

คู่มือการนำไฟฟ้า



รายละเอียดวิธี
ปฏิบัติในการวัดค่า
การนำไฟฟ้า

สภาพแวดล้อม
ห้องแล็บ

คู่มือการวัดค่าการนำไฟฟ้า
ทฤษฎีและวิธีปฏิบัติในการใช้งานการนำไฟฟ้า

METTLER TOLEDO



1	บทนำ	5
2	ทฤษฎี	6
2.1	การนำไฟฟ้า – ข้อมูลเบื้องต้น	6
2.2	คำจำกัดความของการนำไฟฟ้า	6
2.3	การนำไฟฟ้าของสารละลาย	7
	2.3.1 ไอออนที่ละลาย	8
	2.3.2 การแตกตัวเป็นไอออนด้วยตัวเองของน้ำ	10
2.4	หลักการวัดค่า	11
2.5	เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า	13
	2.5.1 เซลล์การนำไฟฟ้า 2 ขั้ว	13
	2.5.2 เซลล์การนำไฟฟ้า 4 ขั้ว	14
	2.5.3 วัสดุ	15
	2.5.4 การเลือกเซ็นเซอร์ที่ถูกต้อง	16
2.6	ผลกระทบจากอุณหภูมิ	19
	2.6.1 การแก้ไขค่าอุณหภูมิแบบเชิงเส้น	20
	2.6.2 การแก้ไขค่าแบบไม่เป็นเชิงเส้น	22
	2.6.3 น้ำบริสุทธิ์	23
	2.6.4 ไม่มีผลกระทบ	24
2.7	การรบกวนการวัดค่าการนำไฟฟ้า	25
	2.7.1 การละลายของสารที่มีสถานะเป็นก๊าซ	25
	2.7.2 ฟองอากาศ	26
	2.7.3 การเคลือบผิวอิเล็กโทรด	27
	2.7.4 ข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิต – ผลกระทบของสนามไฟฟ้า	27
3	หลักแนวทางการปฏิบัติที่ดีที่สุด	28
3.1	การสอบเทียบและการตรวจสอบยืนยัน	29
3.2	คำแนะนำการใช้สารละลายมาตรฐาน	31
3.3	การวัดค่า	32
3.4	การวัดค่าการนำไฟฟ้าต่ำ	33
3.5	การบำรุงรักษาและการเก็บรักษา	34

3.6	การใช้งานที่เจาะจง	35
3.6.1	TDS	35
3.6.2	การวัดค่าความเข้มข้น	37
3.6.3	ความเค็ม	39
3.6.4	น้ำบริสุทธิ์สูง	40
3.6.5	การต้านทานไฟฟ้า	44
3.6.6	เก้าการนำไฟฟ้า	44
3.6.7	ไบโอเอทานอล	45
4	คำถามที่พบบ่อย	47
5	ประมวลศัพท์	50
6	ภาคผนวก	53
6.1	ปัจจัยการแก้ไขค่าอุณหภูมิ t_{25} ในการแก้ไขค่าแบบไม่เชิงเส้น	53
6.2	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (α -ค่า) สำหรับ สารมาตรฐานการนำไฟฟ้าของ METTLER TOLEDO	54
6.3	การนำไฟฟ้าในปัจจัยการแปลง TDS	56

1. บทนำ

การวัดค่าการนำไฟฟ้าปฏิบัติกันมานานกว่า 100 ปีแล้ว และยังคงมีความสำคัญและเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์การวิเคราะห์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ความเชื่อถือได้สูง ความไว การตอบสนองรวดเร็ว และต้นทุนอุปกรณ์ต่ำ เป็นปัจจัยที่ทำให้เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้าคู่ค้าและใช้งานได้ง่ายในการควบคุมคุณภาพ การนำไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์ผลรวมแบบไม่เจาะจงของไอออนิกทั้งหมดที่ละลาย (เกลือ กรด ด่าง และสารอินทรีย์บางชนิด) ในสารละลาย ซึ่งหมายความว่าเทคนิคนี้ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างชนิดของไอออนที่มีอยู่หลากหลายได้ ค่าที่ได้คิดเป็นสัดส่วนตามผลกระทบของไอออนทั้งหมดในตัวอย่างรวมกัน ดังนั้นจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการตรวจสอบและติดตามน้ำประเภทต่าง ๆ (น้ำบริสุทธิ์ น้ำดื่ม น้ำธรรมชาติ น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ฯลฯ) และสารละลายอื่นๆ และยังใช้ในการวัดค่าความเข้มข้นของสารเคมีนำไฟฟ้า

คู่มือนี้ครอบคลุมข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญทั้งหมดที่จำเป็นในการทำความเข้าใจการวัดค่าการนำไฟฟ้าอย่างถูกต้อง อีกทั้งยังอธิบายถึงปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดที่ส่งผลต่อการวัดค่าและที่มาของความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น คู่มือนี้ไม่ได้มีข้อมูลทางทฤษฎีเท่านั้น ตลอดจนแนะนำวิธีปฏิบัติที่สำคัญพร้อมการสอนแบบทีละขั้นตอนและแนวปฏิบัติในการสอบเทียบและการวัดค่าที่เชื่อถือได้ รายละเอียดการใช้งานที่จะเจาะจง และคำตอบสำหรับคำถามที่พบบ่อย

เป้าหมายหลักของคู่มือการวัดค่าการนำไฟฟ้านี้คือ การให้ความรู้และความเข้าใจในเทคนิคการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎี

2.1 การนำไฟฟ้า – ข้อมูลพื้นฐาน

การนำไฟฟ้า หมายถึง ความสามารถของวัสดุในการนำไฟฟ้า คำว่าการนำสามารถใช้ในบริบทอื่นๆ ได้ (เช่น การนำความร้อน) เพื่อให้ง่ายขึ้น ในคู่มือนี้ คำว่า “การนำ” หมายถึง การนำไฟฟ้าทั้งหมด

การนำไฟฟ้าผ่านวัสดุต้องมีอนุภาคที่มีประจุสูงเสมอ ตัวนำไฟฟ้าจำแนกได้เป็นสองกลุ่มหลักตามลักษณะของอนุภาคที่มีประจุ ตัวนำไฟฟ้าในกลุ่มแรกประกอบด้วยแลตทิซอะตอมที่มีเบลีออนนอกเป็นอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนใน ‘กลุ่มหมอกอิเล็กตรอน’ นี้สามารถแยกตัวจากอะตอมได้อิสระและนำไฟฟ้าผ่านแลตทิซและผ่านวัสดุ โลหะ กราไฟท์ และสารประกอบเคมีอื่นๆ บางชนิดอยู่ในกลุ่มนี้

ตัวนำไฟฟ้าในกลุ่มที่สองเรียกว่าตัวนำไฟฟ้าไอออนิก ตรงกันข้ามกับตัวนำไฟฟ้าในกลุ่มแรก การไหลของกระแสไฟฟ้าไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนโดยอิสระ แต่โดยการเคลื่อนที่ของไอออน ดังนั้น การถ่ายเทประจุในอิเล็กโทรไลต์เชื่อมโยงกับการถ่ายเทสารเสมอ ตัวนำไฟฟ้าในกลุ่มที่สองประกอบด้วยไอออนที่มีประจุและเคลื่อนที่ได้ ไอออนในเซชันเกิดขึ้นเมื่อเกิดการละลายในตัวทำละลายแบบมีขั้ว (เช่น น้ำ) หรือผ่านการหลอมเหลว

2.2 คำจำกัดความของ การนำ

ตามกฎของโอห์ม (1) แรงดันไฟฟ้า (V) เกิดขึ้นในสารละลายตามสัดส่วนของการไหลของกระแสไฟฟ้า (I):

$$V = R \times I \quad (1)$$

R = ความต้านทาน (โอห์ม, Ω)

V = แรงดันไฟฟ้า (โวลต์, V)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์, A)

ความต้านทาน (R) เป็นค่าคงที่ของความได้สัดส่วน และคำนวณโดยกระแสที่ไหลผ่านที่วัดได้ หากใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทราบค่า:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

ความสามารถในการนำไฟฟ้า (G) มีความหมายตรงกันข้ามกับความต้านทาน:

$$G = \frac{1}{R} \quad (3)$$

G = ความสามารถในการนำไฟฟ้า (siemens, S)

ในการวัดค่าความต้านทานหรือความสามารถในการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง ต้องใช้เซลล์วัดค่า เซลล์วัดค่าประกอบด้วยขั้วที่มีประจุตรงข้ามอย่างน้อยสองขั้ว คำว่าอิเล็กโทรดมีความหมายเดียวกับขั้วและทั้งสองขั้วที่รวมเป็นเซลล์วัดค่า เซลล์และตัวฉนวนที่รวมอยู่ด้วยกันเรียกว่าเซ็นเซอร์

การอ่านค่าขึ้นอยู่กับเรขาคณิตของเซลล์วัดค่าที่อธิบายด้วยค่าคงที่ของเซลล์ (K) นี่คืออัตราของระยะห่าง (l) กับพื้นที่ (A) ของขั้ว:

$$K = \frac{l}{A} \quad (4)$$

K = ค่าคงที่ของเซลล์ (cm⁻¹)

l = ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (cm)

A = พื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรดระหว่างอิเล็กโทรด (cm²)

ความสามารถในการนำไฟฟ้าสามารถแปลงเป็นการนำไฟฟ้ามาตรฐาน (κ) ซึ่งเป็นอิสระจากการติดตั้งเซลล์วัดค่า โดยคูณด้วยความสามารถในการนำไฟฟ้าด้วยค่าคงที่ของเซลล์:

$$\kappa = G \times \frac{l}{A} = G \times K \quad (5)$$

κ = การนำไฟฟ้า (S/cm)

2.3 การนำไฟฟ้าของสารละลาย

ตัวทำละลายบริสุทธิ์ไม่นำไฟฟ้าทำให้การนำไฟฟ้าใกล้เคียงศูนย์ เฉพาะของแข็งที่ละลายได้ด้วยไอออนิกหรือพันธะแบบมีขั้วเท่านั้นที่ทำให้สารละลายนำไฟฟ้า ผลกระทบของไอออนที่ละลายได้มีอธิบายอยู่ในหัวข้อ 2.3.1. นอกจากนี้ น้ำบริสุทธิ์มีไอออนและนำไฟฟ้า ผลกระทบนี้เกิดจากการแตกตัวของไอออนด้วยตนเองของน้ำและมีอธิบายอยู่ในหัวข้อ 2.3.2.

2.3.1 ไอออนละลายน้ำ

การละลายของแข็งและการรวมตัวของไอออนเรียกว่า การแตกตัวของอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าในตัวทำละลาย ตัวอย่างของการแตกตัวของอิเล็กโทรไลต์มีดังนี้:



มีความแตกต่างกันระหว่างอิเล็กโทรไลต์แก่และอิเล็กโทรไลต์อ่อน อิเล็กโทรไลต์แก่ เช่น โซเดียมคลอไรด์แตกตัวสมบูรณ์เป็นโซเดียมและคลอไรด์ไอออน ขณะที่อิเล็กโทรไลต์อ่อน เช่น กรดอะซิติกแตกตัวไม่สมบูรณ์ ซึ่งหมายความว่าโซลูชันอิเล็กโทรไลต์มีอะซิเตตไอออนิก (CH_3COO^-) และโปรตอน (H^+) และกรดอะซิติกที่ไม่ใช่ไอออนิก (CH_3COOH)

การแตกตัวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและคำนวณด้วยอัตราการแตกตัวหรือค่าคงที่การแตกตัวเฉพาะส่วนไอออนิกที่แตกตัวเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับการนำไฟฟ้า

การนำไฟฟ้าของไอออนขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ประจุ และการเคลื่อนที่ การนำไฟฟ้าของตัวอย่างอาจเกิดจากความเข้มข้นของไอออนที่ละลายและคุณสมบัติไฟฟ้าเคมีของตัวอย่าง:

$$\kappa = \sum_i c_i Z_i \lambda_i \quad (6)$$

c = ความเข้มข้น [mol/L]

Z = จำนวนประจุ

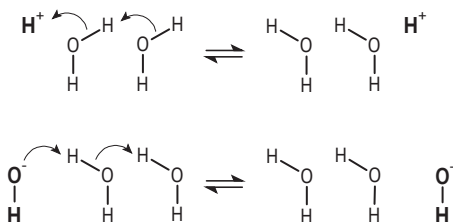
λ = ความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่า [$\text{S} \cdot \text{cm}^2/\text{mol}$]

ความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่าคือคุณสมบัติเฉพาะของไอออนทุกชนิด ไม่ใช่เพียงขึ้นอยู่กับชนิดไอออน แต่รวมถึงความเข้มข้นและอุณหภูมิด้วยเช่นกัน

ความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่า λ (25 °C, ใน H ₂ O, เจือจางสูงมาก)			
แคทไอออน	[S*cm ² /mol]	แอนไอออน	[S*cm ² /mol]
H ⁺	349.8	OH ⁻	198.6
Li ⁺	38.7	Cl ⁻	76.4
Na ⁺	50.1	HCO ₃ ⁻	44.5
NH ₄ ⁺	73.4	½ CO ₃ ²⁻	69.3
½ Mg ²⁺	53.1	NO ₃ ⁻	71.5
½ Ca ²⁺	59.5	½ SO ₄ ²⁻	80.0

ตารางที่ 1: ความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่าของชนิดไอออนที่แตกต่างกัน

ความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนประจุไฟฟ้าและลดลงตามขนาด ค่าที่คาดหวั้งอาจแตกต่างจากค่าที่วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 1 เช่น ไอออนลิเทียมที่เล็กกว่าน้ำพาไฟฟ้าได้น้อยกว่าไอออนลิเทียมแอมโมเนียมที่ใหญ่กว่าที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากขนาดไอออนที่ถูกละลายเป็นปัจจัยที่เป็นตัวกำหนด ไม่ใช่ขนาดไอออน ไอออนที่มีประจุสูงที่เล็กกว่าสามารถดึงโมเลกุลของน้ำได้มากกว่า และสะสมเปลือกการทำละลายที่ใหญ่กว่าไอออนที่มีประจุน้อยที่ใหญ่กว่า ความสามารถในการนำไฟฟ้าที่สูงมากของโปรตอน (H⁺) และไฮดรอกไซด์ (OH⁻) ก็เป็นที่ชัดเจน กลไกการนำไฟฟ้าของไอออนทั้งสองนี้ไม่ได้เกิดจากการรวมไอออนิก โปรตอนถ่ายเทจากไฮโดรเนียมได้ง่าย (H₃O⁺) ไปยัง H₂O ที่รายล้อมหรือจาก H₂O ไปยังไฮดรอกไซด์ (OH⁻) โดยหลัก ประจวบเหมาะโดยการสลับอิเล็กตรอนอย่างรวดเร็วและไม่ผ่านการรวมไอออนที่ช้ากว่า (ดูรูปที่ 1)



รูปที่ 1: กลไกการนำประจุของโปรตอนและไฮดรอกไซด์

ดังที่กล่าวข้างต้น ความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่าไม่ใช่ค่าตายตัว เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่าจะลดลง เนื่องจากการรบกวนการเคลื่อนที่ของไอออนตรงกันข้ามเพิ่มขึ้น ในกรณีที่มีอิเล็กโทรไลต์อ่อน ความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่าจะลดลง เนื่องจากอัตราการแตกตัวที่ต่ำกว่าที่ความเข้มข้นสูง

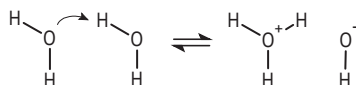
อุณหภูมิส่งผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าเทียบเท่าแตกต่างกัน อุณหภูมิสูงเพิ่มการเคลื่อนไหวของอนุภาคและลดความหนืดของตัวทำละลาย ทำให้ไอออนเคลื่อนที่มากขึ้นและนำไฟฟ้าสูงขึ้น ในกรณีที่มีอิเล็กโทรไลต์อ่อน อุณหภูมิสูงจะเพิ่มอัตราการแตกตัวและมีการนำไฟฟ้า

การนำไฟฟ้าของสารละลายขึ้นอยู่กับการนำไฟฟ้าของสารละลายที่ไม่ใช่สารภายนอกเสมอไป แต่อาจสร้างขึ้นโดยตัวทำละลายเอง ตัวอย่างเช่น น้ำบริสุทธิ์ที่ไม่มีควมไม่บริสุทธิ์ใดๆ มีการนำไฟฟ้า $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ การนำไฟฟ้าเกิดจากไฮโดรเนียม (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ที่สร้างขึ้นผ่านการไอออไนเซชันด้วยตัวเองของน้ำ

- ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ที่ละลาย (ประจุไอออนิก รัศมีไอออนิก การเคลื่อนที่ของไอออนิก)
- ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่ละลาย
- ระดับการแตกตัวของอิเล็กโทรไลต์
- สารละลาย (ความหนืด, สภาพยอมทางไฟฟ้า)
- อุณหภูมิ

2.3.2 การแตกตัวเป็นไอออนด้วยตัวเองของน้ำ

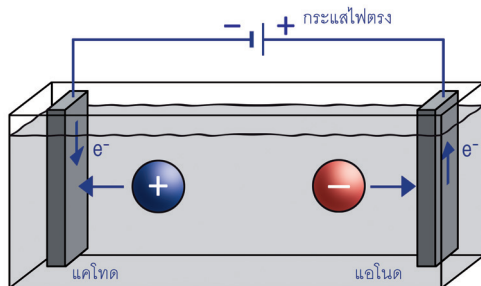
ส่วนไอออไนซ์ในสารละลายที่เพิ่มการนำไฟฟ้าของสารละลายไม่ใช่สารภายนอกเสมอไป แต่อาจสร้างขึ้นโดยตัวทำละลายเอง ตัวอย่างเช่น น้ำบริสุทธิ์ที่ไม่มีควมไม่บริสุทธิ์ใดๆ มีการนำไฟฟ้า $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ การนำไฟฟ้าเกิดจากไฮโดรเนียม (H_3O^+) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ที่สร้างขึ้นผ่านการไอออไนเซชันด้วยตัวเองของน้ำ ความสมดุลของปฏิกิริยานี้อยู่ที่น้ำเป็นหลัก และเพียงสองพันล้านโมเลกุลของน้ำเท่านั้นที่อยู่ในการกำหนดค่าของไอออไนซ์ การไอออไนเซชันด้วยตัวเองของน้ำมีผลกระทบน้อยมาก แต่ต้องพิจารณาในการวัดค่าน้ำบริสุทธิ์



รูปที่ 2: การแตกตัวเป็นไอออนด้วยตัวเองของน้ำ

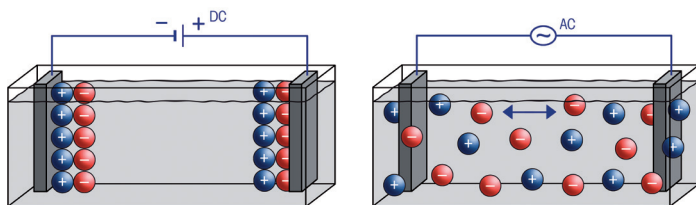
2.4 หลักการวัดค่า

โดยทั่วไป เซลล์วัดค่าการนำไฟฟ้าประกอบด้วยคู่อิเล็กโทรด หรือที่เรียกว่าขั้วคู่ ที่จะใช้กับแรงดันไฟฟ้า เครื่องวัดค่าจะวัดค่าการไหลของกระแสไฟฟ้าและคำนวณการนำไฟฟ้า (ดูที่หัวข้อ 2.2) นี่เป็นวิธีง่าย ๆ ในการอธิบายหลักการวัดค่า ในความเป็นจริง ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม



รูปที่ 3: การกำหนดรูปแบบของเซลล์วัดค่าการนำไฟฟ้า

เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าตรง (DC) กับอิเล็กโทรด ไอออนประจุบวก (แคทไอออน) จะรวมเข้ากับอิเล็กโทรดประจุลบ (แคโทด) โดยคล้ายกัน ไอออนประจุลบ (แอนไอออน) จะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับประจุบวก (แอโนด) (ดูรูปที่ 3) ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะสมไอออนใกล้ผิวอิเล็กโทรดและเกิดปฏิกิริยาเคมี การแยกสลายด้วยไฟฟ้านี้มีผลต่อองค์ประกอบของสารละลายและรวมถึงการนำไฟฟ้า เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยไฟฟ้าที่ไม่พึงประสงค์ ให้ใช้กระแสไฟสลับ (AC) ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า เมื่อใช้กระแสไฟสลับ ไอออนจะไม่รวมในทิศทางเดียว แต่จะส่ายตามจังหวะความถี่ที่เข้ากับตำแหน่งของตน (ดูรูปที่ 4)

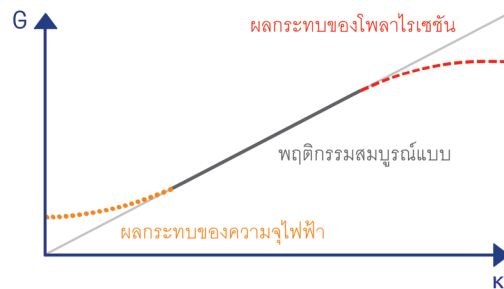


รูปที่ 4: การรวมไอออนที่แตกต่างกันเมื่อใช้กระแสไฟตรงหรือกระแสไฟสลับกับเซลล์วัดค่า

แม้จะใช้กระแสไฟสลับ การสะสมของไอออนจะไม่ถูกกำจัดทั้งหมด ผลกระทบทั้งหมดที่เกิดขึ้นที่ผิวขอบของเซ็นเซอร์และสารละลายเมื่อใช้กระแสไฟฟ้า สรุปรวมเรียกว่า โพลาริเซชัน สาเหตุหลักคือการเกิดขึ้นชั้นซ้อนที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของไอออน ซึ่งส่งผลกระทบต่อเซ็นเซอร์เกี่ยวกับการปนเปื้อนผิวอิเล็กโทรด และเป็นสาเหตุให้เกิดความต้านทานเพิ่มขึ้น

ผลกระทบโพลาริเซชันส่งผลต่อการวัดค่าตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ปานกลางถึงสูงและจำกัดเชิงเส้นในช่วงบนของสเกลวัดค่า (ดูรูปที่ 5) สามารถลดหรือป้องกันผลกระทบโพลาริเซชันได้โดย:

- การปรับความถี่ในการวัดค่า: ยิ่งความถี่ในการวัดค่าสูง เวลาในการที่ไอออนสะสมที่อิเล็กโทรดและสร้างชั้นซ้อนยิ่งสั้นลง การใช้ความถี่ในการวัดค่าสูงจะช่วยลดผลที่เกิดจากผลกระทบโพลาริเซชัน
- การปรับผิวอิเล็กโทรดให้เหมาะสม: โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรด ความหนาแน่นกระแสจะลดลง และรวมถึงผลกระทบโพลาริเซชัน (ดูที่หัวข้อ 2.5.3)
- การใช้เซลล์การนำไฟฟ้า 4 ขั้ว: เซลล์การนำไฟฟ้าชนิดนี้ไม่ได้รับผลจากผลกระทบโพลาริเซชัน (ดูที่หัวข้อ 2.5.2)



รูปที่ 5: ผลกระทบทางลบของโพลาริเซชันและความจุไฟฟ้าของการนำไฟฟ้า

เส้นตรงที่ปลายด้านหนึ่งของสเกลถูกจำกัดโดยผลกระทบของความจุไฟฟ้า (ดูรูปที่ 5) อิเล็กโทรดสองตัวในสื่อที่ไม่นำไฟฟ้าจะทำงานเหมือนกับตัวเก็บประจุ เมื่อใช้กระแสไฟตรงกับอิเล็กโทรดนั้นจะไม่มีการไหลของไฟฟ้า ความต้านทานของตัวเก็บประจุสูงแบบไม่จำกัดและความนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้กระแสไฟสลับกับอิเล็กโทรด ความต้านทานของตัวเก็บประจุจะลดลงและความนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น สามารถลดหรือป้องกันผลของความจุไฟฟ้าได้โดย:

- การปรับความถี่ในการวัดค่า: ยิ่งความถี่ในการวัดค่าต่ำ ผลกระทบของความจุไฟฟ้าก็จะยิ่งต่ำ
- การใช้เซลล์การนำไฟฟ้าที่มีความจุไฟฟ้าต่ำ: ยิ่งพื้นที่ของอิเล็กโทรด (A) เล็กและระยะห่าง (l) ระหว่างอิเล็กโทรดมาก ความจุไฟฟ้ายิ่งต่ำ อย่างไรก็ตาม นี่ไม่ใช่ตัวเลือกเนื่องจากการวัดค่าในพื้นที่ที่การนำไฟฟ้าต่ำ ต้องใช้เซลล์ที่มีค่าคงที่ของเซลล์ต่ำ (พื้นที่อิเล็กโทรดมากและระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดเล็ก) ในบางสถานการณ์ ความจุไฟฟ้าของสายเคเบิลระหว่างอิเล็กโทรดและวงจรการวัดค่าอาจสูงมากและควรลดและ/หรือชดเชยโดยการออกแบบอุปกรณ์

ความถี่ในการวัดค่าที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับช่วงการวัดค่า ดังนั้น ต้องปรับความถี่ตามการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง โดยทั่วไป ความถี่ต่ำจะถูกใช้ที่การนำไฟฟ้าต่ำซึ่งไม่มีผลกระทบต่อโพลาไรเซชัน ความถี่สูงจะถูกใช้ที่การนำไฟฟ้าสูงเพื่อให้ผลกระทบโพลาไรเซชันลดลง มิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่ทันสมัยจะปรับความถี่ในการวัดค่าโดยอัตโนมัติ อัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการปรับความถี่ในการวัดค่าแตกต่างกันระหว่างผู้ผลิตมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า

2.5 เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า

เนื่องจากความหลากหลายในการใช้งาน จึงไม่น่าแปลกใจที่ไม่มีเทคโนโลยีการวัดค่าตัวใดตัวหนึ่งที่เหมาะกับทุกสถานการณ์ เทคโนโลยีทั้งสามรูปแบบต่อไปนี้มีอยู่ในตลาด:

- เซลล์การนำไฟฟ้า 2 ขั้ว
- เซลล์การนำไฟฟ้า 4 ขั้ว
- เซลล์วัดค่าการนำไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

โดยส่วนใหญ่ เซลล์วัดค่าการนำไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำใช้สำหรับการวัดค่าในสายการผลิต สำหรับการควบคุมกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในหัวข้อต่อไปนี้จะอธิบายเฉพาะเซลล์การนำไฟฟ้า 2 และ 4 ขั้วเท่านั้น

2.5.1 เซลล์การนำไฟฟ้า 2 ขั้ว

เซลล์การนำไฟฟ้า 2 ขั้ว แบบเดิมประกอบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น โดยปกติ แผ่นเพลทจะรายล้อมด้วยท่อชั้นนอกที่ป้องกันไม่ให้แผ่นเพลทเกิดความเสียหายทางกลและลดความผิดพลาดที่เกิดจากผลกระทบของสนามไฟฟ้า (ดูรูปที่ 6) นอกจากนี้ เซลล์การนำไฟฟ้า 2 ขั้ว ยังมีอีกหลายรูปแบบ ชนิดการผลิตที่ใช้กันแพร่หลายคือ สลักที่ล้อมรอบด้วยอิเล็กโทรดรอง (ดูรูปที่ 6) เซ็นเซอร์นี้ผลิตจากวัสดุที่แข็งแรง เช่น สเตนเลสสตีลหรือไททานเนียม และไม่ไวต่อความเสียหายทางกล การติดตั้งเซลล์ 2 ขั้วที่ง่ายทำให้การผลิตเซลล์การวัดค่ามีขนาดเล็กลง เซ็นเซอร์ขนาดเล็กนี้ยังช่วยให้สามารถวัดค่าตัวอย่างปริมาณน้อยได้ด้วย



รูปที่ 6: แผนภาพเซลล์การนำไฟฟ้า 2 ขั้ว

ความแข็งแรงของเซลล์การนำไฟฟ้า 2 ขั้วกำลังวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยความถูกต้องสูง ช่วงการวัดค่าทั่วไปเริ่มตั้งแต่ $0.001 \mu\text{S/cm}$ ถึง $1000 \mu\text{S/cm}$ การใช้งานเซลล์ 2 ขั้ว โดยหลักคือ การวัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำบริสุทธิ์ สารละลายในน้ำที่เจือจางสูง และ สารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นสารอื่น

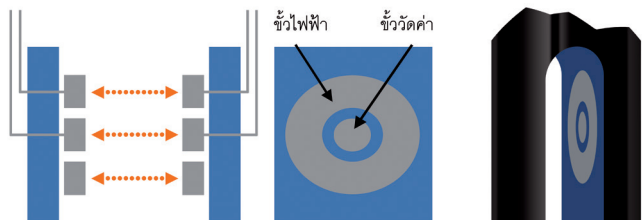
2.5.2 เซลล์การนำไฟฟ้า 4 ขั้ว

การพัฒนาเซลล์การนำไฟฟ้าเพิ่มเติมใช้งานได้กับการจับคู่เล็กโพรตเพิ่มเติม (ดูรูปที่ 7) มีรูปแบบเซลล์ 4 ขั้วที่แตกต่างกันแต่มีหลักการทำงานเดียวกัน:

- ขั้วด้านนอกเป็นขั้วกระแสที่ใช้กระแสไฟสลับ ซึ่งทำงานในลักษณะเดียวกับเซ็นเซอร์ 2 ขั้ว ขั้ววัดค่าด้านในจะวางอยู่ในสนามไฟฟ้าของขั้วกระแสและวัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้เครื่องขยายสัญญาณอิมพีแดนซ์สูง

การไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านขั้วด้านนอกและวัดค่าสารละลายได้โดยวงจร หากทราบแรงดันไฟฟ้าข้ามขั้วด้านในและกระแส สามารถคำนวณค่าความต้านทานและความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ ในการหาค่าการนำไฟฟ้า ต้องดูความสามารถในการนำไฟฟ้าด้วยค่าคงที่ของเซลล์ของขั้วด้านใน (ดูที่หัวข้อ 2.2)

ข้อได้เปรียบของเซ็นเซอร์ 4 ขั้วคือ มีการไหลของกระแสในขั้วด้านในน้อยเมื่อทำการวัดค่า ดังนั้นไม่มีผลกระทบโพลาไรเซชันเกิดขึ้นซึ่งส่งผลต่อการวัด เซลล์การนำไฟฟ้า 4 ขั้วไม่ไวต่อความผิดพลาดในการวัดค่าผ่านการเกิดตะกอน



รูปที่ 7: แผนภาพเซลล์การนำไฟฟ้า 4 ขั้ว

ความแข็งแรงของเซลล์การนำไฟฟ้า 4 ขั้ววัดค่าการนำไฟฟ้าตามช่วงการวัดค่าที่กว้าง ตั้งแต่ $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ ถึง $1000 \text{ mS}/\text{cm}$ แบบเชิงเส้น การใช้งานหลักของเซ็นเซอร์ชนิดนี้ คือ การวัดค่าผ่านการนำไฟฟ้าช่วงกลางที่ขยายตามที่พบในน้ำทะเล น้ำเสีย หรือกรด หรือด่างเจือจาง

เซลล์ 2 ขั้ว	เซลล์ 4 ขั้ว
• ความถูกต้องสูงที่การนำไฟฟ้าต่ำ • การติดตั้งเซลล์อย่างง่ายช่วยให้สร้างเซลล์ขนาดเล็กเพื่อวัดค่าปริมาณตัวอย่างเล็กน้อยได้	• ผลกระทบโพลาไรเซชันไม่ส่งผลต่อการวัดค่าตัวอย่างการนำไฟฟ้าสูง เพื่อให้เหมาะสมกับการวัดค่าการนำไฟฟ้าสูง • ความเที่ยงตรงในช่วงการนำไฟฟ้าที่กว้างมาก (หลายทศวรรษ) • ได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนที่ผิวน้อย

ตารางที่ 2 : ข้อดีของเซลล์ 2 ขั้วและ 4 ขั้ว

2.5.3 วัสดุ

วัสดุที่แตกต่างกันถูกใช้เพื่อสร้างเซลล์การนำไฟฟ้า แพลทินัม แพลตินัมเคลือบไทเทเนียม สแตนเลสสตีล และไททาเนียม เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับอิเล็กโทรด ขณะที่อิพอกซีและแก้วมักใช้เป็นวัสดุเพลลา สำหรับเหล็กและไททาเนียม อาจผลิตอิเล็กโทรดและเพลลาเป็นชิ้นเดียวกันได้

คุณลักษณะที่สำคัญของวัสดุที่ใช้ มีดังนี้:

- ความต้านทานเคมี
- ความต้านทานทางกล
- ความต้านทานโพลาริเซชัน
- ผลกระทบที่ตามมา

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างวัสดุเซรามิก (โดยเฉพาะอิเล็กโทรด) กับตัวอย่างไม่เป็นที่พึงประสงค์เนื่องจากอาจทำให้การวัดไม่ถูกต้องและเซลล์เปลี่ยนแปลงถาวร นอกจากนี้ เซลล์อาจถูกทำลายโดยผลกระทบทางกล อิเล็กโทรดที่สร้างจากวัสดุที่มีความแข็งแรงทางกลต่ำ เช่น แพลทินัมหรือกราไฟท์โดยปกติล้อมรอบด้วยวัสดุที่แข็งแรงกว่าซึ่งช่วยลดความไวต่อความเสียหายทางกล

เนื้อสัมผัสพื้นผิวของอิเล็กโทรดมีผลกระทบต่อความต้านทานโพลาริเซชัน พื้นผิวที่มีรูพรุนหรือขรุขระมีความต้านทานพื้นผิวต่ำ และลดผลกระทบโพลาริเซชัน อิเล็กโทรดแพลทินัมแบบไม่เคลือบมีความต้านทานสูงมาก อิเล็กโทรดทำจากแพลตินัมเคลือบมีความต้านทานต่ำสุด

ชั้นที่มีรูพรุน เช่น แพลตินัมเคลือบหรือกราไฟท์ อาจดูดซับตัวอย่างบางส่วน ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบที่ตามมาและเวลาตอบสนองนานขึ้น หากมีการวัดค่าสารละลายที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ผลกระทบนี้ตรงกันข้ามกับความต้านทานโพลาริเซชันของวัสดุอิเล็กโทรด ขึ้นอยู่กับข้อกำหนด วัสดุอิเล็กโทรดที่มีความต้านทานโพลาริเซชันต่ำ ผลกระทบที่ตามมาที่เพิ่มขึ้นและเวลาตอบสนองที่นานขึ้นหรือวัสดุอิเล็กโทรดที่มีความต้านทานโพลาริเซชันสูง อาจเลือกผลกระทบที่ตามมาต่ำและเวลาตอบสนองสั้น

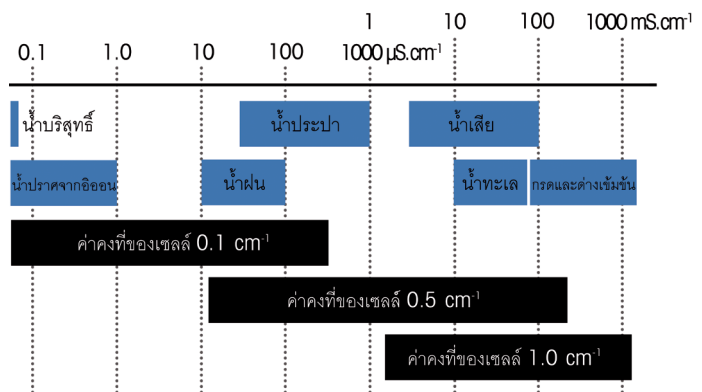
2.5.4 การเลือก เซ็นเซอร์ที่เหมาะสม

การเลือกเซ็นเซอร์การนำไฟฟ้าที่เหมาะสมเป็นปัจจัยในการกำหนดการได้รับผลลัพธ์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ ดังแสดงในหัวข้อก่อนหน้านี้ ชนิดการผลิตและวัสดุที่ใช้ที่แตกต่างกันทำให้เซ็นเซอร์มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถแยกแยะเซ็นเซอร์ที่มีประสิทธิภาพหรือไม่มีประสิทธิภาพได้อย่างชัดเจน เซ็นเซอร์ที่เหมาะสม คือ เซ็นเซอร์ที่ตรงตามความต้องการใช้งานมากที่สุด

ข้อกำหนดพื้นฐาน คือ ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างตัวอย่างกับเซ็นเซอร์ สำหรับตัวอย่างที่ทำปฏิกิริยาทางเคมี แก้วและพลาสติกมักเป็นตัวเลือกที่ดีเนื่องจากมีความต้านทานเคมีที่ดีที่สุดในกลุ่มวัสดุเซลล์ที่ใช้อย่างทั้งหมด สำหรับการใช้งานภาคสนามและการใช้งานในห้องแล็บจำนวนมาก เสถียรภาพทางกลของเซ็นเซอร์เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง เซ็นเซอร์การนำไฟฟ้าที่ทำจากอีพอกซีและอิเล็กโทรดกราฟไฟท์มักถูกใช้งานบ่อย เนื่องจากมีความทนทานสูง และมีความต้านทานเคมีที่ดี สำหรับสารละลายในน้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยาต่ำ การใช้เซลล์ที่ทำจากเหล็กหรือไททาเนียมมักเป็นตัวเลือกที่ดี

ข้อควรพิจารณาถัดไปในการเลือกเซ็นเซอร์ที่ดีที่สุดคือ ค่าคงที่ของเซลล์และประสิทธิภาพการผลิต ค่าคงที่ของเซลล์ของเซลล์ที่เหมาะสมเชื่อมโยงกับการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง ยิ่งการนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่คาดหว้งต่ำ ค่าคงที่ของเซลล์ก็จะยิ่งต่ำด้วย รูปที่ 8 แสดงชุดตัวอย่างและช่วงค่าคงที่ของเซลล์ที่แนะนำซึ่งควรใช้สำหรับการวัดค่า ในการเลือกระหว่างเซลล์ 2 ขั้วและเซลล์ 4 ขั้ว สามารถใช้กฎสองดวงและรวดเร็วได้: สำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ขอแนะนำให้ใช้เซลล์ 2 ขั้ว สำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าปานกลางถึงสูง ขอแนะนำให้ใช้เซลล์ 4 ขั้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวัดค่าข้ามช่วงการนำไฟฟ้าที่กว้าง

บางครั้งมาตรฐานหรือแนวปฏิบัติมีข้อกำหนดเกี่ยวกับเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า หากทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าตามมาตรฐานดังกล่าว เซ็นเซอร์ที่เลือกต้องตรงตามข้อกำหนดที่อธิบายไว้ทั้งหมด



รูปที่ 8: ชุดตัวอย่างและค่าคงที่ที่แนะนำ

นอกจากนี้ ยังมีเซ็นเซอร์พิเศษบางตัวที่มีค่าคงที่ของเซลล์ต่ำมากสำหรับการวัดค่าที่มีความแม่นยำสูง หรือที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลูกเล็กซึ่งสามารถวัดค่าการนำไฟฟ้าในภาชนะตัวอย่างขนาดเล็กได้ ตารางที่ 3 แสดงภาพรวมผลิตภัณฑ์เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่ใช้ในห้องแล็บ METTLER TOLEDO ดูข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่:

www.electrodes.net

		องค์ประกอบ	ค่าคงที่ของเซลล์	ช่วงการวัดค่า	ชื่อเซ็นเซอร์
ทั่วไป		ขั้วแพลทินัม 4 ขั้ว แกนแก้ว	0.80 cm ⁻¹	0.01-500 mS/cm	InLab® 710
		ขั้วกราไฟท์ 4 ขั้ว แกนอีพอกซี	0.57 cm ⁻¹	0.01-1000 mS/cm	InLab® 731 InLab® 738
เฉพาะทาง	น้ำบริสุทธิ์และ ความแม่นยำสูง	ขั้วไททาเนียม 2 ขั้ว แกนไททาเนียม	0.01 cm ⁻¹	0.0001-1000 µS/cm	InLab® Trace
		ขั้วเหล็ก 2 ขั้ว แกนเหล็ก	0.105 cm ⁻¹	0.001-500 µS/cm	InLab® 741 InLab® 742
		ขั้วแพลทินัม 2 ขั้ว แกนแก้ว	0.06 cm ⁻¹	0.1-500 µS/cm	InLab® 720
	ระดับไมโคร	ขั้วแพลทินัม 2 ขั้ว แกนแก้ว	1.0 cm ⁻¹	0.01-100 mS/cm	InLab® 751-4mm
		ขั้วแพลทินัม 2 ขั้ว แกนแก้ว	1.0 cm ⁻¹	0.01-112 mS/cm	InLab® 752-6mm
	ไบโอ เฉพาะเซลล์	ขั้วแพลทินัม 2 ขั้ว แกนแก้ว	0.1 cm ⁻¹	0.1-500 µS/cm	InLab® 725

ตารางที่ 3: ผลิตภัณฑ์เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของ METTLER TOLEDO

2.6 ผลกระทบ ของอุณหภูมิ

การวัดค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก เนื่องจากอุณหภูมิของตัวอย่างเพิ่มขึ้น ความหนืดของตัวอย่างจะลดลงซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนเพิ่มขึ้น ดังนั้น การนำไฟฟ้าของตัวอย่างที่สังเกตได้จะเพิ่มขึ้นแม้ว่าความเข้มข้นของไอออนยังคงที่ (ดูที่หัวข้อ 2.3.1) ต้องระบุทุกผลลัพธ์การนำไฟฟ้า ไม่เช่นนั้นจะไม่ได้ผลลัพธ์ที่แน่นอน เช่น การนำไฟฟ้าของ 0.01 โมลาร์โพแทสเซียมคลอไรด์ที่ 20 °C คือ 1278 $\mu\text{S}/\text{cm}$ แต่ที่ 25 °C คือ 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งหมายความว่าไม่จำเป็นต้องเปรียบเทียบการวัดค่าที่ทำในตัวอย่างเดียวกันที่อุณหภูมิต่างกัน ด้วยเหตุนี้ ค่าแสดงอุณหภูมิอ้างอิง ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ อุณหภูมิอ้างอิงโดยทั่วไปอยู่ที่ 25 °C บางครั้งจะใช้ อุณหภูมิ 20 °C ด้วย

การแก้ไขอุณหภูมิมีความแตกต่างกัน

อย่าสับสนระหว่างการแก้ไขอุณหภูมิในการวัดค่าการนำไฟฟ้ากับการชดเชยอุณหภูมิในการวัดค่า pH ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า ค่าการวัดการนำไฟฟ้าที่แสดงเป็นค่าการนำไฟฟ้าที่คำนวณได้ที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ต้องการ ดังนั้น ผลกระทบของอุณหภูมิของตัวอย่างจะได้รับการแก้ไข ด้วยการวัดค่า pH ค่า pH ที่อุณหภูมิจริง (เช่น 27 °C) จะแสดงขึ้น การชดเชยอุณหภูมิเกี่ยวข้องกับการปรับความชันของอิเล็กโทรดวัดค่า pH ตามอุณหภูมิจริงที่วัดได้ ในกรณีนี้ ผลกระทบของอุณหภูมิของอิเล็กโทรดได้รับการแก้ไข

ไม่จำเป็นต้องปรับอุณหภูมิของตัวอย่างทั้งหมดตามอุณหภูมิอ้างอิงด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิที่มีราคาแพง ในทางปฏิบัติ มิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าจะวัดค่าการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิปัจจุบัน (เช่น 27 °C) และแปลงค่าการวัดด้วยอัลกอริทึมการแก้ไขอุณหภูมิที่ผู้ใช้เลือกได้ตามอุณหภูมิอ้างอิงที่ต้องการ เนื่องจากการวัดค่าการนำไฟฟ้าและการวัดค่าอุณหภูมิเชื่อมโยงกัน เซ็นเซอร์การนำไฟฟ้า METTLER TOLEDO ทั้งหมดมี เซ็นเซอร์อุณหภูมิแบบรวม

เนื่องจากอุณหภูมิมีบทบาทสำคัญในการกำหนดการนำไฟฟ้าที่วัดค่า สิ่งสำคัญคือต้องทราบการพึ่งพาอุณหภูมิ (= การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าต่อ °C) ของตัวอย่างที่วัดค่า การพึ่งพาอุณหภูมิของทุกตัวอย่างแตกต่างกัน และอาจแตกต่างกันอย่างมากที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันและความเข้มข้นของไอออนที่แตกต่างกัน

เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างการนำไฟฟ้า อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอออนได้ง่ายขึ้น จึงได้มีการพัฒนาวิธีการแก้ไขอุณหภูมิที่แตกต่างกันเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้:

- แบบเชิงเส้น
- แบบไม่เชิงเส้น
- น้ำบริสุทธิ์
- ไม่มี

สามารถเลือกวิธีใดวิธีหนึ่งข้างต้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าการนำไฟฟ้าสำหรับสารละลายที่นำไฟฟ้าปานกลางถึงสูง แนะนำให้ใช้วิธีการแก้ไขอุณหภูมิแบบเชิงเส้น น้ำธรรมชาติขึ้นอยู่กับอุณหภูมิมากกว่า จึงแนะนำให้ใช้การแก้ไขแบบไม่เชิงเส้นสำหรับน้ำบริสุทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสูงสุด METTLER TOLEDO ได้พัฒนาอัลกอริทึม น้ำบริสุทธิ์ขึ้นโดยเฉพาะและถูกต้องสูง ซึ่งกั่นกรองจากความรู้และประสบการณ์ที่ครอบคลุมเกี่ยวกับ THORNTON บริษัทชั้นนำด้านการวิเคราะห์น้ำบริสุทธิ์สูง วิธีการแก้ไขอุณหภูมินี้มีอธิบายอยู่ในหัวข้อต่อไป

2.6.1 การแก้ไขอุณหภูมิเชิงเส้น

สำหรับการแก้ไขอุณหภูมิของสารละลายที่นำไฟฟ้าปานกลางและสูง มักใช้สมการเชิงเส้นต่อไปนี้:

$$\kappa_{T_{ref}} = \frac{\kappa_T}{1 + \frac{\alpha}{100\%} \times (T - T_{ref})} \quad (7)$$

ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ α ที่แสดงการแปรผันของการนำไฟฟ้าเป็น $\% / ^\circ\text{C}$ ค่า α มีแสดงอยู่ในเอกสารหรือถูกกำหนดในเชิงทดลอง สำหรับการกำหนดผลลัพธ์จากการทดลอง ต้องทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าสองครั้ง ครั้งแรกที่อุณหภูมิอ้างอิงและครั้งที่สองที่อุณหภูมิตัวอย่าง จากนั้น สามารถคำนวณค่า α ตามสมการ (8):

$$\alpha = \frac{(\kappa_{T_2} - \kappa_{T_1}) \times 100\%}{(T_2 - T_1) \times \kappa_{T_1}} \quad (8)$$

ตัวอย่าง: การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ α

การนำไฟฟ้าของตัวอย่างวัดค่าได้โดยไม่ต้องชดเชยอุณหภูมิ ($\alpha = 0$) ที่สองอุณหภูมิที่แตกต่างกัน T1: อุณหภูมิอ้างอิงที่เลือก, T2: อุณหภูมิจริงของตัวอย่าง สารละลาย 0.01 โมลาร์ KCl ถูกใช้เป็นตัวอย่าง ในการวัดค่า จะได้ค่าการนำไฟฟ้าดังนี้:

การวัดค่าครั้งที่ 1: 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ที่ 25 °C

การวัดค่าครั้งที่ 2: 1698 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ที่ 35 °C

$$\alpha = \frac{(1698 \mu\text{S}/\text{cm} - 1413 \mu\text{S}/\text{cm}) \times 100\%}{(35^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \times 1413 \mu\text{S}/\text{cm}} = \underline{\underline{2.017 \%/^\circ\text{C}}}$$

ค่าเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในสมการ (8) เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ

ตัวอย่าง: การแก้ไขอุณหภูมิเชิงเส้น

สารละลาย KCl ของตัวอย่างก่อนหน้านี้จะถูกวัดค่าอีกครั้ง และจะได้ผลลัพธ์ดังนี้: การวัดค่าครั้งที่ 3: 1996 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ที่ 45 °C

ค่านี้ได้รับการแก้ไขตามอุณหภูมิอ้างอิง (25 °C) โดยใช้สมการ (7) และค่า α ที่คำนวณได้:

$$\kappa_{T_{\text{ref}}} = \frac{1996 \mu\text{S}/\text{cm}}{1 \times \frac{2.017 \%/^\circ\text{C}}{100\%} \times (45^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})} = \underline{\underline{1422 \mu\text{S}/\text{cm}}}$$

ค่าที่แก้ไข 1422 $\mu\text{S}/\text{cm}$ แตกต่างจากค่าจริง 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ เล็กน้อย ความผิดพลาดนี้เกิดจากข้อเท็จจริงที่ว่าค่า α สำหรับอิเล็กโทรไลต์ไม่คงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์และอุณหภูมิ

อุณหภูมิ [°C]	α [%/C]		
	0.001 mol/L KCl	0.01 mol/L KCl	0.1 mol/L KCl
0	1.81	1.81	1.78
15	1.92	1.91	1.88
35	2.04	2.02	2.03
45	2.08	2.06	2.02
100	2.27	2.22	2.14

ตารางที่ 4: ขึ้นอยู่กับค่า α ของสารละลาย KCl ที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิสำหรับ $T_{\text{อ้างอิง}} = 25^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 4 แสดงค่า α ที่แตกต่างที่อุณหภูมิที่แตกต่าง ดังนั้น ควรกำหนดค่า α ในช่วงอุณหภูมิที่คล้ายกับอุณหภูมิตัวอย่าง สำหรับการวัดค่านอกช่วงอุณหภูมิที่กว้าง วิธีการโดยทั่วไปคือ ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ย ตัวเลือกหนึ่งในการกำหนดค่า α เฉลี่ยคือ ใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดเพื่อให้ได้เส้นตรงตามข้อมูล

ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิโดยทั่วไปของตัวอย่างที่แตกต่างกันมีกำหนดไว้ในตารางที่ 5

ตัวอย่าง	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ α (%/°C)
กรด	1.0 – 1.6
เบส	1.8 – 2.2
เกลือ	2.2 – 3.0
น้ำดื่ม	2.0
น้ำบริสุทธิ์	2.3 – 7.4

ตารางที่ 5: ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิโดยทั่วไปของกลุ่มสารต่าง ๆ

2.6.2 การแก้ไขที่ไม่เป็นเชิงเส้น

สำหรับตัวอย่างที่ละลายในน้ำ ฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้นเหมาะสำหรับการแก้ไขอุณหภูมิมากกว่าโหมดการแก้ไขอุณหภูมิแบบเชิงเส้น สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้นสำหรับน้ำธรรมชาติ เช่น น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน น้ำดื่ม และน้ำเสีย

โหมดการแก้ไขที่อธิบายข้างต้นมีกำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO/DIN 7888 การนำไฟฟ้าที่วัดค่าได้ที่อุณหภูมิตัวอย่าง (κ_T) ได้รับการแก้ไขเป็น 25 °C เพื่อให้ได้ $\kappa_{25^\circ\text{C}}$ โดยใช้สมการต่อไปนี้:

$$\kappa_{25^\circ\text{C}} = f_{25}(T) \times \kappa_T \quad (9)$$

$f_{25}(T)$ เป็นค่าการแก้ไขอุณหภูมิ ซึ่งใช้ในการปรับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำธรรมชาติจากอุณหภูมิตัวอย่าง (T) เป็นอุณหภูมิอ้างอิง (25 °C) โหมดการแก้ไขแบบไม่เชิงเส้นใช้ได้กับช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 0 °C ถึง 35.9 °C ค่าการแก้ไขที่ใช้ทั้งหมดจะถูกจัดเก็บในมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า METTLER TOLEDO และมีแสดงอยู่ในภาคผนวก 6.1 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์สำหรับอุณหภูมิอ้างอิง 20 °C ผลลัพธ์ที่แก้ไขต้องถูกหารด้วย 1.116:

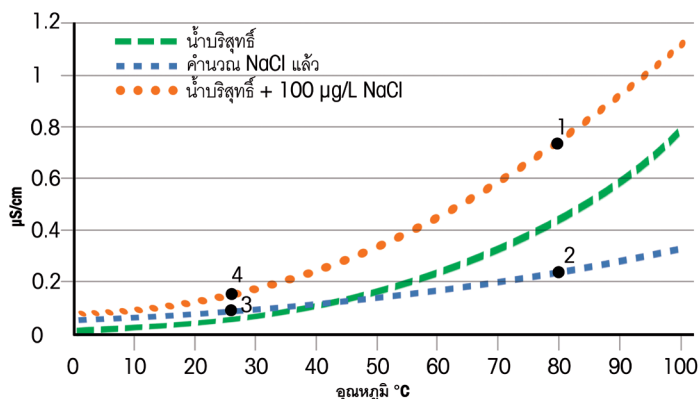
$$\kappa_{20^\circ\text{C}} = \frac{\kappa_{25^\circ\text{C}}}{1.116} \quad (10)$$

2.6.3 น้ำบริสุทธิ์

ดังแสดงในตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ α ของน้ำบริสุทธิ์แตกต่างกันอย่างมาก เหตุผลหลักคือ การแตกตัวของไอออนด้วยตนเองของโมเลกุลน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิมากกว่าการนำไฟฟ้าที่เกิดจากไอออนอื่นๆ กำหนดให้ตัวอย่างน้ำบริสุทธิ์เกือบไม่มีไอออนปนเปื้อน ค่า α ได้รับอิทธิพลจากการแตกตัวของไอออนของน้ำด้วยตนเองในตัวอย่างอื่นๆ ความเข้มข้นของไอออนปนเปื้อนสูงกว่าความเข้มข้นของไอออนจากการแตกตัวของไอออนของน้ำด้วยตนเองหลายเท่า ดังนั้น การขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสูงถูกจำกัดและค่า α เป็นเชิงเส้นมากขึ้น

การแก้ไขอุณหภูมิที่แน่นอนในน้ำบริสุทธิ์ค่อนข้างท้าทาย อาจสันนิษฐานได้ว่าการนำไฟฟ้าคือ ผลรวมของน้ำ (การแตกตัวของไอออนด้วยตนเอง) และการนำไฟฟ้าเกิดจากความไม่บริสุทธิ์ของไอออนิก รูปที่ 9 แสดงฟังก์ชันรูปแบบการชดเชยอุณหภูมิของน้ำบริสุทธิ์ จุดที่ 1 คือ การนำไฟฟ้าที่วัดค่าได้ที่ 80 °C ของตัวอย่างที่ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 100 µg/L มิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าลบการนำไฟฟ้าในตัวของน้ำ ซึ่งเป็นที่ทราบดี จากค่านี้จะได้ค่าการนำไฟฟ้าที่เริ่มต้นจากโซเดียมคลอไรด์ (จุดที่ 2) ในขั้นตอนถัดไป มิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าจะแปลงการนำไฟฟ้าของโซเดียมคลอไรด์ที่ 80 °C เป็นการนำไฟฟ้าของโซเดียมคลอไรด์ที่ 25 °C (จุดที่ 3)

เครื่องวัดค่าจะบวกร้านำไฟฟ้าของน้ำที่ 25 °C และการนำไฟฟ้าของโซเดียมคลอไรด์ที่ 25 °C เพื่อให้ได้ค่าการนำไฟฟ้าที่ถูกต้องของตัวอย่าง (จุดที่ 4)



รูปที่ 9: การทำงานของแผนผังการแก้ไขอุณหภูมิของน้ำบริสุทธิ์ด้วยโซเดียมคลอไรด์ไม่บริสุทธิ์ 100 µg/L

จากข้อเท็จจริงที่ว่า มีความไม่บริสุทธิ์เพียงชนิดเดียวในตัวอย่าง การแก้ไขที่แสดงดูค่อนข้างง่าย ในความเป็นจริงสถานการณ์ซับซ้อนมากกว่าเนื่องจากมีความไม่บริสุทธิ์ที่แตกต่างกันจำนวนมากในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และแต่ละส่วนมีพฤติกรรมอุณหภูมิของตัวเอง ในการแก้ไขอุณหภูมิที่ถูกต้องในน้ำบริสุทธิ์ METTLER TOLEDO ใช้โหมดการแก้ไขอุณหภูมิที่เจาะจงในมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าคุณภาพสูง ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของอัลกอริทึมที่พัฒนาโดย THORNTON บริษัทชั้นนำด้านการวิเคราะห์น้ำบริสุทธิ์ที่มีประสบการณ์สูงยาวนานหลายปี โหมดน้ำบริสุทธิ์นี้จะชดเชยค่าการนำไฟฟ้าในช่วงตั้งแต่ 0.005 ถึง 5.00 µS/cm และช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 0 °C ถึง 50 °C ตามอุณหภูมิอ้างอิง 25 °C เมื่อค่าการนำไฟฟ้าเกิน 5.00 µS/cm ในโหมดน้ำบริสุทธิ์ อัลกอริทึมจะรวมเข้าในโหมดชดเชยแบบเชิงเส้นด้วย $\alpha = 2.00\%/^{\circ}\text{C}$

2.6.4 ไม่มี

ผลลัพธ์จากการแก้ไขอุณหภูมิทั้งหมดอาจมีความผิดพลาดที่เกิดจากการแก้ไขอุณหภูมิ โหมดการแก้ไขอุณหภูมิยิ่งดี ความผิดพลาดยิ่งน้อย วิธีเดียวที่จะแก้ไขความผิดพลาดนี้ได้คือ ไม่ใช่โหมดแก้ไขอุณหภูมิใดๆ แต่ต้องปรับอุณหภูมิของตัวอย่างตามอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนด ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์และเวลาเพิ่มเติม

มีบางมาตรฐาน เช่น USP <645> ซึ่งห้ามการใช้วิธีการแก้ไขอุณหภูมิ และกำหนดเงื่อนไขการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ไม่มีการแก้ไข ในการวัดค่าตามมาตรฐานนี้ ต้องปิดโหมดการแก้ไขอุณหภูมิ ในกรณีที่ใช้มิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่มีเฉพาะโหมดการแก้ไขอุณหภูมิเชิงเส้น บ่อยครั้งที่ไม่สามารถปิดโหมดได้ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปที่ α ที่ 0%/°C โหมดอุณหภูมิแบบเชิงเส้นจะทำงานเหมือนกับปิดโหมดอยู่

ตารางที่ 6 แสดงภาพรวมมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าในห้องแล็บ METTLER TOLEDO และโหมดการแก้ไขอุณหภูมิที่สนับสนุน

	ไม่มี	เชิงเส้น	ไม่เป็นเชิงเส้น	น้ำบริสุทธิ์
SevenExcellence S700, S470,...	✓	✓	✓	✓
SevenCompact S230				
SevenGo Duo pro SG78	✓	✓	✓	
SevenGo pro SG7				
FiveEasy FE30, FEP30	✓	✓		
FiveGo FG3				

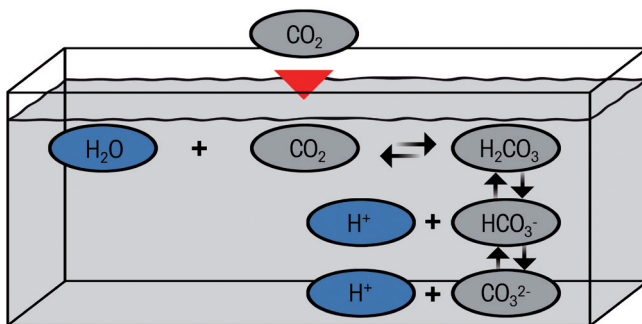
ตารางที่ 6: โหมดการแก้ไขอุณหภูมิที่รองรับของมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของ METTLER TOLEDO

2.7 การรบกวนกับการวัดค่าการนำไฟฟ้า

การวัดค่าการนำไฟฟ้าอาจได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัย ในบทนี้อธิบาย 4 โหมดที่สำคัญที่สุด

2.7.1 การละลายของสารชนิดก๊าซ

นอกจากสสารของแข็งและของเหลว สสารที่มีสถานะเป็นก๊าซอาจละลายได้ในตัวอย่าง และสร้างชนิดไอออนิกที่ส่งผลต่อการวัดค่าการนำไฟฟ้า คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซชนิดเดียวในอากาศแวดล้อมปกติที่มีผลต่อการวัดค่าการนำไฟฟ้าอย่างมาก ในน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายจะสร้างกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ที่แตกตัวในขั้นแรกเป็นไฮโดรเจนคาร์บอเนต (HCO_3^{2-}) และในขั้นที่สองเป็นคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) (รูปที่ 10) สมดุลปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ที่ด้าน CO_2 และมีเพียง 0.2% ของโมเลกุลที่ทำปฏิกิริยาต่อกรดคาร์บอนิก ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน ผลกระทบของคาร์บอนไดออกไซด์อาจเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าโดยประมาณ $1 \mu\text{S/cm}$ โดยรวม



รูปที่ 10: การแตกตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ

ที่การวัดค่าการนำไฟฟ้าต่ำ ($< 10 \mu\text{S/cm}$) คาร์บอนไดออกไซด์อาจมีผลต่อผลลัพธ์อย่างมาก เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้ สิ่งสำคัญคือป้องกันตัวอย่างไม่ให้สัมผัสกับอากาศ ซึ่งทำได้โดยใช้เซลล์การไหลหรือใช้ก๊าซเฉื่อยทางเคมี เช่น ไนโตรเจนหรือฮีเลียม คลุมปิดตัวอย่าง (ดูที่หัวข้อ 3.4)

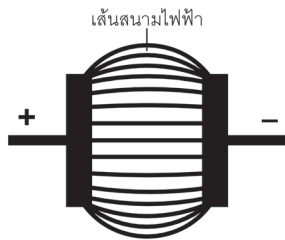
2.7.2 ฟองอากาศ

แม้แต่ฟองอากาศเล็กๆ ที่อยู่ติดกับผิวอิเล็กโทรดก็อาจเพิ่มการต้านทานของตัวอย่างภายในเซลล์ และทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง สัญญาณที่ไม่เสถียรอาจบ่งชี้ว่ามีฟองอากาศอยู่ในเซลล์วัดค่า ก่อนการวัดทุกครั้ง (และการสอบเทียบและการตรวจสอบยืนยันทุกครั้ง) ต้องมั่นใจว่าไม่มีฟองอากาศอยู่ในเซลล์ กำจัดฟองอากาศโดยแตะที่เซ็นเซอร์หรือยกและลดระดับเซ็นเซอร์เพื่อให้ฟองอากาศแตกออก

อากาศที่ละลายในน้ำเย็นจะละลายได้น้อยลงเมื่อน้ำอุ่นขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดฟองอากาศภายในเซลล์วัดค่า และอาจทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวข้างต้น

ของแข็งที่ไม่ละลายหรือตกตะกอนเข้าในตัวอย่างอาจสร้างการเคลือบบนอิเล็กโทรดของเซลล์การนำไฟฟ้า และอาจทำให้เซลล์ตอบสนองไม่ดีและค่าที่อ่านได้ผิดพลาด ตัวอย่างที่เป็นที่ทราบกันดีคือ สิ่งสกปรกทางชีวภาพของเซลล์ การทำความสะอาดที่ถูกต้องจะช่วยป้องกันปัญหานี้ (ดูที่หัวข้อ 3.5)

ส่วนการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ใช้ไดโนอิเล็กโทรไลต์ในและโดยรอบเซลล์อธิบายได้ด้วยเส้นสนามไฟฟ้า การรบกวนใด ๆ กับเส้นสนามไฟฟ้านี้จะส่งผลต่อการวัดค่าการนำไฟฟ้า แหล่งการรบกวนหลัก คือ ผนังหรือกั้นภาชนะตัวอย่าง หากวางเซ็นเซอร์ชิดเกินไป ตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่ดีที่สุดคือ ตรงกลาง และ 25 มม. สูงกว่ากั้นภาชนะ เซลล์การนำไฟฟ้าบางตัวถูกออกแบบมาเพื่อลดผลกระทบด้านลบนี้ หากสนามทั้งหมดมีอยู่ภายในเซลล์การวัดค่า อาจไม่มีการอุดตันของเส้นสนามไฟฟ้าและไม่มีการผิดพลาดจากแหล่งนี้



รูปที่ 11: เส้นสนามไฟฟ้าของเซลล์ 2 ขั้ว

3 หลักแนวทางการปฏิบัติที่ดีที่สุด

การนำไฟฟ้าวัดค่าในช่วงค่าที่หลากหลายของการใช้งานแตกต่างกัน ส่วนที่สองของคู่มือนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้งานจำนวนมาก ส่วนแรกอธิบายถึงโหมดการปฏิบัติงานทั่วไปของการสอบเทียบ การตรวจสอบยืนยัน และการวัดค่าการนำไฟฟ้า รวมถึงกรณีพิเศษของการวัดค่าการนำไฟฟ้าระดับต่ำ นอกจากนี้ ยังกล่าวถึงการดูแลรักษา และการเก็บรักษาเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าด้วย ในบทต่อไป จะอธิบายถึงการประยุกต์ใช้งานสำคัญๆ ในรายละเอียด

เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้าทั้งหมดจาก METTLER TOLEDO มีโหมดการวัดค่าเพิ่มเติมนอกเหนือจากการวัดค่าการนำไฟฟ้า ตารางที่ 7 ให้ภาพรวมของโหมดการวัดค่าที่เครื่องมือวัดสามารถทำได้ TDS, ความเค็ม, การนำไฟฟ้า และการวัดค่าไบโอเอทานอล อธิบายไว้อย่างละเอียดในตอนที่ 3.6

	การนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$, mS/cm)	TDS (mg/L , g/L)	ความเค็ม (psu)	สภาพความต้านทาน ($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$)	การนำไฟฟ้า (%)	ไบโอเอทานอล ($\mu\text{S}/\text{m}$, mS/m)
SevenExcellence SevenCompact	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SevenGo Duo pro SevenGo pro	✓	✓	✓	✓		
FiveEasy FiveGo	✓	✓	✓			

ตารางที่ 7: โหมดการแก้ไขอุณหภูมิที่รองรับของมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของ METTLER TOLEDO

3.1 การสอบเทียบและการตรวจสอบยืนยัน

ก่อนทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า ต้องทราบหรือกำหนดค่าคงที่ของเซลล์ ต้องกำหนดค่านี้เพื่อแปลงความสามารถในการนำไฟฟ้าที่วัดได้ในการนำไฟฟ้า (ดูที่หัวข้อ 2.2) ทุกเซลล์การนำไฟฟ้ามีค่าคงที่ของเซลล์ของตัวเอง **METTLER TOLEDO** ใช้ค่าคงที่ของเซลล์ที่แตกต่างกันสองค่า: ค่าคงที่ของเซลล์ที่กำหนดและที่รับรอง ค่าคงที่ของเซลล์ที่กำหนดช่วยให้คุณเลือกเซ็นเซอร์ที่ถูกต้อง เนื่องจากกระบวนการผลิต ค่าคงที่ของเซลล์มีความคลาดเคลื่อนกว้างและค่าคงที่ของเซลล์ที่กำหนดมีความถูกต้องเพียง $\pm 20\%$ ก่อนการวัด ต้องกำหนดค่าคงที่ของเซลล์ที่แน่นอนโดยการสอบเทียบการวัดค่ามาตรฐานที่ทราบค่าการนำไฟฟ้าเป็นวิธีการที่เชื่อถือได้ในการกำหนดค่าคงที่ของเซลล์ของเซ็นเซอร์ (ดูสมการ 5)

ค่าคงที่ของเซลล์ที่รับรองจะถูกกำหนดหลังจากกระบวนการผลิตโดยตรงที่โรงงาน ด้วยความไม่แน่นอนสูงสุด $\pm 2\%$ ค่าคงที่ของเซลล์มีความถูกต้องเพียงพอและสามารถใช้สำหรับการวัดได้ ค่าคงที่ของเซลล์ที่แน่นอนมีแสดงอยู่ในใบรับรองคุณภาพและพิมพ์อยู่บนสายเคเบิลของเซ็นเซอร์ สำหรับเซ็นเซอร์ **ISM** ค่าคงที่ของเซลล์จะถูกจัดเก็บในชิปเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า **InLab 73x** และ **InLab 710** และ **InLab 720** ของ **METTLER TOLEDO** แสดงค่าคงที่ของเซลล์ที่กำหนดเท่านั้น สำหรับเซ็นเซอร์เหล่านี้ ต้องกำหนดค่าคงที่ของเซลล์ก่อนการวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยการสอบเทียบ **InLab 74x** และ **InLab Trace** แสดงค่าคงที่ของเซลล์ที่รับรองที่ถูกกำหนดหลังการผลิตโดยการสอบเทียบด้วยความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับตามมาตรฐาน **ASTM** และ **NIST**

ค่าคงที่ของเซลล์อาจเปลี่ยนแปลงตามเวลา การปนเปื้อนและตะกอนหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของเซลล์วัดค่ามีผลต่อค่าคงที่ของเซลล์ ขอแนะนำให้การตรวจสอบยืนยันเพื่อดูว่าค่าคงที่ของเซลล์ยังคงใช้ได้หรือไม่ก่อนการวัดค่าการนำไฟฟ้า เพื่อวัตถุประสงค์นี้ สามารถวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานได้ ค่าที่ได้ต้องอยู่ภายในขีดจำกัดที่กำหนดไว้ล่วงหน้า (เช่น $\pm 2\%$ ของสารละลายมาตรฐาน)

โดยสรุป ต้องสอบเทียบเซ็นเซอร์ที่มีค่าคงที่ของเซลล์ที่กำหนดก่อนใช้งานครั้งแรก สำหรับเซ็นเซอร์ที่มีค่าคงที่ของเซลล์ที่ทราบ การตรวจสอบยืนยันความถูกต้องก็เพียงพอแล้ว หากค่าที่วัดได้ในการตรวจสอบยืนยันอยู่นอกขีดจำกัด ต้องทำการปรับเซ็นเซอร์ซ้ำ

สารมาตรฐานการนำไฟฟ้า

สารละลายมาตรฐานที่นำไฟฟ้ามีวิธีการสอบเทียบหรือตรวจสอบค่าคงที่ของเซลล์อย่างง่าย โปรดทราบว่า สารละลายมาตรฐานที่นำไฟฟ้ามีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนและการเจือจางมากกว่าสารละลายบัฟเฟอร์ pH ความสามารถรักษาระดับของบัฟเฟอร์ของสารมาตรฐาน pH มีแนวโน้มด้านทานการเปลี่ยนแปลง pH และลดการจัดการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในทางตรงกันข้าม สารละลายมาตรฐานที่นำไฟฟ้าได้รับผลกระทบโดยตรงโดยการเจือจาง การปนเปื้อน หรือผลกระทบของ CO₂ เมื่อสัมผัสกับอากาศ ค่าเปลี่ยนแปลงทันที โดยเฉพาะสารมาตรฐานการนำไฟฟ้าที่ต่ำกว่าคำแนะนำการใช้งานที่เป็นประโยชน์สำหรับการจัดการสารละลายมาตรฐานให้ไว้ในหัวข้อที่ 3.2

นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยอาจมีผลกระทบต่อความถูกต้องอย่างมาก ในระหว่างการสอบเทียบหรือการตรวจสอบยืนยัน เช่น เซอร์วิคค่าการนำไฟฟ้า ต้องดูแลเป็นพิเศษเพื่อกำหนดเงื่อนไขการวัดค่าที่ถูกต้อง

ควรทำการสอบเทียบหรือการตรวจสอบยืนยันภายในเงื่อนไขเดียวกันกับการวัดค่าการนำไฟฟ้า (เช่น กวณ/ไม่กวณ เซลล์การไหล) ด้วยมาตรฐานการนำไฟฟ้าในช่วงความเข้มข้นที่คล้ายกัน แนะนำให้ใช้ขั้นตอนต่อไปนี้:

การเตรียมการ

1. เลือกเซลล์การนำไฟฟ้าที่ถูกต้อง (ดูที่หัวข้อ 2.5.4)
2. ต่อเซ็นเซอร์กับมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า

ขั้นตอนการสอบเทียบ/การตรวจสอบยืนยัน

สิ่งสำคัญ:

ใช้สารละลายมาตรฐานใหม่ทุกครั้ง

1. ล้างเซ็นเซอร์และภาชนะที่ใส่สารละลายมาตรฐานด้วยน้ำที่ไม่มีไอออนหลายๆ ครั้ง เพื่อกำจัดการปนเปื้อนและอย่าให้มีหยดน้ำเหลืออยู่
2. ล้างเซ็นเซอร์และภาชนะด้วยสารละลายมาตรฐานปริมาณเล็กน้อยและกำจัดทิ้ง
3. เติมสารละลายมาตรฐานใหม่ในภาชนะ

4. จุ่มเซ็นเซอร์ในสารละลายมาตรฐาน ต้องคลุมปิดเซลล์การวัดและระบายด้านข้าง เซ็นเซอร์บางตัว
 5. กำจัดฟองอากาศออกทั้งหมดโดยปั่นหรือเคาะเซ็นเซอร์
 6. **การสอบเทียบ:** ทำการสอบเทียบเซ็นเซอร์ตามคู่มือแนะนำการใช้งาน เครื่องวัดค่าจะคำนวณค่าคงที่ของเซลล์ใหม่โดยอัตโนมัติ
- การตรวจสอบยืนยัน:** มีสองวิธีการที่แตกต่างกันในการดำเนินการตรวจสอบยืนยัน วิธีหนึ่งคือ ไม่ใช้โหมดการแก้ไขอุณหภูมิและเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าสารละลายมาตรฐานที่อุณหภูมิที่วัดได้ ซึ่งแสดงอยู่บนขวดหรือใบรับรองคุณภาพของสารละลายมาตรฐาน วิธีอื่นๆ คือ ใช้โหมดอุณหภูมิเชิงเส้น ค่า α ที่กำหนดของสารละลายมาตรฐานมีแสดงอยู่ในภาคผนวก 6.2 สามารถเปรียบเทียบค่าโดยตรงกับค่าของสารละลายมาตรฐานที่รับรอง

การกวนสามารถช่วยให้ได้ผลลัพธ์รวดเร็วกว่าแต่ต้องไม่สร้างฟองอากาศใด ๆ

7. กำจัดสารละลายมาตรฐานที่ใช้ทั้งหมด ห้ามเทสารละลายมาตรฐานกลับเข้าในขวดเดิม

3.2 คำแนะนำการใช้งาน สารละลายมาตรฐาน

METTLER TOLEDO มุ่งมั่นจัดหาผลิตภัณฑ์สารละลายมาตรฐานอย่างครอบคลุม และรับรองคุณภาพของขวดที่ยังไม่เปิดเป็นเวลานานสองปีนับตั้งแต่วันผลิต วันหมดอายุระบุอยู่บนป้ายฉลากผลิตภัณฑ์หลัง “ลือต, หมดอายุ:” หรือ “เก็บรักษาโดยไม่เปิดได้จนถึง:” ระยะเวลาการรับประกันครอบคลุมถึงวันสุดท้ายของเดือนที่ระบุ ไม่รับรองคุณภาพของสารละลายมาตรฐานเกินวันหมดอายุในทุกเงื่อนไข สามารถดูใบรับรองการทดสอบในรายละเอียดได้โดยเข้าไปที่ www.mt.com/buffer และป้อนหมายเลขลือตที่ระบุบนขวด

เนื่องจากสถานการณ์ที่ไม่อาจคาดการณ์ได้ทีนอกเหนือการควบคุม การรับประกันเดียวคือ การรับประกันคุณภาพของสารละลายมาตรฐานในขวดที่ยังไม่เปิดภายในระยะเวลาสองปีนับจากวันที่ผลิต คำแนะนำต่อไปนี้จะให้เป็นแนวทางในการใช้งานสารละลายมาตรฐานในห้องแล็บที่ได้ผลดีที่สุด การปฏิบัติตามคำแนะนำต่างๆ นี้จะช่วยให้มั่นใจว่าการวัดค่ามีความแม่นยำและถูกต้องเมื่อใช้สารละลายมาตรฐาน

ข้อกำหนดเบื้องต้น คือ เซลล์ สายเคเบิล และเครื่องวัดค่าต้องเก็บรักษาอย่างถูกวิธี

- ห้ามใช้สารละลายมาตรฐานที่เกินวันหมดอายุหรือคาดว่าจะเกิดการปนเปื้อน
- เปลี่ยนสารละลายมาตรฐานขวดใหม่หลังจากครบกำหนดวันหมดอายุ
- จัดบันทึกวันที่เปิดใช้งานครั้งแรกบนขวดสารละลายมาตรฐาน
- ห้ามเจือจางหรือผสมสารละลายมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานจากผู้ผลิตรายอื่น
- ใช้สารละลายมาตรฐานที่เทออกทันทีและห้ามเทกลับลงในขวดเดิม
- เก็บขวดสารละลายมาตรฐานปิดสนิทเพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีการปนเปื้อนในขวดสารละลาย
- เก็บสารละลายมาตรฐานที่อุณหภูมิบรรยากาศปกติและป้องกันไม่ให้แสงแดดส่องโดยตรง

3.3 การวัดค่า

ก่อนทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า ต้องทราบค่าคงที่ของเซลล์ (ดูที่หัวข้อ 3.1) หากทำการสอบเทียบก่อนการวัดค่า ต้องบันทึกค่าของค่าคงที่ของเซลล์ในเครื่องวัดค่า เช่น เซอร์ ISM จะบันทึกค่าคงที่ของเซลล์โดยตรงในชิปเซ็นเซอร์ ค่าคงที่ของเซลล์จะถูกถ่ายโอนไปยังเครื่องวัดค่าโดยตรง เมื่อต่อเซ็นเซอร์ ISM หากใช้เซ็นเซอร์ที่ไม่ใช่ ISM ต้องป้อนค่าคงที่ของเซลล์ด้วยตนเองในเครื่องวัดค่า

ขั้นตอนการวัดค่า

1. ล้างเซ็นเซอร์และภาชนะที่ใส่สารละลายตัวอย่างด้วยน้ำที่ขจัดไอออนหลายๆ ครั้ง เพื่อกำจัดการปนเปื้อนและอย่าไม่ให้มีหยดน้ำเหลืออยู่
2. ล้างเซ็นเซอร์และภาชนะที่ใส่สารละลายตัวอย่างสองหรือสามครั้งและกำจัดตัวอย่างที่ใช้แล้ว
3. เติมสารละลายตัวอย่างใหม่ในภาชนะ
4. แหะเซ็นเซอร์ในตัวอย่าง ต้องคลุมปิดเซลล์การวัดและระบุป้ายด้านข้างเซ็นเซอร์บางตัว
5. กำจัดฟองอากาศทั้งหมดออกจากพื้นที่โดยปั่นหรือเคาะเซ็นเซอร์
6. ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้าตามคู่มือแนะนำการใช้งาน การกวนสามารถช่วยให้ได้ผลลัพธ์รวดเร็วกว่าเดิมแต่ต้องไม่สร้างฟองอากาศใดๆ หากเปิดใช้งานโหมดชดเชยอุณหภูมิ ค่าการนำไฟฟ้าจะถูกแก้ไขโดยตรงตามอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

3.4 การวัดค่าการนำไฟฟ้าระดับต่ำ

การวัดค่าตัวอย่างที่มีการนำไฟฟ้าต่ำกว่า $10 \mu\text{S/cm}$ ต้องมีขั้นตอนพิเศษ ดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 2.7.1 คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีผลต่อการวัดค่าการนำไฟฟ้าอย่างมากที่ระดับต่ำนี้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์การนำไฟฟ้าที่เชื่อถือได้ต่ำกว่า $10 \mu\text{S/cm}$ แนะนำให้ใช้สองวิธีต่อไปนี้:

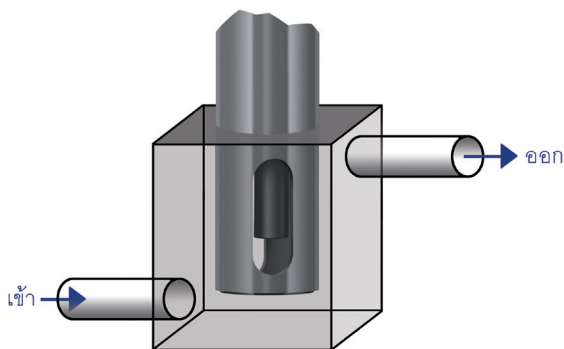
ก๊าซเฉื่อย:

ตัวอย่างจะถูกป้องกันโดยชั้นก๊าซเฉื่อยของไนโตรเจนหรือฮีเลียมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากบรรยากาศ เพื่อใช้เซลล์ลุ่มปกติเพื่อวัดค่าตัวอย่างในช่วง 1 ถึง $10 \mu\text{S/cm}$

เซลล์การไหล:

ระบบปิด เช่น เซลล์การไหลจะกำจัดผลของคาร์บอนไดออกไซด์ นี่คือนิเวศทางการปฏิบัติที่ดีที่สุดในการวัดค่าตัวอย่างที่มีการนำไฟฟ้าต่ำกว่า $10 \mu\text{S/cm}$ อย่างไรก็ตาม อาจมีการวัดตัวอย่างที่มีการนำไฟฟ้าสูงกว่าในลักษณะนี้

สำหรับตัวอย่างที่ไม่มีแรงอัด สามารถใช้เซลล์การไหลที่มีปั๊มแบบบีบรัดหรือปั๊มเยื่อกรอง โดยที่เป็นระบบซีลปิดสนิท หากใช้ปั๊มชนิดอื่น ๆ ตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานอาจสัมผัสกับปั๊มซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนและอ่านค่าผิดพลาด สำหรับตัวอย่างและมาตรฐาน การไหลต้องไม่ทำให้เกิดฟองอากาศ



รูปที่ 12: แผนผังเซลล์การไหล

การปนเปื้อนจากตัวอย่างหนึ่งไปยังอีกตัวอย่างหนึ่งหรือจากสารละลายมาตรฐานที่สอบเทียบไปยังตัวอย่างอาจทำให้การอ่านค่าผิดพลาด การล้างระหว่างแต่ละการวัดค่าจะช่วยหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนนี้ได้ เพื่อลดปริมาณตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานที่เป็นของเสียจากการล้าง สามารถล้างเซลล์และท่อที่มีน้ำที่ขจัดไอออนระหว่างกระบวนการได้ แนะนำให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้:

1. ล้างด้วยน้ำที่ขจัดไอออนให้สะอาด (แนะนำให้ใช้อัตราการไหลสูง)
2. ล้างด้วยตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐาน
3. วัดค่าตัวอย่างหรือสอบเทียบด้วยสารละลายมาตรฐาน
4. เริ่มที่จุดที่ 1 อีกครั้ง

METTLER TOLEDO มีสารละลายมาตรฐานที่ได้รับการรับรองที่มีการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ สารละลายมาตรฐานเหล่านี้ใช้เพื่อตรวจสอบค่าการวัดค่าการนำไฟฟ้าต่ำเท่านั้น เนื่องจากอาจได้รับผลกระทบจากการจัดการที่ผิดพลาดได้ง่าย เพื่อความถูกต้องที่สุดในการสอบเทียบการนำไฟฟ้าต่ำ แนะนำให้ใช้สารละลายมาตรฐาน 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ความเป็นเส้นตรงที่สม่ำเสมอของระบบการวัดค่าของ METTLER TOLEDO ระหว่าง 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ กับค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำให้ความถูกต้องมากกว่าค่าที่ได้จากการใช้สารละลายมาตรฐานที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ทั่วไป

3.5 การดูแลรักษาและการเก็บรักษา

เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษามากเนื่องจากมีข้อควรพิจารณาเพียงเล็กน้อย จุดสำคัญที่สุดคือ มั่นใจว่าเซลล์สะอาด ควรล้างเซ็นเซอร์ด้วยน้ำที่ขจัดไอออนหลังการวัดทุกครั้ง หากเซ็นเซอร์สัมผัสกับตัวอย่างที่ผสมกับน้ำไม่ได้ ควรล้างด้วยตัวทำละลายที่ผสมกับน้ำได้ เช่น เอทานอลหรืออะซิโตน และล้างให้สะอาดอีกครั้งด้วยน้ำที่ขจัดไอออน หากมีการสะสมของของแข็งด้านในเซลล์วัดค่า กำจัดออกอย่างระมัดระวังโดยใช้ก้านสำลิจุ่มสารลดแรงตึงผิว แล้วล้างเซ็นเซอร์ด้วยน้ำที่ขจัดไอออน (ข้อควรระวัง: ห้ามทำความสะอาดเซ็นเซอร์ที่มีขั้วแพลตินัมซึ่งทางกลเนื่องจากอาจทำให้เซ็นเซอร์เกิดความเสียหาย)

จัดเก็บเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่ทำความสะอาดแล้วดังนี้:

การเก็บรักษาระยะสั้น (< 1 วัน): เก็บในที่แห้งหรือในน้ำที่ขจัดไอออน

การเก็บรักษาระยะยาว (> 1 วัน): เก็บในที่แห้ง

ตรวจสอบว่าปลั๊กปราศจากความชื้นหรือสิ่งสกปรก

ตรงกันข้ามกับเซ็นเซอร์ไฟฟ้าเคมีอื่นๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดค่า pH เซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าไม่มีอายุการใช้งาน ดังนั้น อายุการใช้งานของเซ็นเซอร์การนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับการจัดการใช้งาน ขอแนะนำให้อายุการใช้งาน 3 ประเด็นต่อไปนี้เสมอ:

1. เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องวัดค่าเกิดความเสียหายต่อเนื่อง หลีกเลี่ยงการสัมผัสเซลล์วัดค่าของเซ็นเซอร์ ถอดเซ็นเซอร์ออกจากเครื่องวัดค่าก่อนทำความสะอาดทุกครั้ง
2. ห้ามใช้สารเคมีชนิดรุนแรงหรือวัตถุขูดถูกในการทำทำความสะอาด
3. ห้ามใช้เซ็นเซอร์นอกช่วงอุณหภูมิที่กำหนด เซ็นเซอร์อาจเกิดความเสียหายที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้

3.6 การใช้งาน แบบเฉพาะ

3.6.1 TDS Total Dissolved Solid (ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด: TDS) เท่ากับน้ำหนักรวมของของแข็ง (แคทไอออน แอนไอออน และสสารที่ละลายน้ำแต่ไม่แตกตัว) ในน้ำหนึ่งลิตร (mg/L) พารามิเตอร์นี้ถูกนำมาใช้บ่อยในการวิเคราะห์น้ำในพื้นที่ต่างๆ เช่น ในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษและกระดาษ หอระบายน้ำร้อนของน้ำ หม้อไอน้ำในอุตสาหกรรม และการทดสอบด้านสิ่งแวดล้อม

วิธีการหาค่า TDS แบบเดิมใช้วิธีชั่งน้ำหนัก ปริมาณของตัวอย่างที่กำหนดจะระเหยไปในสภาพในห้องแล็บที่จำกัดจนกระทั่งแห้งและชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ โดยทั่วไปเป็นวิธีที่ดีที่สุดแต่ใช้เวลานาน

การนำไฟฟ้ามีทางเลือกอื่นที่รวดเร็วและง่ายกว่าในการหาค่า TDS ค่าการนำไฟฟ้าสามารถแปลงเป็นค่า TDS ได้โดยคูณด้วยปัจจัย TDS เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้ต้องพิจารณา 2 ประเด็นที่สำคัญดังนี้:

- เฉพาะของแข็งเท่านั้นที่สร้างไอออนเมื่อละลายในน้ำที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าของแข็งที่ไม่สร้างไอออนจะไม่มีผลต่อการนำไฟฟ้า แต่มีผลต่อค่า TDS ที่แท้จริงของสารละลาย ซึ่งอธิบายได้โดยใช้แก้วกาแฟสองใบ ใบหนึ่งใส่น้ำตาล และอีกใบหนึ่งใส่น้ำตาล ทั้งสองแก้วมีการนำไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน แต่ TDS ของกาแฟที่มีน้ำตาลจะมีค่าสูงกว่าประมาณ 500 เท่า
- น้ำหนักที่เท่ากันของของแข็งที่มีไอออนิกแตกต่างกันทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

เกลือ	การนำไฟฟ้าเทียบเท่า	แฟกเตอร์ TDS
NaCl	1mg/L TDS = 2.04 μ S/cm	0.49
Na ₂ SO ₄	1mg/L TDS = 1.49 μ S/cm	0.67
CaSO ₄	1mg/L TDS = 1.36 μ S/cm	0.74
NaHCO ₃	1mg/L TDS = 1.06 μ S/cm	0.91

ตารางที่ 8: การนำไฟฟ้าเทียบเท่าและปัจจัย TDS ของเกลือที่แตกต่างกัน

เนื่องจากสองเหตุผลนี้ การวัดค่า TDS ที่เชื่อถือได้ด้วยมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าจะทำได้ก็ต่อเมื่อส่วนหลักของแข็งที่ละลายเป็นไอออนิก ซึ่งใช้ได้กับน้ำธรรมชาติและน้ำที่ผ่านการบำบัด นอกจากนี้ การวัดค่า TDS จะมีความถูกต้องเมื่อองค์ประกอบของตัวอย่างแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น

ขั้นตอนที่ท้าทายที่สุดในการวัดค่า TDS ด้วยมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าคือ การกำหนดปัจจัย TDS ที่ใช้ ซึ่งทำได้หลายวิธี:

- ทำการสอบเทียบโดยใช้สารมาตรฐาน TDS ที่ทราบหรือตัวอย่างจาก TDS ที่กำหนด ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก ปัจจัย TDS คำนวณได้ดังนี้:

$$TDS \text{ factor} = \frac{TDS}{K_{25^{\circ}C}} \quad (11)$$

การนำไฟฟ้าที่วัดค่า (ในหน่วย μ S/cm) จะได้รับการแก้ไขที่ 25 °C โดยใช้โหมดการแก้ไขอุณหภูมิ

- โดยสมมติฐานว่าการนำไฟฟ้าเกิดจากเกลือหนึ่งเม็ด โดยทั่วไป ปัจจัย TDS ที่มาจากการนำไฟฟ้าที่เทียบเท่าโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) หรือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ใช้สำหรับการคำนวณ TDS (ดูที่ภาคผนวก 6.3)
- ปัจจัย TDS สำหรับน้ำธรรมชาติโดยปกติอยู่ระหว่าง 0.55 และ 0.70 ปัจจัย TDS ที่ 0.65 บ่อยครั้งใช้กับตัวอย่างเหล่านี้

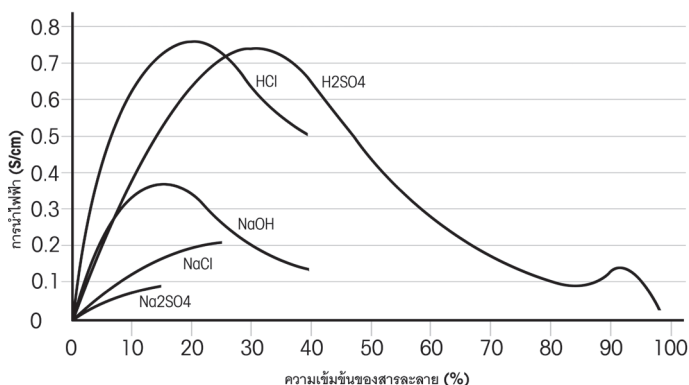
การวัดค่า TDS ทำได้ด้วยวิธีเดียวกันกับการวัดค่าการนำไฟฟ้า เครื่องวัดค่าจะแก้ไขค่าตามอุณหภูมิอ้างอิงตามโหมดการแก้ไขอุณหภูมิที่เลือกไว้ จากนั้นเครื่องวัดค่าจะคำนวณค่า TDS โดยใช้สูตรต่อไปนี้:

$$TDS \text{ (mg/L)} = TDS \text{ factor} \times K_{25^{\circ}C} \quad (12)$$

ปัจจัย TDS เป็นอีกหนึ่งแหล่งความผิดพลาด ดังนั้น ความผิดพลาดในการหาค่า TDS จึงสูงกว่าการวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยทั่วไป ความผิดพลาดน้อยกว่า 15%

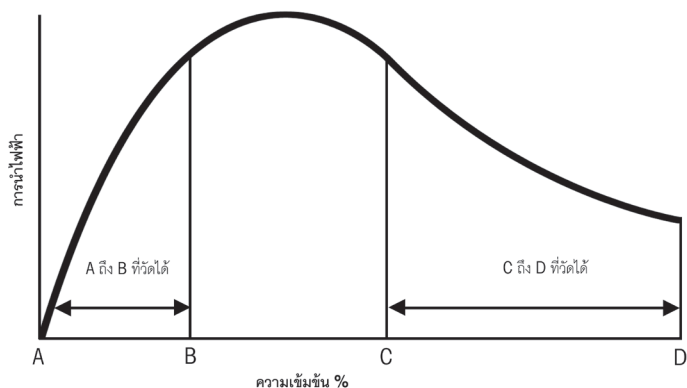
3.6.2 การวัดค่า ความเข้มข้น

ในสารละลายไบนารี (หนึ่งอิเล็กโทรไลต์และน้ำ) สามารถใช้การนำไฟฟ้าในการวัดความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากการนำไฟฟ้ามีส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นอิเล็กโทรไลต์แต่ละตัวมีเส้นโค้งการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน (ดูรูปที่ 13) สำหรับอิเล็กโทรไลต์ส่วนใหญ่ เส้นโค้งการนำไฟฟ้าจะถึงค่าสูงสุด และย้อนกลับความชันสามารถวัดค่าการนำไฟฟ้าได้บางส่วนเพิ่มหรือส่วนลดของเส้นโค้ง ไม่สามารถใช้การนำไฟฟ้าวัดค่าความเข้มข้นในพื้นที่ใกล้จุดสูงสุดของเส้นโค้งได้ เนื่องจากค่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันสองค่ามีการนำไฟฟ้าเท่ากัน



รูปที่ 13: เส้นโค้งการนำไฟฟ้าเทียบกับความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่แตกต่างกัน

สำหรับการวัดค่าความเข้มข้น ต้องทราบว่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเป็นการทำงานหนึ่งของความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ที่วิเคราะห์ ข้อมูลนี้อาจมาจากเอกสารการวิจัยหรือจากการวัดค่าในห้องแล็บ ขอแนะนำให้งานที่อุณหภูมิคงที่สำหรับการสอบเทียบและการวัดค่า เนื่องจากรูปร่างของเส้นโค้งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่วัดค่าได้ในการนำไฟฟ้าผ่านช่วงค่าความเข้มข้น และการนำไฟฟ้าต้องเพิ่มขึ้นหรือลดลงผ่านช่วงดังกล่าว (ดูรูปที่ 14) ทุกพื้นที่ที่วัดค่าได้ต้องหาค่าความเข้มข้นและค่าจุดตัดแยกจากกัน



รูปที่ 14: เส้นโค้งการนำไฟฟ้าเทียบกับความเข้มข้นกับพื้นที่ที่วัดค่าได้ของ NaOH

สำหรับการวัดค่าความเข้มข้น ต้องทำการสอบเทียบโดยใช้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นสองชนิดขึ้นไปล่วงหน้า ในคู่มืออธิบายการสอบเทียบเพียงสองจุดเท่านั้น ขั้นตอนแรกคือ การวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานสองชนิดที่ทราบค่าความเข้มข้น จากนั้นทำการคำนวณค่าความชัน (สมการ 13) และค่าจุดตัด (สมการ 14) ของเส้นโค้งการสอบเทียบโดยใช้สมการต่อไปนี้:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (13)$$

$$b = y_1 - m \times x_1 \quad (14)$$

m ความชัน

y_1, y_2 การนำไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐาน 1 และ 2

x_1, x_2 การนำไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐาน 1 และ 2

b จุดตัด

ในขั้นที่สอง วัดค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างและคำนวณค่าความเข้มข้นโดยใช้สมการต่อไปนี้:

$$x = \frac{(y - b)}{m} \quad (15)$$

y การนำไฟฟ้าของตัวอย่าง

x ความเข้มข้นของตัวอย่าง

3.6.3 ความเค็ม

ความเค็ม (S) เป็นการวัดค่าโดยไม่มีหน่วยที่ตรงกับน้ำหนักของเกลือที่ละลายในน้ำทะเล มีค่าจำกัดความของความเค็มที่แตกต่างกัน โดยปกติ ใช้ค่าจำกัดความของ UNESCO 1978 ถึงแม้ว่าความเค็มจะเป็นตัวเลขที่ไม่มีมิติ แต่มักใช้หน่วยเป็น **psu** (Practical Salinity Unit) ความเค็มคำนวณได้จากความสัมพันธ์ที่สังเกตจากการทดลองระหว่างตัวอย่างน้ำทะเลกับสารละลาย KCl (32.4356 g/kg) ที่อุณหภูมิ 15 °C และแรงดันในบรรยากาศมาตรฐาน เมื่ออัตราของค่าการนำไฟฟ้าสองค่าคือหนึ่ง ความเค็มจะมีค่า 35 พอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง 1 psu เท่ากับปริมาณเกลือ 1 g/L โดยประมาณ

สูตรค่อนข้างมีความซับซ้อน (สมการ 16) แต่ทุกการคำนวณทำได้โดยใช้เครื่องวัดค่าเมื่อเลือกโหมดความเค็มของมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า การวัดค่าเป็นการวัดค่าการนำไฟฟ้า

$$S = \sum_{j=0}^5 a_j R_T^{j/2} - \frac{(T-15)}{1+k(T-15)} \sum_{j=0}^5 b_j R_T^{j/2} \quad (16)$$

$$R_T = \frac{R_{Sample}(T)}{R_{KCl}(T)}$$

$a_0 = 0.0080$	$b_0 = 0.0005$	$k = 0.00162$
$a_1 = -0.1692$	$b_1 = -0.0056$	
$a_2 = 25.3851$	$b_2 = -0.0066$	
$a_3 = 14.0941$	$b_3 = -0.0375$	
$a_4 = -7.0261$	$b_4 = 0.0636$	
$a_5 = 2.7081$	$b_5 = -0.0144$	

บางครั้งยังคงใช้คำจำกัดความแบบเก่า สเกลน้ำทะเลธรรมชาติ (UNESCO 1966b) ความเค็ม S_{ppt} ของตัวอย่างใน ppt (ส่วนต่อพัน) คำนวณโดยใช้สูตรต่อไปนี้สำหรับอุณหภูมิ $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ และที่แรงดันบรรยากาศมาตรฐาน:

$$S_{ppt} = -0.08996 + 28.2929729R + 12.80832R^2 - 10.67869R^3 + 5.98624R^4 - 1.32311R^5 \quad (17)$$

$R = \kappa_{\text{ตัวอย่าง}} / \kappa$ โดย $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\kappa_{\text{ตัวอย่าง}} =$ การนำไฟฟ้าของตัวอย่าง
 $\kappa = 42.914\text{ mS/cm}$ (การนำไฟฟ้าของน้ำทะเลจากโคเปนเฮเกน มาตรฐาน)

หากไม่วัดค่าการนำไฟฟ้าที่ $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ สามารถใช้สมการ 18 สำหรับ $10\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 31\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R = R_T + 10^{-5} R_T (R_T - 1) (T - 15) (96.7 - 72.0 R_T + 37.3 R_T^2 - (0.63 + 0.21 R_T^2) (T - 15)) \quad (18)$$

$$RT = \kappa_{\text{ตัวอย่าง}} (T) / \kappa (T)$$

3.6.4 น้ำบริสุทธิ์สูง

น้ำเป็นวัตถุดิบที่จำเป็นที่สุดในการผลิตยา ในการใช้น้ำ เกสซ์ตำรับระบุข้อกำหนดด้านคุณภาพไว้มากมาย ซึ่งผู้ผลิตยาต้องปฏิบัติตามกฎข้อบังคับโดยเคร่งครัด การนำไฟฟ้าเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์หลัก ซึ่งทำให้สามารถตรวจสอบความไม่บริสุทธิ์ของไอออนิกทั้งหมดได้ ข้อกำหนดด้านคุณภาพนี้แตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับประเทศและคุณภาพน้ำที่กำหนด

เกสซ์ตำรับที่สำคัญที่สุดคือ:

เกสซ์ตำรับของสหรัฐอเมริกา:	USP
เกสซ์ตำรับของยุโรป:	EP
เกสซ์ตำรับของญี่ปุ่น:	JP
เกสซ์ตำรับของจีน:	ChP
เกสซ์ตำรับของอินเดีย:	IP

หลายปีที่ผ่านมา มีการกำหนดความสอดคล้องกันของข้อกำหนดต่างๆ แต่ยังคงมีข้อแตกต่างอยู่ ตารางที่ 10 แสดงภาพรวมข้อกำหนดการนำไฟฟ้าของคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันสองประการ

การนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$ ที่ 25 °C)	USP	EP	JP	ChP	IP
น้ำบริสุทธิ์	1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3 ชั้น)	5.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1 ชั้น)	ออนไลน์: 1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ออฟไลน์: 2.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$	5.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1 ชั้น)	1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3 ชั้น)
น้ำสำหรับฉีด	1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3 ชั้น)	1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3 ชั้น)	ออนไลน์: 1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ออฟไลน์: 2.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3 ชั้น)	1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3 ชั้น)

ตารางที่ 10: ภาพรวมขีดจำกัดการนำไฟฟ้าอ้างอิงในเภสัชตำรับต่างๆ

ข้อกำหนดเครื่องวัดค่า	
ข้อกำหนด	ข้อกำหนด USP, EP, JP, ChP และ IP
เซ็นเซอร์ค่าการนำไฟฟ้าและความถูกต้องของค่าคงที่ของเซลล์	ต้องทราบค่าคงที่ของเซลล์ภายใน $\pm 2\%$ การตรวจสอบยืนยันโดย: - วิธีการโดยตรง: การใช้สารละลายที่ทราบค่าการนำไฟฟ้า (มาตรฐานการนำไฟฟ้าที่รับรอง) - วิธีการโดยอ้อม: การเปรียบเทียบกับเซลล์ค่าคงที่ของเซลล์ที่ทราบหรือที่รับรอง
วัสดุคูเล็กโทรด	วัสดุที่เหมาะสม
การสอบเทียบมิเตอร์การนำไฟฟ้า	เซลล์การนำไฟฟ้าแทนที่ด้วยตัวต้านทานที่ติดตามได้ NIST (หรือหน่วยงานในประเทศเทียบเท่า) ค่าต้องถูกต้องเป็น $\pm 0.1\%$ ของค่าที่ระบุ
ความละเอียดของเครื่องมือ	0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
ความถูกต้องของเครื่องมือ (ที่ 1.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$)	0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
การชดเชยอุณหภูมิ	ไม่มี
ความถูกต้องของอุณหภูมิ	$\pm 2^\circ\text{C}$

ตารางที่ 11: ข้อกำหนดสำหรับมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า

การทดสอบที่แพร่หลายที่สุดคือ วิธีการสามขั้นตอนตาม USP <645> ซึ่งมีรายละเอียดอธิบายไว้ดังนี้

วิธีการสามขั้นตอนสำหรับ <645>

วิธีการนี้มีสามขั้นตอนการวัดค่าที่แตกต่างกัน การทดสอบจะหยุดเมื่อผ่านขั้นตอนแรก หากไม่ผ่านทั้งสามขั้นตอน แสดงว่าน้ำไม่ตรงตามข้อกำหนด ข้อกำหนดทั่วไปของมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้ามีแสดงอยู่ในตารางที่ 11

สิ่งสำคัญ: ปิดการแก้ไขอุณหภูมิ

ขั้นที่ 1

วัดค่าการนำไฟฟ้าและอุณหภูมิโดยไม่ชดเชยอุณหภูมิ ทำการวัดค่าออนไลน์ (ด้วยเซลล์การไหล) หรือออฟไลน์ (กับขวดตัวอย่าง) ปิดเศษอุณหภูมิลงในช่วง 5 °C ต่ำที่สุดถัดไป หากจำกัดในขั้นที่ 1 สำหรับอุณหภูมินั้น (ดูตารางที่ 12) หากการนำไฟฟ้าที่วัดได้ไม่เกินขีดจำกัดในตาราง แสดงว่าน้ำตรงตามข้อกำหนดสำหรับ <645> หากการนำไฟฟ้าสูงกว่าค่าในตาราง ไปที่ขั้นที่ 2

USP <645> ขั้นที่ 1 ข้อกำหนด สำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าที่ชดเชยแบบไม่ใช้อุณหภูมิ			
อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้าสูงสุด (µS/cm)	อุณหภูมิ (°C)	การนำไฟฟ้าสูงสุด (µS/cm)
0	0.6	55	2.1
5	0.8	60	2.2
10	0.9	65	2.4
15	1.0	70	2.5
20	1.1	75	2.7
25	1.3	80	2.7
30	1.4	85	2.7
35	1.5	90	2.7
40	1.7	95	2.9
45	1.8	100	3.1
50	1.9		

ตารางที่ 12: ขั้นที่ 1 ขีดจำกัดการนำไฟฟ้าสูงสุด

ชั้นที่ 2

ปรับอุณหภูมิของตัวอย่างไปที่ 25 ± 1 °C และกวนหรือปั่นจนกว่าการนำไฟฟ้าจะหยุดเพิ่มขึ้นและได้สมดุลกับอากาศในบรรยากาศ ค่าต้องไม่เกิน 2.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$

ชั้นที่ 3

เพิ่มสารละลาย KCl ที่อิ่มตัว (0.3 mL/100 mL) ในตัวอย่างจากชั้นที่ 2 และวัดค่า pH ค่าการนำไฟฟ้าจากชั้นที่ 2 ต้องไม่เกินการนำไฟฟ้าที่อนุญาตสำหรับค่า pH นั้น (ดูตารางที่ 13)

USP <645> ชั้นที่ 3 ข้อกำหนด pH และการนำไฟฟ้า	
pH	การนำไฟฟ้าสูงสุด ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
5.0	4.7
5.1	4.1
5.2	3.6
5.3	3.3
5.4	3.0
5.5	2.8
5.6	2.6
5.7	2.5
5.8	2.4
5.9	2.4
6.0	2.4
6.1	2.4
6.2	2.5
6.3	2.4
6.4	2.3
6.5	2.2
6.6	2.1
6.7	2.6
6.8	3.1
6.9	3.8
7.0	4.6

ตารางที่ 13: ชั้นที่ 3 ขีดจำกัดการนำไฟฟ้าสูงสุด

3.6.5 สภาพความต้านทาน

ในกรณีที่วัดค่าการนำไฟฟ้าต่ำ เช่น การตรวจสอบน้ำบริสุทธิ์สูงหรือตัวทำละลายอินทรีย์ บางครั้งสภาพความต้านทานเอื้อต่อการนำไฟฟ้า สภาพความต้านทานตรงกันข้ามกับการนำไฟฟ้า (สมการ 19) น้ำบริสุทธิ์มีการนำไฟฟ้า $0.055 \mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งตรงกับสภาพความต้านทาน $18.18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$

$$\rho = \frac{1}{\kappa} \quad (19)$$

ρ = สภาพความต้านทาน [$\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$]

3.6.6 ถ้ำการนำไฟฟ้า

ปริมาณถ้ำเป็นพารามิเตอร์คุณภาพที่สำคัญสำหรับน้ำตาล และเป็นข้อเริ่มต้นในการคำนวณความไม่บริสุทธิ์ของอินทรีย์ หลังจากการเผาเป็นถ้ำของผลิตภัณฑ์น้ำตาลที่ 550°C ของแข็งที่เหลือถูกชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาณถ้ำ คล้ายกับการวัดค่า TDS การนำไฟฟ้ามีทางเลือกที่รวดเร็วกว่าเพื่อประมาณการปริมาณถ้ำ หากปริมาณถ้ำถูกกำหนดโดยการนำไฟฟ้าจะเรียกว่า ถ้ำการนำไฟฟ้า International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (ICUMSA) กำหนดสองมาตรฐานสำหรับการคำนวณถ้ำการนำไฟฟ้า ปริมาณตัวอย่างน้ำตาลละลายในน้ำที่ขจัดไอออนที่ทราบค่าการนำไฟฟ้า จากนั้นจะวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายได้ คุณสมบัติของสารละลายต้องอยู่ระหว่าง 15°C และ 25°C SevenExcellence และ SevenCompact มีโหมดถ้ำการนำไฟฟ้าพิเศษ ซึ่งรายงานผลลัพธ์โดยตรงเป็นเปอร์เซ็นต์ด้วยเครื่องวัดค่าอื่นๆ สามารถคำนวณผลลัพธ์ได้ตามสูตรต่อไปนี้:

- ICUMSA GS2/3-17 สำหรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลกลั่น:
ละลายตัวอย่าง 28 ก. ในน้ำที่ขจัดไอออน 100 ก. ที่ทราบการนำไฟฟ้า ถ้ำการนำไฟฟ้าคำนวณได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้:

$$\%(m/m) = 0.006 \times \left(\frac{\kappa_1}{1 + 0.026 \times (T - 20)} \right) - 0.35 \times \left(\frac{\kappa_2}{1 + 0.026 \times (T - 20)} \right) \times K \quad (20)$$

- ICUMSA GS 1/3/4/7-13 สำหรับน้ำตาลดิบ น้ำตาลไม่ขัดสี น้ำส้ม น้ำเชื่อม และกากน้ำตาล:
ละลายตัวอย่าง 5 ก. ในน้ำที่ขจัดไอออน 100 มล. ที่ทราบการนำไฟฟ้า สำหรับการนำไฟฟ้าคำนวณได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้:

$$\%(m/V) = 0.0018 \times \left(\frac{K_1}{1 + 0.023 \times (T - 20)} \right) - \left(\frac{K_2}{1 + 0.023 \times (T - 20)} \right) \times K \quad (21)$$

K_1 : การนำไฟฟ้าของสารละลายใน $\mu\text{S/cm}$

K_2 : การนำไฟฟ้าของน้ำที่ขจัดไอออนที่ใช้แล้วใน $\mu\text{S/cm}$

T : อุณหภูมิใน $^{\circ}\text{C}$ (ต้องอยู่ระหว่าง 15°C และ 25°C)

K : ค่าคงที่ของเซลล์

3.6.7 ไบโอเอทานอล

ไบโอเอทานอลอาจมีสิ่งเจือปนไอออนิกที่ระดับต่ำมาก สิ่งเจือปนนี้เพิ่มความเสี่ยงต่อการกัดกร่อน ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายที่เครื่องย่นเมื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง หรือเป็นส่วนหนึ่งของส่วนผสมเชื้อเพลิง การนำไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์รวมที่ไม่เจาะจงเกี่ยวกับความเข้มข้นและการเคลื่อนที่ของไอออนทั้งหมดในสารละลาย ยิ่งระดับการนำไฟฟ้าสูง ปริมาณไอออนที่กัดกร่อนในน้ำมันเชื้อเพลิงยิ่งสูง อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการหาค่าดังกล่าวมีราคาไม่แพงและใช้งานง่ายในไซต์งาน ดังนั้น การนำไฟฟ้าเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญของคุณภาพโดยรวมของไบโอเอทานอล

มาตรฐานที่สำคัญของการวัดค่าการนำไฟฟ้าในไบโอเอทานอล คือ NBR 10547 (เชื้อเพลิงเอทานอล – การกำหนดการนำไฟฟ้า) ซึ่งถูกกำหนดโดย Brazilian Association of Technical Norm (ABNT) ในการวัดการนำไฟฟ้าตามมาตรฐานนี้ ต้องพิจารณาประเด็นต่อไปนี้:

อุปกรณ์:

- มิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่มีความละเอียดต่ำสุด $1 \mu\text{S/m}$ ($0.01 \mu\text{S/cm}$)
- เซลล์การวัดค่าการนำไฟฟ้าแพลทินัมที่มีค่าคงที่ของเซลล์ $0.10 \pm 0.02 \text{ cm}^{-1}$ รวมถึงหัววัดอุณหภูมิแบบรวมหรือภายนอกที่มีความละเอียด 0.1°C
- เทอร์มิสตัดในการปรับอุณหภูมิของตัวอย่างเป็น $25 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$
- สารมาตรฐานการนำไฟฟ้าที่ได้รับการรับรองที่มีกรนำไฟฟ้า $500 \mu\text{S/m}$ ($5 \mu\text{S/cm}$) หรือน้อยกว่า
- ภาชนะตัวอย่างทำจากแก้ว พลาสติกหรือสแตนเลสตีล

การสอบเทียบ:

สำหรับการสอบเทียบ ต้องปิดโหมดการแก้ไขอุณหภูมิของมิเตอร์วัดค่าการนำไฟฟ้า อุณหภูมิตัวอย่างมาตรฐานถูกปรับเป็น 25°C ด้วยเทอร์โมสแตท กวนเบาเพื่อให้ได้ สมดุลอุณหภูมิ หยดกวนและรออีกสองนาทีก่อนอ่านค่าการนำไฟฟ้า อุณหภูมิตัวอย่าง ต้องเป็น $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ค่าคงที่ของเซลล์ผลลัพธ์ต้องอยู่ระหว่าง 0.08 และ 0.12 cm^{-1}

การวัดค่า:

ในการวัดค่า มีสองวิธีทำได้:

- ปรับอุณหภูมิของตัวอย่างเป็น $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$
- ใช้โหมดการแก้ไขอุณหภูมิเชิงเส้นกับค่าสัมประสิทธิ์การแก้ไขอุณหภูมิ $2.2\%/^{\circ}\text{C}$ ปั่นตัวอย่างเบา ๆ เพื่อให้ได้อุณหภูมิสอดคล้องกัน หยดป็นและรออีกสองนาทีก่อนอ่านค่าการนำไฟฟ้า เพื่อให้ตรงตามข้อกำหนด ผลลัพธ์ต้องไม่เกินกว่าหรือเท่ากับ $500\text{ }\mu\text{S/m}$ ($5\text{ }\mu\text{S/cm}$)

4 คำถามที่พบบ่อย

ฉันจะเลือกเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมได้อย่างไร

การตรวจสอบเงื่อนไขสามหัวข้อต่อไปนี้จะช่วยให้คุณเลือกเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมได้

1. เสถียรภาพทางเคมี: ต้องไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างวัสดุของเซ็นเซอร์กับตัวอย่าง
2. ชนิดของโครงสร้าง:
 - เซ็นเซอร์ 2 ขั้ว: ดีที่สุดสำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าต่ำ
 - เซ็นเซอร์ 4 ขั้ว: ดีที่สุดสำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าปานกลางถึงสูง
3. ค่าคงที่ของเซลล์: ใช้เซ็นเซอร์ที่มีค่าคงที่ของเซลล์ต่ำ ($0.01\text{--}0.1\text{ cm}^{-1}$) สำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าต่ำ และเซ็นเซอร์ที่มีค่าคงที่สูงกว่า ($0.5\text{--}1.0\text{ cm}^{-1}$) สำหรับการวัดค่าการนำไฟฟ้าปานกลางถึงสูง

ที่ www.electrodes.net คุณสามารถหาข้อมูลที่เป็นทั้งหมดเกี่ยวกับเซ็นเซอร์ METTLER TOLEDO

อะไรคือความแตกต่างระหว่างค่าคงที่ของเซลล์ที่กำหนดและที่รับรอง

ค่าคงที่ของเซลล์อาจแตกต่างกันอย่างมากเนื่องจากกระบวนการผลิต ค่าคงที่ที่กำหนดมีความถูกต้องเพียง $\pm 20\%$ เท่านั้นและช่วยให้คุณเลือกเซ็นเซอร์ที่เหมาะสม ไม่ถูกต้องและไม่สามารถใช้ในการวัดค่าการนำไฟฟ้าได้ เซ็นเซอร์มีค่าคงที่ของเซลล์ที่กำหนดต้องสอบเทียบก่อน

ค่าคงที่ของเซลล์ที่รับรองจะถูกกำหนดหลังจากกระบวนการผลิตโดยตรงที่โรงงานที่มีความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับตามมาตรฐาน ASTM และ NIST ด้วยความไม่แน่นอนสูงสุด $\pm 2\%$ ค่าคงที่ของเซลล์มีความถูกต้องเพียงพอและสามารถใช้สำหรับการวัดการนำไฟฟ้าได้ ค่าคงที่ของเซลล์ที่รับรองมีระบุไว้ในใบรับรองคุณภาพ พิมพ์ติดอยู่ที่สายเคเบิลเซ็นเซอร์ และบันทึกในชิปเซ็นเซอร์ ISM

ฉันต้องทำการสอบเทียบหรือการตรวจสอบยืนยันเมื่อใด

หากไม่ทราบค่าคงที่ของเซลล์ที่แน่นอน ต้องทำการสอบเทียบ เมื่อทราบค่าคงที่ของเซลล์ที่แน่นอน การตรวจสอบยืนยันก็เพียงพอ นี่คือการที่เซ็นเซอร์ที่มีค่าคงที่ของเซลล์ที่รับรองหรือเซ็นเซอร์ที่ถูกสอบเทียบก่อนหน้านี้

ควรใช้โหมดการแก้ไขอุณหภูมิใด

ขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่วัดค่า ควรใช้โหมดการแก้ไขอุณหภูมิที่แตกต่างกัน:

เชิงเส้น: สารละลายที่นำไฟฟ้าปานกลางถึงสูง (ใช้ค่า α ที่ถูกต้อง)

ไม่เป็นเชิงเส้น: น้ำธรรมชาติ

น้ำบริสุทธิ์: น้ำบริสุทธิ์สูง

ไม่มี: ตัวอย่างที่ควบคุมอุณหภูมิ การวัดค่าการนำไฟฟ้าตามมาตรฐานที่แน่นอน (เช่น USP <645>)

ควรกวนตัวอย่างการวัดค่าการนำไฟฟ้าหรือไม่

ในสารละลายที่ไม่ได้กวน การวัดค่าอาจมีการเบี่ยงเบน โดยทั่วไป แนะนำให้ใช้การวัดค่าการนำไฟฟ้าในตัวอย่างที่กวน ข้อยกเว้นคือ ตัวอย่างที่นำไฟฟ้าระดับต่ำ ซึ่งการกวนทำให้สัมผัสอากาศและปนเปื้อนคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

สิ่งสำคัญ: ใช้เงื่อนไขการกวนเดียวกันสำหรับการสอบเทียบหรือการตรวจสอบยืนยันและการวัดค่า

ฉันจะทำความสะอาดเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าได้อย่างไร

ควรล้างเซ็นเซอร์หลังการวัดค่าด้วยน้ำที่ขจัดไอออนทุกครั้ง หากเซ็นเซอร์สัมผัสกับตัวอย่างที่ผสมกับน้ำไม่ได้ ควรล้างด้วยตัวทำละลายที่ผสมกับน้ำได้ เช่น เอทานอลหรืออะซิโตน และล้างให้สะอาดอีกครั้งด้วยน้ำที่ขจัดไอออน หากมีการสะสมของของแข็งด้านในเซลล์วัดค่า กำจัดออกอย่างระมัดระวังโดยใช้ก้านล้าลุ่มสวาลด์แรงตึงผิว แล้วล้างเซ็นเซอร์ด้วยน้ำที่ขจัดไอออน (ข้อควรระวัง: ห้ามทำความสะอาดเซ็นเซอร์ที่มีขั้วแพลตินัมทางกลเนื่องจากอาจทำให้เซ็นเซอร์เกิดความเสียหาย)

มีวิธีการจัดเก็บเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าอย่างไร

จัดเก็บเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าที่ทำความสะอาดแล้วดังนี้:

การเก็บรักษาระยะสั้น (< 1 วัน): เก็บในที่แห้งหรือในน้ำที่ขจัดไอออน

การเก็บรักษาระยะยาว (> 1 วัน): เก็บในที่แห้ง

สารละลายมาตรฐานที่นำไฟฟ้าที่รับรองมีอายุการใช้งานนานเท่าใด
METTLER TOLEDO รับประกันคุณภาพสารละลายมาตรฐานที่ยังไม่เปิดภาชนะบรรจุเป็นเวลาานสองปีนับจากวันที่ผลิต สารละลายมาตรฐานที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า $100 \mu\text{S/cm}$ มีอายุการใช้งานสั้นกว่า ($84 \mu\text{S/cm}$: 1 ปี; $10 \mu\text{S/cm}$: 6 เดือน) วันหมดอายุระบุอยู่บนป้ายฉลากผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการรับประกันครอบคลุมถึงวันสุดท้ายของเดือนที่ระบุ

อายุการใช้งานทั่วไปของเซ็นเซอร์ที่มีค่าคงที่ของเซลล์ที่รับรองนานเท่าใด
หวัวัดค่าการนำไฟฟ้าจะไม่เสื่อมสภาพในแบบเดียวกับอิเล็กโทรดวัดค่า pH อายุการใช้งานของหวัวัดไม่ถูกจำกัดหากเซลล์วัดค่าไม่ถูกทำให้เสียหายโดยสารเคมีชนิดรุนแรง การจัดการที่ผิดพลาด ความเสียหายทางกลหรือการเกิดตะกอน อายุการใช้งานส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการใช้งานและการจัดการเซ็นเซอร์ การล้างและการเก็บรักษาอย่างถูกวิธี ช่วยยืดอายุการใช้งานของเซ็นเซอร์ได้นานขึ้น

สามารถวัดการนำไฟฟ้าในสารละลายที่ไม่ละลายในน้ำได้หรือไม่
ได้ หากทำได้ สารอินทรีย์มีคุณสมบัติที่ไม่แตกตัว สารประกอบอินทรีย์ เช่น ผลิตภัณฑ์เบนซิน แอลกอฮอล์ และปิโตรเลียมมีการนำไฟฟ้าที่ต่ำมาก ควรทราบว่าการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอาจระบุการเพิ่มขึ้นของการปนเปื้อนไอออนิก และ/หรือปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นที่ทำให้เกิดการแตกตัวเพิ่มขึ้น อุปกรณ์การนำไฟฟ้าของ METTLER TOLEDO ได้รับการพัฒนาโดยหลักสำหรับตัวอย่างที่ละลายในน้ำหรือตัวอย่างที่ไม่ละลายในน้ำที่มีปริมาณน้ำต่ำ ก่อนวัดค่าตัวอย่างที่ไม่ละลายในน้ำ ให้ตรวจสอบความต้านทานของวัสดุเซ็นเซอร์ก่อน

5 ประมวลศัพท์

TDS [mg/L]:	Total Dissolved Solid (ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด: TDS) เป็นการวัดจำนวนสารที่ไม่ระเหยที่ละลายได้ทั้งหมดที่มีของเหลวและโดยทั่วไปแสดงเป็น mg/L หรือ ppm
กระแสไฟตรง (DC):	การไหลของประจุไฟฟ้าในทิศทางเดียวเท่านั้น
กระแสไฟสลับ (AC):	การไหลของประจุไฟฟ้าซึ่งมีทิศทางไหลไปและกลับอยู่ตลอดเวลา
การเกิดตะกอน:	การสะสมเคลือบคล้ายวุ้น มวลสารคอลลอยด์ หรือการเติบโตของแบคทีเรียในเซลล์วัดค่าตะกอนเหล่านี้ส่งผลกระทบด้านลบต่อค่าการนำไฟฟ้า
การตรวจสอบยืนยัน:	ตรวจสอบค่าการนำไฟฟ้าโดยทำการวัดค่าในสารละลายมาตรฐาน
การนำไฟฟ้า κ [$\mu\text{S}/\text{cm}$]:	ความสามารถในการนำไฟฟ้าสำหรับเซลล์ที่เป็นมาตรฐาน ความสามารถในการนำไฟฟ้าที่วัดค่าได้คูณด้วยค่าคงที่ของเซลล์เพื่อให้ได้ค่าการนำไฟฟ้า ($\kappa = G \cdot K$)
การสอบเทียบ:	การหาค่าคงที่ของเซลล์โดยใช้การทดลองโดยการวัดค่าสารละลายมาตรฐาน
ขั้ว:	หนึ่งใน 2 หรือ 4 ขั้วที่ใช้กระแสในการวัดค่าการนำไฟฟ้า ขั้วสัมผัสกับสารละลายตัวอย่างโดยตรง และสร้างเซลล์วัดค่าร่วมกับขั้วอื่นๆ ขั้วเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอิเล็กโทรด
ความเค็ม:	ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ละลาย (โดยหลักเกลือของโลหะอัลคาไลน์หรือแมกนีเซียม) ในน้ำ
ความต้านทาน Ω [โอห์ม]:	คุณสมบัติของตัวนำไฟฟ้าเนื่องจากขัดขวางการไหลของกระแสที่ไหลผ่าน
ความไม่แน่นอนในการวัดค่า:	ช่วงค่าที่เป็นไปได้ภายในค่าที่แท้จริงของการวัดค่าขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นที่กำหนด
ความสามารถในการนำไฟฟ้า G [S]:	ความสามารถของวัสดุในการนำไฟฟ้าซึ่งเป็นส่วนกลับความต้านทานทางไฟฟ้า

ค่าคงที่ของเซลล์ $K \text{ [cm}^{-1}\text:]$:	ในทางทฤษฎี: $K = l / A$; อัตราของระยะทางระหว่างอิเล็กโทรด (l) กับพื้นที่หน้าตัดที่มีประสิทธิภาพของอิเล็กโทรไลต์ระหว่างขั้ว (A) ค่าคงที่ของเซลล์ใช้เพื่อแปลงความสามารถในการนำไฟฟ้าเป็นค่าการนำไฟฟ้าและหาค่าได้โดยการสอบเทียบ ความแตกต่างระหว่างค่าคงที่ของเซลล์ในภาคทฤษฎีและค่าคงที่ตามจริงมาจากเส้นสนามไฟฟ้า
แคทไอออน:	ไอออนที่มีประจุบวก
เซลล์วัดค่า:	2 หรือ 4 ขั้วรวมกันเรียกว่าเซลล์วัดค่า
ใบรับรองคุณภาพ:	รับรองว่าระบบผลิตภัณฑ์หรือส่วนที่เกี่ยวข้องตรงตามระดับคุณภาพที่ต้องการภายในความคลาดเคลื่อนที่ตกลงกัน และรับรองความสามารถในการตรวจสอบย้อนกลับภายในกระบวนการผลิตทั้งหมด
ผลกระทบของสนาม:	ส่วนของสนามการวัดค่าที่อยู่นอกพื้นที่ที่เราคิดของเซลล์วัดค่า หากมีบางสิ่งรบกวนเส้นสนามไฟฟ้า (เช่น ผนังแก้วบีกเกอร์) จะส่งผลกระทบต่อการวัดค่า
โพลาริเซชัน:	การใช้กระแสไฟฟ้ากับอิเล็กโทรดในสารละลายอาจทำให้เกิดการสะสมชนิดของไอออนใกล้ผิวอิเล็กโทรด ดังนั้น ความต้านทานโพลาริเซชันเพิ่มขึ้นที่ผิวอิเล็กโทรด ซึ่งอาจทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ผิดพลาด
สภาพความต้านทาน $p \text{ [}\Omega\text{-cm]}:$	สภาพความต้านทานตรงกันข้ามกับการนำไฟฟ้า ($p = 1 / \kappa$) บางครั้งค่าสภาพความต้านทานเชื่อถือค่าการนำไฟฟ้าในการใช้งานการนำไฟฟ้าระดับต่ำ เช่น การวัดค่าในน้ำบริสุทธิ์สูงหรือตัวทำละลายอินทรีย์
สารละลายมาตรฐาน:	สารละลายที่มีจำนวนสสารที่ทราบอย่างถูกต้องแม่นยำ หรือในกรณีนี้ การนำไฟฟ้าที่ทราบแน่นอน

โหมดการแก้ไขอุณหภูมิ:	วิธีที่ใช้ในการแปลงค่าที่วัดได้ตามสมการที่เลือกไว้ล่วงหน้าตามอุณหภูมิอ้างอิงที่ต้องการ ในกรณีนี้ไม่จำเป็นต้องทำการปรับอุณหภูมิตัวอย่าง
อิเล็กทรอนิกส์:	ค่าเหมือนกับคำว่าขั้ว
อิเล็กทรอนิกส์:	สารละลายกรด ด่าง หรือเกลือที่ละลายในน้ำที่สามารถนำไฟฟ้าได้
อุณหภูมิอ้างอิง:	การวัดค่าการนำไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นหลัก ค่าที่วัดได้จะถูกแปลงเป็นอุณหภูมิอ้างอิง (โดยทั่วไป 20 °C หรือ 25 °C) โดยใช้โหมดการแก้ไขอุณหภูมิ ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ไม่สามารถเปรียบเทียบได้
แอนไอออน:	ไอออนที่มีประจุลบ
ไอออน:	อะตอมหรือโมเลกุลที่มีประจุไฟฟ้าที่เป็นประจุบวก (แคตไอออน) หรือประจุลบ (แอนไอออน) อันเป็นผลมาจากการมีอิเล็กตรอนที่สูญหายหรือที่เพิ่ม

6 ภาคผนวก

6.1 ค่าการแก้ไขค่า อุณหภูมิ t_{25} สำหรับการ แก้ไขแบบไม่เชิงเส้น

°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	1.918	1.912	1.906	1.899	1.893	1.887	1.881	1.875	1.869	1.863
1	1.857	1.851	1.845	1.840	1.834	1.829	1.822	1.817	1.811	1.805
2	1.800	1.794	1.788	1.783	1.777	1.772	1.766	1.761	1.756	1.750
3	1.745	1.740	1.734	1.729	1.724	1.719	1.713	1.708	1.703	1.698
4	1.693	1.688	1.683	1.678	1.673	1.668	1.663	1.658	1.653	1.648
5	1.643	1.638	1.634	1.629	1.624	1.619	1.615	1.610	1.605	1.601
6	1.596	1.591	1.587	1.582	1.578	1.573	1.569	1.564	1.560	1.555
7	1.551	1.547	1.542	1.538	1.534	1.529	1.525	1.521	1.516	1.512
8	1.508	1.504	1.500	1.496	1.491	1.487	1.483	1.479	1.475	1.471
9	1.467	1.463	1.459	1.455	1.451	1.447	1.443	1.439	1.436	1.432
10	1.428	1.424	1.420	1.416	1.413	1.409	1.405	1.401	1.398	1.384
11	1.390	1.387	1.383	1.379	1.376	1.372	1.369	1.365	1.362	1.358
12	1.354	1.351	1.347	1.344	1.341	1.337	1.334	1.330	1.327	1.323
13	1.320	1.317	1.313	1.310	1.307	1.303	1.300	1.297	1.294	1.290
14	1.287	1.284	1.281	1.278	1.274	1.271	1.268	1.265	1.262	1.259
15	1.256	1.253	1.249	1.246	1.243	1.240	1.237	1.234	1.231	1.228
16	1.225	1.222	1.219	1.216	1.214	1.211	1.208	1.205	1.202	1.199
17	1.196	1.93	1.191	1.188	1.185	1.182	1.179	1.177	1.174	1.171
18	1.168	1.166	1.163	1.160	1.157	1.155	1.152	1.149	1.147	1.144
19	1.141	1.139	1.136	1.134	1.131	1.128	1.126	1.123	1.121	1.118
20	1.116	1.113	1.111	1.108	1.105	1.103	1.101	1.098	1.096	1.093
21	1.091	1.088	1.086	1.083	1.081	1.079	1.076	1.074	1.071	1.069
22	1.067	1.064	1.062	1.060	1.057	1.055	1.053	1.051	1.048	1.046
23	1.044	1.041	1.039	1.037	1.035	1.032	1.030	1.028	1.026	1.024
24	1.021	1.019	1.017	1.015	1.013	1.011	1.008	1.006	1.004	1.002
25	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992	0.990	0.987	0.985	0.983	0.981
26	0.979	0.977	0.975	0.973	0.971	0.969	0.967	0.965	0.963	0.961
27	0.959	0.957	0.955	0.953	0.952	0.950	0.948	0.946	0.944	0.942
28	0.940	0.938	0.936	0.934	0.933	0.931	0.929	0.927	0.925	0.923
29	0.921	0.920	0.918	0.916	0.914	0.912	0.911	0.909	0.907	0.905
30	0.903	0.902	0.900	0.898	0.896	0.895	0.893	0.891	0.889	0.888
31	0.886	0.884	0.883	0.881	0.879	0.877	0.876	0.874	0.872	0.871
32	0.869	0.867	0.866	0.864	0.863	0.861	0.859	0.858	0.856	0.854
33	0.853	0.851	0.850	0.848	0.846	0.845	0.843	0.842	0.840	0.839
34	0.837	0.835	0.834	0.832	0.831	0.829	0.828	0.826	0.825	0.823
35	0.822	0.820	0.819	0.817	0.816	0.814	0.813	0.811	0.810	0.808

**6.2 ค่าสัมประสิทธิ์
อุณหภูมิ (ค่า α)
สำหรับมาตรฐาน
การนำไฟฟ้าของ
METTLER TOLEDO**

สารมาตรฐานการนำไฟฟ้า 12.88 mS/cm

อุณหภูมิในการวัดค่า	α ที่ $T_{อ้างอิง} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	α ที่ $T_{อ้างอิง} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
5 $^{\circ}\text{C}$	1.81%/°C	1.97%/°C
10 $^{\circ}\text{C}$	1.84%/°C	2.01%/°C
15 $^{\circ}\text{C}$	1.86%/°C	2.04%/°C
20 $^{\circ}\text{C}$	1.88%/°C	2.05%/°C
25 $^{\circ}\text{C}$	1.91%/°C	2.07%/°C
30 $^{\circ}\text{C}$	1.93%/°C	2.10%/°C
35 $^{\circ}\text{C}$	1.95%/°C	2.13%/°C

สารมาตรฐานการนำไฟฟ้า 1413 $\mu\text{S/cm}$

อุณหภูมิในการวัดค่า	α ที่ $T_{อ้างอิง} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	α ที่ $T_{อ้างอิง} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
5 $^{\circ}\text{C}$	1.83%/°C	1.99%/°C
10 $^{\circ}\text{C}$	1.85%/°C	2.02%/°C
15 $^{\circ}\text{C}$	1.88%/°C	2.05%/°C
20 $^{\circ}\text{C}$	1.91%/°C	2.08%/°C
25 $^{\circ}\text{C}$	1.94%/°C	2.11%/°C
30 $^{\circ}\text{C}$	1.97%/°C	2.14%/°C
35 $^{\circ}\text{C}$	2.00%/°C	2.18%/°C

สารมาตรฐานการนำไฟฟ้า 500 $\mu\text{S/cm}$

อุณหภูมิในการวัดค่า	α ที่ $T_{อ้างอิง} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	α ที่ $T_{อ้างอิง} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
5 $^{\circ}\text{C}$	1.85%/°C	2.01%/°C
10 $^{\circ}\text{C}$	1.87%/°C	2.04%/°C
15 $^{\circ}\text{C}$	1.94%/°C	2.15%/°C
20 $^{\circ}\text{C}$	1.94%/°C	2.15%/°C
25 $^{\circ}\text{C}$	1.94%/°C	2.15%/°C
30 $^{\circ}\text{C}$	1.94%/°C	2.15%/°C
35 $^{\circ}\text{C}$	2.05%/°C	2.23%/°C

สามารถฐานการนำไฟฟ้า 84 $\mu\text{S/cm}$

อุณหภูมิในการวัดค่า	α ที่ $T_{\text{อ้างอิง}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	α ที่ $T_{\text{อ้างอิง}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
5 $^{\circ}\text{C}$	1.84%/°C	2.00%/°C
10 $^{\circ}\text{C}$	1.88%/°C	2.04%/°C
15 $^{\circ}\text{C}$	1.95%/°C	2.16%/°C
20 $^{\circ}\text{C}$	1.95%/°C	2.16%/°C
25 $^{\circ}\text{C}$	1.95%/°C	2.16%/°C
30 $^{\circ}\text{C}$	1.95%/°C	2.16%/°C
35 $^{\circ}\text{C}$	2.01%/°C	2.21%/°C

สามารถฐานการนำไฟฟ้า 10 $\mu\text{S/cm}$

อุณหภูมิในการวัดค่า	α ที่ $T_{\text{อ้างอิง}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	α ที่ $T_{\text{อ้างอิง}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
5 $^{\circ}\text{C}$	1.94%/°C	2.11%/°C
10 $^{\circ}\text{C}$	1.93%/°C	2.08%/°C
15 $^{\circ}\text{C}$	2.05%/°C	2.27%/°C
20 $^{\circ}\text{C}$	2.06%/°C	2.29%/°C
25 $^{\circ}\text{C}$	2.06%/°C	2.30%/°C
30 $^{\circ}\text{C}$	2.06%/°C	2.30%/°C
35 $^{\circ}\text{C}$	2.14%/°C	2.36%/°C

สามารถฐานการนำไฟฟ้า 5 $\mu\text{S/cm}$

อุณหภูมิในการวัดค่า	α ที่ $T_{\text{อ้างอิง}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	α ที่ $T_{\text{อ้างอิง}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
5 $^{\circ}\text{C}$	1.98%/°C	2.18%/°C
10 $^{\circ}\text{C}$	2.04%/°C	2.26%/°C
15 $^{\circ}\text{C}$	2.06%/°C	2.30%/°C
20 $^{\circ}\text{C}$	2.06%/°C	2.30%/°C
25 $^{\circ}\text{C}$	2.06%/°C	2.30%/°C
30 $^{\circ}\text{C}$	2.06%/°C	2.30%/°C
35 $^{\circ}\text{C}$	2.14%/°C	2.36%/°C

สารมาตรฐานการนำไฟฟ้า $1.3 \mu\text{S/cm}$

อุณหภูมิในการวัดค่า	α ที่ $T_{\text{อ้างอิง}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	α ที่ $T_{\text{อ้างอิง}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
5 $^{\circ}\text{C}$	2.42%/°C	2.75%/°C
10 $^{\circ}\text{C}$	2.46%/°C	2.81%/°C
15 $^{\circ}\text{C}$	2.46%/°C	2.81%/°C
20 $^{\circ}\text{C}$	2.46%/°C	2.81%/°C
25 $^{\circ}\text{C}$	2.23%/°C	2.81%/°C
30 $^{\circ}\text{C}$	2.00%/°C	2.54%/°C
35 $^{\circ}\text{C}$	2.15%/°C	2.57%/°C

**6.3 การนำไฟฟ้ากับ
ปัจจัยการแปลง TDS**

การนำไฟฟ้า	TDS KCl		TDS NaCl	
	ค่า ppm	ปัจจัย	ค่า ppm	ปัจจัย
ที่ 25 $^{\circ}\text{C}$				
84 $\mu\text{S/cm}$	40.38	0.5048	38.04	0.4755
447 $\mu\text{S/cm}$	225.6	0.5047	215.5	0.4822
1413 $\mu\text{S/cm}$	744.7	0.527	702.1	0.4969
1500 $\mu\text{S/cm}$	757.1	0.5047	737.1	0.4914
8974 $\mu\text{S/cm}$	5101	0.5685	4487	0.5000
12'880 $\mu\text{S/cm}$	7447	0.5782	7230	0.5613
15'000 $\mu\text{S/cm}$	8759	0.5839	8532	0.5688
80 mS/cm	52'168	0.6521	48'384	0.6048

Mettler-Toledo GmbH, Analytical
CH-8606 Greifensee, สวิตเซอร์แลนด์
โทร. +41 22 567 53 22
แฟกซ์ +41 22 567 53 23

www.mt.com/pH

สำหรับข้อมูลเพิ่มเติม

อาจเปลี่ยนแปลงข้อมูลทางเทคนิค
© 04/2016 Mettler-Toledo GmbH, 30454454A
Marketing pH Lab / MarCom Analytical