.8.2.4 การแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอลและดิจิตอลเป็นอนาล็อก (digital to analog (D/A) and analog to digital (A/D) conversion) เช่นการพิมพ์และการสแกนหรือการบันทึกเทป

### 2.8.3 การเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต

การทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพ โดยไม่มีการสูญเสียเรื่องคุณภาพของภาพ มีดังนี้

2.8.3.1 การย่อหรือการขยายภาพ (Resizing) ขนาดของภาพถูกเปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับต้นแบบซึ่งจะได้ผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำในตำแหน่งที่ตายตัวซึ่งจะไม่สามารถตรวจหาลายน้ำได้

2.8.3.2 การตัดภาพบางส่วน (Cropping) เป็นการตัดบางส่วนของภาพออกไป ซึ่งทำให้มีผลกับอัลกอริทึมที่กระจายลายน้ำออกไปทั่วทั้งภาพ

2.8.3.3 การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) จะมีผลอย่างมากถ้าหากพิจารณาพร้อมกับการตัดบางส่วนของภาพออกไป ถ้าหากส่วนย่อยของภาพถูกแยกออกจากภาพต้นแบบ ซึ่งทำให้เราไม่สามารถรู้ได้ว่าเกิดจากตัดบางส่วนของภาพนี้ออกจากตำแหน่งใดจากภาพต้นแบบ ในกรณีที่ไม่มี

ภาพต้นแบบในการเปรียบเทียบหากมีการเคลื่อนย้ายส่วนย่อยของภาพที่ถูกตัดออกมาไปไว้ยังตำแหน่งอื่น การเคลื่อนย้ายภาพนี้จะมีผลต่ออัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

2.8.3.4 การหมุนภาพ (Rotation) เป็นกรณีที่สำคัญที่สุดหากพิจารณาในกรณีที่หมุนภาพไป 90 องศาและ 180 องศา ซึ่งเหมือนกับปัญหาที่พบในการย่อหรือขยายขนาดของภาพ

2.8.3.5 การกลับด้านของภาพ (Flipping) เมื่อทำการสลับด้านซ้ายขวาของภาพ จะมีผลกับอัลกอริทึมที่ฝังลายน้ำลงในตำแหน่งที่ตายตัว

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาในการฝังและการถอดลายนํ้าดิจิตอลลงในรูปภาพ เนื่องจากการส่งผ่านสื่อข้อมูลดิจิทัลที่เป็นรูปภาพนั้นง่ายและยังอาจจะมีการนำรูปภาพนั้นไปเปลี่ยนแปลงทำให้เจ้าของรูปภาพนั้นได้รับความเสียหายได้ การทำลายนํ้าดิจิตอลสามารถแบ่งตามวิธีการทำลายนํ้าดิจิตอลกับรูปภาพได้ 2 ประเภทได้แก่

วิธีการทำลายนํ้าดิจิตอลในโดเมนสเปเชียล (Spatial domain) สามารถทำได้โดยการปรับแต่งโดยตรงที่ค่าระดับความสว่างในแต่ละพิกเซลของรูปภาพ วิธีการทั่วไปที่นิยมใช้กันคือ การปรับเปลี่ยนความสว่างของรูปภาพที่ตำแหน่งบิตที่ไม่สำคัญ (Least Significant Bit) ของสื่อข้อมูลดิจิทัลที่จะทำการซ่อนลายนํ้าดิจิตอลลงในสื่อข้อมูลดิจิทัลหลัก Van Schyndel, Tirkel และ Osborne [1] เสนอวิธีการปรับแต่งบิตที่ไม่สำคัญอย่างน้อย จำนวน 2 บิต Walton [17] เสนอวิธีการใช้รหัสสุ่มเทียม (Pseudo-Random) กระจายบนรูปภาพแล้วตรวจสอบค่าของผลบวกรวมกันที่ได้ของบิต 7 บิต แล้วทำการตรวจสอบกับค่าที่ได้ใส่ลงไป Wolfgang และ Delp [2] ใช้สัญญาณ Bipolar m-sequence เพิ่มในบิตบล็อกที่ได้แบ่งไว้โดยทั่วไปแล้วการทำลายนํ้าดิจิตอลในโดเมนสเปเชียลนั้นไม่ยุ่งยาก เมื่อทราบวิธีการก็ทำให้สามารถที่จะถอดลายนํ้าดิจิตอลโดยบุคคลอื่นได้ และการทำลายนํ้าดิจิตอลวิธีนี้จะไม่ทนต่อการบีบอัดข้อมูลที่มีค่าสูง แต่จะมีความทนทานค่อนข้างสูงในด้านการโจมตีทางตรีโกณมิติ (Geometric) กับรูปภาพ

วิธีการทำลายนํ้าดิจิตอลในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) จะทำการแปลงรูปภาพให้อยู่ในโดเมนความถี่ แล้วทำการฝังลายนํ้าในสัมประสิทธิ์การแปลงของรูปภาพ จากนั้นทำการแปลงกลับจะได้รูปภาพที่มีลายนํ้าดิจิตอลฝังอยู่ Piva, Barni และ Bartolini [18] ได้เสนอวิธีการฝังลายนํ้าโดยใช้รหัสสุ่มเทียมบนสัมประสิทธิ์การแปลงแบบ DCT (Discrete Cosine Transform) และโดยทำการเลือกฝังในช่วงสัมประสิทธิ์ที่เป็นความถี่กลางของสัมประสิทธิ์การแปลง Dugad, Ratakonda และ Ahuja [4] ได้เสนอวิธีการฝังลายนํ้าลงบนสัมประสิทธิ์การแปลงแบบ DWT (Discrete Wavelet Transform) โดยเลือกฝังลายนํ้ากับสัมประสิทธิ์ที่สำคัญของการแปลงเวฟเลต ซึ่งให้ผลดีต่อการโจมตีจากการประมวลผลภาพและการบีบอัดภาพ R. Dugad, K. Ratakonda, N. Ahuja [4] ได้เสนอการฝังลายนํ้าด้วยเทคนิคการแปลง DWT แบบอื่นเพื่อให้ได้สัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุดในการฝังลายนํ้า

Piva, Barni และ Bartolini [6] เสนอการฝึกลายน้ำด้วยเทคนิคการแปลง DWT เลือกทำการฝึกลายน้ำลงบนช่วงความถี่สูงของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลทและใช้ HVS พิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพการความคงทนของลายน้ำดิจิทัล

## 2.10 สรุป

ปัจจุบันมีนักวิจัยหลากหลายกลุ่มทั่วโลก ให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีทางการทำลายน้ำภาพดิจิทัล หลากๆเทคนิคได้พัฒนาและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยการนำคุณสมบัติของระบบการมองเห็นของมนุษย์ หรือการแทนที่ลายน้ำในพื้นที่ส่วนสำคัญของรูปภาพมาใช้ทำเป็นที่เชื่อว่าเทคโนโลยีดังกล่าว จะถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง รวมไปถึงเทคโนโลยีอื่นๆ ที่ใช้ในการป้องกันการละเมิดลิขสิทธิ์จะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และในอนาคตการทำลายน้ำจะมีขั้นตอนที่สลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น トラバドที่การละเมิดลิขสิทธิ์ยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างจริงจัง



## บทที่ 3

# ทฤษฎีพื้นฐาน

ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องและนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมา หลักการพื้นฐานของการแปลงเวฟเลต คุณสมบัติของการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform : DWT) โดยใช้แนวคิดการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis) ทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบของสัญญาณ (Decomposition) และการรวมสัญญาณ (Reconstruction) ซึ่งเป็นคุณสมบัติในการนำมาประยุกต์ใช้กับรูปภาพขนาด 2 มิติ และหลักการเกี่ยวกับระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) ซึ่งนำมาพิจารณาใช้ในการคำนวณหาฟังก์ชันน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความคมชัดและความมองไม่เห็นของลายน้ำดิจิทัลที่ทำการฝังลงในรูปภาพ

### 3.1 ความเป็นมาของการแปลงเวฟเวท

การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการแปลงสัญญาณ  $f(t)$  จากโดเมนเวลา (Time Domain) ไปเป็นสัญญาณ  $F(\omega)$  ซึ่งอยู่ใน โคนเมนความถี่ (Frequency Domain) หรือเรียกทั่วไปว่าการหาสเปกตรัมของสัญญาณ  $f(t)$  นั้นเองโดยมีสมการเป็น

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (3.1)$$

สังเกตเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการแปลงจะทำตลอดย่านความถี่  $-\infty$  ถึง  $\infty$  ดังนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่ระยะเวลาใดๆ ก็จะส่งผลกระทบต่อตลอดย่านของสเปกตรัม  $F(\omega)$  ด้วย นอกจากนี้การแปลงฟูเรียร์ยังไม่สามารถเลือกทำการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงเวลาหรือความถี่ได้ ดังนั้นวิธีการแปลงฟูเรียร์จึงให้ข้อมูลที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น นอกจากนี้ในทางปฏิบัติ หากสัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ (Non-stationary signal) การใช้การแปลงฟูเรียร์จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณเนื่องจากมีข้อมูลมากเกินไปในการคำนวณใหม่ในแต่ละครั้ง ดังนั้นการแปลงฟูเรียร์จึงเหมาะสำหรับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ (Stationary signal)

การแปลงกาเบอร์ ( Gabor transform ) เป็นการแปลงที่ได้พัฒนาขึ้นมา เพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะเป็นการแปลงฟูเรียร์เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (Window function) ซึ่งหน้าต่างนี้จะใช้ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian function) เท่านั้น

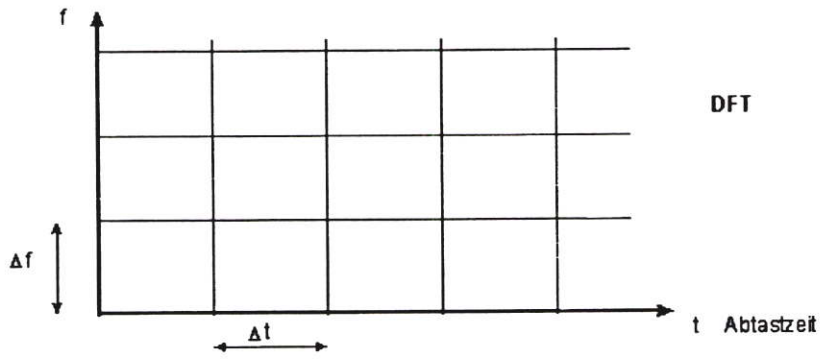
$$g_a(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot a}} e^{-\frac{t^2}{4a}} \quad (3.2)$$

$$G_{a,b}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} f(t) g_a(t-b) dt \quad (3.3)$$

จากสมการที่ 3.2 เป็นฟังก์ชันหน้าต่างแบบเกาส์เซียนและสมการที่ 3.3 เป็นสมการของการแปลงกาเบอร์จะเห็นได้ว่าการแปลงแบบนี้ จะสามารถเลือกตำแหน่งการวิเคราะห์สัญญาณโดยกำหนดพารามิเตอร์  $b$  และเลือกช่วงความถี่ด้วยพารามิเตอร์  $a$  แต่เนื่องจากแปลงกาเบอร์ให้ฟังก์ชันหน้าต่างแบบเดียว จึงไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาต่อมาเป็นการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (Short Time Fourier Transform : STFT) ซึ่งจะสามารถเลือกฟังก์ชันหน้าต่างที่จะใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณได้ทำให้เกิดความยืดหยุ่น ในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสัญญาณอินพุตที่จะวิเคราะห์ได้ดียิ่งขึ้น

$$G_{a,b}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} (e^{-i\omega t} f(t)) w(t-b) dt \quad (3.4)$$

สมการที่ 3.4 เป็นการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น โดยที่ตำแหน่งเวลาในการวิเคราะห์จะกำหนดโดยค่า  $b$  และช่วงความถี่ในการวิเคราะห์จะกำหนดด้วยความถี่ของฟังก์ชันหน้าต่างนั้นๆ จะสังเกตเห็นได้ว่าทั้งการแปลงกาเบอร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น จะมีลักษณะของช่วงการวิเคราะห์ที่คงที่ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แสดงช่วงเวลาและความถี่ที่คงที่ (Fixed resolution transform) ทั้งนี้ฟังก์ชันหน้าต่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติขณะทำงานซึ่งไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะมีช่วงที่แคบ ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำจะมีช่วงคาบเวลาที่กว้างกว่า ดังนั้นการแปลงกาเบอร์และการแปลงฟูเรียร์ช่วงสั้นอาจจะให้ข้อมูลที่ได้จากการแปลงออกมามากเกินไป ดังนั้นช่วงเวลาควรจะมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับช่วงความถี่ที่จะทำการวิเคราะห์ นั่นคือในช่วงความถี่ที่สูงขึ้นจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์น้อยลง และในช่วงความถี่ที่ต่ำลงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่มากขึ้น [14]

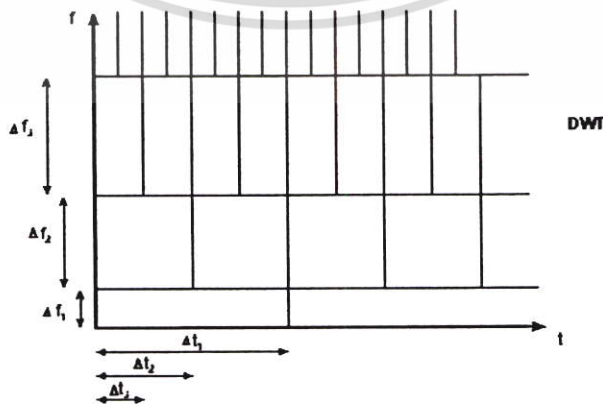


รูปที่ 3.1 ระยะเวลาและความถี่แบบคงที่ (Constant time frequency plan)

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้มีการพัฒนาการแปลงในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) ซึ่งจะเป็นการแปลงผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง โดยฟังก์ชันหน้าต่างสามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาที่เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ได้ โดยเรียกฟังก์ชันหน้าต่างแบบนี้ว่า ฟังก์ชันเวฟเลต (Wavelet function)

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) dt \tag{3.5}$$

$\Psi(t)$  เป็นฟังก์ชันเวฟเลตแม่ ซึ่งจะถูกและเลื่อนตำแหน่งโดยพารามิเตอร์  $a, b$  ตามลำดับ พิจารณารูปที่ 3.2 จะพบว่าระยะเวลาและความถี่จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาและความถี่สูงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์เพียงสั้นๆ ( $\Delta f$  สูง  $\Delta t$  ต่ำ) แต่ในช่วงความถี่ต่ำจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่นานกว่า ( $\Delta f$  ต่ำ  $\Delta t$  สูง) [14] ซึ่งจะเหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณในทางปฏิบัติ

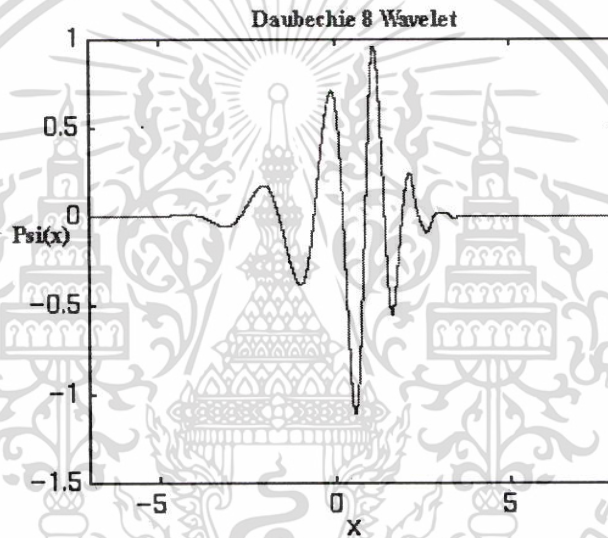


รูปที่ 3.2 ระยะเวลาและความถี่สำหรับการแปลงเวฟเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 หลักการเบื้องต้นของการแปลงเวฟเลต

ทฤษฎีเวฟเลตเป็นวิธีหนึ่งที่จะใช้ในการอธิบายลักษณะของสิ่งต่างๆ หรือระบบใดๆ เสมือนการแตกสิ่งเหล่านั้นออกเป็นส่วนประกอบเล็กๆ ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าสัญญาณใดๆ จะสามารถสร้างขึ้นได้ โดยมีคลื่นเวฟเลตฟังก์ชันพื้นฐาน (Basic function) เป็นเวฟเลตต้นกำเนิดที่เรียกว่าเวฟเลตแม่ (Mother wavelet) คลื่นเวฟเลตแต่ละอันจะอยู่ในเขตของเวฟเลตแม่คลื่น เวฟเลตแต่ละคลื่นเกิดจากการทำสเกล (Scaling) คือการหดเข้าหรือขยายออก (Dilation) และการเลื่อนตำแหน่ง (Translation or Shifting) ของเวฟเลตแม่โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ กันคุณสมบัติสัมประสิทธิ์เวฟเลตแต่ละตัว ลักษณะของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นเวฟเลต ชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเวฟเลตคาบีชี 8 (Daubechie 8)



รูปที่ 3.3 ลักษณะของเวฟเลตแบบคาบีชี 8

สมการทั่วไปของฟังก์ชันเวฟเลตที่ตำแหน่ง  $a$  และ  $b$  ใดๆ ที่สัมพันธ์กัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.6)$$

$\Psi(t)$  เป็นฟังก์ชันเวฟเลตแม่ที่ถูกเลื่อนตำแหน่งและถูกสเกลโดยพารามิเตอร์  $a$  และ  $b$  ตามลำดับ โดยที่ช่วงเวลาและความถี่ในการแปลงจะสัมพันธ์กันและเพื่อให้เวฟเลตถูกสเกลไปแล้ว

มีพลังงานเท่ากับเวฟเลทแม่จึงเท่ากับเวฟเลทแม่จึงต้องทำการนอร์มอลไลซ์ (Normalize) ด้วยค่า  $\frac{1}{\sqrt{a}}$  เสมอ

### 3.3 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด

การอธิบายทฤษฎีเวฟเลท สามารถอธิบายได้โดยใช้การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution analysis) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สัญญาณจากคุณสมบัติการซ้อนทับกันของปริภูมิย่อยแสดงดังสมการที่ 3.7

$$V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \subset L^2 \quad (3.7)$$

พิจารณา  $a, b$  เป็นจำนวนจริงใดๆ และ  $i, j$  เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (unit vector) ในปริภูมิเวกเตอร์ (vector space) ดังนั้นถ้า  $ai + bj \in V$  แล้วจะได้ว่าเวกเตอร์ใดๆ ที่ประกอบขึ้นจากเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตัวเดียวหรือหลายตัว แล้วเวกเตอร์นั้นยังคงอยู่ในปริภูมิเวกเตอร์  $V$  นี้เวกเตอร์หนึ่งหน่วยดังกล่าวจะเรียกว่าเวกเตอร์พื้นฐาน (basic vector) ถ้าเวกเตอร์เป็นออร์โธกอนัล (Orthogonal) ซึ่งกันและกันผลคูณภายในมีค่าเท่ากับศูนย์ดังสมการที่ 3.8

$$\langle V, W \rangle = \sum_n v_n w_n^* = 0 \quad (3.8)$$

ในทำนองเดียวกัน เราจะพิจารณาเวกเตอร์เป็นฟังก์ชัน ก็จะเรียกฟังก์ชันพื้นฐานนี้ว่าฟังก์ชันพื้นฐาน (basic function) โดยถ้าฟังก์ชันพื้นฐานของเวกเตอร์ทำผลคูณภายใน (Inner product) กันแล้วมีค่าเป็นศูนย์ จะได้ว่าฟังก์ชันพื้นฐานดังกล่าวจะแสดงคุณสมบัติออร์โธกอนัล คือตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังสมการที่ 3.9

$$\langle f(t), g(t) \rangle = \int_a^b f(t) \cdot g^*(t) dt = 0 \quad (3.9)$$

และถ้าฟังก์ชันพื้นฐานของเวกเตอร์ทำผลคูณภายในตัวเองแล้วมีค่าเป็นหนึ่ง ฟังก์ชันพื้นฐานที่มีคุณสมบัติทั้งสองก็จะเรียกว่าออร์โธนอร์มอล (Orthonormal)

ถ้าพิจารณาในลักษณะของสัญญาณอาจจะกล่าวได้ว่า ฟังก์ชันพื้นฐานเป็นสัญญาณพื้นฐานเล็กๆ ที่สามารถนำมาประกอบกันเป็นปริภูมิของสัญญาณใดๆ ดังนั้นถ้าให้  $U_i$  เป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่ออร์โธนอร์มอล (Orthonormal basis function) ใดๆ และ  $C_i$  เป็นสัมประสิทธิ์ของ  $U_i$  จะได้ว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ  $v$  ใดๆนั้นจะสามารถประกอบขึ้นจากฟังก์ชันพื้นฐานที่ออร์โธโนมอลที่มีค่าขนาดต่างๆ รวมกันดังสมการที่ 3.10

$$v = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_i U_i, \dots, v \in V \quad (3.10)$$

สมมติให้  $V_j$  เป็นปริภูมิเวกเตอร์ที่มี  $j$  แสดงถึงระดับความละเอียดและจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชันนั้น จากลักษณะคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณของฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชันนั้น จากลักษณะคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่างๆ ได้สรุปลักษณะคุณสมบัติได้ดังนี้

1.  $V_{-\infty} \dots \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \dots \subset V_{\infty}$
2.  $\text{Close}_{L^2}(U_{j \in Z} V_j) = L^2(R)$ ;  $j \in Z$ ;  $Z = \text{เซตของจำนวนเต็ม}$ ;  $R$  เป็นเซตของจำนวนจริง
3.  $\lim_{j \rightarrow -\infty} V_j \cap V_j = \{0\}$
4.  $V_j \oplus W_j = V_{j+1}$ ;  $j \in Z$
5.  $f(x) \in V_j \Leftrightarrow F(2x) \in V_{j+1}$ ;  $j \in Z$

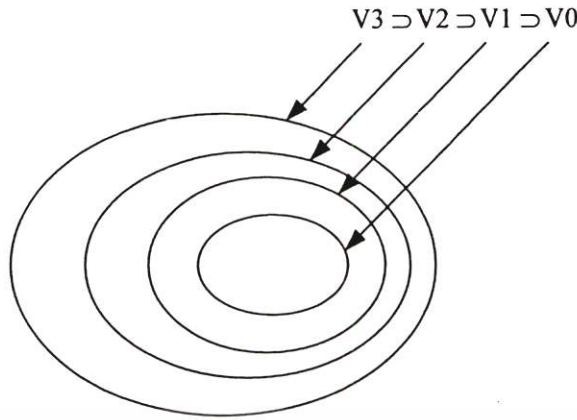
จากลักษณะคุณสมบัติทั้ง 5 ข้อถ้ากำหนดให้  $f(t) \in S$  เมื่อ  $S$  เป็นปริมาณเวกเตอร์ของสัญญาณ เมื่อพิจารณาเทียบกับคุณสมบัติข้อที่ 2 จะได้ว่าสัญญาณ  $f(t)$  สามารถประมาณให้อยู่ในปริภูมิเวกเตอร์ที่ระดับความละเอียด  $j$  ใดๆ ได้โดยถ้าระดับความละเอียดเพิ่มขึ้นถึงอนันต์ สัญญาณที่ประมาณนั้นยังคงเข้าสู่สัญญาณต้นกำเนิดนั่นคือ  $f(t) \in L^2(R)$  และในทางตรงกันข้าม ถ้าระดับความละเอียดที่ระดับ  $j$  ลดน้อยลงเรื่อยๆ จะทำให้สัญญาณที่ประมาณมีข่าวสารสูญหายไปมากขึ้น ตามลักษณะคุณสมบัติข้อที่ 3

### 3.3.1 ฟังก์ชันสเกลลิง (Scaling function)

พิจารณาปริภูมิเวกเตอร์ที่ระดับความละเอียด  $j$  จะมีฟังก์ชันพื้นฐานที่จะประกอบกันเป็นสัญญาณการประมาณของ  $f(t)$  เมื่อ  $f(t) \in V_j$  ซึ่งเรียกฟังก์ชันพื้นฐานเหล่านี้ว่า ฟังก์ชันสเกลลิง เป็นฟังก์ชันพื้นฐานย่อยๆ ที่เกิดที่เวลาต่างๆ กันภายใน  $V_j$  เดียวกัน ฟังก์ชันสเกลลิงที่ระดับปริภูมิ (ระดับความละเอียดสูง) จะมีความถี่สูงและที่ระดับต่ำกว่าจะมีความถี่ต่ำกว่า

เนื่องจากความถี่จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความละเอียดของปริภูมิ  $j$  นั้นๆ โดยอาศัยลักษณะคุณสมบัติที่ 5 จะได้ว่า

$$f(x) \in V_0 \Leftrightarrow F(2x) \in V_1 \quad ; j \in Z \quad (3.11)$$



รูปที่ 3.4 การซ้อนทับกันของปริภูมิฟังก์ชันสเกลลิง

การซ้อนทับกันของปริภูมีย่อย  $V_j$  ในสมการที่ 3.7 และ 3.11 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันสเกลลิงของแต่ละปริภูมิดังรูปที่ 3.4 นั่นคือที่ระดับ  $V_j$  มีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่ที่ระดับ  $V_0$  ลักษณะดังกล่าวก็คือการสเกลทางเวลาของฟังก์ชันสเกลลิง ดังนั้นเซตของฟังก์ชันสเกลลิงที่เกิดจากการทำสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันสเกลลิงพื้นฐาน ที่ระดับ  $j$  และ  $j+1$  ใดๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \varphi(2^j t - k) \quad (3.12)$$

$$V_j = \text{span}\{\varphi_k(2^j t)\} = \text{span}\{\varphi_{j,k}(t)\} \quad (3.13)$$

ทุกๆ ฟังก์ชัน  $f(t)$  ที่อยู่ในปริภูมิ  $V_j$  สามารถเขียนอยู่ในรูปของผลรวมฟังก์ชันสเกลลิง  $\varphi_{j,k}(t)$  ได้ดังนี้

$$f(t) = \sum_k a_k \varphi(2^j t - k) \quad (3.14)$$

ปริภูมีย่อยที่มี  $j > 0$  จะมีรูปร่างของสเกลลิงฟังก์ชัน  $\varphi_{j,k}(t)$  ที่มีลักษณะแคบและช่วงการเลื่อน  $k$  จะเป็นช่วงสั้นๆ แต่สำหรับปริภูมีย่อยที่มี  $j < 0$  จะมีรูปร่างของสเกลลิงฟังก์ชัน  $\varphi_{j,k}(t)$  ที่มีลักษณะกว้างและช่วงการเลื่อน  $k$  จะเป็นช่วงยาว ดังนั้นฟังก์ชัน  $f(t)$  ในปริภูมีย่อยที่มี  $j < 0$  จะมีลักษณะข้อมูลที่หยาบและฟังก์ชัน  $f(t)$  ในปริภูมีย่อยที่มี  $j > 0$  จะมีลักษณะข้อมูลที่มีรายละเอียดมากกว่า

### 3.3.2 ฟังก์ชันเวฟเลข

ฟังก์ชันเวฟเลข  $\varphi_{j,k}(t)$  คือเซตของฟังก์ชันมูลฐานที่แผ่ทั่วถึงปริภูมิย่อยที่เกิดจากต่างระหว่างปริภูมิย่อย  $V_{j+1}$  กับ  $V_j$  ได้จากสมการที่ 3.7 จากนิยามที่กำหนดให้เซตฟังก์ชันเวฟเลขแผ่ไปทั่วถึงปริภูมิย่อย  $W_0$  ดังนั้น

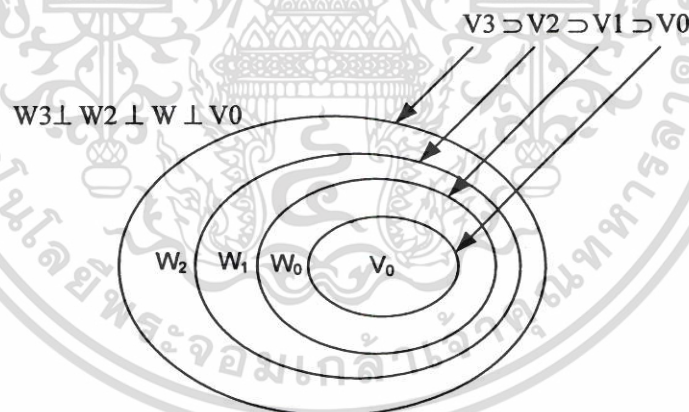
$$V_1 = V_0 \oplus W_0 \quad (3.15)$$

$$V_2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \quad (3.16)$$

โดยทั่วไปสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$L^2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \dots \quad (3.17)$$

เมื่อ  $V_0$  เป็นปริภูมิเริ่มต้นที่แผ่ขยายออกไปโดยฟังก์ชันสเกลลิง  $\varphi_{j,k}(t)$  จากรูปที่ 3.5 แสดงฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเลขในปริภูมิต่างกัน เครื่องหมาย  $\oplus$  เป็นการรวมกันทางเชิงเส้นที่ตั้งฉากกัน



รูปที่ 3.5 ปริภูมิของฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเลขกรณีที่ตั้งฉากกัน

การเริ่มต้นของปริภูมิสามารถเริ่มที่ระดับ  $j$  ใดๆ เช่นเริ่มที่  $j = 10$  สมการที่ 3.17 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$L^2 = V_{10} \oplus W_{10} \oplus W_{11} \oplus \dots \quad (3.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถ้า  $j = -\infty$  จากสมการที่ 3.17 จะกลายเป็น

$$L^2 = \dots \oplus W_{-2} \oplus W_{-1} \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus W_2 \oplus \dots \quad (3.19)$$

ผลของสมการที่ 3.19 สามารถขยายไปที่ระดับความละเอียด  $j+1$  หรือปริภูมิเวฟเลทจะแผ่ทั่วถึง โดยปริภูมิสเกลลิงที่ระดับความละเอียดสูงกว่า  $V_{j+1} = V_j + W_j$  ดังนั้นทุกฟังก์ชันเวฟเลทในปริภูมิ  $W_j$  สามารถเขียนเป็นผลรวมเชิงเส้นของฟังก์ชันสเกลลิงใน  $V_{j+1}$  ได้

$$\Psi(t) \sum_n h_l(n) \sqrt{2} \varphi(2t-n) \quad ; n \in \mathbb{Z} \quad (3.20)$$

ชุดลำดับ  $h_l(n)$  เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเลท และ  $\Psi(t)$  เรียกว่าเวฟเลทต้นแบบหรือเวฟเลทแม่ จากสมการที่ 3.20 ฟังก์ชันการกระจายเวฟเลทอยู่ในรูปดังต่อไปนี้

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \Psi(2^j t - k) \quad (3.21)$$

เมื่อ  $2^j$  คือการบิดหดของตัวแปร  $t$ ,  $2^j k$  คือการเลื่อนของตัวแปร  $t$  และ  $\Psi_{j,k}(t)$  ที่แผ่ทั่วปริภูมิ  $L^2(\mathbb{R})$  แล้ว ดังนั้นฟังก์ชัน  $g(t)$  ที่อยู่ใน  $L^2(\mathbb{R})$  สามารถเขียนเป็นสมการที่ 3.22 ได้ดังนี้

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(k) \varphi_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(j,k) \Psi_{j,k}(t) \quad (3.22)$$

เทอมแรกของสมการที่ 3.22 แสดงส่วนประมาณของฟังก์ชัน  $g(t)$  ส่วนเทอมที่สองจะแสดงรายละเอียดของฟังก์ชันซึ่งเมื่อรวมกับส่วนประมาณจะทำให้ได้รับส่วนประมาณที่ระดับความละเอียดสูงขึ้น ในกรณีเป็นเวฟเลทอโรคอนัลค่าสัมประสิทธิ์  $c(k)$  และ  $d(j,k)$  คำนวณจากผลคูณภายใน

$$c(k) = c_0(k) = \langle g(t), \varphi_k(t) \rangle = \int g(t) \varphi_k(t) dt \quad (3.23)$$

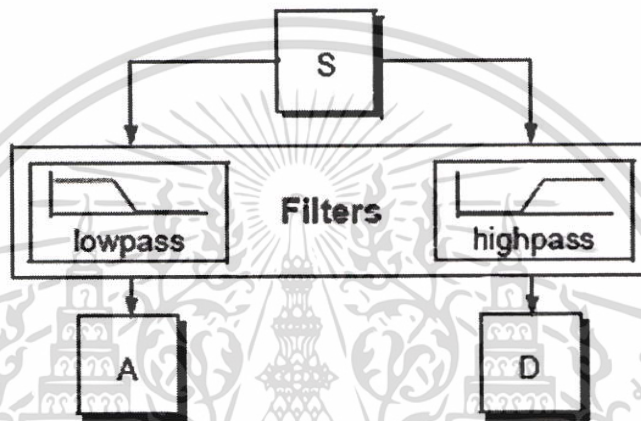
และ

$$d(k) = d(j,k) = \langle g(t), \varphi_{j,k}(t) \rangle = \int g(t) \varphi_{j,k}(t) dt \quad (3.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การแปลงเวฟเลขแบบไม่ต่อเนื่อง

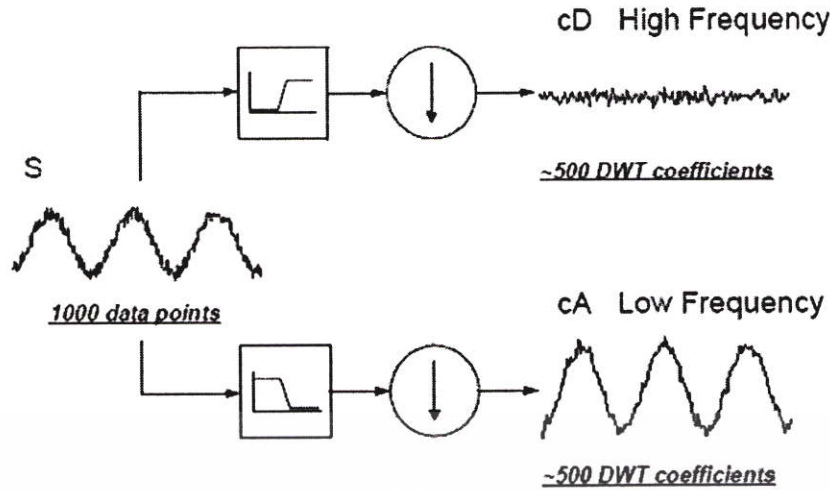
กระบวนการแปลงเวฟเลขจะมีลักษณะคล้ายกับกระบวนการออกเทฟฟิลเตอร์แบงก์ (Octave filter banks) เนื่องจากการพิจารณาสัญญาณผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (Window function) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครึ่งละสองเท่า ซึ่งเปรียบเสมือนการนำสัญญาณอินพุตผ่านวงจรกรองความถี่ที่มีแบนวิธที่มีอัตราการลดลงสองเท่าเหมือนกับแบนวิธของฟังก์ชันหน้าต่างในขณะนั้นนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาหลักการของฟิลเตอร์แบงก์มาใช้ในการแปลงเวฟเลขในทางปฏิบัติได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

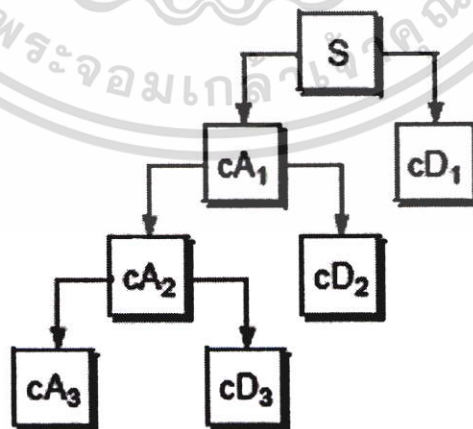
#### 3.4.1 การแปลงเวฟเลขโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์

ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (Two channel filter banks) เป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งเป็นส่วนของความถี่ต่ำและส่วนของความถี่สูง ดังนั้นฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณจึงประกอบด้วยส่วนที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Lowpass filter : L) และวงจรกรองความถี่สูงผ่าน (Highpass filter : H) ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (Two-channel analysis filter banks) โดยนำสัญญาณ S ผ่านการแยกองค์ประกอบสัญญาณ (decomposition) ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูง



รูปที่ 3.7 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ

ลักษณะของการวิเคราะห์แบบออกเทฟฟิลเตอร์แบงค์จะเป็นโครงสร้างแบบทรี (Tree structure) ซึ่งเป็นการเอาฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณมาเรียงต่อกัน โดยใช้สัญญาณเอาท์พุท ( $cA$ ) ในส่วนที่เป็นความถี่ต่ำมาทำการแยกแบนความถี่ออกอีกครั้งหนึ่ง กระบวนการแยกองค์ประกอบสามารถทำซ้ำต่อไปเรื่อยๆ ได้ด้วยการนำ successive approximations มาทำการแยกองค์ประกอบอีกครั้ง ดังนั้นสัญญาณหลายๆ สามารถแตกออกไปได้อีก ซึ่งส่วนประกอบที่มีรายละเอียดที่ต่ำกว่า การทำแบบนี้เรียกว่า การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiresolution decomposition) ดังรูปที่ 3.8 ลักษณะของกระบวนการวิเคราะห์ตามรูปแบบของฟิลเตอร์แบงค์จะเรียกว่าการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Wavelet Transform : DWT)

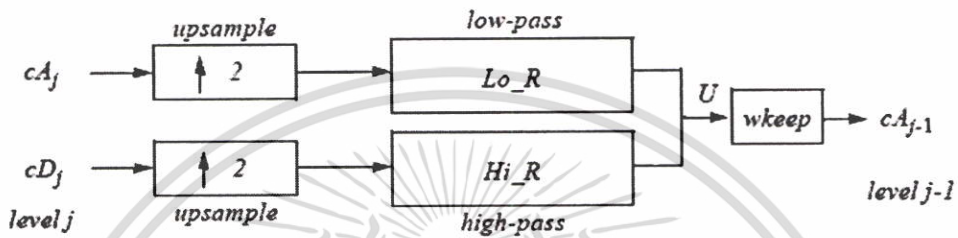


รูปที่ 3.8 การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiresolution decomposition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การแปลงกลับเวฟเลตโดยใช้หลักการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์

การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่องนั้นเป็นการกระจายสัญญาณลงในปริภูมิของ  $V_j$  และ  $W_j$  ซึ่งทำให้รายละเอียดของสัญญาณลดลง ดังนั้นในการรวมสัญญาณปริภูมิ  $V_j$  และ  $W_j$  กลับไปเป็นสัญญาณ  $V_{j+1}$  ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายละเอียดของสัญญาณ  $g(t)$  จากระดับ  $j$  ไปเป็นระดับ  $j+1$  วิธีดังกล่าวนี้จะเหมือนกับ ขบวนการสังเคราะห์การสร้างกลับฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นการหาค่าของ  $C_{j+1}(n)$  จากค่า  $CA_j(n)$  และ  $CD_j(n)$  ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ

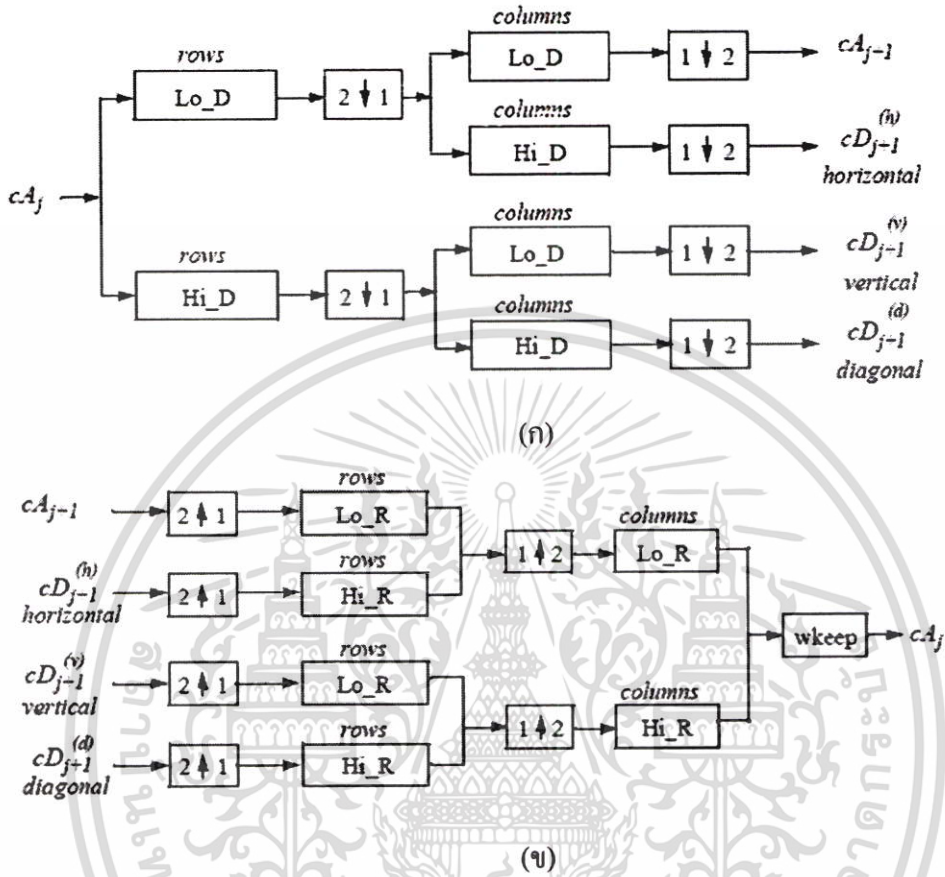
ลักษณะของฟิลเตอร์แบงค์ที่มีโครงสร้างแบบทรี เมื่อทำการรวมสัมประสิทธิ์  $C_j(k)$  และ  $D_j(k)$  กลับมาเป็น  $C_{j+1}(n)$  อีกครั้งกระบวนการนี้เรียกว่า การแปลงกลับเวฟเลต (Inverse Wavelet Transform) จากกระบวนการแปลงเวฟเลตและการแปลงเวฟเลตกลับจะสังเกตได้ว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการแปลงกลับจะมีค่าประมาณเท่ากับสัญญาณอินพุตของการแปลงเวฟเลต โดยที่รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) จะเป็นลักษณะการสร้างกลับอย่างสมบูรณ์ของฟิลเตอร์แบงค์ (Perfectly reconstruction filter banks) จากที่กล่าวมานี้จะใช้เฉพาะในกรณีของ ออร์โธโนมอลเวฟเลตหรือออร์โธโนมอลฟิลเตอร์แบงค์เท่านั้น กระบวนการสังเคราะห์ตามรูปของฟิลเตอร์แบงค์จะเรียกว่าการแปลงกลับเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Inverse Discrete Wavelet Transform : IDWT)

### 3.5 การนำเวฟเลตมาใช้กับข้อมูลภาพแบบ 2 มิติ

การนำเวฟเลตมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพแบบสองมิติ ซึ่งเก็บค่าของแต่ละจุดภาพในรูปของเมทริกสามารถทำได้โดยทำการแปลงแถว (Rows) ของภาพก่อน จากนั้นจึงทำการแปลงหลัก (Columns) ของภาพในแถวที่ได้รับการแปลงแล้วดังรูปที่ 3.10 (ก)

จากรูปที่ 3.10 (ก) สามารถอธิบายได้ว่าการแปลงเวฟเลต 2 มิติจะเป็นการแปลงในแนวแกนนอน ตามจำนวนแถวของจุดภาพซึ่งทำให้ภาพถูกแบ่งออกเป็น 2 สับแบน จากนั้นจะทำการแปลงในแนวแกนตั้ง ตามจำนวนคอลัมน์ของจุดภาพ ดังนั้นภาพในลักษณะ 2 มิติ เมื่อนำภาพมาผ่านการ

แปลงเวฟเลขหนึ่งครั้งจะถูกแบ่งออกเป็น 4 สับแบน ซึ่งถือว่าการแปลงเวฟเลขแบบระดับเดียว (Single level)

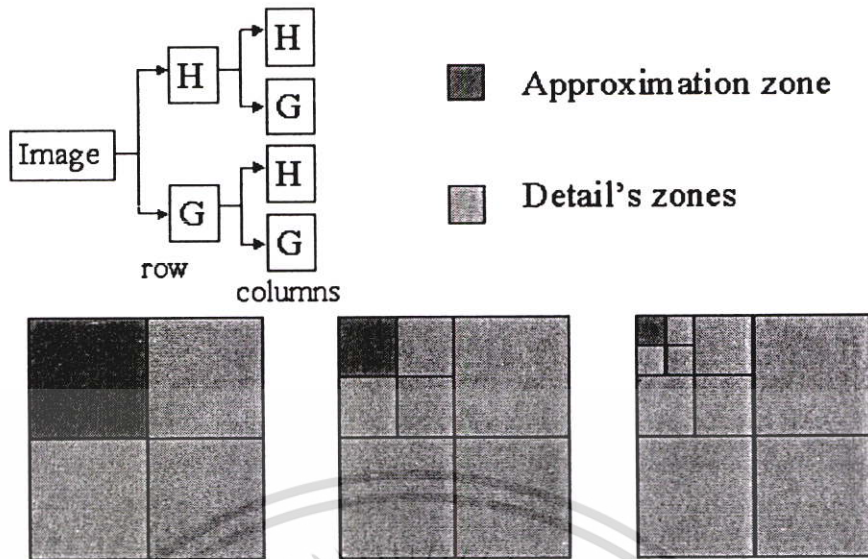


รูปที่ 3.10 การแปลงเวฟเลขของข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์เบงค์ (ก) การแยกองค์ประกอบของเวฟเลข (ข) การรวมองค์ประกอบของเวฟเลข

สับแบนแรก (Sb1) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำผ่านทั้งแนวนอนและแนวตั้งแทนด้วย LL สับแบนที่ 2 (Sb2) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแนวนอน และตัวกรองความถี่สูงผ่านแนวตั้งแทนด้วย LH สับแบนที่ 3 (Sb3) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงผ่านแนวนอนตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแนวตั้งแทนด้วย HL สับแบนสุดท้าย (Sb4) จะเป็นส่วนของภาพที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงผ่านทั้งแนวตั้งและแนวนอนแทนด้วย HH

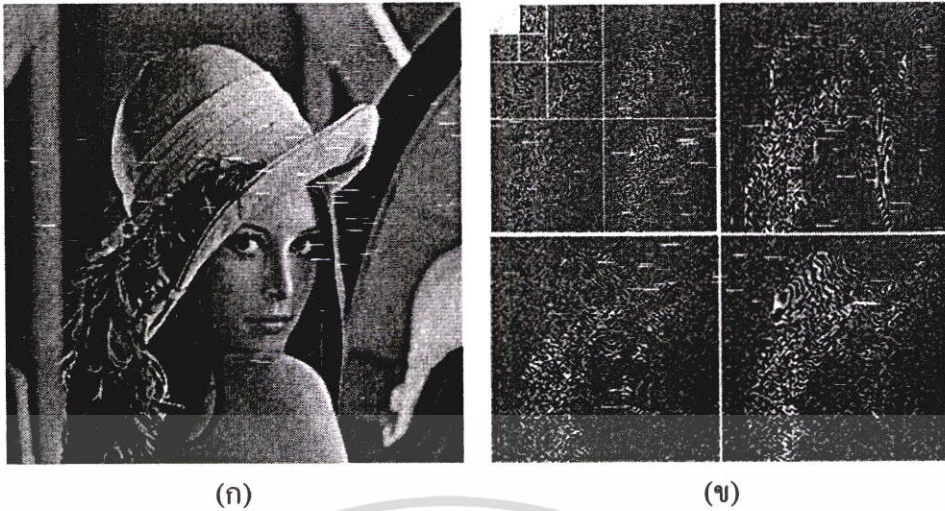
เราสามารถสร้างภาพกลับขึ้นมาใหม่จากสับแบนย่อย แสดงดังรูปที่ 3.10 (ข) โดยนำสับแบนย่อยทั้ง 4 สับแบนมาเพิ่มจำนวนข้อมูลเป็น 2 เท่า หลังจากเพิ่มจำนวนข้อมูลแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะถูกกรองไปตามแนวตั้งและบวกเข้าด้วยกันจากนั้นทำซ้ำไปตามแนวนอนจะได้ผลลัพธ์ที่สร้างกลับขึ้นมาใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การแปลงเวฟเลทแบบหลายระดับ

ผลจากการแปลงเวฟเลทข้อมูลในสับแบนที่ 1 จะเป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดต่ำที่สุด ส่วนที่แสดงรายละเอียดของภาพจะเป็นข้อมูลในสับแบนที่ 2, 3, 4 และถ้านำเอาสับแบนที่ 1 ไปผ่านการแปลงเวฟเลทต่อไปอีกก็จะทำให้สามารถแยกภาพได้ออกเป็นหลายสับแบนเพิ่มมากขึ้นเรียกว่า การแปลงเวฟเลทแบบหลายระดับ (Multiresolution Wavelet Transform) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างการแยกองค์ประกอบของภาพ Lena โดยใช้การแปลงเวฟเลท แบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ ซึ่งใช้ฟิลเตอร์ Daubechies 6



รูปที่ 3.12 ภาพการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ (ก) ภาพต้นแบบ Lena (ข) ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ

### 3.6 ระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System, HVS)

เมื่อวัตถุต้นจะเกิดการหักและขยายของสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดคลื่นเสียงซึ่งสามารถรับรู้ได้ด้วยหูของมนุษย์รับรู้ว่ามีวัตถุนั้น อย่างไรก็ตามถ้าวัตถุไม่มีการสั่นหุจะไม่สามารถรับรู้ว่ามีวัตถุธรรมชาติได้มอระบบการรับรู้อื่นที่เรียกว่าตา ซึ่งสามารถจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มาจากวัตถุได้ เชื่อว่ามากกว่า 70% ของข่าวสารเป็นการบันทึกโดยการมองเห็น เนื่องจากเหตุนี้การมองเห็นเป็นการรับรู้ที่สำคัญมากที่สุด (เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ การรับรู้จาก การได้ยิน, การดม, การสัมผัส, การชิม) ของมนุษย์ เนื่องจากเอาที่ทุกของระบบมัลติมีเดียโดยทั่วไปเป็นภาพที่ส่งมายังระบบการมองเห็นของเราจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะรู้ถึงคุณลักษณะของระบบการมองเห็นของมนุษย์ (HVS) ระบบการมองเห็นของมนุษย์นี้เป็นประโยชน์ในเทคโนโลยีมัลติมีเดีย คุณสมบัติเหล่านี้นำไปใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการบีบอัดภาพ วิดีโอ และการออกแบบระบบการแสดงผล ต่อไปเราจะแสดงคุณสมบัติของระบบการมองเห็นของมนุษย์

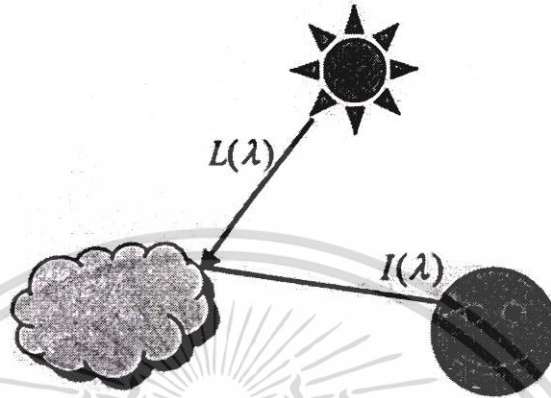
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นต่างๆ เริ่มจากความยาวคลื่นยาวถึงความยาวคลื่นสั้นมากๆ อย่างไรก็ตาม ตาสามารถรับคลื่นที่สเปกตรัมแคบๆ ประมาณ 400-700 นาโนเมตร แสงอาทิตย์มีสเปกตรัมในย่านความยาวคลื่นนี้และยังเป็นแหล่งกำเนิดหลักของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของโลก ที่จริงแล้ว ระบบการมองเห็นของมนุษย์เกิดขึ้นด้วยอิทธิพลของแสงอาทิตย์

รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างขบวนการตรวจพบวัตถุ ถ้า  $L(\lambda)$  เป็นแหล่งจ่ายพลังการตกกระทบมากจากแหล่งกำเนิดแสง แสงถูกรับโดยผู้มองจากวัตถุสามารถแสดงได้โดย

$$I(\lambda) = \rho(\lambda)L(\lambda) \quad (3.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $\rho(\lambda)$  คือการสะท้อนหรือการส่งถ่ายของวัตถุ ถ้าแหล่งกำเนิดแสง วัตถุ และผู้สังเกตอยู่นิ่ง สเปกตรัมของ  $I(\lambda)$  จะมีย่านความถี่เหมือนกับ  $L(\lambda)$  แต่สเปกตรัมแตกต่างกันถ้าทำการพิจารณา  $\rho(\lambda)$

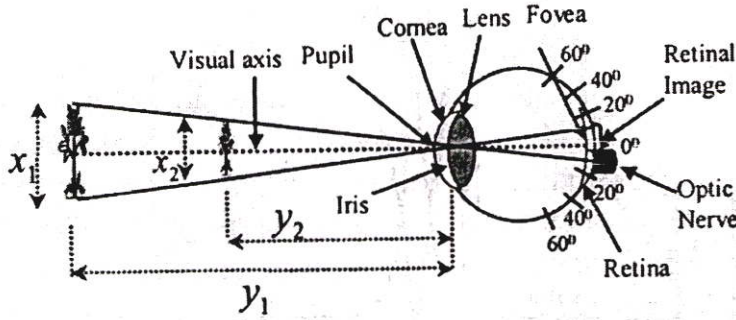


รูปที่ 3.13 พลังงานแสงที่เข้ามาจากวัตถุ

เมื่อแหล่งจ่ายพลังงานแสง  $I(\lambda)$  ได้รับโดยผู้มอง กระบวนการที่ซับซ้อนเกิดขึ้นในระบบการมองเห็นจากภาพ จากพลังงานแสงภาพถูกสร้างโดยขึ้นอยู่กับระบบการมองเห็นต่างๆของสิ่งมีชีวิต เราได้สนใจกระบวนการทำงานของระบบการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการเรียนรู้คุณลักษณะของระบบการมองเห็นของมนุษย์เพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบสำหรับการส่งข้อมูลหรือการแสดงผลที่เป็นข่าวสารภาพ หลักการสร้างที่ระบบต้องไม่ทำการส่งหรือแสดงสิ่งที่ไม่จำเป็นที่ตาจะต้องเห็นเพื่อลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการส่งหรือทำให้อุปกรณ์แสดงผลถูกลงในส่วนนี้เราจะกล่าวมาเกี่ยวกับระบบการมองเห็นของมนุษย์

### 3.6.1 หลักการของระบบการมองเห็นของมนุษย์

ระบบการมองเห็นของมนุษย์ [15] สามารถพิจารณาได้จากระบบสายตา (ดูรูป 3.14) เมื่อแสงจากวัตถุตกลงบนตา รูม่านตาทำตัวเหมือนช่องรับแสงในเลนส์กลึงถ่ายรูปรูป และภาพถูกสร้างบนเรตินา (retina) และผู้มองจะเห็นวัตถุ ขนาดของวัตถุขึ้นอยู่กับมุมของมันที่สร้างบนเรตินา เรตินาสามารถสร้างรายละเอียดที่ดีกว่าเมื่อภาพบนเรตินาใหญ่ และแผ่ครอบคลุมตัวรับภาพ รูม่านตาทำการควบคุมจำนวนของแสงที่เข้าไปในตา ตัวอย่างของความสว่างรูม่านตามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร เมื่อความสว่างน้อยขนาดของรูม่านตาจะใหญ่ขึ้นเพื่อจะรับแสงได้มาก โดยที่ความสว่างมากขนาดของรูม่านตาจะเล็กลงเพื่อกำจัดปริมาณของแสง

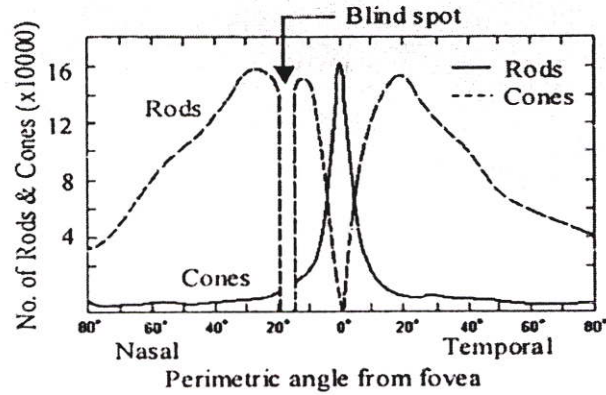


รูปที่ 3.14 ข่าวดารภาพที่ตาของมนุษย์ มุม  $\theta = 2 \arctan(x_1 / 2y_1) = 2 \arctan(x_2 / 2y_2)$  พิจารณาจากขนาดของภาพบนเรตินา

เรตินาประกอบด้วยเซลล์ประสาท 2 ชนิด เรียกว่า เซลล์โรด (rods) และเซลล์โคน (cones) มีประมาณ 100 ล้านเซลล์ เซลล์โรดเป็นเซลล์ที่ยาวและบางใช้ในการมองเห็นที่สลัวซึ่งเป็นการตอบสนองการมองเห็นของระบบการมองเห็นของมนุษย์ที่ความสว่างน้อย ส่วนเซลล์โคนเป็นเซลล์ที่สั้นและหนากว่ามีความไวน้อยกว่าเซลล์โรด มีประมาณ 6-7 ล้านเซลล์มีไว้สำหรับการมองเห็นที่สว่างมาก ในภาพระดับกลาง (ภาพที่มีความสว่างระดับปานกลาง) ทั้งเซลล์โรดและโคนจะทำงานทั้งคู่ เนื่องจากปริมาณแสงดีพอภาพสีเป็นภาพที่สำคัญมากในการแสดงผลทางวิศวกรรมภาพสีจะจัดเตรียมโดยเซลล์โคน เนื่องจากตัวรับภาพจะไม่ทำงานที่ความสว่างน้อยสีของวัตถุไม่สามารถตรวจพบที่ความสว่างน้อย

ตัวแจกจ่ายของเซลล์โรดและโคนแสดงในรูปที่ 3.15 จากรูปสังเกตได้ว่า โครงสร้างของเรตินาไม่เป็นหนึ่งเดียว เซลล์โคนอยู่อย่างหนาแน่นแพ็คไว้ที่โฟเวีย (fovea) (พื้นที่วงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 มิลลิเมตร ในจุดศูนย์กลาง) และตกลงอย่างรวดเร็วนอกวงกลม 1 องศา ไม่มีเซลล์โรดหรือเซลล์โคนในส่วนใกล้ของประสาทตา ดังนั้นตามีส่วนมองไม่เห็นในส่วนนี้ เมื่อแสงกระตุ้นเซลล์โรดหรือเซลล์โคน การเปลี่ยนแปลงทางการเคมีภาพเกิดขึ้นทำการสร้างสัญญาณอิมพัลส์ทางประสาทมีเส้นประสาทประมาณ 0.8 ล้านเส้น

พื้นที่จุดศูนย์กลางหรือพื้นที่โฟเวีย (fovea area) มีความสามารถเตรียมภาพที่มีความละเอียดสูง แต่ไม่สามารถทำได้ในส่วนนอกเหนือขอบเขตโฟเวีย (fovea region) พื้นที่โฟเวียมีมุมประมาณ 1-2 องศา ขณะที่โทรทัศน์บ้านทั่วไปมีมุมประมาณ 5-15 องศา (เมื่อผู้มองนั่งระยะทางประมาณ 6 เท่าของความสูงของโทรทัศน์ ภาพแนวตั้งมีมุมประมาณ 9.5 องศา) ขึ้นอยู่กับระยะของภาพ



รูปที่ 3.15 ตัวแจกจ่ายของตัวรับเซลล์โรดและเซลล์โคนในเรตินา

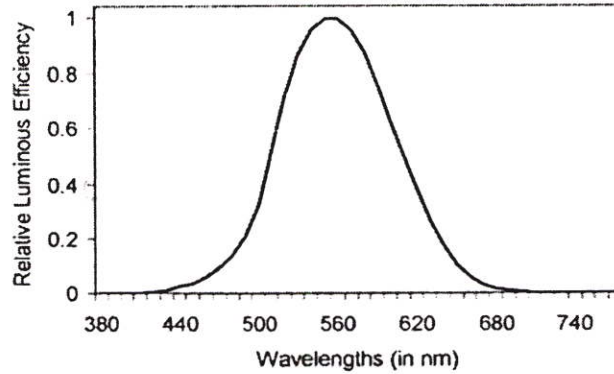
### 3.6.2 ประสิทธิภาพความสว่างสัมพัทธ์

เมื่อมีแหล่งจ่ายพลังงานสว่างขึ้น จะได้รับ  $I(\lambda)$  ความยาวคลื่นต่างๆ ไม่ทำการกำหนดได้บนระบบการมองเห็นของมนุษย์ รูปที่ 3.16 แสดงฟังก์ชันประสิทธิภาพความสว่างสัมพัทธ์ สำหรับ โฟเวีย ภาพของระบบการมองเห็นของมนุษย์สังเกตได้ว่าระบบการมองเห็นของมนุษย์ทำตัวเหมือนตัวกรองความถี่กลางที่พลังงานจ่ายออกมา จุดยอดของความยาวคลื่นประมาณ 555 นาโนเมตร ความสว่างหรือความเข้มแสงของวัตถุที่จ่ายออกมากับ แหล่งจ่ายพลังงานแสง  $I(\lambda)$  สามารถหาได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$L = \int_0^{\alpha} I(\lambda)V(\lambda)d\lambda \quad (3.26)$$

โดยที่  $V(\lambda)$  คือฟังก์ชันประสิทธิภาพความสว่างสัมพัทธ์

ในกระบวนการข่าวสารภาพ ความสว่างมีความสำคัญมากกว่าแหล่งกำเนิดพลังงานที่ส่งออกมา  $I(\lambda)$  ที่มีค่าสูงอาจปรากฏเป็นความมืด แต่แสงที่  $L$  มีค่าสูงจะปรากฏเป็นสว่างที่มนุษย์สังเกตได้อย่างแน่นอน ความสว่างวัดปริมาณเป็น  $cd/m^2$  โดยที่  $cd$  คือหน่วยของความเข้มของความสว่าง จอภาพแบบ CRT มีค่าความสว่างในช่วง  $0.1-1000 cd/m^2$



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างฟังก์ชันประสิทธิภาพความสว่างสัมพัทธ์

ความสว่างหาได้จากสมการที่ 3.26 ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการพิจารณา พื้นที่ภาพจะมีคหรือสว่าง อย่งไรก็ตามความสว่างของสิ่งแวดล้อมรอบข้างเป็นสิ่งสำคัญในการปรากฏของพื้นที่ภาพรูปที่ 3.17 แสดงตัวอย่างของวงกลมที่อยู่บนพื้นหลังที่ต่างกัน สังเกตว่าวงกลมบนพื้นหลังมืดจะเห็นได้สว่างกว่าวงกลมบนพื้นหลังสีเทา



รูปที่ 3.17 การกระตุ้นค่าความแตกต่าง รูปวงกลมเล็กตรงกลางมีความสว่างเท่ากันแต่แสงสว่างต่างกัน

### 3.6.3 กฎของเวบเบอร์ (Weber's Law)

ตามตัวอย่างที่ได้แสดงข้างต้นเป็นวัตถุสองวัตถุกับสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน มีการกำหนดค่าความสว่างแต่แสงสว่างค่าต่างกัน สาเหตุที่สำคัญคือ การรับรู้ของเรามีความไวต่อความสว่างที่แตกต่างมากกว่าความสว่างที่กลมกลืนกัน ความแตกต่างแสงส่วนใหญ่ใช้ในการอธิบายความต่างกันของค่าความสว่างของภาพสองภาพที่อยู่ติดกัน

รูปที่ 3.18 แสดงวงกลมเล็กค่าความสว่าง  $L + \Delta L$  ล้อมรอบด้วยวงกลมที่ใหญ่กว่าที่ค่าความสว่าง  $L$  ถ้า  $\Delta L$  มีค่าเป็นศูนย์ พื้นที่ทั้งสองจะมีความแตกต่าง ถ้า  $\Delta L$  เพิ่มขึ้นอย่างช้าเริ่มจาก 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างแสงระหว่างพื้นที่ทั้งสองจะสามารถสังเกตได้ ค่าเหล่านี้สามารถกำหนดได้จาก  $\Delta L_N$  ความสัมพันธ์ระหว่าง  $L$  และ  $\Delta L_N$  หาได้จาก

$$\frac{\Delta L_N}{L} = k \quad (3.27)$$

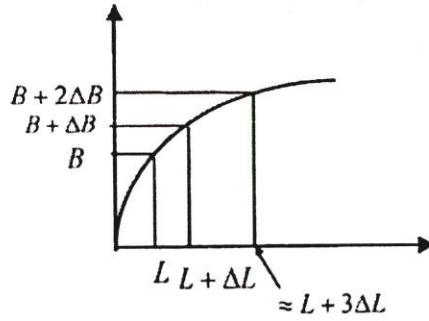
โดยที่  $k$  เป็นค่าคงที่เวเบอร์ (Weber constant) และความสัมพันธ์นี้เรียกว่า กฎของเวเบอร์เฟชเนอร์ (Weber-Fechner's Law) หรือกฎของเวเบอร์ (Weber's law) ตัวอย่างของค่าคงที่เวเบอร์ประมาณ 0.01-0.02 จากสมการข้างบน ถ้าพื้นที่ภาพมีความสว่างมากกว่าค่า  $\Delta L_N$  เป็นสิ่งที่ต้องการแสดงความแตกต่างระหว่างสองพื้นที่ สามารถแสดงในสมการ 3.27

$$c \frac{dL}{L} = dB \quad (3.28)$$

โดยที่  $c$  เป็นค่าคงที่ ทำการอินทิเกรต (Integral) ทั้งสองข้างจะได้  $B = c \log L + d$  โดยที่  $d$  เป็นค่าคงที่ตัวอื่น



รูปที่ 3.18 ความแตกต่างแสงและความสว่าง



รูปที่ 3.19 แสงสว่าง (B) และความสว่าง (L)

### 3.6.4 โมเดลระบบการมองเห็นของมนุษย์ (HVS Model)

เราได้ทำการอธิบายคุณสมบัติต่างๆของระบบการมองเห็นของมนุษย์ที่ใช้ในการออกแบบระบบสำหรับกระบวนการทางภาพหรือการวิเคราะห์ภาพ การพัฒนาของโมเดลสำหรับระบบการมองเห็นของมนุษย์เป็นสิ่งที่สำคัญมาก มีสมมุติฐานที่ใช้สำหรับสร้างโมเดล สมมุติฐานแรกคือระบบการมองเห็นของมนุษย์เป็นระบบเชิงเส้น (Linear System) ซึ่งเป็นจริงสำหรับภาพที่มีความแตกต่างแสงน้อย สมมุติฐานที่สองคือ สมมุติให้ระบบการมองเห็นของมนุษย์เป็นภาพสามมิติในสเปซเชิงโดเมน เราจะไม่มีทิศทางที่เจาะจงพิเศษ (แนวนอน แนวตั้ง แนวตั้งฉาก) แม้ว่าจะพบความไวของตาในแนวตั้งฉากน้อยกว่าแนวนอนหรือแนวตั้งเป็นสมมุติฐานที่ใช้มากที่สุด

ระบบการมองเห็นของมนุษย์สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาระบบกับระบบย่อยหลายระบบเริ่มต้น เมื่อตาได้รับแสงรุกรานตาทำงานเหมือนช่องรับแสงซึ่งเสมือนเป็นตัวกรองความถี่ต่ำ ถัดมากสเปกตรัมตอบสนองของตาใช้กับแสงที่กำลังสูงเข้ามาและความสว่างของภาพที่ได้ การตอบสนองไม่เป็นเชิงเส้นของเซลล์ โรดและ โคน และฟังก์ชันทรานเฟอร์มอดูเลชัน (Modulation transfer function) จัดเตรียมความแตกต่างและความข้างเคียงในการได้รูดตรง สิ่งสำคัญในการฝังลายน้ำดิจิทัลนั้นจะต้องคำนึงถึงระบบการมองเห็นของมนุษย์ดังนี้

#### 1. การตอบสนองความแตกต่าง (Contrast sensitivity)

การตอบสนองความแตกต่างของภาพคือการที่เราสามารถมองเห็นจุดๆหนึ่งในภาพซึ่งมีความแตกต่างมาก โดยปกติแล้วดวงตาของมนุษย์จะปรับสภาพให้เข้ากับระดับแสงสว่างของภาพพื้นหลัง ทำให้ภาพที่ไม่ใช่พื้นหลังเด่นชัดขึ้นได้ อธิบายให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นดังนี้คือมีกระดาษขาวแผ่นหนึ่งมองดูก็เห็นพื้นสีขาว แต่เมื่อแฉ้มจุดสีดำลง ไปสิ่งที่เราเห็นชัดสุดก็คือจุดสีดำ โดยไม่สนกับสีกระดาษอีก

## 2. การตอบสนองทางความถี่ (Spatial frequency sensitivity)

การตอบสนองทางความถี่ทางสายตาของมนุษย์จะตอบสนองความถี่ต่ำๆ (ภาพที่มีความละเอียดน้อย) ได้ดีกว่าภาพที่มีความละเอียดสูง (ภาพที่มีรายละเอียดมาก) การตอบสนองความถี่ระบบการมองเห็นของมนุษย์จะเป็นแบบ Non-uniform การตอบสนองจะสูงมากในบริเวณของภาพที่มีความแตกต่างกันมาก โดยเฉพาะขอบภาพปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Match band effect แสดงดังรูป 3.20



รูปที่ 3.20 ภาพแสดง Match band effect

### 3.7 สรุป

การแปลงเวฟเลขเป็นการแปลงสัญญาณจาก โดเมนเวลาไปเป็นสัญญาณใน โดเมนความถี่ ซึ่งข้อดีของการแปลงเวฟเลขคือสามารถทำการเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาที่เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ได้ โดยการแปลงเวฟเลขแบบไม่ต่อเนื่องมีกระบวนการลักษณะเดียวกับกระบวนการออทเพิลเตอร์แบงก์ ซึ่งสามารถนำสัญญาณส่วนที่เป็นความถี่ต่ำมาทำการแยกแบนความถี่ออกได้อีก กระบวนการแยกองค์ประกอบสามารถทำซ้ำได้เรื่อยๆ ซึ่งเรียกว่าการแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ และการแปลงเวฟเลขกลับแบบไม่ต่อเนื่อง เป็นกระบวนการนำสัญญาณที่ผ่านการแปลงเวฟเลขกลับคืนมาดังเดิม โดยจะเป็นการสร้างกลับอย่างสมบูรณ์ของฟิลเตอร์แบงก์ การนำเวฟเลขมาใช้กับข้อมูลภาพ 2 มิติ เมื่อนำภาพมาผ่านการแปลงเวฟเลขจะได้ภาพ 4 สับแบน ได้แก่สับแบนที่เป็นข้อมูลที่มีการบีบอัด 1 สับแบนและสับแบนที่เป็นรายละเอียด 3 สับแบนซึ่งเป็นการแปลงแบบระดับเดียว ในงานวิจัยได้ใช้การแปลงเวฟเลขแบบ 4 ระดับเพื่อใช้ในการทำภาพถ่ายน้ำ ระบบการมองเห็นของมนุษย์เป็นคุณสมบัติที่พิจารณาจากการมองเห็นของดวงตาของมนุษย์นั่นเอง ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในเทคโนโลยีมัลติมีเดีย โดยเฉพาะการส่งข้อมูลและการแสดงผล โดยจะไม่ทำการส่งหรือแสดงสิ่งที่ไม่จำเป็นแก่ดวงตาและได้นำคุณสมบัติของระบบการมองเห็นของมนุษย์มาใช้ในการทำภาพถ่ายน้ำ โดยทำการพิจารณาในส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวนของภาพเพื่อทำการฝังลายน้ำดิจิทัล

## บทที่ 4

# วิธีการฝังและการถอดลายน้ำดิจิทัลที่นำเสนอ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอ เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลในโดเมนความถี่ โดยทำการฝังลายน้ำดิจิทัล ในภาพดิจิทัลต้นฉบับโทนสีเทาด้วยเทคนิคการแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนด้วยกันคือ ขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิทัลบนรูปภาพดิจิทัล และขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลบนรูปที่ทำการฝังลายน้ำไว้

### 4.1 วิธีการฝังลายน้ำดิจิทัล

ในกระบวนการฝังลายน้ำดิจิทัลเริ่มจากนำภาพต้นฉบับที่จะทำการฝังลายน้ำดิจิทัล มาทำการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ โดยใช้ตัวกรองเวฟเลต (filter bank) แบบคาบิชิ 6 (Daubechies-6) ซึ่งในแต่ละระดับของการแปลงเวฟเลต จะประกอบด้วยเมทริกย่อย 4 เมทริก ได้แก่ เมทริกที่มีการบีบอัดของภาพ 1 เมทริก และเมทริกที่เป็นส่วนของรายละเอียดภาพ 3 เมทริก โดยกำหนดให้  $I^{(r,s)}$  คือภาพการแปลงเวฟเลตระดับที่  $r$  และตำแหน่ง  $s$  โดยที่  $r$  คือระดับของการแปลงเวฟเลตประกอบด้วย 0, 1, 2, 3 ระดับและ  $s$  คือตำแหน่งของการแปลงเวฟเลตประกอบด้วย แบนย่อยของการแปลงเวฟเลตคือ LL, LH, HL, HH แสดงดังรูปที่ 4.1 การแยกองค์ประกอบของภาพ Lena โดยใช้การแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ ซึ่งใช้ตัวกรองเวฟเลตคาบิชิ 6 แสดงดังรูปที่ 4.2

ลายน้ำดิจิทัล (Watermark) จะเป็นรหัสสุ่มเทียม (Pseudo-random sequence) [4] ที่สร้างขึ้นมาจากค่าคีย์ (key) ที่ต้องการซึ่งใช้เป็นกุญแจสำคัญในการตรวจสอบลายน้ำ โดยลายน้ำที่ใช้ประกอบด้วยค่าจำนวนจริง และทำการสร้างลายน้ำโดยใช้ค่าตัวแปรสุ่มที่ได้จากการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และค่าความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง จากนั้นทำการเลือกฝังลายน้ำโดยลายน้ำจะถูกรวมเข้ากับสัมประสิทธิ์นัยสำคัญของการแปลงเวฟเลตภาพต้นฉบับระดับที่ 1 ในตำแหน่งแบนย่อย LH, HL, HH ยกเว้น LL โดยเลือกสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามากกว่าค่าเทรโซล  $Th1$  แสดงในรูปที่ 4.3 โดยลายน้ำจะถูกรวมเข้ากับสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตดังสมการที่ 4.1

$$I^{*(r,s)}(x,y) = \begin{cases} I^{(r,s)}(x,y) + \alpha w^{(r,s)}(x,y) X(x,y), & \text{if } I^{(r,s)}(x,y) > Th1 \\ I^{(r,s)}(x,y), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.1)$$

โดยที่

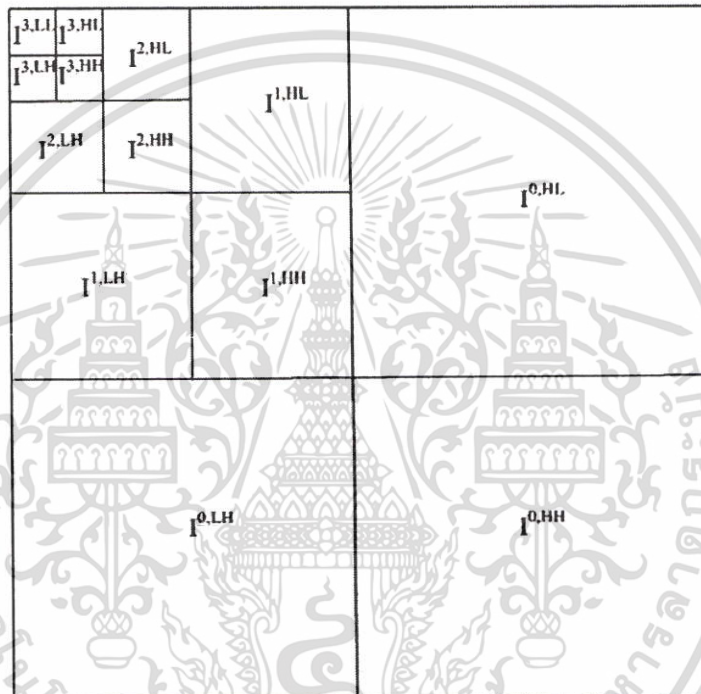
$I^{(r,s)}(x,y)$  คือสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลขของภาพต้นฉบับในระดับ  $r$  ตำแหน่ง  $s$

$I^{*(r,s)}(x,y)$  คือสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลขที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว

$X(x,y)$  คือลายน้ำดิจิทัลเป็น pseudo-random sequence

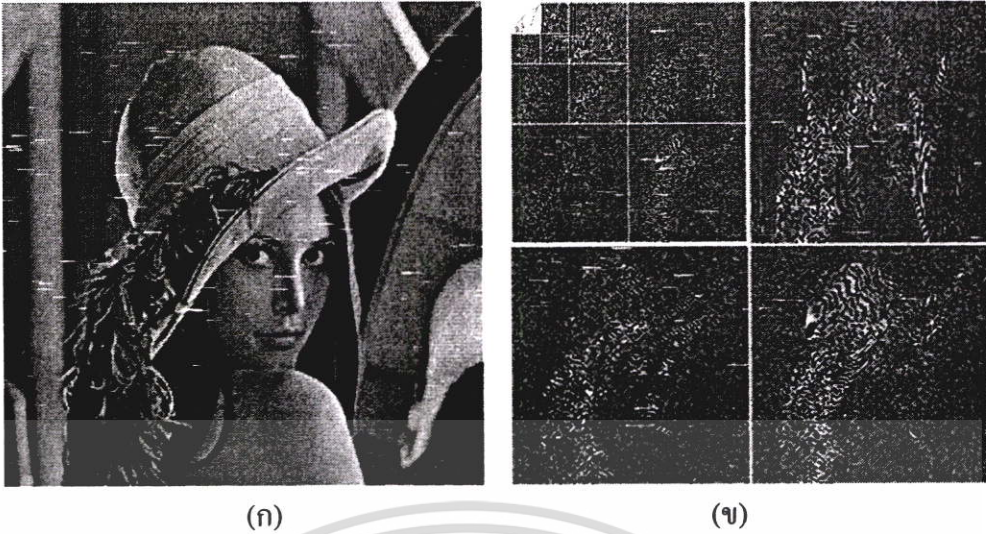
$\alpha$  คือค่าความคงทนของลายน้ำ

$W^{(r,s)}(x,y)$  คือฟังก์ชันน้ำหนัก (Weighting function) ซึ่งคำนวณจากระบบการมองเห็นของมนุษย์ (HVS)

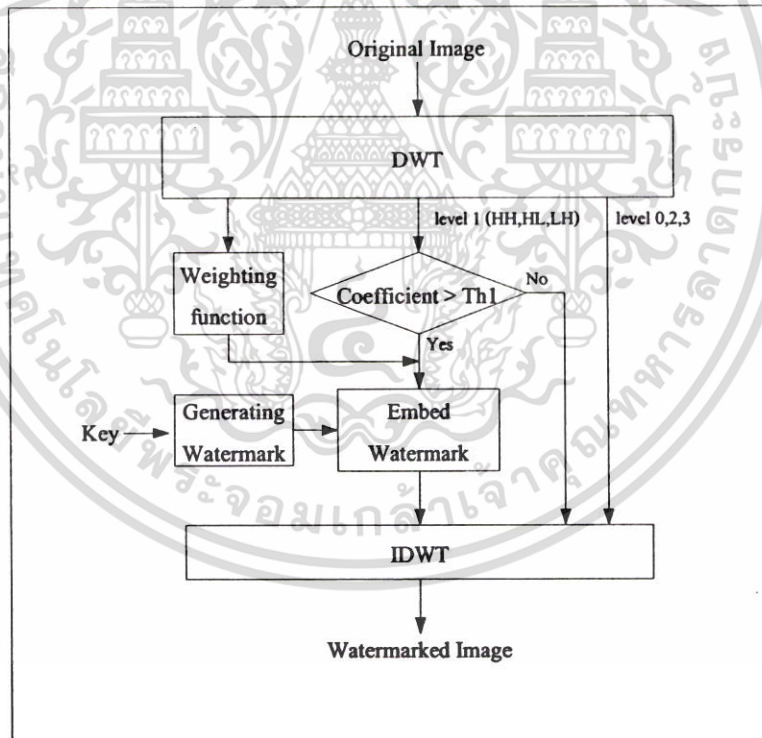


รูปที่ 4.1 ภาพการแปลงเวฟเลขแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (ก) ภาพ Lena ต้นฉบับ (ข) ภาพ Lena ผ่านการแปลงเวฟเลข 4 ระดับ โดยใช้ตัวกรองเวฟเลขคาบิชี 6



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการฝังลายน้ำโดยวิธีที่น่าเสนอ

ในขั้นตอนการฝังลายน้ำดิจิทัลได้นำความรู้และประโยชน์จากระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) มาทำการพิจารณาเพื่อเพิ่มความคงทน และความมองไม่เห็นของลายน้ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิทัลที่ทำการฝังลงบนภาพต้นฉบับ โดยนำมาคำนวณค่าฟังก์ชันน้ำหนัก (Weighting function) เพื่อใช้ในการรวมลายน้าดิจิตอลเข้ากับสัมประสิทธิ์นัยสำคัญของการแปลงเวฟเลทภาพต้นฉบับดังแสดงในสมการที่ 4.1

หลังจากทำการรวมลายน้าเข้ากับสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลทแล้ว จากนั้นนำภาพมาทำการแปลงเวฟเลทกลับ (Inverse Wavelet Transform) จะได้ภาพที่ฝังลายน้าเรียบร้อยแล้ว

#### 4.2 การคำนวณหาฟังก์ชันน้ำหนักโดยใช้ระบบการมองเห็นของมนุษย์

จากความรู้เรื่องระบบการมองเห็นของมนุษย์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้นำประโยชน์จากระบบการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) [3] มาพิจารณาเพื่อเพิ่มความคงทนและความมองไม่เห็นของลายน้าดิจิตอล โดยฟังก์ชันน้ำหนักคำนวณได้จากสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลทและระบบการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งได้จากการคำนวณค่าควอนไทเซชัน (quantiozation) ของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลทสำหรับการบีบอัดภาพ การฝังลายน้าดิจิตอลจะทำการฝังลงบนส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวน โดยทำการพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อระบบการมองเห็นของมนุษย์ คือ

- การตอบสนองต่อความถี่ (Frequency sensitivity) ดวงตาของมนุษย์จะตอบสนองความถี่ต่ำๆ (ภาพที่มีรายละเอียดน้อย) ได้ดีกว่าภาพที่มีความถี่สูง (ภาพที่มีรายละเอียดมาก)
- การตอบสนองต่อความสว่าง (Luminance sensitivity) ดวงตาของมนุษย์จะตอบสนองความสว่างที่ระดับกลางได้ดีกว่าที่ระดับความสว่างสูงหรือต่ำ
- การปิดบังพื้นที่ (Texture masking) ดวงตาของมนุษย์จะตอบสนองพื้นที่ใกล้เคียงขอบภาพ (edges) ได้ดีกว่า พื้นที่ที่มีความละเอียดสูง

ฟังก์ชันน้ำหนัก (Weighting function) คำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ 3 เทอม ได้แก่ การตอบสนองต่อความถี่ (Frequency sensitivity) การตอบสนองต่อความสว่าง (Luminance sensitivity) และการปิดบังพื้นที่ (Texture masking) แสดงดังสมการที่ 4.2

$$\begin{aligned} \text{WeightFunction}(W^{(r,s)}(x,y)) \\ = \text{Frequency}(r,s) * \text{Luminance}(r,x,y) * \text{Texture}(x,y)^{(0.034)} \end{aligned} \quad (4.2)$$

การตอบสนองต่อความถี่ (Frequency sensitivity) คำนวณได้จากสมการที่ 4.3

$$\text{Frequency}(r,s) = \begin{cases} \sqrt{2} & \text{if } s = HH \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} * \begin{cases} 1.00 & \text{if } r = 0 \\ 0.32 & \text{if } r = 1 \\ 0.16 & \text{if } r = 2 \\ 0.10 & \text{if } r = 3 \end{cases} \quad (4.3)$$

การตอบสนองต่อความสว่าง (Luminance sensitivity) คำนวณได้จากสมการที่ 4.4

$$Luminance(r,x,y) = 3 + \frac{1}{256} \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 I^{3,LL} \left( i+1 + \frac{x}{2^{3-r}}, j+1 + \frac{y}{2^{3-r}} \right) \quad (4.4)$$

การปิดบังพื้นที่ (Texture masking) แสดงดังสมการที่ 4.5

$$\begin{aligned} & Texture(r,x,y) \\ &= \sum_{k=1}^{3-r} 16^{-k} \sum_s^{HH,HL,LH} \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 \left[ I^{k+r,s} \left( i + \frac{x}{2^k}, j + \frac{y}{2^k} \right) \right]^2 \\ &+ 16^{3-r} Var \left\{ I^{3,LL} \left( \{1,2\} + \frac{x}{2^{3-r}}, \{1,2\} + \frac{y}{2^{3-r}} \right) \right\} \end{aligned} \quad (4.5)$$

โดยที่

$Frequency(r,s)$  คือค่าการตอบสนองต่อความถี่ที่ระดับ  $r$  ตำแหน่ง  $s$   
 $Luminance(r,x,y)$  คือค่าการตอบสนองต่อความสว่างที่ระดับ  $r$  ในตำแหน่งพิกเซล  $x, y$   
 $Texture(r,x,y)$  คือค่าการปิดบังพื้นที่ ระดับ  $r$  ในตำแหน่งพิกเซล  $x, y$   
 $var$  คือค่าความแปรปรวน (variance) ของบล็อกพิกเซลขนาด  $2 \times 2$   
 $s$  คือตำแหน่งของการแปลงเวฟเลท LL, LH, HL, HH  
 $r$  คือระดับของการแปลงเวฟเลท 0, 1, 2, 3

### 4.3 การตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล

สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบหรือการนำลายน้ำดิจิทัลกลับคืนมา เป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องใช้ภาพต้นฉบับ (Blind watermark) ซึ่งทำให้สะดวกในการทำการตรวจสอบลิขสิทธิ์บนภาพนั้น โดยทำการหาค่าคอสริเลชัน (Correlation values) ระหว่างลายน้ำดิจิทัลกับค่าสัมประสิทธิ์แบนย่อยของการแปลงเวฟเลทของภาพที่นำมาทำการทดสอบ แล้วนำค่าคอสริเลชันมาเปรียบเทียบกับค่าเทรโซล (Threshold value) [5] เพื่อทำการตัดสินใจว่ามีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่หรือไม่แสดงในรูปที่ 4.4 เริ่มต้นจากภาพที่ต้องการทำการตรวจสอบมาทำการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง 4 ระดับ เหมือนในขั้นตอนการฝังลายน้ำจะได้สัมประสิทธิ์แบนย่อย LH, HL, HH และ LL จากนั้นเลือกใช้สัมประสิทธิ์ในแบนย่อยในระดับที่ 1 ได้แก่  $LH_1, HL_1, HH_1$  ยกเว้น  $LL_1$  โดยทำการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่มากกว่าค่าเทรโซล  $Th_1$  เพื่อทำการหาค่าคอสริเลชัน (Z) ระหว่างลายน้ำดิจิทัลกับสัมประสิทธิ์ของภาพที่ถูกเลือกดังสมการที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_i^{*(r,LH)} x_i + I_i^{*(r,HL)} x_i + I_i^{*(r,HH)} x_i \quad (4.6)$$

โดยที่

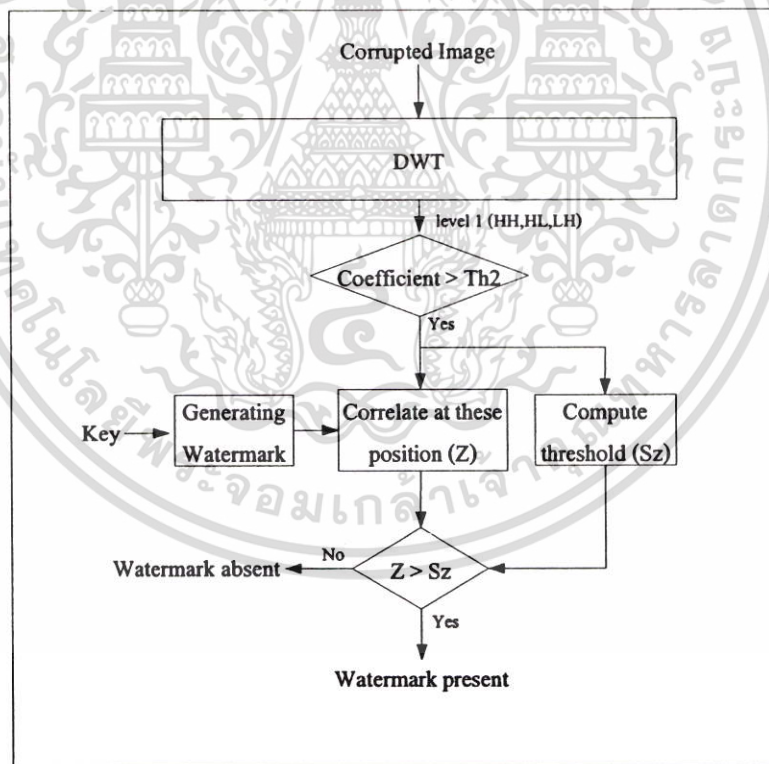
$I_i$  คือสัมประสิทธิ์ของภาพที่ฝงลายน้ำแล้วที่ตำแหน่ง  $i$

$x_i$  คือลายน้ำดิจิทัลที่ตำแหน่ง  $i$

$M$  คือจำนวนสัมประสิทธิ์ที่เลือกจากค่าเทรโซล  $Th_2$

$r$  คือระดับของการแปลงเวฟเลทระดับที่ 1

เราได้กำหนดให้ค่า  $Th_2 \geq Th_1$  ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น เนื่องจากเราไม่ควรจะทำการคอร์เรเลชันสัญญาณลายน้ำต้นฉบับกับสัมประสิทธิ์ส่วนเกินที่ลายน้ำไม่ได้รวมเข้าไปด้วย และเราได้ทำการเลือกค่า  $Th_2$  ให้มีค่ามากกว่า  $Th_1$  เพื่อความคงทน เพราะว่าค่าสัมประสิทธิ์บางค่าจากภาพต้นฉบับอาจมีค่าต่ำกว่า  $Th_1$  หรือมากกว่า  $Th_1$  ภายหลังจากถูก โจมตีลายน้ำทำให้ข้อมูลภาพผิดเพี้ยนไปได้



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำค่าครีเรชันที่คำนวณได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าเทรโซลเพื่อทำการตัดสินใจว่ามีลายน้ำฝังอยู่ในภาพหรือไม่ ค่าเทรโซล ( $Sz$ ) พิจารณาจากมาตรฐานเนแมน-เพียสัน (Neyman-Pearson criterion) ใช้ค่าความน่าจะเป็นความผิดพลาดที่น้อยที่สุดในกระบวนการสืบหา โดยกำหนดให้ภาพดิจิทัล ( $I$ ) และลายน้ำดิจิทัล ( $X$ ) มีความเป็นได้ 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 คือภาพไม่ได้ถูกฝังลายน้ำ

กรณีที่ 2 คือภาพถูกฝังลายน้ำโดยลายน้ำอื่น ( $Y$ ) มากกว่าลายน้ำ ( $X$ )

กรณีที่ 3 คือภาพถูกฝังลายน้ำโดยลายน้ำ ( $X$ )

ทำการพิจารณาลายน้ำ ( $X$ ) ที่ฝังอยู่ในภาพ โดยทำการเปรียบค่าครีเรชัน ( $Z$ ) กับค่าเทรโซล ( $Sz$ ) ดังนี้

1. ถ้า ( $Z$ ) > ( $Sz$ ) แล้วภาพถูกฝังโดยลายน้ำ ( $X$ )

2. ถ้า ( $Z$ ) < ( $Sz$ ) แล้วไม่ได้ถูกฝังโดยลายน้ำ ( $X$ )

โดยค่าเทรโซล ( $Sz$ ) คำนวณได้จากสมการที่ 4.7

$$Sz = 3.97\sqrt{2\sigma^2} \quad (4.7)$$

ในทางปฏิบัติค่า  $\sigma^2$  ประมาณค่าได้จากสมการที่ 4.8

$$\sigma^2 \approx \frac{1}{M^2} \sum_{i=1}^M I_i^{*(r,LH)^2} + I_i^{*(r,HL)^2} + I_i^{*(r,HH)^2} \quad (4.8)$$

โดยที่

$I_i^*$  คือสัมประสิทธิ์ของภาพที่ฝังลายน้ำแล้วที่ตำแหน่ง  $i$

$M$  คือจำนวนสัมประสิทธิ์ที่เลือกจากค่าเทรโซล  $Th_2$

$r$  คือระดับของการแปลงเวฟเลท ระดับที่ 1

#### 4.4 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่

เทคนิคการทำลายน้ำภาพดิจิทัลโดยการแปลงเวฟเลทแบบดิสครีตโดยการกำหนดค่าเทรโซลแบบคงที่ เป็นเทคนิคที่นำเสนอโดย Dugad [4] โดยที่ลายน้ำเป็นลำดับชุดข้อมูลสุ่มที่มีขนาดเท่ากับขนาดของสับแบนรายละเอียด และลายน้ำจะถูกรวมเข้ากับสัมประสิทธิ์ที่สำคัญที่ถูกเลือกจากการทำเทรโซล ขั้นตอนการฝังลายน้ำแสดงดังต่อไปนี้

#### 4.4.1 ขั้นตอนการฝึกลายน้ำดิจิทัลลงในภาพ

ขั้นตอนการฝึกลายน้ำด้วยเทคนิคการกำหนดค่าเทอร์โซลแบบคงที่ แสดงดังรูปที่ 4.5 โดยนำภาพต้นฉบับมาทำการแปลงเวฟเลขแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งสามารถแยกองค์ประกอบได้สัมประสิทธิ์แบนย่อย  $LH_n$ ,  $HL_n$ ,  $HH_n$  และ  $LL_n$  ( $n=1, 2, \dots, N$ ) โดยสามารถแยกองค์ประกอบได้ถึง  $N$  ระดับจากนั้นเลือกใช้สัมประสิทธิ์แบนย่อย  $LH_n$ ,  $HL_n$ ,  $HH_n$  ยกเว้น  $LL_n$  โดยที่ลายน้ำจะถูกรวมกับสัมประสิทธิ์ส่วนนี้เท่านั้น ลายน้ำที่ถูกสังเกตเห็นได้มีผลมาจากตำแหน่งของลายน้ำที่ใส่ในแต่ละสับแบนของการแปลงเวฟเลข ด้วยเหตุผลนี้ เราจึงได้เลือกแทรกรหัสลงในองค์ประกอบความถี่สูงของภาพและมีความคงทนต่อการเสียหายของลายน้ำ จากนั้นทำการรวมลำดับสัญญาณลายน้ำ เข้ากับสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามาก ที่ไม่ได้อยู่ในส่วนของรายละเอียดต่ำสุดดังในสมการที่ 4.9 ลายน้ำจะไม่ถูกรวมเข้ากับทุกตำแหน่งของภาพ โดยทำการเลือกฝึกลายน้ำลงบนสัมประสิทธิ์ที่มีค่ามากกว่าเทอร์โซล  $T1$  ที่กำหนด

$$V_i' = V_i + \alpha |V_i| x_i \quad (4.9)$$

โดยที่

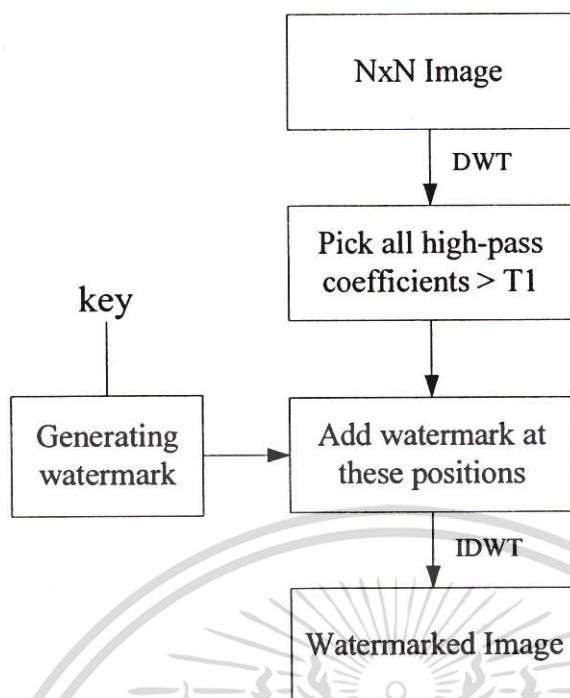
$V_i$  คือค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลขของภาพต้นฉบับ

$V_i'$  คือค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลขของภาพที่ฝึกลายน้ำแล้ว

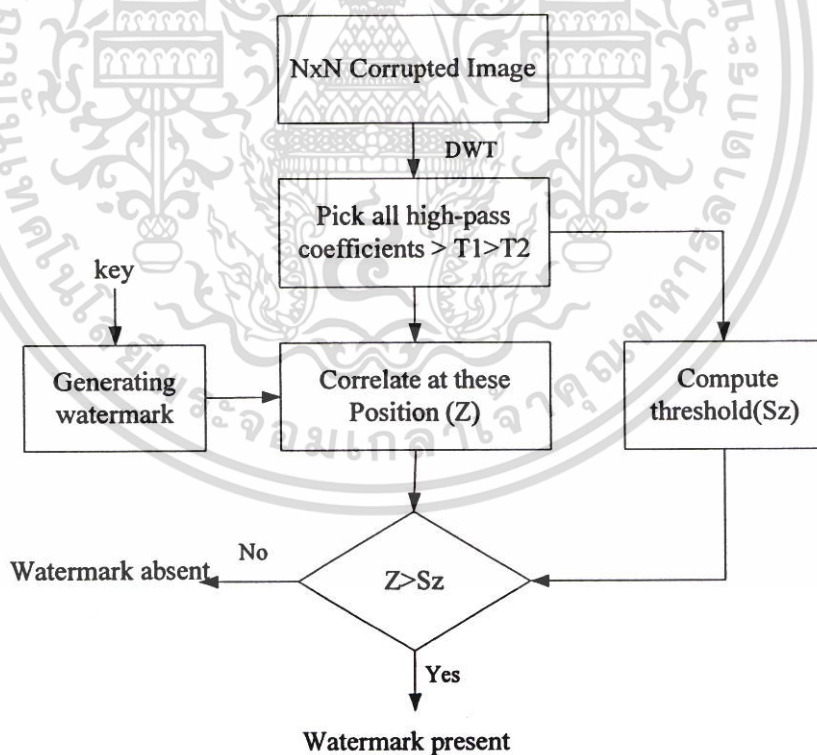
$X$  คือลายน้ำดิจิทัล

$\alpha$  คือค่าความคงทนของลายน้ำ

ในขั้นตอนสุดท้ายทำการแปลงเวฟเลขกลับจะได้ภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่



รูปที่ 4.5 การฝังลายน้ำด้วยเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลแบบคงที่



รูปที่ 4.6 การตรวจสอบลายน้ำด้วยเทคนิคการกำหนดค่าเทรโซลแบบคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 ขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำในภาพ

ใช้วิธีการตรวจหาลายน้ำแบบไม่ต้องใช้ต้นฉบับ ในการตรวจสอบหาลายน้ำจากข้อมูลภาพที่มีลายน้ำดิจิทัล สามารถทำได้โดย นำภาพดิจิทัลที่ฝังลายน้ำที่อาจเกิดการเสียหายหรือผิดเพี้ยน มาทำการแยกองค์ประกอบภาพด้วยการแปลงเวฟเลทแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะได้สัมประสิทธิ์แบนย่อย  $LH_n$ ,  $HL_n$ ,  $HH_n$  และ  $LL_n$  โดยทำการแยกองค์ประกอบถึงระดับเดียวกับขั้นตอนการฝังลายน้ำ จากนั้นเลือกใช้สัมประสิทธิ์ในส่วนของแบนย่อย  $LH_n$ ,  $HL_n$ ,  $HH_n$  ยกเว้น  $LL_n$  โดยทำการเลือกจากค่าเทรโซลที่กำหนดให้เป็น T2 ซึ่งค่าเทรโซลจะทำการแยกสัมประสิทธิ์ส่วนที่มีลายน้ำออกมาเพื่อนำมาหาค่าอริเลชันระหว่างภาพที่มีลายน้ำกับลายน้ำต้นฉบับ โดยเลือกค่าเทรโซล T2 ให้มีค่ามากกว่า T1 แสดงรูปที่ 4.6 ค่าอริเลชัน (Z) ระหว่างลายน้ำกับสัมประสิทธิ์ของภาพที่ฝังลายน้ำ คำนวณได้จากสมการที่ 4.10

$$Z = \frac{1}{M} \sum_i |V_i| y_i \quad (4.10)$$

นำมาเปรียบเทียบกับค่าเทรโซล ( $S_z$ ) เพื่อใช้ในการตรวจหาลายน้ำ เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่า ภาพมีลายน้ำฝังอยู่หรือไม่ ค่าเทรโซลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.11

$$S_z = \frac{\alpha}{2M} \sum_i |V_i| \quad (4.11)$$

โดยที่

M คือจำนวนสัมประสิทธิ์ของลายน้ำที่ทำการฝัง

#### 4.5 สรุป

เทคนิคการฝังลายน้ำในภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงเวฟเลทเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคุณสมบัติในการแบ่งข้อมูลภาพเป็นสับแบนย่อย ทำให้สามารถเลือกใส่ลายน้ำในสับแบนย่อยได้ตามต้องการ โดยส่วนใหญ่ลายน้ำที่ทำการฝังจะถูกรวมเข้ากับสัมประสิทธิ์ค่ามากที่มีอยู่บริเวณขอบภาพ จึงทำให้ลายน้ำมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความโปร่งใส และมีความคงทนต่อการโจมตี โดยวิธีที่น่าเสนอได้ นำประโยชน์จากคุณสมบัติการมองเห็นของมนุษย์ (Human Visual System) มาทำการพิจารณาเพื่อเพิ่มความคงทนและความโปร่งใสของลายน้ำดิจิทัล และเทคนิคที่น่าเสนอเป็นเทคนิคที่ไม่ใช้ภาพต้นฉบับในการตรวจสอบลายน้ำ ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการตรวจหาลายน้ำของภาพได้ง่ายขึ้น

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึง การทดลองและผลการทดลองวิธีการฝังลายน้ำดิจิทัลและการตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอไว้ก่อนหน้านี้ โดยการเปรียบเทียบเบื้องต้นทำการเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว โดยทำการสังเกตด้วยตาเปล่าถึงความแตกต่างของภาพก่อนขั้นตอนการฝังลายน้ำและหลังการฝังลายน้ำแล้ว และทำการคำนวณค่า PSNR ของภาพที่ผ่านการฝังลายน้ำแล้ว เพื่อวัดคุณภาพของภาพ จากนั้นในขั้นตอนการตรวจสอบลายน้ำ ได้ทำการทดลองโจมตีภาพด้วยการประมวลผลทางสัญญาณ เพื่อทดสอบความคงทนของลายน้ำ และได้ทำการทดลองการฝังลายน้ำกับภาพแบบต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ระบบ สุดท้ายได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับหลักการที่มีอยู่

#### 5.1 จุดประสงค์การทดลอง

- 5.1.1 ทำการทดลองฝังและตรวจสอบลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอ
- 5.1.2 ทำการวัดคุณภาพของภาพหลังการทำลายน้ำดิจิทัล
- 5.1.3 การทดสอบความคงทนของภาพจากการ โจมตี ด้วยการประมวลผลทางสัญญาณ
- 5.1.4 ทำการทดลองฝังลายน้ำกับภาพแบบต่างๆ
- 5.1.5 ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับหลักการที่มีอยู่

#### 5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 5.2.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
- 5.2.2 ระบบปฏิบัติการที่ใช้ทดสอบคือ Microsoft Windows XP
- 5.2.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ โปรแกรม MATLAB Version 5.3.12
- 5.2.4 รูปภาพดิจิทัลระดับเทา 8 บิต ขนาด 512x512 พิกเซลจำนวน 17 รูป

### 5.3 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองและวิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้ ภาพที่ใช้ทำการทดสอบเป็นภาพระดับเทา 8 บิต ขนาด 512x512 พิกเซล เป็นรูปภาพนามสกุล “.TIF” จำนวน 17 ภาพ ซึ่งประกอบด้วยภาพ LENA.TIF, TIFFANY.TIF, KID.TIF, BABOON.TIF, BEAR.TIF, BANDON.TIF, LOCHNESS.TIF, SKYLINE\_ARCH.TIF, F16.TIF, FISHBOAT.TIF, PEPPERS.TIF, PILLS.TIF, EARTH.TIF, PANTAGON.TIF, SANDIEGO.TIF, OPERA.TIF, Z1X25.TIF

วิธีการทดลอง โดยทำการทดลองฝึกลายน้ำดิจิตอลลงในภาพต้นฉบับด้วยวิธีที่ได้นำเสนอ โดยกำหนดค่าคีย์ (key) ที่ใช้ในการสร้างลายน้ำดิจิตอลเท่ากับ 500 ค่าเทรโซล  $Th_1 = 40$ ,  $Th_2 = 50$ , และค่าความคงทนของลายน้ำ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 1.5

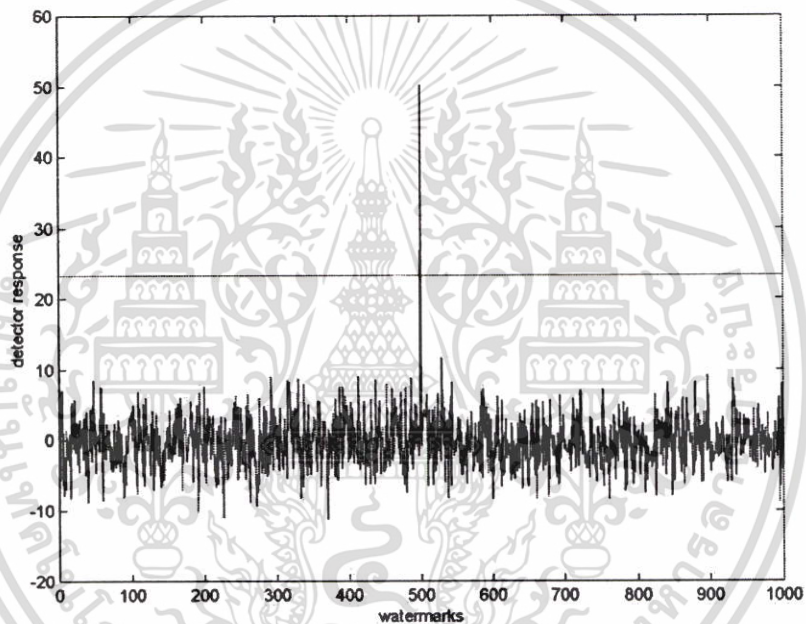
### 5.4 ผลการทดลองโดยไม่ผ่านการโจมตีลายน้ำ

ผลการทดลองการฝึกลายน้ำบนภาพต้นฉบับทั้ง 17 ภาพแสดงดังรูปที่ 5.1-5.17 โดยรูป (ก) แสดงรูปภาพต้นฉบับ รูป (ข) แสดงรูปภาพที่ทำการฝึกลายน้ำแล้ว ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับกับภาพหลังผ่านการฝึกลายน้ำแล้ว เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะมองไม่เห็นความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสอง และรูป (ค) จะแสดงผลการตรวจหาลายน้ำบนภาพด้วยวิธีที่ได้นำเสนอ โดยผลการทดลองภาพที่ทำการฝึกลายน้ำยังไม่มี การโจมตีใดๆ การทดสอบตรวจหาลายน้ำทำโดยใช้ค่าเลขสุ่มจำนวน 1000 ชุด ทำการตรวจสอบหาลายน้ำบนภาพ ค่าที่ได้คือ 500 ซึ่งเป็นค่าคีย์ที่เราใช้ในการทดลอง และเส้นในแนวนอนเป็นค่าเทรโซลตรวจหาลายน้ำ ( $S_z$ ) ใช้ในการตัดสินใจว่ามีลายน้ำอยู่หรือไม่ จะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองที่ได้ค่าคอรเรลชัน ( $Z$ ) มีค่าสูงกว่าระดับ เทรโซลอยู่ในระดับที่ชัดเจน แสดงว่าสามารถตรวจหาลายน้ำที่ทำการฝึงไว้ได้



(ก)

(ข)



(ค)

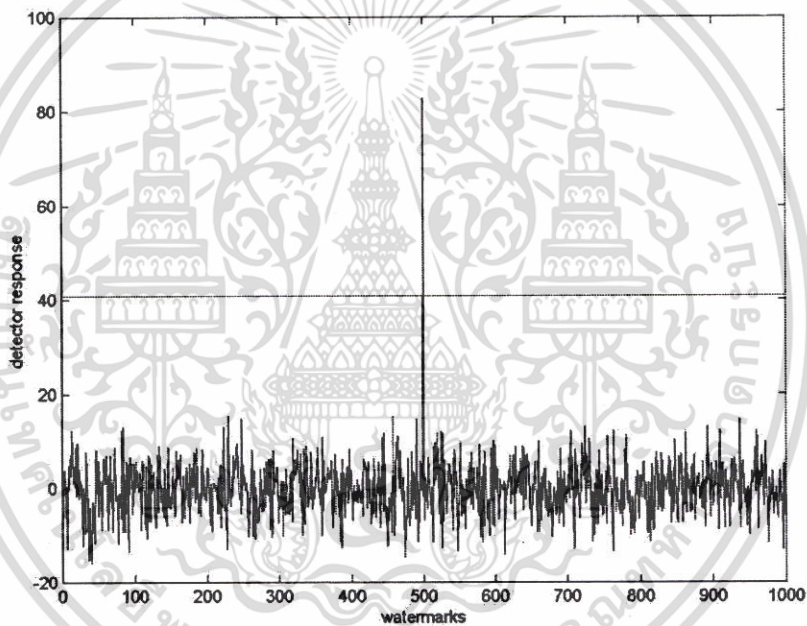
**รูปที่ 5.1** ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ LENA (ก) รูปภาพ LENA ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ LENA ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคีย์ที่ทำการฝังเท่ากับ 1005 ค่า PSNR เท่ากับ 40.0853 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 50.4033 ค่าเทร โชลเท่ากับ 23.2361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



(ค)

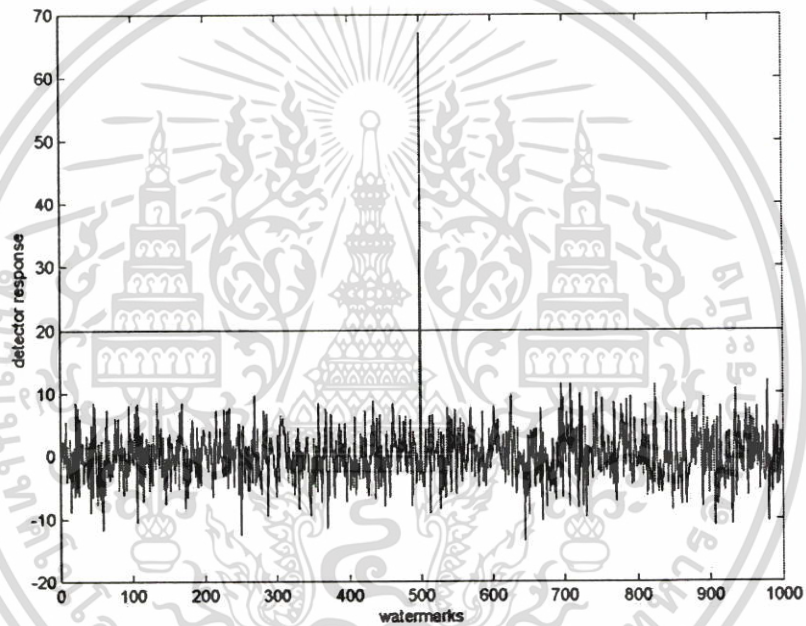
รูปที่ 5.2 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ TIFFANY (ก) รูปภาพ TIFFANY ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ TIFFANY ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 648 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 36.5367 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 82.8871 ค่าเทร โชลเท่ากับ 40.85043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

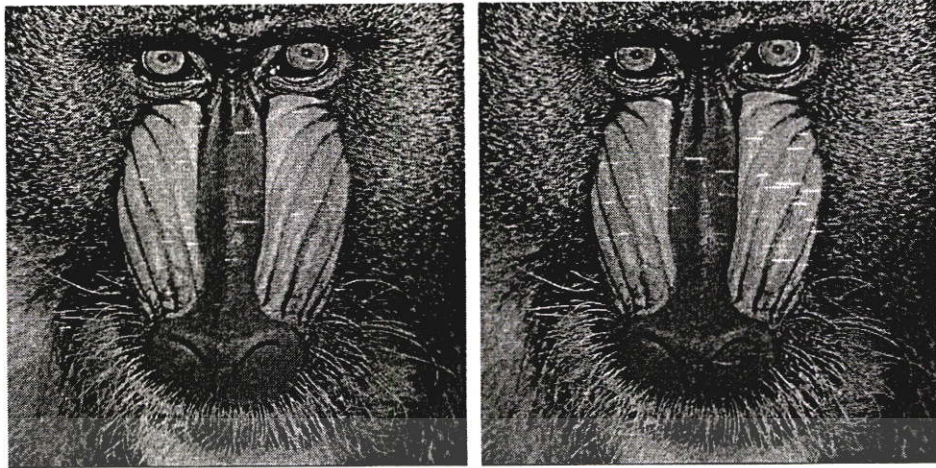
(ข)



(ค)

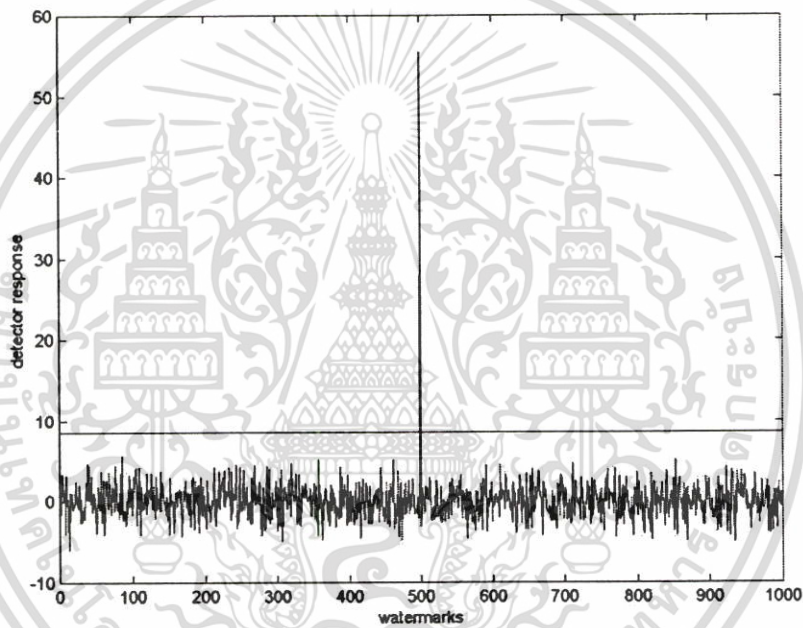
รูปที่ 5.3 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ KID (ก) รูปภาพ KID ดับ (ข) รูปภาพ KID ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัล จากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1087 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.3969 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 67.1614 ค่าเทรโซลเท่ากับ 19.9797

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



(ค)

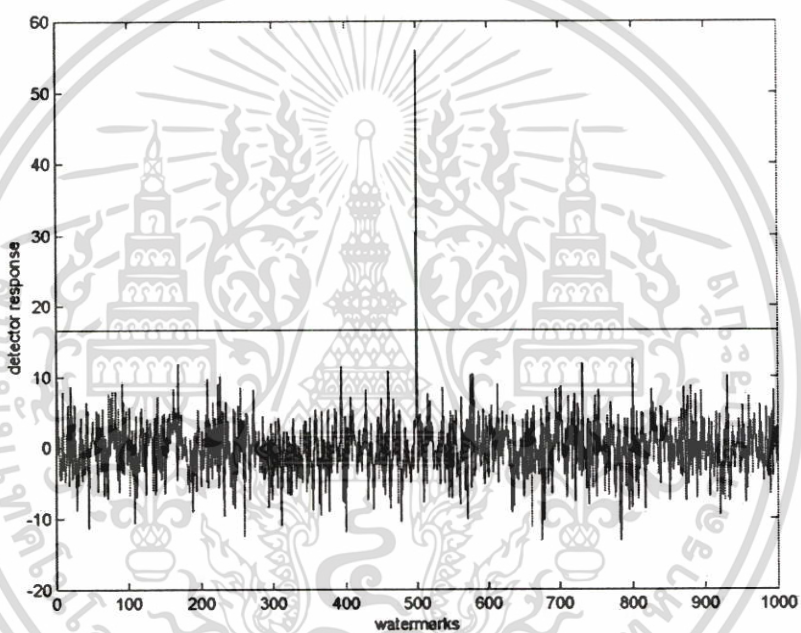
รูปที่ 5.4 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ BABOON (ก) รูปภาพ BABOON ดั้งฉบับ (ข) รูปภาพ BABOON ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 4294 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 35.1651dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 55.4452 ค่าเทร โชลเท่ากับ 8.5793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

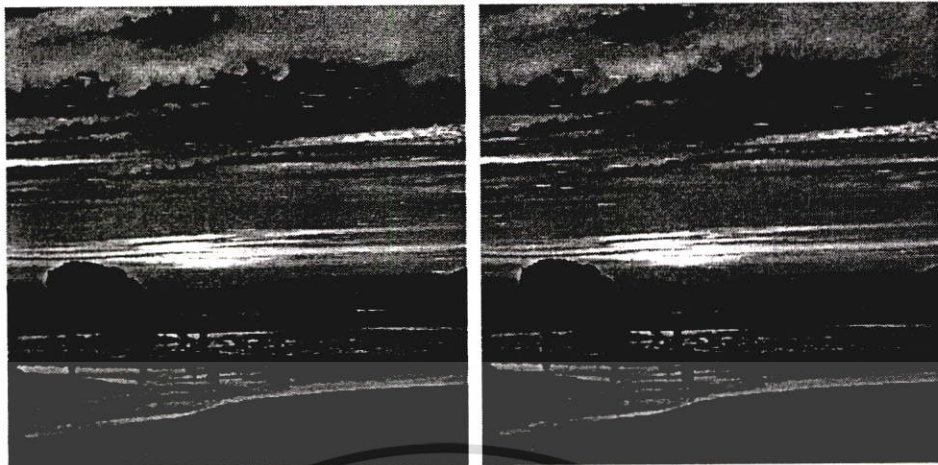
(ข)



(ค)

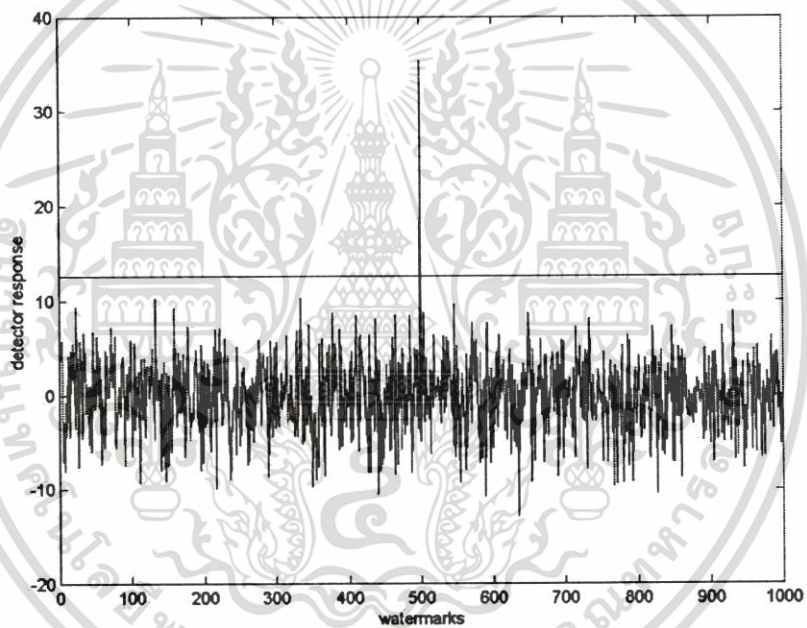
รูปที่ 5.5 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ BEAR (ก) รูปภาพ BEAR ดับ (ข) รูปภาพ BEAR ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคีย์ที่ทำการฝังเท่ากับ 704 คีย์ ค่า PSNR เท่ากับ 37.9534 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 55.846 ค่าเทร โชลเท่ากับ 16.5892

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

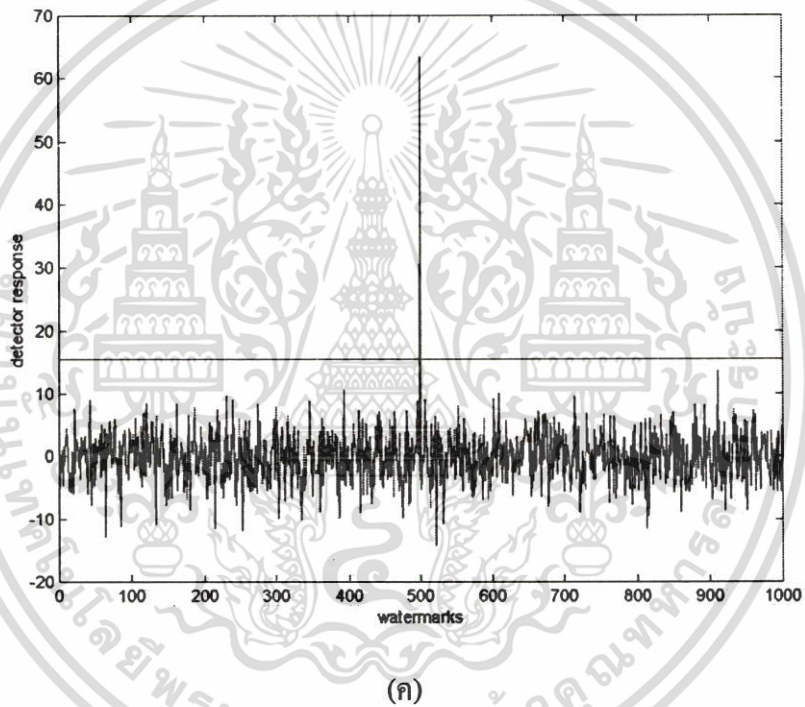
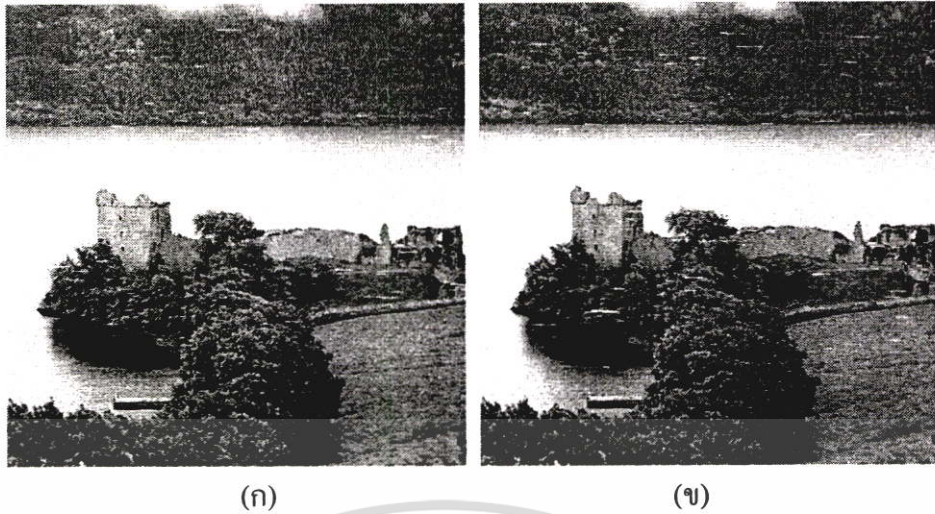
(ข)



(ค)

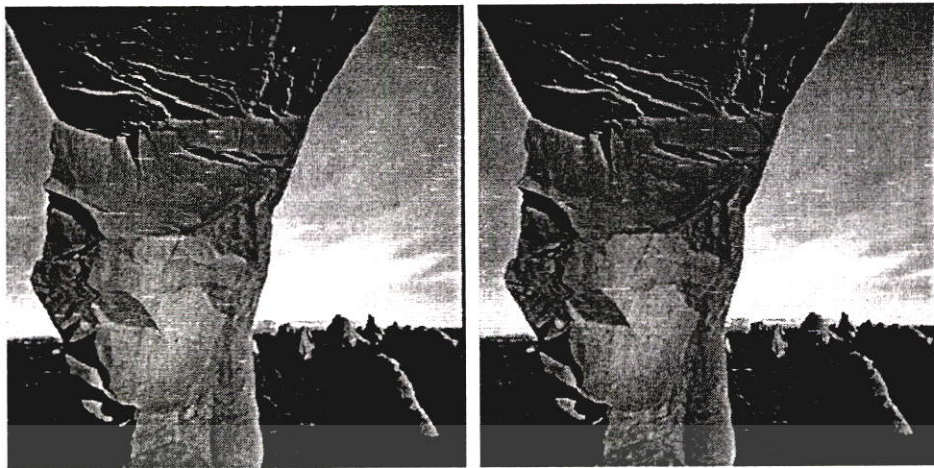
รูปที่ 5.6 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ BANDON (ก) รูปภาพ BANDON ดั้งฉบับ (ข) รูปภาพ BANDON ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหา ลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ ที่ทำการฝังเท่ากับ 1148 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 37.7791 dB และผลการตอบสนองการ ตรวจสอบเท่ากับ 35.3737 ค่าเทร โชลเท่ากับ 12.6375

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



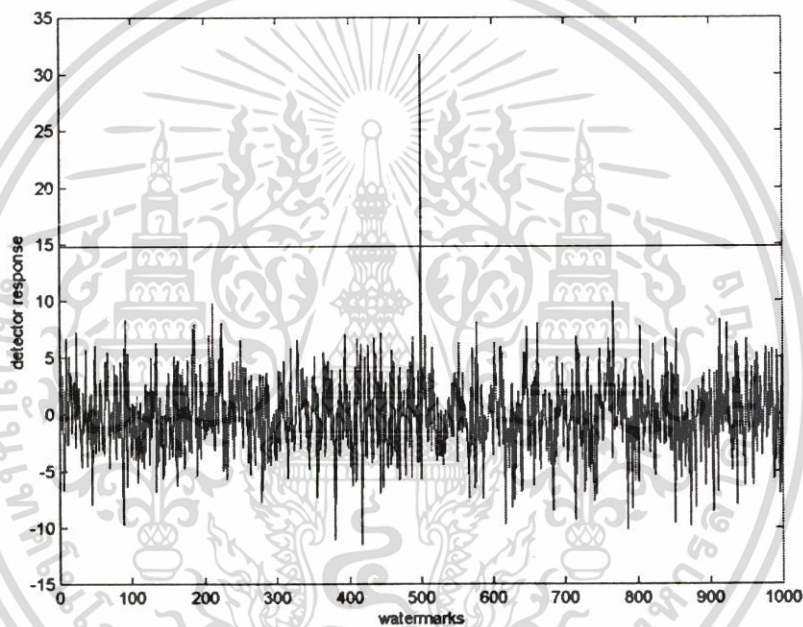
รูปที่ 5.7 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอเกี่ยวกับภาพ LOCHNESS

(ก) รูปภาพ LOCHNESS ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ LOCHNESS ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 861 คี ค่า PSNR เท่ากับ 38.0583 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 63.4239 ค่าเทรโซลเท่ากับ 15.5813



(ก)

(ข)

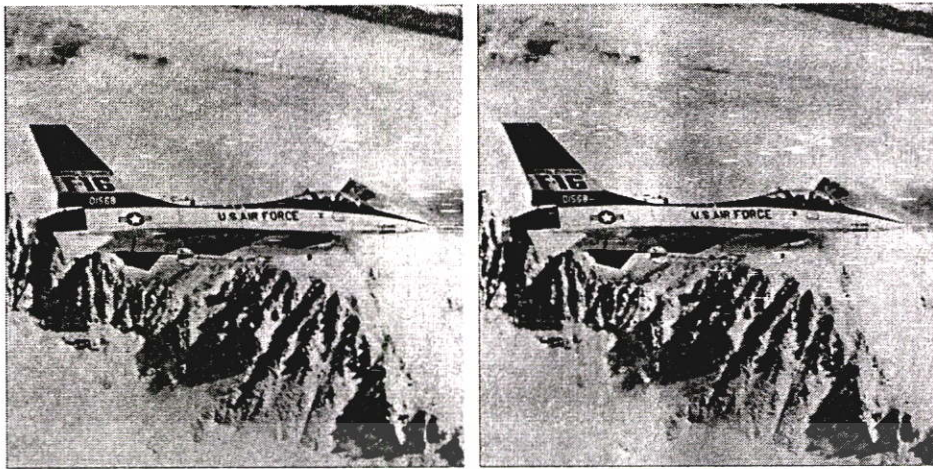


(ค)

### รูปที่ 5.8 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ SKYLINE ARCH

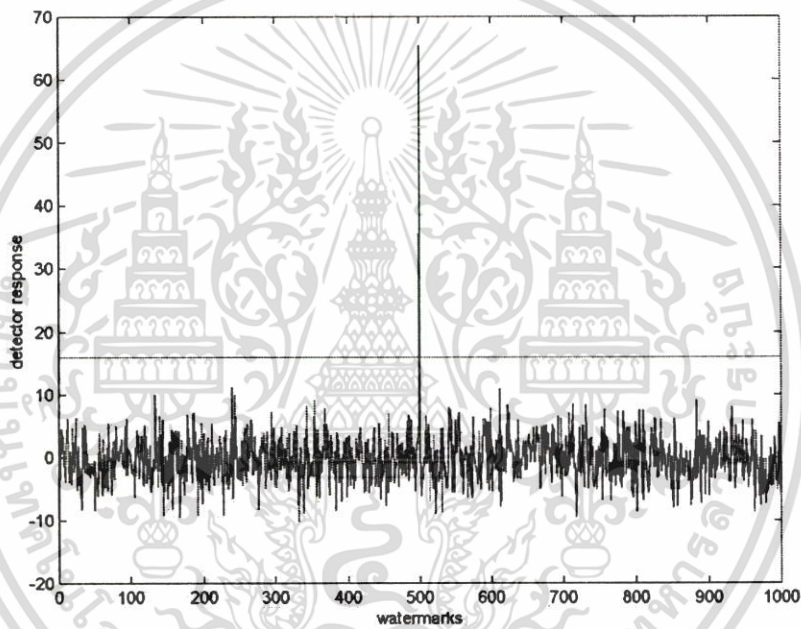
(ก) รูปภาพ SKYLINE ARCH ดั้งฉบับ (ข) รูปภาพ SKYLINE ARCH ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1340 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 36.7057 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 31.6958 ค่าเทรโซลเท่ากับ 14.7705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



(ค)

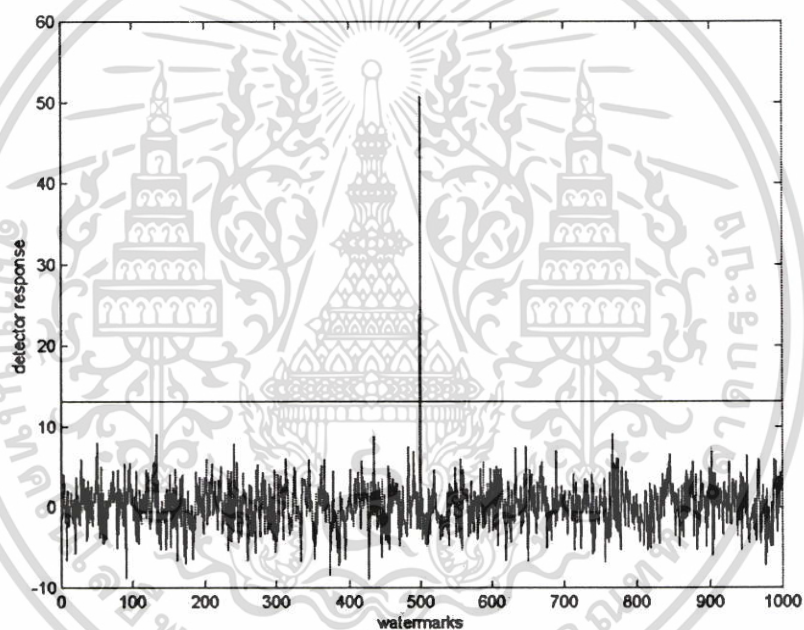
**รูปที่ 5.9** ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ F16 (ก) รูปภาพ F16 ดับจนับ (ข) รูปภาพ F16 ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพ ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1535 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 37.3415 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 66.4305 ค่าเทร โชลเท่ากับ 16.2707

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

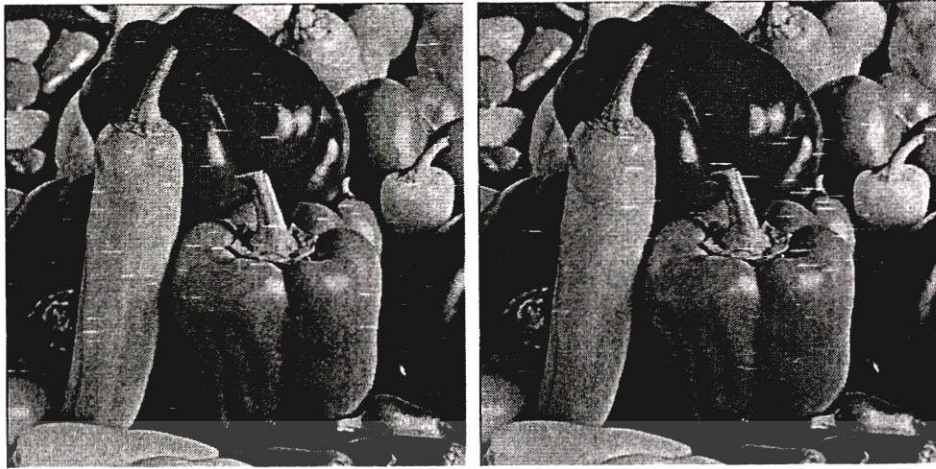
(ข)



(ค)

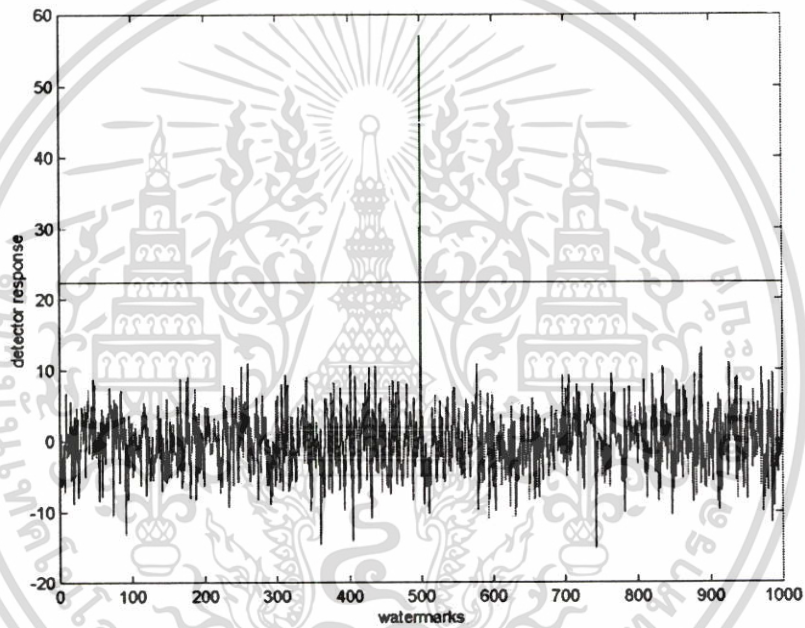
รูปที่ 5.10 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ FISHBOAT (ก) รูปภาพ FISHBOAT ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ FISHBOAT ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1809 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.4879 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 50.8753 ค่าเทร โชลเท่ากับ 13.0541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

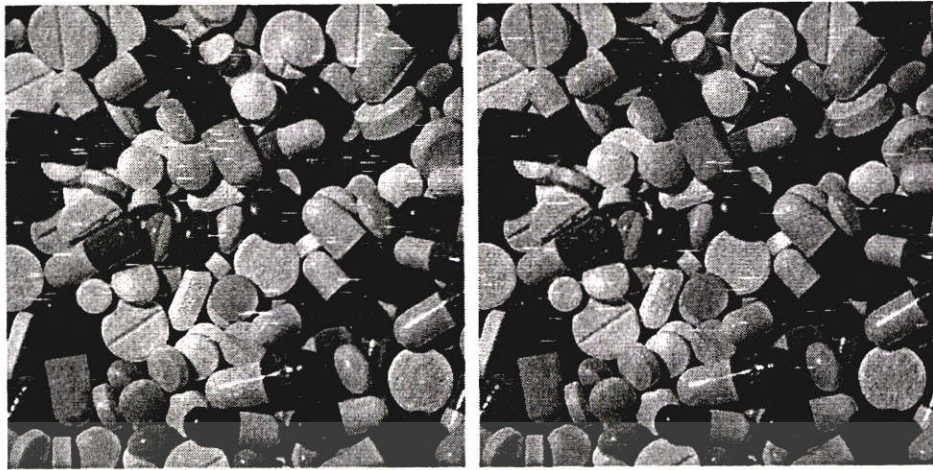
(ข)



(ค)

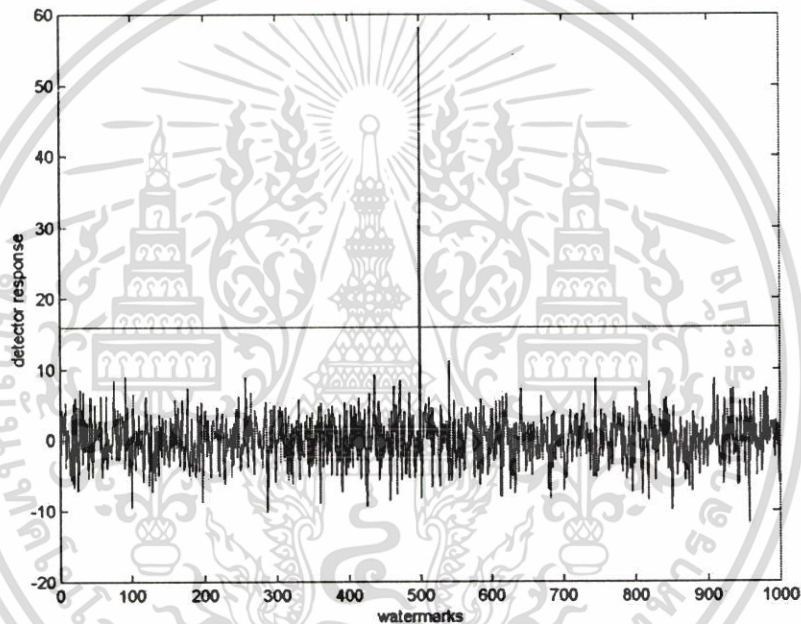
รูปที่ 5.11 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ PEPPERS (ก) รูปภาพ PEPPERS ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ PEPPERS ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ทำการฝังเท่ากับ 800 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 39.6226 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 57.0088 ค่าเทร โชลเท่ากับ 22.3757

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

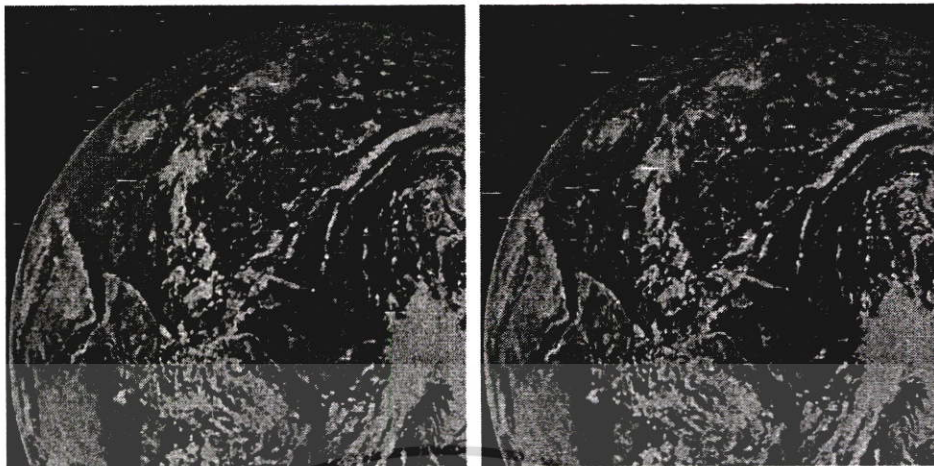
(ข)



(ค)

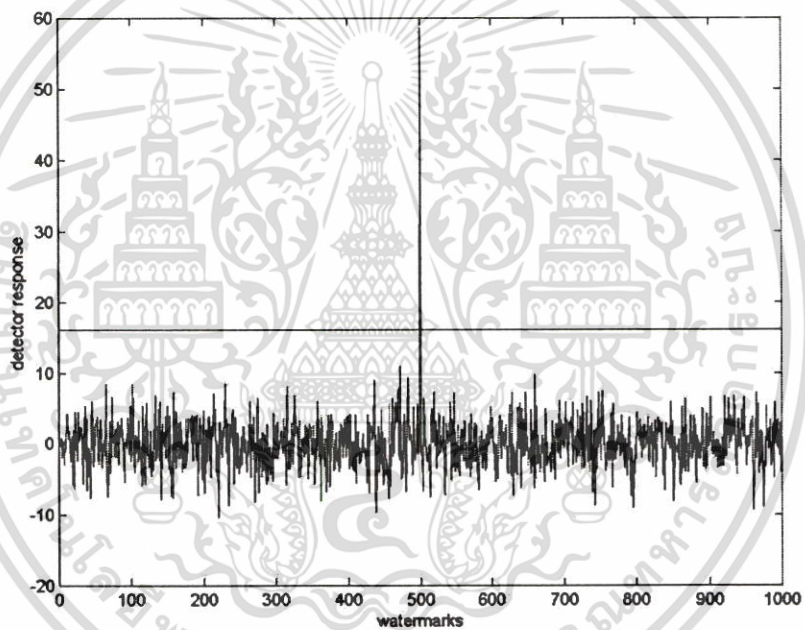
รูปที่ 5.12 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ PILLS (ก) รูปภาพ PILLS ดับเบิล (ข) รูปภาพ PILLS ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1418 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.0715 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 58.1611 ค่าเทร โชลเท่ากับ 15.931

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

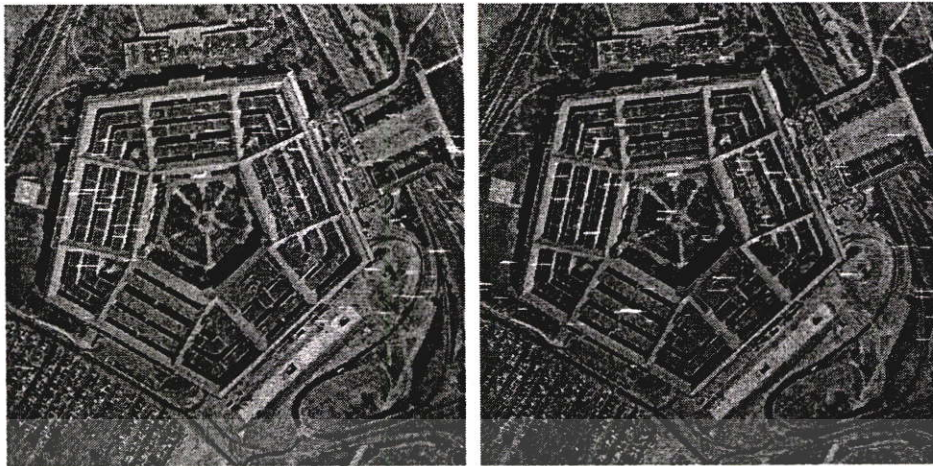
(ข)



(ค)

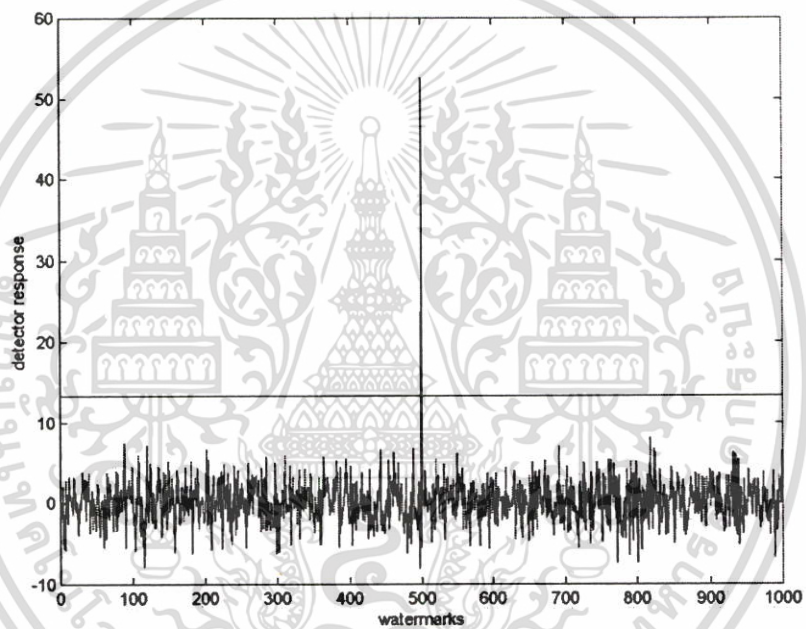
รูปที่ 5.13 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ EARTH (ก) รูปภาพ EARTH คัดฉบับ (ข) รูปภาพ EARTH ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคีย์ที่ทำการฝังเท่ากับ 1335 คีย์ ค่า PSNR เท่ากับ 38.4247 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 58.5285 ค่าเทร โชลเท่ากับ 16.0928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

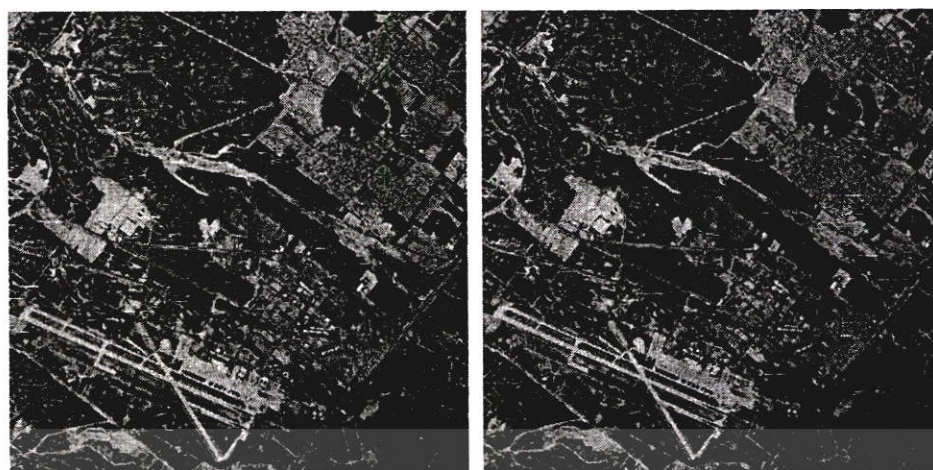


(ค)

### รูปที่ 5.14 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ PANTAGON

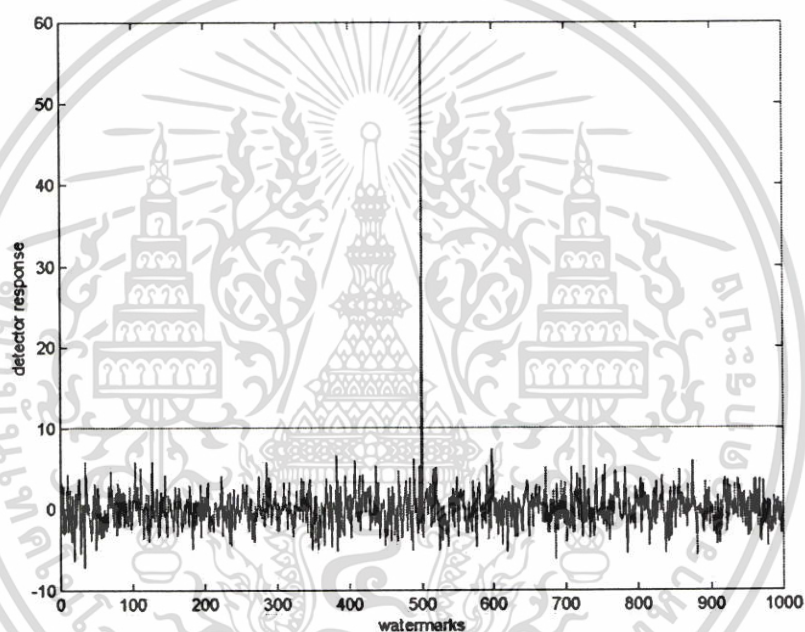
(ก) รูปภาพ PANTAGON ดั้งฉบับ (ข) รูปภาพ PANTAGON ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1702 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 36.7201 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 52.6837 ค่าเทร โชลเท่ากับ 13.3798

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

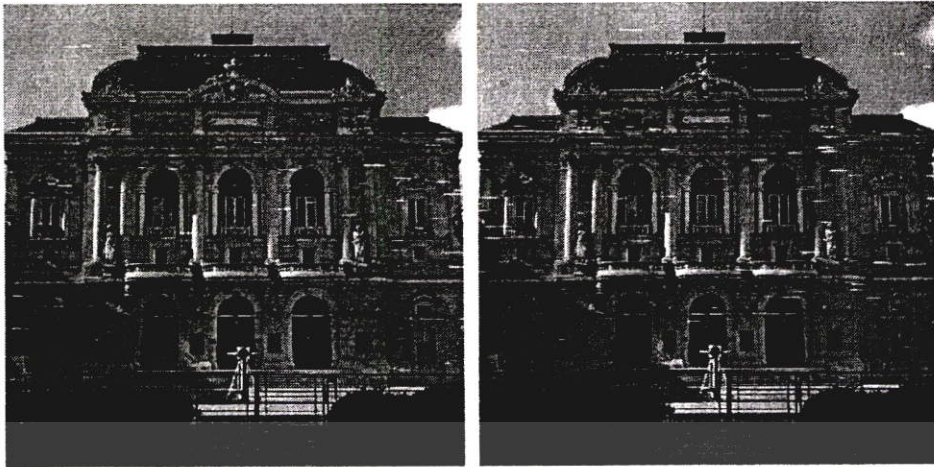
(ข)



(ค)

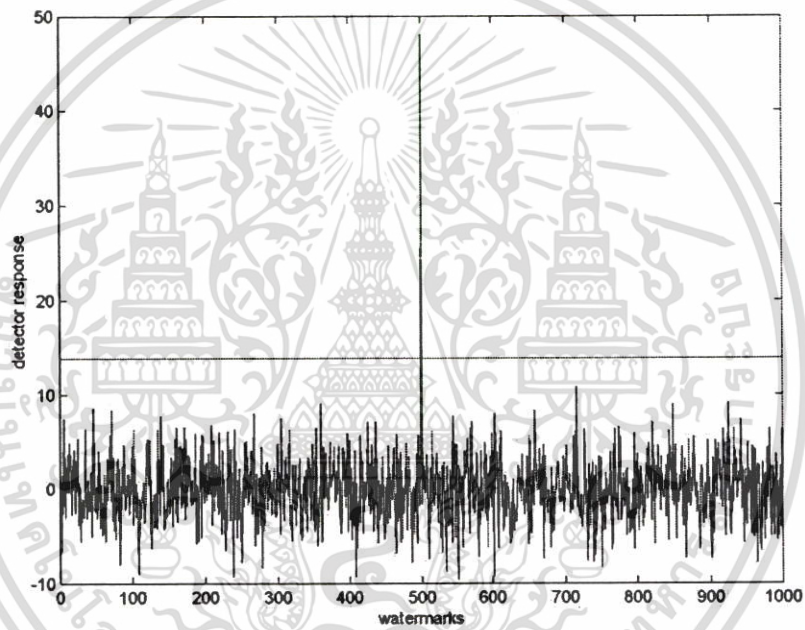
รูปที่ 5.15 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ SANDIEGO (ก) รูปภาพ SANDIEGO ดั้งฉบับ (ข) รูปภาพ SANDIEGO ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 2913 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 36.6422 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 58.4453 ค่าเทร โชลเท่ากับ 10.1166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

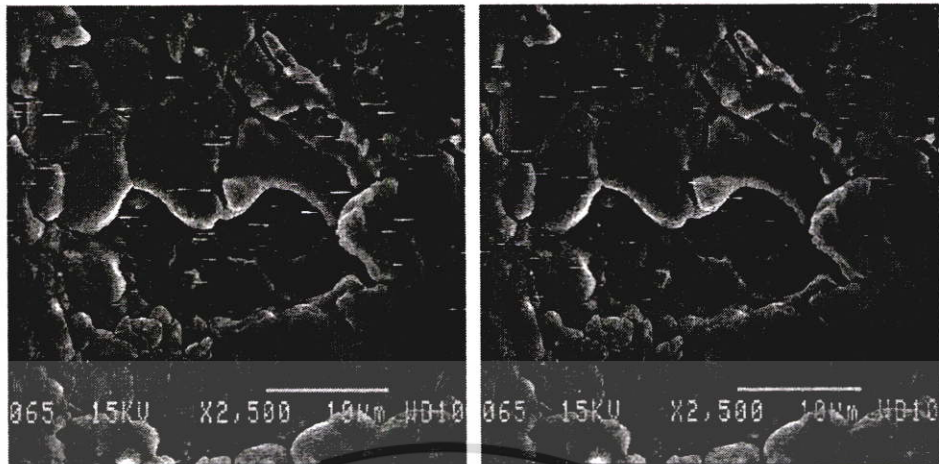
(ข)



(ค)

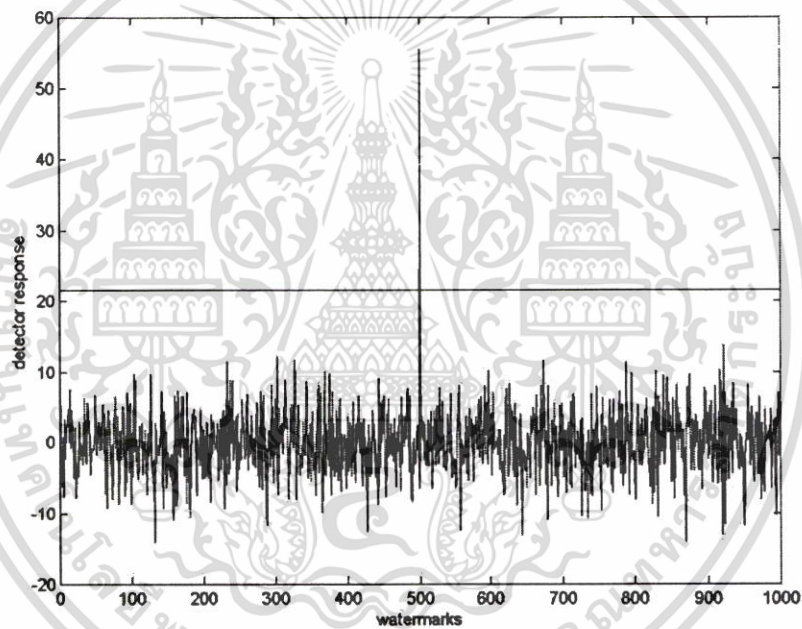
รูปที่ 5.16 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ OPERA (ก) รูปภาพ OPERA ดันฉบับ (ข) รูปภาพ OPERA ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 1432 คี่ ค่า PSNR เท่ากับ 38.2912dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 48.0925ค่าเทรโซลเท่ากับ 13.8658

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 5.17 ผลการทดลองการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยวิธีที่นำเสนอกับภาพ Z1X25 (ก) รูปภาพ Z1X25 ต้นฉบับ (ข) รูปภาพ Z1X25 ที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลแล้ว (ค) ผลการตรวจหาลายน้ำดิจิทัลจากภาพที่ทำการฝังลายน้ำดิจิทัลไว้ โดยขนาดของคี่ที่ทำการฝังเท่ากับ 746 คี่ ค่าPSNR เท่ากับ 39.0382 dB และผลการตอบสนองการตรวจสอบเท่ากับ 55.48 ค่าเทร โชลเท่ากับ 21.5456

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.5 การทดสอบความคงทนลายน้ำ

การทดสอบความคงทนลายน้ำ โดยนำภาพที่มีลายน้ำดิจิทัลฝังอยู่มาทำการทดสอบความคงทนของลายน้ำ โดยการโจมตีด้วยการผ่านตัวกรองภาพแบบมัธยฐาน (median filter) โดยใช้ตัวกรองมัธยฐานขนาด 3x3 พิกเซล การใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise) การบีบอัดภาพแบบ JPEG และ JPEG 2000 ที่ระดับคุณภาพต่างๆ โดยตารางที่ 5.1-5.5 แสดงผลการทดสอบการโจมตีลายน้ำของภาพทั้งหมด โดยจะแสดงค่า PSNR ค่าคอร์รีเลชัน (Z) และค่าเทอร์โซลการหาลายน้ำ (Sz) และค่าคีย์ที่สามารถตรวจหาได้ ส่วนรายละเอียดผลการทดสอบของแต่ละภาพแสดงในภาคผนวก ค.

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการฝังลายน้ำบนภาพต้นฉบับโดยไม่ผ่านการโจมตีลายน้ำ

ภาพต้นฉบับ	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
LENA	40.0853	50.4033	23.2361	500
TIFFANY	36.5367	82.8871	40.8504	500
KID	38.3969	67.1614	19.9797	500
BABOON	35.1651	55.4452	8.5793	500
BEAR	37.9534	55.846	16.5892	500
BANDON	37.7791	35.3737	12.6375	500
LOCHNESS	38.0583	63.4239	15.5813	500
SKYLINE ARCH	36.7057	31.6958	14.7705	500
F16	37.3415	66.4305	16.2707	500
FISHBOAT	38.4879	50.8753	13.0541	500
PEPPERS	39.6226	57.0088	22.3757	500
PILLS	38.0715	58.1611	15.931	500
EARTH	38.4247	58.5285	16.0928	500
PANTAGON	36.7201	52.6837	13.3798	500
SANDIEGO	36.6422	58.4453	10.1166	500
OPERA	38.2912	48.0925	13.8658	500
Z1X25	39.0382	55.48	21.5456	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความคงทนลายน้ำโดยผ่านการโจมตีด้วยตัวกรองภาพแบบมัธยฐาน  
(median filter) โดยใช้ตัวกรองมัธยฐานขนาด 3x3 พิกเซล

รูปภาพลายน้ำ	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
LENA	34.2224	37.9034	22.5611	500
TIFFANY	31.603	62.302	36.7498	500
KID	33.6024	53.155	18.7314	500
BABOON	23.518	42.1558	8.857	500
BEAR	35.2547	50.0217	17.769	500
BANDON	30.2595	37.3525	11.9746	500
LOCHNESS	31.9843	60.6314	17.7498	500
SKYLINE ARCH	33.8663	23.9415	16.0925	500
F16	32.8435	49.1714	15.6	500
FISHBOAT	30.1546	41.8347	13.4208	500
PEPPERS	33.476	41.1258	20.8838	500
PILLS	35.3652	45.5308	14.7757	500
EARTH	33.1157	50.6348	16.8537	500
PANTAGON	29.3202	43.3711	14.7223	500
SANDIEGO	26.5908	50.059	11.2124	500
OPERA	29.7507	38.8331	14.561	500
Z1X25	33.8632	44.1049	21.5929	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความคงทนลายน้ำโดยผ่านการโจมตีด้วยการใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน โดยใส่สัญญาณรบกวนที่ 10 เปอร์เซ็นต์

รูปภาพลายน้ำ	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
LENA	19.7296	12.2929	8.6987	500
TIFFANY	20.4406	18.7864	10.2507	500
KID	19.866	15.9205	9.064	500
BABOON	19.7205	30.7914	6.7581	500
BEAR	20.0698	9.4467	8.2696	500
BANDON	20.24	10.4211	8.927	500
LOCHNESS	20.0039	14.2023	7.6285	500
SKYLINE ARCH	20.1295	11.2124	8.7627	500
F16	19.8887	25.5433	8.935	500
FISHBOAT	19.8562	18.8936	7.757	500
PEPPERS	19.8208	14.3284	9.3811	500
PILLS	19.8097	18.5418	8.7159	500
EARTH	19.7114	14.4698	7.866	500
PANTAGON	19.6725	14.62	7.1374	500
SANDIEGO	19.5532	21.3834	6.5724	500
OPERA	19.7867	14.7104	7.9795	500
Z1X25	19.776	12.8893	8.9153	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบความคงทนลายน้ำโดยผ่านการโจมตีด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG ที่ระดับคุณภาพการบีบอัดต่ำสุดที่  $Q_0$

รูปภาพลายน้ำ	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
LENA	32.194	30.8427	22.7332	500
TIFFANY	30.6818	62.8958	38.3077	500
KID	31.6704	51.0205	19.1162	500
BABOON	25.4339	44.6976	8.2884	500
BEAR	31.7332	39.9382	17.412	500
BANDON	32.8177	19.0243	12.062	500
LOCHNESS	30.2139	42.9717	14.5819	500
SKYLINE ARCH	31.2954	18.7949	15.3547	500
F16	30.8304	49.351	15.1329	500
FISHBOAT	29.5378	34.5218	12.6061	500
PEPPERS	31.4655	36.4812	19.8143	500
PILLS	31.232	41.4619	15.0268	500
EARTH	30.7239	39.0304	16.8705	500
PANTAGON	27.979	39.5659	13.5789	500
SANDIEGO	25.8694	49.0233	10.6958	500
OPERA	30.284	31.4983	14.3135	500
Z1X25	32.0862	39.0208	20.5205	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบความคงทนลายน้ำโดยผ่านการโจมตีด้วยการบีบอัดภาพแบบ

JPEG 2000 ที่ระดับคุณภาพการบีบอัดต่ำสุดที่ 10 เปอร์เซนต์

รูปภาพลายน้ำ	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
Lena	35.2302	42.6943	24.7635	500
Tiffany	33.2526	68.9906	35.9305	500
Kid	34.0338	55.8908	19.8989	500
Baboon	25.292	39.5317	9.0418	500
Bear	33.1302	35.0432	23.2256	500
Bandon	34.6507	26.9958	14.1342	500
Lochness	32.3188	61.1412	19.3235	500
Skyline arch	32.3328	16.7356	16.8986	500
F16	32.4499	50.4159	16.4025	500
Fishboat	30.8426	35.7489	17.2753	500
Peppers	34.1877	43.9747	21.5067	500
Pills	32.3838	37.5955	17.8942	500
Earth	32.5365	40.1207	18.7705	500
Pantagon	29.3459	40.252	17.7794	500
Sandiego	26.5787	46.9011	12.2195	500
Opera	32.2392	40.4061	16.2451	500
Z1x25	34.9873	47.27	22.4006	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.6 การทดสอบกับคีย์ขนาดต่างๆ

ทำโดยการฝังลายน้ำด้วยขนาดของคีย์ (Key size) ที่ต่างกัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลการตรวจสอบ แสดงตาราง 5.6-5.22 จะเห็นได้ว่าขนาดของคีย์ที่ใช้มาก จะมีผลให้ค่า PSNR น้อยกว่า ขนาดคีย์ที่น้อยกว่า ส่วนขนาดของคีย์ที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ขึ้นกับลักษณะของรูปนั้น

ตารางที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ

ภาพ Lena

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1005	40.0853	50.4033	23.2361	500
50	663	40.8233	58.0123	34.8633	500
60	443	41.2784	59.5047	49.0681	500
70	301	41.5932	66.5334	68.9529	500
80	190	41.8553	62.5017	99.9804	500
90	134	41.9302	72.9545	115.253	500
100	101	41.9557	87.8441	136.958	500
110	69	42.0201	97.0143	239.55	500
120	50	42.0297	113.098	360.7699	500
130	37	42.0396	116.4482	504.4141	500

ตารางที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Tiffany

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	648	36.5378	82.8852	40.361	500
50	435	37.1475	94.5698	59.993	500
60	310	37.6252	92.9442	72.9558	500
70	222	37.8779	97.1356	114.1701	500
80	158	38.0057	111.1602	151.3423	500
90	109	38.1555	123.3566	227.495	500
100	53	38.2887	149.9658	269.3095	500
110	37	38.341	156.7385	305.2684	500
120	24	38.3688	161.403	403.1059	500
130	15	38.407	182.5904	584.532	653

ตารางที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Kid

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1087	37.7719	68.34	20.1751	500
50	701	38.5308	76.4328	26.5495	500
60	466	39.1209	79.7784	34.4426	500
70	317	39.6238	87.4986	44.0521	500
80	207	39.9305	97.1649	58.4022	500
90	137	40.2575	93.7579	75.9774	500
100	91	40.3778	92.1128	92.5449	500
110	58	40.5187	101.2978	136.9931	209
120	38	40.5667	114.125	158.3208	209
130	31	40.5786	132.4497	192.5472	209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ

ภาพ Baboon

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	4294	35.1651	55.4452	8.5793	500
50	2985	36.4797	60.0629	10.7818	500
60	2101	37.6662	62.9885	13.2497	500
70	1487	38.6658	66.8251	16.3419	500
80	1027	39.5809	68.8874	20.3839	500
90	748	40.2193	69.0411	25.2023	500
100	521	40.872	72.0867	31.3059	500
110	372	41.1777	79.3633	38.2641	500
120	265	41.4146	83.1535	47.0486	500
130	188	41.5582	96.7459	59.9598	500

ตารางที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ

ภาพ Bear

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	704	37.944	56.4442	16.7094	500
50	388	38.253	61.0656	25.3226	500
60	217	38.4272	63.2491	40.5827	500
70	133	38.5015	68.4957	51.5858	500
80	92	38.5389	80.6426	80.3626	500
90	68	38.5643	87.2249	99.3262	500
100	42	38.5784	121.5052	132.2558	169
110	29	38.5877	147.6432	172.0811	500
120	17	38.5839	170.2152	284.6884	500
130	10	38.586	222.3079	530.7001	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ

ภาพ Bandon

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1148	37.782	35.2664	12.638	500
50	849	38.0161	37.5406	16.0997	500
60	644	38.2475	36.7635	19.7953	500
70	501	38.329	36.2699	23.4774	500
80	413	38.4821	32.0315	26.6994	500
90	329	38.5761	28.2456	30.411	500
100	278	38.6253	30.0942	32.768	414
110	240	38.6637	33.2637	35.8449	178
120	208	38.7114	38.1653	40.4657	414
130	179	38.7275	43.6377	43.9847	461

ตารางที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ

ภาพ Lochness

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	861	37.8767	67.436	16.2268	500
50	459	38.3575	84.3535	24.3207	500
60	252	38.6963	90.0796	36.8041	500
70	140	38.8858	96.9687	53.0579	500
80	68	38.991	97.7549	86.7297	500
90	36	39.0117	113.3526	126.238	500
100	15	39.0626	178.6733	205.3652	500
110	8	39.0681	216.2142	226.4237	221
120	4	39.0641	301.0862	333.7557	254
130	2	39.064	582.6567	1060.1	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Skyline\_arch

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1340	36.7065	31.2531	14.681	500
50	971	36.9403	34.2751	18.4073	500
60	724	37.1107	33.2499	22.881	500
70	560	37.2456	35.4851	26.5195	500
80	433	37.3464	37.5173	32.3481	500
90	361	37.3935	41.4501	41.776	500
100	294	37.4395	49.4988	49.0572	500
110	244	37.4743	55.0229	59.3114	500
120	207	37.5087	65.61	78.6278	500
130	162	37.5177	80.3214	105.702	500

ตารางที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ F16

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1535	37.3415	66.4305	16.2707	500
50	1089	38.264	73.0542	20.9211	500
60	810	39.1627	74.8826	26.284	500
70	589	39.9005	78.0623	32.1251	500
80	423	40.4034	84.9681	37.7077	500
90	305	40.9069	81.9892	48.5467	500
100	226	41.2694	91.9208	60.2643	500
110	154	41.5426	100.5192	83.8253	500
120	111	41.6494	123.7562	103.6139	500
130	80	41.8348	118.2156	126.4034	500

ตารางที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ FishBoat

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1809	38.4879	50.8753	13.0541	500
50	1243	39.3482	54.8421	19.3028	500
60	885	40.1049	54.5693	26.189	500
70	646	40.664	55.6735	34.8555	500
80	479	40.9931	56.0016	46.854	500
90	360	41.2945	59.0362	72.3987	500
100	277	41.436	64.1906	95.0487	500
110	210	41.5999	58.2507	143.7776	500
120	163	41.7547	46.9406	205.1742	500
130	130	41.8555	65.0427	457.5894	500

ตารางที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Peppers

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	800	39.6226	57.0088	22.3757	500
50	579	40.3599	62.648	28.1328	500
60	438	40.7716	63.9275	33.4265	500
70	316	41.1109	70.2484	43.4479	500
80	243	41.3767	71.4978	52.0632	500
90	168	41.6115	75.2967	64.897	500
100	128	41.7299	81.5635	80.0195	500
110	100	41.806	85.3409	107.537	500
120	70	41.957	112.9889	127.2975	500
130	44	41.9903	121.5641	155.0083	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอร์รีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Pills

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1418	36.8059	57.0175	15.6119	500
50	931	37.5652	61.3051	21.7027	500
60	658	38.0015	65.7815	28.4802	500
70	472	38.2622	72.2662	35.9938	500
80	360	38.4847	79.992	44.475	500
90	264	38.6311	90.2827	58.1847	500
100	205	38.7792	99.6362	76.7506	500
110	152	38.8684	106.3491	94.3176	500
120	104	38.9209	113.8453	111.085	500
130	67	38.9971	124.2934	177.7594	500

ตารางที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอร์รีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Earth

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1335	38.4241	58.7574	16.2321	500
50	807	39.1472	66.2903	22.8335	500
60	515	39.7207	68.9371	30.9397	500
70	327	39.9937	70.8014	40.7443	500
80	233	40.0916	79.0047	52.027	500
90	169	40.1922	82.389	64.5317	500
100	134	40.2754	95.5893	79.1209	500
110	103	40.3053	115.793	106.2482	500
120	74	40.3529	116.8734	125.4355	500
130	60	40.3461	151.3585	187.9609	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Pantagon

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1702	36.725	52.5403	13.3451	500
50	1029	37.4881	56.0491	19.3332	500
60	608	37.9042	56.8961	28.2767	500
70	364	38.1154	58.0663	41.7852	500
80	221	38.2093	67.1145	65.9677	500
90	133	38.2945	73.9923	104.4212	500
100	85	38.3131	101.7427	136.0247	402
110	42	38.3301	112.7905	177.8662	500
120	24	38.3374	216.477	394.5322	657
130	7	38.3636	382.3068	395.5079	557

ตารางที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Sandiego

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	2913	36.6433	58.489	10.1325	500
50	1718	37.9705	63.83	14.0712	500
60	1059	38.9033	69.8319	18.8286	500
70	1059	39.51	79.1829	25.3423	500
80	396	39.9084	80.676	32.6939	500
90	235	40.1275	85.8102	43.8813	500
100	150	40.193	94.141	58.2665	500
110	106	40.2978	107.1942	79.3453	500
120	63	40.3417	104.0647	105.9546	500
130	63	40.3606	105.8789	141.7256	617

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Opera

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	1432	38.2882	48.0674	13.8721	500
50	995	38.7591	54.9676	18.2234	500
60	702	39.113	62.9205	22.7224	500
70	517	39.3484	73.5178	28.2351	500
80	396	39.5516	81.6534	34.7789	500
90	288	39.6988	82.1431	43.4121	500
100	199	39.8232	78.721	51.3922	500
110	142	39.9272	71.1471	64.0843	500
120	110	39.973	83.9304	83.2381	500
130	76	40.035	88.6597	112.1353	353

ตารางที่ 5.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดของคีย์ ค่าPSNR ค่าคอรีเลชันและค่าเทรโซลของ  
ภาพ Z1x25

Threshold (Th1)	Key size	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
40	746	39.0432	55.4405	21.4595	500
50	518	39.4334	61.08	27.8283	500
60	370	39.6139	70.1111	36.8	500
70	271	39.721	84.5239	42.7096	500
80	195	39.8435	88.3934	50.442	500
90	138	39.9438	94.8247	60.5124	500
100	104	40.0279	112.742	74.882	500
110	64	40.1219	120.3667	112.7596	500
120	21	40.1785	181.0579	314.2229	55
130	13	40.1844	235.4149	365.7379	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.7 การทดสอบกับภาพลักษณะต่างๆ

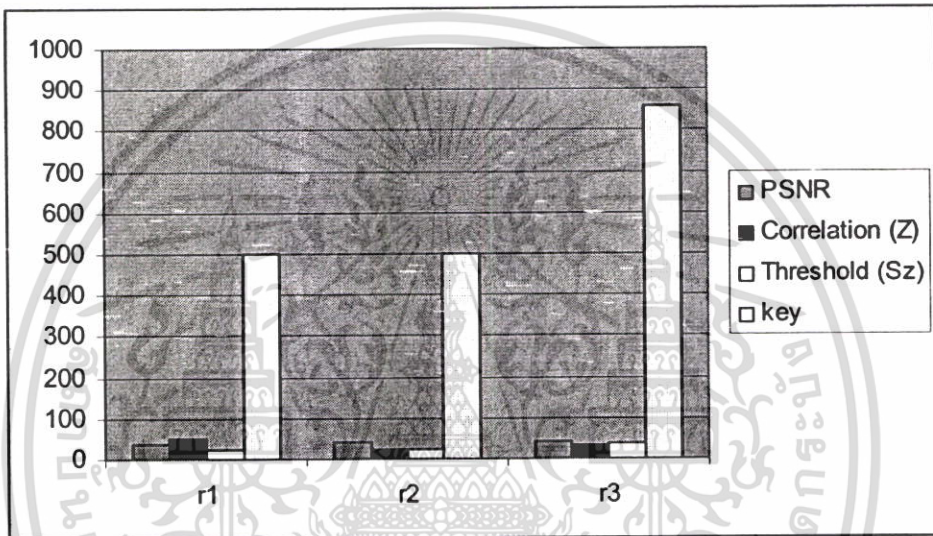
การทดสอบโดยนำภาพลักษณะต่างๆมาทำการทดลองใส่ลายน้ำที่การแปลงเวฟเลขที่ระดับ 1, 2, 3 ดังตารางที่ 5.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของคิตี่ใส่ลงในภาพที่ระดับต่างๆ ของการแปลงเวฟเลข จากการทดลองจะเห็นได้ว่ารูปภาพที่มีลายละเอียดมาก ขนาดของคิตี่จะมาก ส่วนภาพที่มีลายละเอียดน้อย ขนาดของคิตี่จะน้อยกว่า

ตารางที่ 5.23 แสดงขนาดของคิตี่ทำการฝังบนภาพ ระดับต่างๆของการแปลงเวฟเลข

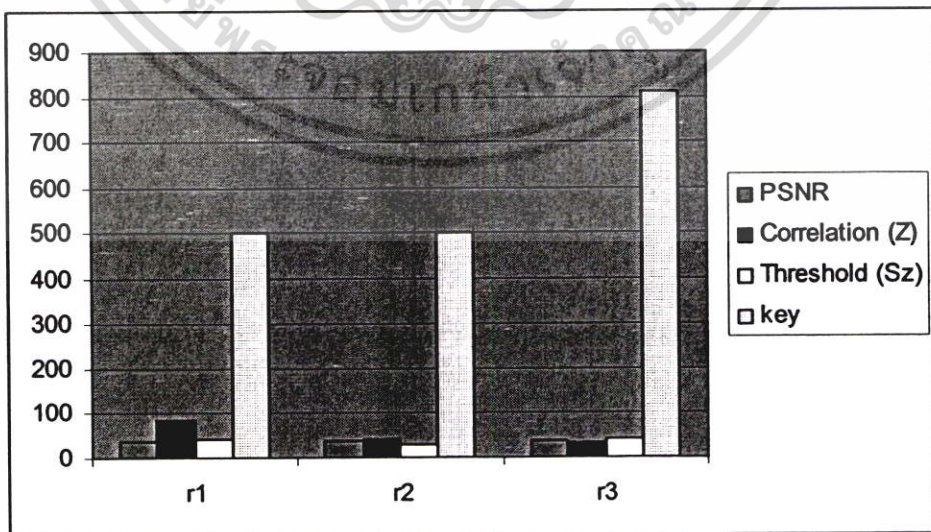
รูปภาพ	จำนวนคิตี่ฝังในระดับที่ 1	จำนวนคิตี่ฝังในระดับที่ 2	จำนวนคิตี่ฝังในระดับที่ 3
LENA	1005	1127	693
TIFFANY	648	731	560
KID	1087	958	621
BABOON	4294	2174	878
BEAR	704	1606	917
BANDON	1148	997	571
LOCHNESS	861	1046	577
Skyline_Arch	1340	1313	689
F16	1535	1324	666
FISHBOAT	1809	1494	745
PEPPERS	800	985	732
PILLS	1418	1837	1116
EARTH	1335	1848	866
PANTAGON	1702	1784	927
SanDiego	2913	2443	1050
Opera	1432	1101	654
Z1X25	746	883	706

## 5.8 การทดสอบฝังลายน้ำในแต่ละระดับของภาพ

ในรูปที่ 5.18-5.34 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำลงในภาพระดับที่ 1, 2, 3 โดยจะแสดงค่า PSNR ค่าคอรีเลชัน ค่าเทรโซลและค่าคีย์ที่ใช้ในการฝังลายน้ำ จะเห็นได้ว่าในระดับที่ 1 จะมีค่าคอรีเลชันมากกว่าในระดับที่ 2 และระดับที่ 3 และสามารถตรวจสอบหาคีย์ที่ใช้ในการฝังได้ ซึ่งค่าคีย์เท่ากับ 500 ส่วนในระดับที่ 2 ถึงแม้ว่าจะสามารถทำการตรวจสอบหาคีย์ที่ใช้ได้ แต่ค่าคอรีเลชันมีค่าน้อยกว่า ส่วนในระดับที่ 3 นั้นไม่สามารถทำการตรวจสอบหาคีย์ที่ใช้ในการฝังได้ ส่วนค่า PSNR นั้นจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

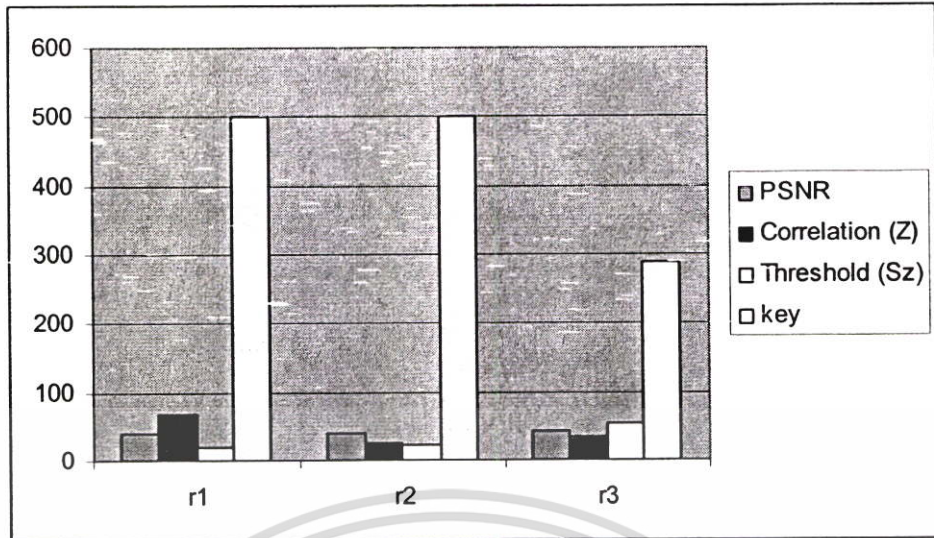


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ LENA ที่ระดับ 1, 2, 3

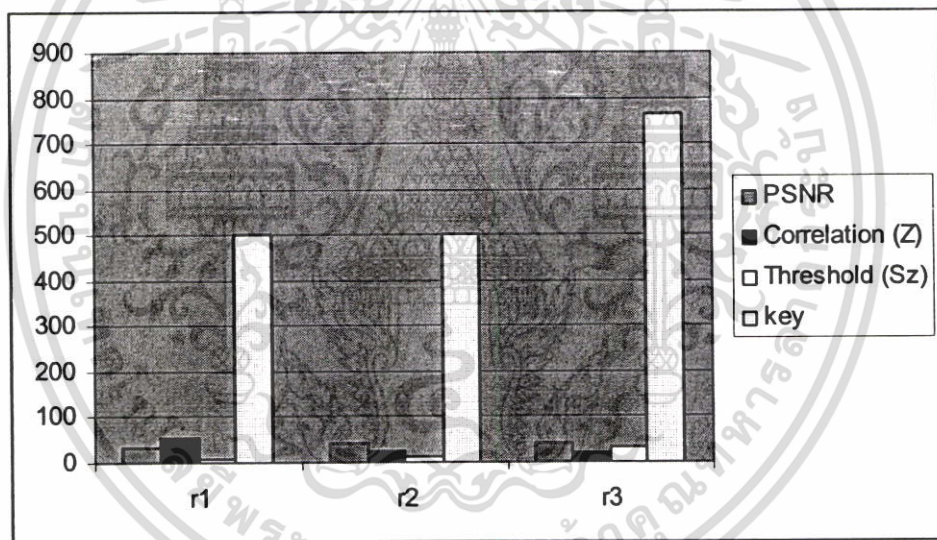


รูปที่ 5.19 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ TIFFANY ที่ระดับ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 5.19** กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ TIFFANY ที่ระดับ 1, 2, 3 เลขหน้าการคัด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

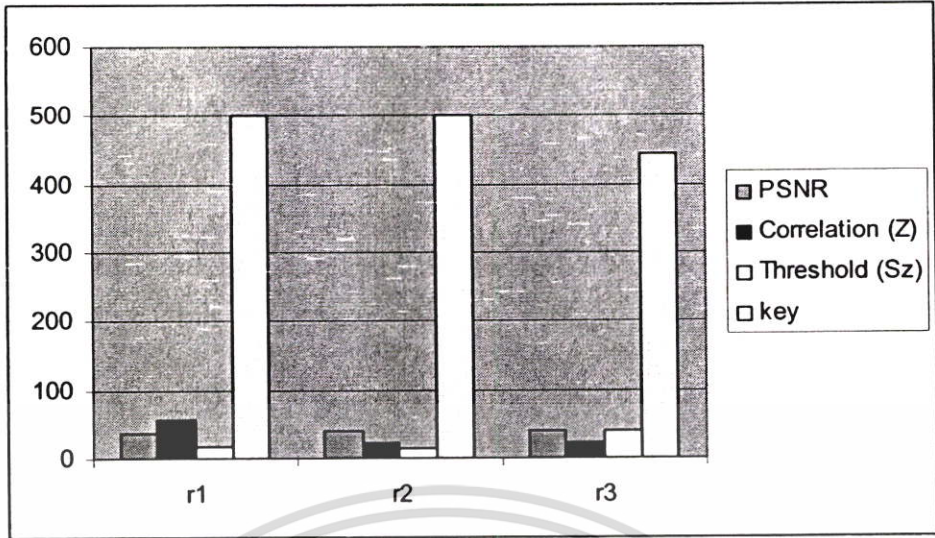


รูปที่ 5.20 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ KID ที่ระดับ 1, 2, 3

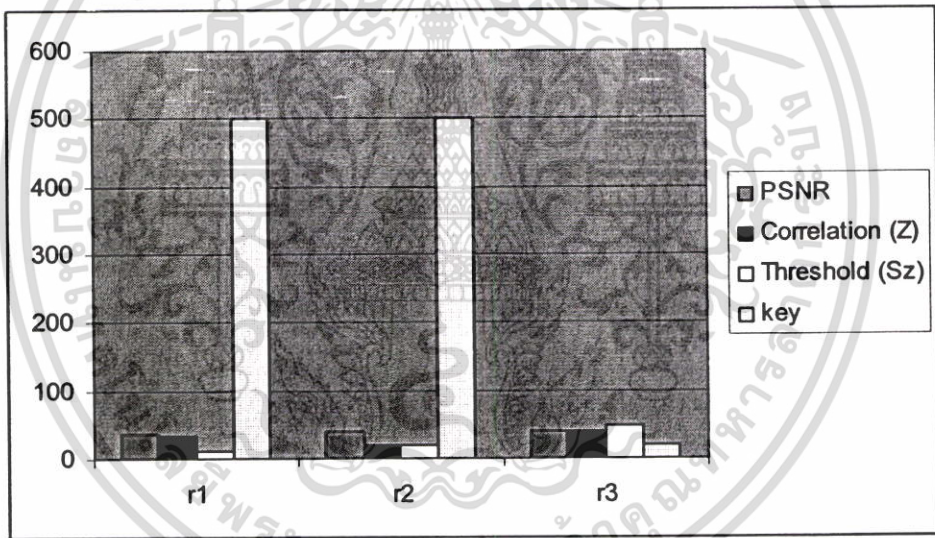


รูปที่ 5.21 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ BABOON ที่ระดับ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

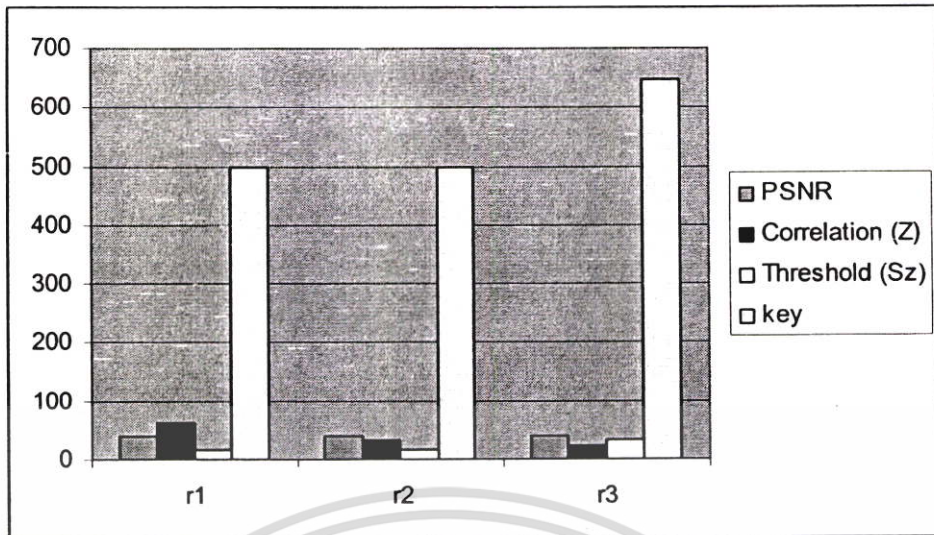


รูปที่ 5.22 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ BEAR ที่ระดับ 1, 2, 3

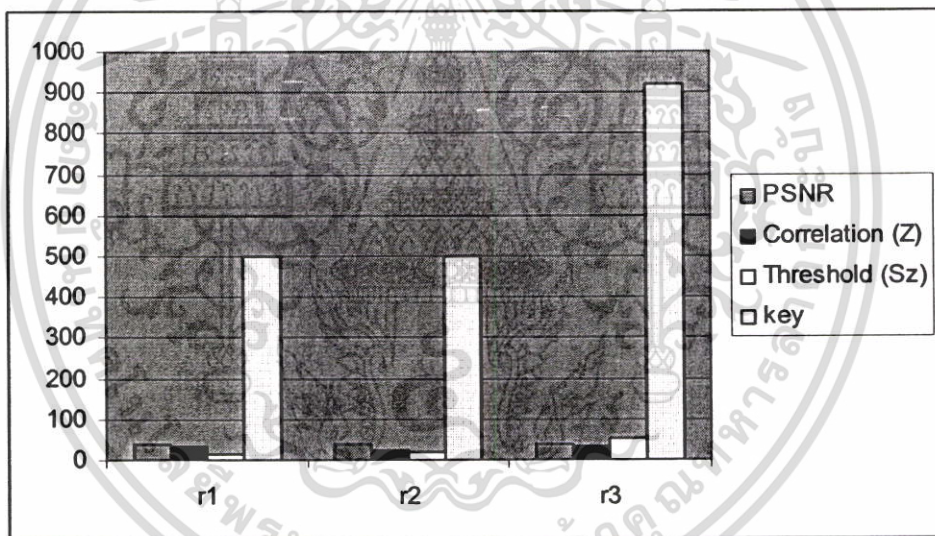


รูปที่ 5.23 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ BANDON ที่ระดับ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

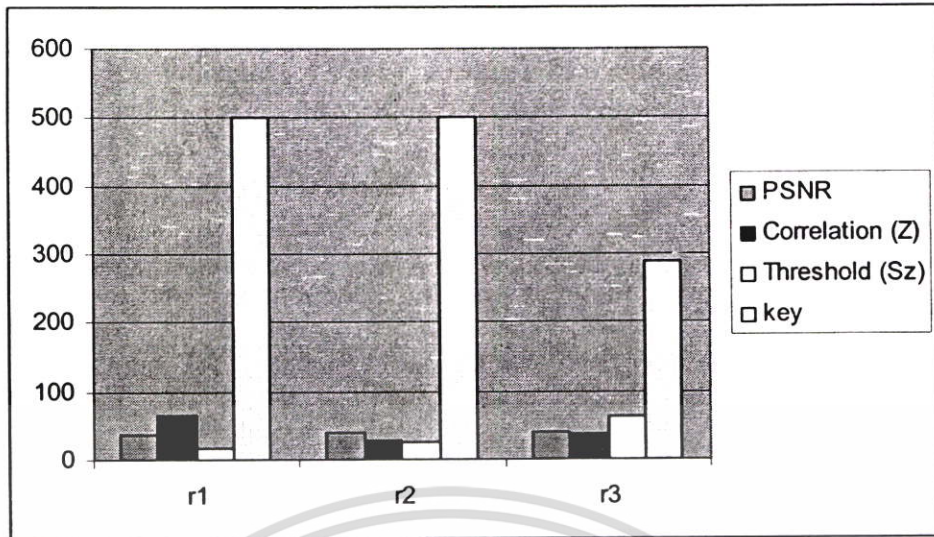


รูปที่ 5.24 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ LOCHNESS ที่ระดับ 1, 2, 3

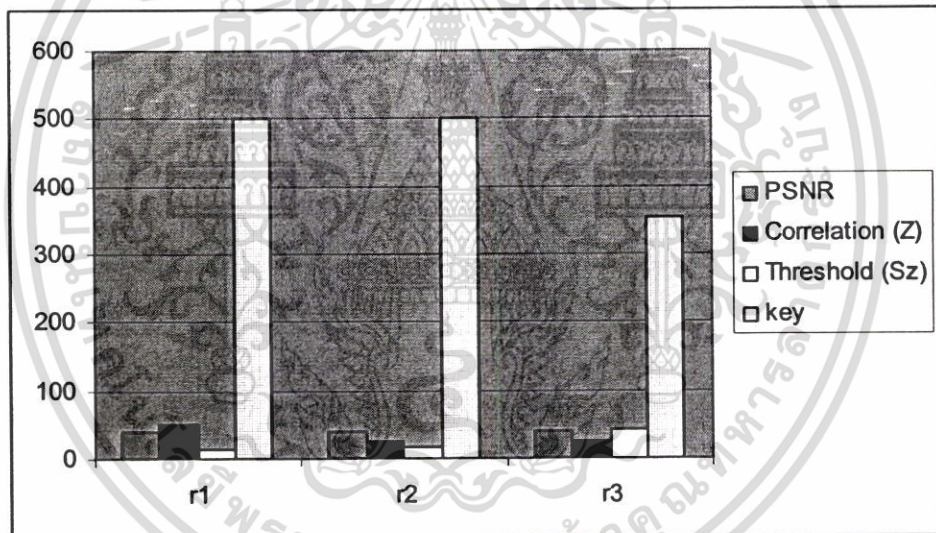


รูปที่ 5.25 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ SKYLINE ARCH ที่ระดับ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

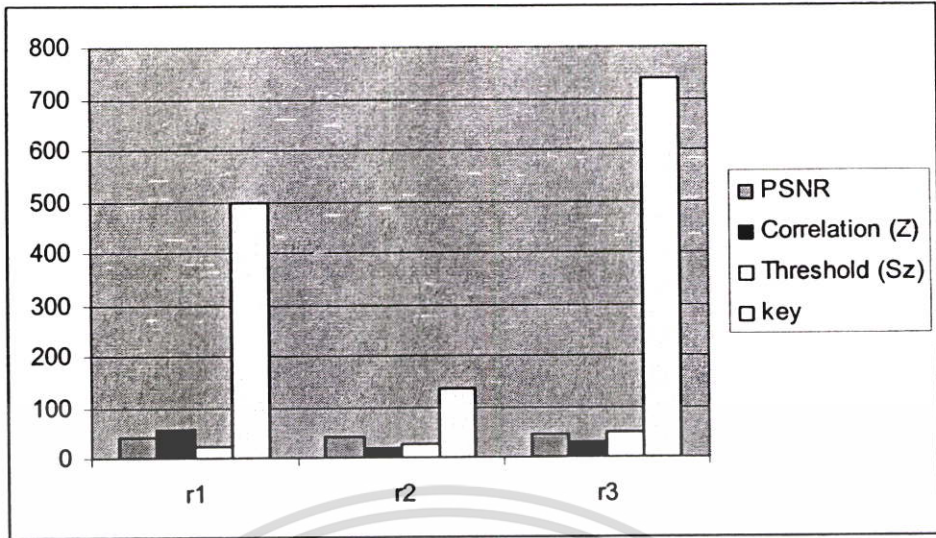


รูปที่ 5.26 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ F16 ที่ระดับ 1, 2, 3

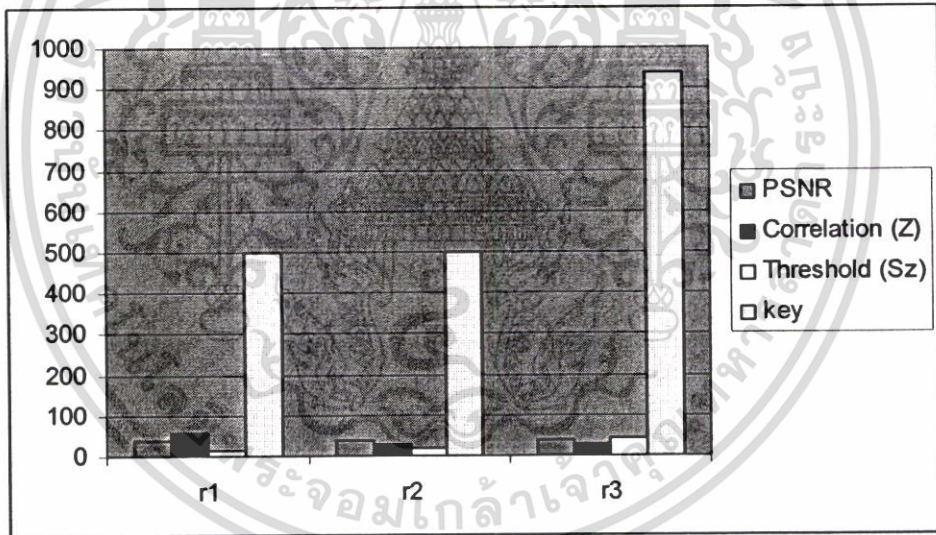


รูปที่ 5.27 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ FISHBOAT ที่ระดับ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

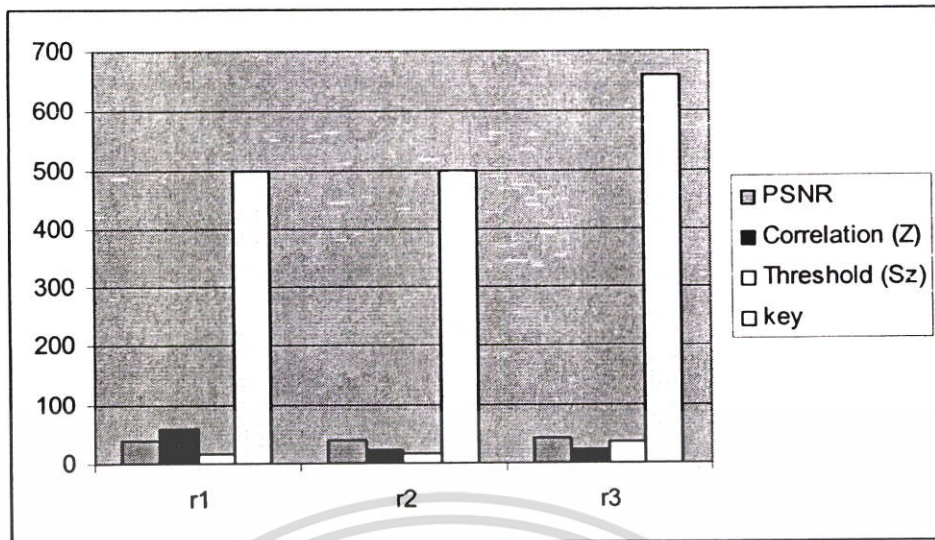


รูปที่ 5.28 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ PEPPERS ที่ระดับ 1, 2, 3

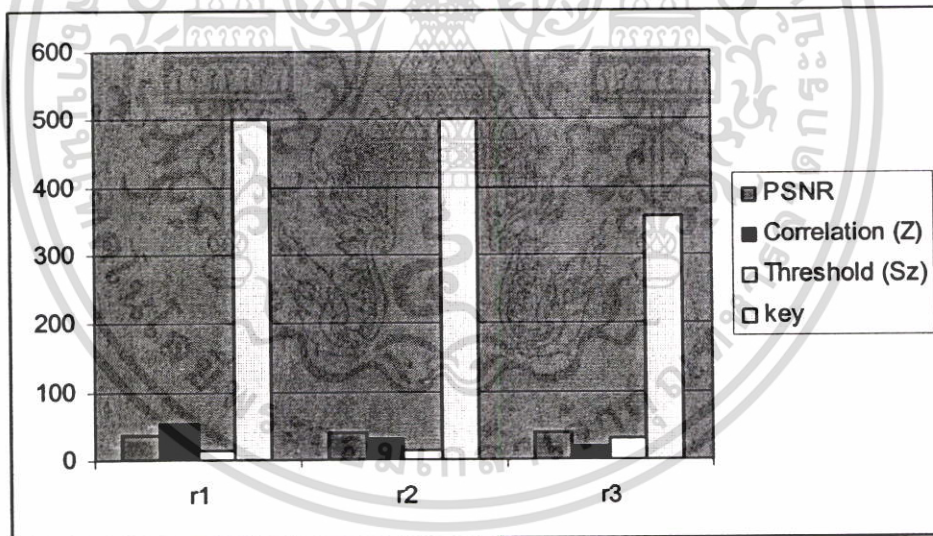


รูปที่ 5.29 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ PILLS ที่ระดับ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

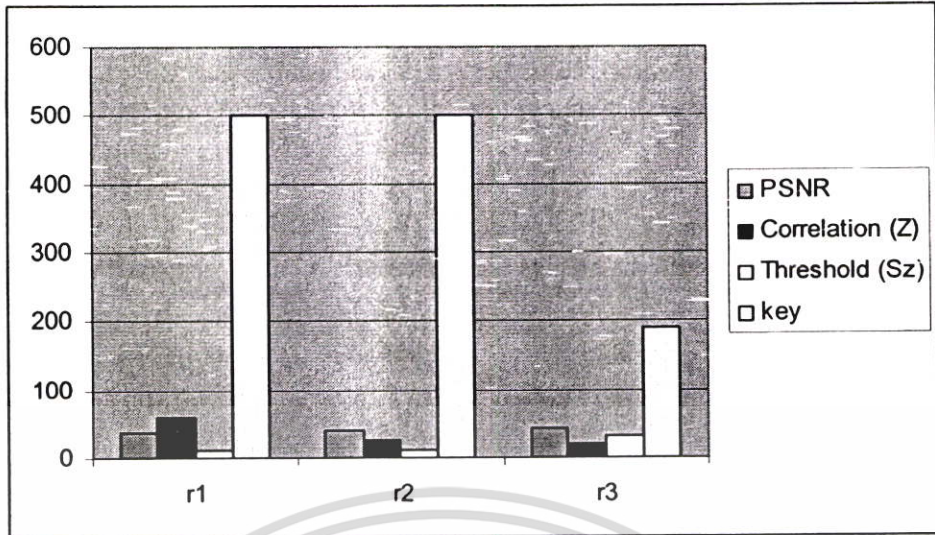


รูปที่ 5.30 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ EARTH ที่ระดับ 1, 2, 3

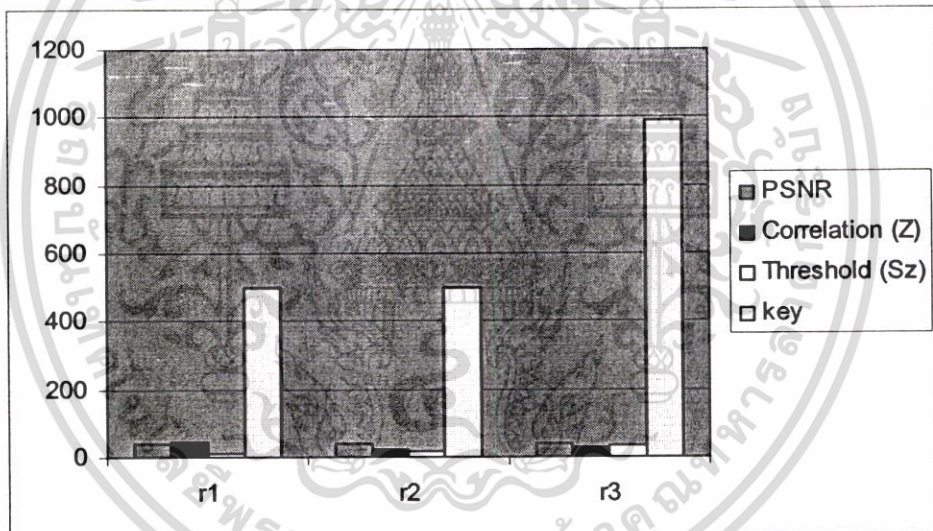


รูปที่ 5.31 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ PANTAGON ที่ระดับ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

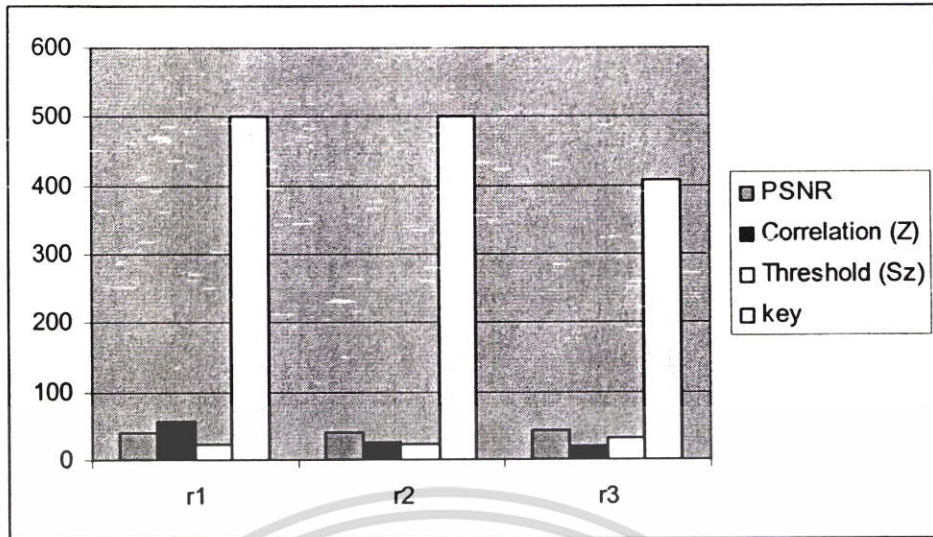


รูปที่ 5.32 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ SANDIEGO ที่ระดับ 1, 2, 3



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ OPERA ที่ระดับ 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.34 กราฟแสดงผลการฝังลายน้ำบนภาพ Z1x25 ที่ระดับ 1, 2, 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.9 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่

ในตารางที่ 5.24-5.40 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างการทำลายน้ำโดยวิธีการที่นำเสนอ กับ หลักการเดิมที่มีอยู่ที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าหลักการที่นำเสนอมีค่า และ ค่าคอรีเลชันมากกว่าหลักการที่มีอยู่ ส่วนค่า PSNR มีค่าใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.24 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอ กับ หลักการที่มีอยู่ของภาพ

LENA

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	40.0853	50.4033	23.2361	38.02610	40.32809	13.94847
jpeg q0	32.194	30.8427	22.7332	31.69993	26.47683	13.95716
jpeg q1	32.7076	35.9942	23.3944	32.19648	29.05557	13.93359
jpeg q2	33.8239	40.4983	21.4373	33.16464	34.03188	14.17347
jpeg q3	35.1246	46.3945	22.0474	34.37206	36.65595	13.95758
jpeg q4	35.6469	47.8152	22.1284	34.79776	37.52124	13.94317
jpeg q5	36.2276	48.995	23.3268	35.28261	38.97630	14.01098
jpeg q6	36.9434	50.6483	23.4563	35.85562	39.29741	13.96873
jpeg q7	36.5332	49.3635	22.6153	35.53324	39.10957	13.96130
jpeg q8	37.3447	50.095	23.1113	36.15936	39.84394	13.99737
jpeg q9	37.9599	50.761	23.4974	36.61683	40.15300	13.94717
jpeg q10	38.6347	50.3308	23.201	37.08657	40.41626	13.96828
median filter 3x3	34.2224	37.9034	22.5611	32.44197	33.72281	13.72114
Gaussian noise 10%	19.7296	12.2929	8.6987	19.78484	5.27599	9.96686

ตารางที่ 5.25 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

TIFFANY

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	36.5367	82.8871	40.8504	36.15027	60.38352	22.19803
jpeg q0	30.6818	62.8958	38.3077	30.62714	37.44871	20.78776
jpeg q1	31.0226	66.8733	37.7752	30.95060	40.64623	21.00159
jpeg q2	31.7065	75.0994	37.1209	31.64062	47.57344	21.36467
jpeg q3	32.713	79.1768	39.2826	32.59211	54.18398	21.68006
jpeg q4	33.138	78.7444	39.3156	32.99406	55.09660	21.74329
jpeg q5	33.5955	81.1154	41.5001	33.45789	56.28631	21.77440
jpeg q6	34.2472	82.3065	41.4423	34.05230	57.96790	21.92215
jpeg q7	33.8535	80.5379	40.6971	33.69977	56.71646	21.75416
jpeg q8	34.5848	82.0122	40.6236	34.38221	58.36024	21.92569
jpeg q9	35.1629	81.3221	41.2556	34.89779	59.46031	22.05638
jpeg q10	35.7182	82.9331	40.8572	35.38892	59.99891	22.11332
median filter 3x3	31.603	62.302	36.7498	30.79984	48.02631	20.87825
Gaussian noise 10%	20.4406	18.7864	10.2507	20.41862	8.86818	16.36902

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.26 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ KID

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	38.3969	67.1614	19.9797	37.11674	52.82108	18.51264
jpeg q0	31.6704	51.0205	19.1162	31.45243	39.13961	18.28147
jpeg q1	32.1802	52.718	19.0459	31.91022	40.97687	18.45224
jpeg q2	33.1827	56.4929	19.1431	32.89423	44.94680	18.46170
jpeg q3	34.5093	61.6642	19.5515	34.16012	48.41655	18.36842
jpeg q4	35.0235	63.4787	20.0918	34.63914	50.68242	18.50358
jpeg q5	35.5055	64.5788	19.7394	35.14455	51.53033	18.55733
jpeg q6	36.1547	65.4496	20.1901	35.69508	51.95891	18.44842
jpeg q7	35.7947	66.3338	20.1962	35.37456	51.46293	18.49149
jpeg q8	36.4628	67.4808	20.1266	35.97109	52.15954	18.48129
jpeg q9	36.8752	67.1473	19.8384	36.34420	52.80057	18.53525
jpeg q10	37.2353	67.6025	20.1397	36.65020	52.89919	18.49792
median filter 3x3	33.6024	53.155	18.7314	32.28554	47.40086	18.22458
Gaussian noise 10%	19.866	15.9205	9.064	20.00595	7.26713	13.23371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.27 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอ กับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

BABOON

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	35.1651	55.4452	8.5793	34.13346	44.60497	12.25238
jpeg q0	25.4339	44.6976	8.2884	25.20547	32.90359	12.30140
jpeg q1	25.7702	45.4194	8.271	25.53189	33.68780	12.28897
jpeg q2	26.6441	49.7283	8.4195	26.40879	36.08239	12.30622
jpeg q3	28.5071	53.9456	8.5939	28.24472	40.02419	12.31778
jpeg q4	29.2751	54.9467	8.6118	28.98173	40.95966	12.27515
jpeg q5	30.1036	55.1352	8.6452	29.76761	42.06110	12.28011
jpeg q6	31.4434	55.5319	8.6717	30.95134	43.53220	12.28673
jpeg q7	30.6218	55.4115	8.6547	30.23195	42.98586	12.29445
jpeg q8	32.197	55.525	8.6143	31.61407	43.96469	12.27895
jpeg q9	33.3674	55.6135	8.6213	32.63595	44.25854	12.26468
jpeg q10	34.2775	55.5068	8.5919	33.41155	44.42383	12.25470
median filter 3x3	23.518	42.1558	8.857	23.27266	36.43066	12.35950
Gaussian noise 10%	19.7205	30.7914	6.7581	19.67975	14.13635	10.91430

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.28 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอ กับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

BEAR

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	37.9534	55.846	16.5892	36.53739	49.30318	13.68895
jpeg q0	31.7332	39.9382	17.412	31.32111	39.84025	13.78290
jpeg q1	32.4037	42.2407	16.534	31.91386	41.20471	13.79945
jpeg q2	33.6145	46.041	17.1121	33.01794	43.07032	13.73952
jpeg q3	35.0146	54.1611	17.1903	34.21826	46.16548	13.65221
jpeg q4	35.5484	55.8298	17.0895	34.66773	47.18196	13.62583
jpeg q5	36.0721	55.4914	16.9827	35.09992	47.24237	13.60809
jpeg q6	36.6448	55.7742	16.748	35.55762	48.38811	13.64916
jpeg q7	36.3285	54.7134	16.4633	35.30106	47.77040	13.59911
jpeg q8	36.9661	54.483	16.236	35.80555	48.62022	13.65632
jpeg q9	37.3065	55.5151	16.4859	36.06821	48.86224	13.65647
jpeg q10	37.5903	55.904	16.6189	36.27156	49.09932	13.67558
median filter 3x3	35.2547	50.0217	17.769	31.69371	47.10019	13.41785
Gaussian noise 10%	20.0698	9.4467	8.2696	20.02798	7.79389	10.04005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.29 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอเทียบกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

BANDON

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	37.7791	35.3737	12.6375	37.27187	27.67250	10.21717
jpeg q0	32.8177	19.0243	12.062	32.65665	13.90167	10.15628
jpeg q1	33.3177	19.9594	11.8818	33.13095	15.75677	10.10051
jpeg q2	34.3813	25.6834	12.5763	34.14250	18.59296	10.20241
jpeg q3	35.3547	31.6228	12.7416	35.10433	22.88697	10.18901
jpeg q4	35.7916	32.5989	12.6121	35.48475	24.25049	10.21186
jpeg q5	36.2228	33.6316	12.6567	35.89586	25.12649	10.19775
jpeg q6	36.7074	33.9765	12.5589	36.31021	25.98002	10.18977
jpeg q7	36.4514	33.2978	12.5593	36.08967	25.15058	10.20865
jpeg q8	36.9558	34.1716	12.5493	36.54627	26.12652	10.20037
jpeg q9	37.2394	34.861	12.5767	36.80010	26.92427	10.23508
jpeg q10	37.4792	35.2612	12.6668	37.00648	27.23724	10.21824
median filter 3x3	30.2595	37.3525	11.9746	29.02442	29.58723	9.87254
Gaussian noise 10%	20.24	10.4211	8.927	20.14959	5.01187	7.02094

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.30 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอ กับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

LOCHNESS

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	38.0583	63.4239	15.5813	37.46750	56.18224	17.21107
jpeg q0	30.2139	42.9717	14.5819	30.09845	40.97045	16.83735
jpeg q1	30.702	50.2575	15.2058	30.55115	44.46778	16.86665
jpeg q2	31.7741	54.8815	14.6881	31.58275	48.96452	16.95930
jpeg q3	33.2986	61.8274	15.6796	33.08375	53.59309	17.22660
jpeg q4	33.9391	61.2496	15.5191	33.67013	54.21612	17.17397
jpeg q5	34.5679	63.2602	15.8855	34.28508	55.39892	17.20610
jpeg q6	35.4274	61.8948	15.4255	35.09180	55.69857	17.21654
jpeg q7	34.9193	63.3156	15.6596	34.62167	54.94224	17.13003
jpeg q8	35.8774	62.5762	15.6543	35.51010	55.15432	17.11762
jpeg q9	36.5267	63.8602	15.7368	36.10731	55.36721	17.15521
jpeg q10	37.1227	63.5003	15.7125	36.63852	55.96164	17.18272
median filter 3x3	31.9843	60.6314	17.7498	31.22039	53.45736	17.04657
Gaussian noise 10%	20.0039	14.2023	7.6285	20.06381	6.35182	12.99774

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.31 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

SKYLINE ARCH

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	36.7057	31.6958	14.7705	36.51645	31.14710	9.97908
jpeg q0	31.2954	18.7949	15.3547	31.22974	18.69548	9.97905
jpeg q1	31.8356	21.2467	15.5453	31.75446	20.95856	10.05657
jpeg q2	32.9777	24.1321	15.0166	32.85800	24.51615	10.03647
jpeg q3	34.2792	28.5182	14.7468	34.16026	26.99892	10.04319
jpeg q4	34.7179	30.0458	14.8021	34.58882	28.35217	10.06831
jpeg q5	35.1695	29.3869	14.6225	35.06005	28.47359	9.99010
jpeg q6	35.6645	30.3892	14.79	35.53734	29.32312	9.99152
jpeg q7	35.3893	29.8767	14.8718	35.26796	28.86637	10.00443
jpeg q8	35.9104	30.9459	14.8229	35.76292	29.98619	9.97589
jpeg q9	36.2055	31.2297	14.7272	36.05468	30.52469	9.96867
jpeg q10	36.4292	31.3343	14.6414	36.25951	30.76351	9.98097
median filter 3x3	33.8663	23.9415	16.0925	31.01518	25.56519	9.78332
Gaussian noise 10%	20.1295	11.2124	8.7627	20.12639	6.09947	7.14326

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.32 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอ กับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

F16

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	37.3415	66.4305	16.2707	35.80199	43.05483	15.14055
jpeg q0	30.8304	49.351	15.1329	30.31430	29.97333	14.96933
jpeg q1	31.3412	50.3391	15.0253	30.78737	30.66737	14.84627
jpeg q2	32.4657	57.4773	15.2388	31.80189	35.41633	15.08958
jpeg q3	33.7981	63.3756	15.9907	33.01296	38.25006	15.05675
jpeg q4	34.3012	64.6211	16.1151	33.46607	39.63193	15.13109
jpeg q5	34.8358	65.4795	16.3179	33.92152	40.63137	15.09248
jpeg q6	35.4388	65.7256	16.3131	34.41354	41.74094	15.12407
jpeg q7	35.0961	65.3929	16.3033	34.12634	41.15102	15.12390
jpeg q8	35.7733	66.16	16.171	34.65130	41.81922	15.07960
jpeg q9	36.2126	66.2676	16.2292	34.99665	42.83573	15.14208
jpeg q10	36.6282	66.4153	16.2338	35.30428	43.04720	15.15721
median filter 3x3	32.8435	49.1714	15.6	30.99070	36.32345	14.77007
Gaussian noise 10%	19.8887	25.5433	8.935	19.93270	9.31242	10.74583

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.33 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

FISHBOAT

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	38.4879	50.8753	13.0541	35.55934	43.91812	13.90027
jpeg q0	29.5378	34.5218	12.6061	28.98557	31.40051	13.96508
jpeg q1	30.0273	38.1368	12.8678	29.42085	34.21871	14.09305
jpeg q2	31.0855	42.1674	12.5986	30.34551	35.71947	13.99243
jpeg q3	32.6471	47.3052	13.0964	31.66726	40.91765	14.03112
jpeg q4	33.2155	48.6527	13.0044	32.13785	41.86259	13.99447
jpeg q5	33.833	50.3367	13.2551	32.61387	42.16537	13.94611
jpeg q6	34.6476	50.7344	13.1231	33.21266	42.77364	13.93102
jpeg q7	34.1662	50.2526	13.0918	32.87119	42.53589	13.95214
jpeg q8	35.102	50.2302	13.0137	33.53553	43.28662	13.93650
jpeg q9	35.908	51.042	13.1408	34.08008	43.90626	13.95174
jpeg q10	36.9125	50.6728	13.0254	34.69096	43.93806	13.92562
median filter 3x3	30.1546	41.8347	13.4208	28.68211	39.67032	13.85576
Gaussian noise 10%	19.8562	18.8936	7.757	19.66874	8.36399	10.52123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.34 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอเทียบกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

PEPPERS

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	39.6226	57.0088	22.3757	36.98173	44.76732	14.58093
jpeg q0	31.4655	36.4812	19.8143	30.92165	28.42734	14.40862
jpeg q1	31.8792	40.1894	19.4598	31.28467	30.94581	14.43255
jpeg q2	32.7417	45.1449	20.3283	32.05257	34.34206	14.49984
jpeg q3	33.721	54.1684	22.0807	32.91933	40.13341	14.61730
jpeg q4	34.1385	54.0662	21.8043	33.24988	41.65377	14.67052
jpeg q5	34.6168	55.0604	22.0113	33.64099	42.18150	14.55504
jpeg q6	35.2268	56.2584	22.2731	34.11877	42.72504	14.49878
jpeg q7	34.8625	54.9117	21.8349	33.82676	42.28103	14.53316
jpeg q8	35.6081	56.4392	22.0483	34.39501	43.32544	14.53996
jpeg q9	36.4249	56.8589	22.1475	34.96365	44.81180	14.62927
jpeg q10	37.6293	56.8818	22.2871	35.79412	44.70886	14.57581
median filter 3x3	33.476	41.1258	20.8838	31.42196	36.24069	13.90633
Gaussian noise 10%	19.8208	14.3284	9.3811	19.80769	6.62037	10.19746

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.35 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอ กับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

PILLS

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	38.0715	58.1611	15.931	34.40240	55.75488	19.81470
jpeg q0	31.232	41.4619	15.0268	30.38900	41.16819	19.37052
jpeg q1	31.82	43.0997	15.0336	30.87996	43.73976	19.46841
jpeg q2	32.9801	47.8134	15.4072	31.73617	48.48627	19.59947
jpeg q3	34.1862	55.6574	15.7477	32.70893	52.83682	19.71468
jpeg q4	34.6649	55.1345	15.5084	33.03724	53.82029	19.73111
jpeg q5	35.1303	55.705	15.4825	33.35031	54.81860	19.83046
jpeg q6	35.6366	56.5868	15.6713	33.69546	54.58739	19.74657
jpeg q7	35.3499	56.2826	15.4994	33.51238	54.35040	19.78038
jpeg q8	35.8709	56.6911	15.593	33.84589	55.14772	19.78498
jpeg q9	36.1743	56.8705	15.5839	34.02777	55.77170	19.82166
jpeg q10	36.4289	56.952	15.6394	34.18161	55.76266	19.81878
median filter 3x3	35.3652	45.5308	14.7757	33.05483	49.05189	19.09728
Gaussian noise 10%	19.8097	18.5418	8.7159	19.76859	11.96496	14.20255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.36 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอเทียบกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

## EARTH

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	38.4247	58.5285	16.0928	37.52188	42.43655	13.17995
jpeg q0	30.7239	39.0304	16.8705	30.48571	28.03567	13.03685
jpeg q1	31.3046	40.5458	15.8586	31.06150	30.09902	13.03628
jpeg q2	32.449	47.8898	16.1607	32.16956	33.52050	13.03527
jpeg q3	33.7746	53.6022	15.7317	33.42886	38.60565	13.14429
jpeg q4	34.2793	55.9263	15.9832	33.88185	39.05279	13.09991
jpeg q5	34.7802	56.52	15.9001	34.35908	40.51727	13.16722
jpeg q6	35.4591	56.9609	15.8652	34.98114	41.13996	13.13848
jpeg q7	35.0695	56.7292	16.1228	34.64424	40.32024	13.10511
jpeg q8	35.838	58.1243	16.1235	35.33006	41.92801	13.18592
jpeg q9	36.4325	57.956	16.0878	35.84334	42.18131	13.19170
jpeg q10	37.0796	58.7488	16.0554	36.39691	42.22857	13.15381
median filter 3x3	33.1157	50.6348	16.8537	32.17459	37.12386	12.67224
Gaussian noise 10%	19.7114	14.4698	7.866	19.62504	7.35893	10.17198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.37 ผลการเปรียบเทียบการฟังกายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

PANTAGON

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	36.7201	52.6837	13.3798	36.59046	45.07732	12.36243
jpeg q0	27.979	39.5659	13.5789	27.88877	32.93880	12.76426
jpeg q1	28.4031	41.2652	13.7519	28.29454	35.87898	12.78098
jpeg q2	29.3564	44.9693	13.0695	29.26074	39.55802	12.78011
jpeg q3	30.9896	50.8288	13.5189	30.93674	42.61166	12.57230
jpeg q4	31.6511	51.6891	13.5607	31.60608	42.86690	12.54306
jpeg q5	32.3873	51.8449	13.1362	32.34027	44.40348	12.51785
jpeg q6	33.4385	52.175	13.4198	33.36967	44.33019	12.43556
jpeg q7	32.8196	52.6643	13.2834	32.75630	44.20639	12.51133
jpeg q8	34.0071	52.7836	13.4743	33.93826	44.79953	12.42636
jpeg q9	34.9075	52.818	13.5306	34.82085	44.70029	12.37424
jpeg q10	35.6963	52.7755	13.3747	35.59497	45.03859	12.36445
median filter 3x3	29.3202	43.3711	14.7223	28.71473	40.44973	12.59399
Gaussian noise 10%	19.6725	14.62	7.1374	19.66079	7.42424	10.12230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.38 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอ กับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

SANDIEGO

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	36.6422	58.4453	10.1166	36.22765	44.61702	12.31297
jpeg q0	25.8694	49.0233	10.6958	25.78293	32.94241	12.69563
jpeg q1	26.233	49.3154	10.0183	26.14512	34.12478	12.63944
jpeg q2	27.0905	52.5223	9.8501	27.00755	37.65985	12.62588
jpeg q3	28.7423	57.1599	10.1742	28.65780	41.35498	12.49652
jpeg q4	29.4549	57.435	10.1617	29.36114	42.19470	12.45025
jpeg q5	30.2767	58.3649	10.2638	30.17552	42.59587	12.40630
jpeg q6	31.6805	57.9059	10.0626	31.55376	43.59260	12.38825
jpeg q7	30.8087	57.8516	10.1202	30.70171	43.24265	12.41517
jpeg q8	32.5187	58.2814	10.1618	32.34940	44.10847	12.36856
jpeg q9	34.0116	58.1464	10.0929	33.77340	44.44942	12.33850
jpeg q10	35.3356	58.5433	10.1649	35.02932	44.35856	12.30416
median filter 3x3	26.5908	50.059	11.2124	26.35048	36.37832	12.44101
Gaussian noise 10%	19.5532	21.3834	6.5724	19.43832	9.46734	10.41928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.39 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอ กับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

Opera

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	38.2912	48.0925	13.8658	37.55825	42.50767	13.15433
jpeg q0	30.284	31.4983	14.3135	30.16981	25.03964	13.08594
jpeg q1	30.7402	32.8982	13.7404	30.59091	27.73964	13.12560
jpeg q2	31.8301	38.5036	14.3563	31.67442	31.37220	13.19010
jpeg q3	33.3544	46.519	14.1676	33.16547	37.32638	13.27025
jpeg q4	33.9713	47.8485	13.9701	33.73881	38.54574	13.22003
jpeg q5	34.6832	46.8632	13.7216	34.40456	39.71525	13.21088
jpeg q6	35.5371	48.1033	13.901	35.18736	40.74544	13.20503
jpeg q7	35.0375	47.0045	13.8254	34.72984	40.63747	13.28133
jpeg q8	35.9716	47.9734	13.876	35.56872	41.36617	13.17740
jpeg q9	36.6486	48.055	13.8849	36.16320	42.06941	13.17462
jpeg q10	37.2717	48.1251	13.8883	36.69667	42.26028	13.16239
median filter 3x3	29.7507	38.8331	14.561	29.31616	38.45648	13.09841
Gaussian noise 10%	19.7867	14.7104	7.9795	19.54550	6.41461	10.10855

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.40 ผลการเปรียบเทียบการฝังลายน้ำโดยใช้วิธีที่นำเสนอกับหลักการที่มีอยู่ของภาพ

Z1X25

Attack	หลักการที่นำเสนอ			หลักการที่มีอยู่		
	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Psnr (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)
No	39.0382	55.48	21.5456	38.63117	42.06737	13.18604
jpeg q0	32.0862	39.0208	20.5205	32.02098	28.19743	13.34154
jpeg q1	32.5864	45.4591	21.7001	32.53061	31.23791	13.47045
jpeg q2	33.7494	52.4768	23.3115	33.61849	34.34045	13.41998
jpeg q3	35.1634	53.4611	21.5332	35.05482	35.30777	13.16786
jpeg q4	35.6744	55.7278	22.0526	35.55640	36.10723	13.07838
jpeg q5	36.2994	55.1573	21.5686	36.11603	38.62774	13.14481
jpeg q6	36.9539	55.249	21.3083	36.74449	38.86228	13.10508
jpeg q7	36.5677	55.0647	21.4707	36.37561	38.87887	13.17034
jpeg q8	37.3064	55.0925	21.4966	37.07014	40.10594	13.14381
jpeg q9	37.7885	54.9505	21.4839	37.50882	41.36650	13.17990
jpeg q10	38.2283	55.8997	21.6123	37.90147	41.91426	13.18946
median filter 3x3	33.8632	44.1049	21.5929	33.87490	35.83850	12.70349
Gaussian noise 10%	19.776	12.8893	8.9153	19.70683	5.15129	9.87413

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.10 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่า วิธีการฝังลายน้ำที่ได้นำเสนอเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพคือ เมื่อนำรูปภาพต้นฉบับกับรูปภาพที่ทำการฝังลายน้ำแล้ว ทำการเปรียบเทียบความแตกต่าง โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าจะมองไม่เห็นความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสอง และผลการตรวจหาลายน้ำบนภาพที่ทำการฝังลายน้ำ จะเห็นได้ว่าผลการตอบสนองได้ค่าคอร์เรชันมีค่าสูงกว่าระดับเทร โชลอยู่ในระดับที่ชัดเจน แสดงว่าสามารถตรวจหาลายน้ำที่ทำการฝังไว้ได้ โดยการทดลองจะทำการทดลองกับภาพลักษณะที่ต่างกัน การทดสอบความคงทนลายน้ำ จะเห็นได้ว่าวิธีการฝังลายน้ำที่ได้นำเสนอ มีความคงทนต่อการประมวลผลทางสัญญาณภาพ โดยเฉพาะการบีบอัดภาพแบบ JPEG และการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 และยังมี ความคงทนต่อตัวกรองมัธยฐานขนาด 3x3 พิกเซล เนื่องจากลักษณะการฝังลายน้ำ ได้เลือกฝังลายน้ำในสัมประสิทธิ์นัยสำคัญของการแปลงเวฟเลทและได้นำคุณสมบัติของระบบการมองเห็นของมนุษย์มาทำการพิจารณาในส่วนที่ไวต่อสัญญาณรบกวน ทำให้ลายน้ำมีความคงทนและไม่สามารถมองเห็น ส่วนการทดสอบความคงทนด้วยการใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนวิธีการที่นำเสนอมีความคงทนต่อการใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่ 10 %

จากการทดลองพบว่าการใช้ลายน้ำที่มีขนาดของคิตต่างกันมีผลต่อค่า PSNR ด้วย กล่าวคือถ้าใช้ลายน้ำที่มีขนาดเล็ก ค่า PSNR จะมีค่ามากกว่าเมื่อใช้ลายน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า ส่วนขนาดของคิตที่ไม่สามารถตรวจหาได้จะขึ้นกับลักษณะของภาพ โดยวิธีการที่นำเสนอจะให้ผลที่ดีในภาพที่มีรายละเอียดของภาพสูง และพบว่าลักษณะของภาพที่ต่างกันยังมีผลต่อขนาดของคิตที่ใช้ฝังด้วย กล่าวคือ รูปภาพที่มีรายละเอียดมาก ขนาดของคิตจะมาก ส่วนภาพที่มีรายละเอียดน้อย ขนาดของคิตจะน้อยกว่า ทั้งนี้ขนาดของคิตที่ใช้ในการฝังยังมีผลต่อลายน้ำที่ฝังไว้ ถ้าคิตที่ใช้ในการฝังมากจะมีผลทำให้คุณภาพของภาพลดลง แต่จะให้ผลในการตรวจสอบลายน้ำที่ดี ส่วนคิตขนาดเล็กจะให้คุณภาพของภาพที่ดีกว่า แต่จะให้ผลการตรวจสอบที่ไม่ดีในกรณีที่ถูกการบีบอัดภาพแบบสูญเสีย (Lossy compression) จากการทดลองฝังลายน้ำลงในภาพระดับที่ 1, 2, 3 สังเกตได้ว่าในระดับที่ 1 จะมีค่าคอร์เรชันมากกว่าในระดับที่ 2 และระดับที่ 3 และสามารถตรวจสอบหาคิตที่ใช้ในการฝังได้ ส่วนค่า PSNR นั้นจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกันแสดงถึงคุณภาพที่ใกล้เคียงกันของการฝังในแต่ละระดับ ดังนั้นจึงได้ทำการเลือกฝังในระดับที่ 1 ของการแปลงเวฟเลท และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ กับหลักการที่มีอยู่ จะเห็นได้ว่าวิธีการที่ได้นำเสนอให้ค่า คอร์เรชันที่สูงกว่าหลักการที่มีอยู่ แสดงให้เห็นว่ามีความคงทนมากกว่า ส่วนค่า PSNR จะมีค่ามากกว่า ในกรณีที่ภาพเป็นภาพที่มีรายละเอียดมาก และให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในกรณีที่ภาพมีรายละเอียดน้อย ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่วิธีที่นำเสนอลายน้ำจะมีความคงทนและความมองไม่เห็นมากกว่า

## 5.11 ข้อจำกัดของวิธีการฝังและการตรวจสอบลายน้ำที่นำเสนอ

การจากทดลองจะได้ว่า วิธีการฝังและการตรวจสอบลายน้ำที่ได้นำเสนอยังมีข้อจำกัดของระบบอยู่ดังนี้

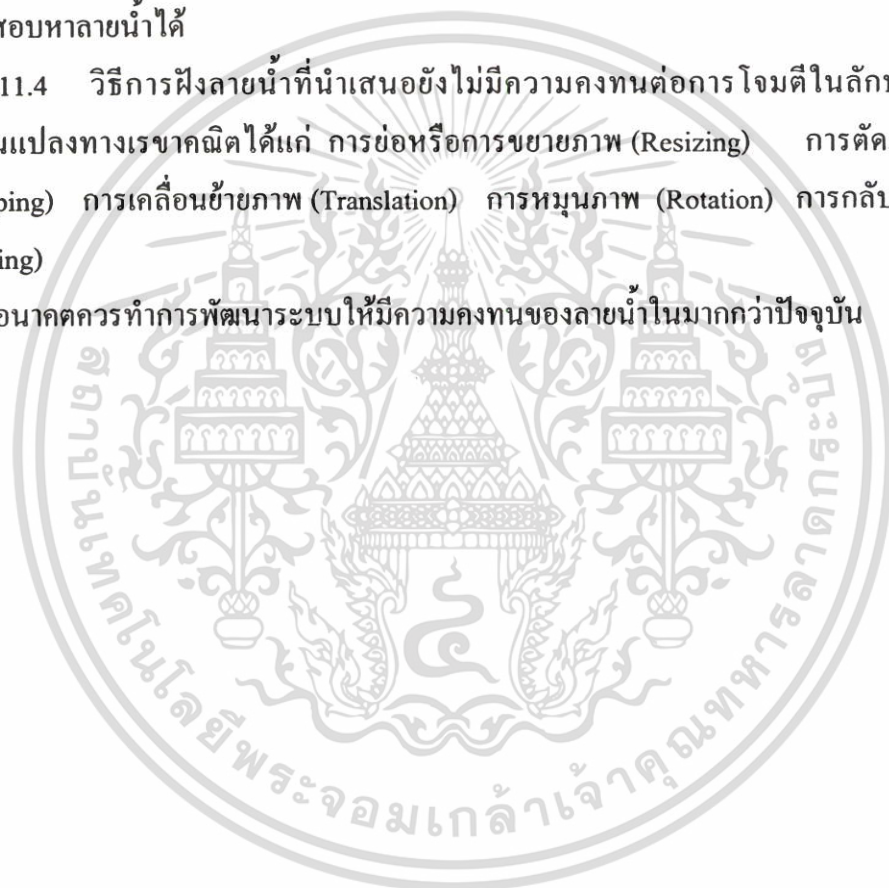
5.11.1 การฝังลายน้ำบนภาพที่มีรายละเอียดน้อยๆ ลายน้ำที่ทำการฝังไม่มีความคงทนเพียงพอต่อการโจมตีด้วยการบีบอัดภาพแบบสูญเสียที่อัตราการบีบอัดสูงๆ

5.11.2 ลายน้ำที่ทำการฝังไม่มีความคงทนต่อการโจมตีด้วยการใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนในปริมาณมากๆ

5.11.3 ถ้าส่วนที่เป็นขอบภาพหรือเนื้อหาหายไปในปริมาณมากๆ จะไม่สามารถทำการตรวจสอบลายน้ำได้

5.11.4 วิธีการฝังลายน้ำที่นำเสนอยังไม่มีความคงทนต่อการโจมตีในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตได้แก่ การย่อหรือการขยายภาพ (Resizing) การตัดภาพบางส่วน (Cropping) การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) การหมุนภาพ (Rotation) การกลับด้านของภาพ (Flipping)

ซึ่งในอนาคตควรทำการพัฒนาระบบให้มีความคงทนของลายน้ำในมากกว่าปัจจุบัน



## บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการทดลอง ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการพัฒนา

### 6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลในโดเมนความถี่ โดยใช้เทคนิคการฝังลายน้ำดิจิทัลด้วยการแปลงเวฟเลทกับข้อมูลที่เป็นรูปภาพ โดยนำภาพต้นฉบับมาทำการแปลงเวฟเลทแบบ 4 ระดับ และลายน้ำเป็นรหัสลำดับข้อมูลแบบสุ่มที่ได้จากการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ยศูนย์และความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง จากนั้นเลือกทำการฝังลายน้ำดิจิทัลลงในค่าสัมประสิทธิ์ที่สำคัญแบบย่อยของการแปลงเวฟเลทในระดับที่ 1 ซึ่งให้ผลการตอบสนองดีที่สุด และได้นำคุณสมบัติของระบบการมองเห็นของมนุษย์มาพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพความคงทนและความมองไม่เห็นของลายน้ำ ในขั้นตอนการตรวจหาลายน้ำเป็นวิธีการที่ไม่ต้องใช้ภาพต้นฉบับ ทำให้สะดวกในการตรวจสอบลิขสิทธิ์

จากการทดลองพบว่าวิธีการที่ได้นำเสนอมีความคงทนต่อการประมวลผลภาพ โดยเฉพาะการบีบอัดภาพแบบ JPEG และ JPEG2000 มีความคงทนต่อตัวกรองมัลฐานขนาด $3 \times 3$  และมีความคงทนต่อการใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาเซียนที่ 10 % และการฝังลายน้ำในภาพลักษณะที่ต่างกัน จะพบว่า ภาพที่นำมาทำลายน้ำที่มีรายละเอียดของภาพสูงจะได้ขนาดของคีย์ที่ทำการฝังมากกว่าภาพที่มีรายละเอียดน้อย และความคงทนของลายน้ำผลการตอบสนองการตรวจหาลายน้ำของภาพที่มีรายละเอียดของภาพสูงจะดีกว่า โดยขนาดของคีย์จะมีผลต่อค่า PSNR ด้วย ถ้าใช้ลายน้ำที่มีขนาดเล็ก ค่า PSNR จะมีค่ามากกว่าเมื่อใช้ลายน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า พบว่าฝังลายน้ำลงในภาพระดับที่ 1 จะให้ผลการตอบสนองดีที่สุด

วิธีการที่นำเสนอมีความเหมาะสมกับการทำภาพลายน้ำที่มีความคงทนต่อการบีบอัดภาพ โดยเฉพาะ การบีบอัดภาพแบบ JPEG และ JPEG2000 และยังมีความคงทนต่อตัวกรองมัลฐานขนาด  $3 \times 3$  และมีความคงทนต่อการใส่สัญญาณรบกวนแบบเกาเซียนที่ 10% โดยการตรวจหาลายน้ำของภาพจะได้ผลการตอบสนองที่ดีกับภาพลักษณะที่มีรายละเอียดของภาพสูง เช่น ภาพถ่ายดาวเทียม เป็นต้น

## 6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

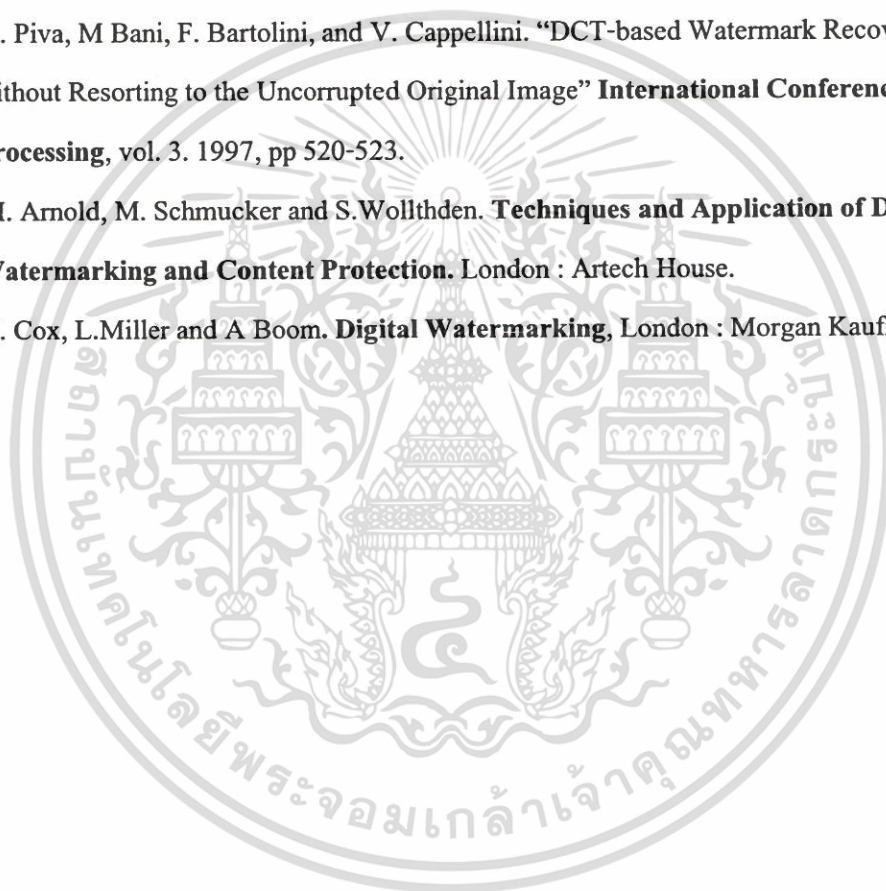
จากการทดลองพบว่าเทคนิคการทำลายน้ำดิจิทัลใน โดเมนความถี่จะมีความคงทนต่อการประมวลผลภาพ โดยเฉพาะการบีบอัดภาพ แต่ปัญหาที่พบในการทำลายน้ำคือข้อจำกัดและคุณสมบัติต่างๆ ความคงทนของลายน้ำ เนื่องจากอัลกอริทึมที่นำเสนอจะความเหมาะสมกับจุดประสงค์ของแต่ละการใช้งาน ดังนั้นจึงควรเลือกอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับการใช้งาน สำหรับแนวทางในการพัฒนา พัฒนาให้ลายน้ำมีความคงทนมากขึ้นในภาพที่มีรายละเอียดของภาพน้อย โดยใช้การแปลงรูปแบบใหม่ๆ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ดีที่สุด พัฒนาให้ลายน้ำสามารถทนต่อกระบวนการประมวลผลสัญญาณแบบอื่นๆ เช่น ได้แก่ การย่อหรือการขยายภาพ (Resizing) การตัดภาพบางส่วน (Cropping) การเคลื่อนย้ายภาพ (Translation) การหมุนภาพ (Rotation) การกลับด้านของภาพ พัฒนาในส่วนของการทำลายน้ำกับภาพต้นฉบับที่เป็นภาพสีหรือข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบอื่นๆ เช่น ข้อมูลเสียง วีดีโอ ภาพสามมิติ พัฒนาระบบการตรวจสอบลายน้ำแบบออนไลน์บนอินเทอร์เน็ต อาจมีการประยุกต์เทคนิคการเข้ารหัสลับใช้ในการเข้ารหัสลายน้ำดิจิทัลเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของข้อมูล



## เอกสารอ้างอิง

- [1] R.G. van Schyndel, A.Z. Tirkel, N.R.A. Mee, C.F. Osborne. "A digital watermark" **Proceedings of the International Conference on Image Processing**, November. 1994, vol. 2, pp.86-90.
- [2] Raymond B. Wolfgang, Edward J. Delp. "A watermarking for digital images" **Proceedings of the International Conference on Image Processing**. 1996, vol. III, 16-19 September, pp.219-222.
- [3] A. S. Lewis and G. Knowles. "Image compressin using the 2-D wavelet transform" **IEEE Trans. On Image Processing**. April 1992, vol. 1, pp. 244-250.
- [4] R. Dugad, K. Ratakonda, and N. Ahuja. "A new wavelet-based scheme for watermarking images" **Proc. IEEE ICIP'98**. Oct. 1998.
- [5] A. Piva, M Bani, F. Bartolini, and V. Cappellini. "Threshold Selection for Correlation-Based Watermark Detection" **Workshop on intelligent communications**.1998, pp. 67-72.
- [6] M.Barni, F. Bartolini, and V. Cappellini, A. Lippi, A. Piva. "A DWT-based algorithm for spatio-frequency masking of digital signatures" **Proceedings of SPIE. Security and Watermarking of Multimedia Contents, Electronic Imaging'99**. vol. 3657. January. 1999.
- [7] สถาบัน Motion Picture Association of America (MPAA). [Online]. Available : [http://www.mppa.org/jack/2000/00\\_06\\_05.htm](http://www.mppa.org/jack/2000/00_06_05.htm)
- [8] Aubrey de Selincourt. **Herodotus The histories**. London : Penguin Books. 1996.
- [9] F. A. P. Peticolas and et al. "Information hiding a survey" **Proceedings of the IEEE, Special issue o protection of multimedia contents**, July. 1999. pp. 1062-1078.
- [10] I. J. Cox, J. Kilian and et al. "Secure spread spectrum watermarking for multimedia" **IEEE Trans. Image Proc**, vol. 6. No. 12. 1997, pp 1673-1687.
- [11] P. Walfgang and E. Delp "A watermarking technique for digital imagery: Further studies" **Proeedings of the International Conference on Imaging Science Systems and Technology**, June. 1997. pp. 544-547.
- [12] R. J. Anderson and F. Petitcolas. "On the limits of steganogaphy" **IEEE Journal on Selected Area in Communications**, vol.16 No. 4. May 1998, pp.474-481.

- [13] V. E. Fotopoulos and A. N. Skodras. "Digital Image Watermarking : An Overview"  
**Short Tutorials Euvasip Newsletter**, vol.14 Dec 2003, pp10-19.
- [14] Chui, C. K. **An introduction to wavelets**. Bonton : Kluwer Academic. 1992.
- [15] Mrinal Kr. Mandal. **Multimedia Signals and Systems**, Boston : Kluwer Academic.
- [16] Yun Q. Shi and Huifang. **Image and Video Compression for Multimedia Engineering**, Sun New York : CRC Press.
- [17] Walton, S. "Information Authentication for a Slippery New Age" **Dr.Dobbs Journal**,  
vol. 18, 1995. pp. 86-90.
- [18] A. Piva, M Bani, F. Bartolini, and V. Cappellini. "DCT-based Watermark Recovering  
without Resorting to the Uncorrupted Original Image" **International Conference on Image  
Processing**, vol. 3. 1997, pp 520-523.
- [19] M. Arnold, M. Schmucker and S.Wollthden. **Techniques and Application of Digital  
Watermarking and Content Protection**. London : Artech House.
- [20] J. Cox, L.Miller and A Boom. **Digital Watermarking**, London : Morgan Kaufmann. 2003.



## ภาคผนวก ก.

## การวัดคุณภาพของภาพหลังการทำลายน้ำดิจิทัล

การวัดคุณภาพของภาพหลังการทำลายน้ำแล้ว ทำโดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสินคุณภาพของภาพ และการวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการทำภาพลายน้ำสามารถทำได้โดยการอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak Signal to Noise Ratio : PSNR) ซึ่งหาได้จาก

$$PSNR = 10 \log \frac{Peak^2}{MSE} \quad (\text{dB}) \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่ค่า Peak คือค่าสูงสุดของขอบเขตข้อมูลสำหรับภาพที่มีพิกเซลแทนด้วยขนาดข้อมูล n บิตจะมีจำนวนระดับความเทา (gray scale) เท่ากับ  $2^n$  จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (\text{dB}) \quad (\text{ก.2})$$

ดังนั้นภาพขนาด 8 บิตหรือมีจำนวนระดับความเทาเท่ากับ 256 ระดับจะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE} \quad (\text{dB}) \quad (\text{ก.3})$$

โดยที่ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error, MSE) ได้ดังนี้

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2 \quad (\text{ก.4})$$

โดยที่

M คือ จำนวนพิกเซลตามความกว้างของภาพ

N คือ จำนวนพิกเซลตามความสูงของภาพ

$f(x, y)$  คือค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง (x, y) ของภาพต้นแบบ

$\hat{f}(x, y)$  คือค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง (x, y) ของภาพที่ทำการฝังลายน้ำแล้ว

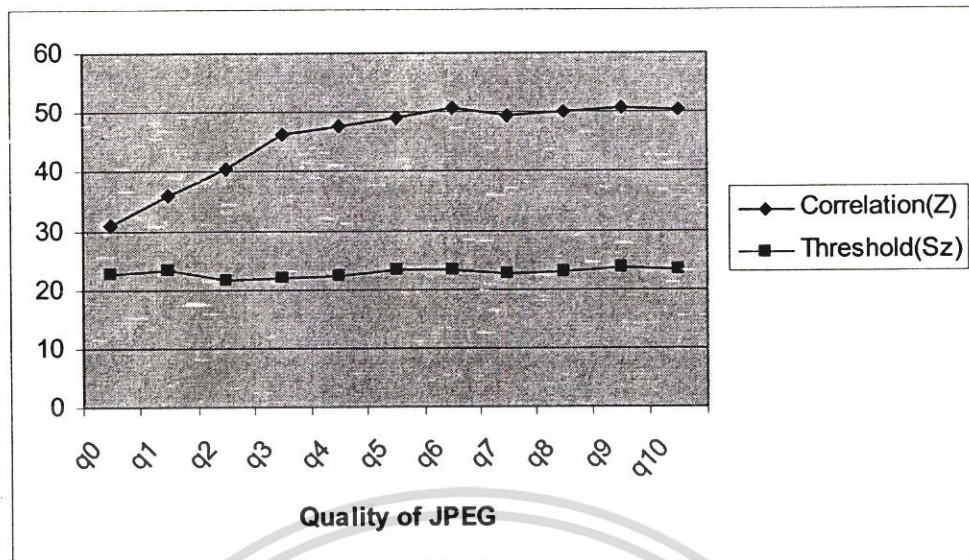
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข.**  
**ผลการทดลองการฝังลายน้ำบนภาพดิจิทัล**

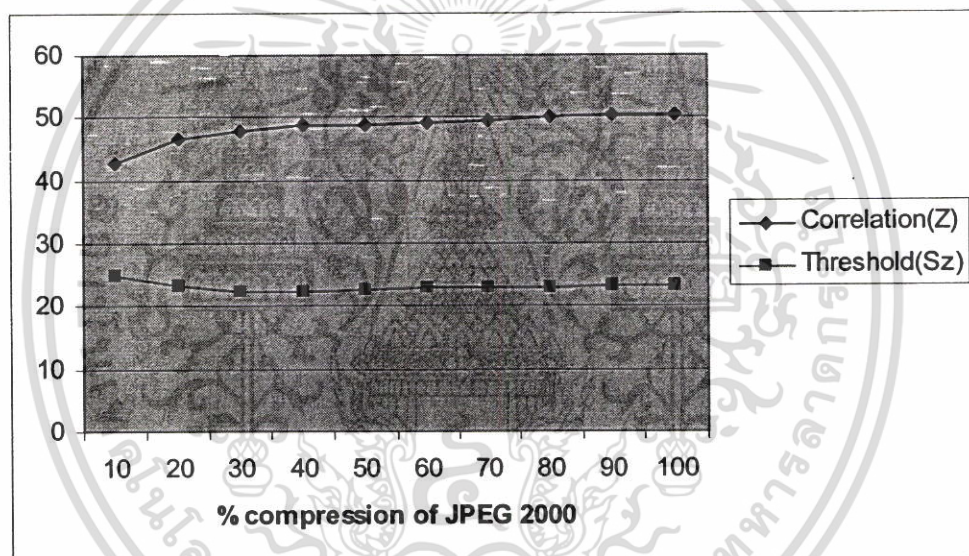
**ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบการฝังลายน้ำภาพ LENA**

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	40.0853	50.4033	23.2361	500
jpeg q0	32.194	30.8427	22.7332	500
jpeg q1	32.7076	35.9942	23.3944	500
jpeg q2	33.8239	40.4983	21.4373	500
jpeg q3	35.1246	46.3945	22.0474	500
jpeg q4	35.6469	47.8152	22.1284	500
jpeg q5	36.2276	48.995	23.3268	500
jpeg q6	36.9434	50.6483	23.4563	500
jpeg q7	36.5332	49.3635	22.6153	500
jpeg q8	37.3447	50.095	23.1113	500
jpeg q9	37.9599	50.761	23.4974	500
jpeg q10	38.6347	50.3308	23.201	500
median filter 3x3	34.2224	37.9034	22.5611	500
Gaussian noise 10%	19.7296	12.2929	8.6987	500
Gaussian noise 20%	14.4632	3.8259	5.0734	462
Gaussian noise 30%	11.514	3.2902	5.1259	981
Gaussian noise 40%	10.0634	3.4246	5.1123	471
Gaussian noise 50%	9.0554	4.2078	5.4749	763

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

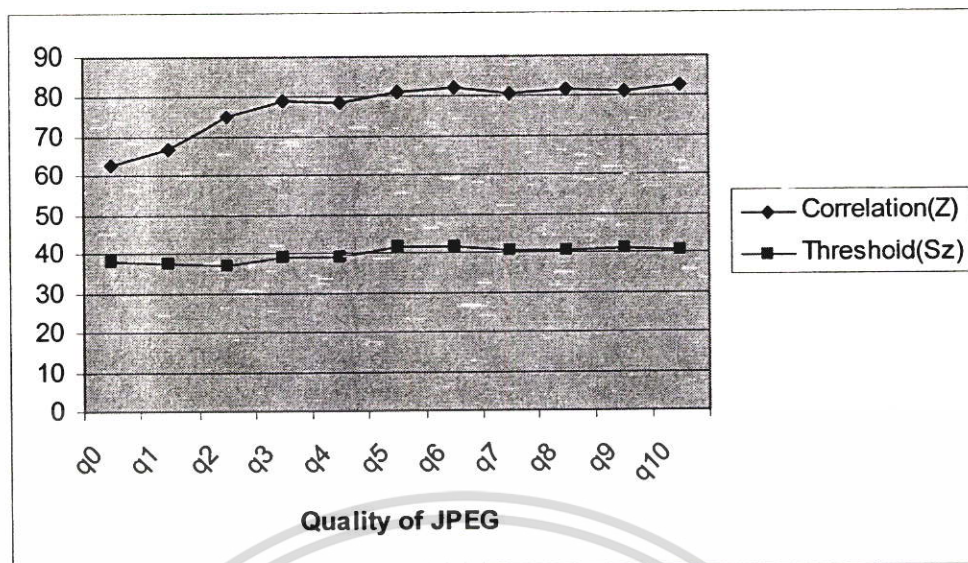
รูปที่ ข.1 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ LENA (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

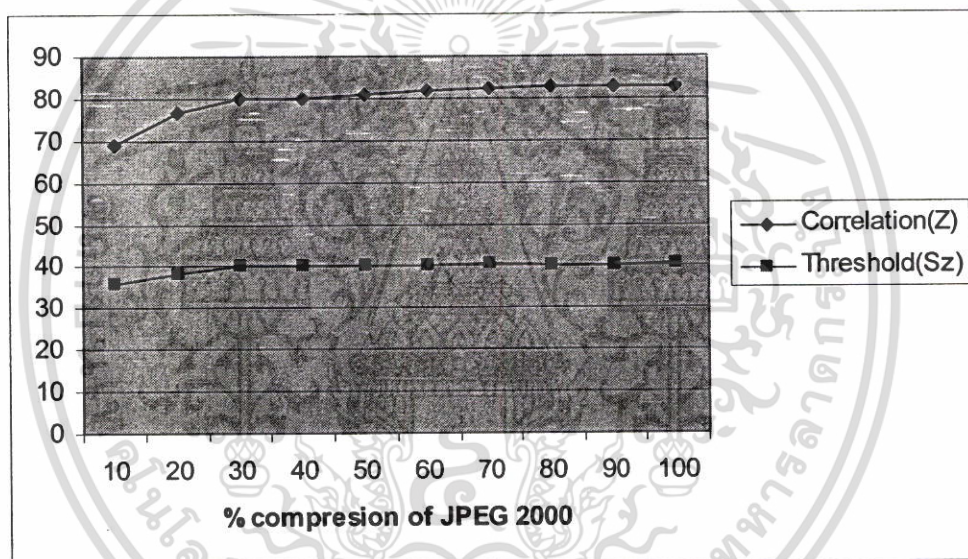
ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ TIFFANY

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	36.5367	82.8871	40.8504	500
jpeg q0	30.6818	62.8958	38.3077	500
jpeg q1	31.0226	66.8733	37.7752	500
jpeg q2	31.7065	75.0994	37.1209	500
jpeg q3	32.7130	79.1768	39.2826	500
jpeg q4	33.1380	78.7444	39.3156	500
jpeg q5	33.5955	81.1154	41.5001	500
jpeg q6	34.2472	82.3065	41.4423	500
jpeg q7	33.8535	80.5379	40.6971	500
jpeg q8	34.5848	82.0122	40.6236	500
jpeg q9	35.1629	81.3221	41.2556	500
jpeg q10	35.7182	82.9331	40.8572	500
median filter 3x3	31.6030	62.3020	36.7498	500
Gaussian noise 10%	20.4406	18.7864	10.2507	500
Gaussian noise 20%	15.2340	4.0349	5.5725	967
Gaussian noise 30%	12.3560	3.4558	5.1857	500
Gaussian noise 40%	10.3319	4.4712	5.2706	285
Gaussian noise 50%	9.1050	3.5905	5.4001	316

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

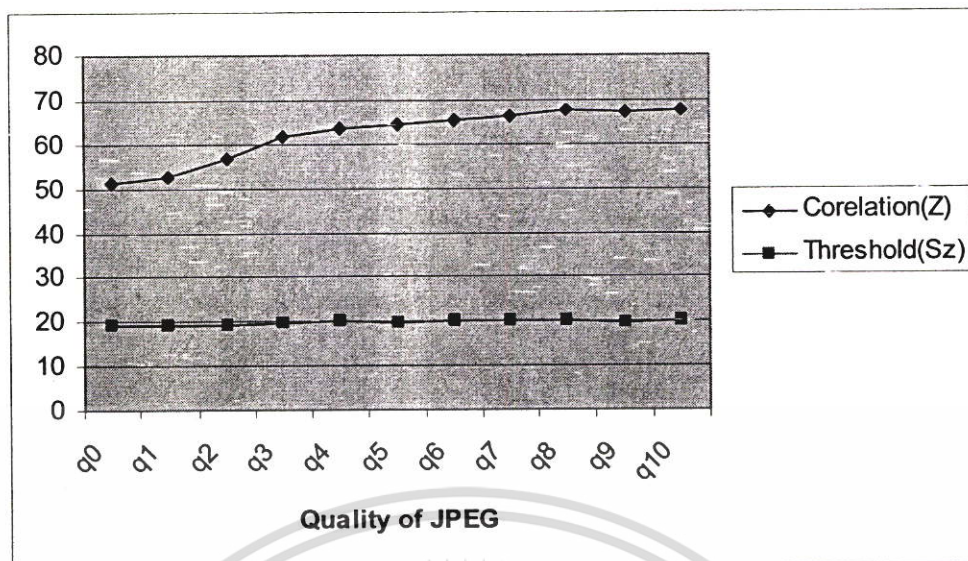
รูปที่ ข.2 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ TIFFANY (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

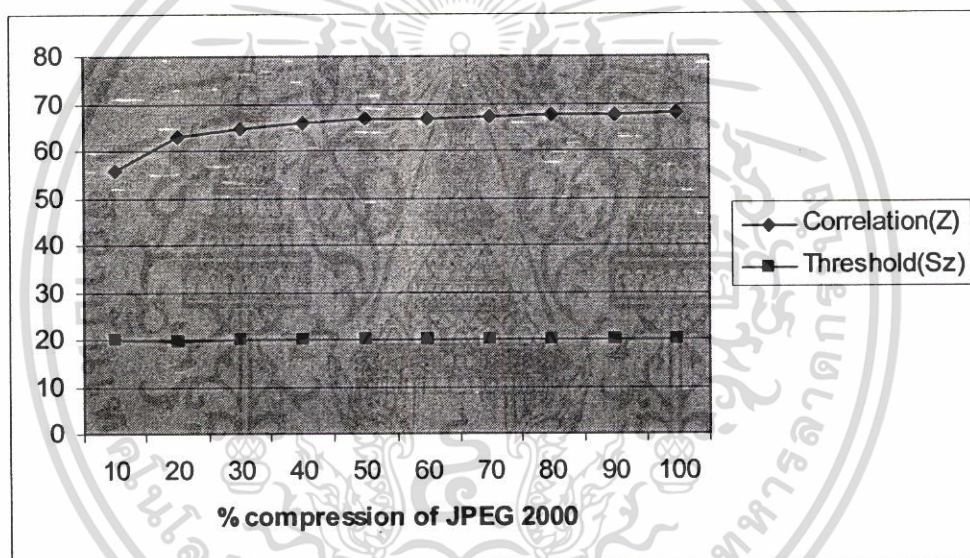
ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ KID

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	38.3969	67.1614	19.9797	500
jpeg q0	31.6704	51.0205	19.1162	500
jpeg q1	32.1802	52.7180	19.0459	500
jpeg q2	33.1827	56.4929	19.1431	500
jpeg q3	34.5093	61.6642	19.5515	500
jpeg q4	35.0235	63.4787	20.0918	500
jpeg q5	35.5055	64.5788	19.7394	500
jpeg q6	36.1547	65.4496	20.1901	500
jpeg q7	35.7947	66.3338	20.1962	500
jpeg q8	36.4628	67.4808	20.1266	500
jpeg q9	36.8752	67.1473	19.8384	500
jpeg q10	37.2353	67.6025	20.1397	500
median filter 3x3	33.6024	53.1550	18.7314	500
Gaussian noise 10%	19.866	15.9205	9.0640	500
Gaussian noise 20%	14.4675	3.6456	5.1804	500
Gaussian noise 30%	11.6578	3.7429	5.0193	377
Gaussian noise 40%	9.9369	3.2757	5.1179	612
Gaussian noise 50%	8.9009	3.5149	5.3947	387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

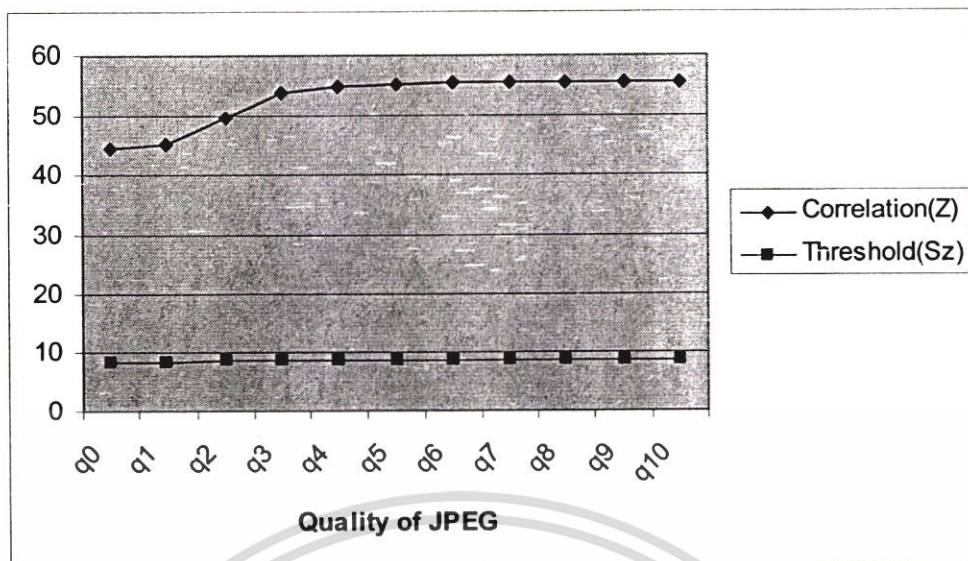
รูปที่ ข.3 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ KID (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

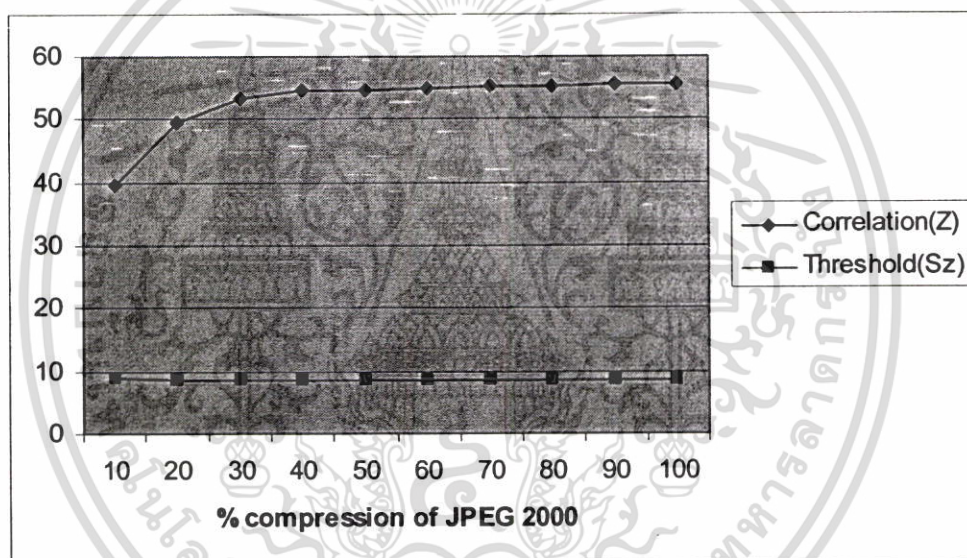
ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบการฝังลายน้ำภาพ BABOON

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	35.1651	55.4452	8.5793	500
jpeg q0	25.4339	44.6976	8.2884	500
jpeg q1	25.7702	45.4194	8.2710	500
jpeg q2	26.6441	49.7283	8.4195	500
jpeg q3	28.5071	53.9456	8.5939	500
jpeg q4	29.2751	54.9467	8.6118	500
jpeg q5	30.1036	55.1352	8.6452	500
jpeg q6	31.4434	55.5319	8.6717	500
jpeg q7	30.6218	55.4115	8.6547	500
jpeg q8	32.197	55.525	8.6143	500
jpeg q9	33.3674	55.6135	8.6213	500
jpeg q10	34.2775	55.5068	8.5919	500
median filter 3x3	23.5180	42.1558	8.8570	500
Gaussian noise 10%	19.7205	30.7914	6.7581	500
Gaussian noise 20%	14.1856	12.0855	5.4313	500
Gaussian noise 30%	11.4087	7.6011	5.2800	500
Gaussian noise 40%	9.8028	4.1311	5.5014	500
Gaussian noise 50%	8.9573	3.4482	5.5042	852

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

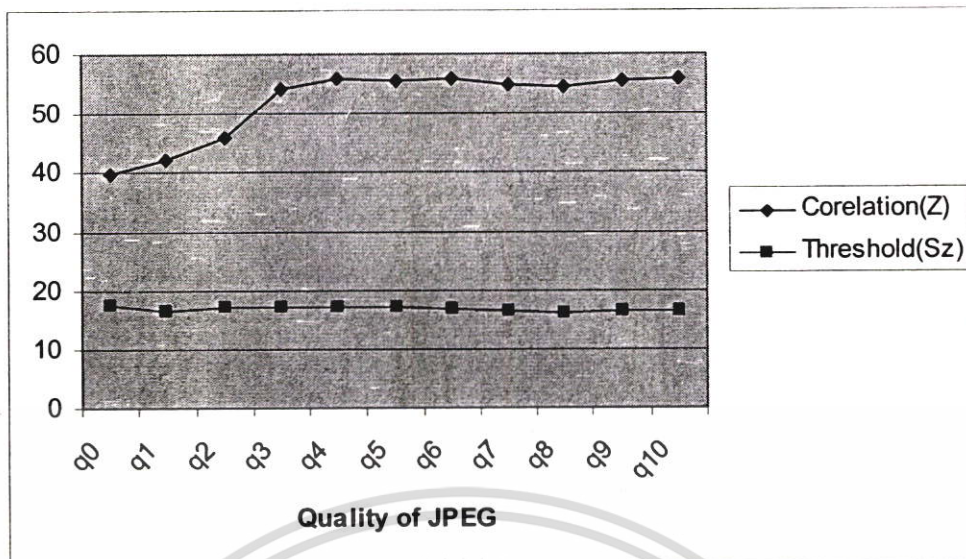
รูปที่ ข.4 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ BABOON (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

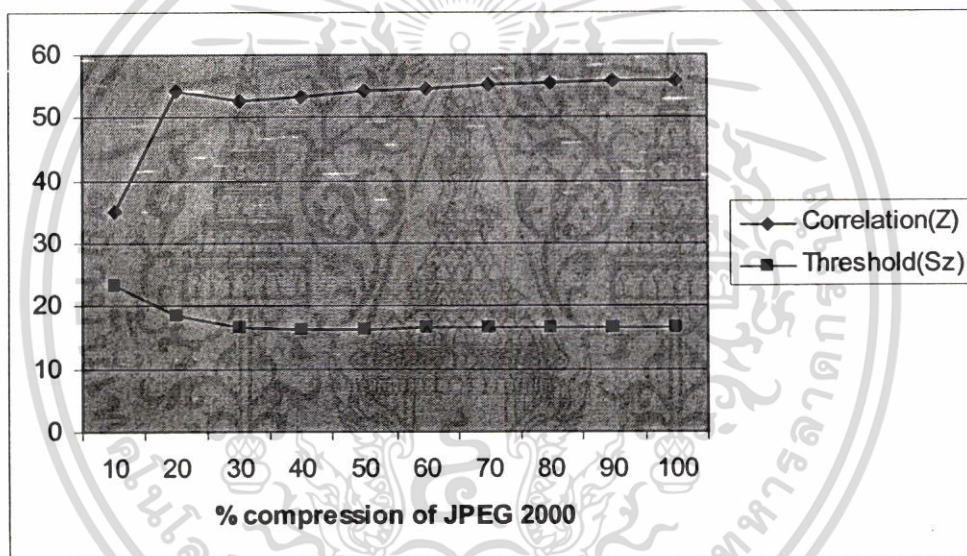
ตารางที่ ข.5 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ BEAR

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	37.9534	55.8460	16.5892	500
jpeg q0	31.7332	39.9382	17.4120	500
jpeg q1	32.4037	42.2407	16.5340	500
jpeg q2	33.6145	46.0410	17.1121	500
jpeg q3	35.0146	54.1611	17.1903	500
jpeg q4	35.5484	55.8298	17.0895	500
jpeg q5	36.0721	55.4914	16.9827	500
jpeg q6	36.6448	55.7742	16.7480	500
jpeg q7	36.3285	54.7134	16.4633	500
jpeg q8	36.9661	54.4830	16.2360	500
jpeg q9	37.3065	55.5151	16.4859	500
jpeg q10	37.5903	55.9040	16.6189	500
median filter 3x3	35.2547	50.0217	17.7690	500
Gaussian noise 10%	20.0698	9.4467	8.2696	500
Gaussian noise 20%	14.8075	3.9816	5.2753	272
Gaussian noise 30%	11.8601	4.2830	5.1293	285
Gaussian noise 40%	10.1352	3.6198	5.1402	724
Gaussian noise 50%	8.9891	4.2588	5.3542	610

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

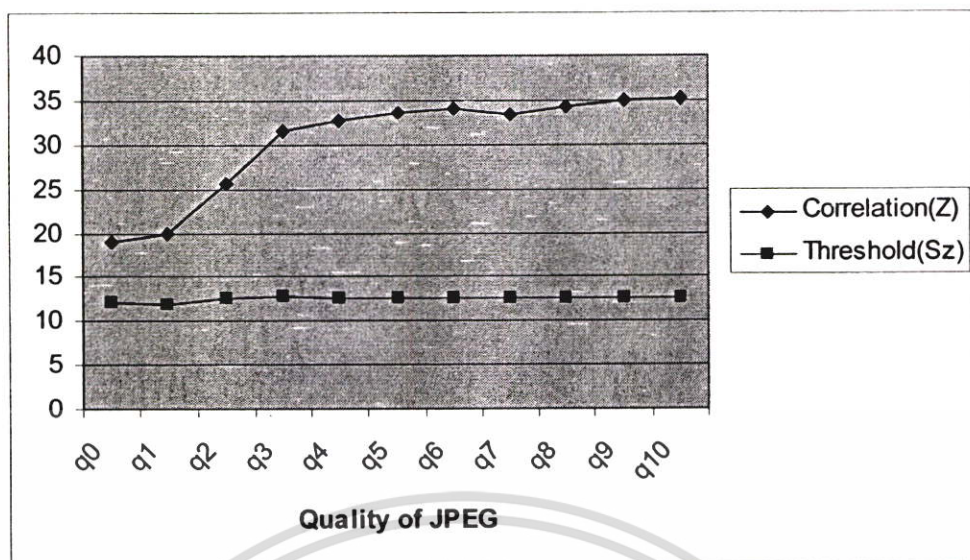
รูปที่ ข.5 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ BEAR (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

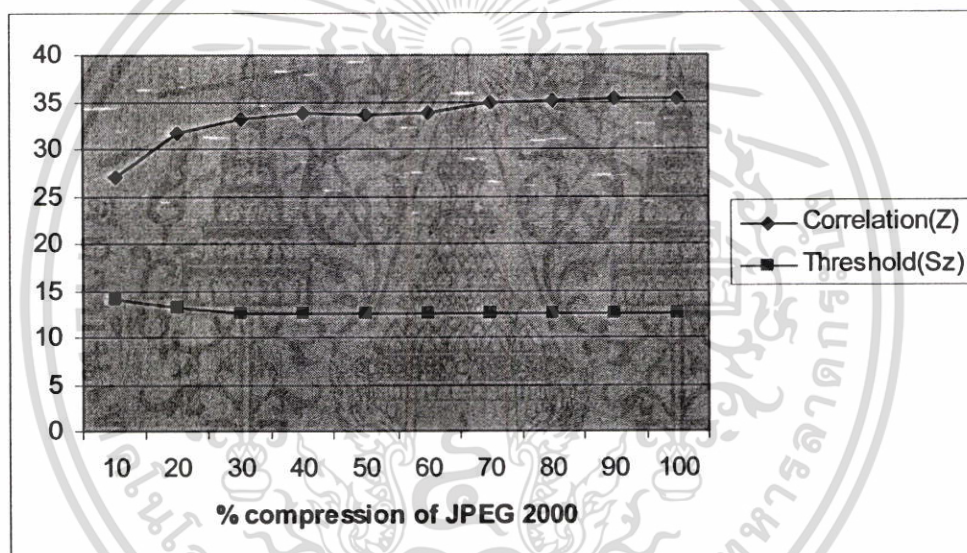
ตารางที่ ข.6 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ BANDON

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	37.7791	35.3737	12.6375	500
jpeg q0	32.8177	19.0243	12.0620	500
jpeg q1	33.3177	19.9594	11.8818	500
jpeg q2	34.3813	25.6834	12.5763	500
jpeg q3	35.3547	31.6228	12.7416	500
jpeg q4	35.7916	32.5989	12.6121	500
jpeg q5	36.2228	33.6316	12.6567	500
jpeg q6	36.7074	33.9765	12.5589	500
jpeg q7	36.4514	33.2978	12.5593	500
jpeg q8	36.9558	34.1716	12.5493	500
jpeg q9	37.2394	34.8610	12.5767	500
jpeg q10	37.4792	35.2612	12.6668	500
median filter 3x3	30.2595	37.3525	11.9746	500
Gaussian noise 10%	20.2400	10.4211	8.9270	500
Gaussian noise 20%	14.8248	4.4709	5.6678	272
Gaussian noise 30%	11.8931	3.4547	5.2364	854
Gaussian noise 40%	10.3237	3.9122	5.1750	597
Gaussian noise 50%	8.9854	3.3629	5.3558	369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

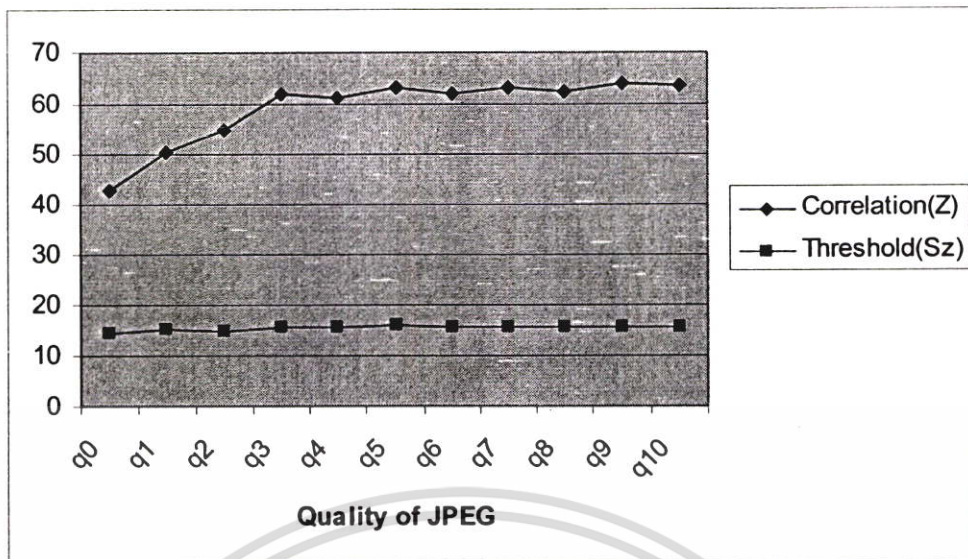
รูปที่ ข.6 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ BANDON (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

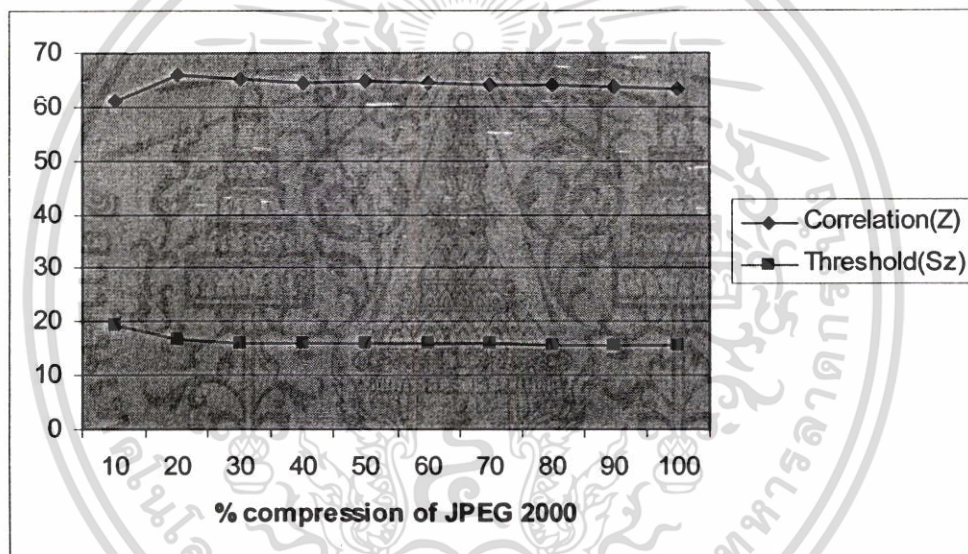
ตารางที่ ข.7 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ LOCHNESS

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	38.0583	63.4239	15.5813	500
jpeg q0	30.2139	42.9717	14.5819	500
jpeg q1	30.702	50.2575	15.2058	500
jpeg q2	31.7741	54.8815	14.6881	500
jpeg q3	33.2986	61.8274	15.6796	500
jpeg q4	33.9391	61.2496	15.5191	500
jpeg q5	34.5679	63.2602	15.8855	500
jpeg q6	35.4274	61.8948	15.4255	500
jpeg q7	34.9193	63.3156	15.6596	500
jpeg q8	35.8774	62.5762	15.6543	500
jpeg q9	36.5267	63.8602	15.7368	500
jpeg q10	37.1227	63.5003	15.7125	500
median filter 3x3	31.9843	60.6314	17.7498	500
Gaussian noise 10%	20.0039	14.2023	7.6285	500
Gaussian noise 20%	14.7324	4.2460	5.3337	500
Gaussian noise 30%	11.4840	4.3746	5.2374	462
Gaussian noise 40%	10.1081	3.2788	5.3288	483
Gaussian noise 50%	8.9521	3.6931	5.4626	821

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

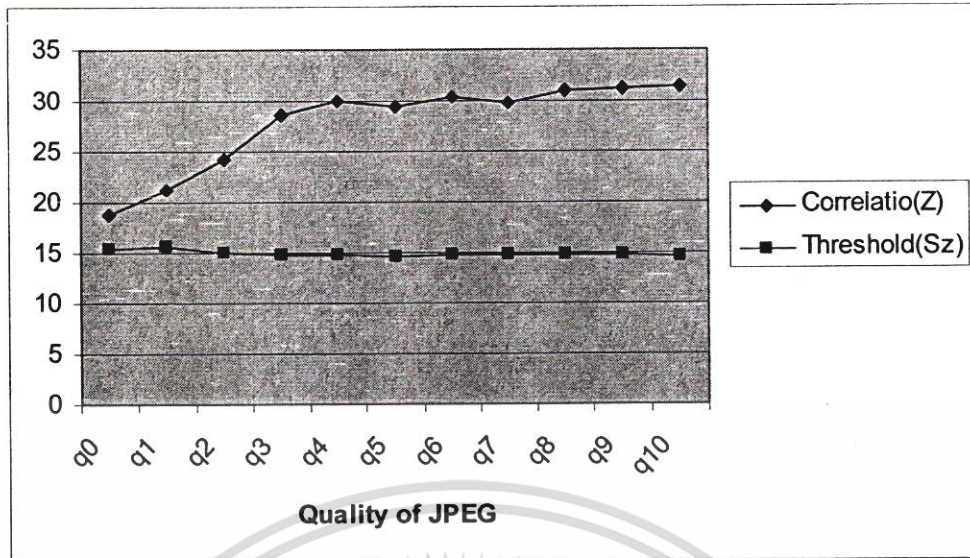
รูปที่ ข.7 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ LOCHNESS (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

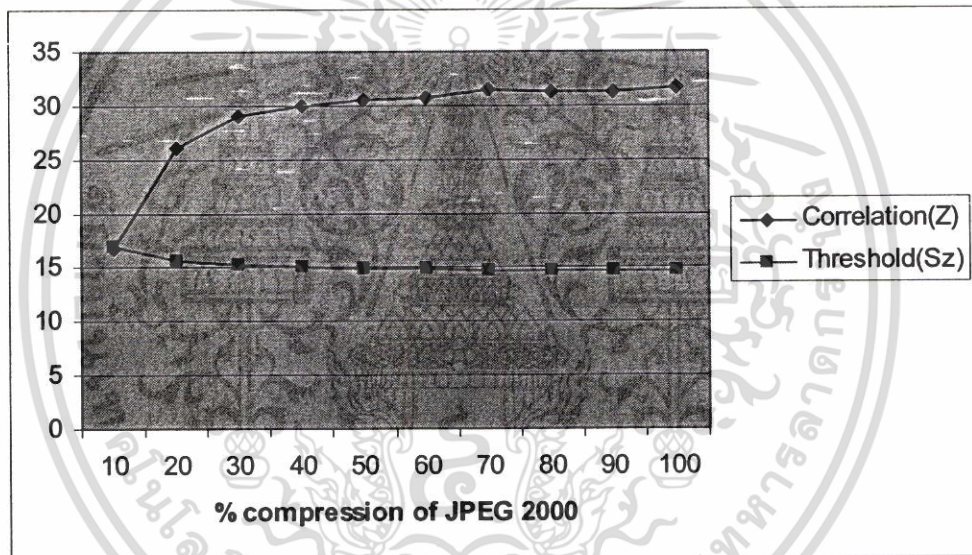
ตารางที่ ข.8 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ SKYLINE ARCH

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	36.7057	31.6958	14.7705	500
jpeg q0	31.2954	18.7949	15.3547	500
jpeg q1	31.8356	21.2467	15.5453	500
jpeg q2	32.9777	24.1321	15.0166	500
jpeg q3	34.2792	28.5182	14.7468	500
jpeg q4	34.7179	30.0458	14.8021	500
jpeg q5	35.1695	29.3869	14.6225	500
jpeg q6	35.6645	30.3892	14.7900	500
jpeg q7	35.3893	29.8767	14.8718	500
jpeg q8	35.9104	30.9459	14.8229	500
jpeg q9	36.2055	31.2297	14.7272	500
jpeg q10	36.4292	31.3343	14.6414	500
median filter 3x3	33.8663	23.9415	16.0925	500
Gaussian noise 10%	20.1295	11.2124	8.7627	500
Gaussian noise 20%	14.7442	3.2937	5.3965	377
Gaussian noise 30%	11.7810	3.0673	5.0513	35
Gaussian noise 40%	10.1376	3.8402	5.2392	306
Gaussian noise 50%	9.0598	3.9796	5.3173	232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

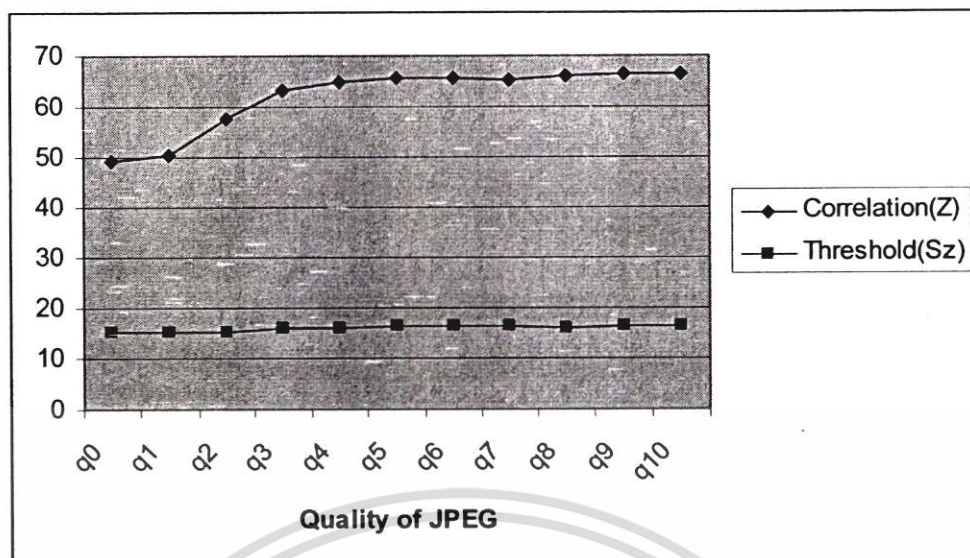
รูปที่ ข.8 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ SKYLINE ARCH (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

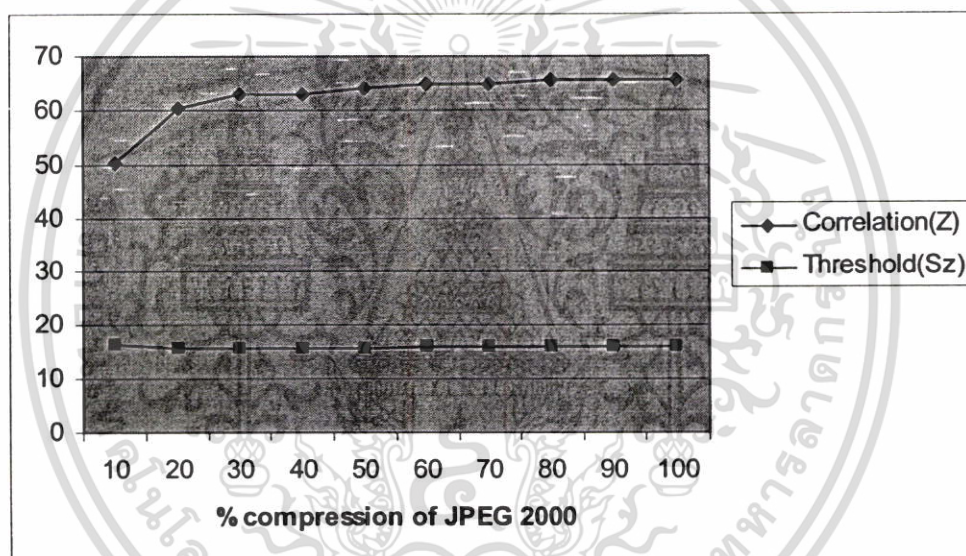
ตารางที่ ข.9 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ F16

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	37.3415	66.4305	16.2707	500
jpeg q0	30.8304	49.3510	15.1329	500
jpeg q1	31.3412	50.3391	15.0253	500
jpeg q2	32.4657	57.4773	15.2388	500
jpeg q3	33.7981	63.3756	15.9907	500
jpeg q4	34.3012	64.6211	16.1151	500
jpeg q5	34.8358	65.4795	16.3179	500
jpeg q6	35.4388	65.7256	16.3131	500
jpeg q7	35.0961	65.3929	16.3033	500
jpeg q8	35.7733	66.1600	16.1710	500
jpeg q9	36.2126	66.2676	16.2292	500
jpeg q10	36.6282	66.4153	16.2338	500
median filter 3x3	32.8435	49.1714	15.6000	500
Gaussian noise 10%	19.8887	25.5433	8.9350	500
Gaussian noise 20%	14.7240	6.5425	5.5180	500
Gaussian noise 30%	11.8194	3.5443	5.2504	135
Gaussian noise 40%	10.0861	3.7928	5.3834	873
Gaussian noise 50%	9.1450	4.0142	5.4897	232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

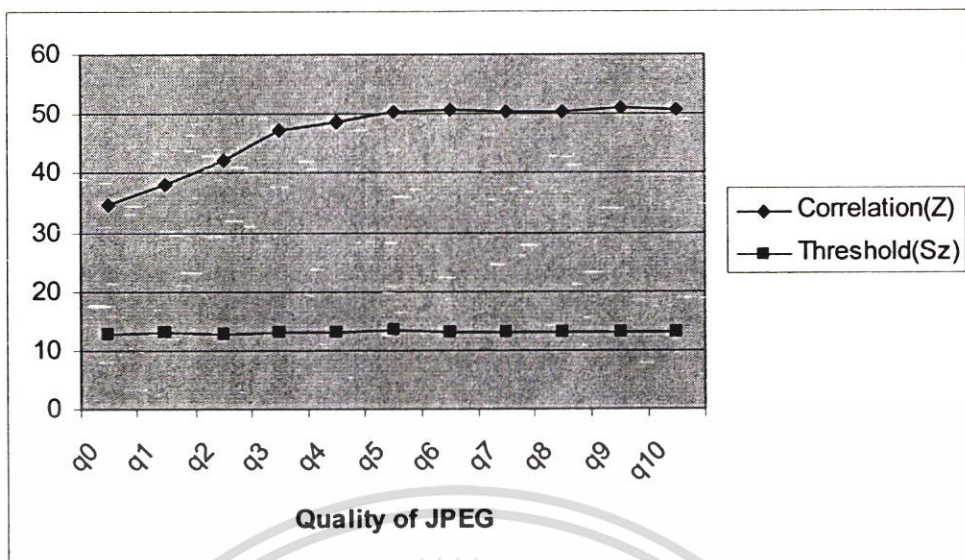
รูปที่ ข.9 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ F16 (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

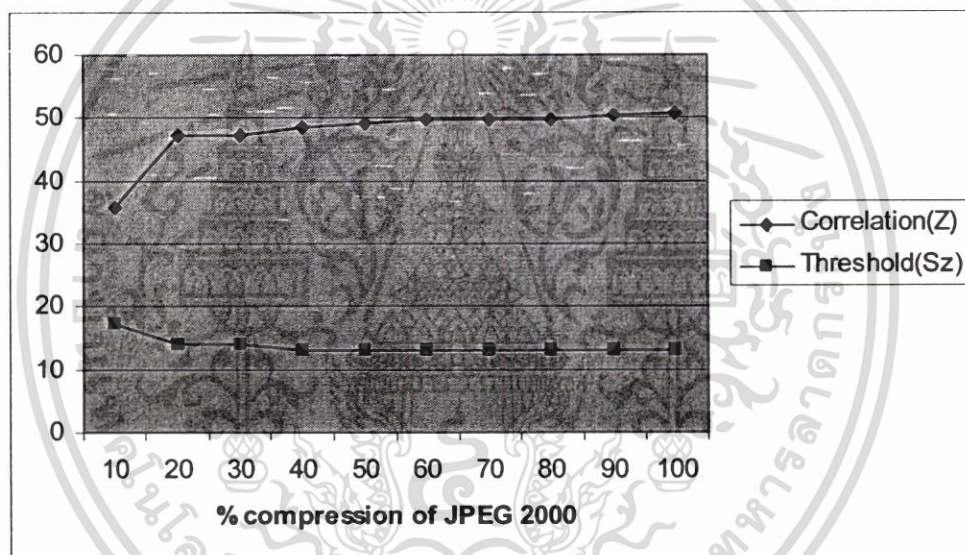
ตารางที่ ข.10 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ FISHBOAT

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	38.4879	50.8753	13.0541	500
jpeg q0	29.5378	34.5218	12.6061	500
jpeg q1	30.0273	38.1368	12.8678	500
jpeg q2	31.0855	42.1674	12.5986	500
jpeg q3	32.6471	47.3052	13.0964	500
jpeg q4	33.2155	48.6527	13.0044	500
jpeg q5	33.833	50.3367	13.2551	500
jpeg q6	34.6476	50.7344	13.1231	500
jpeg q7	34.1662	50.2526	13.0918	500
jpeg q8	35.1020	50.2302	13.0137	500
jpeg q9	35.9080	51.0420	13.1408	500
jpeg q10	36.9125	50.6728	13.0254	500
median filter 3x3	30.1546	41.8347	13.4208	500
Gaussian noise 10%	19.8562	18.8936	7.7570	500
Gaussian noise 20%	14.4114	5.5895	5.1496	500
Gaussian noise 30%	11.6611	4.1259	5.1726	500
Gaussian noise 40%	9.9412	3.8419	5.3250	75
Gaussian noise 50%	8.8907	3.7747	5.4207	306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

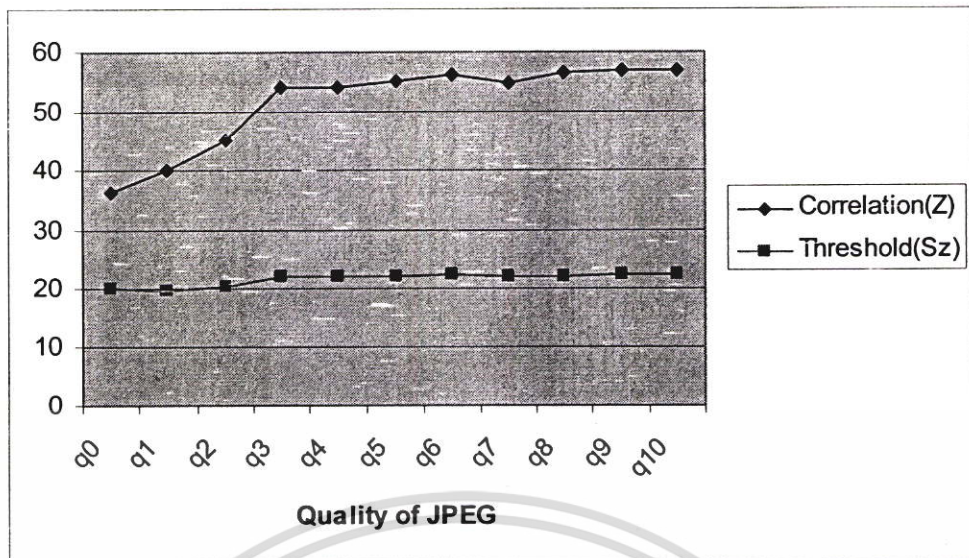
รูปที่ ข.10 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ FISHBOAT (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

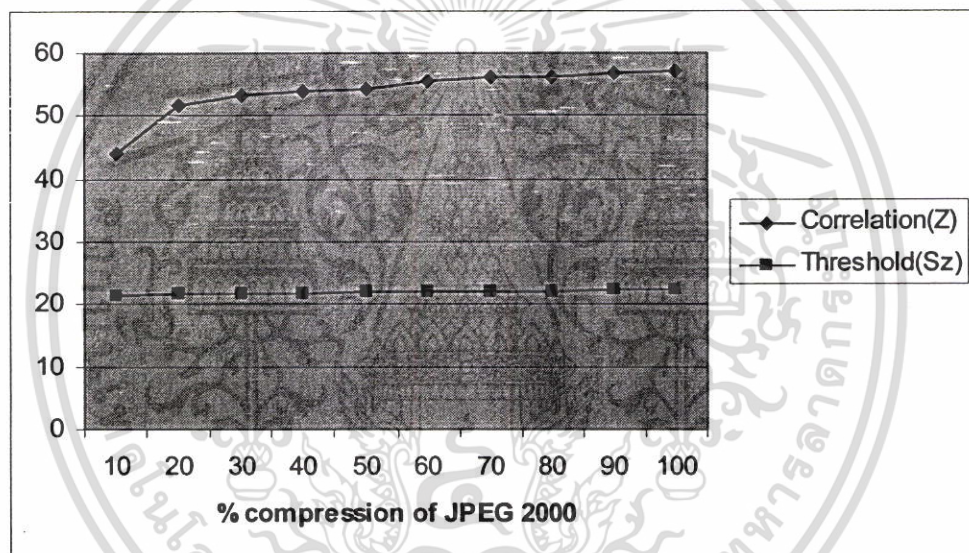
ตารางที่ ข.11 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ PEPPERS

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	39.6226	57.0088	22.3757	500
jpeg q0	31.4655	36.4812	19.8143	500
jpeg q1	31.8792	40.1894	19.4598	500
jpeg q2	32.7417	45.1449	20.3283	500
jpeg q3	33.7210	54.1684	22.0807	500
jpeg q4	34.1385	54.0662	21.8043	500
jpeg q5	34.6168	55.0604	22.0113	500
jpeg q6	35.2268	56.2584	22.2731	500
jpeg q7	34.8625	54.9117	21.8349	500
jpeg q8	35.6081	56.4392	22.0483	500
jpeg q9	36.4249	56.8589	22.1475	500
jpeg q10	37.6293	56.8818	22.2871	500
median filter 3x3	33.4760	41.1258	20.8838	500
Gaussian noise 10%	19.8208	14.3284	9.3811	500
Gaussian noise 20%	14.4936	3.5492	5.288	408
Gaussian noise 30%	11.5240	5.3926	5.0656	520
Gaussian noise 40%	10.0368	3.0157	5.1865	162
Gaussian noise 50%	8.9538	4.0754	5.3964	483

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

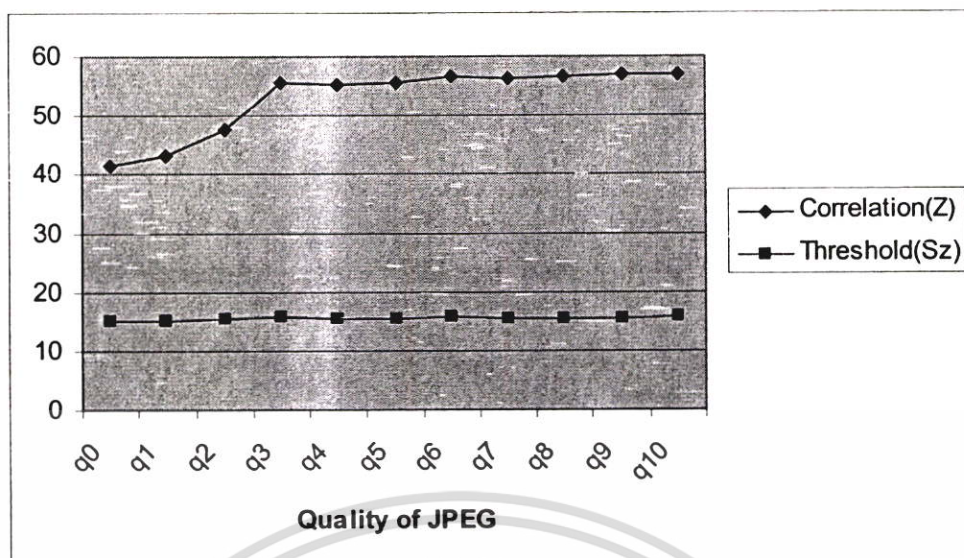
รูปที่ ข.11 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ PEPPERS (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

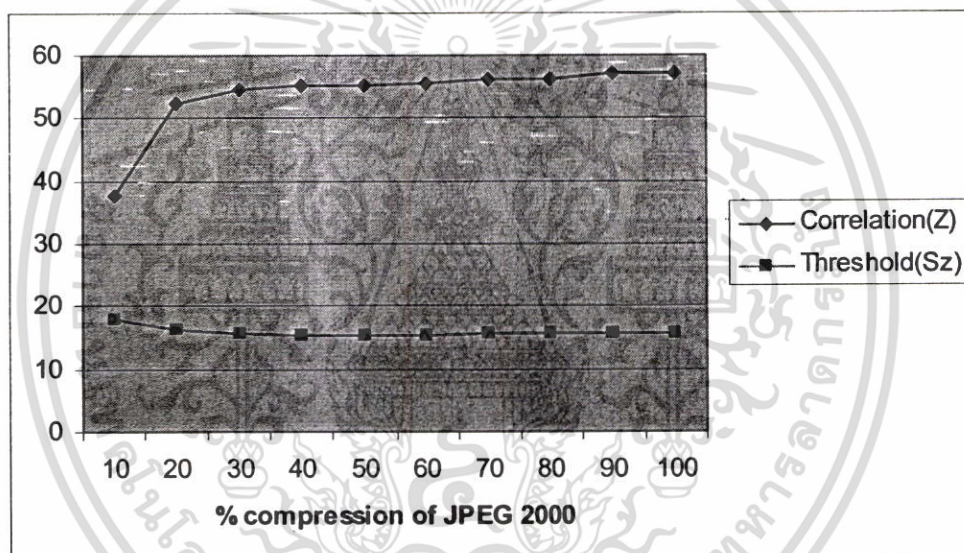
ตารางที่ ข.12 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ PILLS

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	38.0715	58.1611	15.9310	500
jpeg q0	31.232	41.4619	15.0268	500
jpeg q1	31.8200	43.0997	15.0336	500
jpeg q2	32.9801	47.8134	15.4072	500
jpeg q3	34.1862	55.6574	15.7477	500
jpeg q4	34.6649	55.1345	15.5084	500
jpeg q5	35.1303	55.7050	15.4825	500
jpeg q6	35.6366	56.5868	15.6713	500
jpeg q7	35.3499	56.2826	15.4994	500
jpeg q8	35.8709	56.6911	15.5930	500
jpeg q9	36.1743	56.8705	15.5839	500
jpeg q10	36.4289	56.9520	15.6394	500
median filter 3x3	35.3652	45.5308	14.7757	500
Gaussian noise 10%	19.8097	18.5418	8.7159	500
Gaussian noise 20%	14.5310	4.5045	5.2179	500
Gaussian noise 30%	11.6159	3.4567	5.1540	102
Gaussian noise 40%	10.0439	3.7004	5.2463	285
Gaussian noise 50%	9.0278	3.5672	5.3958	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

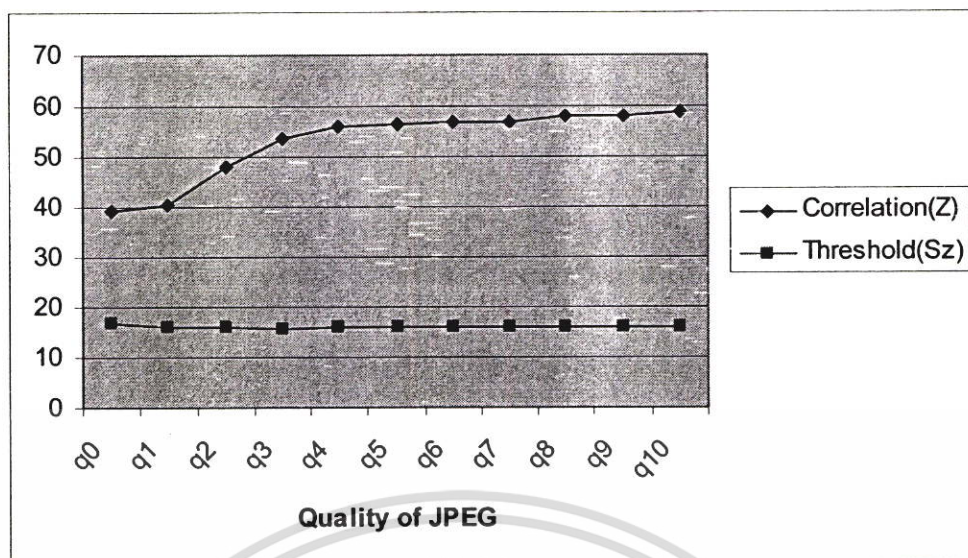
รูปที่ ข.12 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ PILLS (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

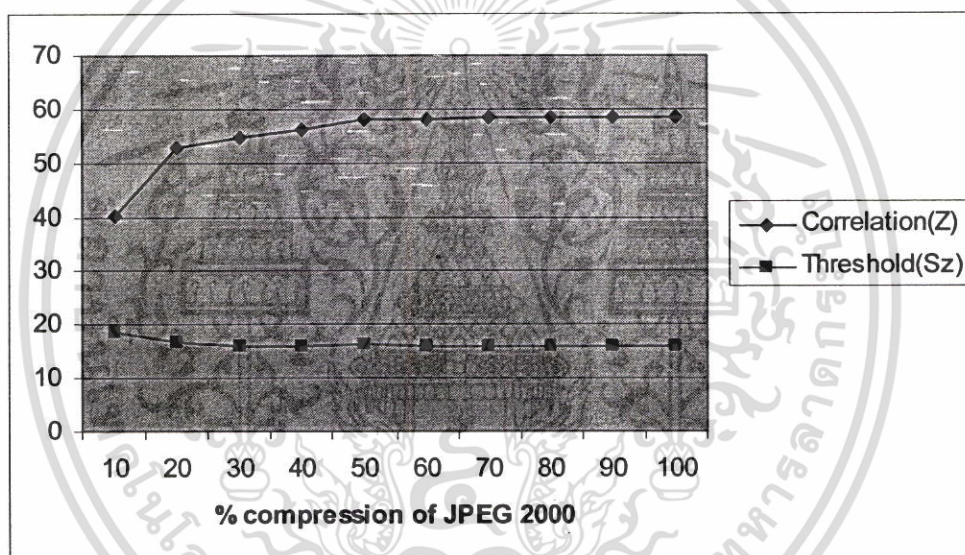
ตารางที่ ข.13 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ EARTH

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	38.4247	58.5285	16.0928	500
jpeg q0	30.7239	39.0304	16.8705	500
jpeg q1	31.3046	40.5458	15.8586	500
jpeg q2	32.4490	47.8898	16.1607	500
jpeg q3	33.7746	53.6022	15.7317	500
jpeg q4	34.2793	55.9263	15.9832	500
jpeg q5	34.7802	56.5200	15.9001	500
jpeg q6	35.4591	56.9609	15.8652	500
jpeg q7	35.0695	56.7292	16.1228	500
jpeg q8	35.8380	58.1243	16.1235	500
jpeg q9	36.4325	57.9560	16.0878	500
jpeg q10	37.0796	58.7488	16.0554	500
median filter 3x3	33.1157	50.6348	16.8537	500
Gaussian noise 10%	19.7114	14.4698	7.8660	500
Gaussian noise 20%	14.1906	4.0841	5.1389	500
Gaussian noise 30%	11.4779	3.7169	5.0108	133
Gaussian noise 40%	10.0333	3.2754	5.1505	465
Gaussian noise 50%	8.8526	3.6797	5.3640	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

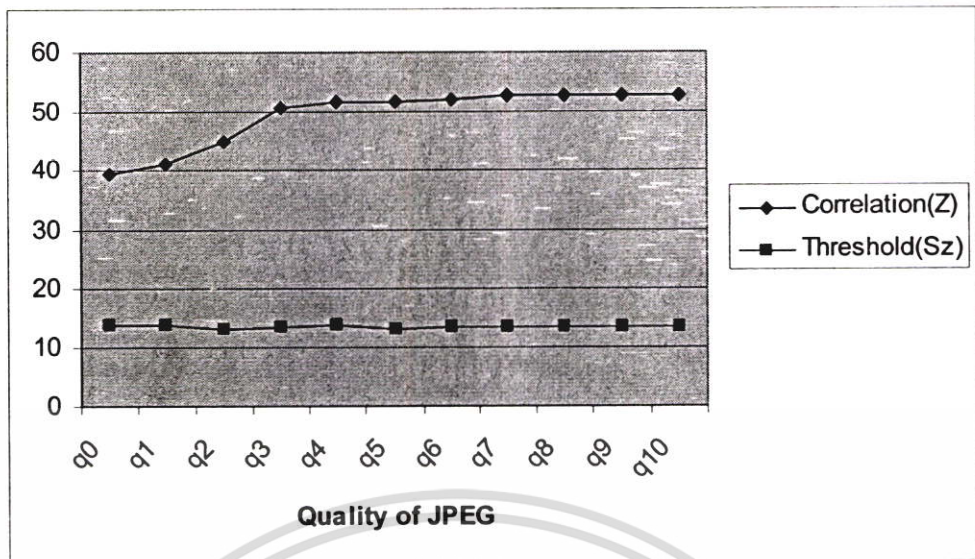
รูปที่ ข.13 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ EARTH (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

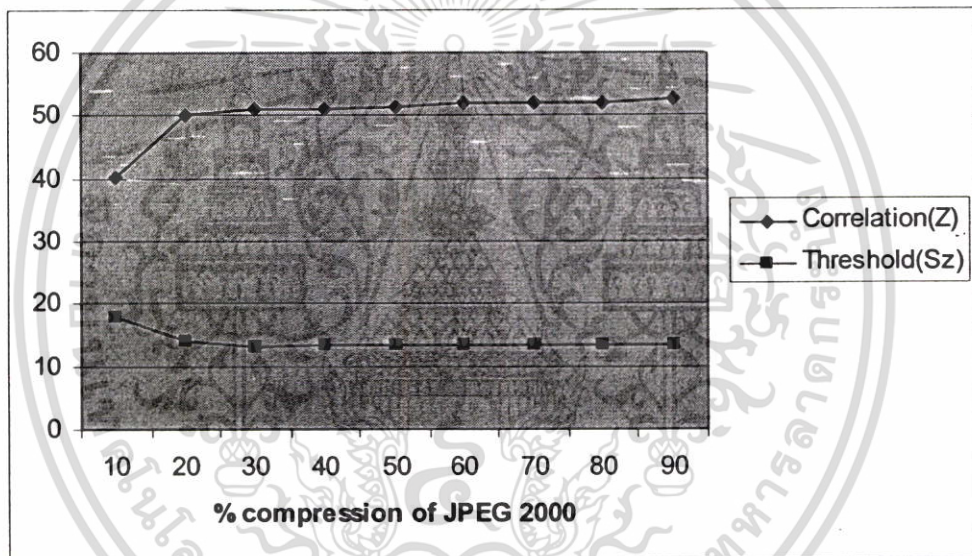
ตารางที่ ข.14 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ PANTAGON

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	36.7201	52.6837	13.3798	500
jpeg q0	27.9790	39.5659	13.5789	500
jpeg q1	28.4031	41.2652	13.7519	500
jpeg q2	29.3564	44.9693	13.0695	500
jpeg q3	30.9896	50.8288	13.5189	500
jpeg q4	31.6511	51.6891	13.5607	500
jpeg q5	32.3873	51.8449	13.1362	500
jpeg q6	33.4385	52.1750	13.4198	500
jpeg q7	32.8196	52.6643	13.2834	500
jpeg q8	34.0071	52.7836	13.4743	500
jpeg q9	34.9075	52.818	13.5306	500
jpeg q10	35.6963	52.7755	13.3747	500
median filter 3x3	29.3202	43.3711	14.7223	500
Gaussian noise 10%	19.6725	14.6200	7.1374	500
Gaussian noise 20%	14.1973	4.5163	5.1078	500
Gaussian noise 30%	11.1588	3.6453	5.0843	77
Gaussian noise 40%	9.7972	4.5808	5.2601	462
Gaussian noise 50%	8.8313	3.8143	5.6476	285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

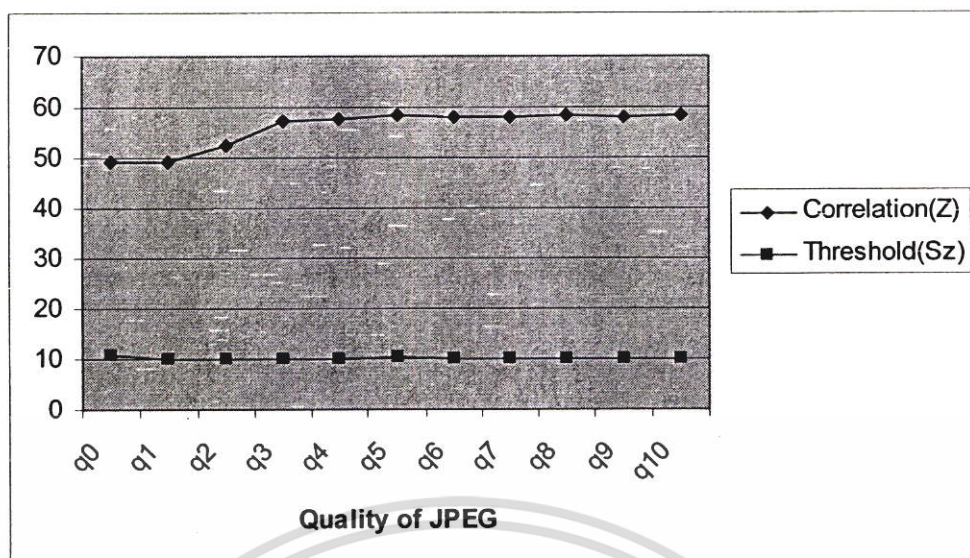
รูปที่ ข.14 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ PANTAGON (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG (ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

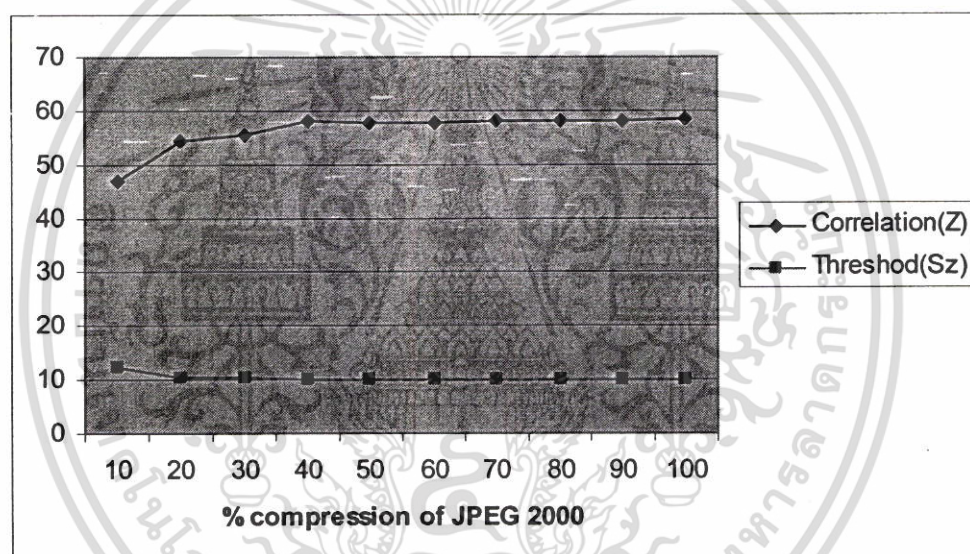
ตารางที่ ข.15 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ SANDIEGO

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	36.6422	58.4453	10.1166	500
jpeg q0	25.8694	49.0233	10.6958	500
jpeg q1	26.233	49.3154	10.0183	500
jpeg q2	27.0905	52.5223	9.8501	500
jpeg q3	28.7423	57.1599	10.1742	500
jpeg q4	29.4549	57.4350	10.1617	500
jpeg q5	30.2767	58.3649	10.2638	500
jpeg q6	31.6805	57.9059	10.0626	500
jpeg q7	30.8087	57.8516	10.1202	500
jpeg q8	32.5187	58.2814	10.1618	500
jpeg q9	34.0116	58.1464	10.0929	500
jpeg q10	35.3356	58.5433	10.1649	500
median filter 3x3	26.5908	50.059	11.2124	500
Gaussian noise 10%	19.5532	21.3834	6.5724	500
Gaussian noise 20%	14.3210	8.0902	5.0716	500
Gaussian noise 30%	11.4188	6.1740	5.1525	500
Gaussian noise 40%	9.8792	4.1566	5.3195	500
Gaussian noise 50%	8.9168	4.6261	5.4439	500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

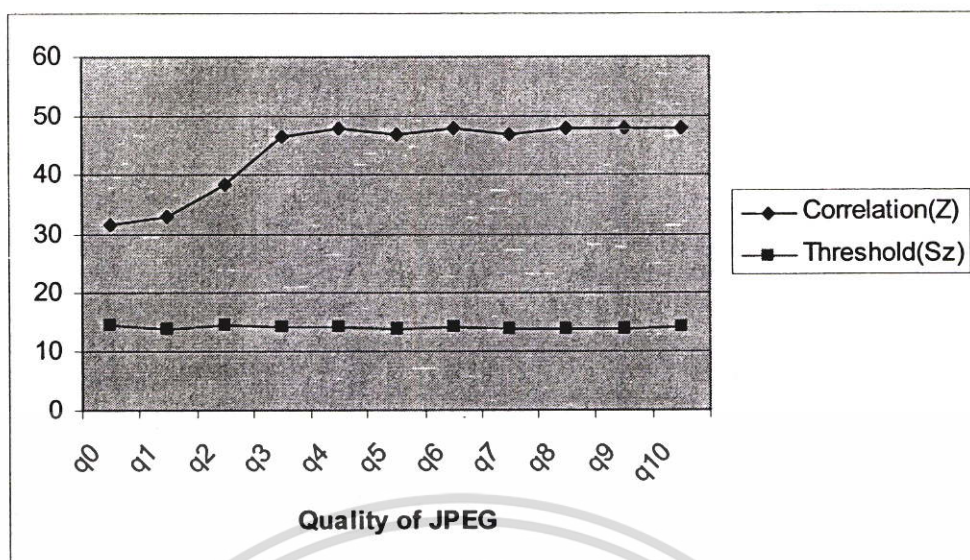
รูปที่ ข.15 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ SANDIEGO (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

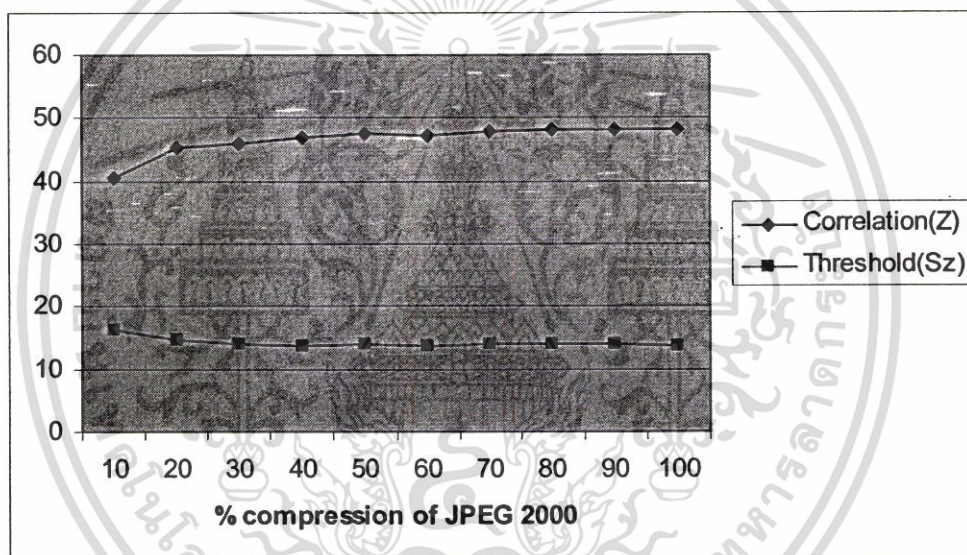
ตารางที่ ข.16 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ OPERA

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key (Seed)
No	38.2912	48.0925	13.8658	500
jpeg q0	30.284	31.4983	14.3135	500
jpeg q1	30.7402	32.8982	13.7404	500
jpeg q2	31.8301	38.5036	14.3563	500
jpeg q3	33.3544	46.519	14.1676	500
jpeg q4	33.9713	47.8485	13.9701	500
jpeg q5	34.6832	46.8632	13.7216	500
jpeg q6	35.5371	48.1033	13.901	500
jpeg q7	35.0375	47.0045	13.8254	500
jpeg q8	35.9716	47.9734	13.876	500
jpeg q9	36.6486	48.055	13.8849	500
jpeg q10	37.2717	48.1251	13.8883	500
median filter 3x3	29.7507	38.8331	14.561	500
Gaussian noise 10%	19.7867	14.7104	7.9795	500
Gaussian noise 20%	14.3112	4.435	5.2996	500
Gaussian noise 30%	11.53	3.2683	5.111	368
Gaussian noise 40%	9.7859	3.1691	5.2695	18
Gaussian noise 50%	8.8915	3.7315	5.4503	408

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

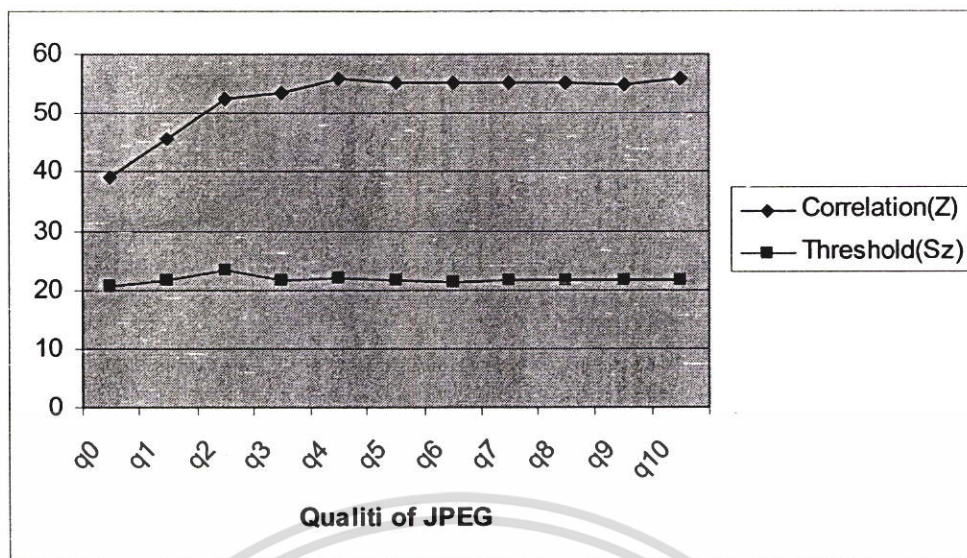
รูปที่ ข.16 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ OPERA (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

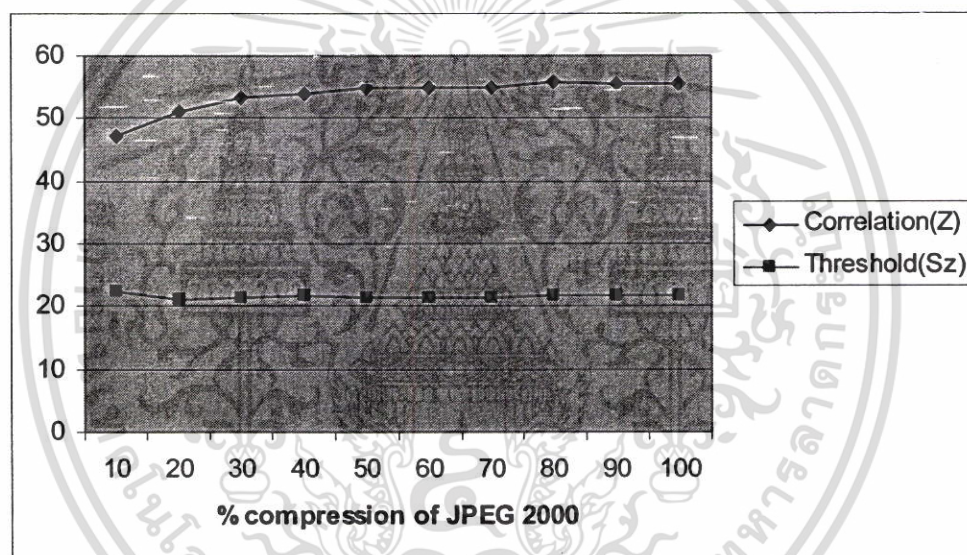
ตารางที่ ข.17 ผลการทดลองการฝังลายน้ำภาพ Z1X25

Attack	PSNR (dB)	Correlation (Z)	Threshold (Sz)	Key
No	39.0382	55.4800	21.5456	500
jpeg q0	32.0862	39.0208	20.5205	500
jpeg q1	32.5864	45.4591	21.7001	500
jpeg q2	33.7494	52.4768	23.3115	500
jpeg q3	35.1634	53.4611	21.5332	500
jpeg q4	35.6744	55.7278	22.0526	500
jpeg q5	36.2994	55.1573	21.5686	500
jpeg q6	36.9539	55.249	21.3083	500
jpeg q7	36.5677	55.0647	21.4707	500
jpeg q8	37.3064	55.0925	21.4966	500
jpeg q9	37.7885	54.9505	21.4839	500
jpeg q10	38.2283	55.8997	21.6123	500
median filter 3x3	33.8632	44.1049	21.5929	500
Gaussian noise 10%	19.776	12.8893	8.9153	500
Gaussian noise 20%	14.0583	3.3612	5.1337	659
Gaussian noise 30%	11.1839	3.1983	4.9590	471
Gaussian noise 40%	9.8533	3.6081	5.2132	462
Gaussian noise 50%	8.9302	4.0719	5.4788	610

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ ข.17 กราฟแสดงผลการทดสอบภาพ Z1X25 (ก) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG  
(ข) การทดสอบด้วยการบีบอัดภาพแบบ JPEG 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## การวัดประสิทธิภาพระบบการมองเห็นของมนุษย์

การวัดประสิทธิภาพระบบการมองเห็นของมนุษย์ ทำโดยการหาค่าระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ยของภาพต้นฉบับกับภาพที่ทำลายน้ำแล้ว โดยนำค่าระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ยที่ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้ ( $\bar{\alpha}$ ) เมื่อใช้ระบบการมองเห็นของมนุษย์ในขั้นตอนการฝังลายน้ำ ซึ่งหาได้จากสมการที่ ค.1 ทำการเปรียบเทียบกับค่าระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ยที่สามารถมองเห็นลายน้ำได้ ( $\bar{\beta}$ ) เมื่อใช้ระบบการมองเห็นของมนุษย์ในขั้นตอนการฝังลายน้ำ ซึ่งหาได้จากสมการที่ ค.2 ผลแสดงดังตารางที่ ก.1 จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีค่าระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ยที่ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้น้อยกว่าค่าระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ยที่สามารถมองเห็นลายน้ำได้เมื่อใช้ระบบการมองเห็นของมนุษย์

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{M} \sum_{\alpha=1.5}^M |I_o - I_w| \quad (\text{ค.1})$$

โดยที่

$\bar{\alpha}$  คือระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ยที่ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้

$I_o$  คือระดับความสว่างรูปภาพต้นฉบับ

$I_w$  คือระดับความสว่างรูปภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว

$M$  คือจำนวนพิกเซลของรูปภาพ

$\alpha = 1.5$  ได้จากการทดลองทำการฝังลายน้ำที่ทำให้ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้

$$\bar{\beta} = \frac{1}{M} \sum_{\alpha=2.0}^M |I_o - I_w| \quad (\text{ค.2})$$

โดยที่

$\bar{\beta}$  คือระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ยที่สามารถมองเห็นลายน้ำได้

$I_o$  คือระดับความสว่างรูปภาพต้นฉบับ

$I_w$  คือระดับความสว่างรูปภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว

$M$  คือจำนวนพิกเซลของรูปภาพ

$\alpha = 2.0$  ได้จากการทดลองทำการฝังลายน้ำที่สามารถมองเห็นลายน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการวัดประสิทธิภาพระบบการมองเห็นของมนุษย์

รูปภาพ	ระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ย ที่ไม่สามารถมองเห็นลายน้ำได้ ( $\alpha$ )	ระดับความสว่างแตกต่างเฉลี่ย ที่สามารถมองเห็นลายน้ำได้ ( $\beta$ )
LENA	0.42581	0.56775
TIFFANY	0.54332	0.72442
KID	0.57939	0.77252
BABOON	1.90474	2.53965
BEAR	0.32716	0.43621
BANDON	0.37488	0.49984
LOCHNESS	0.47473	0.63297
SKYLINE_ARCH	0.47992	0.63990
F16	0.88757	1.18342
FISHBOAT	0.83995	1.11993
PEPPERS	0.44666	0.59554
PILLS	0.83206	1.10942
EARTH	0.67918	0.90558
PANTAGON	0.90623	1.20831
SANDIEGO	1.36902	1.82536
OPERA	0.62863	0.83817
Z1X25	0.37593	0.50124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.  
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] Anuwat S, Ouen P, Chom K. “Wavelet-based Digital Watermarking Using Human Visual System for Copyright Protection” International Conference on Control, Automation and System ICCAS 2004 , Bangkok Thailand August 2004.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอนุวัตร สมบุญ
วัน เดือน ปีเกิด	26 กันยายน 2519 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	103/71 ถ.แจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
ประวัติการศึกษา	2542 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1). คอมพิวเตอร์ 2). การประมวลผลภาพ (Image processing) 3). การทำภาพลายน้ำดิจิทัล (watermaking)
ประสบการณ์ทำงานและผลงานวิจัย	
ปัจจุบัน	ทำงานเจ้าหน้าที่ดูแลระบบชุมสายโทรศัพท์ระหว่างประเทศ (ITSC4A) บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด มหาชน
พ.ศ.2548	ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้