

บทที่ 2

การปรับเท่าฮิสโตแกรมภาพ

2.1 บทนำ

ในกระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) นับว่ามีประโยชน์อย่างมหาศาลต่อวงการอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อให้มนุษย์ใช้เป็นเครื่องมือที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ดังนั้น กระบวนการการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement) จะอาศัยหลักการการปรับเท่าฮิสโตแกรมของภาพ (Histogram Equalization: HE) ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดเพิ่มขึ้น ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ ต่อไป

2.2 ลักษณะของข้อมูลภาพดิจิทัล

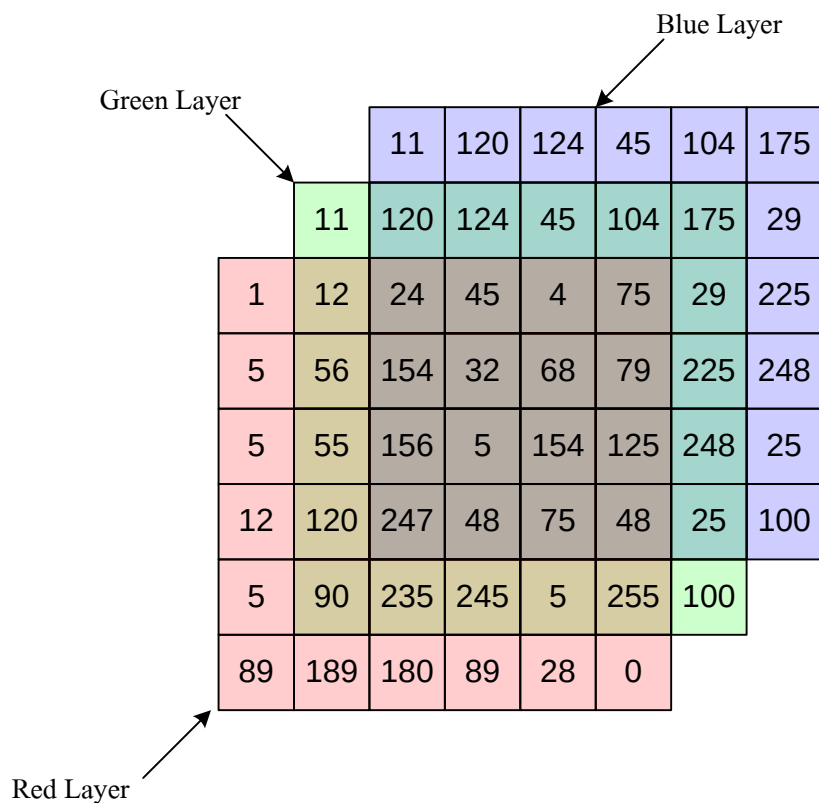
โดยปกติภาพทั่วไป เช่น ภาพที่แสดงอยู่ในโทรทัศน์จะเป็นสัญญาณต่อเนื่อง (Analog Signal) แต่ภาพที่เรานำมาประมวลผลในทางคอมพิวเตอร์นั้น จะต้องเป็นสัญญาณดิจิทัล Digital Signal) เท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันนี้ ภาพที่ไม่ใช่ภาพดิจิทัลสามารถแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลได้โดยใช้กล้องดิจิทัล การ์ดดิจิทัล และเครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น

ลักษณะของข้อมูลภาพดิจิทัลที่จะนำมาประมวลผลกับเครื่องคอมพิวเตอร์จะถูกแทนด้วยตัวเลขที่มีลักษณะเป็นตัวเลขจำนวนเต็มอยู่ในช่วงปิด $[0, 255]$ มีขนาด 8 บิต เท่านั้น สำหรับภาพขาวดำ จะมีขนาดข้อมูลของภาพแค่ 1 ชุด มีขนาด 2 มิติ เท่านั้น และสำหรับภาพสี จะมีขนาดข้อมูลของภาพ 3 ชุด เรียงซ้อนกัน มีขนาดข้อมูล 3 มิติ ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

Gray Layer
↙

1	12	24	45	4	75
5	56	154	32	68	79
5	55	156	5	154	125
12	120	247	48	75	48
5	90	235	245	5	255
89	189	180	89	28	0

รูปที่ 2.1 ข้อมูลดิจิทัลของภาพขาวดำ



รูปที่ 2.2 ข้อมูลดิจิทัลของภาพสี

ถ้ากำหนดให้ภาพดิจิทัลที่มีขนาดของรูปภาพมีขนาด 256×256 กำหนดเป็นฟังก์ชัน $f(x, y)$ โดยมีจุดภาพแสดงด้วยเทตริกซ์ของภาพดังในสมการที่ (2.1)

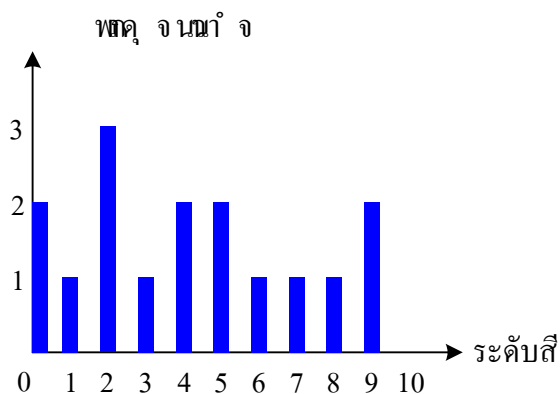
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(1, 1) & f(1, 2) & \dots & f(1, 256) \\ f(2, 1) & f(2, 2) & \dots & f(2, 256) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(256, 1) & f(256, 2) & \dots & f(256, 256) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

จากสมการที่ 3.1 สมาชิกของฟังก์ชัน $f(x, y)$ จะกำหนดให้เป็นค่าความเข้ม (Intensity) ของจุดภาพตำแหน่งที่ (x, y) นั้น ๆ จะมีค่าอยู่ในช่วงปิด $[0, 255]$ โดยแทนค่าระดับ 0 เป็นสีดำ และแทนค่าระดับ 255 เป็นสีขาว

2.3 ฮิสโตแกรมของภาพดิจิทัล

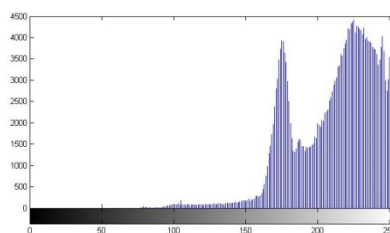
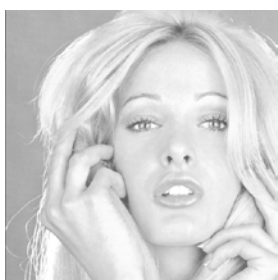
ฮิสโตแกรมของภาพดิจิทัล คือ กราฟแท่งที่แสดงถึงจำนวนจุดภาพในแต่ละระดับของความเข้มสีในแต่ละระดับ ซึ่งอยู่ในช่วงปิด $[0, 255]$ โดยให้แกนนอนแสดงถึงระดับสีเข้ขาวดำ (Gray Level) และแกนตั้งแสดงถึงจำนวนจุดภาพ

1	8	6	0
5	7	4	0
5	2	4	2
9	9	3	2

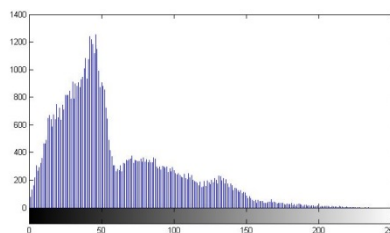


รูปที่ 2.3 ข้อมูลภาพดิจิทัลและฮิสโตแกรม

การกระจายตัวของฮิสโตแกรมจะทำให้ทราบถึงคุณลักษณะของภาพคร่าว ๆ ได้ว่าเป็นภาพที่มีลักษณะเป็นภาพที่มีมืด หรือภาพสว่าง โดยอาศัยหลักการพิจารณาความหนาแน่นของจำนวนจุดภาพ ถ้าฮิสโตแกรมของภาพมีการกระจายตัวอยู่ทางด้านซ้ายมาก ภาพที่ออกมาจะมีความมืด และถ้าฮิสโตแกรมของภาพมีการกระจายตัวอยู่ทางด้านขวามาก ภาพที่ออกมาจะมีความสว่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.4



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 (ก) ภาพต้นฉบับสว่างและฮิสโตแกรมของภาพ

(ข) ภาพต้นฉบับมืดและฮิสโตแกรมของภาพ

ฮิสโตแกรมนับว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญในขบวนการปรับปรุงภาพอย่างหนึ่ง ซึ่งในการปรับปรุงภาพที่จำเป็นต้องอาศัยการพิจารณาฮิสโตแกรมมีอยู่หลายวิธี เช่น การปรับความสว่างของภาพ (Brightness) การปรับความแตกต่างของภาพ (Contrast) การปรับเท่าฮิสโตแกรม (Histogram Equalization) และการแยกแยะวัตถุในภาพ (Image Segmentation) เป็นต้น

2.4 การปรับปรุงภาพโดยใช้การปรับเท่าฮิสโตแกรม (Global Histogram Equalization: GHE)

วิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับใช้ปรับปรุงภาพที่มีการกระจายตัวของฮิสโตแกรมที่ไม่เหมาะสม อย่างเช่น ฮิสโตแกรมในรูปที่ 2.4 โดยวิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมจะทำให้ภาพที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ มีลักษณะการกระจายตัวของฮิสโตแกรมเต็มช่วงของค่าระดับสีเทาและมีลักษณะแบบยูนิฟอร์ม (Uniform) แต่ฮิสโตแกรมใหม่นี้จะไม่มีลักษณะเหมือนกับฮิสโตแกรมเดิม ซึ่งอาจจะมีจำนวนของค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับคุณลักษณะของภาพนั้น ๆ

การปรับเท่าฮิสโตแกรม [ref.7] คือ การอาศัยหลักการของทางสถิติโดยการใช้หลักการกระจายความน่าจะเป็นของค่าระดับสีเทา โดยกำหนดให้ $\mathbf{X} = \{x_{ij}\}$ เป็นภาพที่มีค่าระดับสีเทา L ระดับ และ x_{ij} เป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่ตำแหน่ง (i, j) โดยที่ $x(i, j) \in \{0, 1, \dots, 255\}$

ขั้นตอนการปรับเท่าฮิสโตแกรมมีดังนี้

1) ทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของค่าความเข้มของจุดภาพ ซึ่งแทนด้วยตัวแปร k ดังแสดงในสมการที่ (2.2)

$$p(k) = \frac{n_k}{N} \quad (2.2)$$

โดยที่ n_k เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพที่มีค่าระดับสีเทาเป็น k โดย $k = 0, 1, \dots, L-1$ และ N เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพที่จะทำการปรับเท่าฮิสโตแกรม

2) คำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) ดังแสดงในสมการที่ (2.3)

$$c(k) = \sum_{i=0}^k p(k) \quad (2.3)$$

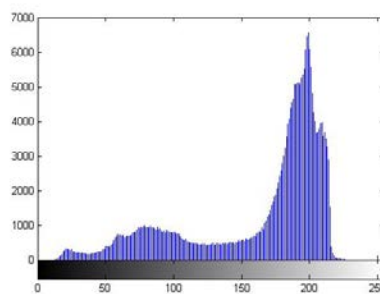
3) คำนวณหาค่าระดับสีเทาใหม่ ดังแสดงในสมการที่ (2.4)

$$f(X_k) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)c(k) \quad (2.4)$$

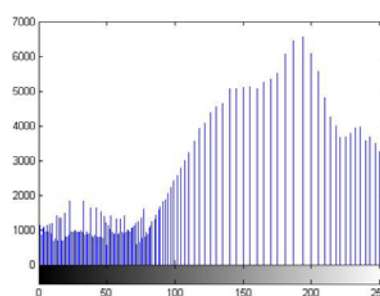
โดยที่ X_0 เป็นค่าระดับสีเทาดำสุด และ X_{L-1} เป็นค่าระดับสีเทาสูงสุด

4) ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมทั้งหมดจากภาพต้นฉบับ ผลลัพธ์ที่ได้เขียนสมการได้เป็นสมการที่ (2.5)

$$\mathbf{Y} = \{y(i, j)\} = f(\mathbf{X}) = \{f(x(i, j)) \mid \forall x(i, j) \in \mathbf{X}\} \quad (2.5)$$



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 (ก) ภาพต้นฉบับและฮิสโตแกรมของภาพ

(ข) ภาพที่ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมและฮิสโตแกรมของภาพ

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.5(ก) และภาพผลลัพธ์รูปที่ 2.5(ข)

ชื่อภาพ	ค่าเฉลี่ยความสว่าง		AMBE
	ภาพต้นฉบับ	ภาพปรับปรุง	
Jet	164.2718	129.0566	35.2152

2.5 การปรับปรุงภาพโดยใช้การปรับเท่าฮิสโตแกรมย่อย (Partitioned Histogram Equalization)

วิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อยเป็นการประยุกต์ใช้การปรับเท่าฮิสโตแกรมเช่นเดียวกัน แตกต่างกันพื้่นนำมาทำในพื้นที่ย่อยที่ถูกแบ่งไว้ โดยกำหนดค่าระดับสีเทาต่ำสุดจาก 0 เป็นค่าระดับสีเทาที่ต่ำที่สุดในพื้นที่ย่อย และค่าระดับสีเทาสูงสุดจาก 255 เป็นค่าระดับสีเทาสูงสุดในพื้นที่ย่อยนั้น ๆ โดยมีขั้นตอนในการปรับเท่าฮิสโตแกรมดังนี้

1) ทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของค่าความเข้มของจุดภาพ ซึ่งแทนด้วยตัวแปร k_r ดังแสดงในสมการที่ (2.6)

$$p(k_r) = \frac{n_{k_r}}{N_r} \quad (2.6)$$

โดยที่ n_r เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพย่อยที่มีค่าระดับสีเทาเป็น k_r โดย r เป็นจำนวนพื้นที่ย่อย อยู่ในช่วง $0, 1, \dots, n$ และ N_r เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพย่อยที่จะทำการปรับเท่าฮิสโตแกรม

2) คำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) ดังแสดงในสมการที่ (2.7)

$$c(k_r) = \sum_{i=0}^{k_r} p(k_r) \quad (2.7)$$

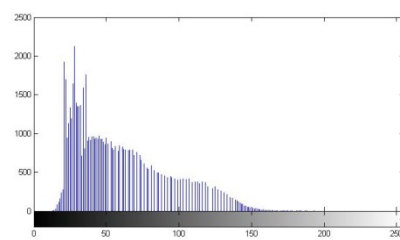
3) คำนวณหาค่าระดับสีเทาใหม่ ดังแสดงในสมการที่ (2.8)

$$f(X_k) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)c(k) \quad (2.8)$$

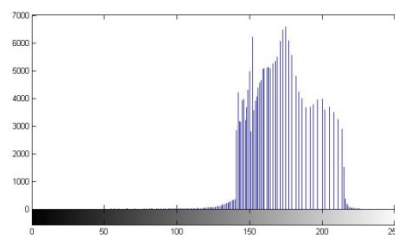
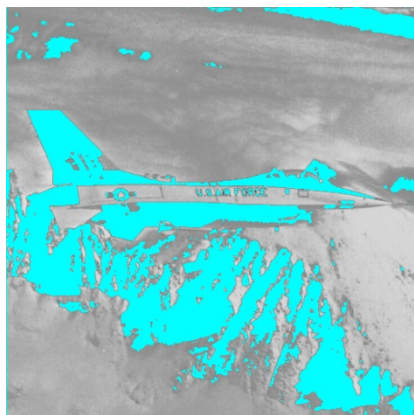
โดยที่ X_0 เป็นค่าระดับสีเทาดำสุด ในพื้นที่ย่อย และ X_{L-1} เป็นค่าระดับสีเทาสูงสุดในพื้นที่ย่อย

4) ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมทั้งหมดจากภาพต้นฉบับ ผลลัพธ์ที่ได้เขียนสมการได้เป็นสมการที่ (2.9)

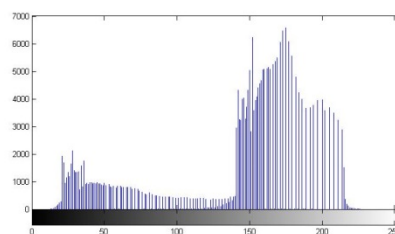
$$\mathbf{Y} = \{y(i, j)\} = f(\mathbf{X}) = \{f(x(i, j)) \mid \forall x(i, j) \in \mathbf{X}\} \quad (2.9)$$



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.6 (ก) ภาพที่ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมและฮิสโตแกรมที่สอดคล้องของภาพพื้นที่ย่อยที่ 1
 (ข) ภาพที่ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมและฮิสโตแกรมที่สอดคล้องของภาพพื้นที่ย่อยที่ 2
 (ค) ภาพที่ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมและฮิสโตแกรมของภาพผลลัพธ์

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ รูปที่ 2.5(ก) และภาพผลลัพธ์รูปที่ 2.6(ค)

ชื่อภาพ	ค่าเฉลี่ยความสว่าง		AMBE
	ภาพต้นฉบับ	ภาพปรับปรุง	
Jet	164.2718	141.0543	23.2175

2.6 การปรับเท่าฮิสโตแกรมในแต่ละพื้นที่ของฮิสโตแกรมย่อย แต่ละพื้นที่ย่อยที่แบ่งออกมา

ในการปรับเท่าฮิสโตแกรมเฉพาะท้องถิ่นที่ ในภาพ $\mathbf{X}$ ทำการแยกส่วนภาพ หรือการจัดกลุ่มข้อมูลภาพใหม่โดย $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_c\}$ โดยที่ c เป็นจำนวนกลุ่มข้อมูลภาพ และค่าระดับสีเทาที่ $\mathbf{x}_r = \{X_{r0}, X_{r1}, \dots, X_{rk_r}\} \equiv \mathbf{R}^r$ โดย $r = 1, 2, \dots, c$

$$\mathbf{X} = \mathbf{x}_1 \cup \mathbf{x}_2 \cup \dots \cup \mathbf{x}_c \quad (2.10)$$

$$\mathbf{x}_r = \{x(i, j) | x(i, j) \in \mathbf{R}^r, \forall x(i, j) \in \mathbf{X}\} \quad (2.11)$$

$$\mathbf{x}_{r-1} \cap \mathbf{x}_r = 0, \mathbf{R}^r \cap \mathbf{R}^{r-1} = 0 \quad (2.12)$$

ขั้นตอนการปรับเท่าฮิสโตแกรมมีดังนี้

1) คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของภาพย่อย $\{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_c\}$ ดังแสดงในสมการที่ (2.13)

$$p_r(k_r) = \frac{n_{rk}}{N_r} \quad (2.13)$$

2) คำนวณหาค่าความหนาแน่นสะสม ดังแสดงในสมการที่ (2.14)

$$c_r(k_r) = \sum_{i=0}^k p_r(k_r) \quad (2.14)$$

โดยที่ $0 \leq c_1(k_1), c_2(k_2), \dots, c_c(k_c) \leq 1$

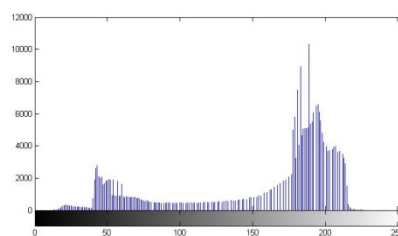
3) คำนวณหาค่าระดับสีเทาใหม่ ดังแสดงในสมการที่ (2.15)

$$f_r(X_{rk}) = X_{r0} + (X_{rk_r} - X_{r0})c_r(k_r) \quad (2.15)$$

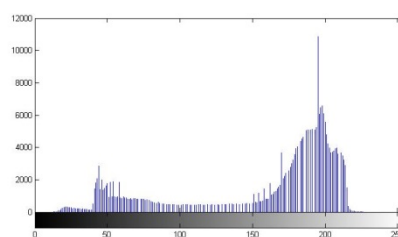
โดยที่ $f_r(x_{rk}) = f_r(x(i, j)) | x(i, j) \in \mathbf{R}^r, \forall x(i, j) \in \mathbf{X}$

4) ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมทั้งหมดจากภาพต้นฉบับ ผลลัพธ์ที่ได้เขียนสมการได้เป็นสมการที่ (2.16)

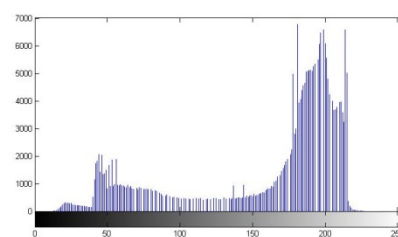
$$\mathbf{Y} = \{y(i, j)\} = f_1(X_{1k}) \cup f_2(X_{2k}) \cup \dots \cup f_c(X_{ck}) \quad (2.16)$$



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.7 (ก) ภาพที่ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนและฮิสโตแกรมของภาพ
 (ข) ภาพที่ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนและฮิสโตแกรมของภาพ
 (ค) ภาพที่ทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมโดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนและฮิสโตแกรมของภาพ

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับรูป 2.5(ก) และภาพผลลัพธ์รูป 2.7(ก) – (ค)

ชื่อภาพ	ค่าเฉลี่ยความสว่าง			
	ภาพต้นฉบับ	ภาพปรับปรุง		
Jet	จำนวนช่วงฮิสโตแกรม			
	1	2	3	4
	164.2718	154.9607	158.007	159.787
	AMBE	9.3111	6.2648	4.4848

2.7 การตรวจสอบความผิดพลาดของค่าเฉลี่ยความสว่าง

การตรวจสอบค่าผิดพลาดของค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพสามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยจากจุดภาพทั้งหมดได้ดังที่แสดงในสมการที่ (2.13)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x_{nm}}{N \times M} \quad (2.13)$$

ถ้ากำหนดให้ $E(X)$ และ $E(Y)$ เป็นค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพต้นฉบับ และภาพผลลัพธ์ ในบทความที่ [ref.5] ได้กำหนดตัววัดคุณภาพของการรักษาค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพ โดยใช้ค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อนความสว่าง หรือ AMBE (Absolute Mean Brightness Error)

$$AMBE = |E(X) - E(Y)| \quad (2.14)$$

2.6 สรุปผลการทดลอง

กระบวนการปรับเท่าฮิสโตแกรมส่งผลให้ภาพที่ได้มีความคมชัดขึ้น แต่ภาพผลลัพธ์มีค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดที่สูงขึ้นด้วย ดังที่แสดงในตารางที่ 2.1 ดังนั้น การปรับเท่าฮิสโตแกรมจึงทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว แต่สามารถชดเชยได้โดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ย่อย จากนั้นทำการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อย จะพบว่า ค่าเฉลี่ยความสว่างผิดพลาดจะมีค่าลดลง ดังที่แสดงในตารางที่ 2.2 เมื่อนำไปเทียบกับการปรับเท่าฮิสโตแกรมทั้งภาพ ยิ่งไปกว่านั้น การลดค่าความสว่างผิดพลาดของภาพผลลัพธ์สามารถทำการแก้ไขได้โดยการแบ่งฮิสโตแกรมออกเป็นฮิสโตแกรมย่อย ซึ่งจำนวนช่วงของการแบ่งส่งผลต่อค่าผิดพลาดที่น้อยลง ดังที่แสดงในตารางที่ 2.3 อีกทั้งภาพผลลัพธ์ยังคงรักษาความเป็นธรรมชาติของภาพเอาไว้ได้ดีอีกด้วย