

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครเมียม

โครเมียมเป็นธาตุโลหะ มีลักษณะแข็ง เปราะ สีเทา มีการนำมาใช้งานทางอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง โดยนำมาผสมกับเหล็กกล้าทำให้เกิดความแข็งแรงมีความเหนียวทนทาน ทำให้เหล็กกล้าไม่เปราะสนิมทนต่อการผุกร่อน โครเมียมบริสุทธิ์ใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า สารประกอบโครเมต (CrO_4^{2-}) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมฟอกหนัง การย้อมสีขนสัตว์ สำหรับแร่โครเมียมทั่วไปอยู่ในรูปของโครไมต์ (FeCr_2O_4) ซึ่งเป็นสินแร่ ออกไซด์กับเหล็ก (Ferrochromium, FeCr) โครไมต์สกัดได้จากใต้ดินและเหมืองเหล็กกล้า โครเมียมที่เป็นโลหะสกัดจากการรีดักชันของออกไซด์ของโครเมียมกับอะลูมิเนียม โครเมตทำจากการเผาโครไมต์ในอุณหภูมิสูงโดยใช้การออกซิไดซ์ (Kieber & Helz, 1992; ถัดคำวัลย์ ผดุงทรัพย์, 2544) โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีประโยชน์มากมาย แต่อันตรายของโครเมียมมีอยู่ไม่น้อย เช่น การหายใจเอาฝุ่นละอองหรือควันของกรดโครมิก ทำให้ระบบทางเดินหายใจส่วนต้นบริเวณจมูกขัดข้อง ทำให้เป็นมะเร็งปอด นอกจากนั้นการสัมผัสกับฝุ่นละอองหรือสารละลายของกรดโครมิกทำให้ผิวหนังอักเสบ ความเป็นพิษของโครเมียมขึ้นกับเลขออกซิเดชัน โดย Cr(VI) เป็นสารที่เป็นพิษและก่อมะเร็ง ส่วน Cr(III) เป็นธาตุที่จำเป็นในกระบวนการกลูโคสเมตาบอลิซึมในร่างกาย (Saleh et al., 1989)

โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีหลายกลุ่มโดยแบ่งตามเลขออกซิเดชัน ได้แก่ 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 สมบัติของสารประกอบโครเมียมที่แตกต่างกันตามเลขออกซิเดชัน (Anderson, 1989; Gomez & Callao, 2006) คือ

- 1) โลหะโครเมียมและอัลลอยด์ กลุ่มนี้รวมถึงเหล็กกล้าไร้สนิมและโครเมียมที่เป็นส่วนประกอบในอัลลอยด์ โดยทั่วไปกลุ่มนี้จะมีความเป็นพิษต่อสุขภาพค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับกลุ่มอื่น

- 2) สารประกอบไดวาเลนต์ (Cr(II)) หรือ chromos compounds ได้แก่ chromos chloride (CrCl_2) และ chromos sulfate (CrSO_4) กลุ่มนี้จะมีความเป็นพิษน้อยต่อสุขภาพของมนุษย์

- 3) สารประกอบไตรวาเลนต์ (Cr(III)) หรือสารประกอบโครมิกเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายในกระบวนการกลูโคสเมตาบอลิซึม ส่วนสารประกอบอื่น ๆ ที่พบในกลุ่มนี้

ได้แก่ โครมิกออกไซด์ (Cr_2O_3) โครมิกซัลเฟต ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$) โครมิกคลอไรด์ (CrCl_3) โครมิกโพแทสเซียมซัลเฟต ($\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$) และโครไมต์ (FeOCr_2O_3)

4) สารประกอบเฮกซะวาเลนซ์ (Cr(VI)) ซึ่งแบ่งได้ เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

กลุ่มที่ละลายน้ำ ได้แก่ กรดโครมิก (CrO_3) ไดโครเมต ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) โพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) แอมโมเนียมโครเมต ($(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_4$) ซีเซียมโครเมต (CsCrO_4) รูบิเดียมโครเมต (RbCrO_4) และลิเทียมโครเมต (LiCrO_4) เป็นต้น

กลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ซิงค์โครเมต (ZnCrO_4) เลดโครเมต (PbCrO_4) แคลเซียมโครเมต (CaCrO_4) แบเรียมโครเมต (BaCrO_4) และสตรอนเทียมโครเมต (SrCrO_4) เป็นต้น

2.1.1 สมบัติของโครเมียม

ตารางที่ 2-1 แสดงสมบัติต่าง ๆ ของโครเมียม (ทริทียา เพชรมั่ง, 2553)

สมบัติ	ค่า
ชื่อ, สัญลักษณ์, เลขอะตอม	โครเมียม, Cr, 24
อนุกรมเคมี	โลหะทรานซิชัน
หมู่, คาบ, บล็อก	6, 4, d
ลักษณะ	สีเงินมันวาว
มวลอะตอม	51.9961 กรัมต่อโมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	$[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 13, 1
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.)	7.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	6.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	2180 เคลวิน (1907 องศาเซลเซียส)
จุดเดือด	2944 เคลวิน (2671 องศาเซลเซียส)
ความร้อนของการหลอมเหลว	21.0 กิโลจูลต่อโมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	339.5 กิโลจูลต่อโมล
สถานะออกซิเดชัน	0, +1, +2, +3, +4, +5, +6

2.1.2 การค้นพบ

ธาตุนี้ค้นพบโดย Vauquelin ในปี ค.ศ. 1797 ในแร่ crocoite (PbCrO_4) จากไซบีเรีย ซึ่งเป็นแร่ตะกั่วมีสีแดง ในปีต่อมา Vauquelin สามารถสกัดโครเมียมจาก Cr_2O_3 โดยรีดิวซ์ Cr_2O_3 ด้วยผงถ่าน จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1893 Moissan สกัดโครเมียมได้เช่นกันโดยรีดิวซ์ Cr_2O_3 ด้วยถ่านหินในเตาไฟฟ้าและการสกัดโครเมียมอิสระปราศจากการรับอนเจือปน โดยนำ Cr_2O_3 มารีดิวซ์ด้วยอะลูมิเนียม ซึ่งผู้ผลิตคือ Goldschmidt ในปี ค.ศ. 1898 และเริ่มมีการใช้แร่ของโครเมียมในอุตสาหกรรมประมาณปี ค.ศ. 1800 โดยเป็นผู้นำผลิตเคมีภัณฑ์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมหนังสือพิมพ์และสี (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2555)

2.1.3 การดูดซึมและการแพร่กระจายของโครเมียมและสารประกอบโครเมียม

Cr(III) เป็นสารที่ช่วยในกระบวนการเผาผลาญของน้ำตาลและไขมันในร่างกาย ช่วยรักษาสมดุลของน้ำตาลในร่างกายของผู้ป่วยเบาหวาน ผู้สูงอายุและเด็กที่ขาดสารอาหาร การขาด Cr(III) จะทำให้พิษของผู้ป่วยสารตะกั่วมีความรุนแรงสูงขึ้น โครเมียมและสารประกอบโครเมียมในร่างกายของแม่สามารถส่งต่อไปยังทารกในครรภ์ทางรก การสะสมโครเมียมในเนื้อเยื่อต่างๆ จะมีปริมาณลดลงตามอายุที่สูงขึ้น ยกเว้นสะสมในปอดจะไม่ลดลงตามอายุ โครเมียมและสารประกอบโครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของเลขออกซิเดชัน ความสามารถในการละลายน้ำ ขนาดของอนุภาคและอื่น ๆ การได้รับปริมาณโครเมียมเข้าสู่ร่างกายมีหลายทาง ได้แก่

1) **ทางการหายใจ** ร่างกายจะได้รับโครเมียมและสารประกอบโครเมียมจากการสูดดมทางระบบทางเดินหายใจ พบมากในคนงานที่ทำงานเกี่ยวกับสารโครเมียมและสารประกอบโครเมียม โครเมียมในรูป Cr(VI) สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีกว่า Cr(III)

2) **ทางการบริโภค** ร่างกายจะได้รับโครเมียมและสารประกอบโครเมียมจากการบริโภคอาหารและน้ำดื่ม Cr(VI) จะถูกดูดซึมจากระบบทางเดินอาหารได้ดีกว่า Cr(III) 3-5 เท่า ซึ่งเป็นผลจากการที่ Cr(VI) สามารถซึมผ่านเยื่อเลือกผ่านเซลล์ได้ดี

3) **ทางผิวหนัง** ทั้ง Cr(III) และ Cr(VI) สามารถซึมผ่านผิวหนังได้น้อยมาก ยกเว้นกรณีที่ผิวหนังเป็นแผลจากการเผาไหม้ ทำให้สารประกอบโครเมียมบางชนิดเข้าสู่ร่างกายได้ เช่น โพแทสเซียมไดโครเมตและโครเมียมคลอไรด์ (ชูลีกร ธนธิติกร, 2555)

2.1.4 ความเป็นพิษต่อสุขภาพของโครเมียมและสารประกอบโครเมียม

เมื่อโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเข้าสู่ร่างกายแล้ว Cr(III) จะรวมกับทรานเฟอร์รินในเลือดและกระจายไปทั่วร่างกาย มีเพียงส่วนน้อยที่เข้าไปในเม็ดเลือดแดง ส่วน Cr(VI) จะผ่านเข้าไปในเม็ดเลือดแดงอย่างรวดเร็วและรวมกับสายบีของฮีโมโกลบินและเปลี่ยนไปเป็น Cr(III) ในเม็ด

เลือด ทำให้การทำงานของเม็ดเลือดแดงผิดปกติ Cr(VI) มีความเป็นพิษสูงกว่า Cr(III) มาก เนื่องจาก Cr(VI) มีฤทธิ์เป็นตัวออกซิไดซ์จึงกัดกร่อนเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้

ความเป็นพิษของโครเมียมและสารประกอบโครเมียม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน มักพบในกรณีได้รับโดยการรับประทาน Cr(VI) เช่น กรดโครมิกทำให้เกิดการระคายเคือง ทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง เป็นอันตรายต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ ไตวายเสียชีวิตได้ ปริมาณ Cr(VI) ที่ทำให้เสียชีวิตได้ในผู้ใหญ่ คือ 1-3 กรัม

2) ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง มักพบในคนงานที่ต้องทำงานสัมผัสกับโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเป็นเวลานาน ๆ สามารถแบ่งออกเป็น

2.1) เป็นพิษต่อผิวหนังและทางเดินหายใจ มักมีสาเหตุจากการสัมผัส Cr(VI) เป็นระยะเวลานาน ๆ ทำให้เกิดแผลเรื้อรังได้ โดยบริเวณที่สัมผัส ได้แก่ มือและแขน ระบบทางเดินหายใจเกิดการระคายเคืองต่อเยื่อโพรงจมูก ตาแดง น้ำตาไหล น้ำมูกไหล คัดและแสบจมูก ในกรณีที่รุนแรง อาจเกิดแผลเรื้อรังในเยื่อจมูกจนเกิดพังก้นจมูกทะลุได้

2.2) เป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง โดยหน่วยงาน The International Agency for Research on Cancer (IARC) และ US Toxicology Program จัด Cr(VI) เป็นสารก่อมะเร็งเพราะมีความสามารถในการละลายน้ำที่ดี ในคนงานที่ทำงานสัมผัสกับ Cr(VI) เป็นเวลามากกว่า 30 ปีขึ้นไปจะมีความเสี่ยงสูงในการเกิดโรคมะเร็งและพบว่าเป็นโรคมะเร็งปอดมากกว่าโรคมะเร็งชนิดอื่น (Kotas & Stasicka, 2000)

2.1.5 ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมของโครเมียมและสารประกอบโครเมียม

Cr(VI) ในสิ่งแวดล้อมมีความเป็นพิษตั้งแต่ปานกลางถึงสูงมาก โดยส่งผลกระทบต่อสัตว์ที่กินน้ำและอาหารที่มีโครเมียมและสารประกอบโครเมียมเข้าไปทำให้สัตว์ตายได้ ส่วนพืชที่ได้รับ Cr(VI) จะเจริญเติบโตช้าลง Cr(VI) มีความคงทนในธรรมชาติจึงเป็นไปได้ว่าจะสะสมในสัตว์น้ำได้ (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2549)

2.2 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (1,5-Diphenylcarbazine, DPC)

1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์มีการใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณความแตกต่างของโลหะต่าง ๆ ได้แก่ โครเมียม ตะกั่ว พรอท ออสเมียมและวานาเดียม โดยการวิเคราะห์ต่าง ๆ มีการตรวจวัดร่วมกับเทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมทรีและเคมีไฟฟ้า (Teresa et al., 1996)

1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์มีความจำเพาะในการหาปริมาณโครเมียมโดยการเกิดสารเชิงซ้อนกับ Cr(VI) ในสถานะที่เป็นกรดให้สีม่วงแดง โมลาร์แอฟฟอร์ตีวิตี คือ 40000 ลิตรต่อ

กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร การเกิดปฏิกิริยาของ Cr(VI) กับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ จะถูกรบกวนเมื่อมีปริมาณของโมลิบดีนัมมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เกลือของปรอทมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร วาเนเดียมที่มีความเข้มข้นสูงกว่า Cr(VI) 10 เท่า และเพอร์ริกไอออน ความเข้มข้นมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Clesceri, Greenberg, & Eaton, 1998; Bardiya, Woo, & Ho, 2004)

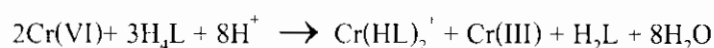
2.2.1 สมบัติของ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์

ตารางที่ 2-2 สมบัติต่าง ๆ ของ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์

สมบัติ	ค่า
ชื่อ	1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์
สัญลักษณ์	C ₁₃ H ₁₄ N ₄ O
ลักษณะ	ผงสีขาว
มวลโมเลกุล	242,28 กรัมต่อโมล
ความหนาแน่น	420 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
สถานะ	ของแข็ง
จุดหลอมเหลว	173 -176 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	สลายตัวเมื่อถูกความร้อน
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
สีเมื่อเป็นสารละลาย	สีชมพูส้ม
การละลาย	ละลายได้น้อยในน้ำ ละลายได้ดีในเอทานอล เมทานอล อะซิโตนและกรดอะซิติกเย็น
ความเสถียร	สลายตัวเมื่อถูกความร้อน

(ที่มา: www.sigma-aldrich.com)

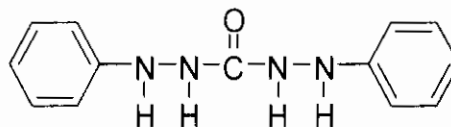
2.2.2 ปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนของ Cr(VI) กับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์



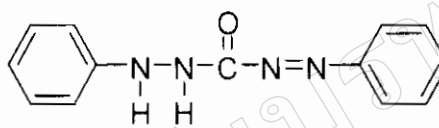
เมื่อ H₂L: 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์

H₂L: ไดฟีนิลคาร์บาโซน (Narin, Kars, & Soylak, 2008)

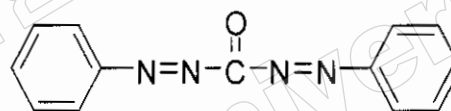
2.2.3 โครงสร้าง 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ และอนุพันธ์



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ (DPC) (Ramirez et al., 1996)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างของไดฟีนิลคาร์บาโซน (DPCO) (Ramirez et al., 1996)



ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของไดฟีนิลคาร์บาไดออกไซด์ (DPCDO) (Ramirez et al., 1996)

2.3 เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลายมีหลายแบบ ดังนี้

2.3.1 การสกัดของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction, LLE)

เป็นวิธีการสกัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ในสถานะของเหลวที่ละลายในตัวทำละลายชนิดหนึ่งให้ไปอยู่ในตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งของเหลวที่นำมาสกัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ต้องละลายได้ดีกว่าของเหลวที่สารที่ต้องการวิเคราะห์ละลายอยู่ โดยทั่วไปจะเป็นการสกัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่ละลายในน้ำด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งไม่มีขั้ว ตัวทำละลายอินทรีย์ที่นำมาใช้ควรมีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้ง่ายและไม่เป็นพิษ การสกัดสารที่ต้องการวิเคราะห์อาศัยหลักการละลายได้ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวทำละลายที่แตกต่างกันระหว่างสองวัฏภาค คือ วัฏภาคตัวอย่างและวัฏภาคตัวทำละลายที่ใช้สกัด (Geankoplis, 2003; Pereira, Lavilla, & Bendicho, 2009) การสกัดของเหลวด้วยของเหลวเกี่ยวข้องกับการกระจายของสารระหว่างตัวทำละลายสองชนิดซึ่งจะมีอัตราส่วนคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่ง (สุภาพ บุญยะรัตเวช และ เกสร วีระชาโต, 2540)

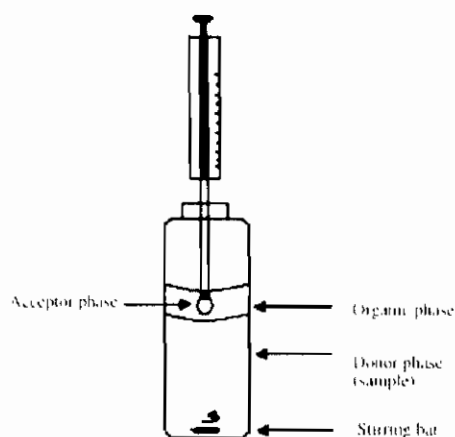
หลักในการเลือกชนิดของตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดต้องละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัดและหากสารที่ต้องการสกัดมีสี ตัวทำละลายจะต้องไม่มีสี ถ้าต้องการแยกกลั่น ตัวทำละลายต้องไม่มีกลิ่น โดยตัวทำละลายต้องไม่มีพิษ มีจุดเดือดต่ำและแยกตัวออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ง่าย ไม่ละลายปนเป็นเนื้อเดียวกับสารที่นำมาสกัดและมีราคาถูก

2.3.2 การสกัดของเหลวด้วยของเหลวในระดับไมโคร

(Liquid Liquid Liquid Microextraction, LLLME)

LLLME เป็นการสกัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ออกจากตัวอย่างในระดับไมโครลิตร ด้วยของเหลว 2 ขั้นตอน และมี 3 วัฏภาคที่เป็นของเหลว ได้แก่ วัฏภาคที่ 1 เป็นวัฏภาคของสารละลายตัวให้ (donor solution) วัฏภาคที่ 2 เป็นวัฏภาคของตัวทำละลายอินทรีย์และวัฏภาคที่ 3 เป็นวัฏภาคของสารละลายตัวรับ (acceptor solution) โดยในระบบ LLLME สารที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกสกัดออกจากวัฏภาคของสารละลายตัวให้ โดยการคนสารละลายตัวอย่างให้สารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าไปอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ นั่นคือ วัฏภาคของตัวทำละลายอินทรีย์และสุดท้ายจะถูกสกัดกลับอย่างรวดเร็วในวัฏภาคของสารละลายตัวรับภายใต้สถานะที่มีการคนสารละลายตลอดเวลา โดยอาศัยโมเมนต์ระหว่างผิวหน้า พิเอชของสารละลายน้ำ และสารละลายน้ำในระดับไมโครลิตรสามารถปรับพีเอชได้ตามสารที่ต้องการวิเคราะห์ (Ma & Cantwell, 1999; Cantwell & Losier, 2002; Wen, Tu, & Lee, 2004)

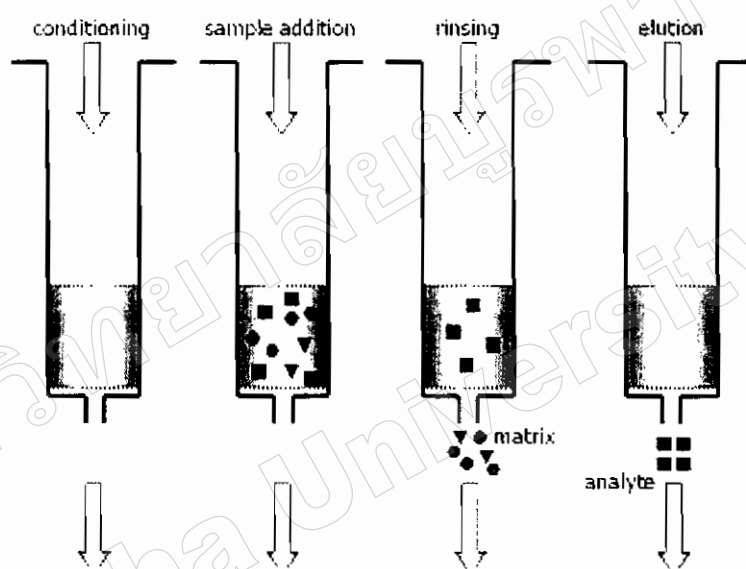


ภาพที่ 2-4 การสกัดของเหลวด้วยของเหลวในระดับไมโคร (LLLME) (He & Jung, 2006)

2.3.3 เทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid Phase Extraction, SPE)

เป็นเทคนิคการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง โดยอาศัยสมดุลการกระจายตัว (partition) ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ระหว่างของแข็ง (คือ ตัวดูดซับที่อยู่ในแท่ง SPE) กับของเหลวหรือตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวชะ โดยสารละลายที่ประกอบด้วยสารที่ต้องการวิเคราะห์จะผ่านตัวดูดซับของแข็งออกมา

ขั้นตอนการใช้ SPE มี 4 ขั้นตอน ดังนี้ คือ



ภาพที่ 2-5 การสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Krska, 1998)

1. การเตรียมตัวดูดซับ

เป็นการเตรียมตัวดูดซับที่บรรจุอยู่ในแท่ง SPE ก่อนเติมสารตัวอย่างลงไป โดยการเติมตัวทำละลายที่เหมาะสมลงไปใน SPE ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง จากนั้นปล่อยตัวทำละลายทิ้งโดยให้มีตัวทำละลายเหลือไว้ในตัวดูดซับสูงขึ้นไปจากตัวดูดซับของ SPE ประมาณ 0.5 เซนติเมตร ก่อน โหลดตัวอย่างในขั้นตอนถัดไป

2. โหลด

เป็นการใส่ตัวอย่างลงไปเพื่อให้จับกับตัวดูดซับ โดยต้องโหลดให้แห้งทั้งตัวทำละลายที่มีอยู่จากการเติมลงไปในการเตรียมตัวดูดซับและตัวทำละลายที่มีในตัวอย่าง

3. Rinse

เป็นการชะเอาสารรบกวนออก ซึ่งไม่ใช่สารที่ต้องการวิเคราะห์

4. การชะ

เป็นการดึงเอาสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่เกาะกับตัวดูดซับออก เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมสารที่ต้องการวิเคราะห์ออกมา

ข้อดีและข้อด้อยของเทคนิค

ช่วยลดปริมาณตัวทำละลายในการสกัด ใช้เวลาในการสกัดน้อย สามารถใช้กับระบบการเตรียมตัวอย่างแบบอัตโนมัติได้และยังเลือกใช้ได้กับตัวทำละลายหลายชนิดให้เหมาะสมกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ แต่เทคนิคนี้มีข้อด้อยในเรื่องของการที่ยังต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัด ขั้นตอนการสกัดมีหลายขั้นตอน ยุ่งยากในการวิเคราะห์และผู้วิเคราะห์ต้องมีความชำนาญ เพราะต้องเลือกใช้ตัวทำละลายและกระบวนการให้เหมาะสม

การประยุกต์ใช้

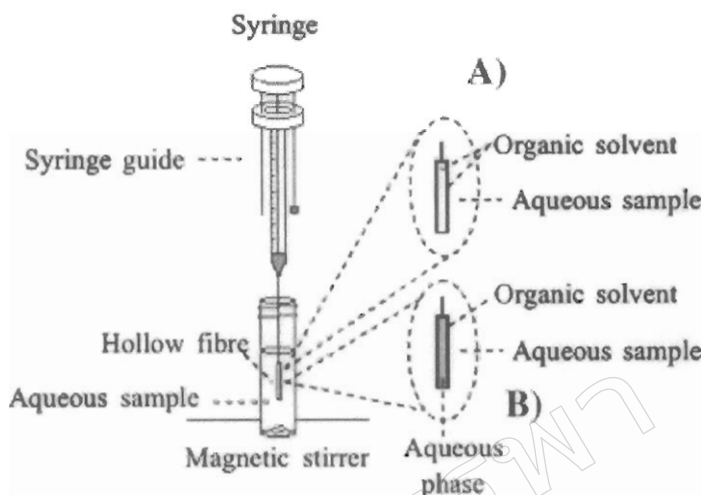
สามารถประยุกต์ใช้กับสารระเหยง่ายหรือกึ่งระเหยที่อยู่ในตัวอย่างของแข็งและของเหลวได้ (Weingaertner et al., 1997)

2.3.4 เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวด้วยเส้นใยกลวง

(Hollow Fiber Liquid Phase Microextraction, HF-LPME)

HF-LPME คือ เทคนิคการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์จากตัวอย่างในวิธีที่ง่าย เป็นการสกัดสองวัฏภาค สารที่ต้องการวิเคราะห์ถูกสกัดออกจากตัวอย่างน้ำไปยังชั้นน้ำที่มีปริมาณน้อยในโพรงของไฟเบอร์ที่ทำจากโพลีโพรไพรีนที่ใช้ร่วมกับไมโครไซริงค์ เป็นเทคนิคที่ใช้ปริมาณตัวทำละลายอินทรีย์น้อยมาก

หลักการของ HF-LPME คือ นำเส้นใยของเมมเบรนเส้นใยกลวงที่มีรูพรุนใส่ลงในสารละลายตัวอย่างเพื่อกำจัดสารรบกวนออก สารที่ต้องการวิเคราะห์ในสารละลายตัวอย่างจะเข้าไปสู่สารละลายอินทรีย์ที่อยู่ในเส้นใยกลวง โดยเข้าไปตามรูพรุนของเส้นใยและจะกลับเข้าสู่สารละลายในการสกัดที่อยู่ใน Hollow fiber lumen (Rasmussen & Bjergaard, 2008)



ภาพที่ 2-6 การสกัด HF-LPME (Francisco, Isela, & Carlos, 2009)

ข้อดีและข้อด้อยของเทคนิค

ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อย แต่มีข้อด้อย คือ การวิเคราะห์ค่อนข้างยุ่งยาก เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก

2.3.5 การสกัดด้วยตัวทำละลายหยดเดียว (Single Drop Microextraction, SDME)

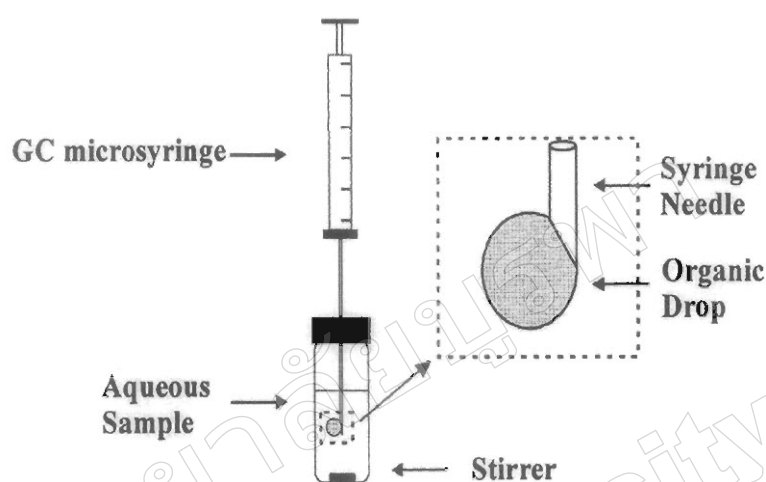
SDME เป็นเทคนิคการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในปริมาณน้อยระดับไมโครลิตร ซึ่งเป็นการลดปริมาณตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการสกัด วิธีการสกัด คือ ทำการสกัดสารที่ต้องการวิเคราะห์ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่หยดออกมาจากปลายไซริงค์ ซึ่งจุ่มลงในสารตัวอย่างที่มีการคนสารด้วยแม่เหล็กคนสารละลายที่ระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นดูดตัวทำละลายอินทรีย์กลับเข้าสู่ไซริงค์แล้วฉีดเข้าเครื่องตรวจวัด ข้อจำกัดของ SDME คือ อัตราการแพร่ของสารที่ต้องการวิเคราะห์จากชั้นน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์เป็นไปได้ช้า ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความหนืดของตัวทำละลาย

เทคนิค SDME เป็นเทคนิคการสกัดด้วยของเหลวที่เป็นตัวทำละลายอินทรีย์แบ่งเป็น 2 กรณี (Constantine, 2007) คือ

1. สกัดลงในตัวอย่างโดยตรง

ใช้ในกรณีสารที่ต้องการวิเคราะห์ระเหยยาก ตัวทำละลายที่ใช้สกัดต้องไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับตัวอย่าง มีค่าการละลายต่ำ จุดเดือดสูง ซึ่งจะอาศัยหลักการเดียวกันกับ LLE แต่ใช้ตัวทำละลายปริมาณน้อยกว่าในการสกัด (Psillakis & Kalogerakis, 2002) โดยในกระบวนการสกัดนั้นเป็นการเกิดสมดุลการกระจายตัว (partition) ของสารระหว่างวัฏภาค 2 วัฏภาค คือ ตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำ ความเสถียรของหยดขึ้นอยู่กับอัตราการคนสารละลายและอุณหภูมิ เทคนิคนี้

สามารถวิเคราะห์สารที่ระเหยยาก แต่การวิเคราะห์จะมีสารรบกวนเนื่องจากหยดของตัวทำละลายอินทรีย์อยู่ในสารละลายตัวอย่างที่เป็นน้ำโดยตรง ทำให้สารทุกชนิดที่อยู่ในตัวอย่างน้ำ สามารถเข้าไปอยู่ในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ได้เช่นเดียวกับสารที่ต้องการวิเคราะห์



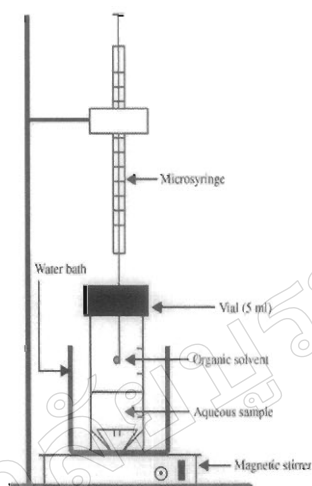
ภาพที่ 2-7 การสกัดด้วย SDME ลงในตัวอย่างโดยตรง

(ที่มา : <http://share.psu.ac.th/blog/sci-discus/18118>)

2. สกัดผ่านบริเวณเฮดสเปซ (HS-SDME)

เป็นเทคนิคการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นในกรณีสารที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่างระเหยง่ายและกึ่งระเหย ในกระบวนการสกัดเป็นการเกิดสมดุลการกระจายตัว (partition) ของสารระหว่างวัฏภาค 3 วัฏภาค คือ ตัวทำละลายอินทรีย์ น้ำ และช่องว่างเหนือสารละลาย เมื่อสารได้รับความร้อนจะแพร่จากชั้นน้ำ สู่บริเวณช่องว่างเหนือสารละลายและกระจายตัวไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้สกัด (Keyur, 2010) โดยสารที่ต้องการวิเคราะห์ละลายในน้ำถูกคนให้ระเหยจากชั้นน้ำขึ้นมาที่บริเวณช่องว่างเหนือสารละลาย (เฮดสเปซ) ซึ่งเกิดสมดุลได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งอัตราการส่งผ่านสารที่ต้องการวิเคราะห์มีข้อจำกัดตามอัตราการคนสารละลายและการแพร่ของสารที่ต้องการวิเคราะห์ภายในวัฏภาคของการสกัด การส่งผ่านมวลของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในชั้นน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จากนั้นสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่ลอยอยู่บริเวณช่องว่างเหนือสารละลายจะเข้าไปสู่หยดตัวทำละลายในระดับไมโครลิตรที่แขวนอยู่ที่ปลายไซริงค์ (Theis et al., 2001; Fiamegos & Stalikas, 2007) จากนั้นจึงดูดตัวทำละลายไปทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือต่าง ๆ

เทคนิคนี้หลีกเลี่ยงปัญหาสารรบกวนการวิเคราะห์ เนื่องจากสารที่ระเหยไม่ได้จะอยู่ในสารละลาย แต่มีข้อจำกัด คือ สารที่วิเคราะห์ต้องระเหยได้ (Patel et al., 2010)



ภาพที่ 2-8 การสกัดด้วย HS-SDME ลงในตัวอย่าง (Fiamegos & Stalikas, 2007)

ข้อดีและข้อด้อยของเทคนิค (Jeannot & Cantwell, 1997)

เทคนิคนี้มีข้อดีเนื่องจากเป็นเทคนิคที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ปริมาณน้อยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ราคาการเตรียมตัวอย่างไม่สูงมาก แต่มีข้อด้อยในเรื่องของการเลือกใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ค่อนข้างยุ่งยาก ต้องทดสอบให้ได้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถแขวนเป็นหยดได้ (ต้องมีความหนืดมากพอ)

2.3.6 การสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย

(Dispersive Liquid-Liquid Microextraction, DLLME)

การสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย เป็นการสกัดแบบเดียวกับการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแต่ใช้ปริมาตรตัวทำละลายในระดับไมโครลิตร โดยการผสมของสารที่เป็นตัวสกัดและสารที่เป็นตัวแพร่กระจายฉีดไปยังสารละลายตัวอย่างอย่างรวดเร็วด้วยไซริงค์ขนาดเล็ก ขณะที่ฉีดพบว่าหยดของสารที่เป็นตัวสกัดและสารที่เป็นตัวแพร่กระจายในชั้นน้ำจะฟุ้งกระจายคล้ายหมอก ในระหว่างที่ละอองขนาดเล็กของหยดตัวทำละลายมีพื้นที่ผิวมากมายมหาศาลช่วยให้การส่งผ่านสารที่ต้องการวิเคราะห์จากชั้นน้ำไปยังชั้นของตัวทำละลายเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว สารละลายที่ขุ่นถูกนำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง เพื่อแยกชั้นน้ำและชั้นตัวทำละลายออกจากกัน สารที่ต้องการวิเคราะห์จะอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ตกลงสู่ก้นภาชนะ

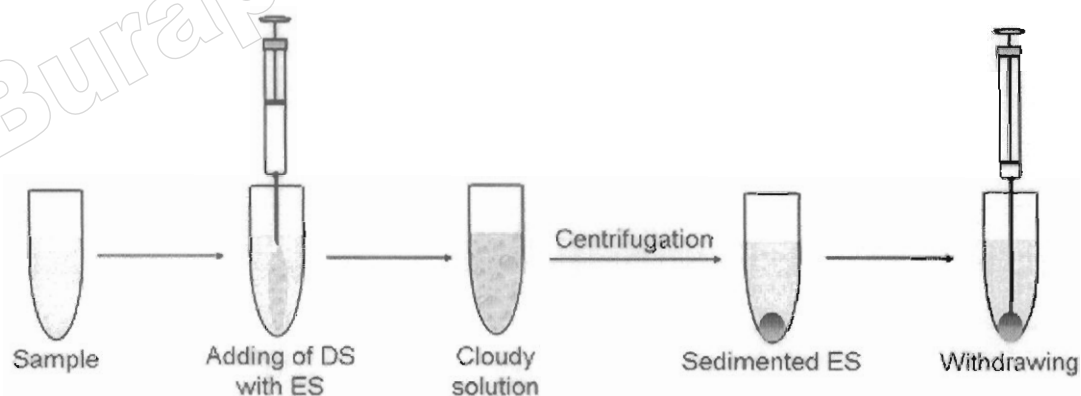
ซึ่งประเด็นหลักของการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย คือ ข้อจำกัดของตัวทำละลาย (Rezaee, Yamini, & Faraji, 2010) โดยที่

1. ตัวทำละลายที่ใช้สกัดต้องเข้ากันได้กับน้ำ มีความสามารถในการสกัดสารที่วิเคราะห์สูง มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเพื่อการแยกชั้นได้ง่ายโดยการเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูงและมีค่าการละลายในน้ำต่ำ ชนิดของตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ คลอโรฟอร์ม คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ไดคลอโรเบนซีนและไดคลอโรมีเทน (Andruch et al., 2012)

2. สารที่เป็นตัวแพร่กระจายต้องละลายได้ในสารที่เป็นตัวสกัดและน้ำ (สารละลายตัวอย่าง) เป็นตัวช่วยให้สารที่เป็นตัวสกัดเข้าไปยังชั้นน้ำที่มีสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้ดีมากขึ้น เนื่องจากมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับตัวทำละลายในการสกัดด้วยหยดที่มีขนาดเล็กมาก ชนิดของสารที่เป็นตัวแพร่กระจายที่นิยมใช้ ได้แก่ เอทานอล เมทานอล อะซีโตรไนไตรล์ และ อะซีโตน (Andruch et al., 2012)

3. สารที่เป็นสารที่เป็นตัวช่วยสกัด เมื่อเติมเข้าไปแล้ว ต้องช่วยให้ตัวทำละลายที่กระจายอยู่ในชั้นน้ำแยกชั้นออกจากชั้นน้ำได้มากขึ้น ชนิดของสารที่เป็นตัวช่วยสกัดที่นิยมใช้ ได้แก่ เอทานอล เมทานอล อะซีโตรไนไตรล์และอะซีโตน

นอกจากนี้ หลักการดังกล่าว มีการประยุกต์ใช้ตัวทำละลายที่มีสมบัติตรงข้าม คือ มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ สามารถทำได้เช่นเดียวกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบของการวิเคราะห์รวมทั้งวัสดุอุปกรณ์ (Andruch et al., 2012)



ภาพที่ 2-9 การสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย (Kocurova et al., 2012)

ข้อดี

ใช้ปริมาณตัวทำละลายในการสกัดน้อยระดับไมโครลิตร เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เวลาในการสกัดสั้น เนื่องจากการเข้าสู่สมดุลของสารเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว วิธีการสกัดง่าย ราคาถูกและเทคนิคนี้ให้ enrichment factor สูง (Wen et al., 2011)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม

Wang, Ashley, Kennedy, and Neumeister (1977, pp. 1307–1312) ได้พัฒนาวิธีที่ง่าย รวดเร็วและมีการตอบสนองสูงในการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(VI) ในตัวอย่างจากสถานประกอบการ โดยการสกัดด้วยอุลตราโซนิกในสถานะที่เป็นเบสของสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.05 โมลต่อลิตร และ NH_3 0.05 โมลต่อลิตร ให้ประสิทธิภาพในการสกัด Cr(VI) จากตัวอย่างสูงและทำการแยกไอออนด้วยคอลัมน์แลกเปลี่ยนไอออน (95%) เพื่อแยก Cr(III) และไอออนบวกอื่น ๆ ออกจาก Cr(VI) โดยการชะออกจากคอลัมน์ด้วย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.05 โมลต่อลิตร และ NH_3 0.1 โมลต่อลิตร (พีเอช 8) ตามด้วยการเติมกรดไฮโดรคลอริก และเกิดสารเชิงซ้อนด้วยลิแกนด์ คือ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์ที่เติมลงไปและทำการวิเคราะห์ด้วยฟลูออโรเมตริกแอนาไลซิส (FIA) โดยวิเคราะห์ตัวอย่างที่ไม่มีการออกซิไดซ์และมีการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) โดยใช้ Ce(IV) เป็นตัวออกซิไดซ์ วิธีนี้สามารถหาปริมาณ Cr(VI) และโครเมียมรวมได้ สำหรับสถานะที่เหมาะสมในการแยกและการออกซิไดซ์ โดย certified reference materials 2 ชนิด (CRMs 013–050 และ NIST 1633a) และการเติมสารมาตรฐานลงไป 3 ตัวอย่าง ได้แก่ สารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนีย (ammonia buffer solution) เซลลูโลสเอสเทอร์ฟิลเตอร์ (cellulose ester filters) และกรดล้างทราย (acid washed sand) ร้อยละการได้กลับคืนของวิธีนี้มากกว่า 90% ขีดจำกัดในการตรวจวัด มีค่า 0.11 นาโนกรัมต่อลิตร เทคนิคนี้ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(VI) และ Cr(III) ในตัวอย่างเฝ้าลอกจากโรงไฟฟ้าและเศษชิ้นของสีที่เก็บมาจากท่อก๊าซร้อนและอาคารมหาวิทยาลัย ข้อดีของวิธีนี้ คือ ง่าย สภาพไวในการวิเคราะห์สูง รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์

Luo, Nakano, Holman, Ruzicka, and Christian (1977, pp. 1563-1571) ได้หาปริมาณ Cr(VI) และ Cr(III) ด้วยเทคนิคสีเควินเชวอินเจกชัน โดยการพัฒนาการสกัดด้วยระบบฟิล์มเปือกเพื่อเพิ่มสภาพไวในการตรวจวัด โดยการเกิดปฏิกิริยาของ Cr(VI) กับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์ เกิดเป็นสารเชิงซ้อนสีม่วงแดง ในกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.012 โมลต่อลิตร (พีเอช 1.6) สำหรับ Cr(III) และ 0.032 โมลต่อลิตร (พีเอช 1.2) สำหรับโครเมียมรวม จากนั้นสกัดด้วย ion pair reagent ที่ละลายในกรดเปอร์คลอริกและสกัดเข้าสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ของแผ่นฟิล์มเปือกที่มี

ส่วนประกอบของออกทานอลและ4-เมทิล-2-เพนทาโนน (MIBK) อัตราส่วน 25:75 แล้วชะด้วยอะซิโตนในโครล์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ทำการตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 546 นาโนเมตร สำหรับ Cr(III) ถูกออกซิไดซ์เป็น Cr(VI) ด้วย Ce(IV) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และคำนวณความแตกต่างของโครเมียมรวม เพื่อหาปริมาณ Cr(III) การวิเคราะห์สามารถเพิ่มความเข้มข้นได้ 25 เท่า ชัดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 2.0 พิโคกรัมต่อลิตร ความเร็วในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 17 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ความเป็นเส้นตรงมีค่าในช่วง 2-100 พิโคกรัมต่อลิตร ($r = 0.999$) ความเที่ยงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่า 2.8 และ 2.0% ที่ความเข้มข้น 25 และ 100 พิโคกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

Joao, Julio, and Nivaldo (1984, pp. 645-647) ได้พัฒนาขั้นตอนการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) แบบออนไลน์ โดยใช้ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์เป็นลิแกนด์และตรวจวัดด้วยเทคนิคโฟลอินเจกชันแอนาไลซิส (FIA) โดยใช้ซีเรียมซัลเฟต (Ce(IV)) และโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟตเป็นตัวออกซิไดซ์ ประสิทธิภาพการออกซิไดซ์ของ Ce(IV) ในการออกซิไดซ์สูงกว่าโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต จึงเลือก Ce(IV) เป็นตัวออกซิไดซ์ที่ความเข้มข้น 0.025% (m/V) ที่ละลายในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.07 โมลต่อลิตร ภายใต้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

Andersen (1998, pp. 125-131) ได้ทำการศึกษาการหาปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นตัวออกซิแดนท์และวิเคราะห์โดยเทคนิคโฟลอินเจกชันแอนาไลซิส (FIA) โดยวิธีนี้ Cr(III) ถูกออกซิไดซ์เป็น Cr(VI) แบบออนไลน์และตรวจวัดด้วยเทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร โดย Cr(VI) เกิดสารเชิงซ้อนกับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์ สัญญาณที่ได้ให้ความเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดการตรวจวัดของ Cr(VI) มีค่า 0.0225 ± 0.0015 มิลลิกรัมต่อลิตร และสำหรับ Cr(III) มีค่า 0.0420 ± 0.0015 มิลลิกรัมต่อลิตร เทคนิคนี้ประยุกต์ใช้สำหรับหาปริมาณของโครเมียมในตัวอย่างน้ำ

Hoshi, Konuma, Sugawara, Masayuki, and Akatsuka (1998, pp. 659-663) ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มความเข้มข้นในการหาปริมาณ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำ โดยการเกิดสารเชิงซ้อน Cr(VI) กับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์ บนโคตินที่มีโคเดซิลซัลเฟตเป็นคาร์กิลและตรวจวัดด้วยเทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมทรี สารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่อยู่บนโคตินถูกชะออกด้วยเมทานอลและกรดแอสซิดิกเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร (7:3, v/v) จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 541 นาโนเมตร ความเข้มข้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง 0.05-0.6 ไมโครกรัม โมลาร์แอฟฟอร์ตีฟิวิตี มีค่า 3.5×10^4 ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อโมลต่อลิตร ชัดจำกัดในการทนต่อ Fe(III) ที่รบกวนอยู่ที่ความเข้มข้นในระดับ 10 เท่าของ Cr(VI) แต่ไอออนของโลหะอื่น ๆ และแอนไอออนของสารอนินทรีย์ไม่มีผลรบกวนเมื่อ

ศึกษาความเข้มข้นในช่วง 100-10000 เท่าของ Cr(VI) เทคนิคนี้สามารถนำไปประยุกต์หาปริมาณ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติได้

Paulo and Jorge (1998, pp. 2085–2090) ได้ทำการหาปริมาณ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำเสียจากการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าและเหล็กกล้า ด้วยเทคนิคซีเควินเชิงวอินเจกชัน โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมของสารเชิงซ้อนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ให้ความเป็นเส้นตรงในช่วง 0.2-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดการตรวจวัดของ Cr(VI) มีค่า 0.045 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเร็วของการวิเคราะห์ตัวอย่างอยู่ที่ 120 ตัวอย่างต่อชั่วโมง ตัวอย่างจากอุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าและน้ำจากการชักล้างที่เหลือถูกนำมาวิเคราะห์ สำหรับเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ Cr(VI) ที่ความเข้มข้นสูง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้โดยการเจือจางสารละลายในระบบโฟลอินเจกชัน ด้วยปริมาณ 80 ตัวอย่างต่อชั่วโมง

Birghila and Popescu (2002, pp. 355-359) ได้ศึกษาปริมาณโครเมียมที่มีในธรรมชาติ 2 ชนิด ได้แก่ Cr(III) และ Cr(VI) ในการวิเคราะห์ปริมาณทำได้โดยการหาปริมาณโครเมียมรวมกับ Cr(VI) ซึ่งผลต่างของสัญญาณที่ได้ คือปริมาณของ Cr(III) ทำการวัดปริมาณ Cr(VI) ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี โดย Cr(VI) เกิดสารเชิงซ้อนกับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์และปริมาณโครเมียมรวมหาได้จากการออกซิเดชัน Cr(III) เป็น Cr(VI) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) วิธีนี้ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในตัวอย่างน้ำดินตะกอนและพืชจากทะเลสาบทาบาเคเลีย ตำบลคอนสแตนซา ประเทศโรมาเนีย

Zhu, Hu, Jiang, Wu, and Xiong (2002, pp. 121- 126) ได้ศึกษาวิธีการใหม่สำหรับการหาปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) โดยการแยกและวิเคราะห์ด้วยอิเล็กโตรเทอมัลวาเปอร์ไรเซชัน-อินดักทีฟพลาสมาอะตอมมิกอิมิสชันสเปกโตรเมทรี (ETV-ICP-AES) พบว่าการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Cr(III) กับ 8-hydroxyquinoline (8-Ox) เกิดที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ขีดจำกัดในการตรวจวัดสำหรับ Cr(III) และ Cr(VI) คือ 8.6 นาโนกรัมต่อลิตร และ 11.3 นาโนกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ความเที่ยงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่า 3.8% และ 4.1% ที่ความเข้มข้น 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำ

Liang, Shi, Lu, Jiang, and Hu (2003, pp. 1709-1714) ได้พัฒนาวิธีการเพิ่มความจำเพาะและสภาพไวในการตรวจวัด สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณของ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ โดยใช้นาโนมิเตอร์ไททาเนียมไดออกไซด์ไมโครคอลัมน์ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร×3.0 มิลลิเมตร) และเทคนิคอินดักทีฟพลาสมาแมสสเปกโตรเมทรี (ICP-MS) สภาวะที่เหมาะสม คือ พีเอช 6 อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที Cr(III) ที่บรรจุในคอลัมน์ถูกชะออกด้วย

กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร และวิเคราะห์โดย ICP-MS ปริมาณโครเมียมรวมหาปริมาณได้โดยการรีดักชัน Cr(VI) เป็น Cr(III) โดยมีกรดแอสคอบิกเป็นรีเอเจนต์ ความสามารถในการดูดซับของนาโนมิเตอร์ไททาเนียมไดออกไซด์ สำหรับ Cr(III) คือ 7.6 มิลลิกรัมต่อกรัม จัดจำกัดการตรวจวัดสำหรับ Cr(III) คือ 0.32 ไมโครกรัมต่อลิตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์คือ 2.4% ($n = 11$, 100 ไมโครกรัมต่อลิตร) ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 50 เท่า วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ใช้กับการหาปริมาณโครเมียมในตัวอย่างน้ำ

Noroozifar and Khorasani-Motlagh (2003, pp. 705-708) ได้ร่วมกันพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ Cr(III) และ Cr(VI) ที่มีความจำเพาะสูง ง่ายและไม่แพง ด้วยเทคนิคการสกัด Cr(IV) และ Cr(III) (โดยการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) ด้วย Ce(IV)) โดยการเกิดสารเชิงซ้อนกับ DPC ในสถานะที่เป็นกรด แล้วสกัดด้วยเตตระบิวทิลแอมโมเนียมที่ละลายในเมทิลไอโซบิวทิลไคน (MIBK) โดยการสกัดสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้ 20 เท่า สารเชิงซ้อน Cr-DPC ตรวจวัดด้วยเทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมทรีที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สูงสุดที่ความเข้มข้น 0.14 ไมโครกรัมต่อลิตร จัดจำกัดในการตรวจวัดมีค่า 2.22 นาโนกรัมต่อลิตร ความเที่ยงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่าระหว่าง 0.47-1.8% วิธีที่เสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมได้

Jankiewicz and Ptaszynski (2005, pp. 869-875) ได้แสดงผลของการหาปริมาณโครเมียมทั้ง Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างดินโดยเทคนิคทางสเปกโตรโฟโตเมทรี โดยเกิดสีม่วงแดงของสารเชิงซ้อน Cr(VI) กับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์ในสภาวะกรดและใช้แอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟตเป็นตัวออกซิเดชันในสารละลายตัวอย่างดินเพื่อเปลี่ยน Cr(III) เป็น Cr(VI) และได้ศึกษาผลการรบกวนการวิเคราะห์ของเหล็กและทองแดง ทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเทคนิคอะตอมมิกแอฟซอร์พชันสเปกโตรเมทรี

Narin, Kars, and Soylak (2006, pp. 579-584) ได้ศึกษาวิธีที่ง่ายสำหรับวิธีวิเคราะห์และเพิ่มความเข้มข้นของ Cr(VI) และ Cr(III) ในตัวอย่างดิน น้ำและตะกอนจากธรรมชาติ ในงานวิจัยได้ทำการเพิ่มความเข้มข้นและแยก Cr(VI) ออกจาก Cr(III) โดย Ambersorb 563 เรซินและทำการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) ด้วย $K_2S_2O_8$ เพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อนกับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์ จากนั้นทำการตรวจวัดโดยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของลิแกนด์ 1×10^{-4} โมลต่อลิตร ที่ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปริมาตรตัวอย่าง 150 มิลลิลิตร เรซินที่ใช้ 300

มิลลิกรัม จะด้วยอะซีโตน 5 มิลลิตร ซึ่งเทคนิคนี้สามารถนำไปใช้สำหรับหาปริมาณโครเมียมในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมได้

Priego-Capote and Luque (2006, pp. 244–250) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส (CE) โดยการเกิดสารเชิงซ้อนกับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ เนื่องจาก Cr(III) ไม่เกิดปฏิกิริยากับ DPC จึงทำการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) โดยใช้ Ce(IV) โดยแยกวิเคราะห์ Cr(VI) DPC ที่เกิดจาก Cr(VI) ในตัวอย่างและ Cr(VI)-DPC ที่ได้จากการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) สถานะที่เหมาะสมมีการปรับตามตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ให้ดีขึ้น โดยสังเกตจากค่าการแยกและสภาพไวในการตรวจวัดที่ดีขึ้น วิธีนี้พัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในภาชนะที่เป็นแก้ว การเตรียมตัวอย่างมีหลายวิธีแตกต่างกัน ได้แก่ วิธี EPA 3060A, อุลตราโซนิกและการย่อยด้วยไมโครเวฟ พบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยคลื่นไมโครเวฟดีที่สุด ประสิทธิภาพการวิเคราะห์จากร้อยละการได้กลับคืน มีค่า 99.6% และ 98.3% สำหรับ Cr(VI) และ Cr(III) ตามลำดับ ที่เวลา 20 นาที

Marie, Fournier, and Philippe (2007, pp. 1084–1093) ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบออนไลน์ที่มีความรวดเร็วและให้การตอบสนองได้ดีสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณ Cr(VI) ในน้ำ ได้ศึกษาผลของพีเอชต่อการดูดซับ ปริมาณรวมของ Cr(III) และ Cr(VI) ถูกตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 371 นาโนเมตร เทคนิคนี้สามารถหาปริมาณ Cr(VI) ได้รวดเร็วและให้ค่าความเที่ยงได้ดีแม้ว่าพีเอชจะเปลี่ยน สามารถนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์

Tuzen and Soylak (2007, pp. 219–225) ได้ศึกษาการหาปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ โดยการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง ขั้นตอนการสกัดเกิดเป็น Cr(VI)-ammonium pyrrolidine dithiocarbamate (APDC) บน multiwalled carbon nanotubes (MWNTs) หลังจากออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในสถานะที่เป็นเบส วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณโครเมียมรวมและหากลบความเข้มข้นที่ได้กับความเข้มข้นของ Cr(VI) สถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช 2 APDC 2 มิลลิกรัม สารละลายตัวชะเลือกใช้กรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ละลายในอะซีโตน อัตราการไหลของสารละลายตัวอย่างและสารละลายตัวชะ 5 มิลลิตรต่อนาที ปริมาตรตัวอย่างที่เติมลงไป 500 มิลลิตร หลังจากสกัดแล้วเหลือปริมาตร 5 มิลลิตร เพิ่มความเข้มข้นได้ถึง 100 เท่า ชัดจำกัดในการตรวจวัดของ Cr(VI) มีค่า 0.90 ไมโครกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการดูดซับ Cr(VI) ของ multiwalled carbon nanotubes มีค่า 9.50 ไมโครกรัมต่อลิตร วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ในการหาปริมาณ Cr(III) และ

Cr(VI) ในตัวอย่างธรรมชาติ ร้อยละการได้กลับคืน มีค่ามากกว่า 95% ความเที่ยงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่าน้อยกว่า 9%

Saygi, Tuzen, Soylak, and Elci (2008, pp. 1009–1014) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำโดยการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง ตรวจวัดด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอสซอร์ปชันสเปกโตรเมทรี ขั้นตอนการวิเคราะห์ทำโดยการสกัด Cr(VI) ด้วยเรซิน Dowex M 4195 หลังจากออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ในการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมรวมและคำนวณหาปริมาณ Cr(III) โดยการหักลบกับความเข้มข้นของ Cr(VI) สภาพที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช 2 ทำการชะด้วยกรดไนตริก ความเข้มข้น 4 โมลต่อลิตร ปริมาตร 8 มิลลิลิตร อัตราการไหลของสารละลายตัวอย่างและสารละลายตัวชะ คือ 5 มิลลิลิตรต่อนาที โดยใช้เรซิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรตัวอย่างที่ทำการชะลงไป 25-250 มิลลิลิตร เมื่อทำการชะแล้วเหลือปริมาตร 8 มิลลิลิตร สามารถเพิ่มความเข้มข้นได้ถึง 31 เท่า วิธีที่เสนอได้ประยุกต์สำหรับการหาปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ ชีดจำกัดในการตรวจวัด มีค่า 1.94 ไมโครกรัมต่อลิตร และชีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ มีค่า 6.47 ไมโครกรัมต่อลิตร ร้อยละการได้กลับคืนมากกว่า 95% ความเที่ยงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่าน้อยกว่า 10%

Masroumnia, Nezhadali, Taghezadeh-Darban, Ahmadabaddi, and Mollaei (2010, pp. 26-28) ได้ใช้เทคนิคการสกัด Cloud Point ในการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำหลังจากสกัดด้วย Cloud Point โดยการเกิดสารเชิงซ้อนของ Cr(VI) กับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไฮด์ สำหรับ Cr(III) ทำการออกซิไดซ์ให้เป็น Cr(VI) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันและหาสภาพที่เหมาะสมของการเกิดสารเชิงซ้อนและทำการวัดด้วยเทคนิคทางสเปกโตรเมทรีที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร การสกัดด้วยเทคนิค Cloud Point นี้ใช้สารลดแรงตึงผิว คือ Triton-x-114 ในการเพิ่มความเข้มข้นและหาปริมาณ Cr(VI) การหาปริมาณ Cr(III) ในตัวอย่างทำได้โดยการหาผลต่างของค่าการดูดกลืนแสงของการวัดโครเมียมทั้งหมดกับค่าการดูดกลืนแสงของ Cr(VI) สภาพที่เหมาะสม ได้แก่ พีเอชในช่วง 5.0-7.0 ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ คือ เมทานอล ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว 1 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของลิแกนด์ 1×10^{-3} โมลต่อลิตร เวลาในการสกัด 10 นาที และอุณหภูมิในการสกัด 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้ค่า enrichment factor เท่ากับ 10 ความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 2-200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ คือ 0.3% ($n = 10$, 100 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร) ผลของสารรบกวนเมื่อเติมไอออนบวกมีน้อย วิธีที่เสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้การหาปริมาณ Cr(III) กับ Cr(VI) ได้ในตัวอย่างน้ำ

Shahawi, Al-Saidi, Bashammakh, Al-Sibaa, and Abdelfadeel (2011, pp. 175-179) ได้เสนอวิธีการหาปริมาณ Cr(III, VI) ความเข้มข้นต่ำที่มีความจำเพาะสูงและราคาไม่แพง โดยวิธีทางสเปกโตรโฟโตเมทรีในตัวอย่างน้ำ โดยเกิดสารเชิงซ้อนของโครเมียมกับเตตระฟีนิลฟอสโฟเนียมโบรไมด์ (TPP⁺Br⁻) และทำการสกัดด้วยไอออน (TPP⁺CrO₄Cl⁻) ในสารละลายไฮโดรคลอริกและวัดสัญญาณการเคลื่อนที่ของสัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดจาก TPP⁺Br⁻ ที่ความยาวคลื่น $\lambda_{ex/em} = 242/305$ นาโนเมตร สัญญาณฟลูออเรสเซนซ์ของ TPP⁺Br⁻ ลดลงเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของ Cr(VI) เพิ่มขึ้นในช่วง 1-114 ไมโครกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 0.43 ไมโครกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดการวิเคราะห์ปริมาณอยู่ที่ 1.42 ไมโครกรัมต่อลิตร Cr(III) หลังจากถูกออกซิไดซ์เป็น Cr(VI) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ในสารละลายเบส การหาปริมาณ Cr(III, VI) ปริมาณน้อยสำเร็จได้ด้วยวิธีนี้และตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์ด้วยสารอ้างอิงมาตรฐาน (IAEA Soil-7) ตัวอย่างน้ำประปาและน้ำทิ้ง เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์กับเทคนิคอินดักทีฟพลาสมาแมสสเปกโตรเมทรี (ICP-MS) พบว่าร้อยละการกลับคืนมากกว่า 95%

Ma, Yang, and Byrne (2012, pp. 247-252) ได้ศึกษาการหาปริมาณ Cr(III) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำในน้ำดื่ม โดยมีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์เพื่อสุขภาพของมนุษย์ ทำการวิเคราะห์โดยเทคนิคการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง (solid phase extraction, SPE) ร่วมกับ light-emitting diode (LED) ในการวิเคราะห์โครเมต (Cr(VI)) ในระดับนาโนโมลาร์และเพิ่มความจำเพาะในการวิเคราะห์โดยใช้ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาไซด์ ในการเกิดปฏิกิริยากับโครเมต (Cr(VI)) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด เมื่อเกิดสารเชิงซ้อนแล้วทำการสกัดด้วย C18 SPE โดยใช้เมทานอลเป็นตัวชะ นำไปตรวจวัดด้วย สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ได้แก่ สัดส่วนและความเข้มข้นของรีเอเจนต์ ชนิดของสารละลายตัวชะ อัตราการไหล ปริมาตรตัวอย่างและความเสถียรของ SPE ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ขีดจำกัดการตรวจวัด คือ 3 นาโนโมลาร์ ปริมาตรตัวอย่างในการวิเคราะห์ 50 มิลลิลิตร เวลาในการวิเคราะห์ 10 นาที วิเคราะห์ในช่วงความเข้มข้น 0-500 นาโนโมลาร์ สามารถวิเคราะห์ได้ง่ายโดยการเปลี่ยนปริมาตรตัวอย่าง สำหรับการวิเคราะห์นี้ได้พัฒนาสภาพในการวิเคราะห์ ลดปริมาณสารตัวอย่าง เวลาในการวิเคราะห์สั้น การทำงานง่ายขึ้น และราคาถูก

2.4.2 การสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย

Berijani, Assadi, Anbia, Hosseini, and Aghaee (2006, pp. 1-9) ได้เสนอเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สารกำจัดศัตรูพืชพวกออร์แกนโนฟอสฟอรัส (organophosphorus pesticides, OPPs) จากตัวอย่างน้ำและตรวจวัดด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟรมโฟโตเมตริกดีเทคชัน (GC-FPD) ในวิธีการสกัดนี้ใช้สารละลายผสมระหว่างคลอโรเบนซีนเป็นตัวทำละลายสำหรับสกัดและอะซิโตนเป็นตัวทำละลายสำหรับการแพร่กระจาย หยดของคลอโรเบนซีนหลังสกัดถูกฉีดเข้าเครื่อง GC-FPD ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมได้ค่า enrichment factor และร้อยละการกลับคืนของการสกัดอยู่ในช่วง 78.9–107.0% และ 78.8–107% ตามลำดับ ช่วงความเป็นเส้นตรง 10–100,000 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร ชีดจำกัดการตรวจวัด มีค่าในช่วง 3–20 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่า 1.2–5.6% ($n=5$) ร้อยละการกลับคืนของ OPPs ในน้ำจากแม่น้ำ บ่อและฟาร์ม เมื่อเติมสารที่ระดับความเข้มข้น 50, 500 และ 5,000 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า 84–125, 88–123 และ 93–118% ตามลำดับ

Baliza, Teixeira, and Lemos (2009, pp. 220–224) ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มความเข้มข้นของโคบอลต์โดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย ของการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างโคบอลต์กับ Br-TAO ที่พีเอช 1.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์เกิดในระบบตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ สารที่เป็นตัวสกัด คือ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ สารที่เป็นตัวแพร่กระจาย คือ เมทานอลและสารที่เป็นรีเอเจนต์ คือ Br-TAO 1.3×10^{-3} โมลต่อลิตร โดยการฉีดสารละลาย Br-TAO ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ลงไปในสารละลายโคบอลต์ที่ละลายในน้ำโดยตรง หลังจากสกัดแยกวัฏภาคด้วยการเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูงเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์โคบอลต์ด้วยเฟรมอะตอมมิกแอพซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (F-AAS) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมความเป็นเส้นตรงมีค่าในช่วง 3.00–100 ไมโครกรัมต่อลิตร ชีดจำกัดในการตรวจวัด มีค่า 0.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ชีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ มีค่า 3 ไมโครกรัมต่อลิตร ความเที่ยงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่า 2.3–5.8% เพิ่มความเข้มข้น 16 เท่า ปริมาตรตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ร้อยละการได้กลับคืน มีค่า 94–104% วิธีที่เสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณโคบอลต์ในตัวอย่างน้ำจากสิ่งแวดล้อมได้

Chen, Du, Jie, Shenghua, and Shengqing (2010, pp. 176–179) ได้เสนอวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายร่วมกับอุลตราโซนิกโพรบ ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรเทอร์มอลอะตอมมิกแอพซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (ET-AAS) ในการวิเคราะห์ปริมาณ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำ ขั้นตอนการวิเคราะห์เริ่มจากการทำให้เกิดสารเชิงซ้อนของ Cr(VI) กับแอมโมเนียมไพโรโรดินไดไฮโอคาร์บาเมท (APDC) ในสารละลายน้ำและสกัดลงในหยดของ 1-hexyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate ([Hmim][PF₆]) ด้วยการแพร่ลงในตัวอย่างน้ำ

ด้วยอุลตราโซนิก โดยใช้อุลตราโซนิกโพรบ สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ปริมาตรของ [Hmim][PF₆] 50 ไมโครลิตร พีเอช 6 APDC 0.005% (m/v) โซเดียมคลอไรด์ 5% (m/v) อัตราเร็วในการเหวี่ยง 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากสภาวะที่เหมาะสม ชัดจำกัดในการตรวจวัด สำหรับ Cr(VI) มีค่า 0.07 นาโนกรัมต่อลิตร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ความเข้มข้น Cr(VI) 2 นาโนกรัมต่อลิตร มีค่า 9.2% วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณ Cr(VI) ในทะเลสาบและตัวอย่างน้ำดื่มได้

Kocurova, Ioseph, Balogh, Skrlikova, Posta, and Andruch (2010, pp. 1958-1964) ได้ศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายโดยใช้ตัวทำละลายเข้าช่วยเพื่อปรับปรุงความหนาแน่น ระบบตัวทำละลายที่ใช้ประกอบไปด้วยตัวทำละลายที่เป็นตัวแพร่กระจาย ตัวทำละลายที่เป็นตัวสกัดและตัวทำละลายที่เป็นตัวช่วย ระบบตัวทำละลายนี้ใช้เพื่อปรับให้ตัวทำละลายมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ เพื่อแยกชั้นของน้ำและตัวทำละลายโดยการเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง ซึ่งวิธีที่เสนอนี้เป็นทางเลือกสำหรับแก้ปัญหาเรื่องความหนาแน่นของตัวทำละลายในการวิเคราะห์ปริมาณทองในรูปของ ion pair reagent ($[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$) โดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย และทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรีและแกรไฟต์เฟอร์รอนอะตอมมิกแอพซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (GF-AAS) สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์คือ พีเอช 3 ลิแกนด์ที่ใช้คือ $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 0.8 มิลลิโมลต่อลิตร สารที่เป็นตัวแพร่กระจายคือ เมทานอล ตัวทำละลายในการสกัดคือ โทลูอิน ตัวทำละลายที่เป็นตัวช่วยในการสกัดคือ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรเมทรี พบว่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.39-4.70 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับเทคนิค GF-AAS อยู่ในช่วง 0.5-39.4 ไมโครกรัมต่อลิตร การพัฒนาเทคนิคนี้ให้ความเป็นเส้นตรงสองช่วงที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเครื่องมือในการตรวจวัด และสำหรับเทคนิคนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสารประกอบอื่น ๆ โดยใช้ตัวทำละลายที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ

Mohammad, Parviz, Syed, and Faezeh (2010, pp. 6302-6310) ได้ศึกษาเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายร่วมกับอะตอมมิกแอพซอร์พชันสเปกโตรเมทรี สำหรับการเพิ่มความเข้มข้นและหาปริมาณ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำและเส้นผม สำหรับการเกิดสารเชิงซ้อนใช้แอมโมเนียมไพโรรีดินไดไฮโอคาร์บาร์เมตเป็นลิแกนด์ คาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นตัวทำละลายในการสกัดและสารที่เป็นตัวแพร่กระจายคือ เมทานอล สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ตัวทำละลายที่เป็นตัวสกัดคือ คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ปริมาตร 35 ไมโครลิตร สารที่เป็นตัวแพร่กระจายคือ เมทานอล ปริมาตร 500 ไมโครลิตร พีเอช 2.2 เวลาในการสกัด 3 นาที เติมน้ำเกลือ 5% (w/v) และความเข้มข้นของลิแกนด์ 10^{-4} กรัมต่อลิตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม enrichment factor คือ 171 เมื่อใช้ปริมาตรตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ชัดจำกัดการตรวจวัดสำหรับ Cr(VI) คือ 5.96 นาโนกรัมต่อลิตร

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ คือ 3.02% ($n = 10$, 20 นาโนกรัมต่อลิตร) วิธีที่เสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณ Cr(VI) ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติและเส้นผมได้

Tabrizi (2010, pp. 688–693) ได้เสนอวิธีใหม่ที่ยง่ายและมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปริมาณ Fe(II) ในตัวอย่างน้ำที่แตกต่างกัน โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายทำการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรเมทรี โดยการเกิดสารเชิงซ้อนของ Fe(II) กับ O-ฟีแนนโทลีน (O-Phen) พารามิเตอร์ที่สำคัญในการสกัด ได้แก่ O-ฟีแนนโทลีน (O-Phen) 0.05 โมลต่อลิตร พีเอช 1.5 สกัดด้วยคลอโรฟอร์ม ปริมาตร 70 ไมโครลิตร และเมทานอล 500 ไมโครลิตร เป็นตัวแพร่กระจาย เวลาการสกัด 3 นาที ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.025–1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร จัดจำกัดในการตรวจวัด 7.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ความเที่ยงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่า 1.2% ร้อยละการได้กลับคืนเมื่อเติมสารมาตรฐานลงไปในสารละลายตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 90% ถึง 108% วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณ Fe(II) ในตัวอย่างน้ำได้

Daryoush, Ghazizadeh, and Hassan (2011, pp. 1124–1128) ได้ศึกษาวิธีที่ง่ายในการเพิ่มความเข้มข้นของโรเดียมที่มีปริมาณน้อยมาก โดยใช้เทคนิคการสกัดแบบคู่ไอออนร่วมกับการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย ในการวิเคราะห์แอนไอออนของสารเชิงซ้อน $RhCl_4^-$ จะรวมกับเตตระเดซิลไดเมทิลเบนซิลแอมโมเนียมและถูกสกัดลงสู่ชั้นของคลอโรเบนซีน สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ สารที่เป็นตัวสกัด คือ คลอโรเบนซีน ปริมาตร 50 ไมโครลิตร สารที่เป็นตัวแพร่กระจาย คือ เอทานอล ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เติมน้ำเกลือ 5% (w/v) พีเอช 2 และเวลาไม่มีผลในการสกัด จากสภาวะที่เหมาะสมค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.6–500 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร จัดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 0.10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นหลังจากสกัดเพิ่มขึ้น 40 เท่า วิธีที่เสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณของโรเดียมในตัวอย่างฝุ่นและน้ำได้

Hassan, Vahid, and Soheila (2011, pp. 885–890) ได้ศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย ร่วมกับการตรวจวัดด้วยอินดักทีฟพลาสมาออปติคัลอีมิสชันสเปกโตรเมทรี (ICP-OES) ซึ่งเป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นพร้อมกับการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม ทองแดง นิกเกิลและสังกะสี ในตัวอย่างน้ำ ในการวิเคราะห์ใช้โซเดียมไดเอทิลไดไธโอคาร์บาเมต (Na-DDTC) เป็นลิแกนด์ในการเกิดสารเชิงซ้อน ใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์เป็นตัวทำละลายในการสกัดปริมาตร 113 ไมโครลิตร และใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายในการแพร่กระจายปริมาตร 1 มิลลิลิตร พีเอช 6.70 ความเข้มข้นของลิแกนด์ 540 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการเหวี่ยง 3500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที พบว่าความเข้มข้นของเกลือและปริมาตรของสารที่เป็นตัวแพร่กระจายไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัด สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด คือ

ปริมาตรของตัวทำละลายในการสกัด 113 ไมโครลิตร ความเข้มข้นของลิแกนด์ 540 มิลลิกรัมต่อลิตร และพีเอช 6.7 ความเป็นเส้นตรงของทองแดง นิกเกิลและสังกะสี มีค่า 1-1000 ไมโครกรัมต่อลิตร และสำหรับโครเมียมความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1-750 ไมโครกรัมต่อลิตร สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าสูงกว่า 0.993 ขีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 0.23–0.55 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ อยู่ในช่วง 2.1–3.8% ได้ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 90–99%

Krlikova et al., (2011, pp. 40–45) ได้เสนอวิธีการใหม่ที่เหมาะสำหรับหาปริมาณทองแดง โดยการเกิดสารเชิงซ้อนของ Cu(I) กับ 1,3,3-trimethyl-2-[5-(1,3,3-trimethyl-1,3-dihydroindol-2-ylidene)-penta-1,3-dienyl]-3H-indolium (DIDC) ที่มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ เพื่อให้เป็นไอออนคลอไรด์ในสารละลายและสกัดโดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายของสารเชิงซ้อนที่มีในชั้นน้ำให้เข้าไปในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ พีเอช 3 คลอไรด์ไอออน 0.24 โมลต่อลิตร DIDC 0.06 มิลลิโมลต่อลิตร โดยมีอะซีเตตเป็นตัวสกัด เตระคลอโรมีเทนเป็นสารละลายช่วยในการสกัดและเมทานอลเป็นตัวแพร่กระจาย ผสมกันด้วยอัตราส่วน 1:1:3 (v/v/v) วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร ขีดจำกัดในการตรวจวัด มีค่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณทองแดงในตัวอย่างน้ำได้

Moghadam, Shabani, and Dadfarnia (2011, pp. 176–182) ได้ศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายโดยการทำให้หยดของตัวทำละลายลอยมารวมกัน (DLLME-SFO) และงานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นเพื่อแยกและเพิ่มความเข้มข้นของ Fe(III) และ Fe(II) ในตัวอย่างน้ำพร้อมกัน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวแพร่กระจาย ใช้ 1-อัลเคคานอลเป็นตัวสกัดที่มี 2-thenyltrifluoroacetone (TTA) เป็นลิแกนด์ จีกลงไปในตัวอย่างน้ำที่มี Fe(II) บรรจุอยู่อย่างรวดเร็ว ในขั้นตอนนี้ Fe(II) จะเกิดปฏิกิริยากับ TTA และสกัดเข้าสู่ 1-ออกทานอล ทำการตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 450-600 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 95–1070 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 31-350 ไมโครกรัมต่อลิตร ด้วยขีดจำกัดการตรวจวัดที่ 25 และ 8 ไมโครกรัมต่อลิตร ของ Fe(III) และ Fe(II) ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD, n=6) มีค่าต่ำกว่า 4.2% เทคนิคที่เสนอนี้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของ Fe(III) และ Fe(II) ได้ถึง 162 และ 125 เท่า ตามลำดับ วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณ Fe(III) และ Fe(II) ในตัวอย่างน้ำได้

Mohammad, Behzadi, Abadi, and Beizaei (2011, pp.1739-1743) ได้ศึกษาวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพทั้งการแยกและการเพิ่มความเข้มข้นของ Ni(II), Co(II), Pb(II) และ Cr(III) สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ พีเอช 7 ตัวทำละลายที่เป็นตัวสกัด คือ 1-ออกทานอล ปริมาตร 80 ไมโครลิตร สารที่เป็นตัวแพร่กระจาย คือ เอทานอล

ปริมาตร 1.50 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของลิแกนด์ 1.5×10^{-3} โมลต่อลิตร เติมเกลือ 0.5% (w/v) และเวลาในการสกัด 5 นาที ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซีดจำกัดการตรวจวัดของโครเมียม คือ 0.2 นาโนกรัมต่อลิตร และ 1.3 นาโนกรัมต่อลิตร สำหรับโคบอลต์ นิกเกิลและตะกั่ว พบว่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 800 เท่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของโครเมียมความเข้มข้น 6 นาโนกรัมต่อลิตร คือ 6.2% (n=7) สำหรับโคบอลต์ นิกเกิลและตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 10 นาโนกรัมต่อลิตร คือ 7.2% (n=7) วิธีที่นำเสนอสามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โลหะที่มีปริมาณน้อยในตัวอย่างน้ำได้

Soylak and Yilmaz (2011, pp. 297-301) ได้เสนอวิธีการใหม่ในการแยกและเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วในขั้นตอนเดียว คือ การสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย โดยใช้ไพโรรีดินไดไฮโอคาร์บาร์เบทเป็นลิแกนด์และทำการสกัดสารเชิงซ้อนของตะกั่วด้วย 1-Hexyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate หลังจากแยกสารเชิงซ้อนออกจากชั้นน้ำได้แล้ว วิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฟรมอะตอมมิกแอพซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (FAAS) สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ พีเอช 5 ความเข้มข้นของลิแกนด์ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรของ 1-Hexyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate 70 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร ร้อยละการกลับคืนของตะกั่วตรวจสอบโดยการเติมไอออนบวกและไอออนลบความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 40 เท่า เมื่อใช้ปริมาตรตัวอย่าง 20 มิลลิลิตรในการสกัด ซีดจำกัดการตรวจวัดอยู่ที่ 1.5 ไมโครกรัมต่อลิตร วิธีที่เสนอสามารถประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณตะกั่วในตัวอย่างน้ำ

Wen, Deng, Guo, and Yang (2011, pp. 249-254) ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มความเข้มข้นในการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย ในการหาปริมาณแคดเมียมและทองแดงในตัวอย่างน้ำและอาหาร สภาวะที่เหมาะสมในการหาปริมาณแคดเมียม คือ เกิดสารเชิงซ้อนกับไดไฮโซนเข้มข้น 0.060 มิลลิโมลต่อลิตร พีเอช 9.2 ใช้เมทานอลเป็นสารที่เป็นตัวแพร่กระจาย สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการหาปริมาณทองแดง คือ เกิดสารเชิงซ้อนกับไดเอทิลไดไฮโอคาร์บาร์เบต (DDTC)เข้มข้น 0.033% (w/v) พีเอช 3 ใช้เอทานอลเป็นสารที่เป็นตัวแพร่กระจาย จากนั้นทั้งแคดเมียมและทองแดงถูกสกัดด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เวลาในการสกัด 1 นาที อัตราเร็วในการเหวี่ยงสารเชิงซ้อน 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที สารที่เป็นตัวช่วยสกัด คือ อะซีโตนและการเติมเกลือไม่มีผลในการทดลองนี้ จากสภาวะที่เหมาะสมพบว่าขีดจำกัดการตรวจวัดของแคดเมียม มีค่า 0.01 นาโนกรัมต่อลิตร เพิ่มความเข้มข้น 3458 เท่า และขีดจำกัดการตรวจวัดของทองแดง คือ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพิ่มความเข้มข้น 10 เท่า วิธีนี้ให้ประสิทธิภาพการสกัดที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายและได้ประยุกต์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและทองแดงในตัวอย่างน้ำและอาหาร ผลการวิเคราะห์เป็นที่พอใจ ทำได้ง่าย รวดเร็ว เพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และให้การตอบสนองสูง

Mir, Djavanshir, and Parisa (2012, pp. 70–78) ได้เสนองานวิจัยที่ง่าย รวดเร็วเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มไตรเอโซลในตัวอย่างน้ำและน้ำอู่น โดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย (DLLME) แล้วตรวจวัดด้วยแก๊สโครมาโทกราฟี-เฟรมอะตอมไมเซชัน (GC-FID) หรือแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี (GC-MS) วิธีการสกัดด้วย DLLME ทำการสกัดในภาชนะแคบ (ยาว=120 เซนติเมตร×เส้นผ่านศูนย์กลาง=5 มิลลิเมตร) ที่บรรจุสารละลายตัวอย่าง แล้วทำการสกัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ได้แก่ สารที่เป็นตัวสกัด คือ เฮกเซนผสมกับเฮกเซนที่อัตราส่วน 75:25% (v/v) และใช้อะซิโตรไนโตรลเป็นตัวแพร่กระจาย พีเอช 4-6 ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 10% (w/v) เวลาในการสกัด 30 วินาที จากสภาวะที่เหมาะสมความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 2–5000 ไมโครกรัมต่อลิตร ($R^2 > 0.995$) ขีดจำกัดในการตรวจวัด มีค่า 0.3–5 ไมโครกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ มีค่า 0.9–16.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่า 3.2–5% ร้อยละการได้กลับคืน มีค่า 74–99%

Sanagi, Abbas, Ibrahim, and Enien (2012, pp. 557–562) ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์สารกำจัดวัชพืชกลุ่มไตรเอซีน 4 ชนิด ได้แก่ simazine, atrazine, secbumeton และ cyanazine โดยวิธีการสกัดด้วยของเหลวแบบแพร่กระจายโดยการทำให้หยดของตัวทำละลายลอยมารวมกัน สภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง ได้แก่ ออกทานอลเป็นตัวทำละลายในการสกัด ปริมาตร 10 ไมโครลิตร สารที่เป็นตัวแพร่กระจาย คือ อะซิโตรไนโตรล ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และเติมโซเดียมคลอไรด์ 5% เวลาในการสกัด 3 นาที ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ คือ 0.03-5.1% ความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.01-100 ไมโครกรัมต่อลิตร ขีดจำกัดการตรวจวัด 0.037-0.008 ไมโครกรัมต่อลิตร และประสิทธิภาพในการสกัดสูง 195-322 วิธีนี้สามารถประยุกต์ในการหาปริมาณสารเคมีกำจัดวัชพืชในตัวอย่างน้ำและอ้อยได้ ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 95.7-116.9%

Xia, Cheng, Guo, Wang, and Cheng (2012, pp. 47–53) ได้เสนอวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย โดยเกิดการผสมของสารละลายในไซริงค์ (ISD-DLLME) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยใช้ตัวทำละลายในการสกัดที่มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งให้การตอบสนองสูงสำหรับการหาปริมาณกลุ่มสารฆ่าเชื้อรา 3 ชนิด ได้แก่ azoxystrobin, diethofencarb และ pyrimethanil ในตัวอย่างน้ำและตรวจวัดโดยเทคนิคไฮเพอร์ฟลูออเรสเซนต์โครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมทรี โครมาโทกราฟี-ไดโอดแอรเรย์เทคเตอร์/อิเล็กโตรสเปโรออไนเซชันแมสสเปกโตรเมทรี โดยวิธีที่เสนอใช้ไซริงค์ขนาด 5 มิลลิลิตร ในการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของสารกลุ่มเชื้อราที่บรรจุอยู่ภายในไซริงค์ อิมัลชันเกิดขึ้นหลังจากที่ฉีดสารละลายผสมโกลูอินกับเมทานอลซึ่งเป็นสารที่เป็นตัวสกัดและสารที่เป็นตัวแพร่กระจายลงไปไซริงค์ แยกอิมัลชันของ 2 วัฏภาคได้จากการเหวี่ยง

ด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สามารถเพิ่มความเข้มข้นของ azoxystrobin, diethofencarb และ pyrimethanil ได้ 239, 200 และ 195 เท่าตามลำดับ ชีดจำกัดในการตรวจวัด มีค่า 0.026 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับ azoxystrobin, 0.071 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับ diethofencarb และ 0.040 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับ pyrimethanil ความเที่ยงจากการวิเคราะห์ มีค่า 4.9 และ 8.2% เมื่อทำการวิเคราะห์ซ้ำภายในวันเดียวกันและระหว่างวันตามลำดับ ($n = 5$) ร้อยละการได้กลับคืนเมื่อเติมสารที่วิเคราะห์ลงไปที่มีความเข้มข้น 0.2, 1, 5 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่า 90.0–105.0%, 86.0–114.0% และ 88.6–110.0% ตามลำดับ วิธีที่เสนอนี้ประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสารฆ่าเชื้อราในตัวอย่างน้ำได้

Joon et al., (2013, pp. 214–219) ได้ร่วมกันศึกษาศึกษาการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย โดยการทำให้หยดของตัวทำละลายที่ลอยมารวมกัน (DLLME-SFO) เทคนิคนี้พัฒนาขึ้นเพื่อหาปริมาณ duloxetine ในตัวอย่างเลือดของมนุษย์และตรวจวัดด้วยเทคนิคไฮเพอร์ฟลูออเรสเซนซ์โครมาโทกราฟี-ฟลูออเรสเซนซ์ (HPLC-FLD) ในขั้นตอนการสกัดทำการตกตะกอนของโปรตีนในเลือดโดยสารละลายผสมของซิงค์ซัลเฟตกับอะซิโตรไนไตรล์ หลังจากโปรตีนตกตะกอน duloxetine ในสารละลายตัวอย่างที่มีสภาวะเป็นเบสถูกสกัดด้วย DLLME-SFO โดยใช้ 1-ออกทานอล เป็นตัวทำละลายในการสกัด ที่ปริมาตร 50 ไมโครลิตร สำหรับสารที่เป็นตัวแพร่กระจายไม่เติมเพิ่ม เพราะในสารละลายตัวอย่างมีอะซิโตรไนไตรล์บรรจุอยู่แล้วในขั้นตอนการตกตะกอนโปรตีน เมื่อทำการสกัดแล้วนำสารละลายตัวอย่างไปเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูงเพื่อแยกชั้นของน้ำกับตัวทำละลายออกจากกัน หยดของเหลวที่กระจายทั่วสารละลายสามารถทำให้มารวมกันได้ด้วยอ่างน้ำเย็น สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดด้วยเทคนิค DLLME-SFO ได้แก่ ชนิดของสารที่เป็นตัวสกัด คือ 1-ออกทานอล ปริมาตร 50 ไมโครลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิตร เวลาในการสกัด 1 นาที การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ไม่มีผลในการสกัด ทำการวิเคราะห์ด้วย HPLC-FLD โดยใช้เอทานอลเป็นเฟสเคลื่อนที่ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 2.5–200 นาโนกรัมต่อมิลลิกรัม จากกราฟมาตรฐานให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มากกว่า 0.99 ชีดจำกัดในการวิเคราะห์ปริมาณ มีค่า 2.5 นาโนกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของทุกความเข้มข้น มีค่าน้อยกว่า 15% และ 20% สำหรับการวิเคราะห์ภายในวันเดียวกันและระหว่างวัน ตามลำดับ เพิ่มความเข้มข้น 98 เท่า ร้อยละการได้กลับคืนอยู่ในช่วง 59.6–65.5% วิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณ duloxetine ในตัวอย่างเลือดของมนุษย์ได้

Shengping and Xiashi (2013, pp. 59–64) ได้ร่วมกันศึกษาวิธีที่ง่ายที่พัฒนาขึ้นในการหาปริมาณ Cr(III) และ Cr(VI) โดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย

ตรวจวัดด้วยเทคนิคเฟรมอะตอมมิกแอฟซอร์พชันสเปกโตรเมทรี (FAAS) สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ Cr(VI) คือ ไดเอทิลไดไซโอคาร์บาเมต (DDTC) ความเข้มข้น 2% (w/v) พีเอช 5 สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โครเมียมรวม คือ พีเอช 6.5 ทั้ง Cr(VI) และโครเมียมรวม ถูกสกัดด้วย 1-octyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate ($[C_8MIM][PF_6]$) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร และใช้เมทานอลเป็นตัวแพร่กระจาย ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เวลาในการสกัด 6 นาที ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปไม่มีผลต่อการสกัด เวลาในการเหวี่ยงสารเชิงซ้อน 6 นาที ที่ความเร็ว 3200 รอบต่อนาที ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ 5 มิลลิลิตร คำนวณหาปริมาณ Cr(III) โดยหักลบความเข้มข้นของโครเมียมรวมกับ Cr(VI) จากสภาวะที่เหมาะสม จัดจำกัดในการตรวจวัดของ Cr(III) และ Cr(VI) มีค่า 1 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 0.41 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สำหรับ Cr(III) และ Cr(VI) มีค่า 3.3% และ 4.0% ตามลำดับ ($n=5$, 80.00 ไมโครกรัมต่อลิตร) ความเป็นเส้นตรงของสารเชิงซ้อนมีค่าในช่วง 5.00–200 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 3.00–800 ไมโครกรัมต่อลิตร สำหรับ Cr(III) และ Cr(VI) ตามลำดับ ร้อยละการได้กลับคืน มีค่า 91.2%–108.0% วิธีที่เสนอนี้ทดสอบความน่าเชื่อถือจาก certified reference materials สำหรับตัวอย่างน้ำจากสิ่งแวดล้อม

Yousefi and Shemirani, (2013, pp. 134–140) ได้เสนอเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจายโดยใช้ ion pair reagent ที่เป็นสารลดแรงตึงผิวในการสกัดและเพิ่มความเข้มข้นของ Cr(VI) และ Cr(III) ในสารละลายตัวอย่าง โดยใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) เป็น ion pair reagent เนื่องจาก Cr(VI) เป็นสารเชิงซ้อนที่มีประจุบวกเมื่อจับกับ 1,5-ไดฟีนิลคาร์บาร์ไซด์ และสกัดเข้าสู่ 1-ออกทานอลที่แพร่ในสารละลาย สำหรับ Cr(III) สามารถวิเคราะห์ได้โดยการออกซิไดซ์เป็น Cr(VI) ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หลังจากออกซิไดซ์แล้วแยกวัฏภาคได้ด้วยการใช้ 1-ออกทานอล เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ในการสกัดและส่งผ่านเข้าสู่ไมโครเซลล์ของ fiber optic-linear array detection spectrophotometry (FO-LADS) จากสภาวะที่เหมาะสมสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้ถึง 159 เท่าของสารละลายตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร และจัดจำกัดในการตรวจวัดมีค่า 0.05 ไมโครกรัมต่อลิตร ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีด้วยการเติมสารมาตรฐานลงไปและเปรียบเทียบร้อยละการได้กลับคืนกับวิธีอิเล็กโตรเทอร์มัลอะตอมมิกสเปกโตรพจน์สเปกโตรโฟโตเมทรี (ET-AAS)