รายงานการวิจัย

การตรวจวัดขนาดและจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

Size measurement and counting of contaminated particle in HDD using image processing technique

ดร. ชัยวัฒน์ หนูทอง

นายฉัตรชัย มหันตเดชากุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ 2553

วิทยาลัยนานาชาติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การตรวจวัดขนาดและจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

Size measurement and counting of contaminated particle in HDD using image processing technique

ดร. ชัยวัฒน์ หนูทอง

นายฉัตรชัย มหันตเดชากุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้
ประจำปีงบประมาณ 2553

วิทยาลัยนานาชาติ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณวิทยาลัยนานาชาติสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยนี้ รวมทั้งเจ้าหน้าที่วิทยาลัยนานาชาติที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับการทำวิจัยนี้ด้วยเช่นกัน

แบบฟอร์มบทคัดย่อ (เงินงบประมาณแผ่นดิน/เงินรายได้)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การตรวจวัดขนาดและจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ)

Size measurement and counting of contaminated particle in HDD using image processing technique.

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ วิทยาลัยนานาชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2553 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 7 เดือน ตั้งแต่ มีนาคม 2553 ถึง กันยายน 2553

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัดและ อีเมล์

หัวหน้าโครงการ นายชัยวัฒน์ หนูทอง, วิทยาลัยนานาชาติ, chaiwat.kmitl@gmail.com

ผู้ร่วมโครงการวิจัย นายฉัตรชัย มหันตเดชากุล, บริษัทซีเกทเทคโนโลยีประเทศไทย, chatchai.mahuntadechakul@seagate.com

คำสำคัญ (Keywords) Optical Image Analysis (OIA)

บทคัดย่อ

ปัญหาการทำงานผิดพลาดเนื่องจากมีสิ่งสกปรกภายในผลิตภัณฑ์นั้นมีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมฮาร์ด ดิสก์ ไดร์ฟ เครื่องมือรวมทั้งกระบวนการต่างๆจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจวัดขนาด จำนวน และตำแหน่งที่เป็นไปได้ของเม็ดสิ่งสกปนกนั้นๆ วิธีการที่ใช้ตรวจวัดโดยทั่วไปคือ Liquid Particle Count (LPC) การทำ SEM แบบตรง และแบบผ่านตัวกลาง และ Optical Image Analysis (OIA) จากวิธีการดังกล่าวทั้งหมดนี้ OIA เป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายและใช้เวลาในการตรวจวัดน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีปัญหาที่สำคัญ 2 ประการคือการวัดขนาด และการนับจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกที่มีความผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับวิธี SEM

การทำวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการOIA เนื่องจากในปัจจุบันการตรวจวัดขนาดและจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกโดยวิธีการOIA นั้นจะใช้การกำหนดค่า Threshold ที่ใช้แบ่งระหว่างวัตถุและพื้นหลังโดยโอเปอเรเตอร์ ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอนั้นค่า Threshold ในแต่ละครั้งจะถูกกำหนดโดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้ทำวิจัยได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อหาค่าThresholdที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Threshold) ซึ่งใช้เทคนิคการทำ Iterative thresholding สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาผู้วิจัยคาดหวังผลการตรวจวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นรวมทั้งเวลาในการตรวจวัดที่น้อยลง

Abstract

The particulate failure is one of the most important issues in Hard Disk Drive (HDD) manufacturing process. Equipments and systems are developed for particles detection in order to provide information about the size, quantity and possible particle generated locations. Some examples of particle measuring methods and devices are Liquid Particle Count (LPC), Air Bond Particle Count (APC), Scanning Electron Microscopy (SEM), and Optical Image Analysis (OIA). Among these, OIA method is the one that has the lowest operating cost and shortest operating time. In addition, this method is capable of location on the samples as well. However, the method of OIA is found to have two serious problems, i.e. large error in size measurement and particles counting compared to SEM method. This paper proposes an iterative method to detect the contaminated particle with optimal threshold techniques to perform size measurement and particle counting automatically. The algorithm will not only help reducing operating time but also improving the accuracy of size measurement and particle counting as well.

สารบัญเรื่อง

สารบัญภาพ

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องควบคุมปริมาณฝุ่นและสภาวะแวดล้อม (Clean room) ในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผลิตและประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้น กระบวนการและวิธีการตรวจวัดปริมาณเม็ดฝุ่น หรือ สิ่งสกปรก (Particle) บนชิ้นงานนั้นมีความจำเป็นอย่างมากในการช่วยวิเคราะห์ และแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

กระบวนการตรวจวัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆด้วยกัน

1. การตรวจวัดเม็ดสิ่งสกปรกบนชิ้นงานโดยตรง เช่น การทำ SEM EDX บนพื้นผิวของหัวอ่านโดยตรง
2. การตรวจวัดเม็ดสิ่งสกปรกผ่านตัวกลาง เช่น การตรวจวัดเม็ดสิ่งสกปรกผ่านของเหลว (Liquid Particle Count) หรือ การตรวจวัดเม็ดสิ่งสกปรกผ่านเทป (Carbon Tape)

การตรวจวัดด้วยภาพ (Optical Image Analysis: OIA) วิธีการนี้สามารถใช้ตรวจวัดทั้งบนชิ้นงานโดยตรง และ ผ่านตัวกลางเช่นคาร์บอนเทป โดยการตรวจวัดขนาดและจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกจะทำบนภาพที่ได้มาจากกำลังขยายของ เลนส์ และ กล้องขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งที่ต้องการตรวจ เนื่องจากตัวเครื่องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจด้วยวิธี OIA นั้นมีราคาถูกอีกทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดก็น้อยกว่าวิธีการอื่นๆเช่น SEM มาก

คณะผู้ทำวิจัยจึงมีความประสงค์จะนำการตรวจวัดด้วย OIA มาใช้ในการตรวจวัดขนาด และ จำนวนเม็ดสิ่งสกปรก อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับการตรวจด้วยวิธีOIA คือความผิดพลาดในการบอกขนาดและการนับจำนวนเม็ดสิ่งสกปรก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะพัฒนาวิธีการ OIA ให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นโดยใช้เทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของวิธีการตรวจวัดแบบ OIA เทียบกับ SEM EDX
2. พัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการบอกขนาด และ จำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกให้แม่นยำขึ้นโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ
3. เพื่อนำผลวิจัยมาใช้ในกระบวนการตรวจวัดเม็ดสิ่งสกปรกในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ด้วยต้นทุนที่ถูกลง และมีความรวดเร็วในการตรวจวัดเพิ่มขึ้น

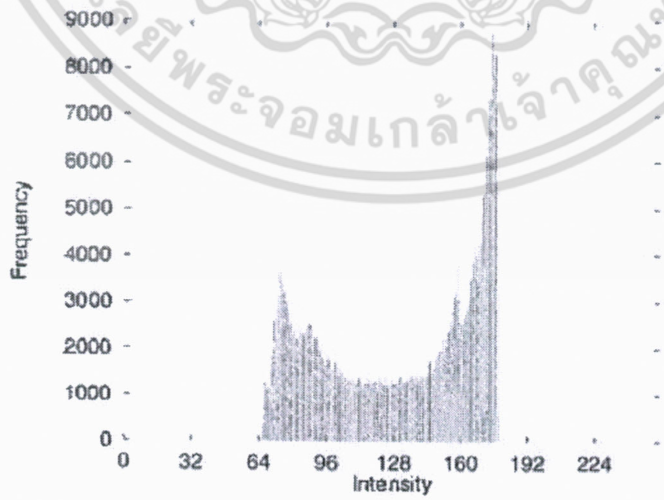
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพและความสามารถของการตรวจวัดเม็ดสิ่งสกปรกในฮารด์ดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธีการตรวจวัดแบบ OIA
2. ศึกษาและหาสาเหตุความผิดพลาดในการตรวจวัดเม็ดฝุ่นด้วยวิธีการตรวจวัดแบบ OIA
3. พัฒนาวิธีการตรวจวัดโดยเทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

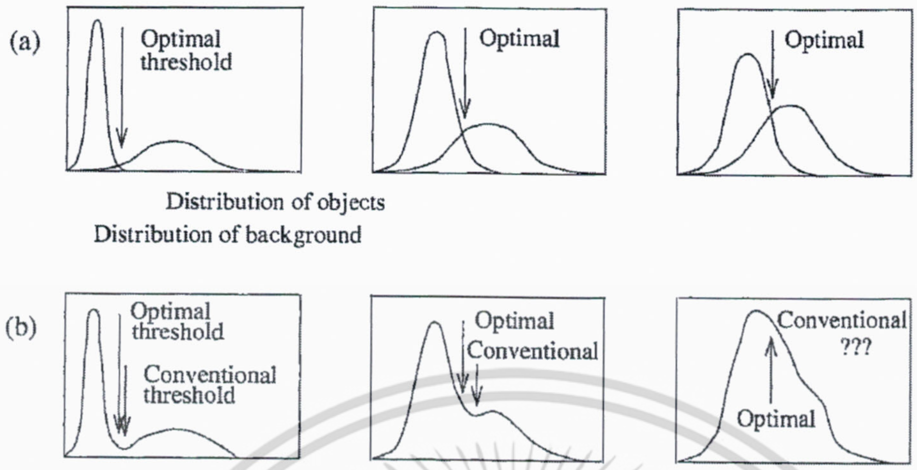
1.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

บทความวิจัยที่เกียวข้องกับการศึกษาคุณลักษณะของเม็ดสิ่งสกปรก และ การกระจายตัวของขนาดเม็ดสิ่งสกปรกโดยใชเการตรวจวัดด้วยภาพสามารถดูรายระเอียดได้จาก[1-3] ในบทความเหล่านี้มีการหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตรวจวัดต่อจากนั้นได้นำค่าความผิดหลาดไปปรับแต่งโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจวัดเพื่อที่จะทำการตรวจวัดเม็ดคาร์บอนที่มีขนาดเล็กลง โดยขนาดคาร์บอนที่มี่เล็กที่สุดและใหญ่ที่สุดมีขนาดเท่ากับ 0.1 และ 1.8 มิลลิเมตรตามลำดับ สุดท้ายแล้วได้ผลตรวจวัดที่ใกล้เคียงกับขนาดจริงของเม็ดคาร์บอน Montoya และ Hildemann นำเสนอการตรวจวัดเม็ดฝุ่นด้วยเทคนิคทางภาพโดยการใช้ภาพทำ่ได้จากกำลังขยาย 880 เท่ากับเม็ดฝุ่นที่มีขนาด 0.4 และ 1.2 ไมครอนโดยมีพื้นที่ในการตรวจวัดต่อ 1 ภาพอยู่ที่กว้างและยาว 101 ไมครอนด้วยค่าความละเอียด 5.059 พิกเซลต่อไมครอน[4] นอกจากนี้จะพบได้ว่ามีหลายบทความที่ศึกษาเกี่ยวกับ นอกจากนี้จะพบได้ว่ามีหลายบทความที่ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดขนาดและจำนวนของเม็ดฝุ่นด้วยSEM ทั้งแบบผ่านตัวกลางและไม่ผ่านตัวกลาง[5-6] และยังมีบทความที่ศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเม็ดสิ่งสกปรกที่มีรูปร่างและขนาดต่างกัน โดยเม็ดสิ่งสกปรกที่มีขนาดและรูปร่างต่างกันจะมีแรงเสียดทานสถิตที่ไม่เท่ากัน ในบทความกล่าวว่าเม็กสิ่งสกปรกที่มีลักษณะทรงกลมจะมีแรงเสียดทานต่ำที่สุด [7-9]

สำหรับเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยการใช้ค่า Optimal threshold[10-19] ดังแสดงในรูปที่2. มีด้วยกันหลายวิธีด้วยกันยกตัวอย่างเช่นวิธีการOtsu[18] ซึ่งสามารถใช้ในการหาค่าThresholdระหว่างวัตถุกับพื้นหลังของรูปที่มีลักษณะการกระจายตัวของค่าThreshold เป็นแบบ Bi-modal ดังรูปที่1. ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ข้อเสียของวิธีการOtsu ในการหาค่าOptimal Threshold นั้นคือมีความผิดพลาดสูงเมื่อนำไปใช้กับภาพที่เป็นUni-modal หรือใกล้เคียง ส่วนวิธีการMaximum-likelihood classification[10] นั้นก็พบว่าไม่แม่นยำเมื่อนำไปใช้กับข้อมูลที่กระจายตัวในลักษณะไม่ปกติ (Non-normal distribution) สำหรับงานวิจัยนี้ผู้ทำวัจัยได้ศึกษาและเลือกใช้เทคนิค Iterative thresholding[19] ในการหาค่าOptimal threshold เนื่องจากเทคนิคนี้ไม่ซับซ้อนและมีความแม่นยำถึงแม้ภาพที่ใช้ในการประมวลผลจะไม่เป็น Bi-modal เช่นในการตรวจวัดจำนวนเม็ดสิ่งสกปรกในบนชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ



รูปที่1. กราฟแสดงฮิสโตรแกรมของ bi-modal



รูปที่2. (a) แสดงการกระจายตัวค่า Threshold
(b) แสดงค่า Optimal threshold

2. การดำเนินการวิจัย

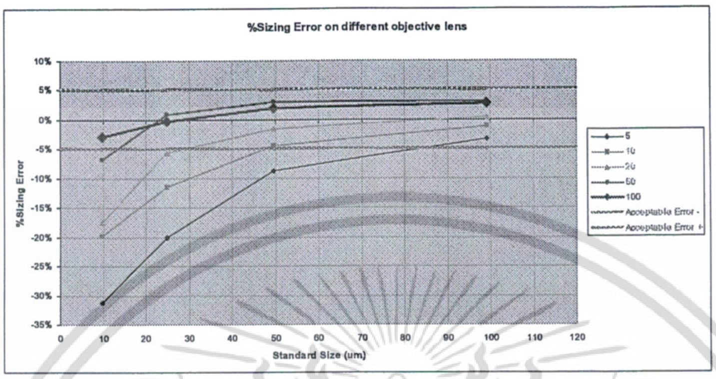
2.1 ศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์และระบบขอบ OIA ก่อนทำการปรับปรุง

คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของอุปกรณ์OIA โดยการใช้งานในปัจจุบันนั้นผู้วัดจะทำการถ่ายภาพของชิ้นงานที่ต้องการตรวจวัดเมื่อได้ภาพที่ถ่ายจากOIA ผู้วัดจะทำการเลือกค่าThresholdที่จะใช้เป็นตัวแบ่งระหว่างเม็ดสิ่งสกปรกและพื้นหลังด้วยตัวเอง ซึ่งในแต่ละครั้งที่ทำการตรวจวัดค่าThresholdที่เลือกอาจจะไม่ใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับอุปกรณ์OIA ที่ใช้ในการทำวิจัยมีดังนี้

1. กล้องไมโครสโคปที่มีกำลังขยาย 50-2000 เท่า
2. คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ร่วมกับกล้องไมโครสโคป
3. อุปกรณ์กำเนิดแสงสำหรับกล้องไมโครสโคป
4. อุปกรณ์สำหรับเตรียมชิ้นงาน
5. อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจับหรือวางชิ้นงานใต้กล้อง

จากการศึกษาประสิทธิภาพของระบบOIAก่อนทำการปรับปรุงพบว่า การตรวจวัดขนาดที่มีความผิดพลาดบวกและลบไม่เกินร้อยละ 5 นั้นขนาดของวัตถุเล็กที่สุดที่สามารถตรวจวัดได้อยู่ที่ 10 ไมครอน โดยใช้กำลังขยายของกล้องที่ 1000 เท่าดังแสดงในรูปที่ 3.

สำหรับการตรวจวัดจำนวนและตำแหน่งของระบบ OIA ก่อนทำการปรับปรุงนั้นแสดงในตารางที่1. จะพบว่าที่กำลังขยาย 100 เท่า มีความถูกต้องในการตรวจวัดจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกที่มีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 100 ไมครอนได้เพียงร้องละ 65 และมีความถูกต้องในการบอกตำแหน่งของเม็ดสิ่งสกปรกเพียงแค่ร้อยละ 19 เท่านั้น



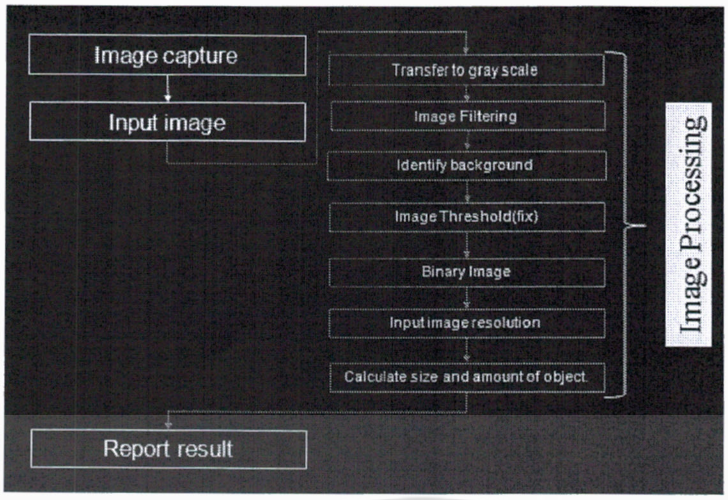
รูปที่3. ผลการทดสอบค่าความถูกต้องในการตรวจวัดขนาดสิ่งสกปรกของOIA ก่อนการปรับปรุง

Method	% Matched of Count(Avg)	%Matched of Locatio(Avg)	Operating time
Human Eye under 100X	95.20%	95.20%	>10min/sample
OIA under 100X (manual threshold)	65%	19%	3min/sample

ตารางที่1. ผลการทดสอบค่าความถูกต้องในการวัดจำนวนและตำแหน่งสิ่งสกปรกของ OIA ก่อนการปรับปรุง

2.2 การปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบประมวลผลของOIA

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องที่ผู้ทำวิจัยได้ทำการศึกษาและกล่าวไว้ พบว่าการนำเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ และเทคนิคการหาค่า Optimal threshold นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของOIA โดยกระบวนการทำงานที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของOIAแสดงดังรูปที่4.

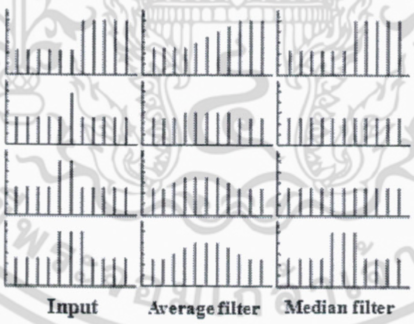


รูปที่4. การปรับปรุงประสิทธิภาพของOIA ด้วยการประมวลผลภาพ

2.2.1Image capture ถ่ายภาพชิ้นงานหรือสิ่งที่ต้องการตรวจด้วยกำลังขยายที่เหมาะสม โดยที่กำลังขยายจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ในการตรวจวัด

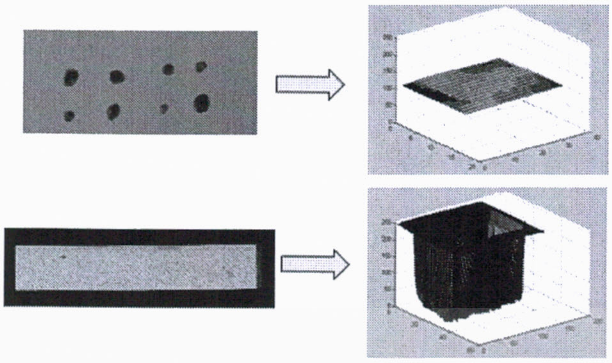
2.2.2 Input image นำรูปที่ได้จาก Image capture ไปทำการประมวลผล

2.2.3 Image processing การประมวลผลภาพจะเริ่มต้นจากการเปลี่ยน RGB เป็น Gray scale จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ Image Filtering ซึ่งผู้ทำวิจัยเลือกใช้ Median filter ในการขจัดสิ่งรบกวนต่างๆโดยที่ความคมชัดของข้อมูลตามขอบในแต่ละพิกเซลยังครบถ้วนดังแสดงในรูปที่ 5.



รูปที่5. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำ Average filter และ Median filter

หลังจากขั้นตอนการทำ Image Filtering ภาพที่ได้จะถูกนำไปหาพื้นหลังโดยใช้เทคนิค Morphological Opening Technique [10] ซึ่งจะเริ่มจากการทำ Image Erosion จากนั้นตามด้วยการทำ Image Dilation ดังแสดงในรูปที่ 6.



รูปที่ 6. การหาพื้นหลังด้วยวิธี Morphological Opening Technique

ในส่วนของการหาค่า threshold ที่เหมาะสมนั้นคณะผู้ทำวิจัยได้ใช้เทคนิค Iterative thresholding ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ และแสดงในรูปที่7. ด้วยเช่นกัน

2) ค่า Threshold เฉลี่ยของพื้นหลังถูกกำหนดค่าตั้งต้นโดยการเฉลี่ยค่า Threshold ทั้งสี่มุมของภาพ ด้วยวิธีการนี้ค่าเฉลี่ยของ Threshold ที่เหลือจะถูกกำหนดให้เป็นค่า Threshold เฉลี่ยของวัตถุตามสมการที่ 1 และ 2

$$\mu_B^k = \frac{\sum_{(i,j)\in background} f(i,j)}{\#background\_pixels} \tag{1}$$

$$\mu_O^k = \frac{\sum_{(i,j)\in object} f(i,j)}{\#object\_pixels} \tag{2}$$

3) นำค่า Threshold เฉลี่ยของวัตถุและพื้นหลังจากขั้นตอนก่อนหน้านี้มาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งจะได้ค่า Optimal Threshold เริ่มต้นตามสมการที่ 3

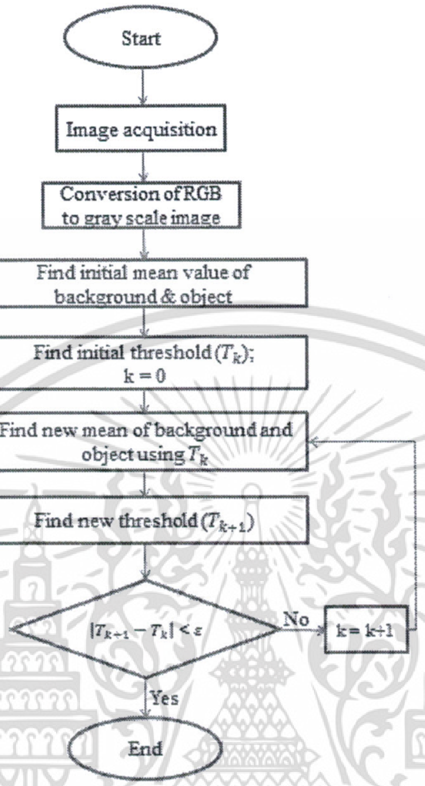
$$T_k = \frac{\mu_B^k + \mu_O^k}{2} \tag{3}$$

4) จากค่า Optimal Threshold เริ่มต้น ค่า Threshold เฉลี่ยของวัตถุและพื้นหลังจะถูกคำนวนในรอบใหม่ด้วยสมการที่ 1 และ 2

5) ค่า Optimal Threshold ในรอบใหม่ก็จะถูกคำนวนอีกครั้งด้วยสมการที่ 3 เช่นกัน

6) ค่า Optimal Threshold เก่าและใหม่จะถูกนำมาเปรียบเทียบ ถ้าค่าที่ได้มาใหม่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากๆโปรแกรมก็จะหยุดการคำนวนและนำค่า Optimal Threshold นั้น

ไปใช้ แต่ถ้าค่า Threshold ในรอบใหม่นั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงค่าอยู่โปรแกรมก็จะคำนวน ค่าต่อตามขั้นตอนที่ 3



รูปที่ 7. เทคนิคการหาค่า Optimal Threshold ด้วยวิธีการ Iterative Thresholding

เมื่อค่า threshold ที่เหมาะสมถูกเลือกขั้นตอนต่อไปคือการประมวลผลภาพให้อยู่ในรูปของ Binary Image ซึ่งแต่ละพิกเซลของภาพจะถูกแทนที่ด้วยสีขาว และ ดำ หรือค่า 0 และ 1 จากนั้นโปรแกรมจะทำการประมวลผลหาขนาดและจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรก

2.2.4 Report result ผลที่ได้จากการทำการประมวลผลภาพจะถูกแสดง

3. อภิปราย และ วิจารณ์ผลการทำวิจัย

SEM และ OIA เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องในการตรวจวัดขนาดและจำนวนเม็ดสิ่งสกปรกบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในงานวิจัยนี้ โดยปกติแล้วข้อมูลที่ได้จากตรวจวัดจะถูกนำไปใช้เพื่อวิเคราะความสะอาดของกระบวนการผลิต ความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายเนื่องจากสิ้นปนเปื้อนบนชิ้นงานรวมทั้งประสิทธิภาพในการขจัดสิ่งปนเปื้อนของเครื่องล้าง สำหรับในงานวิจัยนี้กำลังขยายที่เลือกใช้กับระบบ OIA คือ 100 เท่าซึ่งมีความละเอียดเท่ากับ 1.1×1.1 ไมครอนต่อพิกเซล

3.1 การทดสอบความถูกต้องในการบอกขนาด

สำหรับการทดสอบความถูกต้องในการบอกขนาดจะใช้แสตนดาร์ดไซส์ขนาด 10, 25, 50 และ 100 ไมครอนเป็นตัวอย่างในการทดสอบ เนื่องจาก SEM มีฟังก์ชั่นการวัดขนาดที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงจึงถูกนำมาใช้วัดขนาดของแสตนดาร์ดไซล์เพื่อเป็นค่าอ้างอิงของการทดสอบ แต่การวัดด้วย SEM นั้นมีข้อจำกัดเนื่องจากต้องใช้เวลานานในการตรวจวัดแต่ละตัวอย่าง การวัดด้วย OIA จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการทดสอบนี้

OIA เป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่สามารถวัดขนาดของเม็ดสิ่งสกปรกได้ สำหรับการทดสอบนี้มีวิธีการกำหนดค่า Threshold อยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ วิธีการกำหนดค่าแบบ Manual threshold โดยโอเปอเรเตอร์ซึ่งใช้ในปัจจุบัน และ วิธีการที่ผู้วัจัยต้องการนำเสนอคือ Optimal Threshold ซึ่งใช้ซอฟท์แวร์ในการประมวลผลโดยกระบวนการวัดเริ่มจากการใช้ OIA ถ่ายภาพแสตนดาร์ดไซส์ด้วยกำลังขยายที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการเปลี่ยนภาพที่ได้จาก RGB ให้เป็น Gray Scale ก่อนที่จะทำการเลือกค่า Threshold ที่ใช้แบ่งระหว่างพื้นหลังและสิ่งปนเปื้อนต่อไป สำหรับการเลือกค่า Threshold โอเปอเรเตอร์จะเป็นผู้กำหนดสำหรับวิธี Manual และค่า Optimal Threshold จะถูกประมวลผลและเลือกด้วยโปรแกรมที่ผู้วิจัยเขียนขึ้นมาโดยใช้เทคนิค Iterative thresholding เมื่อเสร็จกระบวนการกำหนดค่า Threshold ภาพที่ได้จากทั้งสองวิธีจะถูกเปลี่ยนจาก Gray Scale ไปเป็นภาพขาวดำ(Binary image) ซึ่งในแต่ละพิกเซลจะถูกแทนที่ด้วยสีขาวและสีดำตามค่า Threshold ที่กำหนด กระบวนการสุดท้ายพื้นที่สีขาวและสีดำ หรือพื้นที่ของสิ่งปนเปื้อนและพื้นหลังจะถูกคำนวนและแสดงค่า

ค่าที่ได้จาก OIA ทั้งสองวิธีถูกนำมาแสดงและเปรียบเทียบกับค่าได้วัดได้จาก SEM ตามตารางที่2. จากตารางจะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดพลาดจากการวัดด้วย SEM และการใช้ OIA ด้วยการกำหนดค่า Threshold แบบ Optimal Threshold ให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องโดยเฉลี่ยมากกว่า 80% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ Manual Threshold นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความผิดพลาดของวิธี Optimal Threshold มีค่าไม่มากเมื่อเทียบกับ SEM โดยมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 3% บนสแตนดาร์ดไซส์ขนาด 10 ไมครอน

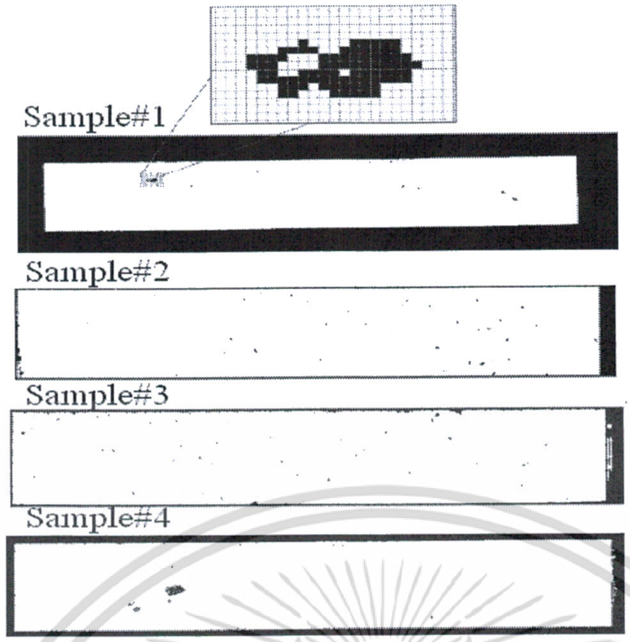
นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ OIA ด้วยการกำหนดค่า Threshold แบบ Optimal Threshold นอกจากจะสามารถปรับปรุงในเรื่องของความถูกต้องในการบอกขนาดเมื่อเทียบกับวิธีปัจจุบันที่ใช้ Manual Threshold แล้ว เวลาที่ใช้ในการตรวจวัดในแต่ละตัวอย่างก็ยังลดลงอีกด้วย ด้วยวิธีการนี้ใช้เวลาในการตรวจวัดเพียงแค่ 2 นาทีต่อตัวอย่าง ในขณะที่ SEM และ วิธีการ Manual Threshold ต้องใช้เวลาในการตรวจวัด 60 และ 3 นาทีต่อตัวอย่าง

3.2 การทดสอบความถูกต้องในการตรวจนับจำนวน

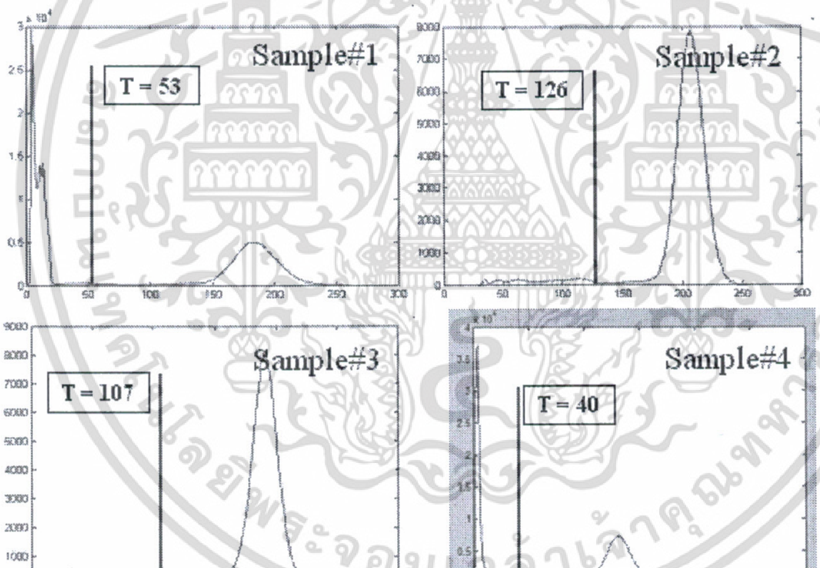
ชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ที่ถูกทำให้เกิดสิ่งปนเปื้อนบนพื้นผิวถูกนำมาทดสอบในการตรวจนับจำนวน สำหรับงานวิจัยนี้จะนับจำนวนของสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 3 ไมครอนขึ้นไป ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 SEM เป็นอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงดังนั้นค่าที่วัดได้จาก SEM จะถูกนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการทดสอบนี้เช่นกัน ถึงแม้ SEM จะเป็นอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงแต่เวลาที่ใช้ในการตรวจวัดแต่ละชิ้นงานก็สูงด้วยเช่นกัน สำหรับอุปกรณ์อื่นที่ใช้ทดสอบในหัวข้อนี้คือ OIA และการนับด้วยคนภายใต้กำลังขยาย 100 เท่า

วิธีการนับจำนวนสิ่งปนเปื้อนที่มองเห็นภายใต้กำลังขยายนั้นเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ผลลัพธ์ที่ได้มักมีความพลาด และ ใช้เวลาในการตรวจวัดสูง การตรวจวัดด้วย OIA จึงเป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้ โดยวิธีการกำหนดค่า Threshold ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธีคือ วิธีการ Optimal Threshold และวิธีการ Manual Threshold สำหรับขั้นตอนการวัดด้วย OIA นั้นจะเหมือนกับที่ได้กล่าวในการทดสอบการบอกขนาดในหัวข้อที่แล้ว โดยสิ่งที่แตกต่างกันคือขั้นตอนสุดท้ายที่ทำการประมวลผล จำนวนของสิ่งปนเปื้อนจะถูกนับจากพิกเซลขาวดำ แทนการคำนวนหาพื้นที่

ตารางที่3. แสดงผลการทดสอบที่ได้จาก SEM, การใช้คนนับ, การใช้ OIA ด้วยการกำหนดค่า Threshold แบบ Optimal Threshold และ Manual Threshold จากตารางจะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดพลาดจากวิธี Optimal Threshold ในขณะที่ความผิดพลาดจากวิธี Manual Threshold และการใช้คนนับอยู่ที่ 28% และ 5% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการตรวจในแต่ละวิธีจะพบว่าวิธีการ Optimal Threshold ยังใช้เวลาในการตรวจวัดน้อยที่สุดอีกด้วย



รูปที่8. Binary Image ของสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ



รูปที่ 9. แสดงค่า Optimal Threshold

Sample No.	Sizing Standard (micron)	SEM		OIA 100X (manual threshold)		OIA 100X (optimal threshold)	
		Measured size (micron)	%error	Measured size (micron)	%error	Measured size (micron)	%error
1	100	100	0%	98.6	1.40%	100.1	0.10%
2	50	50	0%	47.7	4.60%	49.5	1.00%
3	25	25	0%	22.1	11.60%	25.3	1.20%
4	10	10	0%	6.8	32%	9.7	3.00%
Operating time/sample		60 min.		3 min.		2 min.	

Remark SEM: One time measured on each sample

OIA: Three times measured on each sample

ตารางที่ 2. ผลการทดสอบการตรวจวัดขนาด

Sample No.	SEM measured (counts)	OIA 100X (manual threshold)		OIA 100X (optimal threshold)		Human Eye (100X)	
		measured (counts)	%error	measured (counts)	%error	measured (counts)	%error
1	29	20	31.03%	29	0%	29	0.00%
2	52	35	32.69%	52	0%	49	5.77%
3	86	51	40.70%	86	0%	81	5.81%
4	21	18	14.29%	21	0%	21	0%
5	76	66	13.16%	76	0%	72	5.26%
6	35	26	25.71%	35	0%	34	2.86%
7	105	84	20.00%	105	0%	96	8.57%
8	50	32	36.00%	50	0%	48	4.00%
9	293	186	36.52%	293	0%	232	20.82%
10	11	8	27.27%	11	0%	11	0%
Avg %error		27.74%		0%		5.31%	
Operating time/sample	60 mins	3 mins		2 mins		10 mins	

Remark SEM: One time measured on each sample

OIA & Human Eye: Three times measured on each sample

ตารางที่ 3. ผลการทดสอบการตรวจนับจำนวน

4. สรุปผลที่ได้และการวิจัยในขั้นต่อไป

ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบเครื่องมือวัดชนิดต่างๆที่ใช้ตรวจขนาดและจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกทั้ง SEM, การตรวจด้วยนับด้วยการใช้โอเปอเรเตอร์ผ่านกล้องที่มีกำลังขยาย 100 เท่า และ OIA ที่ใช้การกำหนด Threshold ด้วยวิธีการ Manual Threshold และ Optimal Threshold ซึ่งผู้ทำวิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงความถูกต้องในการตรวจขนาดและวัดปริมาณของเม็ดสิ่งสกปรก รวมทั้งเพิ่งประสิทธิของการตรวจวัดให้มีความรวดเร็วมากขึ้น

จากผลการทดลองที่ได้กล่าวไว้จะเห็นได้ว่า SEM เป็นวิธีการที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงแต่ต้องใช้เวลาในการตรวจวัดนานกว่าวิธีการอื่นๆ ในขณะที่วิธีการตรวจวัดแบบอื่นๆนั้นใช้เวลาในการตรวจวัดที่น้อยกว่าแต่ก็มีค่าความผิดพลาดที่สูกเกินกว่าจะนำมาใช้งาน สำหรับวิธีการตรวจวัดด้วย OIA ที่กำหนดค่า Threshold ด้วยวิธีการ Optimal Threshold นั้นผู้ทำวิจัยได้พัฒนาขึ้นมาโดยต้องการที่จะปรับปรุประสิทธิภาพทั้งความถูกต้องและเวลาในการตรวจวัด ด้วยวิธีการนี้ค่า Threshold ที่เหมาะสมจะถูกเลือกโดยอัตโนมัติจากโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นดังจะได้เห็นจากผลการทดลองซึ่งมีค่าความพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์ และ ใช้เวลาในการตรวจวัดเพียงแค่ 2 นาทีต่อตัวอย่าง

สำหรับการวิจัยในขั้นต่อไปนั้นทางผู้จิจัยจะทำการศึกษาค่า Threshold ของสิ่งปนเปื้อนมากกว่า 1 ชนิดที่พบบนชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมีความตั้งใจที่จะพัฒนาวิธีการตรวจวัดจำนวนของเม็ดสิ่งสกปรกที่ต่างชนิดกันได้

บรรณานุกรม

[1] H.S. Hundal, S. Rohani, H.C. Wood and M.N. Pons, *Particle shape characterization using image analysis and neural network*, Powder technology, 91, 217-227 (1997).

[2] J. Lario, C. Spencer, A.J. Plater, C. Zazo, J.L. Goy and C.J. Dabrio, *Particle size characterization of Holocene back-barrier sequences from North Atlantic coasts (SW Spain and SE England)*, Geomorphology, 42, 25-42 (2002).

[3] T. Hibino, K. Suzuki, K. Ushiki, Y. Kuwahara and M. Mizuo, *Ultra-fine grinding of La0.8Sr0.2MnO3 oxide by vibration mill*, Applied Catalysis A, General 145, 297-306 (1996).

[4] Montoya, L. D. and Hildemann, L. M., *Evolution of the Mass Distribution of Resuspended Cat Allergen (Fel d 1) Indoors Following a Disturbance*, Atm. Environ 35, pp. 859-866. [csa], 2001.

[6] Thornburg, J., Rodes, C., Lumvik, M., Willis, R., Rosati., *Image Analysis Method (IAM) for Measurement of Particle Size Distribution and Mass Availability on Carpet Fibers*, Aerosol. Sci. and Technol 40 , pp. 274-281, 2006.

[7] Hee, S. S. Que, Peace, B., Clark, C. S., Boyle, J. R., Bornschein, R. L. and Hammond, P. B., *Evolution of Efficient Methods to Sample Lead Sources, Such as House Dust and Hand Dust, in Homes of Children*, Environ. Res 38 , pp. 77-95. [csa] [crossref] [pubmed], 1985.

[8] Brouwer, D. H., Kroese, R. and Van Hemmen, J. J., *Transfer of Contaminants from Surfaces to Hands: Experimental Assessment of Linearity of the Exposure Process, Adherence to the Skin, and Area Exposed During Fixed Pressure and Repeated Contact with Surfaces Contaminated with a Powder*, App. Occup. And Environ. Hyg 14 , pp. 231-239. [informaworld], 1999.

[9] Ferro A., Kopperund R. and Hildemann, L. M., *Source Strengths for Indoor Human Activities that Resuspend Particulate Matter*, Environ. Sci. Technol 38 , pp. 1769-1764, 2004.

[10] Milan S., Vaclav H., Roger B., *Image Processing Analysis and Machine Vision*, 2008.

[11] Mehmet S., Bulent S., *Survey Over Image Thresholding Technique and Quantitative Performance Evaluation*, Journal of Electronic Imaging 13(1), pp. 146-165, January 2004.

[12] Lee, S.U., Chung, S.Y., Park, R.H., *A Comparative Performance Study of Several Global Thresholding Technique for Segmentation. Computer Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 52 (2), pp. 171-190, 1990.

[13] Kittler, J., Illingworth, J., *Minimum Error Thresholding*, Pattern Recognition, vol. 19(1): pp. 41-47, January-February 1986.

[14] Xiao, Y., Cao, Z.G., Zhang. T.X., *Entropic Thresholding Based on Gray-Level Spatial Correlation Histogram*, Proc. 19^{th} Int. Conf. On Pattern Recognition (ICPR 2008), Tampa, FL, USA, 8-11 December 2008.

[15] Sahoo, P.K., Soltani, S. Wong, A.K., Chan, Y.C., *A Survey of Thresholding Techniques. Computer Vision,* Graphics and Image Processing, vol. 41, pp. 233-260, 1988.

[16] Yasnoff, W.A., Mui, J.K., Bacus, J.W., *Error Measure for Scene Segmentation,* Pattern Recognition, vol. 9, pp. 217-231, 1977.

[17] Liao, P.S., Chen, T.S., Chung, P.C., *A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding*. Journal of Information Science and Engineering, vol. 17, pp. 713-727, 2001.

[18] Otsu, N., *A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms,* IEEE Transaction on Systems Man Cybernet, vol SMC-9(1), pp. 62-66, 1979.

[19] Ridler, T.W., Calvard, E.S., *Picture Thresholding Using an Iterative Selection Method,* IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. vol. 8, pp. 629-632, August 1978.