

### บทที่ 3 สเตอริโอเคมี

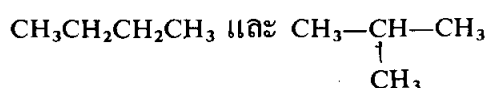
จุดประสงค์ เมื่อศึกษาบทนี้จบแล้ว นักศึกษาวงจะสามารถ

1. จำแนกชนิดของสเตอริโอไอโซเมอร์ได้
2. นำเอากฎซีเควนซ์มาใช้ในระบบการเรียกชื่อและใช้ในการแสดงคอนฟิกูเรชันได้
3. อธิบายความแตกต่างของจีโอเมตริกไอโซเมอร์และออปติคัลไอโซเมอร์ได้
4. บอกความแตกต่างของสารประกอบไครรัลและอะไครรัลได้
5. อธิบายความหมายของคำว่า อีแนนทิโอเมอร์ ไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์ สารประกอบเมโซ และสารผสมราซิมิกได้

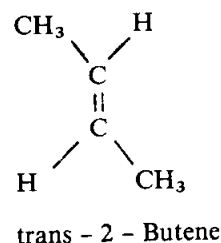
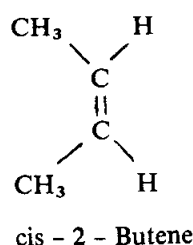
สเตอริโอเคมี (Stereochemistry) เป็นเคมีที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดอะตอมของโมเลกุลสารในที่ว่าง (space) แบบ 3 มิติ สเตอริโอเคมีสำคัญมากในการศึกษาเคมีอินทรีย์ โดยเฉพาะเกี่ยวกับกลไกของปฏิกิริยา การจัดอะตอมของโมเลกุลแบบ 3 มิติจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของสารประกอบนั้น ๆ

ไอโซเมอร์ (Isomer) หมายถึงสารประกอบที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน แต่มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกันไม่มากนัก ไอโซเมอร์แบ่งออกเป็น

1. ไอโซเมอร์ชนิดโครงสร้าง (Structural isomer) เป็นไอโซเมอร์ที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกันแต่แตกต่างกันที่สูตรโครงสร้าง หมายความว่าแตกต่างกันที่อะตอมทั้งหลายในโมเลกุลต่อกันในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น  $C_4H_{10}$  มีไอโซเมอร์ชนิดโครงสร้าง 2 ไอโซเมอร์ คือ



2. สเตอริโอไอโซเมอร์ (Stereoisomers) เป็นไอโซเมอร์ที่มีสูตรโครงสร้างเหมือนกัน อะตอมต่าง ๆ ต่อกันในลักษณะเดียวกัน แต่แตกต่างกันในวิธีการจัดตัวของอะตอมในที่ว่างแบบ 3 มิติ เช่น  $CH_3-CH=CH-CH_3$  มี 2 สเตอริโอไอโซเมอร์ดังนี้



cis - 2 - butene มีหมู่เมทิลสองหมู่อยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่  
 trans - 2 - butene มีหมู่เมทิลสองหมู่อยู่คนละข้างกันของพันธะคู่  
 สเตอริโอไอโซเมอร์แบ่งออกเป็น

1. จีโอเมตริกไอโซเมอร์ (Geometric isomers) หรือ ซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ (cis - trans isomers) ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2

2. ออปติคัลไอโซเมอร์ (Optical isomers) ได้แก่ อีแนนทิโอเมอร์ (enantiomer) ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3

นอกจากนี้จะได้กล่าวถึงคอนฟอร์เมชัน (conformations) ซึ่งหมายถึงรูปร่างของโมเลกุลที่แสดงการจัดตัวของอะตอมหรือหมู่อะตอมแบบต่างๆ ในที่ว่าง อันเนื่องมาจากการหมุนรอบ ๆ พันธะเดี่ยว (ดูหัวข้อที่ 3.7)

### 3.1 กฎซีเควนซ์ (Sequence rules)

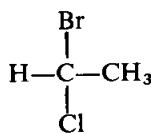
เป็นกฎที่ใช้ในการเรียงลำดับความสำคัญ (priority) ของอะตอมหรือหมู่อะตอมที่เกาะอยู่ กฎนี้มีประโยชน์ใช้ในระบบการเรียกชื่อ และใช้ในการแสดงคอนฟิกูเรชัน (con-figuration) ของสารประกอบไครัล (chiral compounds)

คำว่า คอนฟิกูเรชัน ได้อธิบายในหัวข้อที่ 3.6 และ สารประกอบไครัล ได้อธิบายในหัวข้อ 3.3

(priority บางทีก็ใช้คำว่า precedence ซึ่งมีความหมายเช่นเดียวกัน)

กฎซีเควนซ์นี้ตั้งขึ้นและปรับปรุงโดย Cahn, Ingol และ Prelog มีหลักเกณฑ์ในการเรียงลำดับความสำคัญของอะตอมหรือหมู่อะตอม ดังนี้

1. เรียงลำดับความสำคัญของอะตอมแรกที่เกาะอยู่ โดยพิจารณาจากเลขอะตอม (atomic number) อะตอมที่มีเลขอะตอมมากที่สุดเป็นอะตอมอันดับแรก หรือกล่าวได้ว่ามีลำดับความสำคัญสูงสุด (highest priority) และเรียงลดหลั่นกันตามลำดับของเลขอะตอม ตัวอย่าง

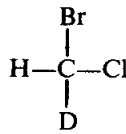


ลำดับความสำคัญสูงสุด

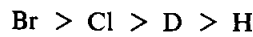
ต่ำสุด

2. ถ้ามีอะตอมที่เป็นไอโซโทปของธาตุเดียวกันเกาะอยู่เป็นอะตอมแรก ให้พิจารณาไอโซโทปคู่นั้นโดยใช้เลขมวลอะตอม (atomic mass number)

ตัวอย่าง



(D คือ deuterium  $^2\text{H}$ )



ลำดับความสำคัญสูงสุด

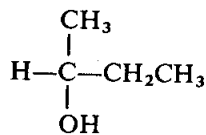
ต่ำสุด

3. กรณีที่มีอะตอมเกาะอยู่เป็นหมู่ใหญ่จำนวนหลายหมู่ให้พิจารณาเป็นขั้น ๆ ดังนี้

3.1 เรียงลำดับความสำคัญของอะตอมแรกก่อน

3.2 ถ้าอะตอมแรกเหมือนกันให้พิจารณาอะตอมที่ถัดไป หรือถ้าอะตอมที่ถัดไปเหมือนกันอีกก็ให้พิจารณาอะตอมที่ถัดต่อไปอีกตามลำดับ (ห้าม พิจารณาโดยใช้ผลรวมของเลขอะตอม)

ตัวอย่าง



จะเห็นได้ว่า  $\text{O} > \text{C}(\text{C}) > \text{C}(\text{H}) > \text{H}$

นั่นคือ  $\text{OH} > \text{CH}_2\text{CH}_3 > \text{CH}_3 > \text{H}$

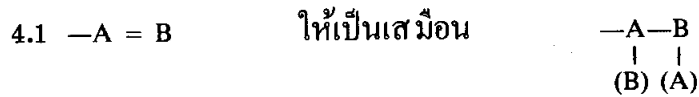
โจทย์ตัวอย่าง

จงเรียงลำดับความสำคัญของหมู่อะตอมต่อไปนี้  $-\text{CH}_2\text{OH}$ ,  $-\text{CH}_2\text{Cl}$ ,  $-\text{CH}_2\text{OCH}_3$ ,  $-\text{CH}_2\text{CH}_3$

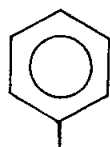
คำตอบก็คือ

$-\text{CH}_2\text{Cl} > -\text{CH}_2\text{OCH}_3 > -\text{CH}_2\text{OH} > -\text{CH}_2\text{CH}_3$

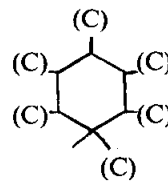
4. ถ้าหมู่อะตอมที่เกาะอยู่มีพันธะชนิดไม่อิ่มตัว เช่น พันธะคู่ พันธะสาม ให้พิจารณาดังนี้



