บทที่ 1
บทนำ

1.1 ข้อควรปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ

การเรียนวิชาเคมีนอกจากจะเรียนภาคทฤษฎีแล้วจะต้องเรียนภาคปฏิบัติควบคู่กันไป วัตถุประสงค์ของการเรียนภาคปฏิบัติก็เพื่อให้นักศึกษาได้สัมผัสกับสารประกอบและปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ ที่เรียนกันในห้องเรียน ตลอดจนได้เรียนรู้เทคนิคการทำปฏิบัติการและการใช้เครื่องมือชนิดต่าง ๆ

ในการเรียนภาคปฏิบัติ นักศึกษาควรปฏิบัติตามข้อแนะนำต่อไปนี้อย่างเคร่งครัด เพื่อให้การทดลองได้ผลดีหรือมีความผิดพลาดน้อยที่สุด และเพื่อความปลอดภัยแก่ตัวนักศึกษาเองและผู้อื่น

1. นักศึกษาจะต้องแต่งกายสุภาพ ห้ามสวมรองเท้าแตะเข้าห้องปฏิบัติการเคมี

2. นักศึกษาควรสวมเสื้อคลุมปฏิบัติการสีขาว พร้อมกับปักชื่อและรหัสที่อกเสื้อให้ชัดเจนทุกครั้งที่เข้าทำปฏิบัติการ

3. ห้ามสูบบุหรี่ในห้องปฏิบัติการ เพราะการสูบบุหรี่อาจทำให้สารที่ติดไฟได้ง่ายติดไฟได้

4. ห้ามนำอาหารหรือเครื่องดื่มมารับประทานในห้องปฏิบัติการ เพราะสารเคมีอาจปะปนกับอาหารที่รับประทานเข้าไป

5. ในการเข้าทำปฏิบัติการ นักศึกษาจะต้องไม่ทำการทดลองใด ๆ ที่นอกเหนือไปจากการทดลองที่อาจารย์กำหนดให้ทำ และห้ามทำปฏิบัติการในเวลาอื่นที่ไม่ใช่เวลาปฏิบัติการของกระบวนวิชานี้

6. นักศึกษาจะต้องจดจำ และปฏิบัติตามคำเตือน และข้อระมัดระวังเกี่ยวกับอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับการทดลองต่าง ๆ ให้ได้

7. นักศึกษาจะต้องเข้าห้องปฏิบัติการตรงตามเวลา การมาสายเกินครึ่งชั่วโมงหลังจากเริ่มเวลาทดลองจะถือว่าขาดสำหรับการทดลองนั้น

8. ถ้าเวลาทำการทดลองมีไม่ถึงร้อยละ 80 ของเวลาทั้งหมด นักศึกษาจะไม่มีสิทธิเข้าสอบ

ข้อเขียนปฏิบัติการ

9. นักศึกษาต้องอ่านคู่มือปฏิบัติการทดลองก่อนที่จะเข้าทำปฏิบัติการทุกครั้ง และพยายามทำความเข้าใจถึงขั้นตอนการทดลองให้แจ่มแจ้ง นอกจากนี้นักศึกษาควรทำแผนงานเพียงสั้น ๆ ระบุเครื่องมือและสารเคมีที่จะใช้ในการทดลอง รวมทั้งสรุปขั้นตอนการดำเนินการทดลองนั้น ๆ เพราะจะช่วยประหยัดเวลาในการทดลองและนักศึกษาจะทำการทดลองด้วยความเข้าใจ

10. นักศึกษาจะต้องมีสมุด 1 เล่มสำหรับเขียนแผนงาน และบันทึกผลการทดลองที่เกิดขึ้น

11. ห้ามเทกรดหรือด่างเข้มข้นลงในอ่างน้ำ แต่ควรทำให้เป็นกลางหรือทำให้เจือจางเสียก่อน สำหรับสารอินทรีย์ให้เทลงในภาชนะที่จัดไว้ให้

12. ห้ามทิ้งเศษแก้วและของแข็งต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการ เช่น ไม้ขีดไฟ กระดาษกรองที่ใช้แล้ว เป็นต้น ลงในอ่างน้ำ ควรทิ้งในถังขยะหรือภาชนะที่จัดไว้ให้

13. หากนักศึกษาเกิดอุบัติเหตุขณะทำการทดลอง ต้องรายงานอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นต่ออาจารย์ผู้ควบคุม

14. ห้ามเคลื่อนย้ายสารเคมีทุกชนิด ถ้ามีหลอดหยดห้ามสับเปลี่ยนกันอย่างเด็ดขาด

15. นักศึกษาจะต้องชั่งหรือตวงสารเท่ากับจำนวนที่ต้องการจะใช้ในการทดลองเท่านั้น อย่าเทหรือตักสารออกมามากเกินไปเพราะจะทำให้สิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์ ในกรณีที่มีสารเหลือใช้ อย่าเทกลับลงในขวดเดิม ให้เทลงในภาชนะที่จัดไว้ให้

16. ควรใช้น้ำกลั่นในการทำการทดลองทุกครั้ง แต่อย่าใช้น้ำกลั่นฟุ่มเฟือยเกินความจำเป็น เช่น ใช้ล้างเครื่องแก้ว เป็นต้น

17. ในขณะทำปฏิบัติการ นักศึกษาควรสวมแว่นนิรภัย (safty glasses) เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นกับตา และไม่ควรสวม contact lens

18. เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ต้องทำความสะอาดโต๊ะปฏิบัติการ พร้อมทั้งตรวจสอบปิดน้ำและแก๊สก่อนออกจากห้องปฏิบัติการ

1.2 ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการเคมีเป็นสถานที่ที่อันตราย เพราะอุบัติเหตุจะเกิดขึ้นได้ง่ายจากไฟ สารเคมีและเครื่องแก้วที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ นักศึกษาจึงควรรู้ถึงวิธีป้องกันตัวเองจากอันตราย และรู้จักแก้ไขเมื่อมีอุบัติเหตุเกิดขึ้น

ข้อควรระวังเกี่ยวกับการใช้ไฟ มีดังนี้

1. ควรหลีกเลี่ยงการใช้เปลวไฟในห้องปฏิบัติการ

2. ถ้าต้องการใช้เปลวไฟในการทดลอง มีข้อควรระวังเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

2.1 ไม่ให้ความร้อนแก่ของเหลวไวไฟในภาชนะเปิด ควรใช้เครื่องควบแน่นต่อเข้ากับภาชนะ เพื่อป้องกันไม่ให้ไอของของเหลวไปสัมผัสกับเปลวไฟ ในการทดลองที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ไวไฟ เช่น ไดเอทิลอีเทอร์ คาร์บอนไดซัลไฟด์ เพนเทน เฮกเซน เบนซีน โทลูอีน เมทานอล เอทานอล อะซีโตน เอทิลแอซีเตต เป็นต้น ควรใช้เครื่องอังไอน้ำ (steam bath) หรือเครื่องอังที่ใช้ไฟฟ้า

2.2 ในการกลั่นหรือรีฟลักซ์ (reflux) ของเหลวไวไฟ ต้องให้ข้อต่อต่าง ๆ สวมกันแน่นเพื่อป้องกันการรั่วไหลของไอของของเหลว

2.3 ไม่เทของเหลวไวไฟออกจากภาชนะที่บรรจุในระยะที่ใกล้เปลวไฟมาก ๆ

2.4 ในการกลั่นของเหลวไวไฟ ไม่ควรให้ของเหลวที่ถูกกลั่นออกมาหยดลงสู่ขวดรองรับซึ่งอยู่ห่างจากเครื่องควบแน่นมาก ๆ เพราะจะทำให้ไอของของเหลวที่ถูกกลั่นออกมาสัมผัสกับเปลวไฟที่อยู่ใกล้ได้ จึงควรใช้ receiving adapter ต่อระหว่างเครื่องควบแน่นกับขวดรองรับเมื่อทำการกลั่นทุกครั้ง

3. ไม่ควรให้ความร้อนแก่ระบบปิด แม้จะมีเครื่องควบแน่นอยู่ด้วยก็ตาม เพราะความดันไอที่เพิ่มขึ้นขณะให้ความร้อน จะทำให้ระเบิดได้

4. เมื่อทำการทดลองเกี่ยวกับปฏิกิริยาที่มีความร้อนเกิดขึ้น ควรแช่ภาชนะที่ใช้ทำปฏิกิริยาในน้ำเย็นหรือในน้ำแข็งปนน้ำ

5. ไม่ควรให้ความร้อนแก่เครื่องแก้วที่มีรอยร้าว

6. ถ้าใช้ตะเกียงบุนเสนเป็นตัวให้ความร้อนในการทดลอง ควรมี wire gauze วางอยู่ระหว่างตะเกียงกับขวดใส่สาร

ข้อควรระวังเกี่ยวกับการใช้สารเคมี มีดังนี้

1. ถ้าสารเคมีถูกผิวหนังควรล้างด้วยสบู่ แล้วล้างตามด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ ไม่ควรใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน หรือแอลกอฮอล์ล้างสารเคมีออกจากผิวหนัง เพราะจะทำให้อัตราการดูดซึมของสารเคมีบนผิวหนังเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ไม่ควรให้สารเคมีถูกผิวหนังบริเวณที่เป็นแผล และควรล้างมือให้สะอาดหลังทำการทดลองทุกครั้ง

2. ไม่ชิมสารเคมีใด ๆ

3. ควรหลีกเลี่ยงการสูดเอาควันหรือไอของสารเคมีเข้าไป ในกรณีที่ทำการทดลองกับสารเคมีที่ระเหยได้ง่ายในภาชนะเปิด ควรทำในตู้ควัน ถ้าต้องการดมกลิ่นสาร ควรถือสารให้ห่างจากจมูกประมาณ 6 นิ้ว แล้วใช้มือโบกไอของสารเข้าหาจมูก

4. ให้ทำความสะอาดบริเวณที่สารหกทันที เพราะถ้าทิ้งไว้นานอาจทำความสะอาดได้ยากขึ้น และอาจทำลายบริเวณนั้น ๆ

5. ไม่เทสารเคมีเหลือใช้กลับลงในขวดใส่สารใบเดิม

ข้อควรระวังในการใช้เครื่องแก้ว มีดังนี้

1. การสอดหลอดแก้วหรือเทอร์โมมิเตอร์เข้าไปในจุกยางหรือจุกคอร์ก ควรใช้น้ำหรือกลีเซอรอล 1 หยดทาหลอดแก้วหรือเทอร์โมมิเตอร์เพื่อหล่อลื่นเสียก่อน และควรจับหลอดแก้วหรือเทอร์โมมิเตอร์ส่วนที่ใกล้จุกยางหรือจุกคอร์กขณะสอด

2. การใช้เครื่องแก้วที่มี ground glass joint ทุกชนิด ควรทากรีสเพียงบาง ๆ ที่ตัวเสียบ (male joint) แล้วสวมตัวเสียบเข้ากับข้อต่อพร้อมกับหมุนตัวเสียบไปรอบ ๆ เพื่อให้ข้อต่อถูกเคลือบด้วยกรีสบาง ๆ การทากรีสจะป้องกันไม่ให้ตัวเสียบติดแน่นกับข้อต่อ ถ้าทากรีสมากเกินไปกรีสจะเจือปนในปฏิกิริยา แต่ถ้าทากรีสน้อยอาจทำให้ตัวเสียบติดแน่นกับข้อต่อจนแยกออกจากกันไม่ได้

1.3 วิธีแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นในห้องปฏิบัติการ

อุบัติเหตุอาจเกิดขึ้นได้ทุกขณะในห้องปฏิบัติการ ถ้านักศึกษาทำการทดลองด้วยความประมาทเลินเล่อ ขาดความระมัดระวัง หรือขาดความเอาใจใส่ในเรื่องที่ทำการทดลอง ทางหนึ่งที่จะช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุก็คือ นักศึกษาจะต้องอ่านข้อควรปฏิบัติในห้องปฏิบัติการ และปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด สำหรับวิธีแก้ไขเมื่อเกิดอุบัติเหตุมีดังนี้

1. **ไฟไหม้** เมื่อมีไฟไหม้เกิดขึ้น ควรแจ้งให้อาจารย์ผู้ควบคุมทราบทันที และต้องรีบปิดแก๊สพร้อมกับโยกย้ายสารที่ติดไฟง่ายออกให้ห่างที่สุดเพื่อป้องกันไม่ให้ไฟลามออกไปเป็นบริเวณกว้าง เพราะแก๊สและสารเหล่านี้จะเป็นเชื้อเพลิงที่ดี หลังจากนั้นให้ใช้เครื่องดับเพลิงฉีดตรงแหล่งกำเนิดของไฟ

ถ้าไฟไหม้เสื้อผ้าที่สวมใส่อยู่ ให้กลิ้งตัวลงกับพื้น แล้วใช้ผ้าหรือเครื่องดับเพลิงกลบไฟ ถ้าในห้องปฏิบัติการมีผ้าห่มนิรภัย (safty blanket) ควรใช้ผ้าห่มนี้ห่อตัวเพื่อกลบไฟ สิ่งสำคัญคือไม่ควรวิ่งเมื่อเสื้อผ้าติดไฟ เพราะจะทำให้ไฟลุกมากขึ้น

สำหรับแผลจากไฟไหม้ที่มีขนาดเล็ก ให้จุ่มแผลลงในน้ำแข็งสักครู่หนึ่ง หรือจะใช้น้ำแข็งประกบที่แผลก็ได้ ซึ่งจะช่วยลดความเจ็บปวดและความรุนแรงของแผล จากนั้นให้ทาบริเวณนั้นด้วยน้ำมันแก้ไฟไหม้ ในกรณีที่แผลจากไฟไหม้มีบริเวณกว้าง ควรส่งไปหาแพทย์ทันที

2. สารเคมี แผลที่เกิดจากกรดและด่างให้ล้างแผลทันทีด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ นอกจากนี้แผลที่เกิดจากกรดให้ล้างตามด้วยสารละลาย 1% โซเดียมไบคาร์บอเนตและน้ำตามลำดับ ส่วนแผลที่เกิดจากด่างให้ล้างตามด้วยสารละลาย 1% กรดแอซีติกและน้ำตามลำดับ

แผลที่เกิดจากโบรมีน ให้ล้างแผลด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ แล้วจุ่มแผลลงในสารละลาย 10% โซเดียมไทโอซัลเฟตประมาณ 2-3 ชั่วโมง จากนั้นล้างแผลด้วยน้ำอีกครั้ง

แผลที่เกิดจากโลหะโซเดียม ให้ใช้คีมคีบเอาเศษโลหะโซเดียมที่ยังเหลืออยู่ออกก่อน แล้วจึงล้างด้วยน้ำ สารละลาย 1% กรดแอซีติก และน้ำตามลำดับ

แผลที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ที่มีฤทธิ์กัดกร่อน เช่น ฟีนอล ให้ล้างด้วยน้ำเย็นทันที ซับบริเวณนั้นด้วยสำลีที่ชุ่มด้วย rectified spirit แล้วล้างตามด้วยสบู่และน้ำ

ในกรณีที่สารเคมีที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส เข้าตา ควรล้างตาให้ทั่วด้วยน้ำเย็นปริมาณมาก ๆ อย่างต่อเนื่องกันเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที แล้วรีบไปหาแพทย์ (ควรบอกแพทย์ถึงชนิดของสารเคมีที่เข้าตา)

3. แก้วบาด เมื่อเกิดอุบัติเหตุแก้วบาดให้ทำการห้ามเลือดโดยใช้นิ้วมือหรือผ้าที่สะอาดกดลงบนแผล ถ้าเลือดยังออกมากให้ยกส่วนที่เลือดออกสูงกว่าส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย แล้วห้ามเลือดโดยใช้ผ้าหรือเชือกรัดระหว่างแผลกับหัวใจ แต่ต้องคลายออกเป็นครั้งคราวจนเลือดหยุดไหล แล้วล้างแผลด้วยแอลกอฮอล์ ใส่ยาและปิดแผล สำหรับแผลใหญ่ ลึก หรือมีเศษแก้วฝังอยู่ในแผล ควรไปหาแพทย์ทันที

1.4 การทำความสะอาดเครื่องแก้ว

การทำความสะอาดเครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลองเป็นสิ่งสำคัญในการทำปฏิบัติการเคมี เพราะเครื่องแก้วที่สกปรกจะทำให้ผลการทดลองผิดพลาด หรือคลาดเคลื่อนไปจากความจริง ข้อควรปฏิบัติทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับการทำความสะอาดเครื่องแก้วมีดังนี้

1. ควรล้างเครื่องแก้วทันทีที่เลิกใช้ สารเคมีส่วนใหญ่ที่ติดตามเครื่องแก้วสามารถล้างออกได้ด้วยผงซักฟอกกับน้ำ หรือด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซีโตน หรือโทลูอีน แต่ไม่ควรใช้อะซีโตนล้างเครื่องแก้วที่มีโบรมีนเหลืออยู่ เพราะอาจทำให้เกิดโบรโมอะซีโตนซึ่งเป็นสารที่ทำให้น้ำตาไหล (lachrymator)

2. สารเคมีที่ไม่สามารถล้างออกจากเครื่องแก้วด้วยวิธีในข้อ 1 ควรล้างด้วยกรดโครมิก (ซึ่งเตรียมได้จากโซเดียมไดโครเมต หรือโพแทสเซียมไดโครเมตกับกรดซัลฟุริกเข้มข้น) หรือสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล

3. รอยเปื้อนสีน้ำตาลของแมงกานีสไดออกไซด์บนเครื่องแก้วสามารถล้างออกโดยใช้สารละลาย 30% โซเดียมไบซัลไฟต์

4. เครื่องแก้วที่มี ground glass joint ทาด้วยกรีส หลังการใช้เครื่องแก้วเหล่านี้ควรใช้ผ้าหรือกระดาษทิชชูที่ชุบอะซีโตนหรือเฮกเซนเช็ดเอากรีสออกก่อน แล้วจึงล้างด้วยผงซักฟอกกับน้ำต่อไป

1.5 การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้ว

การกำจัดสารเคมีที่ใช้แล้วอย่างไม่ถูกต้อง จะไม่เพียงแต่ทำให้เกิดอันตรายแก่คนเท่านั้น ยังทำให้เกิดมลพิษทางสภาวะแวดล้อมขึ้นด้วย โดยทั่ว ๆ ไปการกำจัดสารประกอบหรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำให้เทลงในอ่างน้ำ แล้วปล่อยน้ำตามลงไป สำหรับสารประกอบหรือตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้เททิ้งในภาชนะที่เตรียมไว้ให้เท่านั้น

สารเคมีที่ทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ เช่น กรดคลอไรด์ โลหะไฮไดรด์ หรือโลหะ-แอลคาไล ควรกำจัดโดยการทำให้สารเหล่านี้สลายตัวในตู้ควันด้วยวิธีที่เหมาะสม เช่น ให้ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เป็นต้น

กรดแก่และเบสแก่ควรทำให้เป็นกลางหรือทำให้เจือจางก่อน แล้วจึงเทลงในท่อน้ำเสีย

1.6 การบันทึกและรายงานผลการทดลอง

ในการทำการทดลองทุกครั้งจำเป็นต้องบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงในสมุดบันทึกอย่างละเอียดและเป็นระเบียบ ซึ่งเมื่ออ่านแล้วทำให้เข้าใจได้ง่ายและสามารถปฏิบัติตามเพื่อให้ได้ผลการทดลองเช่นเดิมได้

นักศึกษาทุกคนจะต้องมีสมุดบันทึกติดตัวตลอดเวลาที่ทำการทดลอง เพื่อใช้บันทึกผลที่ได้และการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลอง ไม่มีความจำเป็นที่นักศึกษาจะต้องบันทึกข้อมูลเหล่านี้ลงในเศษกระดาษก่อน แล้วจึงลอกลงในสมุดบันทึกอีกครั้งเพื่อความสวยงาม เพราะการลอกนอกจากจะทำให้เสียเวลามากขึ้นยังอาจทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองผิดพลาดได้เนื่องจากลอกลงไปผิด สำหรับสมุดบันทึกที่ใช้ควรเป็นสมุดเย็บเล่มที่มีเลขหน้าเรียงไว้ การบันทึกผลการทดลองทุกครั้งควรเขียนด้วยหมึก ในกรณีที่มีข้อมูลที่ไม่ต้องการให้ขีดออกด้วยปากกา

การบันทึกและรายงานผลการทดลองโดยทั่ว ๆ ไป ควรประกอบด้วยหัวข้อสำคัญ ๆ ดังนี้

1. ชื่อเรื่องที่ทำการทดลอง
2. วัตถุประสงค์ของการทดลอง
3. บทนำ ให้เขียนทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องที่ทำการทดลองเพียงสังเขป
4. ปฏิกิริยาหลัก (main reaction) และกลไกของปฏิกิริยา (reaction mechanism) ให้เขียนสมการเคมีแสดงการเตรียมสารประกอบที่ต้องการรวมทั้งกลไกของปฏิกิริยานั้น ๆ ถ้าเป็นไปได้
5. ตารางของรีเอเจนต์ (reagent) และผลผลิต (product)

ข้อมูลที่จะกรอกลงในตารางควรประกอบด้วยน้ำหนักโมเลกุลของรีเอเจนต์ (ไม่รวมรีเอเจนต์ที่ใช้เป็นตัวทำละลายหรือตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)) และผลผลิต น้ำหนักหรือปริมาตรของรีเอเจนต์ที่ใช้ในการทดลอง จำนวนโมลของรีเอเจนต์เหล่านี้ และอัตราส่วนของจำนวนโมลตามทฤษฎีของรีเอเจนต์ที่ใช้และผลผลิตที่ได้

6. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
7. กระบวนการทดลอง ให้บันทึกขั้นตอนของการทดลองโดยละเอียด เช่น บ่งถึงอุณหภูมิ

เวลาที่ใช้ การจัดตั้งเครื่องมือ ขั้นตอนการเติมสาร รวมทั้งการสังเกตต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนสี ปฏิกิริยาดูดหรือคายความร้อน มีแก๊สออกมาจากปฏิกิริยาหรือไม่ เป็นต้น ถ้าเป็นการทดลองที่มีผู้อื่นทำมาก่อนแล้ว จะต้องอ้างอิงถึงเสมอ

เนื่องจากขั้นตอนการแยกและการทำให้สารที่ต้องการบริสุทธิ์เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ ดังนั้นจึงควรเขียนแผนภาพแสดงขั้นตอนทั้งสองนี้อย่างชัดเจนในสมุดบันทึกด้วย

8. สมบัติทางกายภาพของผลผลิต ให้บันทึกสมบัติทางกายภาพของผลผลิตที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ จุดเดือดหรือจุดหลอมเหลว สี ลักษณะของผลึก เป็นต้น

9. ปฏิกิริยาข้างเคียง (side reaction) ให้เขียนปฏิกิริยาข้างเคียงทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้นในการทดลอง

10. การคำนวณผลได้เป็นร้อยละ (percentage yield) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

11. วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

ตัวอย่างสมุดบันทึกการทดลอง

ปฏิกิริยาคลอริเนชันของ cyclohexane

วัตถุประสงค์ เพื่อเตรียม chlorocyclohexane จากปฏิกิริยาคลอริเนชัน (chlorination) ของ cyclohexane โดยใช้ sulfuryl chloride (SO_2Cl_2)

บทนำ กล่าวถึง ทฤษฎีเกี่ยวกับปฏิกิริยาคลอริเนชันโดยทั่ว ๆ ไปของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดอิ่มตัวโดยใช้ sulfuryl chloride เพียงสั้น ๆ

ปฏิกิริยาหลักและกลไกของปฏิกิริยา

$$C_6H_{12} + SO_2Cl_2 \rightarrow C_6H_{11}Cl + HCl + SO_2$$

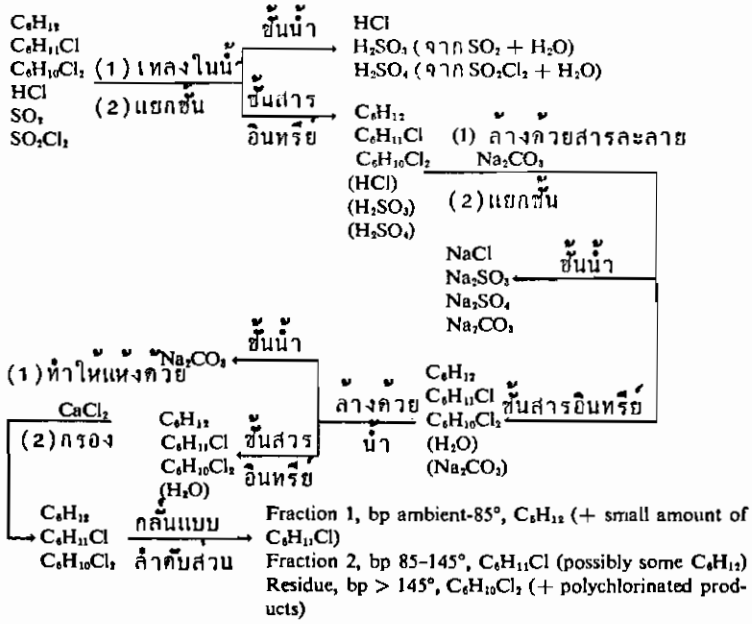
(สำหรับกลไกของปฏิกิริยานี้จะไม่ขอกล่าวในที่นี้)

ตารางรีเอเจนต์และผลผลิต

สารประกอบ	น้ำหนักโมเลกุล	น้ำหนักที่ใช้ (กรัม)	จำนวนโมลที่ใช้	อัตราส่วนของจำนวนโมล		ข้อมูลอื่น ๆ	
				ตามทฤษฎี	ที่ใช้ในการทดลอง	ความหนาแน่น	จุดเดือด (°ซ)
cyclohexane	84	33.6	0.4	1	2	0.779	81
sulfuryl chloride	135	27.0	0.2	1	1	1.669	69
chlorocyclohexane	118.5			1		1.016	142.5

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง : ขวดก้นกลมขนาด 100 มล. เครื่องควบแน่น receiving adapter ที่ใช้ในการกลั่นแบบลดความดัน และกรวยแยก

กระบวนการทดลอง จะขอกล่าวถึงเฉพาะแผนภาพแสดงขั้นตอนการแยกและการทำให้ chlorocyclohexane บริสุทธิ์เท่านั้น



สมบัติทางกายภาพของผลผลิต

chlorocyclohexane เป็นของเหลวไม่มีสี ไม่ละลายในน้ำ และเดือดที่อุณหภูมิ 138-140°ซ

ปฏิกิริยาข้างเคียง

$$C_6H_{11}Cl + SO_2Cl_2 \rightarrow C_6H_{10}Cl_2 + SO_2 + HCl$$
$$+ \text{ other polychlorinated cyclohexyl compounds.}$$

การคำนวณผลได้เป็นร้อยละ

ในการคำนวณผลได้ตามทฤษฎี (theoretical yield) ขั้นแรกจะต้องพิจารณาว่าสารใดจะเป็น limiting reagent จากสมการของปฏิกิริยาข้างต้น แสดงให้เห็นว่า 1 โมลของ cyclohexane จะทำปฏิกิริยากับ 1 โมลของ sulfuryl chloride แต่ในการทดลองนี้ใช้ 0.4 โมลของ cyclohexane เข้าทำปฏิกิริยากับ 0.2 โมลของ sulfuryl chloride ดังนั้น sulfuryl chloride จะเป็น limiting reagent เนื่องจากอัตราส่วนของจำนวนโมลของ chlorocyclohexane ต่อ sulfuryl chloride เท่ากับ 1 : 1 กล่าวคือ จำนวนโมลของ chlorocyclohexane ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับจำนวนโมลของ sulfuryl chloride ที่ใช้

$\therefore$ ผลได้ตามทฤษฎี = (จำนวนโมลของ $C_6H_{11}Cl$)(น้ำหนักโมเลกุลของ $C_6H_{11}Cl$)

= (0.2 โมล)(118.5 กรัม/โมล) = 23.7 กรัม

ถ้า chlorocyclohexane ที่ได้จากการทดลองจริงหนัก 15.0 กรัม จะคำนวณผลได้เป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\therefore \text{ ผลได้เป็นร้อยละ} = \frac{15.0 \text{ กรัม}}{23.7 \text{ กรัม}} \times 100$$

$$= 63\%$$

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง อาจกล่าวถึง

1. ข้อดีและข้อเสียของการทดลองเกี่ยวกับวิธีที่ใช้เตรียมสาร เครื่องมือที่ใช้ และอื่น ๆ พร้อมกับเสนอแนะวิธีเตรียมหรือการดัดแปลงแก้ไขเครื่องมือที่อาจทำให้ได้ผลการทดลองที่ดีขึ้น

2. วิจารณ์ผลการทดลองที่ได้โดยเปรียบเทียบกับผลที่รายงานในหนังสืออ้างอิง พร้อม

อ้างถึงสาเหตุที่อาจทำให้เกิดความผิดพลาดนั้น ๆ ขึ้นโดยอาศัยความรู้ทางทฤษฎีมาประกอบ

3. เรื่องอื่น ๆ ถ้ามี

1.7 การเปลี่ยนระหว่างน้ำหนักกับปริมาตร

ในทางปฏิบัติบ่อยครั้งที่จำเป็นต้องเปลี่ยนน้ำหนักไปเป็นปริมาตร หรือเปลี่ยนปริมาตรไปเป็นน้ำหนัก ถ้าทราบความหนาแน่นของสารนั้น ๆ การเปลี่ยนระหว่างน้ำหนักกับปริมาตรสามารถทำได้จากสูตร

น้ำหนัก (กรัม) = ปริมาตร (มล.) ที่อุณหภูมิ t°ซ × ความหนาแน่น (กรัม/มล.) ที่อุณหภูมิ t°ซ

1.8 การคำนวณผลได้เป็นร้อยละ

ผลได้เป็นร้อยละของปฏิกิริยาเคมีใด ๆ เป็นเครื่องชี้ความเหมาะสมของปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมสารนั้น ๆ รวมทั้งเทคนิคและความชำนาญของผู้ทำการทดลองด้วย โดยทั่วไปผลได้จากปฏิกิริยาเคมีจะน้อยกว่า 100% สาเหตุอาจเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง เทคนิคการแยกและการทำให้ผลผลิตบริสุทธิ์ไม่ดีพอ เป็นต้น

$$\text{ผลได้เป็นร้อยละ} = \frac{\text{ผลได้จากการทดลอง}}{\text{ผลได้ตามทฤษฎี}} \times 100$$

ในปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นหลาย ๆ ตัว ผลได้ตามทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากสารที่ใช้ในปริมาณน้อยที่สุดในปฏิกิริยาที่เรียกกันว่า limiting reagent สิ่งสำคัญที่จะต้องทราบก่อนที่จะคำนวณผลได้เป็นร้อยละคือ

1. สมการที่ดุลแล้ว
2. limiting reagent ของปฏิกิริยา

ตัวอย่าง จงคำนวณผลได้เป็นร้อยละของปฏิกิริยาระหว่างกรดแอซีติก 35.0 กรัม และเอทานอล 75.0 กรัม แล้วให้เอทิลแอซีเตต 33.6 กรัม

สมการที่ดุลแล้วคือ

CH_3COOH	+	C_2H_5OH	$\rightleftharpoons$	$CH_3CO_2C_2H_5$	+	H_2O	
1	โมล	1	โมล	1	โมล		.....ทฤษฎี
60.1	กรัม/โมล	46.1	กรัม/โมล	88.1	กรัม/โมล		.....น้ำหนักโมเลกุล
35.0	กรัม	75.0	กรัม	33.6	กรัม		.....การทดลอง
0.58	โมล	1.63	โมล	0.38	โมล		.....การทดลอง

จากข้อมูลข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าในการทดลองปริมาณกรดแอซีติกที่ใช้น้อยกว่าปริมาณเอทานอล ดังนั้นกรดแอซีติกจึงเป็น limiting reagent ในปฏิกิริยา ผลได้ตามทฤษฎีของเอทิลแอซีเตตจึงควรเท่ากับจำนวนโมลของกรดแอซีติก คือเท่ากับ 0.58 โมล แต่จากการทดลองได้เอทิลแอซีเตต 0.38 โมลเท่านั้น

$$\therefore \text{ ผลได้เป็นร้อยละของเอทิลแอซีเตต} = \frac{0.38 \text{ โมล}}{0.58 \text{ โมล}} \times 100$$

$$= 65.5\%$$

หรือจะทำการคำนวณโดยเทียบเป็นน้ำหนักก็ได้ โดยคำนวณน้ำหนักตามทฤษฎีของเอทิลแอซีเตต 0.58 โมลว่าเป็นเท่าไร

$$\text{น้ำหนักตามทฤษฎีของเอทิลแอซีเตต} = 0.58 \text{ โมล} \times 88 \text{ กรัม/โมล}$$

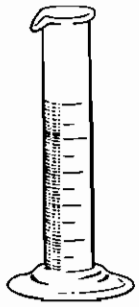
$$= 51.3 \text{ กรัม}$$

$$\therefore \text{ ผลได้เป็นร้อยละของเอทิลแอซีเตต} = \frac{33.6 \text{ กรัม}}{51.3 \text{ กรัม}} \times 100$$

$$= 65.5\%$$

1.9 เครื่องแก้วที่ใช้กันเสมอในห้องปฏิบัติการ

กรวยบุชเนอร์ กรวยเศิร์ช Claisen adapter หัวกลั่น

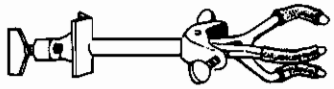


กระบอกตวง

$ Vacuum adapter

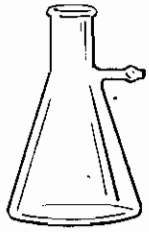
ช้อนตักสาร

Regular clamp

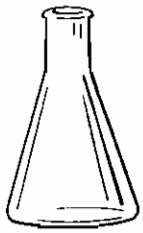


Condenser clamp

Clamp holder

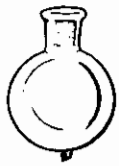


ขวดกรองดูด



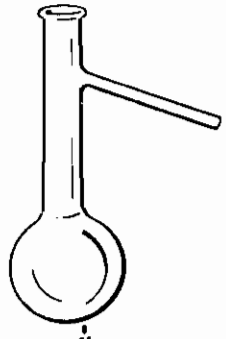
ขวดคอแคบ

กรวยแยก

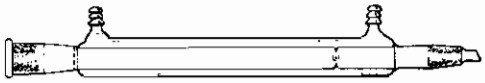


ขวดกนกลม

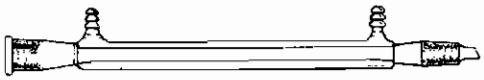
Regular adapter



ขวดกลั่น



เครื่องควบแน่นแบบ *Liebig*



เครื่องควบแน่นแบบ *West*