

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

#### 1.1.1 โครเมียม

##### 1.1.1.1 แหล่งที่พบในธรรมชาติ

โครเมียมในธรรมชาติส่วนใหญ่พบในแกนโลกและเปลือกโลก ไม่พบในรูปของธาตุอิสระ สินแร่ที่สำคัญและสามัญที่สุดได้แก่ โครไมต์ (Chromite) ซึ่งมี  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  และ  $\text{FeO}$  เป็นองค์ประกอบหลัก สินแร่ที่มีองค์ประกอบของ  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  แตกต่างกันขึ้นกับแหล่งที่พบ มีตั้งแต่ 42-68% ที่เหลือเป็น  $\text{FeO}$  และมี Magnesia, Alumina และ Silica ปะปนอยู่ด้วย (Stern, 1982)

ในทางธรณีวิทยา ปริมาณโครเมียมจะมีการแปรผันตามชนิดและธรรมชาติของหิน (ตั้งแต่ 1 ถึง 2000 mg/kg) และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในดินทำให้เกิดการกระจายของโครเมียมสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำผิวดิน (fresh water) และในน้ำทะเลอยู่ในช่วง 0.1-6  $\mu\text{g/L}$  และ 0.3-0.5  $\mu\text{g/L}$  ตามลำดับ (Sperling, 1995)

##### 1.1.1.2 สมบัติทางกายภาพและเคมี

โครเมียมเป็นธาตุแรกในหมู่ VIB ในตารางธาตุ จัดเป็นโลหะทรานซิชัน สมบัติทางกายภาพที่สำคัญแสดงในตาราง 1.1

ตาราง 1.1 สมบัติทางกายภาพของโครเมียม

24	เลขอะตอม
51.996	มวลอะตอม
$[\text{Ar}]3d^5 4s^1$	การจัดเรียงอิเล็กตรอน
1857	จุดหลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ )
2672	จุดเดือด ( $^{\circ}\text{C}$ )

ที่มา: Encyclopedia of Analytical Science, 1995

โครเมียมมีสีเทา แวววาว แข็งแต่เปราะ มีความมัน ละลายได้ดีใน nonoxidizing mineral acids แต่ไม่ละลายใน cold aqua regia หรือกรดไนตริก เนื่องจากเกิดชั้นบางๆ เคลือบที่ผิวทำให้โลหะที่อยู่ข้างในไม่สามารถถูกออกซิไดซ์หรือทำปฏิกิริยาต่อไป จึงทนต่อการเกิด oxidizing โครเมียมจึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการเป็นตัวป้องกันและยับยั้ง การผุกร่อน ในทางเคมี อนินทรีย์โครเมียมไม่เพียงแต่มีสีและเลขออกซิเดชันหลายค่า ยังเป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเรขาคณิต (geometry) หลายแบบอีกด้วย ตามลักษณะของธาตุทรานซิชัน (Lowenheim, 1978)

โครเมียมในรูปของสารประกอบสามารถมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ตั้งแต่ -2 ถึง +6 ที่พบได้บ่อยที่สุด คือ โครเมียม(III) และ โครเมียม(VI) ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติ เลขออกซิเดชันที่แตกต่างกันนี้ทำให้ทั้ง 2 สปีชีส์ มีคุณสมบัติทางเคมี ภายภาพที่ต่างกัน รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและชีววิทยาด้วย (Sperling, 1995)

สมบัติทางเคมีของโครเมียมมีดังนี้ (ชัยวัฒน์, 2525)

1. เกิดสารประกอบโดยที่โครเมียมสามารถมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ที่สำคัญ +2, +3 และ +6 ในบางกรณีอาจมีเลขออกซิเดชัน +4 และ +5 ได้ เช่นสารประกอบประเภทโครเมียมฟีนิล (chromium phenyl compound) และ อาจเป็นศูนย์ได้ในสารโครเมียมคาร์บอนิล ( $\text{Cr}(\text{CO})_6$ )

2. สารประกอบของโครเมียมจำนวนมากมีสี และสีเข้ม เช่น  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  มีสีเขียว  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  มีสีม่วงแดง  $\text{CrF}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  หรือ  $\text{CrF}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  มีสีเขียว เป็นต้น

3. โลหะโครเมียมเมื่ออยู่ในรูปที่ว่องไว (ตรงข้ามกับรูปที่ไม่ว่องไว เรียกว่า Passive เนื่องจากผิวของโลหะมี  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  เคลือบอยู่) ทำปฏิกิริยาทันทีกับกรดอนินทรีย์เจือจางทั่วไป เกิดสารละลายสีน้ำเงินที่มีโครเมียม(II) อยู่ด้วยพร้อมกับให้ก๊าซ  $\text{H}_2$  ออกมา ไอออนโครเมียม(II) ในสารละลายดูด  $\text{O}_2$  จากอากาศอย่างรวดเร็วเปลี่ยนไปเป็นโครเมียม(III) ที่มีสีเขียว

4. โลหะโครเมียมทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดซ์ เช่น กรดไนตริก กรดฟอสฟอริก กรดคลอริก และกรดเปอร์คลอริก จะเกิดชั้นบางๆ เคลือบที่ผิวทำให้โลหะที่อยู่ข้างในไม่สามารถถูกออกซิไดซ์หรือทำปฏิกิริยาต่อไป จึงไม่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดอ่อนทั่วไป เรียกโครเมียมที่มีออกไซด์ของโครเมียมเคลือบอยู่ว่าอยู่ในรูป passive ซึ่งสามารถต่อต้านการผุกร่อนได้เป็นอย่างดี

5. โครเมียมสามารถเกิดสารประกอบโคออร์ดิเนชัน (coordination) หรือ สารเชิงซ้อน (complex compound) ที่มีเลขโคออดิเนชัน 6 เช่น  $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ,  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$  และ  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^+$  เป็นต้น

6. โลหะโครเมียมในรูปว่องไว สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซ HCl และ HF

ส่วนสารละลายของไฮโดรฮาโลเจน และกรดซัลฟิวริก จะละลายมันได้ที่อุณหภูมิสูง เช่นที่ 600–700 °C โครเมียมถูกกัดกร่อนโดยไฮดรอกไซด์ เช่น NaOH และ KOH ได้และที่ 800 °C ทำปฏิกิริยากับ P ได้

### 1.1.1.3 การใช้ประโยชน์

โครเมียมและเกลือของโครเมียมสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย เช่น ในอุตสาหกรรมเคมีมีการใช้โครเมียม(III)ออกไซด์ ในการเตรียมโซเดียมโครเมตและโซเดียมไดโครเมตซึ่งเป็นสารตั้งต้นของเคมีภัณฑ์อีกมากมาย เกลือโครเมียมซัลเฟตใช้ในอุตสาหกรรมการฟอกหนัง โครมิกออกไซด์และกรดโครมิกมีฤทธิ์กัดเนื้อเยื่อจึงใช้เป็นยากัดหูดและยาทาภายนอก ยาฆ่าเชื้อรา โครเมียมที่อยู่ในรูปโครเมตและไดโครเมตใช้ในโรงงานพิมพ์ผ้าอุตสาหกรรมสีย้อม การพิมพ์ งานเชื่อม การถ่ายภาพ การขัดเงา การถนอมเนื้อไม้ ใช้ผสมในน้ำกรดแบตเตอรี่ การทำวัตถุระเบิด การทำเซรามิคและแก้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการชุบโลหะ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การบิน โดยใช้ผสมกับเหล็กกล้าทำให้มีความเหนียว งาม และป้องกันสนิมได้ดี เมื่อผสมกับโลหะอื่น ๆ เช่น เหล็กและนิกเกิล เป็นโลหะเจือใช้ทำเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) ใช้เป็นเครื่องมือผ่าตัดและเครื่องมือแพทย์ ในทางการเกษตรก็มีการใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ ในปุ๋ยฟอสเฟต (Sperling, 1995)

### 1.1.1.4 แหล่งที่มาและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

นอกจากโครเมียมจะเป็นธาตุที่พบได้ในธรรมชาติแล้วจากการใช้ประโยชน์ดังกล่าวข้างต้นทำให้มีการแพร่กระจายของโครเมียมในรูปต่างๆ ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซที่ละลายน้ำได้สู่สภาพแวดล้อมและส่งผลต่อระบบชีวนิเวศวิทยา ทั้งจากฝุ่นละออง ควัน ไอของโครเมียมในอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งจะแพร่กระจายสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและสะสมในดินซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อสัตว์น้ำและการประมง (Stern, 1982)

ปริมาณและชนิดของโครเมียมแต่ละสปีชีส์แตกต่างกันไป ขึ้นกับลักษณะแต่ละอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากโรงงานที่มีความเข้มข้นของโครเมียมสูงส่วนใหญ่มาจากโรงงานชุบเคลือบและโรงงานฟอกหนัง (Sperling, 1995; Stern, 1982)

ในแหล่งน้ำธรรมชาติส่วนใหญ่พบโครเมียม(VI)ในรูป  $\text{CrO}_4^{2-}$  และโครเมียม(III)ในรูป  $\text{Cr}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})^{4+}$  ดังนั้นจะพบโครเมียมทั้งที่มีประจุบวกและลบได้ในแหล่งน้ำต่างๆ (Cespón-Romero *et al.*, 1996)

### 1.1.2 การศึกษารูปแบบ (Speciation)

การวิเคราะห์ปริมาณทั้งหมดของธาตุในสารตัวอย่าง เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปในการศึกษาวิเคราะห์สถานภาพและผลกระทบต่าง ๆ ของธาตุที่มีต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในการศึกษาถึงพฤติกรรมทางเคมีและฟิสิกส์ พิษวิทยา และการกระจายในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมของโครเมียม หากวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นรวมอาจได้ข้อมูลไม่เพียงพอ เพราะพฤติกรรมต่างๆของโลหะขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมี (chemical form) (Ure and Davidson, 1995) การศึกษารูปแบบ (speciation) เพื่อทราบถึงปริมาณของแต่ละสปีชีส์ โดยเฉพาะในระบบสิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญ เพื่อทราบถึงสภาวะที่แท้จริงในธรรมชาติ จึงต้องมีการศึกษาหาวิธีการที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณแต่ละสปีชีส์โดยวิธีการนั้นจะต้องเป็นวิธีการที่มีความรวดเร็วเชื่อถือได้ มีความไวในการวิเคราะห์ (sensitivity) และมีความจำเพาะเจาะจง (selectivity) สูง (Das *et al.*, 2001) การศึกษารูปแบบของโครเมียมเป็นการศึกษาแบบกลุ่ม (group speciation) นั่นคือเป็นการศึกษาเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ปริมาณ เพื่อให้ทราบระดับความเข้มข้นของแต่ละกลุ่มของธาตุหรือสารประกอบที่มีอยู่ในสารประกอบหรือรูปแบบที่ต่างกัน โดยใช้เลขออกซิเดชันเป็นตัวกำหนดแยกกลุ่ม (Kot and Namiesnik, 2000 )

### 1.1.3 วิธีที่ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้น

การวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม ในสิ่งแวดล้อมที่มีความเข้มข้นอยู่ในปริมาณต่ำ หรืออาจมีค่าใกล้เคียงกับขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด จำเป็นต้องทำการเพิ่มความเข้มข้น (preconcentration) ก่อนทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ วิธีเพิ่มความเข้มข้นที่นิยมใช้ได้แก่ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การตกตะกอน (precipitation) และการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็งโดยการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) (Mizuike, 1983)

#### 1.1.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

โดยทั่วไปนิยมสกัดโครเมียม(VI) ให้อยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ มีความเสถียรและมีความจำเพาะสูง ที่นิยม ได้แก่ trioctylphosphine oxide, trioctylphosphine amine, tricaprilmethyl ammonium chloride (Aliquat-336) , methylisobutylketone (MIBK) และ chloroform โดยสามารถทำการวิเคราะห์โดยตรงทั้งในตัวทำละลายอินทรีย์หรือทำการสกัดกลับในสารละลายที่เป็นกรด นอกจากนี้อาจทำให้เกิดสารเชิงซ้อนกับสารประกอบคีเลต เช่น diethyldithiocarbamate (DDC), ammonium pyrrolidinedithio-carbarmate (APDC) หรือตัวแลกเปลี่ยนไอออนที่เป็นของเหลว คือ Amberlite LA-12 วิธีนี้มีข้อดีคือทำได้ง่าย และรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคืออาจเกิดการสกัดร่วม (coextraction) ของโครเมียม(III) ร่วมด้วย อีก

ปัญหาหนึ่งคืออาจทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันของโครเมียม(VI) ได้เมื่อสารตัวอย่างอยู่ในตัวกลางที่มีสถานะเป็นกรด

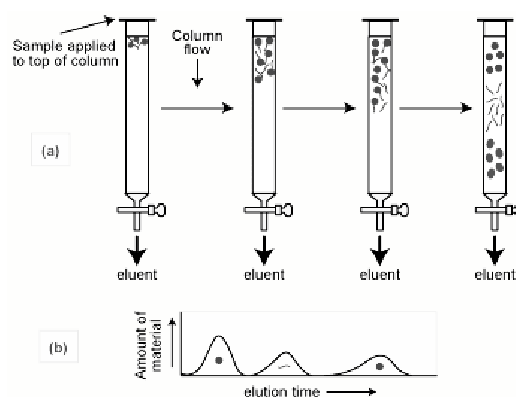
ส่วนการสกัดโครเมียม(III) ไม่เป็นที่นิยม เพราะสถานะโดยธรรมชาติของโครเมียม(III) ที่ไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการหาปริมาณโครเมียม(III) จึงนิยมหาจากผลต่างของปริมาณโครเมียมรวม (total chromium) กับปริมาณโครเมียม(VI) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสารตัวอย่างมีปริมาณโครเมียม(III) ต่ำ (Sperling, 1995)

### 1.1.3.2 การตกตะกอน (Precipitation)

เป็นการทำให้โลหะปริมาณน้อยที่สนใจเกิดตกตะกอนกับตัวทำให้เกิดตะกอน เช่น ทำให้โครเมียม(III) ตกตะกอนกับ  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  หรือ  $\text{Ti}(\text{OH})_3$  เป็นต้น วิธีนี้ใช้กันทั่วไปเนื่องจากมีความจำเพาะในการเพิ่มความเข้มข้นและการแยก แต่ต้องคำนึงถึงการตกตะกอน ที่สมบูรณ์ของไอออนที่สนใจและการละลายของตะกอนที่เกิดขึ้น รวมถึงอาจเกิดปัญหาการตรวจวัดของตัวทำให้เกิดตะกอนที่กำจัดออกไม่หมดด้วย (Mizuike, 1983)

### 1.1.3.3 การสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid Phase Extraction)

การใช้เรซินของแข็งสำหรับแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุเป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะที่มีปริมาณน้อยๆ โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนในสารละลายกับไอออนในของแข็งที่สัมพันธ์กับสารละลายนั้น โดยการผ่านสารละลายตัวอย่างบนเรซินแลกเปลี่ยนไอออน เรซินจะจับไอออนของโลหะไว้แล้วจึงค่อยชะไอออนที่สนใจออกจากคอลัมน์ด้วยตัวชะที่มีความสามารถในการเข้าแทนที่ไอออนที่สนใจในเรซินได้ดีกว่า แสดงในรูป 1.1 (Walton, 1995) เมื่อใช้ตัวชะปริมาณน้อย ๆ เพื่อชะสารที่สนใจวิเคราะห์ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์จะเป็นวิธีเพิ่มความเข้มข้น (preconcentration) กำจัดตัวรบกวน (interference) และเกิดกระบวนการแยกโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชันต่างกัน (separation) ทำให้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณของแต่ละรูปแบบ คือโครเมียม(III) และโครเมียม(VI) ที่มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน เพื่อสามารถบ่งชี้ถึงปริมาณที่แท้จริงและได้ข้อมูลเพียงพอในการประเมินสถานะและผลกระทบโดยตรงได้ในหลายกรณี เช่น ความเป็นพิษ, สถานะแวดล้อม โดยอาศัยสมมติฐานจากข้อมูลต่าง ๆ ว่าจะพบโครเมียม(III) ในรูปไอออนที่มีประจุบวกเท่านั้น และโครเมียม(VI)จะพบในรูปไอออนที่มีประจุลบ (Sperling, 1995)



รูป 1.1 ขั้นตอนการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Meloan, 1999)

เรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นสารโพลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากการทำโพลิเมอร์ไรซ์สารอินทรีย์ สามารถแบ่งตามคุณสมบัติของหมู่ฟังก์ชันนอลในอะโรมาติกนิวเคลียสได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ (Khyrn, 1974)

1. strongly acidic cation exchangers

เรซินชนิดนี้มีหมู่ sulphonic acid อยู่ในอะโรมาติกนิวเคลียส เตรียมได้โดยการนำกรดซัลฟิวริกทำปฏิกิริยากับโพลิเมอร์ของสไตรีนกับไดไวนิลเบนซีน เป็นเรซินที่สามารถแลกเปลี่ยน  $H^+$  กับแคทไอออนอื่นๆ ได้ดี เรซินในกลุ่มนี้ได้แก่ Amberlite IR-112, 120 และ Dowex 50 เป็นต้น

2. weakly acidic cation exchangers

เรซินในกลุ่มนี้มีความแรงน้อยกว่า strongly acidic cation exchangers เพราะหมู่ฟังก์ชันนอล ได้แก่ หมู่ carboxylic, phosphoric acid เป็นต้น ตัวอย่างเรซินคือ Amberlite IRC-50 และ Dowex CCR-1

3. strongly basic anion exchangers

เป็นเรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออนโดยมีหมู่ธาตุที่เป็นเบสกลุ่ม quaternary anime อยู่ในอะโรมาติกนิวเคลียส ได้แก่ Amberlite IRA-400, 401, Dowex 1

4. weakly basic anion exchangers

เรซินชนิดนี้เป็นเรซินแลกเปลี่ยนแอนไอออน มีหมู่ primary, secondary หรือ tertiary anime เป็นหมู่ฟังก์ชันนอล ได้แก่ Amberlite IR-45 และ Dowex 3

เทคนิคการแลกเปลี่ยนไอออนแบบคอลัมน์ ช่วยทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดได้สมบูรณ์ขึ้น เพราะเมื่อเริ่มใส่สารตัวอย่างลงบนคอลัมน์จะเกิดสมดุลของการแลกเปลี่ยนขึ้น โดยขั้นตอนการดำเนินการมีหลักการดังนี้ (ธวัชชัย, 2543)

1. การเลือกและเตรียมเรซิน

เลือกเรซินชนิดที่ตรงกับไอออนที่ต้องการแยก เช่นถ้าต้องการแยกไอออนบวกก็จะต้องเลือกใช้เรซินชนิดแลกเปลี่ยนไอออนบวก แล้วจึงทำการปรับสภาพให้เรซินนั้นพร้อมสำหรับการใช้งาน โดยการนำไปแช่น้ำหรือสารละลายกรดหรือเบสเจือจางตามชนิดของเรซิน

## 2. การใส่สารตัวอย่าง

ค่อยๆ ใส่สารตัวอย่างให้ใกล้ส่วนบนของคอลัมน์มากที่สุด อย่าให้กระจายติดข้างคอลัมน์

## 3. การล้างสิ่งเจือปน

เป็นการกำจัดสิ่งเจือปนอื่น ๆ ออกจากคอลัมน์โดยการผ่านสารละลายที่มีความแรงในการชะล้างเพื่อให้มีเฉพาะสารตัวอย่างที่สนใจเท่านั้นยังถูกกักเก็บอยู่ในคอลัมน์

## 4. การชะสารตัวอย่าง

สารละลายที่เป็นตัวชะมีความสำคัญในการแยกไอออน เช่นเดียวกับการเลือกเรซินทำให้การแยกมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น ทั้งนี้ต้องปรับอัตราการไหลของตัวชะให้เหมาะสมด้วย

### 1.1.4 การตรวจเอกสาร

จากการตรวจเอกสารพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นโครเมียมโดยการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (solid phase extraction) มีการใช้ตัวดูดซับหลายชนิด ที่นิยมใช้ ได้แก่ อะลูมินา (activated alumina) ซึ่งเป็นตัวดูดซับหนึ่งที่ใช้ในวิธีทางโครมาโทกราฟีเพื่อการแยกและเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียมทั้ง 2 รูปแบบ ทั้งนี้เพราะอะลูมินาสามารถทำหน้าที่เป็นตัวแลกเปลี่ยนได้ทั้งไอออนบวกและไอออนลบขึ้นกับ pH ของสารละลาย จากคุณสมบัติของอะลูมินาดังกล่าวข้างต้นจึงมีการศึกษาการแยกโครเมียมแต่ละรูปแบบดังนี้

ในปี 1985 Cox และคณะ ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม(III) และโครเมียม(VI) โดยใช้การวิเคราะห์แบบ FIA-ICP-AES ซึ่งในระบบการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องนี้จะใช้อะลูมินาในการแยกและเพิ่มความเข้มข้น โดยใช้กรดไนตริกเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตรเป็นตัวชะซึ่งคอลัมน์ที่บรรจุด้วยอะลูมินานี้จะไม่ดูดซับโครเมียม(III) ที่มีประจุเป็นบวกหรือกลางแต่จะดูดซับเฉพาะโครเมียม(VI)ซึ่งมีประจุลบและเมื่อผ่านสารละลายตัวอย่างปริมาณมากและใช้ตัวชะปริมาณน้อย ๆ ก็จะเป็นการเพิ่มความเข้มข้นโครเมียม(VI) ได้

ต่อมาในปี 1986 Cox และ McLeod ได้ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นและการหาปริมาณโครเมียม(III) โดยการใช้อะลูมินาชนิดเบส (Activated alumina basic form) ในการเพิ่มความเข้มข้น แล้วตรวจวัดด้วย ICP-AES เช่นเดิม กระบวนการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมในปัสสาวะ

การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์ข้างต้นได้มีอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 1992 Sperling และคณะ ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม(III) และโครเมียม(VI) ในน้ำโดยอาศัยคุณสมบัติอะลูมินารูปกรด ในการเพิ่มความเข้มข้นและการหาปริมาณโครเมียมทั้งสองรูปแบบโดยศึกษาถึงผลของ pH ของสารละลายที่มีต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของอะลูมินา นอกจากนี้ยังเป็นการวิเคราะห์แบบต่อเนื่องด้วยเทคนิค FIA เชื่อมต่อกับ FAAS ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การตรวจวัดด้วย ICP-AES แล้วพบว่าข้อดีคือลดการรบกวนที่เกิดจากแสง (spectral interference) ที่เกิดขึ้น และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์อีกด้วย

ต่อมาในปี 1995 Pannain และ Santelli ได้ปรับปรุงระบบการวิเคราะห์โครเมียม(VI) ที่มีความเป็นพิษในน้ำธรรมชาติเพื่อให้ได้วิธีการที่ประหยัด รวดเร็ว อีกทั้งมีความถูกต้องและแม่นยำสูง โดยการใช้อนุพันธ์ที่บรรจุด้วยอะลูมินาและเลือกใช้กรดไนตริกเข้มข้น  $1 \times 10^{-4}$  โมลต่อลิตรและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรเป็นตัวชะเพื่อให้ได้ผลการแยก และเพิ่มความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้ดีที่สุด และใช้เทคนิค standard addition ในการวิเคราะห์ เพื่อช่วยลดปัญหาของตัวรบกวน

ปี 2001 Marqués และคณะได้ศึกษารูปแบบของโครเมียมโดยใช้คอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วยอะลูมินา และ sequential injection ซึ่งสามารถดูดซับโครเมียมได้ทั้งสองรูปแบบ ดังนั้นจึงกำหนดสภาวะของการชะ โดยใช้แอมโมเนียมเข้มข้น 2 โมลต่อลิตรและกรดไนตริกเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร ในการชะโครเมียม(VI) และโครเมียม(III) ตามลำดับ วิธีการนี้ช่วยให้ลดปริมาณการใช้สารเคมีและทำให้มีของเสียเกิดขึ้นน้อยเมื่อเทียบกับวิธีการแบบ batch และ FIA แบบดั้งเดิมอย่างเห็นได้ชัด

Amberlite XAD copolymer(XAD -2, -4, -7, -8, -12 และ -16) ก็เป็นตัวดูดซับที่ใช้เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของโลหะอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นสารที่มีความบริสุทธิ์สูง และมีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดี Tokalioglu และคณะ (2000) เลือกใช้ Amberlite XAD-16 ในการศึกษารูปแบบและวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักหลายชนิด รวมทั้งโครเมียมในน้ำจากทะเลสาบ ทั้งนี้เพราะ Amberlite XAD-16 มีคุณสมบัติเด่นคือ มีรูพรุนมาก ความเป็นขั้วต่ำ และมีพื้นที่ผิวมากที่สุด ( $825 \text{ m}^2/\text{g}$ ) ในบรรดาเรซิน Amberlite XAD ทั้งหมด อย่างไรก็ตามคุณสมบัตินี้ อาจเป็นปัญหาเพราะจะทำให้เกิดการดูดซับสารที่ไม่พึงประสงค์บนผิวของเรซินได้ด้วย

ปี 2002 Filik ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นโครเมียม(III) ในน้ำ โดยใช้หลักการดูดซับโครเมียม(III) บนเรซิน Amberlite XAD-12 ที่มีหมู่ 5-palmitoyl-8-hydroxyquinoline จากนั้นจึงชะด้วยกรดไฮโดรคลอริก แล้ววิเคราะห์ด้วย FAAS การหาปริมาณโครเมียมทั้งหมดทำโดยการรีดิวซ์โครเมียม(VI) ให้เป็นโครเมียม(III) ด้วย hydroxylamine โดยได้ประยุกต์ใช้กับตัวอย่างที่หลากหลาย ได้แก่ น้ำประปา, น้ำจากแม่น้ำ, น้ำทิ้ง, น้ำทะเล และ ปัสสาวะ

ปี 2003 Wuilloud และคณะ ได้ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นและวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมใน parenteral solution โดยใช้ Amberlite XAD-16 เช่นเดียวกันแต่ได้ทำให้โครเมียม



เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ 4-(2-Thiazolylazo)resoreinol (TAR) ก่อนจึงผ่านสารตัวอย่างไปยังคอลัมน์แล้วชะด้วยเอทานอล แม้ว่าวิธีการนี้จะทำให้ได้การกลับคืน 80 % และมีความถูกต้องและแม่นยำสูง แต่เป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยากเพราะจะต้องมีขั้นตอนของการทำให้โครเมียมเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนก่อน

นอกจากนี้ยังมีการใช้ตัวดูดซับชนิดอื่น ๆ อีก เช่น ในปี 1994 Naghmush และคณะ ได้เลือกใช้ตัวดูดซับชนิดเซลลูโลสในการเพิ่มความเข้มข้นและวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชันต่างกันโดยเซลลูโลสที่มีหมู่ phosphoric acid ในการเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม(III) และเซลลูโลสที่มีหมู่ quaternary amine ในการเพิ่มความเข้มข้นโครเมียม(VI) สำหรับการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างตามธรรมชาติซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมทั้งสองรูปแบบได้จากการฉีดสารตัวอย่างเพียงครั้งเดียว และยังไม่ต้องทำการปรับสภาพสารตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามยังมีความยุ่งยากอันเนื่องจากการปรับ pH ของสารละลายที่ออกจากคอลัมน์แรกก่อนจะไหลอย่างต่อเนื่องเข้าสู่คอลัมน์ที่สอง

ปี 1995 Manzoori และคณะ ศึกษาการปรับสภาพของโครเมียมโดยผ่านสารละลายตัวอย่างไปยังคอลัมน์ขนาดเล็กที่บรรจุด้วย alumina ที่เคลือบด้วย sodium dodecyl sulphate ซึ่งทำให้โครเมียม(VI) ถูกกักอยู่ในคอลัมน์ จึงวัดปริมาณโครเมียม(III) ที่ผ่านออกมาได้ด้วย GFAAS ส่วนปริมาณโครเมียมรวมทั้งหมดสามารถวัดได้โดยตรงโดยไม่ผ่านสารตัวอย่างลงในคอลัมน์ และหาปริมาณโครเมียม(VI) ได้จากผลต่างของปริมาณโครเมียมทั้งหมดกับโครเมียม(III) ข้อดีของวิธีนี้คือไม่ต้องทำการชะสารตัวอย่างออกจากคอลัมน์

Hirata และคณะ (2000) หาปริมาณโครเมียม(III) และโครเมียมทั้งหมดในน้ำทะเลโดยการเพิ่มความเข้มข้นโครเมียม(III) ด้วย iminodiacetate resin (Muromac A-1) และชะด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 0.7 โมลต่อลิตร และหาปริมาณโครเมียมทั้งหมดโดยการรีดิวซ์โครเมียม(VI) ให้เป็นโครเมียม(III) ด้วย hydroxylamine ก่อน แล้วจึงผ่านกระบวนการเช่นเดียวกับการเพิ่มความเข้มข้นโครเมียม(III) และตรวจวัดปริมาณด้วย ICP-MS

ปี 2001 Shemirani และ Rajabi ได้เลือกใช้เซลลูโลสในการเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม(III) เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเลือกดูดซับเฉพาะโครเมียม(III) จึงทำให้มีเฉพาะโครเมียม(III) เท่านั้นที่ถูกดูดซับอยู่ในคอลัมน์ขนาดเล็ก การหาปริมาณโครเมียมทั้งหมดจึงต้องทำการรีดิวซ์โครเมียม(VI) ให้อยู่ในรูปของโครเมียม(III) ก่อน

Kocaoba และ Akcin (2002) ศึกษาการกำจัดโครเมียมโดยเรซินชนิด Amberlite IRC76, IRC718 ซึ่งเป็น weakly acidic exchange resin และ Amberlite IR120 ซึ่งเป็น strongly acidic exchange resin พบว่า Amberlite IRC76 และ IRC718 มีประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกหนังดีกว่า Amberlite IR120

Mondal และคณะ (2002) ทำการสังเคราะห์เรซินชนิดใหม่ที่มีหมู่ฟังก์ชันนอลคือ 2-naphthol-3,6-disulphonic acid เพื่อประยุกต์ใช้ในการศึกษารูปแบบของโครเมียมในน้ำธรรมชาติ

ปี 2003 Dođutan และคณะ ได้ศึกษาคุณสมบัติของ melamine based polymeric sequestering succinic acid resin โดยการประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นและวิเคราะห์ปริมาณโครเมียม(III) และโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการชุบโลหะพบว่า ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูง ซึ่งเหมาะแก่การประยุกต์ใช้ในการกำจัดโครเมียม(VI) ในน้ำทิ้ง เพราะถึงแม้ว่าจะมีการใช้ตัวดูดซับซ้ำถึง 20 ครั้ง ประสิทธิภาพในการดูดซับก็ไม่ลดลง

Ball และ McCleskey (2003) เสนอการวิเคราะห์โครเมียม(VI) ในน้ำตัวอย่าง โดยใช้ strong acid cation-exchange resin (AG50W-X8) ซึ่งดูดซับโครเมียม(III) ไว้ในคอลัมน์ จึงมีเฉพาะโครเมียม(VI) เท่านั้นที่ผ่านออกมาและถูกตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่เหมาะสมต่อไป วิธีการนี้สามารถทำได้ในภาคสนามเพื่อรักษารูปแบบของโครเมียมได้อย่างสมบูรณ์

Motomizu และคณะ (2003) เลือกใช้คอลัมน์ชนิด small-sized thin solid phase (STSP) ในการเพิ่มความเข้มข้นและศึกษารูปแบบของโครเมียมแต่วิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายสูง

ปี 2004 Hashemi และคณะ ใช้ agarose-based chelating adsorbent ได้แก่ iminodiacetic acid (IDA), tris(2-aminoethyl) amine (TREN) และ dipicolylamine (DPA) และ agarose-based anion exchanger (Q-Sepharose) ในการเพิ่มความเข้มข้นและศึกษารูปแบบของโครเมียมในน้ำ แต่วิธีการนี้มีข้อเสียที่เห็นได้ชัดคือมีโอกาสสูญเสียสารที่วิเคราะห์สูง

Yalçin และ Apak (2004) ศึกษาการเพิ่มและวิเคราะห์โครเมียม(VI) และโครเมียม(III) โดยการเพิ่มความเข้มข้นด้วย malic acid - functionalized XAD resin ที่เลือกดูดซับเฉพาะโครเมียม(III) ที่ pH 4.0-5.5

การเพิ่มความเข้มข้นด้วยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนและการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีการที่ใช้อย่างแพร่หลายเช่นเดียวกัน

ปี 1997 Gáspár และ Posta ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม(VI) โดยการทำปฏิกิริยากับ ammonium-pyrrolidinedithiocarbamate (APDC) ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งจะถูกดูดซับเมื่อผ่าน polyether ether ketone loop จากนั้นจึงชะออกด้วย methyl isobutyl ketone เข้าสู่ระบบการตรวจวัด

ปี 2000 Adriá-Cerezo และคณะ ได้ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นและรูปแบบของโครเมียมในน้ำโดยการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง โดยการทำให้โครเมียมเกิดเป็นสารประกอบกับ Ethylenediaminetetraacetic acid (CrY-) ซึ่งทั้งโครเมียม(III) และโครเมียม(VI)จะถูกดูดซับอยู่ใน strong anionic phase (SAX) และทำการชะด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 M ผลการศึกษาพบว่าการวิเคราะห์โครเมียมในน้ำทิ้งให้ผลเช่นเดียวกับวิธีมาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ปี 2002 Anthemidis และคณะ ได้ประยุกต์วิธีการแบบมาตรฐานเป็นวิธีแบบ on-line โดยการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมกับ ammonium pyrrolidine dithiocarbamate (APDC) ทำให้เกิด Cr(VI)-PDC ซึ่งถูกดูดซับในคอลัมน์ที่บรรจุด้วย polytetrafluoroethylene (PTFE) แล้วชะด้วย isobutyl methyl ketone (MIBK) จากนั้นสารตัว

อย่างจะเคลื่อนเข้าสู่เครื่อง FAAS เพื่อตรวจวัดโดยตรง ซึ่งเป็นวิธีการที่สะดวก รวดเร็ว ราคาไม่แพงและให้ประสิทธิภาพสูง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นตัวชะอาจมีผลเสียต่อเครื่องมือในระยะยาว

Stasinakis และคณะ (2003) ศึกษา การใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนลบในรูปของของเหลว คือ Amberlite LA-2 (LAES) ด้วย โดย แต่เป็นวิธีการที่ยุ่งยากและใช้เวลานานในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างโดยการสกัด จึงสามารถวิเคราะห์น้ำได้เพียง 12 ตัวอย่างต่อชั่วโมง และหากตัวอย่างมีลักษณะเป็นกากตะกอน (sludge) สามารถวิเคราะห์ได้เพียง 6 ตัวอย่างต่อชั่วโมงเท่านั้น

วิธีการอื่น ๆ ที่ใช้ในการเพิ่มความเข้มข้นและศึกษารูปแบบโครเมียมได้มีการศึกษาและพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น

Gammelgaard และคณะ (1997) วิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมแต่ละสปีชีส์ด้วยเทคนิค Ion Chromatography และ chemiluminescence detection โดยใช้ guard column แลกเปลี่ยนไอออน (CG5 และ AG7) ในการแยกโครเมียม(III) ออกจากโครเมียม(VI) ซึ่งโครเมียม(VI) จะถูกรีดิวซ์ด้วย potassium sulphite และตรวจวัดด้วย luminal-hydrogen peroxide chemiluminescence system

Paleologos และคณะ (2001) จำแนกและเพิ่มความเข้มข้นโครเมียมโดยเทคนิค cloud point extraction (CPE) โดยโครเมียม(III) เข้าทำปฏิกิริยากับ 8-hydroxyquinoline ในสารลดแรงตึงผิวจากนั้นจึงเข้าไปอยู่ในไมเซลล์ ในขณะที่โครเมียม(VI) จะถูกรีดิวซ์ให้เป็นโครเมียม(III) ด้วย sulphite วิธีนี้ทำการตรวจวัดด้วย fluorimetric detection

Anthemidis และคณะ (2002) ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นและหาปริมาณทองแดง, ตะกั่ว และโครเมียม(VI) โดยการใช้คอลัมน์ polyurethane foam (PUF) โดยโลหะที่ต้องการวิเคราะห์ต้องอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับ ammonium pyrrolidine (APDC) ก่อน จากนั้นจึงชะออกจากคอลัมน์ด้วย isobutyl methyl ketone (MIBK) และตรวจวัดด้วย FAAS

ปี 2002 Domínguez และ Arcos ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นโครเมียม(VI) และโครเมียม(III) โดยเทคนิค differential pulse adsorptive stripping voltammetry (DPAdSV) โดยใช้ pyrocatechol violet (PCV) และ N-(2-hydroxyethyl)ethylenediamine-N,N',N'-triacetic acid (HEDTA) เป็นสารทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน วิธีนี้ทำให้สามารถวิเคราะห์ทั้งโครเมียม(VI) และโครเมียม(III) ได้โดยไม่ต้องทำการรีดิวซ์หรือออกซิไดส์

สำหรับการตรวจวัดปริมาณโครเมียมสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือหลายชนิด แต่ละวิธีอาจมีข้อจำกัดในการตรวจวัด ช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา และลักษณะของสารตัวอย่างแตกต่างกัน แสดงดังตาราง 1.2

ตาราง 1.1 เทคนิคและคุณลักษณะเฉพาะในการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม

เทคนิค	ขีดจำกัดต่ำสุด ในการตรวจวัด ( $\mu\text{g/L}$ , 3 $\sigma$ )	การ วิเคราะห์ หลายธาตุ	การใช้สาร ปริมาณน้อย	ชนิดของสารตัวอย่าง			ผลของตัวรบกวน		
				สารละลาย	สาร แขวนลอย	ของแข็ง	กายภาพ	เคมี	การตรวจวัด
Neutron Activation Analysis	5000	+	-	+	+	++	+	-	++
X-ray Fluorescence Spectrometry	500	++	+	+	+	++	++	++	-
Flame Atomic Absorption Spectrometry	20-200	-	+	++	+	-	+	++	-
Polarography, Differential Pulse Polarography Spectrophotometry	10-50 2-20	+	-	++	-	-	-	++	- +
ICP- Atomic Emission Spectrometry	1-5	++	-	++	+	LA, ETV,	+	-	++
Total reflection XRF Spectrometry	0.2-1.0	++	++	++	+	Arc	-	-	++
Gas Chromatography	0.1	+	++	++	-	-	-	++	+
Chemiluminescence	0.03-0.3	-	-	++	-	-	-	++	-
Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry	0.05-0.15	-	++	++	++	-	-	++	+
ICP-Mass Spectrometry	0.02-0.05	++	-	++	+	++	+	-	++
						LA, ETV, Arc			

++ high, + medium, - low

LA, laser ablation; ETV, electrothermal vaporation

ที่มา: Encyclopedia of Analytical Science, 1995

เครื่องมือแต่ละชนิดจะมีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกัน เช่น Neutron Activation Analysis (NAA) เป็นวิธีที่ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์สูง และมีราคาแพง จึงไม่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป เช่นเดียวกับ Inductively Couple Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) (Donais *et al.*, 1999) และ Inductively Couple Plasma - Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) แม้ว่าจะสามารถวิเคราะห์สารที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ แต่เครื่องมือมีราคาแพง และต้องการการบำรุงรักษามาก นอกจากนี้ในการวิเคราะห์โครเมียมด้วย Inductively Couple Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) อาจเกิดการรบกวนทางเคมีและเส้นสเปกตรัม (chemical and spectral interferences) เมื่อ  $^{52}\text{Cr}$  line อาจเกิดการซ้อนทับกันกับ  $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}^+$  line หรือ  $^{36}\text{Ar}^{16}\text{O}^+$  line ได้ (Amin *et al.*, 2001) Spectrophotometry ก็เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากเครื่องมือไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็วและเครื่องมือราคาไม่แพง (Pannain and Santelli, 1995) และยังมีวิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค fluorimetry (Paleologos *et al.*, 1998) และ capillary electrophoresis (Chen *et al.*, 2001) อีกด้วย

ในขณะที่ Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) และ Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry (ETAAS) (Som-Aum *et al.*, 2002; Zhu, *et al.*, 2001) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เพราะมีความถูกต้องและแม่นยำ (แมนและอมร, 2534; Anthemidis *et al.*, 2002) แม้ว่าจะมีขีดจำกัดในการตรวจวัดสูง ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่มีปริมาณน้อย เนื่องจากข้อจำกัดในการตรวจวัดของเทคนิคทางเครื่องมือ อย่างไรก็ตาม Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) ก็เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป เนื่องจากราคาถูกและไม่มี ความยุ่งยากซับซ้อน เมื่อเปรียบเทียบกับ Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry (ETAAS) (Wuilloud *et al.*, 2003) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) ในการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม เพราะเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์สารที่มีปริมาณน้อยๆ ได้ มีความจำเพาะ ความเที่ยงและความแม่นยำสูง (แมนและอมร, 2534) แต่เทคนิคนี้ไม่สามารถบอกปริมาณโครเมียมแต่ละสปีชีส์ได้ เนื่องจาก การวิเคราะห์ไม่สามารถบอกความแตกต่างของโครเมียมที่มีเลขออกซิเดชันต่างกัน ได้ จึงต้องทำ การศึกษารูปแบบควบคู่ไปกับการเพิ่มความเข้มข้นก่อนทำการตรวจวัด ซึ่งเลือกใช้เทคนิคเพิ่มความเข้มข้นโครเมียม(VI) โดยการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการเพิ่มความเข้มข้นของโครเมียม (VI) และการศึกษารูปแบบของโครเมียมโดยการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็งและหาปริมาณโดยใช้เทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี

1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของเทคนิคเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรีในการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียม(VI)

1.2.3 เพื่อนำวิธีการที่พัฒนาได้นี้ ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบและปริมาณโครเมียม(III) และ โครเมียม(VI) ในตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม

## 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.3.1 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการศึกษารูปแบบและการหาปริมาณของโครเมียม(III) และ โครเมียม(VI) ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.3.2 เพื่อประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่มีสปีชีส์แตกต่างกันในตัวอย่างทางสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม