

บทที่ 11

การวิเคราะห์ปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Analysis)

11. การวิเคราะห์ปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Analysis)

11.1 บทนำ

การวิเคราะห์ปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารที่เร้าสนใจ โดยทำปฏิกิริยาการตกตะกอนออกมาจากสารละลาย แล้วตามด้วยการชั่งน้ำหนักของตะกอนที่ได้ โดยจะให้ความสนใจและเอาใจใส่อยู่ที่วิธีการตกตะกอน ว่าทำอย่างไรจึงจะตกตะกอนออกมาได้มากที่สุด และมีการปนเปื้อนน้อยที่สุด วัตถุประสงค์ เพื่อที่จะทำการแยกสารที่สนใจออกจากสิ่งเจือปนอื่นๆโดยการทำให้อยู่ในรูปของตะกอนให้ได้มากที่สุด

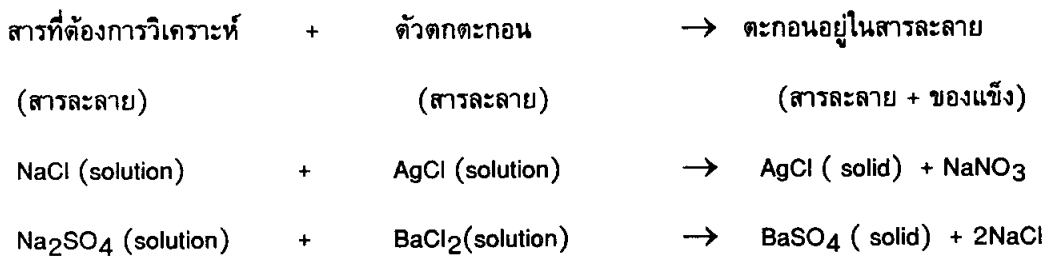
11.2. หลักของการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก (Principle of gravimetric Analysis)

ในการวิเคราะห์จะเกี่ยวข้องกับการวัดปริมาณของสารที่สนใจโดยการชั่งน้ำหนัก ซึ่งจัดเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับการใช้ปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนสารที่สนใจ ไปอยู่ในรูปของตะกอนที่มีองค์ประกอบที่แน่นอน มีวิธีการต่างๆมากมายที่สามารถนำมาใช้กับเทคนิคนี้

- (1) การตกตะกอน (Precipitation) วิธีการนี้สารที่สนใจจะเกิดปฏิกิริยาไปอยู่ในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายซึ่งสามารถแยกออกจากองค์ประกอบที่ไม่ละลายอื่นๆในตัวอย่างได้โดยการกรอง
- (2) การระเหย (Volatilisation) วิธีการนี้ตัวอย่างจะถูกให้ความร้อน และสารที่สนใจจะระเหยไป การลดลงของมวลของสารตัวอย่าง สามารถคำนวณหามวลของสารที่สนใจได้

(3) การเกาะที่ขั้วไฟฟ้า (Electrodeposition) ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ไอออนของโลหะจะแยกตัวออกจากสารละลายมาเกาะที่ขั้วไฟฟ้าซึ่งสามารถนำมาชั่งน้ำหนักได้

ในทั้งสามวิธี การตกตะกอนเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้มากที่สุด โดยจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป โดยหลักการของเทคนิคนี้ กระบวนการตกตะกอนจะต้องเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตะกอนที่ได้ต้องสมบูรณ์และมีปริมาณสูงในระยะเวลาที่เหมาะสม ตลอดจนการละลายตะกอนจะต้องต่ำ เพื่อให้ทำการแยกตะกอนออกมาได้และสามารถกรองตะกอนได้ และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ปฏิบัติการเกิดตะกอนจะต้องมีอัตราส่วนมวลสารสัมพันธ์ที่แน่นอน ตัวอย่าง



ไอออนของสารอนินทรีย์ (Inorganic Ions) ซึ่งได้แก่ไอออนของโลหะเป็นส่วนใหญ่ จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณโดยวิธีนี้ ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องและแม่นยำสูงมาก ซึ่งจะใช้อย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะในตัวอย่างแร่ หรือในสารตัวอย่างโลหะอื่นๆ ในการวิเคราะห์โดยน้ำหนักนี้ ปริมาณสารตัวอย่างจะต้องมีขนาดตั้งแต่ 100 มิลลิกรัมขึ้นไป ตะกอนที่ได้ควรมีขนาดใหญ่ มีความบริสุทธิ์สูง มีการละลายต่ำ และต้องเสถียร แต่อย่างไรก็ดี วิธีนี้ก็มีข้อจำกัดอยู่ด้วยกันหลายประการ เช่น

1. ต้องมีความระมัดระวังสูงมาก
2. ใช้เวลายาวนาน
3. ความละเอียดในการชั่ง
4. มีการปนเปื้อนมาจากสารเจือปน

11.3. ขั้นตอนต่าง ๆ ของการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก

ขั้นตอนต่าง ๆ ของการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักเขียนเป็นแผนผังได้ดังนี้

สารที่ต้องการวิเคราะห์ และสิ่งเจือปน (แยกออกก่อน)

ทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

↓ เลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม

สารละลายตัวอย่าง

↓ เลือกตัวตกตะกอนที่เหมาะสม

↓ เลือกเงื่อนไขในการตกตะกอน

↓ วิธีการตกตะกอน

ตะกอนในสารละลาย

↓ การละลายของตะกอน

↓ การแยกตะกอนออกจากสารละลาย

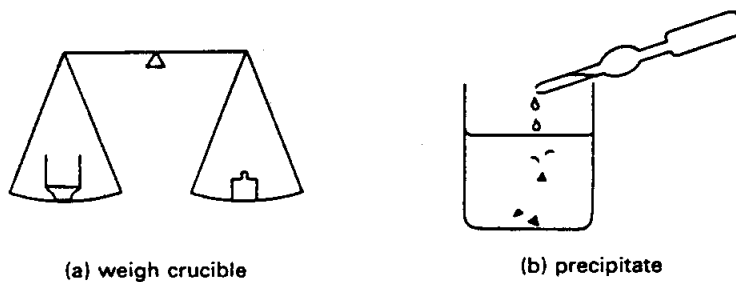
ตะกอนเปียก

↓ การทำตะกอนให้แห้ง

ตะกอนที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน

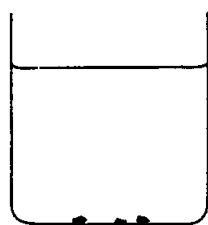
↓

การคำนวณหาปริมาณสาร

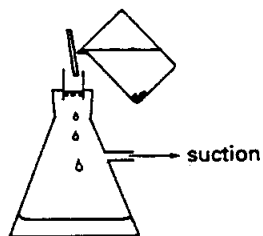


(a) weigh crucible

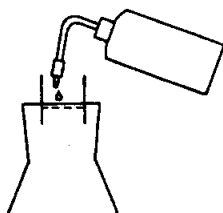
(b) precipitate



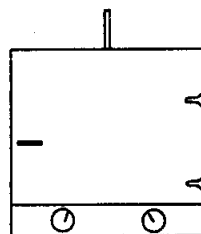
(c) coagulate



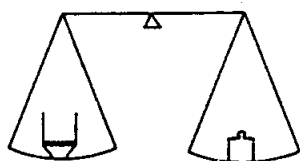
(d) filter



(e) wash



(f) dry



(g) re-weigh

Difference in mass between (g) and (a) gives mass of precipitate. This has known composition. Multiplication by appropriate relative molecular mass ratio gives mass of analyte species.

รูปที่ 11.1. ขั้นตอนต่างๆในการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก

11.4. กลไกของการตกตะกอน (Mechanism of Precipitation)

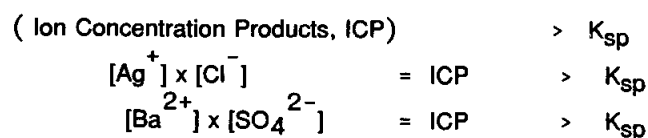
11.4.1. เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก

สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักที่ให้ผลที่ถูกต้อง สารที่สนใจทั้งหมดในสารละลาย ต้องถูกชั่งในรูปของของแข็งที่ทราบองค์ประกอบที่แน่นอน ซึ่งจะต้องพิจารณาขั้นตอนต่างๆ ในการออกแบบ กระบวนการหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักในทางปฏิบัติ

- (1) ปฏิกริยาต้องเกิดสมบูรณ์
- (2) ตะกอนต้องแยกออกมาได้สมบูรณ์โดยการกรอง
- (3) ต้องทราบองค์ประกอบที่แน่นอนของตะกอน

กระบวนการตกตะกอน เป็นกระบวนการที่เข้าสู่สมดุล (Equilibrium) โดยมีส่วนประกอบและสมบัติ ของปฏิกริยาขึ้นตรงต่อเวลา เช่น สารละลายอิ่มตัว มีความเข้มข้นของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง เป็น กระบวนการที่ระบบเข้าสู่สมดุล ซึ่งอาจควบคุมอัตราเร็วและเงื่อนไขที่จะทำให้ตกตะกอน เพื่อให้ได้ตะกอน แบบที่ต้องการ การตกตะกอนจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมตัวตกตะกอนลงในสารละลายตัวอย่างจนกระทั่งสาร ละลายนั้นเป็นสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturation solution) เป็นสภาวะไม่อยู่ตัว (Unstable State) ซึ่งสามารถเปลี่ยนสู่สภาวะที่คงตัว (Saturation State) โดยการตกตะกอนออกมา สภาวะ และ เงื่อนไขของ สภาพของสารละลายว่าจะมีตะกอนตกออกมาหรือไม่ มีดังนี้

ความเข้มข้นตัวตกตะกอน x ความเข้มข้นของไอออนสารที่สนใจ > ค่าคงที่ของผลคูณของการละลาย



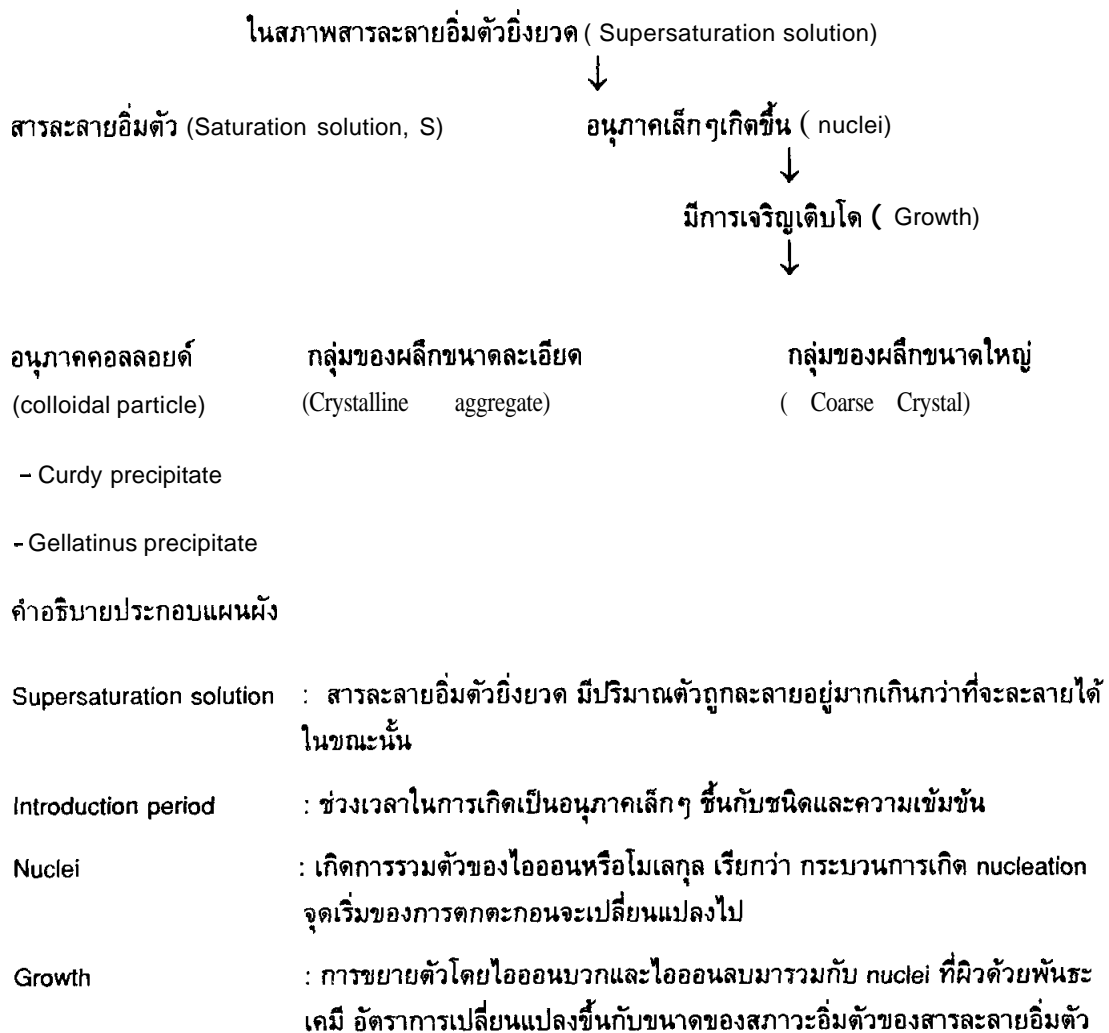
ICP > K_{sp} จะอยู่ในสภาพสารละลาย : ไม่มีตะกอนตกออกมา

ICP = K_{sp} จะอยู่ในสภาพสารละลายอิ่มตัว (Saturation solution, S) : ไม่มีตะกอนตกออกมา

ICP < K_{sp} จะอยู่ในสภาพสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturation solution, Q) : มีตะกอนตกออกมา

11.4.2. กลไกของการรวมตัวของตะกอน (The mechanics of precipitate formation)

เพื่อที่จะปรับและดำเนินการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจบางสิ่งเกี่ยวกับกลไกของการตกตะกอน เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาบางอย่างที่อาจเกิดขึ้น วัตถุประสงค์คือต้องการตะกอนที่มีขนาดใหญ่และกรองออกได้ง่าย ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องจะขึ้นอยู่กับสมบัติของตะกอน ซึ่งสมบัติที่สำคัญที่สุดก็คือขนาดของตะกอน ตะกอนที่มีขนาดใหญ่กรองได้ง่ายและจะจับเอาสิ่งเจือปนน้อยกว่าตะกอนที่มีขนาดเล็ก ซึ่งบางครั้งกรองไม่ได้เลย ลองพิจารณาแผนผังกลไกของการเกิดตะกอน



ในกระบวนการตกตะกอน จะมีตะกอนเกิดขึ้น 3 ชนิด ซึ่งขึ้นกับภาวะที่มีการอิมตัวยังยวด

1. กลุ่มก้อนของคอลลอยด์ (Colloidal aggregate) ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากเกินกว่าที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10^{-6} - 10^{-4} mm) แบ่งออกเป็น

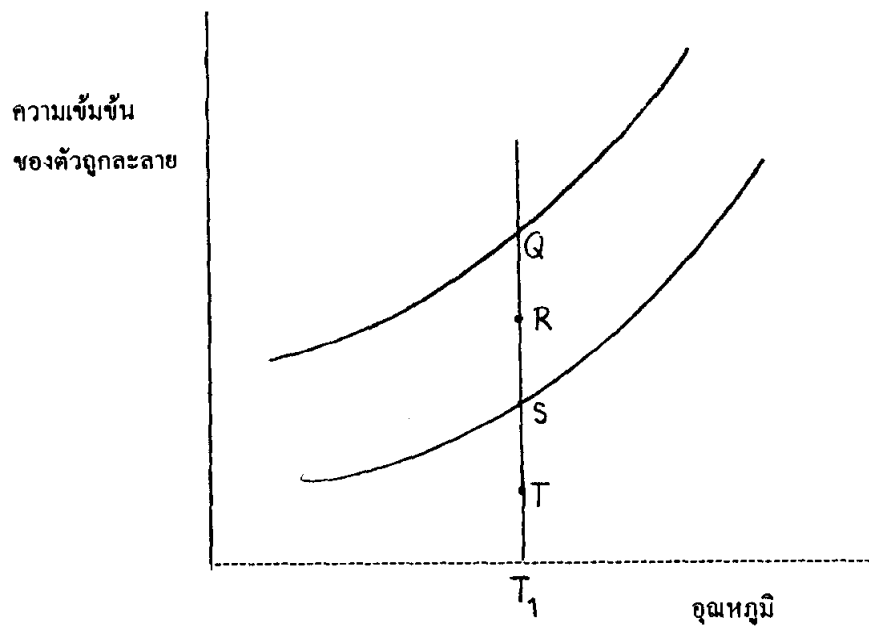
- Curdy Precipitates : ประกอบด้วยอนุภาคชนิด sols เช่น เฮไลต์ของซิลเวอร์
- Gellatinous Precipitates: ประกอบด้วยอนุภาคชนิด Gels เช่น ไฮดรอกไซด์ของโลหะ (+3)

2. กลุ่มผลึกขนาดเล็ก (Crystalline aggregates) ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ถึง 1 mm และมีแนวโน้มที่จะแยกตัวออกจากสารละลาย

3. ผลึกขนาดใหญ่ (Coarse Crystals)

ในกรณีที่อัตราเร็วในการเกิดเป็นนิวคลีไอไม่สูงมากนัก เมื่อเกิดเป็นนิวคลีไอบ้างแล้ว องค์การของอิมตัวยังยวดยังคงมีอยู่บ้าง จะเกิดการเจริญเติบโตของอนุภาคคอลลอยด์เป็นผลึกขนาดเล็ก ๆ ถ้าองค์การของอิมตัวยังยวดหมดลงในขั้นนี้ ผลึกขนาดเล็ก ๆ เหล่านี้จะรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของผลึกขนาดเล็ก เรียกตะกอนแบบ Crystalline preipitate ตะกอนแบบนี้จะมีกว่าแบบแรก แต่ก็ยังคงกรองยากและเวลาดตกตะกอนลงมา มักเกิดการแทรกสอดทำให้ตะกอนไม่บริสุทธิ์ เช่น BaSO_4 , CaCO_3 ถ้าอัตราเร็วในการเกิดนิวคลีไอต่ำ จะมีการเจริญเติบโตต่อไปได้ผลึกขนาดใหญ่ เช่น PbCl_2 ดังนั้นในการทดลองที่ใช้ไอออนที่มีแอกติวิตีต่างกันโดยใช้สภาวะและเงื่อนไขเดียวกัน ก็จะพบได้ว่าตะกอนแต่ละแบบต่าง ๆ กันไป

จากที่กล่าวมาแล้วว่า การทำให้เกิดการตกตะกอนอาจทำได้โดยการลดอุณหภูมิหรือการเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ในกรณีนี้ เราจะมาพิจารณาการตกตะกอนโดยเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย โดยให้อุณหภูมิคงที่



จุด T อยู่ใน Unsaturation region สภาพยังคงเป็นไอออนอยู่ในสารละลาย

จุด S เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายไปจนถึง solubility curve ก็จะเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดนิวคลีไอ

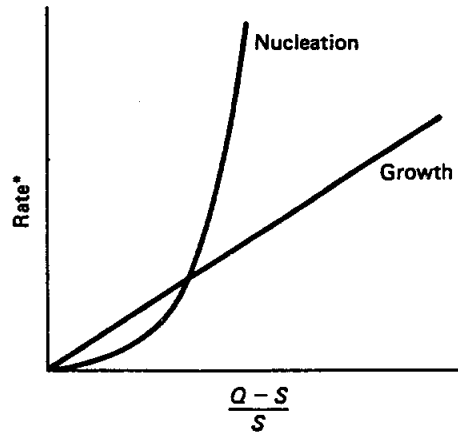
จุด R เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย การเกิดนิวเคลียส (nucleation) เพิ่มขึ้น ถ้าความเข้มข้นของตัวถูกละลายไม่เพิ่มขึ้นอีก นิวคลีไอจะเจริญต่อไปจนได้ผลึก ขนาดใหญ่

จุด Q เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายจนถึงจุด Q อัตราการเกิดนิวคลีไอเพิ่มขึ้นมา และมากกว่าการเพิ่มของอัตราการเจริญเติบโต ดังนั้นนิวคลีไอจะกลายเป็นกลุ่มก่อนคอลลอยด์ เป็นตะกอนเม็ดเล็ก ๆ แบบ curdy หรือ gelatinous ความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายที่จุด Q และ S คือ $Q - S$ เรียกว่าองค์การอิ่มตัวยิ่งยวด

11.4.3. ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะกอนและอัตราเร็วในการเกิดตะกอน

ผู้ทำการศึกษาคือ Von Weimann เขาพบว่า ถ้าจุด S อยู่ใกล้กับจุด Q มากจะได้นิวคลีโอ จำนวนมาก และตะกอนมีขนาดเล็ก ถ้าจุด S ห่างจากจุด Q มาก ก็จะได้ตะกอนมีขนาดใหญ่

ขนาดของตะกอน แปรผกผันกับการอิ่มตัวยิ่งยวดสัมพัทธ์



เขาได้ตั้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการเกิดตะกอนกับค่าการอิ่มตัวยิ่งยวดสัมพัทธ์ (relative supersaturation)

$$\text{ค่าการอิ่มตัวยิ่งยวดสัมพัทธ์} = Q - S / S \quad (11.1)$$

Q = ความเข้มข้นของสารที่ต้องการตกตะกอน (M)

S = ค่าการละลายคิดเป็นโมลาร์ (Molar Solubility)

Q - S / S - มีค่าสูง อัตราการตกตะกอนเร็ว ได้ตะกอนมีขนาดเล็กและขยายตัวน้อยพื้นที่ผิวมาก

Q - S / S - มีค่าต่ำ อัตราการตกตะกอนช้า ได้ตะกอนขนาดใหญ่และการขยายตัวมาก พื้นที่ผิวน้อย

Q - S / S เรียกว่า Von Weimarn ratio

อัตราเร็วในการตกตะกอน \propto Q - S / S

สมการนี้จะใช้เป็นเพียงการคาดคะเนเท่านั้น จะนำไปใช้ประโยชน์ในการเลือกเงื่อนไขและสภาวะของการตกตะกอน เพื่อให้ได้ตะกอนขนาดใหญ่ กรองและล้างได้

11.5. กระบวนการตกตะกอนในทางปฏิบัติ

ในทางปฏิบัติ การตกตะกอนจะต้องดำเนินการอย่างเป็นขั้นตอนและต้องมีการตรวจสอบในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียดและระมัดระวังเพื่อให้ได้ตะกอนสมบูรณ์และปราศจากมลทิน ดังแสดงในตารางที่ 11.1

ตารางที่ 11.1 แสดงขั้นตอนการตกตะกอนในทางปฏิบัติ

ขั้นตอน	การปฏิบัติ	ข้อสังเกต
1. การเตรียมสารตัวอย่าง	1. ละลายสารตัวอย่าง 2. การแยก หรือควบคุมไอออนที่มารบกวน	ป้องกัน การเกิด simultaneous precipitation และการเกิด inclusion ของตัวรบกวน
2. การตกตะกอน ตัวตกตะกอน - Inorganic precipitant - Organic precipitant	จากสารที่เจือจางและร้อน โดยค่อยๆเติมตัวตกตะกอนอย่างระมัดระวัง หรือโดยใช้เทคนิค Homogeneous Precipitation เพื่อป้องกันการเกิดความเข้มข้นของรีเอเจนต์มากเกินไปเฉพาะที่ (local high concentration of reagents). มากเกินไปเล็กน้อย พร้อมกับทำการคนตลอดเวลา ทำการย่อยตะกอน	เพิ่มการเจริญเติบโตของอนุภาค และลด occlusion ข้อสังเกต การย่อยตะกอน สามารถเพิ่ม post precipitation
3. การกรอง	กรองสารละลายเมื่อเย็น ล้างสารละลายด้วยอิเล็กโตรไลต์เจือจาง	ลดการละลาย ลดการดูดซับของสิ่งปนเปื้อน และป้องกัน peptization
4. การทำให้แห้งและการเผาตะกอน	ทำให้แห้งโดยอบที่ 110-140° C	ป้องกันการกระเด็นสูญหายของตะกอน แน่ใจว่าเกิด Oxidation อย่างสมบูรณ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสูตรสารประกอบที่แน่นอน
5. การชั่งน้ำหนัก	จะต้องทำการชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด ทำการเผาซ้ำอีกครั้งหนึ่งแล้วทำการชั่ง จนได้น้ำหนักคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างเก็บไว้ใน desiccator	ต้องคอยระมัดระวังเอาใจใส่ กรณีที่สารตัวอย่างสามารถดูดความชื้นได้

11.6. การเกิดปนเปื้อนของตะกอน (The Contamination of Precipitates)

เนื่องจากในสารละลายตัวอย่างที่เราศึกษานั้นมักมีสารอื่น ๆ ปะปนอยู่ เมื่อทำการตกตะกอนสารที่เราสนใจแยกออกมา ตะกอนส่วนใหญ่จะมีมลทิน (impurities) หรือสารที่ไม่ต้องการปะปนมากับตะกอนได้ด้วยเสมอ เรียกว่า เกิดการปนเปื้อนของตะกอนในการหาปริมาณโดยการตกตะกอน เราต้องการตะกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง ดังนั้นเราจำเป็นต้องศึกษาให้ทราบถึงการเกิดมลทินว่าเกิดได้อย่างไร สามารถที่จะกำจัดหรือลดการเกิดมลทินนั้นได้อย่างไร ในการเกิดการปนเปื้อนของตะกอนแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. การเกิดการปนเปื้อนโดยการตกตะกอนจริง (Contamination by true precipitation)
2. การเกิดการปนเปื้อนโดยการตกตะกอนร่วม (Contamination by coprecipitation)

11.6.1. การเกิดการปนเปื้อนโดยการตกตะกอนจริง แบ่งออกได้ 2 แบบคือ

11.6.1.1. การตกตะกอนเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน (Simultaneous precipitation)

สารที่เราสนใจ

+ ตัวตกตะกอน --> ตกตะกอนออกมาพร้อม ๆ กัน

มลทิน

สารที่เราสนใจและมลทินสามารถรวมตัวกับตัวตกตะกอนแล้วได้ตะกอนออกมาพร้อมกันหรือเกือบพร้อมกัน เนื่องจากมีปริมาณมากพอที่ผลคูณของไอออนในสารละลายมีค่ามากกว่าค่า K_{sp} การเกิดการปนเปื้อนแบบนี้ เกิดขึ้นต่อเมื่อความเข้มข้นเกินค่า K_{sp} ถ้าความเข้มข้นต่ำกว่าค่า K_{sp} คอนทาคิเนชันแบบนี้จะไม่เกิดขึ้นและการเกิดการปนเปื้อนแบบนี้จะมากหรือน้อย ย่อมแตกต่างกันไป แล้วแต่ค่า K_{sp} ของสารแต่ละตัว

11.6.1.2. มลทินตกตะกอนหลังสารที่สนใจ (Post Precipitation)

สารที่เราสนใจ + ตัวตกตะกอน --> ตะกอนสมบูรณ์



มากเกินไป + มลทิน -> ตกตะกอนออกมาทีหลัง

ในกรณีจะเกิดขึ้นเมื่อมลทินมีอัตราเร็วในการเกิดตะกอนต่ำกว่าสารที่สนใจหาปริมาณ ทำให้มลทินตกตะกอนหลังสารที่เราสนใจตกตะกอนสมบูรณ์แล้ว

11.6.2. การเกิดการปนเปื้อนโดยการตกตะกอนร่วม

เป็นการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นโดยมลทินที่สามารถละลายได้ในสารละลายเข้าไปปนเปื้อนระหว่างกระบวนการเกิดตะกอน และมักเกิดได้ในขณะที่สารละลายยังเป็นสารละลายไม่อิ่มตัว (Unsaturation Solution) เมื่อตกตะกอนลงมาแล้ว มลทินก็ยังคงอยู่ในตะกอนนั้น แบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

11.6.2.1 การดูดซับที่ผิว (Surface Adsorption)

การเกิดการปนเปื้อนของตะกอนแบบซึ่งมลทินเป็นสารที่เกิดขณะที่มีการดูดซับระหว่างไอออนบนผิวของตะกอนชั้นที่หนึ่ง (primary layer) กับ counter ion ในสารละลาย โดยที่มลทินเข้าถึงดูดบนผิวหน้าของตะกอนเป็นชั้นที่หนึ่ง (primary layer) จากนั้น counter ion จาก Coagulation salt เข้าถึงดูดเป็นชั้นที่สอง (secondary layer) เช่นตกตะกอน AgCl ถ้ามี I^- เป็นมลทิน

$K^+ \quad H^+ \quad Na^+ \quad - - - - -$ counter layer $Cl^- \quad Cl^- \quad I^- \quad I^- \quad - - - - -$ primary layer $- - - - -$ $Ag^+ \quad Cl^- \quad Ag^+ \quad Cl^- \quad Ag^+ \quad Cl^- \quad Ag^+$ $Cl^- + Ag^+ \quad Cl^- \quad Ag^+ \quad Cl^- \quad Ag^+ \quad Cl^-$	I^- จะถูกดึงดูดได้ใน ชั้นที่หนึ่ง เนื่องจาก AgI เป็นสารประกอบที่มีการละลายต่ำกว่า AgCl ดังนั้น AgI จะเป็นผลทินของตะกอน AgCl การเกิดการปนเปื้อนแบบนี้มีโอกาสเกิดได้มาก สำหรับตะกอน แบบที่มีพื้นที่ผิวมาก เช่น ตะกอนแบบ curdy หรือ gellatinous precipitate ส่วน Crystalline precipitate มีโอกาสเกิดน้อยกว่า
--	--

ในการตกตะกอน เรานิยมจะเติมตัวตกตะกอนมากเกินไปเล็กน้อย เช่น ในการตกตะกอน Cl^- โดยใช้ $AgNO_3$ มากเกินไป Counter ion ในชั้นที่สองจะเป็นตัวทำให้ประจุสมดุล แล้วทำให้ตะกอนรวมตัวกันแยกออกมา ถ้ามีไอออน 2 ชนิดหรือมากกว่าอยู่ในสารละลาย ซึ่งไอออนทั้งสองมีความสามารถในการรวมตัวเป็นสารประกอบที่มีการละลายหรือแตกตัวได้เท่ากัน counter ion จะเป็นตัวที่มีประจุสูงกว่า

ในกรณีเติม $AgNO_3$ ไม่มากเกินไปพอ ตะกอน AgCl ยังคงความเป็นแบบ curdy precipitate และเคลื่อนที่ไปได้ทั่วในสารละลาย เนื่องจากการที่อนุภาคของ AgCl ในขณะนั้นมีประจุประจำตัวเป็นลบอนุภาค เมื่อเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันจะผลัดกัน ทำให้อนุภาคเหล่านี้เคลื่อนที่ไปได้ทั่วสารละลาย จะเห็นสารละลายขุ่นเหมือนนม ต่อเมื่อเติม $AgNO_3$ จนมากเกินไป อนุภาค AgCl จะถูก Ag^+ ที่มากเกินไปทำให้ประจุประจำตัวถูก neutralized จึงทำให้จับกลุ่มตกตะกอนลงมาได้ แต่การจับกลุ่มตกตะกอนแบบ Coagulation พบว่าแรงยึดเกาะกลุ่มตกลงมามีค่าไม่มากนักและไม่หนาแน่นพอ มักพบว่าตะกอนแบบนี้ไม่บริสุทธิ์ เนื่องจากมีการอ้อม (occlusion) สารละลายไว้ในกลุ่มของตะกอนด้วย แต่การล้างตะกอนอาจทำให้ counter ion หลุดออกมากับน้ำล้างตะกอน ได้แต่อนุภาคที่มีชั้นที่หนึ่งซึ่งมีประจุประจำตัว จะเกิดการผลัดกันกลับคืนสู่ Colloidal state ได้ อีก กระบวนการ coagulation reverse เรียกเปปไทเซชัน (peptization) ดังนั้น ถ้าล้างตะกอน AgCl ด้วยน้ำครั้งแรกน้ำล้างตะกอนอาจจะใส แต่ต่อมาจะมีสีขุ่นมัว เนื่องจากการเกิดเปปไทเซชัน ตะกอนอาจจะรอดูของกระดาษกรองลงมาได้นั่นเอง วิธีป้องกันใช้น้ำล้างตะกอนที่เหมาะสม ส่วนใหญ่มักใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนที่มีประจุ ป้องกันไม่ให้ counter ion หลุดออกมาในสารละลายได้ แม้ในกรณีที่เติมตัวตกตะกอน

มากเกินไป เวลาทำการล้างตะกอน counter ion ก็มีโอกาสดูดได้เหมือนกัน เพราะว่าเกาะกันอย่างหลวม ๆ

11.6.2.2 การแทรกสอด (occlusion)

เป็นกระบวนการที่มลทินเกิดอยู่ในโครงผลึกของตะกอน สาเหตุอาจเกิดได้ 2 แบบคือ

- (1) อาจทำการตกผลึกเร็วเกินไป ผลึกที่โตเร็ว จึงมีโพรงข้างในมาก สารละลายเดิม (mother liquor) ก็ติดเข้าไปมาก มลทินที่ละลายอยู่ในสารละลายก็มีอยู่มากด้วย
- (2) อาจเกิดโดยตะกอนแบบ Colloidal aggregates ที่จะกลุ่มตกลงมาอย่างหลวม ๆ ได้ เป็นตะกอนที่ไม่แน่นอาจมีสารละลายเดิม (mother liquor) ติดเข้ามาได้ การปนเปื้อนแบบนี้ วิธีลดทำได้ โดยการตกผลึกอย่างช้า ๆ หรืออาจทำการย่อยตะกอน (digestion) หรือตกตะกอนซ้ำ (Reprecipitation)

11.6.2.3. ไอโซมอร์ฟัสอินคลูชัน (Isomorphous Inclusion)

เป็นการปนเปื้อนของตะกอนแบบที่ไอออนที่เป็นมลทินซึ่งมีขนาดและส่วนประกอบสามารถเข้าไปอยู่ข้างใน โครงสร้างผลึกของตะกอน โดยที่ทำให้ตะกอนเสียรูปร่างและผิดแบบไป

Isomorphic Compound หมายถึงสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลแบบเดียวกันและมีโครงสร้างผลึกแบบเดียวกัน เช่น NaCl, KCl, KBr เป็น Isomorphic ซึ่งกันและกัน และมีโครงผลึกเป็นรูปลูกบาศก์แบบเดียวกัน พวกนี้สามารถตกตะกอนร่วมแบบ Isomorphous Inclusion ได้ ที่สำคัญคือ มีอัตราเร็วในการเกิดตะกอนได้พอ ๆ กัน

ตารางที่ 11.2 ชนิดหลักๆของการตกตะกอนร่วม และความสัมพันธ์กับชนิดของตะกอน

ชนิดของการตกตะกอนร่วม	รูปแบบของการปนเปื้อน	ชนิดของตะกอนที่ถูกרבกวน
Isomorphic Inclusion	การแทนที่ของไอออนที่רבกวนในโครงสร้างผลึกของตะกอน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกัน	Crystalline (เมื่อเกิดแล้วกำจัดได้ยาก มักจะแยกเอาไอออนที่רבกวนออกไป ก่อนทำการตกตะกอน)
Non-isomorphic Inclusion	สิ่งเจือปนจะอยู่ในลักษณะกับตะกอน	Crystalline และ Colloidal
Surface Adsorption	การดูดซับทางเคมีของสิ่งเจือปน	Colloidal

11.7. วิธีลดการเกิดการปนเปื้อน (Ways to minimize contamination)

11.7.1. พยายามรักษาระดับของศาการอิ่มตัวของสารละลาย (degree of supersaturation,

$Q - S$) ให้ต่ำลงซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

(1) รีเอเจนต์และสารละลายที่ใช้ ควรจะเจือจางให้พอเหมาะ ซึ่งมีผลทำให้ค่า $Q - S$ มีค่าน้อย นิวคลีโอไซด์มีจำนวนน้อย ผลึกที่ได้จะโตและอัดแน่น มลทินมีโอกาสติดมาได้น้อย

(2) เดิมรีเอเจนต์ลงไปช้า ๆ และคนให้ทั่ว และเติมรีเอเจนต์ให้มากเกินไปพอเล็กน้อย วิธีนี้ลดอัตราในการเกิดตะกอน นั่นคือ $Q - S$ มีค่าน้อย

(3) ตกตะกอนในสารละลายที่ร้อน (แต่ไม่ใช่สารละลายที่เดือด) ซึ่งจะช่วยให้เกิดผลดีในการลด $Q - S$ เพราะว่าค่าการละลาย (S) เพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้น

11.7.2. ทำการย่อยตะกอน (digestion)

การย่อยตะกอนนี้ จะเป็นการทำให้ลักษณะของตะกอนที่ตกลงมาครั้งแรกได้เปลี่ยนแปลงรูปร่าง คือ หลังจากทำการย่อยแล้ว ตะกอนจะจัดตัวเองเป็นรูปแบบที่ถูกต้อง วิธีการย่อยตะกอนทำโดย การเพิ่ม อุณหภูมิให้กับตะกอนในสารละลาย อุณหภูมิสูงจะทำให้ตะกอนละลาย แล้วค่อย ๆ รวมกันใหม่ได้ผลึกที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าเดิม

11.7.3. การตกตะกอนซ้ำ (Reprecipitation)

เป็นวิธีการที่ทำโดยแยกเอาตะกอนที่ตกครั้งแรกมาโดยให้มีสารละลายเดิมติดมาน้อยที่สุด ทำการล้าง แล้วนำตะกอนมาละลายใหม่ในตัวทำละลายที่บริสุทธิ์แล้วทำการตกตะกอนใหม่ จะทำให้ตะกอนรวมตัวกันใหม่ ในสภาวะที่มีปริมาณมลทินที่น้อยลงมากและตะกอนจะบริสุทธิ์ขึ้น

11.7.4. การล้างตะกอน (Washing)

การล้างตะกอนจะมีผลมากในการกำจัดมลทินที่ดูดซับผิว ส่วนแบบอื่น ๆ อาจไม่ได้ผลเลย การล้างตะกอนเป็นสิ่งจำเป็นมาก เมื่อแยกตะกอนออกมาจากสารละลายเดิม (mother liquor) ในการล้างตะกอน น้ำล้างตะกอนเป็นสิ่งที่สำคัญและจะต้องมีสมบัติดังนี้

- (1) ต้องไม่ไปละลายตะกอนหรือละลายได้น้อยที่สุด อาจทำได้โดย
 - (ก) เดิมสารที่มีไอออนร่วมกับตะกอนลงไปเล็กน้อยในน้ำล้างตะกอน
 - (ข) เดิมตัวทำละลายอินทรีย์ลงไปเพื่อลดการละลาย หรืออาจใช้สารละลายเจือจางของตัวทำละลายอินทรีย์เป็นน้ำล้างตะกอนเลยก็ได้
- (2) ต้องไม่มีปฏิกิริยาเคมีกับตะกอน และไม่เหลือติดอยู่กับตะกอนเมื่อเผาให้แห้ง

- (3) ต้องไม่ทำให้ตะกอนกลับกลายเป็น Colloidal particles คือไม่ควรเกิด peptization
- (4) ควรมีสสมบัติทำให้มลทินหลุดออกไปจากตะกอนให้ได้มากที่สุด

11.8. ตัวอย่างและปฏิกิริยาเคมีที่ให้ตัวตกตะกอน

ปฏิกิริยาของการตกตะกอน (Precipitation Reactions)

สารที่ต้องการวิเคราะห์ (Analytes) + ตัวตกตะกอน (Precipitating agent) → ตะกอน (precipitates)

ตะกอน อาจเกิดได้โดยตรง จากการเติมตัวตกตะกอนลงไปในสารละลาย หรือมีการปรับสภาวะของการทดลอง เช่น การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลายให้เหมาะสม ตะกอน (precipitates) คือ สารเคมีที่อาจจะอยู่ได้ในรูปของ เกลือ (salts), สารประกอบเชิงซ้อน (complexes), สารประกอบไฮดรอกไซด์ (Hydroxides), สารประกอบออกไซด์ (Hydrous Oxides) เป็นต้น

11.8.1. สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน (Precipitating agent)

สารที่ใช้เป็นตัวตกตะกอนมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทั้งนี้การเลือกตัวตกตะกอนจะต้องศึกษาชนิดและสมบัติของตะกอนที่ได้ ซึ่งสามารถจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

11.8.1.1 ตัวอย่างสารอนินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวตกตะกอน (ตัวอย่างในตารางที่ 11.3)

ตารางที่ 11.3 ตัวอย่างสารอนินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวตกตะกอน

รีเอเจนต์ที่ใช้	สารที่สนใจ	รูปของตะกอน	สารที่สนใจในรูปที่หาน้ำหนัก
NH ₃ (aq)	Be	Be hydrous oxide	BeO
	Al	Al hydrous oxide	Al ₂ O ₃
	Sc	Sc hydrous oxide	Sc ₂ O ₃
	Fe	Fe hydrous oxide	Fe ₂ O ₃
	In	In hydrous oxide	In ₂ O ₃
	U	(NH ₄) ₂ U ₂ O ₇	U ₃ O ₈
H ₂ S	Zn	ZnS	ZnO
	Ge	GeS	GeO ₂
	As	As ₂ S ₃	As ₂ O ₃
(NH ₄) ₂ HPO ₄	Mg	MgNH ₄ PO ₄	Mg ₂ P ₂ O ₇
	Ca	Ca ₃ (PO ₄) ₂	CaSO ₄
	Mn	MnNH ₄ PO ₄ ·H ₂ O	Mn ₂ P ₄ O ₇
	Zn	ZnNH ₄ PO ₄ ·H ₂ O	Zn ₂ P ₄ O ₇
	Zr	Zr(HPO ₄) ₂	Zr ₂ P ₄ O ₇
H ₂ SO ₄	Sr, Cd, Pb, และ Ba W	Sr, Cd, Pb, และ Ba W sulphates	Sulphates
HCl	Ag	AgCl	AgCl
	Si	Si (Silicic acid)	SiO ₂
AgNO ₃	Cl	AgCl	AgCl
	Br	AgBr	AgBr
	I	AgI	AgI
HClO ₄	Nb	Nb ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅
	Si	SiO ₂	SiO
BaCl ₂		BaSO ₄	BaSO ₄

11.8.1.2 ตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวตกตะกอน (ตัวอย่างในตารางที่ 11.4)

ตารางที่ 11.4 ตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวตกตะกอน

รีเอเจนต์ที่ใช้	วิธีการใช้
8-Hydroxyquinoline	เป็นรีเอเจนต์ที่ไม่จำเพาะเจาะจง เกิดสารเชิงซ้อนกับโลหะได้มากกว่า 20 ชนิด การควบคุม pH จะมีผลต่อความจำเพาะเจาะจง
Dimethylglyoxime	เป็นรีเอเจนต์ที่มีความจำเพาะเจาะจงสูง เกิดสารเชิงซ้อนกับ Ni(II) ในสารละลายที่เป็นเบส และกับ Pd(II) ในสารละลายที่เป็นกรดเท่านั้น
Sodium tetraphenylboron (C ₆ H ₅) ₄ B ⁻ Na ⁺	เป็นรูปตะกอนคล้ายเกลือกับ K ⁺ และ NH ₄ ⁺ มีตัวรบกวนคือ Hg ²⁺ , Rb ⁺ และ Ca ²⁺
Benzidene	รวมตัวเป็นเกลือกับ SO ₄ ²⁻ ในสารละลายที่เป็นกรด (C ₁₂ H ₁₂ N ₂ ·H ₂ SO ₄) อาจทำการชั่งตะกอน หรือทำการไทเทรตด้วย NaOH หรือ KMnO ₄
Cuferron	ตกตะกอนกับโลหะหนักจำนวนมากในสารละลายกรดเจือจาง และโลหะบางตัวเช่น Fe, Ti, Zr, V, U, Sn, Nb, Ta จากสารละลายที่มี HCl หรือ H ₂ SO ₄ เข้มข้น 10% v/v
α-benzoin oxime (cuproin)	ใช้เป็นรีเอเจนต์ที่มีความจำเพาะเจาะจงกับ Cu จากสารละลายแอมโมเนีย (โดย tartrate ion จะจับ Fe, Al ในสารละลาย) และสำหรับ Mo จากกรดเจือจาง (มี Ni, Nb, Ta รบกวน)
tetraphenylarsonium chloride (C ₆ H ₅) ₄ As ⁺ Cl ⁻	ให้ตะกอนคล้ายเกลือกับไอออนลบจำนวนมาก เช่น ReO ₄ ⁻ , MoO ₄ ⁻ , WO ₄ ⁻ , HgCl ₄ ²⁻ , SnCl ₆ ²⁻ , CdCl ₄ ²⁻ , ZnCl ₄ ²⁻

11.8.2. การตกตะกอนจากสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน

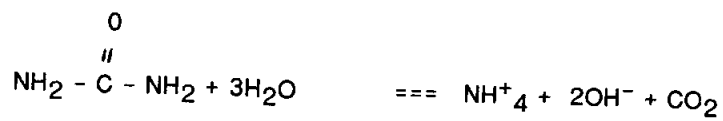
(Precipitation from Homogeneous Solution)

เพื่อป้องกันการเกิดจุดอิ่มตัวสูงเฉพาะที่ของรีเอเจนต์ (local high concentration of reagents) จะทำโดยใช้เทคนิคการตกตะกอนจากสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน คือการใช้ปฏิกิริยาเคมี ให้ตัวตกตะกอนออกมาในสารละลายตัวอย่างในขณะที่ทำการตกตะกอน ตัวอย่างของปฏิกิริยาดังจะไดกล่าวต่อไป

ในการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก ซึ่งการใช้ตัวตกตะกอนเติมลงในสารละลาย ทำให้สารตกตะกอนในสารละลายที่เป็นสารละลายอิ่มตัวยังยวด โดยมีการกำจัดหรือลดมลทินแล้วก็ตาม ยังมีปัญหาหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นเป็นความผิดพลาดจากวิธีการตกตะกอนเอง ปัญหานี้เกิดจากจุดอิ่มตัวสูงเฉพาะที่ ซึ่งเป็นการอิ่มตัวยังยวดของสารละลายบางส่วน อันเนื่องมาจากการที่ไอออนจากตัวตกตะกอนรวมตัวกับไอออนที่ต้องการจะตกตะกอนในสารละลายเกิดเป็นสารที่มีการละลายต่ำ ทำให้เกิดจุดอิ่มตัวขึ้นเป็นบางส่วนของสารละลายผลทำให้ได้ตะกอนมีขนาดเล็ก หากจุดอิ่มตัวสูงเฉพาะที่เกิดขึ้นแล้ว แม้จะมีการคนให้ทั่วสารละลายก็ไม่สามารถกำจัดได้ ผลทำให้สารละลายบางส่วนยังคงเป็นจุดอิ่มตัวต่ำทำให้การตกตะกอนของสารจากสารละลายได้ไม่หมด วิธีกำจัดจุดอิ่มตัวสูงเฉพาะที่ทำได้โดยวิธีการตกตะกอนจาก สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous solution) ซึ่งอาศัยปฏิกิริยาเคมีปล่อยให้ไอออนที่ต้องการทำให้ตกตะกอนทั่วทุกจุดในสารละลาย เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีจะเกิดการให้ไอออนของตัวตกตะกอนออกมาทุก ๆ จุดทั่วสารละลาย ทำให้สารละลายเป็นสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน และสามารถทำให้ไอออนที่เราสนใจเข้าร่วมกับไอออนของตัวตกตะกอนได้ทุก ๆ จุด โดยวิธีการนี้ นิยมใช้สารอินทรีย์เป็นตัวตกตะกอนโดยให้แอนไอออน ออกมาแล้วรวมตัวกับแคทไอออนที่เราสนใจ

11.8.2.1. ตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ (OH^-)

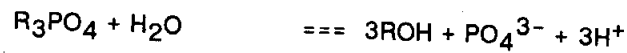
สารที่ใช้คือ Urea ($\text{NH}_2 - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{NH}_2$) โดยมีปฏิกิริยากับน้ำดังนี้



OH^- ที่ได้ก็คือไฮดรอกไซด์ไอออนที่เป็นตัวตกตะกอนที่ถูกปล่อยออกมาจาก Urea ทำปฏิกิริยากับน้ำ ซึ่งใช้ในการตกตะกอน Fe^{+3} , Zn^{+2} , Al^{+3}

11.8.2.2. ตกตะกอนเป็น phosphate (PO_4^{3-})

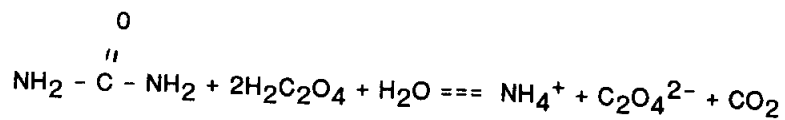
สารที่ใช้คือ trimethyl phosphate (R_3PO_4), $\text{R} = \text{CH}_3$ โดยมีปฏิกิริยากับน้ำดังนี้



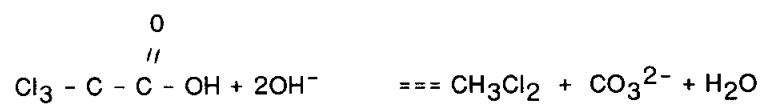
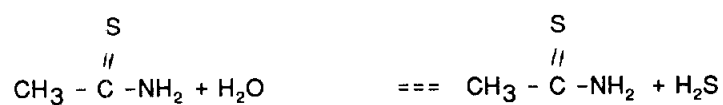
ใช้ในการตกตะกอน Bi^{3+} , Al^{3+} , Hf , Zr

11.8.2.3. ตกตะกอนเป็น oxalate ($\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$)

จะใช้ Urea เป็นตัวเพิ่ม pH ในการตกตะกอน CaC_2O_4 จากสารละลายกรด เพราะว่า CaC_2O_4 จะไม่ตกตะกอนในสารละลายกรด



ใช้ในการตกตะกอน Ca^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+}

11.8.2.4. ตกตะกอนเป็น sulphate (SO_4^{2-})สารที่ใช้คือ Sulphamic acid ($NH_2 - SO_3H$)ใช้ในการตกตะกอน Ba^{+2} , Ca^{+2} , Cr^{+3} , Pb^{+2} 11.8.2.5. ตกตะกอนเป็น carbonate (CO_3^{2-})สารที่ใช้คือ Trichloro acetic acid ($Cl_3 - C - \overset{O}{\parallel} C - OH$)ใช้ในการตกตะกอน Ca^{+3} , Pr^{+3} 11.8.2.6.. ตกตะกอนเป็น sulphide (S^{2-})สารที่ใช้คือ Thioacetamide ($CH_3 - C - \overset{S}{\parallel} NH_2$)ใช้ในการตกตะกอน Pb^{2+} , Cd^{2+}

11.9. การคำนวณที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Calculation)

ในกระบวนการหาปริมาณวิเคราะห์ทางเคมีใดๆ ความต้องการในขั้นตอนสุดท้ายคือต้องการที่จะทราบว่า มีปริมาณขององค์ประกอบที่สนใจในสารตัวอย่างที่ศึกษาอยู่ในปริมาณเท่าใด ซึ่งสามารถแสดงได้ในเทอมเปอร์เซ็นต์ (part per hundred), ส่วนในพันส่วน (parts per thousand, ppt), ส่วนในล้านส่วน (parts per million, ppt), หรืออาจจะอยู่ในหน่วยความเข้มข้นอื่นๆ

ในการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก สามารถทำได้โดยตรง (direct) หรือโดยอ้อม (indirect)

(1) การคำนวณหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักวิธีตรง

โดยปกติ การวิเคราะห์องค์ประกอบในสารตัวอย่างจะต้องอาศัยการแยก บางครั้งสามารถทำได้โดยง่าย โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น เช่น การระเหย การละลาย ปริมาณองค์ประกอบ A ซึ่งถูกแยกออกมาจากองค์ประกอบอื่นๆในสารตัวอย่างในรูปของสารประกอบบริสุทธิ์ ที่ทราบชนิดและองค์ประกอบที่แน่นอน จากน้ำหนักของสารประกอบที่ได้ จะสามารถคำนวณหาน้ำหนักของสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้

(2) การคำนวณหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักวิธีอ้อม

ในเทคนิคการตกตะกอน การหาปริมาณของธาตุหรือสารประกอบที่เราสนใจจะคำนวณออกมาในรูปเปอร์เซ็นต์ของสารในสารตัวอย่าง และผลจากการทดลองโดยการชั่งน้ำหนักจะทราบน้ำหนักของสารตัวอย่างและน้ำหนักของตะกอน แต่ธาตุหรือสารประกอบที่เราสนใจไม่ได้ถูกวัดโดยตรง เพราะไม่เป็นตะกอนทั้งหมด แต่เป็นองค์ประกอบในตะกอนเราสามารถคำนวณหาน้ำหนักของสารที่เราสนใจจากน้ำหนักตะกอนที่ได้ โดยในการคำนวณใช้หลักปริมาณมวลสารสัมพันธ์น้ำหนักของสารประกอบหนึ่งที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี (อาจ

จะเป็นสารตั้งต้น หรือผลิตภัณฑ์) ถูกเปลี่ยนเป็นน้ำหนักของสารประกอบอีกตัวหนึ่ง (อาจจะเป็นสารตั้งต้น หรือผลิตภัณฑ์) ที่ปรากฏอยู่ในปฏิกิริยาเดียวกัน จากสมการที่ดุลแล้ว

ในการคำนวณเกี่ยวกับการวัดปริมาณแบบนี้ไม่ยุ่งยากมากนัก เพราะว่าการทดลองเริ่มต้นจากการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่าง และขั้นตอนสุดท้ายก็มีการชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้ จากนั้นจึงนำมาคำนวณส่วนมากสารตัวอย่าง 1 โมเลกุล ซึ่งมีหนึ่งอะตอมขององค์ประกอบที่ต้องการหาปริมาณประกอบอยู่นั้น จะปรากฏหนึ่งอะตอมในตะกอนซึ่งเราสามารถชั่งได้ ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องเขียนรายละเอียดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในการคำนวณจะใช้หลักที่ว่า อะตอม ไอออนหรือโมเลกุลที่เข้าทำปฏิกิริยาเคมี จะเข้าทำปฏิกิริยากันเป็นอัตราส่วนของเลขลงตัวจำนวนน้อย ดังนั้นจึงง่ายต่อการคำนวณ

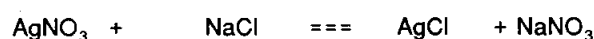
บ่อยครั้งต้องอาศัยปฏิกิริยาเคมี เพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบไปอยู่ในรูปสารประกอบอย่างอื่น เพื่อสะดวกต่อการแยกและสามารถชั่งได้อย่างถูกต้อง น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา เช่น ตะกอน จะต้องทำการแยก และทำให้แห้ง และคำนวณย้อนกลับไปหาน้ำหนักขององค์ประกอบ โดยใช้ปริมาณมวลสารสัมพันธ์จากปฏิกิริยาที่ดุลแล้ว ซึ่งวิธีการจะอาศัยหลักความจริงที่ว่า สารประกอบตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ที่มีปริมาณที่สมมูลกัน ภายใต้เงื่อนไขของการทดลองเดียวกัน แต่มีการเปลี่ยนแปลงในน้ำหนักที่แตกต่างกัน จะสามารถใช้ความสัมพันธ์หาปริมาณสารที่สนใจได้



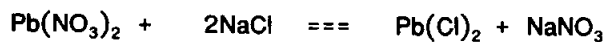
ถ้าทราบน้ำหนักของ D และต้องการทราบน้ำหนักของ A ซึ่งสามารถคำนวณได้จากปฏิกิริยาเคมีที่ดุลแล้วโดยอาศัยปริมาณมวลสารสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนักสาร A} = \text{น้ำหนักสาร D} \times \frac{1}{FW_D} \times \frac{a \text{ mole}_A}{d \text{ mole}_D} \times FW_A \quad (11.3)$$

$$\text{น้ำหนักสาร A} = \text{น้ำหนักสาร D} \times \frac{FW_A}{FW_D} \times \text{mole ratio} \frac{a}{d} \quad (11.4)$$



$$\text{น้ำหนัก NaCl} = \text{น้ำหนัก AgCl} \times \frac{FW_{\text{NaCl}}}{FW_{\text{AgCl}}} \times \frac{1}{1}$$



$$\text{น้ำหนัก NaCl} = \text{น้ำหนัก Pb}(\text{Cl})_2 \times \frac{\text{FW}_{\text{NaCl}}}{\text{FW}_{\text{Pb}(\text{Cl})_2}} \times \frac{2}{1}$$

การเปลี่ยนน้ำหนักของสารประกอบที่ทราบไปเป็นน้ำหนักของสารประกอบที่ต้องการวิเคราะห์ โดยอาศัยน้ำหนักสูตรของสารที่ต้องการศึกษาต่อน้ำหนักสูตรของสารที่ทราบปริมาณ คูณด้วยอัตราส่วนของตัวเลขที่ได้มาจากการดุลธาตุที่เป็นตัวร่วมในสารที่ต้องการศึกษาและสารที่ทราบปริมาณ ค่าที่นำมาใช้นี้เรียกว่า "Gravimetric factor"

11.9.1. นิยามของ gravimetric factor

หมายถึงจำนวนกรัมของสารที่เราสนใจที่สามารถทำปฏิกิริยาพอดีหรือสมมูลกับ 1 กรัมของตะกอนที่สามารถชั่งได้

$$= \text{น้ำหนักกรัมสูตรของสารที่สนใจ} / \text{น้ำหนักกรัมสูตรของตะกอน} \times a / b$$

a,b เป็นเลขจำนวนเต็มลงตัว ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้จำนวนอะตอมของสารที่สนใจและตะกอนเท่ากัน

เมื่อต้องการคำนวณหาน้ำหนักของสาร A ที่มีอยู่ในตะกอนที่ชั่งได้ สามารถคำนวณได้โดยใช้ gravimetric factor โดย

$$\text{น้ำหนักสาร A} / \text{น้ำหนักตะกอน} = \text{gravimetric factor}$$

$$\text{น้ำหนักสาร A} = \text{น้ำหนักตะกอน} \times \text{gravimetric factor}$$

ค่า Gravimetric factor, F สามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$F = \frac{a \times (\text{FW}_A)}{b \times (\text{FW}_B)} \quad (11.5)$$

เมื่อ a , b คือสัมประสิทธิ์ของ A และ B ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงอัตราส่วนของมวลสารสัมพันธ์ระหว่าง A และ B ซึ่งได้จากสมการที่ดุลแล้ว และ FW คือน้ำหนักสูตร ตัวอย่างเช่น

ในการหาปริมาณ Fe ในรูปของ Fe_2O_3 โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก

$$\text{ค่า gravimetric factor มีค่าเท่ากับ } \frac{2\text{Fe}}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{2 \times 55.847}{159.692} = 0.6694$$

ในการหาปริมาณ Cl_2 ในรูปของ AlCl_3 โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก

$$\text{ค่า gravimetric factor มีค่าเท่ากับ } \frac{3\text{Cl}_2}{2\text{AlCl}_3} = \frac{3 \times 70.906}{2 \times 133.34} = 0.79765$$

ในการหาปริมาณสารที่สนใจในตัวอย่าง อาจคำนวณในรูปเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบ A ในสารตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากข้อมูลที่มาจากการทดลอง โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\% A = \frac{W \times F}{S} \times 100 \quad (11.6)$$

W = น้ำหนักเป็นกรัมของสารประกอบ B ที่ซึ่งได้ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการวิเคราะห์ (นั่นคือ น้ำหนักของตะกอน หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากการเปลี่ยนแปลงมา)

F = Gravimetric factor หรือ Conversion factor คือตัวเลขที่จะต้องนำมาคูณกับค่า W เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักของสารประกอบ A

ตัวอย่างที่ 11.1

จงคำนวณค่า gravimetric factors จากการเปลี่ยนแปลงต่อไปนี้

a) Fe_3O_4 จาก Fe

b) $\text{Mg}_2\text{P}_4\text{O}_7$ จาก MgO

c) $\text{Mg}_2\text{P}_4\text{O}_7$ จาก P_2O_5

d) BaSO_4 จาก SO_3

e) BaSO_4 จาก $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

f) AgCl จาก KClO_3

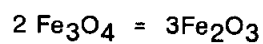
g) CaO จาก $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

h) AgCl จาก As ($\text{As} \rightarrow \text{Ag}_3\text{AsO}_4 \rightarrow 3\text{AgCl}$)

(a) F =	$\frac{3\text{Fe}}{\text{Fe}_3\text{O}_4}$	$\frac{3 \times 55.847}{231.539}$	= 0.7236
(b) F =	$\frac{2\text{MgO}}{\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7}$		= 0.3623
(c) F =	$\frac{\text{P}_2\text{O}_5}{\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7}$		= 0.6377
(d) F =	$\frac{\text{SO}_3}{\text{BaSO}_4}$		= 0.3430
(e) F =	$\frac{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}{\text{BaSO}_4}$		= 0.4886
(f) F =	$\frac{\text{KClO}_3}{\text{AgCl}}$		= 0.8551
(g) F =	$\frac{\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}{\text{CaO}}$		= 2.389
(h) F =	$\frac{\text{As}}{3\text{AgCl}}$		= 0.1742

ตัวอย่างที่ 11.2

จงพิจารณาและหาค่า gravimetric factor



Fe_3O_4 2 โมลจะได้ Fe_2O_3 3 โมล

$$\text{no.fw. Fe}_3\text{O}_4 = 2/3 \times \text{no. fw. Fe}_2\text{O}_3$$

$$\text{wt.Fe}_3\text{O}_4 / \text{g.fw Fe}_3\text{O}_4 = 2 / 3 \text{ wt.Fe}_2\text{O}_3 / \text{g.fw Fe}_2\text{O}_3$$

$$\text{wt.Fe}_3\text{O}_4 = \text{wt.Fe}_2\text{O}_3 \times \text{g.fw.Fe}_3\text{O}_4 / \text{g.fw Fe}_2\text{O}_3 \times 2/3$$

จากตัวอย่างในการคำนวณหาน้ำหนักของสาร A (สารที่สนใจ) ที่มีในตะกอน

1. พยายามหาความสัมพันธ์ของสาร A และตะกอนให้ได้
2. เทียบปริมาณที่สมมูลกัน หรืออาจหา gravimetric factor จากนิยามหรือจากสูตร

3. นำมาหา % ในสารตัวอย่างโดยใช้สูตร

$$\% A = \text{น้ำหนักตะกอน} \times \text{g.f.w สารA} / \text{g.f.w ตะกอน} \times a/b \times 100$$

ตัวอย่างที่ 11.3

สารตัวอย่างหนัก 0.1803 กรัมประกอบด้วย Pb_3O_4 และสารเจือย ทำการตกตะกอนให้อยู่ในรูป PbSO_4

หนัก 0.2378 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Pb_3O_4 และ Pb ในสารตัวอย่าง

วิธีทำ

เปอร์เซ็นต์ของ Pb_3O_4 ในสารตัวอย่างคำนวณได้โดย

$$\begin{aligned} \% \text{Pb}_3\text{O}_4 &= \frac{W_{\text{PbSO}_4} \times F}{S} \times 100 \\ &= \frac{0.2378 \times \frac{\text{Pb}_3\text{O}_4}{3\text{PbSO}_4}}{0.1803} \times 100 \\ &= \frac{0.2378 \times \frac{658.57}{3 \times 303.25}}{0.1803} \times 100 = 99.4\% \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ของ Pb ในสารตัวอย่างสามารถคำนวณได้ดังนี้

วิธีทำ

เปอร์เซ็นต์ของ Pb ในสารตัวอย่างมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \% \text{Pb} &= \frac{W_{\text{PbSO}_4} \times F}{S} \times 100 \\ &= \frac{0.2378 \times \frac{\text{Pb}}{\text{PbSO}_4}}{0.1803} \times 100 \\ &= \frac{0.2378 \times \frac{207.19}{303.25}}{0.1803} \times 100 = 90.1\% \text{ Pb} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 11.4

สารตัวอย่างชุดหนึ่ง มีปริมาณซัลเฟตเป็นองค์ประกอบอยู่ระหว่าง 20.0 - 48.0% ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยการตกตะกอนเป็น BaSO_4

ก) น้ำหนักที่น้อยที่สุดของสารตัวอย่างที่จะต้องใช้ในการวิเคราะห์เพื่อให้แน่ใจว่า ได้ตะกอน BaSO_4 น้อยที่สุด 0.3125 กรัม

ข) น้ำหนักที่มากที่สุดของ BaSO_4 ที่สามารถได้รับจากสารตัวอย่างปริมาณข้างต้น

วิธีทำ

ก) เปอร์เซนต์ของ SO_4 ในสารตัวอย่างหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \% \text{ so4} &= \frac{W_{\text{BaSO}_4} \times F}{S} \times 100 \\ &= \frac{W_{\text{BaSO}_4} \times \frac{\text{SO}_4}{\text{BaSO}_4}}{S} \times 100 \\ S \text{ (gram of sample)} &= \frac{W_{\text{BaSO}_4} \times \frac{\text{SO}_4}{\text{BaSO}_4}}{\% \text{SO}_4} \times 100 \\ &= \frac{0.3125 \times \frac{96.06}{233.40}}{20} \times 100 = 0.643 \end{aligned}$$

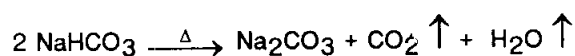
ข) น้ำหนักที่มากที่สุดของ BaSO_4 จาก 0.643 กรัม ของสารตัวอย่างที่จะได้รับจากสารตัวอย่างที่

มีปริมาณซัลเฟตมากที่สุด 48%

$$\begin{aligned} S \text{ (gram of sample)} &= \frac{W_{\text{BaSO}_4} \times \frac{\text{SO}_4}{\text{BaSO}_4}}{\% \text{SO}_4} \times 100 \\ W_{\text{BaSO}_4} &= S \times \frac{\% \text{SO}_4}{100} \times \frac{\text{BaSO}_4}{\text{so4}} = 0.750 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 11.5

โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate, NaHCO_3) ถูกเปลี่ยนเป็น โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, Na_2CO_3) โดยการเผาตั้งสมการ



ทำการเผาสารตัวอย่างของ NaHCO_3 ที่ไม่บริสุทธิ์จำนวน 0.4827 กรัม มีสารตกค้างเหลืออยู่ 0.3189 กรัม

ถ้าสิ่งเจือปนอยู่ไม่ระเหยที่อุณหภูมิที่ทำการเผา จงคำนวณเปอร์เซ็นต์ของ NaHCO_3 ในสารตัวอย่าง

วิธีทำ

น้ำหนักที่หายไปเนื่องมาจาก CO_2 และ H_2O ที่ระเหยไปเนื่องจากการเผา

จากสมการเคมีที่ดุลแล้ว

2 โมลของ NaHCO_3 สมมูลกับ 1 โมลของ CO_2 และ 1 โมลของ H_2O

เราจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \% \text{NaHCO}_3 &= \frac{W_{\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}} \times \frac{2\text{NaHCO}_3}{\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}}}{S} \times 100 \\ &= \frac{(0.4827 - 0.3189) \times \frac{2 \times 84.01}{44.01 + 18.015}}{0.4827} \times 100 = 91.92 \end{aligned}$$

11.9.2. การคำนวณหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักโดยวิธีอ้อม (Indirect Gravimetric

Analysis)

ชนิดที่ง่ายที่สุดของวิธีโดยอ้อม คือสารประกอบหนึ่งใน 2 ชนิดของสารประกอบบริสุทธิ์จะถูกแยกออกไป และทำการชั่งน้ำหนักด้วยกัน จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ทางเคมีต่อ หรือโดยการวิเคราะห์สารตัวอย่างใหม่ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติม จากนั้นทำการคำนวณองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง แล้วนำไปหักออกจากน้ำหนักของสารตัวอย่างทั้งหมด ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบที่เหลือได้

ในชนิดทั่วไปอื่นๆ ของการวิเคราะห์โดยอ้อม สารประกอบ 2 ชนิด หลังจากการแยก และชั่งด้วยกันแล้ว จะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบอื่นๆโดยใช้สารเคมีที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป ดังนั้น สามารถคำนวณหาผลรวมของน้ำหนักของสารประกอบใหม่ทั้งสอง หรือโดยการคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ถูกใช้ไปในการเปลี่ยนแปลงสารที่กำลังศึกษา

ตัวอย่างที่ 11.6

สารตัวอย่างหนัก 0.5095 กรัม ประกอบด้วย Fe_2O_3 และ Al_2O_3 เมื่อทำการเผาในบรรยากาศของก๊าซไฮโดรเจน น้ำหนักหายไปเท่ากับ 0.1187 กรัม (Fe_2O_3 ถูกรีดิวซ์เป็น Fe ในขณะที่ Al_2O_3 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ) จงคำนวณเปอร์เซ็นต์ของ Fe และ Al ในสารตัวอย่าง

วิธีทำ

สารตัวอย่างหนัก 0.5095 กรัม สมมุติว่ามี Fe_2O_3 x กรัม และ Al_2O_3 0.5095 - x กรัม

น้ำหนักที่หายไป 0.1187 กรัม จะมีค่าเท่ากับ x กรัมของ Fe_2O_3

ในขณะที่การหายไปของน้ำหนัก $16.00 \times 3 = 48.00$ กรัมจะสัมพันธ์กับ 159.69 กรัมของ Fe_2O_3

(1 โมล ของ Fe_2O_3 159.69 กรัม มี $\text{O}_2 = 16.00 \times 3 = 48.00$ กรัม)

$$\frac{x}{159.69} = \frac{0.1187}{48.00}$$

$$x = 0.3949 \text{ กรัม } \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ หรือ } \frac{0.3949}{0.5095} \times 100 = 77.51\% \text{ Fe}_2\text{O}_3$$

$$\text{ดังนั้น } \text{Al}_2\text{O}_3 = 100.00 - 77.51 = 22.49$$

$$\% \text{ Fe} = 77.51 \times \frac{2 \times 55.85}{159.69} = 54.22$$

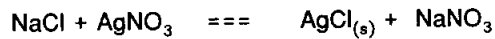
$$\% \text{ Al} = 22.49 \times \frac{2 \times 26.98}{101.96} = 11.90$$

ตัวอย่างที่ 11.7

สารตัวอย่างหนัก 0.4828 กรัม ประกอบด้วย NaCl และ KCl เพียง 2 ชนิดเท่านั้น นำมาทำปฏิกิริยากับ AgNO_3 ให้สารประกอบ AgCl หนัก 1.1280 กรัม จงคำนวณเปอร์เซ็นต์ของ NaCl และ KCl ในสารตัวอย่าง

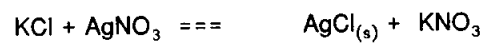
วิธีทำ

สมมุติว่ามี NaCl = x กรัม และมี KCl = y กรัมในสารตัวอย่างหนัก 0.4828 กรัม



$$58.44 \qquad \qquad \qquad 143.32$$

$$x \qquad \qquad \qquad \frac{143.32x}{58.44}$$



$$74.55 \qquad \qquad \qquad 143.32$$

$$y \qquad \qquad \qquad \frac{143.32y}{74.55}$$

$$x + y \qquad \qquad = \quad 0.4828 \text{ กรัม} \qquad \qquad \qquad (11.7)$$

$$\frac{143.32x}{58.44} + \frac{143.32y}{74.55} \qquad = \quad 1.1280 \text{ กรัม} \qquad \qquad \qquad (11.8)$$

จากการแก้สมการจะได้ $x = 0.3771$ กรัม และ $y = 0.1057$ กรัม

ในสารตัวอย่างประกอบด้วย

$$\frac{0.3771}{0.4828} \times 100 = 78.11 \% \text{ NaCl}$$

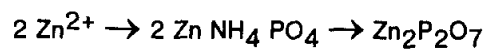
$$\frac{0.1057}{0.4828} \times 100 = 21.89 \% \text{ KCl}$$

หมายเหตุ

ในการวิเคราะห์ทางอ้อม จะได้ผลการทดลองถูกต้องน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยตรง เพราะความผิดพลาดใดๆในการวิเคราะห์จะถูกคูณด้วยสัมประสิทธิ์ของ x และ y วิธีการเช่นนี้สามารถจะประยุกต์ใช้ได้กับของผสมใดๆที่มีสารประกอบของเกลือที่มาจากกรด หรือเบสที่เหมือนกัน โดยจะมีอยู่ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับ ของผสมที่มีองค์ประกอบมากกว่า 2 ชนิด โดยมีข้อแม้ว่า สามารถจะเขียนปฏิกิริยาแยกกันได้อย่างชัดเจน

ตัวอย่างที่ 11.8

นำตัวอย่างของสังกะสีหนัก 0.15000 g จะมีสิ่งเจือปนที่ไม่เกิดปฏิกิริยามาละลายในกรด และสังกะสีจะตกตะกอนออกมาในรูป Zinc ammoniom phosphate (ZnNH_4PO_4) จากนั้นทำการแยกเอาตะกอนออกมาและเผาให้อยู่ในรูป Zinc pyrophosphate ($\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$) ถ้าหากว่า Zinc pyrophosphate หนัก 0.3333 g จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Zn(%Zn) ในสารตัวอย่างเริ่มต้น ($\text{Zn} = 65.38$, $\text{P} = 30.944$)



จะได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของ Zn ในมวลระหว่าง (n_{Zn}) และ

จำนวนโมลของ Zinc pyrophosphate ($n_{\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7}$) ที่เกิดขึ้นคือ

$$n_{\text{Zn}} = 2n_{\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7}$$

$$n_{\text{Zn}} = 2 \times (0.3333/304.7)$$

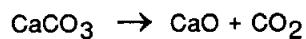
ใน 0.1500 g ของสารตัวอย่างจะมี $\text{Zn} = (2 \times 0.3333 \times 65.38) / 304.71 \text{ g}$

ใน 100 g ของสารตัวอย่างจะมี $\text{Zn} = ((2 \times 0.3333 \times 65.38) / (304.71)) \times 100 = 95.35$

ตัวอย่างที่ 11.9

ในของผสมซึ่งประกอบด้วย CaO และ CaCO₃ เมื่อทำการเผาของผสมนี้และทำให้เย็นใน desiccater พบว่า น้ำหนักหายไป 5% จงคำนวณหาร้อยละของ CaCO₃ ในของผสม (Ca=40.08)

จากการเผาจะพบว่า



ถ้า 100 g ของของผสมถูกเผา 5 กรัมที่หายไปกลายเป็น CO₂ ซึ่งจะมาจาก CaCO₃

$$\begin{aligned} n_{\text{CO}_2} &= n_{\text{CaCO}_3} \\ (5/44.00) &= n_{\text{CaCO}_3} \end{aligned}$$

จำนวนกรัมของ CaCO₃ ใน 100 กรัมของของผสม คือ

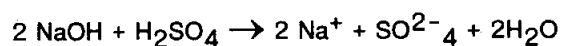
$$(5/44.00) \times 100.00 = 11.37$$

$$\text{ในของผสม \% CaCO}_3 = 11.37$$

ตัวอย่างที่ 11.10

จงคำนวณหาปริมาตรของสารละลาย NaOH เข้มข้น 5.00 M ที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาพอดีกับ H₂SO₄

เข้มข้น 0.3222 M จำนวน 55.55 mL



$$n_{\text{NaOH}} = 2 \times n_{\text{H}_2\text{SO}_4}$$

$$V_{\text{NaOH}} \times 0.5000 = 2 \times 55.55 \times 0.3222$$

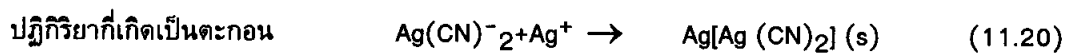
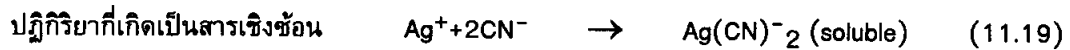
$$V_{\text{NaOH}} = (2 \times 55.55 \times 0.3222) / 0.5000 = 71.59 \text{ mL}$$

ตัวอย่างที่ 11.11

สารละลาย AgNO_3 เข้มข้น 0.1245 M ถูกใช้ในการไทเทรตกับสารละลาย KCN จำนวน 25.00 ลบ.ซม.

โดยมี $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ เป็นอินดิเคเตอร์ ถ้าหากว่า AgNO_3 18.56 ลบ.ซม. ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาจนถึงจุดจบ (ที่จุดจบนี้ จะเห็นสารละลายมีสีเหลืองอ่อน) จงคำนวณความเข้มข้นเป็น M ของ KCN ในสารละลาย

หลักในการวิเคราะห์ CN^- โดยแบ่งการเกิดปฏิกิริยาเป็น



เมื่อรวม (11.19) และ (11.20) เข้าด้วยกัน



ปริมาณมวลสารสัมพันธ์จากสมการ

$$n_{\text{Ag}^+} = n_{\text{CN}^-}$$

$$0.1245 \times 18.56 = 25.00 \times M_{\text{KCN}}$$

$$M_{\text{KCN}} = (0.1245 \times 18.56) / 25.00$$

$$= 0.9243$$

ที่จุดจบของการไทเทรต จะเติม Ag^+ ปริมาณน้อยมาก ๆ เกินพอเพื่อทำการตกตะกอน CN^- ในรูป $\text{Ag}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ เพื่อเกิดเป็นสารละลายสีส้มเหลือง สีนี้มาจากการรวมตัวของ Ag_2CrO_4 ซึ่งมาจากปฏิกิริยาของ Ag^+ ที่มากเกินไปกับอินดิเคเตอร์ CrO_4^{2-}

จากตัวอย่างเดียวกันนี้ ถ้าหากไม่มี CrO_4^{2-} เป็นอินดิเคเตอร์ และเมื่อหยุดการไทเทรตเมื่อเห็นตะกอนสีขาวเกิดขึ้น จงคำนวณปริมาตรของ AgNO_3 ที่ใช้

ปฏิกิริยาที่เกิดเป็นสารเชิงซ้อน $\text{Ag}^+ + 2\text{CN}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{CN})_2^-$ (Soluble dicyanosilver complex)

$$\text{จะได้ว่า } 2 \times n_{\text{Ag}} = n_{\text{CN}}$$

$$\text{กำหนด } 2 \times 0.1245 \times V_{\text{AgNO}_3} = 25.00 \times 0.09243$$

$$V_{\text{AgNO}_3} = (25.00 \times 0.09243) / (2 \times 0.1245) = 9.28 \text{ mL}$$

การไทเทรตจะหยุดเมื่อเติม Ag^+ มากเกินพอเล็กน้อยลงในสารละลายที่มีไอออนเชิงซ้อน $2\text{Ag}(\text{CN})_2^-$.

ผลให้เกิดการรวมตัวของตะกอนสีขาวของ $\text{Ag}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$

ตัวอย่างที่ 11.12

ในสารละลายประกอบด้วย 8.00 mmol ของ HCl เดิมลงใน CaCO_3 ซึ่งเป็นของแข็งจำนวน 9 กรัม จะมี CaCO_3 ที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยาเหลืออยู่เท่าไร? (Ca = 40, C = 28, O = 16)

$$9.00 \text{ g ของ } \text{CaCO}_3 \text{ คิดเป็น } \text{CaCO}_3 = (9.00 \times 1000) / 100.9 = 89.92 \text{ mmole}$$

จากปฏิกิริยา $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

จากปฏิกิริยา HCl 2 mmol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ CaCO_3 1 mmol

ถ้า HCl 8.00 mmol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ CaCO_3 $(1 \times 8.00) / 2 = 4.0$ mmol

$$\therefore \text{จะมี } \text{CaCO}_3 \text{ เหลืออยู่ไม่เข้าทำปฏิกิริยา} = (89.92 - 4.00) / 1000 = 0.0859 \text{ mol}$$

ในตัวอย่างนี้สามารถทำการคำนวณได้อย่างง่ายดายจากสมการที่ดุลแล้ว ดังนี้

$$n_{\text{HCl}} = 2 \times n_{\text{CaCO}_3}$$

$$n_{\text{CaCO}_3} = 1/2 \times n_{\text{HCl}} = 1/2 \times 8.00 / 1000 = 4.0 \text{ mmol}$$

11.10. ข้อดีและขีดจำกัดของการหาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก

11.10.1. ความเร็ว (speed)

ข้อดีอย่างหนึ่งของการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก คือไม่ต้องทำการเทียบมาตรฐาน ปริมาณสารสามารถหาได้โดยตรงจากการชั่งน้ำหนักของตะกอนโดยใช้มวลอะตอมที่ทราบ แต่ในขณะเดียวกัน บางขั้นตอนในกระบวนการ เช่น การย่อยตะกอน การกรอง และการทำให้แห้ง ต้องใช้เวลานาน

11.10.2. ความไว (sensitivity)

ความไวของการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก โดยปกติไม่ขึ้นอยู่กับความไวของเครื่องมือที่ใช้ ในกรณีคือเครื่องชั่ง การหาปริมาณสารที่สนใจที่มีปริมาณน้อยค่อนข้างยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารตัวอย่างที่ย่อยยากมีองค์ประกอบต่างๆมากมาย การแยกของแข็งที่มีปริมาณน้อย ๆ จากสารละลายตัวอย่างที่มีปริมาณมากๆทำได้ยาก ผลก็คือเทคนิคนี้จะไม่ได้ดีกับตัวอย่างที่มีองค์ประกอบน้อยกว่า 0.1% โดยน้ำหนัก

11.10.3. ความถูกต้อง (Accuracy)

ในตัวอย่างที่ไม่ย่อยยากมีองค์ประกอบที่สนใจมาก (มากกว่า 1%) การวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักจะให้ความถูกต้องและความแม่นยำสูงมาก เพราะความถูกต้องและความแม่นยำของเครื่องชั่งเมื่อเทียบกับเครื่องมือวิเคราะห์อื่นๆ ความผิดพลาดน้อยกว่า 0.2%

11.10.4. ความจำเพาะเจาะจง (selectivity)

การวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักปกติจะมีความจำเพาะเจาะจงต่อกลุ่มของสารที่สนใจซึ่งรวมตัวอยู่ในรูปของเกลือที่ไม่ละลายกับตัวตกตะกอน วิธีการนี้จึงไม่มีความจำเพาะเจาะจง 100%

11.1.1. การประยุกต์ของการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนัก

11.1.1.1. การวิเคราะห์สารอนินทรีย์

การใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณแอนไอออนและแคทไอออนของสารอนินทรีย์เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 11.

ตารางที่ 11.6 ตัวอย่างของสารที่สนใจและตัวตกตะกอนที่ใช้

สารที่สนใจ	ตัวตกตะกอนที่ใช้
Be, Al, Fe	$\text{NH}_3(\text{aq})$
Zn	H_2S
Mg	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$
Cd, Pb, Ba	H_2SO_4
Ag	HCl
Cl	AgNO_3
SO_4^{2-}	BaCl_2
PO_4^{3-}	MgCl_2

11.1.1.2. การวิเคราะห์สารอินทรีย์

การใช้ตัวตกตะกอนที่จำเพาะเจาะจงกับหมู่ฟังก์ชันได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการทำคุณภาพวิเคราะห์ของสารอินทรีย์ สำหรับตัวอย่างของการหาปริมาณวิเคราะห์สารอินทรีย์ได้แก่

(1) ปริมาณซาลิไซเลตในการเตรียมสารทางด้านเภสัชกรรม สามารถหาได้โดยการเติมไอโอดีนเพื่อรวมตัวเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำในสภาวะเป็นด่าง

(2) ปริมาณนิโคติน (Nicotine) ในผลิตภัณฑ์ยาสูบ หาได้โดยการเกิดปฏิกิริยากับ silicotungstic acid สำหรับตัวอย่างอื่นๆ อย่างเช่น การหาปริมาณแลคโตสในนมผง และการหาปริมาณโคเลสเตอรอลในอาหารประเภทเส้นใย (cereals)

ในอดีตการใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการชั่งน้ำหนักเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุดในการวิเคราะห์ แต่ในปัจจุบันการใช้ลดลงเมื่อถูกแทนที่ด้วยเทคนิคการใช้เครื่องมือที่มีความจำเพาะเจาะจงสูงกว่า

คำถามเพิ่มเติมท้ายบท

11.1. ในการหาปริมาณเหล็กโดยการชั่งน้ำหนักในตัวอย่างแร่ที่มี FeS_2 น้ำหนักสุดท้ายของ Fe_2O_3 คือ 0.3117 g จงหาน้ำหนักของเหล็กซึ่งแสดงในรูป

ก) Fe

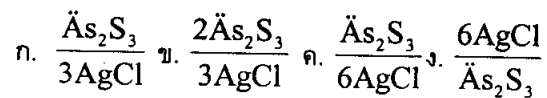
ข) FeO

ค) FeS_2

ในสารตัวอย่างต่างกัน

ตอบ ก) 0.2180 ข) 0.2805 ค) 0.4684

11.2. ในการหาปริมาณของอาร์เซนิกโดยการชั่งน้ำหนัก ทำโดยการออกซิไดส์ให้อยู่ในรูปอาร์เซนเนต ซึ่งตกตะกอนในรูป Ag_3AsO_4 ซึ่งละลายในกรดไนตริกและเงิน จะตกตะกอนและชั่งในรูป AgCl ความสัมพันธ์ในข้อใดต่อไปนี่ที่ให้อัจฉัยในการหาปริมาณสำหรับการคำนวณหาร้อยละ As_2S_3 ในสารตัวอย่างตั้งต้น



ตอบ ค. $\frac{\text{As}_2\text{S}_3}{6\text{AgCl}}$

11.3. ตัวอย่างเกลือมอห์ร (Mohr's salt), $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความยอมรับได้ว่าเป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิสำหรับเหล็ก เมื่อเผาตัวอย่างหนัก 1.50000 g ได้ผลิตภัณฑ์ คือ Fe_2O_3 หนัก 0.3016 g จงคำนวณ

ก) ความบริสุทธิ์ของสารตัวอย่าง ข) ปริมาณของเหล็กคิดเป็นร้อยละในตัวอย่าง

ตอบ ก) 98.75 % ข) 14.06 %

11.4. สารตัวอย่างของอะลูมิเนียม $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ หนัก 0.5874 g ซึ่งประกอบด้วยก๊าซเฉื่อย นำมาทำปฏิกิริยากับ 8-hydroxyquinoline จากนั้นทำการเผาตะกอนที่เกิดขึ้นได้ Al_2O_3 หนัก 0.0589 g จงคำนวณหาปริมาณ (ร้อยละ) ของ Al และ K ในสารตัวอย่าง

ตอบ Al = 5.31 %, K = 7.69 %

11.5. สารตัวอย่างของเกลือ $Na_2S_xO_6$ หนัก 0.1028 g ให้เกลือ $BaSO_4$ หนัก 0.3570 g จงคำนวณค่าของ X

ตอบ X = 4

11.6. สารตัวอย่างของ Fe_2O_3 ไม่บริสุทธิ์หนัก 0.9996 g ถูกเผาอย่างรุนแรงให้สิ่งตกค้าง 0.9784 g ถ้าหากว่าน้ำหนักที่สูญหายไปเนื่องมาจากการเปลี่ยนจาก Fe_3O_4 ไปเป็น Fe_2O_3 ($6Fe_2O_3 \rightarrow 4Fe_3O_4 + O_2 \uparrow$) จงคำนวณหาปริมาณ (เปอร์เซ็นต์) Fe_2O_3 ในตัวอย่าง

ตอบ 63.50 %

11.7. จงคำนวณปริมาตรของ $AgNO_3$ เข้มข้น 0.200 M ที่ต้องการใช้ในการตกตะกอนคลอรีนที่มีอยู่ใน $NaCl$ 0.250 g อย่างสมบูรณ์ ถ้าเราต้องการรีเอเจนต์มากเกินไปเพียง 10%

ตอบ 24.5 mL

11.8. จงคำนวณหาปริมาณแอมโมเนียมออกซาลเลต $(NH_4)_2 C_2O_4 \cdot H_2O$ ที่ต้องใช้สำหรับการตกตะกอนแคลเซียม ในตัวอย่างหินปูนที่ไม่บริสุทธิ์หนัก 0.500 g ถ้าเราต้องการรีเอเจนต์ก็มากเกินไปเพียง 10%

ตอบ 0.781 g

11.9. สารตัวอย่างที่เป็นกรดอินทรีย์ (H_nA) หนัก X กรัม ถูกทำให้สะเทินอย่างสมบูรณ์ด้วยสารละลาย $Ca(OH)_2$ เข้มข้น 0.10000 M จำนวน 25.00 mL จากนั้นทำการระเหยสารละลายได้เกลือที่ปราศจากน้ำ คือ Ca_nA_2 หนัก 0.30000 g จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของไฮโดรเจนในกรด

ตอบ 2.46 %

11.10. เมื่อทำการเผาสารตัวอย่างที่ประกอบด้วย KClO_4 จะได้ KCl และออกซิเจน 0.1280 g จงหา น้ำหนักของ AgCl ที่เกิดขึ้น ถ้าหากว่าทำการตกตะกอนคลอรีนได้อย่างสมบูรณ์

ตอบ 0.2866 g

11.11. เมื่อทำการเผาสารตัวอย่าง $\text{CuSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ จนได้น้ำหนักคงที่คือ 0.1384 g (สูญเสียน้ำทั้งหมด) จงคำนวณหาค่าของ x

ตอบ 5

11.12. เมื่อเผาสารตัวอย่างหนัก 0.3200 g ซึ่งประกอบด้วย CaCO_3 และ MgCO_3 ได้ผลิตภัณฑ์ที่เหลืออยู่คือ CaO และ MgO หนัก 0.1664 g จงคำนวณหาร้อยละของ CaO และ MgO ในผลิตภัณฑ์ที่เหลืออยู่

ตอบ $\text{CaO} = 55.00 \%$, $\text{MgO} = 45.00 \%$

11.13. สารตัวอย่างซึ่งประกอบด้วย คลอไรด์, ไอโอดีน และสารเฉื่อยหนัก 0.2000 g ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นตะกอน AgCl และ AgI หนัก 0.3780 g เมื่อถูกเผาในไอของคลอรีนเพื่อเปลี่ยน AgI เป็น AgCl พบว่าน้ำหนักตะกอนหายไป 0.0488 g จงคำนวณหาร้อยละของ Cl และ I ในตัวอย่าง

ตอบ $\text{Cl} = 31.25 \%$, $\text{I} = 33.86 \%$

11.14. สารตัวอย่างหนัก 3.9996 g ประกอบด้วย NaCl และ $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หลังจากนำสารเผาแล้ว น้ำหนักเหลือเพียง 3.7113 g นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาละลายน้ำและเจือจางจนมีปริมาตรเป็น 250.0 mL (สารละลาย A) จงคำนวณหาปริมาตรของการละลาย AgNO_3 เข้มข้น 0.1000 M ที่ต้องใช้ ในการไทเทรตกับสารละลาย A จำนวน 10.00 mL

ตอบ $\text{NaCl} = 2.0455 \text{ g}$, $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 1.9541 \text{ g}$, $\text{AgCl} = 20.04 \text{ mL}$

11.15. สารตัวอย่างชนิดหนึ่งประกอบด้วย NaCl , NaBr และ NaI และสิ่งเจือปนที่เป็นสารเฉื่อยเพียงเล็กน้อย นำสารตัวอย่างมา 0.3697 g มาละลายน้ำและเจือจางจนมีปริมาตรเป็น 100.0 mL (สารละลาย A) นำสารละลาย A มา 25.00 mL จะให้ตะกอน PbI_2 หนัก 0.0480 g ในขณะที่สาร

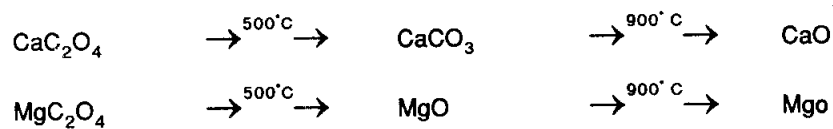
ละลาย A 50.00 mL ทำปฏิกิริยากับสารละลาย AgCl มากเกินพอ จะได้ตะกอนหนัก 0.3551 g และนำตะกอนนี้ไปเผาในไอของคลอรีนได้ AgCl หนัก 0.2866 g จงคำนวณหาปริมาณเป็นร้อยละ ของเฮไลต์แต่ละตัวในตัวอย่าง

ตอบ Cl = 18.93 %, Br = 22.17 %, I = 34.30 %

11.16. ในสารตัวอย่างที่ประกอบด้วยเพียง CaC_2O_4 และ CaO นำสารตัวอย่างมา 1.2000 g ทำการเผาที่อุณหภูมิ 900°C มีสารตกค้างของ CaO เหลืออยู่หนัก 0.8400 g จงคำนวณหาปริมาณร้อยละของ CaC_2O_4 และ CaO ในสารตัวอย่าง

ตอบ $\text{CaC}_2\text{O}_4 = 0.6403 \%$, $\text{CaO} = 46.64 \%$

11.17. สารตัวอย่างชนิดหนึ่งหนัก 0.3527 g ประกอบด้วย CaC_2O_4 และ MgC_2O_4 เมื่อทำการเผาอุณหภูมิ 500°C และ 900°C ให้สารตกค้างเหลืออยู่ 0.1807 g และ 0.1367 g ตามลำดับ กำหนดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการเผาดังนี้



จงคำนวณหาปริมาณร้อยละของ Ca และ Mg ในตัวอย่าง

ตอบ Ca = 11.63 %, Mg = 13.78 %

11.18. สารตัวอย่างชนิดหนึ่งหนัก 0.26660 g ประกอบด้วย KCl และ NaCl ที่มี Cl 0.1415 g จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ K และ Na ในตัวอย่าง

ตอบ K = 29.40 %, Na = 17.29 %

11.19. เมื่อทำการเปลี่ยนของผสมระหว่าง KCl และ NaBr ไปเป็นเกลือซัลเฟตโดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ในตัวอย่าง

ตอบ KCl = 64.75 %

11.20. ในตัวอย่างมีเพียง KCl และ KClO_3 ที่มี Cl 35.97 % จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ KCl และ KClO_3 ในตัวอย่าง

ตอบ KCl = 37.83 %, KClO_3 = 62.17 %

11.21. สารตัวอย่าง 0.7500 g ประกอบด้วย KCl, KBr และสิ่งเจือปน ทำการไทเทรตด้วยสารละลาย AgNO_3 เข้มข้น 0.1250 M จำนวน 32.00 mL เมื่อใช้สารตัวอย่างหนัก 0.2500 g จะให้ตะกอน $\text{AgCl} + \text{AgBr}$ หนัก 0.2207 g จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ KCl และ KBr ในตัวอย่าง

ตอบ KCl = 19.90 %, KBr = 31.70 %

11.22. ในของผสมที่มี BaSO_4 และ PbSO_4 พบว่ามี Ba เท่ากับ Pb มีค่าเท่ากับ 66.29 % จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ PbSO_4 ในของผสม

ตอบ 56.51 %

11.23. ในการเผาตัวอย่างหนัก 0.2743 g พบว่า ฟีนอล ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$) และกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ให้ CO_2 0.5281 g จงคำนวณหาร้อยละของฟีนอลและกลูโคสในตัวอย่าง

ตอบ $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ = 34.31 %, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ = 65.69 %

11.24. จงคำนวณหาน้ำหนักของตัวอย่างเหล็กกล้าซึ่งถูกนำมาวิเคราะห์พบว่า BaSO_4 แต่ละมิลลิกรัมที่ตกตะกอนจะแทนซัลเฟอร์ 0.100 % ในตัวอย่าง

ตอบ 0.137

11.25. แร่เหล็กชนิดหนึ่งประกอบด้วย Fe_2O_3 97.4 % จงหาว่าจะต้องนำสารตัวอย่างมาวิเคราะห์จำนวนเท่าใด ถ้าหากว่าทุก ๆ มิลลิกรัมของ Fe_2O_3 ที่ตกตะกอนจะแทนเหล็ก 0.2000 % ในตัวอย่าง

ตอบ 0.350 g

11.26. จงคำนวณหาขนาดของตัวอย่างซึ่งมี Br^- 20.0 % ที่จะต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อให้ได้รับตะกอน AgBr หนัก 0.3876 g

ตอบ 0.825 g

11.27. ในตัวอย่างแร่สังกะสีที่มีความชื้น 1.80 % และหลังจากทำให้แห้งที่ 110°C มีสังกะสี 21.70 %
จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสังกะสีในสารตัวอย่างตอนเริ่มต้น

ตอบ 21.31 %

11.28. ตัวอย่างแร่ทองแดงประกอบด้วยทองแดง 48.10 % ในตัวอย่างที่แห้ง และ 47.08 % ใน
ตัวอย่างที่ชื้น จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นในสารตัวอย่างที่รับมา

ตอบ 2.12 %

11.29. สารตัวอย่างหนัก 1.0000 g หลังจากทำให้แห้งที่ 110°C มีน้ำหนักเหลือเพียง 0.9875 g
ตัวอย่างอีกชนิดหนึ่งหนัก 0.400 g (เมื่อได้รับ) ให้ AgCl หนัก 0.3810 g จงคำนวณหา
เปอร์เซ็นต์ของคลอรีนในตัวอย่าง

ก) เมื่ออยู่ในสภาพที่แห้ง

ข) เมื่อรับมา

ตอบ ก) 23.86 % ข) 23.56 %

11.30. ในการหาปริมาณเหล็กโดยการชั่งน้ำหนัก จากตัวอย่างแร่ที่แห้งหนัก 0.6225 g พบว่าในแร่มี
เหล็ก 12.69 % หลังจากนั้นนักวิเคราะห์พบว่าถ้าใช้กระดาษกรองธรรมดาแทนชนิดที่ปราศจาก
ตะกั่ว เพื่อแก้ไขความผิดพลาดของผลที่ได้ เขาทำการเผากระดาษกรองธรรมดาได้แล้วเหลืออยู่หนัก
0.0029 g จงหาเปอร์เซ็นต์ที่แท้จริงของเหล็กในตัวอย่าง

ตอบ 12.36 %

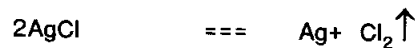
11.31. ในการหาปริมาณซัลเฟตโดยการชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างหนัก 0.2841 g ที่มี Na_2SO_4 บริสุทธิ์จะให้
ตะกอน BaSO_4 หนัก 0.4604 g น้ำหนักของตะกอนที่ได้มีค่าน้อยกว่าทางทฤษฎี เพราะว่ามี
 BaSO_4 บางส่วนถูกเปลี่ยนเป็น BaS ในระหว่างกระบวนการเผา จงคำนวณ

ก) เปอร์เซ็นต์ของ BaS ในตะกอน

ข) เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวิเคราะห์

ตอบ ก) 3.68 % ข) -1.37

11.32. ในการหาปริมาณ Cl^- โดยการชั่งน้ำหนัก พบว่าตะกอน AgCl 2.40 % สลายตัวด้วยแสง (หลังจากการกรอง) เนื่องจากปฏิกิริยา



จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เนื่องมาจากการสลายตัว

ตอบ 0.59 %

11.33. จงคำนวณหาน้ำหนักของตะกอนเงินคลอไรด์ที่ถูกผลิตจากตัวอย่างหนัก 800 mg ที่มี CaCl_2 14.5%

ตอบ 300 mg

11.34. ปุ๋ยชนิดหนึ่งมีสูตรว่า 8-8-8 โดยทั่วไปหมายถึงว่าประกอบด้วยไนโตรเจนทั้งหมด 8 % P_2O_5 8% จงคำนวณหาร้อยละของ P และ K ในปุ๋ย

ตอบ P= 3.5 % , K= 6.6 %

11.35. สารตัวอย่างของซิลิคอนบริสุทธิ์หนัก 1.000 g นำมาทำปฏิกิริยากับตัวออกซิไดส์ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น SiO_2 หลังจากเก็บและทำให้แห้งชั่งน้ำหนักได้ 2.1387 g จงคำนวณหา % Si ในสารตัวอย่าง

ตอบ 99.98 %

11.36. ทำการตกตะกอนแคลเซียมในตัวอย่างหินปูนหนัก 607.4 mg ในรูปแคลเซียมออกซาเลต และทำการเผาให้อยู่ในรูป แคลเซียมคาร์บอเนตหนัก 246.7 mg

(ก) จงคำนวณหา % Ca ในสารตัวอย่าง

(ข) ถ้าทำการเผาตะกอนที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็น CaO จะได้ CaO หนักเท่าไร

(ค) ถ้ามีความผิดพลาดคงที่ คือ 0.1 mg ในทุกครั้งที่อ่านค่าจากเครื่องชั่ง จงคำนวณหาน้ำหนักผิดพลาดสัมพัทธ์ (ส่วนในพันส่วน) ในการหาน้ำหนัก CaCO_3

ตอบ (ก) 16.26 % (ข) 138.2 mg (ค) 0.8 ppt

11.37. ยาลดกรด 1 เม็ดหนัก 3.084 g นำมาละลายและเจือจางจนมีปริมาตร 100.00 mL นำมา 25.00 mL ทำปฏิกิริยากับ 8-hydroxyquinoline เพื่อตกตะกอนอะลูมิเนียมและแมกนีเซียมทั้งหมด หลังจากทำให้แห้ง ชั่งน้ำหนักของตะกอนได้ 1.7748 g จากนั้นนำสารละลายของสารตัวอย่างมาอีก 25.00 mL ปฏิกิริยากับแอมโมเนียมากเกินไปเพื่อตกตะกอนเพียง $\text{Al}(\text{OH})_3$ จากนั้นทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 C ค่าตะกอนที่ได้หนัก 0.1167 g จงคำนวณหา % Al และ Mg ในยาลดกรด

ตอบ Al = 8.009 %, Mg = 4.994 %
