



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง
พัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ปีงบประมาณ 2561



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง
พัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ปีงบประมาณ 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “พัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย” เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดีจาก ดร.อนงค์ ชานะมุล ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ที่ให้โอกาสให้ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนทุกความต้องการของงานวิจัยขอขอบคุณ นางสาวศิริินภา ศรีทองทิม นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ ที่คอยให้คำแนะนำพร้อมกับการร่วมลงมือทำให้คุณเป็นตัวอย่าง ตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการวิจัย ให้ความสำคัญกับคณะวิจัยอย่างเต็มที่ รวมถึงให้ความเมตตาและชี้แนวทางในการดำเนินการวิจัย ตลอดทุกช่วงเวลาของการดำเนินการวิจัยด้วยความเอาใจใส่อย่างดีเยี่ยม และบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวก สนับสนุน และให้ความร่วมมือทุกด้านอย่างดีเยี่ยม ตั้งแต่ต้นจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สมบูรณ์ คณะผู้วิจัยขอกราบขอบคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีคุณประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่คณาจารย์ทั้งหลาย จนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อนรวดเร็ว ถูกต้องและแม่นยำ สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) โดยศึกษาระดับความเข้มข้นที่ชุดทดสอบสามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีการเปรียบเทียบสี และศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบโดยเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) จะอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับ 1,5-diphenylcarbazine ในสภาวะกรด เกิดสารประกอบสีแดงม่วง จากการศึกษาพบว่า ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายนี้สามารถหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ได้ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และประเมินชุดทดสอบหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ด้วยการหาเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) ของการทดสอบกับ Tap water Canal water (ERTC) และ Waste water ที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ได้เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) อยู่ระหว่าง 92 ถึง 109 และค่าความแม่นยำ (Precision) ของการทดสอบกับ Tap water Canal water (ERTC) และ Waste water พบว่า ได้ค่า % relative standard deviation (%RSD) อยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 2.9 สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) จะมีการเปลี่ยนรูป Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ด้วยสารละลายไฮดรอกซิลามีน (Hydroxylamine) หลังจากนั้น Fe^{2+} ทั้งหมดจะเกิดปฏิกิริยากับ 1,10-phenanthroline ที่พีเอชประมาณ 3.2 ถึง 5.5 เกิดสารประกอบสีแดงส้ม จากการศึกษาพบว่า ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายนี้สามารถหาปริมาณเหล็ก (Fe) ได้ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และประเมินชุดทดสอบหาปริมาณเหล็ก (Fe) ด้วยการหาเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) ของการทดสอบกับ Tap water Canal water (ERTC) และ Waste water ที่ระดับความเข้มข้น 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ได้เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) เท่ากับ อยู่ระหว่าง 92 ถึง 107 และค่าความแม่นยำ (Precision) ของการทดสอบกับ Tap water Canal water (ERTC) และ Waste water พบว่า ได้ค่า % relative standard deviation (%RSD) เท่ากับ อยู่ระหว่าง 0.9 ถึง 4.2

Abstract

This research aims to develop simple test kits that are simple process, accuracy and precision for determination of chromium hexavalent (Cr^{6+}) and iron (Fe). The test kit can be measured by color comparison. Study accuracy and precision of the test kit by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The determination of chromium hexavalent (Cr^{6+}) is based on the reaction with 1,5-diphenylcarbazide in acidic conditions found the red-purple solution. According to studies, the test kit for Chromium hexavalent (Cr^{6+}) can be detected at concentrations of 0.05 mg/L to 5 mg/L. The percentage recovery of tap water canal (ERTC) and waste water at 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 3, 4 and 5 mg/L. The recovery percentage was between 92 and 109, and the precision of Tap water canal water (ERTC) and waste water showed that %relative standard deviation (% RSD) ranged from 0.2 to 2.9 for analysis. The amount of iron (Fe) will be converted into Fe^{2+} by Fe^{3+} hydroxylamine solution. Then Fe^{2+} reacts with 1,10-phenanthroline about pH 3.2 to 5.5 found the orange-red solution. According to studies, The test kit for Iron (Fe) can be detected at concentrations of 0.3 mg/L to 10 mg/L. The percentage recovery of tap water canal (ERTC) and waste water at 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 4, 6, 8 and 10 mg/L. The recovery percentage was between 92 and 107, and the precision of Tap water canal water (ERTC) and waste water showed that %relative standard deviation (% RSD) ranged from 0.9 to 4.2 for analysis.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 มลพิษทางน้ำ	3
2.2 โลหะหนัก (Heavy metal)	7
2.3 เคมีของธาตุและสารประกอบของทรานซิชัน	10
2.4 การวิเคราะห์โดยวิธีเปรียบเทียบสี	12
2.5 ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (Test kit)	13
2.6 การวิเคราะห์เหล็กด้วยพีแวนโทโรลีน	15
2.7 การวิเคราะห์โครเมียมด้วยไดฟีนิลคาร์บาไซด์	16
2.8 กรอบแนวคิดในการวิจัย	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	17
3.1 ขั้นตอนการศึกษา	17
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	17
3.3 สารเคมี	18
3.4 วิธีดำเนินการ	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	25
4.1 ผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+}	25
4.2 ผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe	28
4.3 สร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)	30
4.4 ผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย	32

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	42
สรุปผลการวิจัย	42
ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	49
ภาคผนวก ค	58
ประวัติผู้วิจัย	65

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ประเภทของมลพิษน้ำ แหล่งกำเนิด และผลกระทบที่เกิดขึ้น	5
2 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr^{6+} กับ tap water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	33
3 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr^{6+} กับ canal water (ERTC) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	34
4 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr^{6+} กับ waste water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	35
5 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Fe กับ tap water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	36
6 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Fe กับ canal water (ERTC) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	37
7 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Fe กับ waste water (ERTC) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบัน ปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมได้ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งเกิดจากความก้าวหน้าและการเจริญเติบโตทางภาคเศรษฐกิจ ภาคอุตสาหกรรม ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มผลผลิตและตอบสนองความต้องการของประชากรที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลทำให้ต้องมีการใช้สารเคมีในการเพิ่มผลิตผลทางการเกษตร การเพิ่มจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ทำให้มีการปลดปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมเกินขีดจำกัดความสามารถของธรรมชาติที่จะย่อยสลายได้ ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น การปนเปื้อนโลหะหนักในแหล่งน้ำ ทั้งที่เป็นแหล่งน้ำผิวดิน น้ำบาดาล น้ำทิ้งอุตสาหกรรม และน้ำชะขยะจากขยะฝังกลบหรือขยะจากอิเล็กทรอนิกส์ เป็นปัญหาที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิตและมนุษย์ เนื่องจากโลหะหนักเป็นธาตุที่มีความจำเพาะสูง เป็นสารคงตัว ไม่สามารถย่อยสลายได้ในกระบวนการธรรมชาติ มักเป็นธาตุอยู่ในกลุ่มทรานซิชัน (Transition metal) ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความเป็นพิษและมักเป็นวัตถุดิบ (Raw material) ที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมผลิตสี, อุตสาหกรรมผลิตท่อ PVC หรือพลาสติก, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics), ส่วนผสมในยาฆ่าแมลงและปุ๋ย, เครื่องสำอางและอุปกรณ์ทางการแพทย์บางชนิด เป็นต้น น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตที่ใช้โลหะหนักเป็นสารตั้งต้นนั้น เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสื่อมโทรมในแหล่งน้ำ และทำให้เกิดความเสี่ยงในการนำโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผ่านการบริโภคอาหารหรือดื่มน้ำที่มีโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ อย่างไรก็ตาม โลหะหนักบางชนิดมีทั้งคุณประโยชน์และโทษต่อสิ่งมีชีวิต โดยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณโลหะหนักที่ได้รับเข้าไป เช่น แบคทีเรียบางชนิดหรือร่างกายมนุษย์ต้องการโคบอลต์ (Cobalt, Co) ทองแดง (Copper, Cu) แมงกานีส (Manganese, Mn) โมลิบดีนัม (Molybdenum, Mo) เหล็ก (Iron, Fe) วานาเดียม (Vanadium, V) สังกะสี (Zinc, Zn) เป็นต้น โดยต้องได้รับในปริมาณที่เหมาะสมต่อร่างกาย แต่โลหะหนักบางชนิด อันได้แก่ แคดเมียม (Cadmium, Cd) ปรอท (Mercury, Hg) ตะกั่ว (Lead, Pb) สารหนู (Arsenic, As) โครเมียม (Chromium, Cr) โลหะหนักจำพวกนี้ ไม่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและยังมีแต่ความเป็นพิษสูงอีกด้วย

สำหรับประเทศไทยนั้น มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำ ไว้หลากหลายประเภท เช่น มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน เป็นต้น โดยแต่ละมาตรฐานนั้น มีเกณฑ์การควบคุมคุณลักษณะทางเคมี ในพารามิเตอร์โลหะหนักทุกเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่า โลหะหนักเป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง ทำให้ต้องมีการเฝ้าระวัง ติดตาม ตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ กระบวนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ เป็นกิจกรรมที่สำคัญต่อการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ เพื่อทราบถึงสถานภาพของแหล่งน้ำในปัจจุบัน และนำไปสู่การสร้างแนวทางปฏิบัติสำหรับ

การวางแผนจัดการคุณภาพน้ำ โดยเทคนิควิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมใช้ตรวจสอบหาปริมาณโลหะหนัก มีหลากหลายเทคนิค อาทิเช่น Atomic Absorption Spectroscopy, AAS เทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) เทคนิค Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) เป็นต้น ซึ่งแต่ละเทคนิคนั้น จำเป็นต้องมีการใช้เครื่องมือที่มีต้นทุนสูง ราคาแพง ใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ ต้องมีการเก็บตัวอย่าง การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง และต้องการรักษาคุณภาพน้ำตัวอย่างให้คงสภาพก่อนส่งเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ กระบวนการวิเคราะห์มีความยุ่งยาก ซับซ้อนและหลายขั้นตอน การเก็บรักษาตัวอย่างอาจมีความยุ่งยากและลำบากในบางพื้นที่ หรือผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักไม่สามารถแปลผลการทดสอบได้ทันที ต้องมีการเก็บตัวอย่างเข้าสู่ห้องปฏิบัติการเนื่องจากไม่สามารถนำเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีความละเอียดสูงไปตรวจวัดในพื้นที่ได้ ทำให้เกิดความล่าช้า ไม่ทันสถานการณ์ในการแก้ไขปัญหาเชิงรุก อีกทั้งชุดทดสอบที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ส่วนมากเป็นสินค้านำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง ดังนั้น การพัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย ที่มีขั้นตอนการใช้งานที่ง่าย มีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน มีความถูกต้องและแม่นยำ ทราบผลการวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถพกพาสู่ภาคสนามได้ จึงมีความสำคัญกับกระบวนการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ โดยที่ประชาชนและเจ้าหน้าที่สามารถนำชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายไปใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในสิ่งแวดล้อมได้จริง ทั้งในสถานะฉุกเฉินและสภาวะปกติ อีกทั้งยังสามารถใช้ในการเรียนการสอน เป็นสื่อการเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมให้แก่ประชาชนและผู้ที่เกี่ยวข้องได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย ที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน รวดเร็ว เที่ยงตรงและแม่นยำ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

พัฒนาชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย ที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำและน้ำเสีย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย ที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำและน้ำเสีย ที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน รวดเร็ว เที่ยงตรงและแม่นยำ โดยที่ประชาชนและเจ้าหน้าที่สามารถนำชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายนี้ ไปใช้ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในสิ่งแวดล้อมได้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลพิษทางน้ำ

มลพิษทางน้ำ เป็นมลพิษที่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์โดยตรงจะผ่านในรูปมลพิษน้ำดื่มและสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปจะผ่านในรูปที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่อาศัยอยู่ในแม่น้ำหรือทะเล สารเคมีที่เป็นมลพิษจำนวนมากได้ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ โดยผ่านมาจากทางน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำโสโครกจากอาคารบ้านเรือน หรือการชะล้างจากแผ่นดิน จากเหมืองแร่ ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม ของเสียและขยะจากหลุมฝังกลบ น้ำชะจากขยะอิเล็กทรอนิกส์ และการปนเปื้อนของน้ำฝนจากบรรยากาศ

2.1.1 สาเหตุของมลพิษทางน้ำและตัวชี้วัดคุณภาพน้ำ

สาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและตัวชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญ มีดังนี้

2.1.1.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอช (pH) หรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าพีเอชจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 14 โดยค่าพีเอชที่มีค่ามากกว่า 7 หมายถึงมีสภาพเป็นด่าง ค่าพีเอชที่มีค่าน้อยกว่า 7 หมายถึงมีสภาพเป็นกรด สำหรับค่าพีเอชในน้ำทิ้งที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5-9 จึงจะไม่มีผลกระทบต่อและเป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการใช้ประโยชน์

2.1.1.2 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือน้ำเสียที่เป็นน้ำอุ่นและน้ำร้อน น้ำเสียที่เป็นน้ำอุ่นและน้ำร้อน ได้แก่ น้ำที่ใช้ในระบบหล่อเย็นที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือจากโรงงานไฟฟ้า ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำหากถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมาก แต่ถ้ามีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำเสียอย่างเหมาะสม จะเป็นประโยชน์ต่อการเลี้ยงปลาและกุ้ง

2.1.1.3 สีและความขุ่น จะเป็นตัวชี้วัดขบวนการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำและแพลงก์ตอนพืชในลำน้ำ

2.1.1.4 ของแข็ง (solids) ประกอบด้วย ของแข็งแขวนลอย ตะกอนจมตัวได้ ของแข็งละลายน้ำได้ ทำให้น้ำมีความขุ่นสูง มีความสกปรกมากขึ้น และเมื่อจมตัวสู่ก้นน้ำทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนในท้องน้ำ แหล่งน้ำตื้นเขินส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์

2.1.1.5 สารแขวนลอย มีทั้งที่เป็นสารแขวนลอยประเภทอินทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุ ความขุ่นของน้ำที่เกิดจากสารแขวนลอยจะปิดกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องถึงสิ่งมีชีวิตในน้ำที่มีสีเขียวและมีผลกระทบต่อนิเวศวิทยาของสิ่งแวดล้อม

2.1.1.6 สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ตัวอย่างเช่น เศษข้าว น้ำแกงพืชผัก ต้นไม้ กิ่งไม้ ฯลฯ ซึ่งสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO) ลดลงจนเกิดสภาพเน่าเสีย สารอินทรีย์สามารถวัดในรูปของ BOD (Biochemical Oxygen Demand)

2.1.1.7 สารอินทรีย์ ประกอบด้วย กรด ต่าง เกลือชนิดต่าง ๆ โลหะและสารอื่น ๆ ซึ่งสารอินทรีย์จะไม่ทำให้น้ำเน่าเหม็น แต่ทำให้สภาพน้ำปนเปื้อนและอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต หรือเป็นอุปสรรคต่อการนำไปใช้ในการอุปโภคและบริโภค กระบวนการอุตสาหกรรม กระบวนการผลิต น้ำประปา น้ำเสียที่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์นั้น ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาจากโรงงาน อุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมการผลิตสารเคมี ผลิตพลาสติก ผลิตเยื่อกระดาษ การชุบโลหะและการเคลือบสี เป็นต้น

2.1.1.8 ธาตุอาหาร ได้แก่ เกลือของสารประกอบพวกไนโตรเจนและฟอสเฟต สารเหล่านี้เมื่อมีปริมาณสูงและเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย หรือที่เรียกว่า ”ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน” (Eutrophication) หรือ “แอลจีบลูม” (Algae Bloom) ทำให้ระดับออกซิเจนละลายในน้ำลดลงในช่วงกลางคืน และเกิดการเน่าเสียของน้ำ เนื่องจากการตายของสาหร่าย มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ สารเหล่านี้จะถูกปล่อยออกมาเป็นส่วนประกอบในน้ำเสียจากชุมชน จากอุตสาหกรรมบางประเภท ในส่วนเกินของปุ๋ยและผงซักฟอกประเภทสารสังเคราะห์

2.1.1.9 กลิ่นเหม็น มีหลายชนิดและเกิดจากหลากหลายกิจกรรม เช่น ฟีนอลจาก อุตสาหกรรมสารอินทรีย์สังเคราะห์ และการผลิตก๊าซถ่านหิน H₂S และ Mercaptan จากกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เอมีน (Amines) จากการผลิตปุ๋ย จากกากน้ำตาลและการผลิตเยื่อกระดาษจากชากอ้อย ถึงแม้ว่าจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนโดยตรง แต่มีผลกระทบต่อกลิ่นและจิตใจของประชาชน

2.1.1.10 น้ำมันและไขมัน ได้แก่ น้ำมันจากพืชและสัตว์ ไขมันสัตว์ และน้ำมันแร่ต่าง ๆ พบได้ในน้ำเสียจากชุมชนในเมืองและในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปประเภทอาหาร ในขณะที่น้ำมันแร่พบได้จากน้ำเสียที่มาจาก การขุดเจาะน้ำมัน กลิ่นน้ำมัน ด้านปิโตรเคมี การผลิตเหล็กและเหล็กกล้า และอื่น ๆ และยังพบในน้ำเสียจากเรือ น้ำมันและไขมันเหล่านี้เป็นอุปสรรคต่อการทะลุของแสงลงสู่ลำน้ำ การสังเคราะห์แสงและกีดขวางการกระจายของออกซิเจนลงสู่ลำน้ำ เคลือบเหงือกของปลาทำให้ปลาไม่สามารถรับออกซิเจนจากน้ำและตายในที่สุด

2.1.1.11 จุลินทรีย์ เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กมาก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น พบอยู่ทั่วไปในน้ำ มีทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นโทษ โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่เป็นโทษต่อมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ มักจะพบมากในน้ำเสีย นอกจากจะทำให้เกิดสภาพเน่า มีกลิ่นเหม็นแล้ว จุลินทรีย์บางชนิดยังเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์อีกด้วย จุลินทรีย์ที่เป็นที่รู้จักและใช้เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการใช้วัดมลพิษของสิ่งปฏิกูล เช่น น้ำเสียจากส้วม น้ำเสียจากโรงพยาบาลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งขับถ่ายของคน

2.1.1.12 วัตถุที่มีพิษชนิดสารอินทรีย์ประกอบของโลหะ เช่น ปรอท โครเมียม ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล เหล็ก ฯลฯ และที่เป็นอโลหะ เช่น โซเดียมไนต์และสารหนู ที่พบอยู่ในน้ำเสียจากเหมืองแร่ และจากอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ สารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตรน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีกิจกรรมบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ อุ้งซ่อมรถ เป็นต้น สามารถสรุปสาเหตุของมลพิษทางน้ำและตัวชี้วัดคุณภาพน้ำ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 1 ประเภทของมลพิษน้ำ แหล่งกำเนิด และผลกระทบที่เกิดขึ้น

ประเภท	ตัวชี้วัด	สิ่งที่สร้างมลพิษ	แหล่งกำเนิดมลพิษ	ผลกระทบที่เกิดขึ้น
ความเป็นกรด และความเป็นด่าง	พีเอช (pH)	กรดกำมะถัน กรดเกลือ โซดาไฟ	การชุบโลหะ การผลิตสารอินทรีย์ การผลิตเหล็กและ เหล็กกล้า	มีผลกระทบต่อการใช้ นำไปใช้ เช่น การผลิตน้ำประปา การใช้น้ำเพื่อการ อุตสาหกรรม เป็นต้น
ความร้อน	อุณหภูมิของน้ำ	น้ำหล่อเย็น	สถานีจ่ายไฟฟ้าพลัง ความร้อน กลั่นน้ำมัน เยื่อกระดาษ เหล็ก เคมีภัณฑ์	ทำให้สัตว์น้ำ บางประเภทไม่สามารถ ดำรงชีพอยู่ได้ บางประเภทเจริญเติบโต
สารอินทรีย์	BOD, COD, TOC, Ignition Loss	แป้ง น้ำตาล โปรตีน น้ำมัน ไขมันปิโตรเลียม สารอินทรีย์เคมี สังเคราะห์	โรงงานอุตสาหกรรม (การแปรรูปอาหาร) เยื่อกระดาษปิโตรเลียม สารเคมี (การหมัก) ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ สิ่งโสโครกจากชุมชน น้ำเสียจากบ้านเรือน สิ่งปฏิกูลจากคน	สารอินทรีย์ถูกย่อย สลายด้วยจุลินทรีย์ที่ ต้องการอากาศจึงมี การใช้ออกซิเจนที่ ละลายอยู่ในน้ำ ทำให้แหล่งน้ำขาด ออกซิเจน
ธาตุอาหาร	สารประกอบ ไนโตรเจนและ กรดฟอสฟอริก	โปรตีน ปุ๋ยเคมี สารซักฟอก สังเคราะห์	สิ่งโสโครกจากชุมชน สิ่งปฏิกูลจากคน น้ำเสียจากบ้านเรือน สารซักฟอก การเกษตร การเลี้ยงสัตว์ อุตสาหกรรมแปรรูป อาหารและผลผลิต เคมีภัณฑ์ ฯลฯ	ทำให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ในแหล่งน้ำ
กลิ่นเหม็น	กลิ่น	ฟีนอล แอมโมเนีย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ Amines Mercaptan Lower Fatty Acids	อุตสาหกรรม (เคมี กลั่นน้ำมัน อาหาร ฟอกหนัง) สิ่งโสโครก สิ่งปฏิกูลจากคน	ผลต่อสุขภาพจิต

ตารางที่ 1 ประเภทของมลพิษน้ำ แหล่งกำเนิด และผลกระทบที่เกิดขึ้น (ต่อ)

ประเภท	ตัวชี้วัด	สิ่งที่สร้างมลพิษ	แหล่งกำเนิดมลพิษ	ผลกระทบที่เกิดขึ้น
น้ำมัน	สารที่สกัดออกด้วย Hexane Carbon-tetrachloride (CCl ₄)	น้ำมันแร่	น้ำมันแร่ (ปิโตรเคมี เครื่องจักรกล เหล็ก เหล็กกล้า น้ำมันที่รั่วออกมาจากรือ)	น้ำมันกระจายอยู่เหนือผิวน้ำทำให้การแลกเปลี่ยนออกซิเจนไม่เพียงพอ
จุลินทรีย์	Coliform Bacteria Test การทดสอบ จุลินทรีย์อื่น ๆ	Coliform & Pathogenic Bacteria	สิ่งโสโครกจากชุมชน สิ่งปฏิกูลจากคน การเลี้ยงสัตว์	มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ
วัตถุมีพิษ (สารอินทรีย์)	1. ไอออนของโลหะหนัก	ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม สังกะสี ทองแดง สารหนู ฯลฯ	เหมืองแร่โลหะ ชุบโลหะ การผลิตสารเคมีอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์สารอินทรีย์สังเคราะห์	สะสมอยู่ที่ระบบห่วงโซ่อาหาร หากกินเข้าไปจะไปสะสมอยู่ที่อวัยวะภายใน
	2. สารอโลหะ (ไซยาไนด์, ฟลูออรีน ฯลฯ)	ไซยาไนด์จากการชุบโลหะสารอินทรีย์สังเคราะห์และฟลูออรีนจากการผลิตอลูมิเนียม กระจาก ปุ๋ยเคมี		
วัตถุมีพิษ (สารอินทรีย์)	ออร์แกโน-ฟอสฟอรัส ออร์แกโน-คลอรีน ออร์แกโน-เมทัลลิก	ออร์แกโน-ฟอสฟอรัส ยาปราบศัตรูพืช DDT, BHC, PCB, Trichlorethylene	ยาปราบศัตรูพืช เคมีภัณฑ์ พลาสติก สารละลายอินทรีย์ที่ใช้กับอุตสาหกรรมไฟฟ้า	สะสมอยู่ที่ระบบห่วงโซ่อาหาร หากกินเข้าไปจะไปสะสมอยู่ที่อวัยวะภายใน
มลพิษจากสิ่งตกตะกอน	Solution Test Biotic Test	สารอินทรีย์และอนินทรีย์ โคลน โลหะหนัก ยาปราบศัตรูพืช สารตกค้าง PCB	อุทกภัย อุตสาหกรรม เกี่ยวกับทราย ของเสียจากบ้านเรือน	

ที่มา: ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ, 2545

2.2 โลหะหนัก (Heavy metal)

โลหะหนัก (Heavy metal) หมายถึง ธาตุที่มีน้ำหนักมากกว่าน้ำ 5 เท่า หรือที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งมีเลขอะตอมตั้งแต่ 23 – 92 มีจำนวนทั้งหมด 72 ธาตุ ในคาบที่ 4 – 7 ของตารางธาตุ มีสารละลายตัวค่อนข้างช้า ทำให้สะสมและตกค้างในธรรมชาติได้นาน คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะ คือ มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ทำให้โลหะสามารถรวมกับสารอื่น ๆ จนกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีความเสถียรมากกว่าโลหะอิสระและพบว่า ผลของความเป็นพิษของโลหะหนักต่อกลไกระดับเซลล์มี 5 แบบ คือ

- 1) ทำให้เซลล์ตาย
- 2) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์
- 3) เป็นตัวการทำให้เกิดมะเร็ง
- 4) เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม
- 5) ทำความเสียหายต่อโครโมโซม ซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม

สำหรับการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมีด้วยกันหลายรูปแบบ ตั้งแต่รูปแบบที่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ง่ายและเข้าไปสะสมอยู่ในตะกอนหรืออยู่ในสิ่งมีชีวิต ไปจนกระทั่งถึงรูปแบบที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะที่แข็งแรงและถูกปลดปล่อยออกมาได้ยาก สามารถแบ่งรูปแบบการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตเรียงลำดับจากง่ายไปยากได้ ดังนี้

- 1) โลหะหนักที่อยู่ในรูปของไอออน รูปสารประกอบอนินทรีย์ หรือสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำอยู่ จะเป็นรูปแบบที่เข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ง่ายที่สุด
- 2) โลหะหนักที่อยู่ในรูปแลกเปลี่ยนไอออนได้ ที่อยู่ร่วมกับสารประกอบเชิงซ้อนอนินทรีย์และอนินทรีย์ จะเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ง่าย
- 3) โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน หรือพวกคีเลตกับสารอินทรีย์ จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้น้อย
- 4) สารประกอบที่ตกตะกอนไม่ละลายและสารประกอบการตกตะกอนร่วมของโลหะบนพื้นผิวของของแข็ง จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเท่านั้น
- 5) โลหะหนักที่อยู่ในรูปของของแข็งในองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต โลหะหนักในรูปแบบนี้ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทางเคมี โดยมีการเนาเปื่อยผุพังก่อน จึงจะอยู่ในรูปที่นำเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้
- 6) โลหะหนักที่อยู่ในรูปผลึกแร่ทั้งแร่ปฐมภูมิ และแร่ทุติยภูมิ จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้เมื่อมีการผุพังของแร่ธาตุด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยภายใต้ความร้อนและความดันร่วมกับกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ

จะเห็นว่า กระบวนการนำโลหะหนักเข้าสู่สิ่งมีชีวิตนั้น จะมีการดูดซึมผ่านเข้าทางผิวหนังหรือดูดซึมเข้าสู่เซลล์หรือร่างกาย หากเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ จะเข้าสู่กระบวนการย่อยอาหาร ผ่านทางระบบทางเดินอาหาร และถูกดูดซึมเข้าไปยังเนื้อเยื่ออวัยวะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต และเมื่อสิ่งมีชีวิตขับถ่ายของเสียซึ่งอาจอยู่ในรูปของแข็ง หรือของเหลว หรือเกิดการล้มตายลง โลหะหนักในรูปแบบต่าง ๆ ก็จะถูกปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมย้อนกลับเข้าสู่วัฏจักรดังกล่าวอีกครั้ง รูปแบบของโลหะหนักมีทั้งแบบที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งไม่มีชีวิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น โลหะหนักที่อยู่ใน

รูปแบบของไอออนหรือในรูปสารประกอบออกไซด์ เป็นต้น แต่หากได้รับโลหะหนักในปริมาณที่มากเกินไปจะก่อให้เกิดโทษต่อสิ่งมีชีวิต โดยโลหะหนักที่เป็นมลพิษที่สำคัญและมีผลต่อสุขภาพอนามัยมีหลากหลายธาตุ เช่น ตะกั่ว (Lead, Pb) แคดเมียม (Cadmium, Cd) โครเมียม (Chromium, Cr) ทองแดง (Copper, Cu) สังกะสี (Zinc, Zn) สารหนู (Arsenic, As) เหล็ก (Iron, Fe) แมงกานีส (Manganese, Mn) เป็นต้น

2.2.1 โลหะหนักที่เป็นมลพิษที่สำคัญ

2.2.1.1 ตะกั่ว (Lead, Pb) เป็นโลหะหนักในหมู่ IVA ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 82 น้ำหนักอะตอม 207.19 มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 327 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่อุณหภูมิ 1737 องศาเซลเซียส ใช้ในแบตเตอรี่ แบตเตอรี่รถยนต์ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นเซลล์กัลวานิกที่ใช้โลหะตะกั่วเป็นขั้วลบและออกไซด์ของโลหะตะกั่ว (PbO_2) เป็นขั้วบวก ถ้าร่างกายคนได้รับตะกั่วเข้าไปสะสมในระบบเลือดมากกว่า 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน คือจะมีอาการปวดท้องอย่างรุนแรงเกิดอาการช็อค ตื่นเต้นง่าย ความจำเสื่อม และทำอันตรายต่อไต

2.2.1.2 แคดเมียม (Cadmium, Cd) เป็นโลหะหนักในหมู่ IIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 48 น้ำหนักอะตอม 112.40 จัดเป็นโลหะอ่อน มีลักษณะสีขาวปนน้ำเงิน ถ้าทิ้งไว้ในอากาศที่ชื้นจะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำ ปกติจะมีความเหนียวมาก และมีความเปราะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ 80 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับเคลือบผิวของโลหะอื่น ๆ เช่น เหล็ก เหล็กกล้า สามารถต่อต้านการผุกร่อนได้ ถ้าสะสมแคดเมียมในร่างกายปริมาณสูงจะทำให้คนหรือสัตว์เป็นหมันและมะเร็งได้ ทำให้เกิดโรคความดันสูงเป็นอันตรายต่อไตและตับ และทำให้ไตผิดปกติได้

2.2.1.3 โครเมียม (Chromium, Cr) เป็นโลหะหนักในหมู่ VIB ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 24 น้ำหนักอะตอม 51.996 มีลักษณะเป็นโลหะสีขาวปนน้ำเงิน แข็งแต่เปราะ ใช้ทำโลหะเจือผสมกับโลหะอื่น ๆ เช่น เหล็กและนิกเกิล ผลิตเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) ใช้เคลือบโลหะเพื่อป้องกันการผุกร่อน โลหะโครเมียมที่มีความเป็นพิษจะอยู่ในรูปโครเมียมเฮกซะวาเลนส์อ็อกไซด์ (Cr^{6+}) เมื่อเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่เป็นพิษจะทำให้เกิดอาการ อาเจียน ถ้าสัมผัสนานจะเกิดแผลพุพองได้ โครเมียมเฮกซะวาเลนส์ มีความเป็นพิษตั้งแต่ปานกลางถึงสูงมาก โดยส่งผลกระทบต่อสัตว์ที่กินน้ำและอาหารที่มีโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเข้าไปทำให้สัตว์ตายได้

2.2.1.4 ทองแดง (Copper, Cu) เป็นโลหะหนักในหมู่ IB ของตารางธาตุ จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน มีเลขอะตอม 29 น้ำหนักอะตอม 63.54 มีจุดเดือด 2582 องศาเซลเซียส และจุดหลอมเหลว 1083 องศาเซลเซียส ใช้ทำเส้นลวดไฟฟ้า วงจรไฟฟ้าและเครื่องมือไฟฟ้าต่าง ๆ ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างและใช้เคลือบผิวโลหะ ทองแดงเป็นโลหะที่ร่างกายต้องการในปริมาณเล็กน้อย (trace element) เช่น จำเป็นสำหรับกระบวนการเผาผลาญอาหาร ผู้ใหญ่ต้องการทองแดง 2 มิลลิกรัมต่อวันและร่างกายคนมีทองแดงอยู่ 100 ถึง 150 มิลลิกรัม ซึ่งทองแดงจะมีความเข้มข้นสูงที่ตับและกระดูก ดังนั้นจะเห็นว่า ทองแดงในปริมาณน้อยจะเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย แต่ถ้าได้รับในปริมาณสูงจะเกิดโทษและเป็นพิษได้ เช่น ร่างกายได้รับสารประกอบ $CuSO_4$ จำนวน 27 กรัม จะทำให้ตายได้ แต่ถ้าได้รับในปริมาณน้อยกว่านี้จะเกิดอาการอาเจียน เหน็บชาและสั่นได้

2.2.1.5 สังกะสี (Zinc, Zn) มีเลขอะตอม 30 น้ำหนักอะตอม 65.37 มีสีขาวปนน้ำเงิน นิยมใช้กันมากเพราะราคาถูก ทนการกัดกร่อนและใช้ผสมกับโลหะอื่น ๆ สังกะสีบริสุทธิ์มีความ แข็งแรงต่ำและเปราะ เป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวต่ำคือ 419 องศาเซลเซียสและมีจุดเดือด 907 องศาเซลเซียส ใช้ในทางอุตสาหกรรม ด้านการชุบโลหะ การทำบรอนซ์ ภาชนะโลหะเคลือบ สี น้ำยารักษา คุณภาพไม้ ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น โลชั่นบำรุงผิว ยาสระผมกันรังแค ยารักษาโรคผิวหนัง ยาฆ่าเชื้อ ในทางเกษตรใช้เป็นสารคลุกเคล้าฆ่าเชื้อรา ถ้าร่างกายได้รับปริมาณสังกะสีมากเกินไป สังกะสีจะเข้าไปรบกวนการทำงานของระบบควบคุมต่าง ๆ ในร่างกายหรือกระบวนการเมตาบอลิซึม อันตรายมากที่สุดคือเป็นสารก่อมะเร็งในร่างกาย

2.2.1.6 สารหนู (Arsenic, As) มีเลขอะตอม 33 เป็นธาตุที่ 3 ของหมู่ V5 ในตารางธาตุ จัดเป็นกึ่งโลหะ น้ำหนักอะตอม 74.92 พบในรูปของสารประกอบ กระจายอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ เปลือกโลกมีสารหนู 5 กรัมต่อตัน ใช้เตรียมสารเคมีใช้ผสมกับโลหะในการผลิตกระสุนปืนและแผ่นตะกั่วของหม้อแบตเตอรี่ มีความเป็นพิษอย่างแรง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปธาตุอิสระหรือสารประกอบ และชนิดของสารประกอบ

2.2.1.7 เหล็ก (Iron, Fe) มีเลขอะตอม 26 ในหมู่ VIII ในตารางธาตุ เป็นธาตุแรกของ ไอร์ออนไตรเอต (Fe, Co และ Ni) จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน น้ำหนักอะตอม 55.85 มีมากเป็นลำดับที่ 4 รองจากออกซิเจน ซิลิกอน และอะลูมิเนียม มีปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของเปลือกโลก ใช้เป็นโครงสร้างในการก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องจักร ฯลฯ เป็นธาตุที่ต้องการในปริมาณ เล็กน้อย (trace element) เป็นโลหะจำเป็นสำหรับระบบการย่อยอาหาร เม็ดเลือดแดงของคนและ สัตว์มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ ทำหน้าที่นำออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกาย

2.2.1.8 แมงกานีส (Manganese, Mn) มีเลขอะตอม 25 เป็นธาตุแรกของหมู่ VII B จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน น้ำหนักอะตอม 54.94 เป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับที่ 12 มักพบปะปน อยู่กับแร่เหล็ก ใช้ในการเตรียมสารเคมีของแมงกานีส ที่มีความบริสุทธิ์สูงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเภสัชกรรม และอาหาร มีความจำเป็นในพืช สำหรับคน สารประกอบแมงกานีสถือว่าไม่เป็นพิษ (ถ้าเข้าสู่ใน ร่างกายในปริมาณน้อย) เมื่อเปรียบเทียบกับความเป็นพิษของไอออนโลหะอื่น ๆ เช่น พรอท แคดเมียม แทลเลียม และตะกั่ว ฯลฯ อย่างไรก็ตามแมงกานีสมีคุณสมบัติการเป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรงของ แมงกานีสและเปอร์แมงกานีส เมื่อสัมผัสกับผิวหนังทำให้ผิวหนังเกิดอาการคัน แสบและผื่นแดงได้

2.2.1.9 พรอท (Mercury, Hg) มีเลขอะตอม 80 เป็นธาตุที่ 3 ของหมู่ IIB น้ำหนัก อะตอม 200.59 เป็นโลหะเดียวที่มีสถานะเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส มีความ ดันไอสูงสุด ใช้ประโยชน์ในอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ควบคุมและมาตรวัดต่าง ๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ โดยอาศัยคุณสมบัติความเสถียรการไหลได้ ความถ่วงจำเพาะสูง พรอทในรูปธาตุอิสระ เป็นพิษไม่มากนัก แต่ไอของพรอทเป็นอันตรายอย่างร้ายแรง เนื่องจากพรอทมีความดันไอต่ำมาก (0.000024 บรรยากาศที่ 25 องศาเซลเซียส)

2.3 เคมีของธาตุและสารประกอบของธาตุทรานซิชัน

ธาตุทรานซิชันหลักจะพบเห็นเสมอในชีวิตประจำวัน เช่น เหล็ก ทองแดง นิกเกิล โครเมียม เงิน ทองคำ ฯลฯ ธาตุเหล่านี้มีทั้งคุณสมบัติและโทษ มีความต้องการในชีวิตประจำวันและในทางอุตสาหกรรม ทั้งในรูปแบบของธาตุบริสุทธิ์หรือแบบโลหะผสมหรือแบบสารประกอบ

2.3.1 คุณสมบัติทั่วไปของธาตุทรานซิชัน

2.3.1.1 ทุกธาตุเป็นโลหะ เรียกว่า โลหะทรานซิชัน (Transition metal) ธาตุส่วนใหญ่ แสดงความเป็นโลหะชัดเจน เช่น มีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูง มีลักษณะมันวาว มีความแข็งแกร่ง นำไฟฟ้าได้ดี เช่น ทองแดง นิกเกิล โคบอลต์ เหล็ก แมงกานีส โครเมียม วานาเดียม เป็นต้น

2.3.1.2 ธาตุทรานซิชันส่วนใหญ่ สามารถรวมตัวเป็นโลหะผสม (Alloy) ด้วยกันหรือ จะรวมตัวเป็นโลหะผสมกับโลหะธาตุอื่น ๆ ซึ่งการรวมตัวเป็นโลหะผสมอาจทำให้คุณสมบัติแตกต่างจากโลหะที่เป็นองค์ประกอบเดิม เช่น อาจมีความแข็งมากขึ้น และมีความต้านทานสนิมดีขึ้น เป็นต้น

2.3.1.3 ธาตุทรานซิชันส่วนใหญ่มีคุณสมบัติเป็น Electro-positive ค่อนข้างสูง จึงละลายได้ดีในกรดแร่ (mineral acids) เช่น โครเมียม เหล็ก และทองแดง ยกเว้นธาตุที่มีศักย์ไฟฟ้าไอเล็กโตรดต่ำ เช่น ทองคำ (Au) และแพลตินัม (Pt) ซึ่งไม่ละลายในกรดแร่ธรรมดา

2.3.1.4 ธาตุทรานซิชันเป็นธาตุที่มีอิเล็กตรอนอยู่ไม่เต็มใน d และ f ออร์บิทัล (partly filled orbital) ธาตุหรือสารประกอบส่วนใหญ่ จะแสดงคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กแบบพาราแมกเนติก (paramagnetic property) คือถูกดูดในสนามแม่เหล็กได้

2.3.1.5 ธาตุส่วนใหญ่มีออกซิเดชันสเตต (Oxidation States) ได้หลายค่า เนื่องจากธาตุทรานซิชันสามารถให้อิเล็กตรอนได้ที่ละหนึ่งตัวเมื่อทำปฏิกิริยา โดยใช้อิเล็กตรอนได้ทั้ง 4s และ 3d ออร์บิทัลซึ่งมีพลังงานไม่ต่างกันมาก ทำให้มีค่าออกซิเดชันสเตตได้หลายค่าและสูงสุด คือ +2, +3, +4, +6 และ +7 ธาตุทรานซิชันจึงจัดได้ว่า เป็นแหล่งกำเนิดของตัวรีดิวซ์ (Reducing Agents) ที่ดี และตัวออกซิไดส์ (Oxidizing Agents) ที่ดี

2.3.1.6 สารประกอบของธาตุทรานซิชันส่วนใหญ่จะดูดกลืนแสง (Radiation Absorption) ในช่วง visible region คือ สีของสารประกอบธาตุทรานซิชันส่วนใหญ่จะมีสี โดยจะเกิดขึ้นอย่างน้อยที่สุดในเลขออกซิเดชันของธาตุ ในค่าใดค่าหนึ่ง

2.3.1.7 อะตอมและไอออนของธาตุทรานซิชันส่วนใหญ่มีออร์บิทัลว่างและพลังงานที่เหมาะสม จึงสามารถรวมกับสารอื่นเกิดเป็นสารประกอบได้มากมาย เช่น สารประกอบโคออดิเนชัน (Coordination Compounds) และสารประกอบอินทรีย์โลหะ (Organometallic Compounds) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวมีประโยชน์มากทั้งในอุตสาหกรรม ทางระบบชีววิทยา เช่น ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ซึ่งเป็นสารที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเลือด มีโครงสร้างที่มี Fe^{2+} เป็น central atom ช่วงที่เกิดอิเล็กตรอนิกสเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อน เรียกว่า เป็นช่วงที่มองเห็นได้ทั้งหมด มีความยาวคลื่น ตั้งแต่ 200 ถึง 3,000 นาโนเมตร แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วง near ultraviolet มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 380 นาโนเมตร ช่วง visible มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 380 ถึง 780

นาโนเมตรและช่วง near infrared มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 780 ถึง 3,000 นาโนเมตร ต้นกำเนิดของสเปกตรารการดูดกลืนของอิเล็กตรอน ได้แก่

- 1) สเปกตราซึ่งเกี่ยวข้องกับลิแกนด์ – ลิแกนด์ (ligand spectra)
- 2) สเปกตราซึ่งเกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกทรานซิชัน ระหว่างโลหะ – ลิแกนด์ เรียกว่า สเปกตรารการถ่ายโอนประจุ (charge transfer spectra)
- 3) สเปกตราซึ่งเกี่ยวข้องกับโลหะ (ที่มีลิแกนด์ล้อมรอบอยู่) เรียกว่า d-d spectra
- 4) สเปกตราซึ่งเกี่ยวข้องกับไอออนที่จับกับไอออนเชิงซ้อน (counter-ion spectra)

2.3.2 ลิแกนด์

ลิแกนด์ หมายถึง โมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนที่ไม่ก่อให้เกิดพันธะจำนวนมาก เมื่อลิแกนด์เกิดพันธะกับอะตอมกลางก็จะนำอิเล็กตรอนเหล่านั้นมาสร้างพันธะ ลิแกนด์ทำหน้าที่เป็นเบสของลิวอิส (Lewis base: คือตัวที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้) สำหรับอะตอมกลาง ทำหน้าที่เป็นกรดของลิวอิส (Lewis acid: คือตัวที่สามารถรับอิเล็กตรอนคู่ได้) การแบ่งชนิดของลิแกนด์ สามารถแบ่งตามเกณฑ์ต่าง ๆ ได้หลายแบบ แต่ในที่นี้จะจัดแบ่งชนิดของลิแกนด์ตามลักษณะการให้อิเล็กตรอนคู่ของลิแกนด์แก่อะตอมกลาง คือ

2.3.2.1 มอนอดেন্টเทต หรือ ยูนิเดนเทตลิแกนด์ (monodentate or unidentate ligand) หมายถึง ลิแกนด์ที่สามารถให้อิเล็กตรอนคู่แก่อะตอมกลางได้เพียง 1 คู่เท่านั้น หรืออาจกล่าวว่ามีอะตอมผู้ให้เพียง 1 อะตอม เช่น F^- , Cl^- , Br^- และ I^- ถ้าเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหลายอะตอม เช่น H_2O NH_3 จะมีอะตอมผู้ให้เพียงอะตอมเดียว เช่น H_2O อะตอมผู้ให้คือ O ส่วน NH_3 อะตอมผู้ให้คือ N

2.3.2.2 พอลิเดนเทตลิแกนด์ (polydentate ligand) หมายถึง ลิแกนด์ที่มีอะตอมผู้ให้หลายอะตอมในโมเลกุลหรือกลุ่มไอออนเดียวกัน ลิแกนด์กลุ่มนี้อาจมีชื่อเรียกย่อยไปอีกตามผู้ให้ คือ ไบเดนเทตลิแกนด์ (bidentate ligand) หมายถึง ลิแกนด์ที่มีอะตอมผู้ให้ 2 อะตอม เช่น ethylenediamine: en มี N เป็นอะตอมผู้ให้ 2 อะตอม และไตรเดนเทตลิแกนด์ (tridentate ligand) หมายถึง ลิแกนด์ที่มีอะตอมผู้ให้ 3 อะตอม เช่น terpyridine: terpy หรือ tpy ที่มี N เป็นอะตอมผู้ให้ 3 อะตอม

2.3.2.3 แมโครไซคลิกลิแกนด์ (macrocyclic tridentate) คือ ลิแกนด์ที่มีอะตอมต่าง ๆ ต่อกันเป็นวง ๆ จำนวนอะตอมภายในวงต้องมีอย่างน้อย 9 อะตอมและมีอะตอมผู้ให้อย่างน้อย 3 อะตอม

2.3.2.4 บริดจิงลิแกนด์ (bridging ligand) คือ ลิแกนด์ที่มีอะตอมผู้ให้ 1 อะตอมที่สามารถให้อิเล็กตรอนคู่แก่อะตอมกลาง 2 อะตอมพร้อมกัน มีลักษณะคล้ายสะพาน เช่น OH^- NH_2^- CO CN NO_2^- Cl^- SCN^-

2.3.2.5 แอมบิเดนเทตลิแกนด์ (ambidentate ligand) คือ ลิแกนด์ที่มีอะตอมผู้ให้มากกว่า 1 อะตอม แต่อะตอมเหล่านั้นไม่สามารถให้อิเล็กตรอนคู่แก่อะตอมกลางได้พร้อมกัน

2.4 การวิเคราะห์โดยวิธีเปรียบเทียบสี (Colorimetric Analyses)

การวิเคราะห์โดยวิธีเปรียบเทียบสีเป็นวิธีที่ประหยัด สะดวก และใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่น วิธีนี้สามารถวิเคราะห์ปริมาณได้โดยใช้ปฏิกิริยาทำให้เกิดสารประกอบที่มีสีแน่นอนเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว เมื่อสารในน้ำทำปฏิกิริยากับสารสร้างสีทำให้เกิดสีต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นเป็นปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารในน้ำ การวัดความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจะบ่งบอกถึงปริมาณของสารได้ โดยมีคุณสมบัติเป็นไปตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต

2.4.1 กฎของแลมเบิร์ต (Lambert' Law)

กฎของแลมเบิร์ต (Lambert' Law) กล่าวว่า “เมื่อแสงส่องผ่านตัวกลาง ค่าความเข้มแสงจะลดลงเป็นปฏิกิริยาแบบชี้กำลัง (Exponential) กับความหนาหรือความลึกของตัวกลางที่แสงส่องผ่าน”

$$I = 10^{-kl} I_0$$

เมื่อ	I, I_0	=	ความเข้มแสงวัดที่ระดับความลึกหรือความหนา l ของตัวกลาง และวัดที่ผิวตัวกลาง ณ ตำแหน่งที่เริ่มเข้าของแสงตามลำดับ
	k'	=	ค่าคงที่ของตัวกลาง
	l	=	ความหนาหรือความลึกของตัวกลาง
เนื่องจาก	T	=	I/I_0
และ	A	=	$\log (I_0/I) = \log (1/T)$
เมื่อ	T	=	ค่าทรานสมิตแทนซ์ (Transmittance) ของตัวกลาง
	A	=	แอบซอร์บแนนซ์ (Absorbance) ของตัวกลาง
จะได้	T	=	$I/I_0 = 10^{-kl}$
	A	=	$\log (1/10^{-kl}) = k'l$

2.4.2 กฎของเบียร์ (Beer' Law)

กฎของเบียร์กล่าวว่า “เมื่อแสงส่องผ่านสารละลายตัวกลาง ความเข้มแสงจะลดลงเป็นปฏิกิริยาแบบ Exponential กับการเพิ่มของความเข้มข้นของสารละลาย”

	T	=	$I/I_0 = 10^{-kl}$
	$\log T$	=	$-k''C$
	A	=	$\log (1/T) = k''C$
ในเมื่อ	C	=	ความเข้มข้นของสารละลาย
	K''	=	ค่าคงที่ของสารละลาย
ถ้าให้	ทรานสมิตแทนซ์, T	=	$\%T/100$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad 1/T &= 100/\%T \\ A &= \log(100/\%T) \end{aligned}$$

อุปกรณ์วัดความเข้มสีมี 3 แบบ คือ หลอดเปรียบเทียบ (Color comparison tube) เครื่องวัดสี (Colorimeter) และเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ซึ่งในปัจจุบันหลอดเปรียบเทียบสีไม่มีการใช้แล้ว และถูกแทนที่ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ซึ่งวัดได้สะดวกและแม่นยำ

2.5 ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (Test kit)

ชุดทดสอบอย่างง่าย (test kit) มีหลายชนิด เช่น ชุดทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง ความกระด้างของน้ำ ปริมาณโลหะหนักในน้ำ ปริมาณน้ำตาล และการตั้งครรภ์ เป็นต้น ชุดทดสอบอย่างง่ายมักใช้เพื่อกลิ่นกรองตัวอย่าง ก่อนที่จะนำไปทดสอบอย่างละเอียดด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูง เพื่อให้ได้ผลถูกต้องมากขึ้น ชุดทดสอบอย่างง่ายมีข้อดีหลายประการ คือ การทดสอบทำได้ง่าย ใช้เวลาไม่นาน และผู้ทดสอบไม่จำเป็นต้องมีความรู้จำเพาะทางด้านเทคนิคมากนัก ที่สำคัญคือต้นทุนต่ำและผลการทดสอบน่าเชื่อถือ

หลักการของชุดทดสอบอย่างง่าย ส่วนใหญ่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเป้าหมายที่สนใจกับสารทดสอบที่มีความไวและจำเพาะต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารเป้าหมายหนึ่งๆ โดยสารทดสอบมักถูกเคลือบหรือตรึงอยู่บนแผ่นทดสอบที่เป็นวัสดุรองรับหรืออาจอยู่ในรูปสารละลายก็ได้ เมื่อสารที่ใช้ทดสอบทำปฏิกิริยากับสารเป้าหมาย จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่มองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น สีเปลี่ยนไปจากเดิม หรือการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสง เช่น เกิดการเรืองแสง หรือเกิดสารประกอบตัวใหม่หลังเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือ เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าทางไฟฟ้า

2.5.1 ชุดทดสอบอย่างง่ายที่ดีควรมีสมบัติ ดังต่อไปนี้

2.5.1.1 ความไวต่อปฏิกิริยาเคมี: ควรมีความไวต่อปฏิกิริยาในช่วงเวลาระดับวินาที และไม่ควรถูกเกิน 10 นาที

2.5.1.2 ความเที่ยงตรงและแม่นยำในการทดสอบ: ควรให้ผลการทดสอบที่แม่นยำ มีความเบี่ยงเบนต่ำ สามารถทดสอบซ้ำเดิมได้ โดยผลการทดสอบไม่ขึ้นกับผู้ใช้งาน

2.5.1.3 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสามารถแปรเป็นผลการทดสอบที่อ่านค่าได้ชัดเจน

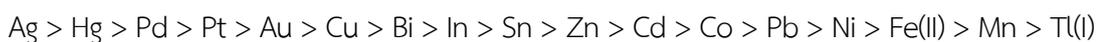
2.5.1.4 ค่าต่ำสุดที่สามารถทดสอบได้ (detection limit): ควรปรับเลือกค่าต่ำสุดของการทดสอบได้ เพื่อให้ช่วงการทดสอบครอบคลุมความเข้มข้นของสารที่ต้องการตรวจวัด

2.5.2 ปฏิริยาเคมีที่นำมาใช้กับชุดทดสอบอย่างง่าย มีหลายปฏิริยา ได้แก่

2.5.2.1 ปฏิริยาระหว่างกรดกับด่าง ตัวอย่างของชุดทดสอบอย่างง่าย อาศัยปฏิริยาระหว่างกรดกับด่างที่เด่นชัดที่สุดคือฟิเอชอินดิเคเตอร์ ที่ใช้หาค่าความเป็นกรด – ด่าง โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงสีจะเกิดขึ้นบนวัสดุรองรับที่อาจเป็นแผ่นกระดาษ หรือแผ่นพลาสติกที่เคลือบสารอินดิเคเตอร์ที่ไวต่อปฏิริยาระหว่างกรด – ด่างไว้ สิ่งสำคัญในการเตรียมแผ่นฟิเอชอินดิเคเตอร์ ได้แก่ การทำให้สารอินดิเคเตอร์ยึดติดบนแผ่นรองรับโดย ไม่ละลายน้ำหรือหลุดร่อนจากวัสดุรองรับ แรงที่ใช้ตรึงสารอินดิเคเตอร์ให้อยู่บนวัสดุรองรับมีหลายแบบ เช่น แรงดูดซับทางกายภาพที่พื้นผิวของวัสดุรองรับดูดซับสารอินดิเคเตอร์ด้วยแรงอ่อนๆ อย่างแรงแวนเดอร์วาลส์ แต่มีโอกาสสูงที่สารอินดิเคเตอร์จะละลายออกจากวัสดุรองรับ ถ้าสารอินดิเคเตอร์ที่ใช้มีค่าการละลายน้ำดี การเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารอินดิเคเตอร์กับวัสดุรองรับให้แน่นหนามากขึ้นจะใช้แรงทางไฟฟ้าสถิต หรือแรงจากพันธะโคเวเลนต์ซึ่งมีความแข็งแรงของการตรึงมากที่สุด

2.5.2.2 ปฏิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นปฏิริยาที่เกิดขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้าเกิดจากการเกิดปฏิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันของสารเป้าหมายกับสารที่ถูกยึดตรึงไว้กับวัสดุรองรับ ตัวอย่างการทดสอบที่อาศัยปฏิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ได้แก่ การหาปริมาณโคบอลต์ไอออน (Cobalt; Co(II)) ด้วยสาร 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN) โดยมีสารโพแทสเซียมเพอร์ไอโอดีต (KIO_4) เป็นตัวออกซิไดส์ มีหน้าที่ทำให้ Co(II) เปลี่ยนเป็น Co(III) ที่มีความไวต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ PAN ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนนี้มีสีเขียว

2.5.2.3 ปฏิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ชุดทดสอบที่อาศัยการเกิดปฏิริยาเชิงซ้อน นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะหนัก สารทดสอบที่นำมาใช้คือไดไทโซน (dithizone) เพราะสามารถเกิดปฏิริยาเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะได้หลายชนิดและเกิดสีที่แตกต่างกัน ความสามารถในการเกิดปฏิริยาเชิงซ้อนของสารไดไทโซนกับไอออนของโลหะเรียงลำดับดังนี้



การเลือกใช้ไดไทโซนในการทดสอบหาไอออนของโลหะชนิดต่าง ๆ สามารถเพิ่มความจำเพาะโดยการปรับเปลี่ยนค่าพีเอชระหว่างการทดสอบดังเช่น การทดสอบหาไอออนของปรอท (Hg) สารประกอบเชิงซ้อนของไดไทโซนและปรอทจะเกิดได้ดีเมื่อพีเอชเป็น 2 เป็นต้น

2.5.2.4 ปฏิริยาของเอนไซม์ ปฏิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ภายในร่างกาย แตกต่างจากปฏิริยาที่เกิดจากสารเคมีทั่วไป เนื่องจากมีความจำเพาะต่อการเกิดปฏิริยาสูงมาก สารเป้าหมายที่มีปริมาณเพียงน้อยนิดก็สามารถตรวจพบได้ ดังนั้น จึงมีการพัฒนาชุดทดสอบอย่างง่ายที่อาศัยการเกิดปฏิริยาในลักษณะดังกล่าว เช่น แผ่นทดสอบการตั้งครรภ์ แผ่นทดสอบการตั้งครรภ์เป็นแผ่นทดสอบที่ใช้ตรวจหาฮอร์โมน HCG (Human Chorionic Gonadotropin) ที่สร้างขึ้นภายหลังการปฏิสนธิ ลักษณะของแผ่นทดสอบจะเป็นแถบยาวด้านหน้ามีแผ่นสำหรับรับน้ำปัสสาวะของผู้ทดสอบถัดมาจะมีร่องเล็ก ๆ 2 ร่อง ร่องแรกเป็นร่องที่ใช้ทดสอบซึ่งเคลือบด้วยสารภูมิคุ้มกันสำหรับฮอร์โมน HCG (anti-HCG antibodies) เคลือบติดกับเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแถบสีได้ ส่วนร่องที่สองใช้เป็นตัวควบคุมการทดสอบซึ่งมีสารภูมิคุ้มกันอีกชนิดตรึงอยู่กับเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีได้เช่นเดียวกัน

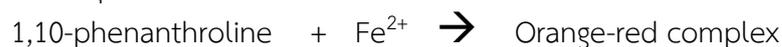
ปัสสาวะของผู้ทดสอบที่มีฮอร์โมน HCG ซึ่งโดยธรรมชาติจะเกิดพันธะระหว่างฮอร์โมน HCG กับสารภูมิคุ้มกันต้านทานในร่างกายน (Y) อยู่แล้ว เมื่อปัสสาวะผ่านมาที่ร่องแรก ฮอร์โมน HCG ที่เกิดพันธะกับสารภูมิคุ้มกันต้านทาน (Y) จะสร้างพันธะกับ anti-HCG antibodies ที่เคลือบไว้บนร่องที่ 1 อีก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีขึ้น จากนั้นสารภูมิคุ้มกันต้านทาน (Y) ของผู้ทดสอบที่เหลือและไม่เกิดพันธะกับ HCG จะเคลื่อนไปจับกับสารภูมิคุ้มกันต้านทาน อีกตัวหนึ่งที่เคลือบอยู่ในร่องควบคุม (ร่องที่ 2) ทำให้เกิดแถบสีขึ้นเช่นกันเมื่อเกิดแถบสีครบสองแถบแสดงว่า ผู้ทดสอบตั้งครรภ์ ในขณะที่ผู้ทดสอบไม่ได้ตั้งครรภ์ก็จะมีฮอร์โมน HCG ดังนั้น ในร่องแรกที่ใช้ทดสอบก็จะไม่เกิดแถบสี แต่จะเกิดแถบสีเฉพาะในร่องควบคุมเท่านั้น เนื่องจากมีเพียงสารภูมิคุ้มกันต้านทาน (Y) ของผู้ทดสอบที่สร้างพันธะกับสารภูมิคุ้มกันต้านทานที่ร่องควบคุม นอกจากแผ่นทดสอบการตั้งครรภ์แล้ว ยังมีชุดทดสอบอย่างง่ายที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น ชุดทดสอบการตกไข่ ชุดทดสอบเชื้ออินฟลูเอนซา (influenza) ชุดตรวจสอบน้ำตาลในปัสสาวะ เป็นต้น จะเห็นว่า ชุดทดสอบอย่างง่ายเหมาะที่จะใช้ทดสอบเบื้องต้นสำหรับคัดกรองตัวอย่างหรือใช้สำหรับทดสอบในพื้นที่ที่ไม่สามารถทดสอบด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการได้ โดยมีหลักการพื้นฐานจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารบนแผ่นทดสอบและสารเป้าหมาย หรือปฏิกิริยาที่การเกิดสี แต่ปฏิกิริยาเคมีนั้นๆ จำเป็นต้องเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สามารถตรวจวัดได้อย่างชัดเจน

2.6 การวิเคราะห์เหล็กด้วยฟีแนนโทรอลีน (1,10 phenanthroline)

การวัดเหล็กด้วยฟีแนนโทรอลีนเป็นวิธีที่นิยม อาศัยปฏิกิริยาของ 1,10-phenanthroline กับเหล็ก (Fe^{2+}) ที่พีเอชประมาณ 3.2 – 5.5 เกิดเป็นสารประกอบสีแดงส้ม สีของสารละลายเป็นไปตาม Beer's Law คือ ความเข้มข้นของสีที่เกิดเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับปริมาณของสารในสารละลายนั้น ความเข้มข้นของสีที่เกิดขึ้นจะไม่ขึ้นกับพีเอชในช่วง 4-9 และสีของสารละลายนี้จะอยู่ตัวได้นาน ประมาณ 6 เดือน สามารถวัดความเข้มข้นได้ด้วยการเปรียบเทียบกับตา หรืออาจใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร เนื่องจาก 1,10-phenanthroline ใช้วัดได้เฉพาะ Fe^{2+} จึงต้องมีการเปลี่ยนรูปของ Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ให้หมดโดยใช้สารละลายไฮดรอกซิลามีน (hydroxylamine) ซึ่งเป็นตัวลดออกซิเจนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังสมการ



หลังจากที่พีเอชของสารละลายอยู่ในช่วงพีเอช 3.2-3.3 โดยการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ เพื่อให้ได้พีเอชที่เหมาะสมลงไป แล้วจึงตามด้วย 1,10-phenanthroline พบว่า 3 โมเลกุลของฟีแนนโทรอลีน จะจับกับ Fe^{2+} 1 โมเลกุล เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ดังนี้



ตัวชี้วัดสำหรับการวิเคราะห์นี้ คือตัวเติมออกซิเจนอย่างแรง ได้แก่ โซเดียมไนไตรต์ ไนไตรท์ และฟอสเฟต นอกจากนี้พวกโลหะหนัก เช่น โครเมียม สังกะสี (ถ้ามีมากกว่า 10 เท่าของเหล็ก) โคบอลต์และทองแดง (ถ้ามากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร) นิกเกิล (ถ้ามากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร) บิสมัท แคดเมียม ปรอท เงิน และโมลิบดีนัม จะตกตะกอนฟีแนนโทรอลีน

การต้มกับกรดจะเปลี่ยน polyphosphate ให้เป็น orthophosphate และกำจัดไซยาไนด์ กับไนไตรท์ การเติมไฮดรอกซิลามีนเพื่อกำจัดค่าผิดพลาดเนื่องจากพวกเติมออกซิเจนอย่างแรงที่มีอยู่จำนวนมาก ๆ ในกรณีที่มีโลหะหนักซึ่งเป็นตัวขัดขวางมาก ต้องเติมฟิแนนโทรลีนให้มากเกินพอเพื่อให้ไปแทนที่พวกที่ไปจับเป็นสารประกอบกับโลหะหนักนั้น ส่วนใหญ่มักใช้ isopropyl-ether ก่อนที่จะเติมฟิแนนโทรลีน ถ้าสารตัวอย่างมีสีหรือสารอินทรีย์อยู่มากให้ระเหยตัวอย่างให้แห้ง และละลายตะกอนที่เผาให้เป็นแก้วอ่อน ๆ ด้วยกรดในถ้วยระเหย (porcelain crucible)

2.7 การวิเคราะห์โครเมียมด้วยไดฟีนิลคาร์บาไซด์

โครเมียม (Cr^{6+}) จะทำปฏิกิริยากับไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5-diphenylcarbazide) ในสภาวะเป็นกรด เกิดเป็นสารประกอบสีแดงม่วง หากจะวิเคราะห์โครเมียมทั้งหมดต้องนำมาย่อยตัวอย่างด้วยกรดไนตริก-ซัลฟิวริก ($HNO_3-H_2SO_4$) แล้วออกซิไดส์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) เพื่อเปลี่ยนโครเมียม $3+$ เป็นโครเมียม $6+$ ก่อน โดยวิธีนี้จะมีสิ่งรบกวนในการวิเคราะห์น้อยมาก เนื่องจากไดฟีนิลคาร์บาไซด์ ค่อนข้างจะทำปฏิกิริยาเฉพาะกับโครเมียมเท่านั้น นอกจากโมลิบดีนัมและปรอทที่มีระดับความเข้มข้นสูง โลหะอื่นที่รบกวนได้แก่ เหล็ก ทองแดง โมลิบดีนัม วาเนเดียม แต่สามารถกำจัดออกได้โดยการสกัดด้วยคลอโรฟอร์มและให้ทำปฏิกิริยากับ Cupferrates

2.8 กรอบแนวคิดในการวิจัย

2.8.1 ศึกษาหาข้อมูลประกอบการเลือกปฏิกิริยาเคมีที่จะนำมาใช้กับชุดทดสอบ โดยพิจารณาจากกระบวนการเกิดปฏิกิริยาต้องไม่ซับซ้อนและยุ่งยาก การเกิดปฏิกิริยามีความรวดเร็ว ปริมาณสารเคมีและชนิดของสารเคมีต้องมีจำนวนน้อยและราคาถูก

2.8.2 เลือกปฏิกิริยาเคมีที่สามารถตรวจวัดได้ชัดเจน เช่น มีความแตกต่างของสีที่ชัดเจน สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2.8.3 ทดสอบปฏิกิริยาเคมีกับสารมาตรฐาน เพื่อหาความสามารถในการตรวจวัดของชุดทดสอบ

2.8.4 ทดสอบปฏิกิริยาเคมีกับตัวอย่างสิ่งแวดล้อม เพื่อหาความสามารถในการตรวจวัดของชุดทดสอบและการรบกวน (interference) ของสารชนิดอื่น ๆ

2.8.5 เปรียบการวิเคราะห์ระหว่างชุดทดสอบกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

- 3.1.1 ศึกษาปฏิกิริยาการเกิดสีที่เหมาะสมของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และเหล็ก (Fe)
- 3.1.2 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ
- 3.1.3 สร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)
- 3.1.4 ศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ โดยหาเปอร์เซ็นต์กลับคืน (% recovery) และ % Relative Standard Deviation (%RSD) โดยเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ในน้ำและน้ำเสีย

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 3.2.1 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100, 400, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร
- 3.2.2 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50, 100, 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
- 3.2.3 หลอดทดลอง ขนาด 15 มิลลิลิตร
- 3.2.4 กระบอกตวง ขนาด 50, 100 และ 500 มิลลิลิตร
- 3.2.5 Micro pipette ขนาด 100, 1000 และ 5000 ไมโครลิตร พร้อมทิป (Tips)
- 3.2.6 กระจกนาฬิกา
- 3.2.7 หลอดหยด (Dropper)
- 3.2.8 pH strips
- 3.2.9 ขวดสีสำหรับใส่สารเคมี ขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร
- 3.2.10 พาราฟิล์ม (Parafilm)
- 3.2.11 ซ้อนตักสาร
- 3.2.12 เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 3.2.13 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Visible spectrophotometer) พร้อม cuvette ชนิดแก้ว
- 3.2.14 เครื่องเขย่า (Vortex mixer)

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5-diphenylcarbazide)
- 3.3.2 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H₂SO₄)
- 3.3.3 อะซีโตน (Acetone)
- 3.3.4 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol)
- 3.3.5 โบรโมฟีนอลบลู (Bromophenol Blue)
- 3.3.6 โซเดียมซิเตรต (Sodium citrate)
- 3.3.7 ไฮดรอกไซด์ไฮลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride)
- 3.3.8 ออโทฟิแนนทรอลีน (o-phenanthroline monohydrate)
- 3.3.9 สารละลายมาตรฐานโครเมียม
- 3.3.10 สารละลายมาตรฐานเหล็ก
- 3.3.11 deionized water หรือ reagent water type I หรือ reagent water type II

3.4 วิธีดำเนินการ

3.4.1 เตรียมสารละลายสำหรับการทดสอบโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr⁶⁺)

3.4.1.1 สารละลายมาตรฐานโครเมียม เตรียมโดยชั่งโพแทสเซียมไดโครเมต (K₂Cr₂O₇) 0.1420 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 1000 มิลลิลิตร (จะได้ความเข้มข้นของ 1 มิลลิลิตรเท่ากับ 50 ไมโครกรัมโครเมียม หรือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเตรียมสารละลายนี้ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้

1) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

2) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

3) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 3 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

4) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

5) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

6) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.8 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

7) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.6 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

8) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

9) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

10) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

11) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.05 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

3.4.1.2 เตรียมสารละลาย 1,5-diphenylcarbazide โดยชั่งประมาณ 5 กรัม ละลาย และปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 1000 มิลลิลิตร

3.4.1.3 เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยตวง กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) มา 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 1000 มิลลิลิตร

3.4.2 เตรียมสารละลายสำหรับการทดสอบเหล็ก (Fe)

3.4.2.1 สารละลายมาตรฐานเหล็ก (Fe) เตรียมโดยชั่งเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ มา 5.144 กรัม ละลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) จนได้ สารละลายใส แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 1000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็ก ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และเตรียมสารละลายนี้ ที่ระดับความเข้มข้น ต่าง ๆ ดังนี้

1) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

2) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

3) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 3 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

4) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

5) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

6) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

7) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.35 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

8) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

9) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.15 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 50 มิลลิลิตร

3.4.2.2 เตรียมสารละลาย Bromophenol blue โดยชั่ง Bromophenol blue มา 0.1 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 100 มิลลิลิตร

3.4.2.3 เตรียมสารละลายไฮดรอกซีลามีโนไฮโดรคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่ง Hydroxylamine hydrochloride มา 10 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 1000 มิลลิลิตร

3.4.2.4 เตรียมสารละลายอโทรปีแวนโทโรลีน ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่ง o-phenanthroline monohydrate มา 5 กรัม หยดด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H₂SO₄) จนได้ สารละลายใส แล้วปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 1000 มิลลิลิตร

3.4.2.5 เตรียมสารละลายกรดซิเตรต ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ โดยชั่งโซเดียมซิเตรต (Sodium citrate) มา 20 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วย reagent water เป็น 1000 มิลลิลิตร

3.4.3 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของ Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

3.4.3.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ขนาด 15 มิลลิลิตร จำนวน 10 หลอด

3.4.3.2 หยดสารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์ จำนวน 3 หยด

3.4.3.3 หยดสารละลายกรดซัลฟูริก จำนวน 3 หยด

3.4.3.4 รอปฏิกิริยาสมบูรณ์ เป็นเวลา 1-2 นาที

3.4.3.5 ถ่ายรูปและเก็บตัวอย่างสีเพื่อนำไปสร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

3.4.3.6 ทดสอบที่ระดับความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามข้อที่ 3.4.3.1 ถึงข้อที่ 3.4.3.5

3.4.4 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของ Fe ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

3.4.4.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง ขนาด 15 มิลลิลิตร จำนวน 10 หลอด

3.4.4.2 หยดสารละลายไฮดรอกซีลามีโนไฮโดรคลอไรด์ จำนวน 5 หยด

3.4.4.3 หยดสารละลายกรดซิงเกอร์ จำนวน 2 หยด

3.4.4.4 หยดสารละลายออร์โทฟอสเฟต จำนวน 10 หยด

3.4.4.5 รอปฏิกิริยาสมบูรณ์ เป็นเวลา 4-5 นาที

3.4.4.6 ถ่ายรูปและเก็บตัวอย่างสีเพื่อนำไปสร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

3.4.4.7 ทดสอบที่ระดับความเข้มข้น 0.5, 0.7, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามข้อที่ 3.4.4.1 ถึงข้อที่ 3.4.4.6

3.4.5 จัดเตรียมชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย

3.4.5.1 ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับทดสอบ Cr^{6+} ประกอบด้วย

1) สารละลายไดฟีนิลคาร์บาไซด์ ให้ชื่อว่า “สารเคมีโครเมียม 1” (Cr-1) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)

2) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ชื่อว่า “สารเคมีโครเมียม 2” (Cr-2) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)

3) หลอดชนิดยา ขนาด 5 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด

4) ขวดใส่ตัวอย่าง ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด

5) คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำ สำหรับ Cr^{6+} พร้อมแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

3.4.5.2 ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับทดสอบ Fe ประกอบด้วย

- 1) สารละลายไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ชื่อว่า “สารเคมี เหล็ก – 1” (Fe-1) จำนวน 1 ขวด (ขวดละ 50 มิลลิลิตร)
- 2) สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ชื่อว่า “สารเคมี เหล็ก – 2” (Fe-2) จำนวน 1 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)
- 3) สารละลายออร์โทฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ชื่อว่า “สารเคมี เหล็ก – 3” (Fe-3) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 50 มิลลิลิตร)
- 4) หลอดฉีดยา ขนาด 3 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด
- 5) ขวดใส่ตัวอย่าง ขนาด 4 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด
- 6) คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำ สำหรับ Fe พร้อมแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

3.4.6 ศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายของ Cr^{6+}

3.4.6.1 ทดสอบตัวอย่าง water {(tap water, canal water (E-ERTC)} และ waste water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โดยเตรียมจากการ spike สารละลายมาตรฐานโครเมียม ดังนี้

- 1) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร
- 2) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร
- 3) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 3 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร
- 4) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร
- 5) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร
- 6) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.8 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

7) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.6 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

8) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

9) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

10) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

11) สารละลายมาตรฐานโครเมียม ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียม (50 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.05 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

3.4.6.2 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของ Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ตามข้อ 3.4.3

3.4.6.3 นำไปหาค่าแอมซอบแบนซ์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนของแสง ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยสร้างกราฟมาตรฐานโครเมียม 2 ชุด ได้แก่ ชุดระดับความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดระดับความเข้มข้นสูง ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.4.6.4 นำข้อมูลที่ได้ ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กลับคืน (% recovery) และ % Relative Standard Deviation (%RSD)

3.4.6.5 ทดสอบ canal water (E-ERTC) และ waste water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โดยเตรียมจากสารละลายมาตรฐานโครเมียมตามข้อที่ 3.4.6.1 เปลี่ยนจาก tap water เป็น canal water (E-ERTC) และ waste water ตามลำดับ

3.4.6.6 ทำการทดสอบตามข้อที่ 3.4.6.2 ถึง 3.4.6.4

3.4.7 ศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายของ Fe

3.4.7.1 ทดสอบตัวอย่าง water {(tap water, canal water (E-ERTC)} และ waste water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โดยเตรียมจากการ spike สารละลายมาตรฐานเหล็ก ดังนี้

1) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

2) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 4 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

3) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 3 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

4) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

5) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 1 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

6) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

7) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.35 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

8) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

9) สารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจาก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (100 มิลลิกรัมต่อลิตร) 0.15 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย tap water เป็น 50 มิลลิลิตร

3.4.7.2 ทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของ Fe ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ตามข้อ 3.4.4

3.4.7.3 นำไปหาค่าแอมซอบแบนซ์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนของแสง ที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร โดยสร้างกราฟมาตรฐานโครเมียม 2 ชุด ได้แก่ ชุดระดับความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดระดับความเข้มข้นสูง ได้แก่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.4.7.4 นำข้อมูลที่ได้ ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กลับคืน (% recovery) และ % Relative Standard Deviation (%RSD)

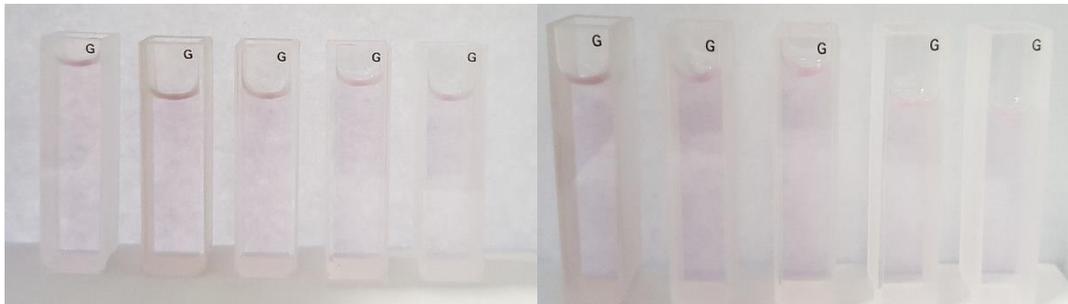
3.4.7.5 ทดสอบ canal water (E-ERTC) และ waste water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โดยเตรียมจากสารละลายมาตรฐานเหล็กตามข้อที่ 3.4.7.1 เปลี่ยนจาก tap water เป็น canal water (E-ERTC) และ waste water ตามลำดับ

3.4.6.6 ทำการทดสอบตามข้อที่ 3.4.7.2 ถึง 3.4.7.4

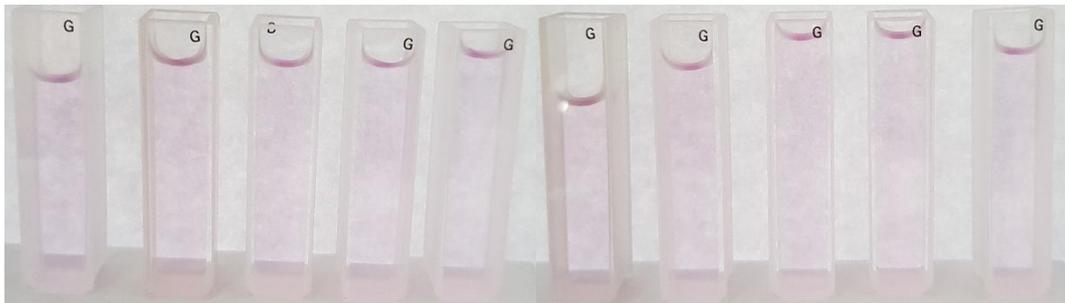
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+}

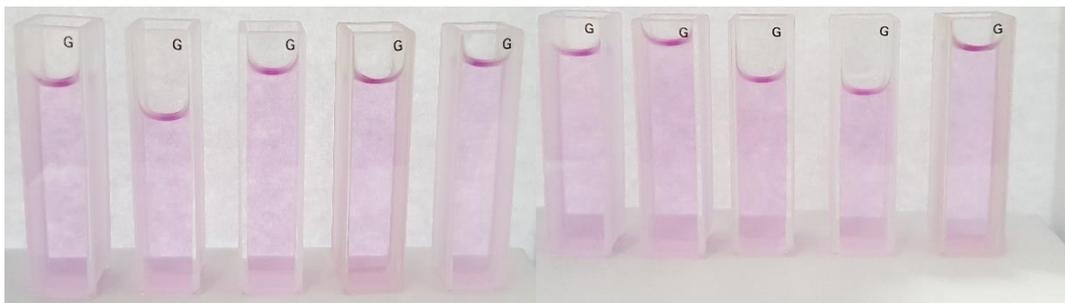
จากการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวนความเข้มข้นละ 10 ซ้ำ สามารถแสดงผลการทดสอบสีได้ดังภาพที่ 1 ถึงภาพที่ 11



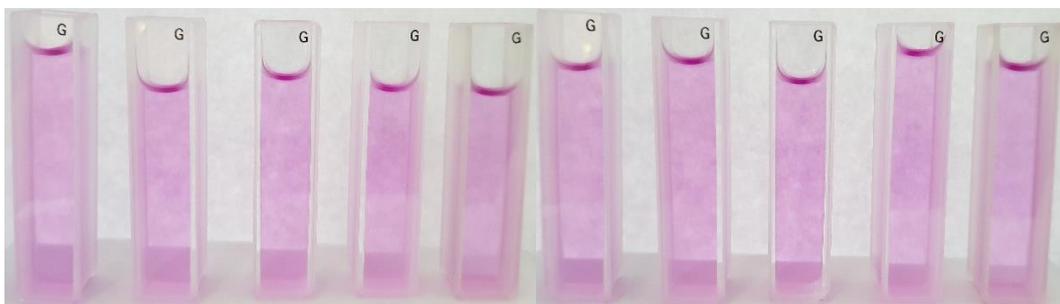
ภาพที่ 1 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร



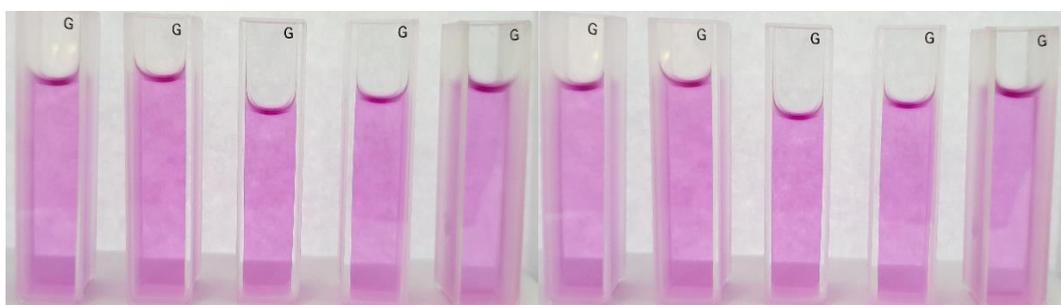
ภาพที่ 2 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร



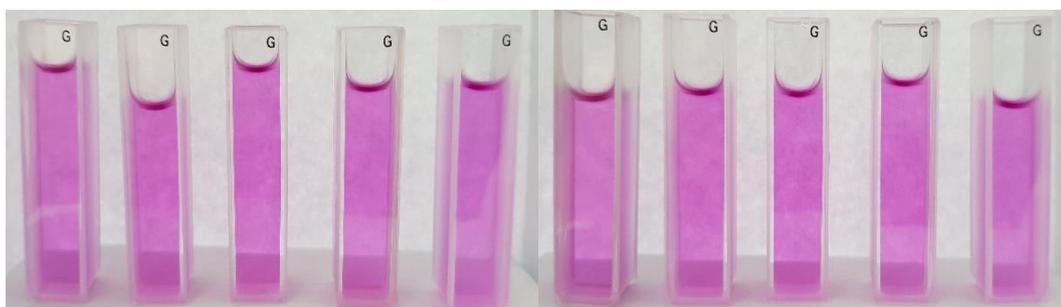
ภาพที่ 3 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร



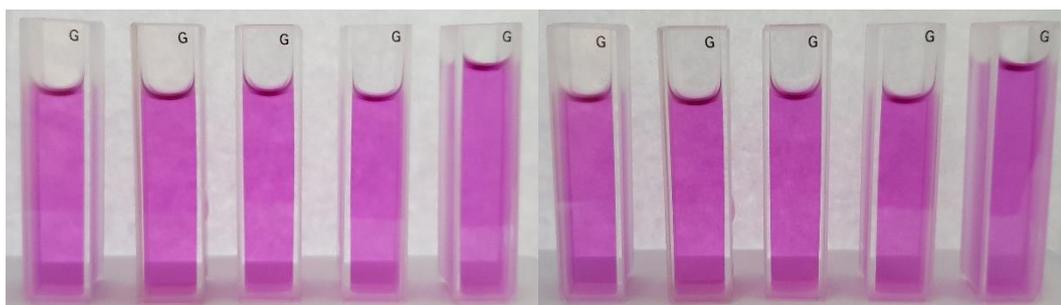
ภาพที่ 4 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร



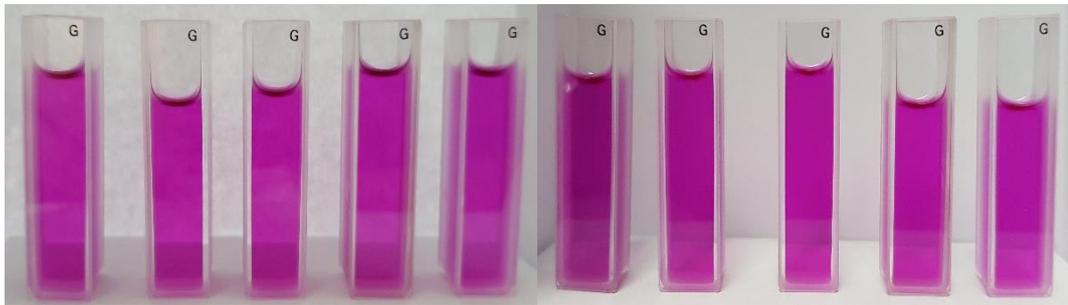
ภาพที่ 5 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร



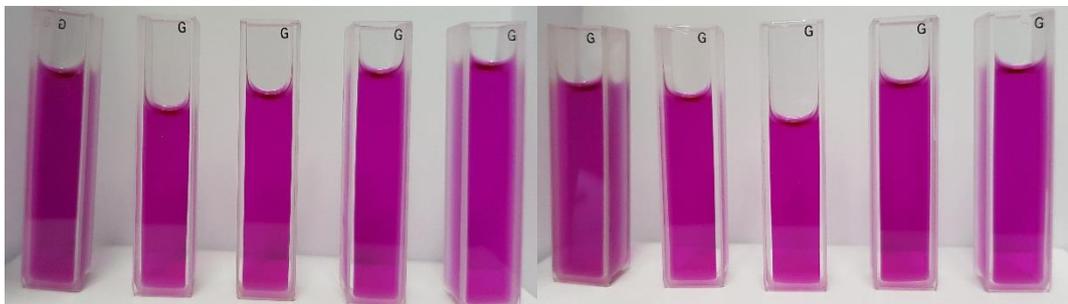
ภาพที่ 6 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร



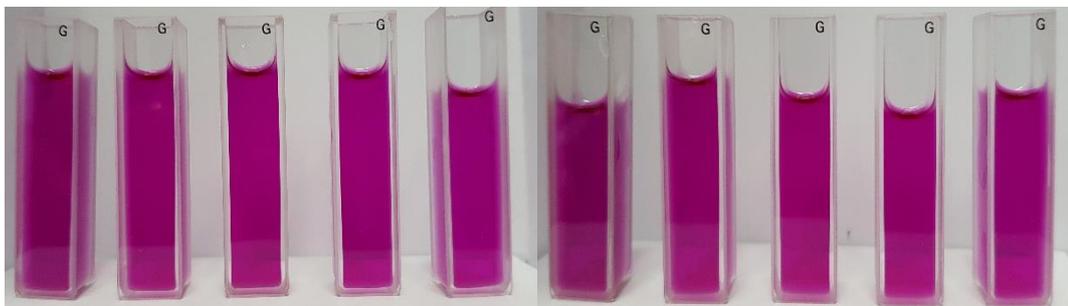
ภาพที่ 7 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร



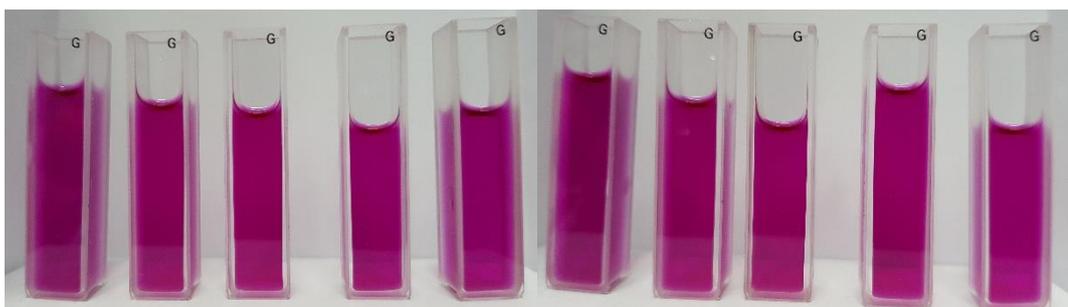
ภาพที่ 8 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 9 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร



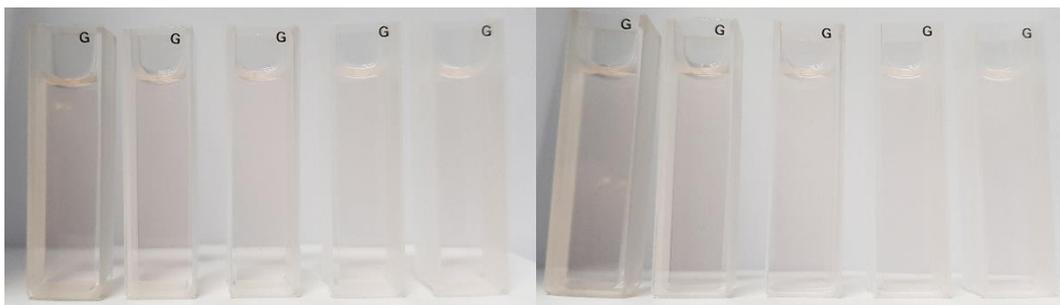
ภาพที่ 10 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร



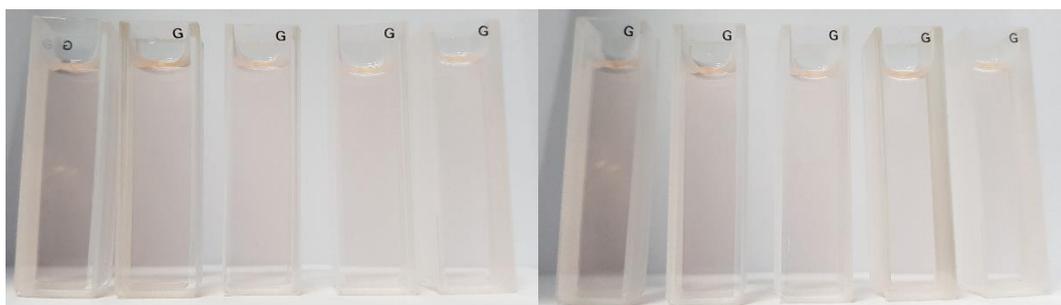
ภาพที่ 11 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 ผลการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe

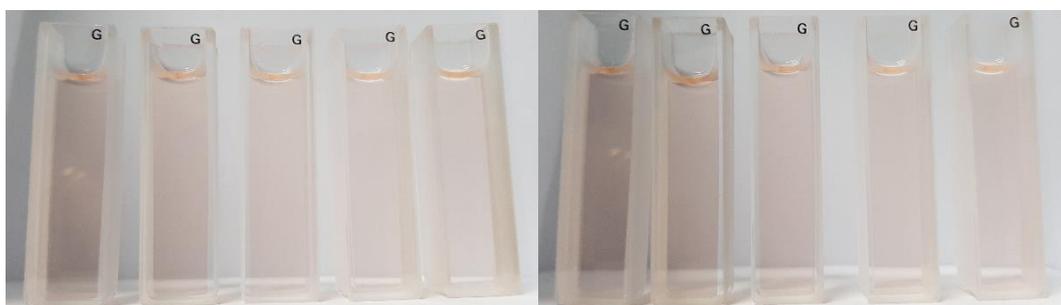
จากการทดสอบปฏิกิริยาการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 4, 6 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวนความเข้มข้นละ 10 ซ้ำ สามารถแสดงผลการทดสอบสีได้ดังภาพที่ 12 ถึงภาพที่ 20



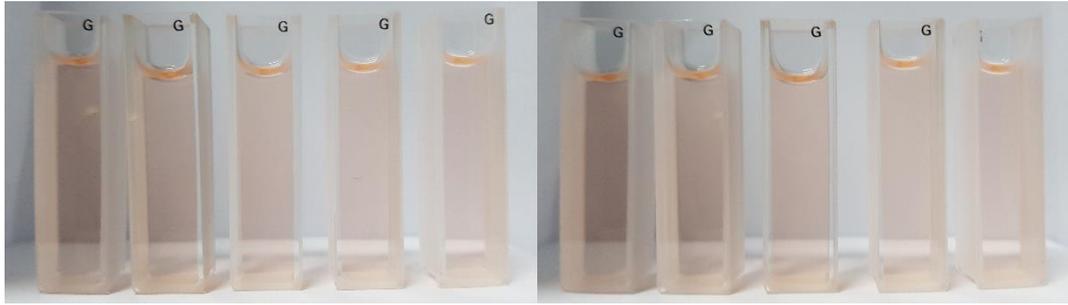
ภาพที่ 12 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร



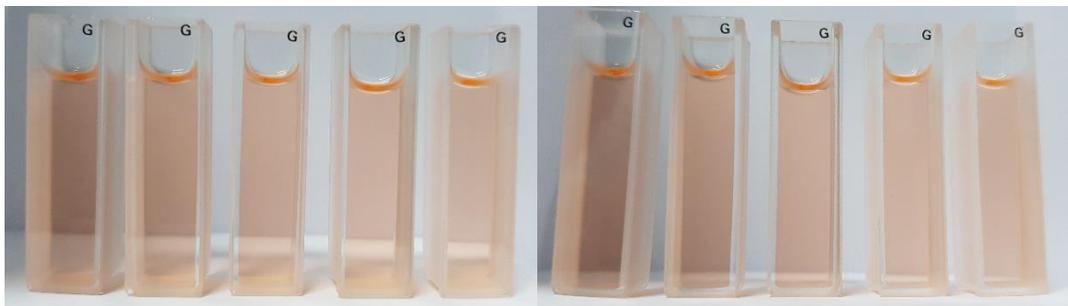
ภาพที่ 13 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร



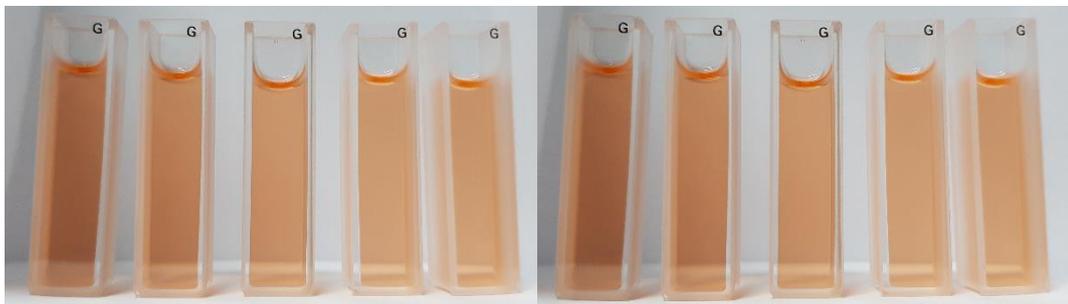
ภาพที่ 14 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร



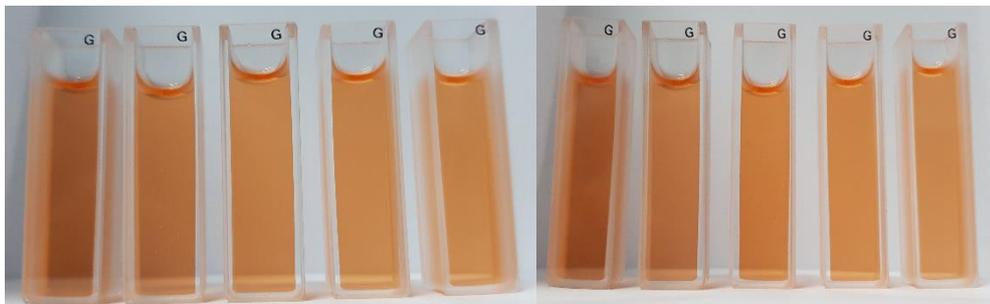
ภาพที่ 15 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร



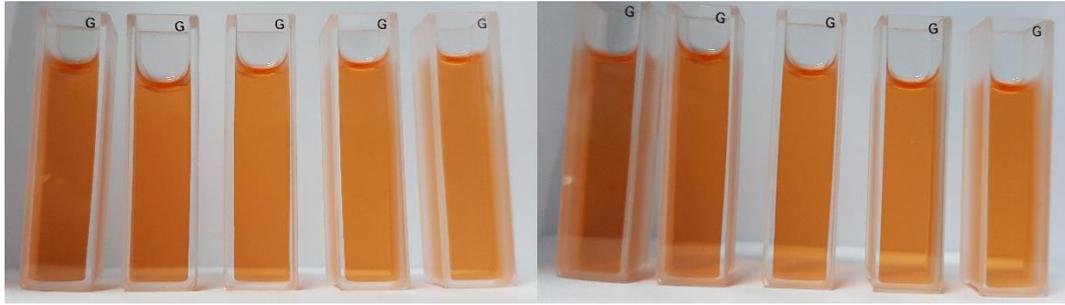
ภาพที่ 16 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



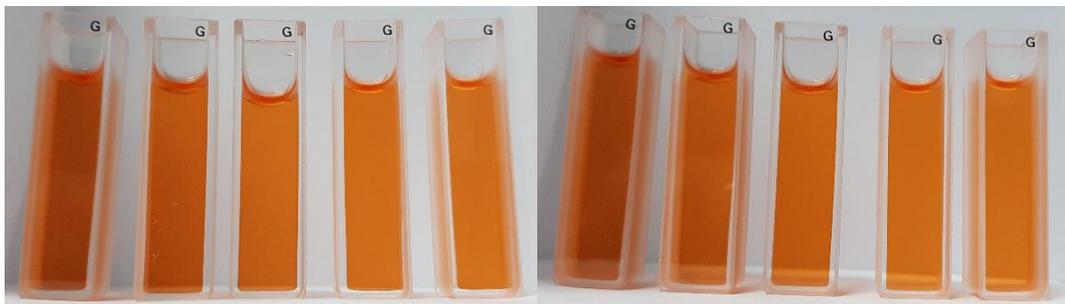
ภาพที่ 17 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 18 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 19 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร

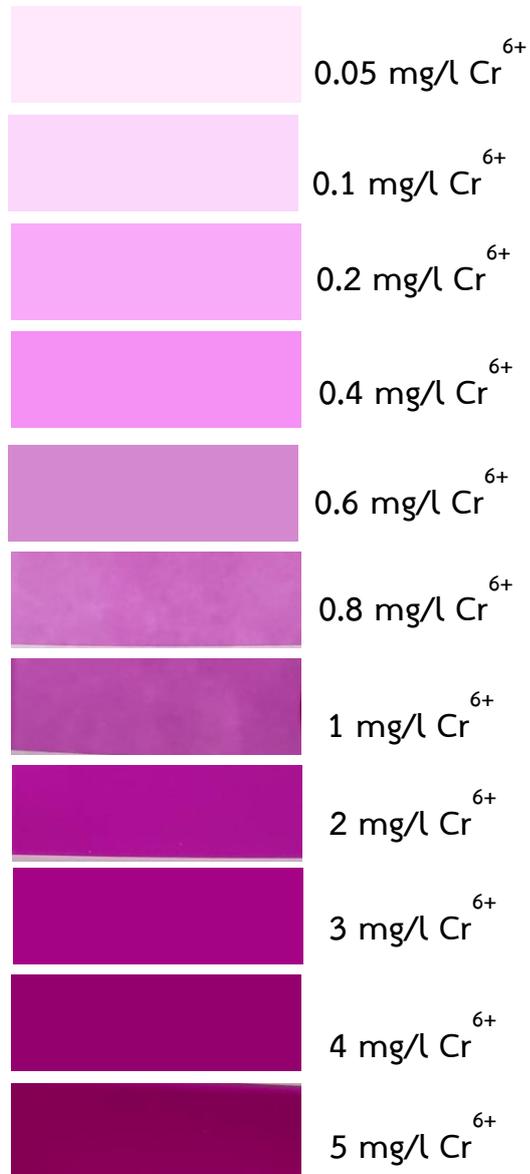


ภาพที่ 20 แสดงการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 สร้างแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

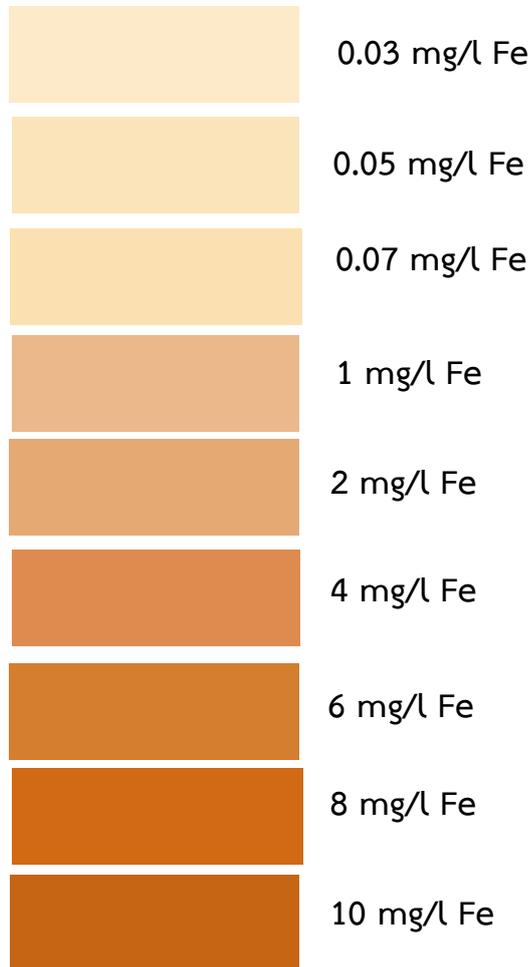
จากการทดสอบปฏิบัติการเกิดสีของสารละลายมาตรฐานของโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) และสารละลายมาตรฐานของเหล็ก (Fe) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ สามารถสร้างแถบสีมาตรฐานได้ดังภาพที่ 21 และภาพที่ 22 ตามลำดับ ดังนี้

ไม่มีสี แสดงว่า น้อยกว่า 0.05 mg/l Cr⁶⁺



ภาพที่ 21 แถบสีมาตรฐานของ Cr⁶⁺ ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 ถึง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไม่มีสี แสดงว่า น้อยกว่า 0.03 mg/l Fe



ภาพที่ 22 แถบสีมาตรฐานของ Fe ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 ถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4 ผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย

4.4.1 ผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr^{6+}

สามารถแสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr^{6+} กับ tap water, canal water (ERTC) และ waste water ได้ดังตารางที่ 2 ถึง 4

4.4.2 ผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Fe

สามารถแสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Fe กับ tap water, canal water (ERTC) และ waste water ได้ดังตารางที่ 5 ถึง 7

ตารางที่ 2 แสดงผลการการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr⁶⁺ กับ tap water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

	Standard Cr ⁶⁺ , mg/L										
	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
	Concentration found, mg/L										
	0.0544	0.1056	0.2124	0.4117	0.6124	0.8131	0.9468	2.1609	3.2781	4.2789	5.1776
	0.0544	0.1085	0.2095	0.4102	0.6152	0.8074	0.9433	2.1644	3.2781	4.2226	5.1389
	0.0558	0.1085	0.2110	0.4131	0.6209	0.8216	0.9503	2.1521	3.2922	4.3054	5.2499
	0.0544	0.1085	0.2124	0.4131	0.6124	0.8102	0.9468	2.1609	3.2939	4.3300	5.1107
	0.0515	0.1070	0.2138	0.4060	0.6152	0.8131	0.9503	2.1591	3.2922	4.2948	5.0948
	0.0572	0.1085	0.2138	0.4188	0.6266	0.8202	0.9574	2.1644	3.2851	4.2261	5.0472
	0.0558	0.1099	0.2138	0.4202	0.6238	0.8216	0.9609	2.1556	3.2851	4.2190	5.1565
	0.0544	0.1099	0.2138	0.4174	0.6195	0.8131	0.9644	2.1538	3.2816	4.3300	5.1071
	0.0544	0.1099	0.2152	0.4202	0.6195	0.8216	0.9556	2.1503	3.2816	4.2983	5.2270
	0.0544	0.1099	0.2138	0.4174	0.6252	0.8259	0.9468	2.1521	3.2816	4.2719	5.1547
Average found, mg/L	0.0547	0.1086	0.2130	0.4148	0.6191	0.8168	0.9522	2.1574	3.2849	4.2777	5.1464
Standard Deviation (SD)	0.0015	0.0014	0.0017	0.0047	0.0052	0.0061	0.0070	0.0053	0.0059	0.0424	0.0612
%RSD	2.7	1.3	0.8	1.1	0.8	0.7	0.7	0.2	0.2	1.0	1.2
STD, mg/L	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
%Recovery	109	109	106	104	103	102	95	108	109	107	103

ตารางที่ 3 แสดงผลการการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr⁶⁺ กับ canal water (ERTC) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

	Standard Cr ⁶⁺ , mg/L										
	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
	Concentration found, mg/L										
	0.0530	0.1014	0.2095	0.4188	0.6095	0.7974	0.9415	1.9829	2.8763	4.0076	4.8886
	0.0544	0.0985	0.2138	0.4159	0.6081	0.7960	0.9133	1.9811	2.8411	4.0093	5.0789
	0.0530	0.1028	0.2152	0.4245	0.6124	0.8088	0.9292	2.0058	3.0226	4.1098	4.8693
	0.0515	0.1014	0.2024	0.4188	0.6110	0.8017	0.9362	1.9741	2.9838	4.0851	4.9574
	0.0530	0.1042	0.2124	0.4174	0.6195	0.8060	0.9239	1.9071	2.9979	4.0481	4.8463
	0.0530	0.1028	0.2138	0.4259	0.6181	0.8102	0.9256	2.0164	3.0419	4.0886	4.8904
	0.0544	0.1085	0.2181	0.4273	0.6209	0.8102	0.9151	1.9864	3.0560	3.9847	4.9133
	0.0544	0.1042	0.2195	0.4231	0.6195	0.8017	0.9362	1.9935	2.9133	4.0992	5.0102
	0.0544	0.1014	0.2181	0.4288	0.6138	0.8117	0.9380	2.0005	2.9115	4.1045	4.5732
	0.0530	0.1028	0.2181	0.4259	0.6223	0.8074	0.9415	2.0552	2.9979	3.9882	5.0455
Average found, mg/L	0.0534	0.1028	0.2141	0.4226	0.6155	0.8051	0.9300	1.9903	2.9642	4.0525	4.9073
Standard Deviation (SD)	0.0010	0.0026	0.0051	0.0046	0.0051	0.0056	0.0104	0.0374	0.0736	0.0507	0.1411
%RSD	1.8	2.5	2.4	1.1	0.8	0.7	1.1	1.9	2.5	1.3	2.9
STD, mg/L	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
%Recovery	108	103	107	106	103	101	93	100	99	101	98

ตารางที่ 4 แสดงผลการการศึกษาค่าความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr⁶⁺ กับ waste water (ERTC) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

	Standard Cr ⁶⁺ , mg/L										
	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
	Concentration found, mg/L										
	0.0534	0.1046	0.2014	0.3993	0.6014	0.7865	0.9174	2.0433	3.0989	4.1878	4.8328
	0.0548	0.1032	0.1986	0.3993	0.6014	0.8036	0.9226	2.0240	2.9896	4.1473	4.9438
	0.0548	0.1046	0.2000	0.4036	0.5972	0.8064	0.9262	2.0416	3.0777	4.2548	4.8451
	0.0548	0.1018	0.2043	0.3979	0.6000	0.8050	0.9297	2.0433	3.1323	4.2337	4.9456
	0.0548	0.1060	0.2043	0.4007	0.6057	0.7964	0.9244	2.0099	3.1077	4.1861	5.0072
	0.0520	0.1060	0.2071	0.4064	0.6014	0.8135	0.9209	2.0751	3.1041	4.1826	5.0848
	0.0520	0.1060	0.2085	0.4107	0.6142	0.8093	0.9262	2.0715	3.1746	4.2231	5.0266
	0.0548	0.1075	0.2100	0.4093	0.6071	0.8093	0.9226	2.0363	3.1588	4.2107	4.8980
	0.0548	0.1089	0.2057	0.4050	0.6057	0.8064	0.9226	2.0786	3.1729	4.1737	4.8328
	0.0562	0.1046	0.2085	0.4078	0.6043	0.7922	0.9315	2.0363	3.1852	4.1826	5.0830
Average found, mg/L	0.0542	0.1053	0.2048	0.4040	0.6038	0.8028	0.9244	2.0460	3.1202	4.1982	4.9500
Standard Deviation (SD)	0.0014	0.0020	0.0039	0.0046	0.0047	0.0085	0.0042	0.0225	0.0590	0.0319	0.0979
%RSD	2.5	1.9	1.9	1.1	0.8	1.1	0.4	1.1	1.9	0.8	2.0
STD, mg/L	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
%Recovery	108	105	102	101	101	100	92	102	104	105	99

ตารางที่ 5 แสดงผลการการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Fe กับ tap water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

	Standard Fe , mg/L								
	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
	Concentration found, mg/L								
	0.2904	0.5195	0.7661	1.0764	2.0710	3.9689	5.8668	7.7887	9.8222
	0.3142	0.5274	0.7343	1.0366	2.0710	3.9051	5.8987	7.9402	9.5112
	0.3063	0.5036	0.7502	1.0127	2.1188	3.8573	5.8349	7.9242	9.5351
	0.3142	0.5115	0.7422	1.0366	2.0710	3.9211	5.9386	7.8285	9.7743
	0.3222	0.5115	0.7502	1.0525	2.0710	3.8732	5.9625	7.9242	9.8541
	0.3222	0.5115	0.7502	1.0764	2.1826	4.0407	6.0981	8.2352	9.7026
	0.2983	0.5195	0.7422	1.0843	2.1188	3.9769	6.1061	7.9322	9.7903
	0.3063	0.5274	0.7502	1.0843	2.1746	3.9689	6.0981	8.0120	9.9896
	0.3222	0.5036	0.7502	1.0923	2.1348	3.9211	6.0901	8.3549	9.7105
	0.3063	0.5115	0.7502	1.0923	2.0789	3.9769	6.2097	8.0279	9.7584
Average found, mg/L	0.3103	0.5147	0.7486	1.0644	2.1093	3.9410	6.0104	7.9968	9.7448
Standard Deviation (SD)	0.0108	0.0086	0.0082	0.0279	0.0438	0.0555	0.1256	0.1751	0.1424
%RSD	3.5	1.7	1.1	2.6	2.1	1.4	2.1	2.2	1.5
STD, mg/L	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
%Recovery	103	103	107	106	105	99	100	100	97

ตารางที่ 6 แสดงผลการการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Fe กับ canal water (ERTC) ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

	Standard Fe , mg/L								
	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
	Concentration found, mg/L								
	0.2808	0.4479	0.6786	0.9650	1.9434	3.9131	5.8589	7.7329	9.9258
	0.2808	0.4797	0.6547	0.9968	1.9514	3.9848	5.9864	8.1236	9.9258
	0.2967	0.4558	0.6786	0.9730	1.9434	3.9211	5.7711	8.0997	10.0136
	0.3126	0.4558	0.6706	0.9730	1.9514	3.9769	5.7871	8.1396	9.9577
	0.2808	0.4638	0.6866	0.9809	1.9434	3.9211	5.9944	7.9960	9.4713
	0.3047	0.4718	0.7025	1.0127	1.9992	4.1045	5.5957	8.2751	9.9338
	0.2967	0.4638	0.6866	0.9968	1.9912	4.0327	6.0024	8.1396	9.9737
	0.2967	0.4797	0.6866	0.9809	2.0072	4.0486	6.1300	8.1954	10.0056
	0.2808	0.4877	0.6866	0.9809	2.0072	4.0486	5.5239	8.1715	9.9976
	0.2967	0.4718	0.7025	1.0048	2.0072	4.0486	6.1380	8.2432	9.9498
Average found, mg/L	0.2928	0.4678	0.6834	0.9865	1.9745	4.0000	5.8788	8.1116	9.9155
Standard Deviation (SD)	0.0114	0.0126	0.0141	0.0155	0.0299	0.0666	0.2100	0.1540	0.1594
%RSD	3.9	2.7	2.1	1.6	1.5	1.7	3.6	1.9	1.6
STD, mg/L	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
%Recovery	98	94	98	99	99	100	98	101	99

ตารางที่ 7 แสดงผลการการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Fe กับ waste water ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

	Standard Fe , mg/L								
	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
	Concentration found, mg/L								
	0.2768	0.4598	0.6508	0.9451	1.8278	3.7177	5.6236	7.5933	9.2520
	0.2848	0.4598	0.6667	0.9451	1.8198	3.6938	5.6236	7.6970	9.1643
	0.2848	0.4519	0.6587	0.9849	1.8278	3.7416	5.5678	7.5136	9.3557
	0.2928	0.4439	0.6428	0.9769	1.8517	3.6858	5.7113	7.6970	9.2201
	0.2848	0.4598	0.6746	0.9849	1.8517	3.6539	5.7273	7.6013	9.2201
	0.3007	0.4678	0.6746	0.9531	1.9075	3.7735	5.6475	7.6890	9.3636
	0.2848	0.4519	0.6746	0.9610	1.8278	3.7097	5.6635	7.7767	9.3876
	0.2928	0.4757	0.6667	0.9690	1.8995	3.7257	5.6236	7.6411	9.5470
	0.3087	0.4757	0.6746	0.9690	1.8278	3.7177	5.6475	7.7608	9.5311
	0.3166	0.4757	0.6746	0.9610	1.8995	3.7097	5.4960	7.6651	9.5789
Average found, mg/L	0.2928	0.4622	0.6659	0.9650	1.8541	3.7129	5.6332	7.6635	9.3620
Standard Deviation (SD)	0.0124	0.0113	0.0115	0.0146	0.0349	0.0322	0.0664	0.0795	0.1498
%RSD	4.2	2.4	1.7	1.5	1.9	0.9	1.2	1.0	1.6
STD, mg/L	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
%Recovery	98	92	95	96	93	93	94	96	94

4.5 วิจารณ์ผลการศึกษา

จากตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 7 แสดงผลการศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบ Cr^{6+} และชุดทดสอบ Fe โดยหาเปอร์เซ็นต์กลับคืน (% recovery) และ % Relative Standard Deviation (%RSD) โดยเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยอะตอมมิกแอบซอร์บชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ใน tap water, canal water (ERTC) และ waste water ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตรสำหรับการทดสอบ Cr^{6+} และที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตรสำหรับการทดสอบ Fe พบว่ามีผลการทดสอบดังนี้

4.5.1 ชุดทดสอบ Cr^{6+} ที่ได้ spike สารมาตรฐานโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ลงใน tap water ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 109 และ %RSD เท่ากับ 2.7 ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 109 และ %RSD เท่ากับ 1.3 ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 104 และ %RSD เท่ากับ 1.1 ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 104 และ %RSD เท่ากับ 1.1 ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 103 และ %RSD เท่ากับ 0.8 ที่ระดับความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 102 และ %RSD เท่ากับ 0.7 ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 95 และ %RSD เท่ากับ 0.7 ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 108 และ %RSD เท่ากับ 0.2 ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 109 และ %RSD เท่ากับ 0.2 ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 107 และ %RSD เท่ากับ 1.0 ที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 103 และ %RSD เท่ากับ 1.2

4.5.2 ชุดทดสอบ Cr^{6+} ที่ได้ spike สารมาตรฐานโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ลงใน canal water (ERTC) ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 107 และ %RSD เท่ากับ 2.2 ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 103 และ %RSD เท่ากับ 2.5 ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 107 และ %RSD เท่ากับ 2.4 ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 106 และ %RSD เท่ากับ 1.1 ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 103 และ %RSD เท่ากับ 0.8 ที่ระดับความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 101 และ %RSD เท่ากับ 0.7 ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 93 และ %RSD เท่ากับ 1.1 ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 100 และ %RSD เท่ากับ 1.9 ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 99 และ %RSD เท่ากับ 2.5 ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ

99 และ %RSD เท่ากับ 1.5 ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 100 และ %RSD เท่ากับ 1.7 ที่ระดับความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 98 และ %RSD เท่ากับ 3.6 ที่ระดับความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 101 และ %RSD เท่ากับ 1.9 ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 99 และ %RSD เท่ากับ 1.6

4.5.6 ชุดทดสอบ Fe ที่ได้ spike สารมาตรฐานโครเมียมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ลงใน waste water ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 98 และ %RSD เท่ากับ 4.2 ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 92 และ %RSD เท่ากับ 2.4 ที่ระดับความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 95 และ %RSD เท่ากับ 1.7 ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 96 และ %RSD เท่ากับ 1.5 ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 93 และ %RSD เท่ากับ 1.9 ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 93 และ %RSD เท่ากับ 0.9 ที่ระดับความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 93 และ %RSD เท่ากับ 1.2 ที่ระดับความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 96 และ %RSD เท่ากับ 1.0 ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่าเปอร์เซ็นต์กลับคืน (%recovery) เท่ากับ 94 และ %RSD เท่ากับ 1.6

จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาข้างต้นนั้น พบว่า ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับการทดสอบ Cr^{6+} มีค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง 92 ถึง 109 และค่าความแม่นยำอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 2.9 และสำหรับการทดสอบ Fe มีค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง 92 ถึง 107 และค่าความแม่นยำอยู่ในช่วง 0.9 ถึง 4.2 โดยเกณฑ์การยอมรับค่าความถูกต้อง (% recovery) ทั่วไปนั้น จะอยู่ในช่วง 90 ถึง 110 และ %RSD โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 9 แสดงให้เห็นว่าชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายชุดนี้ สามารถนำไปใช้ในภาคสนามได้ มีค่าความถูกต้องและแม่นยำอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาในระดับความเข้มข้นที่ชุดทดสอบสามารถตรวจวัดได้ด้วยวิธีการเปรียบเทียบสี และศึกษาความถูกต้องและแม่นยำของชุดทดสอบโดยเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) จะอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับ 1,5-diphenylcarbazide ในสภาวะกรด เกิดสารประกอบสีแดงม่วง จากการศึกษาพบว่า ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายนี้ สามารถหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ได้ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร และประเมินชุดทดสอบหาปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (Cr^{6+}) ด้วยการหาเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) ของการทดสอบกับ Tap water Canal water (ERTC) และ Waste water ที่ระดับความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ได้เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) อยู่ระหว่าง 92 ถึง 109 และค่าความแม่นยำ (Precision) ของการทดสอบกับ Tap water Canal water (ERTC) และ Waste water พบว่า ได้ค่า % relative standard deviation (%RSD) อยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 2.9 สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) จะมีการเปลี่ยนรูป Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ด้วยสารละลายไฮดรอกซิลามีน (Hydroxylamine) หลังจากนั้น Fe^{2+} ทั้งหมดจะเกิดปฏิกิริยากับ 1,10-phenanthroline ที่พีเอช ประมาณ 3.2 ถึง 5.5 เกิดสารประกอบสีแดงส้ม จากการศึกษาพบว่า ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายนี้ สามารถหาปริมาณเหล็ก (Fe) ได้ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและประเมินชุดทดสอบหาปริมาณเหล็ก (Fe) ด้วยการหาเปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) ของการทดสอบกับ Tap water Canal water (ERTC) และ Waste water ที่ระดับความเข้มข้น 0.3, 0.5, 0.7, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ได้เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (% recovery) เท่ากับ อยู่ระหว่าง 92 ถึง 107 และค่าความแม่นยำ (Precision) ของการทดสอบกับ Tap water Canal water (ERTC) และ Waste water พบว่า ได้ค่า % relative standard deviation (%RSD) เท่ากับ อยู่ระหว่าง 0.9 ถึง 4.2

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา พบว่า สีของสารควรมีความเข้มมากพอที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาและสามารถวัดการดูดกลืนของแสงได้ โดยที่สีของสารที่อยู่ในสารละลายจะต้องอยู่ตัวไม่จางลงอย่างรวดเร็ว และต้องไม่เปลี่ยนแปลงหรือจางลง เมื่อพีเอชหรืออุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และสารเคมีที่ทำให้เกิดสีกับสารที่เราต้องการวิเคราะห์นั้น จะต้องไม่มีสีและไม่ดูดกลืนแสงที่มีช่วงคลื่นเดียวกันกับสารที่มีสีที่เกิดขึ้น ซึ่งแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่านั้น จะอยู่ในช่วง visible region เป็นช่วงคลื่นที่แคบ ๆ ของสเปกตรัม มีช่วงคลื่นตั้งแต่ 380 นาโนเมตร (แสงสีม่วง) ถึง 780 นาโนเมตร (แสงสีแดง) โดยความผิดพลาดของชุดทดสอบนั้น จะเกิดจากการมองเห็นสีที่แตกต่างกันของแต่ละบุคคล

เอกสารอ้างอิง

- มันสิน ต้นทุลเวศม์. (2546). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณันท์ ศุภพิพัฒน์ (2540). อาหาร โภชนาการและสารเป็นพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แสงการพิมพ์.
- รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล (2545). ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2545). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- Sawyer, C., McCarty, P. and Parkin, G., Chemistry for environmental engineering and science, 5th ed., McGrawhill, Singapore, 2003.
- Y.A.Zolotov, V.M.Ivanov and V.G. Amelin, Test Methods for Extra-laboratory Analysis, Trends in Analytical Chemistry Vol. 21, no.4, 2002.
- W.Chen, Y.Wu, D.Gu and F.Gan, Synthesis, optical and thermal characterization of novel thiazolyl heterocyclic azo dye Materials Letters Volume 61, Issues 19-20, August 2007, Pages 4181-4184
- http://microwaterman.com/Alkalive_pH/Alkalive_Ph_Test_stix.html
- <http://www.lenntech.com/periodic-chart.htm>
- <http://www.heavymetalstest.com/>
- http://webphysics.iupui.edu/webscience/bio_archive/goodfor3.html
- <http://www.siamchemi.com/%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%AB%E0%B8%B0%E0%B8%AA%E0%B8%99%E0%B8%B1%E0%B8%81/>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลค่าวัดการดูดกลืนของแสง

ภาคผนวก ก
ข้อมูลค่าวัดการดูดกลืนของแสง

1. ค่าวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} สำหรับการสร้างกราฟมาตรฐาน

ครั้งที่	ค่า Absorbance ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)											
	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
1	0.031	0.064	0.140	0.285	0.420	0.559	0.692	1.343	1.967	2.478	2.923	0.031
2	0.031	0.064	0.139	0.285	0.423	0.552	0.676	1.340	1.949	2.482	2.988	0.031
3	0.032	0.064	0.140	0.283	0.423	0.558	0.691	1.334	1.907	2.466	2.932	0.032
4	0.033	0.064	0.137	0.286	0.417	0.554	0.685	1.340	1.953	2.473	2.808	0.033
5	0.031	0.064	0.136	0.286	0.420	0.553	0.691	1.334	1.942	2.471	2.906	0.031
6	0.031	0.064	0.140	0.288	0.417	0.554	0.683	1.341	1.929	2.521	2.974	0.031
7	0.031	0.064	0.141	0.287	0.421	0.562	0.688	1.349	1.964	2.524	2.973	0.031
8	0.031	0.064	0.141	0.287	0.417	0.557	0.689	1.339	1.960	2.497	2.960	0.031
9	0.033	0.064	0.140	0.287	0.422	0.556	0.691	1.336	1.931	2.527	2.970	0.033
10	0.033	0.064	0.140	0.287	0.422	0.553	0.689	1.343	1.944	2.530	3.029	0.033
Average	0.0317	0.0640	0.1394	0.2861	0.4202	0.5558	0.6875	1.3399	1.9446	2.4969	2.9463	0.0317
SD	0.0009	0.0000	0.0016	0.0014	0.0024	0.0032	0.0049	0.0046	0.0184	0.0260	0.0599	0.0009
%RSD	3.0	0.0	1.2	0.5	0.6	0.6	0.7	0.3	0.9	1.0	2.0	3.0

2. ค่าวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} กับ tap water

ครั้งที่	ค่า Absorbance ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)											
	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
1	-0.003	0.036	0.072	0.147	0.287	0.428	0.569	0.718	1.407	2.041	2.609	3.119
2	-0.002	0.036	0.074	0.145	0.286	0.43	0.565	0.716	1.409	2.041	2.577	3.097
3	-0.003	0.037	0.074	0.146	0.288	0.434	0.575	0.72	1.402	2.049	2.624	3.16
4	-0.003	0.036	0.074	0.147	0.288	0.428	0.567	0.718	1.407	2.05	2.638	3.081
5	-0.003	0.034	0.073	0.148	0.283	0.43	0.569	0.72	1.406	2.049	2.618	3.072
6	-0.003	0.038	0.074	0.148	0.292	0.438	0.574	0.724	1.409	2.045	2.579	3.045
7	-0.003	0.037	0.075	0.148	0.293	0.436	0.575	0.726	1.404	2.045	2.575	3.107
8	-0.003	0.036	0.075	0.148	0.291	0.433	0.569	0.728	1.403	2.043	2.638	3.079
9	0.001	0.036	0.075	0.149	0.293	0.433	0.575	0.723	1.401	2.043	2.62	3.147
10	0.001	0.036	0.075	0.148	0.291	0.437	0.578	0.718	1.402	2.043	2.605	3.106
Average	-0.0021	0.0362	0.0741	0.1474	0.2892	0.4327	0.5716	0.7211	1.4050	2.0449	2.6083	3.1060
SD	0.0017	0.0010	0.0010	0.0012	0.0033	0.0036	0.0043	0.0040	0.0030	0.0033	0.0240	0.0347
%RSD	-79.2	2.9	1.3	0.8	1.2	0.8	0.8	0.5	0.2	0.2	0.9	1.1

3. ค่าวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Cr⁶⁺ กับ canal water (ERTC)

ครั้งที่	ค่า Absorbance ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)											
	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
1	0.07	0.1	0.141	0.217	0.364	0.498	0.63	0.787	1.378	1.885	2.527	3.027
2	0.071	0.1	0.139	0.22	0.362	0.497	0.629	0.771	1.377	1.865	2.528	3.135
3	0.07	0.11	0.142	0.221	0.368	0.5	0.638	0.78	1.391	1.968	2.585	3.016
4	0.07	0.111	0.141	0.212	0.364	0.499	0.633	0.784	1.373	1.946	2.571	3.066
5	0.071	0.11	0.143	0.219	0.363	0.505	0.636	0.777	1.335	1.954	2.55	3.003
6	0.07	0.111	0.142	0.22	0.369	0.504	0.639	0.778	1.397	1.979	2.573	3.028
7	0.068	0.111	0.146	0.223	0.37	0.506	0.639	0.772	1.38	1.987	2.514	3.041
8	0.068	0.108	0.143	0.224	0.367	0.505	0.633	0.784	1.384	1.906	2.579	3.096
9	0.072	0.108	0.141	0.223	0.371	0.501	0.64	0.785	1.388	1.905	2.582	2.848
10	0.072	0.107	0.142	0.223	0.369	0.507	0.637	0.787	1.419	1.954	2.516	3.116
Average	0.0702	0.1076	0.1420	0.2230	0.3690	0.5022	0.6354	0.7805	1.3822	1.9349	2.5525	3.0376
SD	0.0014	0.0042	0.0018	0.0036	0.0032	0.0036	0.0039	0.0059	0.0212	0.0418	0.0288	0.0801
%RSD	2.0	3.9	1.3	1.6	0.9	0.7	0.6	0.8	1.5	2.2	1.1	2.6

4. ค่าวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Cr⁶⁺ กับ waste water

ครั้งที่	ค่า Absorbance ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)											
	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
1	0.059	0.095	0.131	0.199	0.338	0.48	0.61	0.761	1.4	1.999	2.617	2.983
2	0.06	0.096	0.13	0.197	0.338	0.48	0.622	0.764	1.389	1.937	2.594	3.046
3	0.059	0.096	0.131	0.198	0.341	0.477	0.624	0.766	1.399	1.987	2.655	2.99
4	0.059	0.096	0.129	0.201	0.337	0.479	0.623	0.768	1.4	2.018	2.643	3.047
5	0.06	0.096	0.132	0.201	0.339	0.483	0.617	0.765	1.381	2.004	2.616	3.082
6	0.06	0.094	0.132	0.203	0.343	0.48	0.629	0.763	1.418	2.002	2.614	3.126
7	0.06	0.094	0.132	0.204	0.346	0.489	0.626	0.766	1.416	2.042	2.637	3.093
8	0.06	0.096	0.133	0.205	0.345	0.484	0.626	0.764	1.396	2.033	2.63	3.02
9	0.06	0.096	0.134	0.202	0.342	0.483	0.624	0.764	1.42	2.041	2.609	2.983
10	0.06	0.097	0.131	0.204	0.344	0.482	0.614	0.769	1.396	2.048	2.614	3.125
Average	0.0597	0.0956	0.1315	0.2014	0.3413	0.4817	0.6215	0.7650	1.4015	2.0111	2.6229	3.0495
SD	0.0005	0.0010	0.0014	0.0027	0.0032	0.0033	0.0060	0.0024	0.0128	0.0335	0.0181	0.0556
%RSD	0.8	1.0	1.1	1.3	0.9	0.7	1.0	0.3	0.9	1.7	0.7	1.8

5. ค่าวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Fe สำหรับการสร้างกราฟมาตรฐาน

ครั้งที่	ค่า Absorbance ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)									
	0	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
1	0.041	0.062	0.091	0.127	0.26	0.507	0.781	0.986	1.261	0.041
2	0.041	0.066	0.088	0.131	0.261	0.516	0.767	1.035	1.261	0.041
3	0.043	0.063	0.091	0.128	0.26	0.508	0.74	1.032	1.272	0.043
4	0.045	0.063	0.09	0.128	0.261	0.515	0.742	1.037	1.265	0.045
5	0.041	0.064	0.092	0.129	0.26	0.508	0.768	1.019	1.204	0.041
6	0.044	0.065	0.094	0.133	0.267	0.531	0.718	1.054	1.262	0.044
7	0.043	0.064	0.092	0.131	0.266	0.522	0.769	1.037	1.267	0.043
8	0.043	0.066	0.092	0.129	0.268	0.524	0.785	1.044	1.271	0.043
9	0.041	0.067	0.092	0.129	0.268	0.524	0.709	1.041	1.27	0.041
10	0.043	0.065	0.094	0.132	0.268	0.524	0.786	1.05	1.264	0.043
Average	0.0425	0.0645	0.0916	0.1297	0.2639	0.5179	0.7565	1.0335	1.2597	0.0425
SD	0.0014	0.0016	0.0018	0.0019	0.0038	0.0083	0.0277	0.0193	0.0200	0.0014
%RSD	3.4	2.5	1.9	1.5	1.4	1.6	3.7	1.9	1.6	3.4

6. ค่าวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Fe กับ tap water

ครั้งที่	ค่า Absorbance ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)									
	0	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
1	0.001	0.04	0.07	0.101	0.14	0.275	0.513	0.751	0.992	1.247
2	0.001	0.043	0.071	0.097	0.135	0.275	0.505	0.755	1.011	1.208
3	0.001	0.042	0.068	0.099	0.132	0.281	0.499	0.747	1.009	1.211
4	0.002	0.043	0.069	0.098	0.135	0.275	0.507	0.76	0.997	1.241
5	0.002	0.044	0.069	0.099	0.137	0.275	0.501	0.763	1.009	1.251
6	0.002	0.044	0.069	0.099	0.14	0.289	0.522	0.78	1.048	1.232
7	0.001	0.041	0.07	0.098	0.141	0.281	0.514	0.781	1.01	1.243
8	0.001	0.042	0.071	0.099	0.141	0.288	0.513	0.78	1.02	1.268
9	0.000	0.044	0.068	0.099	0.142	0.283	0.507	0.779	1.063	1.233
10	0.001	0.042	0.069	0.099	0.142	0.276	0.514	0.794	1.022	1.239
Average	0.0012	0.0425	0.0694	0.0988	0.1385	0.2798	0.5095	0.7690	1.0181	1.2373
SD	0.0006	0.0014	0.0011	0.0010	0.0035	0.0055	0.0070	0.0157	0.0220	0.0179
%RSD	52.7	3.2	1.5	1.0	2.5	2.0	1.4	2.0	2.2	1.4

7. ค่าวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Fe กับ canal water (ERTC)

ครั้งที่	ค่า Absorbance ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)									
	0	0.3	0.5	0.7	1	2	4	6	8	10
1	0.003	0.041	0.062	0.091	0.127	0.26	0.507	0.751	0.986	1.261
2	0.004	0.041	0.066	0.088	0.131	0.261	0.516	0.767	1.035	1.261
3	0.004	0.043	0.063	0.091	0.128	0.26	0.508	0.74	1.032	1.272
4	0.004	0.045	0.063	0.09	0.128	0.261	0.515	0.742	1.037	1.265
5	0.003	0.041	0.064	0.092	0.129	0.26	0.508	0.768	1.019	1.204
6	0.001	0.044	0.065	0.094	0.133	0.267	0.531	0.718	1.054	1.262
7	0.001	0.043	0.064	0.092	0.131	0.266	0.522	0.769	1.037	1.267
8	0.001	0.043	0.066	0.092	0.129	0.268	0.524	0.785	1.044	1.271
9	0.001	0.041	0.067	0.092	0.129	0.268	0.524	0.709	1.041	1.27
10	0.000	0.043	0.065	0.094	0.132	0.268	0.524	0.786	1.05	1.264
Average	0.0022	0.0425	0.0645	0.0916	0.1297	0.2639	0.5179	0.7535	1.0335	1.2597
SD	0.0015	0.0014	0.0016	0.0018	0.0019	0.0038	0.0083	0.0263	0.0193	0.0200
%RSD	70.4	3.4	2.5	1.9	1.5	1.4	1.6	3.5	1.9	1.6

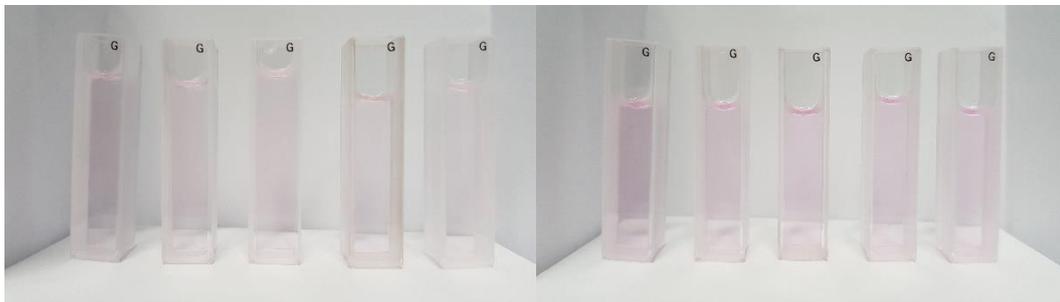
8. ค่าวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน Cr⁶⁺ กับ waste water

ครั้งที่	ค่า Absorbance											
	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5
1	0.001	0.039	0.062	0.086	0.123	0.244	0.481	0.72	0.967	1.175	0.001	0.039
2	0.000	0.04	0.062	0.088	0.123	0.243	0.478	0.72	0.98	1.164	0.000	0.04
3	0.000	0.04	0.061	0.087	0.128	0.244	0.484	0.713	0.957	1.188	0.000	0.04
4	0.000	0.041	0.06	0.085	0.127	0.247	0.477	0.731	0.98	1.171	0.000	0.041
5	0.002	0.04	0.062	0.089	0.128	0.247	0.473	0.733	0.968	1.171	0.002	0.04
6	0.001	0.042	0.063	0.089	0.124	0.254	0.488	0.723	0.979	1.189	0.001	0.042
7	0.001	0.04	0.061	0.089	0.125	0.244	0.48	0.725	0.99	1.192	0.001	0.04
8	0.000	0.041	0.064	0.088	0.126	0.253	0.482	0.72	0.973	1.212	0.000	0.041
9	0.001	0.043	0.064	0.089	0.126	0.244	0.481	0.723	0.988	1.21	0.001	0.043
10	0.001	0.044	0.064	0.089	0.125	0.253	0.48	0.704	0.976	1.216	0.001	0.044
Average	0.0007	0.0410	0.0623	0.0879	0.1255	0.2473	0.4804	0.7212	0.9758	1.1888	0.0007	0.0410
SD	0.0007	0.0016	0.0014	0.0014	0.0018	0.0044	0.0040	0.0083	0.0100	0.0188	0.0007	0.0016
%RSD	96.4	3.8	2.3	1.6	1.5	1.8	0.8	1.2	1.0	1.6	96.4	3.8

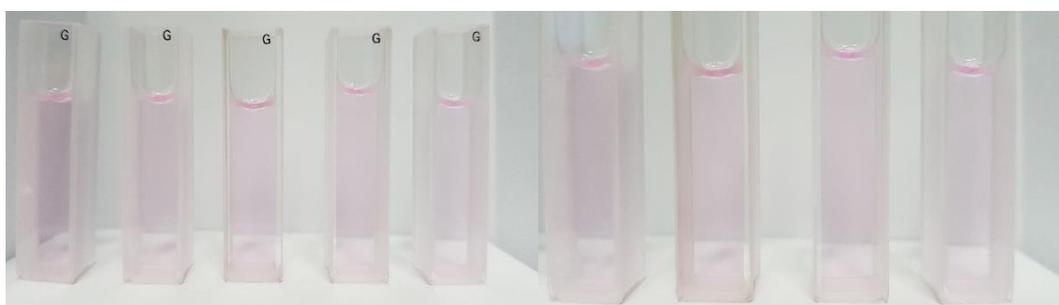
ภาคผนวก ข

ข้อมูลการเกิดสีของชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย

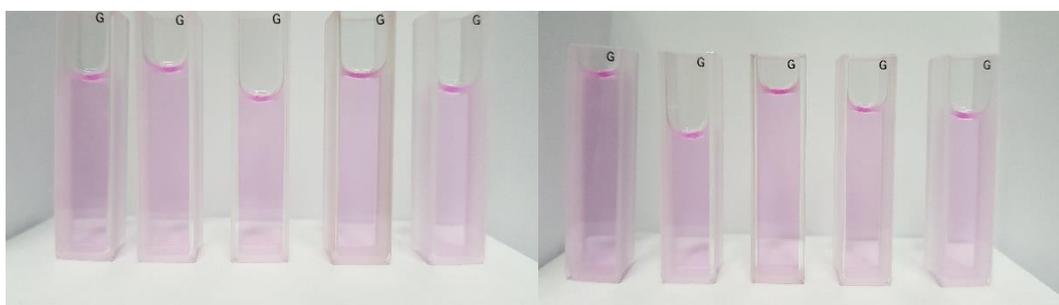
1. ข้อมูลการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ใน tap water



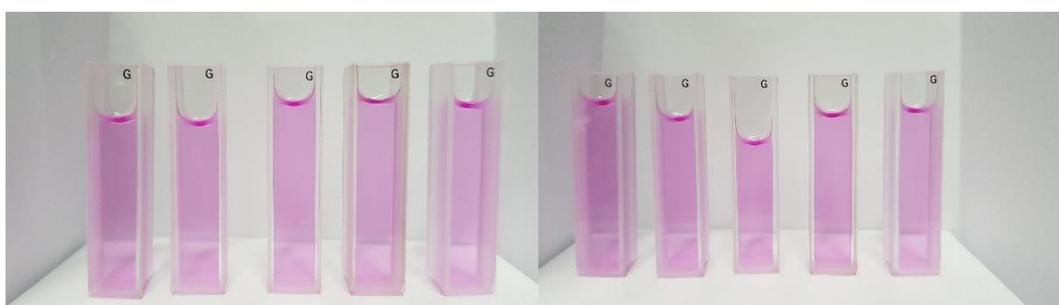
ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร



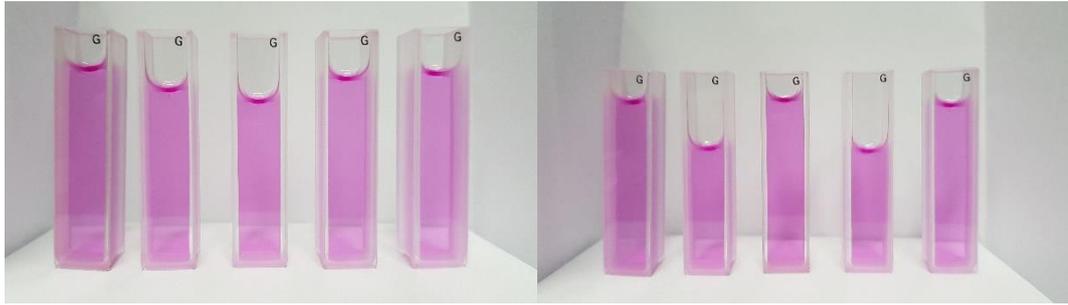
ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร



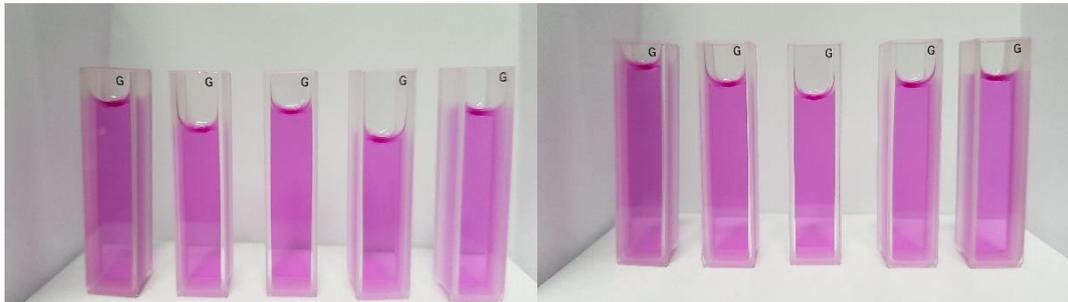
ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร



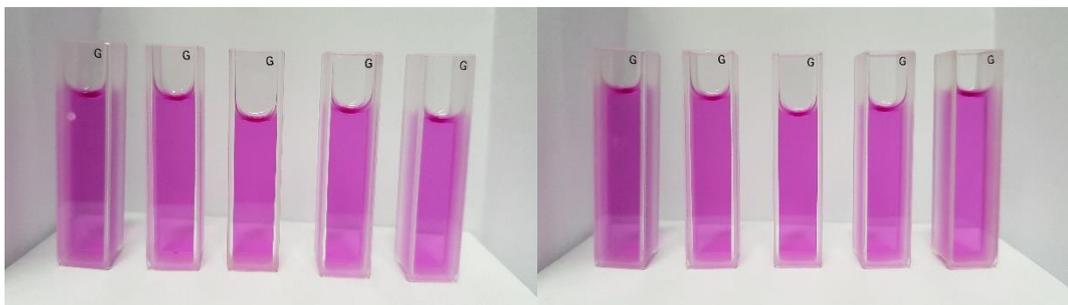
ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร



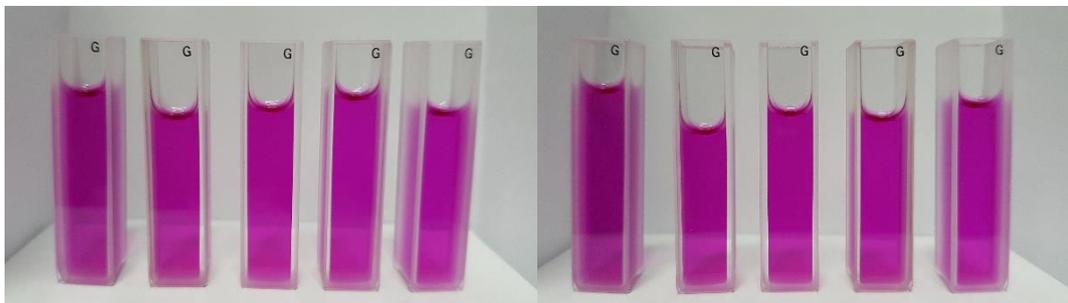
ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร



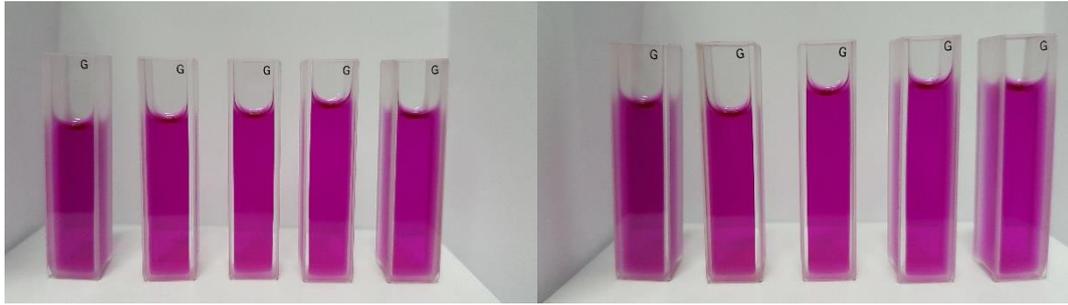
ที่ระดับความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร



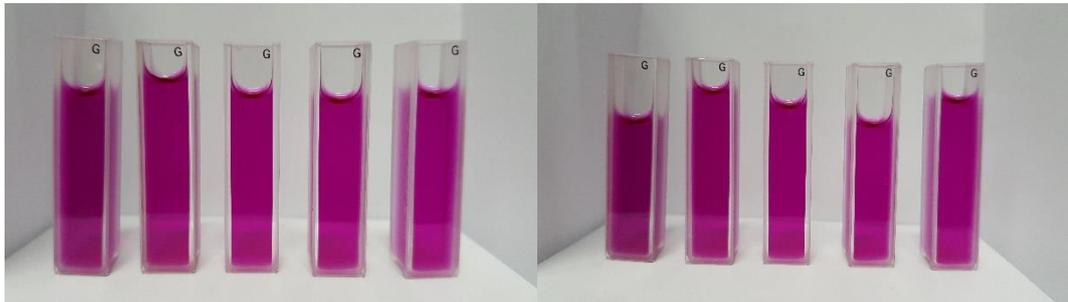
ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร



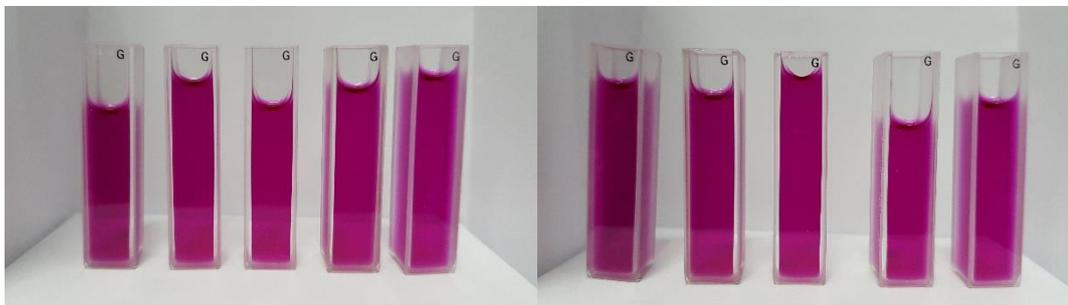
ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

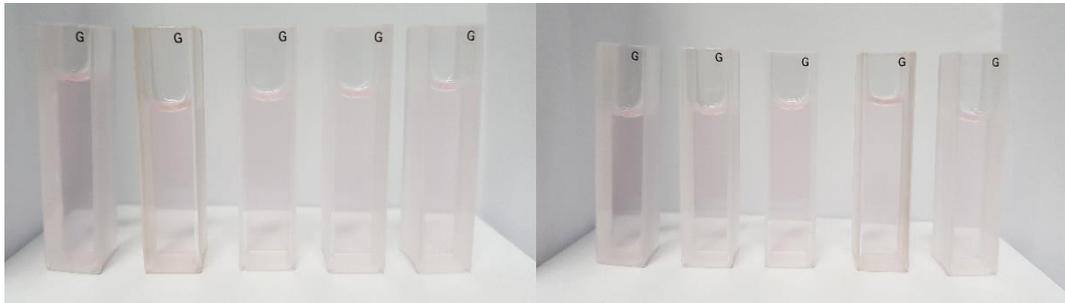


ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

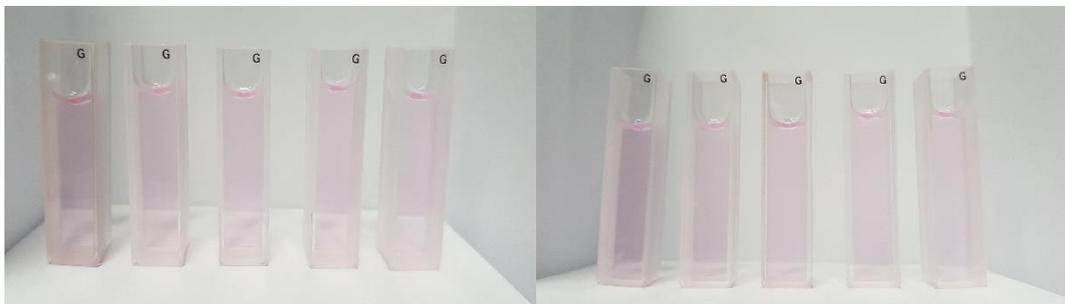


ที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

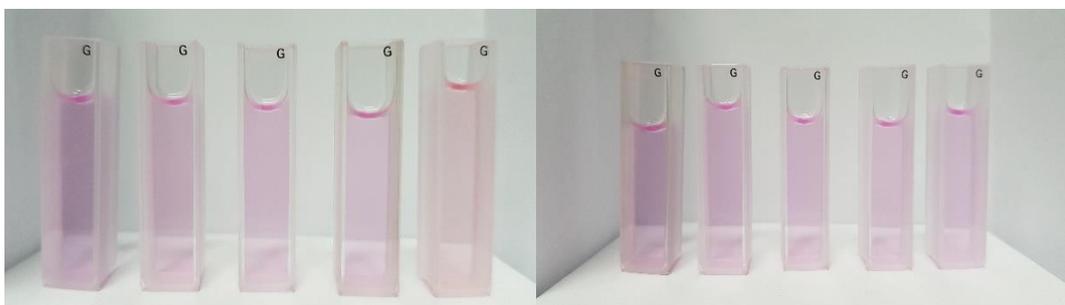
2. ข้อมูลการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ใน canal water (ERTC)



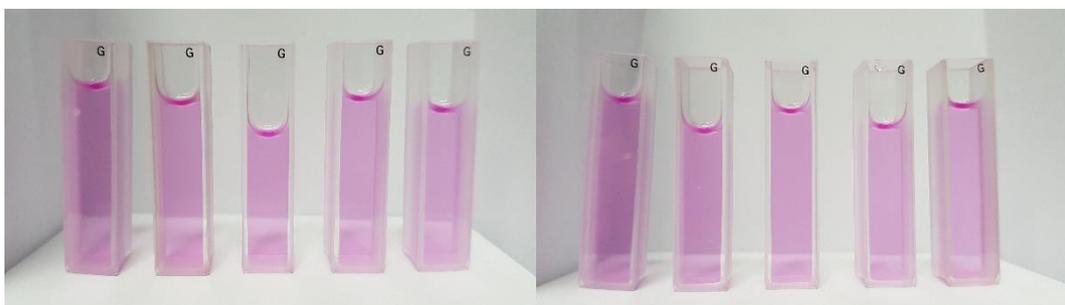
ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร



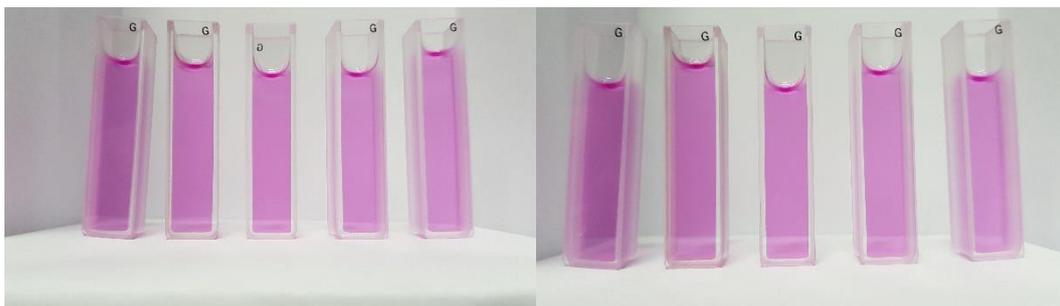
ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร



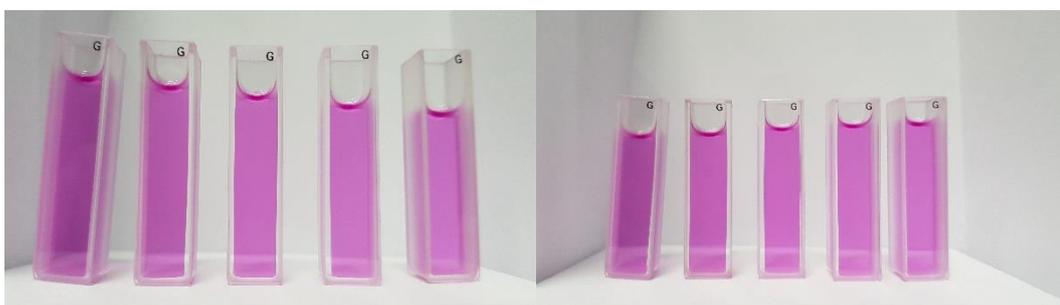
ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร



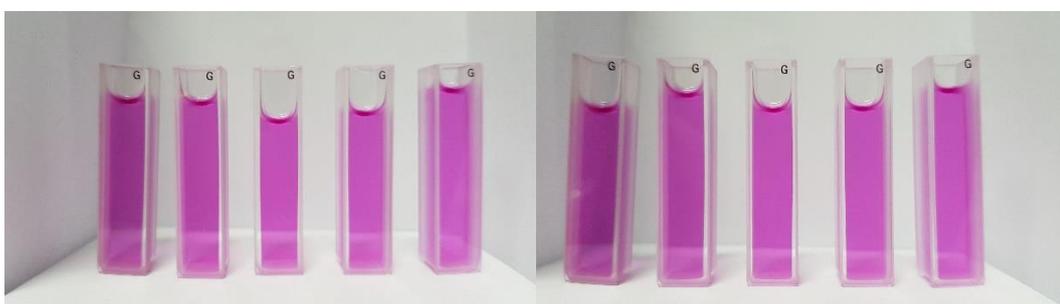
ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร



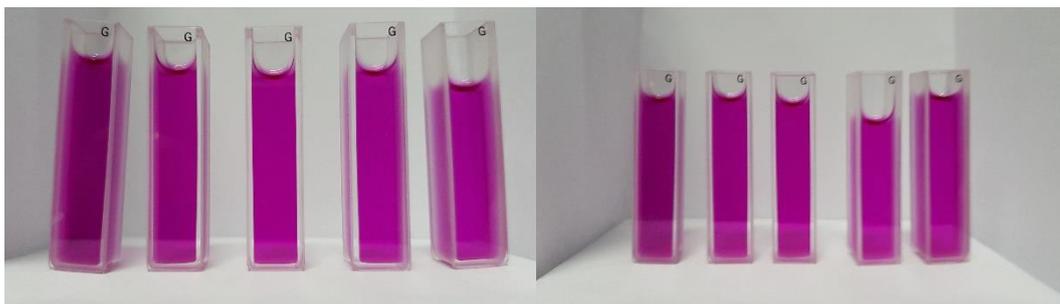
ที่ระดับความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร



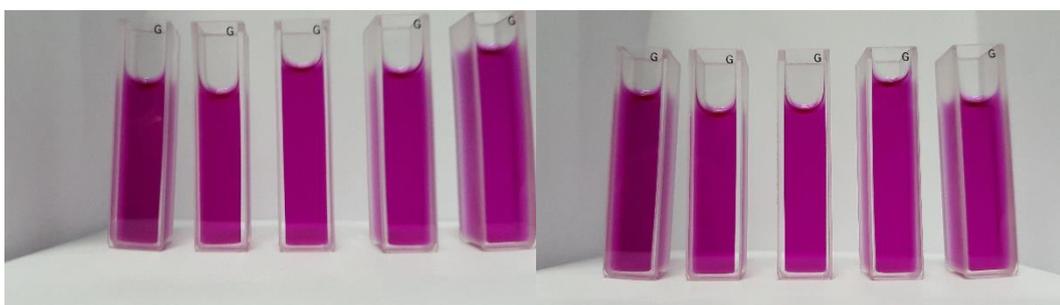
ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร



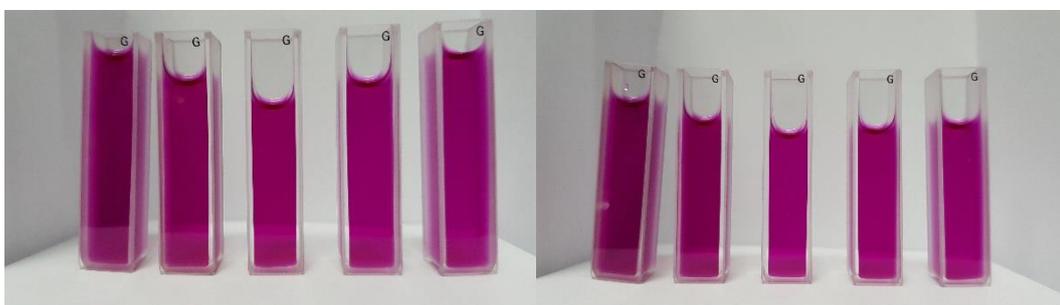
ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

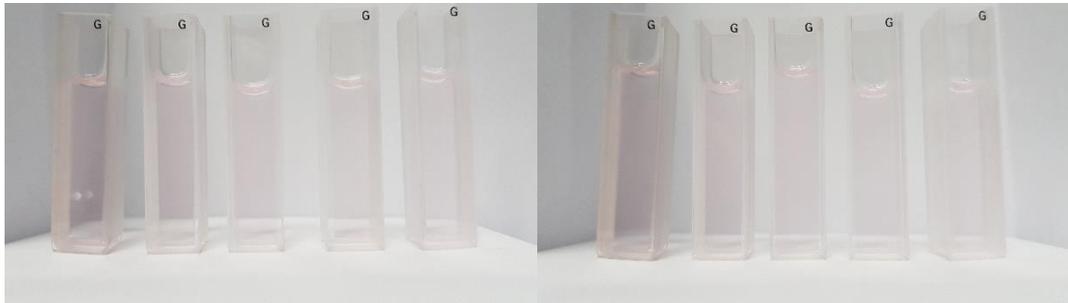


ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

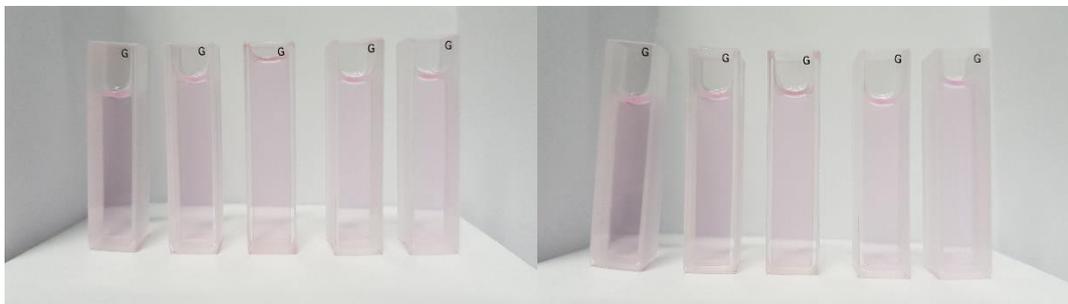


ที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

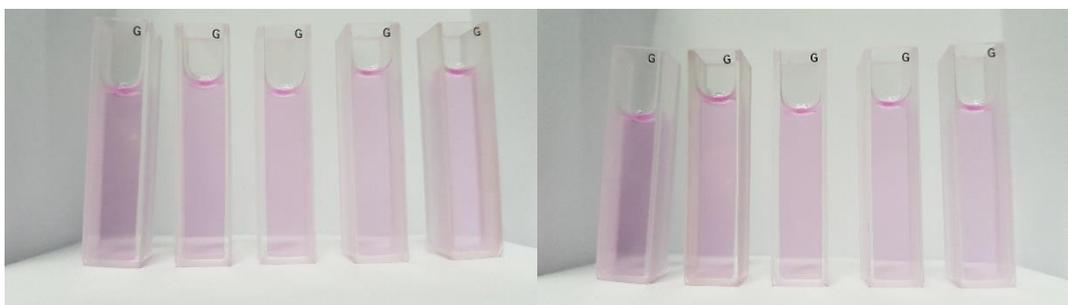
3. ข้อมูลการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Cr^{6+} ใน waste water (ERTC)



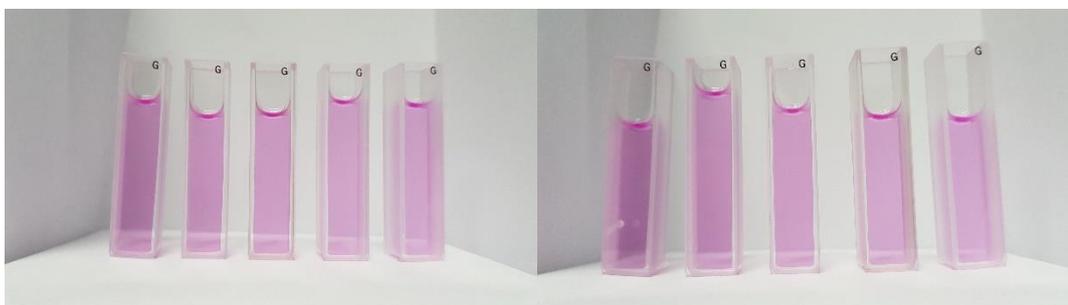
ที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร



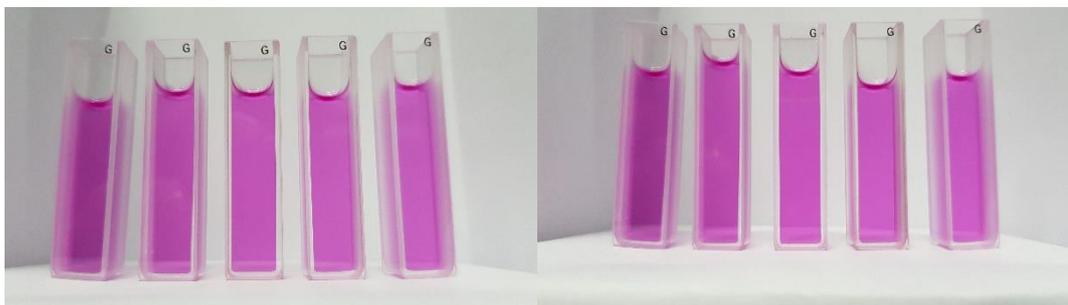
ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร



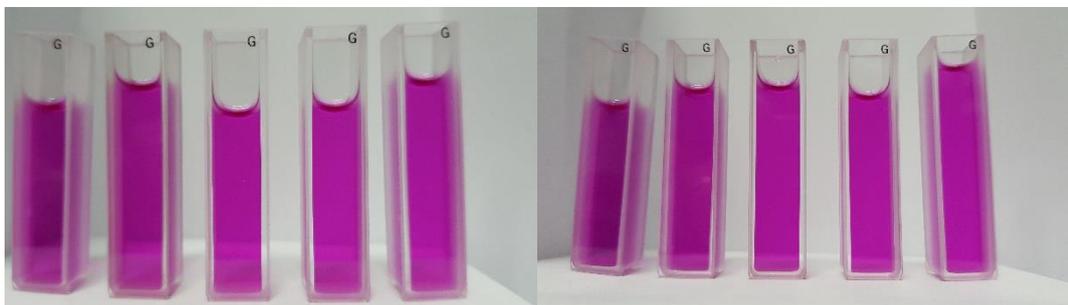
ที่ระดับความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร



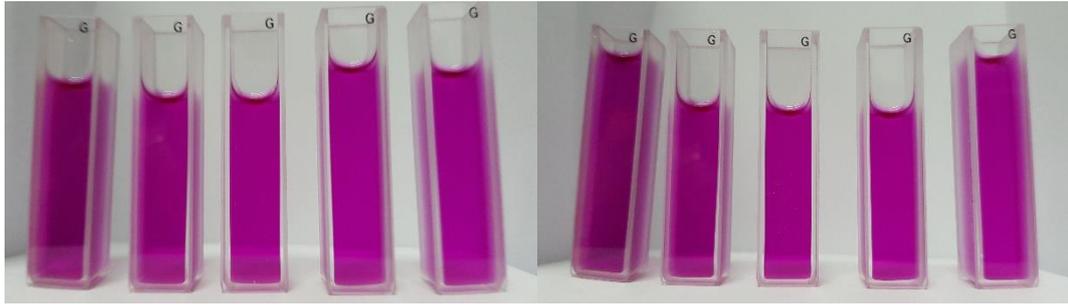
ที่ระดับความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร



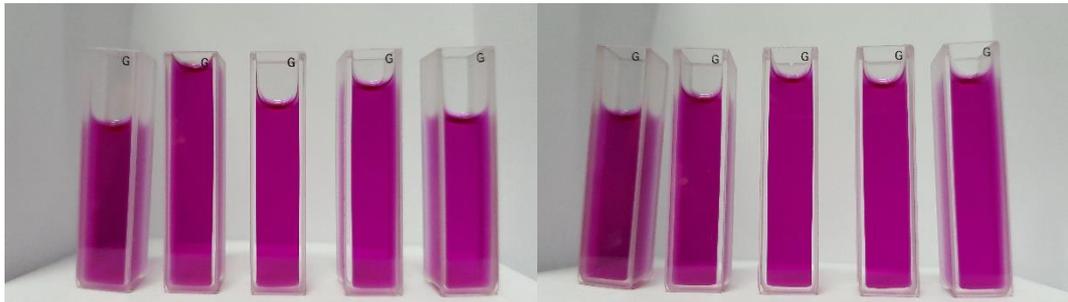
ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร



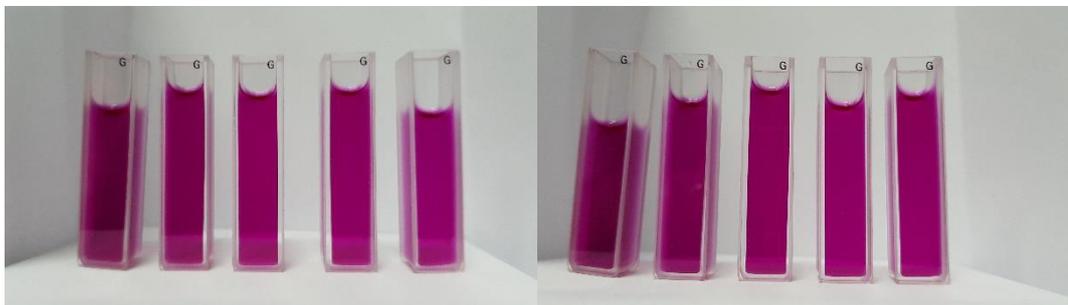
ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร

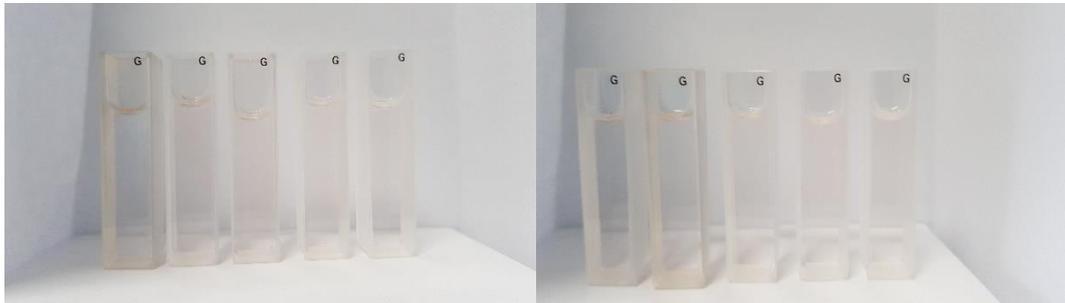


ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

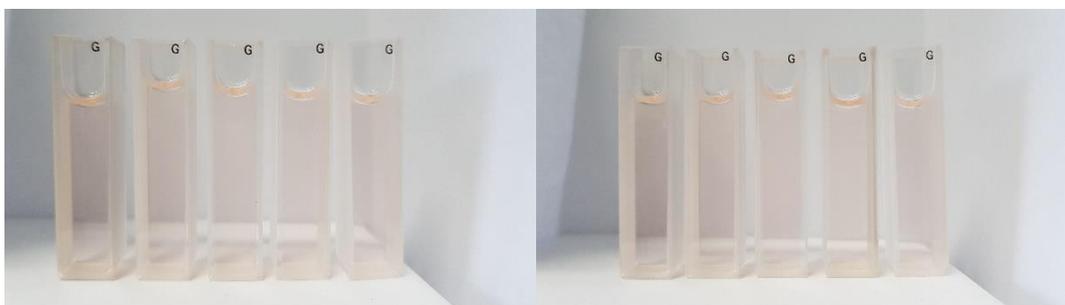
4. ข้อมูลการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ใน tap water



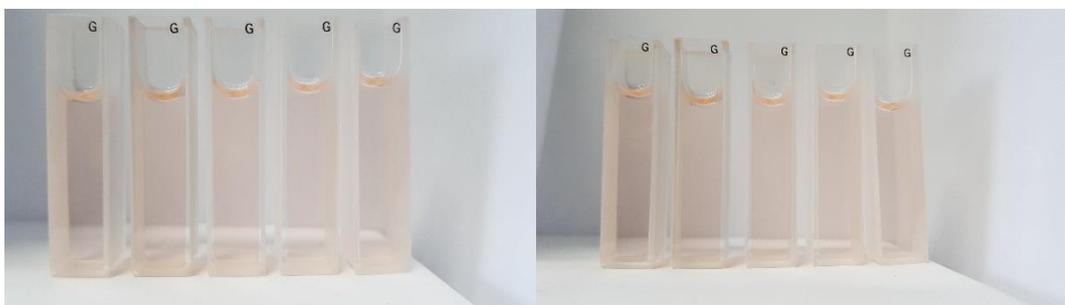
ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร



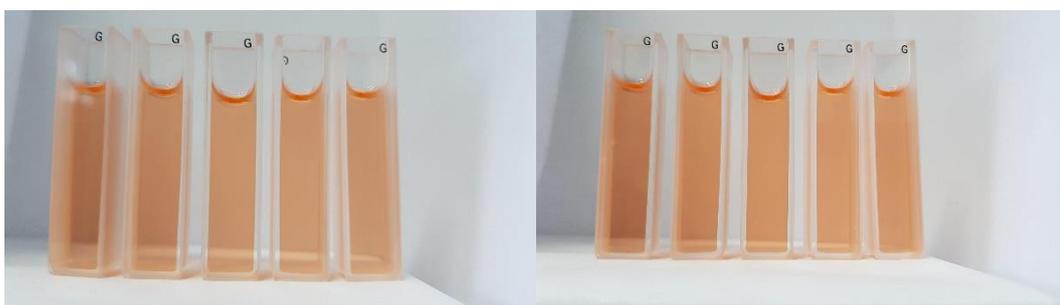
ที่ระดับความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร



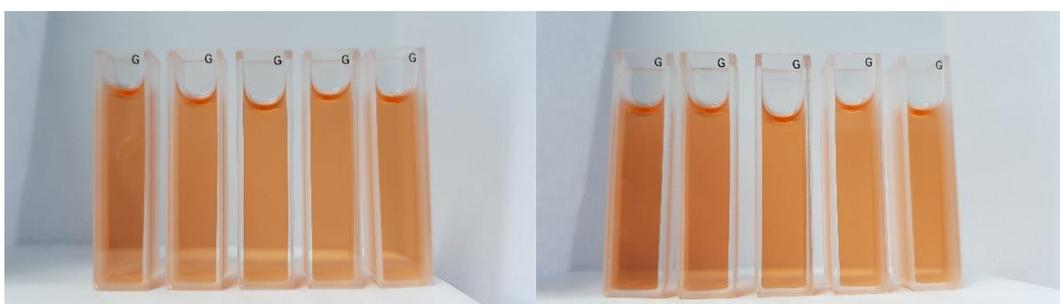
ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร



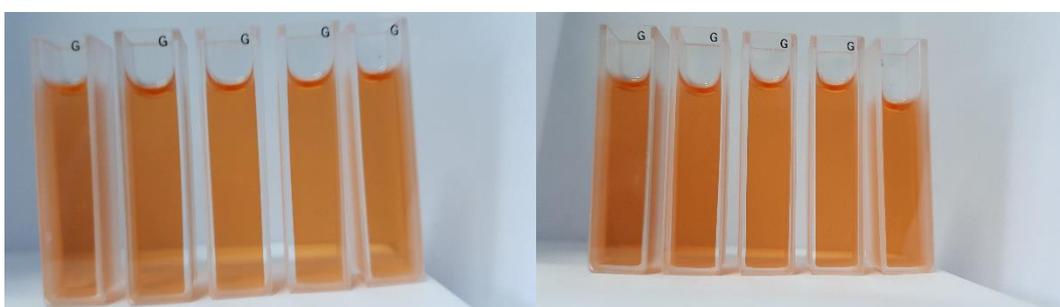
ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

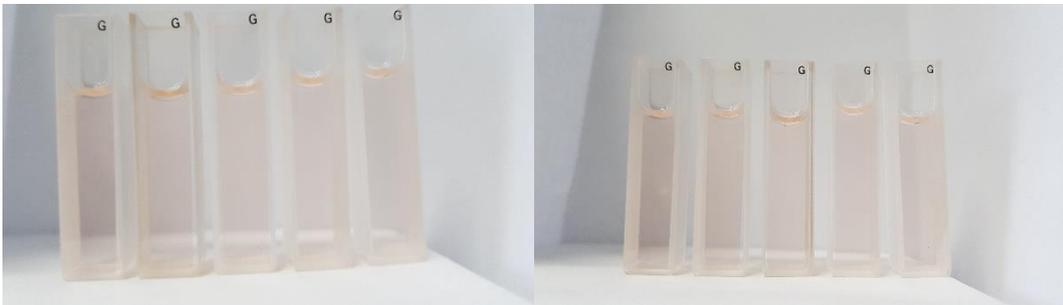


ที่ระดับความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร

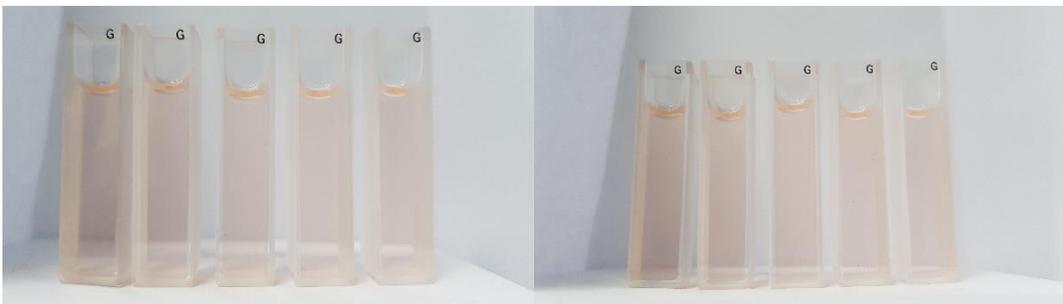


ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. ข้อมูลการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ใน canal water (ERTC)



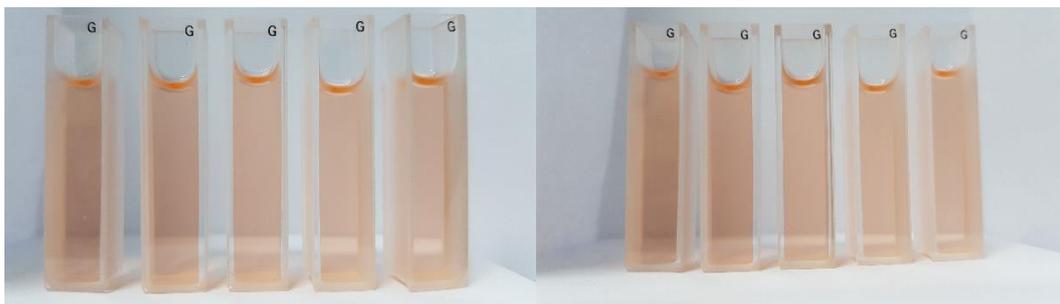
ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร



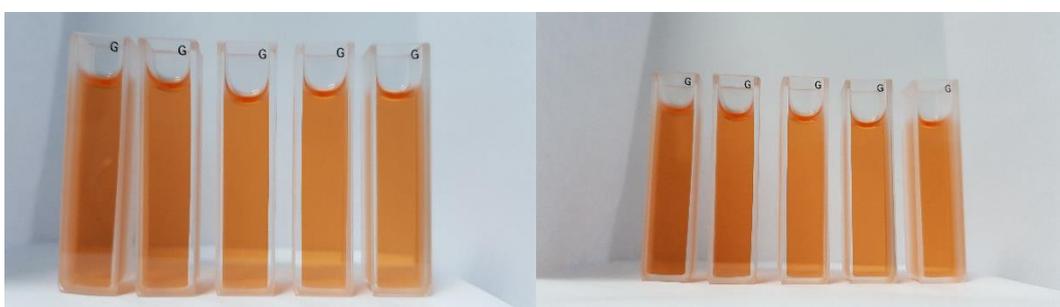
ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร



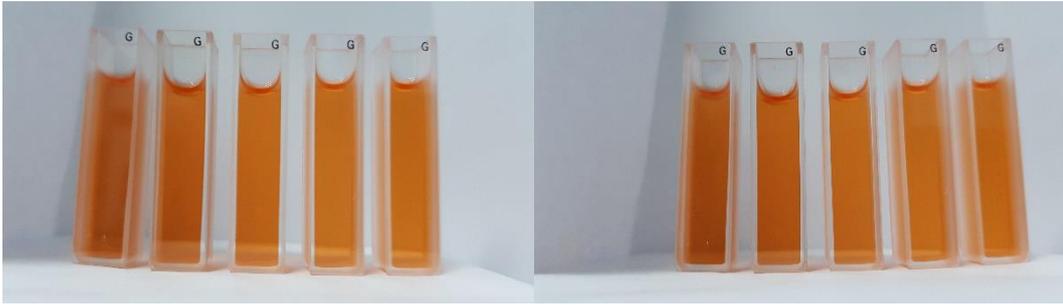
ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

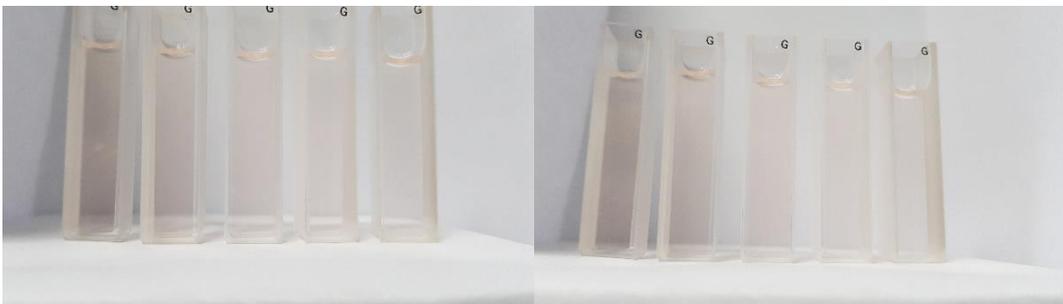


ที่ระดับความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

6. ข้อมูลการเกิดสีของสารละลายมาตรฐาน Fe ใน waste water



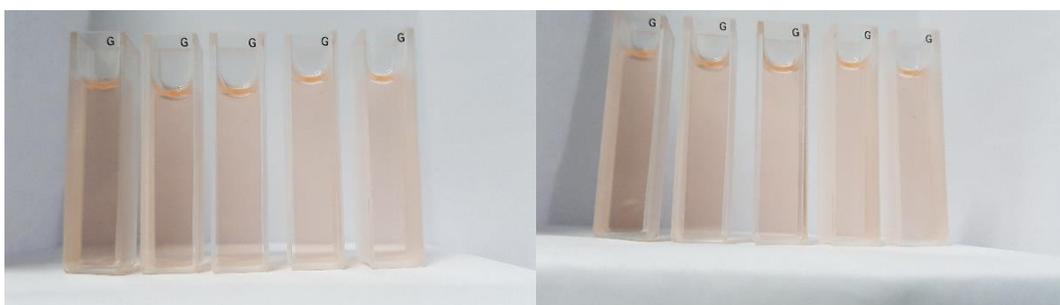
ที่ระดับความเข้มข้น 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร



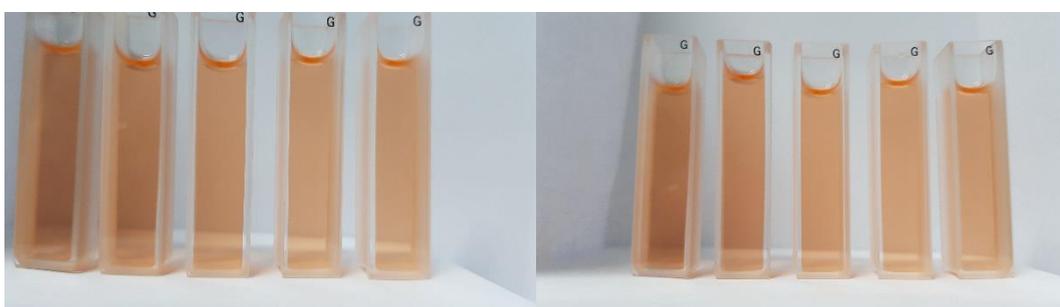
ที่ระดับความเข้มข้น 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร



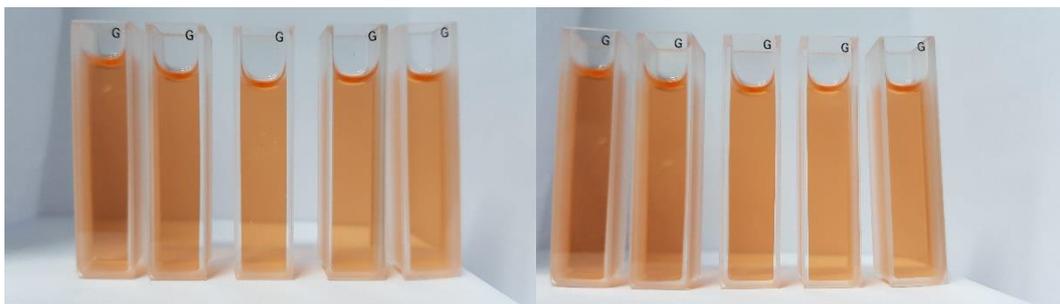
ที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร



ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ภาคผนวก ค
ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย พร้อมคู่มือ

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย พร้อมคู่มือ



ลักษณะภายนอกของชุดทดสอบ



ลักษณะภายในของชุดทดสอบ

คำแนะนำในการใช้ชุดทดสอบ

1. ปิดขวดสารเคมีทันทีทุกครั้งเมื่อใช้เสร็จ
2. ล้างมือก่อนและหลังทุกครั้งที่ใช้ชุดทดสอบ
3. หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับสารเคมีทุกชนิด หรือควรสวมใส่ถุงมือทุกครั้งที่ทำกรทดสอบ
4. เก็บชุดทดสอบไว้ในที่ปลอดภัยให้พ้นจากแสงแดดและความร้อน
5. ควรใช้ให้หมดภายใน 2-3 เดือนและชุดทดสอบ 1 ชุด สามารถทดสอบตัวอย่างประมาณ 200 ตัวอย่าง
6. ห้ามเทตัวอย่างที่ทำกรทดสอบแล้วลงสู่สิ่งแวดล้อม
7. โปรดรวบรวมภาชนะที่ใส่สารเคมีที่ใช้แล้วและเหลือทิ้ง ส่งกลับมายังศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



แบบสำรวจความพึงพอใจ



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายสำหรับการทดสอบ CHROMIUM (VI)



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (TEST KIT)

สำหรับการทดสอบโครเมียม CHROMIUM (VI)

จัดทำโดย



ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
เทคโนโลยี ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
โทรศัพท์ 02-5774182-9 ต่อ 1116
Fax : 02-5771138
Email : werair2628@gmail.com

ควรอ่านคู่มือก่อนใช้ชุดทดสอบ

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับทดสอบ Cr (VI)

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (Test kit) สำหรับทดสอบหาปริมาณโครเมียม Cr(VI) ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 - 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างน้ำและน้ำเสีย เช่น น้ำผิวดิน น้ำบาดาล น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำชะขยะจากการฝังกลบ (Landfill) น้ำชะขยะอิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ

อุปกรณ์ภายในชุดทดสอบ

- ชุดทดสอบ 1 ชุด ประกอบด้วย
1. สารเคมี โครเมียม 1 (Cr-1) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)
 2. สารเคมี โครเมียม 2 (Cr-2) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)
 3. หลอดชนิดยา ขนาด 5 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด
 4. ขวดใส่ตัวอย่าง ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด
 5. คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำ พร้อมแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

ขั้นตอนการใช้ชุดทดสอบ

ขั้นที่ 1



ดูดตัวอย่างน้ำ 5 มิลลิลิตร ด้วยหลอดชนิดยา

ขั้นที่ 2



หยดสารเคมี โครเมียม-1 (Cr-1) จำนวน 3 หยด

ขั้นที่ 3



หยดสารเคมี โครเมียม-2 (Cr-2) จำนวน 3 หยด

รอปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ 1-2 นาที เปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นกับแถบสีมาตรฐาน

แถบสีมาตรฐาน (mg/L Cr⁶⁺) (Standard color scale)

ไม่มีสี แสดงว่า น้อยกว่า 0.05 mg/L Cr⁶⁺



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับการทดสอบ Cr⁶⁺

คำแนะนำในการใช้ชุดทดสอบ

1. ปิดขวดสารเคมีทันทีทุกครั้งเมื่อใช้เสร็จ
2. ล้างมือก่อนและหลังทุกครั้งที่ใช้ชุดทดสอบ
3. หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับสารเคมีทุกชนิด หรือควรสวมใส่ถุงมือทุกครั้งที่ทำารทดสอบ
4. เก็บชุดทดสอบไว้ในที่ปลอดภัยให้พ้นจากแสงแดดและความร้อน
5. ควรใช้ให้หมดภายใน 6 เดือนและชุดทดสอบ 1 ชุด สามารถทดสอบตัวอย่างประมาณ 200 ตัวอย่าง
6. หลีกเลี่ยงทดสอบตัวอย่างที่มีสีรบกวน เพราะอาจทำให้ความเข้มข้นคลาดเคลื่อนได้
7. ห้ามเทตัวอย่างที่ทำารทดสอบแล้วลงสู่สิ่งแวดล้อม
8. โปรดรวบรวมภาชนะที่ใส่สารเคมีที่ใช้แล้วและเหลือทิ้ง ส่งกลับมายังศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



แบบสำรวจความพึงพอใจ



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่ายสำหรับการทดสอบเหล็ก (Fe)

จัดทำโดย



ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีฯ ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โทรศัพท์ 02-5774182-9 ต่อ 1116 Fax : 02-5771138 Email : werair2628@gmail.com



คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (TEST KIT)

สำหรับการทดสอบเหล็ก IRON (Fe)

ควรรอ่านคู่มือก่อนใช้ชุดทดสอบ

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับทดสอบ Fe

ชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย (Test kit) สำหรับทดสอบหาปริมาณเหล็ก Total iron ที่ระดับความเข้มข้นตั้งแต่ 0.03 – 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวอย่างน้ำและน้ำเสีย เช่น น้ำผิวดิน น้ำบาดาล น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม ฯลฯ น้ำชะขยะจากการฝังกลบ (Landfill) น้ำชะขยะอิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ

อุปกรณ์ภายในชุดทดสอบ

ชุดทดสอบ 1 ชุด ประกอบด้วย

1. สารเคมี เหล็ก - 1 (Fe-1) จำนวน 1 ขวด (ขวดละ 50 มิลลิลิตร)
2. สารเคมี เหล็ก - 2 (Fe-2) จำนวน 1 ขวด (ขวดละ 30 มิลลิลิตร)
3. สารเคมี เหล็ก - 3 (Fe-3) จำนวน 2 ขวด (ขวดละ 50 มิลลิลิตร)
4. หลอดฉีดยา ขนาด 3 มิลลิลิตร จำนวน 2 หลอด
4. ขวดใส่ตัวอย่าง ขนาด 4 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด
5. คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำ พร้อมแถบสีมาตรฐาน (Standard color scale)

ขั้นตอนการใช้ชุดทดสอบ

ขั้นที่ 1



ดูดตัวอย่างน้ำ 2 มิลลิลิตร ด้วยหลอดฉีดยา

ขั้นที่ 2



หยดสารเคมี เหล็ก-1 (Fe-1) จำนวน 5 หยด

ขั้นที่ 3



หยดสารเคมี เหล็ก-2 (Fe-2) จำนวน 2 หยด

ขั้นที่ 4



หยดสารเคมี เหล็ก-3 (Fe-3) จำนวน 10 หยด

แถบสีมาตรฐาน (mg/L Fe) (Standard color scale)

ไม่มีสี แสดงว่า น้อยกว่า 0.03 mg/L Fe



รอปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ 4-5 นาที เปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นกับแถบสีมาตรฐาน

คู่มือชุดทดสอบคุณภาพน้ำอย่างง่าย สำหรับการทดสอบ Fe

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – ชื่อสกุล	นางสาวอัญชลี แทนนิล	
วัน เดือน ปีเกิด	26 มีนาคม 2528	
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 91/1246 แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10230	
ที่ทำงานปัจจุบัน	ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี	
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ	
ประวัติการศึกษา		
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	เคมีเทคนิค	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยาศาสตรบัณฑิต	เคมีอุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง