

การเพิ่มความแม่นยำต่อการวัดปริมาณการเป็นกรด-เบสด้วยเทคนิค

ประมวลผลภาพบนสมาร์ทโฟน

Increasing Accuracy of pH Measurements by Image Processing

Technique on Smartphones

ศุภลักษณ์ อัมลอย^{1,2} และ ปกรณ์ ปรีชาบุรณะ^{1,2*}Supaluck Amloy^{1,2} and Pakorn Preechaburana^{1,2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคนิคการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นบนกระดาษสำหรับวัดค่าความเป็นกรด-เบส โดยใช้สมาร์ทโฟน เพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความแม่นยำในการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจากการประเมินด้วยสายตาของผู้อ่านค่า ไปเป็นการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพบนสมาร์ทโฟนเพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรด-เบสที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน โดยมีหลักการเริ่มต้นจากการถ่ายภาพด้วยกล้องของสมาร์ทโฟน แล้วทำการแปลงค่าปริภูมิสี RGB ไปเป็นปริภูมิสีมาตรฐาน CIE 1931 ซึ่งเป็นปริภูมิสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายภาพ จากนั้นจึงวิเคราะห์หาสมการปรับเทียบมาตรฐานที่สามารถใช้ระบุค่าความเป็นกรด-เบสจากค่าความเข้มสีได้ ในการทดลองได้ทดสอบกับสารละลายบัฟเฟอร์จำนวน 6 ค่า และวิเคราะห์ค่าสีเพื่อระบุค่าความเป็นกรด-เบสจากสมการปรับเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้น จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสที่วัดได้จากสมาร์ทโฟนมีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐานไม่เกิน 8.7% และมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9841 และ 0.9901 สำหรับ HTC One และ Lenovo K900 ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มความแม่นยำให้กับการอ่านค่าความเป็นกรด-เบสโดยใช้สมาร์ทโฟนให้ใกล้เคียงกับค่าจากเครื่องวัดมาตรฐานได้ ซึ่งจะมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารที่สามารถใช้สมาร์ทโฟนหรือ อุปกรณ์ถ่ายภาพในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบสของผลิตภัณฑ์ที่แม่นยำขึ้นได้จากการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ

คำสำคัญ: ระบบพิกัดสี เทคนิคการตรวจวัดจากการเปลี่ยนแปลงสี การวัดค่าความเป็นกรด-เบส สมาร์ทโฟน

Abstract

This research demonstrates a technique for measuring acid-base (pH) values from the color changes occurring on pH paper using smartphones. The purpose of this research is to increase the accuracy of the pH measurement from the reader's visual evaluation to be close to the values obtained from the standard

¹ผศ. ดร. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

²หน่วยวิจัยด้านนวัตกรรมอุปกรณ์ทางแสงและวัสดุนาโนเพื่อการตรวจวัดทางเคมีและชีววิทยาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

¹Ast. Prof. Dr., Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani, 12120, Thailand

²Thammasat University Research Unit in Innovation of Optical Devices and Nanomaterials for chemical and biological sensing, Thammasat University, Pathum Thani, 12120, Thailand

*Corresponding author: Tel.: 091-4089251. E-mail address: ppakorn@tu.ac.th

(Received: July 12, 2023; Revised: September 15, 2023; Accepted: September 25, 2023)

pH meter by using image processing technique on smartphones. The steps in the experiment are to take the images of pH papers with the smartphones' camera and then to convert the color space of the captured images from RGB to the device independent CIE 1931 standard color space. A calibration equation was constructed to determine the pH values from the color intensities. In the experiment, six buffer solutions were tested and the color values were analyzed to determine the pH values from the generated calibration equation. From the experimental results, it was found that the error of pH values measured by the smartphone was less than 8.7% from the standard pH meter and the correlation coefficients were 0.9841 and 0.9901 for the HTC One and the Lenovo K900, respectively. Thus, the proposed colorimetric technique can increase the accuracy of the pH measurement using smartphones to be close to the values from the standard pH meter. This will be useful in the food industry where smartphones or Imaging equipment are used to increase the accuracy of products' pH values by the image processing techniques.

Keywords: Color Spaces, Colorimetric Technique, pH Measurement, Smartphone

บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันการวัดค่าความเป็นกรด-เบสมีความสำคัญอย่างมากสำหรับกระบวนการผลิตในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารที่ต้องวัดค่าความเป็นกรด-เบสเพื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่าง ๆ สำหรับการหมักอาหารหรือการถนอมอาหาร [1-3] ด้านการเกษตรที่มีการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช [4] ด้านสุขภาพที่ใช้สำหรับการตรวจวัดปริมาณกลูโคสในปัสสาวะ [5-7] และด้านสิ่งแวดล้อมที่ต้องตรวจสอบสารหนูในน้ำดื่ม [8] และการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย [9] จากค่าความเป็นกรด-เบส ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือและวิธีการในการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบสที่รวดเร็วและมีความแม่นยำ โดยวิธีการตรวจวัดที่เป็นมาตรฐานนั้นได้ใช้พีเอชมิเตอร์ (pH Meter) ซึ่งเป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลักการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นของขั้วอิเล็กโทรดในสารละลาย แล้วอาศัยความสัมพันธ์ในการระบุค่าความเป็นกรด-เบสได้ ส่วนอีกวิธีที่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีราคาถูกและสามารถทำการตรวจวัดนอกห้องปฏิบัติการได้ง่ายกว่า นั่นคือการใช้เปลี่ยนสีของตัวอินดิเคเตอร์ทั้งในรูปแบบของสารละลายและกระดาษตรวจวัด ซึ่งใช้หลักการของการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้ผลลัพธ์ของสีที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถบอกความแตกต่างของค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่างได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการวิเคราะห์ค่าสี [10-12] ที่บ่งชี้ว่าการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์สามารถบ่งบอกค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่างในปฏิกิริยาเคมีได้ โดยอาศัยระบบพิกัดสีต่าง ๆ ที่ใช้เป็นแหล่งอ้างอิงตามมาตรฐานสากล อย่างไรก็ตามด้วยวิธีการดังกล่าวเพื่อให้การวัดค่าความเป็นกรด-เบสโดยใช้กระดาษทดสอบค่าพีเอช (pH Paper) มีความแม่นยำมากกว่าการเทียบค่าสีของกระดาษกับชาร์ตอ้างอิงด้วยตาเปล่า งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบพิกัดสีมาช่วยเสริมประสิทธิภาพในการวัดซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในการเพิ่มความละเอียดและความแม่นยำในการวัดให้ดียิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำสมาร์ตโฟนมาช่วยในการเพิ่มความแม่นยำในการบอกค่าความเป็นกรด-เบสของกระดาษทดสอบค่าพีเอช ด้วยเทคนิคการตรวจวัดการเปลี่ยนสีของกระดาษที่ถ่ายด้วยกล้องของสมาร์ตโฟน และวิเคราะห์ผลด้วยกระบวนการประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อหาความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่าง ทำให้การตรวจวัดค่าสีมีความสะดวก แม่นยำ ง่ายต่อการพกพาและการใช้งานนอกห้องปฏิบัติการได้ รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยที่ต้องการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสี (Colorimetric Sensor) ชนิดอื่น ๆ ในอนาคตได้ [13]

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ (Materials and Methodology)

1. วัสดุและอุปกรณ์

กระดาษทดสอบความเป็นกรด-เบส ยี่ห้อ Advantec สามารถตรวจวัดความเป็นกรด-เบสได้ในช่วง 0-14 และสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer Solution) ที่มีค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน 4 7 และ 10 เพื่อใช้สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนสีของกระดาษทดสอบ ซึ่งค่าความเป็นกรด-เบสจากสารละลายชนิดนี้เป็นค่ามาตรฐานและยังสามารถผสมสารละลายบัฟเฟอร์ด้วยอัตราส่วนที่ต่างกันได้ เพื่อสร้างสารละลายมาตรฐานที่มีค่าความเป็นกรด-เบสแตกต่างกันจำนวน 6 ค่า ได้แก่ 4.06 5.6 6.3 7.1 8.8 และ 9.79 และในงานวิจัยนี้ได้ใช้สมาร์ตโฟน 2 ยี่ห้อ คือ HTC รุ่น One และ Lenovo รุ่น K900 เป็นอุปกรณ์ในการถ่ายภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าความเข้มสีต่อไป

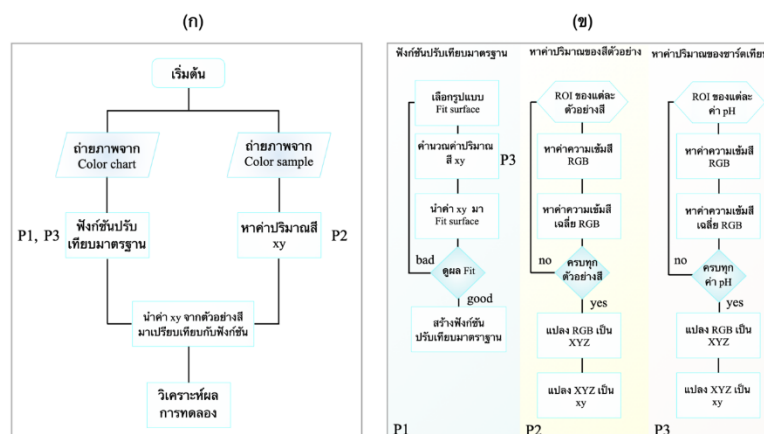
2. วิธีดำเนินการ

2.1 หลักการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองได้คำนึงถึงเงื่อนไขบังคับใน 3 เงื่อนไข คือ (1) การรับข้อมูลสีจากรูปภาพจำเป็นต้องใช้การถ่ายภาพจากสมาร์ตโฟนเท่านั้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาอุปกรณ์ตัวตรวจวัดสีแบบพกพาต่อไปได้ (2) ภาพที่ได้จากการทดลองจะต้องไม่ผ่านการประมวลผลหรือการตกแต่งภาพเพิ่มเติม ในการนำมาวิเคราะห์ค่าความเข้มสี (Color Intensity) เพื่อไม่ให้ข้อมูลสีจากรูปภาพมีการเปลี่ยนแปลง และ) 3) การควบคุมปัจจัยทั้งหมดที่อาจเข้ามามีผลกระทบในการเก็บข้อมูลสี ได้แก่ แสงในขณะถ่ายภาพ ฟังก์ชันการทำงานของกล้อง ขั้นตอนการเก็บข้อมูลสีของกล้อง และฟังก์ชันการทำงานของสมาร์ตโฟน

การทดลองทั้งหมดได้มีการเลือกใช้สมาร์ตโฟน 2 ยี่ห้อ คือ HTC รุ่น One และ Lenovo รุ่น K900 ซึ่งทั้งสองรุ่นเป็นสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และมีค่าความละเอียดของกล้องถ่ายภาพที่ต่างกันโดยมีค่าความละเอียด 4 MPixels และ 13 MPixels สำหรับ HTC รุ่น One และ Lenovo รุ่น K900 ตามลำดับ ทั้งนี้เหตุผลในการเลือกสมาร์ตโฟนทั้งสองรุ่นนั้นเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความละเอียดของกล้องถ่ายภาพที่อาจมีผลต่อการทดลองในการเพิ่มความแม่นยำของการวัดค่าความเป็นกรด-เบสด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ โดยในขั้นตอนการทดลองได้มีการเลือกใช้แสงจากหลอดไฟในห้องแล็บเป็นแหล่งกำเนิดแสงแวดล้อม (Ambient Light) และควบคุมฟังก์ชันการทำงานของกล้องด้วยการควบคุมไม่ให้มีการปรับแสงสมดุลสีขาวโดยอัตโนมัติ (Auto White Balance หรือ AWB) และการควบคุมไม่ให้มีการปรับค่าความสว่างของภาพโดยอัตโนมัติ (Auto Exposure หรือ AE)

กระบวนการทำงานทั้งหมดในการหาค่าความเข้มสี จนถึงการใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มสีเพื่อหาค่าความเป็นกรด-เบสจากการทดลอง สามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานโดยรวมในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 (ก) แผนผังการทำงานรวมในการทดลอง และ (ข) แผนผังย่อยของการทำงานย่อยจากภาพ (ก)

2.2 การคำนวณหาค่าความเข้มสี

การหาค่าความเข้มสีจากภาพถ่ายด้วยกล้องของสมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 ทำได้โดยการหาค่าความเข้มเฉลี่ยจากช่องสีหลักทั้ง 3 สี คือ ช่องสีแดง (Red Channel หรือ R) ช่องสีเขียว (Green Channel หรือ G) และช่องน้ำเงิน (Blue Channel หรือ B) ของภาพถ่ายตัวอย่าง โดยค่าความเข้มสีหาได้จากการเลือกขอบเขตที่สนใจ (Region of Interest, ROI) ซึ่งจะได้เป็นข้อมูลเมตริกตามขนาดของขอบเขตที่สนใจ ซึ่งข้อมูลแต่ละค่าคือความเข้มสีเฉลี่ยในแต่ละพิกเซลของภาพ

2.3 การแปลงปริภูมิสี (Color Space Conversion)

การแปลงปริภูมิสี (Color Space Conversion) ตามมาตรฐาน CIE 1931 ซึ่งเป็นปริภูมิสีที่ครอบคลุมทุกสีที่สายตาสายตาของมนุษย์จะมองเห็นได้ โดยในการทดลองได้เลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ x และ y ในการสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการหาค่าความเป็นกรด-เบส เนื่องจากค่าความเข้มสีในปริภูมิสี RGB จะมีค่าขึ้นกับผู้ผลิตสมาร์ทโฟนแต่ละยี่ห้อต่างจากปริภูมิสี CIE 1931 ที่เป็นการแสดงค่าสีมาตรฐานที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามชนิดของอุปกรณ์ ดังนั้นเมื่อถ่ายภาพโดยใช้สมาร์ทโฟนแล้ว จึงต้องหาค่าเฉลี่ยความเข้มของสีจากปริภูมิสี RGB ก่อนแล้วจึงนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวแปลงเป็นค่า x และ y ในปริภูมิสีมาตรฐาน CIE 1931 เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้สำหรับการหาความสัมพันธ์ของความเข้มสีกับค่าความเป็นกรด-เบสเพื่อสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานต่อไป

เนื่องจากภาพถ่ายที่ได้จากสมาร์ทโฟนเป็นภาพสีในปริภูมิสี sRGB ซึ่งค่าความเข้มสีมีค่าไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นในขั้นตอนแรกจึงต้องแปลงเป็นค่าความเข้มสีที่เป็นเชิงเส้นก่อน [14] โดยใช้สมการที่ (1)

$$C_{\text{linear}} = \left(\frac{C_{\text{sRGB}} + 0.055}{1.055} \right)^{2.4} \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ } C_{\text{linear}} = \begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} \text{ และ } C_{\text{sRGB}} = \begin{bmatrix} R_{\text{sRGB}} \\ G_{\text{sRGB}} \\ B_{\text{sRGB}} \end{bmatrix}$$

หลังจากได้ค่าความเข้มสี RGB ที่เป็นเชิงเส้นแล้ว จึงแปลงเป็นค่า X Y และ Z ซึ่งเป็นค่าไตรสติมุลัส (Tristimulus Values) ของปริภูมิสี CIE 1931 [14] ดังสมการที่ (2)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{\text{linear}} \\ G_{\text{linear}} \\ B_{\text{linear}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

และในขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการหาพารามิเตอร์ x และ y ดังสมการ (3)

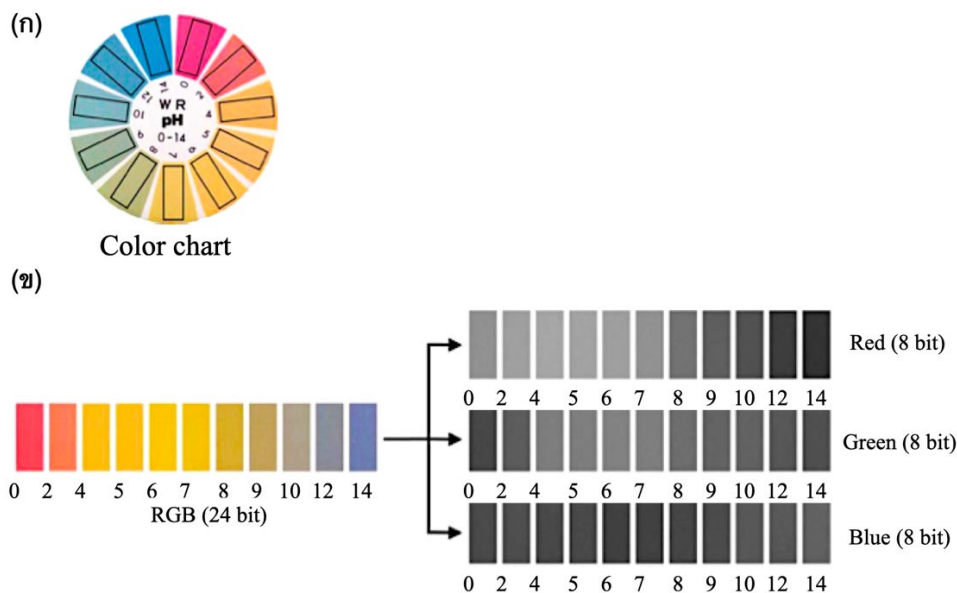
$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (3)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

ผลการวิจัย (Results)

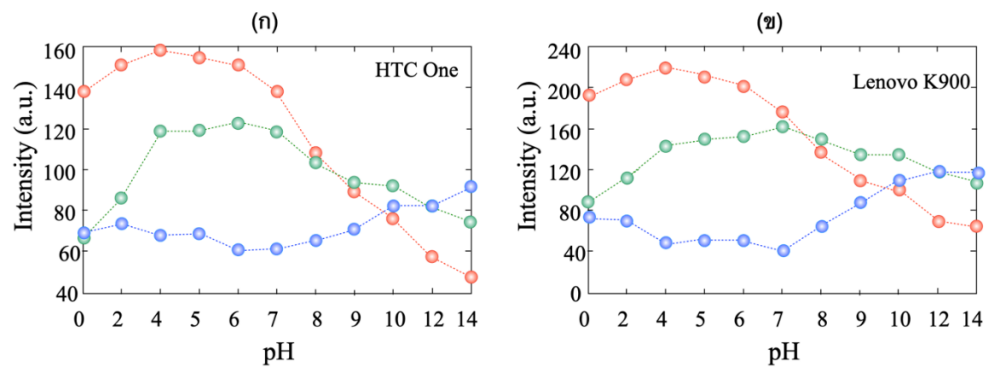
1. การหาสมการเปรียบเทียบมาตรฐาน

ภาพถ่ายที่ได้จากการใช้กล้องของสมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 สำหรับหาความเข้มสีในปริภูมิสี RGB ซึ่งโดยปกติกล้องจะทำงานโดยการคำนวณค่าสีโดยอาศัยการกรองแสงที่สะท้อนกับวัตถุผ่านฟิลเตอร์แต่ละตัว หลังจากนั้นจึงนำค่าความเข้มสีที่ได้มาผสมกันเกิดเป็นสีใน 1 พิกเซล ซึ่งในแต่ละพิกเซลของภาพจะมีค่าความเข้ม RGB ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ในอัตราส่วนต่าง ๆ ผสมกันทำให้เห็นสี ดังนั้นสำหรับการคำนวณค่าความเข้มสีจะต้องหาค่าเฉลี่ยของทุกพิกเซลในบริเวณที่เราสนใจ โดยในการทดลองได้ถ่ายภาพตารางสี (Color Chart) จากบรรจุภัณฑ์ของผู้ผลิตกระดาษพีเอชสำหรับใช้ในการอ่านค่าความเป็นกรด-เบสจากการเปลี่ยนแปลงสีของกระดาษดังภาพที่ 2 (ก) จากนั้นจึงหาค่าความเข้มเฉลี่ยของสีหลัก RGB จากในบริเวณขอบเขตที่สนใจ (กรอบสี่เหลี่ยมสีดำในภาพที่ 2(ก)) ได้ผลการทดลองเป็นค่าความเข้มสีเฉลี่ยซึ่งถูกแยกออกเป็นค่าความเข้มสีในช่องสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามค่าความเป็นกรด-เบสตามที่ได้ทำการเปรียบเทียบไว้ตั้งแต่ 0-14 ดังผลการทดลองในภาพที่ 2(ข)

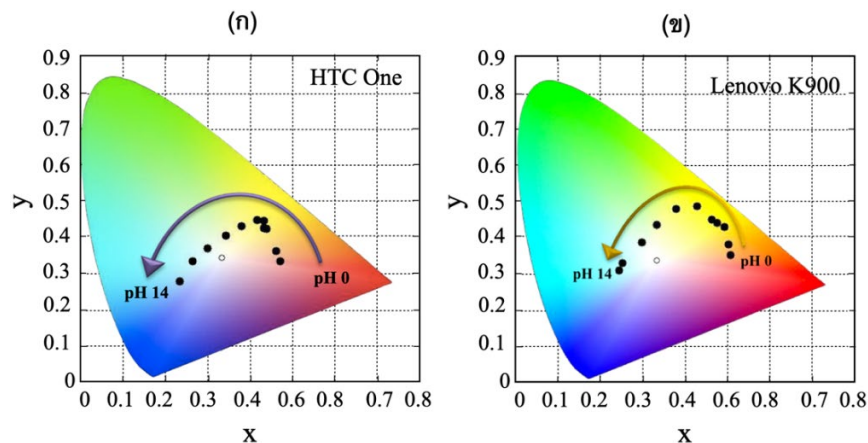


ภาพที่ 2 (ก) ตารางสีสำหรับค่าความเป็นกรด-เบสอ้างอิง โดยสร้างกรอบสี่เหลี่ยมสีดำสำหรับบริเวณที่สนใจนำข้อมูลไปคำนวณค่าความเข้มสีเฉลี่ยของแต่ละค่าความเป็นกรด-เบสตั้งแต่ 0-14 (ข) ภาพแสดงการแยกความเข้มของสีสำหรับช่องสีแดง เขียว และ น้ำเงิน

จากผลการหาค่าเฉลี่ยความเข้มสีในแต่ละค่าความเป็นกรด-เบสของชาร์ตสีอ้างอิง สามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสกับความเข้มสีโดยใช้สมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 ได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าผลของค่าความเข้มสีในแต่ละช่องสีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียว มีความแตกต่างกันระหว่างสมาร์ทโฟนทั้งสองเครื่องทั้งที่ได้มีการควบคุมค่าความสว่างของแสงพื้นหลังในขณะที่ถ่ายภาพ และมีการควบคุมไม่ให้มีการปรับแสงสมดุลสีขาวโดยอัตโนมัติ (Auto White Balance Lock) หรือ AWB-L และการควบคุมไม่ให้มีการปรับค่าความสว่างของภาพโดยอัตโนมัติ (Auto Exposure Lock) หรือ AE-L ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแปลงค่าความเข้มสีไปเป็นปริภูมิสี CIE 1931 ที่เป็นมาตรฐานไม่เปลี่ยนแปลงตามอุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ในการทดลอง

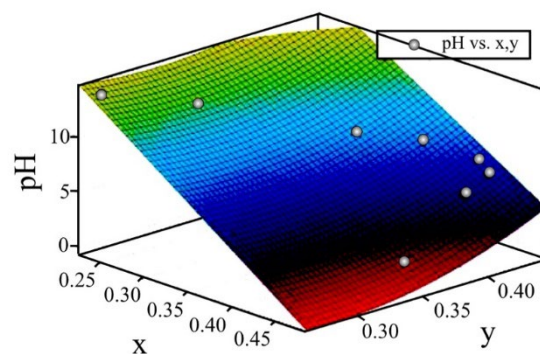


ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบส (pH) กับค่าความเข้มของสีของแต่ละช่องสี ซึ่งถ่ายด้วยของสมาร์ทโฟนยี่ห้อ (ก) HTC One และ (ข) Lenovo K900



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ x และ y ในปริภูมิสี CIE 1931 และค่าความเป็นกรด-เบส ซึ่งถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟน (ก) HTC One และ (ข) Lenovo K900

ในขั้นตอนการสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐาน (Standard Calibration Equation) สำหรับการหาค่าความเป็นกรด-เบส จากการอ่านค่าความเข้มสีซึ่งได้แปลงปริภูมิสีจากปริภูมิสี RGB ไปเป็นปริภูมิสี CIE 1931 (พารามิเตอร์ x และ y) ได้ผลการทดลองจากการใช้สมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 ดังภาพที่ 4 จากนั้นจึงสร้างกราฟ 3 มิติ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ x และ y กับค่าความเป็นกรด-เบส แล้วจึงทำการฟิต (Fit) ข้อมูลโดยใช้การฟิตแบบพื้นผิว (Surface Fit) ดังแสดงในภาพที่ 5 เนื่องจากการกำหนดพื้นที่ของฟังก์ชันในการเทียบข้อมูลด้วยตัวแปรที่ได้จากชาร์ตอ้างอิงสีเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะหาค่าความเป็นกรด-เบสได้ เพราะค่าที่ได้จากการทดลองอาจมีค่าที่เกินขอบเขตของพื้นที่ที่ได้จากตัวแปรของชาร์ตอ้างอิงสี จึงจำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันของพื้นที่กราฟแทนตัวแปรจากชาร์ตอ้างอิงดังกล่าว



ภาพที่ 5 กราฟ 3 มิติของความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ x และ y และค่าความเป็นกรด-เบส และแสดงการฟิตแบบพื้นผิวเพื่อสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการหาค่าความเป็นกรด-เบส

จากผลการฟิตกราฟพื้นที่เพื่อสร้างสมการเปรียบเทียบมาตรฐานในการหาค่าความเป็นกรด-เบสจากการถ่ายภาพด้วย
สมาร์โฟนดังภาพที่ 5 ได้สมการเปรียบเทียบมาตรฐานดังสมการที่ (4)

$$pH = p_{00} + p_{10} * x + p_{01} * y + p_{11} * x * y + p_{02} * y^2 \quad (4)$$

เมื่อ pH คือ ค่าความเป็นกรด-เบส

p_{00} p_{10} p_{01} p_{11} และ p_{02} คือ พารามิเตอร์ที่ได้จากการฟิตแบบพื้นที่

x และ y คือ พารามิเตอร์ของปริภูมิสี CIE 1931

2. ผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของสารบัฟเฟอร์มาตรฐาน

เมื่อได้สมการเปรียบเทียบมาตรฐานสำหรับการหาค่าความเป็นกรด-เบส ดังสมการที่ (4) แล้วจึงทำการทดลองหาค่า
ความเป็นกรด-เบสของสารบัฟเฟอร์มาตรฐานจำนวน 6 ค่า โดยใช้การถ่ายภาพด้วยสมาร์โฟน HTC One และ Lenovo
K900 จากนั้นทำการแปลงปริภูมิสี RGB ไปเป็น CIE 1931 ตามสมการ (1) ถึงสมการที่ (3) จนได้พารามิเตอร์ x และ y ของแต่ละ
สารบัฟเฟอร์ แล้วนำค่า x และ y ที่ได้แทนลงในสมการเปรียบเทียบมาตรฐาน (สมการที่ (4)) จึงทราบค่าความเป็นกรด-เบส
ซึ่งได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองกับเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน (Denvor Instrument) ดังแสดงในตารางที่ 1
และตารางที่ 2 สำหรับสมาร์โฟน HTC One และ Lenovo K900 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจากการถ่ายภาพด้วยสมาร์โฟน HTC One เทียบกับค่ามาตรฐาน

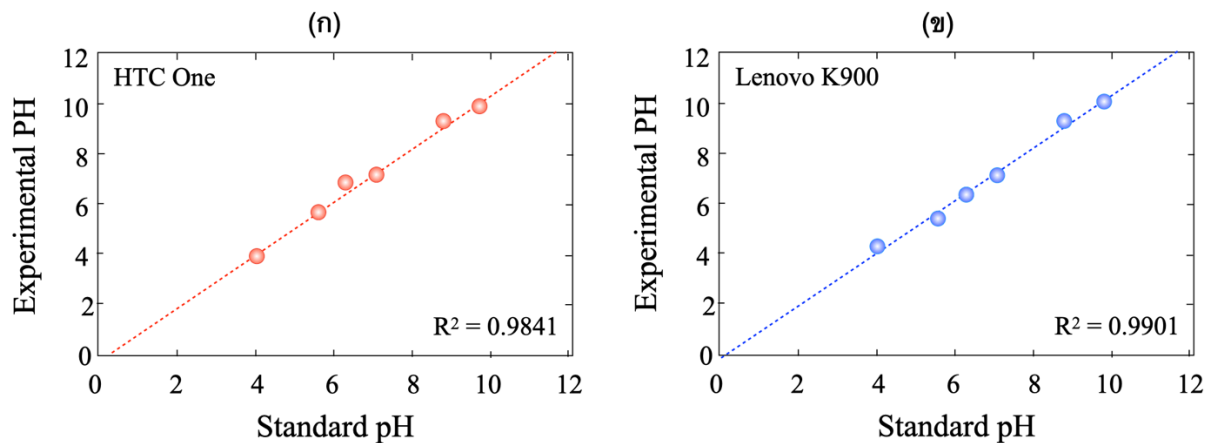
ค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน	ค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้จากการทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
4.06	3.82	5.9
5.60	5.63	0.5
6.30	6.85	8.7
7.10	7.15	0.7
8.80	9.28	5.5
9.79	9.80	0.1

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจากการถ่ายภาพด้วยสมาร์โฟน Lenovo K900 เทียบกับค่ามาตรฐาน

ค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน	ค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้จากการทดลอง	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
4.06	4.34	6.9
5.60	5.39	3.8
6.30	6.31	0.2
7.10	7.14	0.6
8.80	9.28	5.5
9.79	10.04	2.6

นอกจากนี้ได้แสดงผลการทดลองโดยสร้างกราฟสหสัมพันธ์ (Correlation Graph) ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสที่
ได้จากสมาร์โฟนและเครื่องวัดมาตรฐานดังภาพที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจาก
การถ่ายภาพด้วยสมาร์โฟนกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าระหว่างสมาร์โฟน HTC One

และ Lenovo K900 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9841 และ 0.9901 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้มีความแตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นผลจากการใช้ชิป CMOS ในการถ่ายภาพที่ต่างกันระหว่างสองสมาร์ทโฟน รวมถึงการตั้งค่าความเข้มสี RGB พื้นฐานในการถ่ายภาพที่แตกต่างกันในแต่ละผู้ผลิตด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับเทียบมาตรฐานใหม่ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนสมาร์ทโฟน ทั้งนี้ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 8.7% สำหรับสมาร์ทโฟน HTC One และ 6.9% เปอร์เซ็นต์สำหรับสมาร์ทโฟน Lenovo K900 โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสมาร์ทโฟน Lenovo K900 มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าและมีค่าสหสัมพันธ์ที่ดีกว่าสมาร์ทโฟน HTC One ซึ่งคาดว่ามาจากประสิทธิภาพของกล้องถ่ายภาพของ Lenovo K900 ที่ดีกว่าโดยมีค่าความละเอียดของกล้องมากกว่าถึง 3 เท่า



ภาพที่ 6 กราฟสหสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-เบสที่ใช้การถ่ายภาพด้วยสมาร์ทโฟน (ก) HTC One และ (ข) Lenovo K900 เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบสมาตรฐาน



ภาพที่ 7 ภาพถ่ายชาร์ตอ้างอิงที่ถ่ายด้วยสมาร์ทโฟน (ก) HTC One ที่เปิดใช้ฟังก์ชัน AWB-L และ AE-L (ข) Lenovo K900 ที่เปิดใช้เฉพาะฟังก์ชัน AE-L

การอภิปรายผล (Discussion)

ในขั้นตอนการถ่ายภาพจำเป็นต้องมีการควบคุมการปรับค่าแสงสมดุลสีขาวโดยอัตโนมัติและควบคุมการปรับค่าความสว่างของภาพโดยอัตโนมัติด้วย เพื่อให้ค่าความเข้มสีของชาร์ตอ้างอิงที่ถ่ายจากสมาร์ทโฟนตรงกับชาร์ตอ้างอิง หรือกล่าวได้ว่าเพื่อไม่ให้ค่าสีที่ได้เกิดการเพี้ยนจากสีจริงของชาร์ตอ้างอิงดังที่แสดงได้ในภาพที่ 7 จากภาพจะเห็นได้ว่าภาพที่ถ่ายจากกล้อง HTC One โดยการเปิดใช้ฟังก์ชัน AWB-L และ AE-L กับภาพที่ถ่ายจาก Lenovo K900 ที่เปิดใช้ฟังก์ชัน AE-L เพียงอย่างเดียว มีความแตกต่างกันของการแสดงค่าสี ซึ่งจะส่งผลต่อการคำนวณหาค่าโครมาติซิตี x และ y แล้วทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนขึ้นในผลการทดลอง นอกจากนี้สามารถเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบสโดยอาศัยการสร้างชาร์ตอ้างอิงสีจากกระดาษพีเอชด้วยการถ่ายภาพจากการเปลี่ยนสีของกระดาษที่จุ่มลงในสารละลายมาตรฐานแทนการใช้ชาร์ตอ้างอิงจากบรรจุภัณฑ์ที่มาจากผู้ผลิต โดยอาจจะช่วยลดค่าการเพี้ยนของสีจากขั้นตอนการพิมพ์ลงบนบรรจุภัณฑ์ได้

สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่างโดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าสีจากภาพถ่ายด้วยสมาร์ทโฟน HTC One และ Lenovo K900 และอาศัยการแปลงปริภูมิสี RGB ไปเป็นปริภูมิสี CIE 1931 ที่เป็นมาตรฐานไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ ในการวัดค่าความเป็นกรด-เบสจำเป็นต้องสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานเพื่อระบุค่าความเป็นกรด-เบสจากค่าสีที่ถ่ายได้จากกระดาษทดสอบ จากผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสที่วิเคราะห์จากสารตัวอย่างมาตรฐานจำนวน 6 ค่า ที่ใช้ สมาร์ทโฟน HTC One ในการถ่ายภาพมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 8.7\%$ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการเปรียบเทียบ เทียบกับเครื่องวัดมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.9841 ส่วนการทดลองของสมาร์ทโฟน Lenovo K900 ได้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 6.9\%$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9901 จากผลการทดลองโดยใช้สมาร์ทโฟนทั้งสองเครื่องพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน แสดงว่ากระบวนการใช้ปริภูมิสี CIE 1931 สำหรับการสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-เบส สามารถให้สมการที่เหมาะสมกับการใช้งานในสมาร์ทโฟนต่างผู้ผลิตได้ แต่ขั้นตอนการทดลองต้องควบคุมไม่ให้มีการปรับค่าแสงสมดุลสีขาวโดยอัตโนมัติ และควบคุมไม่ให้มีการปรับค่าความสว่างของภาพโดยอัตโนมัติด้วย รวมถึงควบคุมความสว่างของสิ่งแวดล้อมขณะที่ทำการทดลองด้วย ดังนั้นในการนำวิธีการนี้ไปใช้นอกห้องปฏิบัติการเพื่อทำการตรวจวัดค่าความเป็นกรด-เบสในสถานการณ์จริง จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบอุปกรณ์เสริมที่เป็นกล่องควบคุมความสว่างของแสงในกล่องให้คงที่ทุกการถ่ายภาพ เพื่อตัดผลกระทบของความสว่างของภาพที่แตกต่างกันซึ่งจะส่งผลต่อค่าความเข้มสีที่เปลี่ยนแปลงในแต่สิ่งแวดล้อมขณะที่ทำการทดลอง

นอกจากนี้จากหลักการวิเคราะห์ค่าสีสำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้นำเสนอในรายงานวิจัยนี้ สามารถประยุกต์ไปใช้ในการตรวจสอบค่าอื่นได้ เช่น ค่าระดับน้ำตาลกลูโคส ค่าคีโตน และค่าโปรตีนในปัสสาวะ โดยใช้การอ่านค่าสีจากกระดาษทดสอบได้ โดยการสร้างสมการปรับเทียบมาตรฐานใหม่สำหรับพารามิเตอร์อื่นที่ต้องการตรวจวัด หรือจะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายจากการตรวจวัดค่าสีที่เปลี่ยนแปลง ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดทางเคมี เครื่องมือตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์ และเครื่องมือตรวจวิเคราะห์ทางการเกษตรและทางด้านสิ่งแวดล้อมที่อาศัยการตรวจวัดการเปลี่ยนสีบนสมาร์ทโฟนได้

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Kuswandi, B., Jayus, Larasati, T.S., Absullah, A. & Heng, L.Y., (2012). Real-time monitoring of shrimp spoilage using on-packaging sticker sensor-based on natural dye of curcumin. *Food Analytical Methods*. 5(4), 881-889. <https://doi.org/10.1007/s12161-011-9326-x>
- [2] Kiryukhin, M.V., Lau, H.H., Gob, S.H., Teh, C., Korzh, V. & Sadovoy, A. (2018). A membrane film sensor with encapsulated fluorescent dyes towards express freshness monitoring of packaged food. *Talanta*. 182, 187-192. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.01.085>
- [3] Ahmad, N.A., Heng, L.Y., Salam, F., Zaid, M.H.M. & Hanifar, H.A., (2019). A colorimetric pH sensor based on *Clitoria* sp and *Brassica* sp for monitoring of food spoilage using chromametry. *Sensors*. 19(21), 4813. <https://doi.org/10.3390/s19214813>
- [4] Rudolph, N., Voss, S., Moradi, A.B., Nagl, S. & Oswald, S.E., (2013). Spatio-temporal mapping of local soil pH changes induced by roots of lupin and soft-rush. *Plant and Soil*. 369, 669-680. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1775-0>

- [5] Zhu, Y., Zhang, J., Song, J., Yang, J., Du, Z., Zhao, W., Guo, H., Wen, C., Li, Q., Sui, X. & Zhang, L. (2020). A multifunctional pro-healing zwitterionic hydrogel for simultaneous optical monitoring of pH and glucose in diabetic wound treatment. *Advanced Functional Materials*. 30(6), 1905493. <https://doi.org/10.1002/adfm.201905493>
- [6] Ngo, Y.L.T., Nguyen, P.L., Jana, J., Choi, W.M., Chung, J.S. & Hur, S.H., (2021) Simple paper-based colorimetric and fluorescent glucose using N-doped carbon dots and metal oxide hybrid structures. *Analytica Chimica Acta*. 1147, 187-198. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.11.023>.
- [7] Zhao, W., Zhang, G., Du, Y., Shen, S., Fu, Y., Xu, F., Xiao, X., Jiang, W. & Ji, Q., (2021). Sensitive colorimetric glucose sensor by iron-based nanzymes with controllable Fe valence. *Journal of Material Chemistry B*. 9, 4726-4734. <https://doi.org/10.1039/D1TB00370D>
- [8] de Mora, K., Joshi, N., Balint, B.L., Ward, F.B., Elfick, A. & French, C.E. (2011). A pH-based biosensor for detection of arsenic in drinking water. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 400(4), 1031-1039. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-4815-8>
- [9] Courbat, J., Briand, D., Damon-Lacoste, J., Wollenstein, J. & de Rooij, N.F. (2009). Evaluation of pH indicator-based colorimetric films for ammonia detection using optical waveguides. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 143(1), 62-70. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.08.049>
- [10] Martinez, A.W., Phillips, S.T., Butte, M.J. & Whitesides, G.M. (2007). Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays. *Angewandte Chemie*. 46(8), 1318-1320. <https://doi.org/10.1002/anie.200603817>
- [11] Bruzewicz, D.A., Reches, M. & Whitesides, G.M. (2008). Low-cost printing of poly (dimethylsiloxane) barriers to define microchannels in paper. *Analytical Chemistry*. 80(9), 3387-3392. <https://doi.org/10.1021/ac702605a>
- [12] Lee, D.-S., Jeon, B.G., Ihm, C., Park, J.-K. & Jung M.Y. (2011). A simple and smart telemedicine device for developing regions: a pocket-sized colorimetric reader, *Lab on a Chip*. 11(1), 120-126. <https://doi.org/10.1039/c0lc00209g>
- [13] Shen, L., Hagen, J.A. & Papautsky, I. (2012). Point-of-care colorimetric detection with a smartphone. *Lab on a Chip*. 12(21), 4240-4243. <https://doi.org/10.1039/c2lc40741h>
- [14] Nassau, K. (1998). *Color for science, art, and technology*. (Vol. 1). North-Holland. <https://scis.uohyd.ac.in/~chakcs/cipclass/lects/ColourForTechnology.pdf>