TETA-06

การศึกษาความเป็นไปได้ ของดัชนีบ่งชี้ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางด้วยวิธีเซลล์ไฟฟ้าเคมี

*มนตรี ไชยชาญยุทธ์[1] และ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ[2]

[1]*สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
17/1 ม.6 ต.ชุมโค อ.ปะทิว ชมพร 86160
[2]*คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ*
1ซ.ฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้เขียนติดต่อ: มนตรี ไชยชาญยุทธ์ E-mail: kcmontre@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ออกแบบศึกษาความเป็นไปได้ และความแม่นยำในการวัดปริมาณแมกนิเซียมในน้ำยาง โดยอาศัยหลักการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเซลล์ไฟฟ้าเคมี (เซลล์กัลป์วานิกส์) ดังนั้นจึงได้ออกแบบระบบตรวจวัด ระบบควบคุม และประมวลผล ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (P89V51RD2) พร้อมทั้งแสดงปริมาณแมกนีเซียมผ่านจอ LCD จากการศึกษาทดลองโดยวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางที่ทราบความเข้มข้น และปริมาณแมกนิเซียมจากการไตเตรท ที่น้ำยางเข้มข้น 30 31 32 33 34 35 36 และที่ 60% ผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นน้ำยางต่างกัน ผลการวัดปริมาณแมกนิเซียมในน้ำยางมีความผิดพลาดต่างกัน มีความผิดพลาด 12.24% 31% 5.5% 2.1% 54.1% 18.96% 12.15% 4.26% และ 45.5%

คำสำคัญ: แมกนีเซียม; น้ำยาง; เซลล์กัลป์วานิกส์

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตน้ำยางข้นโดยอาศัยน้ำยางธรรมชาติจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐาน น้ำยางธรรมชาติเป็นสารแขวนลอยโดยมียางซึ่งอยู่ในรูปของอนุภาคแขวนลอยอยู่ใน น้ำที่เป็นตัวกลาง นอกจากนี้ในส่วนที่เป็นของเหลวยังมีส่วนที่ไม่ใช่ยางอยู่ในรูปของสารแขวนลอย และสารละลายอีกด้วย จากการศึกษาพบว่าส่วนที่ไม่ใช่ยางมีผลกระทบต่อคุณภาพของยางดิบหลายประการโดย เฉพาะแมกนีเซียมซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของความสกปรก (Impurity) ของน้ำยาง นอกจากทำให้การปั่นยางข้นต้องใช้เวลานานกว่าปกติแล้วยังทำให้คุณภาพของยางเสื่อมอีกด้วย [1] ดังนั้นในการควบคุมมาตรฐานของน้ำยางข้นจึงต้องมีการวิเคราะห์หาปริมาณของ แมกนีเซียมด้วย ข้อกำหนดคุณภาพน้ำยางข้นรายการหนึ่งที่ผู้ใช้น้ำยางข้นส่วนใหญ่ต้องการให้ผู้ผลิตน้ำยางข้นตรวจหา คือ ปริมาณแมกนีเซียม เพราะธาตุแมกนีเซียมมีผลต่อความเสถียรของน้ำยางเป็นอย่างมาก ถ้ามีแมกนีเซียมสูงจะทำให้น้ำยางสูญเสียความเสถียรเชิงกล

การการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางสดโดยเทคนิคการปั่นเหวี่ยงต้องมีการกำจัดโลหะแมกนีเซียมออกจากน้ำยาง [2], [3] โดยมีการตกตะกอนแมกนีเซียมออกจากน้ำยางด้วยสารไดไฮโดรเจนแอมโมเนียมฟอสเฟต (Dihydrogen ammonium phosphate, DAP) ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณแมกนีเซียม หรือลดการจับตัวของแมกนีเซียมกับสบู่หรือเกลือของกรดไขมันซึ่งทำหน้าที่แขวนลอย(Suspend)ทำให้น้ำยางยังคงเสถียรอยู่ในสภาพของคอลลอยด์ไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน (Coagulation)

ปัจจุบันผู้ผลิตและผู้ใช้น้ำยางข้นจะใช้วิธีการตรวจสอบโดยวิธีไตเตรต ซึ่งมีการใช้สารโปแตสเซียมไซยาไนด์ที่มีอันตรายร่วมอยู่ด้วย ในขณะที่หน่วยงานภาครัฐของมาเลเซียที่เป็นผู้ริเริ่มการใช้วิธีไตเตรตดัง กล่าวได้หันไปใช้เครื่องมือตรวจหาที่มีราคาสูงมากเกินกว่าที่ผู้ผลิตและผู้ ใช้น้ำยางข้นของไทยจะสามารถจัดหาได้

นอกจากนี้การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะแมกนีเซียมโดยทั่วไป นิยมใช้เทคนิคการไตเตรตแบบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับสารอีดีที เอ (Ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA) แต่เนื่องจากอีดีทีเอเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาจำเพาะกับโลหะแมกนีเซียม เพียงชนิดเดียว ทำให้ต้องเติมสารไซยาไนด์ในรูปของโซเดียมหรือโพแทสเซียมไซยาไนด์เพื่อป้องกันการรบกวนของโลหะตัวอื่นๆ ในการเข้าทำปฏิกิริยาของอีดีทีเอ ซึ่งหากไม่ทำการป้องกันโลหะอื่นๆ ออก ปริมาณอีดีทีเอที่ใช้จะเท่ากับปริมาณ

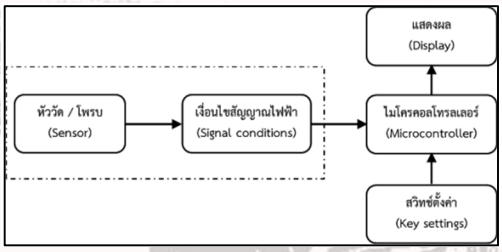
โลหะทั้งหมดที่สามารถจับกับอีดีทีเอได้ ทำให้ค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงเกินกว่าที่ควรจะเป็น (Positive error)

อย่างไรก็ตามสารไซยาไนด์ที่ใช้ในการป้องกันการรบกวนของโลหะตัวอื่นๆ ในการเข้าทำปฏิกิริยากับอีดีทีเอเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง จากข้อมูล Material Safety Data Sheet (MSDS) ระบุว่า สารโพแทสเซียมไซยาไน์ ถูกจัดอยู่ในกลุ่มสารที่มีความเป็นพิษสูง โดยอาจทำให้เสียชีวิตได้หากสูดดมหรือกลืน หรือดูดซับผ่านผิวหนัง มีอำนาจในการทำลายเยื่อเมือกสูง และหากสัมผัสอาจทำให้ผิวหนังเกิดการไหม้ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารไซยาไนด์ดังกล่าว จึงควรมีการศึกษาหาวิธีหรือสารอื่นๆ มาใช้ทดแทน ซึ่งวิธีการในการลดการรบกวนจากโลหะอื่นๆ ในการกระบวนการทางเคมีวิเคราะห์ที่นิยมใช้กันคือ การแยกสารตัวที่ต้องการออกมาทำปฏิกิริยาหรือในทางกลับกันคือแยกสารที่ไม่ ต้องการออกก่อนทำปฏิกิริยาการไตเตรต

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงทำการศึกษาหาวิธีการตรวจหาปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง ด้วยหลักการเซลล์กัลวานิก ซึ่งเป็นการเสนอแนวคิดใหม่ในการตรวจหาปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง ที่มีความสะดวก รวดเร็ว ปลอดภัยและประหยัดกว่าที่ใช้อยู่เดิมตลอดจนไม่มีผลทำลายสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการและการออกแบบ

เนื่องจากในน้ำยางมีส่วนประกอบของแมกนิเซียมไอออน ซึ่งมีความนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขณะเดียวกันในน้ำยางก็มีสมบัติความเป็นไดอิเล็กตริก การศึกษาวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.การศึกษาออกแบบและสร้างโพรบตัวตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า (แรงเคลื่อน ไฟฟ้า) และ 2.กระบวนการนำข้อมูลทางไฟฟ้าที่ได้จากโพรบมาประมวลผลและแสดงระดับปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางดังแสดงกรอบแนวความคิดในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมกรอบแนวความคิดของโครงงานวิจัย

กรอบแนวความคิดของโครงงานวิจัยซึ่งส่วนต่างๆ ในไดอะแกรมจะทำหน้าที่ดังรายละเอียดต่อไปนี้

แสดงผล คือ ส่วนที่ใช้ในการสื่อสารกับผู้ใช้งานโดยจะแสดงผลปริมาณแมกนีเซียมที่วัดได้ ในส่วนของคีย์สวิทช์ ได้ออกแบบเพื่อกระบวนการในการติดตั้ง รีเซท กำหนดระดับความเข้มของน้ำยางและการเริ่มต้นการทำงานของระบบไมโครคอลโทรลเลอร์ คือ เทคโนโลยีสองกลฝังตัวเพื่อระบบควบคุมของเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ทั้งหมด

หัววัด หรือโพรบ คือ ตัววัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางที่ระดับความเข้มข้นต่างๆด้วยวิธีการวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากหลักการเซลล์กัลวานิก [3] ซึ่งเป็นวิธีการเคมีพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2 โดยในสารละลายตัวอย่าง A. จะใช้อิเลคโทรดสังกะสีจุ่มอยู่ในสารละลาย $ZnSO_4$ และในตัวอย่างสารละลาย B จะใช้อิเลคโทรดแมกนีเซียมจุ่มอยู่ในสารละลาย $MgSO_4$ ซึ่งจะทดลองโดยใช้น้ำยางแทนสารละลายข้างต้น ดังนั้นผู้วิจัยจะนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากหลักการดังกล่าวรวมทั้งพิจารณาระยะเวลาในการทำปฏิกริยามาผ่านกระบวนการปรับสภาพสัญญาณ (Signal condition) เพื่อแสดงผลปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ

2.1 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ถือเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในการออกแบบเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง เนื่องจากจะเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างส่วนของซอฟแวร์กับส่วนของการตรวจวัดให้ทำงานสอดคล้องกัน ในส่วนของเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางพาราจะแบ่งฮาร์ดแวร์เป็น 3 ส่วน ด้วยกัน คือ วงจรเพิ่มแรงเคลื่นไฟฟ้าไฟฟ้า วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล และวงจรไมโครคอน-โทรลเลอร์ [5]

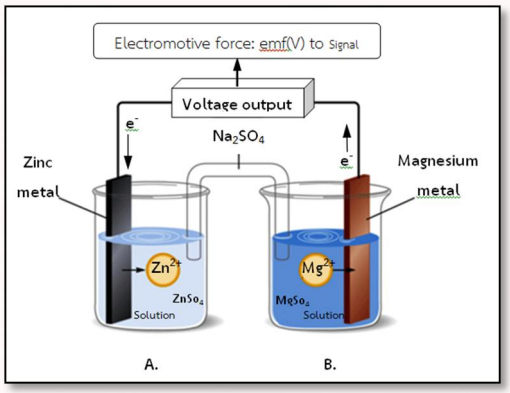
2.2 การออกแบบโครงสร้างของเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียม

การออกแบบโครงสร้างจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การออก-แบบแขนจับยึดแผ่นสารเคมี และการออกแบบตัวเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียม

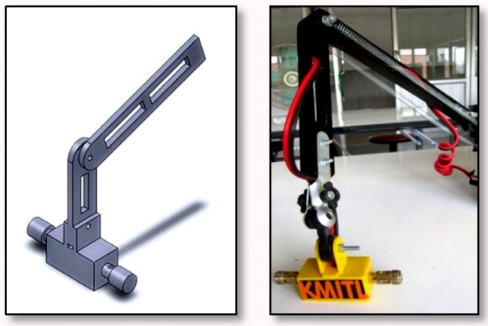
การออกแบบแขนจับยึดแผ่นสารเคมี นอกจากต้องทำให้จับยึดแผ่นสารเคมีได้แล้ว จะต้องสามารถปรับขึ้น-ลง-ซ้าย-ขวา ได้ตามต้องการอีกด้วย เพื่อให้สามารถวางอุปกรณ์ที่จะทดลองได้อย่างสะดวก จึงได้ทำการออกแบบแขนจับยึดแบบ 3 ข้อต่อ โดยแขนจับจะมีอยู่ 2 ท่อนนำมาต่อกัน ซึ่งแขนแต่ละท่อนมีความยาว 26 และ 17 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3

ซึ่งที่แขนจับอันแรกจะมีสปริงติดอยู่ระหว่างตัวแขนจับกับตัวเครื่อง เพื่อช่วยให้มีแรงดึงส่วนปลายแขนมากขึ้น ซึ่งระบบแขนจับยึดแผ่นสารเคมีนี้สามารถปรับหมุนได้ตามต้องการของผู้ใช้

TSAE



รูปที่ 2 แสดงเซลล์กัลวานิก ซึ่งอิเล็กตรอนไหลจากขั้วแอโนด (-) ไปยังขั้วแคโทด(+) –



รูปที่ 3 การออกแบบแขนจับยึดแผ่นสารเคมี

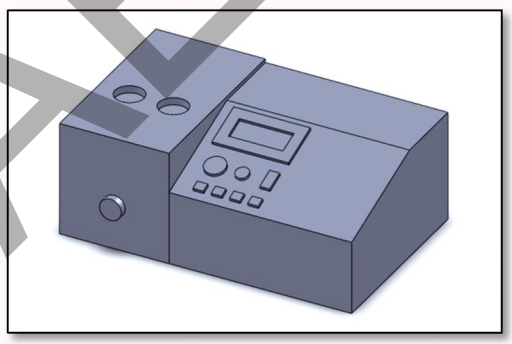
(ก) รูปจากการออกแบบ (ข) รูปจริงของแขนจับขั้วโลหะ

2.3 การออกแบบตัวเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียม

การออกแบบตัวเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมนั้น ต้องการออกแบบให้สามารถติดตั้งชุดฮาร์ดแวร์และแขนจับยึดแผ่นสารเคมีไว้ที่ตัวเครื่อง โดยที่ขนาดของเครื่องที่ใช้วัดปริมาณแมกนีเซียม ต้องการออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งาน เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพและเกิดความสะดวกสูงสุด โดยผู้ออกแบบได้ออกแบบให้เครื่องสามารถรองรับภาชนะบรรจุตัวอย่าง (บีกเกอร์) ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบไว้ด้านบน ในตัวเครื่องด้านขวาจะเป็นลิ้นชักเก็บอุปกรณ์การทดลองบางส่วน และในตัวเครื่องด้านซ้ายจะเป็นที่บรรจุวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมทั้งหมด ดังในรูปที่ 4 โพรบแบบเซลล์กัลวานิก เพื่อใช้วัดค่าปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางพาราที่ประกอบเสร็จพร้อมใช้งาน โดยประกอบด้วยขั้วโลหะทั้ง 2 ชนิด และส่วนยึดจับแผ่นโลหะเข้าด้วยกัน จะมีลักษณะของโพรบที่นำไปใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5

2.4 การออกแบบโปรแกรม

จากผลการทดลองเบื้องต้น ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นของแมกนีเซียมต่อค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าไฟฟ้า จะเห็นว่ากราฟโพลิโนเมียลโดยมีสมการคือ $y = 0.022x^2 - 0.100x + 0.62$ เมื่อนำมาทำการเขียนซอฟแวร์จะสามารถเขียนได้ดังรูปที่ 6 การทำงานของโปรแกรมเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมเริ่มต้นด้วยการเลือกความเข้มข้นของน้ำยาง (DRC) โดยจะเริ่มจากการกดสวิตซ์ Mode เพื่อเริ่มต้นการเลือกค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราโดยจะสามารถเลือกค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราด้วยการกดสวิตซ์ Up – Down เมื่อเลือกค่าความเข้มข้นที่ต้องการให้ทำการกดสวิตซ์ Enter เพื่อยืนยันค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราจากนั้นไมโครคอนโทรเลอร์จะนำค่ามาเปรียบเทียบกับสมการที่มีค่าตรงกับค่า DRC จากนั้นโปรแกรมจะรอการกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มต้นการตรวจวัดโดยจะทำการตรวจวัดเป็นเวลา 2 นาที

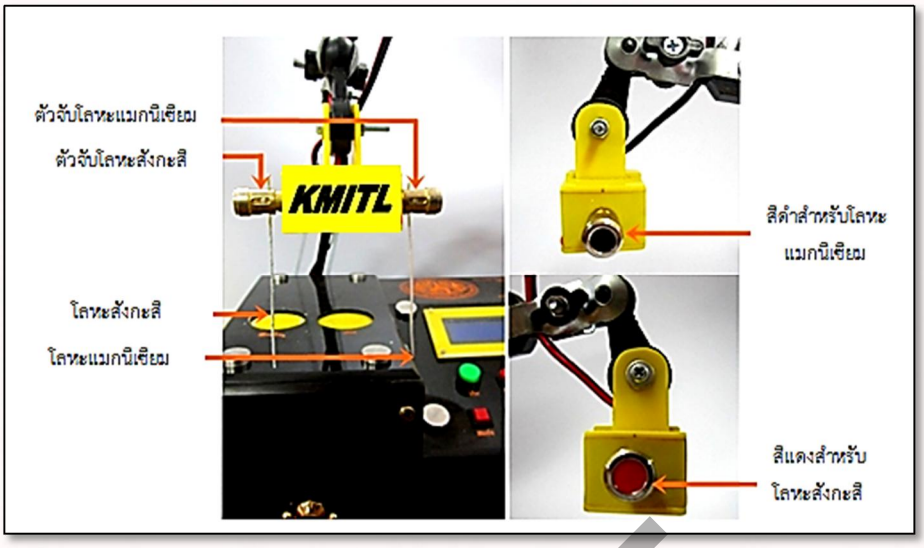


(ก) รูปจากการออกแบบ

(ข) รูปจริงของเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียม

รูปที่ 4 การออกแบบเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางพารา

TSAE

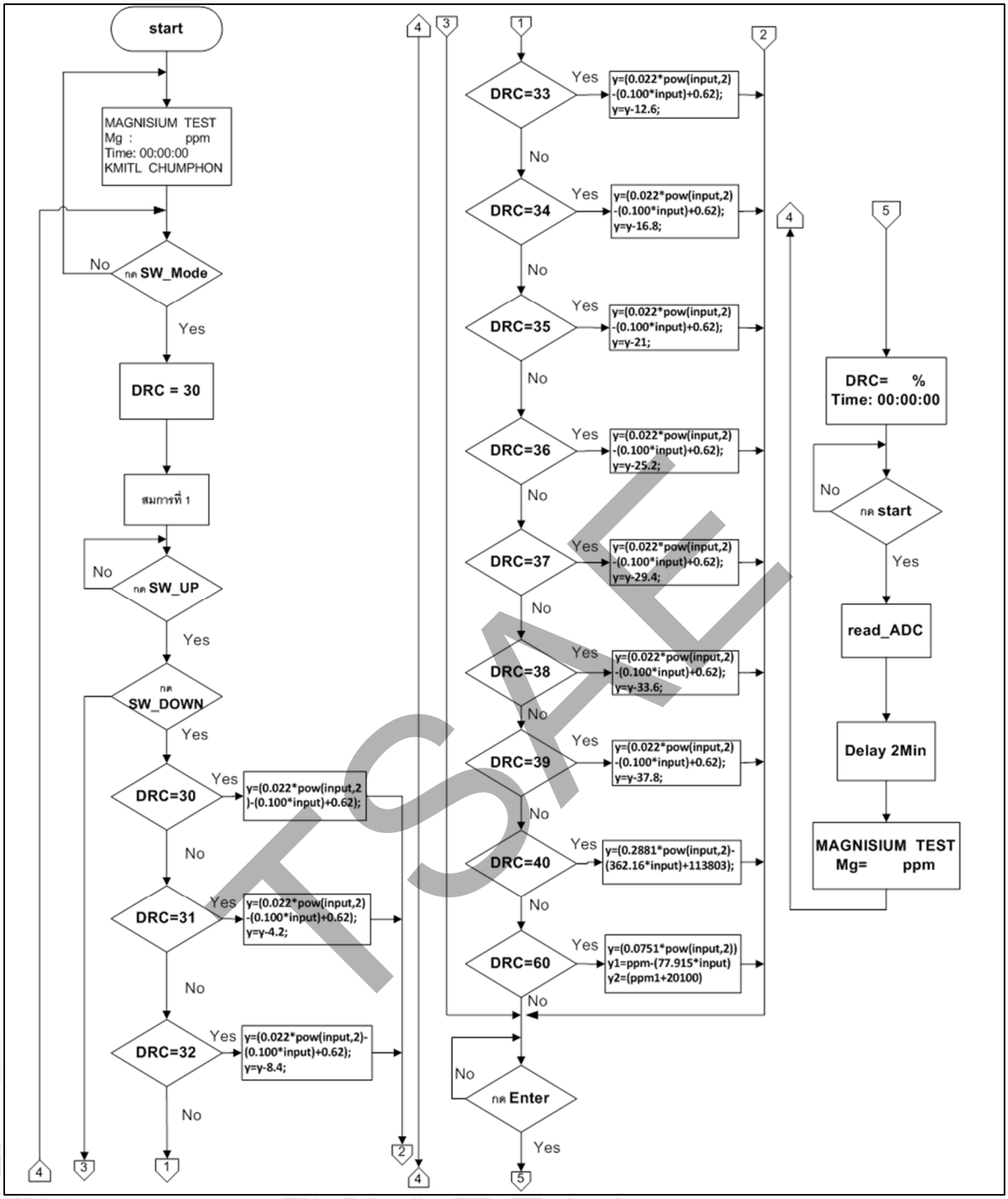


(ก) ส่วนประกอบต่างๆของโพรบวัด

(ข) ตำแหน่งต่างๆของโพรบขณะทำการตรวจวัดแมกนีเซียม

รูปที่ 5 ลักษณะโพรบแบบเซลล์กัลวานิก เพื่อใช้วัดค่าปริมาณแมกนีเซียม

TSAE



รูปที่ 6 ลำดับการทำงานของโปรแกรมด้วยวิธีการเขียนโปรแกรมด้วยสมการ

เมื่อครบเวลาที่กำหนดไมโครคอนโทรเลอร์จะทำการประมวลผลค่าของแมกนีเซียม แล้วแสดงผลปริมาณแมกนีเซียมทางจอแอลซีดี โดยลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้สำหรับโครงการวิจัยเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางพาราด้วยหลักการเซลล์กัลวานิกส์

3. ผลการทดลอง และวิจารณ์

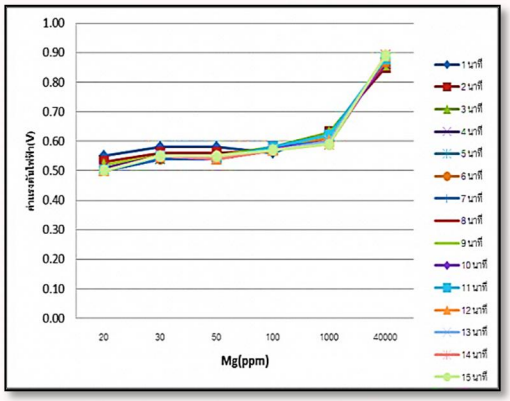
การทดลองที่ 1

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมกับสมบัติของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาว่าวิธีวัดแบบเซลล์กัลป์วานิกส์) สามารถวัดปริมาณความเข้มข้นของ

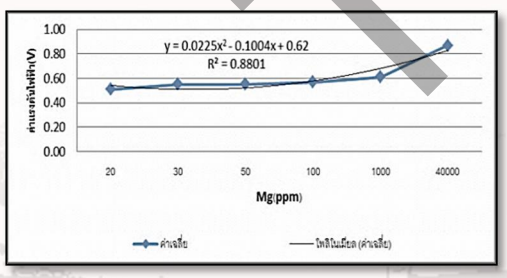
สารละลายแมกนีเซียมที่เปลี่ยนแปลงไปได้หรือไม่และเวลาที่ใช้ในการวัดมีผลกับแรงเคลื่นไฟฟ้าที่ได้หรือไม่

ผลการทดลอง ค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปแบบของแรงเคลื่นไฟฟ้าไฟฟ้าเมื่อนำผลการทดลองดังกล่าวมาพล็อตกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นค่าแรงเคลื่นไฟฟ้าไฟฟ้าที่ได้จะเพิ่มขึ้นด้วยจึงทำให้วิธีการตรวจวัดปริมาณแมกนีเซียมด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมีมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถตรวจวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง



รูปที่ 7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมกับสมบัติของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองที่ 1 มาพล็อตกราฟหาค่า R^2 จากการเทียบกับเส้นแนวโน้มกราฟที่มีค่า R^2 มากที่สุด คือ กราฟประเภทโพลิโนเมียล(รูปที่ 8) ซึ่งเป็นสมการที่ให้คำตอบค่าแมกนิเซียมในน้ำยางมีความแม่นยำที่สุด



รูปที่ 8 กราฟโพลิโนเมียลความสัมพันธ์ของแรงเคลื่นไฟฟ้าไฟฟ้าจากเซลล์กัลวานิกส์ กับปริมาณของแมกนิเซียม

การทดลองที่ 2

ทดสอบหาประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณแมกนีเซียม จากการทดลองความสัมพันธ์ของปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางด้วยวิธีการเซลล์กัลป์วานิกพบว่ามีความเป็นไปได้ในการตรวจวัดปริมาณแมกนิเซียมในน้ำยาง ดังนั้นจึงนำหลักการดังกล่าวมาออกแบบเป็นเครื่องมือวัด และพัฒนาโปรแกรมของเครื่องให้สามารถบอกได้ว่าตัวอย่างมีปริมาณแมกนีเซียมระดับใด ดังนั้นในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองนำตัวอย่างน้ำยางที่ทราบค่าแมกนิเซียมด้วยวิธีมาตรฐานอยู่ก่อน มาทดลองว่าระบบสามารถวัดค่าปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยาง ได้ถูกต้องมากน้อยเพียงใดโดยสุ่มตัวอย่างน้ำยางที่มีระดับความเข้มข้นน้ำยาง และมีปริมาณแมกนิเซียมแตกต่างกัน รวมทั้งทดลองวัดปริมาณแมกนิเซียมในน้ำยางเข้มข้น 60% ด้วย

ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองกับเครื่องวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางพาราพบว่าในช่วงความเข้มข้นน้ำยางพารา 30% เกิดความผิดพลาดเฉลี่ย 12.24% ความเข้มข้นน้ำยางพารา 31% เกิดความผิดพลาดเฉลี่ย 5.5% ความเข้มข้นน้ำยางพารา 32% เกิดความผิดพลาดเฉลี่ย 2.1% ความเข้มข้นน้ำยางพารา 33% เกิดความผิดพลาดเฉลี่ย 54.1% ความเข้มข้นน้ำยางพารา 34 % เกิดความผิดพลาดเฉลี่ย 18.96% ความเข้มข้นน้ำยางพารา 35 % เกิดความผิดพลาดเฉลี่ย 12.15% ความเข้มข้นน้ำยางพารา 36% เกิดความผิดพลาดเฉลี่ย 4.26% ความเข้มข้นน้ำยางพารา 60% เกิดความผิดพลาดเฉลี่ย 45.5%

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองโดยใช้วิธีการวัดปริมาณแมกนิเซียมในน้ำยางด้วยสมบัติของเซลล์เคมีไฟฟ้า ทำการทดลองวัดความสัมพันธ์ของค่าแรงเคลื่นไฟฟ้าไฟฟ้ากับ ความเข้มข้นของปริมาณแมกนีเซียม และเวลา เมื่อความเข้มข้นของปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นค่าแรงเคลื่นไฟฟ้าที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่เวลาในการตรวจวัดไม่มีผลต่อค่าแรงเคลื่นไฟฟ้าไฟฟ้าที่ได้ ทำให้วิธีการนี้มีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถตรวจวัดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางพาราได้ ถึงแม้จะมีค่าความผิดพลาดสูง ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาในด้านของการประมวลผลสัญญาณ และปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อกระบวนการวัดเช่น ปริมาณตัวอย่าง อุณหภูมิภายนอก เป็นต้น

5. คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประเภททุนพัฒนางานวิจัยประยุกต์และ ขอขอบคุณ สจล.วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร เอื้อเฟื้อสถานที่จนการวิจัยสำเร็จลุล่วง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] พูนผล ธรรมธวัช (2542), ยางพารา, สงขลา, สนพ. เซาท์เทิร์นรับเบอร์,.

TSAE

[2] วิภาวี พัฒนกุล (2554). ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์, งานนิทรรศการพืชสวน,เชียงใหม่.

[3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2552). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำยางข้นธรรมชาติ, กระทรวงอุตสาหกรรม.

[4] ลัดดา มีศุข (2545), เคมีทั่วไป เล่ม 1 ฉบับรวบรัด, กรุงเทพฯ , สนพ.มหาวิทยาลัยเกษตร ศาสตร์

[5] มนตรี ไชยชาญยุทธ์, พิมล ผลพฤกษา, อรรถ- ศาสตร์ นาคเทวัญ และอัญจนา จันทร์ปะทิว (2557).รายงานการวิจัย เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ และดัชนีบ่งชี้ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางด้วยวิธีการวัดสมบัติทางไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

TSAE