รายงานการวิจัย

การวัดเอ็มทีเอฟของผ้าไหม

MTF Measurement of Silk Fabrics

ผศ. ดร. ชวาล คูร์พิพัฒน์
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๑ สัญญาเลขที่ GRB_23_51_23_07 ผู้ทำวิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

เอ็มทีเอฟเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเปรียบต่างของระบบภาพใด ๆ ณ ความถี่ต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดเอ็มทีเอฟของผ้าไหมด้วยวิธีวัดผ่านขอบที่คม โดยมีตัวแปรคือมุมระหว่างแนวเส้นขอบที่คมกับลายของผ้าไหมบนผ้าไหมสองชนิด การทดลองเริ่มจากการถ่ายภาพขอบที่คมที่วางสัมมผัสบนผ้าไหมแล้วหมุนเปลี่ยนมุมเป็น 90 45 30 และ 15 องศา ตามลำดับ ภาพที่ถ่ายได้จะถูกอินทิเกรตให้เป็นฟังก์ชันการกระจายของขอบ จากนั้นจึงหาอนุพันธ์ได้เป็นฟังก์ชันการกระจายของเส้นและเมื่อผ่านฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแล้วจะได้ผลเป็นค่า MTF จากการวัด หลังจากนั้นจึงหาแบบจำลอง MTF ของผ้าไหมจากค่าที่วัด และพบว่ามีค่า d จากในแบบจำลองในมุมต่าง ๆ ที่วัด เท่ากับ 0.14 สำหรับผ้าไหม A และ 0.15 สำหรับผ้าไหม B ตามลำดับ

Abstract

MTF is the value that represented the contrast of an imaging system at various frequencies. In this research, MTF of silk fabrics had been measured using sharp edge method. The variables in this study are the angle between sharp edge and the silk fabric pattern and the types of fabrics. The experiment started with taking photographs of a sharp edge contacting on the silk fabric and then changing the angle between the sharp edge and the silk fabric pattern from 90 to 45 30, and 15 degree respectively. The captured images were integrated to be a edge spread function and further were differentiated to be a line spread function and finally resulting the measured MTF after applying Fourier Transform. Next, empirical MTF were modeled by fitting to the measured results, it is found that the d values of various angles were 0.15 for silk fabric A and 0.15 for silk fabric B respectively.

สารบัญเรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ	3
สารบัญตาราง	5
สารบัญภาพ	6
คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย	7
บทนำ	8
การกระเจิงของแสงในวัสดุรองรับการพิมพ์	10
การวัด MTF	14
การทดลอง	17
วิเคราะห์ผลการทดลอง	30
สรุป	31
เอกสารอ้างอิง	32
ประวัตินักวิจัย	34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ค่า d สำหรับผ้าไหม A และ B ที่มุมของ sharp edge ต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 แสงที่ตกลงกระดาษระหว่างเม็ดสกรีน กระเจิงภายในกระดาษและถูกดูดกลืนภายใต้เม็ดสกรีน
ภาพที่ 1.2 แสงที่ตกกระทบบนสิ่งพิมพ์ กระเจิงและสะท้อนออกจากกระดาษ
ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงการคำนวณหา MTF
ภาพที่ 2.2 sine wave ของ output จะมี modulation ที่ลดลง จาก input
ภาพที่ 3.1 ผ้าไหม A มุม 90 องศา
ภาพที่ 3.2 ผ้าไหม A มุม 45 องศา
ภาพที่ 3.3 ผ้าไหม A มุม 30 องศา
ภาพที่ 3.4 ผ้าไหม A มุม 15 องศา
ภาพที่ 3.5 ผ้าไหม B มุม 90 องศา
ภาพที่ 3.6 ผ้าไหม B มุม 45 องศา
ภาพที่ 3.7 ผ้าไหม B มุม 30 องศา
ภาพที่ 3.8 ผ้าไหม B มุม 15 องศา
ภาพที่ 3.9 e(x) ของผ้าไหม A ที่มุม 90, 45, 30 และ 15 องศา ก่อนและหลังการปรับชดเชยความไม่สม่ำเสมอของแสง
ภาพที่ 3.10 e(x) ของผ้าไหม B ที่มุม 90, 45, 30 และ 15 องศา ก่อนและหลังการปรับชดเชยความไม่สม่ำเสมอของแสง
ภาพที่ 3.11 LSF ของผ้าไหม A
ภาพที่ 3.12 LSF ของผ้าไหม B
ภาพที่ 3.13 MTF ของผ้าไหม A
ภาพที่ 3.14 MTF ของผ้าไหม B
ภาพที่ 3.15 MTF fitting ของผ้าไหม A
ภาพที่ 3.16 MTF fittingของผ้าไหม B
ภาพที่ 3.17 psf ที่มีค่า d = 0.14
ภาพที่ 3.18 psf ที่มีค่า d = 0.15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

n เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระเจิงของแสงในกระดาษ ในสมการ Yule-Nielsen

MTF ย่อมาจากคำว่า modulation transfer function หมายถึงฟังก์ชันความเปรียบต่าง

PSF ย่อมาจากคำว่า point spread function หมายถึงฟังก์ชันการกระจายของจุด

abs[ ] หมายถึงค่าสัมบูรณ์

FT( ) หมายถึง Fourier Transform

diff [ ] หมายถึงการหาอนุพันธ์

u เป็นความถี่มีหน่วยเป็น รอบ/มม. (cycles/mm.)

* หมายถึง convolution

exp [ ] หมายถึง exponential

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

อุตสาหกรรมแฟชั่นในต้องการสิ่งแปลกใหม่และมีดีไซน์ ดังนั้นการพิมพ์ลวดลายต่าง ๆ ลงบนผ้าจะไม่พิมพ์เป็นปริมาณมาก ๆ เหมือนในอดีต แต่จะพิมพ์จำนวนน้อยเพื่อความเป็นเอกลักษณ์ มีความแตกต่าง ซึ่งตรงกับตามความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน ดังนั้นการพิมพ์ผ้าด้วยระบบการพิมพ์ดิจิทัลกำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เพราะไม่จำเป็นต้องทำแม่พิมพ์ และสามารถพิมพ์จำนวนน้อย ๆ ได้ทันที อย่างไรก็ตามคุณภาพของงานพิมพ์ก็ยังเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งนอกจากจะขึ้นกับระบบการพิมพ์และเครื่องพิมพ์แล้ว สมบัติของผ้าในการรับหมึกหมึก ก็มีผลต่อสีและความความชัดของภาพพิมพ์ สมบัติสำคัญที่มีผลต่อความคมชัดของภาพพิมพ์อย่างหนึ่งคือการกระเจิงของแสงในวัสดุรองรับการพิมพ์ ซึ่งก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เม็ดสกรีนบวมเชิงแสง (optical dot gain) ด้วยเหตุนี้การกระเจิงของแสงจึงได้รับการศึกษาวิจัยอย่างมาก แต่เป็นการศึกษาสมบัติของกระดาษเพราะเป็นวัสดุการพิมพ์หลักในการพิมพ์ [1] - [8] ทำให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์ที่แสงกระเจิงภายในเนื้อกระดาษและผลที่เกิดขึ้นต่อการผลิตนำหนักสีและสีต่าง ๆ ของภาพ

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายค่าการสะท้อนแสงของภาพพิมพ์มีกระบวนการสำคัญอย่างหนึ่งคือ การหาวิธีวัดที่เหมาะสมและถูกต้องถึงปริมาณการกระเจิงของแสงในกระดาษ ซึ่งมีวิธีการวัดหลากหลายตั้งแต่การใช้แสงลำเล็กเท่าเข็ม ส่องไปที่เนื้อกระดาษ แล้ววัดแสงสะท้อนเพื่อหาฟังก์ชันการกระจายของจุด (point spread function) หรือวัดฟังก์ชันความเปรียบต่าง (modulation transfer function, MTF) ของกระดาษก่อนแล้วจึงไปคำนวณเป็นฟังก์ชันการกระจายของจุดต่อไป

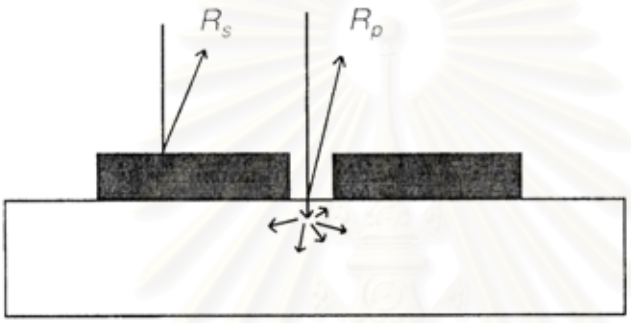
การวัดฟังก์ชันความเปรียบต่างหรือเรียกย่อ ๆ ว่า MTF นั้น มีเทคนิคการวัดหลายแบบเช่น วัดแสงสะท้อนจากการใช้ขอบที่คม (sharp edge) แนบสัมผัสกับกระดาษ หรือวัดหาค่าแสงสะท้อนจากการใช้ฟิล์มที่มีค่าการส่องผ่านแสงแบบคลื่น (sinusoildal) แนบสัมผัสกับกระดาษ ซึ่งผลงานวิจัยต่าง ๆ [9] - [12] ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถวัดได้ดี แต่ทั้งหมดนี้ใช้วัสดุรองรับการพิมพ์ที่เป็นกระดาษและมีผิวค่อนข้างเรียบ แต่สำหรับผ้านั้นอภิญญาและคณะ [13] ได้พยายามใช้เทคนิคการวัดด้วย sinusoidal วัดหา MTF ของผ้าไหม แต่ประสบปัญหาที่ผ้ามีลวดลายอยู่แล้วทำให้ไม่สามารถใช้หาค่า MTF ที่ความถี่เกินความถี่ในควิสต์ (Nyquist) ของผ้าได้ และลายของผ้าจะทำมุมกับความถี่ของ sine wave ทำให้เกิดความถี่ที่ไม่ต้องการขึ้นมา (aliasing) นอกจากนี้แล้วมุมของ sine wave ก็เป็นเพียง 90 องศากับมุม

ของลายผ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการวัด MTF ของผ้าไหม ด้วยเทคนิคการใช้ขอบที่คมชัดซึ่งหากได้ข้อมูลที่ถูกต้องแล้ว อาจช่วยให้มีความเข้าใจสมบัติการกระเจิงแสงของผ้า และสามารถหาคุณลักษณะในการพิมพ์ให้เหมาะสม อันจะนำไปสู่การสร้างความสวยงามและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับอุตสาหกรรมผลิตผ้าไหมคุณภาพสูงต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกระเจิงของแสงในวัสดุรองรับการพิมพ์

ความคมชัดของภาพพิมพ์นอกจากจะขึ้นกับความคมชัดของเม็ดสกรีนแล้ว ยังขึ้นกับค่าการกระเจิงแสงของวัสดุรองรับด้วย และเป็นสาเหตุของการทำให้ภาพดูคล้ำขึ้นเนื่องจากแสงที่กระเจิงภายในวัสดุรองรับจะถูกดูดกลืนโดยเม็ดสกรีน ปรากฏการณ์ที่แสงสะท้อนจากพื้นที่เม็ดสกรีนคล้ำขึ้นและเสมือนเม็ดสกรีนมีขนาดโตขึ้นนี้ ในทางการพิมพ์เรียกว่าเม็ดกสรีนบวมเชิงแสง (optical dot gain)



ภาพที่ 1.1 แสงที่ตกลงกระดาษระหว่างเม็ดสกรีน กระเจิงภายในกระดาษและถูกดูดกลืนภายใต้เม็ดสกรีน

ยูล (Yule) และนีลเสน (Nielsen) [1] อธิบายการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสงไว้ดังสมการที่ (1)

$$R = [R_p^{1/n}(1-a) + aR_s^{1/n}]^n \qquad (1)$$

โดยค่า R เป็นค่าการสะท้อนแสงจากภาพพิมพ์

R_s เป็นค่าการสะท้อนแสงจากบริเวณที่เป็นหมึกพิมพ์ 100%

R_p เป็นค่าการสะท้อนแสงจากบริเวณที่เป็นกระดาษ 100%

n เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระเจิงของแสงในกระดาษ

ซึ่งค่า n นี้ เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ไม่ได้สร้างมาจากทฤษฎีของการกระเจิงของแสง อย่างไรก็ดี สมการนี้ก็ได้ทำให้ผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการผลิตสิ่งพิมพ์จะต้องปรับให้เม็ดสกรีนของแม่พิมพ์มีขนาดเล็กลง เพื่อเป็นการชดเชยการเกิดเม็ดสกรีนบวมเมื่อมีการพิมพ์หมึกพิมพ์ลงบนกระดาษ การเกิดเม็ดสกรีนบวมนี้เป็นหลักทัศนศาสตร์ของการมองเห็น ไม่

สามารถกำจัดออกไปจากระบบการพิมพ์ได้ เพราะวัสดุรองรับการพิมพ์มีสมบัติการกระเจิงของแสง โดยหากวัสดุมีการกระเจิงแสงออกไปได้ถึงอนันต์ ค่า n จะมีค่าเท่ากับ 2 หากวัสดุไม่กระเจิงแสง ค่า n จะมีค่าเท่ากับ 1

สมการยูลและนีลเสนได้ใช้ในเครื่องวัดความดำ (densitometer) สำหรับวัดหาพื้นที่เม็ดสกรีนของภาพิมพ์มาเป็นเวลานาน และมีประโยชน์ต่อผู้ที่ทำงานทางด้านการพิมพ์เป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$a = [(1 - 10^{-Dt/n}) / (1 - 10^{-Ds/n})] \times 100 \qquad (2)$$

โดย a คือเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เม็ดสรีน

D_t คือค่าความดำของบริเวณเม็ดสกรีน

D_s คือค่าความดำของบริเวณสีพื้นตาย 100%

n คือค่าที่บ่งบอกถึงการกระเจิงของแสงในกระดาษ

อย่างไรก็ตาม นักวิจัยต่อ ๆ มา ได้นำเสนอคำอธิบายการเกิดเม็ดสกรีนบวมเชิงแสงด้วยหลักการทางฟิสิกส์จากการกระเจิงของแสงได้ดียิ่งขึ้น [3] - [8] โดย กูสต๊าฟสัน (Gustavson) ได้นำเสนอแบบจำลองสำหรับหาค่าการสะท้อนแสงของสิ่งพิมพ์ใด ๆ จากทฤษฎีการกระจายของแสงไว้ดังนี้

$$R(x,y) = [t(x,y) * psf(x,y)] t(x,y) \qquad (3)$$

$$t(x,y) = 10^{-D\,[b(x,y)*\,isf(x,y)]} \qquad 4)$$

โดย $R(x,y)$ คือค่าการสะท้อนแสงของภาพพิมพ์

$t(x,y)$ คือค่าการส่องผ่านแสงของหมึกพิมพ์

$psf(x,y)$ คือฟังก์ชันการกระจายของแสงในวัสดุรองรับการพิมพ์

D คือค่าความดำ

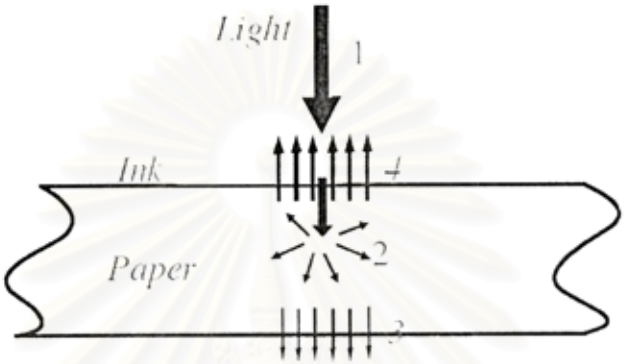
$b(x,y)$ ภาพดิจิทัลฮาล์ฟโทน

$isf(x,y)$ คือฟังก์ชันการการะจายตัวของหยดหมึกบนวัสดุรองรับการพิมพ์

$*$ หมายถึง convolution

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการนี้สามารถใช้อธิบายปรากฏการของแสงสะท้อนออกจากสิ่งพิมพ์ใด ๆ ได้ โดยมีสมมติฐานว่า หมึกพิมพ์วางตัวอยู่บนผิวหน้าของกระดาษ และแบ่งขั้นตอนของการสะท้อนแสงออกเป็นดังนี้



ภาพที่ 1.2 แสงที่ตกกระทบบนสิ่งพิมพ์ กระเจิงและสะท้อนออกจากกระดาษ

ขั้นตอนที่ 1 คือขั้นตอนที่แสงจากแหล่งกำเนิดแสง ตกกระทบลงบนชั้นของหมึกพิมพ์ ดังนั้น แสงที่ผ่านหมึกพิมพ์ไป จึงมีค่าเท่ากับ *t(x,y)*
ขั้นตอนที่ 2 แสงที่ผ่านชั้นหมึกพิมพ์ตกกระทบเข้าไปในเนื้อกระดาษและเกิดการกระจายไปทางด้านข้างตามสมบัติของกระดาษนั้น ๆ ซึ่งก็คือ PSF ของกระดาษ ผลลัพท์คือ *t(x,y) * psf(x,y)*
ขั้นตอนที่ 3 แสงบางส่วนทะลุออกด้านหลังของกระดาษ
ขั้นตอนที่ 4 แสงที่ฟุ้งและกระเจิงในกระดาษเดินทางพ้นผิวหน้ากระดาษ โดยผ่านชั้นของหมึกพิมพ์บนผิวหน้ากระดาษอีกครั้ง ดังนั้น แสงที่ส่องทะลุผิวหน้าออกจากจึงเป็น *[t(x,y) * psf(x,y)] t(x,y)* ซึ่งก็คือด้านขวามือของสมการที่ (3)

จุดเด่นของแบบจำลองของค่าการสะท้อนแสงนี้คือ หยดหมึกที่อยู่บนพื้นผิวกระดาษสามารถเป็นหยดหมึกที่มีความดำต่างกันระหว่างกลางหมึกและขอบหมึกได้ นั่นคือ *t(x,y)* สามารถมีค่าเท่าใดก็ได้ขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการกระจายตัวของหยดหมึกบนวัสดุรองรับการพิมพ์ และจาก

สมการที่ (4) ค่า $t(x,y)$ นี้ ก็เป็นฟังก์ชันของเม็ดสกรีน นั่นหมายความว่า ไม่ว่าเม็ดสกรีนจะมีลักษณะอย่างไร $t(x,y)$ ก็จะแปรผันตามไปด้วย

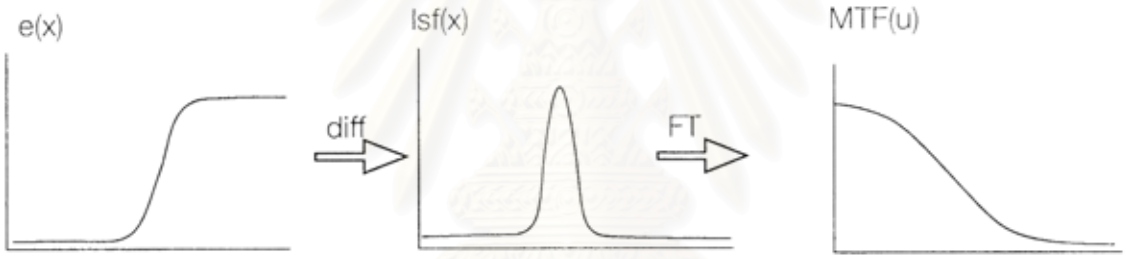
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวัดเอ็มทีเอฟ

การวัดฟังก์ชันการกระจายของจุดหรือ PSF โดยตรงนั้นไม่เป็นที่นิยมในทางปฏิบัติ เพราะมีความยุ่งยากในการวัด นักวิจัยจึงนิยมวัด MTF ก่อน แล้วจึงคำนวณหาค่า PSF โดยอาศัยแฮนเคิลทรานส์ฟอร์ม (HANKEL transform) ที่เป็นเช่นนี้ได้ก็เพราะ PSF กับ MTF เป็นคู่แฮนเคิลทรานส์ฟอร์ม [14] วิธีการวัดหา MTF มีหลายวิธีด้วยกันคือ

1. การใช้ sharp edge

วิธีการนี้จะนำขอบที่มีความคมมากไปฉายลงบนวัสดุแล้วใช้ micro-denstiometer กราดบันทึกค่าการสะท้อนแสงของขอบ แล้วนำค่าแสงสะท้อนที่กราดได้ไปคำนวณหา MTF ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงการคำนวณหา MTF

หากเขียนเป็นสมการสำหรับการคำนวณหา MTF ก็จะได้ดังตามสมการที่ (5) - (6)

$$MTF(u) = abs[\, FT(\, lsf(x)\,)\,] \tag{5}$$

$$lsf(x) = diff\, [\, e(x)\,] \tag{6}$$

โดย u เป็นความถี่

FT คือ ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม

lsf(x) คือ ฟังก์ชันการกระจายของเส้น (line spread function)

e(x) คือ ฟังก์ชันการกระจายของขอบ (edge spread function)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. การใช้ sinususoildal test chart

วิธีการใช้ sinusoidal test chart นี้ จะใช้ฟิล์มที่เป็นรูป sine wave หรือเรียกว่า sinulsoidal ที่มีความถี่แตกต่าง ๆ กันฉายลงบนวัสดุ จากนั้นจึงกราดค่าแสงสะท้อนที่ออกมาจากวัสดุ ด้วย micro-densitometer ค่า MTF สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) - (8)

$$MTF(u) = M_{out}(u) / M_{in}(u) \quad (7)$$

$$M = I_{max} - I_{min} / I_{max} + I_{min} \quad (8)$$

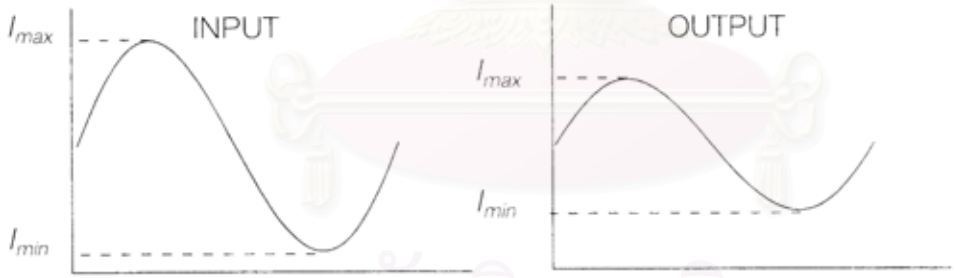
โดย M_{out} เป็นโมดูเลชันหรือความเปรียบต่างของ output

M_{in} เป็นโมดูเลชันหรือความเปรียบต่างของ input

I_{max} เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงบริเวณสว่างของยอดคลื่น sine wave

I_{min} เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงบริเวณสว่างของท้องคลื่น sine wave

u เป็นความถี่ของ sinusoidal test chart



ภาพที่ 2.2 sine wave ของ output จะมี modulation ที่ลดลง จาก input

เทคนิคการวัดแบบนี้ เสนอโดยอิโนอุเอะ (Inoue) และคณะ [10] อย่างไรก็ดีมีความยุ่งยากในการฉายแสงภาพ sine wave ลงบนกระดาษที่มุมการฉายแสง 45 องศาและการวางทิศทางของ sine wave ให้อยู่ในแนวขนาดกับ slit ของเครื่อง micro-densitometer ผนวกเข้ากับการที่ต้องวัดหลาย ๆ ความถี่ ทำให้เสียเวลาในการวัดค่อนข้างมาก ทีมวิจัยนี้ ได้พัฒนาเทคนิค

I24180204

การวัดแบบใช้ sinusoidal สัมผัสกับวัสดุรองรับการพิมพ์ แล้วกราดวัดค่าแสงสะท้อน ซึ่งก็สามารถคำนวณหาเป็น MTF ได้ดังสมการที่ (9) - (11)

$$MTF(u) = 2\ CTF(u) - 1 \tag{9}$$

$$CTF(u) = C(u) / C(0) \tag{10}$$

$$C(u) = I_{max}(u) - I_{min}(u) \tag{11}$$

โดย CTF เป็นฟังก์ชันความเปรียบต่าง (contrast transfer function)

$C(u)$ เป็นความเปรียบต่างที่ความถี่ u

$C(0)$ เป็นความเปรียบต่างที่ความถี่เป็นศูนย์

I_{max} เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงบริเวณสว่างของยอดคลื่น sine wave

I_{min} เป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณแสงบริเวณสว่างของท้องคลื่น sine wave

u เป็นความถี่ของ sinusoidal test chart

Koopipat และคณะ [13] ได้ใช้เทคนิคการวัด MTF ด้วยการสัมผัส sinusoidal บนกระดาษของระบบการพิมพ์อิงก์เจ็ต ซึ่งสามารถได้ผลดี สำหรับการวัด MTF ของผ้าไหมนั้น และ Janasak และคณะได้ศึกษาการวัดหา MTF ด้วยวิธีใช้ sinusoidal test pattern สัมผัสบนผ้าไหม แต่พบปัญหาเรื่องการรบกวนของส่วนที่เป็นลวดลายของผ้า ทำให้ไม่สามารถวัดที่ความถี่สูงเกินกว่า 2 เท่าของความถี่ของผ้าได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

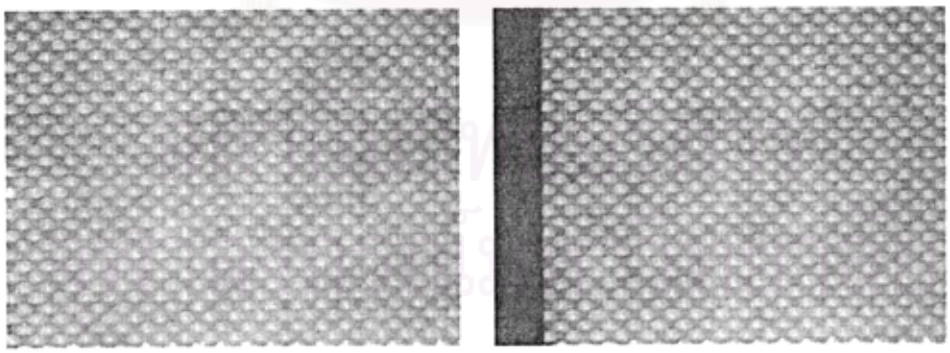
การทดลอง

วัสดุ อุปกรณ์

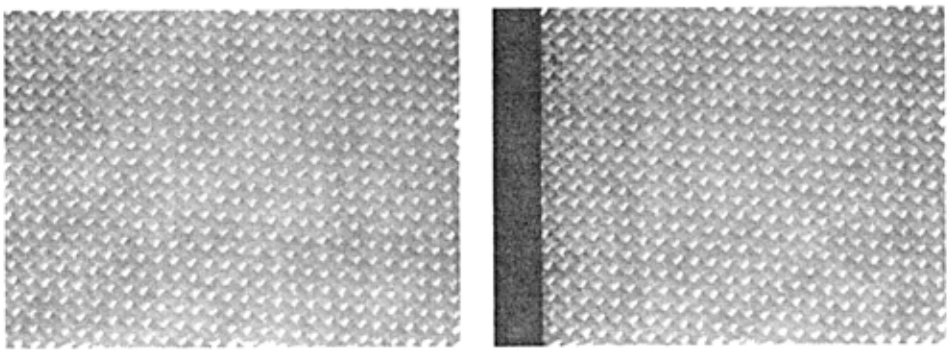
1. เครื่อง microscope Olympus SZH10
2. CCD camera 2M pixel, Nikon DS-2MBWc
3. ผ้าไหม plain weave 2 ชนิด, Jim Thomson
4. sharp edge (แผ่นเทป vdo ที่ไม่ใช้แล้ว)
5. โปรแกรม MATLAB

วิธีการทดลองและผล

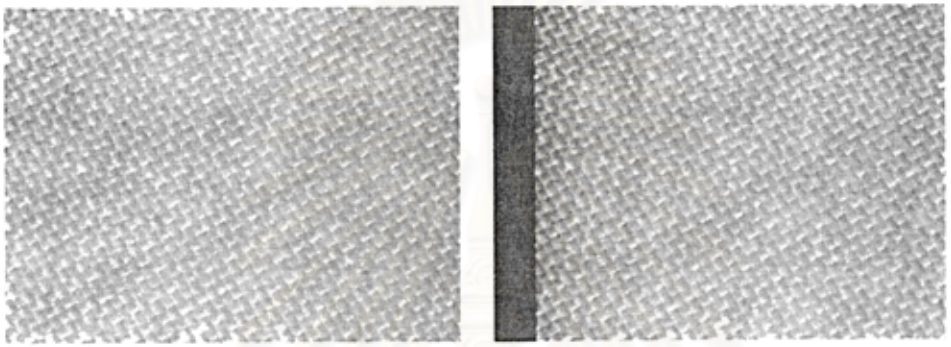
การทดลองประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การวัดหา MTF ของผ้าไหมในมุมต่าง ๆ และการหาแบบจำลองทางคณิตศาตร์สำหรับค่า MTF และ PSF ของผ้าไหม โดยในการทดลองขั้นตอนแรกได้วาง sharp edge ให้แนบบนผ้าไหม และกำหนดให้แนวขอบ sharp edge ทำมุม 90 องศากับลายผ้าไหม แล้วถ่ายภาพ จากนั้นจึงนำ sharp edge ออก แล้วถ่ายภาพซ้ำอีกครั้งโดยไม่ให้ผ้าไหมเคลื่อนที่ ทั้งนี้แสงที่ตกกระทบลงบนผ้าทำมุม 45 องศาในทิศทางขนานกับ sharp edge เพื่อไม่ให้เกิดเงาของขอบตกลงไปยังบริเวณด้านข้าง ๆ ของผ้า ภาพถ่ายมีขนาด 1200 x 1600 พิกเซล โดยแต่ละพิกเซลบันทึกระยะทางบนผ้าไหมได้ 0.007 มิลลิเมตร และภาพที่ถ่ายได้จากผ้าไหมชนิด A แสดงในภาพที่ 3.1 - 3.4 และผ้าไหมชนิด B แสดงในภาพที่ 3.5 - 3.8



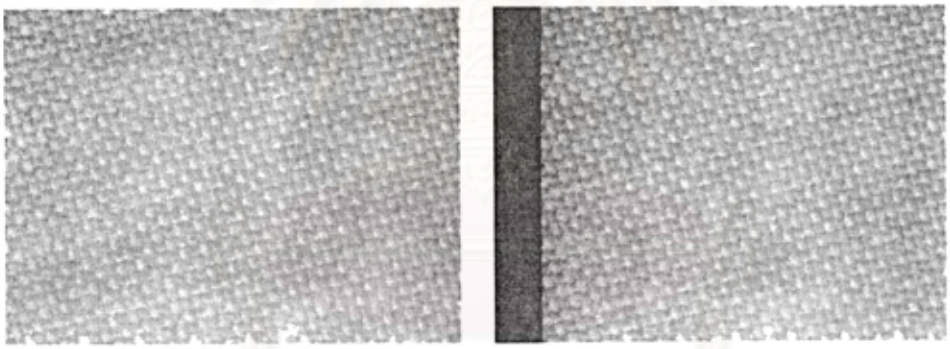
ภาพที่ 3.1 ผ้าไหม A มุม 90 องศา



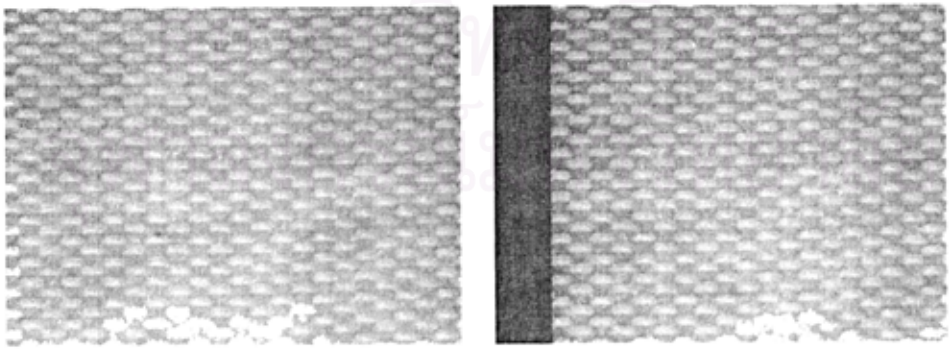
ภาพที่ 3.2 ผ้าไหม A , มุม 45 องศา



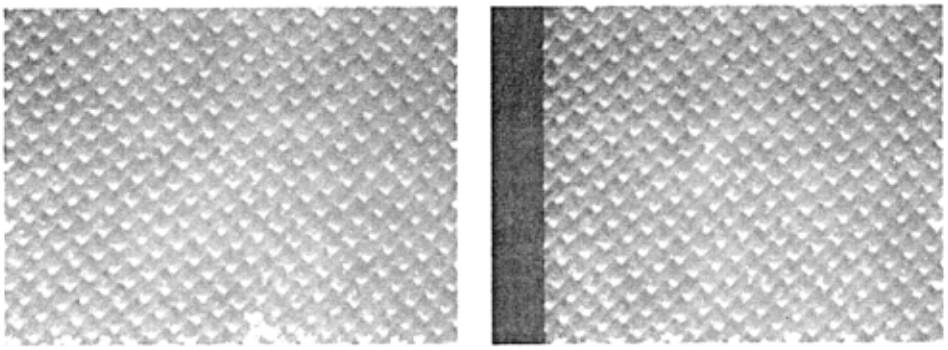
ภาพที่ 3.3 ผ้าไหม A มุม 30 องศา



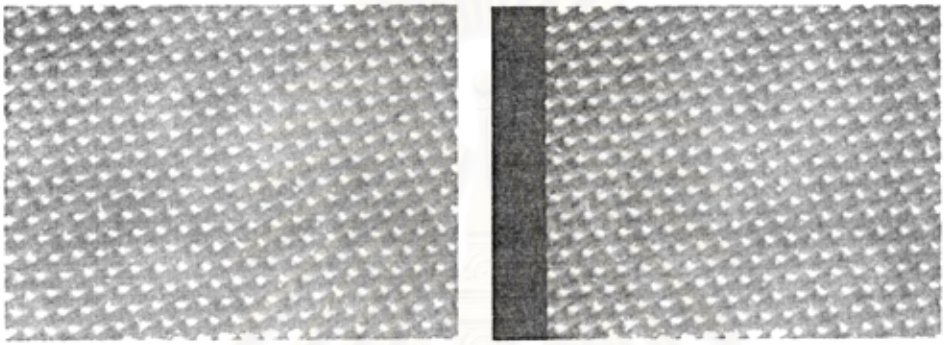
ภาพที่ 3.4 ผ้าไหม A , มุม 15 องศา



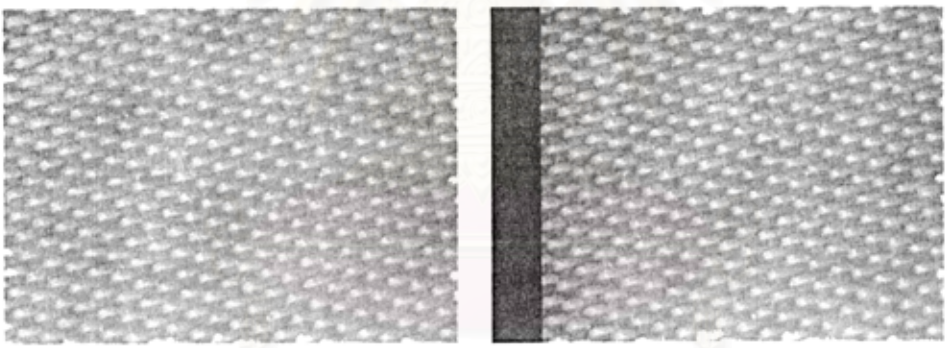
ภาพที่ 3.5 ผ้าไหม B มุม 90 องศา



ภาพที่ 3.6 ผ้าไหม B มุม 45 องศา



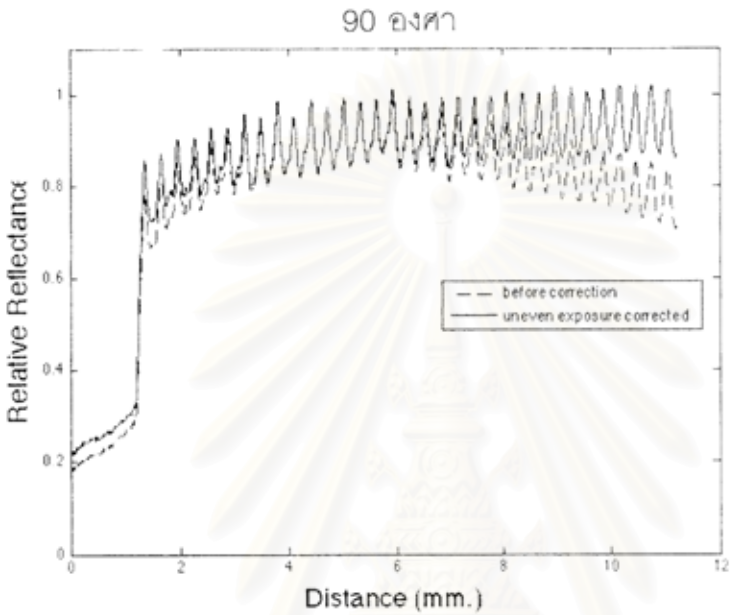
ภาพที่ 3.7 ผ้าไหม B มุม 30 องศา

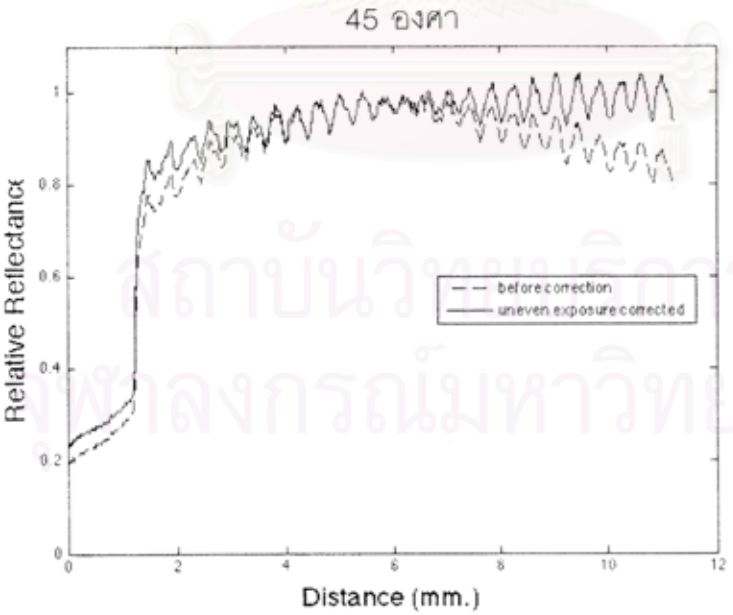


ภาพที่ 3.8 ผ้าไหม B มุม 15 องศา

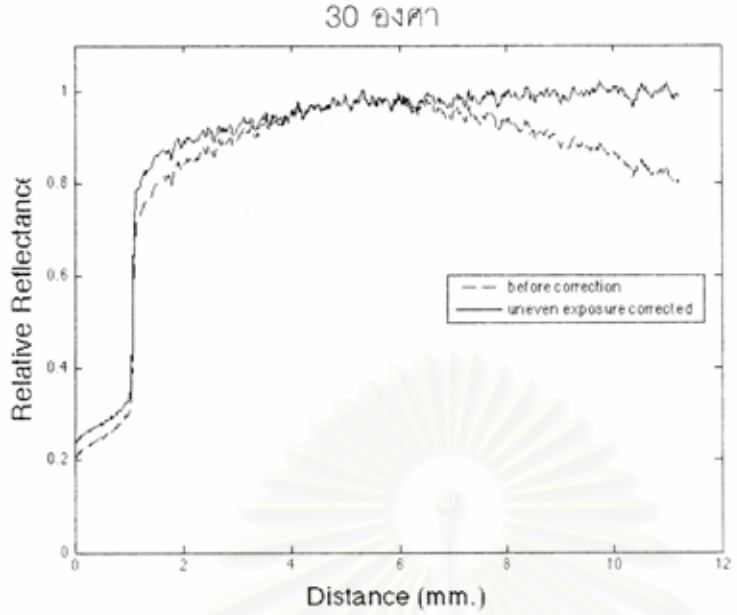
เมื่อแสงตกกระทบไปยังผ้าไหมที่มี sharp edge วางทับอยู่ แสงจะผ่านได้เฉพาะส่วนที่เป็นผ้า และเข้าไปกระเจิงในเนื้อผ้าแล้วสะท้อนกลับออกมา ปรากฏเป็นภาพที่ได้จากกล้อง แต่เนื่องจาก sharp edge มีสมบัติดูดกลืนแสง ดังนั้น แสงที่ตกลงผ้าใกล้ๆ ขอบ sharp edge เมื่อกระเจิงเข้าไปใต้ sharp edge ก็จะถูกดูดกลืนไว้ ทำให้แสงสะท้อนที่ออกมาจากผ้าใกล้ๆ ขอบนั้นมีค่าลดลง ยิ่งใกล้มากยิ่งลดลงมาก ระยะทางที่แสงหายไปภายใต้ sharp edge นั้น ขึ้นกับฟังก์ชันการกระจายของจุดของผ้า

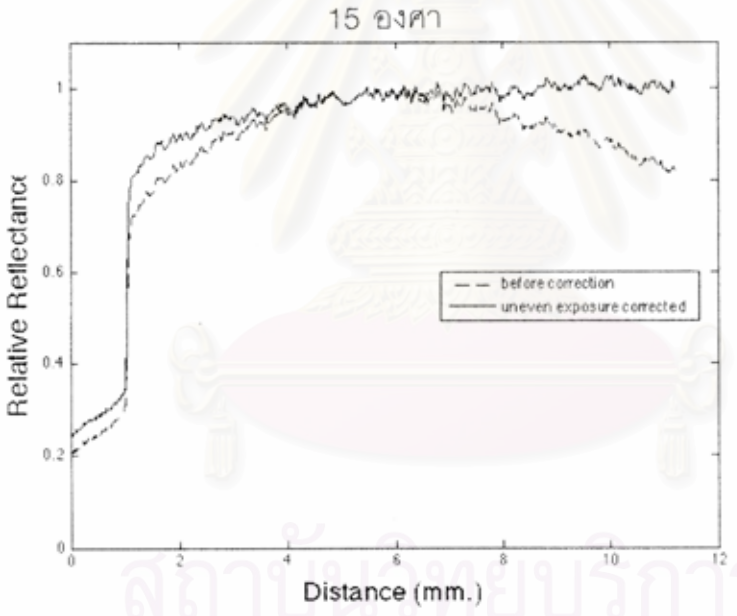
เพื่อลดอิทธิพลของความไม่สม่ำเสมอของแสงที่ตกกระทบลงบนผ้า จึงต้องถ่ายภาพผ้าไหมเพียงอย่างเดียว เพื่อใช้หาความไม่สม่ำเสมอของแสงว่ามีลักษณะอย่างไร ด้วยการใช้สมการโพลีโนเมียลหาฟังก์ชันของความไม่สม่ำเสมอจากภาพผ้าไหม แล้วนำไปหารภาพที่เป็น sharp edge ซึ่งผลการปรับแก้ได้แสดงไว้ในภาพที่ 3.9 -3.10





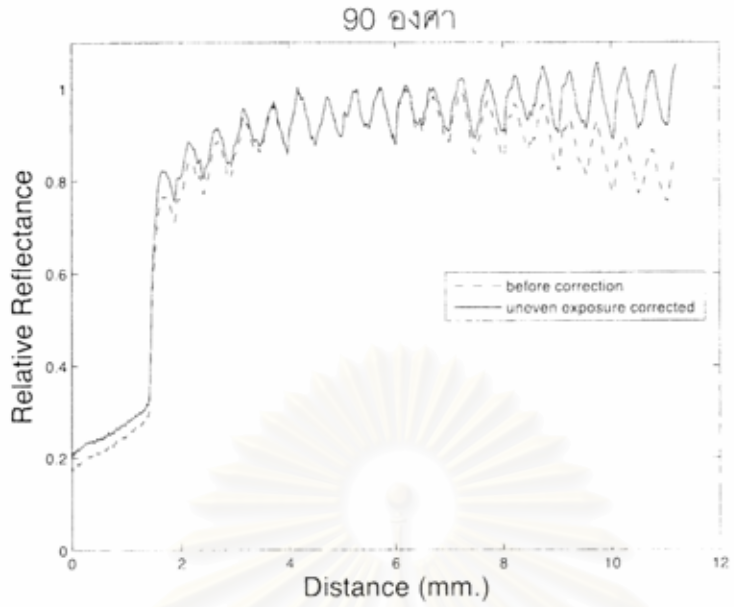
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

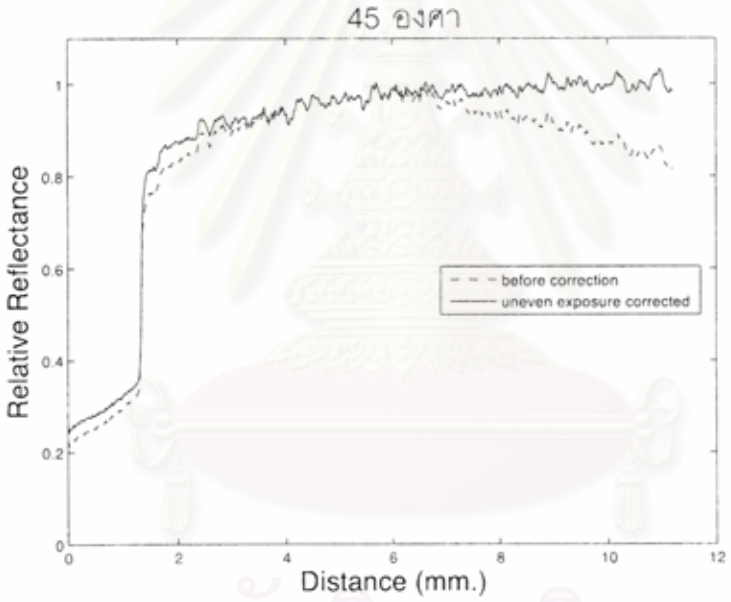




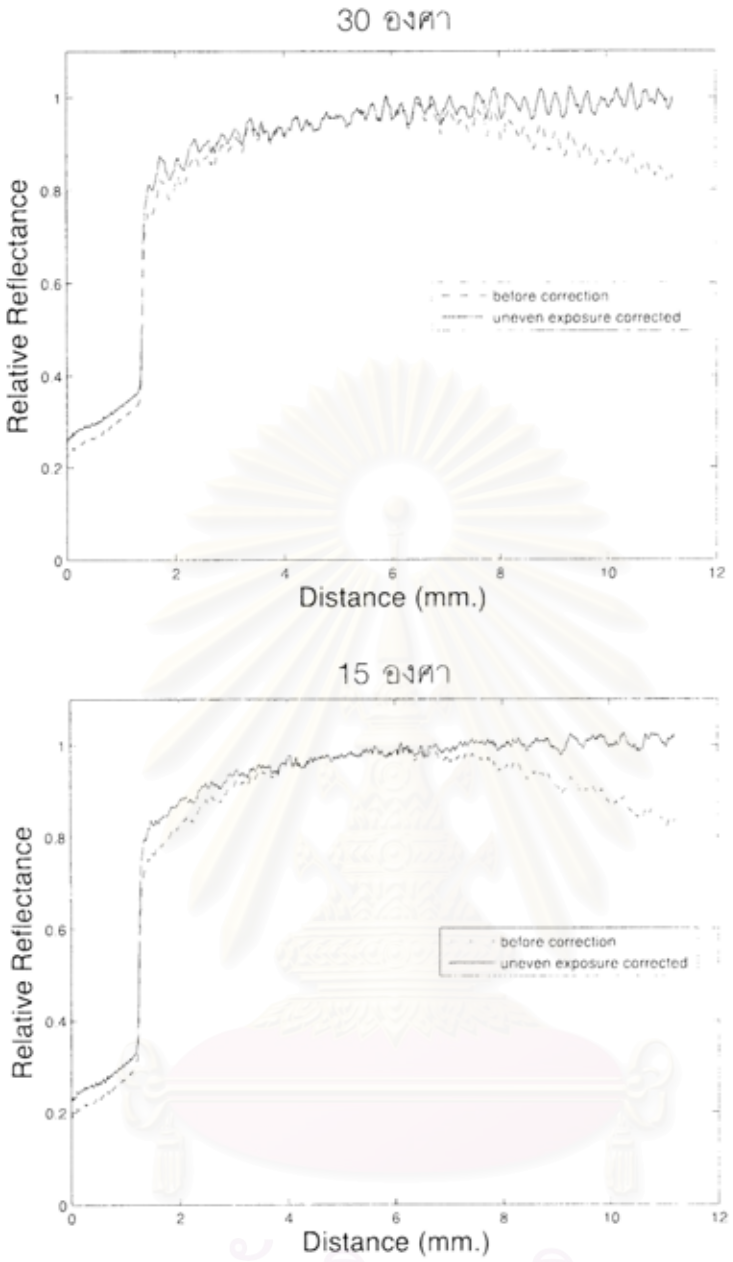
ภาพที่ 3.9 e(x) ของผ้าไหม A ที่มุม 90, 45, 30 และ 15 องศา ก่อนและหลังการปรับชดเชยความไม่สม่ำเสมอของแสง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





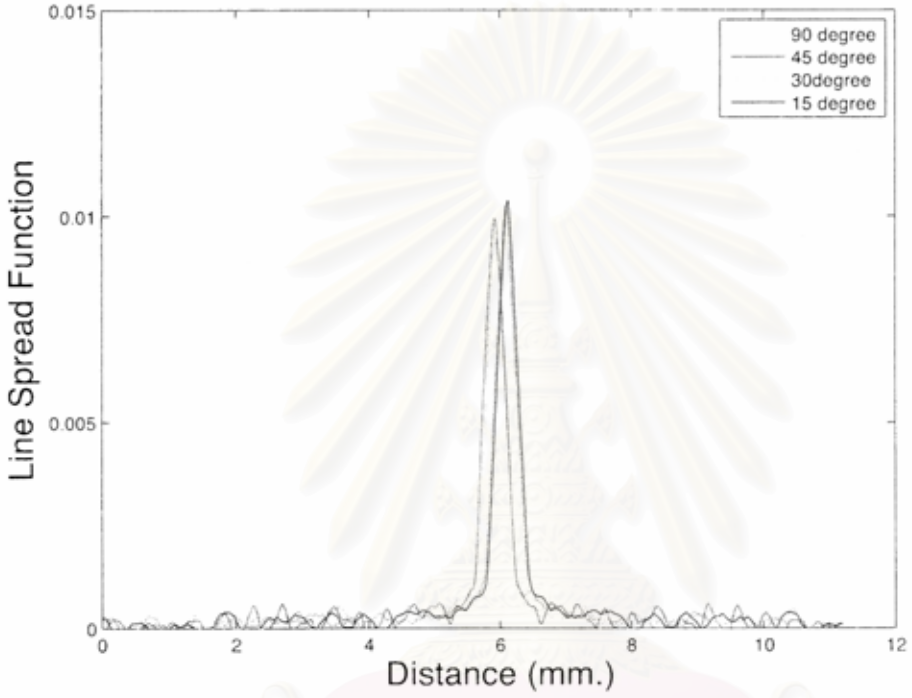
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.10 e(x) ของผ้าไหม B ที่มุม 90, 45, 30 และ 15 องศา ก่อนและหลังการปรับชดเชยความไม่สม่ำเสมอของแสง

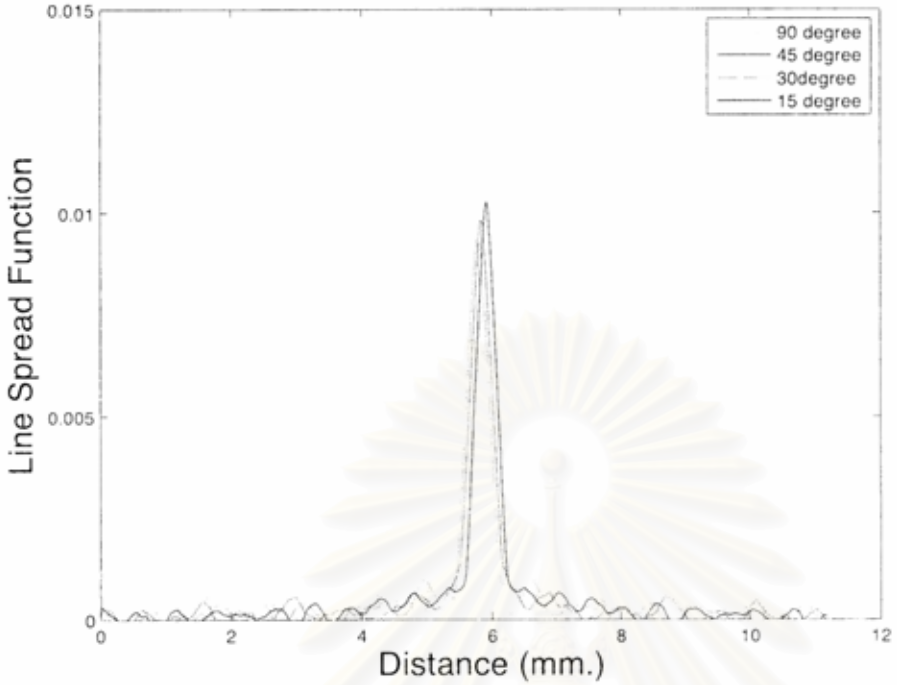
จากค่าการสะท้อนแสงในภาพจะเห็นว่าด้านล่างซ้ายของกราฟเป็นบริเวณ sharp edge จึงมีค่าการสะท้อนแสงน้อย และพ้นขอบ sharp edge แล้ว ค่าการสะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ไปจนมีค่าเข้าใกล้ 1.0 ซึ่งหมายความว่าบริเวณที่ใกล้ sharp edge มีแสงถูกดูดกลืนมากกว่าบริเวณที่ห่างไกลออกไป ฟังก์ชันการกระจายของเส้น (line spread function, LSF) สามารถคำนวณได้จากการหาอนุพันธ์ของค่า e(x)

แต่เนื่องจากภาพที่ใช้ เป็น sharp edge จึงมีข้อมูลของการค่าการสะท้อนแสงเพียงด้านขวาของ sharp edge เท่านั้น อย่างไรก็ตามด้วยสมมุติฐานที่ว่าผ้ามีลักษณะที่เป็นตารางซ้ำ ๆ ดังนั้นข้อมูลด้านซ้ายสามารถใช้ข้อมูลด้านขวาแทนได้ และเมื่อสร้างเป็นกราฟของ LSF ของผ้าไหมชนิด A และ B ที่มุม 90 45 30 และ 15 องศา ก็จะได้กราฟ LSF ดังแสดงผลไว้ในภาพที่ 3.11 - 3.12



ภาพที่ 3.11 LSF ของผ้าไหม A

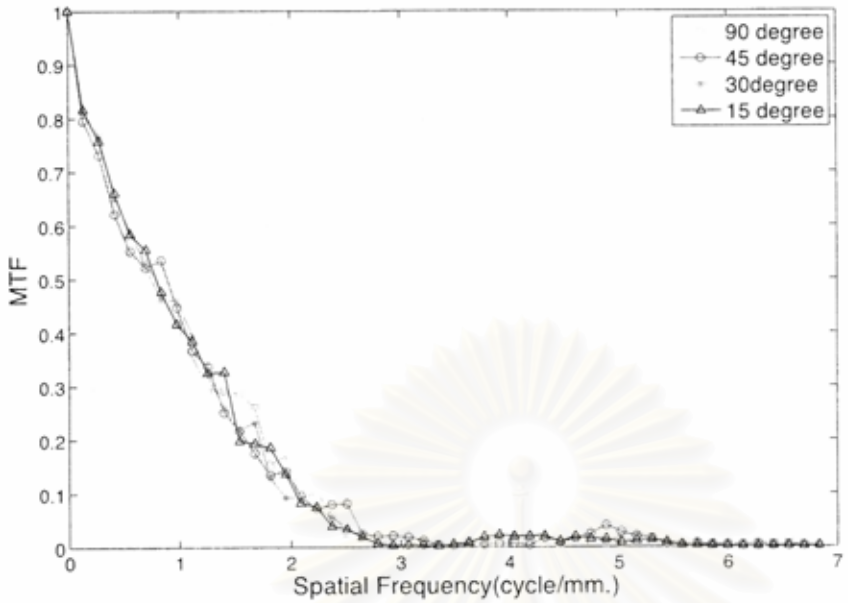
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



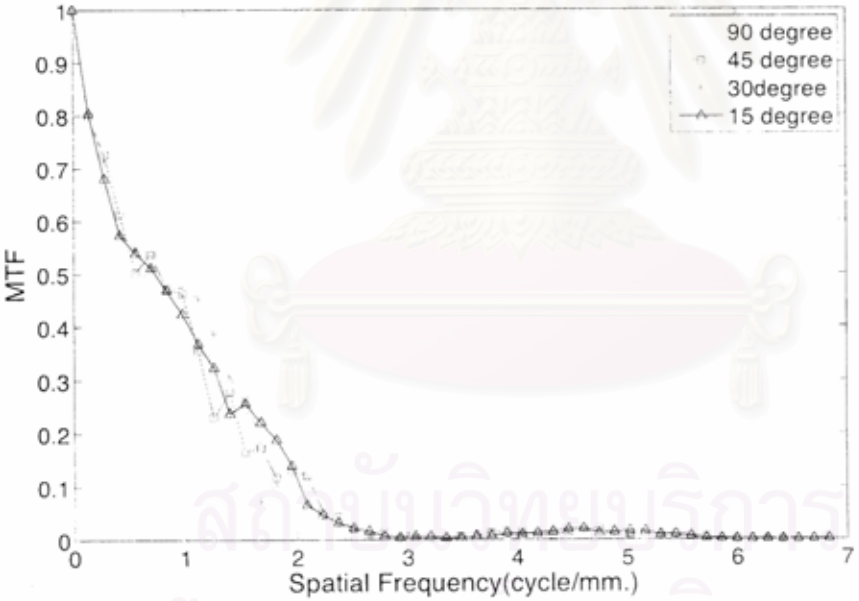
ภาพที่ 3.12 LSF ของผ้าไหม B

จากสมการที่ (5) MTF เป็นค่าสัมบูรณ์ของ Fourier Transform ของ LSF เมื่อนำ LSF ของผ้าไหม A และ B ที่วัดด้วยมุมต่าง ๆ ไปคำนวณก็ได้กราฟ MTF ของผ้าไหมที่มุมต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.13 - 3.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.13 MTF ของผ้าไหม A



ภาพที่ 3.14 MTF ของผ้าไหม B

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสร้างแบบจำลอง MTF ของผ้าไหม

จากข้อมูล MTF ที่วัดได้ดังในภาพที่ 3.13 และ 3.14 นั้น จะเห็นว่า MTF ที่มุมต่าง ๆ มีความแตกต่างกันไม่มาก อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาถึงแบบจำลองสำหรับค่า MTF ได้พิจารณาหาแบบจากแบบจำลอง MTF 4 แบบ คือ

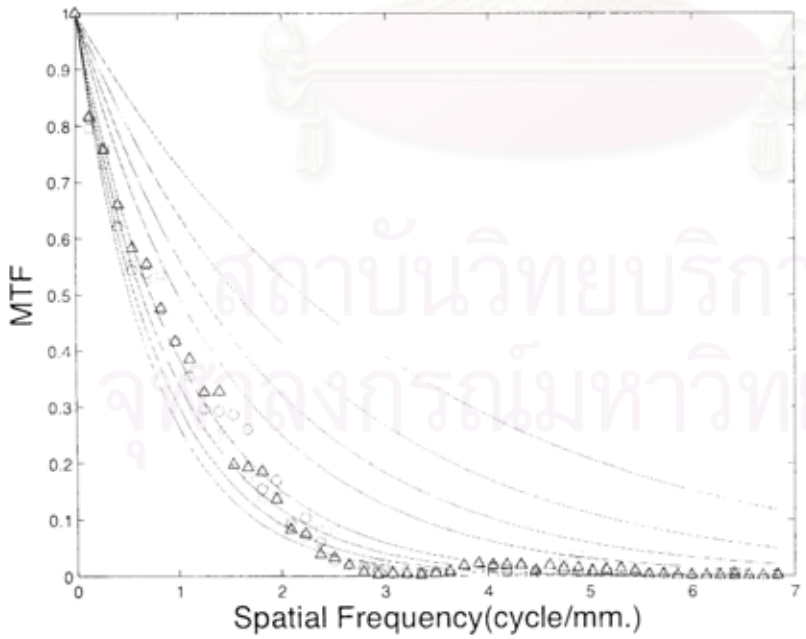
แบบจำลองที่ 1 $MTF = 1 / [\ 1 + (2\P du)^2\ ]$ (12)

แบบจำลองที่ 2 $MTF = 1 / [\ 1 + ((2\P du)^2\ ]^{3/2}$ (13)

แบบจำลองที่ 3 $MTF = \exp [\ -2\P d\ |u|\ ]$ (14)

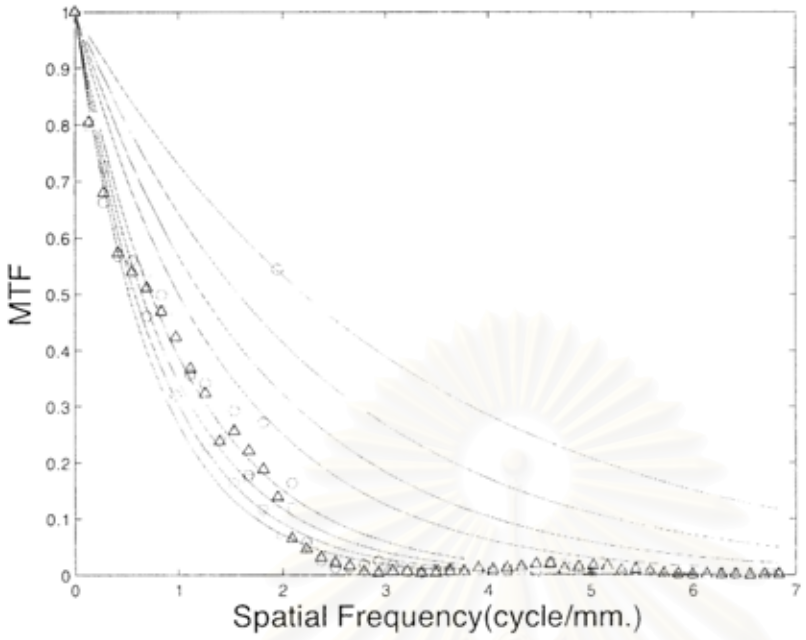
แบบจำลองที่ 4 $MTF = \exp [\ -2\P du\ ]^2$ (15)

เมื่อทดลองนำแบบจำลองทั้งสี่มาประมวลเข้ากับข้อมูล MTF ที่วัดได้นั้น พบว่าแบบจำลองที่ 3 มีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดมากที่สุด และได้หาค่า *d* ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงลักษณะของเส้นกราฟ MTF ว่าค่า *d* เท่าใดจึงจะทำให้ค่าจากแบบจำลองนั้นมีความแตกต่างกับค่าที่วัดได้น้อยที่สุด โดยคำนวณจากค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแตกต่าง (root mean square error) และผลจากการคำนวณโดยการเปลี่ยนค่า *d* จาก 0.05 0.07 0.09 ... 0.21 ดังแสดงในกราฟที่ 3.15 และ 3.16 นั้นพบว่า ค่า *d* ที่เหมาะสมของผ้าไหม A และ B ที่มุมต่าง ๆ นั้นแสดงไว้ในตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.15 MTF fittingของผ้าไหม A

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.16 MTF fittingของผ้าไหม B

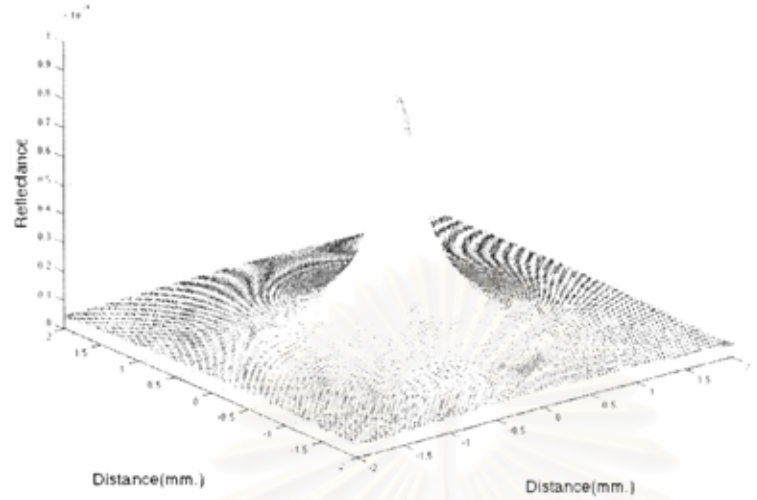
ตารางที่ 3.1 ค่า d สำหรับผ้าไหม A และ B ที่มุมของ sharp edge ต่าง ๆ

มุมของ sharp edge	ค่า d ของผ้าไหม A	ค่า d ของผ้าไหม B
90	0.15	0.14
45	0.15	0.14
30	0.15	0.15
15	0.15	0.14

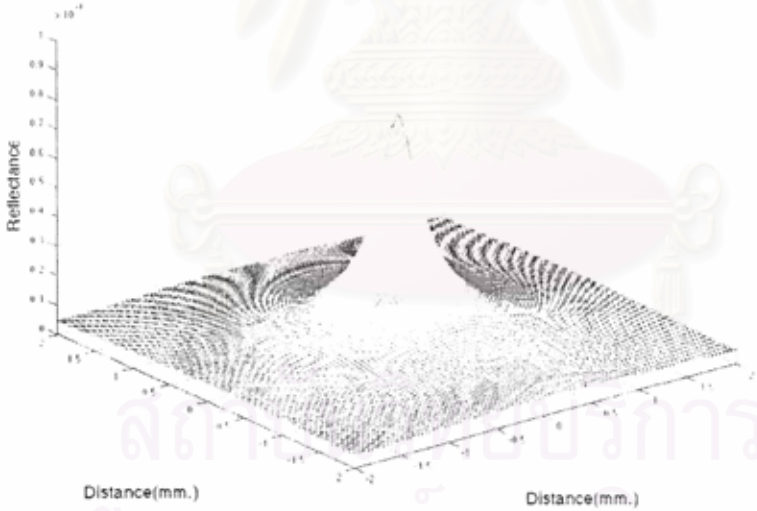
ค่า d เป็นค่าที่บอกถึงสมบัติการจายแสงของผ้า ถ้าค่า d มีค่ามากแสงก็กระจายของด้านข้างมาก ซึ่งแบบจำลอง MTF ที่หาได้นี้มีแบบจำลองของ PSF ที่เป็นคู่อยู่ดังในสมการที่ (16)

$$PSF = 1 / (2\P d) [1+(x/d)^2]^{1/2} \quad (16)$$

ค่า d ในสมการที่ (16) เป็นค่า d เดียวกันกับค่า d ของสมการที่ (13) และเมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟจะได้กราฟฟังก์ชันการกระจายของจุดของผ้าไหมดังในภาพที่ 3.17 - 3.18



ภาพที่ 3.17 psf ที่มีค่า d = 0.14



ภาพที่ 3.18 psf ที่มีค่า d = 0.15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดลองวัด MTF ของผ้าไหมด้วยเทคนิคการใช้ขอบที่มีความคมชัดแนบสัมผัสไปกับผิวผ้า โดยทำมุมต่าง ๆ กันนั้น ได้ผลออกมาใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงมุมของขอบที่คมชัด หรือเปลี่ยนผ้าไหมที่มีลักษณะการทอที่แตกต่างออกไป เมื่อพิจารณาถึงระยะทางของการกระจายของแสงดังภาพที่ 3.17 และ 3.18 แล้วจะเห็นว่ารัศมีการกระจายของลำแสงที่ตกกระทบไปยังผ้านั้น เป็นระยะทางประมาณ 1 มิลลิเมตร ในงานของ Koopipat และคณะ [13] ได้หา PSF ของกระดาษ พบว่า การกระเจิงของแสงในกระดาษปอนด์ธรรมดา มีค่า d อยู่ที่ 0.035 หรือเป็นระยะทางการกระจายของแสงประมาณ 0.2 มิลลิเมตรทำให้สรุปได้ว่าการระยะทางการกระจายของแสงในผ้ามากกว่ากระดาษปอนด์อยู่ 5 เท่า

ปัญหาที่พบในการวัด MTF ด้วยการใช้ขอบที่คมชัดคือสัญญาณรบกวนในภาพ ซึ่งเห็นได้จากค่า e(x) ที่วัดดังในภาพที่ 3.9 - 3.10 แต่เนื่องจากสิ่งที่สนใจอยู่ในช่วงความถี่ต่ำไม่เกิน 6 cylcles/mm. เพราะเป็นช่วงความถี่สูงสุดที่ตามนุษย์มองเห็นในระยะการมองปกติ ดังนั้นแม้ว่าจะมีการปะปนของสัญญาณรบกวน แต่มักปรากฏเป็นข้อมูลในความถี่สูง จึงไม่มีผลต่อค่า MTF ที่วัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุป

งานวิจัยนี้ ได้วัด MTF ของผ้าไหมด้วยเทคนิคการใช้ขอบที่คมชัดวางสัมผัสลงบนผ้า และพบว่าการกระเจิงแสงของผ้าไหมค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกระดาษ โดยวัดค่า d ได้ 0.15 สำหรับผ้าไหม A และ 0.14 สำหรับผ้าไหม B ซึ่งมีผลทำให้การพิมพ์ภาพบนผ้าไหมมีความคมชัดน้อยกว่ากระดาษ อย่างไรก็ตามความคมชัดของภาพพิมพ์ยังมีปัจจัยหลักคือการกระจายตัวของหมึกพิมพ์บนผ้า และเป็นเรื่องที่น่าศึกษาวิจัยต่อไปว่า ผลของการกระจายตัวของหมึกพิมพ์บนผ้านั้นมีลักษณะอย่างไร และเมื่อผนวกเข้ากับการกระเจิงของแสงภายในด้วย จะทำให้ความคมชัดลดลงมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เทคนิคการวัดจะช่วยทำให้การศึกษาถึงการเคลือบผิวผ้าเพื่อการพิมพ์ทำได้ดียิ่งขึ้นเพียงศึกษาถึงสมบัติการรับหมึกและการกระเจิงของแสงของสารเคลือบผิว ก็จะทำให้สามารถเปรียบเทียบคุณภาพด้านความคมชัดได้ โดยไม่ต้องทดลองพิมพ์ เป็นจำนวนมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

[1] J. A. C. Yule and W. J. Neilsen, The penetration of light into paper and its effect on halftone reproduction", TAGA Proc,, **3**, 65-76 (1951)

[2]. H. Wakeshima, T. Kunishi and S. Kaneko, "Light Scattering in paper and its effect on halftone reproduction", *J. Opt. Soc. Am*, **58**, 272-273 (1968)

[3]. F. R. Ruckdeschel and O. G. Hauser,"Yule and Nielsen effect on printing: A physical analysis", *Appl. Opt*, **17**, 3376 (1978)

[4]. P. G. Engeldrum and B. Pridham, "Application of turbid medium theory to paper spread function measurements", *TAGA Proc*., 339-352 (1995) M. Peason, "n value for general conditions", *TAGA Proc*., **32**, 415-425 (1980)

[5] B. Kruse and M. Wedin, "A new approach to dot gain modeling", *TAGA Proc*., pp 329-338 (1995)

[6]. S. Gustavson, M. Wedin, and B. Kruse, "3D modeling of light diffusion in paper", *TAGA Proc*., 848-855 1995)

[7]. S. Gustavson, "Color gamut of halftone reproduction", *J. Imaging. Sci. and Technol.*, **41**, 283-290 (1997).

[8]. G. L. Rogers, "Effect of light scatter on halftone color", *J. Opt. Soc. Am. A*, **15**, 1813-1819 (1998)

[9]. J. S. Arney, C. D. Arnry and Miako Katsube, "An MTF analysis of paper", J. Imaging. Sci. and Technol., **40**, 19-22, (1996)

[10]. S. Inoue, N. Tsumura, and Y. Miyake. "Measuring MTF of paper by sinusoidal test pattern projection" , J. Imaging Sci, and Technol., **41**, 657-661 (1997)

[11]. J. S. Arney and M. L. Alber, "A probability description of the Yule-Nielsen effect", J. Imaging. Sci. and Technol., **41**, 633-636 (1997)

[12]. J. S. Arney and M. Katsube, "A probability description of the Yule-Nielsen effect II: The impact of halftone geometry", J. Imaging. Sci. and Technol., **41**, 637-642 (1997)

[13]. C. Koopipat,; N. Tsumura, and Y. Miyake, Effect of Ink Spread and Optical Dot Gain on the MTF of Ink Jet Image J. Imaging. Sci. and Technol., **46**, pg. 321-324. (2002)

[14]. C. Dainty and R. Shaw, Image Science, Acdemic Pess, New York 1974, pp 190-231

[15]. A. Janasak, C. Koopipat, H. Noguchi, and S. Kiatkamjornwong, Modulation Transfer Function Measurement of Ink Jet Printed Silk Fabrics. J. Imaging Sci. and Tech. **51**, 127-140 (2007)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัตินักวิจัย

(ภาษาไทย) นาย ชวาล คูร์พิพัฒน์ ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Chawan Koopipat
ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะ วิทยาศาสตร์ โทรศัพท์ 02-2185585
ที่อยู่ปัจจุบัน 605/10 ถ.สุขุมวิท 22 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กทม 10110 โทรศัพท์ 02-2582440

ประวัติการศึกษา

ปริญญา	สาขาวิชา	มหาวิทยาลัย	ปี พ.ศ. ที่ได้รับ
วท.บ.	ถ่ายภาพและการพิมพ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2529
MPhil.	Printing Technology	West Herts College, UK	2536
Ph.D	Imaging	Chiba University, Japan	2545

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

1. Koopipat C, Application of Ink Jet Printer Model to Evaluate the Sharpness of Ink Jet Printed Images - Proc. Of Digital Printing Techno. NIP 19th , 773-776 (2003).

2. Koopipat C, Janasak A. and Kiatkumjornwong S., Measurement and Analysis of Printed Image on Silk Fabric by Ink Jet Printer. - Proc. Of International. Congress of Imaging Science , 641-644 (2006).

3. Janasak A, Koopipat C, Noguchi H, and Kiatkamjornwong S, Modulation Transfer Function Measurement of Ink Jet Printed Silk Fabrics. J. Imaging Sci. and Tech. 51, 127-140 (2007)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย