บทที่ 4

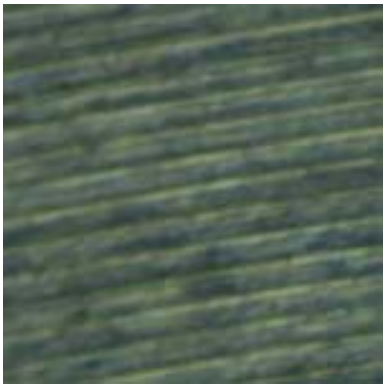
ผลการทดลองของวิธีการตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพถ่าย ของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองวิธีการตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติ โดยใช้ภาพถ่ายสองกลุ่มคือ ภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะและภาพถ่ายของพื้นผิวผ้า โดยทำการทดสอบวิธีการดังกล่าวด้วยภาพทดสอบทั้งหมด 60 ภาพ ผลการทดลองแสดงถึงการเปรียบเทียบการจำลองภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติทั้งสามแบบจำลอง ได้แก่ การแจกแจงแบบเกาส์เซียนหลายตัวแปร (MGD) การแจกแจงแบบเกาส์เซียนทั่วไปหลายตัวแปร (MGGD) และการแจกแจงแบบแอลฟ่าสเตเบิลที่สมมาตร (MSαS) ผลจากการทดลองข้างต้นจะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาและออกแบบวิธีการตรวจสอบภาพถ่ายที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติที่เหมาะสม

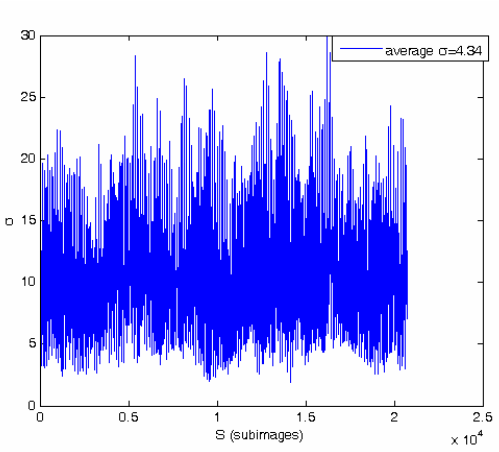
4.1 ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิง (Reference parameter)

ผลการทดลองในส่วนนี้เป็นการหาขนาดหน้าต่าง (window) ของพื้นผิวที่มีลวดลายและพารามิเตอร์ทางสถิติ โดยการหาหน้าต่างของพื้นผิวที่มีลวดลายเป็นส่วนที่สำคัญ ถ้าใช้ขนาดหน้าต่างของลวดลายพื้นผิวผิดก็จะทำให้การประมาณค่าพารามิเตอร์ทางสถิติผิดพลาดไป เพราะไม่สามารถจำลองลวดลายได้ครบถ้วนนั่นเอง การทดลองแสดงผลการหาขนาดหน้าต่างของลวดลายพื้นผิวโลหะ โดยแสดงการหาด้วยหน้าต่างสี่ขนาดได้แก่ 6x6, 12x12, 15x15, 18x18 พิกเซล เลื่อนไปบนภาพอ้างอิง (moving window) จะได้ภาพย่อย (subimages) นำภาพย่อยแต่ละภาพมาคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อใช้หน้าต่างขนาด 6x6 และ 12x12 พิกเซล ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานมีค่าสูงเกินเกณฑ์ (มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานเกินสาม) ดังรูปที่ 4.1 (ข) และ (ค) สำหรับหน้าต่างขนาด 15x15 และ 18x18 พิกเซล มีส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังรูปที่ 4.1 (ง) และ (จ) (มีค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานน้อยกว่าสาม) และผลการหาขนาดหน้าต่างของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สองดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ

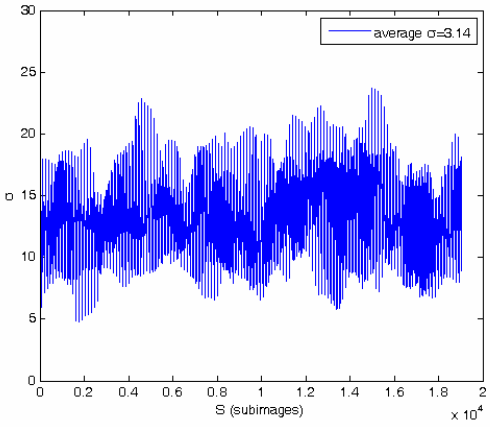
จากผลการทดลองได้ขนาดหน้าต่างของพื้นผิวที่เหมาะสมที่สุดของพื้นผิวโลหะเท่ากับ 15x15 พิกเซล ขนาดหน้าต่างของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งเท่ากับ 15x15 พิกเซล และกลุ่มสองมีหน้าต่างของลวดลายพื้นผิวเท่ากับ 21x21 พิกเซล



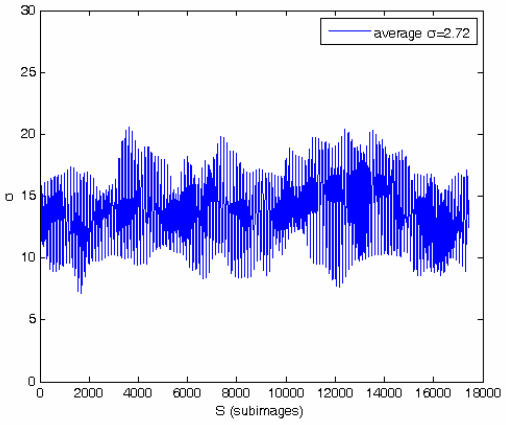
(ก)



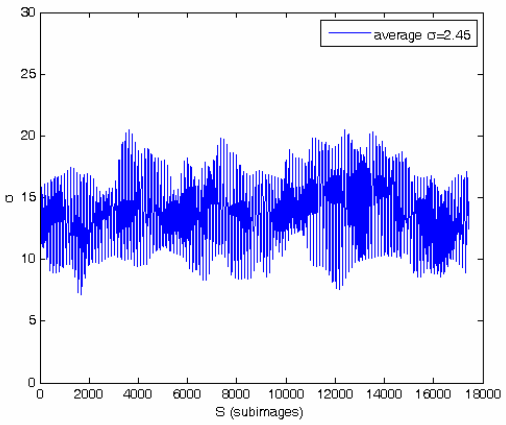
(ข)



(ค)

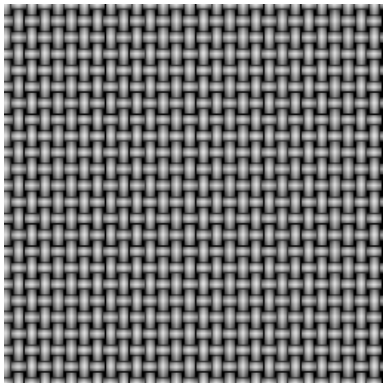


(ง)

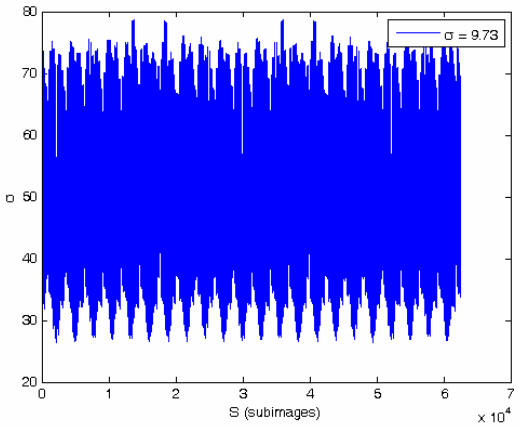


(จ)

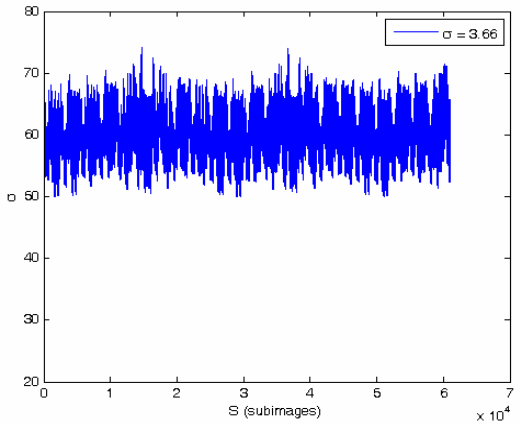
รูปที่ 4.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพย่อยพื้นผิวโลหะโดยใช้ขนาดหน้าต่างสี่ขนาด (ก) ภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะอ้างอิงขนาด 256x256 พิกเซล (ข) หน้าต่างขนาด 6x6 พิกเซล (ค) หน้าต่างขนาด 12x12 พิกเซล (ง) หน้าต่างขนาด 15x15 พิกเซล (จ) หน้าต่างขนาด 18x18 พิกเซล



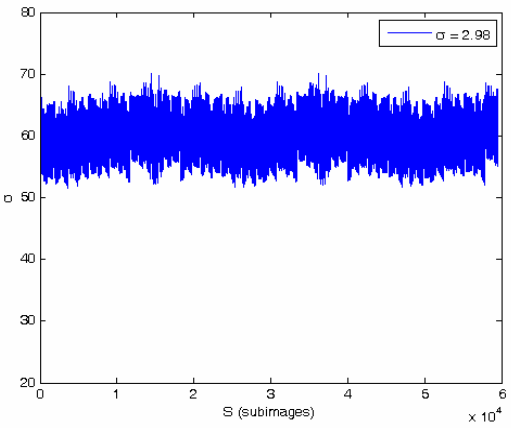
(ก)



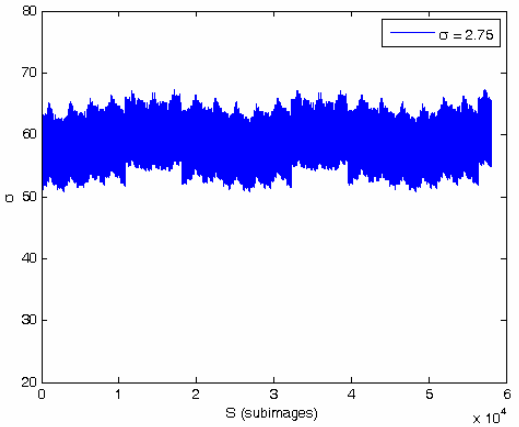
(ข)



(ค)

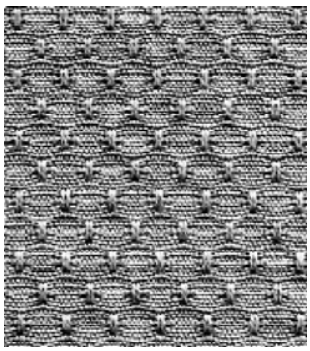


(ง)

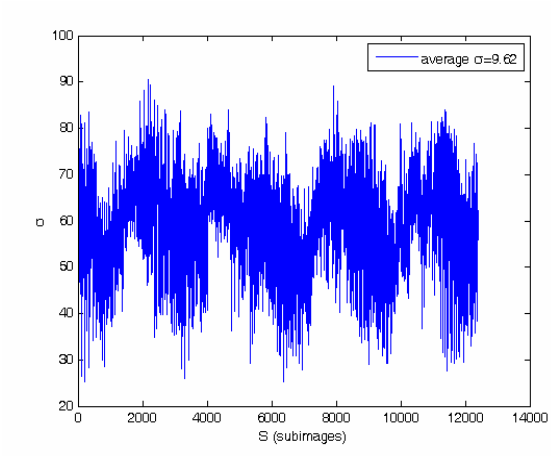


(จ)

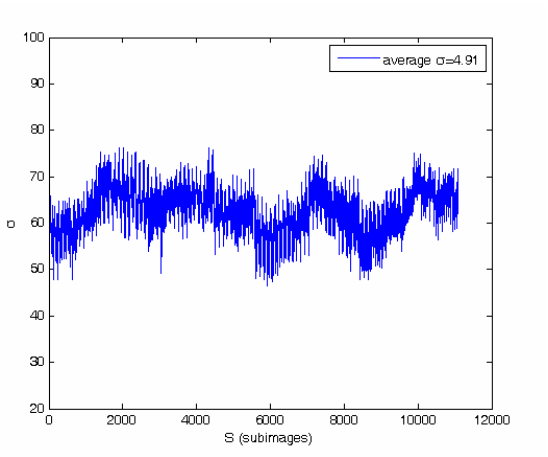
รูปที่ 4.2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพย่อยพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งโดยใช้ขนาดหน้าต่างสี่ขนาด (ก) ภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งอ้างอิงขนาด 256x256 พิกเซล (ข) หน้าต่างขนาด 6x6 พิกเซล (ค) หน้าต่างขนาด 9x9 พิกเซล (ง) หน้าต่างขนาด 12x12 พิกเซล (จ) หน้าต่างขนาด 15x15 พิกเซล



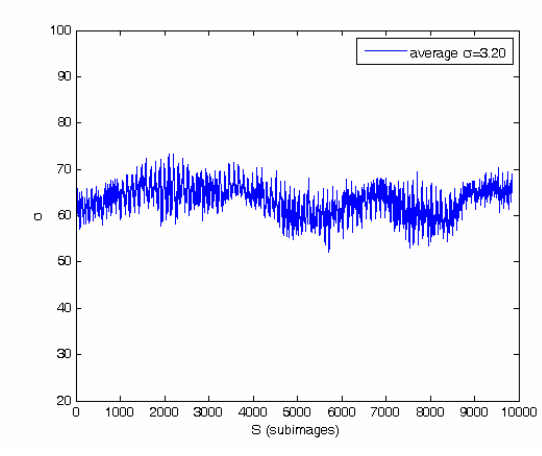
(ก)



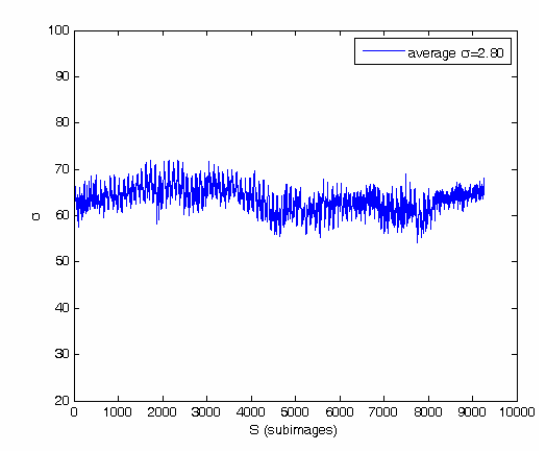
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.3 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพย่อยพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง โดยใช้ขนาดหน้าต่างสี่ขนาด (ก) ภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มทีสองอ้างอิงขนาด 256x225 พิกเซล (ข) หน้าต่างขนาด 6x6 พิกเซล (ค) หน้าต่างขนาด 12x12 พิกเซล (ง) หน้าต่างขนาด 18x18 พิกเซล (จ) หน้าต่างขนาด 21x21 พิกเซล

หลังจากได้หน้าต่างพื้นผิวที่มีลวดลายแล้ว จะนำหน้าต่างนี้มาหาพารามิเตอร์อ้างอิงด้วยแบบจำลองทางสถิติทั้งหกแบบโดยแยกเป็นสองกลุ่มคือ การหาพารามิเตอร์ทางสถิติแบบตัวแปรเดียวและแบบหลายตัวแปร

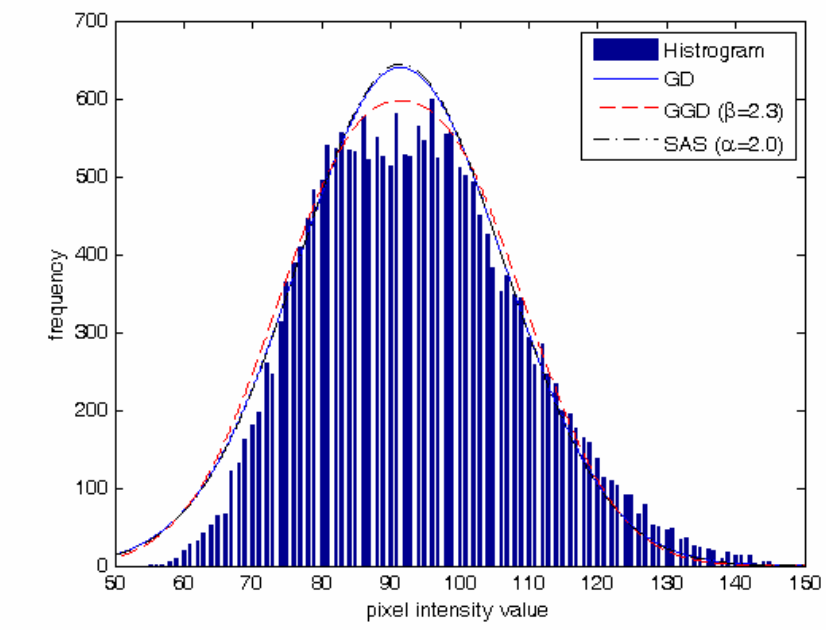
4.1.1 ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิงด้วยแบบจำลองทางสถิติตัวแปรเดียว

<u>ภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะ</u>

ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิงทางสถิติแบบตัวแปรเดียวของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะในรูปที่ 4.1 (ก) โดยจำลองด้วยการแจกแจงแบบ GD, GGD และ SαS สำหรับการแจกแจงทั้งสามแบบจะได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์อ้างอิงของภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะด้วย GD, GGD และ SαS

θ_R	μ	σ	β	γ	α
GD	93	15	-	-	-
GGD	93	15	2.3	-	-
SAS	-	-	-	226	2.0



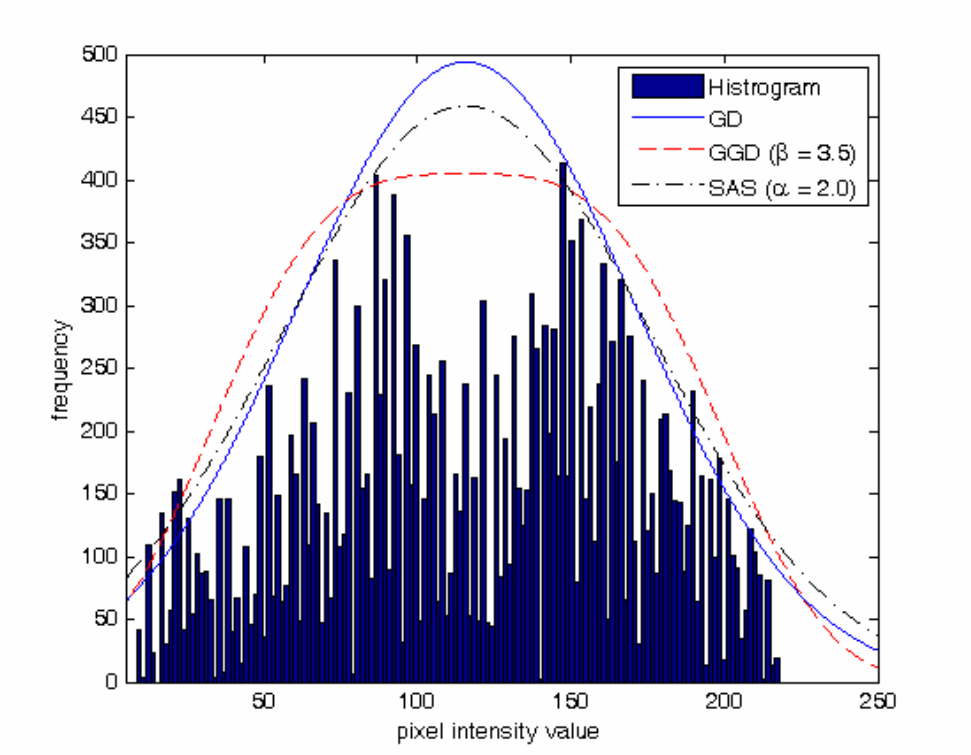
รูปที่ 4.4 แสดงการประมาณฮิสโตแกรมของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะด้วยแบบจำลอง GD, GGD และ SαS แบบตัวแปรเดียว

ภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง

ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิงทางสถิติแบบตัวแปรเดียวของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง ดังรูปที่ 4.2 (ก) โดยจำลองด้วยการแจกแจงแบบ GD, GGD และ SαS สำหรับการแจกแจงทั้งสามแบบจะได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์อ้างอิงของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งด้วย GD, GGD และ SAS

θ_R	μ	σ	β	γ	α
GD	116	55	-	-	-
GGD	116	55	3.5	-	-
SAS	-	-	-	3023	2.0



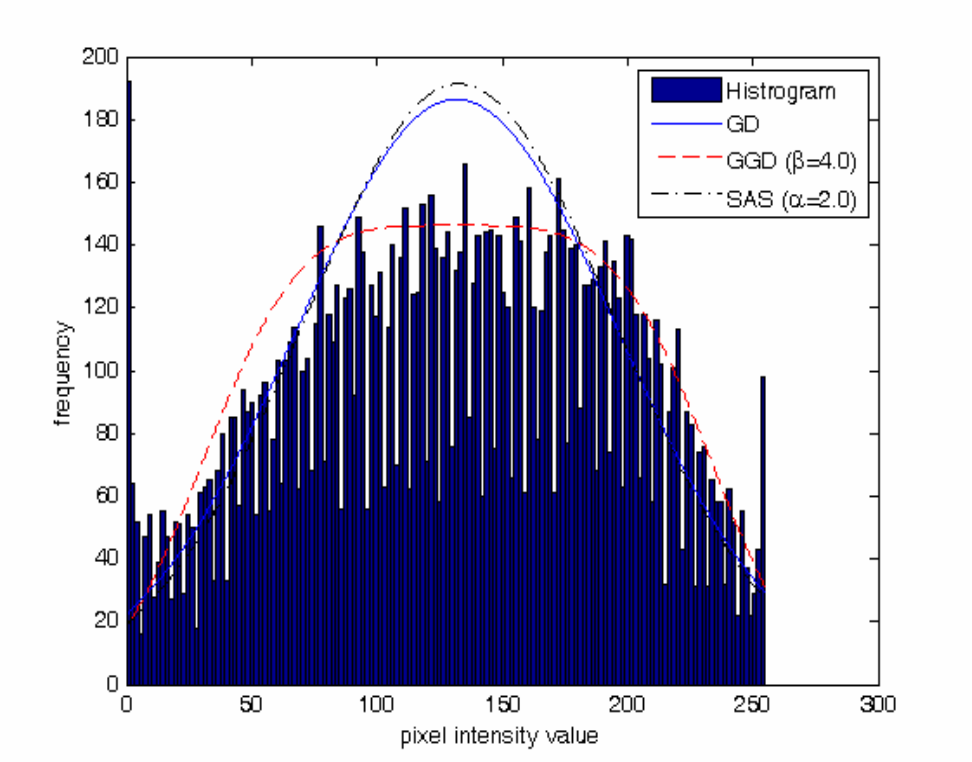
รูปที่ 4.5 แสดงการประมาณฮิสโตแกรมของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งด้วยแบบจำลอง GD, GGD และ SαS แบบตัวแปรเดียว

ภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง

ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิงทางสถิติแบบตัวแปรเดียวของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง ดังรูปที่ 4.3 (ก) โดยจำลองด้วยการแจกแจงแบบ GD, GGD และ SαS สำหรับการแจกแจงทั้งสามแบบจะได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์อ้างอิงของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งด้วย GD, GGD และ SαS

θ_R	μ	σ	β	γ	α
GD	131	66	-	-	-
GGD	131	66	4.0	-	-
SAS	-	-	-	4580	2.0



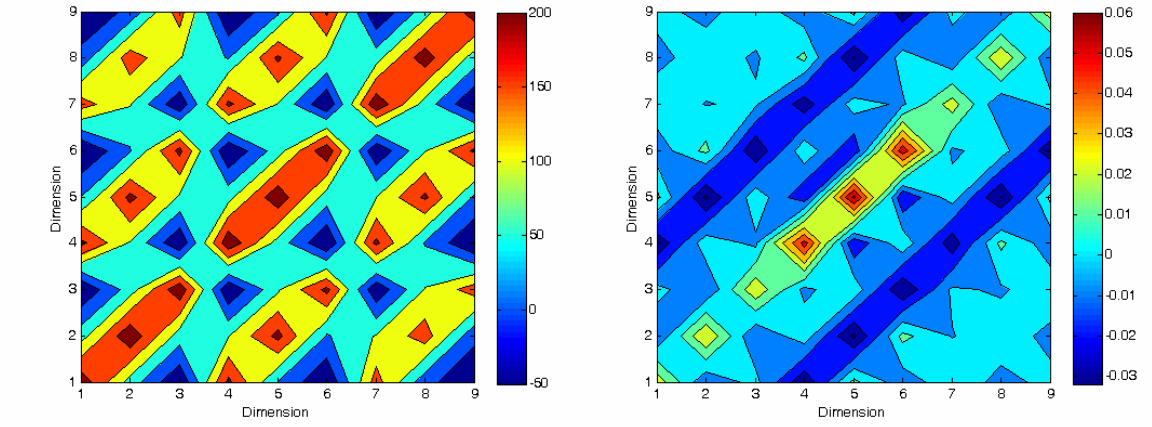
รูปที่ 4.6 แสดงการประมาณฮิสโตแกรมของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองด้วยแบบจำลอง GD, GGD และ SαS แบบตัวแปรเดียว

4.1.2 ผลการหาพารามิเตอร์อ้างอิงด้วยแบบจำลองทางสถิติหลายตัวแปร

สำหรับการหาพารามิเตอร์ทางสถิติแบบหลายตัวแปรจะมีการพิจารณาพิกเซลที่สนใจ (คล้ายกับแบบจำลองทางสถิติตัวแปรเดียว) และพิกเซลใกล้เคียงที่ติดกันทั้งแปดพิกเซลรวมเก้าพิกเซล $N = 9$ การประมาณพารามิเตอร์ทางสถิติจะเหมือนกับตัวแปรเดียว แต่เพิ่มพารามิเตอร์เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล Σ และเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย $\boldsymbol{\mu}$ จะได้พารามิเตอร์อ้างอิง θ_R โดยการแจกแจงแบบหลายตัวแปรจะมีเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยเท่ากัน เมทริกส์ความสัมพันธ์ (covariance matrix) เท่ากัน แต่ต่างกันที่ค่าเบต้าของการแจกแจงแบบ MGGD โดยจะมีค่าเบต้าเท่ากับ GGD แบบตัวแปรเดียว และค่าแอลฟ่าของการแจกแจงแบบ MSαS จะเท่ากับ SαS แบบตัวแปรเดียว สำหรับเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของภาพถ่ายทั้งสามกลุ่มเท่ากับ

<u>ภาพถ่ายของพื้นผิวโลหะ</u>

เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย $\boldsymbol{\mu}_{MGGD} = \boldsymbol{\mu}_{MGD} = [94, 94, 94, 93, 93, 94, 93, 93, 93]^T$ สำหรับ MGGD มีค่า $\beta = 2.3$ และ MSαS มีค่า $\alpha = 2.0$ และมีค่า covariance matrix Σ_R ดังรูปที่ 4.7



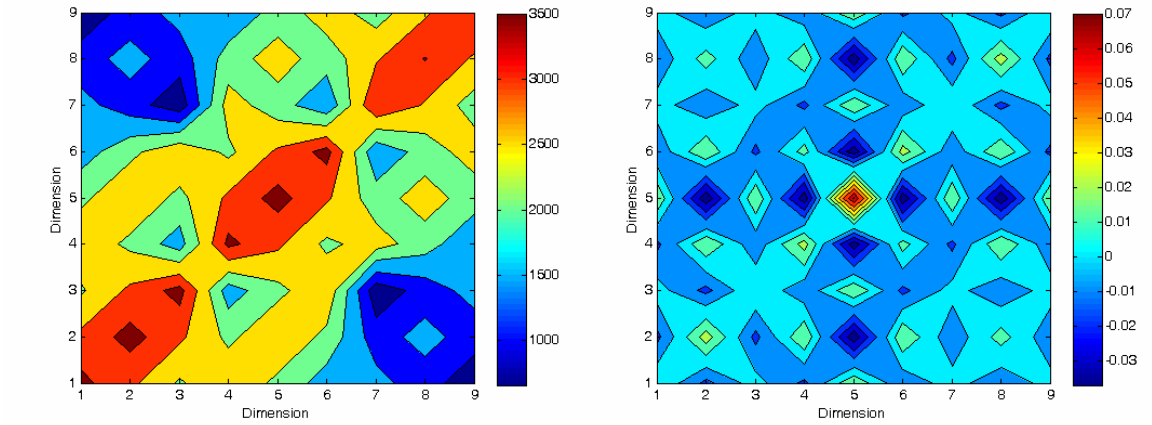
(ก) (ข)

รูปที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ Covariance matrix ขนาด 9x9 ของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะ (ก) covariance matrix (ข) อินเวอร์ส covariance matrix

ภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง

เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย $\boldsymbol{\mu}_{MGGD} = \boldsymbol{\mu}_{MGD} = [115,115,115,116,116,116,117,117,117]^T$

สำหรับ MGGD มีค่า $\beta = 3.5$ และ MSαS มีค่า $\alpha = 2$ และมีค่า covariance matrix ดังรูปที่ 4.8



(ก) (ข)

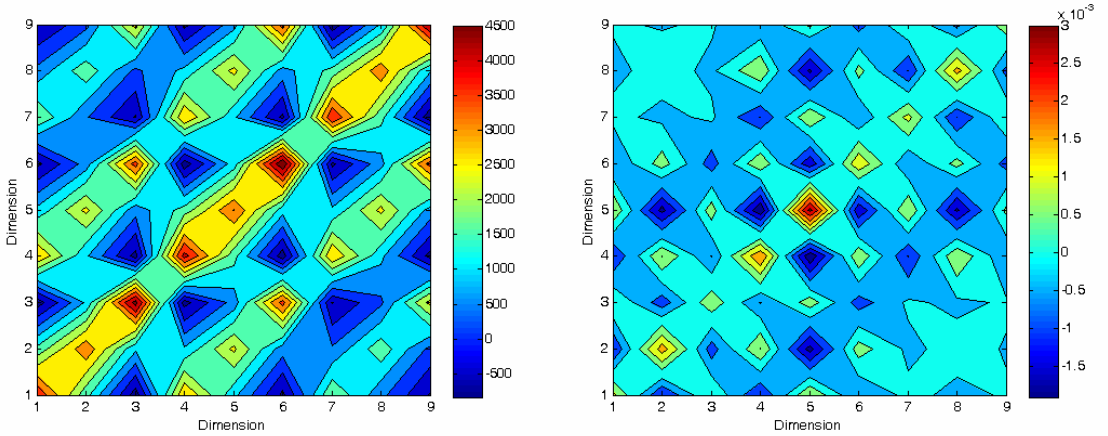
รูปที่ 4.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ covariance matrix ขนาด 9x9 ของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง

(ก) covariance matrix (ข) อินเวอร์ส covariance matrix

ภาพถ่ายของพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง

เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย $\boldsymbol{\mu}_{MGGD} = \boldsymbol{\mu}_{MGD} = [131,132,130,131,132,130,130,130,130]^T$

สำหรับ MGGD มีค่า $\beta = 4$ และ $MS\alpha S$ มีค่า $\alpha = 2$ และมีค่า Covariance matrix ดังรูปที่ 4.9



(ก) (ข)

รูปที่ 4.9 แสดงค่าพารามิเตอร์ covariance matrix ขนาด 9x9 ของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง

(ก) covariance matrix (ข) อินเวอร์ส covariance matrix

4.1.3 ผลการหาการตั้งค่า (Threshold)

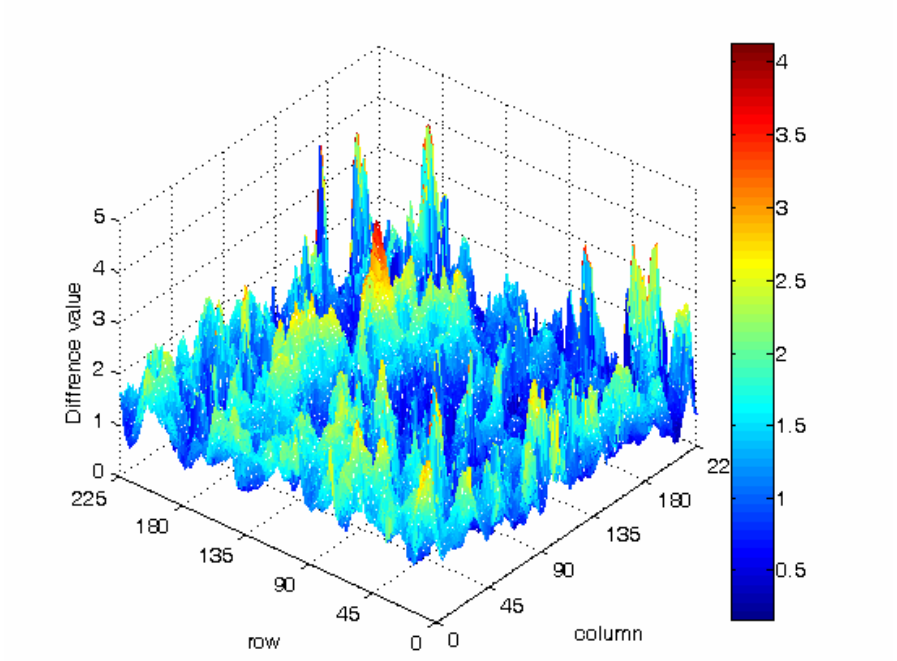
หลังจากได้พารามิเตอร์อ้างอิงแล้วพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวคือ การตั้งค่าซึ่งเป็นตัวกำหนดว่าพิกเซลใดเป็นพิกเซลที่มีตำหนิ โดยการตั้งค่าได้มาจากค่าระยะความแตกต่างสูงสุดของภาพอ้างอิงด้วยแบบจำลองทางสถิติตัวแปรเดียวและหลายตัวแปร

<u>ผลการหาการตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะ</u>

ผลของการหาการตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะดังตารางที่ 4.4 และภาพระยะความแตกต่างของแบบจำลอง MGD แสดงดังรูปที่ 4.10 โดยมีค่าระยะทางสูงสุดเท่ากับ 4.1

ตารางที่ 4.4 การตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะของแบบจำลองทั้งหกแบบ

Threshold	GD	GGD	SAS	MGD	MGGD	MSAS
η	3.91	4.07	3.91	4.11	4.38	4.11



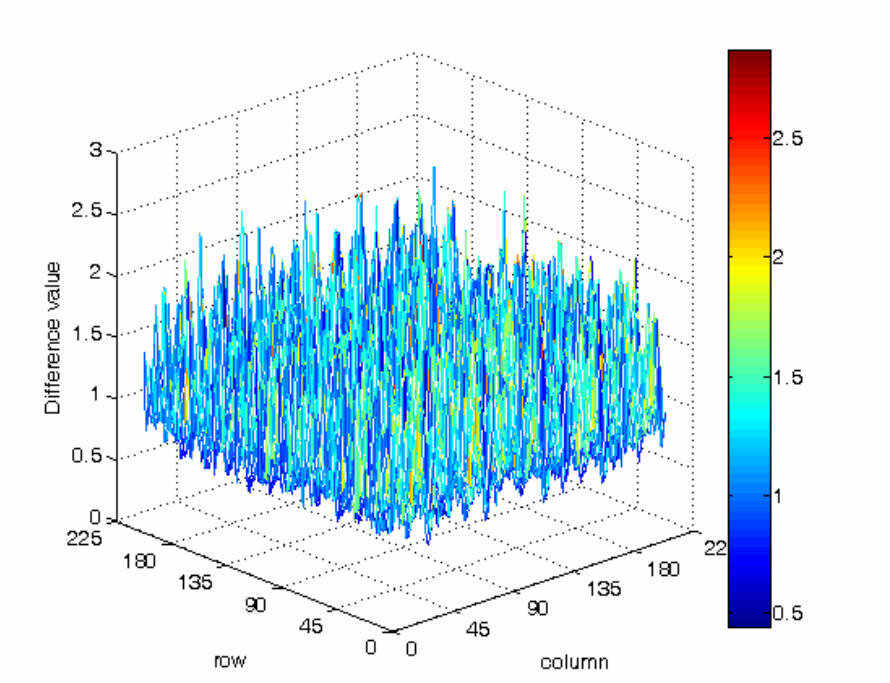
รูปที่ 4.10 รูปภาพแสดงค่าระยะความแตกต่างของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะด้วยแบบจำลอง MGD

ผลการหาการตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง

ผลของการหาการตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง แสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพระยะความแตกต่างด้วยแบบจำลอง MGD แสดงดังรูปที่ 4.11 โดยมีค่าระยะทางสูงสุดเท่ากับ 2.9

ตารางที่ 4.5 การตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งของแบบจำลองทั้งหกแบบ

Threshold	GD	GGD	SAS	MGD	MGGD	MSAS
η	2.10	2.24	2.10	2.90	3.03	2.90



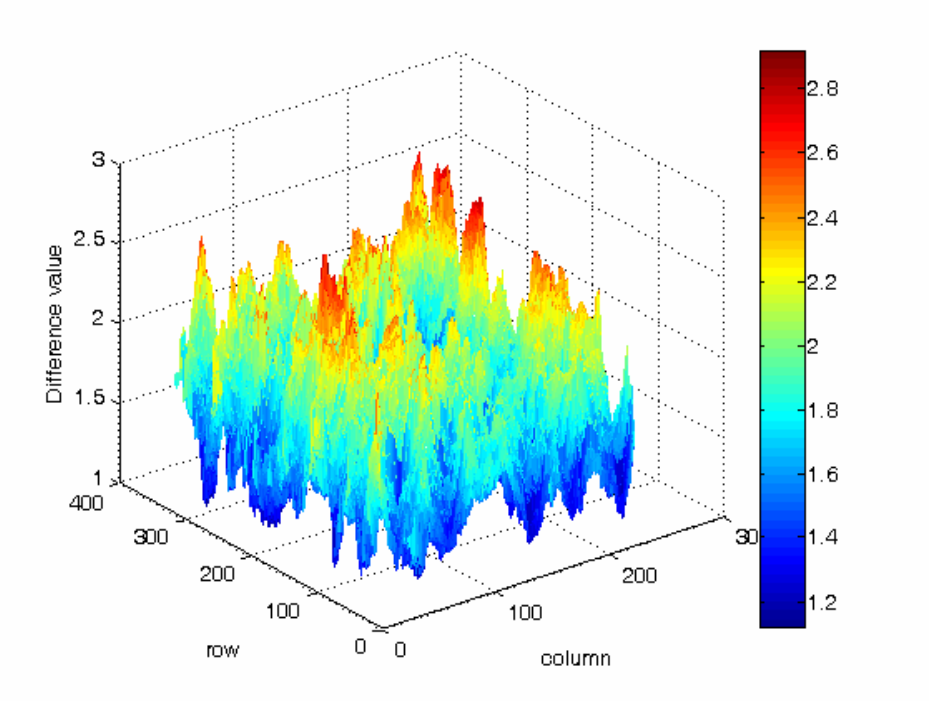
รูปที่ 4.11 รูปภาพแสดงค่าระยะความแตกต่างของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง ด้วยแบบจำลอง MGD

ผลการหาการตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง

ผลของการหาการตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง แสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพระยะความแตกต่างด้วยแบบจำลอง MGD แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยมีค่าระยะทางสูงสุดเท่ากับ 2.9

ตารางที่ 4.6 การตั้งค่าของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองของแบบจำลองทั้งหกแบบ

Threshold	GD	GGD	SAS	MGD	MGGD	MSAS
η	0.46	0.49	0.46	2.97	3.01	2.97

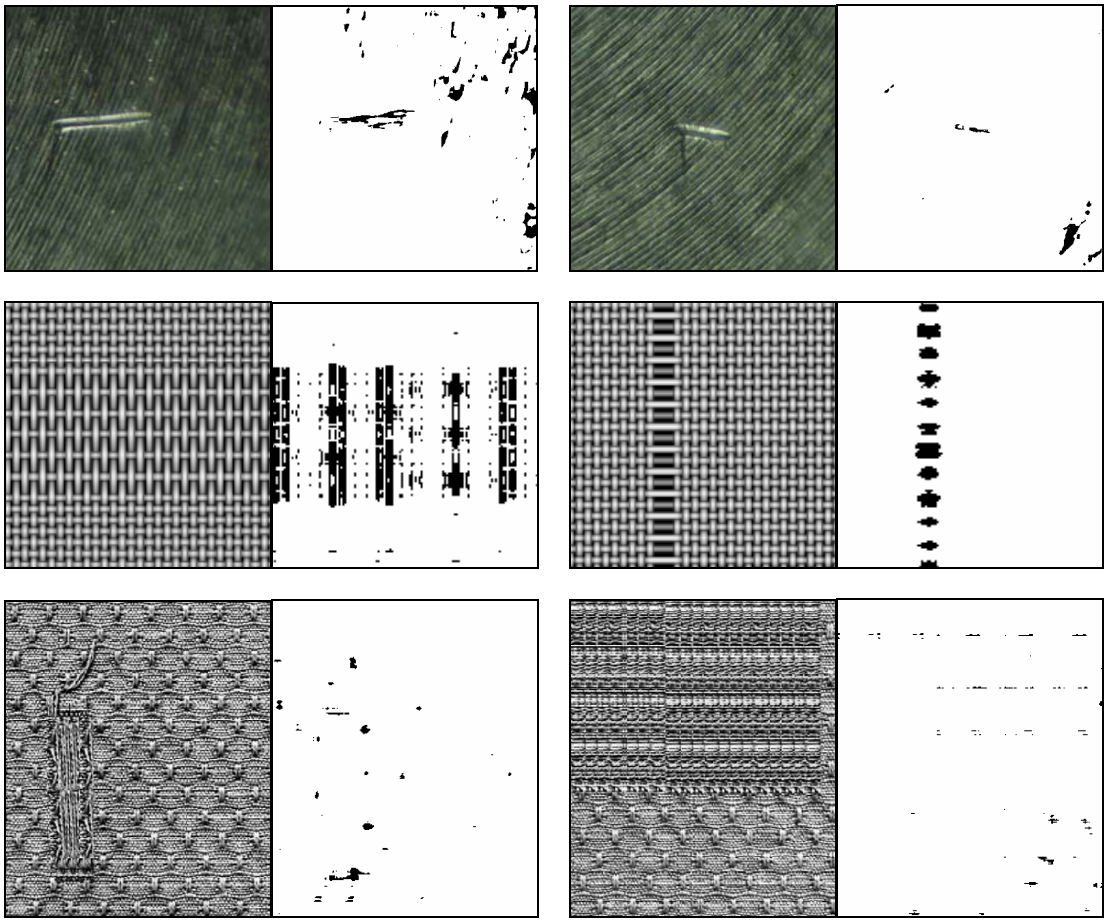


รูปที่ 4.12 รูปภาพแสดงค่าระยะความแตกต่างของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง ด้วยแบบจำลอง MGD

4.2 ผลการตรวจสอบข้อบกพร่อง

4.2.1 ผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติตัวแปรเดียว

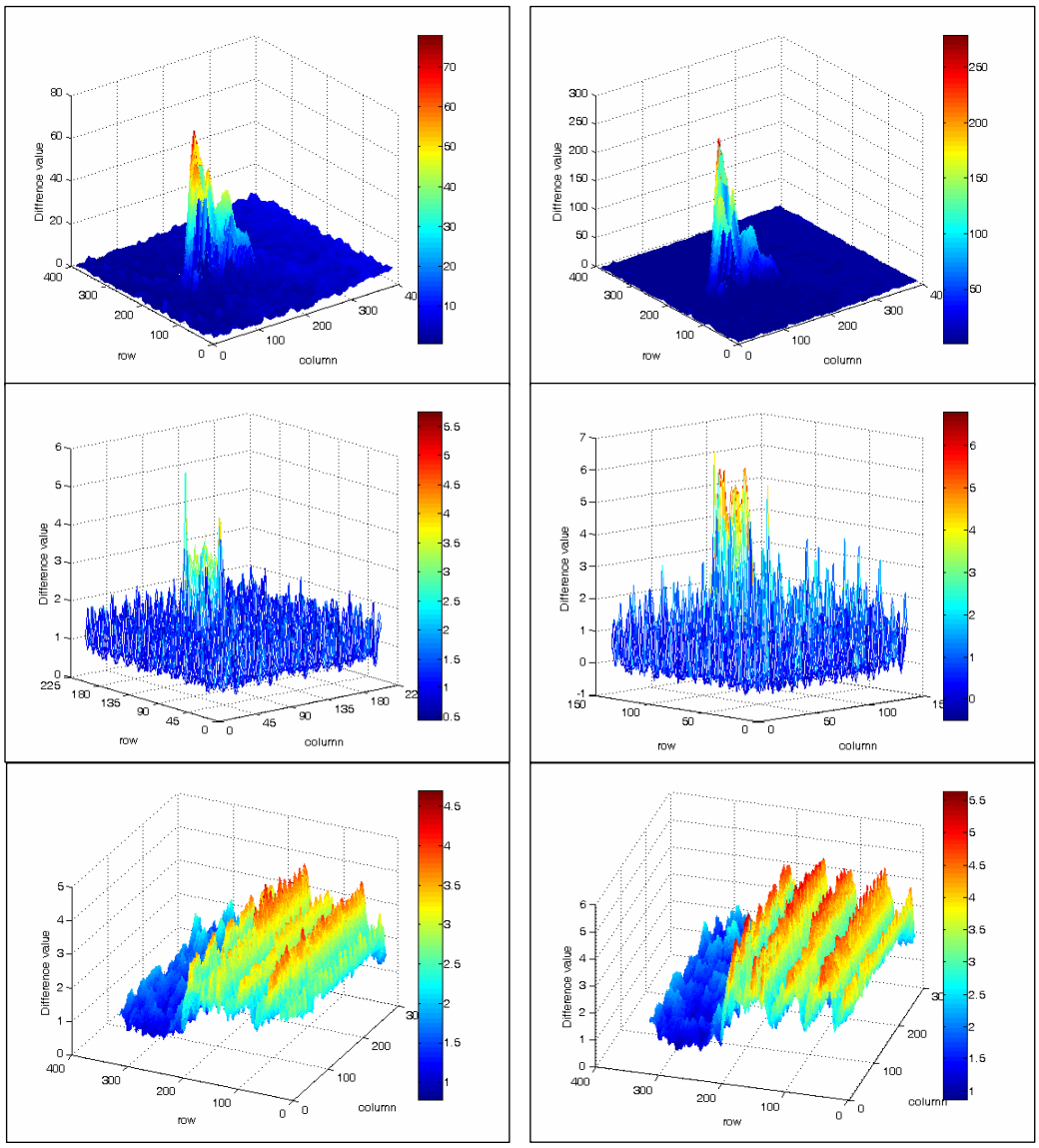
ผลการตรวจสอบข้อบกพร่องจะแบ่งเป็นสามกลุ่มคือ ภาพถ่ายพื้นผิวโลหะ ภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งและภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง สำหรับการตรวจสอบภาพถ่ายด้วยแบบจำลองทางสถิติแบบตัวแปรเดียวมีความผิดพลาดสูงเนื่องจากการพิจารณาพิกเซลเดียวมีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย เพราะถ้าค่าพิกเซลของพื้นผิวสลับที่กันไปหรือเปลี่ยนค่าไป แต่การแจกแจงความถี่ยังเหมือนเดิมก็ถือเป็นความผิดพลาด ซึ่งลักษณะแบบนี้ถือว่าเกิดขึ้นได้ง่ายสำหรับแบบจำลองทางสถิติแบบตัวแปรเดียวของทั้งสามแบบจำลอง GD, GGD และ SαS ซึ่งมีผลเหมือนกันดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติแบบตัวแปรเดียว

4.2.2 ผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติหลายตัวแปร

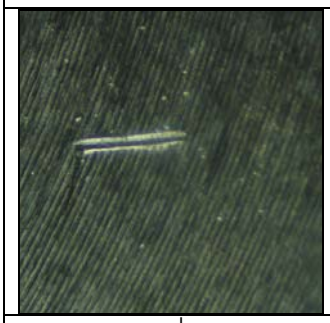
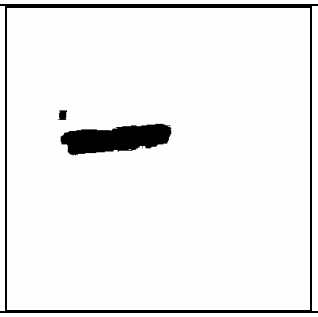
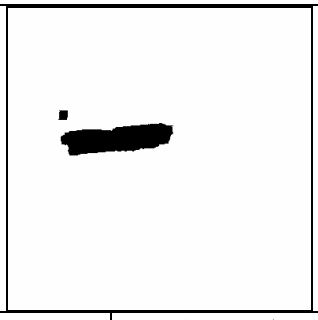
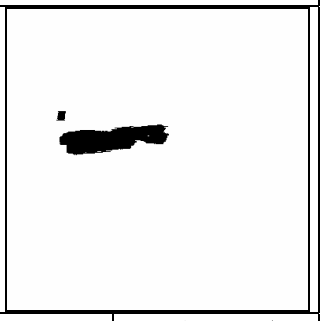
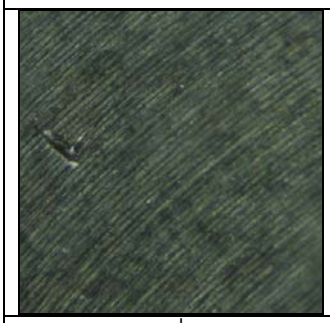
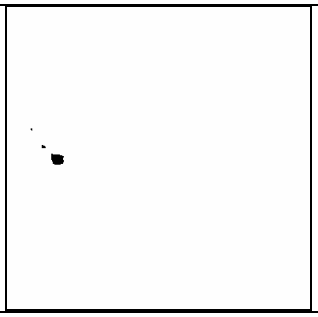
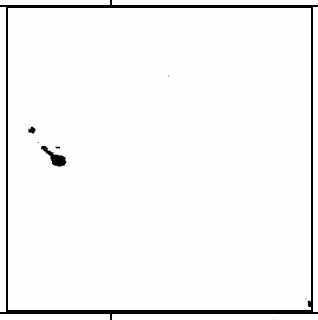
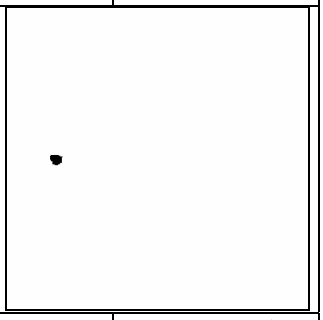
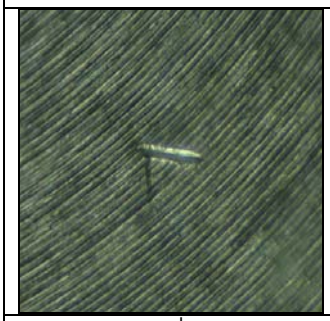
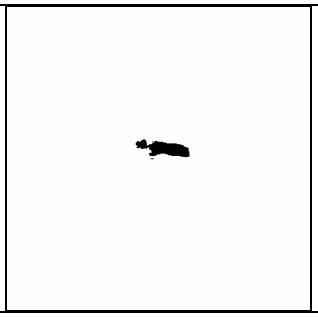
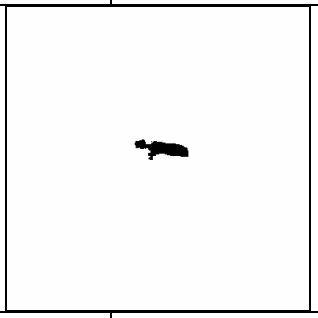
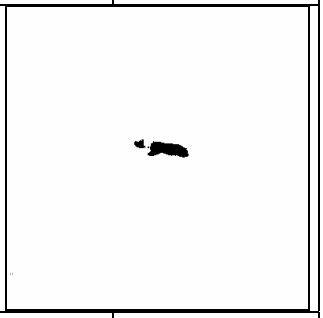
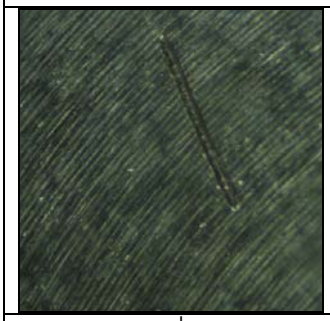
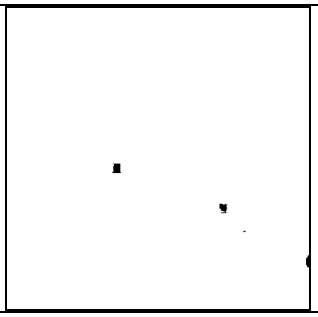
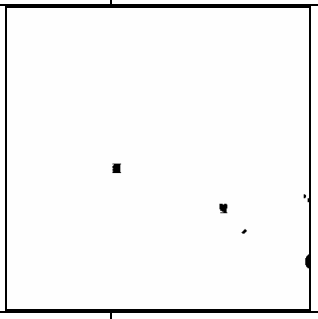
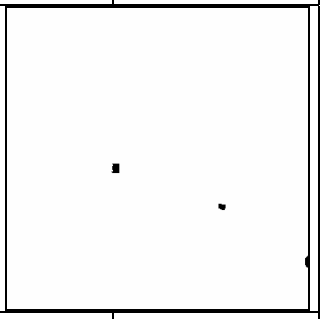
สำหรับผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติแบบหลายตัวแปรให้ผลที่ดีมาก โดยผลของ MGD ให้ผลใกล้เคียงกับ MSαS แต่ผลของ MGGD ดีกว่า MGD และ MSαS ในส่วนของค่าระยะความแตกต่างระหว่างข้อบกพร่อง (D) กับพื้นผิวปกติ (F) โดยค่าอัตราส่วน D/F (MGGD) > D/F (MGD), (MSαS) ดังในรูป 4.10 แถวบนเป็นภาพถ่ายพื้นผิวโลหะ แถวกลางเป็นภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่ง ภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง



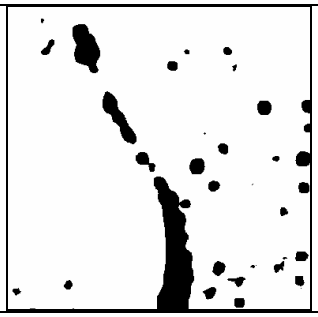
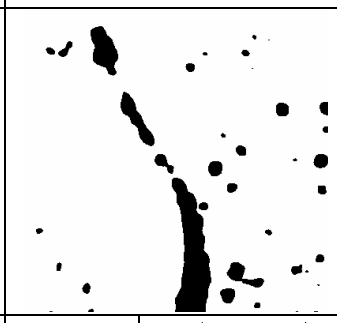
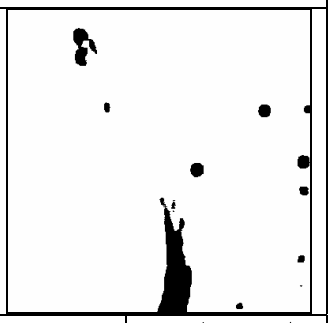
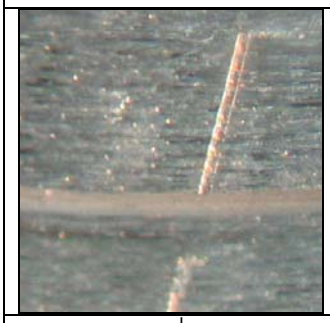
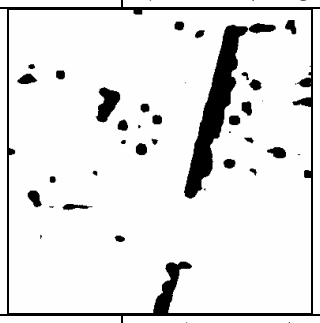
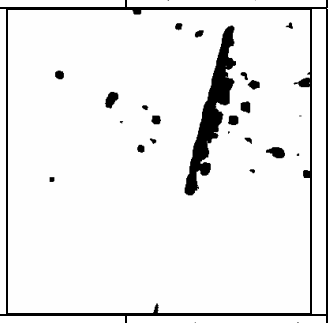
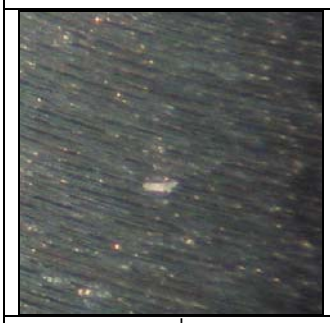
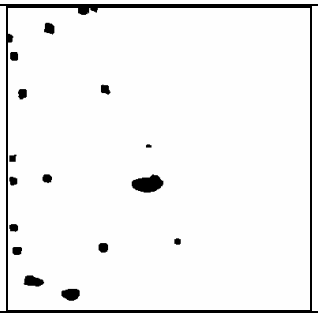
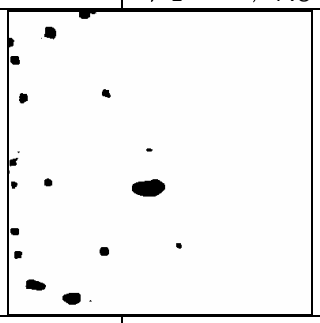
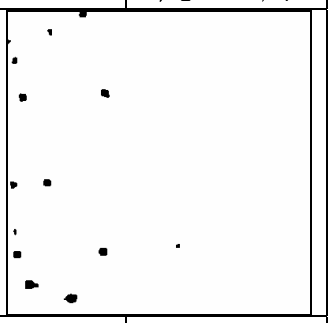
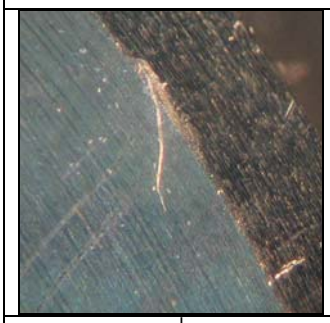
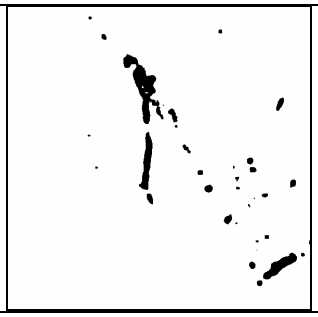
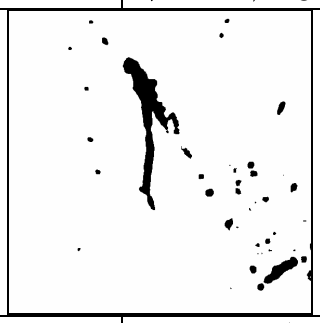
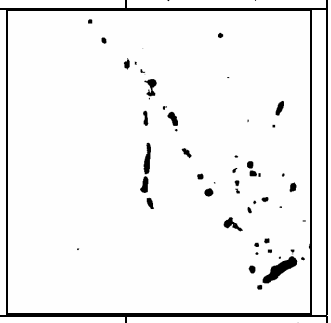
(ก) (ข)

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบผลการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติแบบหลายตัวแปร MGD, MSαS และ MGGD (ก) MGD, MSαS (ข) MGGD

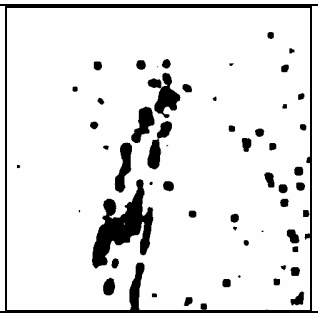
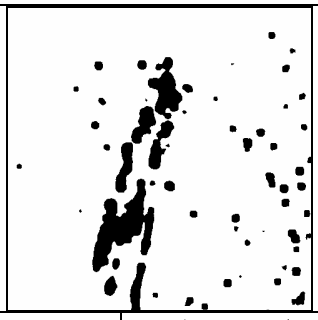
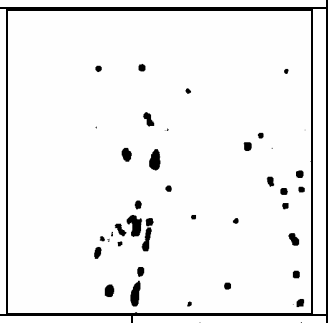
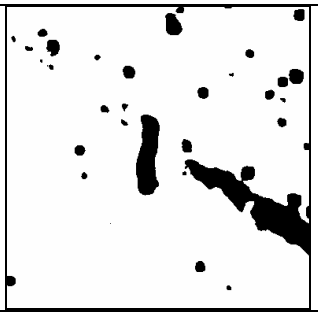
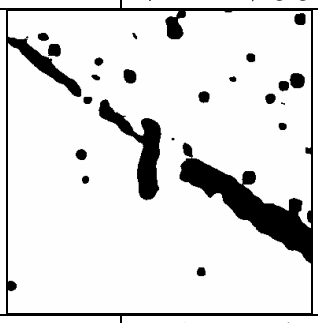
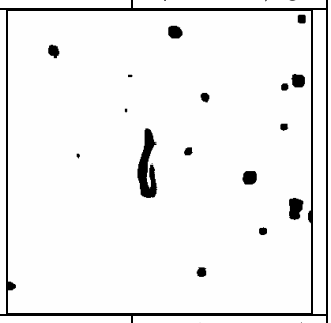
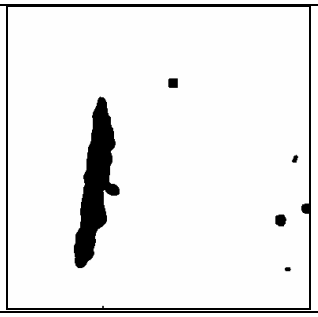
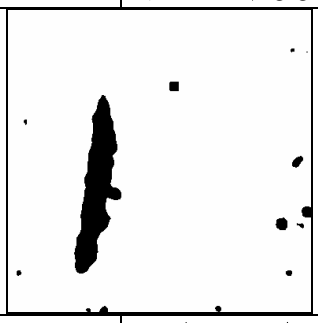
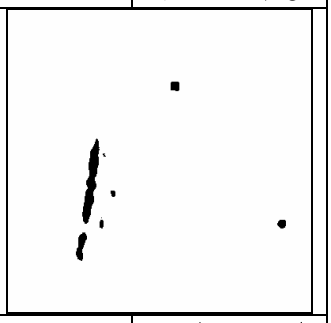
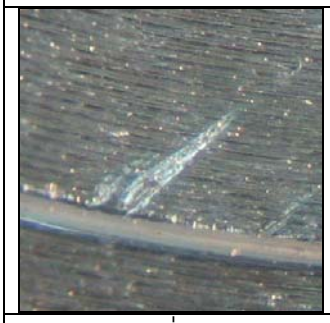
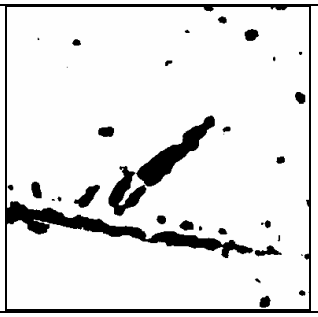
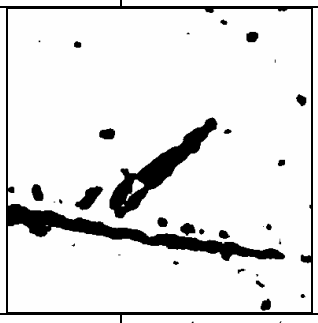
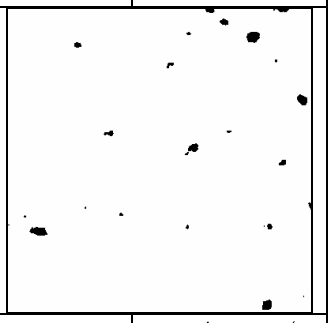
ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะรูปที่ 1-4

	MGD (β = 2)	MGGD		MSAS	
					
รูปที่ 1	$D/F = 35/4.1$	β =2.3	$D/F = 50/4.3$	α =2.0	$D/F = 35/4.1$
					
รูปที่ 2	$D/F = 25/4.1$	β =2.3	$D/F = 30/4.3$	α =2.0	$D/F = 25/4.1$
					
รูปที่ 3	$D/F = 30/4.1$	β =2.3	$D/F = 37/4.3$	α =2.0	$D/F = 30/4.1$
					
รูปที่ 4	$D/F = 70/4.1$	β =2.3	$D/F = 80/4.3$	α =2.0	$D/F = 70/4.1$

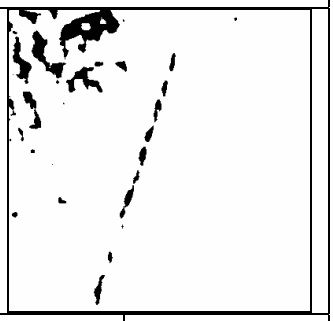
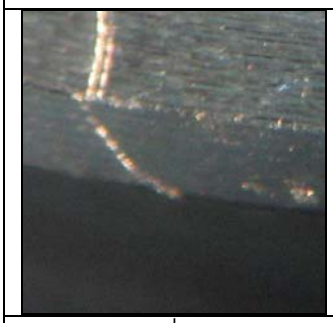
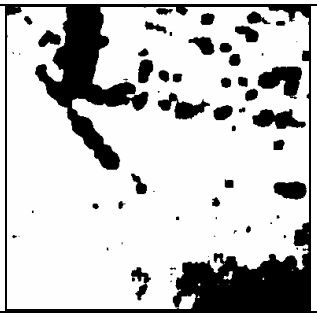
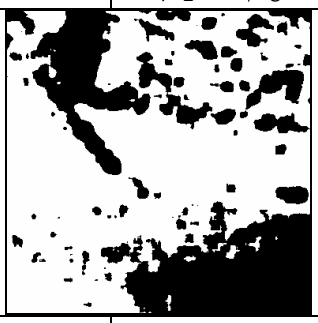
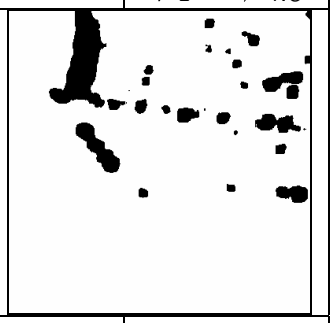
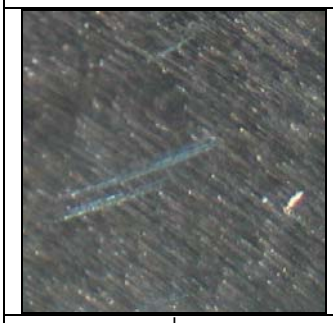
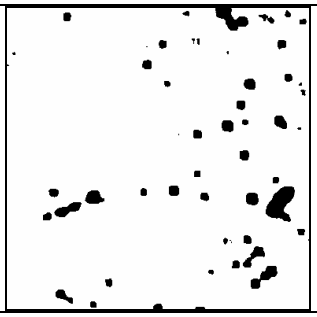
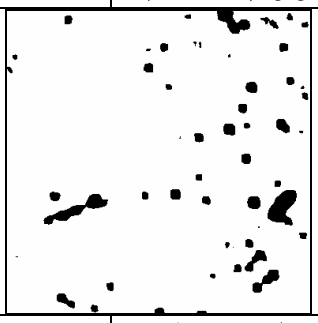
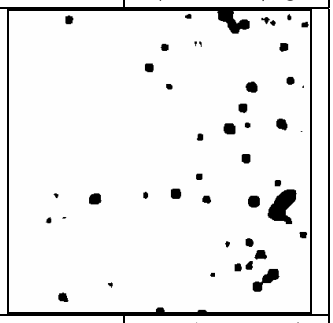
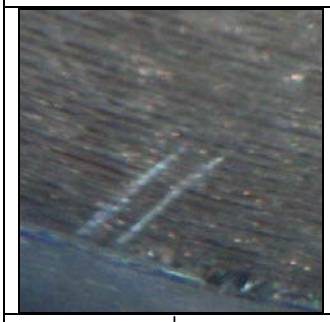
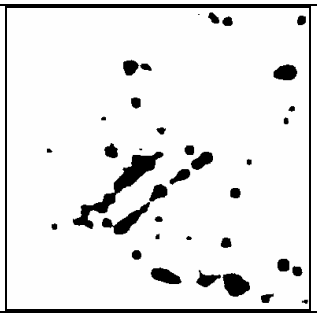
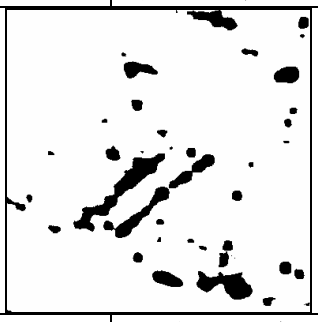
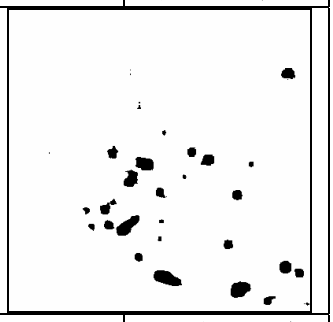
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะรูปที่ 5-8

	MGD (β = 2)	MGGD		MSAS	
					
รูปที่ 5	$D/F = 80/7$	β =1.21	$D/F = 200/7.3$	α =1.63	$D/F = 80/7$
					
รูปที่ 6	$D/F = 100/7$	β =1.21	$D/F = 300/7.3$	α =1.63	$D/F = 300/7$
					
รูปที่ 7	$D/F = 90/7$	β =1.21	$D/F = 300/7.3$	α =1.63	$D/F = 90/7$
					
รูปที่ 8	$D/F = 150/7$	β =1.21	$D/F = 300/7.3$	α =1.63	$D/F = 150/7$

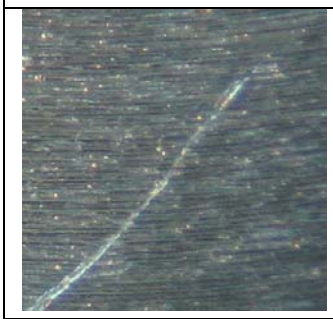
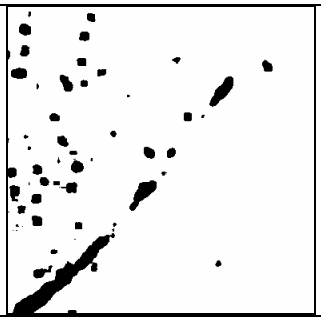
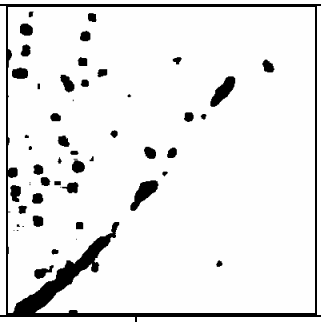
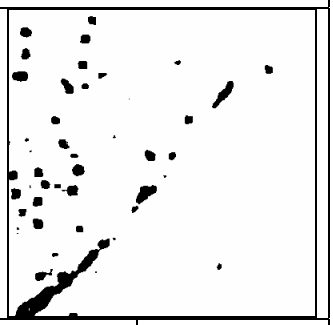
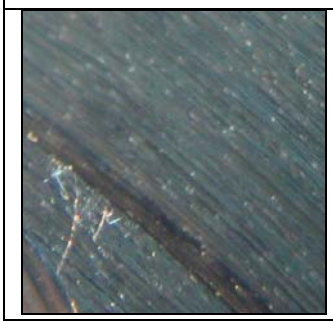
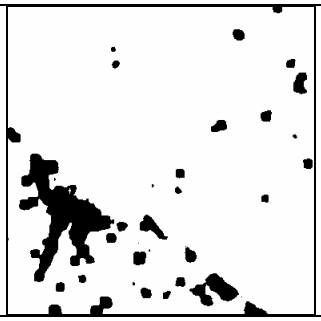
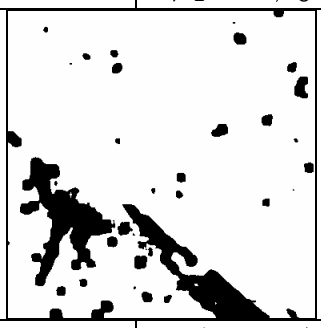
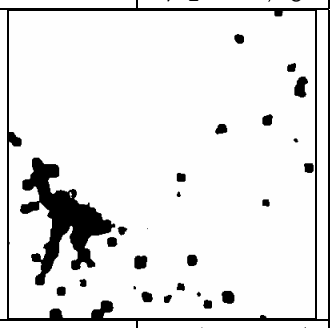
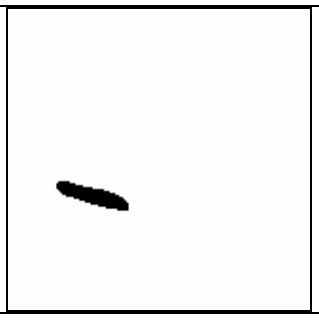
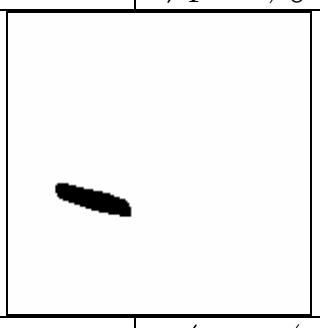
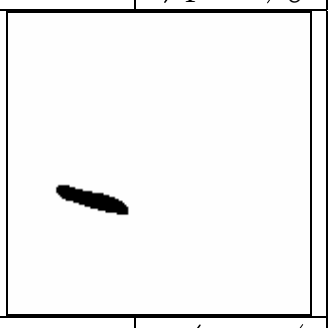
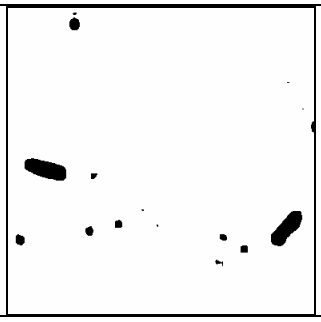
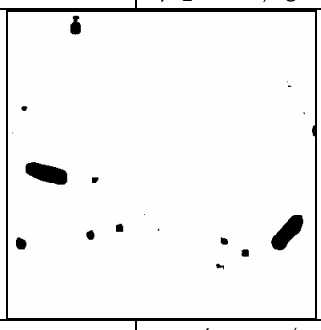
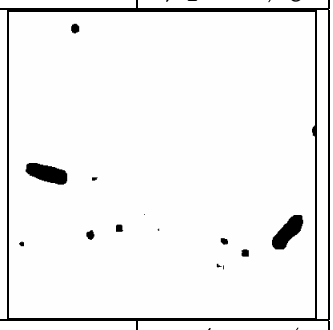
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะรูปที่ 9-12

	MGD (β = 2)	MGGD		MSAS	
					
รูปที่ 9	$D/F = 140/5$	β =1.42	$D/F = 200/5.5$	α =1.77	$D/F = 140/5$
					
รูปที่ 10	$D/F = 100/5$	β =1.42	$D/F = 200/5.5$	α =1.77	$D/F = 100/5$
					
รูปที่ 11	$D/F = 100/5$	β =1.42	$D/F = 150/5.5$	α =1.77	$D/F = 100/5$
					
รูปที่ 12	$D/F = 15/8$	β =1.65	$D/F = 25/8.8$	α =1.71	$D/F = 15/8$

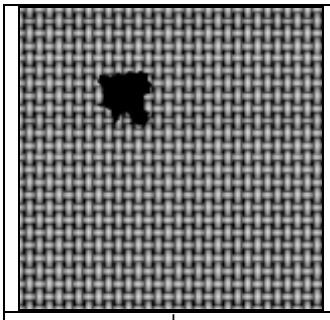
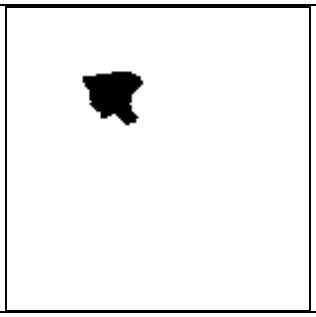
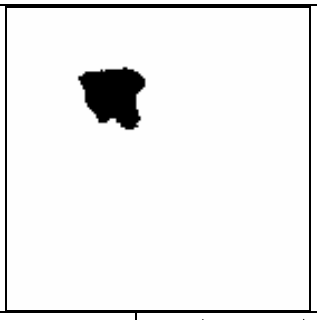
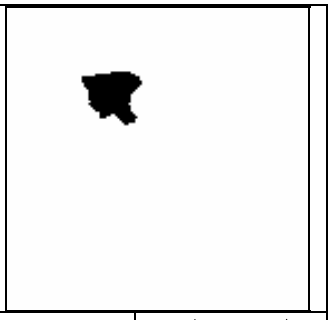
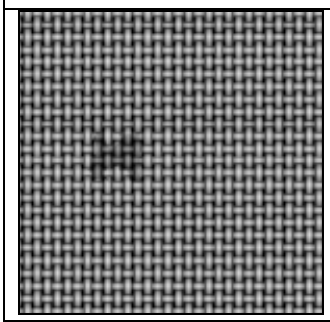
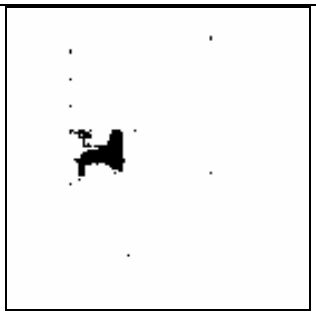
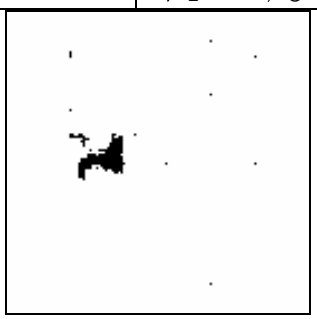
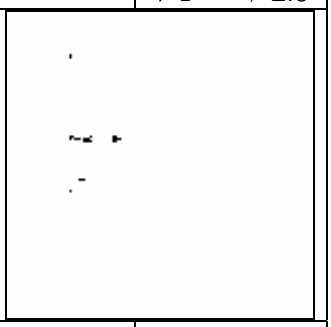
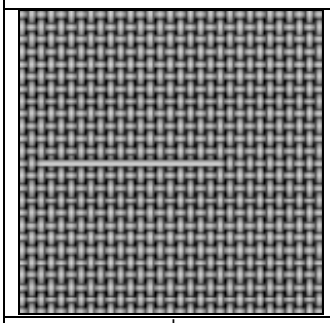
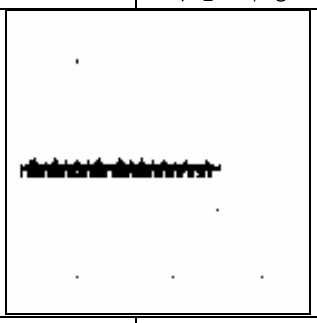
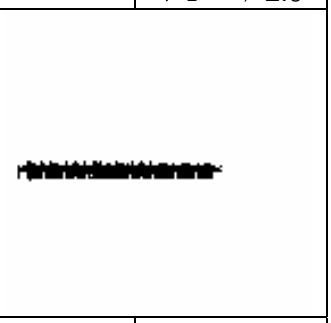
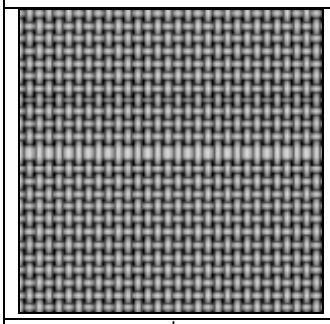
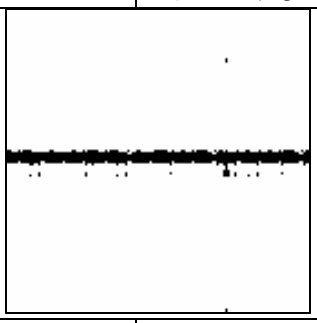
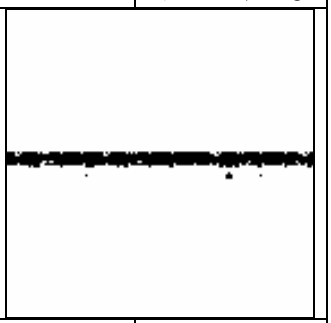
ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะ รูปที่ 13-16

	MGD (β = 2)	MGGD		MSAS	
					
รูปที่ 13	$D/F = 10/4.5$	β =2.2	$D/F = 12/5$	α =2.0	$D/F = 10/4.5$
					
รูปที่ 14	$D/F = 400/6$	β =1.6	$D/F = 800/6.5$	α =1.71	$D/F = 400/6$
					
รูปที่ 15	$D/F = 100/6$	β =1.6	$D/F = 200/6.5$	α =1.71	$D/F = 100/6$
					
รูปที่ 16	$D/F = 80/6$	β =1.6	$D/F = 100/6.5$	α =1.71	$D/F = 80/6$

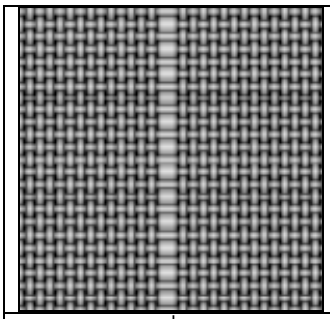
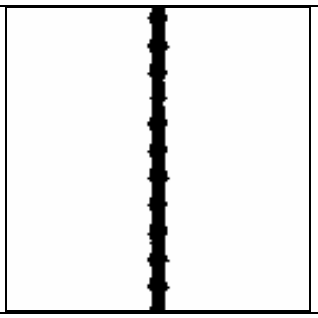
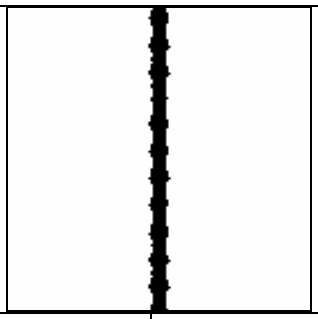
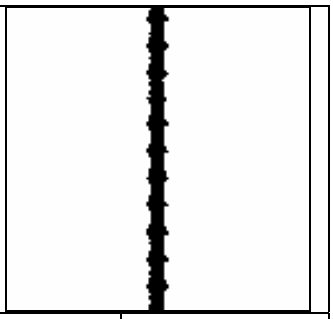
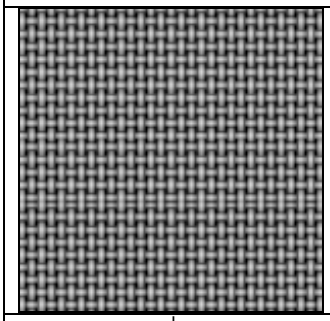
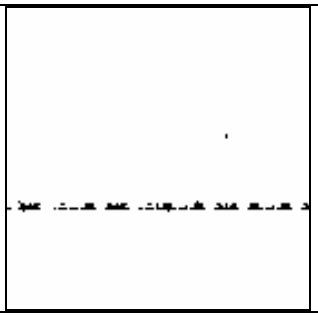
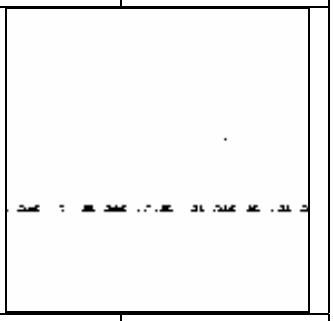
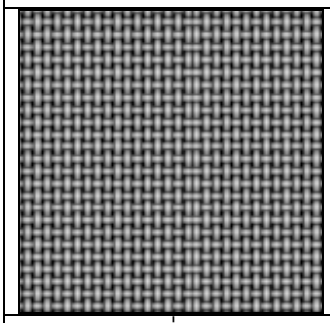
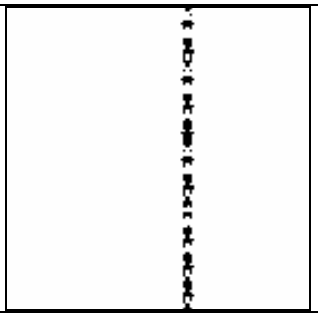
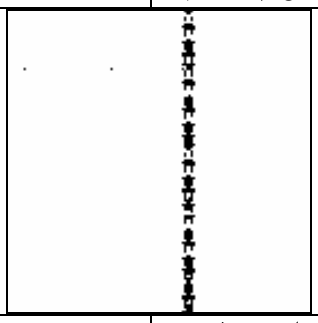
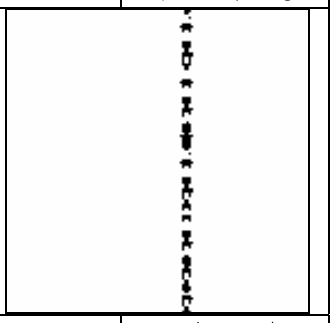
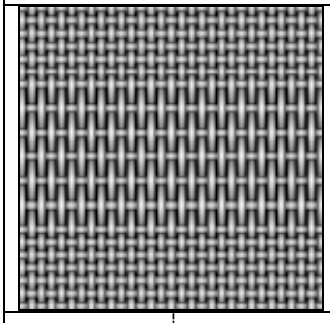
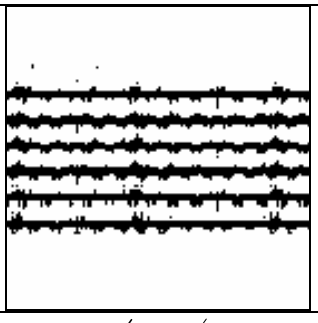
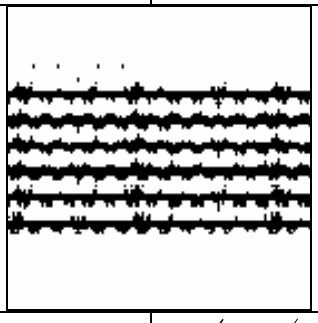
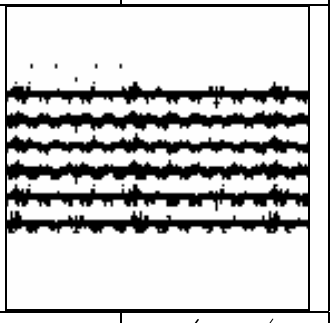
ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวโลหะ รูปที่ 16-20

	MGD ($\beta = 2$)	MGGD		MSAS	
					
รูปที่ 17	$D/F = 180/6$	β =1.65	$D/F = 200/6$	α =1.71	$D/F = 180/6$
					
รูปที่ 18	$D/F = 200/5$	β =1.42	$D/F = 300/5$	α =1.77	$D/F = 200/5$
					
รูปที่ 19	$D/F = 600/5$	β =1.42	$D/F = 900/5$	α =1.77	$D/F = 600/5$
					
รูปที่ 20	$D/F = 20/5$	β =1.42	$D/F = 40/5$	α =1.77	$D/F = 20/5$

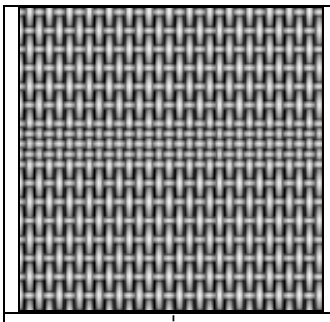
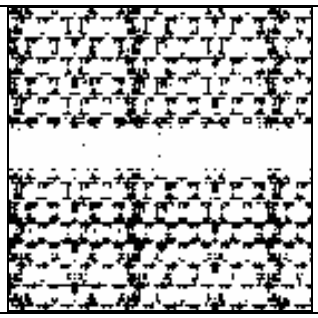
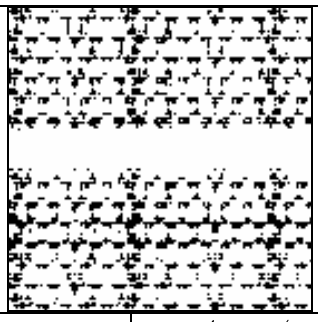
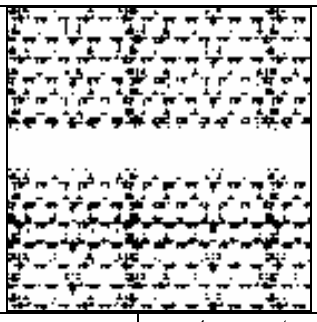
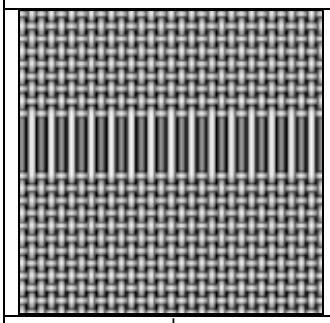
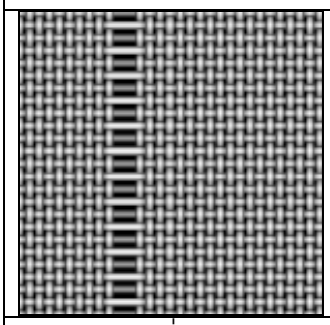
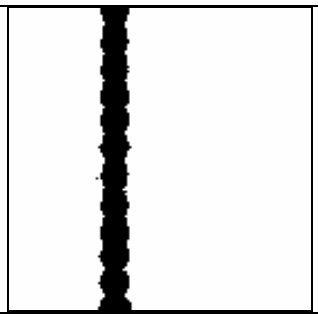
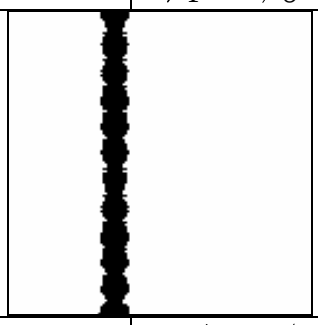
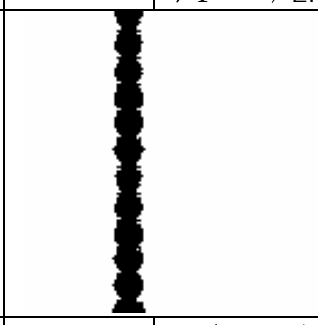
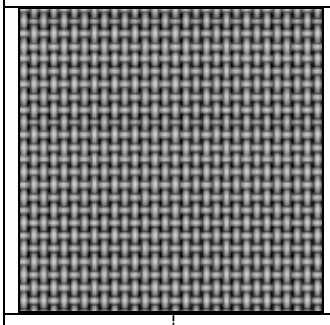
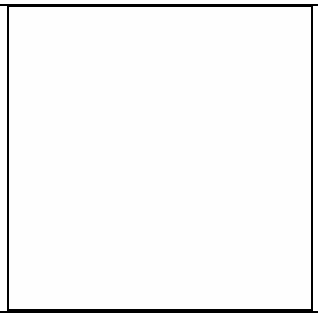
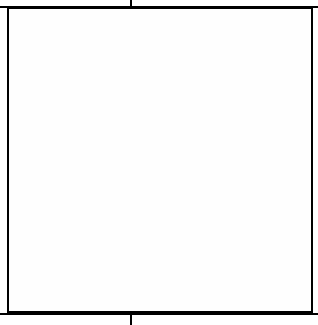
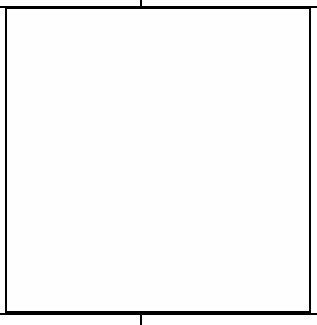
ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งรูปที่ 21-24

					
รูปที่ 21	$D/F = 50/2.9$	β = 3.5	$D/F = 200/3$	α =2.0	$D/F = 50/2.9$
					
รูปที่ 22	$D/F = 4/2.9$	β = 3.5	$D/F = 5/3$	α =2.0	$D/F = 4/2.9$
					
รูปที่ 23	$D/F = 6/2.9$	β = 3.5	$D/F = 10/3$	α =2.0	$D/F = 6/2.9$
					
รูปที่ 24	$D/F = 8/2.9$	β = 3.5	$D/F = 11/3$	α =2.0	$D/F = 8/2.9$

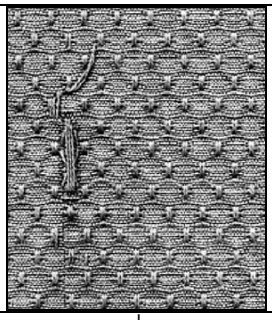
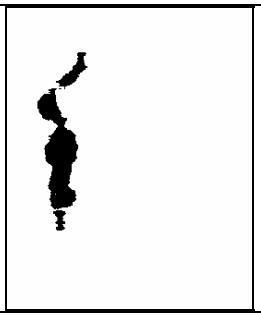
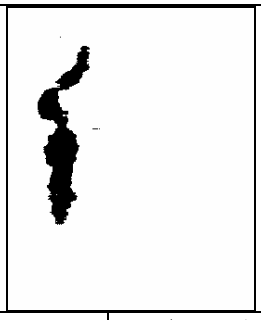
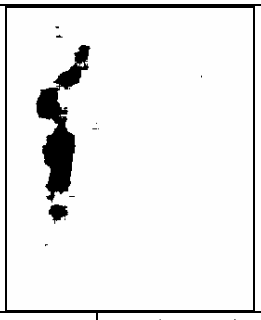
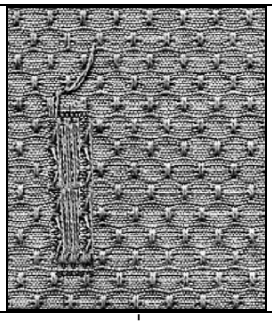
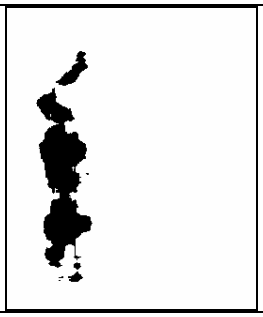
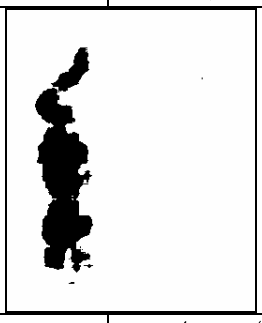
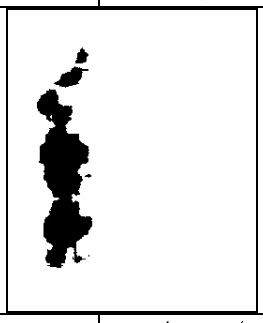
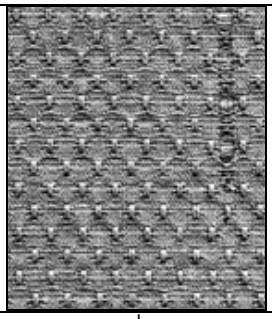
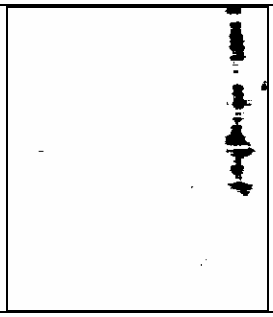
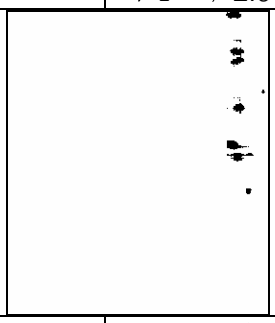
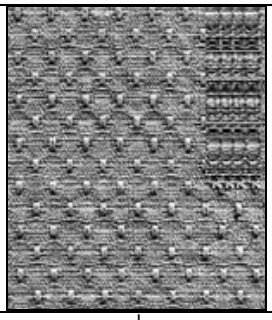
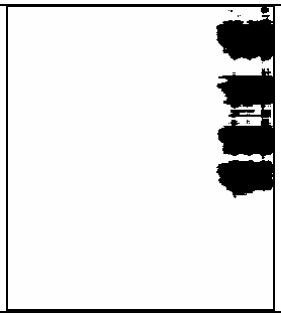
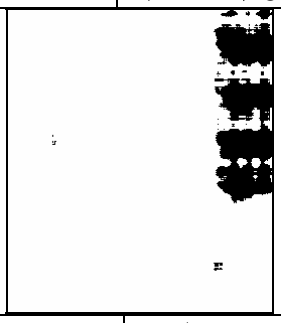
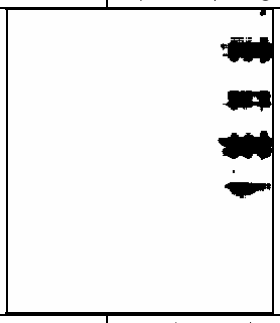
ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งรูปที่ 25-28

					
รูปที่ 25	$D/F = 15/2.9$	β = 3.5	$D/F = 20/3$	α =2.0	$D/F = 15/2.9$
					
รูปที่ 26	$D/F = 4/2.9$	β = 3.5	$D/F = 5/3$	α =2.0	$D/F = 4/2.9$
					
รูปที่ 27	$D/F = 5/2.9$	β = 2.23	$D/F = 6/3$	α =2.0	$D/F = 5/2.9$
					
รูปที่ 28	$D/F = 8/2.9$	β = 3.5	$D/F = 9/3$	α =2.0	$D/F = 8/2.9$

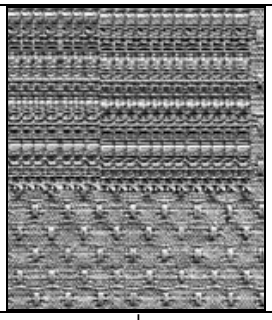
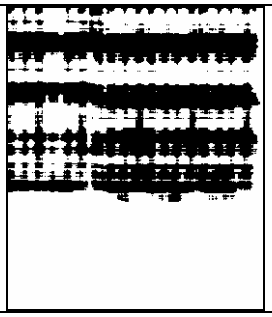
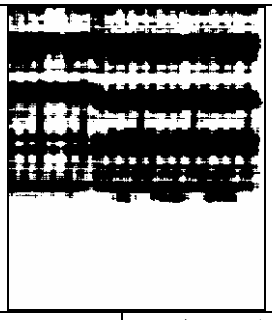
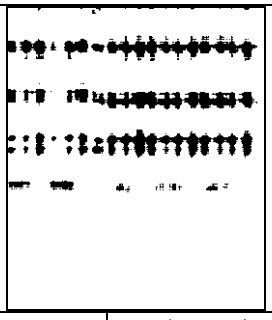
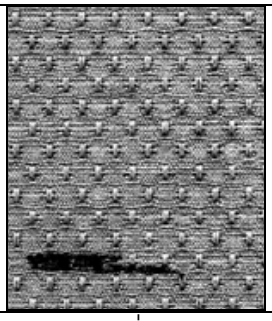
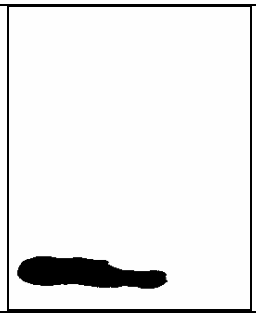
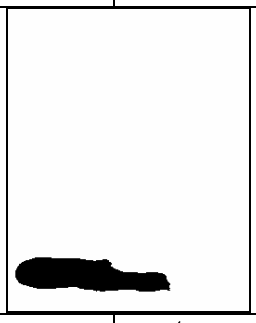
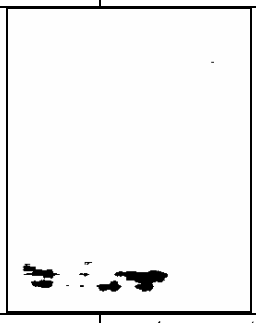
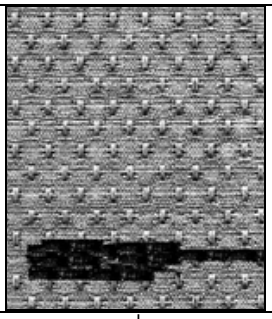
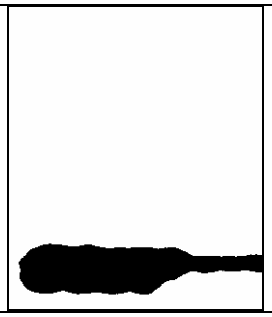
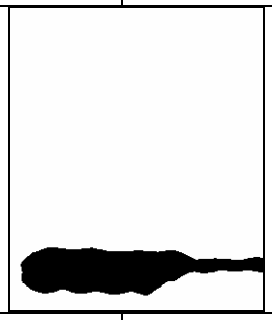
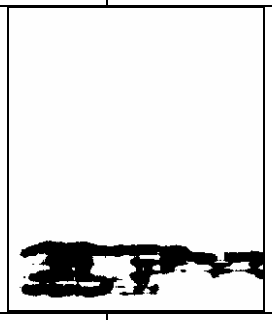
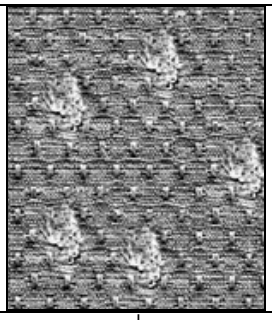
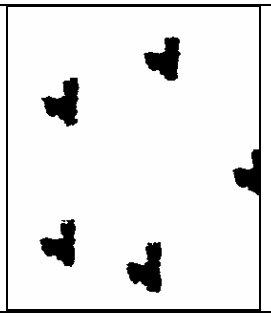
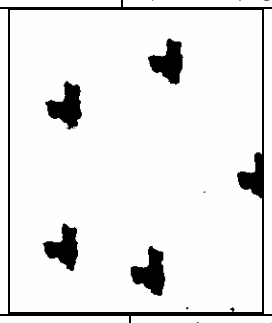
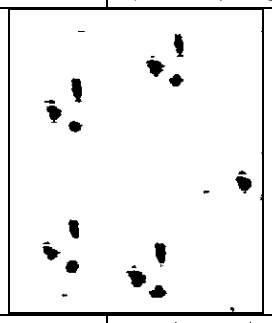
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งรูปที่ 29-32

					
รูปที่ 29	$D/F = 4/2.9$	β =3.5	$D/F = 6/3$	α =2.0	$D/F = 4/2.9$
					
รูปที่ 30	$D/F = 20/2.9$	β =3.5	$D/F = 28/3$	α =2.0	$D/F = 20/2.9$
					
รูปที่ 31	$D/F = 27/2.9$	β =3.5	$D/F = 30/3$	α =2.0	$D/F = 27/2.9$
					
รูปที่ 32	TH = 2.9	β =3.5	TH = 3.0	α =2.0	TH = 2.9

ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองรูปที่ 33-36

						
รูปที่ 33	$D/F = 5/2.9$	β = 4.0	$D/F = 7/3.1$	α =2.0	$D/F = 5/2.9$	
						
รูปที่ 34	$D/F = 6/2.9$	β = 4.0	$D/F = 8/3.1$	α =2.0	$D/F = 5/2.9$	
						
รูปที่ 35	$D/F = 3/2.9$	β = 4.0	$D/F = 3.5/3.1$	α =2.0	$D/F = 5/2.9$	
						
รูปที่ 36	$D/F = 4/2.9$	β = 4.0	$D/F = 4.5/3.1$	α =2.0	$D/F = 5/2.9$	

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องของภาพถ่ายพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองรูปที่ 37-40

					
รูปที่ 37	$D/F = 3/2.9$	β = 4.0	$D/F = 4/3.1$	α =2.0	$D/F = 3/2.9$
					
รูปที่ 38	$D/F = 12/2.9$	β = 4.0	$D/F = 42/3.1$	α =2.0	$D/F = 12/2.9$
					
รูปที่ 39	$D/F = 12/2.9$	β = 4.0	$D/F = 44/3.1$	α =2.0	$D/F = 12/2.9$
					
รูปที่ 40	$D/F = 5/2.9$	β = 4.0	$D/F = 8/3.1$	α =2.0	$D/F = 5/2.9$

จากการทดลองในตารางที่ 4.7 ถึงตารางที่ 4.16 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติหลายตัวแปร โดยแบบจำลอง MGD และ MGGD ให้ผลเท่ากันคือสามารถตรวจสอบข้อบกพร่องได้ถูกต้อง(พิกเซลที่เป็นตำหนิเกินร้อยละ 50) 58 ภาพ สำหรับ MSαS ให้ผลในการตรวจสอบข้อบกพร่องได้ถูกต้อง 56 ภาพจากภาพทั้งหมด 60 ภาพ โดยคิดเป็นร้อยละ 96.67 และ 93.33 ตามลำดับ สำหรับสองภาพที่ตรวจสอบไม่ได้ของแบบจำลอง MGD และ MGGD เนื่องจากลักษณะข้อบกพร่องมีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นผิวปกติมากหรือมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบหลายมิติที่เหมือนกันจึงไม่สามารถหาตำหนิได้ โดยมีสรุปผลการทดลองแบบเปรียบเทียบทั้งสามวิธีการ

ตารางที่ 4.17 ผลการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายจากภาพทดสอบ 60 ภาพ

แบบจำลองทางสถิติ	GD	GGD	SαS	MGD	MGGD	MSαS
จำนวนภาพที่ตรวจสอบได้ถูกต้อง	11	15	10	58	58	56
ร้อยละความถูกต้อง	18.33	25.00	16.67	96.67	96.67	93.33

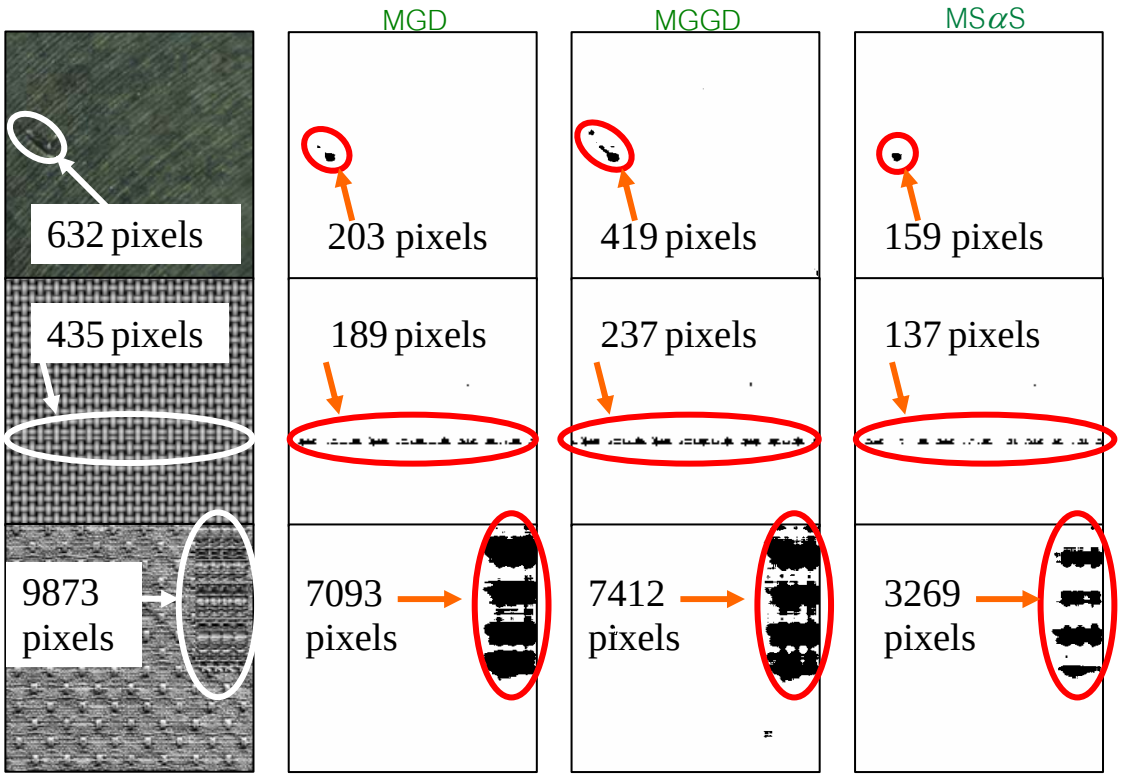
จากตารางที่ 4.17 แบบจำลองทางสถิติแบบหนึ่งตัวแปรมีร้อยละความถูกต้องน้อยกว่าแบบจำลองทางสถิติแบบหลายตัวแปรอยู่มาก สำหรับแบบจำลอง MSαS ให้ผลในการตรวจสอบได้ถูกต้องน้อยกว่าเนื่องจาก KLD ของแบบจำลอง MSαS ไม่ได้พิจารณาค่าเฉลี่ยของข้อมูลจึงทำให้ความถูกต้องในการตรวจสอบลดลง สำหรับ MGD และ MGGD มีผลการตรวจสอบในเรื่องจำนวนที่ตรวจสอบได้ถูกต้องเท่ากัน แต่ผลในเรื่องอัตราส่วนค่าระยะทางความแตกต่างระหว่างพื้นผิวที่มีตำหนิส่วนพื้นผิวปกตินั้น แบบจำลองของ MGGD ให้ผลที่สูงกว่าเนื่องจาก MGGD มีค่า β เป็นทั้งตัวคูณและตัวยกกำลังในสมการ KLD ของ MGGD นั่นเอง ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าความแตกต่างระหว่างพื้นผิวที่มีตำหนิส่วนพื้นผิวปกติแสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 อัตราส่วนค่าความแตกต่างระหว่างพื้นผิวที่มีตำหนิส่วนพื้นผิวปกติ D/F

แบบจำลองทางสถิติ	MGD	MGGD
ภาพถ่ายลายโลหะ	22.76	37.74
ภาพถ่ายลายทอผ้ากลุ่มที่หนึ่ง	4.73	10.00
ภาพถ่ายลายทอผ้ากลุ่มสอง	2.16	4.90

ผลการเปรียบเทียบจำนวนพิกเซลที่เป็นข้อบกพร่องด้วยแบบจำลองทางสถิติแบบหลายตัวแปร

ในการวัดประสิทธิภาพของการตรวจสอบข้อบกพร่องบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายด้วยแบบจำลองทางสถิติแบบหลายตัวแปร จะใช้การนับจำนวนพิกเซลที่เป็นข้อบกพร่องจากรูปที่ 2, 26 และ 36 ในตารางที่ 4.7, 4.13 และ 4.15 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบจำนวนพิกเซลที่เป็นข้อบกพร่องด้วย MGD, MGGD, MSαS

ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนพิกเซลที่เป็นข้อบกพร่อง (ร้อยละ)

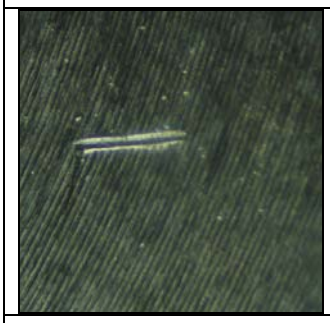
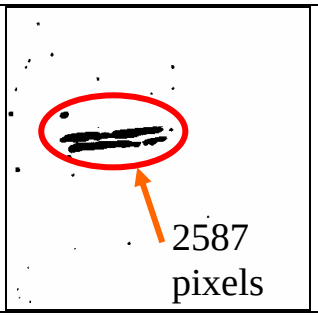
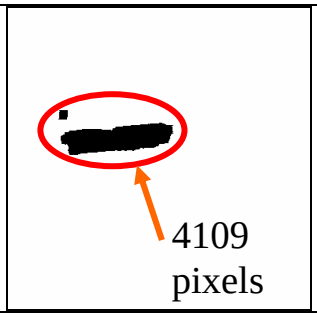
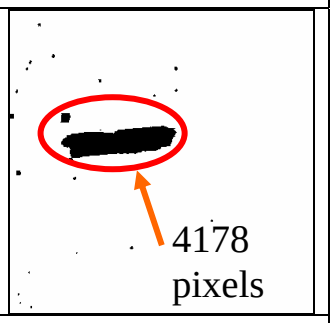
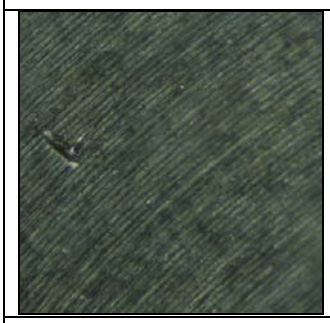
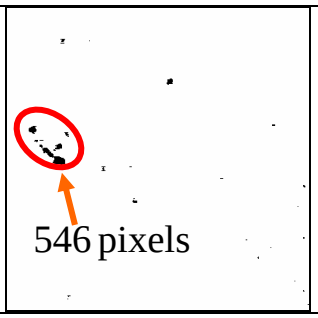
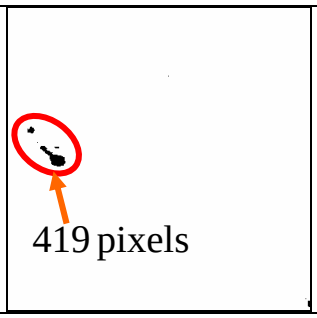
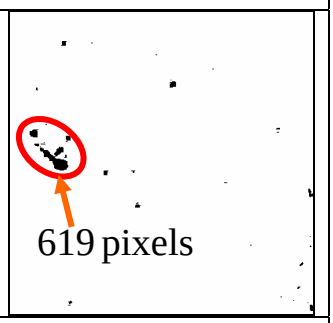
แบบจำลองทางสถิติ	MGD	MGGD	MSαS
ภาพถ่ายลายโลหะ	32.12	66.30	25.16
ภาพถ่ายลายทอผ้ากลุ่มที่หนึ่ง	43.45	54.48	31.49
ภาพถ่ายลายทอผ้ากลุ่มสอง	71.86	75.09	33.12

จากรูปที่ 4.15 และ ตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง MGGD สามารถตรวจสอบบริเวณที่เป็นข้อบกพร่องได้ถูกต้องมากกว่า MGD และ MSαS

ผลการเปรียบเทียบขนาดหน้าต่างของพื้นผิวลวดลายที่ใช้ในการตรวจสอบ

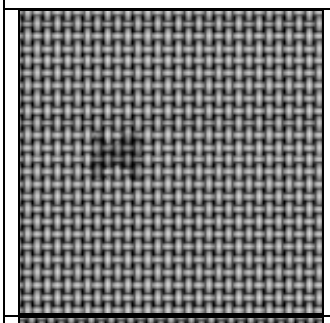
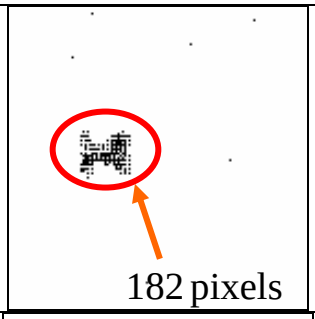
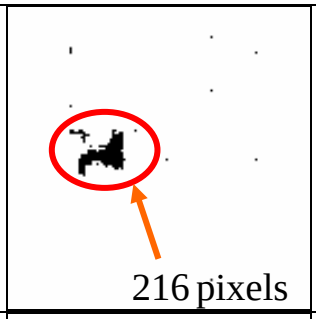
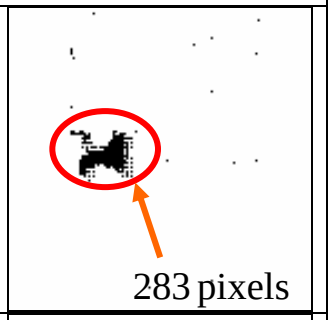
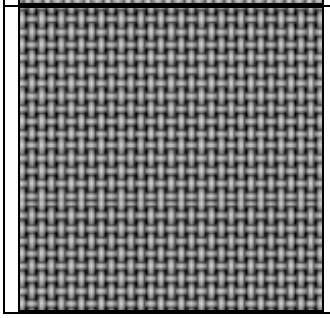
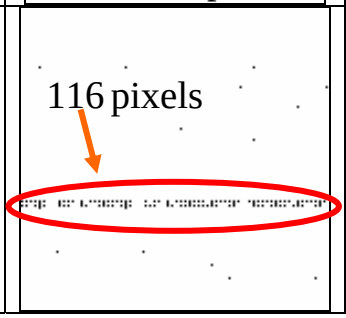
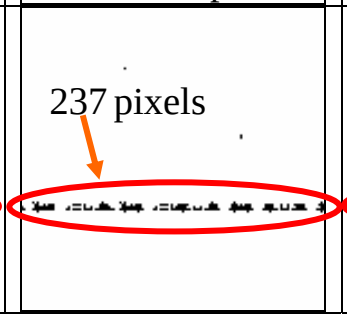
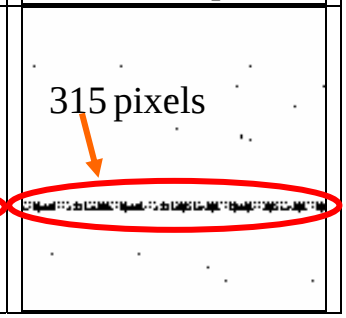
จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง MGGD มีความเหมาะสมในการตรวจตราภาพถ่ายที่มีลวดลายมากกว่าแบบจำลอง MGD และ MSαS การทดลองนี้จะเป็นการวิเคราะห์ถึงผลของขนาดหน้าต่างที่ใช้ในการตรวจสอบที่ขนาด 9x9 และ 15x15 พิกเซล ด้วยแบบจำลอง MGGD ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.20 แสดงผลของการตรวจสอบภาพถ่ายพื้นผิวโลหะด้วยขนาดหน้าต่าง 9x9 และ 15x15 พิกเซล

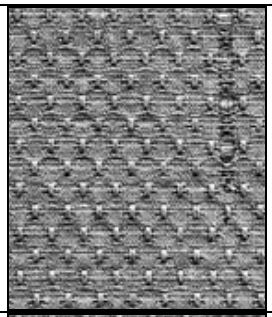
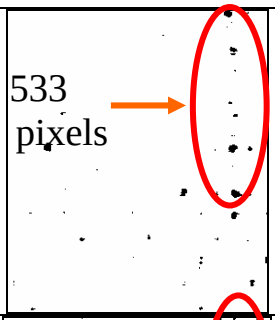
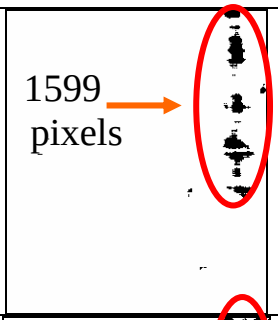
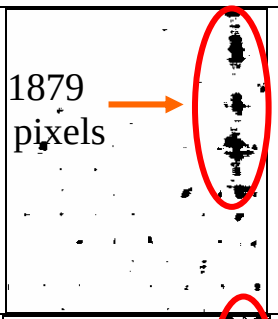
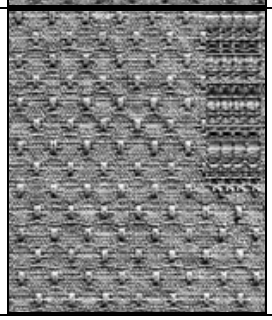
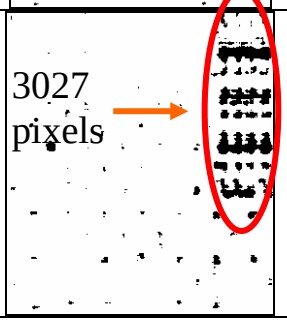
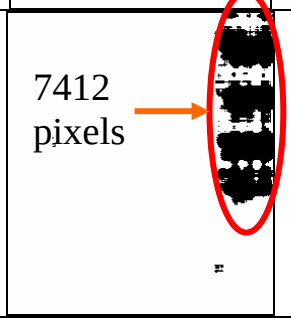
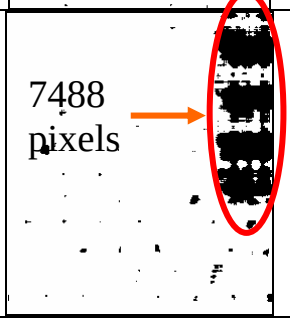
ขนาดหน้าต่าง (Size of window)			
	9x9 พิกเซล	15x15 พิกเซล	9x9 พิกเซล OR 15x15 พิกเซล
			
	η = 12	η = 4.1	
			
	η = 12	η = 4.1	

จากตารางที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าขนาดหน้าต่างที่มีขนาด 9x9 พิกเซลจะสามารถตรวจสอบข้อบกพร่องที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้ ดีกว่าขนาด 15x15 พิกเซล แต่ค่า η จะมีค่าสูง 15x15 พิกเซล ถ้า η มีค่าสูงโอกาสที่จะตรวจสอบผิดพลาดในบริเวณที่เป็นปกติก็มีสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.21 ผลการตรวจสอบพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งด้วยขนาดหน้าต่าง 9x9 และ 15x15 พิกเซล

ขนาดหน้าต่าง (Size of window)			
	9x9 พิกเซล	15x15 พิกเซล	9x9 พิกเซล OR 15x15 พิกเซล
			
			

ตารางที่ 4.22 ผลการตรวจสอบพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สองด้วยขนาดหน้าต่าง 12x12และ 21x21 พิกเซล

ขนาดหน้าต่าง (Size of window)			
	12x12 พิกเซล	21x21 พิกเซล	12x12 พิกเซล OR 21x21 พิกเซล
			
			

จากตารางที่ 4.20-4.21 พบว่าการใช้หน้าต่างของพื้นผิวลวดลายที่มีขนาด 9x9 พิกเซลจะให้ผลการตรวจสอบพิกเซลที่ถูกต้องมากขึ้นในตำแหน่งที่เป็นข้อบกพร่อง แต่ให้ผลการตรวจสอบพิกเซลที่ผิดพลาดมากขึ้นในตำแหน่งที่เป็นพื้นผิวปกติ เมื่อเทียบหน้าต่างขนาด 15x15 พิกเซล เพราะไม่สามารถจำลองพื้นผิวลวดลายได้ทั้งหมด และผลของการรวมภาพแบบ OR จากผลของหน้าต่างขนาด 9x9 และ 15x15 พิกเซล สำหรับพื้นผิวโลหะและพื้นผิวผ้ากลุ่มที่หนึ่งให้ผลการตรวจสอบที่ดีขึ้นเพราะพื้นผิวมีลวดลายขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.23 ผลการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวจากภาพทดสอบกลุ่มที่หนึ่งและกลุ่มที่สอง จำนวน 40 ภาพ ด้วยแบบจำลอง MGGD สำหรับหน้าต่างขนาด 9x9, 15x15 และ 9x9 OR 15x15 พิกเซล

แบบจำลองทางสถิติ	9x9 พิกเซล	15x15 พิกเซล	9x9 OR 15x15 พิกเซล
จำนวนภาพที่ตรวจสอบได้ถูกต้อง	39	39	39
ร้อยละความถูกต้อง	97.50	97.50	97.50

จากตารางที่ 4.22 สำหรับพื้นผิวผ้ากลุ่มที่สอง ผลของการตรวจสอบด้วยหน้าต่างขนาด 12x12 พิกเซล ให้ผลการตรวจสอบที่ผิดพลาดมากขึ้นเมื่อเทียบกับหน้าต่างขนาด 21x21 พิกเซล เพราะพื้นผิวมีลวดลายขนาดใหญ่ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้หน้าต่างขนาด 12x12 พิกเซลในการตรวจสอบข้อบกพร่อง สำหรับผลของการรวมภาพแบบ OR จากผลของการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยหน้าต่างขนาด 12x12 และ 21x21 พิกเซล ให้ผลการตรวจสอบบริเวณพื้นผิวที่เป็นปกติมีความผิดพลาดมากขึ้น

ตารางที่ 4.24 ผลการตรวจสอบภาพถ่ายของพื้นผิวจากภาพทดสอบกลุ่มที่สามจำนวน 20 ภาพ ด้วยแบบจำลอง MGGD สำหรับหน้าต่างขนาด 12x12, 21x21 และ 12x12 OR 21x21 พิกเซล

แบบจำลองทางสถิติ	12x12 พิกเซล	21x21 พิกเซล	12x12 OR 21x21 พิกเซล
จำนวนภาพที่ตรวจสอบได้ถูกต้อง	16	19	19
ร้อยละความถูกต้อง	80.00	95.00	95.00

จากผลการตรวจสอบบนภาพถ่ายของพื้นผิวที่มีลวดลายทั้งสามกลุ่มสามารถสรุปได้ว่าใช้หน้าต่างของพื้นผิวลวดลายที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับสาม สำหรับขนาดหน้าต่างของภาพถ่ายกลุ่มที่หนึ่งเท่ากับ 15x15 พิกเซล ขนาดหน้าต่างของภาพถ่ายกลุ่มที่สองเท่ากับ 15x15 พิกเซลและขนาดหน้าต่างของภาพถ่ายกลุ่มที่สามเท่ากับ 21x21 พิกเซลจะเหมาะสมที่สุดเพราะให้ผลการตรวจสอบจากภาพถ่ายถูกต้อง 58 ภาพ(พิกเซลที่เป็นตำหนิเกินร้อยละ 50) จากภาพถ่ายทั้งหมด 60 ภาพ เท่ากับผลการตรวจสอบด้วยการรวมขนาดหน้าต่างซึ่งให้ผลการตรวจสอบถูกต้องเท่ากับ 58 ภาพ ดังตารางที่ 4.23 และ 4.24