



โครงการวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

เรื่อง การออกแบบอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายสำหรับเครื่อง ACAM

(Holder Design For Image-Based Barcode Readers Of ACAM)



จัดทำโดย

นายอนุภาค ภูมิอ่อน รหัสนักศึกษา B5721580

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาจารย์อภิสิทธิ์ หล่อนกลาง

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 3/2561

เกี่ยวกับโครงการ

โครงการวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

ชื่อโครงการ

ภาษาไทย การออกแบบอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายสำหรับเครื่อง ACAM

ภาษาอังกฤษ Holder design for image-based barcode reader of ACAM

ผู้ดำเนินโครงการ/ที่ปรึกษาโครงการ

ผู้จัดทำโครงการ

นายอนุภาค ภูมิอ่อน รหัสประจำตัวนักศึกษา B5721580

สาขาวิชา วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

อาจารย์อภิสิทธิ์ หล่อนกลาง อาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

สถานศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี (Suranaree university of technology)

ปีการศึกษา 3/2561



สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเรื่องการออกแบบอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายสำหรับเครื่อง ACAM (Holder design for image-based barcode reader of ACAM) สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นก็เกิดขึ้นจากการได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์อภิสิทธิ์ หล่อนกลางที่ได้ให้คำปรึกษาและตรวจสอบความคืบหน้าอยู่ตลอดการดำเนินโครงการและขอขอบคุณบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัดที่ได้ให้มีโอกาสได้ทำโครงการทางด้านวิศวกรรมสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี และขอขอบคุณ พี่ๆ แผนก HGA Development ทุกคนที่ได้ให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดจนการทำโครงการสำเร็จลุล่วงและขอขอบคุณ คุณประธาน ชมเมืองปัก ผู้จัดการแผนก HGA Development ที่ได้ให้ทำโครงการนี้และยังให้คำแนะนำต่างๆตลอดจนการดูแลผลการดำเนินโครงการอยู่ตลอดขอขอบคุณ Alice ที่ช่วยในการทำซอฟต์แวร์ลิงก์สัญญาณ Trigger ไปยังเครื่อง ACAM และขอขอบคุณ คุณปัญญา จรเสถียร ที่ได้ให้คำแนะนำในการออกแบบต่างๆและความรู้เกี่ยวกับการออกแบบ

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำก็หวังว่าโครงการวิศวกรรมเรื่องการออกแบบอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายสำหรับเครื่อง ACAM (Holder design for image-based barcode reader of ACAM) จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจและศึกษาในภายภาคหน้า

ผู้จัดทำ

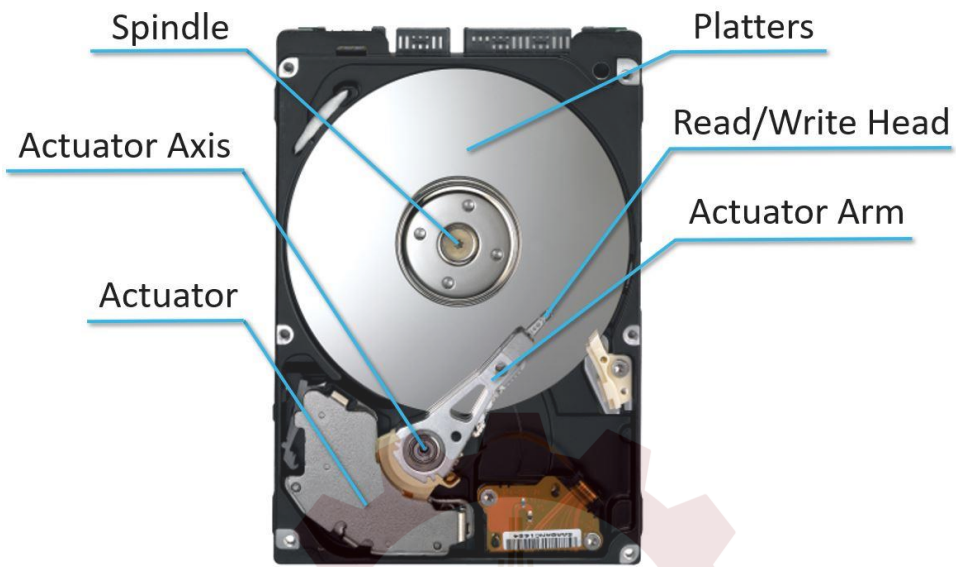
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

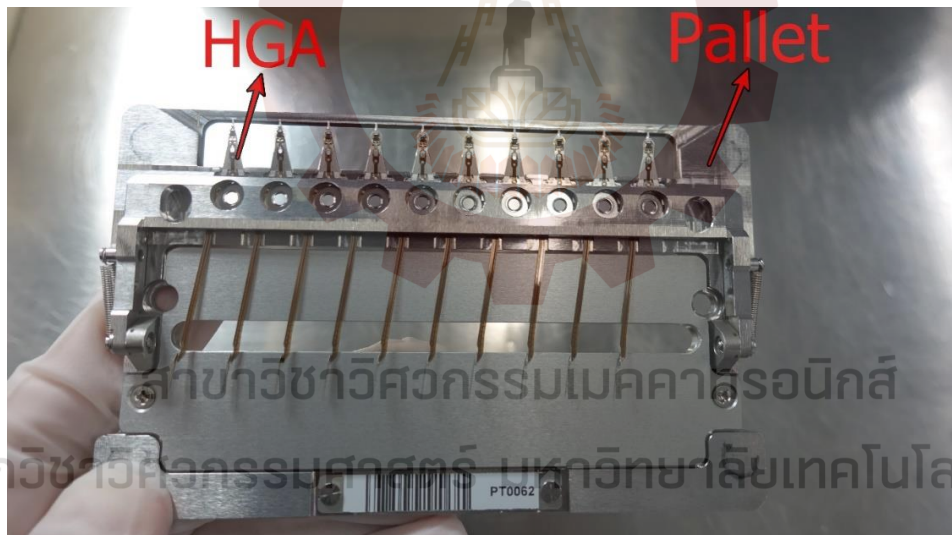
บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยนั้นเป็นฐานการผลิตอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ (hard disk drives) ที่ใหญ่ที่สุดในโลก ด้วยมูลค่าการส่งออกกว่า 500,000 ล้านบาทต่อปี มีการจ้างแรงงานกว่า 200,000 คน และมีการแข่งขันในระดับประเทศเพื่อที่จะนำอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เข้า มาให้ประเทศของตนเป็นฐานการผลิต ซึ่งทำให้มีรายได้เข้าสู่ประเทศเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้สามารถนำไปแข่งขันในระดับนานาชาติ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคเทคโนโลยีของฮาร์ดดิสก์ ในปัจจุบันข้อมูลในฮาร์ดดิสก์จะถูกบันทึกและอ่านจากจานด้วยหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์(head gimbal assembly, HGA) ที่เรียงกันอยู่ในแนวตั้งบนแขนแอคทูเอเตอร์ (actuator arm)

โครงการนี้ทำการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ใช้ในการจับยึดกล่องสแกนบาร์โค้ดสำหรับเครื่องจักร ACAM ที่ใช้ในการผลิต HGA ของ Harddisk drive (รูปที่ 1.1) ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่รวม Slider เข้ากับ Suspension จึงเรียกส่วนนี้ว่า HGA(Head Gimbal Assembly) (รูปที่ 1.2) เป็นส่วนRead/Write head ของ Harddisk drive (รูปที่ 1.1) และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ Harddisk drive ซึ่งทำหน้าที่เป็นหัวอ่านและเขียนข้อมูลของ Harddisk drive และ Slider ยังทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำเก็บข้อมูลดิจิทัลของ Harddisk drive อีกด้วย (Capacity) ซึ่งในการเริ่มต้นการทำงานของเครื่อง ACAM นั้นจะต้องทำการอ่านบาร์โค้ดจาก Pallet (รูปที่ 1.1) ซึ่งเป็นชิ้นงานไว้สำหรับบรรจุ Suspension เข้าไปในเครื่อง ACAM เพื่อทำการประกอบ Slider เข้ากับ Suspension ต่อไปดังนั้นการทำการสแกนบาร์โค้ดจึงเป็นเหมือนกับจุดเริ่มต้นการทำงานของเครื่อง ACAM ใน line automation สำหรับการผลิตของ HGA ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นการเลือกเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ในการสแกนบาร์โค้ดของ pallet และวิเคราะห์ความคุ้มค่าของอุปกรณ์แต่ละตัว และทำการทดลองเปรียบเทียบกับ Barcode scanner ที่มีอยู่แล้วว่าการทำงานแตกต่างกันอย่างไรและทำการวิเคราะห์ downtime ของ line การผลิตที่อาจเกิดขึ้นได้จากอุปกรณ์สแกนบาร์โค้ดตัวเดิมที่มีอยู่แล้ว เมื่อได้ทำการเลือกสเปคอุปกรณ์อ่านบาร์โค้ดได้สำเร็จแล้วและวิเคราะห์ปัญหาต่างๆจากนั้นจะทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึด Camera scanner เข้าไว้กับเครื่อง ACAM ให้สะดวกต่อการทำงานของช่างเทคนิคและมีความสามารถในการเคลื่อนตำแหน่งของ Camera scanner ดังนั้นเมื่อติดตั้งกล่องเสร็จแล้วก็จะสามารถใช้งานการอ่านบาร์โค้ดได้อย่างดีขึ้นและไม่กีดขวางการทำงานของช่างเทคนิค และทำการตั้งค่า Camera scanner ให้สามารถอ่านบาร์โค้ดได้อย่างถูกต้องและไม่เกิดข้อผิดพลาดในการอ่านบาร์โค้ดและทำการส่งสัญญาณ trigger การอ่านบาร์โค้ดไปยังเครื่อง ACAM เพื่อนำข้อมูลการอ่านบาร์โค้ดไปใช้ต่อไปและดำเนินการกระบวนการผลิตของเครื่อง ACAM ต่อไป



รูปที่ 1.1



รูปที่ 1.2

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

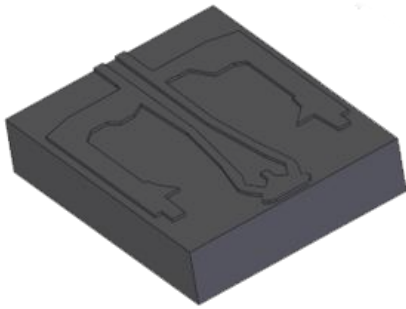
ในปัจจุบันนั้นเทคโนโลยีมีมากมายและเทคโนโลยีที่สำคัญอย่างมากอย่างหนึ่งในปัจจุบันคือ ข้อมูลดิจิทัล (Digital Data) เพราะปัจจุบันการใช้งานข้อมูลต่างๆทั้งในคอมพิวเตอร์หรือในอินเทอร์เน็ตนั้นล้วนใช้ข้อมูลดิจิทัลทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) แล็ปท็อป (Laptop) หรือจะเป็นเว็บไซต์ใหญ่ๆอย่าง Facebook, Google, Youtube, Twitter หรือผู้ให้บริการ Cloud server เป็นต้น ดังนั้นสิ่งสำคัญก็คืออุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลดิจิทัล (Data storage device) และในปัจจุบันมีอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลดิจิทัลสำหรับระบบคอมพิวเตอร์มากมายไม่ว่าจะเป็น ฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ (Harddisk drive) โซลิดสเตตไดรฟ์ (Solid state drive) แฟลชไดรฟ์ (Flash drive) เมมโมรี่การ์ด (Memory card) ซีดี รอม (CD-ROM) ดีวีดี รอม (DVD-ROM) เป็นต้น

และโครงการนี้จะทำการศึกษาระบวนการผลิตของส่วนหัวอ่านและเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ (Read/Write Head) ซึ่งในส่วนนี้จะถูกเรียกว่า HGA (Head Gimbal Assembly) (ภาพที่ 1.3)



รูปที่ 1.3

และในกระบวนการผลิตของ HGA นั้นเราจะใช้โฟกัสที่เครื่อง ACAM (Auto core adhesive mounting machine) ของ Automation line ของแผนก HGA development ที่ บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเครื่อง ACAM จะทำหน้าที่ รวม Slider (รูปที่ 1.4) เข้ากับ Suspension (รูปที่ 1.5)



รูปที่ 1.4 Slider



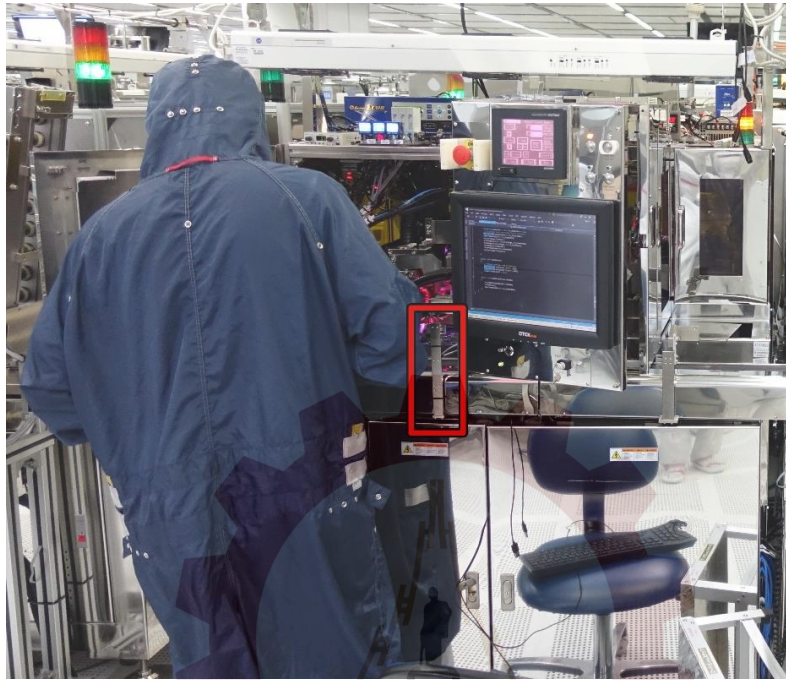
รูปที่ 1.5 Suspension

เมื่อรวมเข้าด้วยกันแล้วจึงจะเรียกส่วนนี้ว่า HGA ทำหน้าที่เป็นหัวอ่านเขียนข้อมูลดิจิทัลของฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ และ slider ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูลดิจิทัล

การทำงานของเครื่อง ACAM จะเริ่มขึ้นเมื่อมี Pallet เคลื่อนที่มาตาม conveyor มาถึงยังตำแหน่งที่ต้องสแกนบาร์โค้ดของ Pallet จะมี sensor อยู่เพื่อสั่งให้ conveyor หยุดการทำงานเมื่อ conveyor หยุดการทำงานแล้วจะต้องทำการสแกนบาร์โค้ดของ Pallet จากนั้นเมื่อเครื่อง ACAM ได้อ่านบาร์โค้ดแล้ว Pallet จะเคลื่อนที่เข้าไปในเครื่อง ACAM แล้วจะมีแขนกลมาจับ Pallet โดยใช้ลมดูด (VACUUM) เข้าไปยังตำแหน่งทำงานจากนั้นก็ทำการหยุดทาว UV ไว้บนส่วนปลายของ Suspension และทำการติด Slider เข้าไปบนส่วนปลายของ Suspension และใช้การฉายแสง UV เพื่อทำให้กาวหนืดขึ้นในเบื้องต้นเพื่อไม่ให้ Slider หลุดออกจาก Suspension จากนั้นขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำให้กาวแห้งในเครื่องจักรถัดไป

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการทำงานของเครื่อง ACAM นั้นจะเริ่มต้นจากการอ่านบาร์โค้ดของ Pallet ดังนั้นโครงการนี้จะทำการปรับเปลี่ยนวิธีการอ่านบาร์โค้ดของเครื่อง ACAM โดยในปัจจุบันเครื่อง ACAM นั้นใช้การอ่านบาร์โค้ดโดย Laser barcode reader ของ Keyence รุ่น Model BL-1371 ซึ่งจากการทำงานของ Barcode scanner นี้มีข้อจำกัดอยู่มากเนื่องจากการสแกนแบบใช้แสงเลเซอร์ในการอ่านบาร์โค้ดและระยะการอ่าน(Reading distance) 160-600 mm เมื่อ narrow bar width 1.0 mm แต่ narrow bar width ของ pallet นั้นมีขนาดอยู่ที่ 0.2-0.3 mm เท่านั้นดังนั้น Barcode scanner ที่มีอยู่แล้วนั้นไม่สามารถอ่านได้ที่ระยะ 600 mm อย่างแน่นอนซึ่งเป็นระยะที่เราต้องการเนื่องจากจะไม่เกิดขวางประตูเครื่องและการทำงานของช่างเทคนิคดังภาพที่ 1.6

ทำให้เมื่อช่างเทคนิคต้องการที่จะเข้าไปตรวจสอบภายในเครื่องหรือทำการซ่อมบำรุงเป็นไปอย่างยากลำบากเนื่องจากจะต้องทำการปลดล็อคขายึด Barcode reader ออกก่อนถึงจะสามารถเปิดหน้าเครื่อง ACAM ได้และเมื่อเกิด Downtime ขึ้นในไลน์การผลิตที่เครื่อง ACAM จะทำให้ยุ่งยากและเสียเวลาเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องปลดอุปกรณ์ขายึด Barcode reader ก่อนถึงจะสามารถตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่อง ACAM ได้เมื่อตรวจสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ต้องมาถืออุปกรณ์ขายึด Barcode reader ใหม่อีกครั้งและต้องปรับมุมมองเสาให้ถูกต้องจากนั้นทำการทดสอบการอ่านบาร์โค้ดว่าใช้งานได้เป็นปกติหรือไม่ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและเกิดขวางการทำงานของช่างเทคนิคเป็นอย่างมาก



รูปที่ 1.6

ดังนั้นโครงการนี้จะทำการศึกษาดูตรวจสอบระบบการทำงานของเครื่อง ACAM และทำการทดลองตรวจสอบระยะการทำงานของอุปกรณ์สแกนบาร์โค้ดเดิมที่มีอยู่แล้ว Barcode reader Keyence Model BL-1371 นั้นมีความสามารถในการอ่านบาร์โค้ดที่ระยะใดบ้างสำหรับบาร์โค้ดของ Pallet เพื่อทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้ง หากไม่สามารถปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งได้ก็จะทำการเลือกอุปกรณ์สำหรับอ่านบาร์โค้ดใหม่ และทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดใหม่ในตำแหน่งที่ดีไม่กีดขวางการทำงานและสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี สามารถปรับเปลี่ยนการเคลื่อนที่ได้ 3 แกน (X Y Z) และปรับมุมมองของกล้องได้ด้วย

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและเข้าใจหลักการทำงานของเครื่อง ACAM
2. เพื่อศึกษาและเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นจากการสแกนบาร์โค้ดของเครื่อง ACAM
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการเลือกซื้ออุปกรณ์สแกนบาร์โค้ดที่เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด
4. เพื่อศึกษาและเข้าใจการออกแบบอุปกรณ์จับยึดสำหรับ camera scanner ในเครื่อง ACAM
5. ศึกษาการจัดทำโครงการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. อุปกรณ์จับยึด Image based barcode reader มีความคงทนแข็งแรง
2. Image based barcode reader สามารถอ่านบาร์โค้ดได้ดี 100% ที่ Narrow bar width 0.2-0.4 mm
3. Image based barcode reader ติดตั้งโดยที่ไม่กีดขวางประตูเครื่อง ACAM และการทำงานของช่างเทคนิค
4. Image based barcode reader ใช้ในการอ่านบาร์โค้ดของ pallet ที่ใช้ในการบรรจุ HGA ใน Line automation ของแผนก HGA development ที่บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
5. อุปกรณ์จับยึดสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 แกน X Y Z (ซ้าย-ขวา, หน้า-หลัง, ขึ้น-ลง) และปรับมุมมองของกล้องได้
6. ระยะการอ่านบาร์โค้ดอยู่ที่ 550-650 mm
7. วัสดุที่ใช้ต้องผ่านมาตรฐานห้อง clean room ของบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของเครื่อง ACAM
2. ได้ความรู้จากการศึกษาการเลือกซื้ออุปกรณ์สำหรับสแกนบาร์โค้ดให้เกิดความคุ้มค่าที่สุด
3. ได้ความรู้จากการศึกษาอุปกรณ์สแกนบาร์โค้ดและการติดตั้งอุปกรณ์เซตค่าต่างๆในโปรแกรมของอุปกรณ์สแกนบาร์โค้ด
4. ได้ความรู้จากการออกแบบดีไซน์อุปกรณ์จับยึดบาร์โค้ดสแกนเนอร์แบบภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Solidworks 2018
5. ได้ความรู้จากการสั่งซื้อชิ้นงานตามที่เราออกแบบไว้กับ Supplier
6. ได้ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนในสิ่งผลิตชิ้นงานของบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
7. ได้ความรู้ในการทดสอบอุปกรณ์จับยึดกล้องสแกนบาร์โค้ดใน Automation line ของ WD
8. ได้ความรู้หลักการทำโครงการทางด้านวิศวกรรมที่ถูกต้อง

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

กิจกรรม	สัปดาห์ที่											
	18 มี.ค. – 12 เม.ย.				18 เม.ย. – 16 พ.ค.				17 พ.ค. – 22 มิ.ย.			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิต HGA	■	■										
2.ศึกษาการทำงานของเครื่อง ACAM		■	■									
3.ทำการทดสอบ Barcode scanner ที่มีอยู่แล้ว				■								
4.ทำการเลือกซื้อ Camera scanner					■	■						
5.ออกแบบอุปกรณ์สำหรับจับยึด Camera scanner และทำการสั่งซื้อ							■	■				
6.ขึ้นชิ้นงานอุปกรณ์จับยึด Camera scanner ชั่วคราว							■	■				
7.ติดตั้ง Camera scanner ที่เครื่อง ACAM และทำการตั้งสัญญาณการอ่านบาร์โค้ดเข้าเครื่อง ACAM								■	■			
8.ติดตั้งอุปกรณ์จับยึดและทำการทดสอบการใช้งาน										■	■	
6.สรุปงานและเขียนสรุปแผนโครงการ										■	■	■

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

1.6 ประมาณการค่าใช้จ่ายสำหรับโครงการ

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ทำโครงการ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย(บาท)	ราคารวม (บาท)
1	Cognex DataMan 50S + lens 50 mm. + สายเคเบิล	2	53,500	107,000
2	Image base barcode reader holder	2	5,350	10,700
3	อุปกรณ์จับยึดกล่องชั่วคราว (Stainless steel)	2	-	-
ราคารวมทั้งหมด (บาท)				117,700

บทที่ 2

ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์จับยึดกล้องสแกนเนอร์สำหรับเครื่องจักร ACAM (Holder Design For Camera Scanner Of ACAM Machine) ซึ่งได้รวบรวมทฤษฎีและเนื้อหาต่างๆ ได้แก่ การออกแบบดีไซน์อุปกรณ์จับยึดกล้องสแกนเนอร์โดยใช้หลักการ GD & T เข้ามาช่วยในการออกแบบและให้ขนาดการขึ้นชิ้นงานของอุปกรณ์จับยึดกล้องสแกนเนอร์สำหรับเครื่อง ACAM เพื่อให้เป็นมาตรฐานในงานออกแบบดีไซน์ของชิ้นงานและยังมีเนื้อหาเกี่ยวกับการเลือกวัสดุเพื่อใช้งานในห้อง Clean room ซึ่งเป็นห้องสำหรับผลิต HGA ของบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด และเนื้อหาที่เกี่ยวกับการเลือกซื้ออุปกรณ์สำหรับสแกนบาร์โค้ดการเปรียบเทียบความคุ้มค่าของอุปกรณ์

2.2 เนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Digital Data

Digital Data

- "binary digit" หรือเรียกสั้นๆว่า "bit".
- bit หนึ่งนั้นจะมีค่าเป็น one (1) หรือ zero(0).
- A byte เป็นการรวมหลายๆ bits, ในตอนแรกมีการรวมหลายขนาดแต่ปัจจุบันจะถือว่า 8- bits เป็น 1-byte.
- 8-bit bytes, หรือเรียก octets, จะแทนค่า 256 ค่า (2^8 ค่าหรือเท่ากับ 0-255).

2.2.2 Digital Word

- "Word" ใช้เรียกกลุ่มของ bits แต่ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐาน ใช้ในการขนาดที่ register ใน Computer-CPU.
- คอมพิวเตอร์ปัจจุบันใช้ word size ขนาด 16, 32 หรือ 64 bits
- การกำหนด word size เป็นเรื่องสำคัญในการออกแบบการทำงานของอุปกรณ์ digital

2.2.3 Prefix

Quantities of bytes			
Name (Symbol)	Standard SI	Alternate Use	Value (Byte)
Kilobyte (kB)	10^3	2^{10}	1024
megabyte (MB)	10^6	2^{20}	1,048,576
gigabyte (GB)	10^9	2^{30}	1,073,741,824
terabyte (TB)	10^{12}	2^{40}	1,099,511,627,776
petabyte (PB)	10^{15}	2^{50}	1,125,899,906,842,624
Exabyte (EB)	10^{18}	2^{60}	1,152,921,504,606,846,976
Zettabyte (ZB)	10^{21}	2^{70}	1,180,591,620,717,411,303,424
Yottabyte (YB)	10^{24}	2^{80}	1,208,925,819,614,629,174,706,176

ตารางที่ 2.1

2.2.4 Type of Data Storage Device

ประเภทของอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลดิจิทัลซึ่งจะเรียงจากยุคอดีตมาจนถึงยุคปัจจุบันว่ามีประเภทใดบ้างซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้ ได้แก่

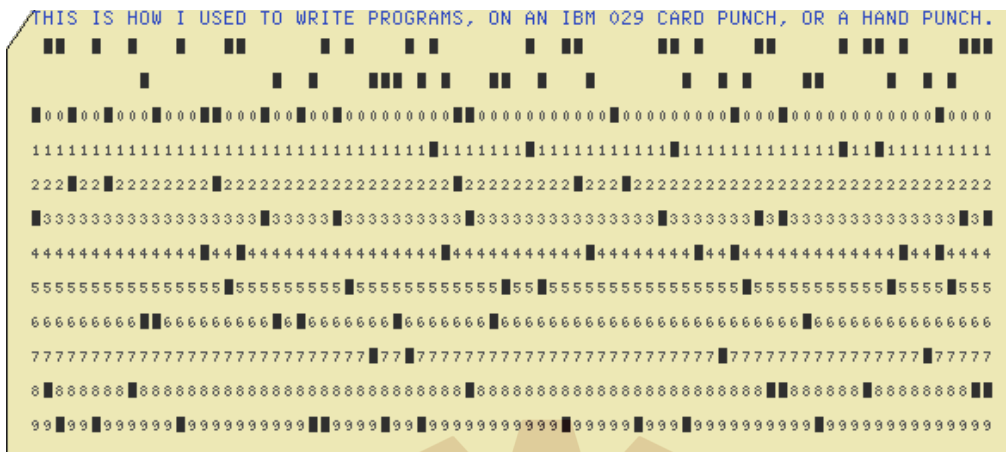
- Paper Recorder or Punch Card
- Magnetic Tape
- Floppy Drive
- CD-ROMS & DVD-ROMS
- Memory Card
- Flash Drive
- HDD
- SSD

Puncher Card

การใช้กระดาษบรรจุข้อมูล digital โดยการเจาะรู ข้อมูลจะรับรู้ได้จากการที่รูนั้นถูกเจาะหรือไม่ถูกเจาะ Digital computers สมัยแรกใช้ punched cards เป็นการบันทึกข้อมูลที่เป็น input ให้กับเครื่องไม่มีการนำมาใช้ในปัจจุบันแล้ว



รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 Puncher Card

Magnetic Tape

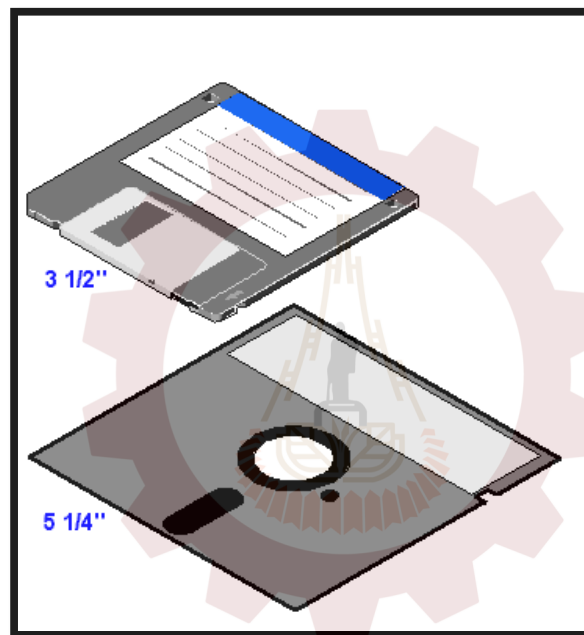
- Magnetic tape ใช้เป็นเครื่องบันทึกข้อมูลครั้งแรกในปี 1951 ในเครื่อง Eckert-Mauchly UNIVAC I.
- Recording media ใช้เทปขนาดกว้าง 1/2 นิ้ว ทำจาก nickel-plated bronze. Recording density เท่ากับ 128 characters per inch ความเร็ว linear speed of 100 ips
- เคยนิยมใช้เป็น Backup System แต่ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมในการเก็บข้อมูลแล้ว



รูปที่ 2.3 เครื่องบันทึกข้อมูล Magnetic Tape

Floppy Drive

- Floppy disk เริ่มพัฒนาโดย IBM ในต้นยุค 1970s
- ปี 1973 IBM ได้วางตลาด 8 นิ้ว FD 250 kilobytes
- ปี 1976-1978 ได้มีการพัฒนา FD ขนาด 5 ¼ นิ้วและกลายเป็นมาตรฐาน
- ปี 1982 FD ขนาด 3 ½ นิ้ว วางจำหน่าย
- ปัจจุบันใช้ในการบรรจุข้อมูลน้อยลงมาก



รูปที่ 2.4 Floppy Disk



รูปที่ 2.5 Floppy Drive

CD-ROMS & DVD-ROMS

- Sony และ Philips พัฒนา the compact disc (CD)
- CD-Audio เป็น application แรกที่ใช้ technology นี้และประสบผลสำเร็จอย่างดี
- ทุกวันนี้ CD และ DVD ใช้บรรจุข้อมูลและความบันเทิง มากมายหลายประเภท
- CD-ROM ใช้มาตรฐาน ISO 9660
- เทคโนโลยีนี้พัฒนามาเป็น Digital Versatile Disc (DVD) ในเวลาต่อมา
- ปัจจุบันเทคโนโลยีสูงสุดของ CD-ROM คือ Blu-Ray Disc










รูปที่ 2.6 CD-ROM, DVD-ROM, Blue-Ray

Memory Card

memory card (เมมโมรี่การ์ด) เป็นอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลประเภทหน่วยความจำสำรองประเภทหนึ่ง ซึ่งผู้ใช้สามารถบันทึกข้อมูลลงไปได้โดยไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ ข้อมูลไม่มีการสูญหายเมื่อปิดสวิตซ์ มีความเร็วสูงในการขนถ่ายเคลื่อนย้ายข้อมูล ส่วนที่ใช้บันทึกข้อมูลของเมมโมรี่การ์ดจะเป็นชิป ซึ่งเรียกว่า solid state chips ซึ่งใช้กระบวนการทางไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลและมีตัวควบคุมการอ่านและเขียนในตัวเอง

ปัจจุบันมีเมมโมรี่การ์ดมากมายหลากหลายแบรนด์เนมและขนาดความจุ เช่น MultiMedia Cards (MMC) , Secure digital card (SD), MicroSD card, CompactFlash card (CF), Memory stick (MS), XD Picture Card, Huawei nano memory card เป็นต้น

Types	Pictures
MultiMedia Cards (MMC)	

Types	Pictures
Secure digital card (SD)	
MicroSD card	
CompactFlash card (CF)	
Memory stick (MS)	
XD Picture Card	
Huawei Nano Memory Card	

ตารางที่ 2.2

Flash Drive

flash drive ประดิษฐ์ครั้งแรกในปี 1998 โดย IBM (International Business Machines Corporation) แม้ว่า IBM จะเป็นบริษัทที่ผลิต แต่ไม่ได้จดสิทธิบัตรไว้ IBM ได้ให้ M-Systems เป็นผู้พัฒนา และผลิตขึ้นมาแต่ก็ไม่ได้มีผู้ผลิตเพียงรายเดียวดังนั้น M-Systems จึงได้สิทธิบัตรร่วมกับบริษัทอื่นๆด้วย

flash drives ที่ผลิตโดย M-Systems ภายใต้ชื่อ “Disgo” มีขนาด 8MB, 16MB, 32MB & 64MB และต่อมาก็ได้พัฒนาถึง 256MB

ส่วนประกอบ

1. Male type-A USB connector เป็นส่วนที่ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์
2. NAND flash memory chip เป็นแหล่งเก็บข้อมูล ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ใน digital camera
3. Crystal oscillator ควบคุมการส่งถ่ายข้อมูล



รูปที่ 2.7 Flash Drive

Hard Disk Drive (HDD)

ฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ หรือ จานบันทึกแบบแข็ง (อังกฤษ: hard disk drive) คือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่บรรจุข้อมูลดิจิทัลแบบไม่ลบเลือน มีลักษณะเป็นจานโลหะที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็กซึ่งหมุนอย่างรวดเร็วเมื่อทำงาน การติดตั้งเข้ากับตัวคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ผ่านการต่อเข้ากับแผงวงจรหลัก (motherboard) ที่มีอินเตอร์เฟซแบบขนาน (PATA) , แบบอนุกรม (SATA) และแบบเล็ก (SCSI) ทั้งยังสามารถต่อเข้าเครื่องจากภายนอกได้ผ่านทางสายยูเอสบี, สายไฟร์ไวร์ รวมไปถึงอินเตอร์เฟซอนุกรมแบบต่อนอก (eSATA) ซึ่งทำให้การใช้ฮาร์ดดิสก์ทำได้สะดวกยิ่งขึ้นเมื่อไม่มีคอมพิวเตอร์ถาวรเป็นของตนเองโดยในปี 2008 ได้มีการพัฒนาเป็น Hybrid drive และ Solid State Drive (SSD)

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นส่วนประกอบหลักของคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลโดยใช้วิธีการทางแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถแบ่งตามหน้าที่การทำงานออกเป็นได้ 4 ส่วนดังนี้ คือ

1. ส่วนอ่าน-เขียน (Read-write Part)
2. ส่วนจัดเก็บข้อมูล (Storage Part)
3. ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ (Movement Controlling Part)
4. ส่วนเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Electrical Interconnection Part)



รูปที่ 2.8 HDD

ประวัติ Hard Disk Drive

ฮาร์ดดิสก์ที่มีกลไกเริ่มต้นแบบปัจจุบันถูกประดิษฐ์ขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2499 โดยนักประดิษฐ์ยุคบุกเบิกแห่งบริษัท ไอบีเอ็ม เรย์โนลด์ จอห์นสัน โดยมีความจุเริ่มแรกที่ 100 กิโลไบต์ มีขนาด 20 นิ้ว ในปี พ.ศ. 2523 ฮาร์ดดิสก์ยังเป็นสิ่งที่หายากและราคาแพงมาก แต่หลังจากนั้นฮาร์ดดิสก์กลายเป็นมาตรฐานของพีซีและราคาถูกลงมาก

สิ่งที่เปลี่ยนแปลงของฮาร์ดดิสก์จากปี 1980 ถึงปัจจุบัน

- ความจุเพิ่มขึ้น จาก 3.75 MB เป็น 16 TB
- ขนาดเล็กลงกว่าเดิมมาก
- ราคาต่อความจุถูกลงมาก
- ความเร็วเพิ่มขึ้น

ความจุของ Harddisk Drive

Hard disk drive ในปัจจุบันมีความจุให้เลือกมากมายหลายแบบ มีตั้งแต่ความจุ 500 GB ไปจนถึง 16 TB ค่าการวัดของขนาดความจุ Byte, KB, MB, GB และ TB คือตัววัดขนาดของความจุของฮาร์ดดิสก์ คล้ายๆ กับน้ำหนัก กรัม กิโลกรัม ตัน เป็นต้น

สิ่งที่ระบบ windows ใช้	สิ่งที่ผู้ผลิต storage ใช้
1024 Byte = 1 KB (Kilobyte)	1000 Byte = 1 KB (Kilobyte)
1024 KB = 1 MB (Megabyte)	1000 KB = 1 MB (Megabyte)
1024 MB = 1 GB (Gigabyte)	1000 MB = 1 GB (Gigabyte)
1024 GB = 1 TB (Terabyte)	1000 GB = 1 TB (Terabyte)

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบความจุของ HDD

ตารางเปรียบเทียบรายละเอียดของผู้ขายฮาร์ดดิสก์ ไตรฟ์

ยี่ห้อ/รุ่น	คุณสมบัติ	ความจุ	rpm	buffer (MB)	ประกัน
WD Blue	ใช้งานใน PC ทั่วไป ทำงาน เล่นเกม	500 GB – 6 TB	5400 – 7200	32 – 64	3 ปี
WD Black	ตัดต่อวิดีโอ ทำงานกราฟิก คอเกม	1 TB – 6 TB	7200	64 – 128	5 ปี
WD Red	จัดเก็บข้อมูลผ่านเครือข่าย Nas	2 TB – 10 TB	5400 – 7200	64 – 128	5 ปี
WD Purple	ระบบกล้องวงจรปิด	1 TB -10 TB	5400	64	3 ปี
WD Datacenter	เก็บข้อมูลขนาดใหญ่ Datacenters	1 TB – 10 TB	7200	128 – 256	5 ปี
Seagate BarraCuda Pro	ใช้งานใน PC ทั่วไป ทำงาน เล่นเกม	500 GB – 10 TB	7200	32 – 256	3 – 5 ปี
Seagate IronWolf	จัดเก็บข้อมูลผ่านเครือข่าย Nas	1 TB – 10 TB	7200	–	3 ปี
Seagate SkyHawk	ระบบกล้องวงจรปิด	1 TB – 10 TB	7200	64 – 256	4 ปี
Toshiba	ใช้งานใน PC ทั่วไป ทำงาน เล่นเกม	1 TB – 3 TB	7200	32	3 ปี

ตารางที่ 2.4

ทำไม ผู้ผลิต storage ถึงใช้ค่าไม่เท่ากับ ระบบ Windows ละ?

ตั้งแต่ยุค IBM เป็นผู้นำด้าน IT ทำให้ IBM ใช้เลขฐาน 10 ในการนับความจุ เช่น 1 MB = 1000 KB เป็นต้น เพื่อความง่ายต่อการเข้าใจ และใช้แบบนี้เรื่อยมา จนทำให้บริษัททำ Storage อื่นๆ ก็เห็นพ้องกันว่าใช้แบบนี้ดีแล้ว นับง่ายดี

ต่อมาไมโครซอฟท์บอกว่า ค่าเปลี่ยนวิธีการนับเป็น 1 MB = 1024 KB จึงทำให้เวลาวินโดวส์มองความจุฮาร์ดดิสก์ จึงเห็นตามที่มันถูกโปรแกรมไว้ว่า 1 MB = 1024 KB ทั้งๆ ที่บริษัทผู้ผลิตที่ความจุ 1000 KB ก็ทำให้วินโดวส์จะเห็นความจุของฮาร์ดดิสก์ ขนาด 1 MB เป็น 0.9765625 MB แบบนี้เป็นต้นครับ ฉะนั้นเวลาเราซื้อ Hardisk, flash drive หรือ SD card พอเราเช็คความจุ มันจึงเห็นไม่เต็มตามค่าที่ผู้ขายบอกนั่นเองครับ สรุปแล้วความจุไม่ได้หายไปไหนครับ แค่ใช้ค่าการอ่านไม่เหมือนกัน

หลักการการทำงานของฮาร์ดดิสก์

หลักการบันทึกข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์ไม่ได้แตกต่างจากการบันทึกลงบนเทปคาสเซ็ทเลย เพราะทั้งคู่ต้องใช้สารบันทึกคือสารแม่เหล็กเหมือนกัน สารแม่เหล็กนี้สามารถลบหรือเขียนได้ใหม่อยู่ตลอดเวลา โดยเมื่อบันทึกหรือเขียนไปแล้ว มันสามารถจํารูปแบบเดิมได้เป็นเวลาหลายปี ความแตกต่างระหว่างเทปคาสเซ็ทกับฮาร์ดดิสก์มีดังนี้

- สารแม่เหล็กในเทปคาสเซ็ท ถูกเคลือบอยู่บนแผ่นพลาสติก
- ขนาดเล็ก เป็นแถบยาว แต่ในฮาร์ดดิสก์ สารแม่เหล็กนี้ จะถูกเคลือบอยู่บนแผ่นแก้ว หรือแผ่นอะลูมิเนียมที่มีความเรียบมากจนเหมือนกับกระจก
- สำหรับเทปคาสเซ็ท ถ้าคุณต้องการเข้าถึงข้อมูลในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ก็จะต้องเลื่อนแผ่นเทปไปที่หัวอ่าน โดยการกรอเทป ซึ่งต้องใช้เวลาหลายนาที ถ้าเทปมีความยาวมาก แต่สำหรับฮาร์ดดิสก์ หัวอ่านสามารถเคลื่อนตัวไปหาตำแหน่งที่ต้องการในเกือบจะทันที
- แผ่นเทปจะเคลื่อนที่ผ่านหัวอ่านเทปด้วยความเร็ว 2 นิ้วต่อวินาที (5.08 เซนติเมตรต่อวินาที) แต่สำหรับหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์ จะวิ่งอยู่บนแผ่นบันทึกข้อมูล ที่ความเร็วในการหมุนถึง 30000 นิ้วต่อวินาที (ประมาณ 170 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ 270 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- ข้อมูลในฮาร์ดดิสก์เก็บอยู่ในรูปของโดเมนแม่เหล็ก ที่มีขนาดเล็กมาก ๆ เมื่อเทียบกับโดเมนของเทปแม่เหล็ก ขนาดของโดเมนนี้ยิ่งมีขนาดเล็กเท่าไร ความจุของฮาร์ดดิสก์จะยิ่งมีขนาดเพิ่มขึ้นเท่านั้น และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ในเวลาอันสั้น

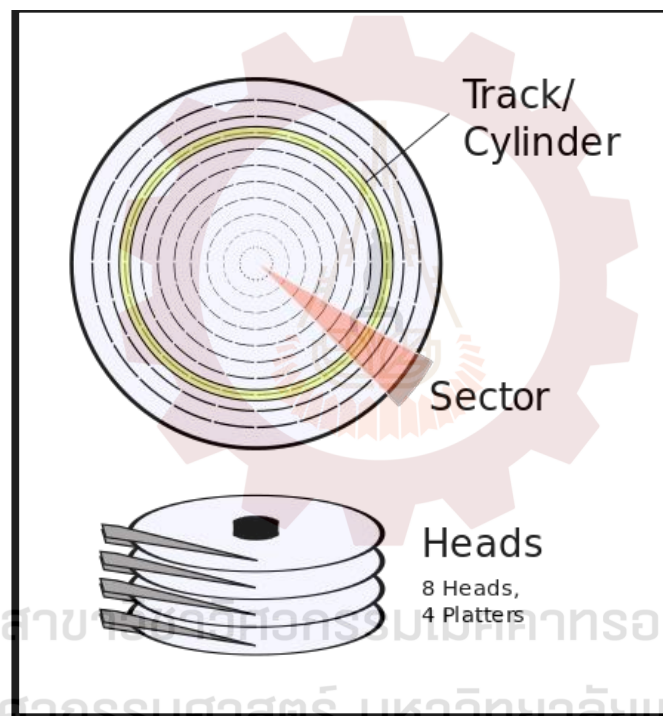
เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะปัจจุบันจะมีความจุของฮาร์ดดิสก์ประมาณ 500 MB ถึง 16 TB ข้อมูลที่เก็บลงในฮาร์ดดิสก์ เก็บอยู่ในรูปของไฟล์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่เรียกว่า ไบต์ (แอสกี ที่แสดงออกไปตัวอักษร รูปภาพ วิดีโอ และเสียง) โดยที่ไบต์จำนวนมากมาวมกันเป็นคำสั่ง หรือโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ มีหัวอ่านของฮาร์ดดิสก์อ่านข้อมูลเหล่านี้ และนำข้อมูลออกมาผ่านไปยังตัวประมวลผลเพื่อคำนวณและแปรผลต่อไป เราสามารถศึกษาประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ได้ 2 ทางคือ

อัตราการส่งผ่านข้อมูล (Data rate) คือ จำนวนไบต์ต่อวินาที ที่หัวอ่านของฮาร์ดดิสก์สามารถจะส่งไปให้กับซีพียูหรือตัวประมวลผล ซึ่งปกติมีอัตราประมาณ 5 ถึง 400 MB/s

เวลาค้นหา (Seek time) คือ หน่วงเวลาที่หัวอ่านต้องใช้ในการเข้าไปอ่านข้อมูลตำแหน่งต่าง ๆ ในจานแม่เหล็ก โดยปกติประมาณ 10 ถึง 20 MS ซึ่งมักขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนจานแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์

การเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่เก็บลงในฮาร์ดดิสก์จะอยู่บนเซกเตอร์และแทร็ก แแทร็กเป็นรูปวงกลม ส่วนเซกเตอร์เป็นเสี้ยวหนึ่งของวงกลม อยู่ภายในแทร็กดังรูป แแทร็กแสดงด้วยสีเหลือง ส่วนเซกเตอร์แสดงด้วยสีแดง ภายในเซกเตอร์จะมีจำนวนไบต์คงที่ ยกตัวอย่างเช่น 256 ถึง 512 ขึ้นอยู่กับว่าระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์จะจัดการแบ่งในลักษณะใด เซกเตอร์หลาย ๆ เซกเตอร์รวมกันเรียกว่า คลัสเตอร์ (Clusters) ขั้นตอน ฟอแมต ที่เรียกว่า การฟอแมตระดับต่ำ (Low-level format) เป็นการสร้างแทร็กและเซกเตอร์ใหม่ ส่วนการฟอแมตระดับสูง (High-level format) ไม่ได้ไปยุ่งกับแทร็กหรือเซกเตอร์ แต่เป็นการเขียน FAT ซึ่งเป็นการเตรียมดิสก์เพื่อที่เก็บข้อมูลเท่านั้น



รูปที่ 2.9

ประเภทของ Hard Disk Drive

ในปัจจุบัน Hard disk สามารถแบ่งตามรูปแบบการต่อพ่วงได้ 3 ประเภท คือ

1. IDE Hard disk เป็น hard disk ประเภทเก่าที่สุดที่ยังใช้กันอยู่ สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ 8.3 MB/s
2. SCSI Hard disk เป็น hard disk ที่นิยมใช้ในเครื่อง Server สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ 320 MB/s
3. SATA Hard disk เป็น hard disk มาตรฐานสำหรับคอมพิวเตอร์ทั่วไปสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ 150 MB/s

ขนาดฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ (Hard disk Drive)

ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ จะมีอยู่ 2 ขนาดด้วยกันได้แก่

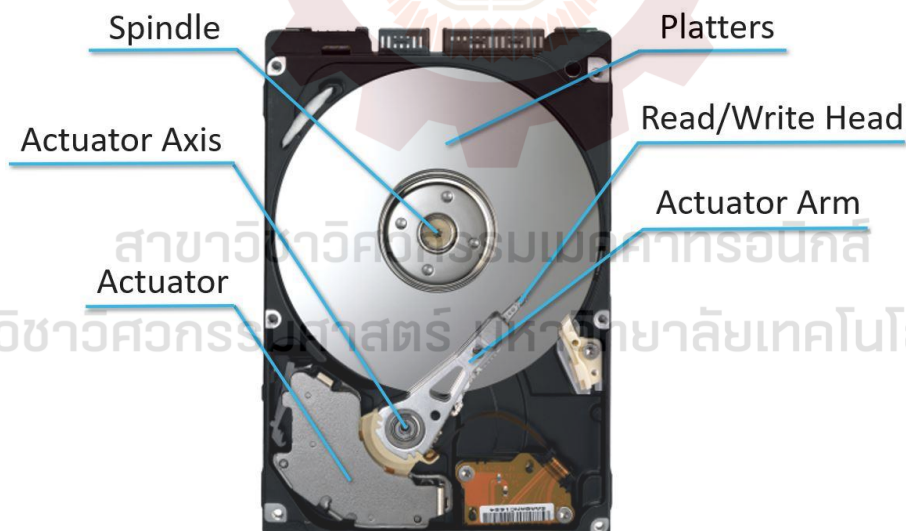
ขนาด 3.5 นิ้ว จะใช้ใน Desktop

ขนาด 2.5 นิ้ว จะใช้ใน Notebook



รูปที่ 2.10 ขนาดของ HDD

HDD Component



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบ HDD

1. Platters

ส่วนประกอบชิ้นแรกที่เราจะศึกษานั้นเป็นแผ่นกลมทำด้วยโลหะผสม (metall alloy disc) ที่เคลือบด้านบนไว้ด้วยสาร Aluminum alloy หรือ Glass sub strate ส่วนแผ่นวงกลมหรือจานแข็งที่เรียกทับศัพท์ว่า Platter นี้แต่ละครั้งที่ใช้เป็นที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ การบันทึกข้อมูลนั้นใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก คือแม่เหล็กนั้นมีสองขั้วคือขั้วเหนือและขั้วใต้นั่นเอง ข้อมูลที่ใช้เก็บบนแผ่นดิสก์จะอยู่ในลักษณะ " 0 " กับ " 1 " เหมือนกับข้อมูลดิจิทัลอื่น ๆ ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ขนาดของ Platter ที่เป็นมาตรฐานที่ใช้ในฮาร์ดดิสก์ทั่ว ๆ ไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 3.5 " และในฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวนั้นจะมีจำนวน

ของPlatter นี้ไม่เท่ากัน โดยทั่วไปแล้วยังมีมากฮาร์ดดิสก์ตัวนั้นก็จะมีความจุมากขึ้น แต่ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่เรียกว่า Areal Density หรือความหนาแน่นหรือจำนวนของข้อมูลที่สามารถจัดเก็บหรือ Packed ลงไปในพื้นที่ขนาด 1 ตารางนิ้วบน Platter ว่ามีมากน้อยเพียงใดประกอบไปด้วย



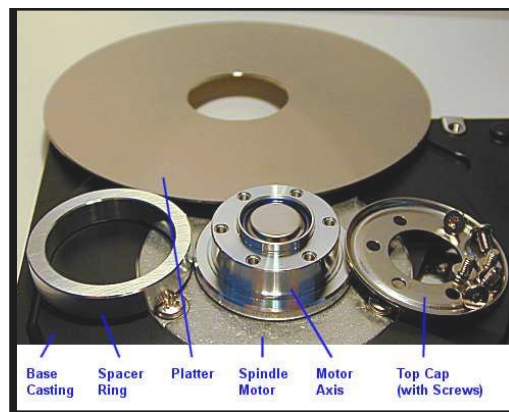
รูปที่ 2.12 Platters HDD

2. Spindle

Platter แต่ละอันจะถูกซ้อนอยู่บนมอเตอร์ตัวหนึ่งที่เรียกว่า Spindle motor จะทำหน้าที่หมุนแผ่น Platter นี้ไปรอบๆ ที่ความเร็วหนึ่ง มาตรฐานปัจจุบันนั้นอยู่ความเร็วระดับ 7200 RPM (Rotations Per Minute : จำนวนรอบต่อนาที)บางรุ่นที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงเช่นเครื่องแม่ข่ายและลูกข่าย ในบริษัทต่างๆ อาจหมุนด้วยความเร็วรอบสูงถึง 10000 RPM หรือ 15000 RPM ยิ่งความเร็วในการหมุนแผ่น มีมากเท่าใดความเร็วในการที่หัวอ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ จะค้นพบข้อมูลที่ต้องการก็มีมากขึ้นเท่านั้นเพราะ ส่วนของข้อมูลที่ต้องการจะถูกหมุนมาอยู่ภายใต้หัวอ่าน/เขียนนี้เร็วขึ้น ตัว Spindle motor นี้ใช้กลไกที่ เรียกว่า Ball-bearing หรือตลับลูกปืนที่มีความเร็วนี้มวนวลมากกว่ามอเตอร์แบบเก่าที่เรียกว่า Brush-lessmotors สิ่งที่ต้องระวังคือตัว Spindle Motor นี้มีความอ่อนไหวและบอบบางมากส่วนหนึ่งในตัว ฮาร์ดดิสก์ ถ้ามันได้รับการกระทบกระเทือนอย่างรุนแรงตัวลูกปืนนั้นก็อาจจะหลุดออกมาจากวงแหวนที่ยึดตัว ลูกปืนนั้นได้



รูปที่ 2.13 Spindle HDD



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของ Spindle

Spindle Speed

Spindle Speed (RPM)	Average Latency (Half Rotation) (ms)	Typical Current Applications
3,600	8.3	Former standard, now obsolete
4,200	7.1	Laptops
4,500	6.7	IBM Microdrive, laptops
4,900	6.1	Laptops
5,200	5.8	Obsolete
5,400	5.6	Low-end IDE/ATA, laptops
7,200	4.2	High-end IDE/ATA, Low-end SCSI
10,000	3.0	High-end SCSI
12,000	2.5	High-end SCSI
15,000	2.0	Top-of-the-line SCSI

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบ Speed ของ HDD

Spindle Motor Operation

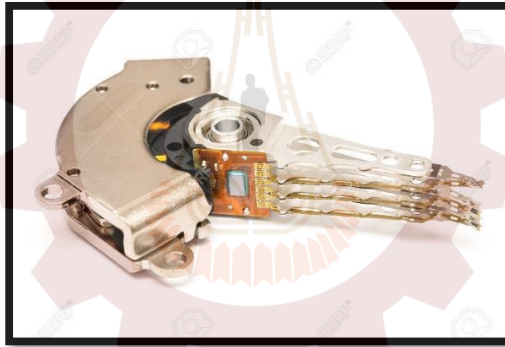
- Spindle motor ต้องมีประสิทธิภาพสูง เพื่อทำงานวิ้งๆ หยุดๆ เป็น พันชั่วโมงโดยไม่เสียหาย
- จะต้องทำงานได้ราบเรียบ และไม่มีการสั่นไม่เช่นนั้น platter และหัวอ่านที่มีช่องระยะห่างเล็กน้อย อาจกระทบกันได้
- จะต้องไม่ทำให้เกิดความร้อน และ เสียงมากเกินไป
- ต้องไม่ใช้พลังงานมากเกินไป
- จะต้องสามารถควบคุมความเร็วได้ดี

3. Actuator

อุปกรณ์ชิ้นนี้มีหน้าที่เคลื่อนแขนของตัวมันเองที่เรียกว่า แขนหัวอ่าน/เขียนหรือ Actuator arms ซึ่งตรงปลายของมันจะมีหัวอ่าน/เขียนติดอยู่ไปยัง Track และ Sector ที่ต้องการอ่านข้อมูลอย่างแม่นยำ ตัว Actuator นี้เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่สุดในตัวฮาร์ดดิสก์ และเป็นตัวบ่งบอกถึงความเร็วในการทำงานของตัวไดรฟ์และจำนวนบิตที่สามารถบรรจุไว้บนตัวแผ่น Platter ตัว Actuator นี้จะต้องเคลื่อนหัวอ่าน/เขียนไปในแนวตรงอย่างแม่นยำ ไม่เช่นนั้นจะไม่สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลได้อย่างถูกต้องการพัฒนาเทคโนโลยีของ

Actuator นั้นต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอเป็นสำคัญ เพื่อให้สามารถค้นหาข้อมูลได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ตัว Actuator จะต้องเคลื่อนที่ได้รวดเร็วมากตามไปด้วย ในขณะที่ยังคงรักษาความแม่นยำและถูกต้องชนิดร้อยละเปอร์เซ็นต์เต็ม โดยทั่วไปแล้วจะมี Actuator arm 2 อันต่อ 1Platter อันหนึ่งจะอยู่ด้านบน อีกอันหนึ่งจะอยู่ด้านล่าง

- Hard disk platters จะมีการอ่านและบันทึกโดยใช้ read/write heads ติดตั้งบนด้านบนและล่างของผิว platter แต่ละตัว
- read/write heads จะต้องวางอยู่ในตำแหน่งที่แม่นยำเหนือผิว disk
- หัวบันทึกจะต้องสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกจุดบนผิว disk
- หัวบันทึกทั้งหมดจะติดตั้งไว้ด้วยกันเพื่อให้เคลื่อนที่ไปที่จุดต่างๆ ได้
- เรานิยมเรียกชุดหัวเขียน/อ่านนี้ว่า head assembly หรือ actuator assembly.



รูปที่ 2.15 Actuator Arm

HGA คือส่วนปลายสุดของ HSA ซึ่งจะมีอุปกรณ์สีต่างๆ เป็นรูปสี่เหลี่ยมติดอยู่ซึ่งเรียกว่า Slider ณ ตำแหน่งนี้จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นหัวอ่านและเขียนข้อมูลต่างๆ ลงบน Platter หรือจานข้อมูลโดยตรง

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. Areal Density

ส่วนที่เราอ้างถึงในหัวข้อที่แล้ว Areal Density คือความหนาแน่นของจำนวนของข้อมูลบนพื้นที่ขนาด 1 ตารางนิ้ว บน Platter การบันทึกข้อมูลลงบน Platter นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ เรียกว่า tracks ลักษณะของ tracks นั้นจะเป็นวงแหวนกลมเรียงซ้อนกันจากด้านนอกไปด้านในของ Platter และในส่วนวงแหวนนี้จะมีข้อมูลถูกเก็บบันทึกไว้เรียงกันไปตามแนวยาวของ tracks ยังมีข้อมูลอยู่หนาแน่นมากเท่าใด ความจุในแต่ละ tracks ก็มีมากเท่านั้น ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลบน Platter นั้นๆ มีจำนวนมากตามไปด้วย ในฮาร์ดดิสก์รุ่นใหม่ๆ นั้นจะมีจำนวน tracks ประมาณ 50000 tracks ต่อ 1Platter แต่เมื่อนำมาคำนวณเป็นความจุข้อมูลต่อพื้นที่ 1 ตารางนิ้วหรือ Areal Density แล้ว ตัว tracks เหล่านี้จะถูกแบ่งโดยรัศมีของ Platter ขนาด 1 นิ้ว ให้เล็กลงไปอีก ดังนั้นใน 1 Platter อาจจะมีประมาณ 52000 tracks แต่จำนวน tracks ต่อ 1 นิ้วหรือ TPI (Tracks Per Inch) อาจจะมีเพียงแค่ 40000 tracks เท่านั้น ทำให้ Platter มีความหนาแน่นเพียง 40000 TPI เพื่อให้่ายขึ้น บริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ทั้งหลายจึงได้ระบุความหนาแน่นหรือความจุของ Platter ในหน่วย GB/ Platter ดังนั้นถ้าฮาร์ดดิสก์มี Platter จำนวน 4 แผ่นอยู่ภายใน และมีความหนาแน่น 10GB/Platter ฮาร์ดดิสก์ตัวนี้จะสามารถบันทึกได้ทั้งหมด 40GBนั่นเอง

5. แผงวงจรบนตัวฮาร์ดดิสก์หรือ Circuit หรือ Logic Board

ฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวจะมีแผงวงจรที่เรียกว่า Circuit หรือ Logic Board แผงวงจรนี้จะถูกยึดติดกับภายนอกของตัวฮาร์ดดิสก์ โดยจะมีชิพไอซีที่เรียกว่า DSP (digital Signal Processors) ซึ่งควบคุมการส่งผ่านของข้อมูล เพื่อเก็บข้อมูลส่วนที่ถูกเรียกใช้บ่อยๆ และส่วนประกอบอื่นๆ รวมทั้งส่วนควบคุม Spindle, Actuator, Cache memory, Read - write operations, Power management แผงวงจรนี้จะรับคำสั่งผ่านมาทางส่วนควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์หรือ Hard drive's controller ซึ่งถูกควบคุมโดยระบบปฏิบัติการอีกทีหนึ่ง เมื่อระบบต้องการข้อมูลที่เก็บบันทึกอยู่ในฮาร์ดดิสก์ ตัวแผงวงจรนี้จะรับคำสั่งโดยเคลื่อนและควบคุมส่วนประกอบต่างๆ เพื่อให้ได้รับข้อมูลที่ต้องการออกมา



รูปที่ 2.16 Logic Board HDD

6. Magnets หรือส่วนแม่เหล็กใน Actuator

คุณอาจจะคิดว่าการนำแม่เหล็กเข้าไปใกล้ตัวฮาร์ดดิสก์จะทำให้ข้อมูลที่อยู่ภายในเสียหายได้ แต่สิ่งที่คุณอาจไม่ทราบก็คือมีแม่เหล็กพลังสูงสองอันที่อยู่ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ โดยฝังภายในส่วน Actuator อันหนึ่งอยู่ด้านบน Actuator arms และอีกอันหนึ่งอยู่ด้านใต้ Actuator arms เหตุผลที่แม่เหล็กสองอันนี้ไม่กระทบกระเทือนต่อกลุ่มของแม่เหล็กที่จัดเรียงอยู่บนตัวฮาร์ดดิสก์ ก็เพราะส่วนแม่เหล็กบนตัว Magnets นี้จะถูกจัดเรียงอยู่ในแนวตั้ง ถ้าสมมติว่าให้มันถูกจัดเรียงในแนวนอนแทนก็จะมีปัญหาเกิดขึ้นแน่นอนเพราะพลังแม่เหล็กเหล่านี้ถูกดึงออกไปสู่ Platter ส่งผลถึงกับทำลายข้อมูลที่ถูกจัดเก็บอยู่เดิมเหตุผลอีกประการคือตัวสัญญาณแม่เหล็กบน Platter นี้ไม่ใช่กลุ่มของแม่เหล็กธรรมดาหากแต่เป็นการบันทึกในลักษณะ Electro - magnetically ซึ่งจะมีพลังงานมากกว่าพลังงานแม่เหล็กธรรมดาอย่างมาก

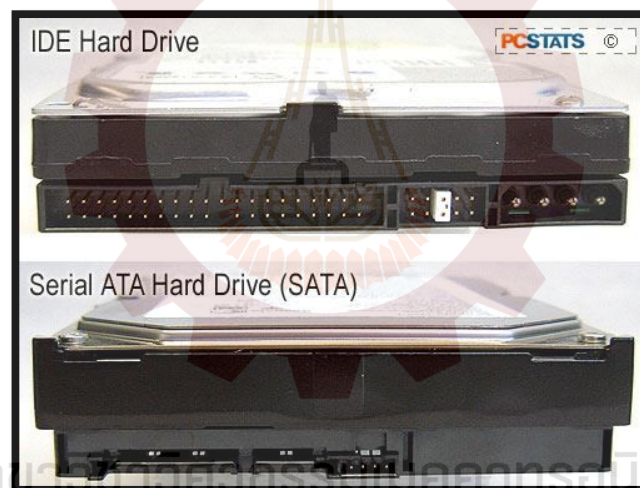


รูปที่ 2.17 Magnets HDD

7. ส่วนเชื่อมต่อหรือ Interface

ฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันนี้จะใช้ส่วนของการเชื่อมต่อหรือ Interface ไม่แบบใดก็แบบหนึ่งระหว่างมาตรฐานที่เรียกว่า IDE (Integrated Drive Electronics) หรือ SCSI (Small Computer System Interface) ซึ่งส่วนเชื่อมต่อนี้จะกำหนดถึง Band - width ในการส่งผ่านข้อมูลไปยังซีพียูด้วย ดังนั้น Interface จึงเป็นส่วนที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการรับและส่งข้อมูลไปมาจากฮาร์ดดิสก์

IDE นั้นเป็นส่วน Interface ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในเครื่องคอมพิวเตอร์ในโลกปัจจุบัน สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้สูงสุดถึง 4 ตัวด้วยกัน (สองตัวต่อหนึ่งช่องทาง) มาตรฐานนี้ค่อนข้างง่ายต่อการติดตั้ง การใช้งานและราคา เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้นั้นก็นับได้ว่าคุ้มค่าทีเดียว SCSI นั้นราคาแพงกว่า IDE แต่เทคโนโลยีมีความก้าวหน้า โดยส่วนใหญ่จะใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่อง Server หรือ Work station ที่ต้องการประสิทธิภาพในการทำงานระดับสูง



รูปที่ 2.18 HDD Interface

Solid State Drive (SSD)

SSD (Solid State Drive) เป็นเทคโนโลยีใหม่ในการประยุกต์ใช้ Flash Memory มาทำเป็น Harddisk ประโยชน์ที่ได้รับที่เห็นกันอยู่ ก็จะพบว่า ความไวในการเข้าถึงข้อมูลจะทำได้ไวกว่า Harddisk ที่ใช้กันอยู่ในท้องตลาดซึ่งเป็น Harddisk แบบที่ใช้จานแม่เหล็ก ที่เวลาเข้าถึงข้อมูลจะต้องให้ Harddisk หมุนไป แล้วจึงหาสื่อบันทึกข้อมูลที่ถูกเก็บใน harddisk ได้ โดยวิธีนี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ในตัวของ Harddisk เอง ยิ่งมีความไวของมอเตอร์ ที่ใช้ในการหมุนตัว จานแม่เหล็ก มากเท่าไรก็จะ ทำให้ มีความร้อนสูงมากขึ้นด้วย ดังนั้น การออกแบบจึงต้องมีการเพิ่ม พื้นที่ในการระบายความร้อนให้มากขึ้น เพื่อให้เกิดเสถียรภาพในการทำงานของ Server ได้ การพัฒนาเทคโนโลยีของ Harddisk นั้นก็ พัฒนา มาหลายปี แต่ยังคงเป็นเทคโนโลยี ที่ใช้มอเตอร์ และจานแม่เหล็ก จนถึงปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้โดยการนำ memory หรือ การนำ Solid State มาทำเป็น Harddisk ด้วยเหตุผลที่ว่า การเข้าถึงข้อมูล การเขียนข้อมูล ลงไปบนตัว Harddisk การคำนึงถึงความร้อนที่เกิดขึ้นบนตัว Harddisk เสี่ยงที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์บนตัว Harddisk ดังนั้น ปัญหาพวกนี้จะหมดไปถ้าเรานำเทคโนโลยี Solid State มาใช้ ถ้านำไปใส่ใน Notebook จะช่วยทำให้ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ Notebook ทำงานได้ดีขึ้น เพราะจะกินพลังงานต่ำ เมื่อเทียบกับ harddisk แบบเดิม



รูปที่ 2.19 WD SSD Blue and Green

การทำงานของมันก็คือ Memory แบบ Flash เมื่อมีการอ่านหรือ เขียนข้อมูล ก็ยังจดจำข้อมูลที่มี การ Update ครั้งสุดท้ายไว้ได้ ซึ่งจะแตกต่างกับ RAM (Random Access Memory) ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อเราปิดเครื่องหรือ ไม่มีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงตัวอุปกรณ์ ข้อมูลที่บรรจุอยู่ด้านในก็จะหายไปด้วย แต่ Flash Memory ไม่ใช่อย่างนั้น เมื่อเราทำการ เขียนข้อมูลลงไปที่ Flash Memory แล้ว ข้อมูลเหล่านั้นไม่ได้สูญหายไปไหน ยังคงเก็บเอาไว้ เหมือนต้นฉบับทุกประการ ดังนั้นจึงมีคนนำเทคโนโลยีนี้มาต่อยอด และพัฒนา มาเป็น Solid State Drive (SSD) ในที่สุด ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหวเหมือนกับ Harddisk จานแม่เหล็ก เพราะใช้ Flash เป็นตัว จัดเก็บข้อมูล ดูจากรูป จะเห็นชัดเจน

SSD (Solid State Drive) คือ อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลแบบ Solid-State ที่ใช้วงจรรวม ประกอบเป็น หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่อง บางครั้งเรียกว่าอุปกรณ์โซลิดสเตตหรือดิสก์โซลิดสเตต แม้ว่า

SSD จะไม่มีดิสก์เป็นฟิสิกัล SSD สามารถใช้อินเทอร์เฟซฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) แบบดั้งเดิมและฟอร์มแฟคเตอร์หรือฟอร์มและอินเทอร์เฟซรูปแบบใหม่ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองข้อได้เปรียบเฉพาะของเทคโนโลยีหน่วยความจำแฟลชที่ใช้ใน SSD อินเทอร์เฟซแบบดั้งเดิม (เช่น SATA และ SAS) และปัจจัยรูปแบบ HDD มาตรฐานช่วยให้ SSD ดังกล่าวสามารถใช้เป็นแบบแทนที่ สำหรับ HDD ในคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่น ๆ ปัจจัยรูปแบบใหม่เช่น mSATA, M.2, U.2 และ Ruler SSD และอินเทอร์เฟซความเร็วสูงกว่าเช่น NVMe ผ่าน PCI Express สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ HDD SSD ไม่มีส่วนประกอบเชิงกลที่เคลื่อนไหว สิ่งนี้แตกต่างจากไดรฟ์ระบบเครื่องกลไฟฟ้าทั่วไปเช่นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDD) หรือฟล็อปปี้ดิสก์ซึ่งมีดิสก์หมุนและหัวอ่าน / เขียนแบบเคลื่อนย้ายได้ เมื่อเทียบกับไดรฟ์ไฟฟ้า SSDs มักจะทนต่อการช็อกทางกายภาพทำงานอย่างเงียบ ๆ ได้เร็วขึ้นเวลาในการเข้าถึงและลดความล่าช้า ในขณะที่ราคาของ SSD ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป SSDs (ตั้งแต่ปีพ. ศ. 2561) ยังคงมีราคาแพงกว่าต่อหน่วยเก็บข้อมูลมากกว่า HDD

ข้อดีของ Solid State Drive (SSD)

1. ความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลไวกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ Harddisk ที่เราใช้กันในปัจจุบัน
2. ไม่เปลืองพลังงานไฟฟ้า
3. ไม่มีเสียงดัง เนื่องจากเก็บข้อมูลด้วย Flash Memory ดังนั้นจึงไม่มีชิ้นส่วนที่ต้องเคลื่อนที่
4. ไม่มีความร้อน
5. สามารถตกจากที่สูงได้ ในขณะที่ข้อมูลด้านในไม่เป็นอะไรเลย เมื่อเปรียบเทียบกับ Harddisk แบบที่เราใช้กันใจปัจจุบัน (สามารถกระแทกได้)
6. ความไวในการ Boot เครื่อง

ข้อเสียของ Solid State Drive(SSD)

1. การเขียนข้อมูลจะช้า เพราะมันคือ Flash การเขียนของมันจะต้องทำการ เพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นพอที่จะทำให้ข้อมูลใหม่เพิ่มเข้าไปได้
2. ราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับ Harddisk Drive



รูปที่ 2.20 WD BLACK GEN3 PCIe/NVMe M.2 2280

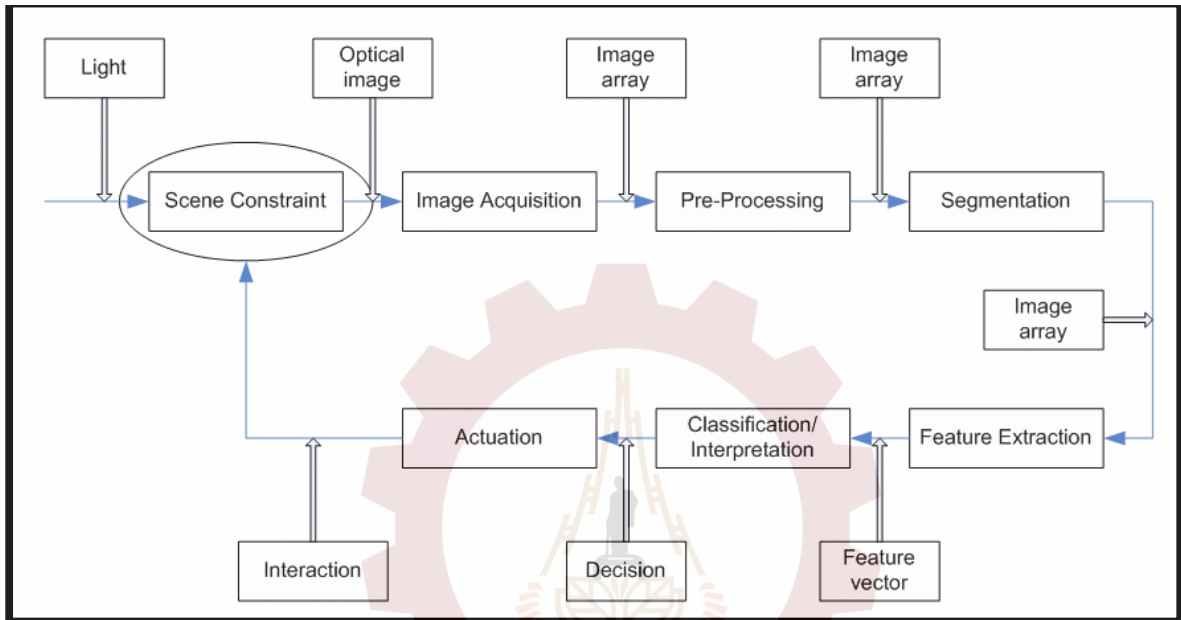
2.3 Machine Vision

Machine Vision เป็นวิธีการที่ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processor, DSP) มีความสามารถในการ “รับรู้” ภาพ ซึ่งรวมทั้ง การทำให้อุปกรณ์ประมวลผลนั้นๆ สามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกส่วนต่างๆ ได้ จากข้อมูลที่ได้จากภาพหรือกลุ่มของภาพนั้นๆ จุดมุ่งหมายสูงสุดของ Machine Vision คือ ทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ มีความสามารถให้ได้เทียบเท่ากับระบบการมองเห็นของมนุษย์ ที่มีวิวัฒนาการต่อเนื่องกันมาหลายสิบล้านปี อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีในปัจจุบันยังคงไม่สามารถทำให้เครื่องจักรสามารถ “มองเห็นและรับรู้” ได้เทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์ยกตัวอย่างเช่น ผู้อ่านที่เป็นมนุษย์ที่มีสภาพร่างกายปกติ จะสามารถแยกแยะสิ่งของที่ต้องการจากกองสิ่งของหลายๆ ได้ หรือ สามารถแยกแยะหน้าคนที่คุ้นเคยได้ จากกลุ่มคนที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีฝนตก หรือหมอกกลางจัด การทำกิจกรรมดังกล่าวนี้ ผู้อ่านจะสามารถทำได้โดยแทบจะไม่ต้องใช้ความพยายามมากเท่าไรนัก ซึ่งหากต้องการให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลมีความสามารถที่จะทำกิจกรรมดังกล่าวได้นั้น นอกจากจะต้องใช้ความพยายามเป็นอย่างมากแล้ว ยังต้องใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างกันระหว่างการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลและสมองมนุษย์ ที่แม้ว่าอุปกรณ์ประมวลผลจะมีความเร็วในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์สูงกว่าสมองของมนุษย์มาก ดังจะเห็นได้ง่ายๆ จากการบวกเลข 20 หลักเข้าด้วยกัน จะพบว่าคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันหรือแม้กระทั่งเครื่องคิดเลขธรรมดาๆ ทั่วไป จะสามารถทำงานดังกล่าวได้โดยใช้เวลาเพียงเศษเสี้ยววินาทีเท่านั้น ซึ่งต่างกับสมองของมนุษย์ที่เป็นหน่วยประมวลผลอย่างง่ายอย่างใดก็ตาม เนื่องจากหน่วยย่อยๆ ของสมองมนุษย์เหล่านี้ มีจำนวนมากมายมหาศาล และทำงานไปพร้อมๆ กัน (Parallel processing) แทนที่จะทำงานทีละขั้นตอน (Serial processing) ซึ่งเป็นวิธีการทำงานของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบัน จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสมองมนุษย์สูงกว่าอุปกรณ์ประมวลผลที่อยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

แม้ว่า ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันจะไม่สามารถพัฒนาความสามารถการ “มองเห็นและรับรู้” ของเครื่องจักรให้ได้เทียบเท่ากับของสมองมนุษย์ แต่ผลที่ได้จากการพัฒนาความรู้เรื่อง Machine Vision ก็สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น การนำไปใช้กับระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย หรือแม้กระทั่งการประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เป็นต้น ระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ (Automated visual inspection system) เป็นการนำเอาความรู้เรื่อง Machine Vision ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีหัวข้อในการตรวจสอบอยู่หลายๆ หัวข้อด้วย เช่น การตรวจสอบการปนเปื้อนบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ (Contamination) การผิดเพี้ยนของสีของผลิตภัณฑ์ (Discoloring) การนับจำนวนชิ้นส่วนต่างๆ ที่อยู่บนผลิตภัณฑ์ (Part counting) เป็นต้น ซึ่งผลของการตรวจสอบดังกล่าวอาจจะใช้เพื่อคัดแยกงานที่ออกจากงานเสีย หรือใช้เพื่อคัดเลือกเกรดของชิ้นงานก็ได้เช่นกัน และจากความต้องการจากด้านของอุตสาหกรรมที่ต้องการระบบที่สามารถทำงานได้รวดเร็วมากที่สุด ทำให้การทำงานของระบบอัตโนมัติ ซึ่งโดยหลักแล้วก็คือ การทำงานของโปรแกรมที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ประมวลผล จะต้องใช้เวลาที่สั้นที่สุด ดังนั้นวิธีการคำนวณต่างๆ จะต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด นอกจากนั้น ความรู้ต่างๆ ที่มีอยู่ในผู้ที่ปฏิบัติงานกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ มาก่อน จะต้องถูกนำมาใช้เพื่อ “ช่วย” ให้ระบบสามารถตัดการคำนวณที่ไม่จำเป็นออกไปให้ได้มากที่สุด และก่อนที่เราจะกล่าวล่วงไปถึง

เนื้อหาในส่วนดังกล่าว ผู้เขียนจะขอกกล่าวถึง ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นส่วนประกอบโดยทั่วไปของระบบ Machine vision เสียก่อน ดังในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ

1. การจัดสภาพแวดล้อม (Scene constraint)

จุดมุ่งหมายหลักของการจัดสภาพแวดล้อมของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ คือ เพื่อลดความซับซ้อนในการประมวลผลให้มากที่สุด ทั้งนี้ ก็เนื่องจากการที่ความสามารถ “มองเห็นและรับรู้” ของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่ในปัจจุบันมีอยู่อย่างจำกัด และไม่เทียบเท่าความสามารถของมนุษย์ เราจึงต้อง “ช่วย” ลดความยุ่งยากของการประมวลผล ทั้งนี้ ก็เพื่อให้อุปกรณ์ประมวลผลใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับงานที่ไม่ซับซ้อนและเท่าที่มีความจำเป็นเท่านั้น ซึ่งเราจะสามารถทำได้หลายวิธีร่วมกัน ยกตัวอย่างเช่น

-การจัดการกับชิ้นงาน ในสภาพแวดล้อมจริงในโรงงานอุตสาหกรรม ชิ้นงานแต่ละชิ้นที่จะถูกป้อนให้กับระบบตรวจสอบจะต้องถูกจัดให้วางตัวในทิศทางเดียวกัน ซึ่งหากไม่มีการจัดการเกี่ยวกับการวางตัวของชิ้นงานเหล่านี้แล้ว อุปกรณ์ประมวลผลจะต้องหาทิศทางของชิ้นงานแต่ละชิ้นเอง ก่อนที่จะเริ่มทำการตรวจสอบชิ้นงานจริงๆ นอกจากนั้น ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ให้ระบบอัตโนมัติทำการตรวจสอบนั้นจะต้องถูกจำกัดด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น ในสายการผลิตหนึ่ง ผลิตภัณฑ์ที่จะสามารถใช้ระบบตรวจสอบด้วยภาพแบบอัตโนมัติจะถูกกำหนดรูปร่างไว้อย่างแน่นอน โดยไม่สามารถนำผลิตภัณฑ์รูปร่างอื่นมาตรวจสอบกับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนที่ออกแบบไว้ได้

-ระยะระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุ และทิศทางของกล้อง ตัวแปรเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดขนาดของชิ้นงานที่ระบบอัตโนมัติ “มองเห็น” เช่น หากระยะดังกล่าวสั้นลงแล้ว ชิ้นงานที่ระบบอัตโนมัติมองเห็นก็จะมีขนาดใหญ่ ดังนั้น สำหรับระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติโดยทั่วไปแล้ว ตัวแปรเหล่านี้จะต้องถูกกำหนดไว้ตายตัว มิฉะนั้นแล้ว การวัดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งจัดเป็นการตรวจสอบพื้นฐานของการตรวจสอบชิ้นงานก่อนจะทำการตรวจสอบในหัวข้ออื่นๆ ก็จะผิดเพี้ยนไป

-การจัดการเรื่องแสง แสงจัดเป็นองค์ประกอบสำคัญมาก เนื่องจากการมองเห็นภาพของระบบอัตโนมัติ นั้น เกิดจากการที่มีแสงมาตกกระทบวัตถุ แล้วสะท้อนผ่านเลนส์มาเข้าตัวเซนเซอร์รับภาพของกล้องที่ใช้กับระบบอัตโนมัติ ซึ่งการจัดการเกี่ยวกับแสงนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณาทั้งเรื่องการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง การกระเจิงของแสง และคุณสมบัติอื่นๆ สำหรับการตรวจสอบชิ้นงานโดยทั่วไปแล้วจะทำการติดตั้งแหล่งกำเนิดแสงไว้ที่ด้านเดียวกับตัวกล้องแล้วส่งไปที่วัตถุที่ต้องการจับภาพ ซึ่งเรียกกันว่า Front lighting อย่างไรก็ตามจะพบว่า สำหรับงานตรวจสอบชิ้นงานบางอย่าง อาจจำเป็นต้องใช้การส่องแสงมาจากด้านหลังของวัตถุที่ใช้พิจารณาที่เรียกกันว่า Back lighting แล้วใช้ภาพที่ได้ทั้ง 2 ภาพมาประมวลผลเพื่อตรวจสอบวัตถุ ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยเพื่อหาอัตราการปลอมปนข้าวราคาต่ำในข้าวหอมมะลิ ที่ชื่อว่า โครงการการประเมินคุณภาพของเมล็ดข้าวโดยใช้ระบบวิเคราะห์ทางภาพ (Image Processing for Rice Kernel Quality Evaluation) ของนางสาวศิริลักษณ์ แสนสมบูรณ์สุข และ Dr. Nitin V Afzulpurkar

นอกจากการจัดการจัดสภาพแวดล้อมในการทำงานให้กับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนจากภาพแบบอัตโนมัติแล้ว งานบางประเภทอาจจะต้องมีการใช้ภาพจากกล้องหลายๆ ตัวเพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นงานจากหลายๆ มุมมอง บางกรณีอาจจะเป็นการใช้กล้องเพียงตัวเดียว แต่ตัวกล้องสามารถเคลื่อนที่ไปตามส่วนต่างๆ ของชิ้นงานได้ และสำหรับบางกรณีอาจจะมีการเก็บภาพของวัตถุเดียวกัน ที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสงหลายๆ แหล่ง หลายๆ ประเภทก็เป็นได้

2. การดึงข้อมูลภาพ (Image acquisition)

หากจะกล่าวอย่างง่ายแล้วกระบวนการดึงข้อมูลภาพ คือ กระบวนการที่เริ่มตั้งแต่การถ่ายภาพโดยกล้อง ตลอดจนถึงการดึงภาพซึ่งเป็นข้อมูลที่อยู่ในกล้องมาสู่คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ประมวลผล เพื่อที่จะได้ประมวลผลและตัดสินใจสั่งงานจากผลที่ได้ต่อไป กระบวนการดังกล่าวมีรายละเอียดปลีกย่อยที่สำคัญดังนี้

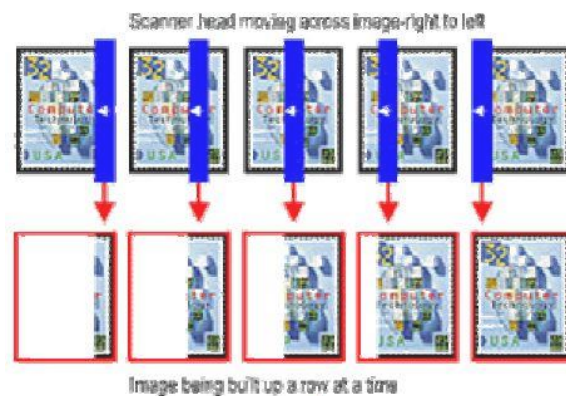
1. ประเภทของกล้องที่ใช้ในงานตรวจสอบชิ้นส่วนในเชิงอุตสาหกรรม กล้องที่ใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนในปัจจุบันนั้น จะเป็นกล้องดิจิทัลซึ่งใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกกันว่า เซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor) เพื่อใช้ในการรับภาพ เซ็นเซอร์ดังกล่าวมีขนาดเล็กมากเท่าเล็บมือคนเท่านั้น ซึ่งจะประกอบด้วยไดโอดที่มีความไวต่อแสงเรียงตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก และในทันทีที่มันโดนแสงมีการตกกระทบไดโอดเหล่านี้ ไดโอดแต่ละตัวจะทำการจดจำความเข้มแสงหรือความสว่างของแสงที่ตกกระทบไดโอดแต่ละตัวไว้ โดยปริมาณประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวไดโอดซึ่งแปรผันกับแรงดันตกคร่อมตัวไดโอดนั้น จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบ ซึ่งความเข้มแสงที่ได้จดจำไว้ในไดโอดแต่ละตัว จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลที่เป็นดิจิทัลและเก็บไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ในตัวกล้อง เพื่อรอส่งต่อไปให้อุปกรณ์ที่อยู่ภายนอกกล้องต่อไปสำหรับไดโอดนี้เรียกกันว่า เซลล์รับภาพ (พิกเซล pixel) ซึ่งหนึ่งเซลล์รับภาพจะให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปค่าที่ได้จากเซลล์รับภาพจะมีค่าระหว่าง 0-255 เท่านั้น (ช่วงข้อมูลดังกล่าว สามารถแทนด้วยข้อมูลขนาด 1 byte หรือ 8 bit ที่จะให้ความละเอียด 28 หรือ 256 ระดับ ซึ่งเป็นความละเอียดของกล้องที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในท้องตลาด อย่างไรก็ตาม จะมีกล้องบางประเภทที่ให้ค่าความเข้มแสงที่มีความละเอียดสูงถึง

16 บิตเลขที่เดียว) โดยหากค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าที่เซลล์รับภาพนั้น มีความเข้มแสงต่ำสุดหรือเป็นด้านมืด และหากมีค่าเท่ากับ 255 ก็แสดงว่าที่เซลล์รับภาพที่ตำแหน่งนั้นมีความเข้มแสงสูงสุดหรือเป็นด้านสว่าง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.22

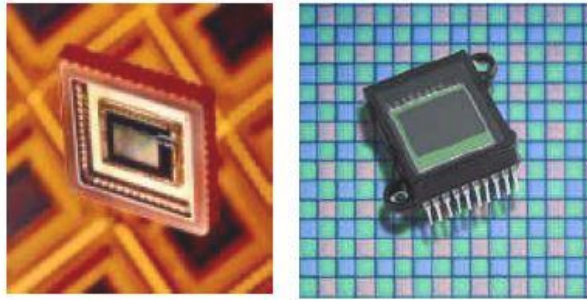


รูปที่ 2.22 แสดงความเข้มแสงเทียบกับค่าที่ได้จากเซลล์รับภาพ

เมื่อพิจารณากระบวนการทั้งหมด จะพบว่าเซลล์รับภาพแต่ละเซลล์นั้นจะให้ค่าความเข้มแสงออกมาเป็นตัวเลขที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เท่านั้น ซึ่งทำให้ได้ภาพที่เป็นโทนขาวดำหรือเรียกว่า Gray scale image เท่านั้น จึงมีคำถามว่าแล้วกล้องถ่ายภาพสีนั้นมีหลักการทำงานอย่างไร คำตอบก็คือว่า กล้องสีก็ยังใช้เซลล์รับภาพเหล่านี้เช่นกัน โดยทำการแยกสีหลัก 3 สี ได้แก่ สีแดง เขียว และน้ำเงินออกจากกัน โดยการติดตั้งตัวกรองแสงสี (filter) แต่ละสีไว้หน้าเซลล์รับภาพแล้วทำการวัดความเข้มของแต่ละสีนั้นเองกล้องสำหรับงานตรวจสอบชิ้นส่วนนั้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กล้องประเภท Area scan และกล้องประเภท Line scan ข้อแตกต่างของกล้องทั้ง 2 ประเภทคือ กล้องประเภท Line scan นั้นเซลล์รับภาพสำหรับรับความเข้มแสง (สำหรับกล้องที่ให้ภาพออกมาเป็น (gray scale) หรือความเข้มสี (ในกรณีที่เป็นกล้องที่ใช้ถ่ายภาพสี) จะเรียงตัวเป็นแถวยาวที่อาจจะมีจำนวนมากถึง 12,000 เซลล์ ทำให้การที่จะสามารถจับภาพของทั้งวัตถุได้ กล้องจะต้องมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับวัตถุ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.23 ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะออกแบบให้กล้องตรึงอยู่กับที่ และตัววัตถุถูกเลื่อนไปโดยการไ้ระบบสายพาน (Conveyer) ข้อดีของกล้องประเภทนี้คือ จะให้ความละเอียดของภาพสูงมาก อย่างไรก็ตามสำหรับงานตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติโดยทั่วไป จะใช้กล้องประเภท Area scan ที่เซลล์รับภาพมีการเรียงตัวกันอยู่ในพื้นที่ ซึ่งโดยมากเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์จะทำการแปลงค่าความเข้มแสงหรือความเข้มสีให้ออกมาเป็นค่าตัวเลขในเวลาพร้อมๆกัน และถึงแม้ว่า กล้องชนิดนี้จะให้ภาพที่มีความละเอียดน้อยกว่าของกล้องประเภท Line scan เป็นอย่างมาก แต่กล้องประเภทนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวกง่ายดาย โดยไม่จำเป็นต้องออกแบบให้มีการเคลื่อนไหวสัมพันธ์ระหว่างตัวกล้องกับชิ้นงาน จึงทำให้กล้องชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ตัวอย่างของเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องแบบ Area scan นั้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 แสดงการทำงานของกล้องประเภท Line scan ซึ่งตัวกล้องและวัตถุจะต้องมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน



รูปที่ 2.24 แสดงเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องประเภท Area scan ของกล้องถ่ายภาพ Gray scale และของกล้องถ่ายภาพสี ซึ่งเซลล์รับภาพมีการเรียงตัวกันเต็มพื้นที่ของเซ็นเซอร์

จากรูปที่ 2.24 ซึ่งแสดงเซ็นเซอร์ที่ใช้กับกล้องถ่ายภาพสี สำหรับพื้นหลังของรูปดังกล่าวแสดงรูปแบบการเรียงตัวของเซลล์รับภาพที่วัดความเข้มสี จะพบว่า ตัวกรองแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน ได้ถูกติดตั้งกับเซลล์รับภาพแต่ละเซลล์ และมีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้เซลล์รับภาพซึ่งสามารถวัดได้เพียงความเข้มแสง สามารถนำมาใช้วัดความเข้มสีได้ สำหรับเซ็นเซอร์ภาพบางรุ่นอาจจะมีกลไกการเปลี่ยนตัวกรองแสงสีที่อยู่ด้านหน้าเซลล์รับภาพ แทนที่จะติดตั้งตัวกรองแสงสีแบบตายตัวในลักษณะดังกล่าว

2. ภาพที่อุปกรณ์ประมวลผล “มองเห็น” หลักการทำงานของกล้องก็เป็นเช่นเดียวกับระบบการมองเห็นของมนุษย์นั่นคือ ภาพเกิดจากการที่มีแสงตกกระทบวัตถุแล้วมีแสงสะท้อนจากวัตถุ ผ่านเลนส์เข้ามาตกกระทบเซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor) ของกล้อง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์รับภาพ (pixel) จำนวนมาก เซลล์รับภาพแต่ละเซลล์จะทำหน้าที่แปลงความเข้มแสงสำหรับกรณีที่เป็นกล้องขาวดำหรือแปลงความเข้มสีของแสงสีแดง, เขียวและน้ำเงินสำหรับกรณีของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพสี ให้อยู่ในรูปของค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะถูกละเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลอีกทีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การทำงานของเซลล์รับภาพของกล้องจะแตกต่างจากเซลล์รับภาพของมนุษย์อยู่ 2 ประการด้วยกัน คือ

- จำนวนเซลล์รับภาพที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องนั้น มีจำนวนน้อยกว่าของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทำให้ภาพที่ได้จากกล้องนั้นมีความละเอียดน้อยกว่าของมนุษย์เป็นอย่างมาก ภาพที่ได้จากกล้องจึงเกิดการสุ่มจับภาพจริงด้วยจำนวนที่จำกัดของเซลล์รับภาพ (Spatial sampling) นั่นเอง
- ค่าความเข้มแสงที่ได้จากเซลล์รับภาพ (หรือความเข้มสีในกรณีของกล้องถ่ายภาพสี) ของเซ็นเซอร์รับภาพที่อยู่ในกล้องนั้น จะเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete value) เนื่องจากเป็นการทำงานของอุปกรณ์ดิจิทัลซึ่งจะเป็นการสุ่มขนาดของความเข้มแสงที่ตกกระทบ (Amplitude sampling) ไม่เหมือนกับของมนุษย์ที่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากการทำงานของสารเคมีที่อยู่ในเซลล์รับภาพ

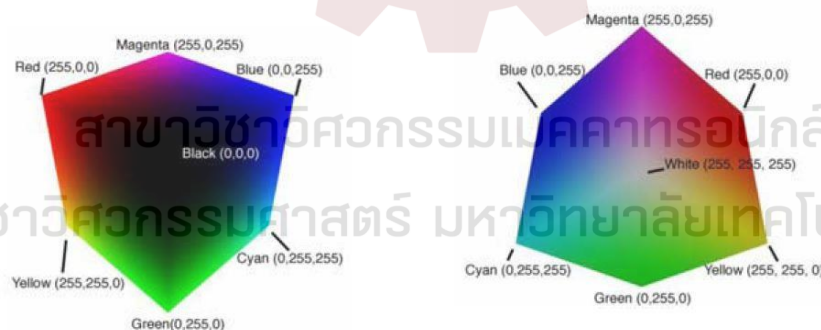
จากข้อจำกัดดังกล่าว จึงทำให้ข้อมูลของภาพ Gray scale ที่อุปกรณ์ประมวลผลมองเห็น มีลักษณะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ โดยที่ค่าแต่ละช่องของอาร์เรย์จะแทนความเข้มแสงหรือความเข้มสีที่ตกกระทบเซลล์รับภาพที่ตำแหน่งนั้นซึ่งค่าความเข้มแสงดังกล่าวจะเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่องและโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เท่านั้น

ดังสมการที่ 1.1 ซึ่งเป็นตัวอย่างภาพที่มีจำนวนแถวหรือความสูงของภาพเท่ากับ m แถว และมีจำนวนหลักหรือความกว้างของภาพเท่ากับ n หลัก

$$\text{Image} = \begin{bmatrix} I(1,1) & I(1,2) & \dots & I(1,n) \\ I(2,1) & & & \\ \dots & & & \\ I(m,1) & I(m,2) & \dots & I(m,n) \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

เมื่อ $I(m,n)$ คือ ค่าความเข้มแสง ณ แถว m และหลัก n ของเซ็นเซอร์รับภาพ ซึ่งเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง

สำหรับกรณีที่เป็นกล้องถ่ายภาพสีนั้น ข้อมูลของภาพจะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติจำนวน 3 อาร์เรย์ด้วยกัน และโดยทั่วไปแล้วอาร์เรย์เหล่านี้ จะเก็บค่าความเข้มสีของสีแดง เขียว น้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งแต่ละช่องของอาร์เรย์เหล่านี้ก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นกัน ดังนั้น การแทนสีที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติของอุปกรณ์ประมวลผล จะแทนด้วยค่าความเข้มสี ณ ตำแหน่งเดียวกันของอาร์เรย์ทั้งสามมาผสมกัน สำหรับตัวอย่างสีที่เกิดจากการผสมกันของสีทั้งสามนั้น แสดงไว้ในรูปที่ 1.5 จะพบว่า การผสมแสงสีดังกล่าว จะคล้ายคลึงกับวิชาศิลปะที่เป็นการผสมสีของแม่สีเข้าด้วยกันนั่นเอง อย่างไรก็ตาม การรวมกันของแสงสีที่อยู่ในอุปกรณ์ประมวลผลนั้นเรียกว่า Additive color system ที่หากมีการรวมกันของแสงสีต่างๆ ด้วยค่าสูงสุดแล้ว จะให้แสงสีขาวออกมา ในขณะที่การผสมสีในวิชาศิลปะนั้นเมื่อผสมแม่สีทั้งสามเข้าด้วยกันด้วยปริมาณที่เท่าๆกัน จะได้สีดำออกมา ซึ่งเรียกระบบสีนี้ว่า Subtractive color system



รูปที่ 2.25 แสดงการแทนสีจริงด้วยค่าสีแดง สีเขียวและน้ำเงิน

- (a) เมื่อพิจารณาจากด้านสีดำ จะพบว่าค่าของสีทั้งสามเท่ากับ 0
 (b) เมื่อพิจารณาจากด้านสีขาว จะพบว่าค่าของสีทั้งสามเท่ากับ 255

ในรูปที่ 2.25(a) นั้น หากสีที่เซลล์รับภาพนั้นได้รับมาเป็นสีแดงล้วน ค่าความเข้มสีของอาร์เรย์สีแดง ณ ตำแหน่งดังกล่าว จะมีค่าสูงสุดคือ 255 ในขณะที่ ณ ตำแหน่งเดียวกันของอาร์เรย์อื่นๆที่เหลือจะมีค่าเป็น 0 ซึ่งจะพบว่าแบบจำลองการแทนสีดังกล่าว มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมด้านเท่า โดยที่แต่ละด้านจะมีความยาว 255 หน่วยและเรียกรวมการแทนสีที่เกิดขึ้นจริงด้วยการผสมระหว่างสีแดง เขียว และน้ำเงินนี้ว่า RGB color space ซึ่งเป็นวิธีแทนสีที่เกิดขึ้นจริงของคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผลโดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีวิธีการระบุสีที่เกิดขึ้นจริงในหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบก็เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะอย่าง สำหรับในทางปฏิบัติ นั้น หากพิจารณาจากแง่ของโปรแกรม การส่งข้อมูลภาพจากกล้องมาสู่คอมพิวเตอร์ จะไม่ได้อยู่ในรูปของ

อาร์เรย์ 2 มิติ แต่จะอยู่ในรูป Byte stream ที่เป็นข้อมูลที่มีความต่อเนื่องเรียงต่อกัน โดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลค่าแรก จะเป็นค่าความเข้มแสงของเซลล์รับภาพที่อยู่มุมล่างขวาของเซ็นเซอร์รับภาพในกรณีที่เป็นกล้องถ่ายภาพแบบ Gray scale และสำหรับกรณีที่เป็นกล้องที่ถ่ายภาพสีนั้น ข้อมูลค่าแรกจะเป็นสีน้ำเงินของเซลล์รับภาพที่อยู่มุมล่างขวาของเซ็นเซอร์รับภาพ ซึ่งจะตามด้วยสีเขียวและสีแดงของจุดเดียวกันเป็นลำดับต่อเนื่องกันไป ดังนั้น โปรแกรมจะต้องทำการจัดเรียงข้อมูลที่มีความต่อเนื่องเหล่านี้ให้อยู่ในรูปอาร์เรย์ 2 มิติเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการอ้างถึงตำแหน่งของข้อมูลของกระบวนการต่อไปนั่นเอง

3. การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-processing)

การประมวลผลภาพมีด้วยกันหลากหลายกระบวนการด้วยกัน กระบวนการเหล่านี้เป็นความรู้ที่สามารถพบได้ทั่วไปในสาขาเรื่อง การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) ซึ่งจะพบว่าในสาขาวิชานี้มีความรู้เกี่ยวกับการประมวลผลภาพอยู่มากมายที่นำประยุกต์ใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติ เช่น

- การลดทอนสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นในภาพ
- การตรวจจับขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพ
- การแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของภาพ เช่น การหมุน การเลื่อน การย่อและขยายภาพ เป็นต้น
- การแปลงสี (color space conversion)
- การวิเคราะห์ภาพในเชิงความถี่
- การบีบอัดข้อมูลภาพ
- และความรู้อื่นๆ อีกมากมาย

ซึ่งจะพบว่า ระเบียบวิธี (algorithm) ของวิธีประมวลผลภาพบางอย่างก็ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนแบบอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมที่ต้องการการทำงานที่รวดเร็วที่สุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช้ระเบียบวิธีเฉพาะที่ง่ายและใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุด ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้จะสามารถเป็นจริงได้ ก็ด้วยการจัดสภาพแวดล้อมในการจับภาพที่ดี นอกจากนั้นแล้ว ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นั้นซึ่งมีอยู่แล้วในผู้ปฏิบัติงาน ก็ควรนำมาใช้เพื่อช่วยให้ระบบสามารถทำงานให้ได้เร็วที่สุดด้วยเช่นกันยกตัวอย่างเช่น

- การระบุบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ (Region Of Interest, ROI) โดยผู้ปฏิบัติงาน รวมทั้งประเภทการตรวจสอบที่ใช้กับบริเวณนั้นๆ จะพบว่า การระบุเฉพาะบริเวณที่สนใจรวมทั้งรูปแบบการวัดหรือการตรวจสอบที่ใช้เฉพาะกับบริเวณนั้นๆ จะทำให้โปรแกรมสามารถตัดการคำนวณของบริเวณที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานได้เร็วขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์สีที่ผิดเพี้ยน ซึ่งจะต้องมีการแปลงระบบสี (Color conversion -จะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไปนะคะ) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก หากทำการแปลงระบบสีของภาพทั้งภาพนั้นจะต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก หากผู้ปฏิบัติงาน “ช่วย” บอกกับระบบว่า เฉพาะบริเวณใดบ้างที่ต้องการตรวจจับสีผิดเพี้ยน โปรแกรมก็จะสามารถทำการแปลงหรือคำนวณเฉพาะบริเวณที่ระบุไว้ โดยละบริเวณที่ไม่ได้ระบุไว้ ซึ่งจะทำการทำงานของระบบมีความรวดเร็วขึ้นมาก

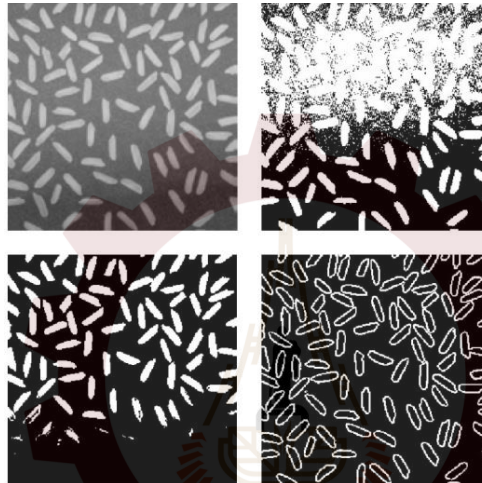
- การนำความรู้เรื่องรูปร่างของผลิตภัณฑ์มาใช้ เช่น การตรวจสอบบริเวณขอบของผลิตภัณฑ์ที่เป็นส่วนของเส้นตรง หรือการหารัศมีของชิ้นส่วนหรือบริเวณที่เป็นวงกลม จะพบว่า การตรวจสอบประเภทนี้จะต้องทำการตรวจจับส่วนของเส้นตรงหรือ การตรวจจับวงกลมทั้งวงให้ได้เสียก่อนๆ ที่จะทำการพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ เช่น มุมของเส้นตรง หรือ จุดศูนย์กลางของวงกลม เป็นต้น กระบวนการตรวจจับดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งวิธีที่เป็นที่นิยมกันเป็นอย่างมากในการตรวจจับเส้นตรงหรือวงกลม เรียกว่า Hough transformation ซึ่งเป็นการหาสมการของเส้นตรงหรือสมการของวงกลมโดยไม่ต้องมีข้อมูลใดๆ มาช่วย วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมกันมากในการทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมแบบเปิด ที่มีสิ่งของที่ไม่ทราบรูปร่างมาก่อนเข้ามาในระบบ อย่างไรก็ตามสำหรับระบบตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติ ที่เป็นการนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่ถูกต้องแล้ว อีกทั้งการที่รูปร่างของผลิตภัณฑ์และการวางตัวของผลิตภัณฑ์ก็ถูกกำหนดไว้ตายตัวอยู่แล้ว ทำให้เราสามารถใช้วิธีการธรรมดาๆ เช่น linear regression ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยมาก เพื่อใช้หาสมการของเส้นตรงก็ได้เช่นกัน

4. การแยกบริเวณ (Segmentation)

กระบวนการนี้เป็นการแยกบริเวณของภาพที่มีลักษณะร่วมกันออกเป็นส่วนๆ ซึ่งมุ่งเน้นว่า จะใช้วิธีใดหรือเงื่อนไขใดในการแยกวัตถุที่สนใจออกจากฉากหลัง หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ จะใช้เงื่อนไขใดในการพิจารณาว่า พิกเซลที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น จัดเป็นของของวัตถุ (Objects) ใดที่อยู่ในภาพ หรือบริเวณใดที่จัดเป็นฉากหลัง (back ground) นอกจากนั้น ยังต้องมีการคำนึงถึง การเก็บข้อมูลของวัตถุที่แยกออกมาให้ในรูปแบบใดจึงจะเหมาะสม สำหรับกระบวนการแยกภาพ นี้มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ

1. การแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold ค่า Threshold เป็นค่าที่เป็นจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกับค่าความเข้มแสงของพิกเซลที่อยู่ในภาพ Gray scale สำหรับการแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold นั้น จะเป็นการแปลงภาพ Gray scale ให้เปลี่ยนเป็นภาพที่มีเพียงสองระดับ (binary image) โดยการใช้เงื่อนไขว่าถ้าค่าความเข้มแสงที่พิกเซลตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ให้ค่าพิกเซลในตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 0 หรือเปลี่ยนเป็นด้านมืดไป และถ้าพิกเซลใดมีค่าสูงกว่าค่า Threshold แล้วให้พิกเซลนั้นมีค่าเป็นค่า 255 หรือ เปลี่ยนเป็นด้านสว่างไป ซึ่งการแยกบริเวณด้วย Threshold นี้ยังสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ การใช้ Threshold ค่าเดียวกับทั้งภาพ เรียกกันว่า Global threshold และการแบ่งภาพออกเป็นภาพย่อยที่มีขนาดเล็กๆ ซึ่งแต่ละภาพย่อยก็จะมีค่า Threshold เป็นของตัวเอง หรือเรียกว่า Local Threshold ซึ่งจากการทำงานทั้งสองแบบจะมีค่าตามเกิดขึ้นว่า เราจะใช้วิธีการใดในการเลือกค่า Threshold ที่เหมาะสมกับทั้งภาพ หรือภาพย่อยนั้นๆ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป และเนื่องจากการแยกบริเวณโดยการใช้ค่า Threshold นั้น ผลที่ได้คือ บริเวณพื้นที่ที่มีค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกัน จึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า Area based segmentation

2. การแยกบริเวณโดยใช้ขอบของวัตถุ (Edge based segmentation) สำหรับการแบ่งบริเวณวิธีนี้ จะต้องคำนวณหาขอบของวัตถุเสียก่อน ซึ่งขอบในความหมายของการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลนั้นคือ พิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงเกินค่าที่กำหนดนั่นเอง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถตรวจจับได้โดยใช้ตัวตรวจจับขอบ (Edge detector) ที่มีอยู่หลากหลายชนิด สำหรับเนื้อหาส่วนนี้จะขอเสนอในเรื่องของการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลเบื้องต้นนะครับ ผลของการแยกบริเวณออกเป็นส่วนๆ ทั้งสองวิธีนั้น ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงการแยกบริเวณทั้งสองวิธี

(a) รูป Gray scale ดั้งเดิม

(b) Binary image โดยการใช้ค่า Threshold เท่ากับ 100

(c) Binary image โดยการใช้ค่า Threshold เท่ากับ 153

(d) Binary image ที่เกิดจากการใช้ตัวตรวจจับขอบแบบ Sobel และใช้ค่า Threshold เท่ากับ 153

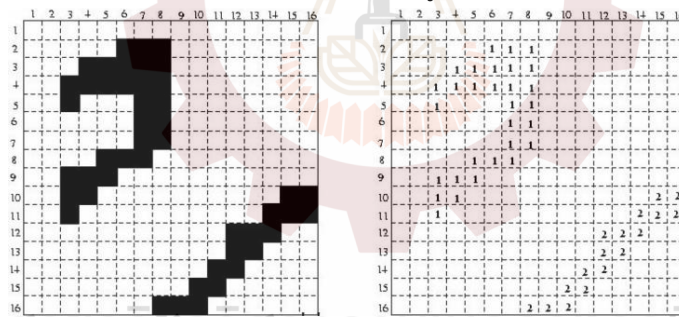
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้อ่านจะสังเกตเห็นว่า การใช้ค่า Threshold ค่าเดียวกับทั้งภาพ (Global Thresholding) เพื่อแยกเม็ดข้าวออกจากฉากหลังนั้น จะพบว่า ไม่ว่าจะเลือกใช้ค่า Threshold เท่าใด เม็ดข้าวบางเม็ดก็จะ “หายไป” จาก binary image ทั้งนี้เนื่องจาก แสงในภาพ Gray scale นั้น มีการกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้ความสว่างของแต่ละบริเวณภายในภาพไม่เท่ากัน และในทางกลับกัน การแยกขอบของเม็ดข้าวโดยใช้ตัวตรวจจับขอบแบบ Sobel นั้นเราจะได้ขอบของเม็ดข้าวครบทุกเม็ด

แม้ว่า การใช้ค่า Threshold ค่าเดียวกับทั้งภาพ (Global Thresholding) เพื่อแบ่งวัตถุในภาพออกเป็นส่วนๆ นั้น จะให้ผลที่ไม่ดีเท่ากับวิธีการแบ่งวัตถุในภาพโดยใช้ตัวตรวจจับขอบ อย่างไรก็ตามจะพบว่า วิธีนี้จะเหมาะสมกับการนำไปใช้เพื่อการตรวจสอบผลิตภัณฑ์มากกว่า เนื่องจากได้ตัดขั้นตอนการตรวจจับขอบ (Edge detection) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องเสียเวลาในการคำนวณค่อนข้างมาก และผลที่ได้จากวิธีแรกนั้นสามารถนำไปคำนวณหาคุณสมบัติพื้นฐาน เช่น พื้นที่หรือจุดศูนย์กลางของบริเวณ ได้อย่างสะดวกมากกว่าด้วย (ลองคิดเทียบกันดูนะครับถ้าผู้อ่านรู้แค่ขอบของวัตถุ แต่จะต้องคำนวณหาพื้นที่ คงเป็นเรื่องยุ่งยากน่าดูใช่ไหมครับ)

นอกจากนั้น ในการทำงานจริงๆ นั้น เราสามารถจัดแสงให้มีความสม่ำเสมอมากกว่านี้ เพื่อขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นกับการใช้วิธี Global Thresholding ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การตรวจจับขอบก็เป็นวิธีการที่ต้องเรียนรู้ควบคู่ไปด้วยเช่นกัน เนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้ในสภาพแบบเปิดที่มีความแตกต่างระหว่างวัตถุและฉากหลังไม่สม่ำเสมอ เช่น ระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์เตะบอล หรือหุ่นยนต์กู้ภัยได้

ผลที่ได้จากกระบวนการข้างต้นคือ บริเวณของภาพที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ซึ่งทำให้เกิดการแยกบริเวณที่เป็นวัตถุ (Object) ออกจากบริเวณที่เป็นฉากหลัง (Background) ด้วย ซึ่งผลที่ได้จริงๆ ทางกายภาพคือ ภาพที่มีความเข้มแสงเพียง 2 ระดับ (binary image) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.27(a) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะงานแต่ละอย่างว่า ส่วนที่จัดเป็นวัตถุนั้นจะเป็นสีดำหรือสีขาว และขั้นตอนต่อไปนั้น เราจะทำการพิจารณาว่าพิกเซลใดบ้างที่มีการ “เชื่อมต่อ (Connect)” กัน เพื่อที่จะจัดให้พิกเซลเหล่านั้นให้อยู่ในบริเวณหรือวัตถุเดียวกัน กระบวนการย่อยนี้เรียกว่า Connected components labeling หรือ Connected component extraction (ขออนุญาตทับศัพท์นะครับ) ที่จะได้กล่าวถึงการทำงานโดยละเอียดต่อไป ซึ่งผลที่ได้จากการทำงานของกระบวนการย่อยนี้คือ จะทำให้เราารู้ว่าพิกเซลในแต่ละตำแหน่งนั้น จัดเป็นของวัตถุชิ้นใด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.27(b) ซึ่งแสดงหมายเลขของชิ้นวัตถุที่พิกเซลตำแหน่งนั้นๆ เป็น “สมาชิก” อยู่



รูปที่ 2.27 แสดงการทำงานของกระบวนการย่อยที่ชื่อว่า Connected Components Labeling หรือ Connected Components Extraction

(a) ภาพ Binary image ที่ได้จากวิธี Global Thresholding ซึ่งในที่นี้ เป็นการพิจารณาวัตถุสีดำที่มีพื้นหลังเป็นสีขาว

(b) ผลที่ได้จากการทำงานของ Connected Components Labeling ที่ทำให้เราทราบว่า พิกเซลในแต่ละตำแหน่งนั้นเป็นของวัตถุชิ้นใด ซึ่งในรูปนั้นจะมีวัตถุอยู่ 2 ชิ้นด้วยกัน คือวัตถุหมายเลข 1 และ 2

หลังจากที่เราทราบว่าพิกเซลแต่ละตำแหน่งเป็นของบริเวณหรือวัตถุใดแล้ว ขั้นตอนที่สำคัญต่อมาคือ เราจะทำการเก็บพิกัดของพิกเซลที่จัดอยู่ในบริเวณหรือวัตถุเดียวกันเหล่านี้ได้อย่างไร สำหรับเรื่องนี้ มีประเด็นที่จะต้องพิจารณาอยู่ 2 เรื่องด้วยกัน คือ

- วิธีการเก็บพิกัดของกลุ่มพิกเซล ซึ่งจัดเป็นการบีบอัดข้อมูล (Data compression) แบบหนึ่ง ที่จะต้องเลือกใช้วิธีที่ใช้เนื้อที่หน่วยความจำน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ วิธีการเก็บพิกัดของกลุ่มพิกเซลมีหลายแบบด้วยกัน เช่น Chain code, Run-length encoding เป็นต้น
- โครงสร้างของข้อมูล (Data structure) ส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการเก็บข้อมูลที่ได้จากหัวข้อก่อนหน้าเข้าด้วยกัน เพื่อความสะดวกในการอ้างอิง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างที่เลือกใช้ภาษา C++ จะเป็น

Linked list ที่มีลักษณะเป็นอาร์เรย์แบบเปิด ที่สามารถเก็บข้อมูลเพิ่มได้ไม่จำกัด ทั้งนี้ เนื่องจากจำนวนพิกเซลที่จัดอยู่ในวัตถุเดียวกันนั้น เราไม่สามารถรู้จำนวนที่แน่นอนล่วงหน้าได้

การแยกบริเวณออกเป็นส่วนๆนั้น จะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลักด้วยกัน คือ การเลือกแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นแสงใกล้เคียงกับความไว (Sensitivity) หรือความสามารถในการตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ของตัวกล้อง อีกทั้งความเข้มแสงจะต้องไม่มากหรือน้อยจนเกินไป และต้องไม่ทำให้เกิดเงามืดของวัตถุขึ้นในภาพ นอกจากนี้ อีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ การจัดฉากหลัง (Background) ให้มีความเข้มแสงต่างกันมากๆ กับตัววัตถุที่พิจารณา เพื่อให้สามารถแยกส่วนที่เป็นวัตถุและส่วนที่เป็นฉากหลังออกจากกันโดยวิธี Global Thresholding ได้อย่างชัดเจนนั่นเอง

5. การคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature extraction)

หลังจากที่เราแยกบริเวณที่อยู่ในภาพออกเป็นส่วนๆ ที่แต่ละส่วนมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน และทำการจัดเก็บพิกัดของพิกเซลที่เป็นของบริเวณเดียวกันโดยเลือกใช้รูปแบบการเก็บที่เหมาะสมแล้ว เราจะทำการคำนวณหาหรือวัดคุณสมบัติต่างๆของแต่ละบริเวณหรือของวัตถุแต่ละชั้นที่อยู่ในรูป ซึ่งในทางปฏิบัติ การคำนวณหาคุณสมบัติบางประการนั้น สามารถทำไปพร้อมๆกันกับกระบวนการ Connected Components Labeling ได้เลย เช่น การคำนวณหาพื้นที่ ซึ่งเป็นเพียงการนับจำนวนพิกเซลที่เป็นของบริเวณหรือวัตถุนั้นๆ หรือการหาเส้นรอบวงของวัตถุที่เป็นการนับจำนวนพิกเซลของวัตถุที่มีด้านใดด้านหนึ่งติดอยู่กับบริเวณที่เป็นฉากหลัง แต่คุณสมบัติบางประการก็จะต้องทำหลังจากที่เสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าวไปแล้ว เพื่อให้ทราบพื้นที่ทั้งหมดของวัตถุเสียก่อน เช่น การหาจุดศูนย์กลางของวัตถุ หรือ การหาเฉดสีเฉลี่ย (Average hue) หรือความเข้มแสงเฉลี่ย (Average intensity) ของวัตถุทั้งชิ้น เป็นต้น และด้วยการที่บางบริเวณอาจมีค่าคุณสมบัติบางอย่างคล้ายคลึงกัน เช่น บริเวณที่เป็นสาลีและบริเวณที่เป็นแอปเปิ้ลต่างก็มีขนาดและเส้นรอบรูปเท่าๆกัน หากเราต้องการนับจำนวนผลไม้แต่ละชนิดที่อยู่ในภาพ เราจำเป็นต้องใช้คุณสมบัติอื่นๆมาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อให้เห็นความแตกต่างของบริเวณที่เป็นผลไม้ทั้งสองชนิด ซึ่งหมายถึงเวลาที่โปรแกรมใช้คำนวณจะต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกลักษณะเด่น (Salient features) เพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถใช้จำแนกผลไม้ออกจากกันได้อย่างชัดเจน แทนที่จะทำการวัดคุณสมบัติทุกอย่างของทุกบริเวณที่มีอยู่ในภาพ ทั้งนี้ก็เพื่อลดความสิ้นเปลืองดังกล่าว

ผลที่ได้จากกระบวนการนี้ คือ ค่าคุณสมบัติต่างๆของวัตถุแต่ละชั้นที่อยู่ในภาพ ซึ่งถ้าหากนำมาจัดวางในรูปแบบเวกเตอร์ เราก็จะได้ Feature vector ซึ่งเป็นการแสดงค่าคุณสมบัติทั้งหมดที่วัดจากวัตถุนั้นๆที่อยู่ในรูปของเวกเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น วัตถุนั้นๆหนึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 120 พิกเซลและเส้นรอบวงยาว 50 พิกเซล และวัตถุนั้นๆที่สองที่ปรากฏในภาพมีพื้นที่เท่ากับ 200 พิกเซลและเส้นรอบวงยาว 30 พิกเซล เราจะสามารถเขียน Feature vector ของวัตถุนั้นๆแรก (Obj1) และของวัตถุนั้นๆที่สอง (Obj2) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ขนาด 2 มิติทั้งคู่ได้ดังนี้

$$\text{Obj}_1 = \begin{bmatrix} 120 \\ 50 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

$$\text{Obj}_2 = \begin{bmatrix} 200 \\ 30 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

เมื่อ

ตำแหน่งแรก คือ พื้นที่ของวัตถุที่มีหน่วยเป็นพิกเซล

ตำแหน่งที่สอง คือ ความยาวรอบรูปของวัตถุที่มีหน่วยเป็นพิกเซล

6. การจำแนกวัตถุและการแปลความหมาย (Classification and Interpretation)

คำว่า “วัตถุ” ในที่นี้หมายถึง บริเวณของภาพที่มีความเข้มแสงค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น บริเวณๆ หรือเป็นชิ้นๆ แยกออกจากพื้นหลังด้วยกระบวนการแยกบริเวณ (Segmentation) ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุที่ได้มาจากกระบวนการคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature extraction) จะถูกนำมาเขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ซึ่งเรียกว่า Feature vector และเมื่อมาถึงขั้นตอนนี้ เราจะสามารถแทนวัตถุแต่ละชิ้นที่อยู่ในภาพด้วย Feature vector 1 เวกเตอร์ต่อ 1 วัตถุ ซึ่งการตัดสินใจต่างๆ ของระบบต่อจากนี้ไป จะกระทำโดยการพิจารณาค่าที่อยู่ใน Feature vector เหล่านี้เท่านั้น นอกจากนี้ ยังมีข้อสังเกตบางประการคือ เมื่อขั้นตอนก่อนหน้าเสร็จสิ้นลง โปรแกรมจะสามารถแยกวัตถุหรือบริเวณที่สนใจออกจากฉากหลัง และรู้เพียงคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุแต่ละชิ้นเท่านั้น แต่ไม่สามารถจะรู้ได้ว่า วัตถุชิ้นนั้นๆ คืออะไร เช่น หากในภาพที่มีฉากหลังเป็นสีดำ ซึ่งทำให้สามารถแบ่งแยกวัตถุออกจากฉากหลังได้อย่างชัดเจน และมีเพียงสี่เหลี่ยมอยู่กลางภาพ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature extraction) ลง โปรแกรมก็จะได้ Feature vector ของบริเวณที่เป็นสี่เหลี่ยมและสี่เหลี่ยมอย่างละเวกเตอร์เท่านั้น แต่โปรแกรมจะไม่สามารถระบุได้ว่าเวกเตอร์ใดหรืออีกนัยหนึ่งก็คือวัตถุใด เป็นผลไม้ชนิดใดกันแน่ แต่ด้วยกระบวนการจำแนกวัตถุ (Classification) นี้เองที่จะทำให้โปรแกรมสามารถ “จำแนก” ได้ว่า บริเวณแต่ละบริเวณนั้นจัดเป็นผลไม้ชนิดใด

การจำแนก (Classification) คือ กระบวนการจัดกลุ่มให้วัตถุที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ว่าเป็นวัตถุที่อยู่ในกลุ่มที่ 1, 2 หรือกลุ่มอื่นๆ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดหรือการคำนวณซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่ม ดังนั้น ก่อนที่ระบบจะสามารถทำการตัดสินใจดังกล่าวได้ ระบบจะต้องมีตัวอย่างของวัตถุในแต่ละกลุ่ม รวมทั้งหมายเลขกลุ่มหรือชื่อเรียกของแต่ละกลุ่มเสียก่อน สำหรับการตัดสินใจว่า จากคุณสมบัติของวัตถุที่กำลังพิจารณาเทียบกับคุณสมบัติของวัตถุตัวอย่างที่อยู่ในแต่ละกลุ่มนั้น วัตถุที่กำลังพิจารณาจะจัดอยู่กลุ่มใด โปรแกรมหรือส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ดังกล่าว เรียกว่า Classifier (ขอทับศัพท์นะครับ) ซึ่งหากพิจารณาการเข้าออกของข้อมูลนั้น ตัว Classifier จะรับ Feature vector เข้าไป และให้หมายเลขหรือชื่อกลุ่มที่วัตถุที่กำลังพิจารณานั้นๆ จัดว่าเป็นสมาชิกอยู่ออกมา

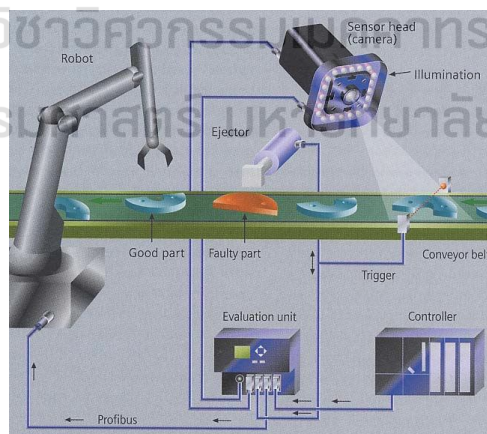
Classifier มีหลักการทำงานแตกต่างกันออกไป ในปัจจุบัน สำหรับงานวิจัยแล้วมี 2 วิธีที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ ระเบียบวิธีของ k-Nearest Neighborhood classifier (ขอเรียกชื่อย่อว่า kNN นะครับ) ซึ่งเป็นตัวจำแนกที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบระยะห่างระหว่าง Feature vector ของวัตถุกับของกุ่มตัวอย่าง และจะจำแนกวัตถุนั้นๆ เข้ากับกลุ่มที่มีระยะทางใกล้ที่สุด และ Classifier อีกแบบหนึ่งคือ โครงข่าย

ประสาทเทียม (Artificial Neuralnetwork, ขอเรียกชื่อย่อว่า ANN นะครับ) ที่เป็นการจำลองการทำงานของสมองมนุษย์ แต่เนื่องจากเนื้อหาและระยะเวลาของการอบรม จึงขอนำเสนอวิธีจำแนกด้วยกระบวนการทางสถิติ (statistical pattern classification) ซึ่งจัดเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและสามารถนำไปใช้งานได้จริง

ผลของการทำงานของ Classifier นั้น จะทำให้สามารถทราบได้ว่า บริเวณที่แยกออกมานั้นเป็นวัตถุชนิดใด ซึ่งจะทำให้สามารถตีความหมายภาพ (Interpretation) และตัดสินใจสั่งการส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ ได้ เช่น กรณีตัวอย่างข้างต้น ที่เป็นการนับสาลีและบริเวณที่เป็นแอปเปิ้ลที่อยู่ภาพเดียวกัน หลังจากที่ใช้ classifier ในการจำแนกวัตถุต่างๆ ที่อยู่ภายในภาพว่า บริเวณใดเป็นสาลี และบริเวณใดเป็นแอปเปิ้ลได้แล้ว โปรแกรมก็จะสามารถตีความหมายโดยการนับจำนวนลูกดี ลูกเสีย หรือการคัดเกรดของผลไม้แต่ละชนิดที่อยู่ในภาพได้

7. กลไกเคลื่อนไหว (Actuation)

กระบวนการนี้โปรแกรมจะสั่งการส่วนกลไกเคลื่อนไหวต่างๆ ให้กระทำการบางอย่างกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการก่อนหน้าข้างต้น เช่น การสั่งให้สายพานเลื่อนชิ้นงานขึ้นไปเข้ามา หรือการสั่งให้แขนหุ่นยนต์ทำการหยิบจับชิ้นงานที่ผ่านตรวจสอบแล้วไปวางไว้ในที่ๆ จัดไว้ เป็นต้น นอกจากนี้ในบางกรณี อาจจะมีสั่งให้ตัวกล้องเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่นๆ ของชิ้นงานที่กำลังพิจารณาอยู่อีกด้วย ซึ่งในส่วนนี้งานหลักๆ จะเป็นการติดต่อและสั่งงานระหว่างอุปกรณ์ประมวลผลและ Programmable Logic Control ที่สามารถใช้สั่งการส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ เช่น มอเตอร์ แขนหุ่นยนต์ หรืออื่นๆ ได้อย่างง่ายดาย ตัวอย่างการทำงานของส่วนกลไกต่างๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัดสินใจของอุปกรณ์ประมวลผลที่รับภาพของผลิตภัณฑ์เข้ามานั้น แสดงไว้ในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การทำงานจริงที่ประกอบด้วยกลไกต่างๆ

เมื่อพิจารณาการทำงานของแต่ละกระบวนการแล้ว จะพบว่า เมื่อเสร็จสิ้นแต่ละขบวนการลง ข้อมูลที่ได้จากแต่ละขบวนการจะมีความหนาแน่นของข้อมูลมากขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับขนาดของข้อมูลที่เล็กลงเรื่อยๆ ตามลำดับของกระบวนการที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลที่ได้จากการประมวลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) ก็คือ ภาพที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพแล้ว ซึ่งเมื่อส่งข้อมูลดังกล่าวต่อไปที่กระบวนการแยกบริเวณ (Segmentation) ผลที่ได้คือ บริเวณของวัตถุที่สนใจโดยละเอียดหลังจากนี้ นอกจากนี้

แต่ละบริเวณก็มีการบีบอัดพิกัดของพิกเซลไว้ในรูปแบบที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อส่งต่อไปให้กระบวนการคำนวณหาคุณสมบัติของวัตถุ (Feature Extraction) ก็จะได้ Feature vector ซึ่งเป็นคุณสมบัติของแต่ละบริเวณออกมา และท้ายที่สุด เมื่อส่งเวกเตอร์เหล่านี้ไปให้กระบวนการจำแนกและตีความหมาย (Classification and Interpretation) ก็จะได้ข้อมูลที่สำคัญที่สุดออกมาคือ การตัดสินใจว่าจะจัดการกับตัวผลิตภัณฑ์อย่างไร เช่น จัดเป็นชิ้นงานดี-ชิ้นงานเสีย หรือจัดเป็นเกรด 1-เกรด 2 เป็นต้นจากลักษณะการทำงานของกระบวนการย่อยในแต่ละขบวนการของระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติ นั้น ผู้อ่านจะสังเกตเห็นว่า ระบบไม่ได้มุ่งเน้นที่การประมวลผลภาพแบบดิจิทัล (Digital Image Processing, DIP) แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น หากว่าการที่จะทำให้ระบบดังกล่าว สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องอาศัยความรู้จากหลายๆ สาขาด้วยกัน เช่น

- การประมวลผลภาพแบบดิจิทัล (Digital Image Processing, DIP)
- ระบบจำแนก (Classification system) ที่ทำให้โปรแกรมสามารถตัดสินใจได้อย่างชาญฉลาด
- ความรู้เรื่อง Computer graphics ซึ่งจะนำมาใช้ทั้งในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ และส่วนที่ทำการตรวจสอบชิ้นงาน
- การติดต่อกับ Programmable Logic Control เพื่อสั่งงานส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ

เหล่านี้เป็นต้น

2.2.6 Barcode

บาร์โค้ด (Barcode) คืออะไร

บาร์โค้ด(barcode) หรือในภาษาไทยเรียกว่า “รหัสแท่ง” ประกอบด้วยเส้นมืดประกอบด้วยเส้นมืด (มักจะเป็นสีดำ) และเส้นสว่าง(มักเป็นสีขาว)วางเรียงกันเป็นแนวดิ่ง เป็นรหัสแทนตัวเลขและตัวอักษร ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถอ่านรหัสข้อมูลได้ง่ายขึ้น โดยใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Scanner) ซึ่งจะทำงานได้รวดเร็วและช่วยลดความผิดพลาดในการคีย์ข้อมูลได้มาก บาร์โค้ดเริ่มกำเนิดขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1950 โดยประเทศสหรัฐอเมริกาได้จัดตั้งคณะกรรมการเฉพาะกิจทางด้านพาณิชย์ขึ้นสำหรับค้นคว้ารหัสมาตรฐานและสัญลักษณ์ที่สามารถช่วยกิจการด้านอุตสาหกรรมและสามารถจัดพิมพ์ระบบบาร์โค้ดระบบ UPC-Uniform ขึ้นได้ในปี 1973 ต่อมาในปี 1975 กลุ่มประเทศยุโรปจัดตั้งคณะกรรมการด้านวิชาการเพื่อสร้างระบบบาร์โค้ดเรียกว่า EAN-European Article Numbering สมาคม EAN เติบโตครอบคลุมยุโรปและประเทศอื่นๆ(ยกเว้นอเมริกาเหนือ) และระบบบาร์โค้ด EAN เริ่มเข้ามาในประเทศไทยเมื่อปี1987

โดยหลักการแล้วบาร์โค้ดจะถูกอ่านด้วยเครื่องสแกนเนอร์ บันทึกข้อมูลเข้าไปเก็บในคอมพิวเตอร์โดยตรงไม่ต้องกดปุ่มที่แท่นพิมพ์ ทำให้มีความสะดวก รวดเร็วในการทำงานรวมถึงอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เชื่อถือได้ และจะเห็นได้ชัดเจนว่าปัจจุบันระบบบาร์โค้ดเข้าไปมีบทบาทในทุกส่วนของอุตสาหกรรมการค้าขาย และการบริการ ที่ต้องใช้การบริหารจัดการข้อมูลจากฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์ และปัจจุบันมีกระปรยุคต์การใช้งานบาร์โค้ดเข้ากับการใช้งานของMobile Computer ซึ่งสามารถพกพาได้สะดวก เพื่อทำการจัดเก็บ แสดงผล ตรวจสอบ และประมวลในด้านอื่นๆ ได้ด้วย

วิวัฒนาการ บาร์โค้ด

เดิมนั้น บาร์โค้ด จะถูกนำมาใช้ในร้านขายของชำ, ปกหนังสือ, ร้านอุปกรณ์ประกอบรถยนต์และร้านอุปโภคบริโภคทั่วไป ในแถบยุโรป รถบรรทุกทุกคันที่จะต้องวิ่งระหว่างประเทศฝรั่งเศสและประเทศเยอรมนี จะต้องใช้แถบรหัสบาร์โค้ดที่หน้าต่างทุกคันเพื่อใช้ในการแสดงใบขับขี่ ใบอนุญาต และน้ำหนักบรรทุกทุกเพื่อให้เจ้าหน้าที่ศุลกากรสามารถตรวจได้ง่ายและรวดเร็ว ในขณะที่รถลดความเร็วเครื่องตรวจจะอ่านข้อมูลจากบาร์โค้ด และแสดงข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ทันที

ปัจจุบันวิวัฒนาการของบาร์โค้ด พัฒนาไปมาก ทั้งรูปแบบและความสามารถในการเก็บข้อมูล โดยบาร์โค้ดที่ใช้ในยุคสมัยนี้มีทั้งแบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ แต่ที่เราใช้กันทั่วไปในสินค้าเป็นแบบมิติเดียว บันทึกข้อมูลได้จำกัดตามขนาดและความยาว โดยบาร์โค้ด 2 มิติ จะสามารถบันทึกข้อมูลได้มากกว่าแบบอื่นๆ มาก และขนาดเล็กกว่า รวมทั้งสามารถพลิกแพลงการใช้งานได้มากกว่าขนาดที่สามารถซ่อนไฟล์ใหญ่ ๆ ทั้งไฟล์ลงบนรูปภาพได้เลยทีเดียว

อย่างไรก็ตาม บาร์โค้ด 2 มิติ ก็ยังไม่เสถียรพอ ทำให้การนำมาใช้งานหลากหลายเกินไปจนอาจเกิดปัญหาการใช้งานร่วมกันและต้องใช้เครื่องมือเฉพาะของมาตรฐานนั้น ๆ ในการอ่านซึ่งในปัจจุบันมีความพยายามที่จะกำหนดมาตรฐานของบาร์โค้ด 2 มิติ โดยกลุ่มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และ อุตสาหกรรมยา/เครื่องมือแพทย์ ที่มีความต้องการใช้งานบาร์โค้ดที่เล็กแต่บรรจุข้อมูลได้มากจนได้บาร์โค้ดลูกผสมระหว่าง 1 มิติกับ 2 มิติขึ้นมา ในชื่อเดิมคือ RSS Reduce Space Symbol หรือชื่อใหม่คือ GS1 DataBar

ส่วนบาร์โค้ด 3 มิติคือความพยายามที่จะแก้ข้อจำกัดของบาร์โค้ด ที่มีปัญหาในสภาวะแวดล้อมที่โหด ๆ เช่น ร้อนจัด หนาวจัด หรือมีความเปรอะเปื้อนสูง เช่น มีการพ่นสี พ่นฝุ่นตลอดเวลา ซึ่งส่วนใหญ่จะพบการใช้บาร์โค้ด 3 มิติ ในอุตสาหกรรมหนัก ๆ เช่น เครื่องจักร เครื่องยนต์ โดยจะยิงเลเซอร์ลงบนโลหะ เพื่อให้เป็นบาร์โค้ดหรือจัดทำให้พื้นผิวส่วนหนึ่งนูนขึ้นมาเป็นรูปบาร์โค้ด (Emboss) นั่นเอง



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างบาร์โค้ด 1 มิติ



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างบาร์โค้ด 2 มิติ (QR-Code)

ประเภทของ บาร์โค้ด

บาร์โค้ดมีหลากหลายมาตรฐานในการจัดทำสิ่งๆที่เหมือนกันคือ รูปร่างเป็นแท่งขาวสลับดำที่มีความห่างแตกต่างกันแต่สิ่งที่แตกต่างคือขนาดของความยาว,ความสามารถในแปลตัวอักษรบางชนิดอาจจะแต่ตัวเลขบางชนิดใช้ได้ทั้งตัวเลขและตัวอักษร

การเลือกใช้มาตรฐานบาร์โค้ด

เริ่มต้นจากรูปร่างก็ดูที่ค่าที่ต้องมีการใช้โค้ดร่วมกัน มีการใช้แบบเจาะจงเราใช้ตามคู่ค้าของเราที่ยอมรับผลดีต่อการใช้งานร่วมกันแต่หากใช้เฉพาะภายในองค์กรก็แล้วแต่ผู้รับผิดชอบจะตัดสินใจว่าจะใช้แบบใดบางมาตรฐานจะต้องมีformatตายตัวบางครั้งใช้งานไม่สะดวกบางแบบมี format ที่ยืดหยุ่นผู้ใช้สามารถเลือกพิมพ์ตามต้องการก็มีมาตรฐานกับงานที่นิยมใช้มีดังนี้

1. สำหรับสินค้าปลีก,ซูเปอร์มาร์เก็ต : UPC,EAN,ISBN-13
2. ไปรษณีย์ (อเมริกา) : POSTNET
3. สำหรับงานลอจิสติก ซิปป์ สินค้าคงคลัง การกระจายสินค้า : Code128,Code39,Interleaved 2of5 (ITF)

มาตรฐานบาร์โค้ด 1D

1. 2 of 5 (non-interleaved)

ปัจจุบันพบน้อยมากยังมีการใช้อยู่บ้างเช่น ตัวสายการบินห้องแลบภาพ 2 of 5 เป็นโค้ดที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลเก่าแก่ที่สุด 2 of 5 (non-interleaved) และ 2 of 5 (interleaved) หลายคนมักสับสนเพราะ 2 of 5 (interleaved) ยังมีความนิยมแพร่หลายอยู่ซึ่งถือว่าเป็นคนละโค้ดกันและเครื่องหรือโปรแกรมอาจจะไม่สนับสนุนดังนั้นต้องดูให้แน่ใจว่าเป็น non-interleaved หรือ interleaved

2. bookland

เป็นบาร์โค้ดรุ่นเก่าที่ใช้กับพวกหนังสือปัจจุบันถูกแทนที่ด้วย ISBN-13 บางครั้งสองคำนี้จะใช้เรียกแทนกัน

3. Codabar

เป็นบาร์โค้ดที่ใช้ใน FED-EX, ห้องสมุด, ธนาคารเลือด

4. Code 128

จัดเป็นโค้ดที่มีความนิยมมากมันมีความหนาแน่นกะทัดรัดการบีบข้อมูลที่ดีกว่า Code39 Code 128 สามารถสนับสนุนได้ 128 ASCII ตัว(ทั้งตัวเลขและอักษร) นิยมใช้ในงานชิปปิ้งมีการแบ่งกลุ่มเป็น 3 แบบคือ

set A : ASCII characters 00 to 95 (0-9, A-Z and control codes), special characters, and FNC 1-4

set B : ASCII characters 32 to 127 (0-9, A-Z, a-z), special characters, and FNC 1-4

set C : 00-99 (encodes each two digits with one code) and FNC1

หากต้องใช้ตัวอักษรและ/หรือ ตัวเลข Code128 จึงที่เป็นที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน อีกทั้งมีความยืดหยุ่นในการบรรจุตัวอักขระเพราะไม่ล้นคอตายตัวสามารถพิมพ์อักษรหรือตัวเลขที่ต้องการได้เลย

5. Code 39 (Code 3 of 9)

เป็นโค้ดรุ่นเก่าแต่ยังมีความนิยมในการใช้งานอยู่ใช้กับงาน Inventory และตรวจติดตามสามารถบรรจุได้ทั้งตัวเลขและตัวอักษรสามารถพิมพ์ได้หลายขนาดโดยแบบพื้นฐานจะรองรับอักษร A-Z ,0-9

6. Code 93

เป็นโค้ดที่ไม่ค่อยมีการใช้งานขนาดกะทัดรัดใช้ในงานชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และเนื่องจากชื่อที่คล้ายคลึงระหว่าง Code 93 และ Code 39 ซึ่งทำให้เข้าใจผิดได้ ดังนั้นหากมีการใช้งานในโค้ดดังกล่าวจะตัดชื่ออุปกรณ์หรือซอฟต์แวร์ต้องแน่ใจว่าตรงกับที่จะใช้งาน

7. EAN

EAN ย่อมาจาก European Article Number นิยมใช้กับสินค้าปลีกในสหรัฐและญี่ปุ่น และแพร่หลายในอุตสาหกรรมค้าปลีกทั่วโลก

8. GS1-128 (EAN-128)

GS1-128 เป็นโค้ดพิเศษ ของ Code128 ที่มีการถอดรหัสกับระบบ GS1

9. Interleaved 2 of 5 (ITF)

เป็นโค้ดที่เป็นตัวเลขเท่านั้นมีขนาดเล็กเพราะมีการเข้ารหัสทั้งในแถบและช่องว่างใช้ในกล่องกระดาษลูกฟูกในอุตสาหกรรมขนส่งสินค้า

10. ISBN-13

เป็นโค้ดค้าปลีกพวกหนังสือนิตยสารหรือผลิตภัณฑ์อื่นที่เกี่ยวข้องกับหนังสือโดยมีส่วนประกอบจาก EAN13และ supplemental code 5ตัว ซึ่งจะแสดง IDของหนังสือและราคาปก

11. ISSN

ใช้ในอุตสาหกรรมงานพิมพ์ วารสารอิเล็กทรอนิกส์

12. MSI Plessey

ตัวเลขสัญลักษณ์ ที่ใช้ในห้องสมุด

13. POSTNET

บาร์โค้ดที่ใช้ในการเข้ารหัสรหัสไปรษณีย์ของไปรษณีย์สหรัฐ ซึ่งมีแตกต่างจากบาร์โค้ดอื่น ๆ มีความพิเศษที่แตกต่างคือจะมีความสูงของแท่งไม่เท่ากันและระยะห่างระหว่างแถบเท่ากันซึ่งบรรจุข้อมูลของรหัสไปรษณีย์และพื้นที่จัดส่ง

14. UPC

UPC ย่อมาจาก Universal Product Code ใช้มากกับสินค้าปลีกในสหรัฐและแคนาดา อังกฤษ ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์

15. Supplemental barcode

เป็นโค้ดที่เพิ่มเติมทางด้านขวาพบใน UPC, EAN หรือ ISBN-13 จะเป็นตัวอักษรที่เพิ่มมา 2-5 ตัว



รูปที่ 2.31 ภาพตัวอย่างบาร์โค้ด 1 มิติประเภทต่างๆ

มาตรฐานบาร์โค้ด 2D

1. QR-Code

QR (Quick Response) ประดิษฐ์คิดค้นโดย บริษัท เด็นโซเวฟ จัดเป็นบาร์โค้ดชนิดนิยมที่เครื่องอ่าน 2Dทั่วไปทุกยี่ห้อสามารถสแกนได้มักจะอ่านได้ดีและโปรแกรมsmartphoneหลายตัวก็สามารถอ่านได้ เรียกว่าสามารถอ่านได้ง่ายซึ่งเราจะเคยพบสิ่งพิมพ์ลงในสื่อต่างๆเมื่อสแกนมาก็คือเป็นที่อยู่เว็บมีความหนาแน่นสูงทำให้บรรจุอักขรได้มาบนพื้นที่เล็กๆ ขนาดจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสทำให้พื้นที่น้อยและไม่ต้องมีFormatในการบรรจุข้อมูลสามารถใส่ได้ตามต้องการ



2. MaxiCode

ประกอบด้วยจุดเหมือนรังผึ้งรอบๆกระจายวงกลมตรงกลางพบในการใช้ส่งพัสดุของสหรัฐต้องใส่ข้อมูลลงตามFormatที่กำหนด



3. PDF417

คิดค้นโดย Symbol Technologies บรรจุได้ถึงประมาณ 1100ตัวมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีแถบเริ่มต้นและแถบปิดท้ายทำให้กินพื้นที่มากกว่าโค้ดอื่นๆ ไม่ต้องมีFormatในการบรรจุข้อมูลสามารถใส่ได้ตามต้องการ

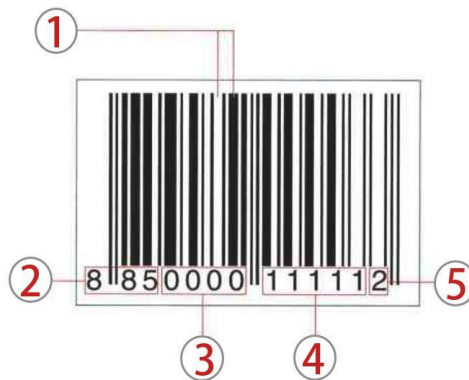


4. Data Matrix

หากดูผิวเผินจะคล้ายกับ Qr code แต่จริงๆแล้วไม่เหมือนกันการอ่านและถอดรหัสจะทำในเส้นทแยงมุม (QR จะอ่านตามแนวตรง) พบในผลิตภัณฑ์จากทางสหรัฐและยุโรปจุดอ่อนคือต้องใส่ข้อมูลลงตามFormatที่กำหนด



โดยประเทศไทยไทยเริ่มใช้บาร์โค้ดอย่างจริงจังในปี2536 โดยมีสถาบันสัญลักษณ์รหัสแห่งประเทศไทย “Thai Article Numbering Council” หรือ “TANC” เป็นองค์กรตัวแทนของ”EAN” ภายใต้การดูแลของสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยทั้งนี้ระบบ EAN ที่ประเทศไทยใช้นั้นจะมีลักษณะเป็นเลขชุด 13 หลัก ซึ่งมีความหมายดังนี้



รูปที่ 2.32 ส่วนประกอบ Barcode

หมายเลข 1	สัญลักษณ์แท่งสี่เหลี่ยมสลับสีอ่อนสำหรับอ่านด้วยเครื่องสแกนเนอร์
หมายเลข 2	885 : ตัวเลข 3 หลักแรก คือรหัสของประเทศไทย
หมายเลข 3	0000 : ตัวเลข 4 ตัวถัดมา เป็นรหัสโรงงานที่ผลิต หรือรหัสสมาชิก
หมายเลข 4	11111 : 5 ตัวถัดมาเป็นรหัสสินค้า
หมายเลข 5	2 : ตัวเลขหลักสุดท้ายเป็นตัวเลขตรวจสอบเลข 12 ข้างหน้าว่ากำหนดถูกต้องหรือไม่ถ้าตัวสุดท้ายผิดบาร์โค้ดตัวนั้นจะอ่านไม่ออกสื่อความหมายไม่ได้

เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย (Image-based Barcode Readers)

เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายคืออุปกรณ์ที่จะนำมาทดแทนเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบเลเซอร์ สำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อาหาร สินค้าบริโภค บริโภค เวชภัณฑ์ และรถยนต์ แต่เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนจากระบบอ่านบาร์โค้ดแบบเลเซอร์มาเป็นระบบอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายนั้น มีสิ่งที่ควรคำนึงถึงคือต้นทุนที่สูงขึ้น

แต่ด้วยความสามารถของเทคโนโลยีของหน่วยประมวลผลขนาดเล็กเช่น เซอร์อ่านภาพและกระบวนการในการถอดรหัสที่ทำให้เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายมีราคาต่ำและมีความสามารถที่ดีเป็นที่สนใจมาทดแทนเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบเลเซอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้

เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่าย (Image-based Barcode Readers) กำลังเริ่มเข้ามาแทนที่เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบเลเซอร์สแกน (Laser scanners) อย่างรวดเร็วในวงกว้างของอุตสาหกรรมที่ประกอบไปด้วย Food, Beverage, Consumer goods, Pharmaceutical และ Logistics แต่เมื่อมีการตัดสินใจที่จะเปลี่ยนจากเครื่องอ่านบาร์โค้ดด้วยเลเซอร์สแกนมาเป็นเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายแล้วหลายคนจึงอาจคิดว่าเป็นการลงทุนที่มีค่าใช้จ่ายสูง

ต้องขอบคุณความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ที่ทำให้เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายไม่ได้เพียงแค่เทียบราคากับเครื่องอ่านบาร์โค้ดด้วยเลเซอร์สแกนได้เท่านั้น แต่มันยังมีความสามารถที่มากกว่า

วันนี้เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายส่วนใหญ่สามารถเอาชนะอุปสรรคด้านเทคนิคและในเรื่องของราคาทั้งในปัจจุบันยังได้เสนอทางเลือกที่น่าสนใจมากกว่าเครื่องอ่านบาร์โค้ดด้วยเลเซอร์สแกนในทางอุตสาหกรรมในด้านของกระบวนการผลิต

ในการใช้งานรุ่นล่าสุดของเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายได้พิสูจน์แล้วว่าประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องอ่านบาร์โค้ดด้วยเลเซอร์สแกนอย่างแท้จริงภายใต้ขอบเขตการใช้งานในส่วนต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพการอ่านบาร์โค้ด
2. อ่านบาร์โค้ดได้รอบทิศทาง
3. อ่าน 2-D Codes
4. อ่านหลายโค้ดพร้อมกันและความสามารถในการส่ง O/P
5. ความน่าเชื่อถือในระยะยาว
6. แสดงให้เห็นภาพที่ตรวจสอบ
7. การเก็บภาพ
8. ข้อเสนอแนะของบาร์โค้ดที่อ่านได้
9. หลากหลายการเชื่อมต่อ
10. รองรับการทำงานตรวจสอบในอนาคต



เมื่อตัดสินใจแล้วว่า จะเปลี่ยนจากเลเซอร์สแกนเนอร์จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากที่จะพิจารณาถึงข้อได้เปรียบต่างๆ ของเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายที่จะเกิดขึ้น ด้วย

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

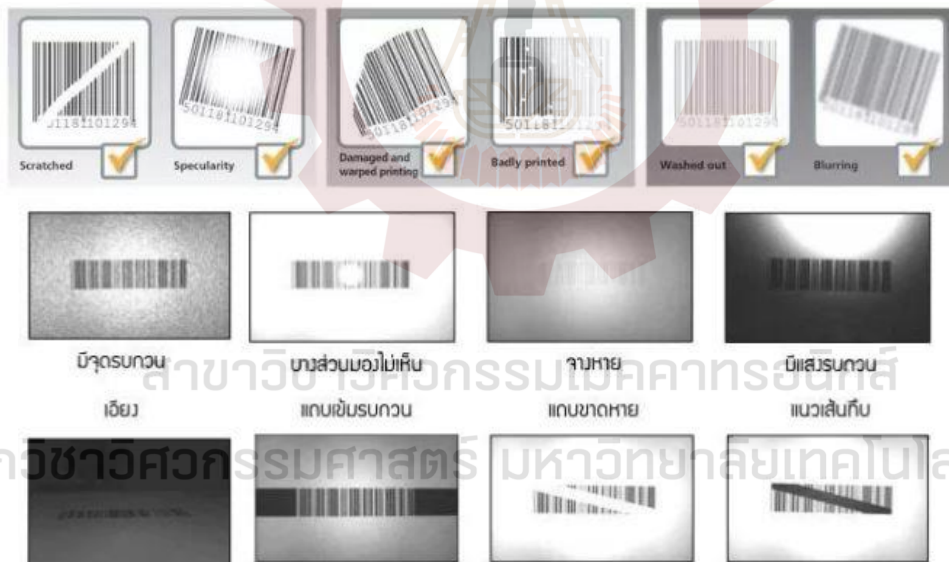
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.33 ภาพแสดงตัวอย่างเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายแบบต่างๆ

1. ประสิทธิภาพการอ่านบาร์โค้ด (READ RATE PERFORMANCE)

แนวทางที่สำคัญที่สุดในการที่จะตรวจสอบว่าเครื่องอ่านบาร์โค้ดมีประสิทธิภาพหรือไม่ นั่นก็คือ ประสิทธิภาพการอ่านบาร์โค้ดสำหรับอัตราการอ่าน (Read Rate) คือจำนวนของบาร์โค้ดที่อ่านได้หารด้วยจำนวนที่เกิดขึ้นจริงซึ่งปกติจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์และใกล้เคียงกับ 100% นั่นคือใช้งานได้ดีกล่าวในอีกทางหนึ่งอัตราการอ่านคือ ค่าที่ใช้วัดว่าเครื่องอ่านมีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพต่อบาร์โค้ดที่มองเห็นในกระบวนการตรวจสอบอย่างไร โดยเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายจะมองเห็นบาร์โค้ดทั้งหมดไม่ได้เห็นเพียงแค่บรรทัดเดียวมันจึงสามารถใช้อัลกอริทึมขั้นสูงในการเอาชนะ Quite Zone Violations และปัญหาอื่นๆที่ส่งผลให้บาร์โค้ดเกิดความเสียหายและทำให้เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบเลเซอร์สแกนมีปัญหามากที่สุด นอกเหนือจากนี้เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ให้แสงสว่างจากภายนอกเพื่ออ่านโค้ดที่เลเซอร์สแกนมองไม่เห็นไปจนถึงบาร์โค้ดที่ถูกปรี้นด้วยหมึก UV ในส่วนนี้เองเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายจึงสามารถเก็บอัตราการอ่านได้มากกว่าแม้กระทั่งบาร์โค้ดที่มีความท้าทายมากๆ ที่เลเซอร์สแกนเนอร์ไม่สามารถอ่านได้



รูปที่ 2.34 รูปแสดงตัวอย่างบาร์โค้ดที่ไม่ปกติ

2. อ่านบาร์โค้ดได้รอบทิศทาง (Omnidirectional Code Reading)

เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายเพียงตัวเดียวก็สามารถอ่านบาร์โค้ดในหลายๆ ทิศทางได้ภายในมุมมองเดียวตรงกันข้ามกับเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบเลเซอร์สแกนที่ต้องใช้หลายตัว แล้วยังต้องการการตั้งค่าให้ใช้งานร่วมกัน เพื่อใช้งานในการอ่านบาร์โค้ดในกรณีที่แนวของบาร์โค้ดไม่ได้มาในรูปแบบเดิมทุกครั้งเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายไม่เพียงจัดการกับปัญหา Typical Ladder หรือ Picket Fence ของบาร์โค้ดแต่ยังสามารถระบุตำแหน่งและอ่านบาร์โค้ดในแนวต่างๆ ได้ด้วย



รูปที่ 2.35 ภาพตัวอย่างการอ่านบาร์โค้ด 360 องศา

3. อ่าน 2-D Codes (2-D Code Reading)

ในหลายๆ อุตสาหกรรมต่างเปลี่ยน 1-D Barcodes ไปเป็น 2-D Codes เช่น Data Matrix หรือ QR Codes ซึ่งข้อมูลจะสามารถเก็บใน 2-D Codes ได้มากขึ้น เพื่อช่วยในด้านกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ย้อนกลับตลอดไปจนถึงกระบวนการผลิตและห่วงโซ่อุปทาน หลายครั้งที่ 2-D Codes ถูกใช้ควบคู่กับ 1-D Barcodes ในกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามเลเซอร์สแกนเนอร์ไม่สามารถอ่าน Data Matrix หรือ QR Codes ได้ ในทางตรงกันข้าม เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายสามารถอ่าน 2-D Codes ได้เหมือนกับ 1-D Barcodes อย่างเชื่อถือได้ และแม้กระทั่งอ่านทั้ง สองอย่างพร้อมกัน ในความเป็นจริงเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่าย มักจะถูกออกแบบให้อ่าน 2-D Codes ที่มีความยากมากๆ ที่ถูกทำเครื่องหมายลงบนพื้นผิวของชิ้นงาน (ที่เรียกกันว่า Direct Part Mark หรือ DPM) ซึ่ง 2-D Codes มากมายที่ถูกทำเครื่องหมายลงบนชิ้นงาน โดยใช้เลเซอร์แกะสลัก (Laser Marking) หรือใช้หมุดตอก (Dot Peen Marking) เพื่อสร้าง DPM ที่มีความคงทน แม้จะมีความยากลำบากในการอ่าน อันเนื่องมาจากเครื่องหมายที่ด้อยคุณภาพหรือโค้ดที่ถูกทำเครื่องหมายลงบนพื้นผิวที่มีความท้าทายอย่างแก้ว หรือบางสิ่งที่มีความโค้งงอ ก็สามารถอ่านได้ด้วยอัลกอริทึมการอ่านโค้ดขั้นสูง ที่มีความน่าเชื่อถือ



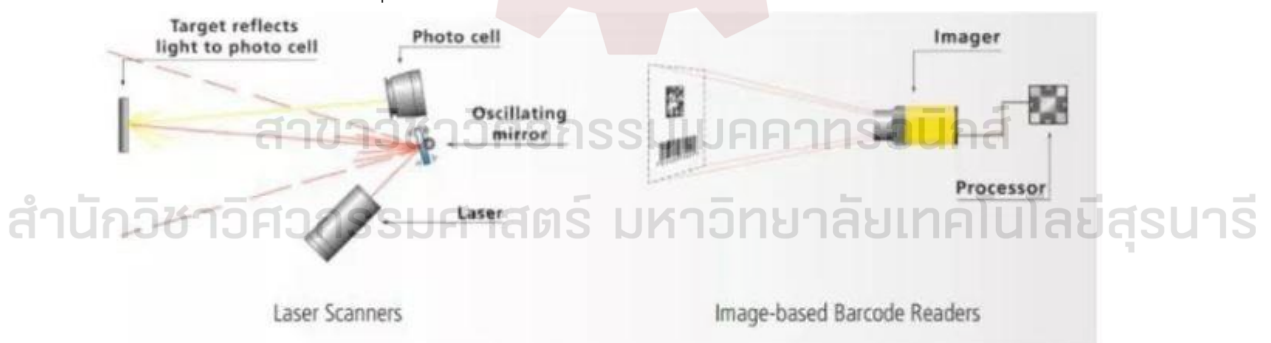
รูปที่ 2.36 ภาพตัวอย่างโค้ด 2 มิติ

4. อ่านหลายโค้ดพร้อมกันและความสามารถในการส่ง O/P (Multiple Code Reading and Output Capability)

ด้วยการที่มีเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายหลายรูปแบบที่ปรากฏในวันนี้จึงเป็นเรื่องสำคัญมากในการสังเกตว่าแต่ละแบบมีความสามารถที่ไม่เท่ากัน เครื่องอ่านบาร์โค้ดที่ดีจะใช้อัลกอริทึมขั้นสูง ในการบอกตำแหน่งและสามารถถอดรหัสได้หลายโค้ดของโค้ดหลากหลายประเภท (1-D หรือ 2-D) เครื่องอ่านบาร์โค้ดเหล่านี้ยังต้องยินยอมให้ผู้ใช้ปรับแต่งเพื่อเรียงลำดับของข้อมูลที่อ่านได้ เพื่อให้ง่ายต่อการรวมเครื่องอ่านให้อยู่ในขั้นตอนของกระบวนการผลิต ในการใช้งานหลายรูปแบบ ลำดับของการถอดรหัสของข้อมูลที่ได้จากเครื่องอ่านจึงมีความสำคัญมาก ตัวอย่างเช่น มันอาจจะบอกว่าหลอดทดลองรหัสนี้ถูกอ่านมาจากไหน หรือชิ้นส่วนใดบนพาเลทถูกเก็บอยู่ตำแหน่งใดนอกเหนือจากนั้น เครื่องอ่านบาร์โค้ดขั้นสูงมี Scripting Languages ที่ทรงประสิทธิภาพซึ่งยินยอมให้ผู้ใช้สามารถกำหนดตรรกะต่างๆ ได้เอง อาทิเช่น ยืนยันว่าข้อมูลใน 1-D Barcode เหมือนกับข้อมูลใน 2-D Code หรือไม่ ซึ่งสามารถช่วยเสริมสร้างความมั่นใจในคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการตรวจสอบย้อนกลับได้

5. ความน่าเชื่อถือในระยะยาว (Long-term reliability)

เลเซอร์สแกนเนอร์ใช้กระจกที่กำลังสั่นเพื่อให้แสงเลเซอร์เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วผ่านบาร์โค้ดเกิดเส้นเลเซอร์ที่ใช้ในการอ่าน ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่นี้มักจะเสื่อมสภาพหรือแตกหัก ทำให้ต้องมีการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนตัวเลเซอร์สแกนเนอร์ เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่นี้และถูกออกแบบมาสำหรับการใช้งานในระยะยาวและการบำรุงรักษาต่ำ

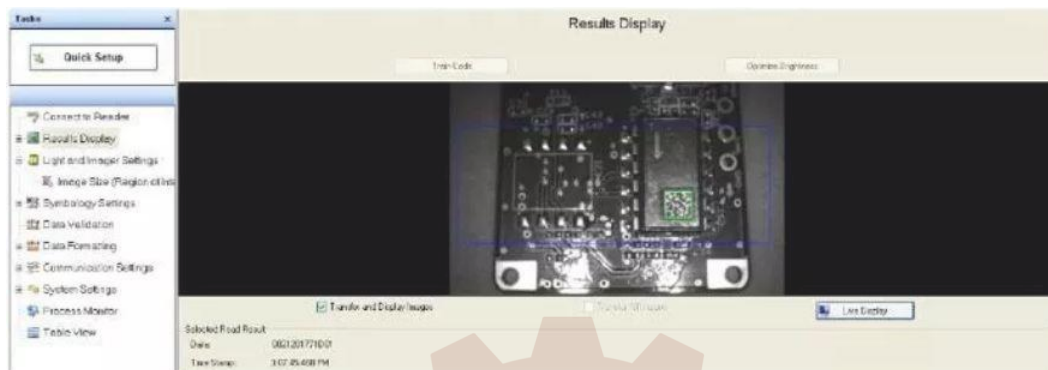


รูปที่ 2.37 ภาพแสดงการทำงานของ Laser scanners และ Image-based barcode readers

6. แสดงให้เห็นภาพที่ตรวจสอบ (Visualization)

เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายโดยเนื้อแท้แตกต่างจากเลเซอร์สแกนเนอร์เพราะว่าเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายจะถ่ายภาพผลิตภัณฑ์ที่เคลื่อนที่ผ่านและระบุตำแหน่งของบาร์โค้ดที่อยู่ในภาพถ่ายนั้น เพื่ออ่านบาร์โค้ดเมื่อเครื่องอ่านบาร์โค้ดเคลื่อนที่บนสายพานการผลิตผู้ดูแลมีตัวเลือกที่จะช่วยให้พวกเขาสังเกตการณ์ดูสถิติการอ่านและมองเห็นภาพที่เครื่องอ่านโค้ดถ่ายไว้ได้ ตัวช่วยนี้ทำให้ผู้ดูแลสามารถเข้าใจว่าระบบนี้กำลังทำงานอย่างไรและช่วยให้จดจำได้รวดเร็วว่าอะไรจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเกิดกรณีที่โค้ดไม่ถูกอ่านสามารถตอบสนองต่อข้อผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว อาทิเช่น ไม่มีฉลากหรือหมึกพิมพ์ในเครื่องพิมพ์ฉลากเหลือน้อยเพื่อจะได้ทำการปรับปรุงกระบวนการและส่งต่อนอกเหนือจากที่ “มองเห็นว่าเครื่องอ่านเห็นอะไร” ผู้ดูแล

ยังสามารถปรับแต่งต่างๆ ไปให้กับเครื่องอ่านบาร์โค้ดผ่านการเชื่อมต่อแบบออนไลน์โดยที่ไม่ต้องหาคู่มือเพื่อให้เข้าใจว่าจะต้องเปลี่ยนค่าอย่างไร



รูปที่ 2.38 ภาพตัวอย่างที่เห็นในโปรแกรมของ Image-base barcode readers

7. การเก็บภาพ (Image Archiving)

ด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์นั้นไม่มีทางเลยที่จะรู้ว่าเกิดอะไรขึ้นถ้าสแกนเนอร์ไม่อ่านบาร์โค้ดเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายที่ทรงประสิทธิภาพสามารถตั้งค่าเพื่อทำการเก็บภาพที่ได้จากการอ่านโดยส่วนมากผู้ใช้จะเก็บภาพที่อ่านผิดพลาดเพื่อทำความเข้าใจว่าอะไรคือสาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้นเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการ อาทิเช่น ภาพที่ได้สามารถถูกใช้เพื่อแสดงให้เห็นว่าไม่มีบาร์โค้ดหรือคุณภาพของบาร์โค้ดเลวร้ายเกินกว่าจะอ่านได้



รูปที่ 2.39

8. ข้อเสนอแนะของบาร์โค้ดที่อ่านได้ (Barcode Quality Feedback)

ในหลายๆ สายการผลิตมันเป็นเรื่องสำคัญมากที่จะคงไว้ซึ่งคุณภาพของบาร์โค้ดที่ระดับสูงสุดเพื่อให้แน่ใจได้ว่าบาร์โค้ดสามารถถูกอ่านได้ด้วยเครื่องอ่านอื่นๆ ในห่วงโซ่ของการกระจายสินค้าเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายสามารถให้ข้อเสนอแนะที่มีต่อคุณภาพของการพิมพ์ ดังนั้น ผู้ผลิตสามารถแก้ไขก่อนที่จะทำการส่งบาร์โค้ดคุณภาพแย่ให้กับเหล่าลูกค้าได้



รูปที่ 2.40

9. หลากหลายการเชื่อมต่อ (Communication)

โปรโตคอลทางอุตสาหกรรมอย่าง Ethernet/IP และ PROFINET ช่วยให้เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายนั้นง่ายต่อการทำงานร่วมกับเครือข่ายของโรงงานด้วยการเชื่อมต่อโดยตรงกับ PLCs ทำให้ทั้งการสื่อสารข้อมูลและการควบคุมช่วยให้เครื่องอ่านกลายเป็นส่วนหนึ่งกับกระบวนการควบคุมคุณภาพ

10. รองรับการตรวจสอบในอนาคต (Future Proofing)

แม้ว่าหลายๆ อุตสาหกรรมจะเพิ่ม 2-D Codes อาทิ Data Matrix หรือ QR Code เพื่อเพิ่มข้อมูลในการตรวจสอบย้อนกลับแต่ไม่ใช่ทุกอุตสาหกรรมที่นำบาร์โค้ดเหล่านี้มาใช้ทันที ถ้าเป็นในกรณีนี้มันจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากที่ควรรู้ว่าเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายบางตัวจะช่วยให้เปลี่ยนจากเครื่องอ่านเลเซอร์เป็นแบบภาพถ่ายได้อย่างง่ายดายด้วยรุ่นที่มีราคาไม่สูงเครื่องอ่านบาร์โค้ดที่วุ่นวายนี้แนะนำเสนอการอ่าน 1-D Barcodes แบบหลายทิศทางและยังช่วยลดความเสี่ยงด้วยคุณสมบัติในการอัปเดตรุ่นที่อ่านเพียง 1-D Codes ให้ใช้อ่าน 2-D Codes ได้ด้วยอย่างเช่น Data Matrix และ QR Codes นอกจากนี้เครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายขั้นสูงยังมี Firmware update programs จึงมั่นใจได้เลยว่า Firmware ของเครื่องอ่านนั้นสามารถทำการอัปเดตในส่วนของการอ่านโค้ดและประเภทโค้ดใหม่ๆ ได้แนวคิดในการตรวจสอบในอนาคตนี้ช่วยให้ผู้ใช้เริ่มที่จะเปลี่ยนแปลงจากเลเซอร์สแกนเนอร์มาเป็นเครื่องอ่านบาร์โค้ดจากภาพถ่ายในราคาที่ต่ำและยังช่วยให้มีความยืดหยุ่นในการอัปเดตในอนาคตโดยไม่ต้องมีการแทนที่ครั้งแล้วครั้งเล่าอีกด้วย

2.2.7 Stainless steel 304

สแตนเลส 304 หรือชื่ออย่างเป็นทางการ คือ “เหล็กกล้าไร้สนิม” เป็น ศัพท์ทั่วไปที่ใช้เรียกเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง สแตนเลสเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ซึ่งส่วนประกอบจะมีปริมาณคาร์บอนต่ำ มีโครเมียม เป็นส่วนผสมหลัก ประมาณ 10.5 % หรือมากกว่าทำให้เกิดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ (chromium oxide film : CrO₂ หรือเรียกว่า passive film) ที่มองไม่เห็นเกาะติดแน่นอยู่ที่ผิวหน้าทำให้เหล็กกล้า มีความต้านทานการกัดกร่อน ฟิล์มปกป้อง นี้จะมีความบางเทียบเท่ากับวงกระดาษ 1 แผ่นบนตึกสูง 20 ชั้น ถ้าฟิล์มที่ผิวหน้านั้น ถูกทำลายไม่ว่าจากแรงกล สารเคมี หรือออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศ แม้จำนวนน้อยนิดจะเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียม สร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ทดแทน ขึ้น ใหม่ด้วยตัวมันเอง



รูปที่ 2.41 Stainless steel 304

สแตนเลสสามารถปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนและสมบัติอื่นๆที่ต้องการให้สูงขึ้นได้โดยการเพิ่มส่วนผสมของโครเมียมและเพิ่มธาตุอื่นๆ เช่น โมลิบดีนัม นิกเกิลและไนโตรเจนเข้าไป สแตนเลส มีอยู่มากกว่า 60 ชนิด

ด้วยคุณสมบัติที่ไม่เหมือนใครเช่น ยากต่อการขึ้นสนิมเมื่อเทียบกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่นๆ ค่าบำรุงรักษาต่ำ ง่ายต่อการเชื่อมและการขึ้นรูประยะเวลาการใช้งานคุ้มค่างบราคาและสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ทั้งหมด จึงทำให้สแตนเลสเป็นโลหะที่ทรงคุณค่าคุณสมบัติและประโยชน์ใช้สอยที่ไร้ขีดจำกัด

สแตนเลส ไม่เป็นสนิมจริงหรือไม่ ?

สแตนเลสมีพื้นผิวที่ต้านทานการกัดกร่อนที่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ โดยอาศัยโครงสร้างภายในของสแตนเลส นั่นเอง ชั้นฟิล์มต้าน (Passive layer) มี ลักษณะใสบางอยู่ที่ผิว หากผิวสแตนเลสถูกรอยขีดข่วนหรือถูกทำลาย ชั้นฟิล์มต้านหนา ประมาณสองสามอะตอมจะถูกสร้างขึ้นใหม่จากการรวมตัวกับ ออกซิเจนที่ได้จากใน อากาศ หรือในน้ำ สิ่งนี้จะช่วยอธิบายได้ว่าทำไมโลหะสแตนเลส จึงป้องกันการกัดกร่อน ได้ดี ถึงแม้สแตนเลสจะมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนที่ดีเยี่ยม แต่ในโลกนี้ สแตนเลสมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนในแต่ละ ประเภทไม่เท่ากัน ดังนั้น การเลือกใช้ชนิดสแตนเลสให้เหมาะแก่การใช้งานในแต่ละ สภาพแวดล้อมจึงเป็น ปัจจัยหลักเบื้องต้น และในขณะการใช้งานสแตนเลสจำเป็นต้อง คอย

ดูแลทำความสะอาดเฉกเช่นโลหะอื่นๆ เพียงแต่ความถี่ในการทำความสะอาดเพียง ทำน้อยกว่า แต่เมื่อไรก็ตาม สแตนเลสที่เราใช้งานอยู่หากเกิดการสูญเสียฟิล์มต้านและ ไม่สามารถสร้างฟิล์ม ขึ้นมาใหม่ได้ นั้นย่อมหมายถึง สแตนเลสเหล่านั้นกำลังจะมี โอกาสถูกกัดกร่อนด้วยสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งอย่างแน่นอน



รูปที่ 2.42 ลักษณะการเสื่อมสภาพของสแตนเลส

คุณสมบัติวัสดุ

Material:	Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)					
Composition:	Fe/<.08C/17.5-20Cr/8-11Ni/<2Mn/<1Si/<.045P/<.03S					
Property	Minimum Value (S.I.)	Maximum Value (S.I.)	Units (S.I.)	Minimum Value (Imp.)	Maximum Value (Imp.)	Units (Imp.)
Atomic Volume (average)	0.0069	0.0072	m ³ /kmol	421.064	439.371	in ³ /kmol
Density	7.85	8.06	Mg/m ³	490.06	503.17	lb/ft ³
Energy Content	89	108	MJ/kg	9642.14	11700.6	kcal/lb

Bulk Modulus	134	151	GPa	19.435	21.9007	10 ⁶ psi
Compressive Strength	205	310	MPa	29.7327	44.9617	ksi
Ductility	0.3	0.57		0.3	0.57	NULL
Elastic Limit	205	310	MPa	29.7327	44.9617	ksi
Endurance Limit	175	260	MPa	25.3816	37.7098	ksi
Fracture Toughness	119	228	MPa.m ^{1/2}	108.296	207.491	ksi.in ^{1/2}
Hardness	1700	2100	MPa	246.564	304.579	ksi
Loss Coefficient	0.00095	0.0013		0.00095	0.0013	NULL
Modulus of Rupture	205	310	MPa	29.7327	44.9617	ksi
Poisson's Ratio	0.265	0.275		0.265	0.275	NULL
Shear Modulus	74	81	GPa	10.7328	11.7481	10 ⁶ psi

Tensile Strength	510	620	MPa	73.9692	89.9234	ksi
Young's Modulus	190	203	GPa	27.5572	29.4426	10 ⁶ psi
Glass Temperature			K			°F
Latent Heat of Fusion	260	285	kJ/kg	111.779	122.527	BTU/lb
Maximum Service Temperature	1023	1198	K	1381.73	1696.73	°F
Melting Point	1673	1723	K	2551.73	2641.73	°F
Minimum Service Temperature	0	0	K	-459.67	-459.67	°F
Specific Heat	490	530	J/kg.K	0.379191	0.410145	BTU/lb.F
Thermal Conductivity	14	17	W/m.K	26.2085	31.8246	BTU.ft/h.ft ² .F

Thermal Expansion	16	18	$10^{-6}/K$	28.8	32.4	$10^{-6}/^{\circ}F$
Breakdown Potential			MV/m			V/mil
Dielectric Constant						NULL
Resistivity	65	77	10^{-8} ohm.m	65	77	10^{-8} ohm.m

ตารางที่ 2.6 Stainless steel 304 material properties

Environmental Properties	
	Resistance Factors 1=Poor 5=Excellent
Flammability	5
Fresh Water	5
Organic Solvents	5
Oxidation at 500C	5
Sea Water	5
Strong Acid	4
Strong Alkalis	5
UV	5
Wear	4
Weak Acid	5
Weak Alkalis	5

ตารางที่ 2.7 Stainless steel 304 Environmental properties

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 Vibration

บทนำ (Introduction) ความรู้ด้านการสั่นนั้นสำคัญมากสำหรับวิศวกรรมสมัยใหม่ การพัฒนาของทฤษฎีการสั่นเป็นส่วนหนึ่งของกลศาสตร์ทางกล ซึ่งเป็นผลทางธรรมชาติที่เกิดจากการพัฒนาของวิทยาศาสตร์พื้นฐานด้านคณิตศาสตร์และกลศาสตร์

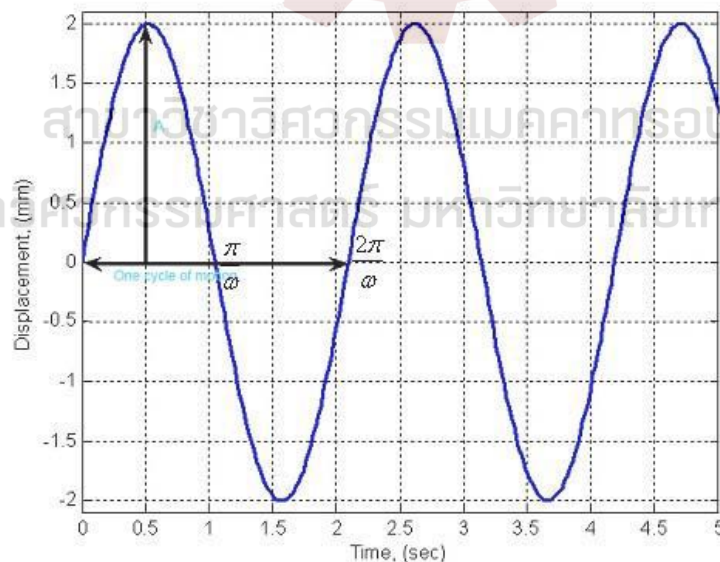
ลักษณะการเคลื่อนที่แบบสั่น

1. การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (Simple harmonic motion) เป็นการเคลื่อนที่แบบคาบที่มีการเคลื่อนที่ไปมาในระหว่างการเคลื่อนที่ในทุกๆรอบของชิ้นส่วนของเครื่องจักรจะเกิดปรากฏการณ์การเคลื่อนที่แบบคาบสัมพันธ์กับความถี่รอบการทำงานของเครื่องจักร เช่น ฟันเกียร์เครื่องจักรของไหล (ปั๊ม พัดลม เครื่องยนต์ก๊าซเทอร์โบ) เครื่องยนต์ลูกสูบ เป็นต้น

ผลเฉลยของสมการการเคลื่อนที่ของระบบการสั่นทางกล โดยทั่วไปจะมีรูปแบบดังนี้

$$y(t) = A \sin(\omega t + \phi) \quad (1.4)$$

โดยที่ $y(t)$ – การกระจัดของมวล (Displacement), A – แอมพลิจูด (Amplitude), $\omega = 2\pi f$ – ความถี่เรเดียน (rad/sec), ϕ – เฟส (เรเดียน) และ $P = \frac{2\pi}{\omega}$ – คาบของการเคลื่อนที่ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.43 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย

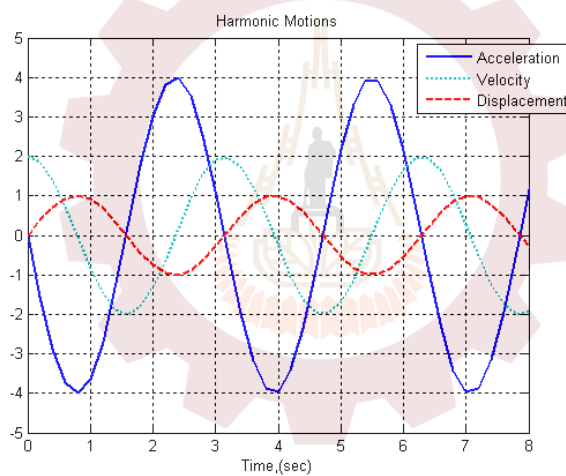
เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของความเร็ว (Velocity) ซึ่งเป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งของการกระจัด (Displacement) ได้ดังนี้

$$\dot{y}(t) = A\omega \cos(\omega t + \phi) = A\omega \sin(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2}) \quad (1.5)$$

และสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของความเร่ง(Acceleration) ซึ่งเป็นอนุพันธ์อันดับสองของการกระจัดได้ดังนี้

$$\ddot{y}(t) = A\omega^2 \sin(\omega t + \phi) = A\omega^2 \sin(\omega t + \phi + \pi) \quad (1.6)$$

จากรูปที่ 2.43 เราจะเห็นได้ว่าการกระจัด ความเร็ว และความเร่งมีการเคลื่อนที่แบบ ฮาร์โมนิกส์ที่มีความถี่เดียวกัน คือ ω แต่มีแอมพลิจูดที่แตกต่างกัน โดยจะมีแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความถี่และโดยความเร็วมีเฟสที่นำหน้าการกระจัดที่ 90 องศา ความเร่งมีเฟสที่นำหน้าการกระจัด ที่ 180 องศา ดังนั้นความเร็วจะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อการกระจัดมีค่าต่ำสุดและความเร่งมีค่าสูงสุด และความเร่งที่ค่าต่ำสุดเมื่อการกระจัดมีค่าสูงสุด



รูปที่ 2.44 การกระจัด ความเร็ว ความเร่งของเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์แบบง่าย

2. รูปแบบของฟังก์ชันฮาร์โมนิกส์ (Forms of harmonic functions) ฟังก์ชันฮาร์โมนิกส์จะแสดงอยู่ในรูปฟังก์ชันไซน์(Sine) และโคไซน์(Cosine) กับมุมเฟส ซึ่งเราสามารถลดรูปอยู่ในรูปของฟังก์ชันไซน์ และโคไซน์อย่างง่าย โดยใช้ trigonometric identity

$$y(t) = A \sin(\omega t + \phi) = A \cos \phi \sin \omega t + A \sin \phi \cos \omega t \quad (1.5)$$

หรือเขียนอยู่ในรูปแบบนี้

$$y(t) = B \sin \omega t + C \cos \omega t \quad (1.6)$$

โดยที่ $B = A \cos \phi$ และ $C = A \sin \phi$

เรายกกำลังสองทั้งสองเทอม เราจะได้

$$B^2 + C^2 = (A \cos \phi)^2 + (A \sin \phi)^2 = A^2 (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi)$$

เมื่อ $\cos^2\phi + \sin^2\phi = 1$ ดังนั้นเราจะได้ผลเฉลยสำหรับ A คือ

$$A = \pm\sqrt{B^2 + C^2} \quad (1.7)$$

เมื่อเราเลือกผลเฉลยที่เป็นบวกสำหรับ A ดังนั้นเราจะได้

$$\cos\phi = \frac{B}{A} \quad \text{และ} \quad \sin\phi = \frac{C}{A} \quad (1.8)$$

$$\phi = \cos^{-1}\left(\frac{B}{A}\right) \quad \text{และ} \quad \phi = \sin^{-1}\left(\frac{C}{A}\right) \quad (1.9)$$

เครื่องหมายของ $\cos\phi$ และ $\sin\phi$ เป็นตัวกำหนดคลอเดรนส์ (quadrant) ของมุมเฟส

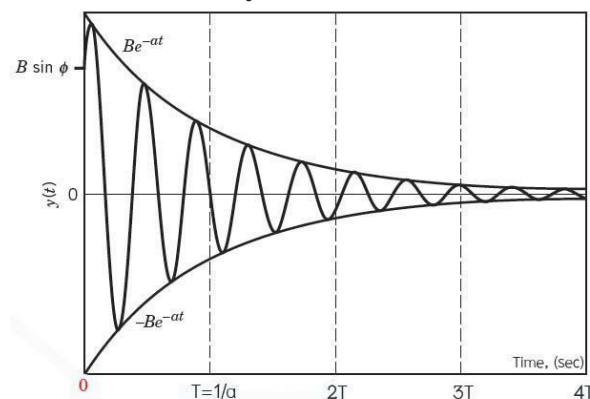
3. การสั่นที่มีขนาดแบบเอ็กโปเนนเชียล (Oscillations with exponential amplitude) ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียล และฟังก์ชันไซน์ หรือโคไซน์ ดังแสดงได้ดังนี้

$$y(t) = Ae^{-\frac{t}{T}}\sin(\omega t + \phi) \quad (1.10)$$

โดย การตอบสนองของสมการที่ 1.10 แสดงในรูปที่ 2.43

ฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียล $e^{-\frac{t}{T}}$ ถ้า $T > 0$ เราจะเรียก T ว่า time constant เมื่อ $t \rightarrow \infty$ ฟังก์ชัน $e^{-\frac{t}{T}} \rightarrow 0$

ในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมเราจะพิจารณาการตอบสนองทางเวลาของฟังก์ชัน $e^{-\frac{t}{T}}$ ว่าจะมีความรวดเร็วในการลดลงของฟังก์ชัน $e^{-\frac{t}{T}}$ อย่างไรนั้นขึ้นอยู่กับค่า time constant



รูปที่ 2.45 การตอบสนองของสมการที่ 1.10

หน่วย (Units)

เทคนิคการวิเคราะห์และการจำลองนั้นจะขึ้นอยู่กับระบบเฉพาะของหน่วย ในเอกสารจะพิจารณาสองระบบของหน่วย คือ หน่วยแบบเมตริก (SI unit) และหน่วยแบบอังกฤษ (foot-pound-second (FPS) unit) ดังแสดงในตารางที่ T1-4 และตารางที่ T1-5 แสดงค่าเฟกเตอร์ในการแปลงหน่วย

ตารางที่ T1-4 หน่วย (Units)

Quantity	Units name	
	SI unit	FPS unit
Time	second (s)	second (sec)
Length	meter (m)	foot (ft)
Force	newton (N)	pound (lb)
Mass	kilogram (kg)	slug
Energy	joule (J)	foot-pound (ft-lb), Btu
Power	watt (W)	ft-lb/sec, horsepower (hp)

ตารางที่ T1-5 เฟกเตอร์การแปลงหน่วย

Length	1 m = 3.281 ft 1 mile = 5280 ft	1 ft = 0.3048 m
Speed	1 ft/sec = 0.6818 mi/hr 1 m/s = 3.6 km/h 1 km/h = 0.6214 mi/hr	1 mi/hr = 1.467 ft/sec 1 km/h = 0.2778 m/s 1 mi/hr = 1.609 km/h
Force	1 N = 0.2248 lb	1 lb = 4.4482 N
Mass	1 kg = 0.06852 slug	1 slug = 14.594 kg
Energy	1 J = 0.7376 ft-lb	1 ft-lb = 1.3557 J
Power	1 hp = 550 ft-lb/sec 1 W = 1.341×10^{-3} hp	1 hp = 745.7 W

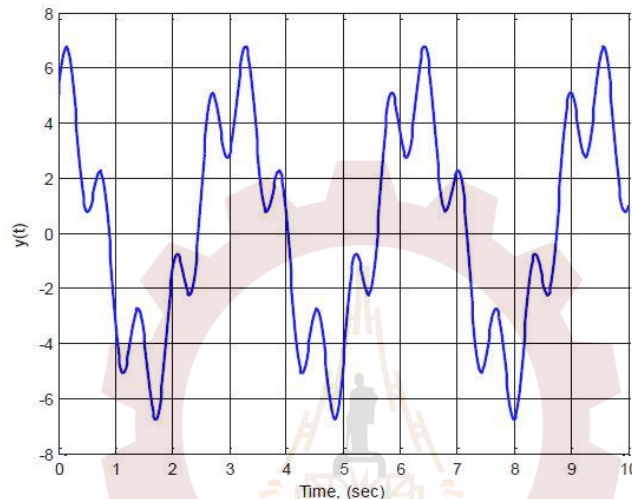
การแบ่งลักษณะการสั่น

การแบ่งประเภทของการสั่นจะทำให้เราสามารถวิเคราะห์และศึกษาการสั่นทางกลได้อย่างมีระบบ โดยจะแบ่งตามลักษณะการตอบสนองทางพลวัต ลักษณะของเงื่อนไขเริ่มต้น แรงจากภายนอกที่กระทำต่อระบบการสั่นที่สนใจ ซึ่งเราสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายถึงการแบ่งการสั่นประเภทต่างๆ ที่สำคัญและพบเห็นในการศึกษาขั้นพื้นฐานนี้

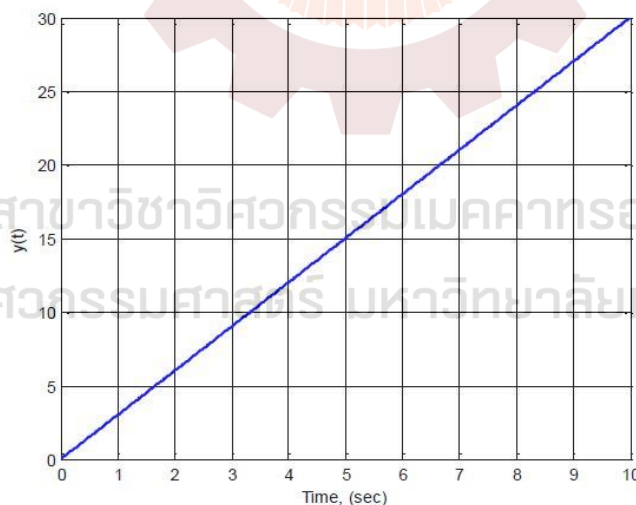
1. **การสั่นแบบอิสระ (Free vibration)** คือการสั่นของระบบที่ถูกรบกวนระบบที่หยุดนิ่ง ณ จุดสมดุลครั้งแรกเพื่อให้เกิดการสั่นขึ้น และการสั่นนั้นดำเนินต่อไปโดยไม่มีแรงจากภายนอกมากกระทำกับระบบอีก การรบกวนระบบ อาจทำให้เกิดการกระจัดเริ่มต้นหรือความเร็วเริ่มต้น หรือทั้งสองแบบรวมกันก็ได้ สำหรับระบบที่ไม่มีตัวหน่วง(Undamped system)ลักษณะการสั่นแบบอิสระสามารถนำไปสู่การประมาณค่าความถี่ธรรมชาติ(Natural Frequency) ค่าความแข็งของสปริง เป็นต้น

2. **การสั่นแบบบังคับ (Force vibration)** คือการสั่นของระบบภายใต้แรงกระทำจากภายนอก ซึ่งแรงกระทำจากภายนอกนี้อาจจะเป็นแรงในลักษณะซ้ำตัวเองหรือไม่ซ้ำตัวเองก็ได้ แรงกระทำอาจจะเกิดจากการทำงานของระบบเองก็ได้ เช่นการสั่นเนื่องจากความไม่สมดุลของเครื่องจักรที่เกิดการหมุน การสั่นแบบบังคับในทางปฏิบัติมักจะทำให้เกิดความล่า ความเสียหายกับโครงสร้างที่กำลังเกิดการสั่นอยู่ ถ้าความถี่ของแรงที่กระทำกับความถี่ธรรมชาติของระบบพ้องกัน การสั่นที่เกิดขึ้นจะมีขนาดการสั่นที่สูงมาก เราเรียกการสั่นในลักษณะนี้ว่า การสั่นพ้อง (Resonance) ดังนั้นในการออกแบบวิศวกรควรหลีกเลี่ยงการเกิดการสั่นพ้องของระบบ เพื่อยืดอายุและประสิทธิภาพการทำงาน of เครื่องจักร
3. **การสั่นแบบไม่มีความหน่วง (Undamped vibration)** หมายถึงการสั่นที่ไม่มีการสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อมของระบบ ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแรงเสียดทานหรือแรงต้านอื่นใด การสั่นแบบไม่มีความหน่วงในความเป็นจริงจะเกิดขึ้นได้เฉพาะในอวกาศเท่านั้น เพราะวัตถุที่เกิดการเคลื่อนที่โดยทั่วไปจะเกิดการสูญเสียพลังงาน เช่นแรงเสียดทานกับอากาศ เป็นต้น สำหรับระบบที่เกิดการสั่นแบบอิสระและไม่มีความหน่วง เราจะได้ความถี่ของการสั่นของระบบคือ ความถี่ธรรมชาติ
4. **การสั่นแบบมีความหน่วง (Damped vibration)** คือการสั่นที่เกิดการสูญเสียพลังงานในระหว่างเกิดการเคลื่อนที่ของระบบไม่ว่าจะมาจากสาเหตุใดก็ตาม ซึ่งเป็นผลทำให้พลังงานรวมของระบบมีค่าลดลง โดยทั่วไปแล้วการสั่นตามสภาพความเป็นจริงนั้นจะเป็นการสั่นแบบมีความหน่วงแทบทั้งสิ้น สำหรับระบบที่เกิดการสั่นแบบอิสระและมีความหน่วง เราจะได้ความถี่ของการสั่นของระบบคือ ความถี่หน่วงธรรมชาติ (Damped natural frequency)
5. **การสั่นแบบเชิงเส้น (Linear vibration)** ถ้าระบบได้สมการการเคลื่อนที่ที่ประกอบด้วย มวล, สปริง และตัวหน่วง ถ้าส่วนประกอบสปริงและ/หรือตัวหน่วงมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงค่าของแรงกระทำกับระยะทางหรือความเร็วของพิคตที่ใช้อย่างเป็นเชิงเส้น ลักษณะดังกล่าวเราเรียกว่า การสั่นแบบเชิงเส้น ซึ่งจะได้สมการอนุพันธ์แบบเชิงเส้น สำหรับการศึกษและวิเคราะห์การสั่นทางกลพื้นฐาน ในเอกสารคำสอนนี้ จะพิจารณาการสั่นแบบเชิงเส้นเป็นหลักเท่านั้น ซึ่งเราสามารถใช หลักการของการรวมตำแหน่ง(Principle of superposition) ซึ่งเป็นการแยกพิจารณาการสั่นเนื่องจากภาระกรรมแต่ละภาระกรรมแล้วนำผลที่ได้ทั้งหมดมารวมกันเป็นคำตอบสุดท้าย
6. **การสั่นแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear vibration)** ถ้าระบบได้สมการการเคลื่อนที่ที่ประกอบด้วย มวล,สปริง และตัวหน่วง ถ้าส่วนประกอบสปริงและ/หรือตัวหน่วงมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงค่าของแรงกระทำกับระยะทางหรือความเร็วของพิคตที่ไม่เป็นเชิงเส้น เราเรียกว่า การสั่นแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งจะได้สมการอนุพันธ์แบบไม่เชิงเส้น ระบบการสั่นทางกลในทางปฏิบัติส่วนมากจะเป็นการสั่นแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งการแก้สมการอนุพันธ์ที่ ไม่เป็นเชิงเส้นนั้นจะมีความซับซ้อนมากกว่าระบบที่เป็นเชิงเส้น

7. การสั่นแบบกำหนดได้ (Deterministic vibration) คือระบบที่เกิดการสั่นจากแรงกระทำภายนอก ซึ่งแรงกระทำนั้นเราสามารถกำหนดขนาดของแรงหรือค่าความสัมพันธ์ของแรงซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาได้ เราเรียกแรงกระทำนั้นว่า แรงที่กำหนดค่าได้ (Deterministic force) เช่น แรงฮาร์โมนิกส์ $y(t) = 2 \sin(10t) + 5 \cos(2t)$ N ดังแสดงในรูปที่ 2.46 แรงแบบขั้นบันได (Step force) $y(t) = 5$ N แรงแบบความชัน (Ramp force) $y(t) = 3t$ N ดังแสดงในรูป 2.47 เป็นต้น

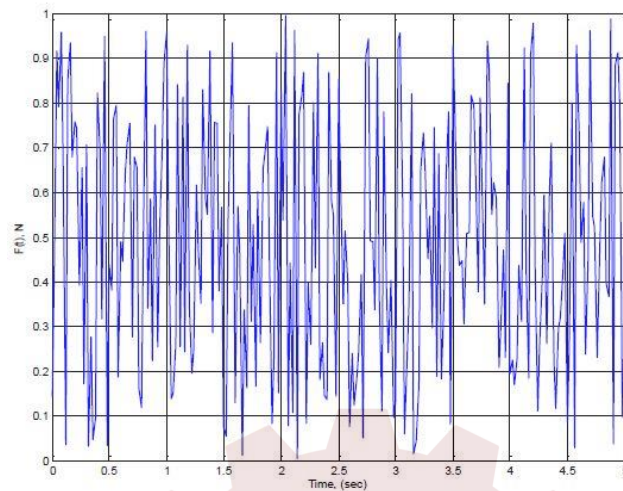


รูปที่ 2.46 แรงฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 2.47 แรงแบบความชัน

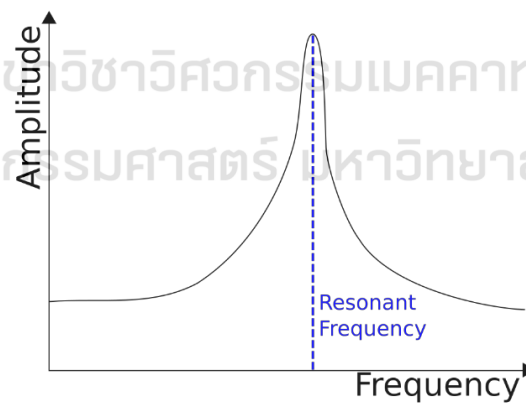
8. การสั่นแบบสุ่ม (Random vibration) คือระบบที่เกิดการสั่นจากแรงกระทำภายนอก ซึ่งแรงกระทำนั้นเราไม่สามารถกำหนดขนาดของแรงหรือค่าความสัมพันธ์ของแรงซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาได้ เราเรียกแรงกระทำนั้นว่า แรงแบบสุ่ม (Random force) ดังแสดงในรูปที่ 2.48 ซึ่งการแก้ปัญหาของการสั่นแบบสุ่มนั้นจะต้องใช้วิธีการทางสถิติเข้ามาช่วยแก้วิเคราะห์ปัญหา สำหรับในการศึกษาเรื่องการสั่นในเบื้องต้นนี้จะเป็นการศึกษาเฉพาะการสั่นแบบกำหนดได้เท่านั้น



รูปที่ 2.48 แรงแบบสุ่ม

ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency)

ความถี่ธรรมชาติ และการสั่นพ้อง เกิดขึ้นเมื่อเมื่อวัตถุถูกกระทบกระเทือน โดยทั่วไปแล้ววัตถุจะเกิดการสั่นสะเทือนด้วยความถี่เฉพาะ ตัวค่าหนึ่ง เรียกความถี่นี้ว่าความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) ของวัตถุนั้น เช่นลูกตุ้มที่แขวนติดกับสายแกว่ง เมื่อถูกกระทบก็จะแกว่งไปมาด้วยความถี่ธรรมชาติของลูกตุ้มนั้น และเมื่อวัตถุนั้นถูกแรงภายนอกมากกระทำอย่างต่อเนื่องด้วยความถี่เท่ากับความถี่ธรรมชาติของวัตถุ จะทำให้วัตถุเกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง เราเรียกปรากฏการณ์การสั่นอย่างรุนแรงเนื่องจากเหตุเช่นนี้ว่าเป็นการสั่นพ้อง (Resonance)

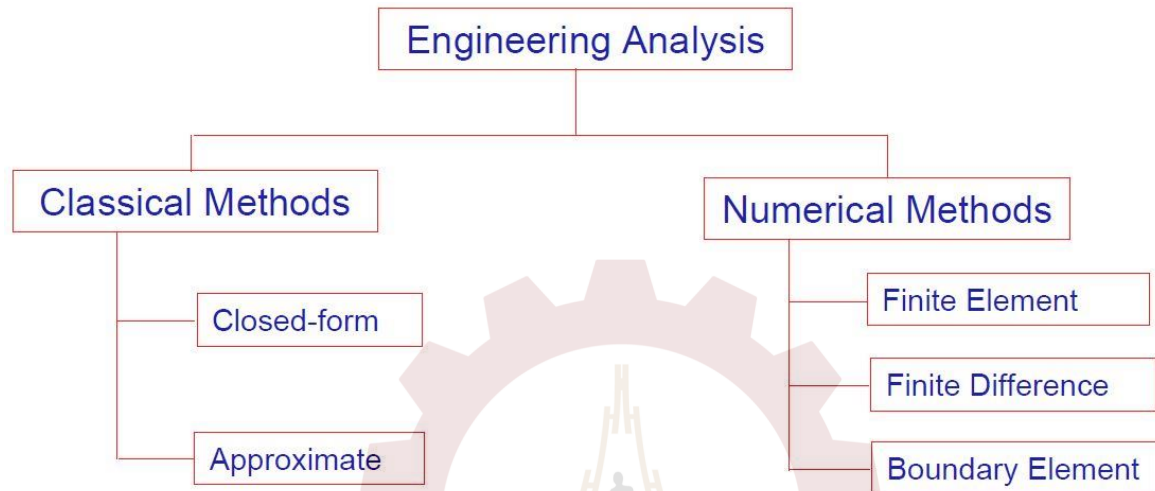


รูปที่ 2.49 Resonant Frequency

2.3.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method, finite element analysis: FEM)

วิธีการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการหนึ่งในการนำมาวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม

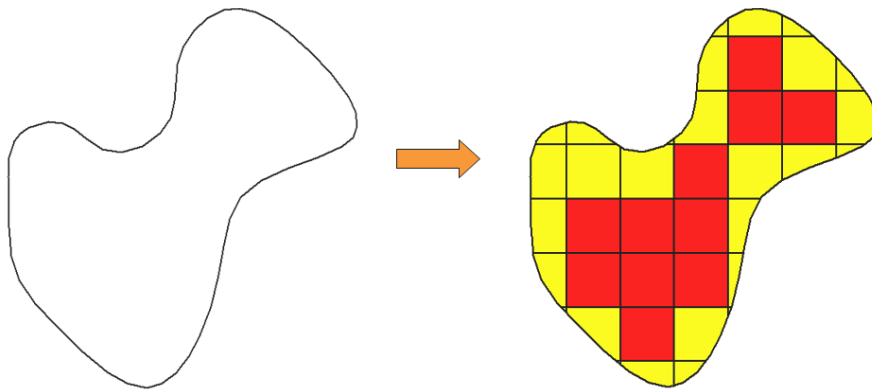


FEA (Finite Element Analysis) คืออะไร

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element method: FEM, finite element analysis: FEA) คือระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขสำหรับการหาคำตอบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยพร้อมๆ กับสมการปริพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากการกำจัดสมการเชิงอนุพันธ์อย่างสมบูรณ์ (สำหรับปัญหาที่อยู่ในสถานะคงที่) หรือการปรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ให้กลายเป็นระบบโดยประมาณของสมการเชิงอนุพันธ์สามัญซึ่งเป็นปริพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วยการใช้เทคนิคมาตรฐานทางคณิตศาสตร์เช่น Euler method Runge-Kutta methods

ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยนั้น ปัญหาพื้นฐานคือการสร้างสมการที่สามารถประมาณค่าสมการที่กำลังสนใจศึกษาแต่มีความแน่นอนทางตัวเลข ซึ่งหมายความว่าความคลาดเคลื่อนในข้อมูลนำเข้า (input) และการคำนวณระหว่างกลางจะไม่ถูกรวมเข้าไป และและส่งผลให้ข้อมูลส่งออก (output) ไร้ความหมาย ซึ่งวิธีการนั้นมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป FEM เป็นทางเลือกที่ดีในการแก้ปัญหสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในขอบเขตที่ซับซ้อน (complex domains) (เช่นในรถยนต์หรือท่อส่งน้ำมัน) เมื่อขอบเขตมีการเปลี่ยนแปลง (เช่นในช่วงปฏิกิริยาโซลิตสเตจที่ขอบเขตมีการเคลื่อนที่ (solid state reaction with a moving boundary)) หรือเมื่อผลแม่นยำที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลงตลอดขอบเขต หรือเมื่อผลลัพธ์ไม่มีความราบเรียบ

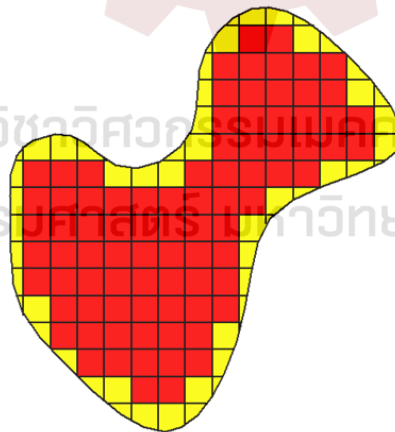
หลักการของ FEA คือการแบ่งชิ้นงานขนาดใหญ่ออกเป็นชิ้นงานขนาดเล็กๆ ที่มีรูปทรงเป็นเรขาคณิต(พวกสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม วงกลม เป็นต้น) เนื่องจากเครื่องมือหรือสูตรคำนวณที่เรามีอยู่สามารถคำนวณได้แต่รูปทรงเรขาคณิตดังตัวอย่างรูปที่ 2.54



รูปที่ 2.54

ถ้าเราต้องการหาพื้นที่ของรูปทรงใดๆตามรูปข้างบน วิธีการที่ง่ายที่สุดคือการแบ่งชิ้นงานให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ เพื่อให้เราใช้สูตรหาพื้นที่ได้ จากนั้นจึงเอาผลลัพธ์ของพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมเล็กๆแต่ละอันมาบวกกัน เราก็จะหาพื้นที่ของรูปทรงใดๆได้

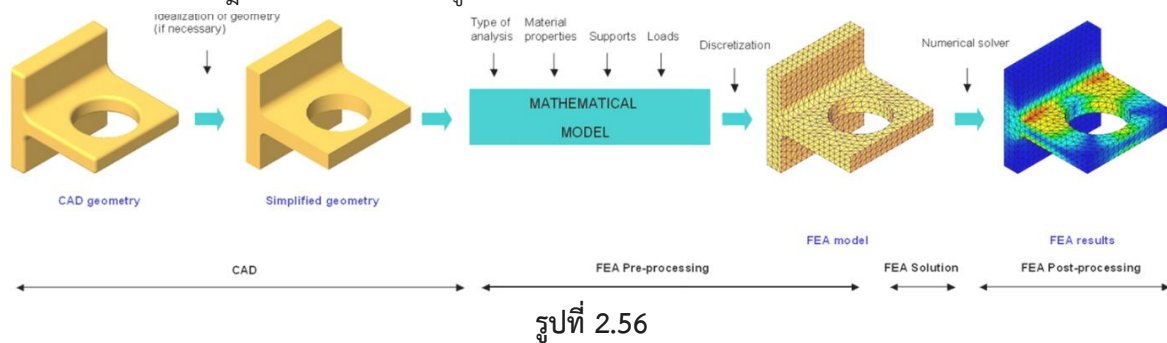
แต่จากรูปข้างบนจะเห็นว่าสี่เหลี่ยมสีแดงคือสี่เหลี่ยมที่เต็มรูป ส่วนสี่เหลี่ยมเหลืองคือสี่เหลี่ยมที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นถ้าเราคำนวณพื้นที่สี่เหลี่ยมแล้วเอามารวมกันทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้ อาจจะไม่มีความคลาดเคลื่อนจากของจริงไปบ้าง วิธีแก้ปัญหานี้ทำให้ขนาดของสี่เหลี่ยมแต่ละก้อนเล็กลงดังรูปที่ 2.55



รูปที่ 2.55

พื้นที่สี่เหลี่ยมหรือเรียกอีกอย่างว่าเป็นส่วนที่ทำให้การคำนวณคลาดเคลื่อนจะมีน้อยลง แต่ก็ทำให้ต้องคำนวณมากขึ้นเพราะมีจำนวนสี่เหลี่ยมที่ต้องคิดมากขึ้น

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ FEA จะเป็นไปตามรูปที่ 2.56



1. CAD Geometry คือการเขียนหรือนำไฟล์ CAD ที่ต้องการวิเคราะห์เข้ามา
2. Simplified Geometry คือการทำชิ้นงานให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ เช่น ลบ Fillet ออก, ปิดรูเจาะที่ไม่จำเป็นต่อการวิเคราะห์, เอารอยลายบนโมเดลหรืออักษรนูนออก เป็นต้น เพื่อให้โปรแกรมสามารถแบ่ง Mesh ได้ง่ายขึ้น
3. Mathematical Model คือการกำหนดค่าต่างๆ เช่น ค่าวัสดุ จุดยึดชิ้นงาน แรงกระทำ เป็นต้น
4. Create Mesh คือการแบ่ง Mesh ทำสำหรับการวิเคราะห์
5. Analysis คือการวิเคราะห์ผลลัพธ์ออกมา โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในลักษณะของเฉดสีเพื่อบอกว่าตำแหน่งไหนมีค่ามากหรือน้อย และจะมีแถบสีกำกับเพื่อบอกว่าสีใดแสดงถึงค่าเท่าไร ซึ่งค่าที่โปรแกรมคำนวณได้ก็มีหลายหลาย เช่น Stress, Strain, Displacement เป็นต้น

ข้อดีของ FEM

1. สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ (จุดเด่นที่สุด)
2. สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อนเช่น
 - Vibration
 - Transients
 - Nonlinear
 - Heat Transfer
 - Fluids
 - Buckling
 - Electromagnetic
 - Multi-Physics
3. สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่รับภาระต่างๆเช่น
 - ภาระที่กระทำกับ node เช่น point loads
 - ภาระที่กระทำกับ element เช่น pressure, thermal, inertia forces, gravity forces
 - ภาระที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือภาระที่ขึ้นอยู่กับความถี่
4. สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่วัสดุมีคุณสมบัติแบบ non-isotropic

- Orthotropic
 - Anisotropic
5. สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่วัสดุมีคุณสมบัติพิเศษเช่น
- คุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ
 - Plasticity
 - Creep
 - Swelling
6. สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีเป็นแบบ
- Large displacements
 - Large rotations
 - Contact (gap) conditions

ข้อเสียของ FEM

1. เป็นวิธีการประเมินเชิงตัวเลขดังนั้นจะมี error เกิดขึ้นเสมอ
2. ผู้ใช้ต้องมีประสบการณ์และความชำนาญในการทำแบบจำลอง FEM ถึงจะทำให้ได้คำตอบที่สอดคล้องกับความเป็นจริง
3. ต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงและซอฟต์แวร์ที่น่าเชื่อถือได้(ราคาแพง)
4. มีปัญหาเชิงตัวเลขเกิดขึ้นจาก
 - เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถเก็บค่าเลขนัยสำคัญได้จำกัด
 - Round-off error สะสม
5. เป็นวิธีการประเมินเชิงตัวเลขดังนั้นจะมี error เกิดขึ้นเสมอ
6. ผู้ใช้ต้องมีประสบการณ์และความชำนาญในการทำแบบจำลอง FEM ถึงจะทำให้ได้คำตอบที่สอดคล้องกับความเป็นจริง
7. ต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงและซอฟต์แวร์ที่น่าเชื่อถือได้(ราคาแพง)
 - มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทำ Modeling เนื่องจาก
 - การเลือกใช้ชนิดอิเลเมนต์ที่ไม่เหมาะสม
 - การใช้ Distorted element ในโมเดล
 - การทำเมชที่ไม่เหมาะสม
8. พฤติกรรมบางอย่างไม่ได้รวมให้โดยอัตโนมัติเช่น
 - Buckling
 - Large displacements และ Large rotations
 - Materials nonlinearities
 - Nonlinearities อื่นๆเช่น Contact condition

ขั้นตอนพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1. ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลอง (Preprocessing phase)

- การสร้างรูปร่างของแบบจำลอง (Geometric construction)
- การแบ่งโดเมนของแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆต่อกัน โดยแต่ละเอลิเมนต์จะประกอบไปด้วย โหนด (Discretization)
- การกำหนด shape function ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพของเอลิเมนต์หรือผลเฉลยของเอลิเมนต์(ค่าประมาณ)
- สร้างสมการสำหรับเอลิเมนต์
- กำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้น สภาวะโหนดและสภาวะขอบให้กับปัญหา
- กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material properties)

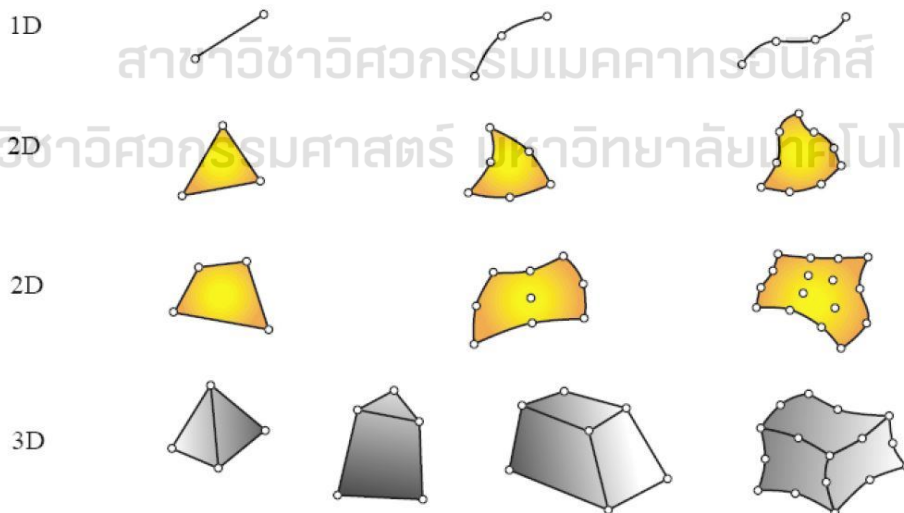
2. ขั้นตอนการหาคำตอบ (Solution phase)

การแก้หาคำตอบของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหรือสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งคำตอบคือค่าการกระจัดที่โนดต่างๆ หรือค่าอุณหภูมิที่โนดต่างๆในกรณีเป็นปัญหาการถ่ายเทความร้อน)

3. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Postprocessing phase)

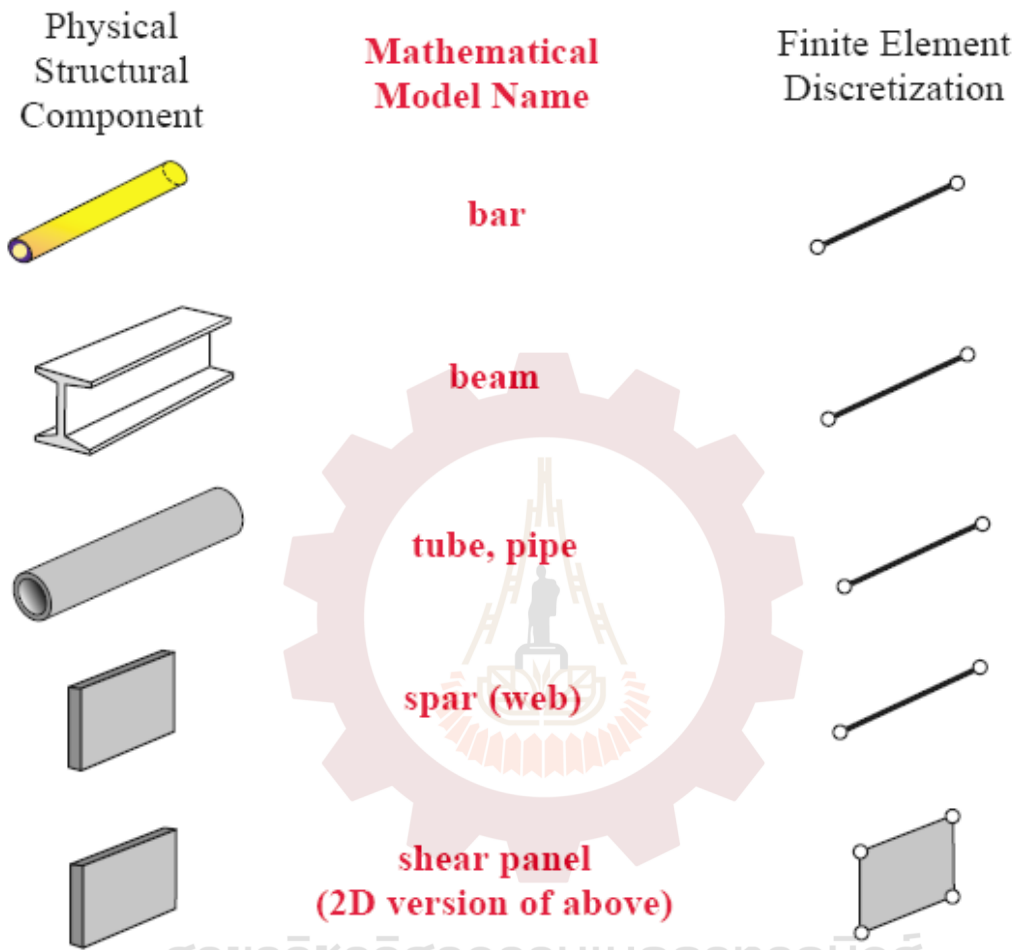
การวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เราสนใจเพิ่มเติมเช่นเราอาจอยากรู้อะไรบ้างเกี่ยวกับค่าความเค้นหลัก พลักซ์ความร้อน เป็นต้น

ชนิดของเอลิเมนต์พื้นฐาน



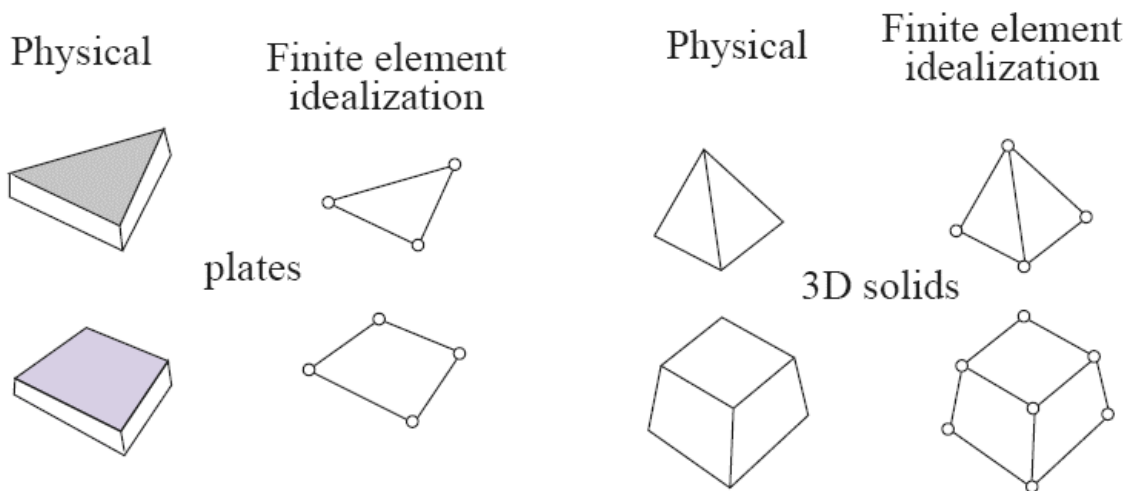
รูปที่ 2.50

Primitive structure elements



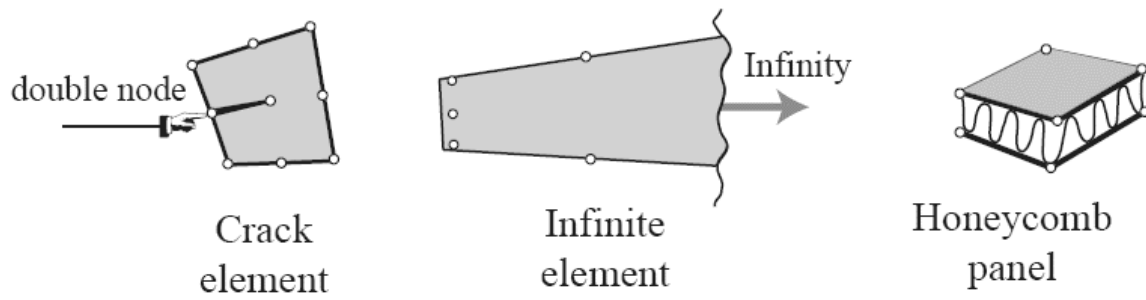
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
รูปที่ 2.51

Continuum elements



รูปที่ 2.52

Special elements



รูปที่ 2.53

สรุปคือวิธีการ FEA คือการเปลี่ยนชิ้นงานรูปร่างใดๆ ให้กลายเป็นรูปทรงเรขาคณิต เพื่อให้เราสามารถใส่สูตรคำนวณที่มีอยู่ได้ ในการทำ Simulation เราเรียกการแบ่งชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กๆว่าการแบ่ง Mesh

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

3.1 วัสดุอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำโครงการ ได้แก่

ชื่ออุปกรณ์	รูปภาพ
1. อุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายสำหรับเครื่อง ACAM (Image based barcode reader holder)	
2. Cognex DataMan 70S	
3. Lens Dataman ID Reader (Code 128 / WD =600mm)	
4. สายเคเบิลRS232IO / Dataman Communication Cable 2.5 m	
5. สายเคเบิล SERIAL / Dataman Communication Cable 2.5 m	
6. อุปกรณ์จัดยึดบาร์โค้ดสแกนเนอร์แบบภาพถ่าย ชั่วคราววัสดุเป็น Stainless	



3.2 วิธีดำเนินโครงการ

1. ศึกษา Flow process ของ HGA ที่บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
2. ศึกษาหลักการทำงานของเครื่อง ACAM (Auto Core Adhesive Mounting Machine)
3. ศึกษาปัญหาที่พบเกี่ยวกับตำแหน่งการติดตั้ง Barcode reader แบบ laser ที่มีอยู่แล้ว
4. ทำการทดลองการทำงานของ Barcode reader แบบ laser ถึงข้อจำกัดในการอ่านบาร์โค้ดที่สามารถอ่านได้ที่ระยะใดบ้าง
5. หากไม่สามารถเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งของ Barcode reader แบบ laser ได้จึงทำการเลือกซื้ออุปกรณ์สำหรับอ่านบาร์โค้ดใหม่เพื่อให้ติดตั้งได้ในตำแหน่งที่ถูกต้องไม่กีดขวางการทำงานของ technician และประตูเครื่อง ACAM
6. ทำการเปรียบเทียบสเปคของ Image based barcode reader ถึงความสามารถในการอ่านบาร์โค้ดและราคาที่คุ้มค่าต่อการใช้งาน
7. เมื่อเลือกได้แล้วก็ทำการติดต่อตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทย เพื่อทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายว่าสามารถทำงานตามที่เราต้องการได้หรือไม่
7. ทำการสั่งซื้อเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย โดยการขอใบเสนอราคา (PR: Purchase Requisition) จาก Supplier 2 เจ้าเป็นอย่างน้อยจากนั้นแผนกจัดซื้อก็จะทำการเปรียบเทียบกันเพื่อหาเจ้าที่ให้ราคาที่ดีที่สุดเมื่อได้ราคาที่เหมาะสมแล้วจึงออกใบสั่งซื้อ (PO: Purchase Order) ให้กับทาง Supplier ได้รับใบสั่งซื้อแล้วทาง Supplier ก็จะต้องทำการจัดส่งสินค้าให้กับเราตามที่ตกลงกันได้ พร้อมวางบิล Invoice จากนั้นรอสินค้ามาถึง Store ของบริษัทและทำการตรวจสอบสินค้าก่อนเซ็นรับสินค้า
8. ทำการออกแบบอุปกรณ์จับยึดของเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม Solidworks 2018 จากนั้นทำการวิเคราะห์ Finite element modal analysis โดยใช้โปรแกรม ANSYS 2018 เพื่อวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์ที่เราออกแบบมา และนำค่าที่ได้จาก FEA มาเปรียบเทียบกับค่าความถี่ธรรมชาติของเครื่อง ACAM ณ บริเวณการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่าน

บาร์โค้ดแบบภาพถ่ายโดยใช้เครื่อง IOtech 640 and 650 Dynamic Signal Analyzers for Vibration Analysis and Monitoring ในการวัดค่าหาความถี่ธรรมชาติ

9. เมื่อตรวจสอบโดยใช้ FEA แล้วว่าความถี่ธรรมชาติไม่ตรงกับระบบก็จะทำการสั่งซื้ออุปกรณ์จับยึดสำหรับเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายจาก Supplier

10. ระหว่างรออุปกรณ์จับยึด Image based barcode reader ก็ได้มาถึงบริษัทจึงทำการติดตั้งโดยใช้แผ่น Stainless steel ขึ้นรูปด้วยข้อต่อขึ้นรูปเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบ

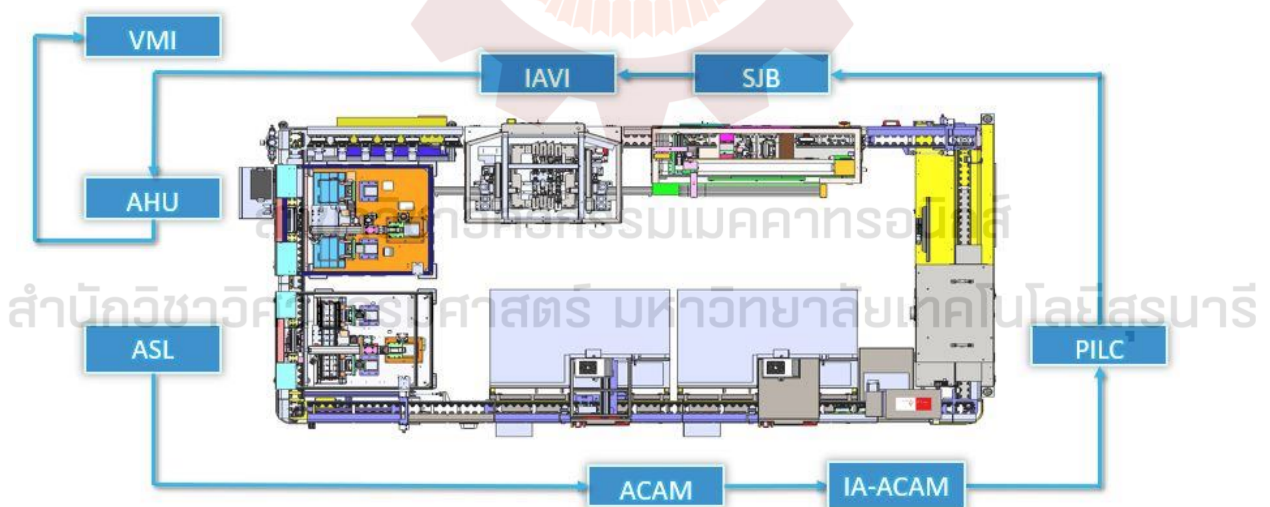
11. ทำการติดตั้ง Image based barcode reader และตั้งค่าในโปรแกรม Cognex DataMan v6.1.6 ให้สามารถอ่านบาร์โค้ดในระยะที่ถูกต้องและทำการส่งสัญญาณ Trigger ในการอ่านบาร์โค้ดไปยัง เครื่อง ACAM

12. รออุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย

13. เมื่ออุปกรณ์จับยึดมาถึงแล้วก็ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์จับยึดที่เครื่อง ACAM บน Automation line และทำการตรวจสอบการอ่านบาร์โค้ดด้วยโปรแกรมอีกครั้งเมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยถือคืออุปกรณ์จับยึดให้แน่นอนแล้วทำการวัดค่าความถี่ธรรมชาติอีกครั้งว่าเกิดการสั่นมากน้อยแค่ไหน

14.สรุปผลการดำเนินงานโครงการ

3.2.1 HGA Process Flow



รูปที่ 3.1 Automation line HGA process

จากภาพเป็นไลน์การผลิตของ HGA ของแผนก HGA development ที่ WD บางปะอิน มีการทำงานดังนี้

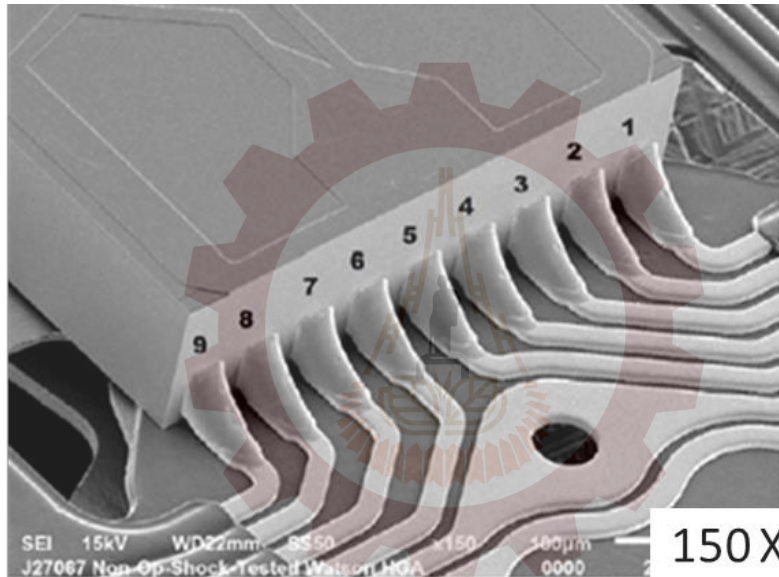
1. ASL (Automated Suspension Load)
เป็นเครื่องที่โหลด Suspension จาก Tray ไปยัง Pallet
2. ACAM (Auto Core Adhesive mounting Machine)
ทำหน้าที่ติดตั้ง Slider เข้ากับ Suspension ด้วยกาว UV
3. iA-ACAM (Inspection After ACAM)
ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้งของ Slider

4. PILC (Pallet In-Line Cure)

ทำหน้าที่ฉายรังสี UV และใช้ลม Hot N2 ในการทำให้กาว UV แข็งจากกระบวนการของเครื่อง ACAM เพื่อให้ Slider ติดกับ Suspension แบบแห้งสนิท

5. SJB (Solder Jet Bonding)

ทำหน้าที่เชื่อมวงจร ระหว่าง Suspension กับ Slider เข้าด้วยกันโดยใช้ Solder ball ในการเชื่อม เครื่องจะทำการยิง Fiber laser ใส่ที่ solder ball เพื่อให้กลายเป็นของเหลวแล้วตกลงมาเชื่อม patch ทั้งหมดดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 การเชื่อม patch ของ Slider กับ Suspension

6. iAVI (In-Process Automated Visual Inspection)

ทำหน้าที่ ตรวจสอบความผิดพลาดจากการผลิตของ HGA โดยจะใช้กล้องทั้งหมด 11 ตัวในการถ่าย แต่ละตำแหน่งเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดโดยใช้ Machine learning ในการตรวจสอบเทียบกับ Training data ของ Machine learning

7. AHU (Automated HGA Unloading)

ทำหน้าที่โหลด HGA จาก Pallet เข้า Tray

8. VMI (Visual Manual Inspection)

ทำหน้าที่ตรวจสอบความผิดพลาดของ HGA โดยใช้คนในการตรวจสอบด้วยกล้องกำลังขยายสูงเพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดของเสีย (Reject) ในการผลิต HGA เนื่องจาก iAVI อาจจะทำการตรวจสอบผิดพลาดได้

3.2.2 หลักการทำงานของเครื่อง ACAM

เนื่องจากโครงการนี้จะทำการศึกษาเครื่อง ACAM เป็นหลักดังนั้นเราจึงต้องเข้าใจหลักการทำงานของเครื่อง ACAM ก่อนดังนี้

1. เมื่อ Pallet มาถึงหน้าเครื่อง ACAM ก็จะทำการอ่านบาร์โค้ดก่อนว่าสถานะรอเข้าเครื่อง ACAM ใชหรือไม่จากนั้น ATP ของเครื่องจะทำการหยิบ Pallet ที่อยู่บน Conveyor โดยการใช้น้ำ VACUUM ไปวางบน Rotation
2. จากนั้น Rotation จะทำการหมุน Pallet ไปยังตำแหน่งที่จะทำการหยุดท้าว UV
3. เครื่อง ACAM จะทำการหยุดท้าว UV ลงบนส่วนปลายของ Suspension แต่ละตัวโดยหยุดเป็น 2 จุดต่อ 1 Suspension และ 1 Pallet จะมีทั้งหมด 10 Suspension และทำการตรวจสอบขนาดของหยุดท้าวว่าถูกต้องหรือไม่
4. จากนั้นเมื่อทำการหยุดท้าวเสร็จแล้ว Rotation จะทำการหมุนไปยังตำแหน่งที่จะทำการติด Slider เข้ากับ Suspension โคนใช้น้ำ Mount head ในการหยิบ Slider โดยใช้น้ำ VACUUM ในการหยิบมาติดที่ตำแหน่งท้าวของ Suspension โดยจะทำการตรวจสอบตำแหน่งทุกครั้งด้วย Vision system เพื่อไม่ให้เกิดการติด Slider ผิดมุมองศา
5. จากนั้นจะทำการฉายแสง UV ครั้งที่ 1 โดยใช้เวลา 0.3 วินาที เพื่อไม่ให้ Slider หลุดออกจาก Suspension
6. จากนั้น Rotation ของ ACAM ก็จะทำการหมุน Pallet มายังตำแหน่ง UV2 เพื่อทำการฉายแสง UV อีกครั้งเป็นเวลา 3 วินาที
7. Rotation จะหมุนมายังตำแหน่งเดิมก่อนเข้ากระบวนการเพื่อทำการหยิบ Pallet ออกไปวางบน Conveyor และทำการส่งไปยังเครื่องจักรถัดไป

ดังนั้นการทำงานของเครื่องจักร ACAM จะเริ่มจากการอ่านบาร์โค้ดเป็นลำดับแรกเลยเพื่อให้กระบวนการผลิตดำเนินต่อไปดังนั้นปัญหาที่เจอจากตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์อ่านบาร์โค้ดดังกล่าวไว้แล้วที่บท 1 ข้อ 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการดังนั้นต่อไปจะเป็นการทดลองระยะการอ่านบาร์โค้ดของ Barcode reader ที่มีอยู่แล้วว่าสามารถอ่านที่ระยะใดได้บ้าง

3.2.3 ทดลองระยะการอ่านบาร์โค้ดของ Keyence รุ่น Model BL-1371

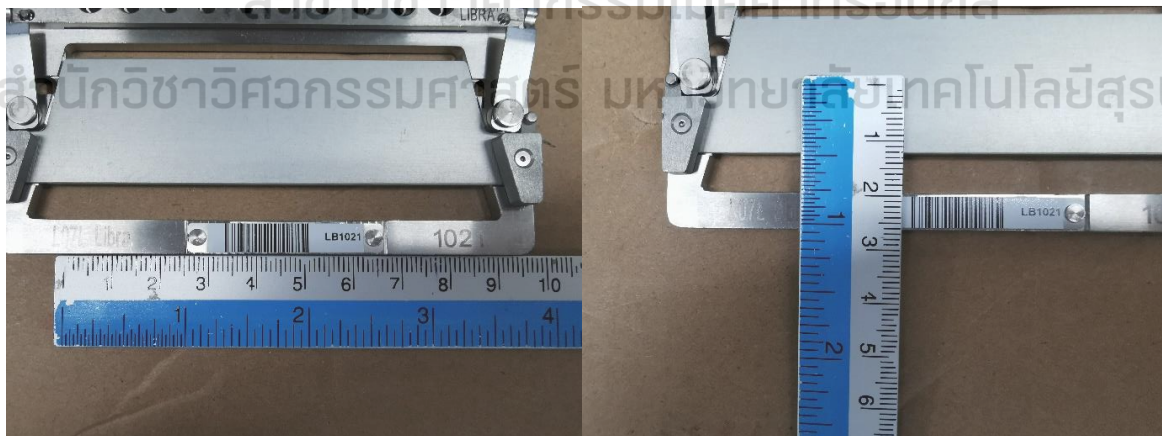
SPECIFICATIONS

Model		BL-1371
Type		Long-range
Type	Reading direction	Front
	Scanning method	Raster
Laser	Light source	Visible semiconductor laser (wavelength: 660 nm)
	Control output	85 μ W
	Pulse duration	112 μ s
	Laser class	Class 2 Laser Product (IEC60825-1, FDA (CDRH) Part1040.10 ⁴¹)
Reading	Supported codes	CODE39, ITF, Industrial2of5, Standard2of5, COOP2of5, CODABAR, CODE128, GS1-128, CODE93, UPC/EAN, GS1 DataBar
	Number of readable digits	74 digits (148 digits for CODE128 with start character C)
	Readable bar width	0.15 mm 0.006"
	Reading distance	160 to 600 mm 6.30" to 23.62" ² (narrow bar width 1.0 mm 0.04")
	Focal point	230 mm 9.06"
	Largest readable label width	404 mm 15.91" ² (distance: 420 mm 16.54", narrow bar width: 1.0 mm 0.04")
	PCS	0.4 or more
	Scanning rate	500 to 1,300 scans/sec. (in units of 100 scans)

ขนาดบาร์โค้ดของ Pallet

กว้าง 18 mm. X ยาว 6 mm.

Narrow bar wide = 0.2-0.3 mm.



รูปที่ 3.3

วิธีการทดลอง

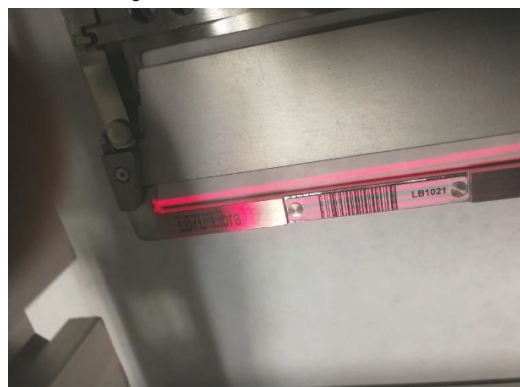


รูปที่ 3.3 การจำลองระยะต่างๆ ในการอ่านบาร์โค้ด

1. ทำการทดสอบด้วยการ Scan Barcode เริ่มต้นที่ระยะ 16 cm. ไปจนถึงระยะ 60 cm. รูปที่ 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.4 ระยะที่ 16 cm.

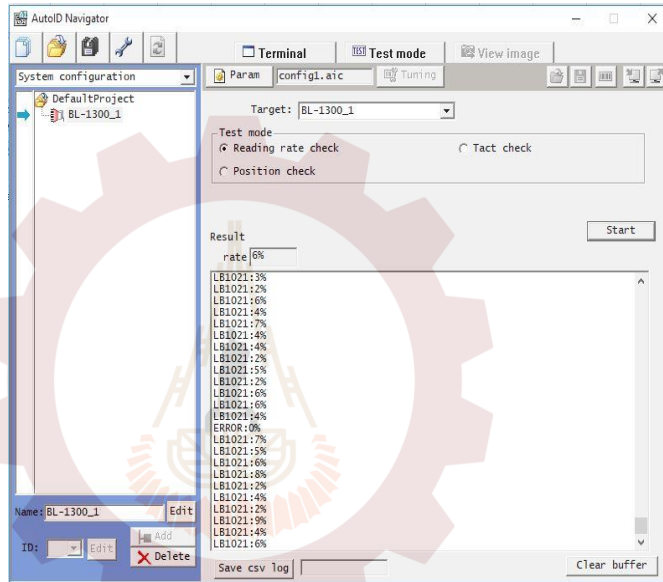


รูปที่ 3.5 ตำแหน่งบาร์โค้ด

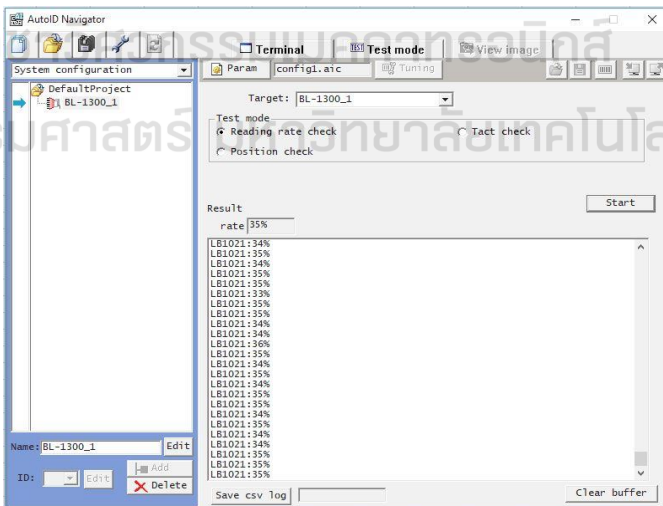
2. ทำการบันทึกค่าการอ่าน Barcode ด้วยโปรแกรม AutoID Navigator ว่าสามารถอ่านได้ถูกต้องกี่ % และมี Error หรือไม่
3. สรุปผลการทดลองจากข้อมูลที่ได้มา

ผลการทดลอง

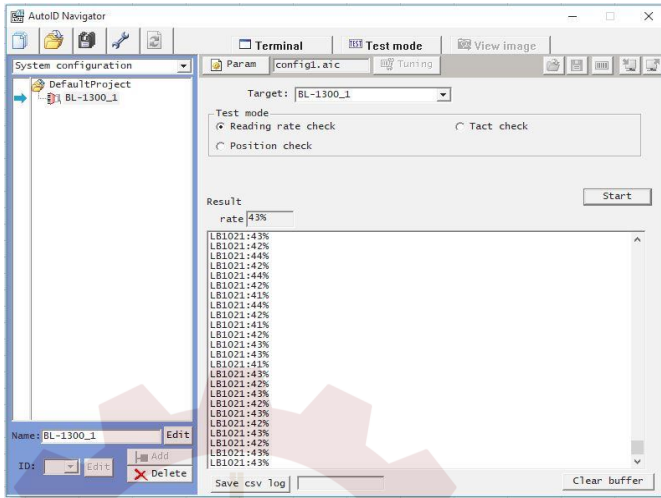
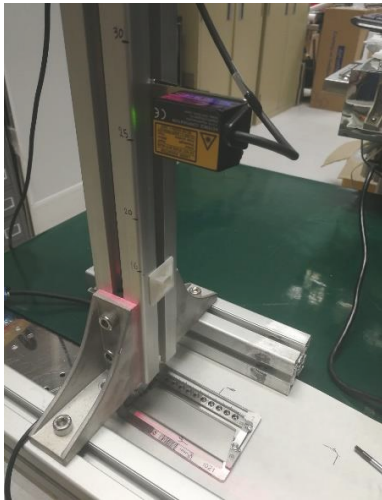
ระยะ 16 cm.



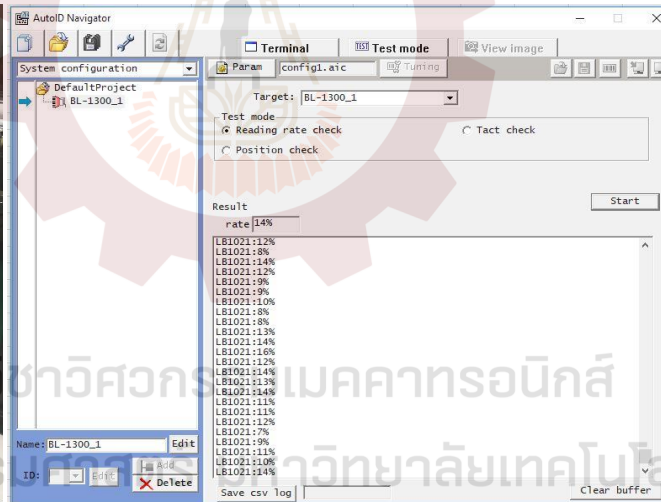
ระยะ 20 cm.



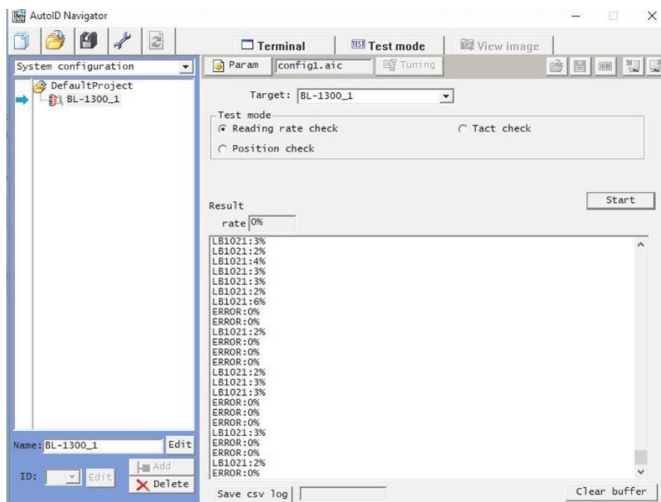
ระยะ 25 cm.



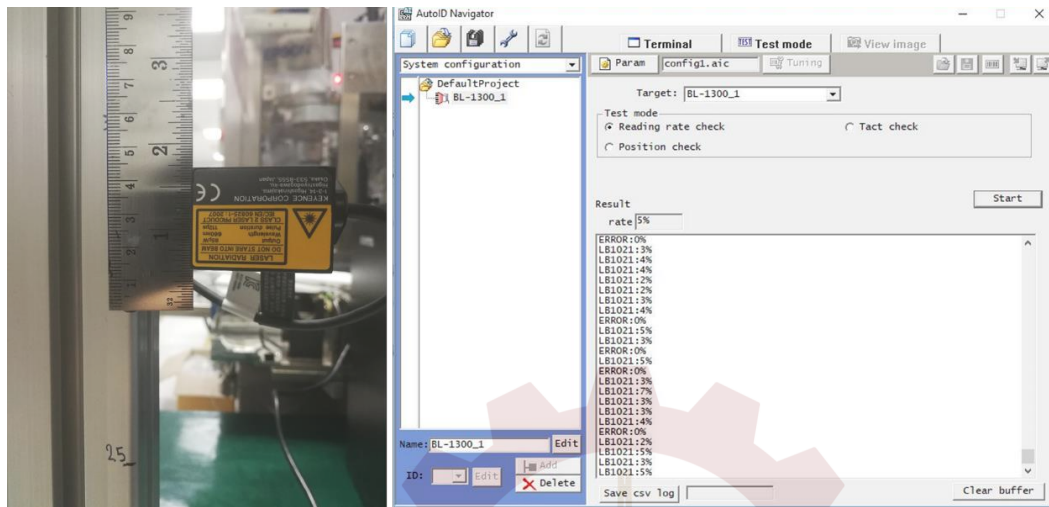
ระยะ 30 cm.



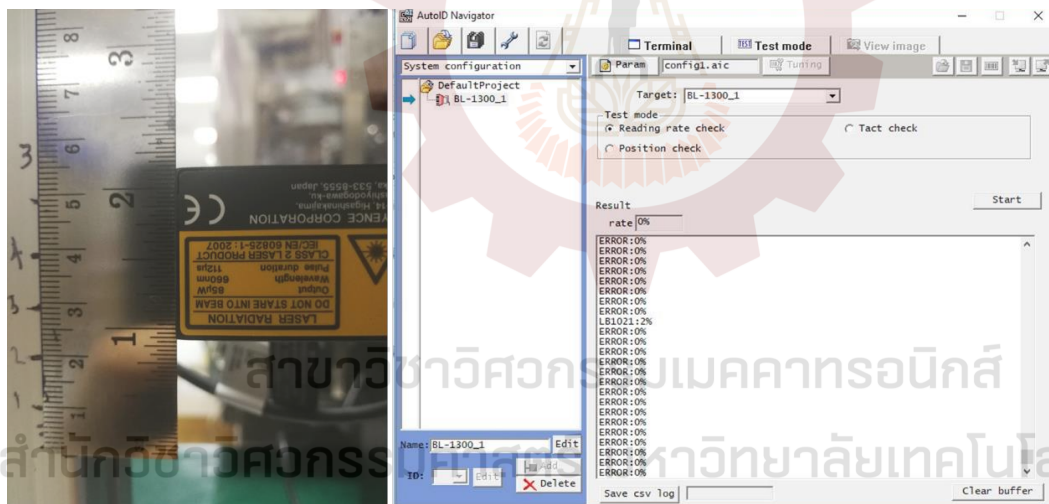
ระยะ 30.5 cm.



ระยะ 31.3 cm.



ระยะ 32.3 cm.



สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเราสรุปได้ว่า

ระยะ 16 cm สามารถอ่าน barcode ได้ดีแต่ยังมี error อยู่แต่น้อยมากๆ Result rate ที่ 5%

ระยะ 20 cm สามารถอ่าน barcode ได้ 100% ไม่มี error และ Result rate ที่ 38%

ระยะ 25 cm สามารถอ่าน barcode ได้ 100% ไม่มี error และ Result rate ที่ 41%

ระยะ 30 cm สามารถอ่าน barcode ได้ดีแต่ยังมี error อยู่เล็กน้อยมาก Result rate ที่ 9%

ระยะ 30.5 cm สามารถอ่าน barcode ได้แต่ยังมี error อยู่ Result rate ที่ 4%

ระยะ 31.3 cm สามารถอ่าน barcode ได้แต่ยังมี error อยู่ Result rate ที่ 5%

ระยะ 32.3 cm สามารถอ่าน barcode ได้น้อยมากและมี error เยอะมาก Result rate ที่ 2%

และระยะที่มากกว่า 32.3 cm ไม่สามารถอ่าน Barcode ได้เลย error 100%

จากการทดลองวัดระยะอ่านของ Keyence รุ่น Model BL-1371 นั้นมีข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะเยอะมาก ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ในการอ่านบาร์โค้ดของเครื่อง ACAM ให้สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีและติดตั้งได้ถูกตำแหน่ง

3.2.4 เลือกซื้ออุปกรณ์อ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย

ในการเลือกซื้ออุปกรณ์อ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายนั้นสิ่งสำคัญลำดับแรกเลยคือระยะการติดตั้งที่เราต้องการในการทำงานคือไม่กีดขวางประตูของเครื่อง ACAM และการทำงานซ่อมบำรุงของ Technician รวมไปถึงการทำงานของ Operator ประจำเครื่องในไลน์การผลิตและความสำคัญในลำดับถัดไปคือการทำงานและราคาเพื่อให้ได้อุปกรณ์อ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายที่คุ้มค่าที่สุดจากการหาข้อมูลมาเราได้ทำการเลือกเปรียบเทียบระหว่าง Keyence เครื่องอ่านโค้ดไฟกัสอัตโนมัติ SR-1000 และ COGNEX DataMan 70S

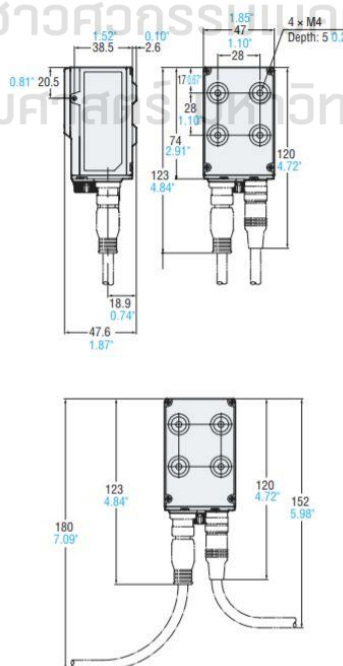
Specification

Keyence เครื่องอ่านโค้ดไฟกัสอัตโนมัติ SR-1000

- Image Sensor CMOS
- Image Resolution 1280×1024 พิกเซล
- ระยะภาพที่อ่านได้ 110 ถึง 1000 mm. (ตัวอย่างทั่วไปที่ระยะ 400 มม.) 122×97mm.
- น้ำหนัก 200 g
- ราคา \$4,596.00 อ้างอิงจาก <https://www.radwell.com/en-US>

Dimension

SR-1000/1000W

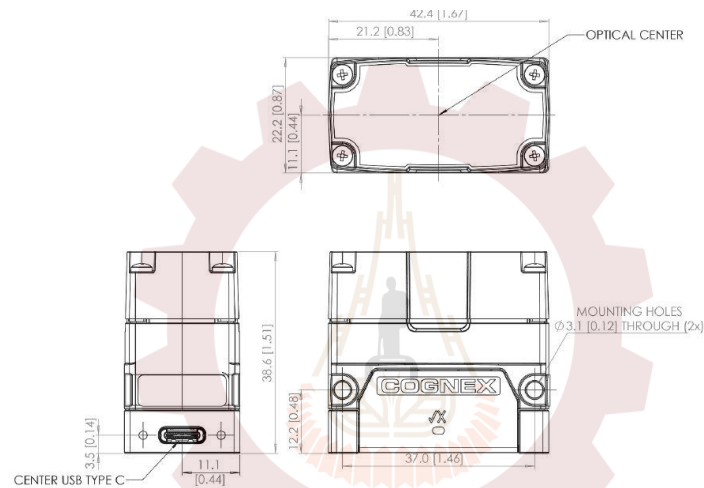


รูปที่ 3.6 Keyence SR-1000/1000W Dimension

COGNEX DataMan 70S

- Image Sensor 1/3" CMOS
- Image Resolution 752 x 480 พิกเซล
- ระยะภาพที่อ่านได้ 80 ถึง 1000 mm.
- น้ำหนัก 42 g without cable
- ราคา \$1,014.00 อ้างอิงจาก <https://www.radwell.com/en-US>

Dimension



รูปที่ 3.7 COGNEX DataMan 70S Dimension

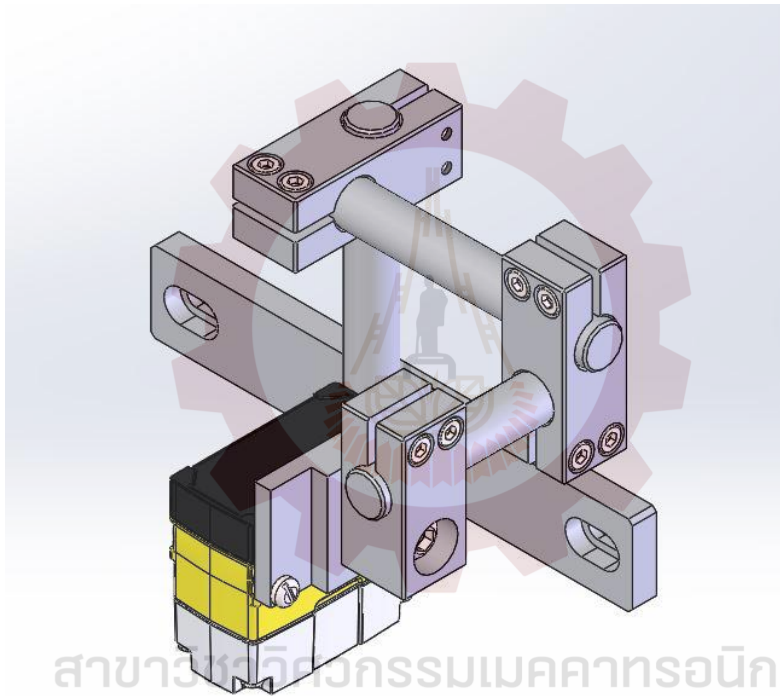
จากข้อมูลสเปคที่ยกขึ้นมาให้ดูคร่าวๆจะเห็นได้ว่าระยะทำงานนั้นไม่ใช่ปัญหาเลยสำหรับอุปกรณ์อ่านบาร์โค้ด ทั้ง 2 ตัว แต่ว่า Keyence SR-1000 นั้นจะมีคุณภาพของภาพที่ดีกว่า และยังมีน้ำหนักที่มากกว่าขนาดใหญ่มากกว่า และราคาแพงกว่า COGNEX DataMan 70S ดังนั้นจึงเลือกเป็น COGNEX DataMan 70S ในการอ่านบาร์โค้ด

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.5 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย (Holder design for image based barcode reader)

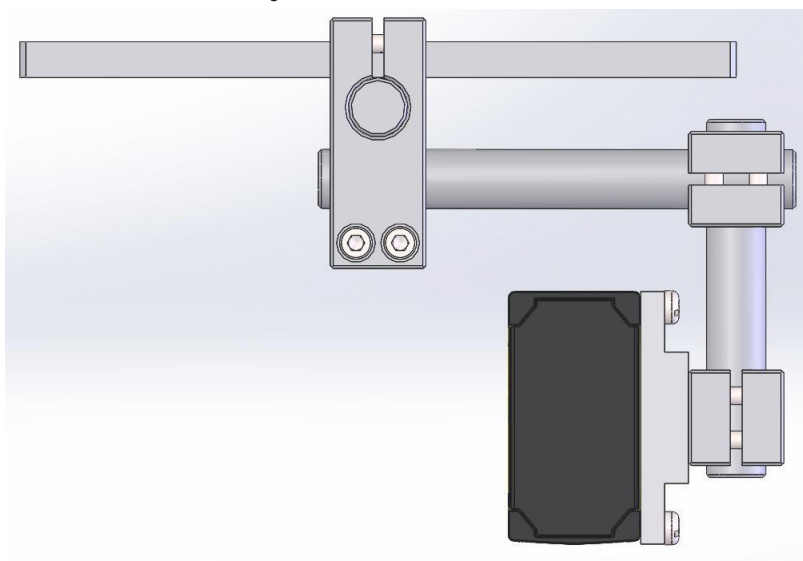
เมื่อเลือกเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายได้แล้วเราก็จะทำการออกแบบอุปกรณ์สำหรับจับยึดเพื่อให้สามารถติดตั้งได้ไม่กีดขวางประตูเครื่อง ACAM และ การทำงานของ Technician โดยใช้โปรแกรม Solidworks 2018 ในการออกแบบ

Holder design for image based barcode reader

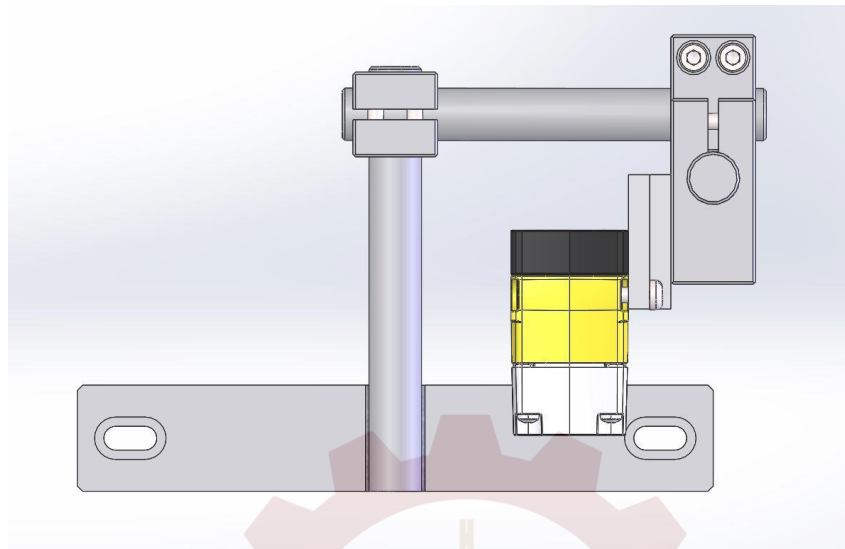


สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

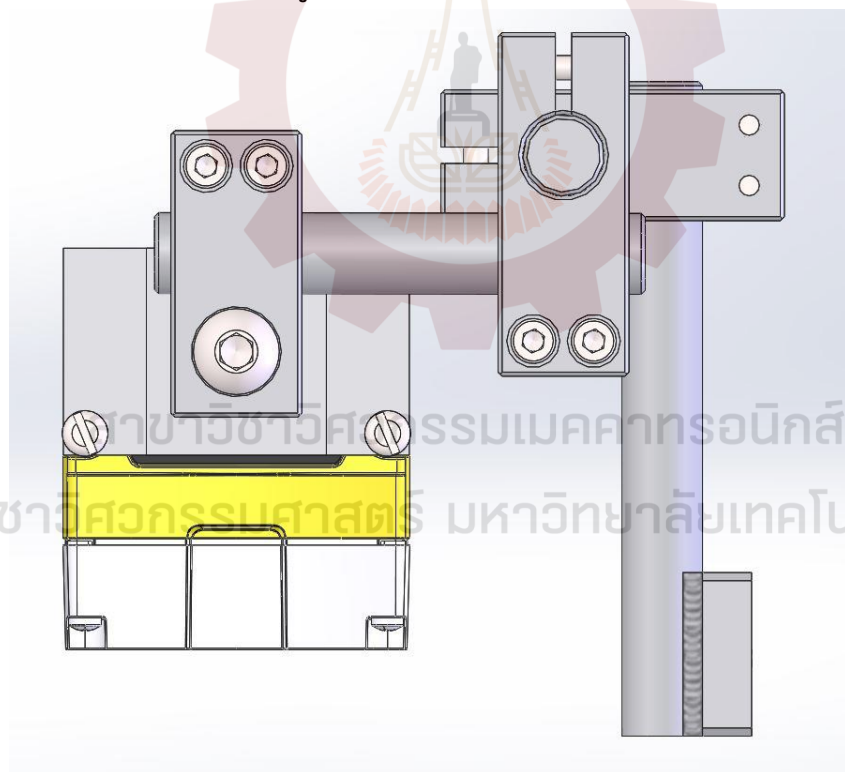
รูปที่ 3.8 ภาพ Isometric



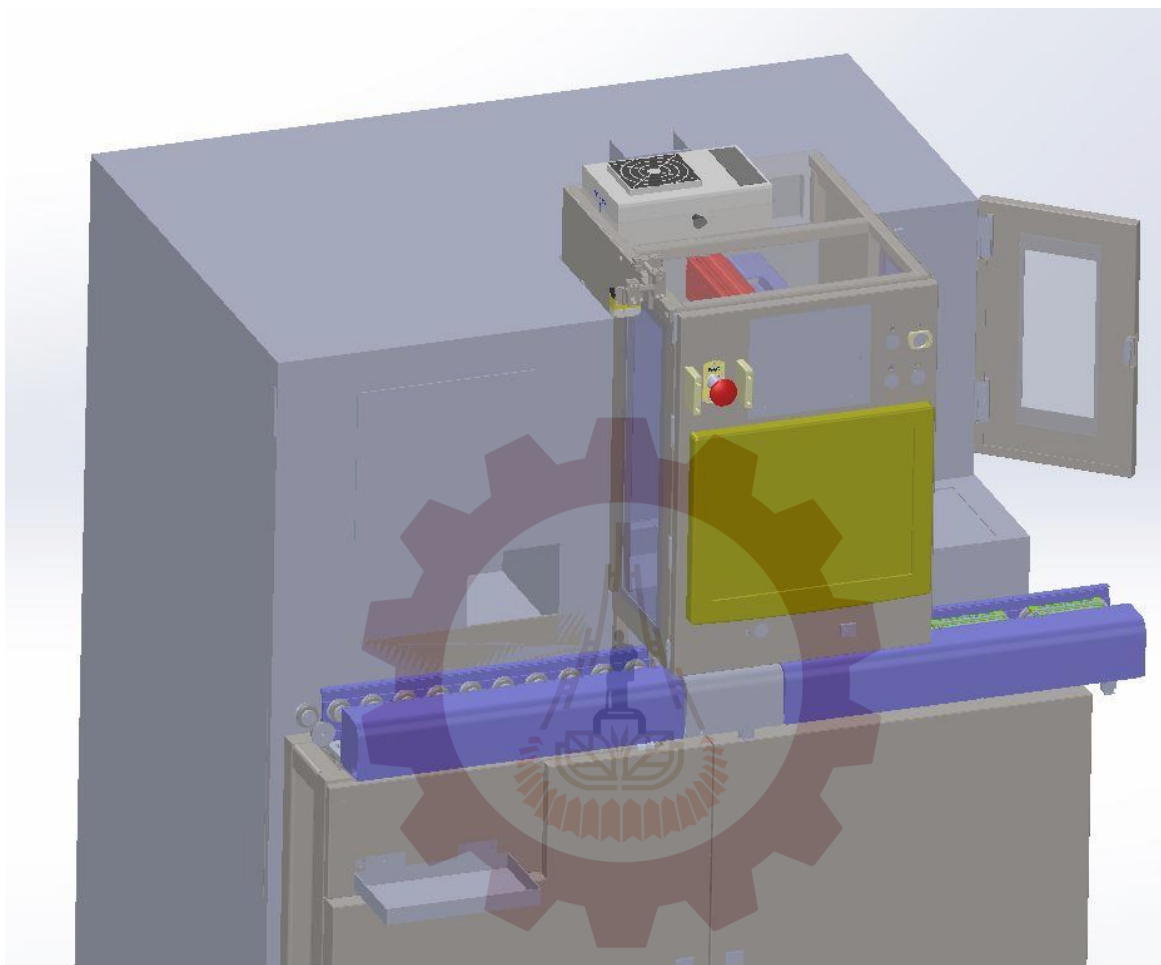
รูปที่ 3.9 ภาพด้านบน



รูปที่ 3.10 ภาพด้านหน้า



รูปที่ 3.11 ภาพด้านข้าง



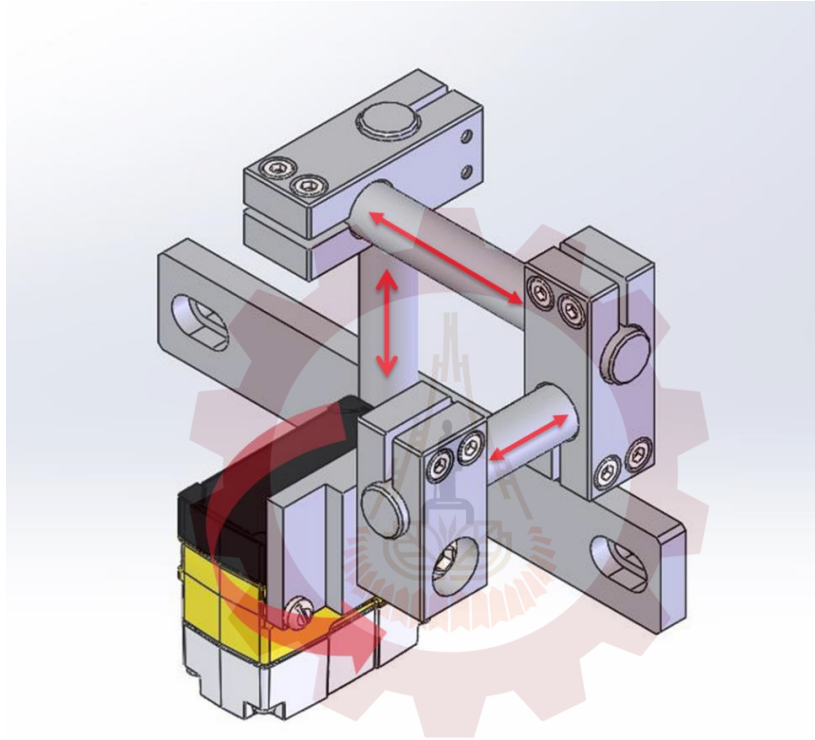
รูปที่ 3.12 ภาพจำลองการติดตั้งบนเครื่อง ACAM
 สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์



รูปที่ 3.13 ภาพจำลองการติดตั้งบนเครื่อง ACAM

ทิศทางการเคลื่อนที่ของ Camera holder

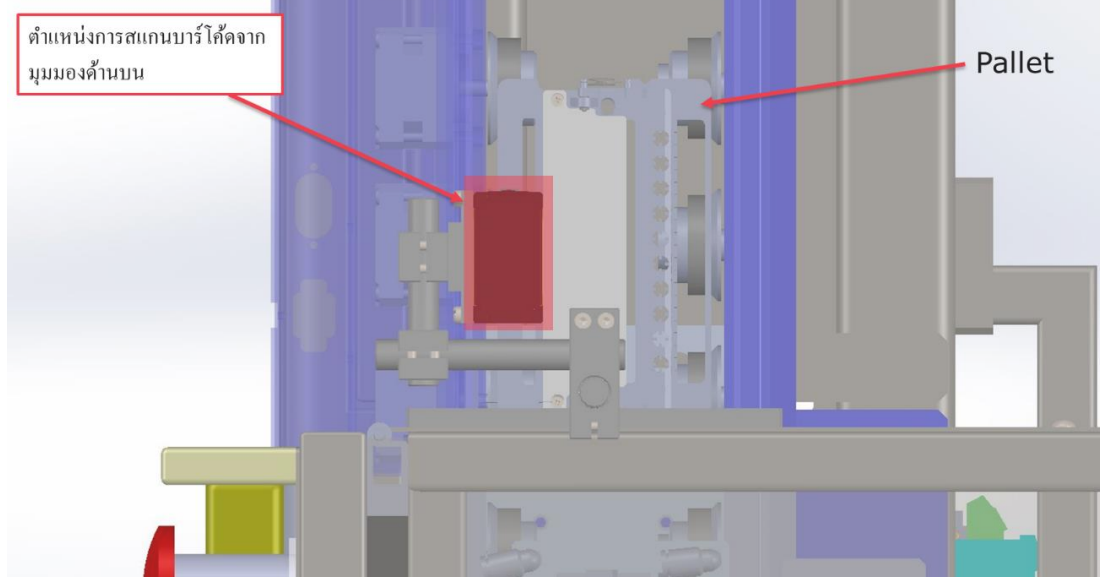
- สามารถเคลื่อนที่ได้ 3 แกน X Y Z
- ตรงตำแหน่งกล้องสามารถหมุนปรับมุมได้(Rotation)



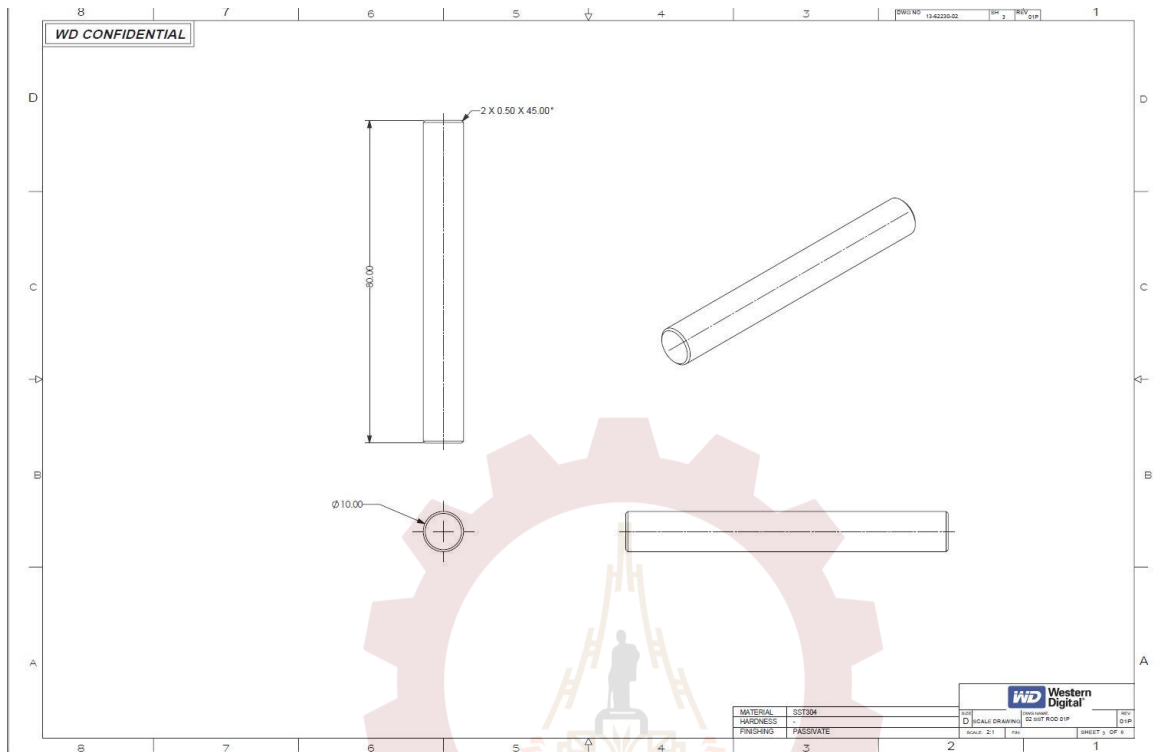
รูปที่ 3.14 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์จับยึด

ตำแหน่งการสแกนบาร์โค้ดบน Conveyor

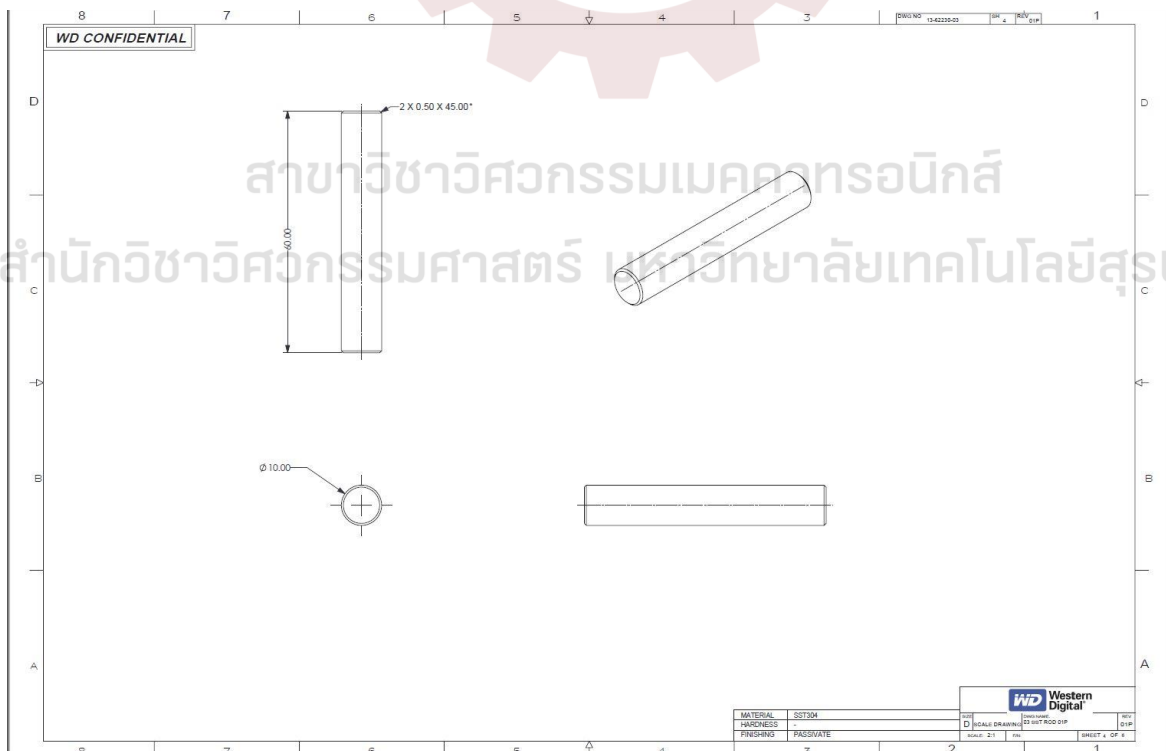
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งสแกนบาร์โค้ดบน Conveyor



รูปที่ 3.18 Drawing 3-6

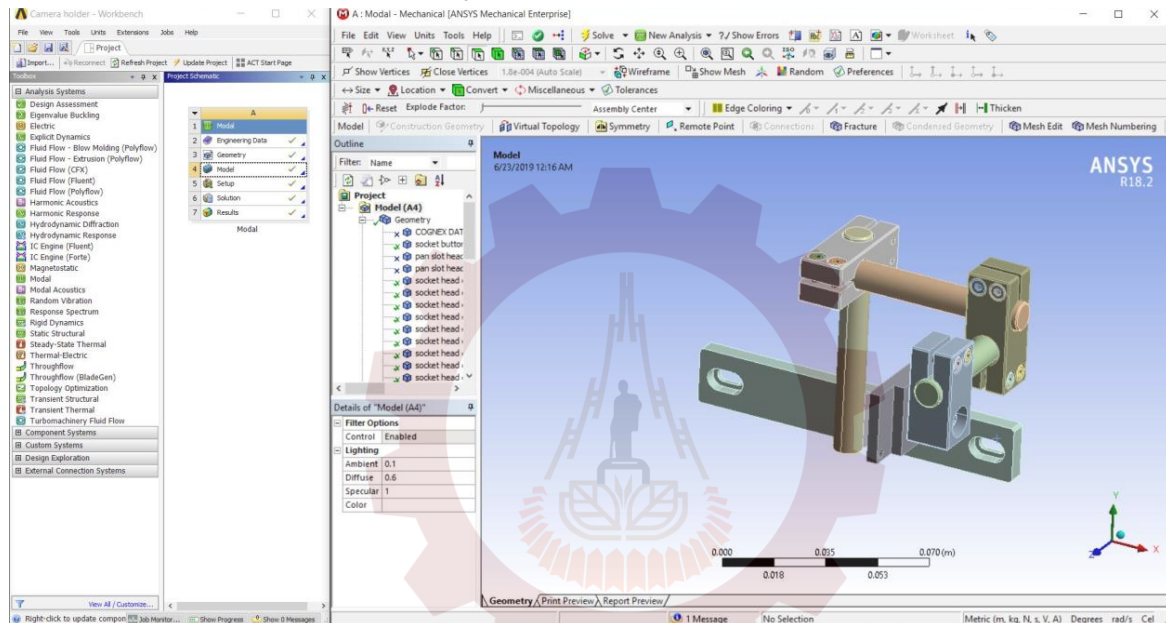


รูปที่ 3.19 Drawing 4-6

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

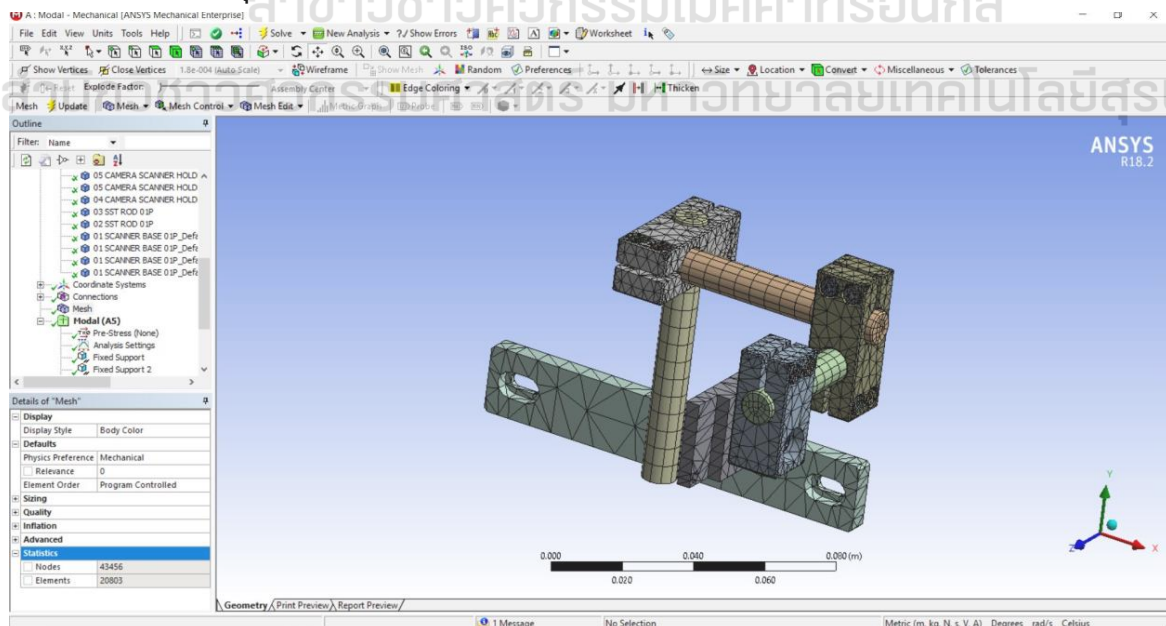
3.2.6 วิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติของ Barcode camera holder

วิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายโดยใช้โปรแกรม ANSYS 18.2 ในส่วนของ Workbench และเลือกโหมด Modal ในการวิเคราะห์โดยจะยึดจุด Support เป็นแบบ Fixed support ให้ตรงกับการติดตั้งของจริงเพื่อให้การจำลองการทำให้ Finite element ให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุดและจะทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 6 รูปร่างการสั่น (Mode shape)



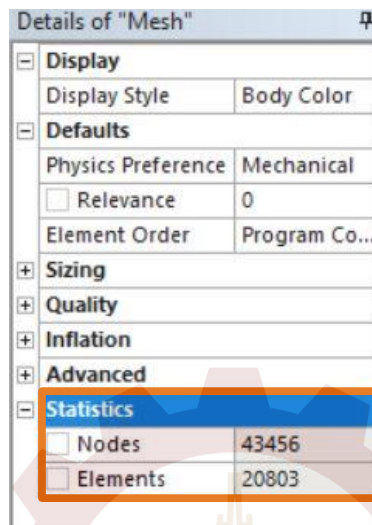
รูปที่ 3.22 ใช้โปรแกรม ANSYS 2018 ทำ Finite element modal analysis

การสร้าง Mesh บนอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายที่ออกแบบมา



รูปที่ 3.23 การสร้าง Mesh

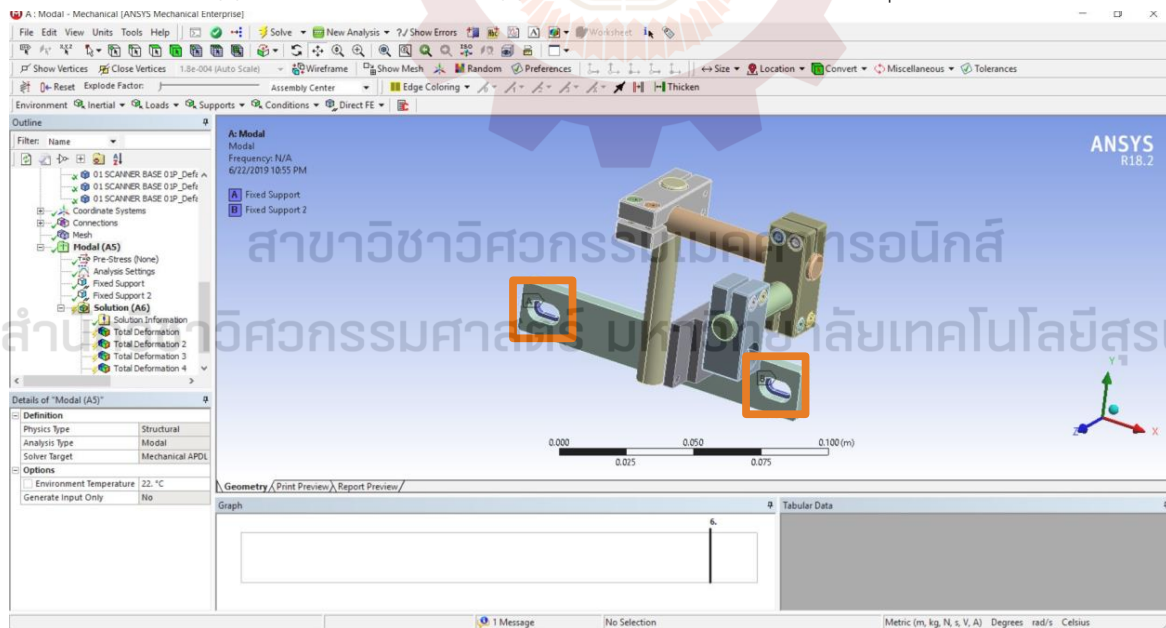
จำนวน Nodes และ Elements



รูปที่ 3.24 จำนวน Nodes และ Elements

ตำแหน่ง Support

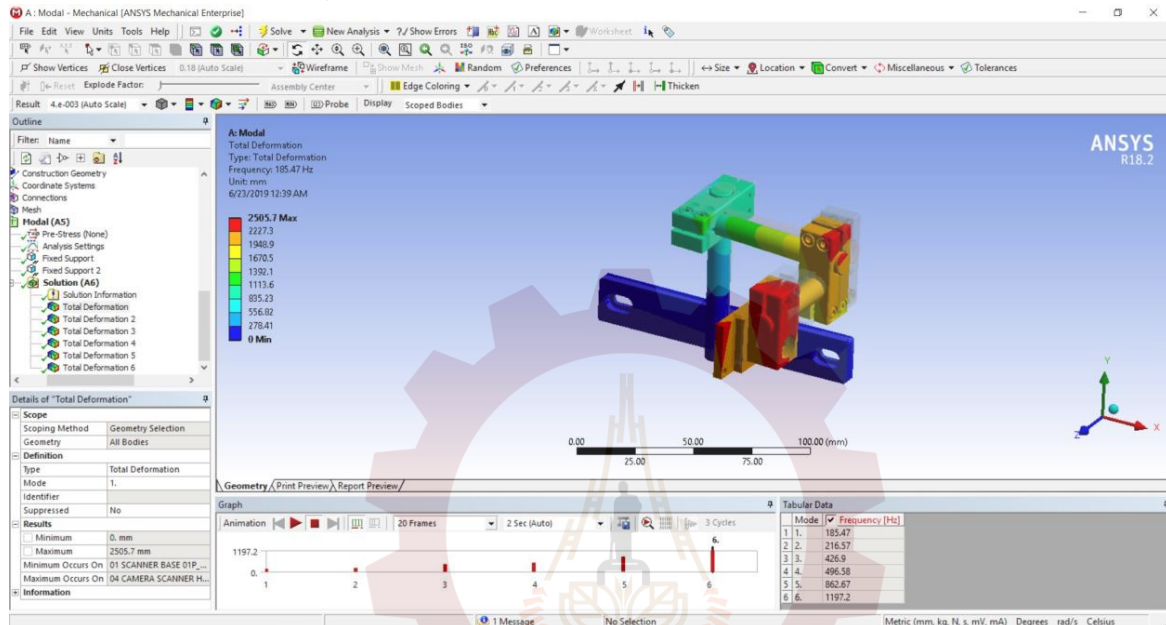
เราจะทำการยึด Support เป็นแบบ Fixed support ที่ตำแหน่ง slot ทั้ง 2 ด้านที่จุด A และ B



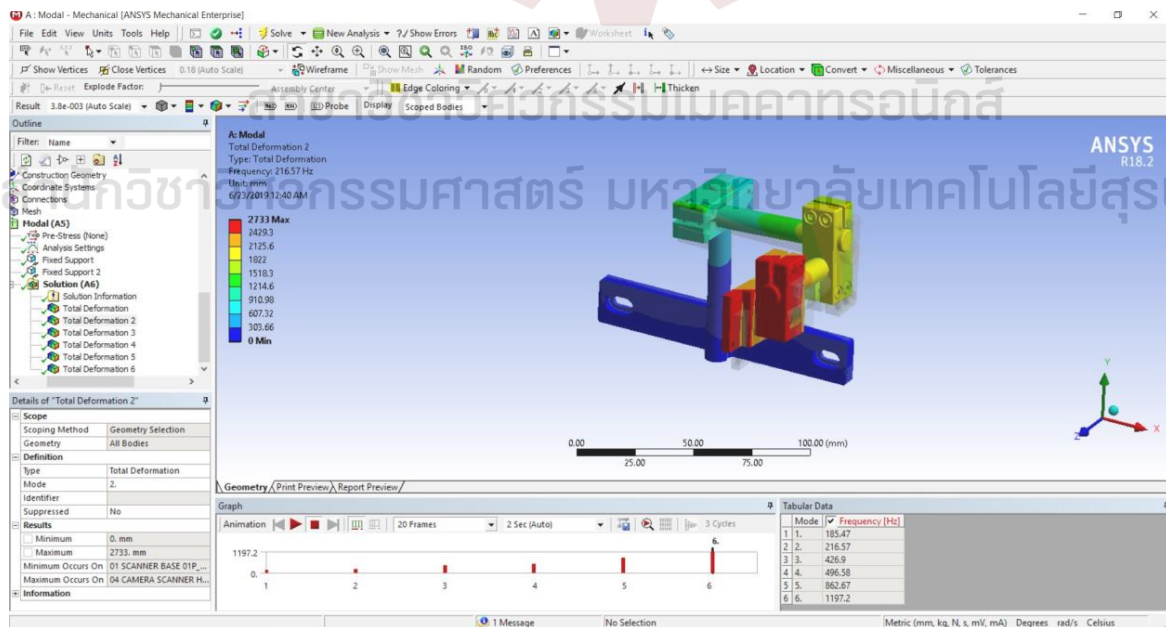
รูปที่ 3.25 ตำแหน่ง Fixed support

การวิเคราะห์ Modal analysis ทั้งหมด 6 mode

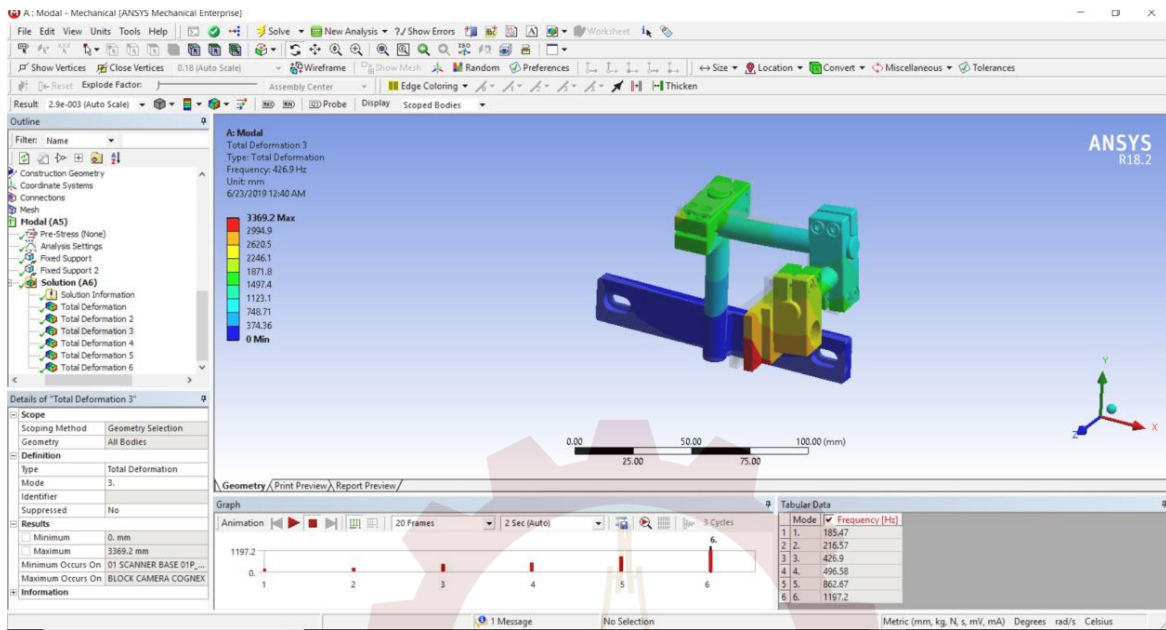
Modal analysis mode shape



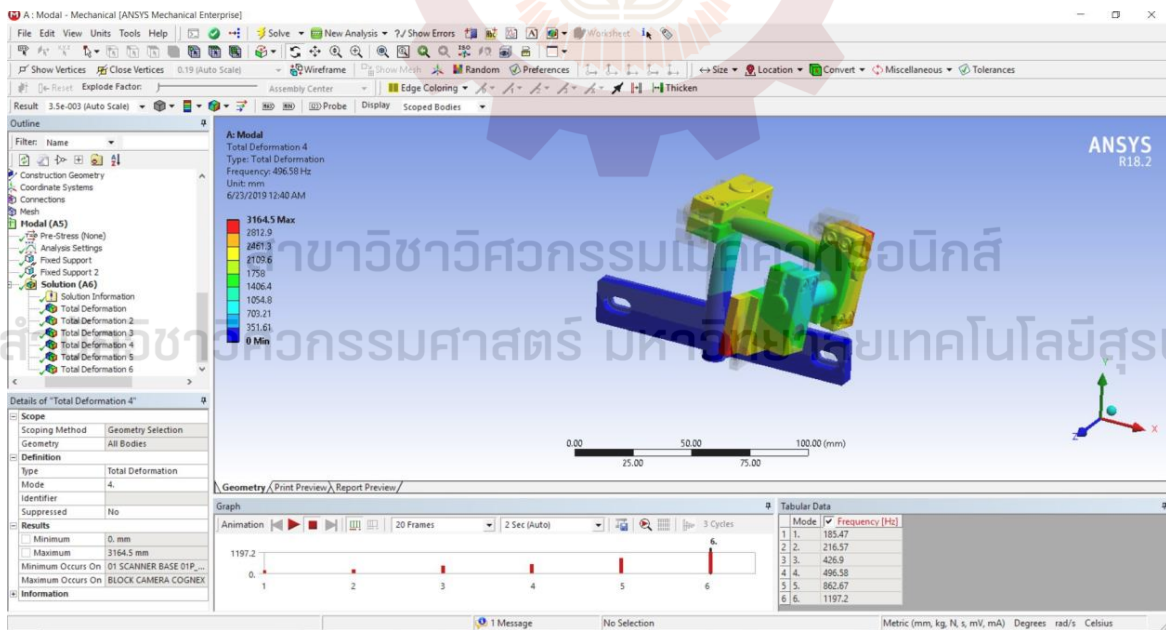
รูปที่ 3.26 Modal analysis mode 1



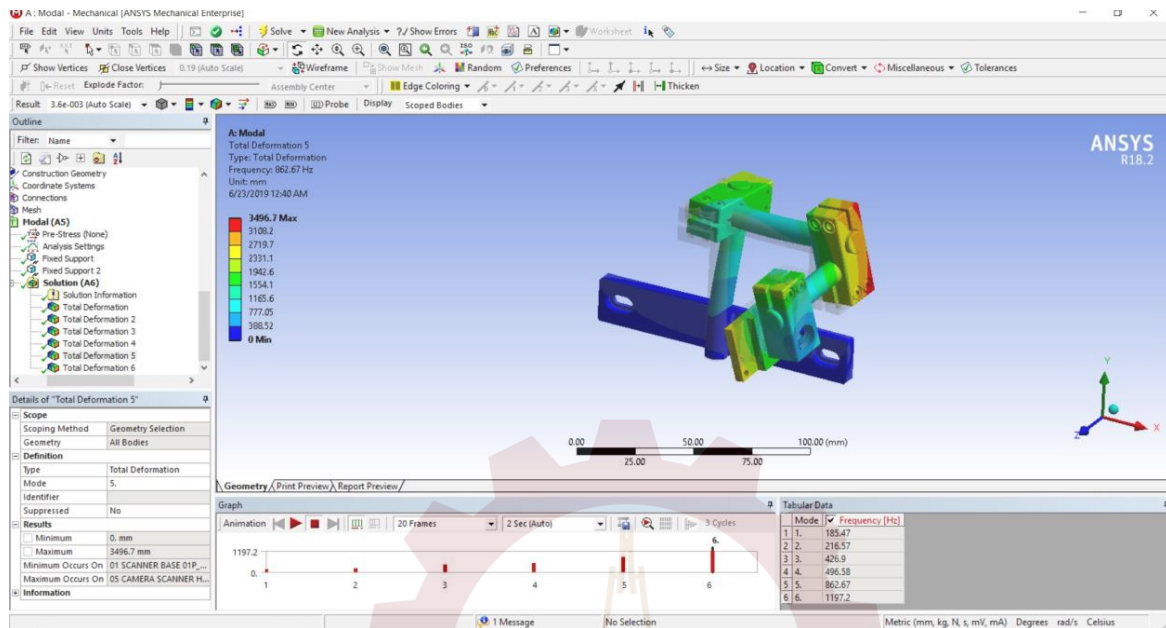
รูปที่ 3.27 Modal analysis mode 2



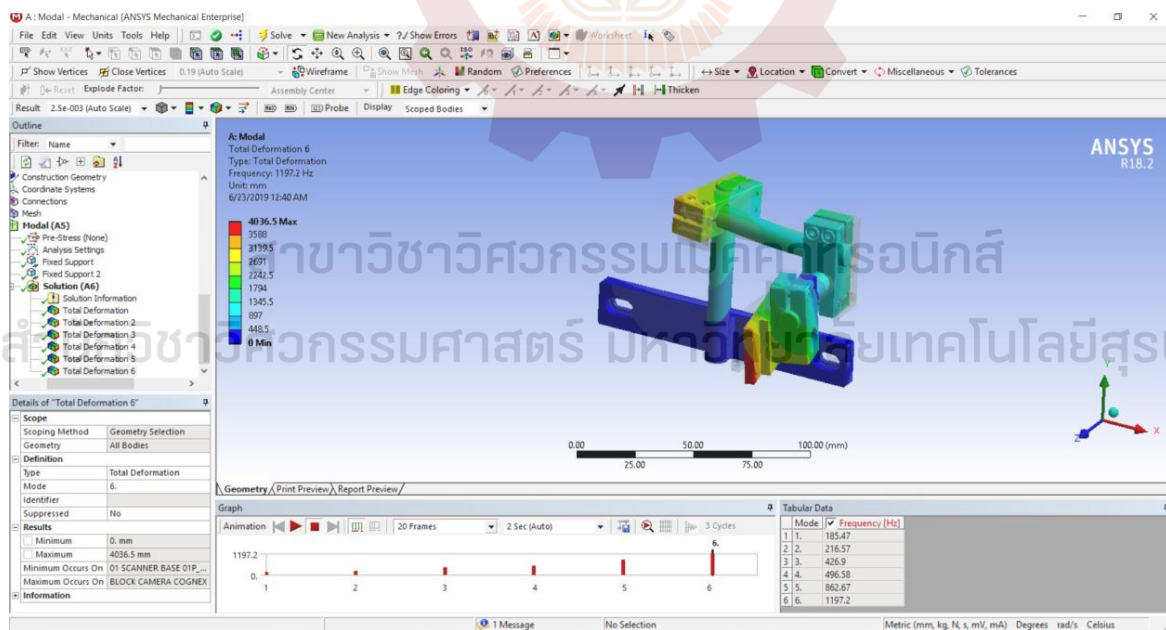
รูปที่ 3.28 Modal analysis mode 3



รูปที่ 3.29 Modal analysis mode 4



รูปที่ 3.30 Modal analysis mode 5



รูปที่ 3.31 Modal analysis mode 6

จากข้อมูลการวิเคราะห์หาความถี่ธรรมชาติทั้ง 6 mode ของ Image based barcode reader holder นั้นมีความถี่ธรรมชาติที่ต้องหลีกเลี่ยงดังนี้

Mode1 = 185.47 Hz

Mode2 = 216.57 Hz

Mode3 = 426.9 Hz

Mode4 = 496.58 Hz

Mode5 = 862.67 Hz

Mode6 = 1197.2 Hz

3.2.7 วัดค่าความถี่ธรรมชาติของตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย

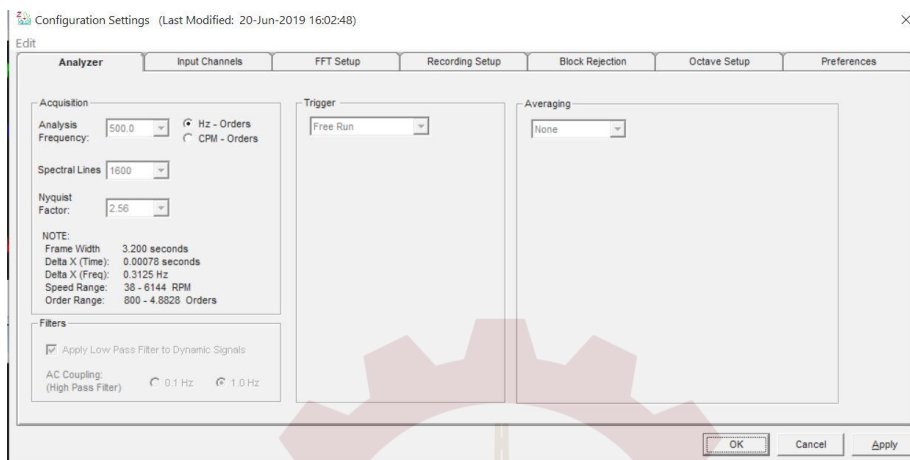
จะทำการวัดค่าความถี่ของเครื่อง ACAM ณ ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายโดยที่เครื่อง ACAM จะทำงานอยู่และเป็นช่วง Run Time ดังนั้นความถี่ที่วัดได้จะเป็นค่าที่เกิดขึ้นตอนเครื่องจักรเกิดการสั่นมากที่สุดและเราจะทำการนำค่าความถี่ที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับความถี่ที่เราทำการวิเคราะห์จาก Finite element modal analysis หรือไม่

เราจะวัดความถี่โดยการใช้ IOtech 640 Dynamic Signal Analyzers for Vibration Analysis and Monitoring รูปที่ 3.32 ซึ่งมีหัววัดค่าความถี่แบบ 3 แกน X Y Z โดยใช้โปรแกรม Ez-Analyst V5.1.140 และทำการวิเคราะห์ออกมาเป็น Time Domain และ Frequency Domain



รูปที่ 3.32 IOtech 640 Dynamic Signal Analyzers for Vibration Analysis and Monitoring

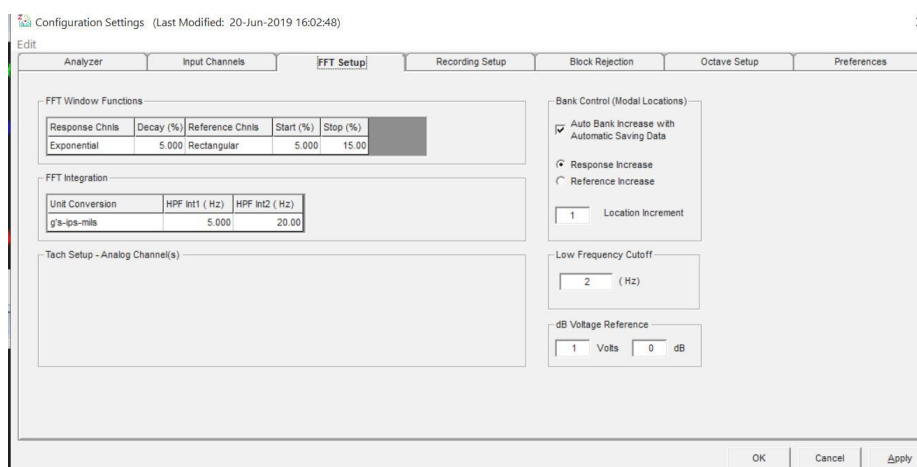
การตั้งค่า Configuration ในโปรแกรม Ez-Analyzer



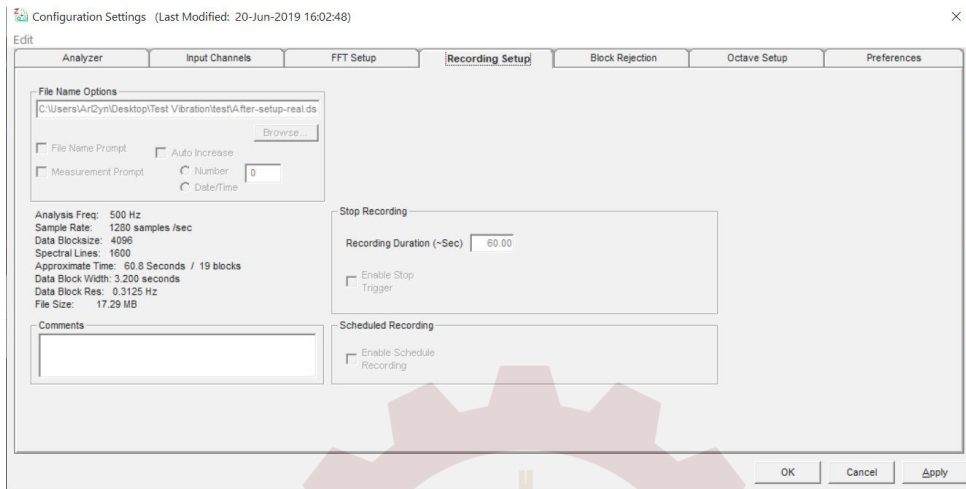
รูปที่ 3.33 Analyzer



รูปที่ 3.34 Input Channels



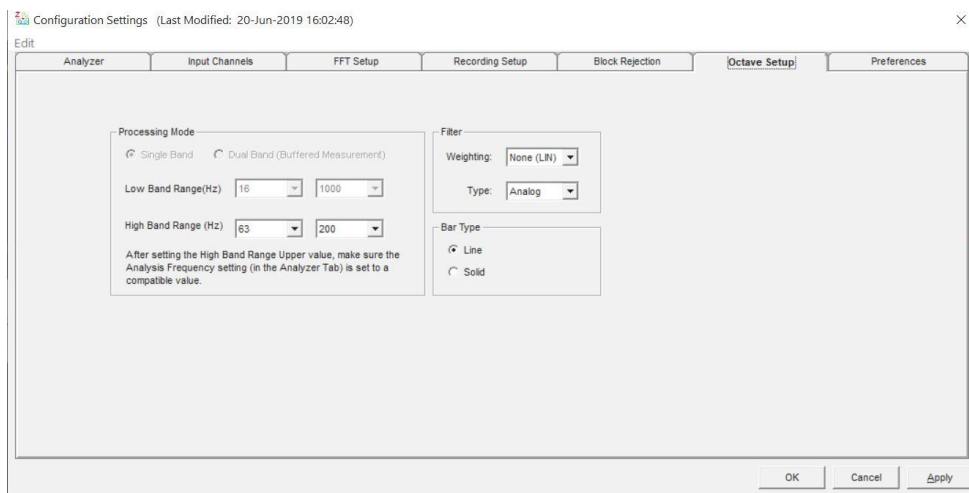
รูปที่ 3.35 FFT Setup



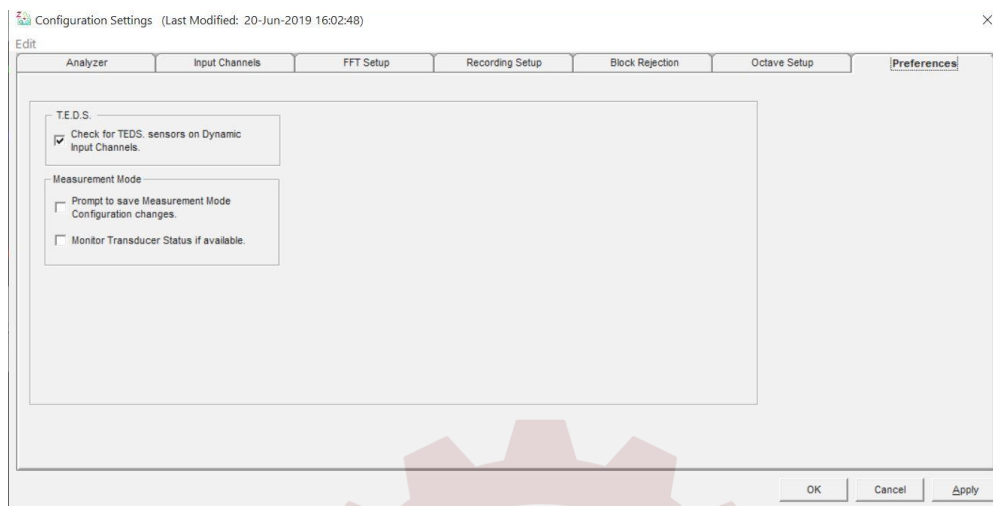
รูปที่ 3.36 Recording Setup



รูปที่ 3.37 Block Rejection

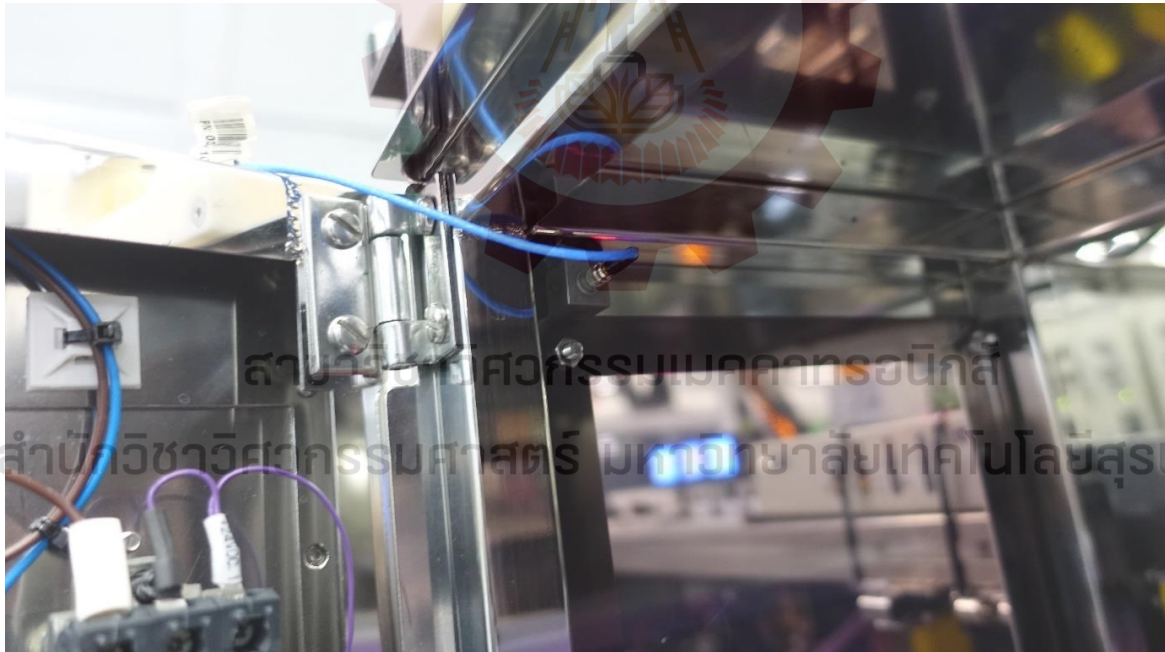


รูปที่ 3.38 Octave Setup



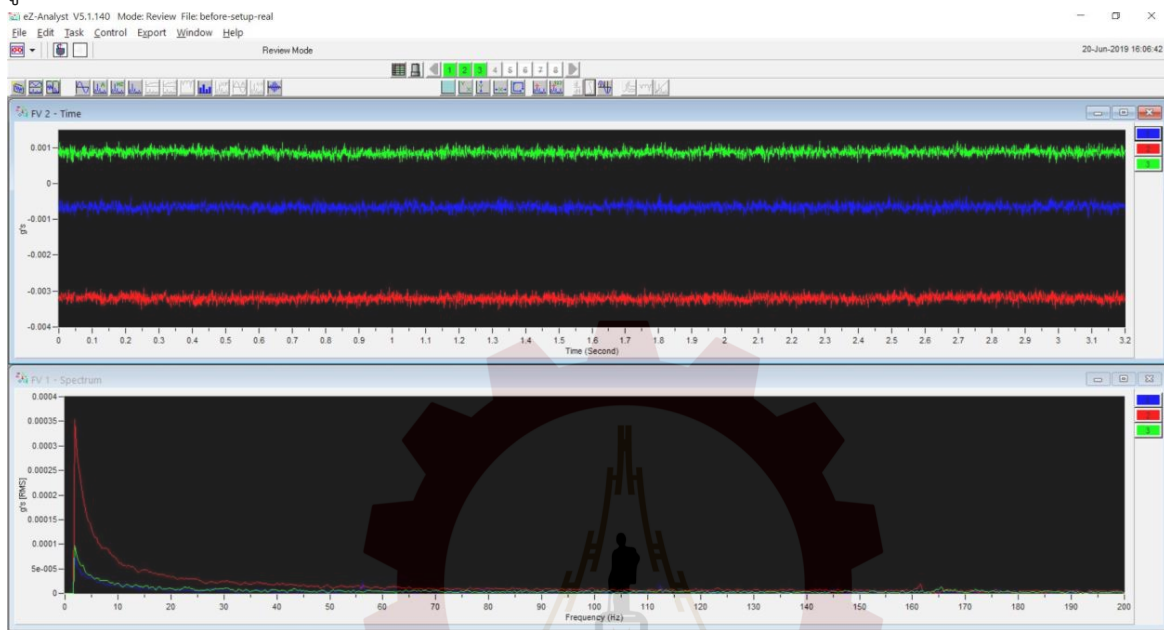
รูปที่ 3.39 Preferences

ตำแหน่งการติดตั้งการวัดค่าความถี่ก่อนติดตั้งอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย



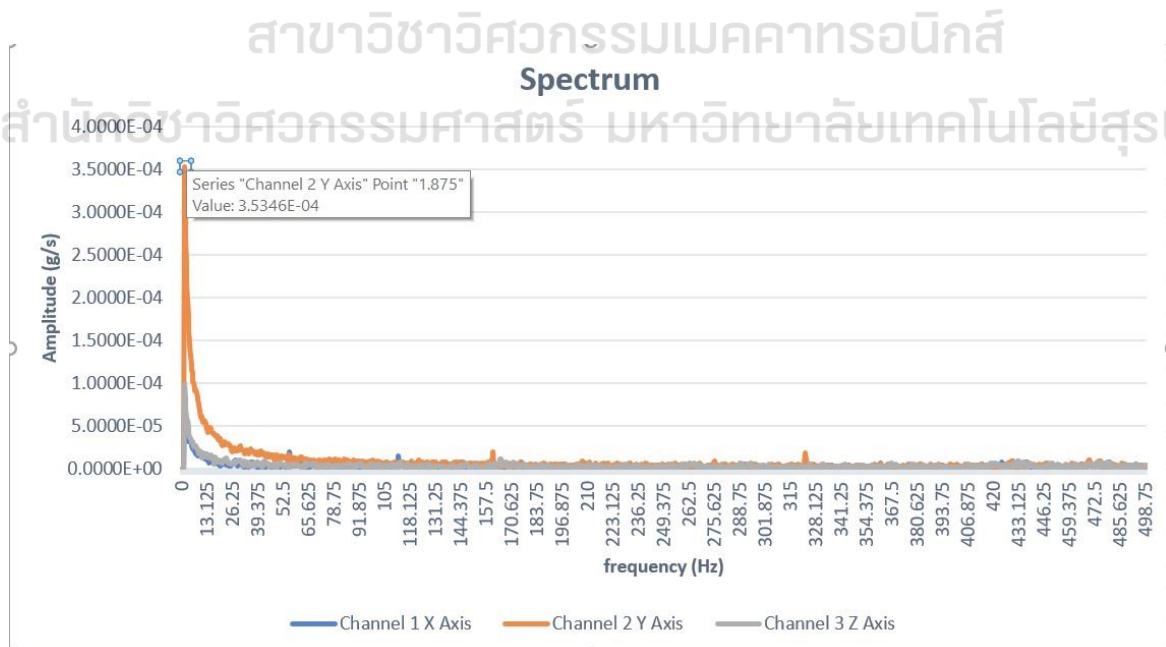
รูปที่ 3.40 ตำแหน่งติดตั้งหัววัดความถี่แบบ 3 แกน

จากโปรแกรม Ez-Analyst นี้จะเป็นการวัดค่าความถี่ของเครื่อง ACAM ก่อนการทำงาน Standby mode
รูปที่ 3.41



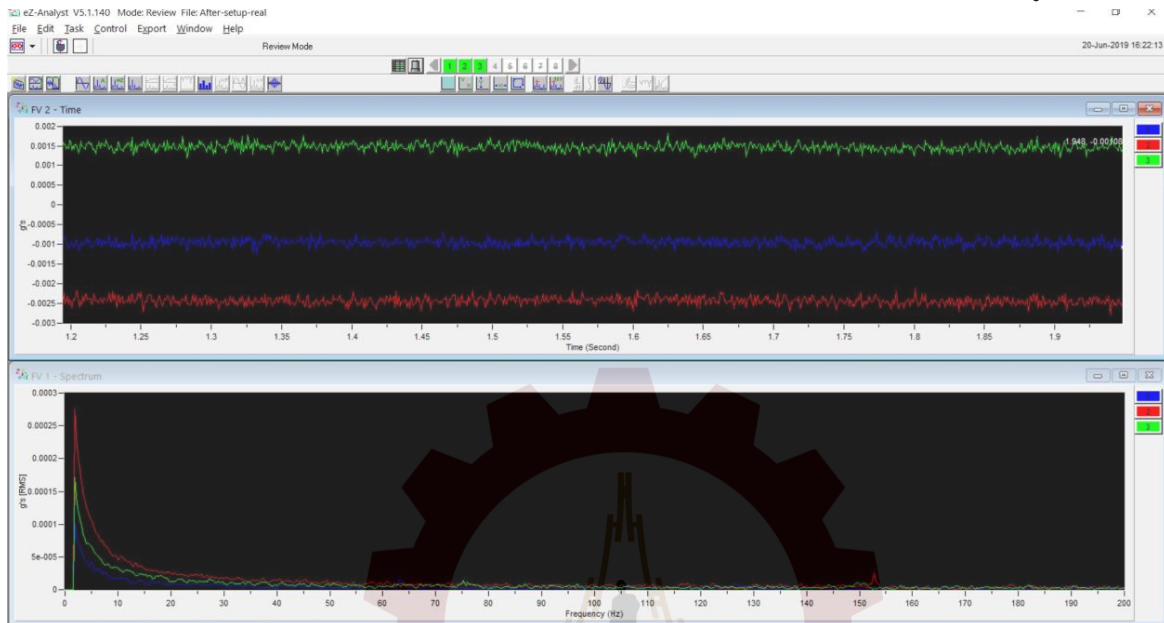
รูปที่ 3.41

นำข้อมูลจากโปรแกรม Ez-Analyst มา plot graph ในโปรแกรม Excel เพื่อให้ง่ายต่อการดูค่าความถี่ธรรมชาติซึ่งความถี่ธรรมชาติเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 1.875 Hz มีขนาดอยู่ที่ 3.5346×10^{-4} หรือ 0.0003534578 รูปที่ 3.42 จะเห็นได้ว่าความถี่จากแกน Y จะมีค่าสูงที่สุดและ แกน X Z มีขนาดความถี่ใกล้เคียงกัน



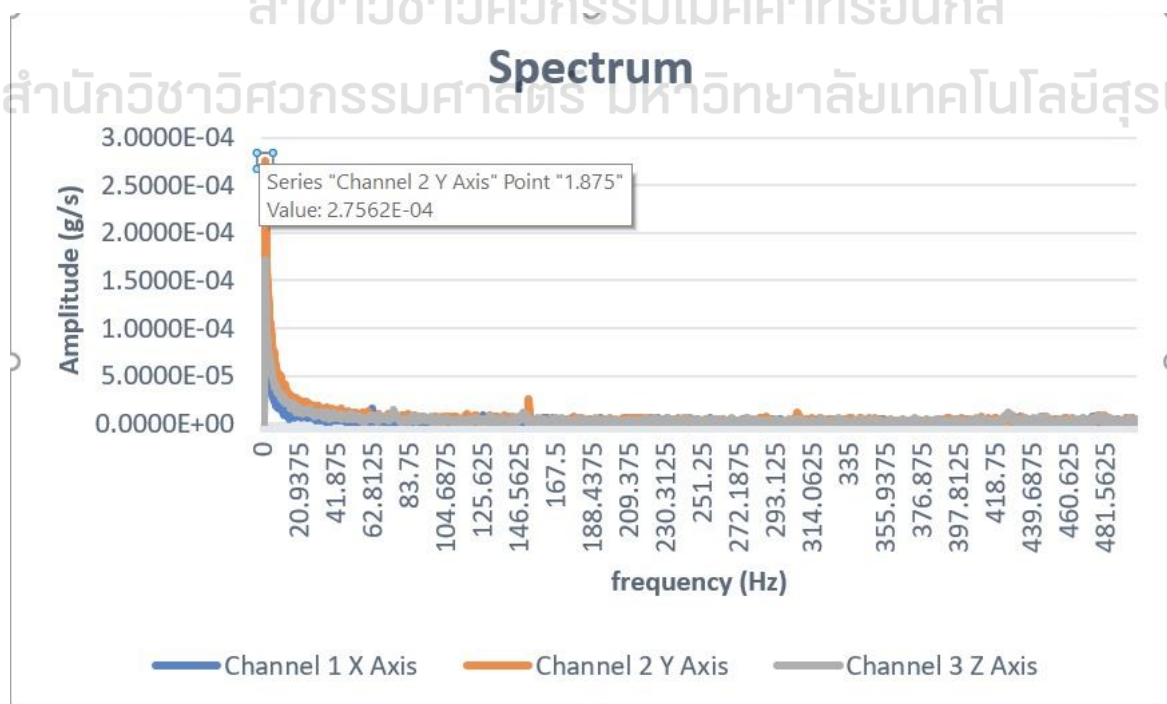
รูปที่ 3.42 กราฟ frequency domain ขณะเครื่อง ACAM Standby mode

จากโปรแกรม Ez-Analyst นี้จะเป็นการวัดค่าความถี่ของเครื่อง ACAM ขณะทำงาน(Run time) รูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43

นำข้อมูลจากโปรแกรม Ez-Analyst มา plot graph ในโปรแกรม Excel เพื่อให้ง่ายต่อการดูค่าความถี่ธรรมชาติซึ่งความถี่ธรรมชาติเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 1.875 Hz มีขนาดอยู่ที่ $2.7562E-04$ หรือ 0.0002756214 รูปที่ 3.44 จะเห็นได้ว่าความถี่จากแกน Y จะมีค่าสูงที่สุดและความถี่ในแกน X มีขนาด $1.0144E-04$ หรือ 0.0001014372 และความถี่แกน Z มีขนาด $1.7103E-04$ หรือ 0.0001710313 จากกราฟจะเห็นได้ว่าความถี่ของแกน Y ลดลงและมีความถี่ที่แกน X และ Z เพิ่มมากขึ้นขณะเครื่อง ACAM ทำงาน

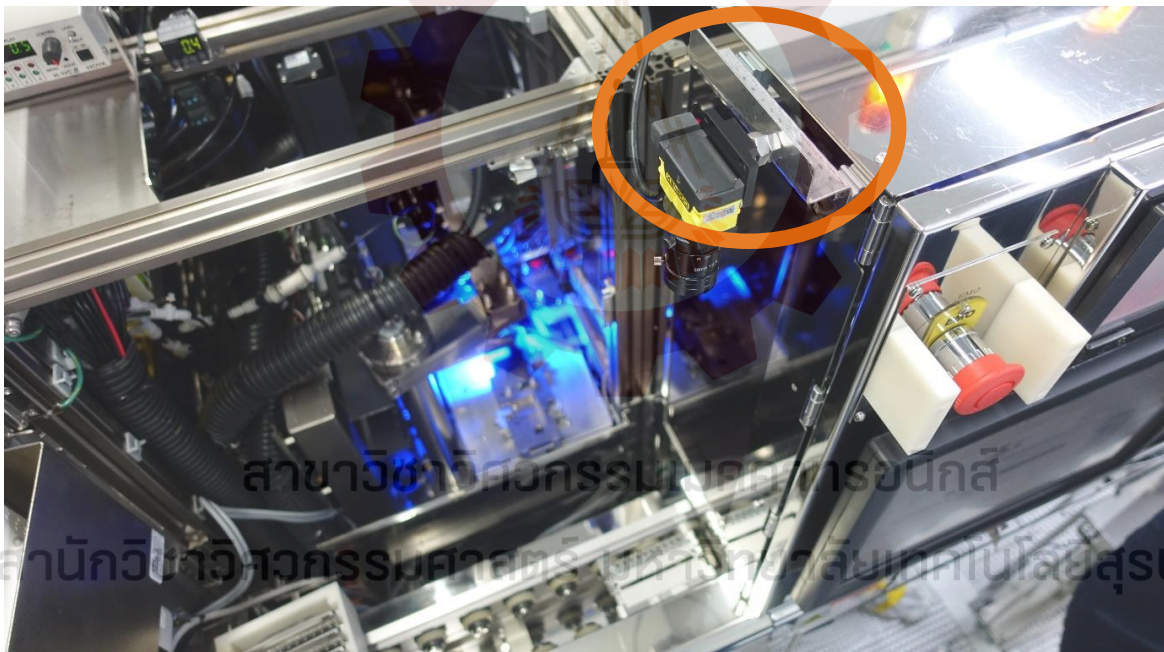


รูปที่ 3.44 กราฟ frequency domain ขณะเครื่อง ACAM Run time

จากผลการวัดค่าความถี่โดยใช้เครื่อง IOtech 640 Dynamic Signal Analyzers for Vibration Analysis and Monitoring นั้นจะเห็นได้ว่าความถี่ธรรมชาติ ณ ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายนั้นมีค่าเท่ากับ 1.875 Hz ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับความถี่ของ Finite element modal analysis แล้วสามารถใช้งานอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายที่เราออกแบบมาได้เพราะว่าความถี่ธรรมชาติของเครื่อง ACAM ไม่ตรงกับความถี่ของ FEA ทั้ง 6 mode shape

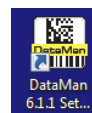
3.2.8 การติดตั้ง COGNEX DataMan 70S

ระหว่างรออุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายที่ได้ทำการสั่งซื้อไปกับทาง Supplier ระหว่างนี้เราจะทำการติดตั้ง Image based barcode reader เพื่อทำการตั้งค่าและลิ่งสัญญาณ Trigger ไปยังเครื่อง ACAM เพราะต้องการใช้งานแทนที่ Barcode reader แบบ laser เดิมดังนั้นเราจึงใช้แผ่น Stainless steel ตีขึ้นรูปโดยการใช้ซ็อนทุบขึ้นรูปขึ้นงานเพื่อใช้งานชั่วคราวก่อนดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45

การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อส่งสัญญาณ Trigger ไปยังเครื่อง ACAM



เมื่อเราทำการติดตั้งโปรแกรม DataMan 6.1.1 Setuptool แล้วทำการทดลองเครื่องอ่านบาร์โค้ดว่าทำงานได้หรือไม่โดยการ Connect เข้ากับคอมพิวเตอร์ที่เราลงโปรแกรมไว้แล้วเช็ค Com port จากนั้นเมื่อ Connect เรียบร้อยแล้วก็ทำการตั้งค่าเครื่องอ่านบาร์โค้ดให้ภาพที่คมชัดและทำให้การอ่านค่าของกล้องมีความเร็วมากที่สุดที่จะเป็นไปได้จากนั้นเมื่อเราทราบ Com port แล้วเราต้องการส่งสัญญาณ Trigger โดยใช้ Com port On/Off

จะต้องทำการเขียนโค้ดเพื่อรับสัญญาณ Trigger จาก Comport โดยใช้ Code ต่อไปนี้

```
public void BarcodeTrigger(byte CommPort)
{
    switch (CommPort)
    {
        case 3: //Pallet Barcode
            _system.SendCommand("TRIGGER ON");
            break;
    }
}
```

รูปที่ 3.46 Code สำหรับสัญญาณ On ที่ Com port

```
public void ReadBarcode(byte CommPort)
{
    string str;
    switch (CommPort)
    {
        case 3: //Pallet Barcode
            _system.SendCommand("TRIGGER OFF");
            break;
    }
}
```

รูปที่ 3.47 Code สำหรับสัญญาณ Off ที่ Com port

Code นี้สำหรับเรียกใช้ฟังก์ชันสัญญาณ ON และ OFF จาก Comport ที่ได้เขียนเอาไว้ข้างต้น Comport จะอ่านสัญญาณ ON OFF มาจาก Image based barcode reader โดยที่เมื่อเครื่องอ่านบาร์โค้ดทำงาน โปรแกรมก็จะทำการเปลี่ยนสัญญาณ Trigger ไปเป็น String โดยอัตโนมัติ

```
case 2://Barcode Trigger
    if (!myIOCtrl.Output(Output.StandbyMotor) &&
        !myIOCtrl.Output(Output.OutgoingMotor))
    {
        m_Main.BarcodeID[0] = "";
        m_Main.BarcodeTrigger(3);
        BarcodeStartTime[0] = Environment.TickCount;
        BarcodeSeq[0] = 3;
    }
    break;
case 3://Read Barcode
    if ((Environment.TickCount - BarcodeStartTime[0]) > 300)
    {
        m_Main.ReadBarcode(3);
        BarcodeSeq[0] = 4;
    }
    break;
```

รูปที่ 3.48 Code สำหรับเรียกการใช้งาน สัญญาณจาก Com port เข้าเครื่อง ACAM

เมื่อเราทำการติดตั้ง image based barcode reader เสร็จแล้วและทำการตั้งสัญญาณ Trigger ไปยังเครื่อง ACAM เรียบร้อยแล้วเราก็จะทำการทดสอบการทำงานในการอ่าน Barcode ของเครื่อง ACAM ว่าสามารถอ่านบาร์โค้ดของ Pallet ได้ดีหรือไม่

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

เมื่ออุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายมาถึงเราก็จะทำการเปลี่ยนอุปกรณ์จับยึดและทำการทดสอบการอ่านบาร์โค้ดอีกครั้งและทำการบันทึกผลการทดลองจากการอ่านบาร์โค้ดของโปรแกรม DataMan 6.1.1 Setuptools และจากการอ่านบาร์โค้ดจากเครื่อง ACAM ดังนี้

4.1.1 ชิ้นงานจริงของอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย

- วัสดุเป็น Stainless steel 304
- มีจำนวน 2 ชิ้นสำหรับ ACAM22 และ ACAM34



รูปที่ 3.22 Image based barcode reader

4.1.2 การติดตั้งอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย

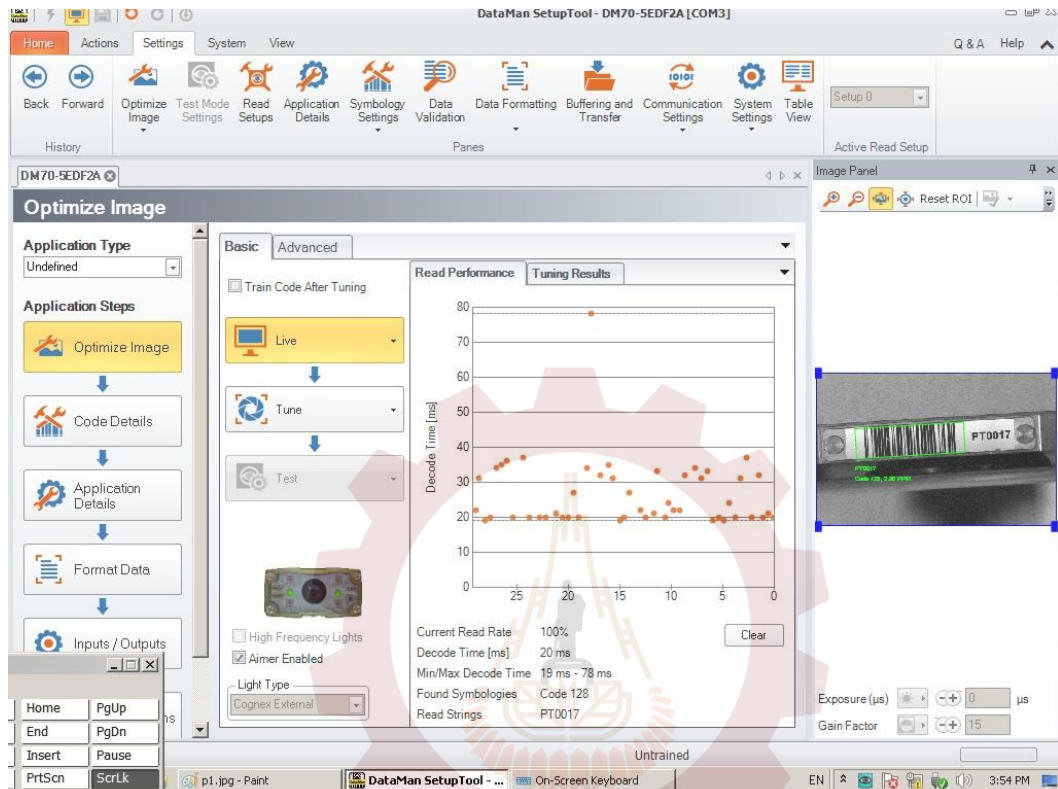


รูปที่ 3.23

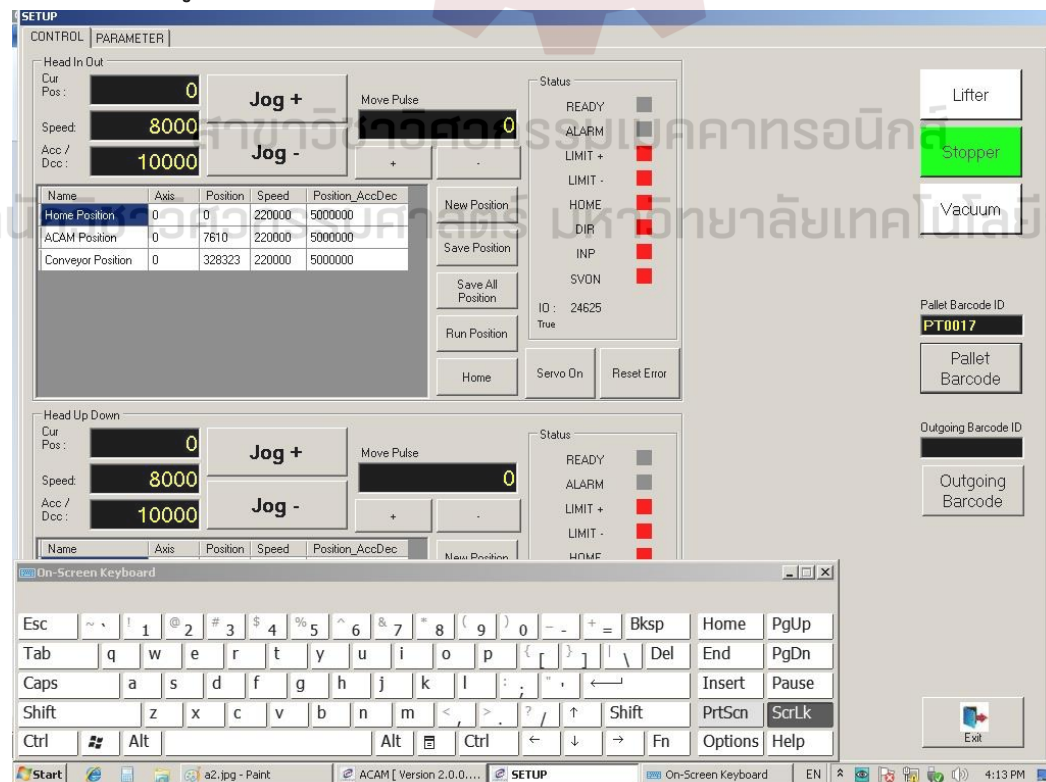


รูปที่ 3.24

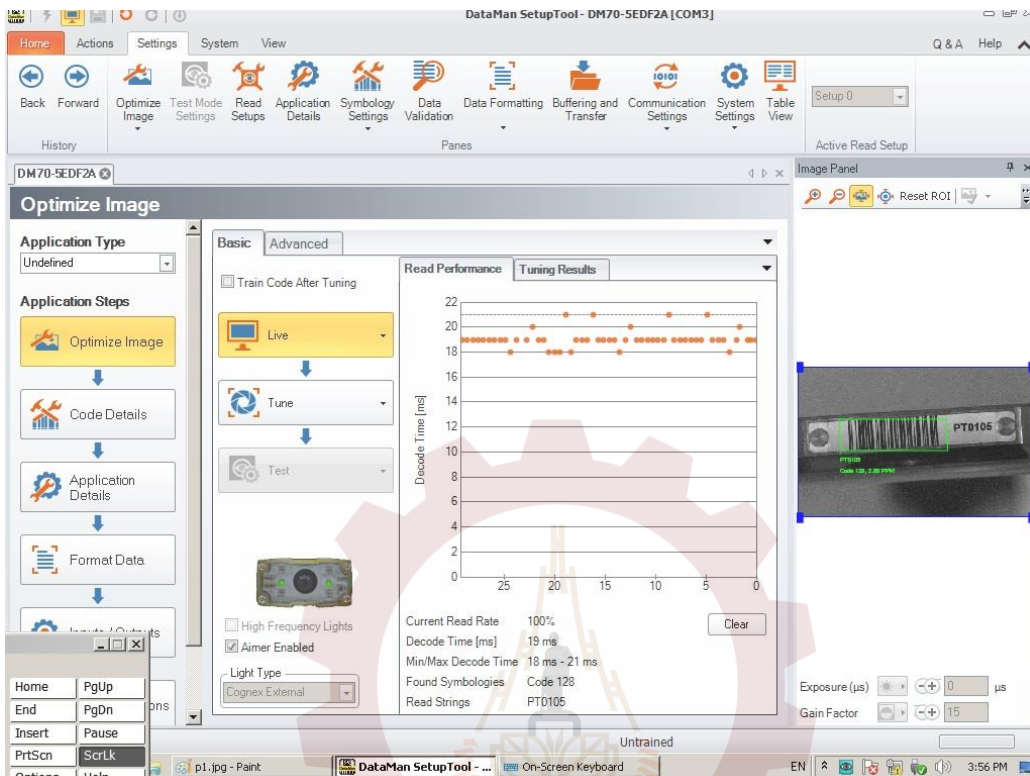
4.1.3 การทดลองอ่านบาร์โค้ดได้จากโปรแกรม DataMan Setuptools และเครื่อง ACAM22



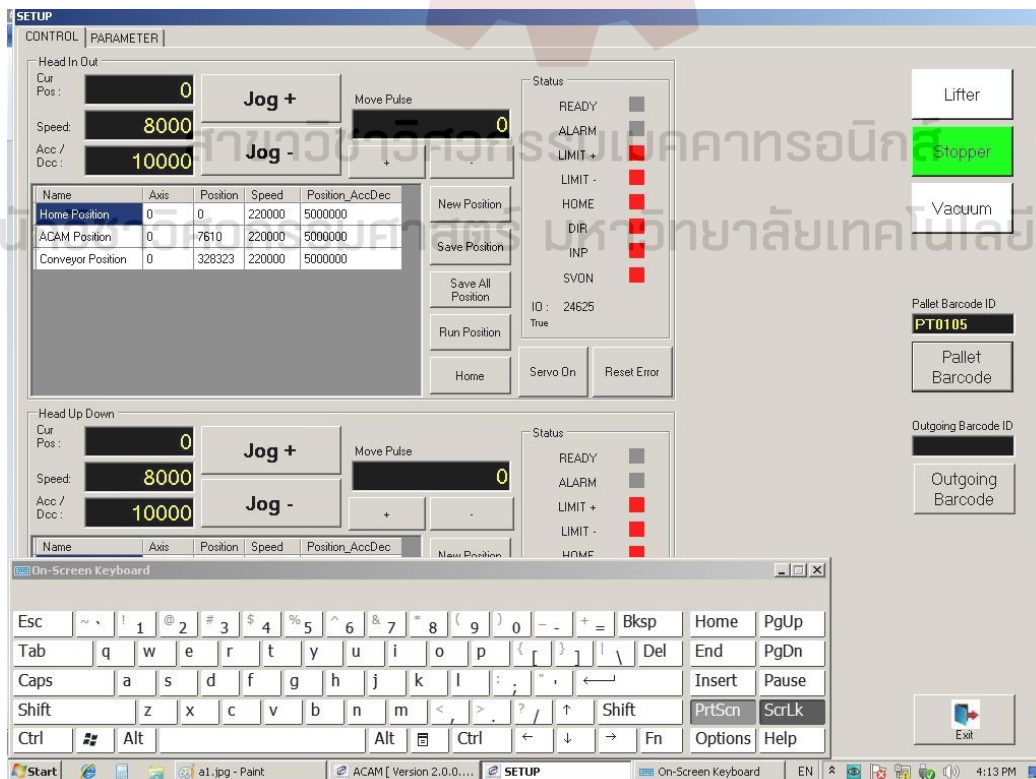
รูปที่ 3.25 อ่าน Barcode PT0017 จาก DataMan Setuptools



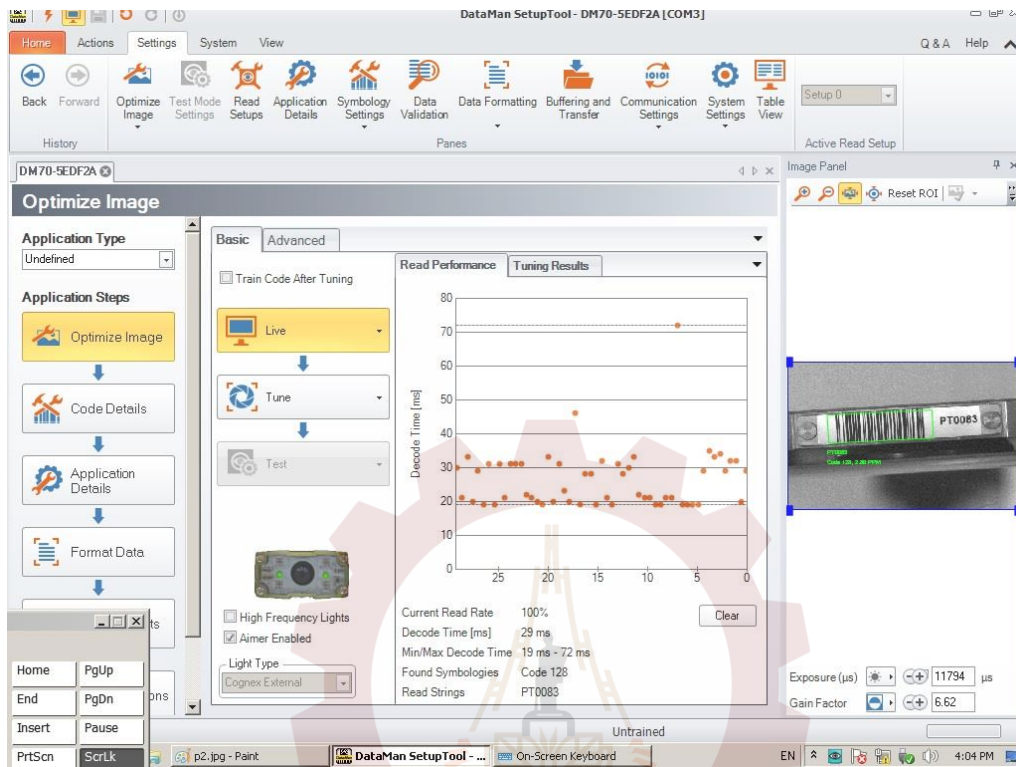
รูปที่ 3.26 อ่าน Barcode PT0017 จากเครื่อง ACAM22



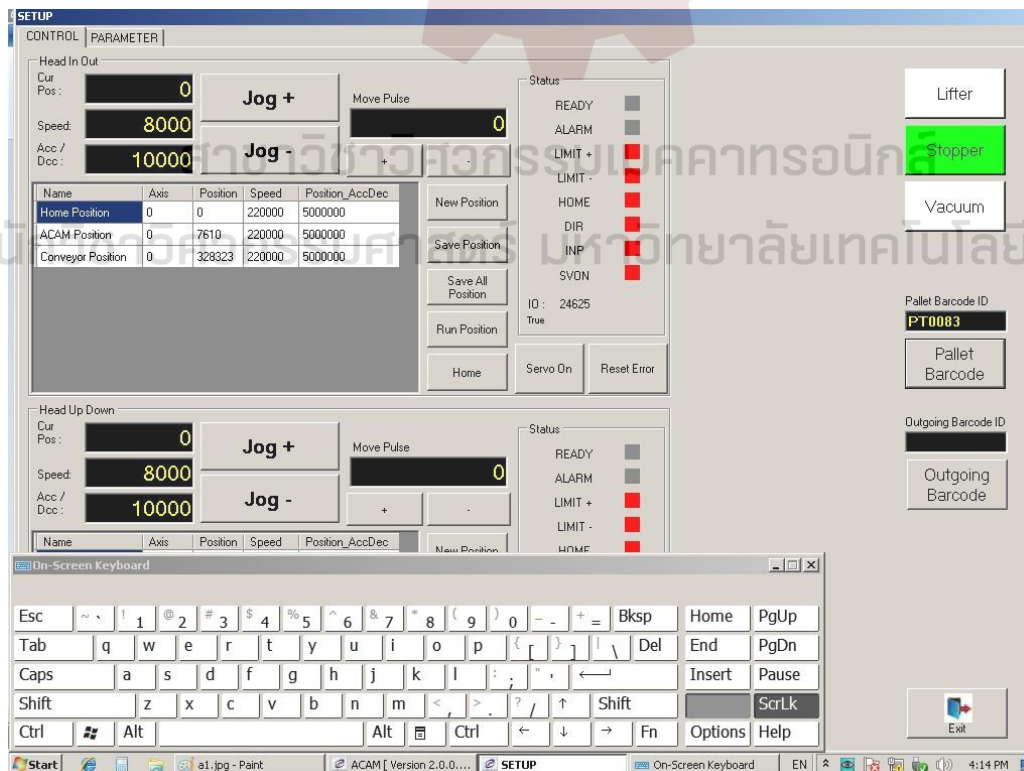
รูปที่ 3.27 อ่าน Barcode PT0105 จาก DataMan Setuptool



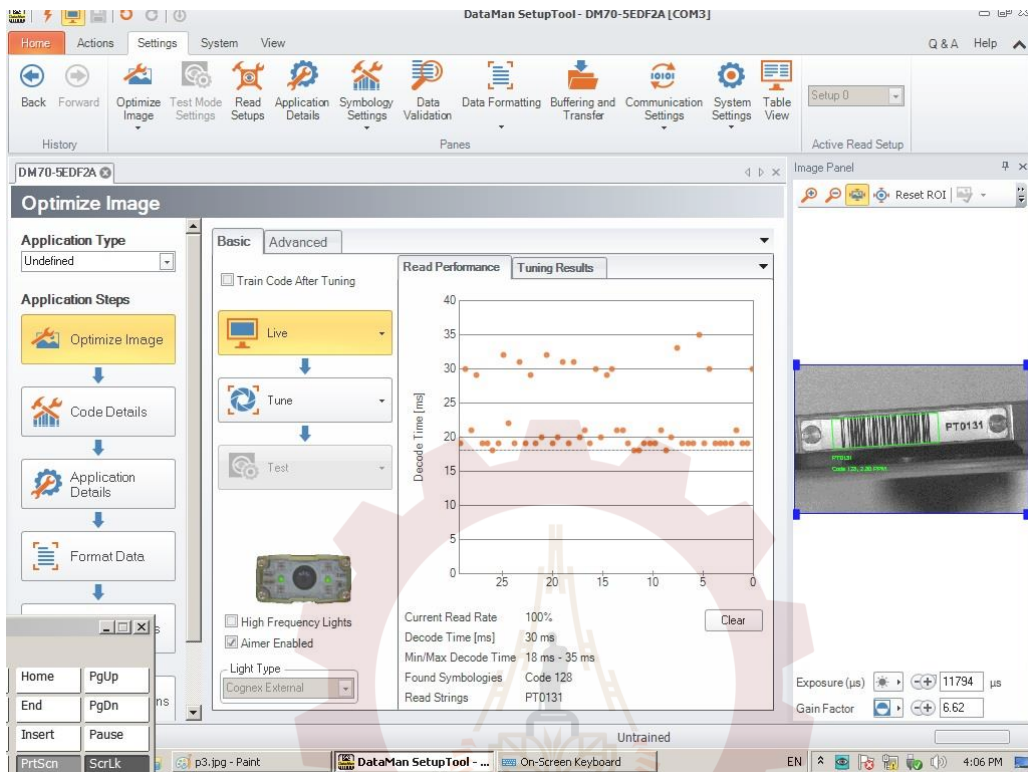
รูปที่ 3.28 อ่าน Barcode PT0105 จากเครื่อง ACAM22



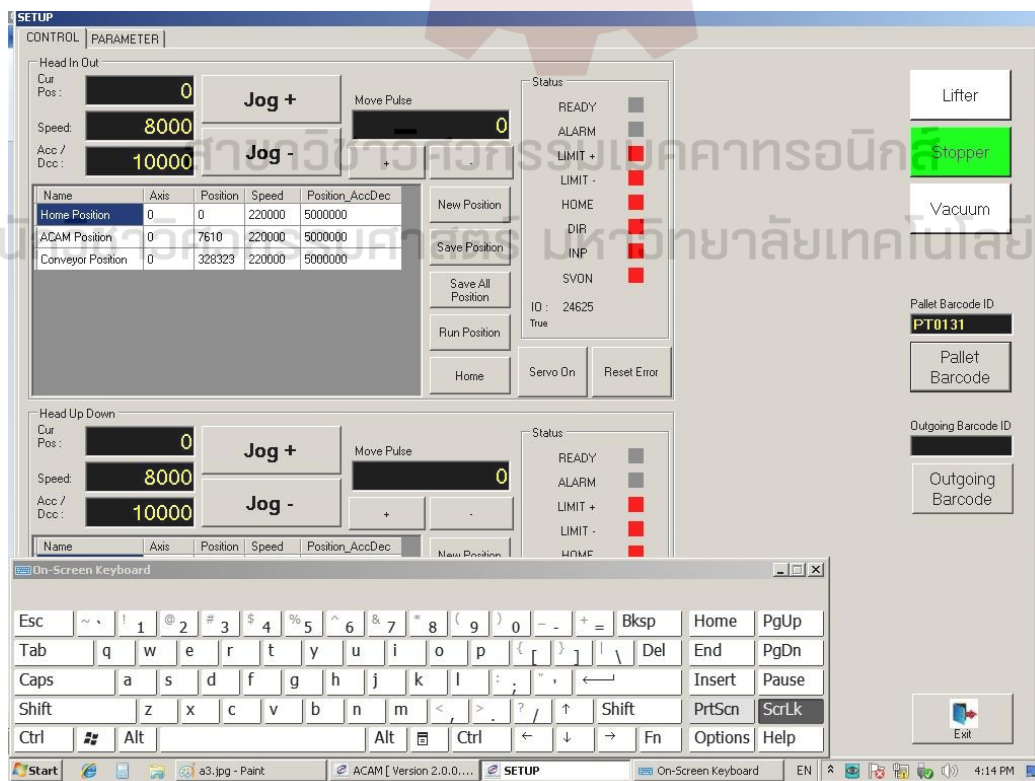
รูปที่ 3.29 อ่าน Barcode PT0083 จาก DataMan Setuptool



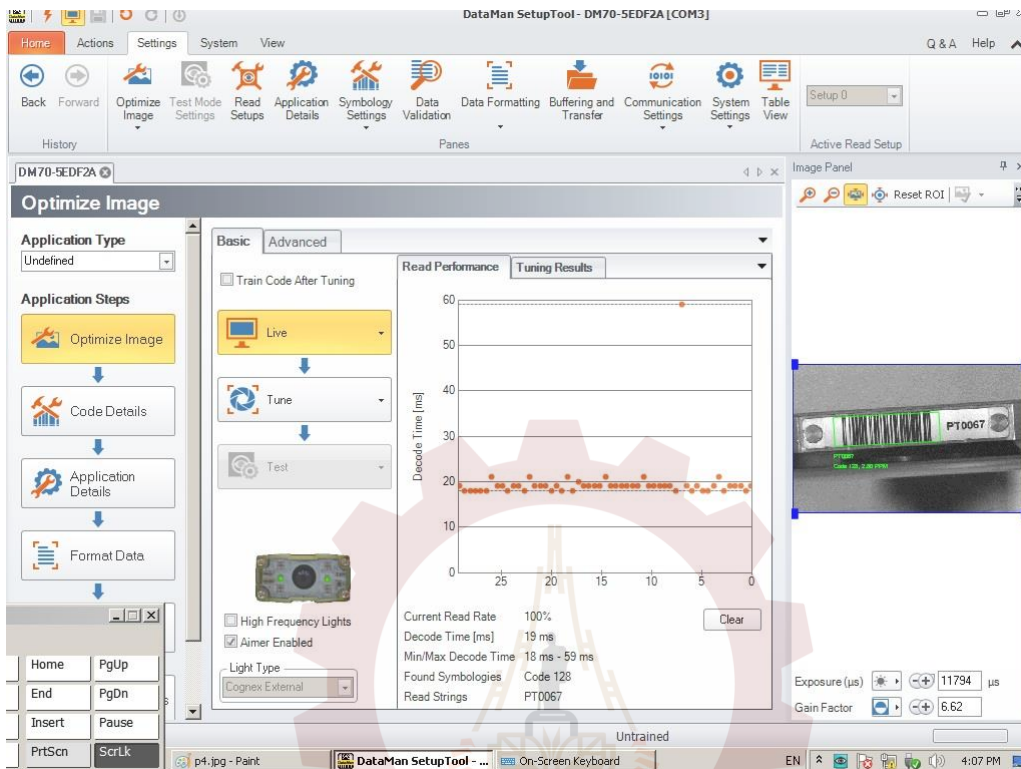
รูปที่ 3.30 อ่าน Barcode PT0083 จากเครื่อง ACAM22



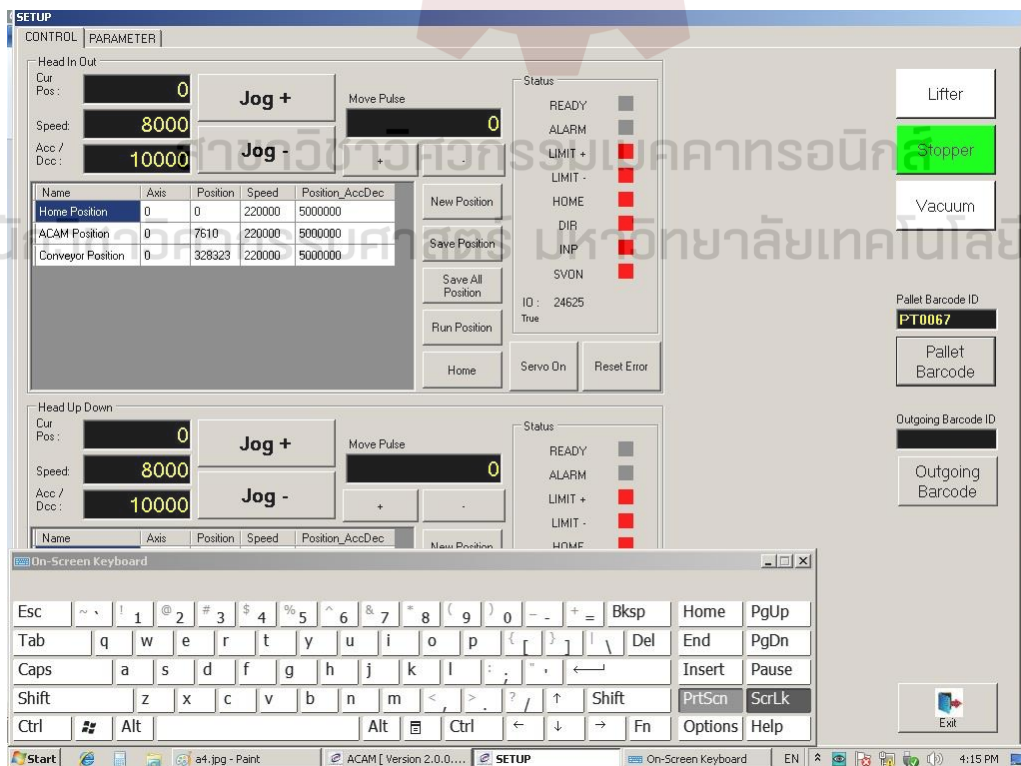
รูปที่ 3.31 อ่าน Barcode PT0131 จาก DataMan Setuptool



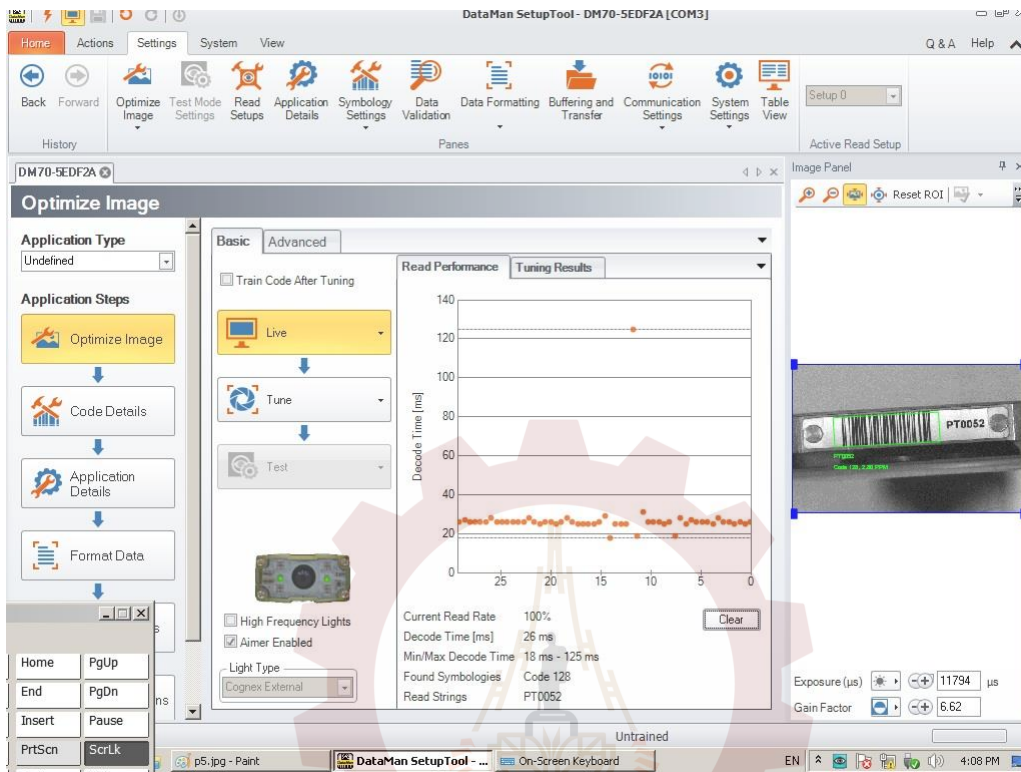
รูปที่ 3.32 อ่าน Barcode PT0131 จากเครื่อง ACAM22



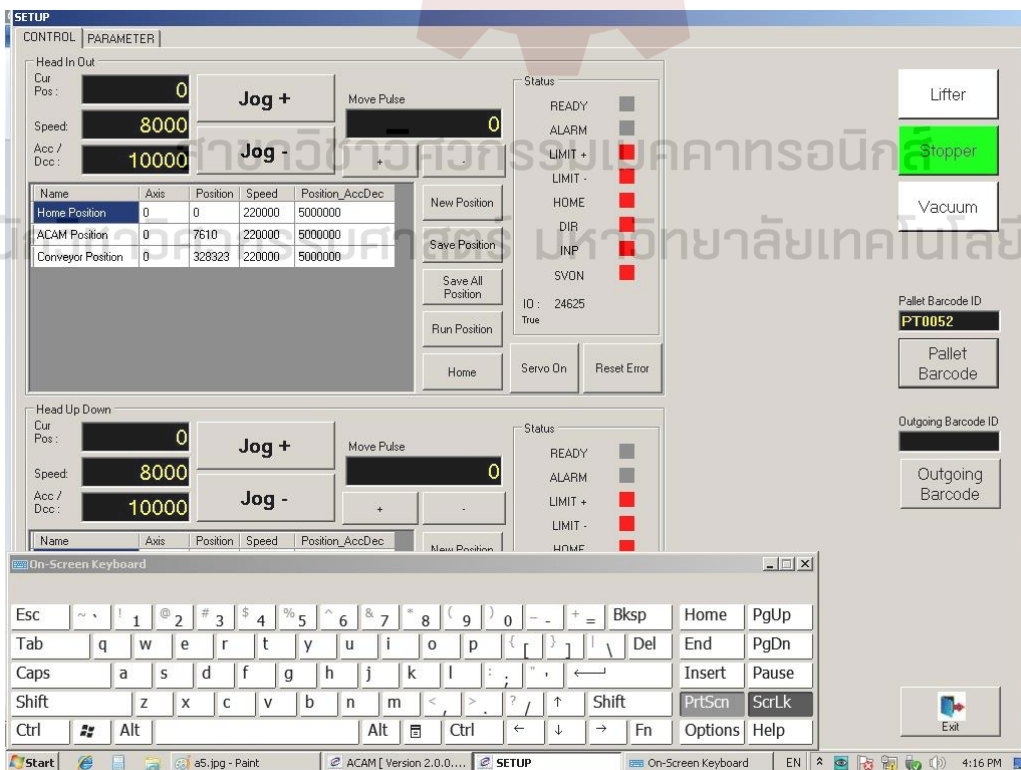
รูปที่ 3.33 อ่าน Barcode PT0067 จาก DataMan Setuptools



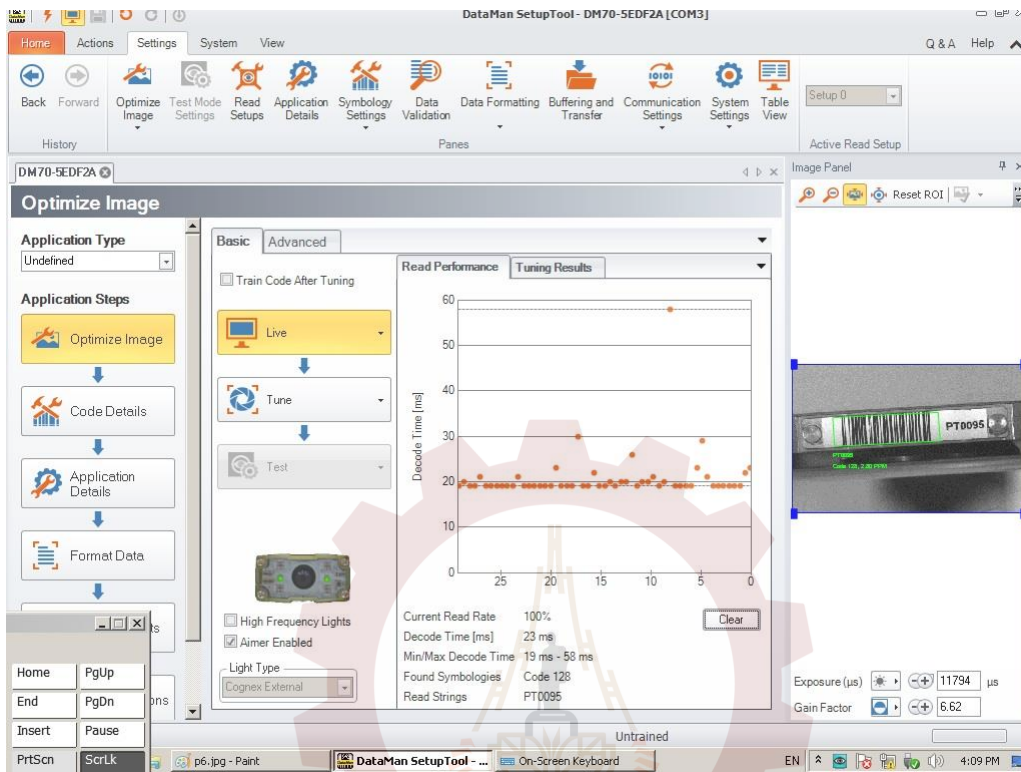
รูปที่ 3.34 อ่าน Barcode PT0067 จากเครื่อง ACAM22



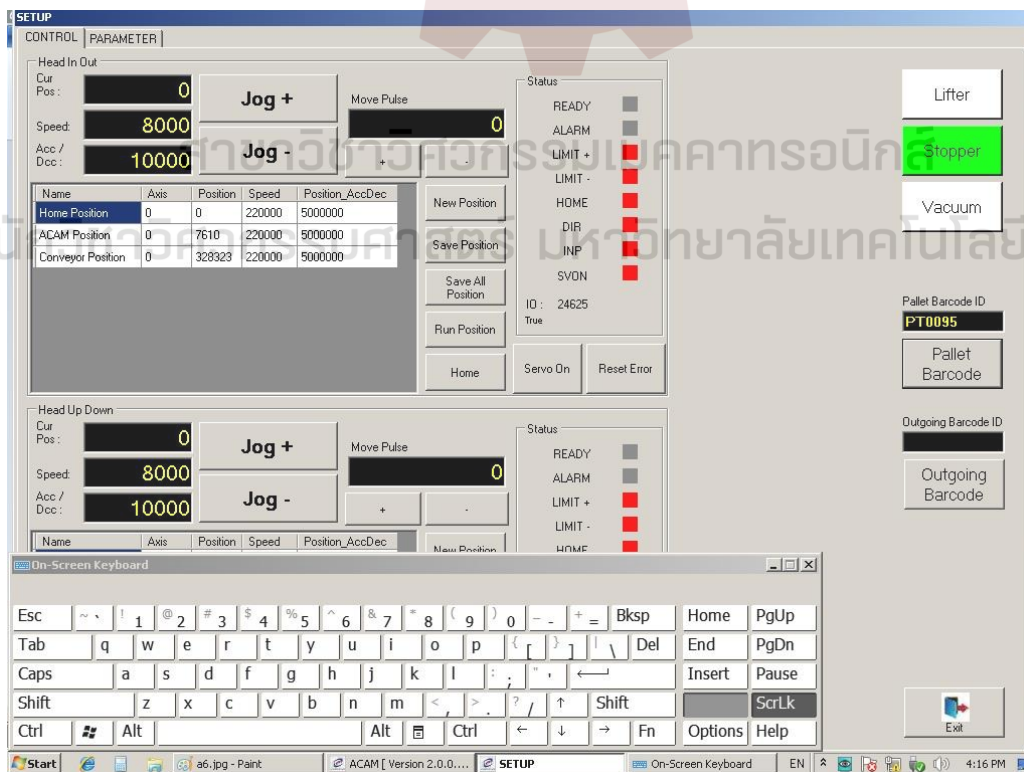
รูปที่ 3.35 อ่าน Barcode PT0052 จาก DataMan Setuptool



รูปที่ 3.36 อ่าน Barcode PT0052 จากเครื่อง ACAM22

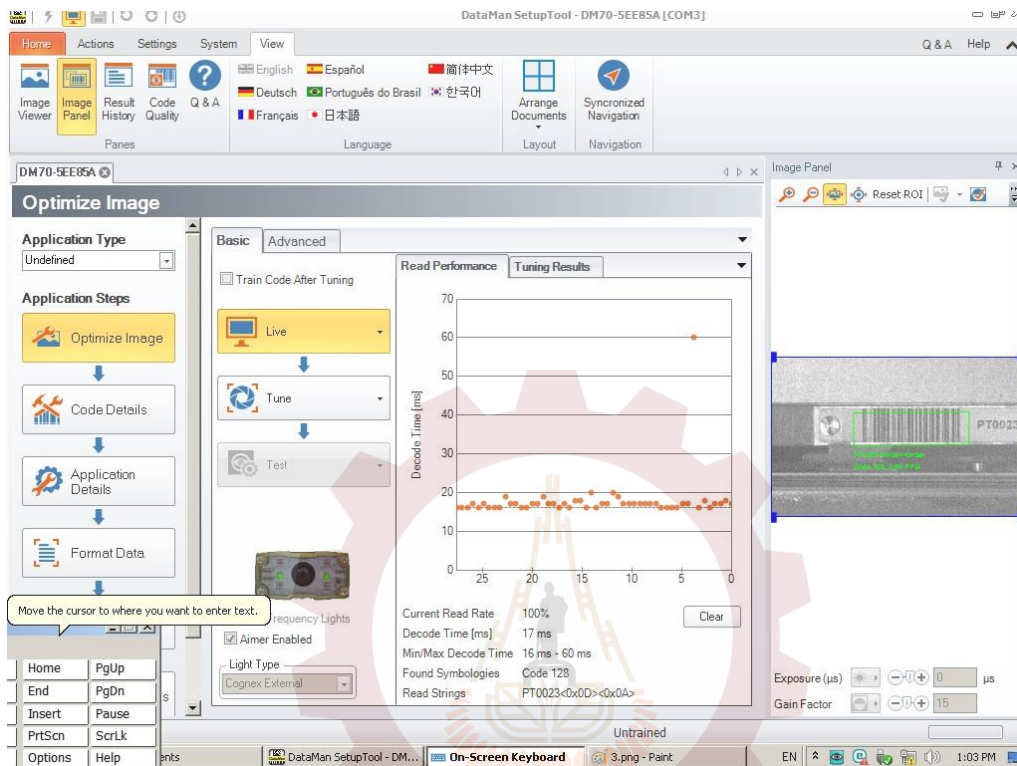


รูปที่ 3.37 อ่าน Barcode PT0095 จาก DataMan Setuptool

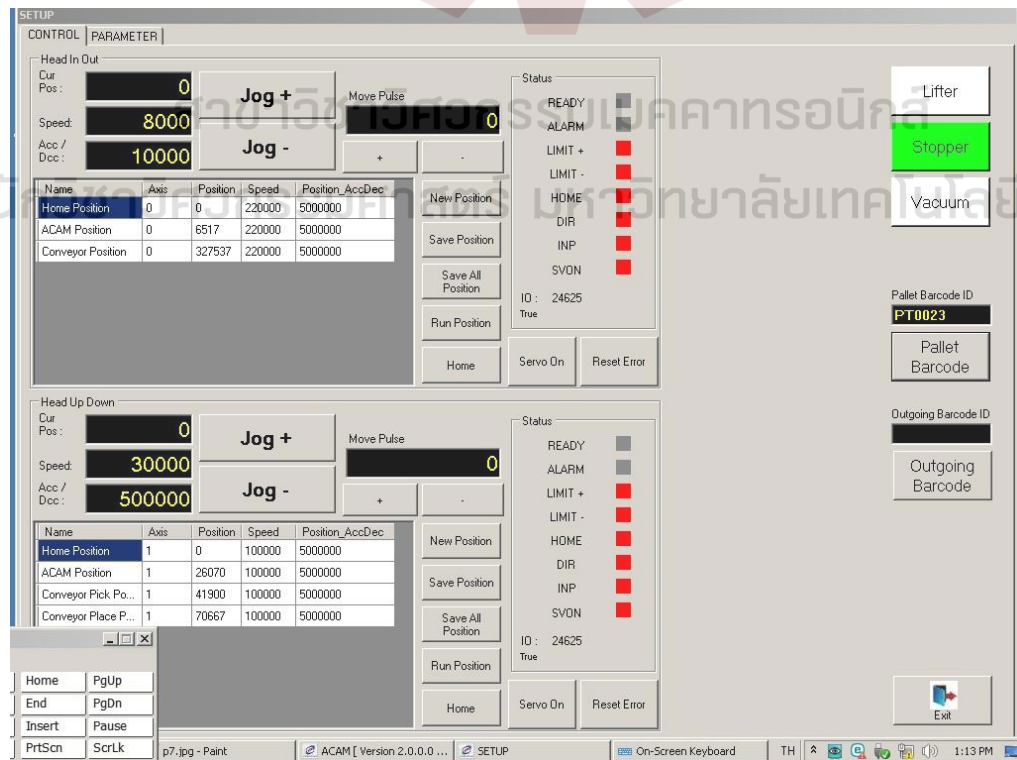


รูปที่ 3.38 อ่าน Barcode PT0095 จากเครื่อง ACAM22

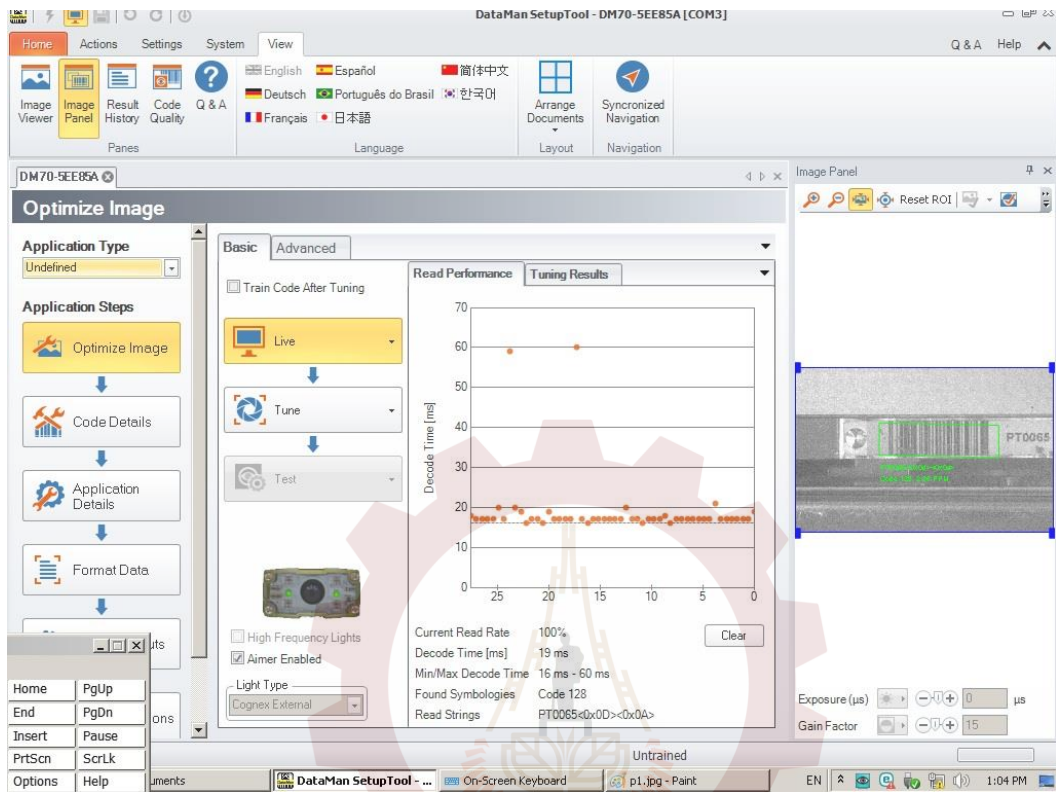
4.1.4 การทดลองอ่านบาร์โค้ดได้จากโปรแกรม DataMan Setuptools และเครื่อง ACAM34



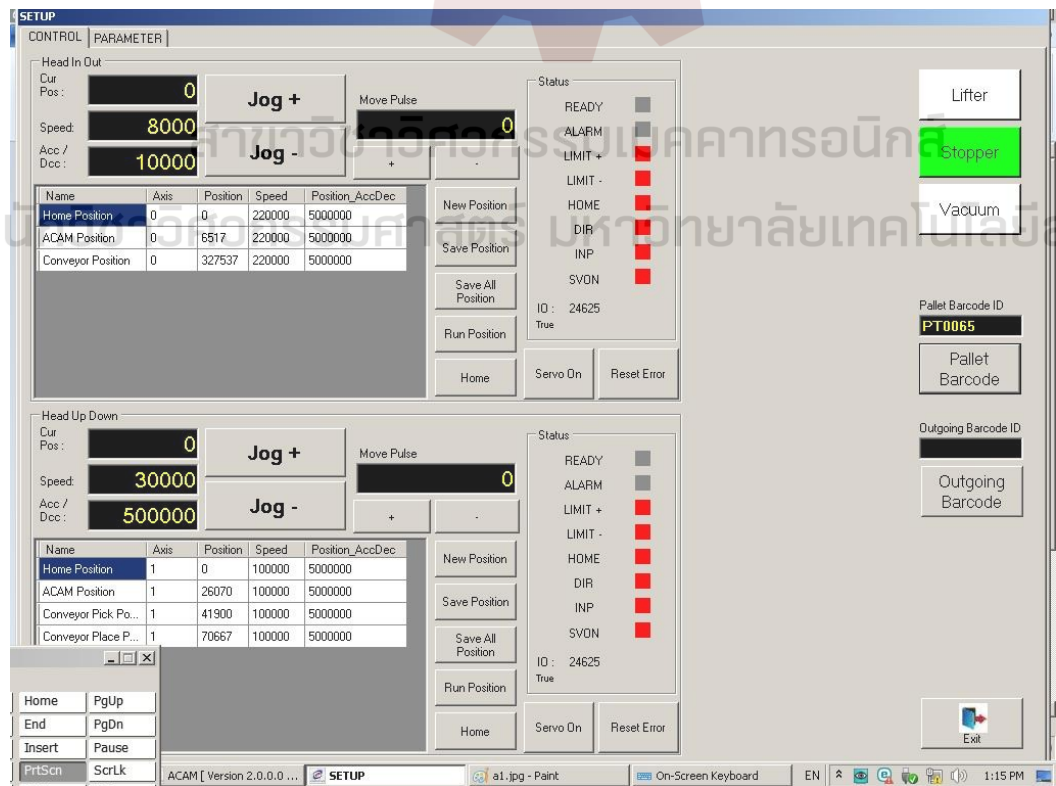
รูปที่ 3.39 อ่าน Barcode PT0023 จาก DataMan Setuptools



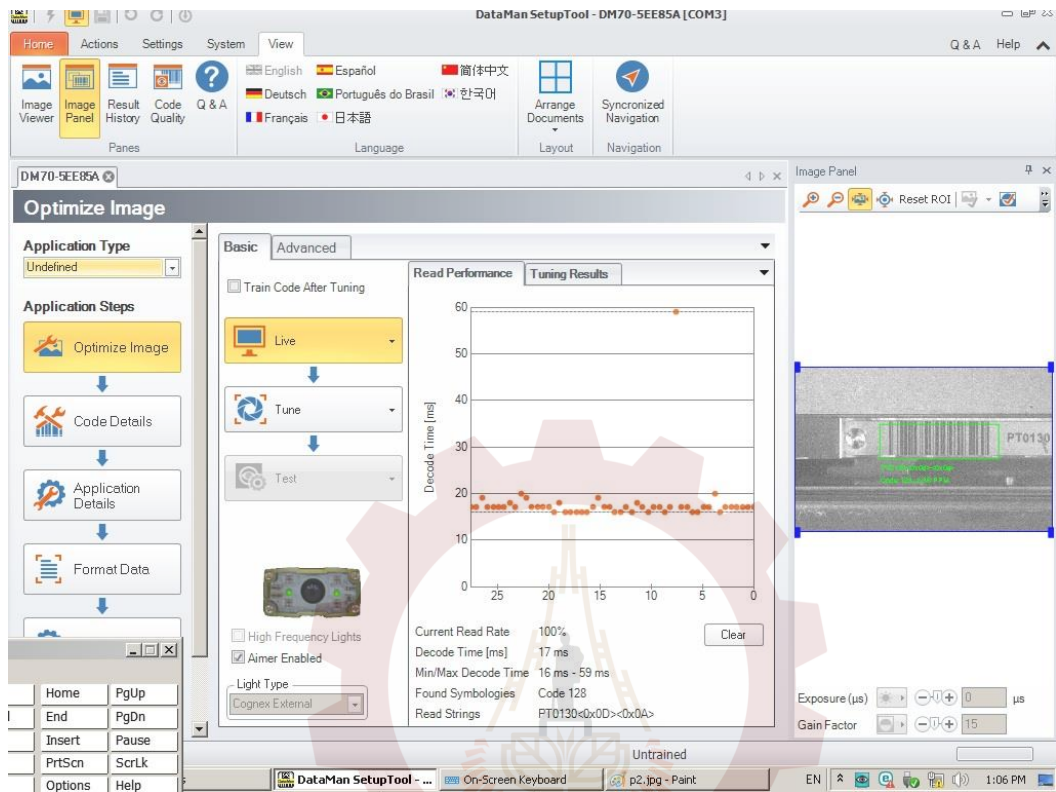
รูปที่ 3.40 อ่าน Barcode PT0023 จากเครื่อง ACAM34



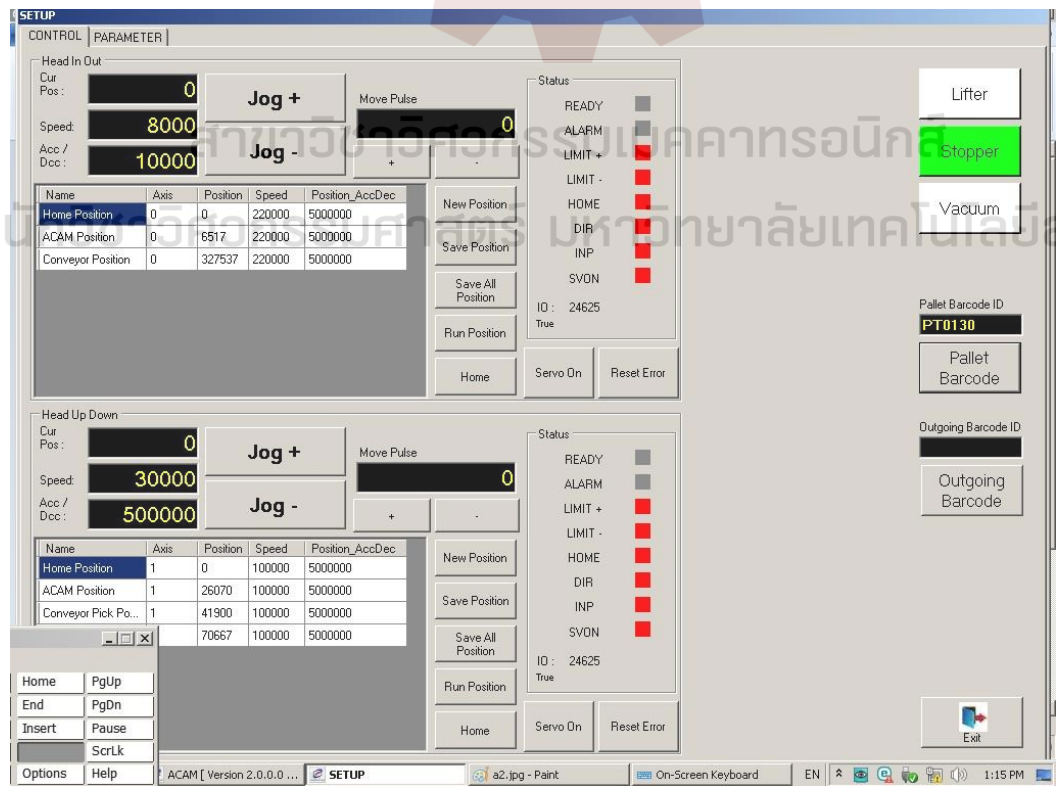
รูปที่ 3.41 อ่าน Barcode PT0065 จาก DataMan Setuptool



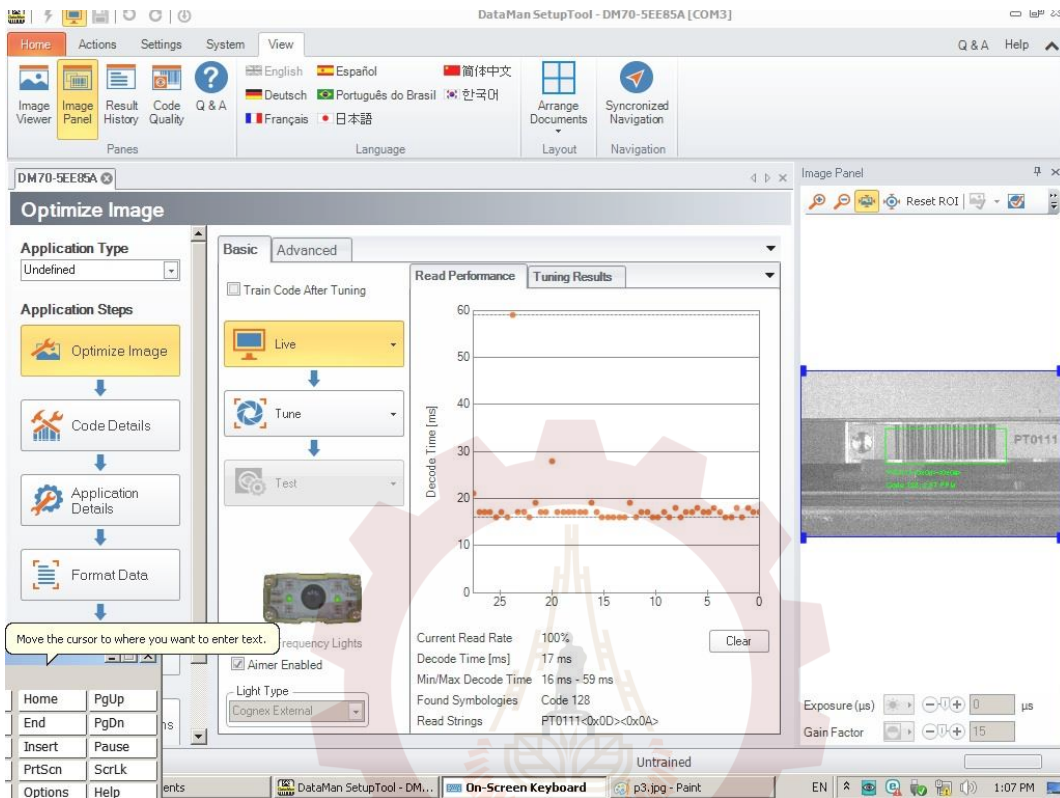
รูปที่ 3.42 อ่าน Barcode PT0065 จากเครื่อง ACAM34



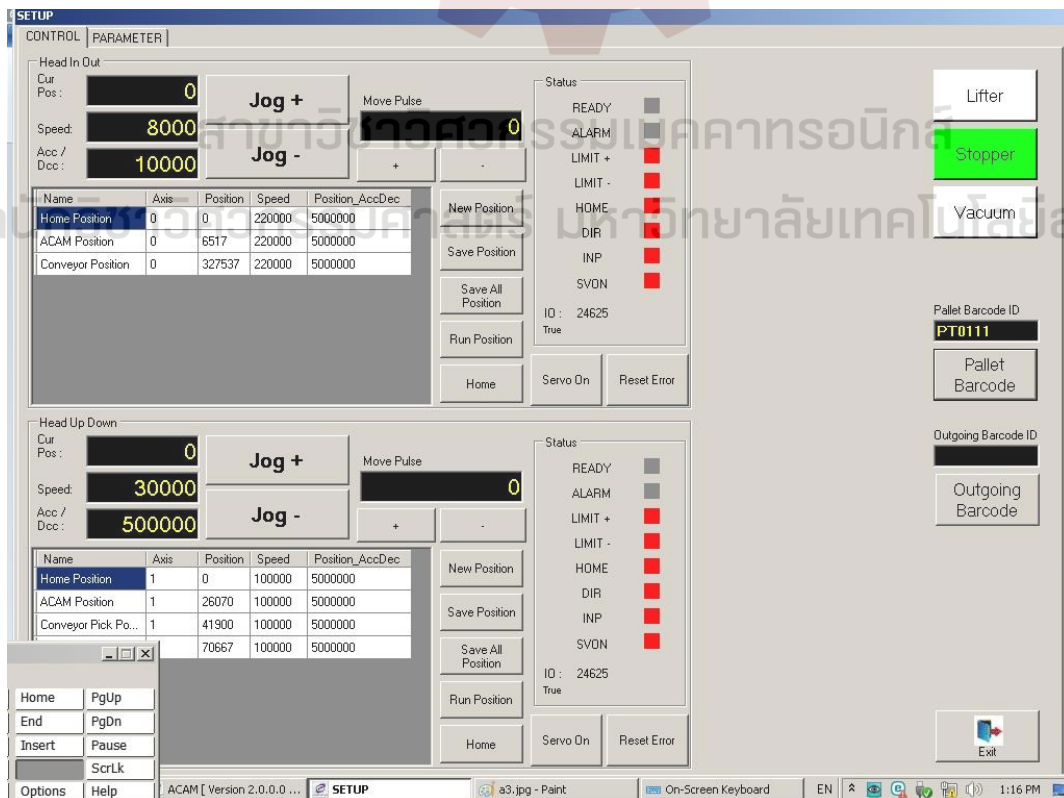
รูปที่ 3.42 อ่าน Barcode PT0130 จาก DataMan Setuptool



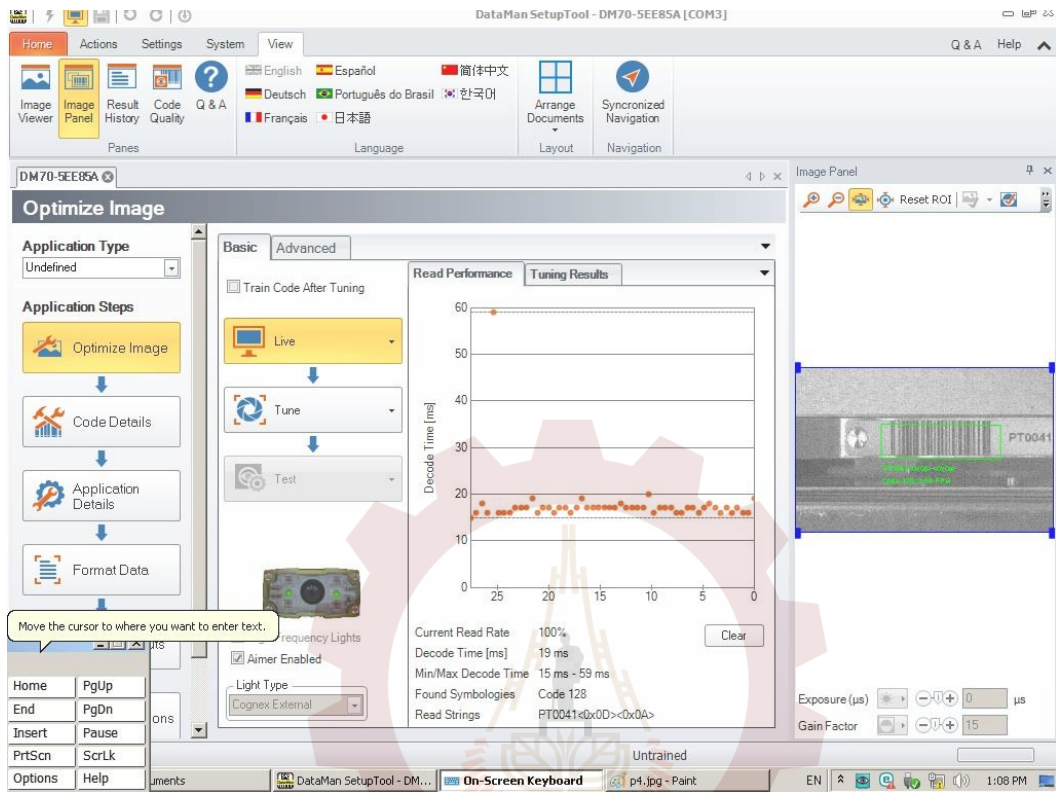
รูปที่ 3.43 อ่าน Barcode PT0130 จากเครื่อง ACAM34



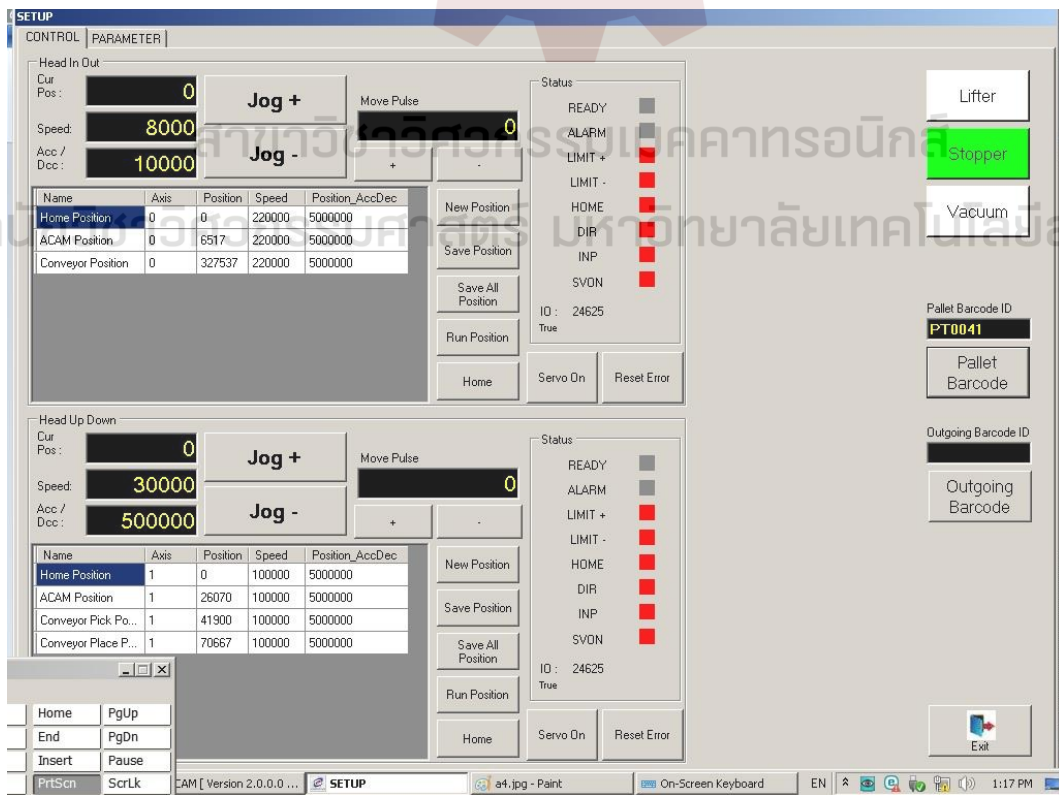
รูปที่ 3.44 อ่าน Barcode PT0111 จาก DataMan Setuptool



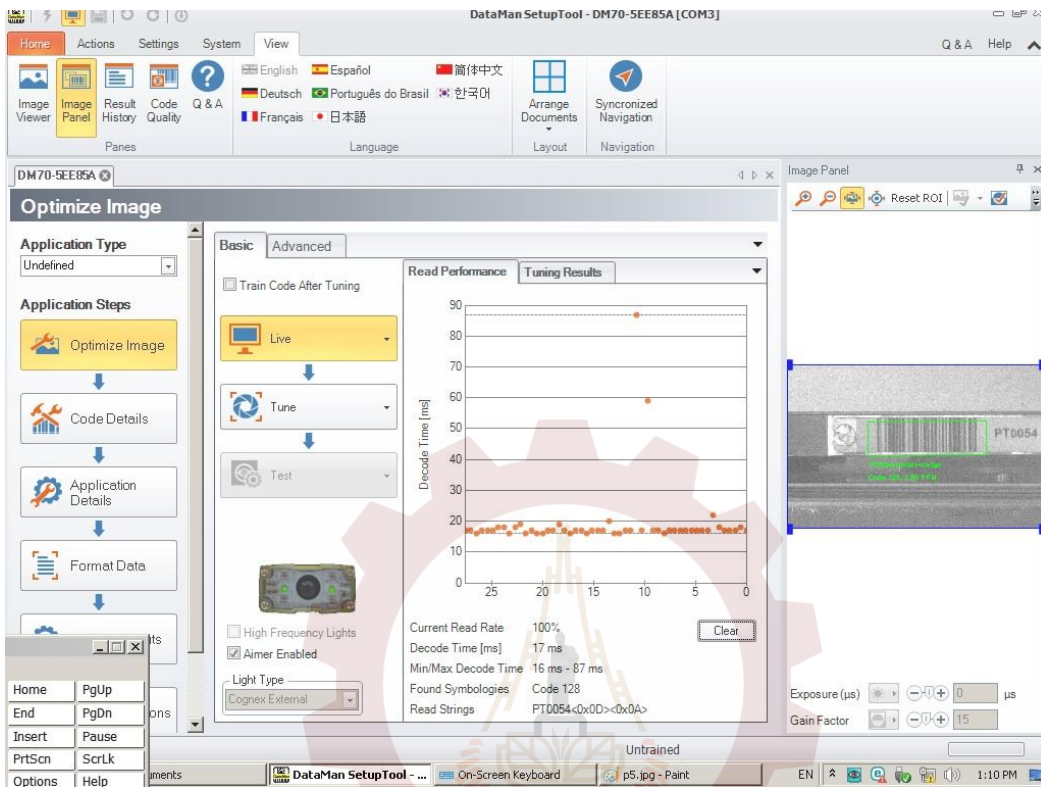
รูปที่ 3.45 อ่าน Barcode PT0111 จากเครื่อง ACAM34



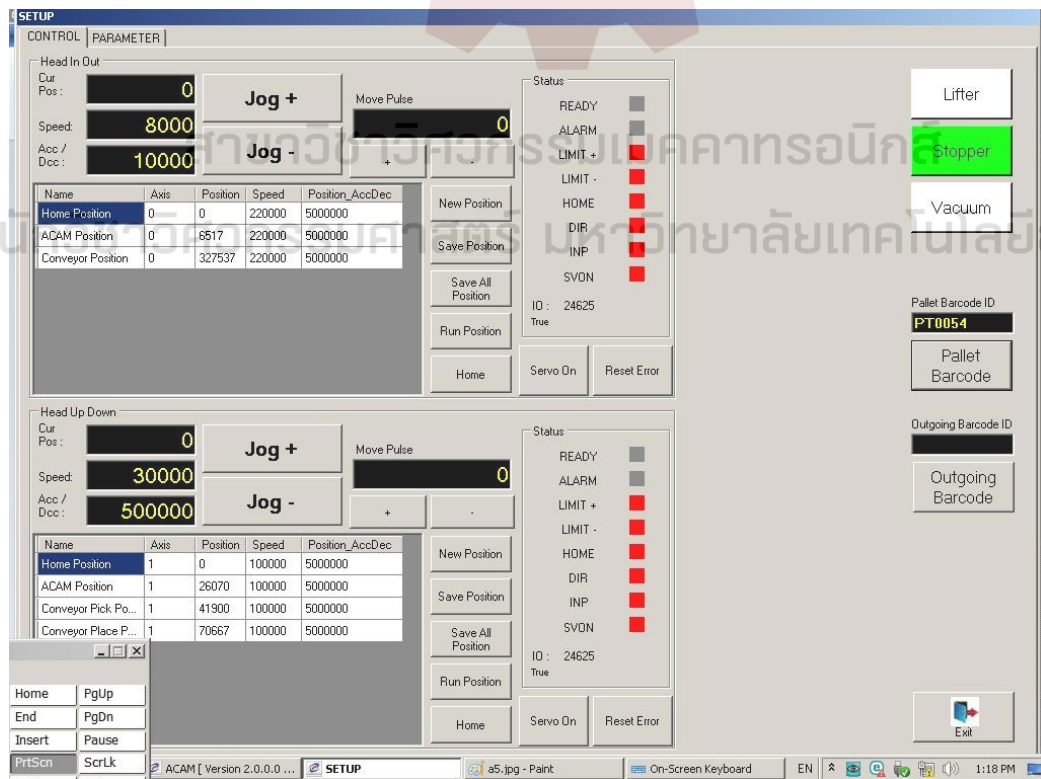
รูปที่ 3.46 อ่าน Barcode PT0041 จาก DataMan Setuptool



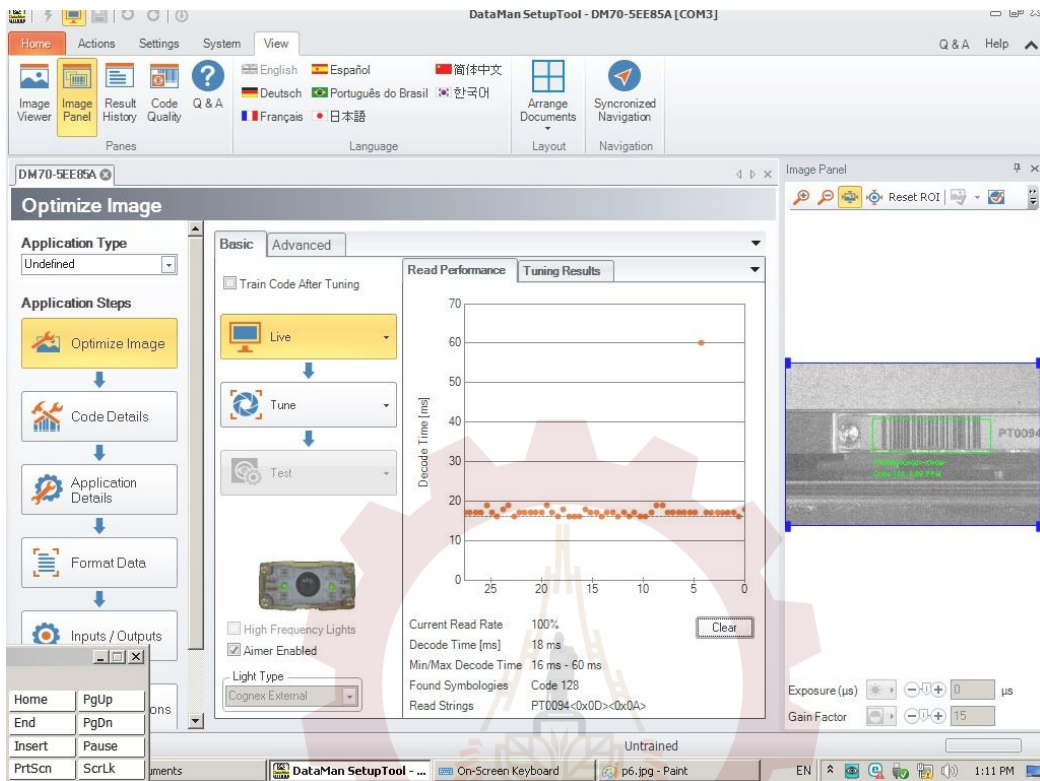
รูปที่ 3.47 อ่าน Barcode PT0041 จากเครื่อง ACAM34



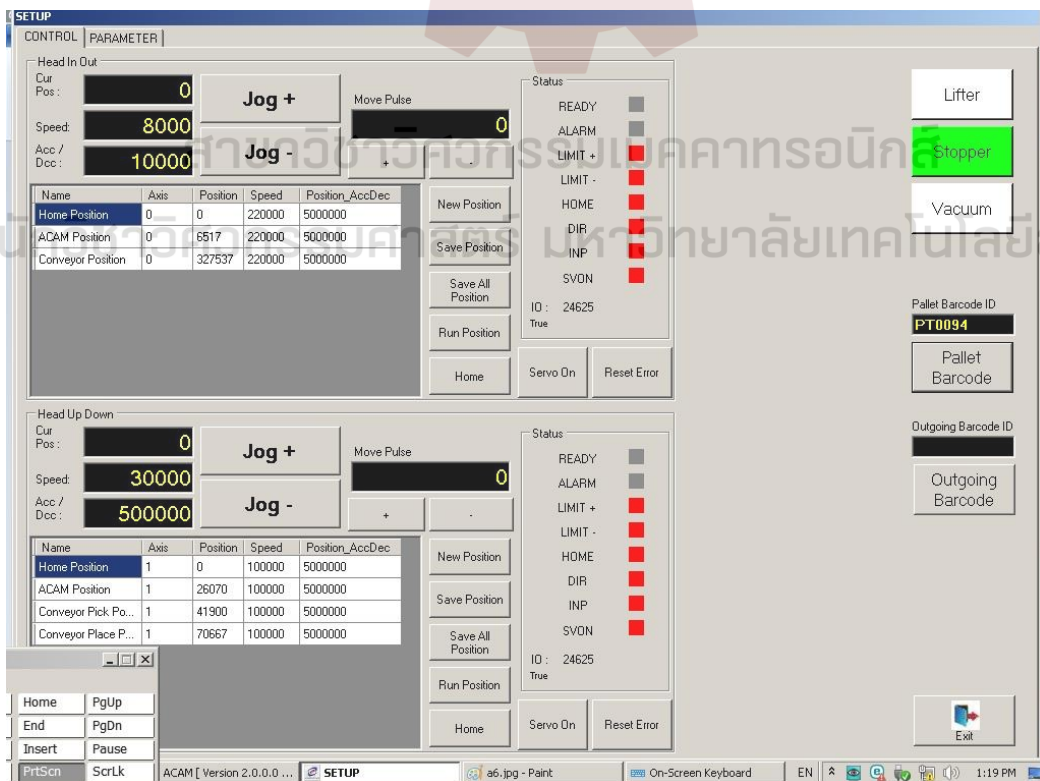
รูปที่ 3.48 อ่าน Barcode PT0054 จาก DataMan Setuptool



รูปที่ 3.49 อ่าน Barcode PT0054 จากเครื่อง ACAM34



รูปที่ 3.50 อ่าน Barcode PT0094 จาก DataMan Setuptool



รูปที่ 3.51 อ่าน Barcode PT0094 จากเครื่อง ACAM34

4.1.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายทั้งในเครื่อง ACAM22 และ ACAM34 นั้นจะ
ได้ผลการทดลองดังนี้

เครื่อง ACAM22 รูปที่ 3.52

Current Read Rate 100%

Pallet Number	Decode Time (ms)	Max Decode Time (ms)	Min Decode Time (ms)
PT0017	20	78	19
PT0105	19	21	18
PT0083	29	72	19
PT0131	30	35	18
PT0067	19	59	18
PT0052	26	125	18
PT0095	23	58	19
Average	23.71428571		

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองการอ่านบาร์โค้ด ACAM22

จากตารางที่ 4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองการอ่านบาร์โค้ดแล้วค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 23.71428571 ms สำหรับเครื่อง
ACAM22

เครื่อง ACAM34 รูปที่ 3.53

Current Read Rate 100%

Pallet Number	Decode Time (ms)	Max Decode Time (ms)	Min Decode Time (ms)
PT0023	17	60	16
PT0065	19	60	16
PT0130	17	59	16
PT0111	17	59	16
PT0041	19	59	15
PT0054	17	87	16
PT0094	18	60	16
Average	17.71428571		

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองการอ่านบาร์โค้ด ACAM34

จากตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองการอ่านบาร์โค้ดแล้วค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.71428571 ms สำหรับเครื่อง
ACAM34

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการอ่านบาร์โค้ดของเครื่อง ACAM ทั้ง 2 เครื่องโดยใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายยี่ห้อ COGNEX รุ่น DataMan 70S + Lens 50 mm. นั้นสามารถอ่านบาร์โค้ดได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 23.71428571 ms สำหรับเครื่อง ACAM22 และ 17.71428571 ms สำหรับเครื่อง ACAM34 และเมื่อทำการ Run งานจริงแล้วการทำงานก็ไม่มีปัญหาใดๆที่เกิดจากการอ่านบาร์โค้ดเพราะนอกจากไม่เกิด Resonance จากความถี่ธรรมชาติที่ตรงกันระหว่างตำแหน่งติดตั้งบนเครื่อง ACAM และ ความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์จับยึดตั้งนั้นการทำงานของ Image based barcode reader จึงทำงานได้ปกติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองและดำเนินการสำหรับโครงการนี้ทั้งหมดอาจจะมีข้อผิดพลาดในการวิเคราะห์อยู่บ้าง เนื่องจากทางผู้จัดทำยังไม่ชำนาญการในการวิเคราะห์ทั้ง model ที่สร้างขึ้นมาและวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติ โดยใช้โปรแกรม ANSYS เป็นการวิเคราะห์แบบ Finite element modal analysis ซึ่งการทำ FEA นั้นผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องมีความชำนาญมีประสบการณ์การด้วยสำหรับโครงการนี้ผู้จัดทำพึงเคยใช้การวิเคราะห์แบบ FEA เป็นครั้งแรกหากเกิดข้อผิดพลาดประการใดก็ขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

1. จีระพล ศรีเสริฐผล. **Mechanical vibration 2ed.**
2. Kirstie Plantenberg,(2016). **Project based SOLIDWORKS 2016.** SDC Publications

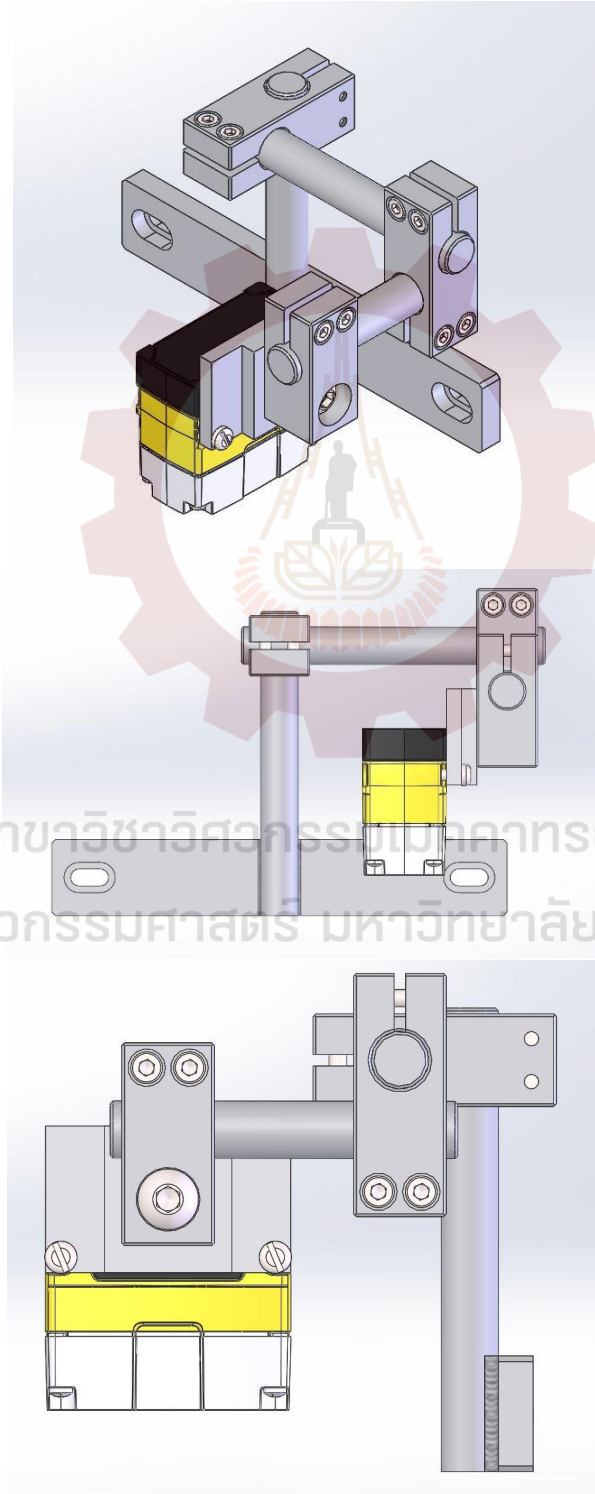
เว็บไซต์

- [1] <https://www.cognex.com>
- [2] <https://www.keyence.co.th>
- [3] <https://blogs.solidworks.com>
- [4] <https://en.wikipedia.org>
- [5] <https://th.wikipedia.org>
- [6] <https://downloaddd.in.th>
- [7] <https://www.wd.com>
- [8] <https://bearcoms.com>
- [9] <https://riverplus.com>
- [10] <https://www.telzel.com>
- [11] <https://www.azom.com>
- [12] สมาคมพัฒนาสแตนเลสไทย <http://www.tssda.org>
- [13] สแตนเลสเพื่อคนไทย <http://www.siamstainless.com>
- [14] บริษัท ไทย-เยอรมัน โปรดักส์ จำกัด (มหาชน) <http://www.tgpro.co.th>
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/SAE_steel_grades

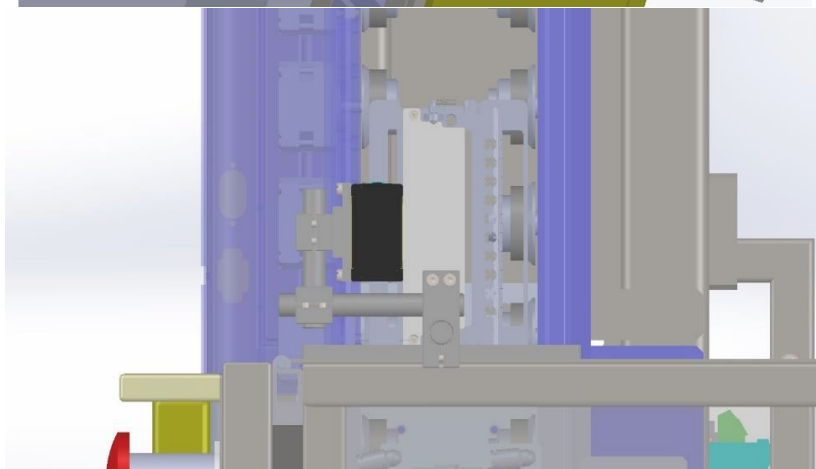
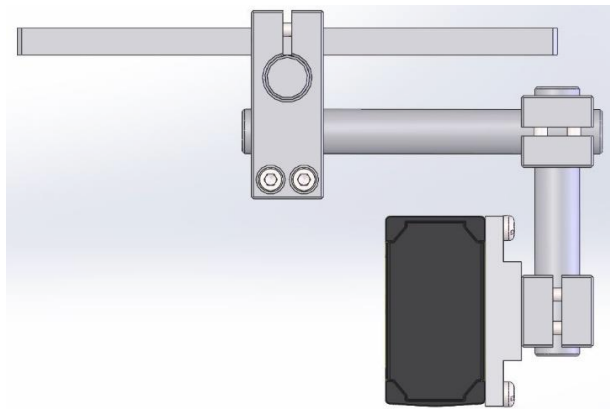


ภาคผนวก

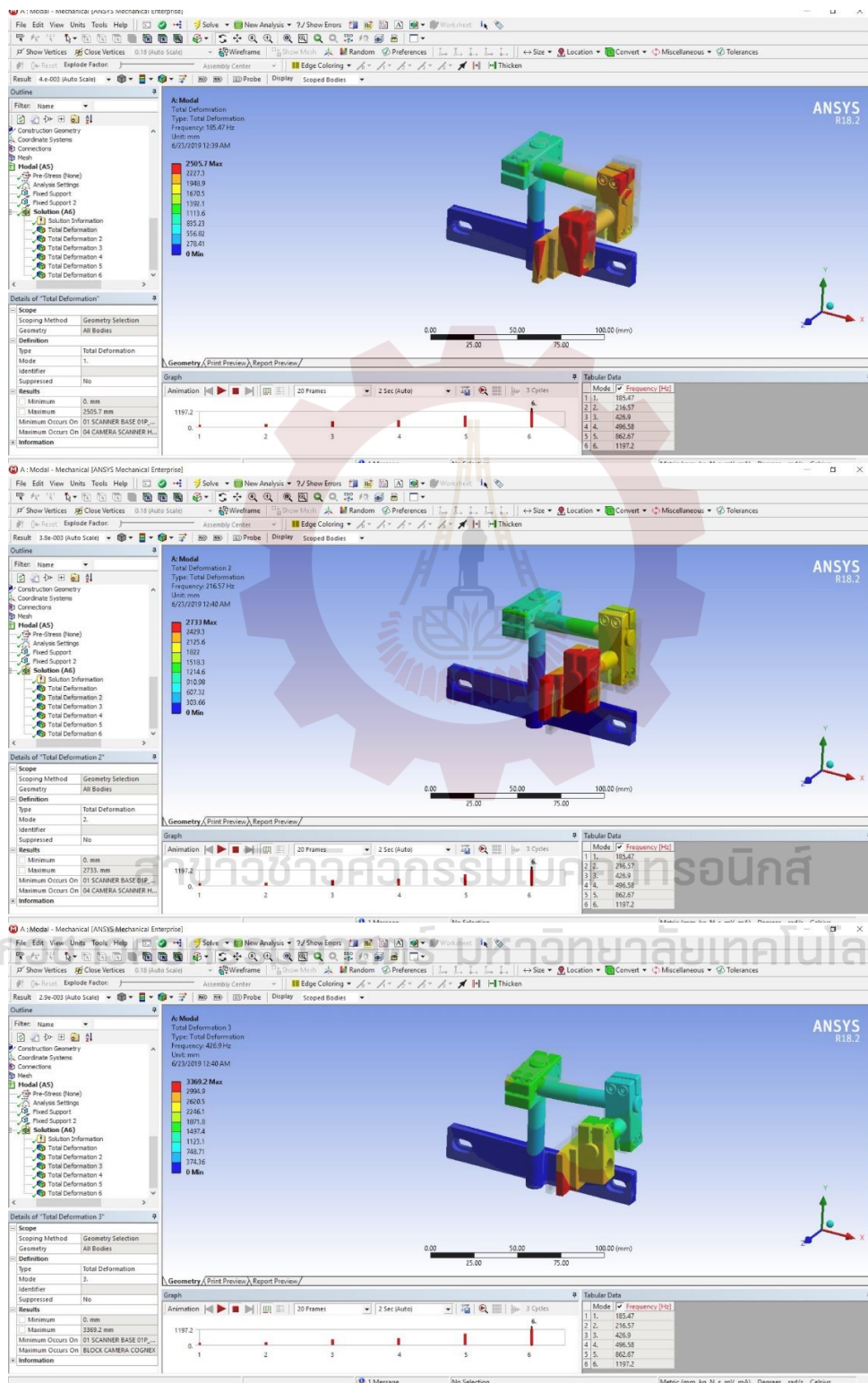
ภาพการออกแบบอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่ายด้วย Solidworks 2018

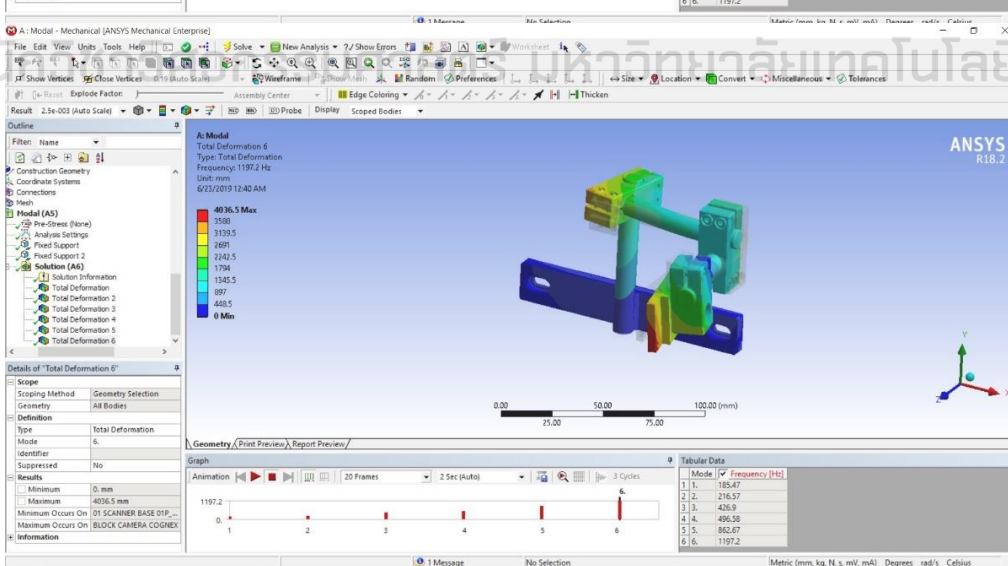
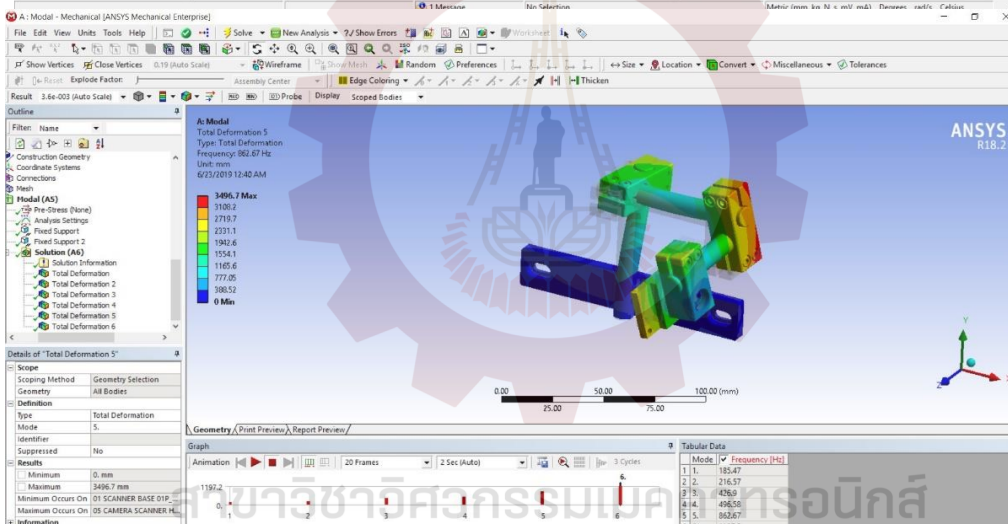
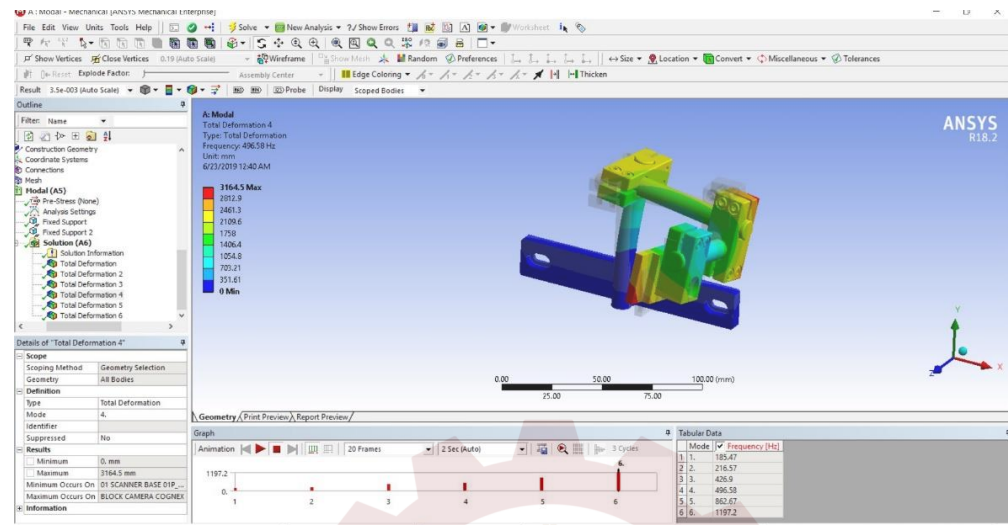


สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพการจำลอง Finite element modal analysis





สำหรับ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาพ Code ส่งสัญญาณ ON/OFF com port ไปยัง ACAM

```
public void BarcodeTrigger(byte CommPort)
{
    switch (CommPort)
    {
        case 3: //Pallet Barcode
            _system.SendCommand("TRIGGER ON");
            break;
    }
}
```

```
public void ReadBarcode(byte CommPort)
{
    string str;

    switch (CommPort)
    {
        case 3: //Pallet Barcode
            _system.SendCommand("TRIGGER OFF");
            break;
    }
}
```

```
case 2://Barcode Trigger
if (!myIOCtrl.Output(Output.StandbyMotor) &&
!myIOCtrl.Output(Output.OutgoingMotor))
{
    m_Main.BarcodeID[0] = "";
    m_Main.BarcodeTrigger(3);
    BarcodeStartTime[0] = Environment.TickCount;
    BarcodeSeq[0] = 3;
}
break;
case 3://Read Barcode
if ((Environment.TickCount - BarcodeStartTime[0]) > 300)
{
    m_Main.ReadBarcode(3);
    BarcodeSeq[0] = 4;
}
break;
```

ภาพชิ้นงานจริงของอุปกรณ์จับยึดเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบภาพถ่าย





สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี