บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

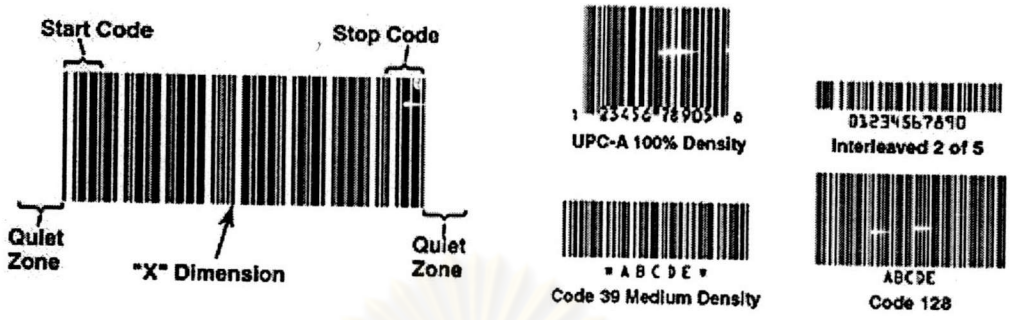
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการฝังข้อมูลอิเล็คทรอนิคส์ลงบนสิ่งพิมพ์

ในบทที่ 2 นี้จะมุ่งเน้นกล่าวถึง ลักษณะการทำงานของการฝังแนบข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ในอดีต ว่ามีการทำงานและลักษณะการทำงานอย่างไร มีความสามารถเพิ่มเติมขึ้นในแนวทางใดบ้าง แนวทางการวิจัยในอดีตที่ผ่านมา ร่วมถึงความเป็นมาของรหัสแท่งแบบมิติเดียว (One Dimension bar code) ที่เป็นนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโลกปัจจุบัน รหัสแท่งแบบ 2 มิติ (Two Dimension bar code) ซึ่งมีจุดเด่นในด้านความสามารถในการจุข้อมูลหรือความหนาแน่นของข้อมูลที่เพิ่มมาขึ้นกว่า รหัสแท่งแบบมิติเดียว และสุดท้าย รหัสแท่งแบบ 3 มิติ (Tree Dimension bar code) เน้นการทำงานบนพื้นผิวของวัสดุที่มีความแตกต่างออกไป จากสิ่งพิมพ์ปกติทั่วไป โดยการทำงานของรหัสแท่งแต่ละลักษณะมีความแตกต่างกันแบ่งแยกได้ตามวัตถุประสงค์ของการทำงาน และลักษณะการทำงาน ซึ่งแต่ละเทคนิควิธีที่แต่ละเทคโนโลยีนำมาใช้งานนั้นมีแต่ต่างกันออกไปตามรูปแบบการใช้งาน ทั้ง ความสามารถในการแบ่งแยกสี ความสามารถในการบีบอัดข้อมูลปริมาณสูงในพื้นที่ที่จำกัด เป็นต้น

โดยในบทที่ 2 จะกล่าวถึงความเป็นมา และ เทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการอ่านและบันทึก อีกทั้งการพัฒนาในงานวิจัยต่างๆ ของรูปแบบรหัสแท่งในแต่ละลักษณะการทำงาน

2.1.1 รหัสแท่งแบบมิติเดียว

รหัสแท่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการพิมพ์พร้อมกับ ฉลากผลิตภัณฑ์ เพื่อทำให้เครื่องจักรสามารถทำความเข้าใจกับผลิตภัณฑ์เหล่านั้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก.) และ2.1 (ข.) โดยลักษณะของรหัสแท่งดังกล่าวนั้นมักจะอยู่ในรูปแบบรหัสแท่งมิติเดียว โดยจะมีการใช้ตัวเลขที่มีความจำเพาะจงเจาะ (A unique serial number code) ทดแทนค่าข้อมูลที่ต้องการ โดยที่รหัสแท่งมิติเดียวจะมีการแทนด้วยแถบสีดำบนพื้นขาว เพื่อใช้ในการอ่านค่าที่เป็นตัวเลขดัชนีของระบบฐานข้อมูลซึ่งถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบรหัสแท่งจากนั้นจึงทำการดึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆจากฐานข้อมูลขึ้นมา จึงทำให้รหัสแท่งมิติเดียวกลายเป็นฐานข้อมูลแบบพกพาที่สามารถใช้งานได้สะดวก



(ก) ภาพแสดงลักษณะการอ่านค่าต่างๆของรหัสแท่งแบบมิติเดียว

(ข) ภาพแสดงรูปแบบของรหัสแท่งแบบมิติเดียวที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

รูปที่ 2.1 ภาพแสดงลักษณะทั่วไปของรหัสแท่งมิติเดียวที่ใช้กันในปัจจุบันตามมาตรฐานต่าง ๆ

ในปี ค.ศ. 1984 แนวโน้มการเจริญเติบโตของระบบฐานข้อมูลแบบพกพาได้เริ่มขึ้น เมื่อกลุ่ม ออโต้โมทีฟ อินดัสตรี แอคชั่น (Automotive Industry Action Group (AIAG)) ได้ทำการตีพิมพ์ระบบมาตรฐานประยุกต์ (An application standard) สำหรับการขนส่งและฉลากสินค้า โดยมีการฝังข้อมูล 4 ประเภทลงไปบนฉลาก ได้แก่ ตัวเลข จำนวน ผู้ผลิต และตัวเลขเรียง (A serial number) ในชื่อ รหัสแท่ง โค้ด 39 (Code 39 bar codes) [7], [8]

โดยปกติแล้วรหัสแท่งจะถูกแสดงในรูปแบบ ความซ้ำซ้อนแนวดิ่ง (Vertical redundant) ซึ่งนั้นหมายความว่า ข้อมูลต่างๆจะถูกเรียงแบบซ้ำซ้อนตามแนวดิ่ง จึงสามารถกล่าวได้ว่ารหัสแท่งนั้นแสดงอยู่ในระดับแค่เพียง 1 มิติเท่านั้น ดังนั้นไม่ว่ารหัสแท่งจะถูกตัดให้สั้นลงข้อมูลต่างๆที่ฝังอยู่ในรหัสแท่งก็ไม่ได้สูญหายไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามยังมีการอนุญาตให้มีการพิมพ์สื่อที่มีความหมายลงแนบไปพร้อมกับรหัสแท่งด้วยเพื่อความสะดวกในการที่มนุษย์จะทำความเข้าใจลักษณะรหัสแท่งในปัจจุบันมีหลากหลายมากขึ้นกว่าในอดีตมาก โดยมีการพัฒนาให้รหัสแท่งมีความแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน

2.1.2 รหัสแท่งแบบ 2 มิติ

รหัสแท่ง 2 มิติเป็นการเพิ่มความสามารถให้แก่รหัสแท่งโดยมีการเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูล จากเดิมในรหัสแท่งมิติเดียวปกติให้ความสำคัญเพียงแค่ข้อมูลแนวดิ่งเท่านั้น แต่ใน รหัสแท่งแบบ 2 มิตินี้มีการให้ความสำคัญทั้งข้อมูลแนวดิ่งและข้อมูลแนวราบของแถบข้อมูล โดยปกติแล้วลักษณะตัวอักษรของมนุษย์เองก็มีลักษณะเดียวกับ รหัสแท่ง 2 มิติอยู่แล้ว ดังนั้น

หลังจากที่เกิดรหัสแท่งแบบใหม่ขึ้นมาแล้ว ทำให้สามารถลดความซ้ำซ้อนที่เกิดจากข้อมูลแนวดิ่งจำนวนมากที่เกิดจากรหัสแท่งแบบมิติเดียวแบบเดิมลงไปได้ อีกหนึ่งเทคนิคที่จำเป็นต้องนำมาใช้ในการป้องกันความผิดพลาดจากการอ่านข้อมูลที่มีความสามารถที่สูงขึ้นทำให้สามารถลดอัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขณะที่อ่านข้อมูลไปได้

ระบบรหัสแท่งแบบ 2 มิติมีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งานร่วมกับเครื่องกราดภาพแบบแสงเลเซอร์มาใช้ประกอบควบคู่ด้วย โดยลักษณะของการนำเข้าข้อมูลจากรหัสแท่ง 2 มิตินั้น เครื่องอ่านสามารถทำได้อย่างรวดเร็วเพียงแค่นำแถบรหัสแท่งผ่านเครื่องกราดภาพเท่านั้น ความสามารถในการอ่านค่าข้อมูลจากรหัสแท่งแบบ 2 มิตินั้นขึ้นอยู่กับ ความเร็วในการนำรหัสแท่งผ่านเครื่องกราดภาพ ความละเอียดที่เครื่องกราดภาพสามารถอ่านได้ และ ระยะห่างระหว่างสัญลักษณ์ของรหัสแท่ง ทุกอย่างที่กล่าวมาข้างต้นยังคงเป็นปัญหาที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขหรือพัฒนาให้มีความสามารถดีกว่ารหัสแท่งมิติเดียว เนื่องจากมีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่ามาก ถึงแม้ว่าปริมาณข้อมูลที่สามารถบันทึกได้จะมีปริมาณสูงกว่าก็ตาม

ในครั้งแรกที่สัญลักษณ์รหัสแท่งแบบ 2 มิติถูกพัฒนาขึ้นเพื่อการใช้งานอยู่ในวงแคบเพื่อเป็นสัญลักษณ์ทดแทนการใช้ตัวเลขดัชนีแบบเก่าต่อมาเมื่อความจำเป็นในการบันทึกข้อมูลจำนวนมากเริ่มมีความสำคัญ ก็เริ่มเล็งเห็นว่าความสามารถในการเก็บข้อมูลของรหัสแท่งแบบ 2 มิตินั้นเป็นประโยชน์สามารถที่จะเก็บข้อมูลปริมาณมากได้ ทางด้านอุตสาหกรรมจึงได้มีการนำเอามาใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งรหัสแท่งแบบ 2 มิติในปัจจุบันมีมากว่า 20 แบบ แต่ก็ยังมีไม่มากนักที่ได้รับความนิยม ปัจจุบันรหัสแท่งแบบ 2 มิติยังมีแนวโน้มด้านการใช้งานเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อประโยชน์ทางอุตสาหกรรม

ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการเข้ารหัสด้วยรหัสแท่ง 2 มิติในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

(1) รหัสแท่ง 2 มิติแบบอะเรย์แท็ก (Array Tag)

อะเรย์แท็กได้รับการพัฒนาโดย ดร.วาเรน ดี. ลิตเติ้ล (Dr. Warren D. Little) จากมหาวิทยาลัยวิคตอเรีย ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับอะเรย์แท็ก โดยใช้สัญลักษณ์เป็นรูปหกเหลี่ยมจำนวนหลายรูปมาทำการซ้อนทับกัน โดยสามารถที่จะใช้เพียงรูปหกเหลี่ยมเพียงสัญลักษณ์เดียวหรือต่อกันหลายรูปสัญลักษณ์ก็ได้ โดยสัญลักษณ์แบบนี้สามารถที่จะเข้ารหัสข้อมูลตัวอักษรได้หลายร้อยตัว และมีความสามารถในการอ่านค่าข้อมูลคืนกลับที่มีประสิทธิภาพสูง และสัญลักษณ์

เหล่านี้มีความสามารถในการอ่านค่าข้อมูลคืนกลับจากระยะไกล โดยสามารถใช้เครื่องอ่านอ่านค่าข้อมูลจากระยะ 50 เมตรในขณะที่มีแสงอื่นมารบกวนแสงจากเครื่องอ่านได้

(2) รหัสแท่ง 2 มิติแบบ โค้ดวัน (Code 1 Two dimension bar code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวัน ถูกพัฒนาในปี ค.ศ. 1992 โดย นายเท็ด วิลเลี่ยมส์ (Mr. Ted Williams) เป็นผู้ประดิษฐ์ และได้ทำการเผยแพร่ออกสู่สาธารณะอย่างรวดเร็ว รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันนั้น ใช้หลักการค้นหารูปแบบสัญลักษณ์ โดยสัญลักษณ์ที่นำมาใช้นั้นสามารถนำเข้าไปประมวลในรูปแบบรหัสข้อมูลแอสกี้ (ASCII code) ได้ มีการแนบข้อมูลการแก้ไขความผิดของตัวอักษรและข้อมูลที่สามารถนำเข้าไปประมวลรหัสเลขฐานสองรหัสแท่ง 2 มิติแบบ

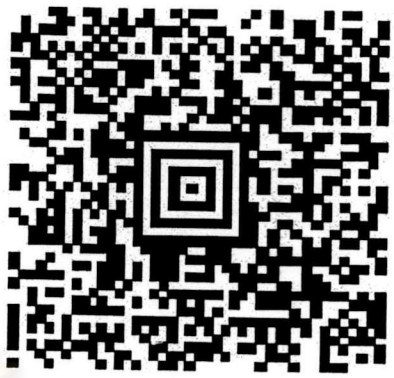
โค้ดวันมีขนาดให้เลือกใช้งานได้ 8 ขนาดโดยเริ่มต้นจากรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันแบบ A ถึงรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันแบบ H โดยที่รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันแบบ A สามารถเลือกบันทึกเป็นลักษณะผสมกันระหว่างอักษรตัวและตัวเลขได้ถึง 13 ตัวหรือถ้าเลือกบันทึกเฉพาะตัวเลขก็สามารถบันทึกได้ 22 ตัวเลข ในขณะที่ รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ดวันแบบ H สามารถบันทึกข้อมูลที่เป็นอักษรและตัวเลข ที่ผสมกันได้ถึง 22,189 ตัว หรือ จะเลือกบันทึกเพียงตัวเลขก็สามารถทำได้ถึง 3,550 ตัวเลข จำนวนสัญลักษณ์ที่มากที่สุดจะถูกบันทึกลงบนเนื้อที่ที่มีขนาดวัดได้กว้าง 134 หน่วย และ สูง148 หน่วย

(3) รหัสแท่ง 2 มิติแบบรหัสแอซเทค (Aztec Code)

นายแอนดี้ ลองกาค์ร (Mr. Andy Longacre) จากบริษัทเวลช์แอลิน (Welch Allyn Inc.) ได้ทำการวิจัยและพัฒนารหัสแท่ง 2 มิติแบบรหัสแอซเทคขึ้นในปี ค.ศ. 1995 รหัสแท่ง 2 มิติแบบรหัสแอซเทคออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการพิมพ์ และ การอ่านรหัส

โดยรหัสจะประกอบไปด้วยรูปสี่เหลี่ยมเล็กๆ พิมพ์ซ้อนต่อกันอย่างมีแบบแผน จำเพาะเจาะจง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก.) และ 2.2 (ข.) โดยจะมีหลายขนาดให้เลือกใช้งานขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้

(ก) รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติแอซแทค แบบความกว้าง 26 X 26



(ข) รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติแอซแทค แบบความกว้าง 42 X 42

(ค) รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติแอซแทค แบบขาวดำ รหัส 1

(ง) รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติแอซแทค แบบสีรหัส 1

รูปที่ 2.2 รูปแสดงลักษณะทางกายภาพของ แท่งรหัส 2 มิติรหัสแอซแทค พัฒนาโดยบริษัท เวลช์แอลิน

โดยที่ขนาดที่เล็กที่สุดจะอยู่ที่ขนาด 15X15 รูปสี่เหลี่ยม และขนาดที่ใหญ่ที่สุดจะอยู่ที่ขนาด 151X151 รูปสี่เหลี่ยม ขนาดที่เล็กที่สุดของรหัสแท่ง 2 มิติแบบรหัสแอซแทคสามารถบรรจุตัวอักษรพร้อมตัวเลขรวมได้ 12 ตัวอักษร หรือเลือกบรรจุเพียงบรรจุตัวเลขสามารถบรรจุได้ 13 ตัวเลข ในขณะที่ขนาดใหญ่ที่สุดสามารถบรรจุตัวอักษรพร้อมตัวเลขได้ถึง 3,067 ตัวอักษร หรือเลือกบรรจุเพียงตัวเลขได้ 3,822 ตัวเลข

(4) รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 (Code 49 Two dimension bar code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ. 1987 โดย นายเดวิด แอลไลส์ (Mr. David Allais) ได้รับการสนับสนุนการพัฒนาโดยบริษัทอินเตอร์เมค (Intermec Inc.) รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 นั้นพัฒนาขึ้นโดยเพิ่มความสามารถในการบีบอัดสัญลักษณ์ขนาดเล็ก ลักษณะ

ของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 ถูกพัฒนาให้ใช้ความสามารถในการใช้สัญลักษณ์รหัสแท่งชุดนำมาเรียงต่อกันเป็นลำดับชั้น สัญลักษณ์แต่ละแถวที่ถูกสร้างขึ้นสามารถมีจำนวนแถวตั้งแต่ 2 แถวถึง8 แถว แต่ละแถวประกอบด้วยรูปแบบของข้อมูลในลักษณะต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก.) โดยข้อมูลเหล่านั้น ได้แก่ ขอบเขตกำหนดจุดเริ่มต้น ขอบเขตกำหนดรูปแบบเริ่มต้น ขอบเขตของข้อมูลจำนวน ที่ถูกเข้ารหัสเป็น 8 ตัวอักษร และตัวอักษรตัวสุดท้ายเป็นตัวอักษรสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล อีกทั้งยังมีขอบเขตกำหนดรูปแบบการหยุด และขอบเขตกำหนดจุดจบ แถวทุกแถวจะถูกเข้าประมวลรหัสข้อมูลให้อยู่ในรูป แท่งรหัส 18 แท่งรหัส และ ช่องว่าง 17 ช่องว่าง และแถวแต่ละแถวจะถูกคั่นด้วยแถบเส้นแบ่งแถบข้อมูล

(ก) รูปภาพแสดงลักษณะที่กายภาพของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 แบบ 81ตัวอักษร

(ข) รูปแสดงการใช้งานของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 กับการบอกตำแหน่ง

รูปที่ 2.3 รูปภาพแสดงลักษณะที่กายภาพของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 พัฒนาโดยบริษัทอินเตอร์เมค

รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 เป็นรหัสที่มีความต่อเนื่องของสัญลักษณ์และความยาวของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความยาวของข้อมูลซึ่งข้อมูลเหล่านั้นถูกเข้าประมวลรหัสชุดตัวอักษรแบบรหัสข้อมูลแอสกี้ 128 โดยลักษณะของการทำงานของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 นั้น เป็นลักษณะที่มีคุณสมบัติระหว่าง รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด ยูพีซี และ รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 39

ค่าของความยาวของสัญลักษณ์ตามแนวกว้างที่น้อยสุดที่สามารถระบุค่าได้คือ 7.5 มิลลิเมตร สมมุติค่าของความยาวของสัญลักษณ์ตามแนวกว้างที่น้อยสุดคือ7.5 มิลลิเมตร จะทำให้ความสูงสัญลักษณ์แถวที่น้อยสุดที่สามารถระบุค่าได้อยู่ที่ 0.5475 นิ้ว รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 จะมีความสามารถบรรจุความหนาแน่นสูงสุดเชิงทฤษฎีของตัวอักษรได้ 170 ตัวอักษรรวมกับเลขและพยัญชนะต่อ 1 ตารางนิ้ว

รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรมด้านสุขภาพ เนื่องจากสินค้าที่เกี่ยวกับงานด้านสุขภาพนั้น จำเป็นต้องมีการอ้างอิงถึง ตัวอักษรและตัวเลข อีกทั้งยังต้องการความรวดเร็วในการจัดหา

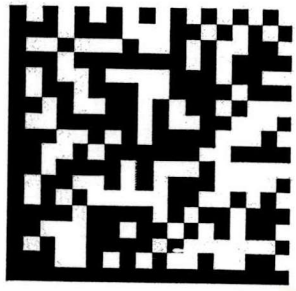
โดยมีการนำรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 ไปใช้ทดแทน ตัวอักษรที่มีความจำเป็นคือ ชุดตัวเลข NDC จำนวน10 หลัก วันหมดอายุของสินค้าจำนวน 5หลักและตัวเลขตัวอักษรและพยัญชนะอีก 10 ตัวอักษรดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ข.) ลักษณะของรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 หลังจากที่คำนวณจากปริมาณข้อมูลดังกล่าวจะมีขนาดอยู่ที่ 0.3 X 0.53 ตารางนิ้ว

การตรวจสอบข้อมูลที่ได้จาก รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 สามารถทำได้ด้วยเครื่องกราดภาพลำแสงเลเซอร์ ซีซีดี (CCD Laser Scanner) โดยการนำ รหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49 เคลื่อนที่ผ่านเพื่อให้แสงเลเซอร์ทำการอ่านข้อมูล ส่วนการพิมพ์ตัวรหัสแท่ง 2 มิติแบบโค้ด 49ทำได้โดยการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์มาตรฐานทั่วไป

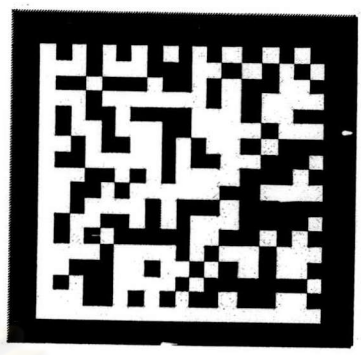
(5) รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ (Data Matrix)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ได้รับการพัฒนาจาก บริษัท แอคคิวตี้ ซีเมทริกซ์ (Acuity Ci Matrix) โดยมีการกำหนดรูปแบบของรหัสแท่ง 2 มิติเพื่อบรรจุข้อมูลจำนวนมากให้อยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก

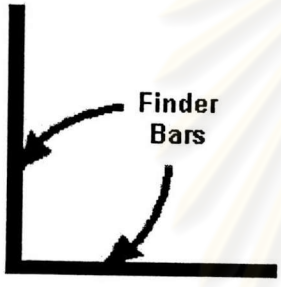
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



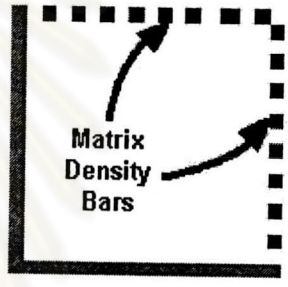
(ก) รูปภาพแสดงตัวอย่างสัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ที่อยู่บนพื้นผิวสีขาว



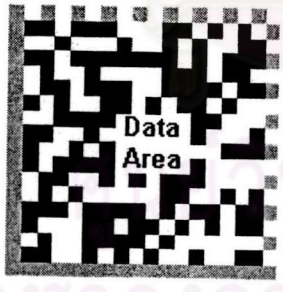
(ข) รูปภาพแสดงตัวอย่างสัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ที่อยู่บนพื้นผิวสีดำ



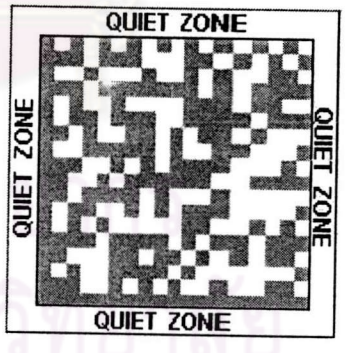
(ค)รูปภาพแสดงการหาขอบเริ่มต้นภายใน สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์



(ง) รูปภาพแสดงการหาความหนาแน่นของ สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์



(จ)รูปภาพแสดงขอบเขตของข้อมูลที่ฝังอยู่ใน สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์



(ฉ) รูปภาพแสดงขอบเขตที่ไม่มีความสำคัญของ สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์

รูปที่ 2.4 รูปภาพแสดงการทำงานของการประมวลผลสัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์

ข้อมูลที่แปลงเป็นสัญลักษณ์ภายในแถวจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1 ถึง 500 ตัวอักษร ลักษณะของสัญลักษณ์สามารถปรับขนาดได้ตั้งแต่สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดพื้นที่ 1 ตาราง

มิลลิเมตรไปจนถึงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 14 ตารางนิ้ว จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นในเชิงทฤษฎีแล้ว รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ นี้มีความสามารถในการจุข้อมูลปริมาณจำนวนมากถึง 5 ร้อยล้านตัวอักษรต่อตารางนิ้ว แต่ความหนาแน่นในทางปฏิบัตินั้นถูกจำกัดด้วยขอบเขตของเทคโนโลยีการพิมพ์และเทคโนโลยีของเครื่องอ่านที่ถูกใช้อยู่ในปัจจุบัน

ลักษณะรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ มีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจอยู่หลายประการ เริ่มต้นจากข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของจุดที่ไม่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง เหมือนอย่างรหัสแท่งรูปแบบดั้งเดิม ทำให้ลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นหลังจากการเข้าประมวลรหัสรูปแบบของข้อมูล อีกทั้งข้อมูลยังถูกจัดเรียงรูปแบบที่ได้ทำการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลในระดับที่สูงจึงทำให้ข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การออกแบบลักษณะของรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ นั้น มีลักษณะพิเศษโดยทำการนำเอาส่วนของข้อมูลมาวางติดกับแนวฐานรอบๆเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากการอ่านค่า สัญลักษณ์ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ มีการกำหนดการอ่านค่าไว้ สองรูปแบบแตกต่างกันตามวิธีการแก้ไขความผิดพลาดเนื่องจากปริมาณข้อมูลที่แตกต่างกัน

โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้กับรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ เหล่านี้ใช้ความสามารถ เข้าประมวลรหัสประมาณ 50 ตัวอักษร ให้อยู่ในสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 ถึง 3 ตารางมิลลิเมตรและความจริงที่ว่ารหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ สามารถถูกอ่านแม้ว่าจะมีความคมชัดเพียงแค่ 20 เปอร์เซ็นต์ การอ่านรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ สามารถอ่านได้โดยใช้กล้องถ่ายรูปวีดิโอแบบ ซีซีดี หรือเครื่องกราดภาพแบบซีซีดี

สัญลักษณ์ของรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ที่อยู่ระหว่างสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1.8 ตารางนิ้วไปจนถึงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 7 ตารางนิ้วสามารถถูกอ่านแม้ว่าจะมีระยะระหว่างตัวอ่านกับข้อมูลจะห่างมากถึง 36 นิ้ว ด้านความสามารถในการอ่านรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ สามารถทำความเร็วได้ที่ 5 สัญลักษณ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าเมทริกซ์ ต่อ 1 วินาที

(6) รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ (Data strip code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท ซอฟท์ซตริพ (Soft strip Inc.) รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ เป็นรูปแบบของการพัฒนาในช่วงยุคแรกของรหัสแท่งแบบ 2 มิติ

จึงทำให้รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ มีเทคโนโลยีที่เก่าแก่ที่สุดในรูปแบบของการพัฒนาทางด้าน รหัสแท่งแบบ 2 มิติ

ในปัจจุบันนี้รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ เองนั้นสามารถที่จะทำการบันทึกข้อมูลภาพกราฟิกและเสียงโดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกแปลงเป็นเลขพิมพ์ลงบนกระดาษในรูปแบบที่ถูกกลั่นกรองแล้วและการอ่านค่านั้นมีความถูกต้องสูง ลักษณะส่วนประกอบที่สำคัญของData strip คือรูปแบบเฉพาะซึ่งถูกพิมพ์ลงบนกระดาษและใช้สัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการอ่านค่ารหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพที่ประกอบด้วยรูปแบบแถวที่มีส่วนประกอบจากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สีดำและสีขาวจำนวนมาก อีกทั้งยังมีเครื่องหมายตามด้านข้างและ ส่วนที่สูงสุดของภาพสัญลักษณ์โดยรวม (เพื่อบอกถึงจุดเริ่มต้นของการอ่านแล้วจุดจบในการอ่านค่า) ด้านการบรรจุข้อมูลจะทำตามแนวนอนเพื่อเรียงตามลำดับทำให้การอ่านค่ามีความถูกต้องยิ่งขึ้น ข้อมูลในส่วนหัวจะบรรจุรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลที่ถูกเก็บเอาไว้ทั้งหมดซึ่งได้แก่ ชื่อแฟ้ม จำนวนความยาวและความหนาแน่นของข้อมูล เป็นต้น

วิธีเข้าประมวลรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ จะมีการสร้างข้อมูลจำนวนหนึ่งไว้เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้การเข้าประมวลรหัสแต่ละครั้งมีความน่าเชื่อถือและความสามารถการแก้ไขความผิดที่เกิดในระหว่างการประมวลผลได้ด้วยลักษณะของการทำงานดังกล่าวทำให้ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ มีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลได้ในพื้นที่ที่กว้างเพียง 0.625 นิ้วและความยาว 9 นิ้วได้

ความหนาแน่นของข้อมูลสามารถเพิ่มได้ตั้งแต่จาก 150 ไบต์ ถึง1,000 ไบต์ต่อ 1 ตารางนิ้วความสามารถทั้งหมดของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการพิมพ์ โดยที่ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ สามารถถูกพิมพ์โดยใช้การพิมพ์แบบจุด การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ หรือเครื่องพิมพ์แบบใช้ความร้อนก็ได้ อีกทั้งรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ สามารถนำไปใช้กับพื้นผิววัสดุที่มีความหลากหลายทั้งวัสดุแบบดั้งเดิมที่เป็นกระดาษและวัสดุแบบที่เป็นพลาสติก โดยที่ความหนาแน่นที่ต่ำที่สุดจะอยู่ที่ 1,100 ไบต์ต่อ 1 ตารางนิ้ว ความหนาแน่นที่บรรจุได้มากที่สุดของรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพเมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์ คือ 3,500 ไบต์ ต่อ 1 ตารางนิ้ว และการพิมพ์ที่ให้ความหนาแน่นสูงที่สุดเมื่อพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เทคโนโลยีถ่ายภาพ คือ 4,800 ไบต์ต่อ 1 ตารางนิ้ว

สำหรับเทคโนโลยีด้านการอ่านค่าคืนกลับของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ ต้องถูกอ่านจากเครื่องอ่านแบบพิเศษของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ เองและตัวเครื่องอ่านนั้นจำเป็นต้องมีรหัสพิเศษฝังไว้ภายในเพื่อการคำนวณด้วย โดยตั้งเดิม รหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ นี้ถูกส่งเสริมเพื่อให้เป็นทางเลือกใหม่ของการตีพิมพ์ซอฟต์แวร์ในหนังสือและนิตยสารในรูปแบบแมชชีนรีดเอเบิล (Machine readable) ปัจจุบันรหัสแท่ง 2 มิติแบบดาต้าซตริพ ยังได้รับความสนใจจากคนส่วนใหญ่ในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพิมพ์ข้อมูลลงบนบัตรประชาชน

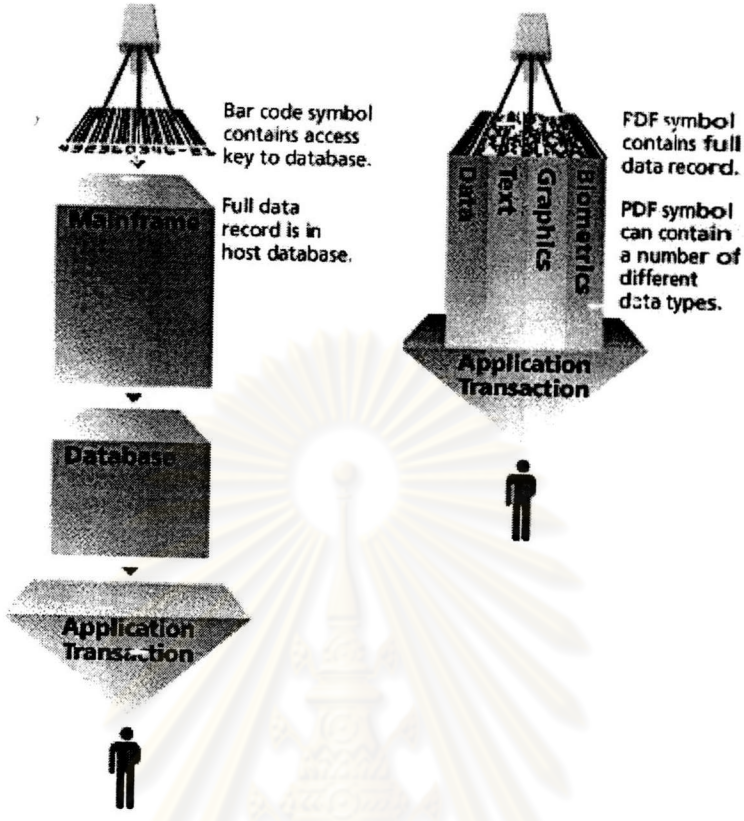
(7) รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417 (PDF417 code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417 เป็นภาพรวมของสัญลักษณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย นายหยิน จิน วาง (Mr. Ynjiun Wang) ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ซิมโบล์ เทคโนโลยี (Symbol Technologies Inc.) ในปี ค.ศ. 1991 รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ เป็นการจัดเก็บแฟ้มข้อมูลแบบใช้พกติดตัว โดยที่โครงสร้างประกอบด้วยสัญลักษณ์ซึ่งมีส่วนประกอบ 17 สัญลักษณ์แต่ละอันบรรจุรวมอยู่ด้วย 4 แถบมีช่องว่างระหว่างตัวข้อมูล ดังนั้นรหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟจึงได้ชื่อรหัสว่า รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417

ลักษณะความหนาแน่นของจำนวนตัวอักษรเริ่มต้นตั้งแต่ 100 ตัวอักษรจนถึง 3,409 ตัวอักษร โดยข้อมูลจะมีความจุตั้งแต่ 1,000 ตัวอักษรถึง 2,000 ตัวอักษร ต่อสัญลักษณ์ 1 สัญลักษณ์ โดยที่สัญลักษณ์แต่ละสัญลักษณ์จะมีการบอกจุดเริ่มต้นและจุดหยุดโดยการอาศัยการขยายความสูงของสัญลักษณ์

รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417 สามารถถูกอ่านด้วยลำแสงเลเซอร์ แบบพกพาที่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขแล้วโดยให้มีคุณลักษณะเหมือนเครื่องอ่านกราดภาพซีซีดีหรือ จะอ่านจากเครื่องกราดภาพ ซีซีดี ก็ได้

ด้านการพิมพ์สามารถใช้เครื่องพิมพ์ที่มีระดับความหนาแน่นของน้ำหมึกสูง เพื่อให้สามารถสร้างสัญลักษณ์ที่ชัดเจนลงบนสื่อ การพัฒนารูปแบบนี้ได้ทำการพัฒนาโดยอ้างอิงกับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ซึ่งทำให้สามารถบันทึกข้อมูลจากพวกแฟ้มรูปภาพ แล้วสามารถดึงข้อมูลกลับมาเพื่อทำการบันทึกลงบนโปรแกรมพิมพ์ดีดได้

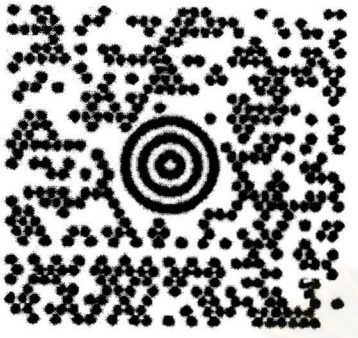


รูปที่ 2.5 รูปภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการทำงานของรหัสแท่งแบบเก่าและการทำงานของรหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417

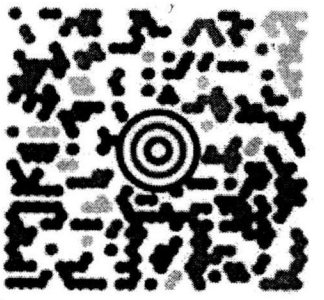
ตัวโปรแกรมที่ทำการสร้างรูปแบบสัญลักษณ์นั้น อนุญาตให้ผู้ใช้การจัดการพารามิเตอร์ของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบพีดีเอฟ 417 ได้อย่างอิสระเช่นจำนวนของแถวและคอลัมน์ ระดับจัดการการแก้ไขความผิดพลาด ก็สามารถตั้งได้ตามความพอใจของผู้ใช้

(8) รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด (Maxi code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด หรืออีกชื่อหนึ่งว่า รหัสแท่ง 2 มิติแบบยูพีเอส โค้ด (UPS Code) ได้ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1992 โดย กลุ่ม ยูนิตเตด พาเซล เซอร์วิส (United Parcel Service) โดยรูปแบบของการพัฒนาเริ่มต้นขึ้นมีการค้นพบว่ารูป หกเหลี่ยมนั้นสามารถจะบรรจุลงในพื้นที่ขนาดเดียวกันได้มากกว่ารูปสี่เหลี่ยมโดยสามารถเพิ่มพื้นที่ได้ร้อยละ 15 ของพื้นที่โดยรวม โดยที่พื้นที่ที่บรรจุมีขนาดเท่ากัน เมื่อมีการทดลองนำรูป หกเหลี่ยมมาวางเรียงต่อกันในพื้นที่ขนาด 1 ตารางนิ้วสามารถเรียงต่อกันได้ถึง 866 ชิ้น



(ก) รูปภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ดแบบสีเดียว



(ข) รูปภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ดแบบไล่ระดับเฉดสี

รูปที่ 2.6 รูปภาพแสดงลักษณะทางกายภาพของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด

แต่ผลการทดลองทั้งหมดจำเป็นต้องอาศัยเครื่องพิมพ์คุณภาพสูงในการพิมพ์รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด ด้านความสามารถในการจุปริมาณข้อมูลของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด อยู่ที่ 100 ตัวอักษรต่อ 1 ตารางนิ้ว และ ลักษณะพิเศษอีกอย่างของรหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด นั้นคือ หากข้อมูลที่ทำการพิมพ์ลงไปนั้นสูญหายไปน้อยกว่า 25% การที่ทำการดึงข้อมูลกลับมาก็ยังสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์และถูกต้อง

(9) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ด** (Super code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ด ถูกพัฒนาขึ้นนายหยินจิน หว่าง (Mr. Ynjiun Wang) ในปี ค.ศ. 1994 และถูกเผยแพร่ออกสู่สาธารณะชนในปีเดียวกันโดย รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ดนั้นจะมีโครงสร้างแบบกลุ่มของเครื่องหมาย มีลักษณะพื้นฐานคือเป็นกลุ่มของข้อมูลที่มีหลายแถวอยู่รวมกัน ลักษณะหลักของสัญลักษณ์ที่นำมาใช้นั้นจะมีตัวกำหนดจุดเปลี่ยนตำแหน่งของตัวสัญลักษณ์ต่างๆในแนวนอนของกลุ่มสัญลักษณ์ทั้งหมดเพื่อบอกตำแหน่งในการอ่านค่าซึ่งจะมีกฎเกณฑ์ตายตัว

แต่ถึงกระนั้น รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ด นั้นก็มีความยืดหยุ่นและมีความเป็นอิสระในการแทนที่กลุ่มสัญลักษณ์ต่างๆในแนวตั้งและแนวนอนได้มากกว่าที่ทำแบบ รหัสแท่ง 2 มิติแบบแม็กซี่ โค้ด ด้วยโครงสร้างของกลุ่มสัญลักษณ์ของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ดนั้นมีการประมวลผลเข้ารหัสข้อมูลของแต่ละกลุ่มสัญลักษณ์ทำให้สามารถแก้ไขความผิดพลาด ที่อาจจะ

เกิดขึ้นเกี่ยวพันกับตัวอักษรสัญลักษณ์ที่กลุ่มสัญลักษณ์ของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ดโดยการอ้างอิงจากตำแหน่งและค่าที่ปรากฏ

ดังนั้นการเรียงลำดับของสัญลักษณ์ของ รหัสแท่ง 2 มิติแบบซุปเปอร์ โค้ดจึงมีความแตกต่างออกไป ไม่ใช่เพียงแค่จะพิจารณาดูเฉพาะที่ไม่ใช่สัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมเท่านั้นแต่จะต้องดูด้วยว่า กลุ่มสัญลักษณ์แต่ละอันนั้นจะต้องไม่ชิดติดกันกับอันอื่นๆ ปริมาณข้อมูลจำนวนมากที่สุดที่สามารถบรรจุได้ต่อ หนึ่งกลุ่มสัญลักษณ์ โดยที่มีการตั้งค่าการป้องกันระดับแก้ไขความผิดพลาดที่ต่ำที่สุดคือ กรณีที่เป็นตัวอักษรผนวกกับตัวเลขสามารถบรรจุได้ 4,083 ตัวอักษร กรณีที่เป็นตัวเลขเพียงอย่างเดียวสามารถบรรจุได้ 5,102 ตัวเลข หรือ ปริมาณข้อมูลโดยรวมคือ 2,546 ไบต์

(10) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ด** (Ultra code)

รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ด ได้ถูกพัฒนาขึ้นจาก กลุ่ม ซีบร้า เทคโนโลยี (Zebra technologies Group) รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ด นั้นมีโครงสร้างของแถบข้อมูลที่มีลักษณะเป็นการรวมตัวกันของคอลัมน์ของจุด ที่มีความกว้างจำกัด ตัวข้อมูลสัญลักษณ์นั้นสามารถบรรจุได้ทั้ง ตัวเลข และ ตัวอักษร และมีการป้องกันความผิดพลาด แนวทางการพัฒนานั้น มีการอ้างอิงใน 2 รูปแบบคือ การพัฒนาที่ว่าด้วยเรื่องของสีดำและสีขาวที่มีความหนาแน่นที่ไม่สูงมากนัก กินเนื้อที่ของแถบข้อมูลจำนวนมากเมื่อเทียบกับหลังการพัฒนาให้มีความสามารถแบบเฉดสี

รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ด รูปแบบที่สอง คือมีการนำเทคโนโลยีการพิมพ์สีมาใช้ โดยใช้ค่าสีทั้งหมดจำนวน 8 สี ในการแทนค่าข้อมูล ได้แก่ สีขาว, สีแดง, สีเขียว, สีฟ้าอมเขียว, สีแดงอมชมพู, สีม่วงอมน้ำเงิน, สีเหลืองและสีดำ ซึ่งการนำเอาสีทั้ง 8 สีมาใช้นั้นเพื่อรองรับการใช้ภาษาตัวอักษรที่แตกต่างกัน 43 ภาษา รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ดนั้นมีความแตกต่างจากรหัสแท่ง 2 มิติโดยทั่วไปที่เป็นรหัสแท่ง 2 มิติจากรหัสแท่งผสมกับข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาด ซึ่งรหัสแท่งเหล่านั้นจะมีอัตราส่วนสัญลักษณ์ที่มีขนาดความยาวและบางที่แตกต่างกันเพื่อใช้ในการบ่งบอกว่ารหัสแท่งดังกล่าว รหัสแท่ง 2 มิติแบบอัลตร้า โค้ดนั้นใช้สีมาช่วยในการทดแทนข้อมูลจึงทำให้มีความสามารถในการพิมพ์ที่ง่ายขึ้นด้วย

(11) **รหัสแท่ง 2 มิติแบบ ดาต้ากลิปส์**

ดาต้ากลิปส์ เป็นเทคโนโลยีที่ทำการพัฒนาขึ้นมาจาก บริษัทซีรอกซ์ (Xerox Co., Ltd.) และเป็นเทคนิคซึ่งทำให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่าน และเข้าใจข้อมูลบนเอกสารกระดาษ โดยที่ดาต้ากลิปส์จะเข้ารหัสข้อมูลตัวอักษร รูปภาพ ด้วยสัญลักษณ์รูปภาพขนาดเล็ก โดยแต่ละกลุ่ม

สัญลักษณ์จะประกอบด้วยเส้นทแยงมุม 45 องศา ที่มีขนาดเล็ก ประมาณ 1,000 เส้นต่อ 1 ตารางนิ้วหรือน้อยกว่านั้น โดยขึ้นอยู่กับความละเอียดของการพิมพ์ และการอ่านภาพจากเครื่องกราดภาพ ที่ใช้ แต่ละสัญลักษณ์จะแทนสัญญาณทวิภาค 0 หรือ 1 ขึ้นอยู่กับว่าสัญลักษณ์นั้นเอียงซ้าย หรือขวา

สัญลักษณ์จะอยู่เป็นกลุ่มในช่องสี่เหลี่ยม เมื่อสัญลักษณ์ถูกพิมพ์อย่างดี ดาต้ากลิปส์จะสามารถประกอบกันเป็นรูปได้โดยไม่สามารถแยกได้โดยสายตามนุษย์ แต่ละ ดาต้ากลิปส์ประกอบไปด้วยการฝังโครงร่างตาข่ายที่สอดคล้องกัน โดยรูปแบบที่ซ้ำๆ กันของสัญลักษณ์จะเป็นตัวกำหนดขอบเขตของดาต้ากลิปส์ ซึ่งช่วยปรับปรุงความเชื่อถือได้ของการอ่านกลุ่มของสัญลักษณ์ แต่ละสัญลักษณ์แทนไบต์ของข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกจัดกลุ่มลงในบล็อกซึ่งมี 24 – 36 บิต แต่ละหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีการเพิ่มรหัสในการแก้ไขความผิดพลาด ซึ่งแต่ละโปรแกรมประยุกต์จะกำหนดจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการแก้ไขความผิดพลาดที่ใช้โดยขึ้นอยู่กับคุณภาพที่ต้องการจากงานพิมพ์และการอ่านภาพ ในดาต้ากลิปส์ ไบต์ข้อมูลจะถูกกระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ ดังนั้นหากมีบางส่วนของ ดาต้ากลิปส์ถูกทำลาย การเข้ารหัสที่ช่วยแก้ไขความผิดพลาดจะช่วยกู้ข้อมูลในส่วนที่หายไปคืนมาได้ การมีการเข้ารหัสข้อมูลที่ช่วยแก้ไขความผิดพลาดนั้นทำให้ดาต้ากลิปส์มีความน่าเชื่อถือมากกว่าการเข้ารหัสข้อมูลแบบอื่น

จำนวนของข้อมูลที่สามารถเข้ารหัสลงในดาต้ากลิปส์ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์พิมพ์และอุปกรณ์อ่านภาพที่ใช้ โดยความหนาแน่นของดาต้ากลิปส์จะถูกระบุโดยปัจจัยหลัก 4 อย่างคือ

(ก) ความละเอียดที่ใช้ในการพิมพ์ โดยอุปกรณ์ที่มีความละเอียดสูงกว่า เช่น การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์จะมีความหนาแน่นของดาต้ากลิปส์สูงกว่าการใช้เครื่องพิมพ์แบบจุด หรือการแสกนด้วยความละเอียดที่สูง ยิ่งทำให้มีความถูกต้องของการอ่านข้อมูลที่ดีกว่า เช่น การแสกน ภาพที่ความละเอียด 300 จุดต่อตารางนิ้ว ย่อมให้ผลของความถูกต้องที่ดีกว่า การกราดภาพที่ความละเอียด 150 จุดต่อตารางนิ้ว

(ข) จำนวนของข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบ และ แก้ไขความผิดพลาดโดยความหนาแน่นของดาต้ากลิปส์ที่มากที่สุดจะเกิดจากการไม่เข้ารหัสข้อมูลที่ใช้ในการแก้ไขความ ผิดพลาดเลย ซึ่งอาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดทำให้การดึงข้อมูลที่แฝงไว้กลับมา

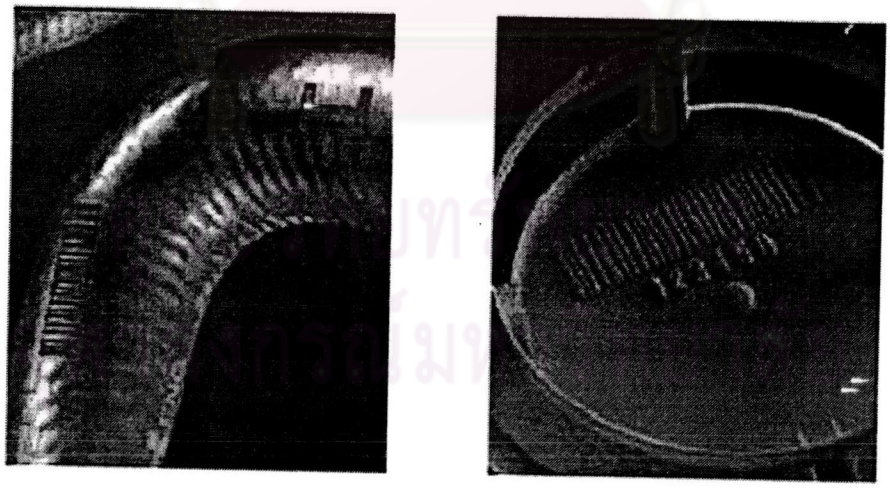
(ค) การบีบอัดข้อมูลที่ใช้การนำเทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลมาช่วยจะทำให้ความหนาแน่นของข้อมูลในดาต้ากลิปส์มากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีการบีบอัดยังมี การพัฒนาน้อยอยู่มากสาเหตุเนื่องจากดาต้ากลิปส์ ยังเป็นเทคโนโลยีใหม่

(ง) ขนาดของเฟรมแบบสมวาร (Synchronization Frame) และส่วนหัว (Header) สำหรับดาต้ากลิปส์ ส่วนของเฟรมเป็นส่วนที่มีขนาดข้อมูลที่แน่นอน และมีส่วนหัวที่มีขนาดเล็กจะเป็นส่วนที่ทำการบรรจุส่วนที่ทำการตรวจสอบรายละเอียดต่างๆ ของข้อมูล

ปัญหาของดาต้ากลิปส์ในปัจจุบันคือ มีความสามารถในการบันทึกข้อมูลต่ำ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการพิมพ์ข้อมูลดังกล่าวลงบนกระดาษ จำเป็นต้องใช้กระดาษที่มีคุณภาพสูง พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ที่มีคุณภาพสูง อีกทั้งยังจำเป็นต้องอ่านข้อมูลจากเครื่องกราดภาพที่มีคุณภาพสูงอีกด้วย จึงทำให้เกิดปัญหาในการใช้งาน ดาต้ากลิปส์ดังกล่าว

2.1.3 รหัสแท่งแบบ 3 มิติ (3D bar codes or Bumpy bar code)

รหัสแท่งแบบ 3 มิติความจริงแล้วลักษณะส่วนใหญ่มีความใกล้เคียงกับรหัสแท่งแบบ 1 มิติ เช่นเดียวกับ รหัสแท่งแบบ โค้ด 39 และ รหัสแท่งแบบ โค้ด 128 โดยที่ รหัสแท่งแบบ 3 มิติจะมีลักษณะที่แตกต่างคือ จะมีลักษณะความโค้งนูนพิเศษบนพื้นผิววัสดุที่เป็นรหัสแท่ง



รูปที่ 2.7 รูปภาพแสดงการใช้งานของ รหัสแท่ง 3 มิติ

การอ่านรหัสแท่ง 3 มิตินี้จะให้ความสำคัญกับความสูงของพื้นผิวมากกว่าความเข้มจางของลักษณะแถบสีของรหัสแท่ง ซึ่งความแตกต่างระหว่างรหัสแท่งและพื้นที่ว่างจะถูกอ่านด้วย

เครื่องมือชนิดพิเศษ รหัสแท่ง 3 มิตินี้จะนำไปใช้ในลักษณะพื้นผิวที่รหัสแท่ง 2มิติไม่สามารถพิมพ์ลงไปได้หรือพื้นผิวที่ต้องทนทานต่อสภาพที่ต้องถูกกัดกร่อน รหัสแท่ง 3 มิติแบบนี้ทำให้การทำงานที่ต้องการติดฉลากลงบนพื้นผิวที่ไม่สามารถทำได้ ให้สามารถทำได้ง่ายขึ้น

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทางด้านการประมวลผลภาพ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงระบบการประมวลผลภาพที่มีการนำมาใช้ในปัจจุบัน ทั้งในเรื่องของแบบจำลองสีในแบบต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในงานวิจัย และที่มีใช้จริงในการพิมพ์สื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ อีก ทั้งยังจะกล่าวถึงการทำงานของระบบแบบจำลองสีในหน้าจอเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย เนื่องจากจำเป็นต้องนำเอาค่า สี ที่แตกต่างกันทั้งสองระบบมาเชื่อมต่อกัน เพื่อนำไปประมวลผลภาพต่อไป

2.2.1 แบบจำลองสี (Color Model)

แบบจำลองสี ถูกกำหนดขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ ในการกำหนดสีของภาพหรือสีของวัตถุให้มีความเหมือนจริงมากที่สุด ซึ่งแบบจำลองสีในแต่ละแบบนั้นจะให้ความสะดวกในแง่ที่แตกต่างกัน เช่น แบบจำลอง RGB ให้ความสะดวกในการสร้างภาพจำลองบนจอคอมพิวเตอร์ แบบจำนวน CMY ให้ความสะดวกในการให้ค่าสีสำหรับการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์สีและแบบจำลอง YIQ เป็นแบบจำลองที่เป็นมาตรฐานสำหรับภาพจำลองที่แสดงทางโทรทัศน์ นอกจากนี้ยังมีแบบจำลอง HSI และ HSU เป็นแบบจำลองซึ่งให้ความสะดวกในการกำหนดสีของวัตถุหรือการจัดการเกี่ยวกับ การเทียบสี

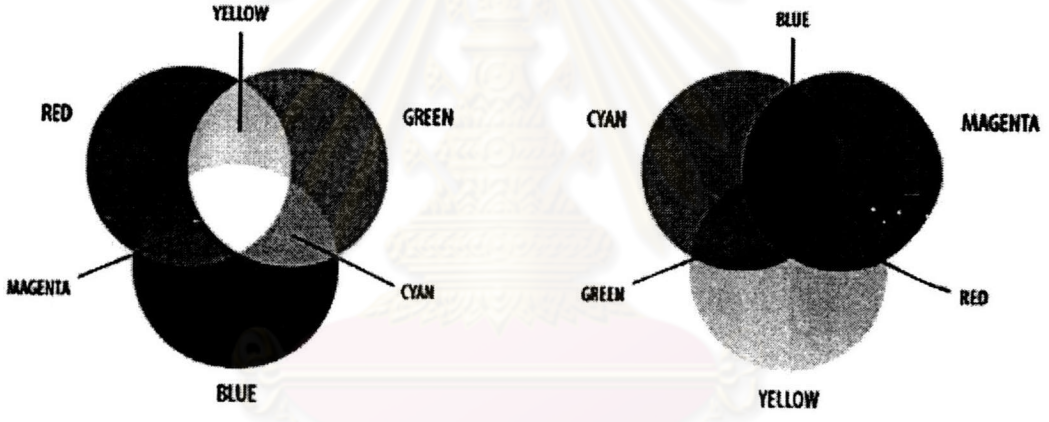
การนำแบบจำลองสีมาใช้นั้น ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าต้องการแสดงผลของภาพจำลองแบบใดหรือต้องการศึกษาคุณสมบัติเรื่องใดของภาพ แต่เมื่อนำค่าต่างๆของแต่ละแบบจำลองมาลองใช้ร่วมกันเพื่อสร้างภาพจำลองที่มีสีต่างๆกันจะต้องได้ภาพที่มีลักษณะที่เหมือนกันไม่ว่าจะเป็นภาพที่สร้างจากแบบจำลองสีแบบใดก็ตาม สำหรับแบบจำลองสีที่จะกล่าวถึงในที่นี้คือ แบบจำลอง RGB และ CMY

(1) แบบจำลองสี RGB (The RGB color model)

แบบจำลอง RGB สีต่างๆที่ปรากฏนั้นประกอบด้วยสีหลัก 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถแทนแบบจำลองนี้ได้โดยใช้รูปทรงลูกบาศก์ขนาดหนึ่งหน่วย (The unit cube)

โดยที่ RGB หรือสีหลักทั้ง 3 สีจะเป็นแกนทั้ง 3 แกนของลูกบาศก์ แต่ละค่าของ RGB จะอยู่ในช่วงระหว่างช่วงผิด [0,1] และกำหนดค่าจุดกำเนิด (Origin) เป็นสีดำ [0,0,0] จุดที่อยู่ไกลที่สุดแทนด้วยสีขาว [1,1,1] ส่วนตามเส้นทแยงมุมระหว่างจุดกำเนิดและจุดปลายคือช่วงสีเทา และมุมทั้งสามมุมที่เหลืออยู่ของลูกบาศก์ แทนด้วยสีม่วงแดงเข้ม สีที่อยู่ระหว่างสีเขียวเป็นสีน้ำเงินและสีเหลือง

ภาพที่ได้จากแบบจำลอง RGB จะประกอบด้วยระนาบของภาพ ที่เป็นอิสระต่อกัน 3 ระนาบ แต่ละระนาบภาพแทนสีหลักแต่ละสีของ RGB ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก.) ดังนั้น เมื่อต้องการสร้างภาพจำลองบนจอภาพคอมพิวเตอร์จะอาศัยการผสมกันของระนาบทั้งสามเพื่อทำให้เกิดเป็นสีต่างๆ ปรากฏบนจอภาพการผสมกันของระนาบภาพทั้งสามนี้ คล้ายกับการรับรู้และสร้างภาพในดวงตามนุษย์และจอคอมพิวเตอร์ ดังนั้นแบบจำลอง RGB จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาในระบบคอมพิวเตอร์



(ก) รูปแสดงลักษณะของสีที่เกิดจากการผสมของในแบบจำลอง RGB

(ข) รูปแสดงลักษณะของสีที่เกิดจากการผสมของในแบบจำลอง CMY

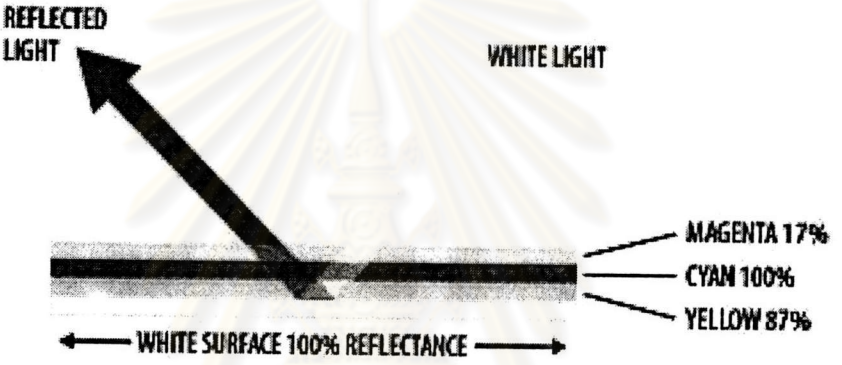
รูปที่ 2.8 รูปแสดงลักษณะของสีที่เกิดจากการผสมของในแบบจำลอง RGB

(2) **แบบจำลองสี** CMY (The CMY color model)

สีระหว่างสีน้ำเงินและเขียว, สีม่วงแดงเข้ม และสีเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ข.)ได้ถูกนำมาวางซ้อนทับกันบนพื้นผิวก่อให้เกิดเป็นสีแสดงให้เห็นบนพื้นผิวเพื่อแสดงออกมาให้มนุษย์เห็นในลักษณะของ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเหลือง ในด้านสิ่งพิมพ์ จะมีการใช้งานแบบจำลองสี CMY มากกว่า แบบจำลอง RGB แต่การทำงานกับแบบจำลองสีทั้งสองแบบจำเป็นต้องทำงานควบคู่ไปด้วยกัน เพราะการทำงานของแต่ละแบบจำลองสีมีลักษณะจำเพาะที่ต้องนำมาใช้ โดยแบบจำลอง RGB นั้นมีความสามารถในด้านการปรับค่าแสงสว่าง ได้ดีกว่าแบบจำลองแบบ CMY แต่

แบบจำลองแบบ CMY ก็มีความสามารถในการไล่ระดับสีที่ดีกว่า แบบจำลอง RGB ดังนั้นการทำงานด้านสิ่งพิมพ์จึงจำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองสีทั้งสองแบบในการทำงาน

การทำงานของแบบจำลองสี CMY นั้น ทำงานโดยอาศัยการพิมพ์รูปแบบ การเรียงลำดับชั้น (Layer) และใช้ไล่อัตราผสมสีระหว่าง หมึกสีระหว่างสีน้ำเงินและเขียว, หมึกสีม่วงแดงเข้ม และหมึกสีเหลือง แสงจะถูกส่งผ่านหมึกไปกระทบกับพื้นผิวด้านใต้และสะท้อนกลับ โดยอัตราส่วนปริมาณของหมึกสีในแบบจำลอง CMY จะมีความสัมพันธ์กับค่าสีที่แสดงในแบบจำลอง RGB ที่สะท้อนจากแสงที่ส่งผ่านเข้าไปหรือแสงสีที่มนุษย์เห็นนั้นเอง



รูปที่ 2.9 รูปแสดงการพิมพ์เรียงลำดับชั้นของสีบนพื้นผิวที่มีการสะท้อนแสง

เมื่อมีการพิมพ์ภาพลงบนกระดาษหมึกสีจะทำการสร้างชั้นลำดับของเม็ดสีลงบนพื้นผิวซึ่งเราเรียกว่าลวดลาย (Rosette) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 แต่สิ่งที่ตาเปล่าของมนุษย์เห็นจะไม่ใช่ลักษณะของลวดลายแต่เป็นสีที่ต่อเนื่องกัน และเมื่อมองใกล้เข้าไปจะเห็นเป็นลักษณะที่เด่นชัดของลวดลายของเม็ดสีต่างๆที่เครื่องพิมพ์พิมพ์ออกมา

ตามหลักการการผสมสีของแบบจำลอง CMY ด้วยสีหลักทั้งสามสี ได้แก่ สีระหว่างสีน้ำเงินและเขียว, สีม่วงแดงเข้ม และสีเหลืองที่ 100 เปอร์เซ็นต์ สีที่ได้ออกมาจะเป็นสีดำ กล่าวคือแสงที่มากระทบกับวัตถุถูกดูดซับไว้ทั้งหมด แต่ในทางปฏิบัติแล้ว แบบจำลอง CMY ไม่สามารถทำงานได้ด้วยตัวของมันเองเพียงอย่างเดียว เพราะความไม่สมบูรณ์ของหมึกที่มีข้อจำกัด และการที่จะสร้างสีที่มีความสามารถในการดูดซับแสงแบบสมบูรณ์นั้นในทางปฏิบัติจริงๆแล้ว ไม่สามารถทำได้ ดังนั้น สีดำที่ได้จากการผสมสีในแบบจำลอง CMY นั้นคือสีเทาที่มีความเข้มสูงนั้นเอง ดังนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่ต้องการสีดำหรือการผสมสีน้ำตาลแสงสีของเงา ในการพิมพ์จะมีการเพิ่มหมึก

สีดำเข้าไปด้วย โดยแทนสัญลักษณ์เป็น K ดังนั้นการพิมพ์สิ่งพิมพ์ด้วยแบบจำลอง CMY ที่มี การทำงาน 4 ขั้นตอนจึงเรียกว่า แบบจำลอง CMYK

ในการสร้างภาพที่มีลักษณะของสีที่มีความต่อเนื่อง เช่น รูปถ่าย ไม่เหมือนการสร้างสีในรูปแบบของแข็งหรือการสร้างเม็ดสีบนจอภาพ เพราะว่าภายในรูปภาพนั้นมีความหลากหลายของขนาดของเม็ดสีและความต่อเนื่องของช่วงที่มีการไล่ระดับของสีที่มีความต่างแตกกัน อย่างไรก็ตามส่วนต่างของภาพก็ถูกเติมเต็มด้วย สีระหว่างสีน้ำเงินและเขียว, สีม่วงแดงเข้ม, สีเหลืองและสีดำในลักษณะการเรียงตัวของลวดลาย

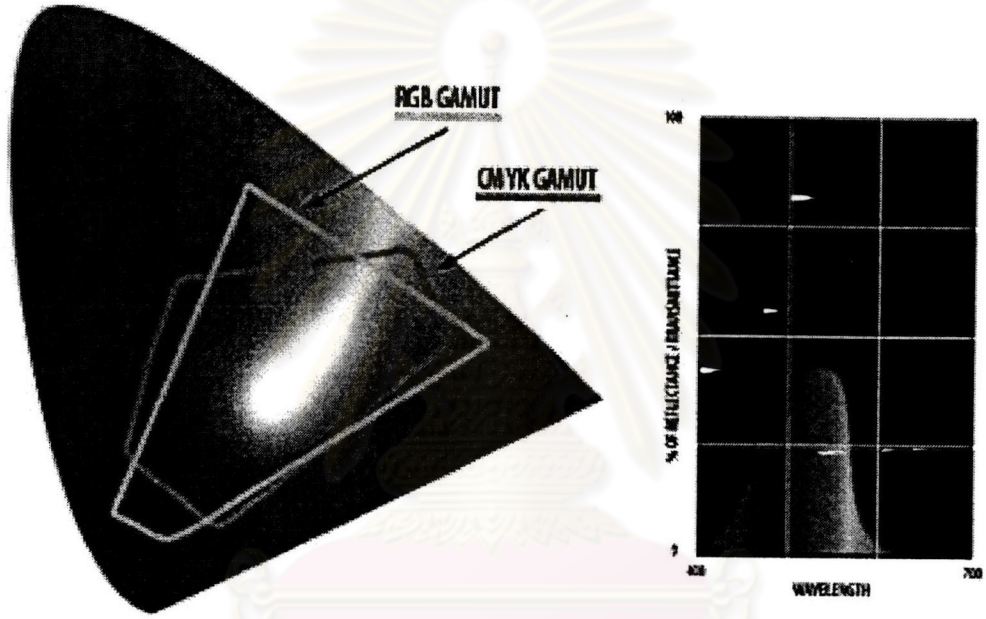
รูปที่ 2.10 รูปภาพแสดงการพิมพ์เม็ดสีลงบนภาพเพื่อให้เกิดสีที่ต้องการ

สุดท้ายการพิมพ์ภาพด้วยแบบจำลอง CMYK ยังคงต้องอยู่ในการพิจารณาของความรู้สึกของมนุษย์เองว่าสีที่ได้มานั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด การเรียงตัวของเม็ดสีระหว่างสีน้ำเงินและเขียว, สีม่วงแดงเข้ม, สีเหลืองและสีดำ สามารถสร้างสีปรากฏให้มนุษย์สามารถเห็นสีได้บนพื้นสีสิ่งพิมพ์

(3) **การควบคุมระดับความแตกต่างของแบบจำลองสี RGB และ CMY**

ปัญหาหนึ่งที่มักพบในการพิมพ์และภาพที่แสดงให้เห็นนั้นคือระดับของสีที่แสดงไม่ตรงกัน เนื่องจากการที่มีการใช้แบบจำลองสีที่มีความแตกต่างกัน 2 แบบจำลองสีนั้นเอง ทำให้ต้องมีการกำหนดระดับค่าของสองแบบจำลอง ระหว่างช่วงสีของแบบจำลองสี RGB และช่วงสีของแบบจำลอง CMY อย่างไรก็ตามเมื่อเรามองแบบจำลอง RGB และ แบบจำลอง CMY สิ่งที่ขาดเสีย

ไม่ได้เลย คือมนุษย์สามารถพิจารณาขอบเขตของสีภายใต้แบบจำลองเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใด เนื่องจากความไม่แม่นยำในการแปลงค่าของแบบจำลองทั้ง สอง จึงได้มีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อทำการศึกษาถึงขอบเขตการซ้อนทับกันของแบบจำลองทั้งสอง ในปี ค.ศ. 1931 CIE Chromaticity Diagram (แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของสีที่มนุษย์สามารถรับรู้ได้ในแต่ละแบบจำลอง) จากแบบจำลองจะเห็นได้ว่า มีปริมาณสีจำนวนมากที่ แบบจำลอง RGB ไม่สามารถแสดงในรูปแบบของแบบจำลอง CMY(K) ได้ และในทางกลับกันก็มีปริมาณสีจำนวนมากที่แบบจำลอง CMY ไม่สามารถแสดงในรูปแบบจำลอง RGB ได้เช่นกัน



รูปที่ 2.11 รูปแบบแสดงขอบเขตของการคาบเกี่ยวกันระหว่างแบบจำลอง RGB และแบบจำลอง CMY

สิ่งที่แน่นอนที่สุดก็คือแต่ละแบบจำลองจะให้ค่าสีอย่างไร ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวในการแสดงสีต่างๆเหล่านั้น ทุกๆอุปกรณ์ที่นำมาแสดงสีในแบบจำลองสี RGB ไม่ว่าจะเป็น จอแสดงภาพ , เครื่องพิมพ์สี, เครื่องกราดภาพสี เป็นต้น ก็จะมีช่วงความแตกต่างของระดับสีที่แตกต่างกันออกไปในแบบฉบับของตัวเอง ถึงแม้ว่าโรงพิมพ์ต่างๆจะพยายามกำหนดมาตรฐานสำหรับสีที่จะนำมาใช้งาน เช่น SWOP (Specifications for Web Offset Publications) แต่ก็ยังมีตัวแปรที่แตกต่างกันอีกจำนวนมากในขั้นตอนการผลิต เช่น หมึก และ กระดาษ หรือแม้แต่ความแตกต่างด้านสภาพแวดล้อม

ความแตกต่างของค่าสีต่างๆเหล่านี้สร้างปัญหาอย่างมากกับผลิตภัณฑ์จำพวกจอคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานของการพิมพ์เพราะปัญหาค่าระดับที่มีค่าไม่ตรงตามที่แสดงออกมาบนจอภาพหลังจากที่พิมพ์แล้วนั้นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย