บทที่ 5
ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลองของวิธีการฝังลายน้ำด้วยบล็อกทับซ้อน รวมไปถึงเปรียบเทียบผลการทดลองในการปรับค่าต่างๆ หลังจากนั้นจะสรุปวิธีการปรับค่าในการฝังลายน้ำเพื่อตอบสนองความต้องการและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

5.1 เงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดลองต่อไปนี้จะใช้ภาพลายน้ำที่มีค่าระดับความเข้มแสง 1 บิต (0,1) ขนาด 63x63 พิกเซล (รูปที่ 5.1) ภาพทดสอบที่มีระดับความเข้มแสง 8 บิต (0-255) ขนาด 128x128 พิกเซล ทั้งหมด 5 ภาพ (รูปที่ 5.2) ได้แก่ภาพ Lenna, Airplane, Baboon, Peppers และ Girl ซึ่งแต่ละภาพมีคุณสมบัติต่างกันออกไป โดยคุณสมบัติเด่นคือ ภาพ Baboon เป็นภาพที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นข้อมูลความถี่สูง ภาพ Airplane เป็นภาพที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นข้อมูลความถี่ต่ำ และภาพ Lenna, Peppers, Girl เป็นภาพที่มีข้อมูลหลายความถี่ เช่น บริเวณขอบของวัตถุในภาพเป็นความถี่สูง บริเวณที่มีสีพื้นมีความถี่ต่ำ บริเวณสีค่อยๆ เปลี่ยนมีความถี่กลาง และบริเวณมวยผมเป็นบริเวณที่มีความถี่สูง ซึ่งความแตกต่างกันขององค์ประกอบในภาพจะมีผลต่อปริมาณข้อมูลลายน้ำที่สามารถฝังได้โดยไม่เห็นความแตกต่าง

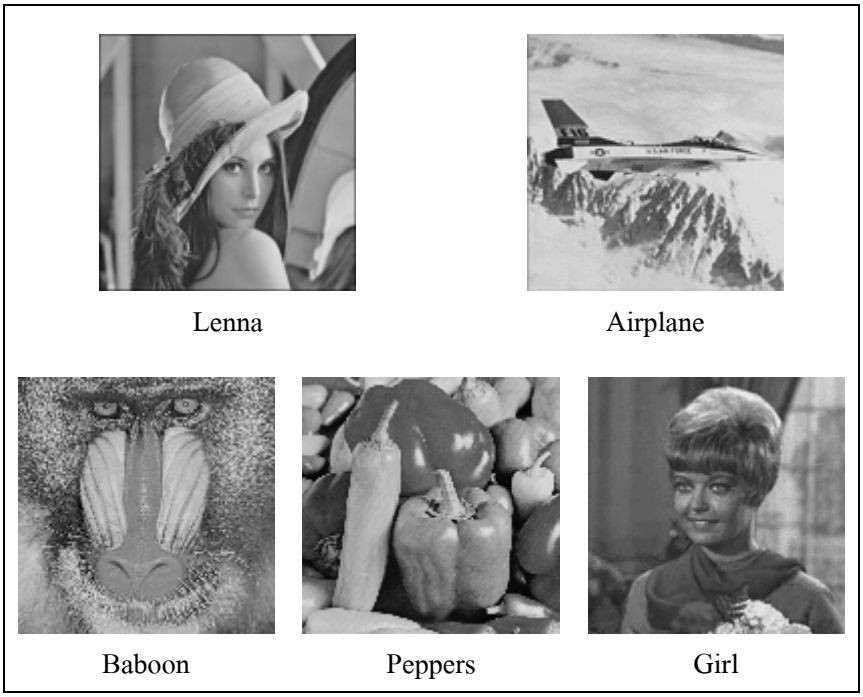
ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้ภาพทั้ง 5 ภาพนี้เป็นภาพต้นฉบับเพื่อนำลายน้ำมาฝัง และทดสอบความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำ โดยใช้ค่า PSNR ระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ฝังลายน้ำแล้ว จากนั้นทดสอบความคงทนของลายน้ำที่ฝังไว้ในภาพโดยทำการโจมตีภาพแล้ววัดค่า Error ที่เกิดขึ้น

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้กำหนดวิธีการโจมตีภาพที่ฝังลายน้ำไว้ทั้งหมด 9 วิธีดังนี้

- 3x3 Low Pass Filter ชื่อย่อ LPF
- 3x3 Median Filter ชื่อย่อ MF
- 50% Scale Down ชื่อย่อ Scale
- JPEG Quality 100 ชื่อย่อ JPEG100
- JPEG Quality 75 ชื่อย่อ JPEG75
- JPEG Quality 50 ชื่อย่อ JPEG50
- JPEG Quality 25 ชื่อย่อ JPEG25
- 27% Crop ชื่อย่อ Crop
- Rotation 12° จุดหมุนอยู่ที่จุดศูนย์กลาง ชื่อย่อ Rotation

อนึ่ง กรณีที่มีการปรับเปลี่ยนค่าความเข้มแสงแล้วจนทำให้มีค่ามากกว่า 255 หรือน้อยกว่า 0 ผู้วิจัยจะทำการกำหนดค่าความเข้มแสงที่พิกเซลนั้นให้มีค่าเท่ากับ 255 และ 0 ตามลำดับ

รูปที่ 5.1 ภาพลายน้ำ



รูปที่ 5.2 ภาพต้นฉบับที่ใช้ในการทดลอง

5.2 การฝังลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่ n ค่า

ในการทดลองนี้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ เป็นค่าคงที่ 2 ค่า และ 3 ค่า เพื่อนำไปใช้กับบล็อกทับซ้อนภายในภาพต้นฉบับที่ถูกแบ่งกลุ่มเป็น 2 กลุ่มและ 3 กลุ่ม ตามระดับค่า SD_B

วัตถุประสงค์หลักของการแบ่งกลุ่ม คือ เพื่อเพิ่มปริมาณข้อมูลที่ใช้ฝังแทนลายน้ำให้มีขนาดมากขึ้นตามระดับค่า SD_B ซึ่งจะทำให้ลายน้ำมีความคงทนมากขึ้น แต่ต้องระวังมิให้ข้อมูลที่ฝังมีปริมาณมากเกินไปจนทำให้สังเกตลายน้ำได้

5.2.1 กรณีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่ 2 ค่า

การทดลองนี้ทำการแบ่งบล็อกทับซ้อนในภาพต้นฉบับออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีค่า SD_B อยู่ในช่วง [0,8] และ (8,∞) จากนั้นในขั้นตอนการฝังลายน้ำ ก็จะเลือกใช้บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ B_{W1} กับบล็อกทับซ้อนกลุ่มที่ 1 และ B_{W2} กับบล็อกทับซ้อนกลุ่มที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.3

B_{W1}

0	1	0
1	5	1
0	1	0

บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำสำหรับบล็อกทับซ้อนที่มีค่า $0 < SD_B \leq 8$

B_{W2}

0	1	0
1	9	1
0	1	0

บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำสำหรับบล็อกทับซ้อนที่มีค่า $8 < SD_B < \infty$

รูปที่ 5.3 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่แบ่งออกเป็น 2 ระดับ

5.2.1.1 ภาพที่ได้จากการฝังลายน้ำ

จากการทดลองนำภาพลายน้ำมาฝังในภาพตัวอย่างทั้ง 5 ภาพ ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.4 คอลัมน์ซ้ายสุดคือภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำ คอลัมน์กลางคือภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว และคอลัมน์ขวาสุดคือค่า PSNR ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำกับภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 35.49 – 37.01 dB ส่วนการทดสอบความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ฝังลายน้ำแล้วโดยใช้สายตาสังเกต พบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้

ภาพต้นฉบับ

ภาพหลังจากฝังลายน้ำ

Lenna

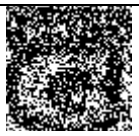
PSNR = 36.9063 dB

รูปที่ 5.4 ภาพที่ได้จากการทดลองแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดกึ่งกลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 2 ระดับ

5.2.1.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

ภาพหลังจากการฝังลายน้ำจะถูกโจมตีด้วยวิธีการทั้ง 9 วิธีที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1 แล้วนำภาพหลังจากการโจมตีทั้ง 9 ภาพไปตรวจสอบลายน้ำ ลายน้ำที่ได้จะถูกทำลายมากน้อยแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของภาพที่มีลายน้ำฝังอยู่และวิธีการโจมตีดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 อนึ่ง ตัวเลขที่แสดงไว้ใต้ลายน้ำ คือ ค่าความแตกต่าง (Error) ที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบกับภาพลายน้ำต้นฉบับ

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการโจมตีทั้ง 9 วิธี (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับ)

การโจมตี	Lenna	Airplane	Baboon	Peppers	Girl
Original	0	0	0	0	0
LPF	33.2829	 31.3933	37.7677	32.9050	30.9398
MF	24.2126	29.1257	37.0370	28.4958	28.3951
Scale	38.4732	36.3064	41.2950	39.1282	37.1630
JPEG100	0	0	0	0	0
JPEG75	11.7914	12.2701	14.3361	12.5472	11.4135
JPEG50	23.4568	25.2205	25.6488	23.1544	22.7261
JPEG25	33.5097	35.2986	34.6435	34.9458	34.3159
Crop	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365
Rotation	23.2552	23.3812	29.6548	24.0111	20.4082
* E_{AVG}	24.6353	25.1924	28.2354	25.4360	24.3442

* ค่า E_{AVG} คือค่า Average Percentage Error ของภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากโจมตีทั้ง 9 วิธี

5.2.1.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.2 และ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีการแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 2×2 พิกเซลของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen กับวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับ) โดยที่

2x2 คือวิธีการฝังลายน้ำของ L. Chang-Hising, และ L. Yeuan-Kuen โดยแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 2x2 พิกเซล

2 Levels คือวิธีการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อน และแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางเป็น 2 ระดับ ตามค่า SD_B

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับ)

Host Image	ค่า PSNR ของภาพหลังจากการฝังลายน้ำ (dB)	
	2×2	2 Levels
Girl	36.1332	37.0197
Baboon	29.5945	35.4928
Airplane	32.3912	36.9695
Pappers	32.1713	36.6435
Lenna	33.7916	36.9063
Average	**32.8157**	**36.6064**

ตารางที่ 5.3 ตารางเปรียบเทียบค่า Average Percentage Error ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน (เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับ)

Host Image	ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำ (%)	
	2×2	2 Levels
Girl	28.9209	21.9098
Baboon	26.1841	25.4119
Airplane	28.5449	22.6732
Pappers	28.5132	22.8924
Lenna	28.5962	22.1718
Average	**28.1519**	**23.0118**

5.2.1.4 สรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 5.2 และ 5.3 แสดงให้เห็นว่าวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อนให้ค่า PSNR มากกว่าวิธีการของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และให้ค่า Percentage Error ที่น้อยกว่า ซึ่งหมายความว่าภาพหลังจากการฝังลายน้ำด้วยวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน มีความใกล้เคียงภาพต้นฉบับมากกว่า (ความสามารถในการซ่อนตัวของลายน้ำดีกว่า) และความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ดีกว่าวิธีการแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อน

5.2.2 กรณีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่ 3 ค่า

จากผลการทดลองของการแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 2 ระดับ พบว่าเมื่อฝังลายน้ำลงไปในภาพตัวอย่างทั้ง 5 ภาพแล้ว ภาพ Baboon ซึ่งเป็นภาพที่องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นข้อมูลความถี่สูงมีค่า PSNR ต่ำกว่าภาพอื่น (นั่นคือค่าความเข้มแสงของภาพหลังฝังลายน้ำ มีความแตกต่างจากภาพต้นฉบับมากกว่าความแตกต่างของภาพอื่น) แต่เมื่อทำการทดสอบด้วยการสังเกตด้วยตากลับไม่เห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพราะความแตกต่างที่เกิดกับบริเวณที่เป็นความถี่สูงจะสังเกตเห็นได้ยากกว่าบริเวณที่เป็นความถี่ต่ำ ส่วนการเปรียบเทียบลายน้ำที่ถอดได้หลังการโจมตีกับลายน้ำต้นฉบับ พบว่าลายน้ำที่ถอดได้จากภาพ Baboon มีความแตกต่างจากภาพต้นฉบับมากกว่าลายน้ำที่ถอดได้จากภาพอื่นๆ (ค่า Error มากกว่า) เนื่องจากลายน้ำในภาพ Baboon ที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นข้อมูลความถี่สูง จะถูกทำให้ผิดเพี้ยนไปได้โดยง่ายด้วยการโจมตีประเภท Low Pass Filter และ Median Filter ดังนั้น เพื่อทำให้ลายน้ำที่ฝังในข้อมูลความถี่สูงมีความคงทนต่อการโจมตีมากขึ้น ในหัวข้อนี้จึงเพิ่มระดับของค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็นค่าคงที่ 3 ระดับ โดยบริเวณที่มีความถี่สูง ($SD_B > 30$) จะใช้บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางมากกว่าบริเวณอื่นๆ ($C = 15$) ดังแสดงในรูปที่ 5.5

B_{W1}

0	1	0
1	5	1
0	1	0

บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำสำหรับบล็อกทับซ้อนที่มีค่า $0 < SD_B \leq 8$

B_{W2}

0	1	0
1	9	1
0	1	0

บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำสำหรับบล็อกทับซ้อนที่มีค่า $8 < SD_B \leq 30$

B_{W3}

0	1	0
1	15	1
0	1	0

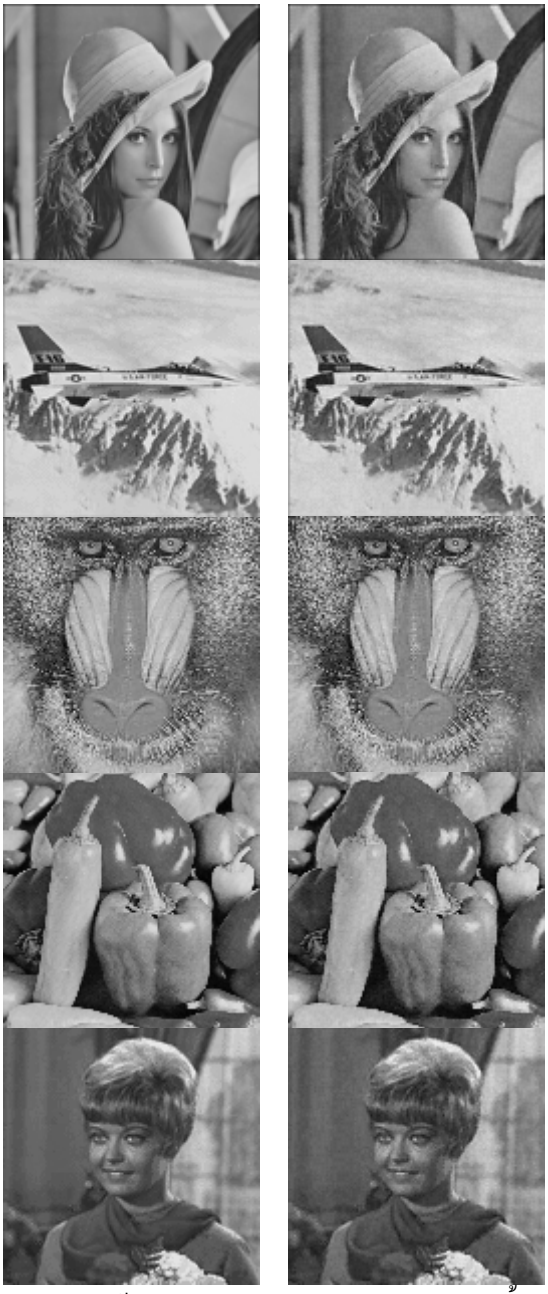
บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำสำหรับบล็อกทับซ้อนที่มีค่า $30 < SD_B < \infty$

รูปที่ 5.5 บล็อกตัวแทนบิตลายน้ำที่แบ่งออกเป็น 3 ระดับ

5.2.2.1 ภาพที่ได้จากการฝังลายน้ำ

จากการทดลองนำภาพลายน้ำมาฝังในภาพตัวอย่างทั้ง 5 ภาพได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.6 คอลัมน์ซ้ายสุดคือภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำ คอลัมน์กลางคือภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว และคอลัมน์ขวาสุดคือค่า PSNR ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำกับภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 33.38 – 36.48 dB ส่วนการทดสอบความ

แตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ฝังลายน้ำแล้วโดยใช้สายตาสังเกตพบว่า ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้



Lenna

PSNR= 35.8643 dB

Airplane

PSNR = 35.2660 dB

Baboon

PSNR = 33.3835 dB

Peppers

PSNR = 35.1321 dB

Girl

PSNR = 36.4890 dB

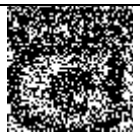
ภาพต้นฉบับ ภาพหลังจากฝังลายน้ำ

รูปที่ 5.6 ภาพที่ได้จากการทดลองแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดกึ่งกลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 3 ระดับ

5.2.2.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

ภาพหลังจากการฝังลายน้ำจะถูกโจมตีด้วยวิธีการทั้ง 9 วิธีที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.1 แล้วนำภาพหลังจากการโจมตีทั้ง 9 ภาพไปตรวจสอบลายน้ำ ลายน้ำที่ได้จะถูกทำลายมากน้อยแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของภาพลายน้ำที่ฝังอยู่และวิธีการโจมตี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.4 อนึ่ง ตัวเลขที่แสดงไว้ใต้ลายน้ำคือ ค่าความแตกต่าง (Error) ที่คำนวณได้จากการเปรียบเทียบกับภาพลายน้ำต้นฉบับ

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงภาพลายน้ำที่ตรวจสอบได้หลังจากการโจมตีทั้ง 9 วิธี
(เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 3 ระดับ)

การโจมตี	Lenna	Airplane	Baboon	Peppers	Girl
Original	0	0	0	0	0
LPF	32.8042	 30.9398	36.3316	32.5271	30.7634
MF	23.8599	28.5462	36.2560	27.9415	28.1431
Scale	38.2968	35.8781	40.3628	38.9015	37.0118
JPEG100	0	0	0	0	0
JPEG75	10.9599	11.1867	11.7662	11.2119	11.0607
JPEG50	21.6679	22.6253	23.2048	21.7687	22.1214
JPEG25	32.5775	34.2152	32.5271	34.1648	34.3915

ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

Crop	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365
Rotation	22.6505	22.0711	27.7904	22.9781	20.1058
E_{AVG}	24.0614	24.3554	26.8861	24.8033	24.1482

5.2.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.5 และ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีการแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 2x2 พิกเซลของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen กับวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อน เมื่อแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำออกเป็น 2 ระดับและ 3 ระดับ โดยที่

2x2 คือวิธีการฝังลายน้ำของ L. Chang-Hising, และ L. Yeuan-Kuen โดยใช้การแบ่งบล็อกแบบไม่ทับซ้อนขนาด 2x2 พิกเซล

2 Levels คือวิธีการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อน และแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางเป็น 2 ระดับ ตามค่า SD_B

3 Levels คือวิธีการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อน และแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางเป็น 3 ระดับ ตามค่า SD_B

ตารางที่ 5.5 ตารางเปรียบเทียบค่า PSNR ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อนเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับและ 3 ระดับ

Host Image	**PSNR of Watermarked Image (dB)**		
	2x2	**2 Levels**	**3 Levels**
Girl	36.1332	37.0197	36.4890
Baboon	29.5945	35.4928	33.3835
Airplane	32.3912	36.9695	35.2660
Pappers	32.1713	36.6435	35.1321
Lenna	33.7916	36.9063	35.8643
Average	**32.8157**	**36.6064**	**35.2270**

ตารางที่ 5.6 ตารางเปรียบเทียบค่า Average Percentage Error ระหว่างวิธีของ L. Chang-Hising, L. Yeuan-Kuen และวิธีการแบ่งบล็อกแบบทับซ้อนเมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 2 ระดับและ 3 ระดับ

Host Image	Average Percentage Error of Extracted Watermark (%)		
	2x2	2 Levels	3 Levels
Girl	28.9209	21.9098	21.7334
Baboon	26.1841	25.4119	24.1975
Airplane	28.5449	22.6732	21.9199
Pappers	28.5132	22.8924	22.3230
Lenna	28.5962	22.1718	21.6553
Average	**28.1519**	**23.0118**	**22.3658**

5.2.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.6 ตารางที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- จากตารางเปรียบเทียบค่า Average PSNR ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับก่อนฝังลายน้ำกับภาพที่ได้รับการฝังลายน้ำแล้ว จากมากไปน้อยพบว่า $PSNR_{2\ Level} > PSNR_{3\ Levels} > PSNR_{2x2}$
- จากตารางเปรียบเทียบค่า E_{AVG} จากน้อยไปมากพบว่า $E_{AVG\ (3\ Level)} < E_{AVG\ (2\ Level)} < E_{AVG\ (2x2)}$
- จากการสังเกตด้วยสายตา พบว่าภาพหลังจากการฝังลายน้ำทั้ง 5 ภาพไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างกับภาพต้นฉบับได้
- การแบ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนลายน้ำให้มีหลายระดับ และปรับค่าสัมประสิทธิ์ให้เปลี่ยนแปลงตามค่า SD_B ของบล็อกที่แบ่งไว้ในภาพต้นฉบับทำให้ความคงทนเพิ่มขึ้น แต่คุณสมบัติของภาพหลังจากการฝังลายน้ำที่วัดด้วยค่า PSNR จะลดลง อย่างไรก็ดีถ้าวัดคุณภาพของภาพด้วยสายตาสังเกต พบว่าผลของการแบ่งบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำเป็น 3 ระดับ แทบจะไม่แตกต่างจากเมื่อแบ่งเป็น 2 ระดับ

5.3 การฝังลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ

ในการทดลองของการปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดศูนย์กลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ โดยใช้ฟังก์ชันเอ็กซ์โปเน็นเชียลแบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ จะมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 5 พารามิเตอร์ ในที่นี้จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 5 การทดลองคือ

I. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ C_{MIN}
II. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ k
III. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ SD_{MAX}
IV. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ C_{MAX}
V. ปรับเฉพาะพารามิเตอร์ SD_{MIN}

การทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ทีละค่า เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบผลกระทบของการปรับค่าพารามิเตอร์นั้นๆ และหาขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อไป

5.3.1 ผลการทดลองของการปรับค่า C_{MIN}

การทดลองปรับค่า C_{MIN} มีผลกระทบต่อช่วงความถี่ต่ำและกลาง ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าอย่างละเอียดโดยค่อยๆ เพิ่มค่าทีละ 2 ค่า ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ

$C_{MIN} = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13\}$ $C_{MAX} = 30$ $k = 0$

$SD_{MIN} = 8$ $SD_{MAX} = 40$

5.3.1.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝังลายน้ำ

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

$C_{MIN} = 1$

PSNR= 33.2356 dB

$C_{MIN} = 3$

PSNR= 32.7876 dB

C_{MIN}= 5
PSNR= 32.2198 dB

C_{MIN}= 7
PSNR= 31.5786 dB

C_{MIN}=9
PSNR= 30.9012 dB

C_{MIN}=11
PSNR= 30.2142 dB

C_{MIN}=13
PSNR= 29.5348 dB

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

รูปที่ 5.7 ภาพ Lenna หลังจากการฝังลายน้ำ โดยการฝังลายน้ำใช้ฟังก์ชัน เมื่อกำหนด

C_{MIN} = {1,3,5,7,9,11,13}, C_{MAX} = 30, k = 0, SD_{MIN}= 8 และ SD_{MAX} = 40

จากรูปที่ 5.7 พบว่าเมื่อ C_{MIN} มีค่ามาก จะสังเกตเห็นความแตกต่างบริเวณความถี่ต่ำ (บริเวณสีพื้น) เสมือนว่ามี noise เกิดขึ้น และค่า PSNR ที่ได้จะอยู่ในช่วง [33.23 ~ 29.53] โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า C_{MIN} เพิ่มขึ้น

5.3.1.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังจากโจมตี

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.7 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด $C_{MIN} = \{1,3,5,7,9,11,13\}$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$

การโจมตี	C_{MIN}= 1	C_{MIN}= 3	C_{MIN}= 5	C_{MIN}= 7	C_{MIN}= 9	C_{MIN}= 11	C_{MIN}= 13
Original	0	0	0	0	0	0	0
LPF	36.4827	33.6861	30.8894	29.4029	27.4628	26.6062	25.2708
MF	27.4376	24.2630	22.1214	21.1892	20.4586	19.9546	19.6775
Scale	41.3706	39.3802	37.8181	36.3820	34.6939	33.5601	32.4011
JPEG100	0.6299	0.0252	0	0	0	0	0
JPEG75	20.6853	14.6384	10.0781	6.9287	4.8627	3.7289	2.5951
JPEG50	27.6140	23.8599	19.8791	17.1832	14.2857	11.0103	8.9947
JPEG25	35.3741	32.7538	30.5367	27.8660	25.7748	23.9103	21.8443
Crop	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365

ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

Rotation							
	31.1162	26.7322	23.8095	20.8869	18.7201	17.1832	16.0746
E_{AVG}	28.2719	25.4528	23.2077	21.5083	19.9994	18.8544	17.8439

(ตัวเลขที่ใส่ใต้ภาพคือค่า E มีหน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.7 และตารางที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า C_{MIN} มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การที่ C_{MIN} มีค่ามากก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง C_{MIN} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [3,7] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้ และความคงทนของลายน้ำก็ไม่น้อยจนเกินไป

5.3.1.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นๆอีก 4 ภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.8 และ 5.9

ตารางที่ 5.8 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด C_{MIN} = {1, 3, 5, 7, 9, 11, 13}, C_{MAX} = 30, k = 0, SD_{MIN} = 8 และ SD_{MAX} = 40

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ C_{MIN} (dB)						
	C_{MIN} =1	C_{MIN}= 3	C_{MIN} =5	C_{MIN}= 7	C_{MIN} =9	C_{MIN} =11	C_{MIN} =13
Girl	35.9955	35.2201	34.2677	33.2554	32.2522	31.2918	30.3877
Baboon	29.2023	28.9731	28.7150	28.4336	28.1341	27.8210	27.4986
Airplane	31.7269	31.4449	31.0629	30.6063	30.0996	29.5631	29.0130
Peppers	32.1787	31.8544	31.4256	30.9224	30.3728	29.7991	29.2177
Lenna	33.2356	32.7876	32.2198	31.5785	30.9012	30.2142	29.5348
Average	**32.4678**	**32.0560**	**31.5382**	**30.9592**	**30.3520**	**29.7378**	**29.1304**

ตารางที่ 5.9 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด C_{MIN} = {1, 3, 5, 7, 9, 11, 13}, C_{MAX} = 30, k = 0, SD_{MIN} = 8 และ SD_{MAX} = 40

Image	E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้						
	C_{MIN} =1	C_{MIN}= 3	C_{MIN} =5	C_{MIN}= 7	C_{MIN} =9	C_{MIN} =11	C_{MIN} =13
Girl	29.9656	26.6426	24.1371	21.8331	20.3493	19.0308	17.7934
Baboon	26.1387	24.7221	23.4988	22.6310	21.6679	20.8924	20.2430
Airplane	28.2047	25.4864	23.3140	21.7576	20.3158	19.2660	18.4038
Peppers	28.8653	26.2199	23.9663	22.2950	20.9569	19.7951	18.9357
Lenna	28.2719	25.4528	23.2077	21.5083	19.9994	18.8544	17.8439
Average	**28.2892**	**25.7048**	**23.6248**	**22.0050**	**20.6579**	**19.5678**	**18.6440**

จากตารางที่ 5.8 และ 5.9 พบว่าถ้าเพิ่มค่า C_{MIN} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง ถ้าลดค่า C_{MIN} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} เพิ่มขึ้น

5.3.1.4 สรุปผลการปรับค่า C_{MIN}

จากรูปที่ 5.7 ตารางที่ 5.7 - 5.9 ทำให้สรุปได้ดังนี้

- การปรับค่า C_{MIN} จะมีผลกับภาพบริเวณที่มีความต่ำ และความถี่ช่วงกลาง
- ไม่ควรปรับเปลี่ยนค่า C_{MIN} ให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะค่า C_{MIN} มีผลต่อช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ง่าย
- การปรับค่า C_{MIN} เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำลดลง (PSNR ลดลง) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนมากขึ้น (E_{AVG} ลดลง)
- ค่าของ C_{MIN} ควรจะอยู่ในช่วง [3,7] ถ้ามีค่าน้อยเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะน้อย แต่ถ้ามากเกินจะทำให้เห็นความแตกต่างในภาพหลังฝังลายน้ำบริเวณที่เป็นสีพื้นได้

5.3.2 ผลการทดลองของการปรับค่า C_{MAX}

การปรับค่า C_{MAX} มีผลกระทบกับช่วงความถี่กลางและสูง ในการทดลองจึงทำการปรับค่าอย่างไม่ละเอียดโดยเพิ่มค่าทีละ 5 ค่า พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองคือ

$C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$ และ $SD_{MAX} = 40$

5.3.2.1 ภาพหลังได้จากการฝังลายน้ำ

ผลการทดลองกับภาพ Lenna โดยใช้พารามิเตอร์ที่กล่าวไว้ข้างต้น แสดงไว้ในรูปที่ 5.7

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

C_{MAX}=20

PSNR= 34.8207 dB

C_{MAX}=25

PSNR= 33.4447 dB

C_{MAX}=30
PSNR= 32.2198 dB

C_{MAX}=35
PSNR= 31.1293 dB

C_{MAX}=40
PSNR= 30.1499 dB

C_{MAX}=45
PSNR= 29.2656 dB

C_{MAX}=50
PSNR= 28.4631 dB

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

รูปที่ 5.8 แสดงภาพ Lenna ขนาด 128X128 หลังจากการฝังลายน้ำ โดยการฝังลายน้ำใช้ฟังก์ชันเอ็กซ์โปเน็นเชียลที่มีช่วง cutoff ที่ปรับเปลี่ยนเฉพาะพารามิเตอร์ C_{MAX}

จากรูปที่ 5.8 พบว่าเมื่อ C_{MAX} มีค่ามากๆ จะสังเกตเสมือนมี noise เกิดในบริเวณที่มีความถี่สูง (ขอบของสีในภาพ) และค่า PSNR ที่ได้จะอยู่ในช่วง [34.82 – 28.46] โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า C_{MAX} เพิ่มขึ้น

5.3.2.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังจากการโจมตี

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.7 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังแสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.10 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด C_{MIN} = 5, k = 0, SD_{MIN} = 8 C_{MAX} = {20, 25, 30, 35, 40, 45, 50} และ SD_{MAX} = 40

การโจมตี	C_{MAX}= 20	C_{MAX}=25	C_{MAX}=30	C_{MAX}=35	C_{MAX}=40	C_{MAX}=45	C_{MAX}=50
Original	0	0	0	0	0	0	0
LPF	32.3759	31.4689	30.8894	30.3351	29.9824	29.3777	28.8234
MF	23.3812	22.6505	22.1214	21.7435	21.5168	21.1136	20.8113
Scale	38.8259	38.3724	37.8181	37.3898	36.9111	36.6843	36.1048
JPEG100	0	0	0	0	0	0	0
JPEG75	11.0103	10.6072	10.0781	10.6576	10.4560	10.8340	10.8340
JPEG50	22.0459	20.4334	19.8791	19.4255	18.4933	18.5941	19.2492
JPEG25	32.8546	31.9980	30.5367	29.6800	28.5462	28.1179	27.5384
Crop	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

Rotation							
	25.3716	24.6914	23.8095	23.1544	22.6505	22.2474	21.7183
E_{AVG}	24.4002	23.7731	23.2077	22.9024	22.4770	22.3006	22.0907

(ตัวเลขใต้ภาพคือ ค่า E หน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.8 และตารางที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า C_{MAX} มีค่าเพิ่มขึ้น แต่การที่ C_{MAX} มีค่ามากก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง C_{MAX} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [20, 40] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้ และความคงทนของลายน้ำก็จะไม่น้อยจนเกินไป

5.3.2.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นอีก 4 ภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.8 และ 5.9

ตารางที่ 5.11 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$, $SD_{MAX} = 40$ และ $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ C_{MAX}						
	C_{MAX} =20	C_{MAX}= 25	C_{MAX} =30	C_{MAX}=35	C_{MAX} =40	C_{MAX} =45	C_{MAX} =50
Girl	36.3525	35.2696	34.2677	33.3451	32.4995	31.7238	31.0080
Baboon	31.8200	30.1364	28.7150	27.4881	26.4139	25.4611	24.6073
Airplane	33.9078	32.3846	31.0629	29.9059	28.8826	27.9739	27.1562
Pappers	34.1485	32.6976	31.4256	30.3009	29.2981	28.4016	27.5930
Lenna	34.8206	33.4446	32.2198	31.1292	30.1499	29.2655	28.4630
Avg	**34.2099**	**32.7866**	**31.5382**	**30.4338**	**29.4488**	**28.5652**	**27.7655**

ตารางที่ 5.12 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด $C_{MIN} = 5$, $k = 0$, $SD_{MIN} = 8$, $SD_{MAX} = 40$ และ $C_{MAX} = \{20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$

Image	Percentage Error ของภาพลายน้ำที่ถอดได้ (%)						
	C_{MAX} =20	C_{MAX}= 25	C_{MAX} =30	C_{MAX}=35	C_{MAX} =40	C_{MAX} =45	C_{MAX} =50
Girl	24.9013	24.5513	24.1371	23.7536	23.4708	23.2272	22.9641
Baboon	26.1639	24.7390	23.4988	22.5133	21.5196	20.6238	19.9854
Airplane	24.4170	23.7256	23.3140	22.8969	22.5218	22.1187	21.8499
Pappers	25.0833	24.5962	23.9663	23.4372	23.0117	22.8326	22.5358
Lenna	24.4002	23.7731	23.2077	22.9024	22.4770	22.3006	22.0907
Avg	**24.9931**	**24.2770**	**23.6248**	**23.1007**	**22.6001**	**22.2206**	**21.8852**

จากตารางที่ 5.11 และ 5.12 พบว่าถ้าเพิ่มค่า C_{MAX} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง ถ้าลดค่า C_{MAX} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} เพิ่มขึ้น

5.3.2.4 สรุปผลการปรับค่า C_{MAX}

จากรูปที่ 5.8 ตารางที่ 5.10 - 5.12 สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- การปรับค่า C_{MAX} จะมีผลกับภาพบริเวณที่มีความถี่กลางและความถี่สูง
- ควรปรับเปลี่ยนค่า C_{MAX} โดยใช้สเกลหยาบ เพราะค่า C_{MAX} มีผลต่อบริเวณที่มีความถี่สูง ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน
- การปรับค่า C_{MAX}เพิ่มขึ้นคุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำลดลง (PSNR ลดลง) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนมากขึ้น (E_{AVG} ลดลง)
- ค่าของ C_{MAX} ควรจะอยู่ในช่วง [20,40] ถ้ามีค่าน้อยเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะน้อย แต่ถ้ากำหนดให้มากเกินจะทำให้เห็นความแตกต่างในบริเวณที่เป็นขอบของสีในภาพ

5.3.3 ผลการทดลองของการปรับค่า k

การปรับ k มีผลกระทบในช่วงความถี่กลาง และเป็นการปรับค่าความโค้งของกราฟ ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าโดยเพิ่มที่ละ 5 ค่า ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $SD_{MIN} = 8$, $SD_{MAX}=40$ และ $k= \{-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15\}$

5.3.3.1 ภาพหลังจากการฝังลายน้ำ

ผลทดลองกับภาพ Lenna โดยใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น แสดงไว้ในรูปที่ 5.9

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

$k = -15$

PSNR= 28.6220 dB

$k = -10$

PSNR= 28.9126 dB

k = -5

PSNR= 29.6832 dB

k = 0

PSNR= 32.2198 dB

k = 5

PSNR= 34.6843 dB

k = 10

PSNR= 35.3067 dB

k = 15

PSNR= 35.5079 dB

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

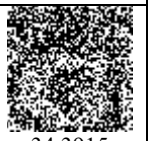
รูปที่ 5.9 ภาพ Lenna หลังจากการฝังลายน้ำ เมื่อกำหนด C_{MIN} = 5 , C_{MAX} = 30, SD_{MIN} = 8, SD_{MAX} = 40 และ k = {-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15}

จากรูปที่ 5.9 พบว่าเมื่อ k มีค่าน้อยๆ จะสังเกตเห็นความแตกต่างบริเวณความถี่กลาง เสมือนว่ามี noise เกิดขึ้น และค่า PSNR ก็จะลดลง

5.3.3.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.9 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังที่แสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, SD_{MIN}= 8, SD_{MAX}=40 และ k= {-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15}

การโจมตี	k = -15	k = -10	k = -5	k = 0	k = 5	k = 10	k = 15
Original	0	0	0	0	0	0	0
LPF	28.2943	28.5210	29.0501	30.8894	33.2326	33.7113	33.8372
MF	20.2066	20.5089	20.6601	22.1214	24.1623	24.6158	24.8173
Scale	35.1726	35.4497	35.9788	37.8181	39.2794	39.3802	39.4306
JPEG100	0	0	0	0	0	0	0
JPEG75	9.2719	9.4986	9.7506	10.0781	12.8496	13.7566	13.9582
JPEG50	17.0068	17.4603	18.0146	19.8791	24.2630	25.4472	26.0015
JPEG25	24.6914	25.6992	27.4124	30.5367	34.0136	34.3915	 34.3915
Crop	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365

ตารางที่ 5.13 (ต่อ)

Rotation							
	20.1310	20.3326	21.3404	23.8095	26.2787	26.8582	27.1101
E_{AVG}	20.9457	21.2452	21.7716	23.2077	25.3129	25.7663	25.9203

(ตัวเลขใต้ภาพคือ ค่า E มีหน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.9 และตารางที่ 5.13 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า k มีค่าลดลง แต่การที่ค่า k มีค่าน้อยก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง k ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [-10, 10] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้และความคงทนของลายน้ำก็ไม่น้อยจนเกินไป

5.3.3.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นอีก 4 ภาพ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.14 และ 5.15

ตารางที่ 5.14 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, SD_{MIN}= 8, SD_{MAX}=40 และ k= {-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15}

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ k						
	k = -15	k = -10	k = -5	k =0	k =5	k =10	k =15
Girl	29.3815	29.8934	31.1030	34.2677	36.6757	37.1131	37.2205
Baboon	25.8748	26.0643	26.6269	28.7150	31.0722	31.8342	32.1159
Airplane	28.5574	28.7661	29.3257	31.0629	32.6248	33.0536	33.2082
Pappers	28.4293	28.7381	29.4589	31.4256	33.0572	33.4622	33.5975
Lenna	28.6220	28.9126	29.6831	32.2198	34.6842	35.3067	35.5079
Avg	**28.1730**	**28.4749**	**29.2395**	**31.5382**	**33.6228**	**34.1540**	**34.3300**

ตารางที่ 5.15 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, SD_{MIN}= 8, SD_{MAX}=40 และ k= {-15, -10, -5, 0, 5, 10, 15}

Image	E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้ (%)						
	k = -15	k = -10	k = -5	k =0	k =5	k =10	k =15
Girl	20.9317	21.1837	21.9954	24.1371	26.0211	26.2059	26.2899
Baboon	19.4171	19.7223	20.4446	23.4988	27.4404	28.4819	28.7786
Airplane	21.6316	21.6819	21.9814	23.3140	24.8929	25.2177	25.4024
Pappers	21.5083	21.6651	22.3426	23.9663	25.8811	26.1247	26.3094
Lenna	20.9457	21.2452	21.7716	23.2077	25.3129	25.7663	25.9203
Avg	**20.8869**	**21.0997**	**21.7071**	**23.6248**	**25.9097**	**26.3593**	**26.5401**

จากตารางที่ 5.14 และ 5.15 พบว่าถ้าเพิ่มค่า k จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} จะเพิ่มขึ้น ถ้าลดค่า k จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง

5.3.3.4 สรุปผลการปรับค่า *k*

จากรูปที่ 5.9 ตารางที่ 5.13 - 5.15 ทำให้สามารถสรุปได้ดังนี้

- การปรับค่า k จะมีผลกับภาพบริเวณที่มีความถี่กลาง
- การปรับเปลี่ยนค่า k ควรค่อย ๆ ปรับเปลี่ยน เพราะสมการเอ็กซ์โปเน็นเชียลจะเปลี่ยนแปลงความโค้งอย่างรวดเร็วเมื่อค่า k มีค่าน้อย และจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่อค่า k มีค่ามาก
- การปรับค่า k เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำเพิ่มขึ้น (PSNR เพิ่มขึ้น) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนลดลง (E_{AVG} เพิ่มขึ้น)
- ค่าของ k ควรจะอยู่ในช่วง[-10, 10] ถ้ากำหนดให้มีค่าน้อยเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะมาก แต่ถ้ากำหนดให้น้อยเกินจะทำให้เห็นความแตกต่างในภาพหลังฝังลายน้ำบริเวณที่มีความถี่ช่วงกลาง

5.3.4 ผลการทดลองของการปรับค่า SD_{MIN}

การปรับค่า SD_{MIN} มีผลกระทบกับช่วงความถี่ต่ำและกลาง ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าอย่างละเอียดโดยค่อยๆ เพิ่มค่าทีละ 2 ค่า ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ

$C_{MIN} = 5$ $C_{MAX} = 30$ $k = 0$

$SD_{MIN} = \{2, 4, 6, 8, 10, 12, 14\}$ $SD_{MAX}=40$

5.3.4.1 ภาพที่ได้หลังจากการฝังลายน้ำ

ผลการทดลองกับภาพ Lenna โดยใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น แสดงไว้ในรูปที่ 5.10

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

$SD_{MIN}=2$

PSNR= 31.3898 dB

$SD_{MIN}=4$

PSNR= 31.6924 dB

SD_{MIN}=6
PSNR= 31.9647 dB

SD_{MIN}=8
PSNR= 32.2198 dB

SD_{MIN}=10
PSNR= 32.4672 dB

SD_{MIN}=12
PSNR= 32.7119 dB

SD_{MIN}=14
PSNR= 32.9575 dB

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

รูปที่ 5.10 ภาพ Lenna หลังการฝังลายน้ำเมื่อกำหนด SD_{MIN} = {2, 4, 6, 8, 10, 12, 14}, C_{MIN} = 5 C_{MAX} = 30, k = 0 และ SD_{MAX}=40

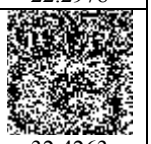
จากรูปที่ 5.10 พบว่าเมื่อ SD_{MIN} มีค่าน้อย จะสังเกตเห็นความแตกต่างบริเวณความถี่ต่ำ (บริเวณสีพื้น) เสมือนว่ามี noise เกิดขึ้น และค่า PSNR จะลงลด

5.3.4.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.10 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังแสดงในตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 ภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด

SD_{MIN} = {2, 4, 6, 8, 10, 12, 14}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 และ SD_{MAX}=40

การโจมตี	SD_{MIN} = 2	SD_{MIN} = 4	SD_{MIN} = 6	SD_{MIN} = 8	SD_{MIN} = 10	SD_{MIN} = 12	SD_{MIN} = 14
Original	0	0	0	0	0	0	0
LPF	29.8060	30.3855	30.6626	30.8894	31.4185	31.6956	32.0484
MF	20.6853	21.4412	21.9199	22.1214	22.3986	22.8521	23.3056
Scale	37.0874	37.4654	37.6669	37.8181	37.8937	37.9945	38.2464
JPEG100	0	0	0	0	0	0	0
JPEG75	8.0373	9.2215	9.8765	10.0781	10.8844	11.3379	12.0685
JPEG50	17.5863	18.9468	19.5263	19.8791	19.9295	21.4412	22.2978
JPEG25	27.6140	28.9242	29.8312	30.5367	32.0232	32.3003	 32.4263
Crop	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365

ตารางที่ 5.16 (ต่อ)

Rotation							
	21.7939	22.6253	23.3056	23.8095	24.3638	24.8677	25.2205
E_{AVG}	21.8163	22.5273	22.9473	23.2077	23.6276	24.0251	24.3722

(ตัวเลขใต้ภาพคือ ค่า E มีหน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.10 และตารางที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า SD_{MIN} มีค่าลดลง แต่การที่ SD_{MIN} มีค่าน้อยก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง SD_{MIN} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [2, 12] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตเห็นได้ และความคงทนของลายน้ำก็ไม่น้อยจนเกินไป

5.3.4.3 ผลการทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นอีก 4 ภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.17 และ 5.18

ตารางที่ 5.17 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด SD_{MIN} = {2, 4, 6, 8, 10, 12, 14}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 และ SD_{MAX}=40

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ (dB)						
	SD_{MIN} =2	SD_{MIN} =4	SD_{MIN} =6	SD_{MIN} =8	SD_{MIN}=10	SD_{MIN}=12	SD_{MIN}=14
Girl	32.8765	33.3894	33.8507	34.2677	34.6466	34.9909	35.2987
Baboon	28.1886	28.3595	28.5356	28.7150	28.8978	29.0871	29.2842
Airplane	30.5190	30.7401	30.9078	31.0629	31.2127	31.3608	31.5085
Pappers	30.6706	30.9603	31.2106	31.4256	31.6149	31.7883	31.9519
Lenna	31.3897	31.6924	31.9647	32.2198	32.4671	32.7119	32.9574
Avg	**30.7289**	**31.0283**	**31.2939**	**31.5382**	**31.7678**	**31.9878**	**32.2001**

ตารางที่ 5.18 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด SD_{MIN} = {2, 4, 6, 8, 10, 12, 14}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 และ SD_{MAX}=40

Image	E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้ (%)						
	SD_{MIN} =2	SD_{MIN} =4	SD_{MIN} =6	SD_{MIN} =8	SD_{MIN}=10	SD_{MIN}=12	SD_{MIN}=14
Girl	21.7939	22.7737	23.4708	24.1371	24.7138	25.1224	25.4612
Baboon	21.9731	22.6141	23.0537	23.4988	24.0839	24.4898	24.9937
Airplane	22.1830	22.7597	23.0537	23.3140	23.5688	23.7956	24.0111
Pappers	22.0067	22.8773	23.4736	23.9663	24.2742	24.5933	24.8313
Lenna	21.8163	22.5273	22.9473	23.2077	23.6276	24.0251	24.3722
Avg	**21.9546**	**22.7104**	**23.1998**	**23.6248**	**24.0537**	**24.4052**	**24.7339**

จากตารางที่ 5.17 และ 5.18 พบว่าถ้าเพิ่มค่า SD_{MIN} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} เพิ่มขึ้น ถ้าลดค่า SD_{MIN} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง

5.3.4.4 สรุปผลการปรับค่า SD_{MIN}

จากรูปที่ 5.9 ตารางที่ 5.16 - 5.18 ทำให้สรุปได้ดังนี้

- การปรับค่า SD_{MIN} จะมีผลกับบริเวณที่มีความถี่ต่ำ และความถี่กลาง
- ไม่ควรปรับเปลี่ยนค่า SD_{MIN} ให้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะค่า SD_{MIN} มีผลต่อช่วงความถี่ต่ำ ซึ่งจะทำให้สังเกตความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ง่าย
- การปรับค่า SD_{MIN} เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำเพิ่มขึ้น (PSNR เพิ่มขึ้น) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนลดลง (E_{AVG} เพิ่มขึ้น)
- ค่าของ SD_{MIN} ควรจะอยู่ในช่วง [2,12] ถ้ามีค่ามากเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะน้อย แต่ถ้าน้อยเกินจะทำให้เห็นความแตกต่างในภาพหลังฝังลายน้ำบริเวณที่เป็นสีพื้นได้

5.3.5 ผลการทดลองของการปรับค่า SD_{MAX}

การปรับค่า SD_{MAX} มีผลกระทบกับช่วงความถี่กลางและความถี่สูง ดังนั้นในการทดลองจึงทำการปรับค่าอย่างไม่ละเอียด โดยเพิ่มค่าทีละ 10 ค่า ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ $SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$, $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$

5.3.5.1 ภาพที่ได้จากการฝังลายน้ำ

ผลการทดลองกับภาพ Lenna โดยใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น แสดงไว้ในรูปที่ 5.11

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

SD_{MAX}=20

PSNR= 29.5952 dB

SD_{MAX}=30

PSNR= 30.9220 dB

SD_{MAX}=40
PSNR= 32.2198 dB

SD_{MAX}=50
PSNR= 33.3510 dB

SD_{MAX}=60
PSNR= 34.2955 dB

SD_{MAX}=70
PSNR= 35.0384 dB

SD_{MAX}=80
PSNR= 35.6323 dB

ภาพต้นฉบับ ภาพหลังฝังลายน้ำ

รูปที่ 5.11 ภาพ Lenna หลังจากการฝังลายน้ำ เมื่อกำหนด SD_{MAX} = {20, 30, 40, 50, 60, 70, 80}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 และ SD_{MIN}= 8

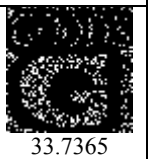
จากรูปที่ 5.11 พบว่าเมื่อค่า SD_{MAX} มีค่าน้อย จะสังเกตเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนในบริเวณที่มีความถี่สูง (บริเวณขอบของสีในภาพ) เสมือนว่ามี noise เกิดขึ้น และค่า PSNR จะลดลง

5.3.5.2 ภาพลายน้ำที่ถอดได้ภายหลังการโจมตี

เมื่อนำภาพที่ฝังลายน้ำแล้วในรูปที่ 5.11 ไปผ่านการโจมตีทั้ง 9 วิธี แล้วถอดลายน้ำออกมา จะได้ภาพลายน้ำดังที่แสดงในตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ภาพลายน้ำที่ถอดหลังจากโจมตีภาพ Lenna เมื่อกำหนด

$SD_{MAX} = \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80\}$, $C_{MIN} = 5$, $C_{MAX} = 30$, $k = 0$ และ $SD_{MIN} = 8$

การโจมตี	$SD_{MAX}=20$	$SD_{MAX}=30$	$SD_{MAX}=40$	$SD_{MAX}=50$	$SD_{MAX}=60$	$SD_{MAX}=70$	$SD_{MAX}=80$
Original	0	0	0	0	0	0	0
LPF	29.1005	30.2847	30.8894	31.5445	32.1744	32.7035	33.0310
MF	20.7861	21.4916	22.1214	22.7261	23.2804	23.4316	23.7087
Scale	36.3064	37.3142	37.8181	38.3220	38.6747	38.9771	38.9771
JPEG100	0	0	0	0	0	0	0
JPEG75	9.8262	10.1285	10.0781	11.1111	11.2623	11.3379	11.8922
JPEG50	18.5185	18.7201	19.8791	20.7357	21.9703	22.5246	22.9025
JPEG25	27.3369	28.5210	30.5367	31.8972	32.1240	33.2074	33.4341
Crop	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	33.7365	 33.7365

ตารางที่ 5.19 (ต่อ)

Rotation							
	21.6175	22.8773	23.8095	24.8173	25.1449	25.5480	26.0267
E_{AVG}	21.9143	22.5638	23.2077	23.8767	24.2630	24.6073	24.8566

(ตัวเลขใต้ภาพคือ ค่า E มีหน่วยเป็น %)

จากรูปที่ 5.11 และตารางที่ 5.19 แสดงให้เห็นว่าความคงทนของลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า SD_{MAX} มีค่าลดลง แต่การที่ SD_{MIN} มีค่าน้อยก็จะทำให้คุณภาพของภาพหลังจากการฝังลายน้ำลดลง จากผลการทดลอง SD_{MAX} ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง [30, 60] ซึ่งจะไม่ทำให้ภาพหลังฝังลายน้ำเกิดความแตกต่างจนสังเกตได้และความคงทนของลายน้ำก็ไม่น้อยจนเกินไป

5.3.5.3 การทดลองกับภาพต้นฉบับอื่นๆ

เปรียบเทียบผลการทดลองโดยทำการทดลองข้างต้นกับภาพตัวอย่างอื่นอีก 4 ภาพที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5.20 และ 5.21

ตารางที่ 5.20 ค่า PSNR ของภาพทดสอบ 5 ภาพ เมื่อกำหนด SD_{MAX} = {20, 30, 40, 50, 60, 70, 80}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 และ SD_{MIN}= 8

Image	PSNR ของภาพหลังฝังลายน้ำ (dB)						
	SD_{MAX}=20	SD_{MAX}=30	SD_{MAX}=40	SD_{MAX}=50	SD_{MAX}=60	SD_{MAX}=70	SD_{MAX}=80
Girl	31.2733	33.0181	34.2677	35.1746	35.8462	36.3803	36.8332
Baboon	26.5065	27.4979	28.7150	30.0339	31.2276	32.2003	32.9808
Airplane	29.2567	30.1638	31.0629	32.0146	32.9302	33.7404	34.4190
Pappers	29.4634	30.4993	31.4256	32.2997	33.1206	33.8761	34.5415
Lenna	29.5952	30.9219	32.2198	33.3510	34.2954	35.0383	35.6323
Avg	**29.2190**	**30.4202**	**31.5382**	**32.5748**	**33.4840**	**34.2471**	**34.8814**

ตารางที่ 5.21 ค่า E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้หลังจากการโจมตี 9 วิธี เมื่อกำหนด SD_{MAX} = {20, 30, 40, 50, 60, 70, 80}, C_{MIN} = 5, C_{MAX} = 30, k = 0 และ SD_{MIN}= 8

Image	E_{AVG} ของภาพลายน้ำที่ถอดได้ (%)						
	SD_{MAX}=20	SD_{MAX}=30	SD_{MAX}=40	SD_{MAX}=50	SD_{MAX}=60	SD_{MAX}=70	SD_{MAX}=80
Girl	22.4126	23.4848	24.1371	24.5990	24.8006	25.0693	25.3129
Baboon	20.5706	22.0487	23.4988	24.8258	25.9456	26.5810	27.1241
Airplane	22.1242	22.7626	23.3140	23.7956	24.1371	24.5262	24.8621
Pappers	22.5273	23.2944	23.9663	24.6186	24.8538	25.1952	25.5452
Lenna	21.9143	22.5638	23.2077	23.8767	24.2630	24.6073	24.8566
Avg	**21.9098**	**22.8309**	**23.6248**	**24.3431**	**24.8000**	**25.1958**	**25.5402**

จากตารางที่ 5.20 และ 5.21 พบว่าถ้าเพิ่มค่า SD_{MAX} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} เพิ่มขึ้น ถ้าลดค่า SD_{MAX} จะทำให้ค่า PSNR และค่า E_{AVG} ลดลง

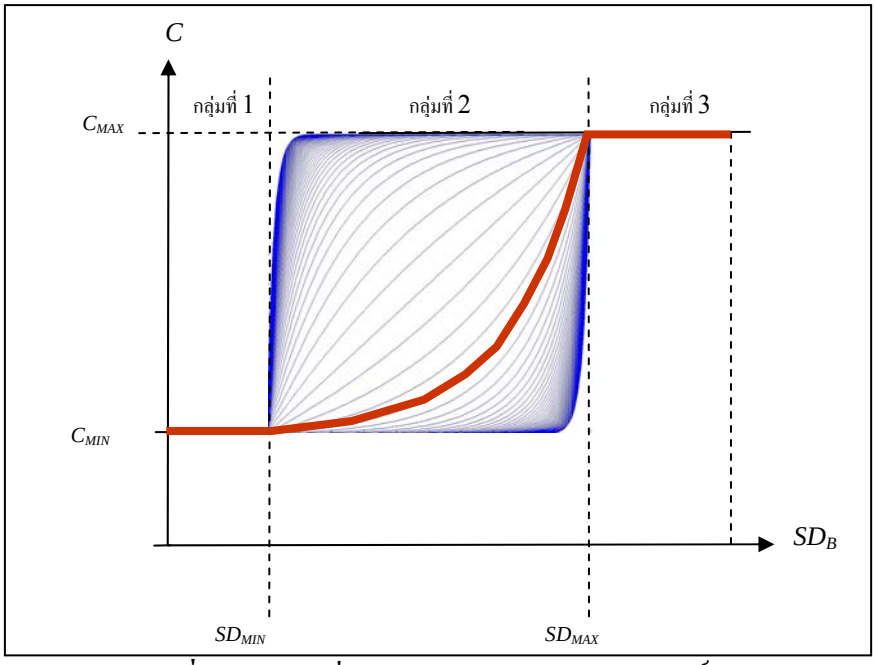
5.3.5.4 สรุปผลการปรับค่า SD_{MAX}

จากรูปที่ 5.11 ตารางที่ 5.19 - 5.21 ทำให้สรุปได้ดังนี้

- การปรับค่า SD_{MAX} จะมีผลกับบริเวณความถี่กลางและความถี่สูง
- ควรปรับเปลี่ยนค่า SD_{MAX} โดยใช้สเกลหยาบ เพราะค่า SD_{MAX} มีผลต่อบริเวณที่มีความถี่สูง ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน
- การปรับค่า SD_{MAX} เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำเพิ่มขึ้น (PSNR เพิ่มขึ้น) แต่ลายน้ำที่ฝังไว้จะมีความคงทนลดลง (E_{AVG} เพิ่มขึ้น)
- ค่าของ SD_{MAX} ควรจะอยู่ในช่วง [30,60] ถ้ามีค่ามากเกินไปความคงทนของลายน้ำที่ฝังอยู่ก็จะน้อย แต่ถ้าน้อยเกินจะทำให้เห็นความแตกต่างในภาพหลังฝังลายน้ำบริเวณรอยต่อของสีในภาพได้

5.3.6 สรุปการปรับค่าพารามิเตอร์

การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ค่า มีผลทำให้กราฟที่ใช้ในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ C (แสดงในรูปที่ 5.12) มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ฝังแทนลายน้ำก็จะมีปริมาณมากขึ้นหรือน้อยลงแตกต่างกันไปตามค่า SD ของบล็อกในภาพต้นฉบับ ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับบล็อกทับซ้อนแต่ละกลุ่มจากการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ค่าสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 5.22



รูปที่ 5.12 กราฟที่ใช้ในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ *C*

ตารางที่ 5.22 การปรับค่าพารามิเตอร์และผลกระทบที่เกิดขึ้น

พารามิเตอร์	การปรับค่า	กลุ่มของบล็อกทับซ้อนในภาพที่ได้รับผลกระทบ			ผลรับที่ได้	
		ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	* ค่า PSNR	**ค่า Percentage Error
C_{MIN}	เพิ่ม	✓	✓		ลด	ลด
	ลด	✓	✓		เพิ่ม	เพิ่ม
C_{MAX}	เพิ่ม		✓	✓	ลด	ลด
	ลด		✓	✓	เพิ่ม	เพิ่ม
SD_{MIN}	เพิ่ม	✓	✓		เพิ่ม	เพิ่ม
	ลด	✓	✓		ลด	ลด
SD_{MAX}	เพิ่ม		✓	✓	เพิ่ม	เพิ่ม
	ลด		✓	✓	ลด	ลด
k	เพิ่ม		✓		เพิ่ม	เพิ่ม
	ลด		✓		ลด	ลด

* ค่า PSNR มากแสดงว่าคุณภาพของภาพหลังฝังลายน้ำดี

** ค่า Percentage Error น้อยแสดงว่าลายน้ำมีความคงทนต่อการโจมตีมาก

5.4 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการทดลองฝังลายน้ำในสปาเชียลโดเมน และเปรียบเทียบวิธีการฝังลายน้ำ ระหว่างวิธีการใช้บล็อกไม่ทับซ้อนที่นำเสนอโดย L. Chang-Hising และ L. Yeuan-Kuen กับวิธีการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อนที่ผู้วิจัยนำเสนอ ในการฝังลายน้ำโดยใช้บล็อกทับซ้อน ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดกึ่งกลางของบล็อกตัวแทนบิตลายน้ำ 2 วิธี คือ การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ n ค่า และการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ ผลสรุปจากการทดลองเปรียบเทียบ ได้แก่

- การฝังลายน้ำโดยวิธีบล็อกทับซ้อน จะได้ภาพลายน้ำที่ใหญ่กว่าการฝังลายน้ำโดยวิธีบล็อกไม่ทับซ้อน โดยความคงทนต่อการโจมตีของลายน้ำไม่น้อยไปกว่าวิธีการเดิมที่มีอยู่
- การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ 3 ค่า ทำให้ลายน้ำคงทนต่อการโจมตีมากกว่าการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ 2 ค่า ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้น คือ ค่า PSNR ของภาพลายน้ำอาจลดลง แต่คุณภาพของภาพเมื่อทดสอบด้วยสายตาจะไม่แตกต่างไปจากเดิม เนื่องจากความแตกต่างที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วงของภาพที่มีความถี่สูง ซึ่งสังเกตด้วยสายตาได้ยากกว่าช่วงของภาพที่มีความถี่ต่ำ

- การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แบบอัตโนมัติ มีผลทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่ n ค่าด้วยตนเอง
- ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ค่าใช้ในการกำหนดสัมประสิทธิ์แบบอัตโนมัติ ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกปรับปรุงคุณสมบัติของภาพหลังฝังลายน้ำและความคงทนลายน้ำที่ฝัง ให้เป็นไปตามที่ต้องการได้