ใบความรู้เพิ่มเติม

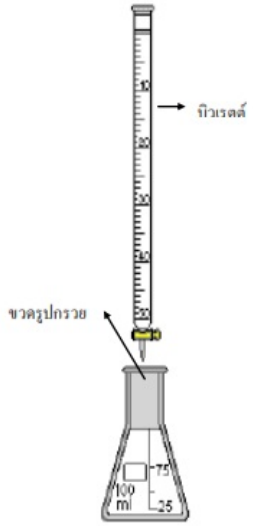
การไทเทรตกรด-เบส (Acid-base titration)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงความหมายและวิธีการไทเทรตกรด - เบส
2. เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายเบสและสารละลายกรดโดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน
3. เพื่อหาความเข้มข้นของน้ำส้มสายชูตัวอย่าง

การไทเทรตกรด-เบส หมายถึง กระบวนการหาปริมาณสาร โดยวิธีใช้สารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอน ให้ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดและเบสที่เข้าทำปฏิกิริยากันพอดี ทำให้คำนวณหาความเข้มข้นหรือปริมาณของสารตัวอย่างดังกล่าวได้

วิธีการไทเทรตกรด-เบส คือ นำสารละลายกรดหรือเบสตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณมาทำการไทเทรตกับสารละลายเบสหรือกรดมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอน กล่าวคือ ถ้าสารละลายตัวอย่างเป็นสารละลายกรด ก็ต้องใช้สารละลายมาตรฐานเป็นเบส นำมาทำการไทเทรต แล้วบันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอดีกัน จากนั้นนำไปคำนวณหาปริมาณของสารตัวอย่างต่อไป หรือทางตรงกันข้าม ถ้าใช้สารละลายตัวอย่างเป็นเบส ก็ต้องใช้สารละลายมาตรฐานเป็นกรด

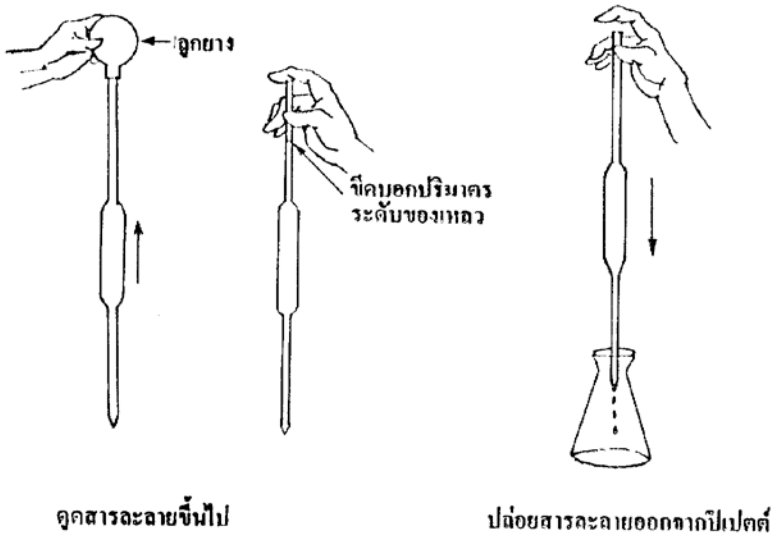


รูปที่ 1 การไทเทรตกรด-เบส

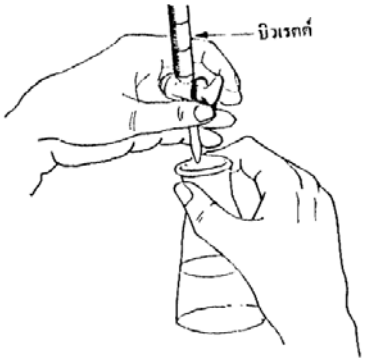
สารละลายมาตรฐาน ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน บรรจุอยู่ในเครื่องแก้วที่เรียกว่า บิวเรตต์ ซึ่งจะมีก๊อกไขปิด-เปิดเพื่อหยดสารละลายมาตรฐานมายังขวดรูปกรวยที่บรรจุสารละลายตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ในการไทเทรตค่อยๆ หยดสารละลายมาตรฐานลงมาทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างในขวดรูปกรวย เขย่าหรือหมุน

ขวดรูปกรวยเพื่อให้สารผสมกันพอดีไทเทรตจนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสีก็หยุดไทเทรต แล้วบันทึก ปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ เพื่อนำไปคำนวณหา pH สารละลายต่อไป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทของเหลวตัวอย่าง ลงในขวดรูปกรวยจะใช้เครื่องแก้วที่สามารถ อ่านปริมาตรได้ค่าที่ละเอียด และมีค่าถูกต้องมากที่สุด นั่นคือจะใช้ปิเปตต์ (จะไม่ใช้กระบอกตวงเพราะให้ค่าที่ไม่ละเอียดและความถูกต้องน้อย) ซึ่งมีขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้ เช่น ขนาด 1 cm^3 , 5, 10, 25, 50 cm^3 เป็นต้น วิธีใช้ปิเปตต์จะใช้ ลูกยางช่วยในการดูดสารละลาย โดยในตอนแรก บีบอากาศออกจาก ลูกยาง ที่อยู่ปลายบนของปิเปตต์ แล้วจุ่มปลายปิเปตต์ลงในสารละลายที่ต้องการปิเปตต์ แล้วค่อยๆ ปล่อยลูกยาง สารละลายจะถูกดูดขึ้นมาในปิเปตต์ เมื่อสารละลายอยู่เหนือขีดบอกปริมาตรดึงลูกยางออกรีบใช้นิ้วชี้กดที่ปลายปิเปตต์ค่อยๆ ปล่อยสารละลายออกจนถึงขีดบอกปริมาตรบน จากนั้นก็ปล่อยสารละลายออกจากปิเปตต์สู่ขวดรูปกรวยจนหมด



รูปที่ 2 แสดงการใช้ปิเปตต์



รูปที่ 3 แสดงการใช้บิวเรตต์

ปฏิกิริยาในการไทเทรตกรด-เบส

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง ในการไทเทรตกรด-เบสต่างๆ ได้แก่

1.ปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสแก่

2.ปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน

3.ปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่

สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสอ่อนไม่นิยมนำมาใช้ในการไทเทรตกรด -เบส เพราะที่จุดสมมูล หรือจุดที่กรดและเบสทำปฏิกิริยาพอดีกัน สังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ไม่ชัดเจน

จุดสมมูล (Equivalence point)

ในการไทเทรตกรด-เบส ***จุดที่กรดและเบสทำปฏิกิริยากันพอดี*** หรือ**จุดที่** H_3O^+ ***ไอออน***หรือ H^+ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ OH^- ***ไอออน ด้วยจำนวนโมลที่เท่ากัน*** เรียกว่า ***จุดสมมูล***

ถ้าใช้พีเอชมิเตอร์ วัดหาค่า pH ณ จุดสมมูลจะพบว่า จุดสมมูลของปฏิกิริยาระหว่างกรด - เบส แต่ละปฏิกิริยาหรือแต่ละคู่จะมี pH ที่จุดสมมูลแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดและเบสที่เข้าทำปฏิกิริยากัน แต่สามารถระบุอย่างคร่าวๆ ได้ ดังนี้

- การไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ pH ของสารละลาย ณ จุดสมมูลประมาณ 7

- การไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่ pH ของสารละลาย ณ จุดสมมูลจะมากกว่า 7

- การไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน pH ของสารละลาย ณ จุดสมมูลจะน้อยกว่า 7

จุดยุติ (End point)

การที่จะทราบว่า ปฏิกิริยาการไทเทรตถึงจุดสมมูลหรือยังนั้น จะต้องมีวิธีการที่จะหาจุด สมมูล วิธีการหนึ่งคือ การใช้อินดิเคเตอร์ โดยอินดิเคเตอร์จะต้องเปลี่ยนสีที่จุดที่พอดีหรือใกล้เคียงกับจุดสมมูล นั่นคือ ***จุดที่อินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี*** จะเรียกว่า ***จุดยุติ*** ดังนั้นจึงต้องเลือกอินดิเคเตอร์ให้เหมาะสมที่จะให้เห็นการเปลี่ยนสีที่จุดสมมูลพอดี ถ้าเลือกใช้อินดิเคเตอร์ไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการไทเทรต (titration error) ซึ่งเกิดจากการที่มีความแตกต่างระหว่างจุดสมมูลและจุดยุติของการไทเทรต กล่าวคือ จุดสมมูลและจุดยุติ ไม่ได้อยู่ในช่วง pH เดียวกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ก่อนหรือหลังจุดสมมูล

การคำนวณเกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบส

การคำนวณเกี่ยวกับการไทเทรต จะเกี่ยวข้องกับการคำนวณต่อไปนี้

1.การคำนวณความเข้มข้นของกรดหรือเบสที่เข้าทำปฏิกิริยากันพอดี

ปริมาณของกรดหรือเบสจะคำนวณได้จากปริมาณสัมพันธ์ในสมการของปฏิกิริยาระหว่างกรดและเบส

M กรด + n เบส $\rightleftharpoons$ p เกลือ + q น้ำ

จากปฏิกิริยาอัตราส่วนระหว่างกรดและเบสเป็นดังนี้

$$\frac{\text{จำนวนโมลของกรด}}{\text{จำนวนโมลของเบส}} = \frac{m}{n}$$

หรือ

$$M_aV_a = \frac{m}{n}(M_bV_b)$$

เมื่อ

M_a , M_b คือ ความเข้มข้นเป็น **โมล/ลิตร** ของกรดและเบส ตามลำดับ

V_a , V_b คือ ปริมาตรเป็น **ลิตร** ของสารละลายกรดและเบส ตามลำดับ

m , n คือ จำนวนโมลของกรดและเบส ตามลำดับ

<u>ตัวอย่าง</u> สารละลาย H_2SO_4 ตัวอย่างจำนวน 20 cm^3 นำมาไทเทรตกับสารละลาย NaOH ปรากฏว่าต้องใช้สารละลาย NaOH 0.1 M (mol/L) จำนวน 30 cm^3 จงหาความเข้มข้นของสารละลาย H_2SO_4 ตัวอย่างนี้ (H = 1, S = 32, O = 16, Na = 23)

วิธีทำ $2NaOH\ (aq) + H_2SO_4\ (aq) \longrightarrow Na_2SO_4\ (aq) + 2H_2O\ (l)$

NaOH 0.1 โมล/ลิตร จำนวน 30 cm^3 หมายความว่า

สารละลาย 1000 cm^3 จะมีเนื้อ NaOH = 0.1 mol

สารละลาย 30 cm^3 จะมีเนื้อ NaOH = $\frac{0.1x30}{1000}$ mol

= 0.003 mol

จากสมการ NaOH 2 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H_2SO_4 = 1 mol

NaOH 0.003 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H_2SO_4 = $\frac{0.003x1}{2}$ mol

= 0.0015 mol

ดังนั้น สารละลาย 20 cm^3 จะมีเนื้อ H_2SO_4 = 0.0015 mol

สารละลาย 1000 cm^3 จะมีเนื้อ H_2SO_4 = $\frac{0.0015x1000}{20}$ mol

= 0.075 mol/L

หรือจะคำนวณโดยการใช้สูตร ดังนี้

$$M_aV_a = \frac{m}{n}(M_bV_b)$$

$$M_{H_2SO_4} \times \frac{20}{1000} = \frac{1}{2}(0.1 \times \frac{30}{1000})$$

$$M_{H_2SO_4} = \frac{1}{2} \times 0.1 \times \frac{30}{20} = 0.075 \text{ mol/L}$$

อินดิเคเตอร์กับการไทเทรตกรด-เบส

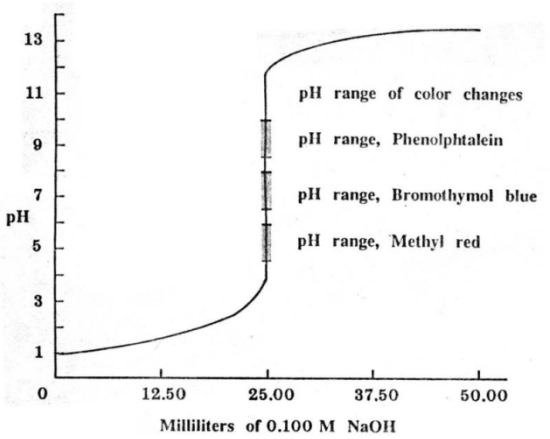
อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการไทเทรตจะต้องมีค่า pH ที่จุดกึ่งกลางช่วงการเปลี่ยนสีใกล้เคียงหรือเท่ากับ pH ที่จุดสมมูลของปฏิกิริยา นอกจากนี้การเลือกใช้อินดิเคเตอร์กรด - เบส ต้องพิจารณาสีที่ปรากฏจะต้องมีความเข้มมากพอที่จะมองเห็นได้ง่าย หรือเห็นการเปลี่ยนสีได้ชัดเจน ช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ จะเกิดขึ้นในช่วง 2 หน่วย pH

ตัวอย่างเช่น การไทเทรตกรดแก่กับเบสแก่ pH ของสารละลายผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยา การไทเทรต เมื่อถึงจุดสมมูลมีค่าใกล้เคียง 7 ก็ควรเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีใกล้เคียงกับ 7 เช่น อาจใช้โบรโมไทมอลบลูหรือฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพู ในช่วง pH 8.20-10.00 เป็นต้น ดังนั้น ถ้าทราบ pH ของสารละลายที่จุดสมมูลของปฏิกิริยาการไทเทรตก็สามารถเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมได้

การเลือกอินดิเคเตอร์ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยาระหว่างกรดกับเบส เพราะที่จุดสมมูลของแต่ละปฏิกิริยานั้นมีค่า pH ที่ต่างกัน

กราฟของการไทเทรตจะช่วยในการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมได้ดี เพราะกราฟจะแสดงค่า pH ของสารละลายขณะไทเทรต ตั้งแต่ก่อนจุดสมมูล ที่จุดสมมูล และหลังจุดสมมูล จุดที่ pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงมาก ซึ่งเป็นจุดสมมูลนั้น จะบอกช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ที่จะเลือกใช้ ในการพิจารณาเลือกอินดิเคเตอร์ จากกราฟของการไทเทรตจะแบ่งออกตามชนิดของปฏิกิริยาดังนี้

อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสแก่

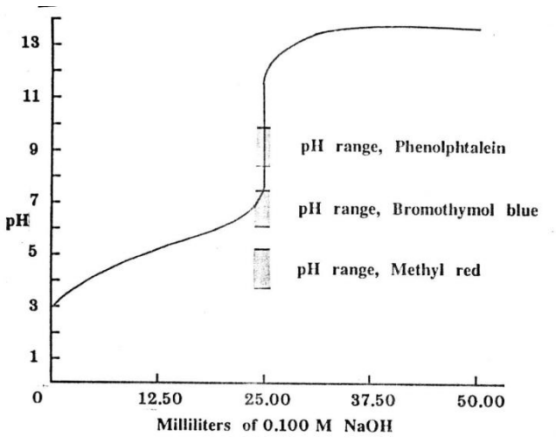


รูปที่ 4 กราฟของการไทเทรตระหว่างกรดแก่และเบสแก่จะแสดง pH ที่จุดสมมูลอยู่ที่ pH ใกล้เคียง 7

จากกราฟ จะเห็นว่าค่า pH เปลี่ยนแปลงรวดเร็วที่จุดใกล้ๆ จุดยุติ (ตั้งแต่ pH 4-10) ดังนั้น อินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนแปลงสีระหว่าง 4 ถึง 10 ก็สามารถนามาใช้ได้ ซึ่งอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมที่อาจใช้ได้ ได้แก่ เมทิลเรด (4.4-6.2) โบรโมไทมอลบลู (6.0-7.5) และฟีนอล์ฟทาลีน (8.2-10.0) ดังแสดงในภาพ แต่เรามักจะนิยมใช้ฟีนอล์ฟทาลีน เพราะสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้ชัดเจน สำหรับโบรโมคลีซอล กรีน (3.8-5.4) ไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับกรดแก่ และเบสแก่ เพราะช่วงเปลี่ยนสีที่เป็นรูปเบสของอินดิเคเตอร์ จะเกิดก่อนจุดสมมูล ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการบอกจุดยุติ

อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่

การเลือกอินดิเคเตอร์สำหรับ การไทเทรตกรดอ่อน เช่น CH_3COOH กับเบสแก่ เช่น NaOH จะมีข้อจำกัดมากกว่าที่จุดสมมูลของการไทเทรต สารละลายจะมีโซเดียมแอซิเตตทำให้สารละลายเป็นเบส มี pH มากกว่า 7

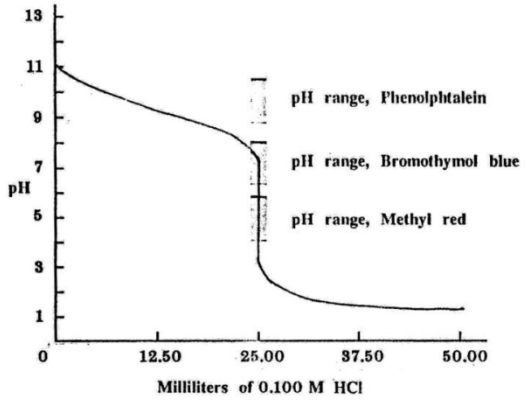


รูปที่ 5 กราฟแสดงการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่และอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมทิลเรดจะเปลี่ยนสีก่อนจุดสมมูลจึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นอินดิเคเตอร์สำหรับกรดแอซิติกกับ NaOH (เข้มข้น 0.100 M) ฟีนอล์ฟทาลีนเปลี่ยนสีที่ ช่วงจุดสมมูลพอดี โบรโมไทมอลบลูอาจจะใช้เป็นอินดิเคเตอร์ได้ดี เมื่อใช้สีมาตรฐานเทียบ

อินดิเคเตอร์สำหรับปฏิกิริยาระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน

การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายขณะไทเทรตเบสอ่อน เช่น NH_3 กับกรดแก่ เช่น HCl จะค่อยๆ ลดลง เมื่อใช้ HCl เป็นสารมาตรฐานที่จุดยุติจะได้เกลือ NH_4Cl และ pH < 7 ในการไทเทรต 0.100 M NH_3 กับ 0.100 M HCl จะได้กราฟของการไทเทรต (ดังภาพ)



รูปที่ 6 กราฟของการไทเทรตระหว่าง 0.1000 M NH_3 กับ 0.1000 M HCl

จากกราฟ เราสามารถพิจารณาช่วง pH 3-7.5 ในการเลือกอินดิเคเตอร์ ซึ่งเราอาจใช้โบรโมไทมอลบลูหรือเมทิลเรดได้ แต่ไม่ควรใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเพราะช่วง pH ของ ฟีนอล์ฟทาลีนมากกว่า 7 ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการบอกจุดสมมูล

การประยุกต์การไทเทรตกรด-เบสเพื่อหาปริมาณสารในชีวิตประจำวัน

การไทเทรตกรด-เบส ใช้ประยุกต์หาปริมาณสารที่เป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และสารชีวโมเลกุลได้ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ได้แก่ การหาปริมาณกรดอ่อนในน้ำส้ม น้ำมะนาว และในไวน์ การหาปริมาณเบส $Mg(OH)_2$, MgO ในยาลดกรด หรือการหาปริมาณโปรตีนในอาหาร

1. การหาปริมาณกรดแอซิติกในน้ำส้มสายชูทำได้โดยการปิเปตต์น้ำส้มสายชูเจือจาง ด้วยน้ำกลั่นประมาณ 5 เท่า แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH เข้มข้น 0.1000 M โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีชมพูแล้ว คำนวณหาร้อยละของกรดแอซิติก (CH_3COOH) โดยมวลต่อปริมาตร

2. การหาปริมาตรกรดอ่อนในมะนาวและในไวน์ก็ทำได้โดยวิธีเดียวกับการหาปริมาณกรดแอซิติกในน้ำส้มสายชู

3. การหาปริมาณ $Mg(OH)_2$ ก็ทำได้โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโดยตรง เช่น ไทเทรตกับกรด HCl สำหรับการหาปริมาณ MgO จะต้องเปลี่ยนให้เป็น $Mg(OH)_2$ โดยการใช้เบส แล้วค่อยไทเทรตกับสารละลายกรดมาตรฐาน

4. การหาปริมาณโปรตีนในอาหาร ต้องใช้วิธีทางอ้อมในการวิเคราะห์ โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในเอมีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนในโปรตีน การหาปริมาณไนโตรเจนนี้ ทำได้โดยการเปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปของ NH_3 แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน

การหาปริมาณสารลดกรดในยาลดกรดบางชนิด

การหาปริมาณสารลดกรดในยาลดกรดบางชนิด ทำได้โดยการนำยาลดกรดมาบด ให้ละเอียด แล้วชั่งประมาณ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 20 cm^3 ในบีกเกอร์ขนาด 100 cm^3 เติมกรด HCl เข้มข้น 1.0 mol/dm^3 ครั้งละ 1 cm^3 เขย่าจนไม่มีฟองก๊าซเกิดขึ้น เติม HCl ลงไป อีก 1 cm^3 เขย่า บันทึกปริมาตร HCl ที่ใช้ทั้งหมด จากนั้นอุ่นสารละลายให้ร้อน 1 นาที กรองแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย ของเหลวที่กรองได้ใส่ขวดเชิงปริมาตรขนาด 100 cm^3 ปรับด้วย น้ำกลั่น จนมีปริมาตร 100 cm^3 ปิเปตต์สารละลายที่กรองได้ 10 cm^3 แล้วไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH 0.1 โมล/ลิตร ใช้เมทิลออเรนจ์เป็นอินดิเคเตอร์ บันทึกปริมาตร NaOH แล้วคำนวณปริมาณร้อยละของ $CaCO_3$ ในยาลดกรด โดยมวล