

บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์

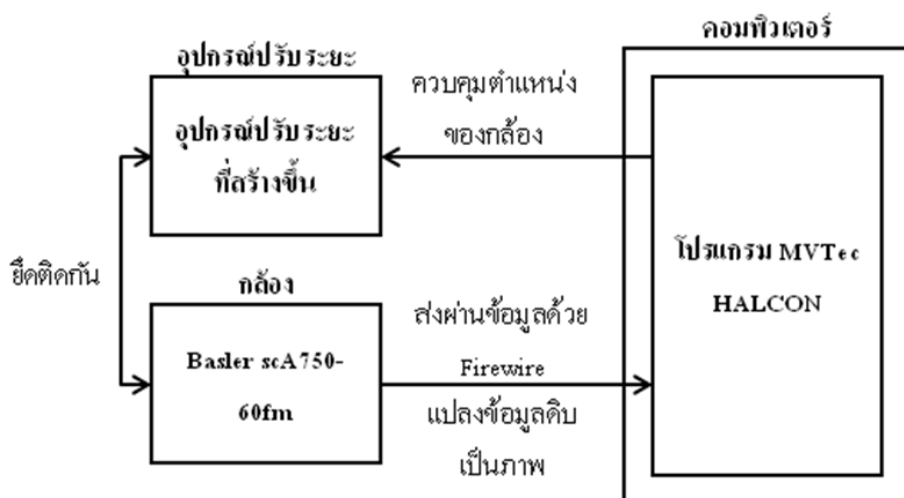
ในส่วนของการทดลองจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ครั้ง ประกอบไปด้วย การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เหมาะสมกับแบบจำลอง การจำลองการทำงานในอุตสาหกรรม การเปรียบเทียบค่าความพร่ามัวด้วยการถ่ายภาพ slider bar จำนวน 25 bar และ การให้แสงที่ไม่สม่ำเสมอ

4.1 การทดลองถ่ายภาพ Slider bar

การทดลองครั้งที่ 1 จะแสดงการประยุกต์ใช้การประมาณค่า PSF (Point spread function) เพื่อวัดความพร่ามัวของภาพที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นจะประกอบไปด้วยงานวิจัยของ Fergus และ Q. Shan โดยจะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เหมาะสมกับแบบจำลอง ในการเปรียบเทียบนี้จะกำหนดขนาดของเคอร์เนลมีค่าเป็น 5×5 พิกเซล ทั้งสองวิธีการ และการปรับแต่งอัลกอริทึมอื่นๆ จะใช้ค่าเริ่มต้นของตัวแปรของด้วยค่ามาตรฐาน ซึ่งจะเปรียบเทียบด้วยการถ่ายภาพ slider bar ของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ ดังรูปที่ 4.1 ที่ระยะ $80 \mu\text{m}$, $40 \mu\text{m}$ จากระยะก่อนจุดโฟกัส และที่จุดโฟกัส ตามลำดับ โดยใช้กล้อง Basler scA750-60fm High Performance Firewire Monochrome Area Scan Camera ซึ่งมีขนาดพิกเซล $6.0 \times 6.0 \mu\text{m}$ และใช้เลนส์ Moritex MML6-HR65D เฉพาะชิ้นส่วนที่มีกำลังขยาย 2X ในส่วนของวิธีการถ่ายภาพ ตัวกล้องจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน Firewire ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพบางส่วนของ slider bar ที่ระยะจุดโฟกัส

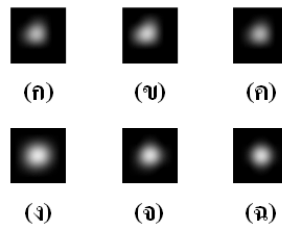


รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการถ่ายภาพด้วยกล้อง Basler scA750-60fm



รูปที่ 4.3 กล้อง Basler scA750-60fm ที่ทำการยึดติดกับอุปกรณ์ปรับระยะ

จากผลการประเมินค่า PSF ของทั้งสองวิธีการจะแสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งภาพที่ชัดควรมีค่าความพร่ามัวน้อย หรือมีลักษณะเป็นจุด ส่วนภาพที่ไม่ชัดควรมีค่าความพร่ามัวมาก หรือมีลักษณะเป็นจุดที่กระจายตัวออกเป็นวงกลม แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความพร่ามัวด้วยรูปอาจจะสังเกตได้ยากกว่าวิธีการใดเหมาะสมกว่ากัน ดังนั้นการเปรียบเทียบด้วยค่าความพร่ามัวด้วยตัวเลขจะทำให้เห็นผลลัพธ์ได้ดีขึ้น ซึ่งวิธีการหาค่าความพร่ามัวจากรูปนั้นสามารถทำได้หลายวิธี พวกเราจึงยกตัวอย่างวิธีที่ง่ายและสามารถแสดงผลได้ชัดเจนด้วยวิธีการหาผลรวมความสว่างของทุกพิกเซลหารด้วยค่าความสว่างสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 255 ใน PSF ที่ประมาณค่าได้จากอัลกอริทึมดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 (ก), (ข) และ (ค) แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากวิธีการของ Fergus ด้วยการถ่ายภาพ โดยที่ทราบระยะจากจุดโฟกัสด้วยระยะ 80 μm , 40 μm จากระยะก่อนจุดโฟกัส และที่จุดโฟกัส ตามลำดับ
(ง), (จ) และ (ฉ) แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากวิธีการของ Q. Shan ด้วยการถ่ายภาพ โดยที่ทราบระยะจากจุดโฟกัสด้วยระยะ 80 μm , 40 μm จากระยะก่อนจุดโฟกัส และที่จุดโฟกัส ตามลำดับ

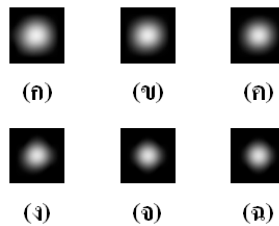
ตารางที่ 4.1 ค่าความพร่ามัว และระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส ที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการวัดของ Fergus และ Q. Shan

ระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส	ค่าความพร่ามัวของ Fergus	ค่าความพร่ามัวของ Q. Shan
80 μm	478	897
40 μm	591	632
ภาพที่จุดโฟกัส	436	519

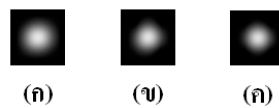
จากการทดลองเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าค่าความพร่ามัวของ Fergus จะเห็นได้ว่าการเรียงตัวของข้อมูลที่ ไม่เหมาะสม เนื่องจากการค่าความพร่ามัวที่ระยะ 80 μm ก่อนจุดโฟกัส ควรค่ามากกว่าที่ระยะ 40 μm ก่อนจุดโฟกัส และเมื่อสังเกตค่าความพร่ามัวของ Q. Shan จะเห็นได้ว่าการเรียงตัวของข้อมูลที่ เหมาะสมกว่า และสอดคล้องกับแบบจำลองมากกว่า โดยค่าความพร่ามัวจากภาพที่จุดโฟกัส ควรจะมีค่าน้อยสุดและเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อมีระยะห่างระหว่างวัตถุกับโฟกัสมากขึ้น แต่ไม่จำเป็นจะต้องมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นพวกเราจึงได้เลือกใช้อัลกอริทึมของ Q. Shan เนื่องจากมีการกระจายตัวของ PSF ที่เหมาะสมกับแบบจำลองของเรา

การทดลองครั้งที่ 2 แสดงการจำลองการทำงานในอุตสาหกรรม โดยการปรับแต่งอัลกอริทึมของ Q. Shan จะใช้ค่าเริ่มต้นของตัวแปรของด้วยค่ามาตรฐาน และกำหนดให้ขนาดของเคอร์เนลมีค่าเป็น 5x5 พิกเซล ด้วยการบันทึกค่าความพร่ามัวโดยการถ่ายภาพวัตถุทุกๆ ระยะ 20 μm และ 25 μm ภายใต้ขอบเขตระยะของจุดโฟกัส โดยใช้กล้อง Basler scA750-60fm High Performance Firewire

Monochrome Area Scan Camera ซึ่งมีขนาดพิกเซล $6.0 \times 6.0 \mu\text{m}$ และใช้เลนส์ Moritex MML6-HR65D เฉพาะชิ้นส่วนที่มีกำลังขยาย 2X และนำภาพทั้งหมดไปหาค่าความพร่ามัว และระยะที่ห่างจากจุดโฟกัส ขั้นตอนต่อไปเราจะถ่ายภาพ slider bar ที่มีรหัสแตกต่างจากตัวแรกโดยไม่ทราบระยะโฟกัส จากนั้นนำภาพที่ได้ไปหาค่าความพร่ามัวเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้บันทึกไว้เพื่อทำการปรับตำแหน่งของวัตถุไปยังจุดโฟกัส ซึ่งผลจากการประมาณค่า PSF ที่ได้จากการถ่ายภาพทั้ง 6 ระยะก่อนจุดโฟกัส เพื่อทำการบันทึก จะถูกแสดงในรูปที่ 4.5 และผลจากการประมาณค่า PSF ที่ได้จากการถ่ายภาพทั้ง 3 ระยะก่อนจุดโฟกัส เพื่อนำไปเปรียบเทียบ จะถูกแสดงในรูปที่ 4.6 โดยค่าความพร่ามัว และระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัสที่ได้จากการเรียนรู้จะถูกแสดงในตารางที่ 4.2 และค่าที่ไม่ทราบระยะห่างจากจุดโฟกัสจะถูกแสดงในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าผลการทดลองเป็นไปตามการออกแบบที่วางไว้ ตัวอย่างเช่น ที่ระยะห่าง $25 \mu\text{m}$ จะมีค่าอยู่ระหว่าง $20 \mu\text{m}$ และ $40 \mu\text{m}$ ซึ่งจะมีค่าความพร่ามัวที่ใกล้เคียง $20 \mu\text{m}$ มากกว่า



รูปที่ 4.5 (ก), (ข), (ค), (ง), (จ) และ (ฉ) แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากการถ่ายภาพโดยที่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 2 ด้วยระยะ 100 μm , 80 μm , 60 μm , 40 μm , 20 μm จากระยะก่อนจุดโฟกัส และที่จุดโฟกัส ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 (ก), (ข) และ (ค) แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากการสมมุติให้ถ่ายภาพโดยที่ไม่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 2 ด้วยระยะ 75 μm , 50 μm และ 25 μm จากระยะก่อนจุดโฟกัสตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ค่าความพร่ามัว และระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส ที่ได้จากการถ่ายภาพโดยที่ทราบ ระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 2

ค่าความพร่ามัว	ระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส
1034	100 μm
897	80 μm
760	60 μm
632	40 μm
536	20 μm
519	ภาพที่จุดโฟกัส

ตารางที่ 4.3 ค่าความพร่ามัว และระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส ที่ได้จากการสมมุติให้ถ่ายภาพโดยที่ไม่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 2

ค่าความพร่ามัว	ระยะห่างของวัตถุกับจุดโฟกัส
835	75 μm
637	50 μm
543	25 μm

การทดลองครั้งที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความพร่ามัวด้วยการถ่ายภาพ slider bar จำนวน 25 bar โดยการปรับแต่งอัลกอริทึมของ Q. Shan จะใช้ค่าเริ่มต้นของตัวแปรของด้วยค่ามาตรฐาน และกำหนดให้ขนาดของเคอร์เนลมีค่าเป็น 3x3 และ 5x5 พิกเซล ด้วยการบันทึกค่าความพร่ามัวโดยการถ่ายภาพวัตถุทุกๆ ระยะ 20 μm ภายใต้ขอบเขตระยะของจุดโฟกัส โดยใช้กล้อง Basler acA1300-30gm GigE Vision Monochrome Area Scan Camera ซึ่งมีขนาดพิกเซล 3.75 x 3.75 μm และใช้เลนส์ Moritex MML6-HR65D เฉพาะชิ้นส่วนที่มีกำลังขยาย 2X และนำภาพทั้งหมดไปหาค่าความพร่ามัว และระยะที่ห่างจากจุดโฟกัส จากผลการทดลองค่าความพร่ามัวที่ระยะต่างๆ ด้วยเคอร์เนลที่มีขนาด 3x3 จะถูกแสดงในตารางที่ 4.4 และผลการทดลองค่าความพร่ามัวที่ระยะต่างๆ ด้วยเคอร์เนลที่มีขนาด 5x5 จะถูกแสดงในตารางที่ 4.5 โดยที่สัญลักษณ์ “-” หมายถึง ไม่สามารถประมาณค่า PSF ได้ เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการประมาณค่าอาจจะยังไม่สมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวัตถุชิ้นต่างๆ ที่ระยะเดียวกัน จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้ค่อนข้างเกาะกลุ่มกัน โดยที่ระยะที่ 1 ถึง 4 จะเป็นระยะก่อนโฟกัส และระยะโฟกัสของภาพจะอยู่ที่ตำแหน่งระหว่างระยะที่ 5 และ 6 ส่วนระยะที่ 7 จะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงระยะหลังโฟกัสของภาพ ในขณะที่ค่าความพร่ามัวบางช่องที่มีค่าแตกต่างจากช่องอื่นๆ ซึ่งผลจากความผิดพลาดอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การประมาณค่า PSF

ยังไม่ดีพอ การวางวัตถุต่างระดับ การสั้นของกล้องหรือวัตถุขณะถ่ายภาพ และการให้แสงที่ไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น

ตารางที่ 4.4 ค่าความพร่ามัวที่ระยะต่างๆ ด้วยเคอร์เนลที่มีขนาด 3x3

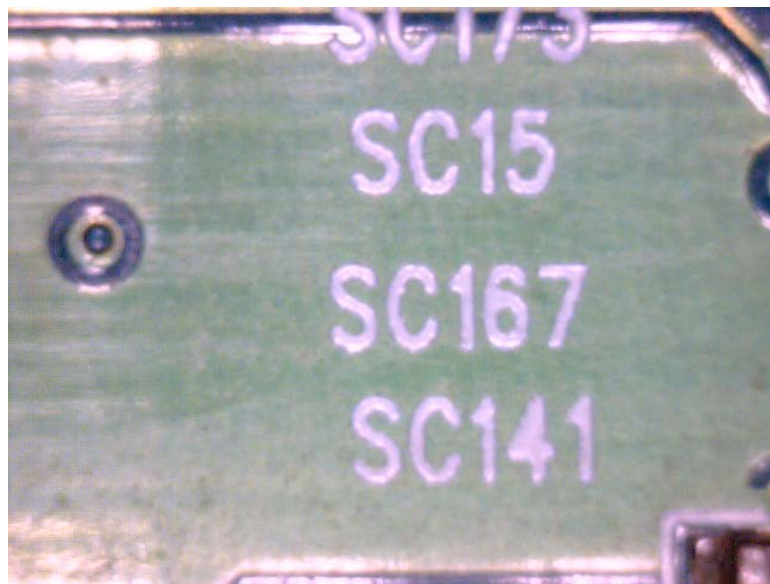
วัตถุที่	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3	ระยะที่ 4	ระยะที่ 5	ระยะที่ 6	ระยะที่ 7
01	2.93	2.88	2.34	2.13	2.21	1.92	2.62
02	3.53	2.52	2.39	1.89	1.86	1.96	2.55
03	3.27	2.93	2.62	2.19	1.81	2.20	1.93
04	3.33	2.98	3.13	2.20	1.83	1.86	2.17
05	3.10	3.33	2.53	1.98	1.78	1.79	1.91
06	3.43	3.03	3.12	2.24	1.80	1.80	1.92
07	3.13	2.76	2.98	1.96	2.52	1.87	1.95
08	3.04	2.84	2.44	2.13	1.81	2.34	2.10
09	3.07	2.76	2.97	1.99	1.72	1.80	2.11
10	3.33	2.88	2.53	2.12	1.75	2.32	1.96
11	3.16	3.05	2.56	2.20	1.87	1.83	1.94
12	2.68	3.08	3.09	2.35	2.09	1.83	1.89
13	3.44	2.95	3.15	2.21	1.81	1.79	1.89
14	3.74	3.06	2.69	2.41	1.86	2.17	2.02
15	3.05	2.76	2.50	2.54	1.96	1.94	2.02
16	3.23	2.86	2.65	2.18	1.84	1.85	1.94
17	3.22	2.97	2.55	2.13	1.78	1.77	1.91
18	3.66	3.43	2.70	2.35	1.96	1.78	1.85
19	3.39	2.77	2.55	2.21	1.92	1.87	1.90
20	3.20	2.91	2.54	2.24	1.99	1.80	2.16
21	3.14	2.84	2.22	2.30	1.77	1.82	2.51
22	3.14	2.74	2.45	2.12	1.78	1.75	1.91
23	3.41	2.95	2.56	2.17	1.74	2.61	2.42
24	3.50	3.05	2.56	2.24	1.83	1.77	1.85
25	3.15	2.69	2.60	2.03	1.86	1.82	1.93

ตารางที่ 4.5 ค่าความพร่ามัวที่ระยะต่างๆ ด้วยเคอร์เนลที่มีขนาด 5x5

วัตถุที่	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2	ระยะที่ 3	ระยะที่ 4	ระยะที่ 5	ระยะที่ 6	ระยะที่ 7
01	3.08	2.93	2.53	2.23	1.90	1.96	2.56
02	2.99	2.41	2.39	2.00	1.95	-	2.58
03	3.43	3.11	2.71	2.31	1.91	1.94	2.00
04	3.45	3.24	2.82	2.29	1.92	1.92	2.01
05	3.20	2.96	2.68	2.05	1.84	-	2.02
06	3.35	3.17	2.65	2.38	1.85	-	2.00
07	3.42	2.84	2.65	2.00	1.83	-	2.07
08	3.23	2.95	2.62	2.20	1.91	-	2.09
09	3.32	2.87	2.64	2.05	1.77	1.89	2.19
10	3.15	3.18	2.49	2.09	1.81	1.82	2.00
11	3.23	3.01	2.76	2.09	1.96	1.93	2.00
12	3.47	3.35	2.94	2.65	2.20	1.90	1.93
13	3.30	3.10	2.68	2.14	1.87	-	1.94
14	3.66	3.04	2.71	2.38	1.93	1.83	1.95
15	3.27	2.88	2.70	1.98	1.84	1.86	2.08
16	3.47	3.21	2.85	2.24	1.91	1.91	1.98
17	3.46	3.25	2.58	2.17	1.83	1.84	1.97
18	3.69	3.26	2.99	2.43	2.00	-	1.93
19	3.44	2.96	2.64	2.18	-	1.82	1.95
20	3.47	3.12	2.64	2.37	2.08	1.84	2.07
21	3.42	2.90	2.45	2.27	1.83	1.84	2.02
22	3.39	2.97	2.44	2.24	1.80	1.83	1.98
23	3.40	3.12	2.67	2.05	1.78	1.82	1.91
24	3.37	3.24	2.69	2.33	-	-	1.87
25	3.42	3.05	2.49	2.07	-	1.87	1.97

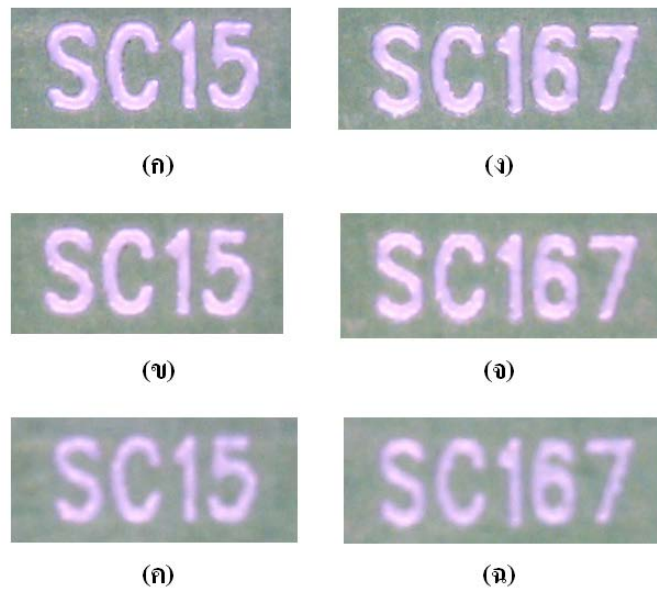
4.2 การทดลองถ่ายภาพ Computer Graphic Card

การทดลองครั้งที่ 4 แสดงการให้แสงที่ไม่สม่ำเสมอ พวกเราใช้กล้อง Dino-Lite Digital Microscope AM313 ที่กำลังขยาย 40X โดยใช้ถ่ายภาพแผงวงจรของ Computer Graphic Card ดังรูปที่ 4.7 ในส่วนของวิธีการถ่ายภาพ ตัวกล้องจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย USB port ซึ่งสามารถใช้งานได้ทันทีผ่าน DinoCapture 2.0 Software โดยทำการถ่ายภาพ 3 ครั้ง โดยห่างกันประมาณ 1.3 mm และนำภาพที่ถ่ายแต่ละครั้งมาตัดเลือกบริเวณ แบ่งออกเป็น บริเวณที่ใช้ในการเรียนรู้ความพรมัว และบริเวณที่ใช้เปรียบเทียบ ดังรูปที่ 4.8

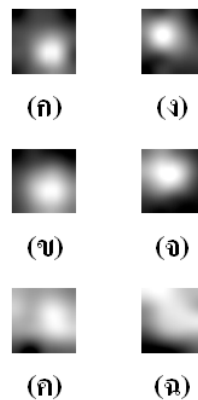


รูปที่ 4.7 ตัวอย่างภาพ Computer Graphic Card ที่ระยะห่างจากจุดโฟกัส 1.3 mm

ในการทดลองนี้จำเป็นจะต้องใช้การตัดภาพจากการถ่ายครั้งเดียวกัน เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการถ่ายภาพมีการปรับแต่งสีและแสงโดยอัตโนมัติซึ่งส่งผลให้ผลการทดลองไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ เนื่องจากเกิดการสะท้อนของแสงที่บริเวณขอบ จุดประสงค์ของการทดลองนี้จะเป็นการแสดงให้เห็นผลจากการที่ให้แสงที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งผลจากการประมาณค่า PSF จะถูกแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 (ก), (ข) และ (ค) แสดงภาพตัวอักษร SC15 ด้วยระยะ ที่จุดโฟกัส, 1.3 mm ก่อนโฟกัสและ 2.6 mm ก่อนโฟกัส ตามลำดับ และ (ง), (จ) และ (ฉ) แสดงภาพตัวอักษร SC167 ด้วยระยะ ที่จุดโฟกัส, 1.3 mm ก่อน โฟกัส และ 2.6 mm ก่อนโฟกัส ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 (ก), (ข) และ (ค) แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากการถ่ายภาพโดยที่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 4 ด้วยระยะ ที่จุดโฟกัส, 1.3 mm ก่อนโฟกัส และ 2.6 mm ก่อนโฟกัส ตามลำดับ และ (ง), (จ) และ (ฉ) แสดง PSF หรือ เคอร์เนลที่ได้จากการสมมุติให้ถ่ายภาพโดยที่ไม่ทราบระยะจากจุดโฟกัสในการทดลองที่ 4 ด้วยระยะ ที่จุดโฟกัส, 1.3 mm ก่อนโฟกัส และ 2.6 mm ก่อนโฟกัส ตามลำดับ