ตัวอย่าง

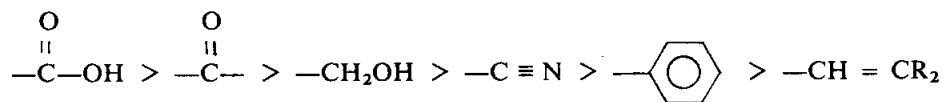


เป็นเสมือน



ตัวอย่าง

ลำดับความสำคัญ



3.2 จีโอเมตริกไอโซเมอร์ หรือ ซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ (Geometric isomers หรือ cis - trans isomers)

จีโอเมตริกไอโซเมอร์เป็นไอโซเมอร์ที่สูตรโมเลกุลเหมือนกัน สูตรโครงสร้างเหมือนกัน แต่การจัดอะตอมหรือหมู่อะตอมในที่ว่างต่างกัน (คอนฟิกูเรชันต่างกัน) จะพบในสารประกอบพวกใหญ่ ๆ 2 พวก คือ พวกอัลคีน และสารประกอบไซคลิกซึ่งมีโครงสร้างเป็นวง

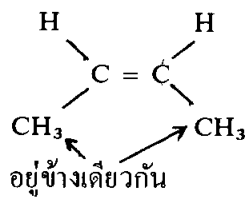
3.2.1 จีโอเมตริกไอโซเมริซึม (Geometric isomerism) ในสารประกอบพหุอัลกีน พวกอัลคีนซึ่งมีพันธะคู่ จะแสดงจีโอเมตริกไอโซเมริซึมเมื่อแต่ละคาร์บอน หรืออะตอมสองข้างของพันธะคู่มีอะตอมหรือหมู่อะตอมที่ไม่เหมือนกันเกาะอยู่

ใช้คำว่า cis- เมื่อมีหมู่อะตอมสองหมู่หรืออะตอมสองอะตอมที่เหมือนกันทุกประการ (identical) หรือที่มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่

ใช้คำว่า trans- เมื่อมีหมู่อะตอมสองหมู่หรืออะตอมสองอะตอมที่เหมือนกันทุกประการ (identical) หรือที่มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันอยู่คนละข้างกันของพันธะคู่

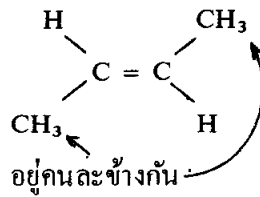
ตัวอย่าง

พวกที่มี  $C = C$



เป็น cis - isomer

เรียกชื่อว่า cis - 2 - Butene

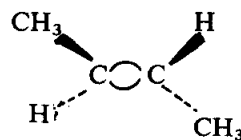
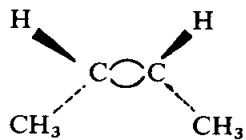


เป็น trans - isomer

เรียกชื่อว่า trans - 2 - Butene

ถ้าจะเขียนให้มอง 3 ระนาบ ดังนี้

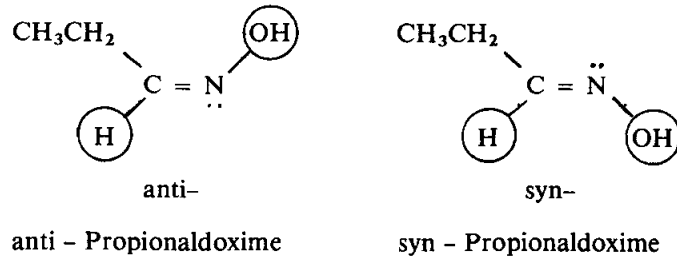
- เป็นระนาบเดียวกับกระดาษ
- ▲ เป็นระนาบเหนือกระดาษ
- เป็นระนาบหลังกระดาษ



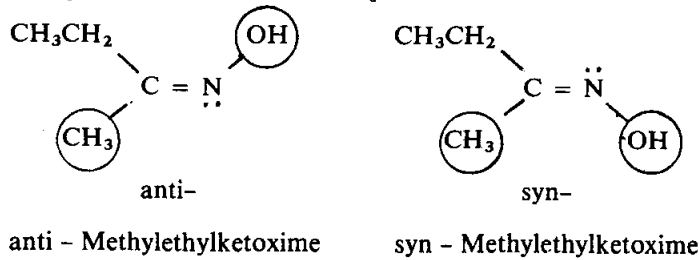
จีโอเมตริกไอโซเมอร์ หรือ ซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์เป็นไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์ (diastereoisomers หรือบางที่เรียก diastereomers เป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ที่ไม่เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน) นั่นคือ ซิสไอโซเมอร์และทรานส์ไอโซเมอร์ไม่เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน (คำว่าภาพในกระจกเงาคือ mirror image)



ของออกซิม ถ้าอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่ก็เรียกเป็น syn- ถ้าอยู่คนละข้างกันของพันธะคู่ก็เรียกเป็น anti- เช่น

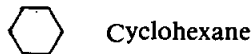


ในพวก ketoxime ให้พิจารณาจากหมู่ -OH และหมู่อัลคิล (-R) ที่ขนาดเล็กกว่าว่าอยู่ข้างเดียวกันหรืออยู่คนละข้างกันของพันธะคู่ เช่น

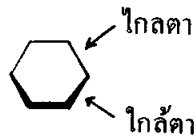


3.2.2 จีโอเมตริกไอโซเมอร์ซึ่มในสารประกอบไซคลิก (cyclic compounds) อะตอมที่ต่อกันเป็นวงในสารประกอบไซคลิก พันธะซิกมาในวงจะไม่สามารถหมุนได้อย่างอิสระ (ไม่มี free rotation)

ตัวอย่าง



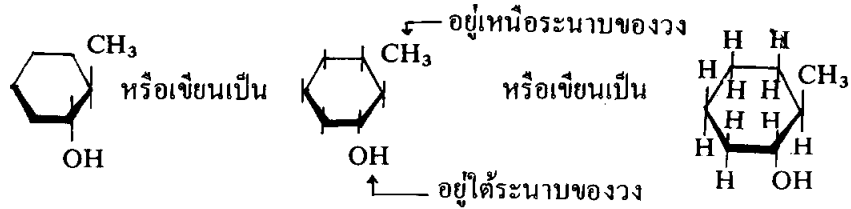
ถ้ามองผ่านวงของไซโคลเฮกเซนในแนวราบ ขอบวงที่อยู่ใกล้ตาจะเขียนเป็นเส้นหนาขอบวงที่อยู่ไกลตาจะเขียนเป็นเส้นบาง ดังนี้



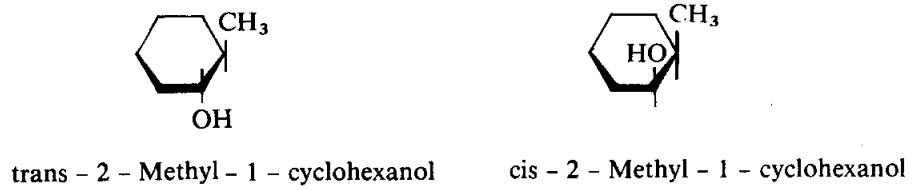
แต่ละคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวงนี้จะมีอีกสองพันธะที่ต่อกับอะตอมหรือหมู่อะตอมอื่น ซึ่งแขนพันธะทั้งสองนี้แขนหนึ่งจะอยู่เหนือระนาบของวงอีกแขนหนึ่งอยู่ใต้ระนาบของวง



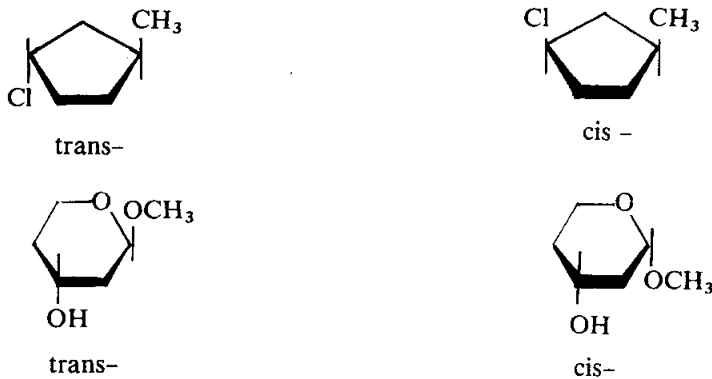
ตัวอย่าง



ถ้าหมู่ -OH และหมู่ -CH<sub>3</sub> อยู่ข้างเดียวกันของระนาบของวงก็เป็นซิสไอโซเมอร์  
ถ้าอยู่คนละข้างกันของระนาบของวงก็เป็นทรานส์ไอโซเมอร์ ดังนี้



ตัวอย่างสารประกอบไซคลิกที่มีจีโอเมตริกไอโซเมอร์



3.2.3 การเรียกชื่อจีโอเมตริกไอโซเมอร์โดยระบบ E และ Z ในการเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ที่มีจีโอเมตริกไอโซเมอร์ บางที่เรียกเป็นระบบ E และ Z

Z หรือบางที่เรียก seqcis

E หรือบางที่เรียก seqtrans

Z มาจากภาษาเยอรมันจากคำว่า “zusammen” แปลว่า together หรือด้วยกัน

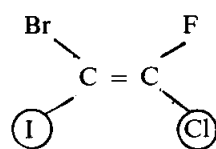
E มาจากภาษาเยอรมันจากคำว่า “entgegen” แปลว่า opposite หรือตรงข้ามกัน

การที่จะเรียกเป็น E และ Z ไอโซเมอร์นี้ วิธีการพิจารณาไม่ใช่หลักเดียวกับซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ แต่จะต้องพิจารณาความสัมพันธ์ของอะตอมหรือหมู่อะตอมโดยอาศัยกฎซีเควนซ์ การพิจารณาตามระบบ E และ Z มีกฎเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. พิจารณาลำดับความสำคัญของหมู่อะตอมหรืออะตอมทั้งสองที่เกาะอยู่ของแต่ละคาร์บอนของพันธะคู่ โดยใช้กฎซีเควนซ์

2. ถ้าหมู่อะตอมหรืออะตอมที่มีความสำคัญสูงสุดของแต่ละคาร์บอนนั้นอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่ ให้เรียกเป็น Z หรือ seqcis แต่ถ้าอยู่คนละข้างกันของพันธะคู่ก็เรียกเป็น E หรือ seqtrans

ตัวอย่าง

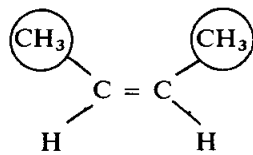


ลำดับความสำคัญ  $Cl > F$

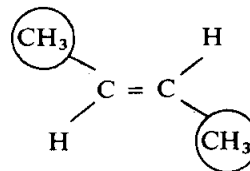
ลำดับความสำคัญ  $I > Br$

Cl และ I ซึ่งต่างก็มีความสำคัญสูงสุดของแต่ละคาร์บอนของพันธะคู่ อยู่ข้างเดียวกันของพันธะนั้นจึงเป็น Z ไอโซเมอร์

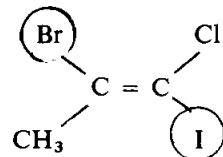
ตัวอย่างการเรียกชื่อตามระบบ E และ Z



Z - 2 - Butene



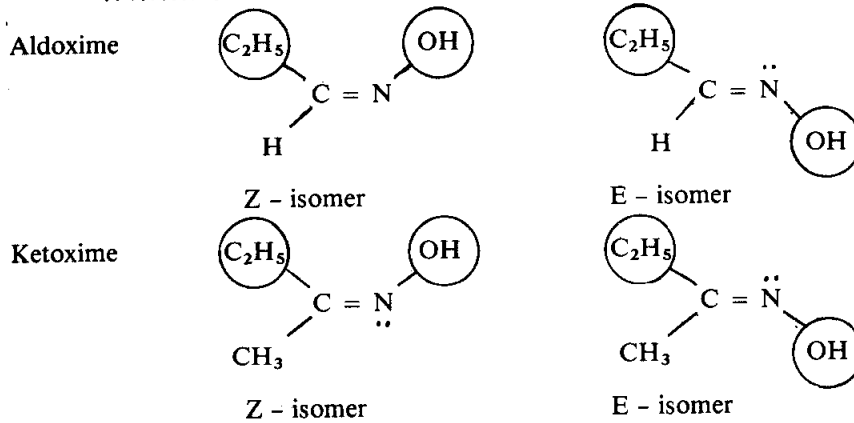
E - 2 - Butene



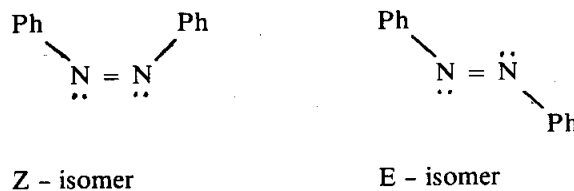
E - 2 - Bromo - 1 - chloro - 1 - iodopropene


นอกจากตัวอย่างข้างต้นของ E และ Z ไอโซเมอร์ของสารประกอบที่มีพันธะคู่  $C = C$  แล้วยังมีของสารประกอบอินทรีย์พวกที่มีพันธะคู่  $C = N$ ,  $N = N$  และสารประกอบพวกที่มีโครงสร้างเป็นวง (ring compound) ดังนี้

พวกที่มี C = N ได้แก่ aldoxime และ ketoxime



พวกที่มี N = N ได้แก่ สารประกอบพวกอะโซ (azo compound)



Ph- คือ C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>- หรือ  เรียกว่าหมู่ฟีนิล (phenyl)

พวกสารประกอบที่มีโครงร่างเป็นวง เช่น cyclohexane - 1, 4 - dicarboxylic acid

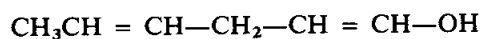


3.2.4 จำนวนของจีโอเมตริกไอโซเมอร์ ในกรณีที่มีอัลคีนมีจำนวนพันธะคู่มากขึ้น และพันธะคู่ไม่ได้ยู่ติด ๆ กัน ก็จะมีจำนวนจีโอเมตริกไอโซเมอร์เพิ่มขึ้น

จำนวนของจีโอเมตริกไอโซเมอร์ = 2<sup>n</sup>

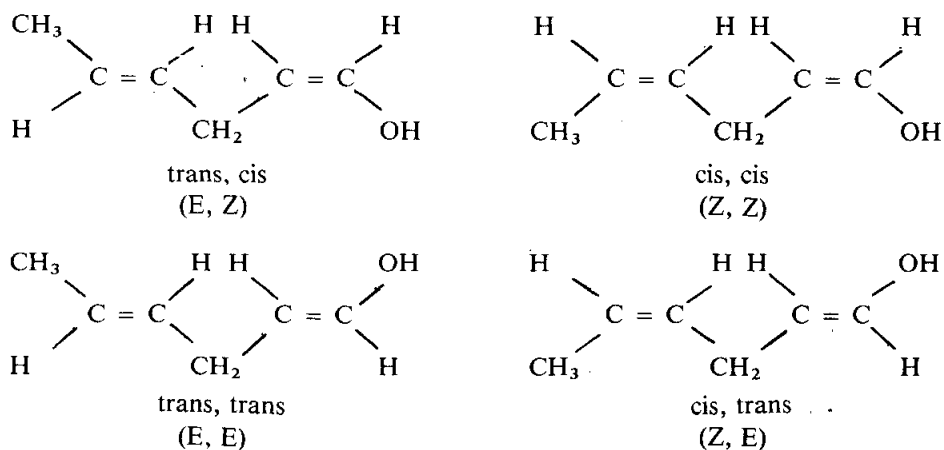
เมื่อ n คือ จำนวนพันธะคู่ซึ่งที่คาร์บอนของพันธะนั้น ๆ มีอะตอมหรือหมู่อะตอมที่ไม่เหมือนกันเกาะอยู่

ตัวอย่าง



มีพันธะคู่สองพันธะซึ่งคาร์บอนของพันธะคู่นั้นมีอะตอมหรือหมู่อะตอมที่เกาะอยู่

ต่างกัน ดังนั้นจำนวนของจีโอเมตริกไอโซเมอร์ =  $2^n = 2^2 = 4$  ไอโซเมอร์ เขียนได้ดังนี้



**3.2.5 คุณสมบัติของจีโอเมตริกไอโซเมอร์** เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของซิสและทรานส์ไอโซเมอร์ จะเห็นได้ว่ามีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น ซิสและทรานส์ไอโซเมอร์ของสารเดียวกันจะมีจุดหลอมเหลวต่างกัน จุดเดือดต่างกัน ค่าไดโพลโมเมนต์ต่างกัน และการละลายต่างกัน ฯลฯ

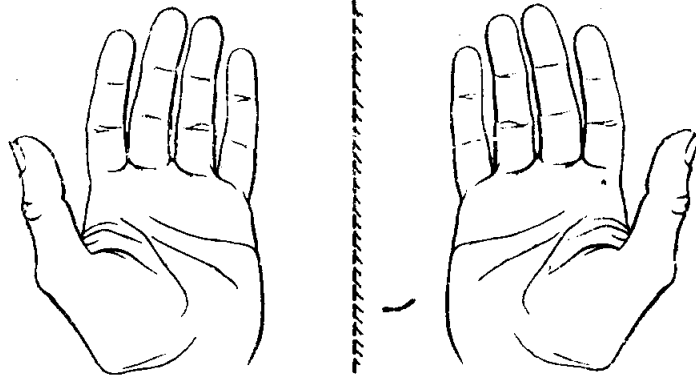
คุณสมบัติทางเคมีของซิสและทรานส์ไอโซเมอร์ของสารเดียวกันจะมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายกัน (similar) แต่ไม่เหมือนกันทุกประการ (ไม่ identical) ไอโซเมอร์ที่ทำปฏิกิริยาเคมีคล้ายคลึงกันมักจะแตกต่างกันที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลผลิตจากปฏิกิริยาของซิสและทรานส์ไอโซเมอร์มักจะแตกต่างกันใน สเตอริโอเคมี

### 3.3 ออปติคัลไอโซเมอร์ (Optical isomers)

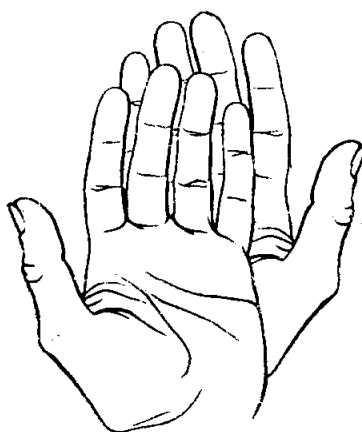
ในการที่จะศึกษาเกี่ยวกับออปติคัลไอโซเมอร์นี้จะต้องเข้าใจความหมายของสิ่งที่จะต้องเข้ามาเกี่ยวข้องหลายอย่างด้วยกัน

**ไครัล (Chiral)** ไครัลมาจากคำภาษากรีก “cheir” ซึ่งตรงกับภาษาอังกฤษว่า “handedness”

สิ่งที่เป็นไครัล หมายถึงสิ่งที่ไม่สามารถวางทับภาพในกระจกเงาของสิ่งนั้นได้สนิท เช่น มือ, รองเท้า ดังรูปที่ 3.1



ภาพในกระจกเงาของมือซ้ายคือมือขวา



มือซ้ายและมือขวาทับกันไม่สนิท

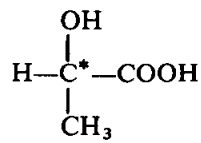
รูปที่ 3.1 แสดงภาพในกระจกเงา และการที่ไม่สามารถวางทับกันสนิทกับภาพในกระจกเงา

สารประกอบไครัล (Chiral compounds) สารประกอบไครัล หมายถึงสารประกอบที่ไม่สามารถวางทับภาพในกระจกเงาของสารประกอบนั้นได้สนิท การที่มีคุณสมบัติไครัลลิตี (chirality) ก็เนื่องจากไม่มีระนาบสมมาตร (ไม่มี plane of symmetry)

โมเลกุลที่มีระนาบสมมาตรจะสามารถวางทับภาพในกระจกเงาได้สนิทเรียกว่า เป็นอะไครัล (achiral)

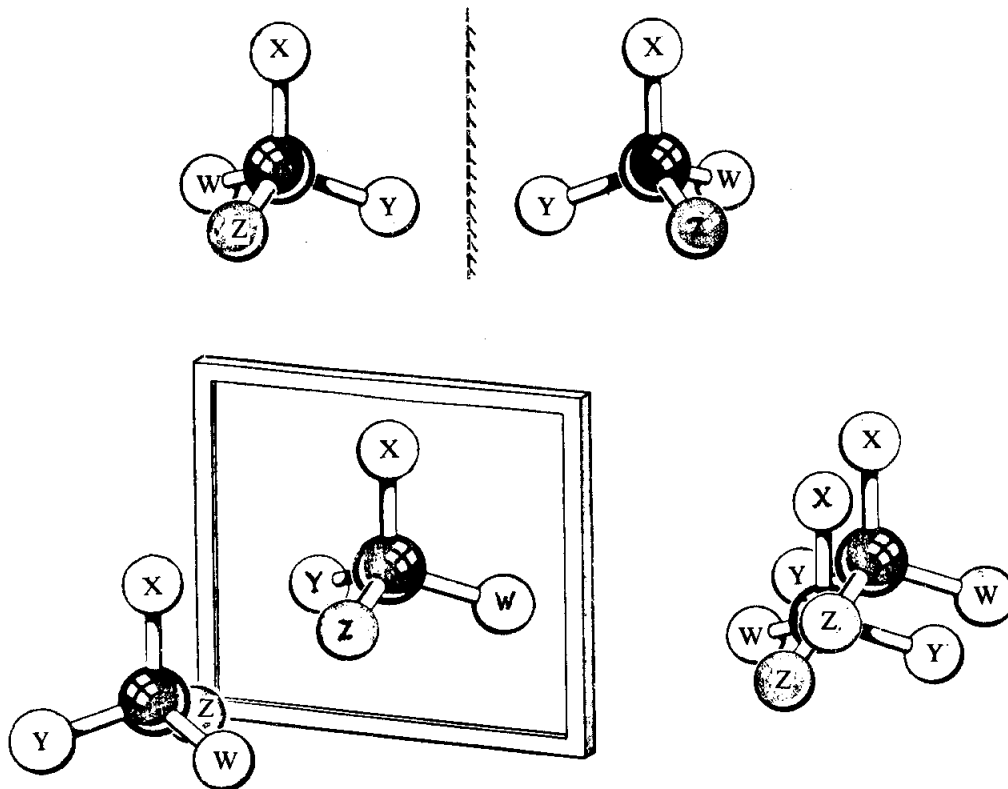
ไครัลเซ็นเตอร์ (Chiral center) ไครัลเซ็นเตอร์ หมายถึงคาร์บอนอะตอมที่มีอะตอมหรือหมู่อะตอมที่แตกต่างกันทั้งสี่มาเกาะอยู่

ตัวอย่าง



C\* มี H, OH, COOH, CH<sub>3</sub> ซึ่งเป็นอะตอม และหมู่อะตอมที่ไม่เหมือนกันเลยมาเกาะอยู่ ดังนั้น C\* จึงเป็นไครัลเซ็นเตอร์หรือไครัลคาร์บอนอะตอม

โมเลกุลของสารประกอบไครัล อาจจะมีหนึ่งไครัลเซ็นเตอร์หรือมากกว่าหนึ่งก็ได้ ตัวอย่างแบบจำลองของโมเลกุลที่มีไครัลเซ็นเตอร์ ซึ่งไม่สามารถวางทับภาพในกระจกเงาของโมเลกุลนั้นได้สนิท ดูจากรูปที่ 3.2




รูปที่ 3.2 แสดงโมเลกุลที่เป็นไครัล และเป็นอีแนนทิโอเมอร์

โมเลกุลและภาพในกระจกเงาของโมเลกุลนั้นเป็นคู่ของสเตอริโอไอโซเมอร์ที่เรียกว่า อีแนนทิโอเมอร์

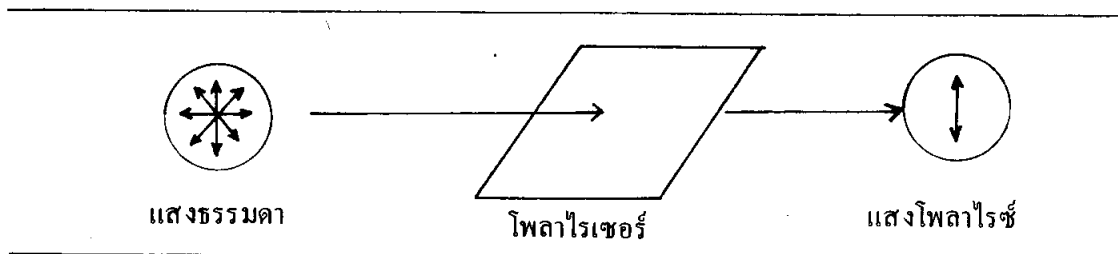
3.3.1 สารประกอบที่มีคุณสมบัติ optically active สารประกอบที่สามารถหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ (polarized light) ได้ เรียกว่าสารประกอบนั้นมีคุณสมบัติ optically active

การหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไปทางขวาเรียกว่า เด็กซ์โตรโรเตตอรี (dextrorotatory) หรือ การหมุนตามเข็มนาฬิกา (clockwise rotation) ให้เขียนสัญลักษณ์เป็นเครื่องหมาย + หรือ d

การหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไปทางซ้ายเรียกว่า เลโวโรเตตอรี (levorotatory) หรือ การหมุนทวนเข็มนาฬิกา (anticlockwise rotation) ใช้สัญลักษณ์เป็นเครื่องหมาย - หรือ l

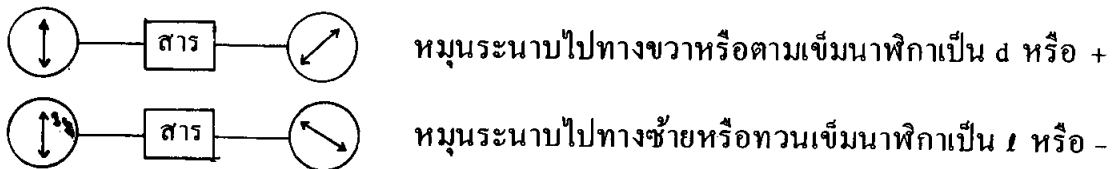
ระนาบแสงโพลาไรซ์ (Plane of polarized light) แสงธรรมดา (ordinary light) เป็นแสงที่กระจายออกทุกทิศทุกทางหรือทุกระนาบ 

ถ้าให้แสงธรรมดานี้ผ่านโพลาไรเซอร์ เช่น นิโคลปริซึม (Nicol prism) แสงที่ผ่านออกมาจะเป็นแสงระนาบเดียว แสงที่มีระนาบเดียวนี้เรียกว่า ระนาบแสงโพลาไรซ์ ดังรูปที่ 3.3

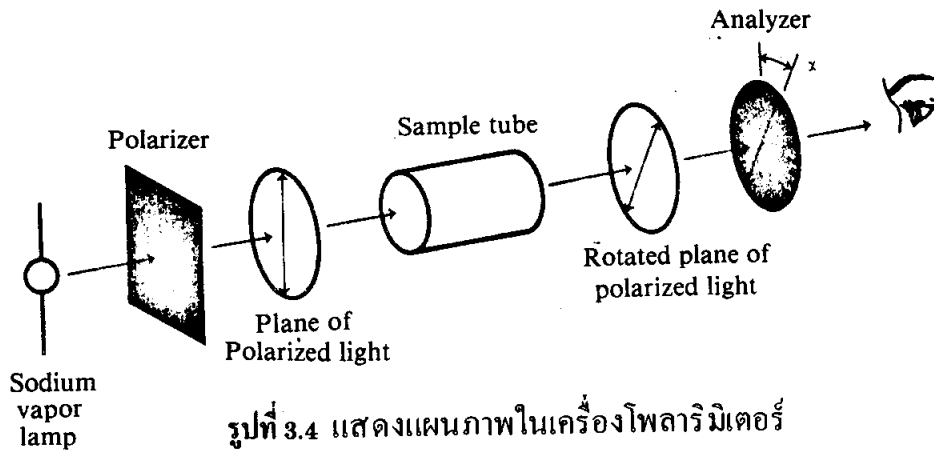


รูปที่ 3.3 แสดงระนาบแสงโพลาไรซ์

สารประกอบที่สามารถหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้นั้นกล่าวได้ว่ามีคุณสมบัติ optically active ซึ่งอาจจะหมุนระนาบไปตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาแล้วแต่ชนิดของสาร เช่น



เครื่องมือที่ใช้วัดการหมุนของระนาบแสงโพลาไรซ์เรียกว่า โพลาริมิเตอร์ (polarimeter) ซึ่งแผนภาพในเครื่องมือแสดงดังรูปที่ 3.4



การหมุนจำเพาะ (Specific rotation) สารประกอบที่มีคุณสมบัติ optically active จะมีค่าการหมุนจำเพาะเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด

การหมุนจำเพาะ คือ จำนวนองศาที่สารนั้นหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไปเมื่อใส่สารที่ต้องการวัดลงในหลอดที่มีความยาว 1 เดซิเมตรและสารนั้นมีความเข้มข้น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

กำหนดเป็น 
$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

$[\alpha]_{\lambda}^T$  คือ ค่าการหมุนจำเพาะที่อุณหภูมิ  $T^{\circ}\text{C}$  และคลื่นแสง  $\lambda$

$\alpha$  คือ จำนวนองศาของการหมุนแสงโพลาไรซ์ที่วัดได้จริง ๆ จากการทดลอง

$l$  คือ ความยาวของหลอดที่บรรจุสาร มีหน่วยเป็นเดซิเมตร

(1 เดซิเมตร = 10 เซนติเมตร)

$c$  คือ ความเข้มข้นของสาร มีหน่วยเป็นกรัม/ซม.<sup>3</sup> เมื่อเป็นสารละลาย หรือ

คือความหนาแน่น หน่วยเป็นกรัม/ซม.<sup>3</sup> เมื่อเป็นของเหลวบริสุทธิ์

ประเภทของสารที่มีคุณสมบัติ optically active ได้แก่

1. พวกที่มีไครัลเซ็นเตอร์ หรือ ไครัลคาร์บอนอะตอม (หรือที่เรียกว่ามี central of chirality)

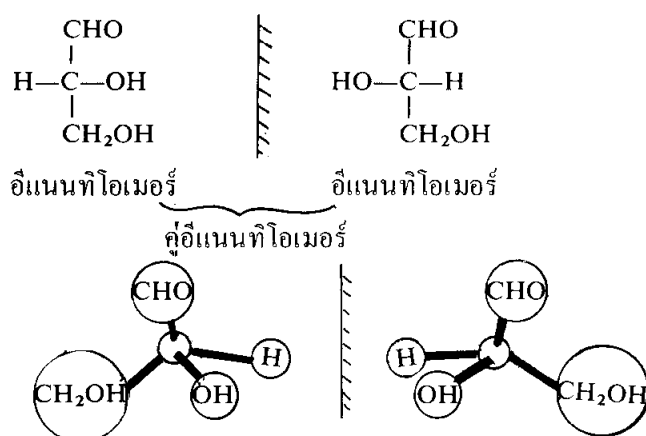


2. พวกที่ไม่มีไครัลเซ็นเตอร์ แต่จะต้องมีแกนของไครัลลิตี (axis of chirality) หรือ มีระนาบของไครัลลิตี (plane of chirality)

3.3.2 อีแนนทิโอเมอร์ (Enantiomers) อีแนนทิโอเมอร์เป็นโมเลกุลของสารประกอบที่เป็นภาพในกระจกเงา (mirror image) ซึ่งกันและกัน แต่ไม่สามารถวางทับภาพในกระจกเงาได้สนิท (non superimposable) อีแนนทิโอเมอร์จะมีเป็นคู่ ๆ และมีคุณสมบัติที่เป็น optically active คือ หมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ แต่ละอีแนนทิโอเมอร์ที่เป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ซึ่งกันและกันนั้นจะมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกัน ยกเว้นการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ จะหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์เป็นจำนวนองศาเท่ากัน แต่หมุนในทิศทางตรงข้ามกัน โดยที่อีแนนทิโอเมอร์หนึ่งจะหมุนไปทางขวา (+ หรือ d) อีกอีแนนทิโอเมอร์หนึ่งจะหมุนไปทางซ้าย (- หรือ l) สำหรับคุณสมบัติทางเคมีก็จะเหมือนกัน ยกเว้นเมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบไครัล อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกัน

โมเลกุลใดก็ตามที่มีหนึ่งไครัลเซ็นเตอร์จะมีสองอีแนนทิโอเมอร์ หรือเรียกได้ว่า มีคู่อีแนนทิโอเมอร์ (enantiomeric pair) จำนวน 1 คู่

ตัวอย่าง  $\text{CHOCHOHCH}_2\text{OH}$



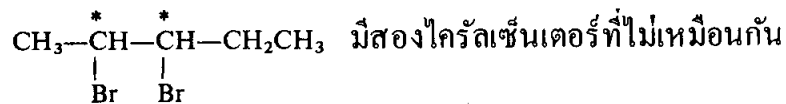
จะเห็นได้ว่าแต่ละอีแนนทิโอเมอร์เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน แต่ไม่สามารถวางทับภาพในกระจกเงาได้สนิท แต่ละอีแนนทิโอเมอร์จะมีคุณสมบัติ optically active โดยที่อีแนนทิโอเมอร์หนึ่งเป็น + หรือ d อีกอีแนนทิโอเมอร์หนึ่งเป็น - หรือ l และทั้งสองเป็นคู่อีแนนทิโอเมอร์

3.3.3 จำนวนของสเตอริโอไอโซเมอร์ โมเลกุลของสารประกอบที่มีจำนวนไครัลเซ็นเตอร์มากขึ้นจะมีจำนวนสเตอริโอไอโซเมอร์เพิ่มขึ้น

$$\text{จำนวนสเตอริโอไอโซเมอร์} = 2^n$$

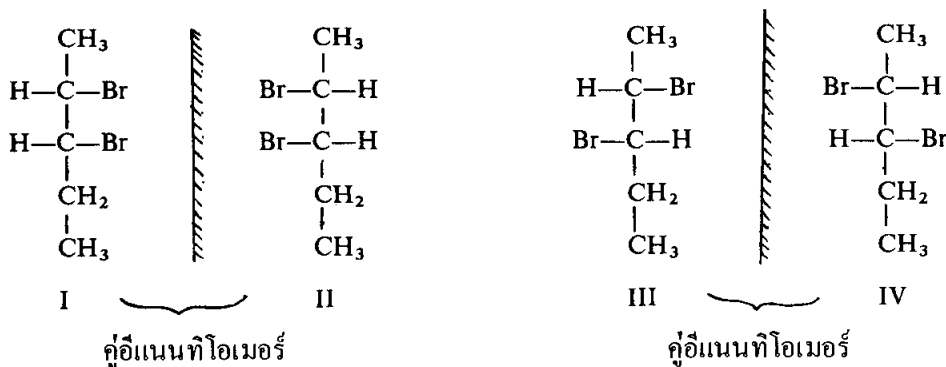
เมื่อ n คือจำนวนไครัลเซ็นเตอร์ที่ไม่เหมือนกัน

ตัวอย่าง



2, 3 - Dibromopentane

ดังนั้น จำนวนสเตอริโอไอโซเมอร์ =  $2^2 = 4$  มีดังนี้



คู่ I และ II เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน

คู่ III และ IV เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน

ถ้าจะดูว่าอิแนนทิโอเมอร์ไหนที่เป็นไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ที่ไม่เป็นภาพในกระจกเงา จะเห็นได้ว่า

I และ III เป็นไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์ซึ่งกันและกัน

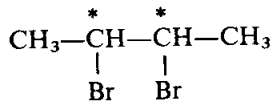
I และ IV เป็นไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์ซึ่งกันและกัน

II และ III เป็นไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์ซึ่งกันและกัน

II และ IV เป็นไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์ซึ่งกันและกัน

สารประกอบใดที่มีไครัลเซ็นเตอร์ที่เหมือนกัน จำนวนสเตอริโอไอโซเมอร์จะไม่เท่ากับ  $2^n$

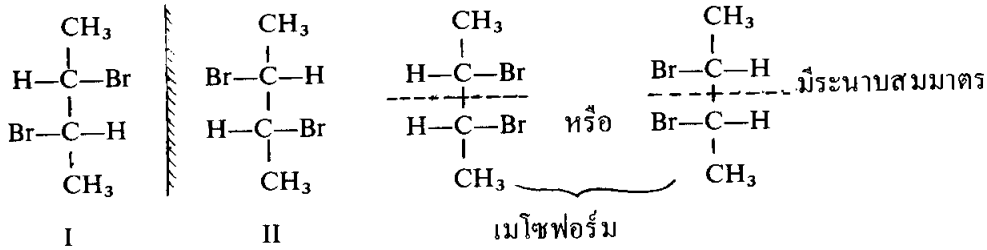
ตัวอย่าง



มีสองไครัลเซ็นเตอร์ที่เหมือนกัน

2, 3 - Dibromobutane

จะมีสามสเตอริโอไอโซเมอร์ คือสองอีแนนทิโอเมอร์และหนึ่งเมโซฟอร์ม (meso form) ดังนี้

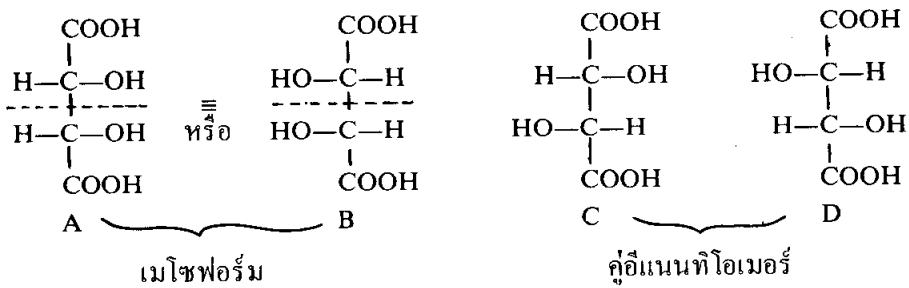


เขียนตัวใดก็ได้คือตัวเดียวกันเป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน เมื่อหมุนกลับทางหัวท้ายจะทับกันสนิท (superimposable)

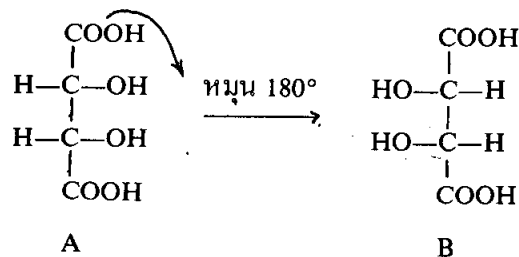
3.3.4 สารประกอบเมโซ (meso compounds) สารประกอบเมโซจะเป็นโมเลกุลที่เป็นอะไครัล คือเป็นโมเลกุลที่มีระนาบสมมาตร และสามารถวางทับภาพในกระจกเงาได้สนิท แต่เป็นโมเลกุลที่มีไครัลเซ็นเตอร์ ถึงแม้ว่ามีไครัลเซ็นเตอร์แต่ก็ไม่มีคุณสมบัติ optically active (หรือเรียกว่า optically inactive) คือไม่สามารถหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ ทั้งนี้เพราะทิศทางของการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์จะหักล้างกันเองระหว่างแต่ละครึ่งของโมเลกุลที่ถูกแบ่งโดยระนาบสมมาตรนั้น

ตัวอย่าง

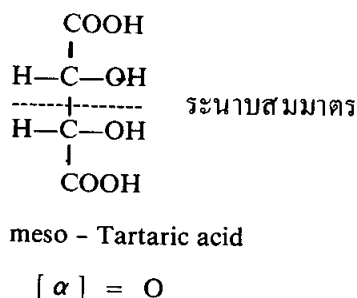
Tartaric acid  $\text{COOHCHOHCHOHCOOH}$  เขียนสเตอริโอไอโซเมอร์ได้เป็น



A และ B ต่างก็มีสองไครัลคาร์บอนอะตอม ถ้าหมุน A ไป  $180^\circ$  ทางด้านซ้ายในระนาบกระดาษ จะเห็นว่า A เหมือน B ทุกประการและทับกันได้สนิท



จะเห็นว่า A หรือ B มีระนาบสมมาตรในโมเลกุล ทำให้ไม่มีคุณสมบัติ optically active ทั้งนี้เพราะทิศทางการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์จะหักล้างกันเองในโมเลกุล A หรือ B นี้เป็นโมเลกุลชนิดอะไครัลซึ่งก็คือโมเลกุลที่มีระบบสมมาตรและสามารถวางทับภาพในกระจกเงาได้สนิท A หรือ B คือตัวเดียวกันจะเขียนตัวใดก็ได้ และเรียกว่าเป็นสารประกอบเมโซ มีค่าการหมุนจำเพาะเป็นศูนย์

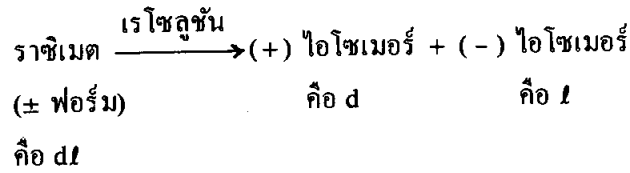


### 3.4 ราซีเมต (Racemate) หรือ สารผสมราซีมิก (Racemic mixture)

ราซีเมตหรือสารผสมราซีมิกเป็นสารผสมของสองอีแนนทิโอเมอร์คือ d (หรือ +) และ l (หรือ -) ในอัตราส่วน 50 : 50 สารผสมนี้จะไม่มีคุณสมบัติ optically active ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็น optically inactive คือไม่สามารถหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ ทั้งนี้เพราะการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์จะหักล้างกันเองระหว่างสองอีแนนทิโอเมอร์ที่มีปริมาณเท่า ๆ กันแต่ในทิศทางตรงข้ามกัน ดังนั้นค่าการหมุนจำเพาะของราซีเมตจะเป็นศูนย์

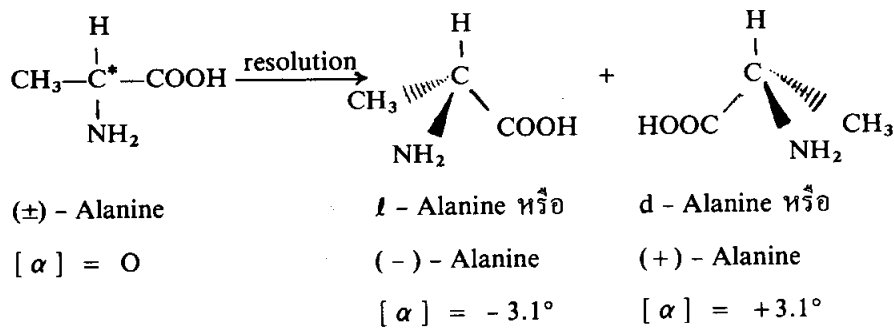
ให้เขียนเครื่องหมาย ( $\pm$ ) ไว้ข้างหน้าชื่อสารประกอบนั้น เช่น ( $\pm$ ) - lactic acid เพื่อแสดงให้เห็นว่าเป็นราซีเมตหรือเป็นสารผสมราซีมิก

ราซิมิตสามารถถูกแยกออกเป็นแต่ละอีแนนทิโอเมอร์คือเป็น d และ l ฟอรัม การแยกราซิมิตออกเป็นแต่ละอีแนนทิโอเมอร์เรียกว่า เรโซลูชัน (resolution) ดังสมการหลักดังนี้



ถ้าแยกได้อย่างสมบูรณ์จะได้ d : l ในอัตราส่วน 50 : 50

ตัวอย่าง



ในทำนองที่กลับกัน ราซิมิตสามารถที่จะถูกสังเคราะห์หรือเตรียมขึ้นจากปฏิกิริยาได้ ซึ่งการเตรียมหรือสังเคราะห์สารประกอบที่ได้เป็นราซิมิตเรียกว่า ราซิมิเซชัน (racemization)

### 3.5 โพรเจกชัน (Projection)

โพรเจกชันเป็นการเขียนรูปแบบแทนสูตรโครงสร้าง 3 มิติ มีดังต่อไปนี้

3.5.1 ฟิชเชอร์โพรเจกชัน (Fischer projection) ฟิชเชอร์โพรเจกชันเป็นการเขียนรูปแบบสูตรโครงสร้างตามแนวตั้งหรือแนวนอน โดยมีหลักเกณฑ์ในการเขียนรูปแบบดังนี้

1. ให้คาร์บอนอะตอมที่มีตัวเลขตำแหน่งน้อยที่สุดในการเรียกชื่อตามระบบ IUPAC อยู่บนสุดและเรียงลงมาตามลำดับเป็นเส้นแนวตั้ง (vertical) หมู่อะตอมอื่นที่เกาะอยู่ที่ไครัลคาร์บอนอะตอมเขียนไว้ทางด้านซ้ายและขวาตามแนวนอน (horizontal) จุดตัดของเส้นแนวตั้งและแนวนอนคือไครัลคาร์บอนอะตอม

2. ให้ถือว่าหมู่อะตอมบนสุดและล่างสุดซึ่งด้านหลังระนาบของกระดาษ หมู่อะตอมซ้ายหรือขวาซึ่งขึ้นเหนือระนาบกระดาษ ถึงแม้ว่าจะเขียนเป็นเส้นหนาเท่ากันหมดก็ให้เข้าใจตามนี้

3. ฟิชเชอร์โพรเจกชันสามารถหมุนในระนาบกระดาษที่มุม  $180^\circ$  เท่านั้น ห้ามหมุนออกนอกระนาบกระดาษ และ ห้ามหมุนที่มุมอื่น ๆ

ตัวอย่างที่ 1  $\text{CH}_2\text{OHCHOHCHO}$

ถ้าเขียนสูตรโครงสร้างแบบ 3 มิติ จะเป็นดังนี้

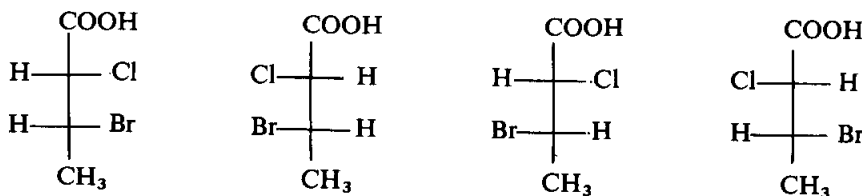


และเมื่อเขียนสูตรตามฟิชเชอร์โพรเจกชันจะเป็นดังนี้



ตัวอย่างที่ 2  $\text{CH}_3\text{CHBrCHClCOOH}$

เขียนสูตรตามฟิชเชอร์โพรเจกชันได้ดังนี้

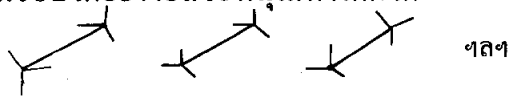


3.5.2 ซอฮอร์สโพรเจกชัน (Sawhorse projection) เป็นการเขียนรูปแบบสูตรโครงสร้าง 3 มิติโดยที่เน้นหนักให้เห็นการจัดตัวของ ligands ที่เกาะอยู่กับคาร์บอนอะตอม 2 อะตอมที่อยู่ติดกัน

รูปแบบโครงสร้างหลักเป็นดังนี้

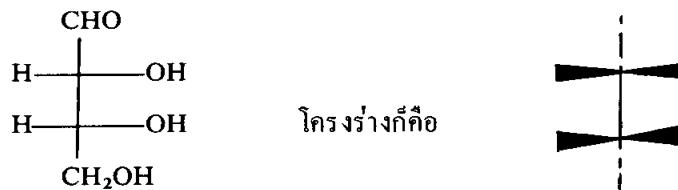


จุดตัดของเส้นสี่เส้นทั้งสองจุดคือคาร์บอนอะตอมที่ต้องการเน้นการพิจารณา การเขียนซอฮอร์สโพรเจกชันสามารถเขียนได้หลายรูปแบบ ทั้งนี้เพราะพันธะเดี่ยวสามารถหมุนรอบได้อย่างอิสระที่มุมเท่าใดก็ได้

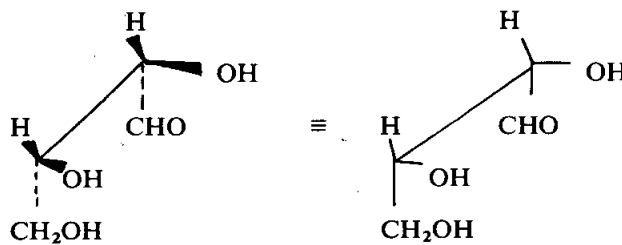


วิธีการเขียนก็คือ ยึดหลักจากฟิชเชอร์โพรเจกชัน แล้วนำมาเขียนซอฮอร์สโพรเจกชัน

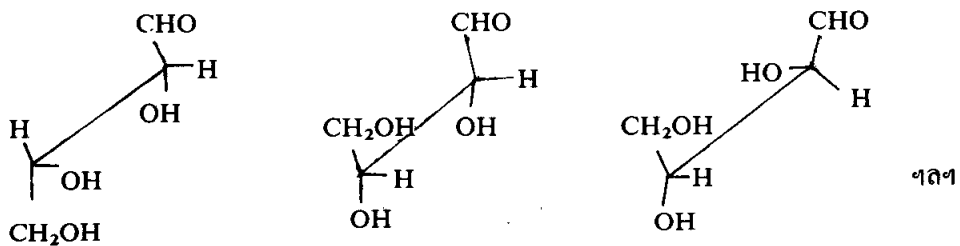
ตัวอย่าง



เมื่อเขียนเป็นซอฮอร์สโพรเจกชันจะเป็นดังนี้

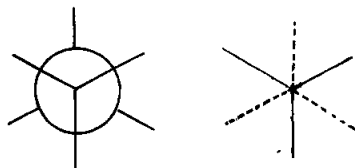


และการที่พันธะเดี่ยวมีการหมุนได้อย่างอิสระจึงสามารถเขียนได้หลายรูปแล้ว แต่ว่าจะหมุนอย่างไร คือหมุนไปทางซ้ายหรือหมุนไปทางขวา ที่มุมเท่าใดก็ได้



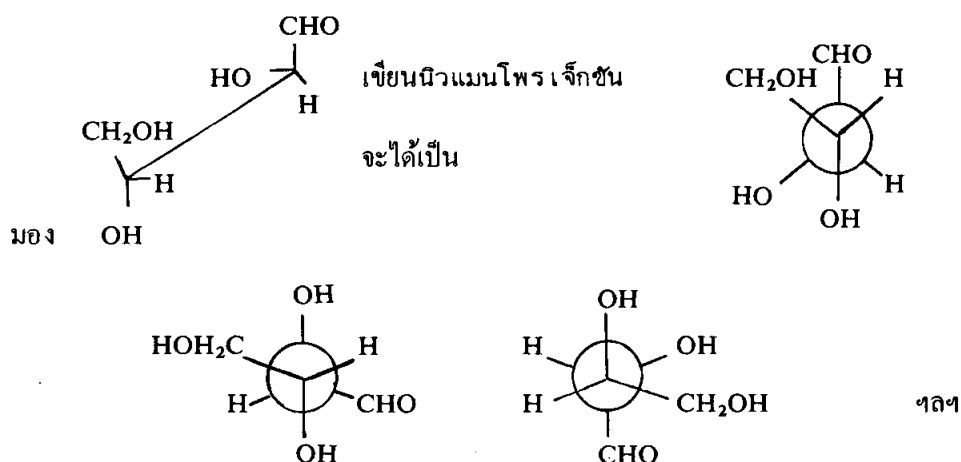
3.5.3 นิวแมนโพรเจกชัน (Newman projection) นิวแมนโพรเจกชันเป็นการเขียนรูปแบบโดยมองผ่านพันธะแกนกลางของซอฮอร์สโพรเจกชันจากจุดของคาร์บอนอะตอมที่

ไกล์ดา พันธะของอะตอมหรือหมู่ะตอมที่เกาะกับคาร์บอนอะตอมที่ไกล์ดาเขียนเป็นเส้นสามเส้นเชื่อมกันที่จุดของคาร์บอนนั้น ส่วนพันธะของอะตอมหรือหมู่ะตอมที่เกาะกับคาร์บอนอะตอมที่อยู่ไกล์ดาให้เขียนเป็นเส้นขาด (incomplete line) โดยเขียนเสมือนถูกบังด้วยวงกลม ดังรูปแบบโครงสร้างหลักดังนี้



สามารถเขียนได้จำนวนหลายรูปทั้งนี้เพราะพันธะเดี่ยวแกนกลางนั้นสามารถหมุนได้อย่างอิสระ

ตัวอย่าง



### 3.6 คอนฟิกูเรชัน (Configuration)

คอนฟิกูเรชันหมายถึง การจัดอะตอมหรือหมู่ะตอมรอบ ๆ ไครัลเซ็นเตอร์ในที่ว่าง ลำดับในการจัดเรียงอะตอมหรือหมู่ะตอมรอบ ๆ ไครัลคาร์บอนอะตอมเรียกว่า คอนฟิกูเรชันที่แท้จริง (absolute configuration) รอบคาร์บอนนั้น ซึ่งนิยมใช้ระบบ R และ S แสดงคอนฟิกูเรชันที่แท้จริงในโมเลกุลของสารประกอบ

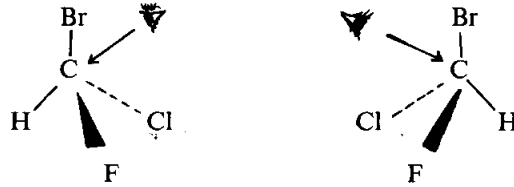
R และ S นี้ได้มาจากคำภาษาละตินซึ่ง R มาจากคำว่า “rectus” ซึ่งแปลว่า “ขวา” ส่วน S มาจากคำว่า “sinister” ซึ่งแปลว่า “ซ้าย”



ระบบ R และ S ในการแสดงคอนฟิกูเรชันมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังต่อไปนี้

1. เรียงลำดับความสำคัญของอะตอมหรือหมู่อะตอมทั้งสิ้นที่เกาะอยู่กับไครัลเซ็นเตอร์ โดยใช้กฎซีเควนซ์ (ดูหัวข้อที่ 3.1)
2. มองจากทิศทางตรงข้ามกับอะตอมหรือหมู่อะตอมที่มีลำดับความสำคัญต่ำสุด แล้วเรียงลำดับความสำคัญของอะตอมหรือหมู่อะตอมที่เหลืออยู่ทั้งสาม

ตัวอย่าง

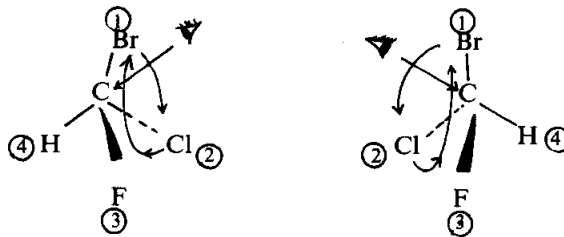


ในที่นี้ถ้าเรียงลำดับความสำคัญของอะตอมที่เกาะอยู่จะเห็นว่า  $Br > Cl > F > H$  จึงมองจากทิศทางตรงข้ามกับ H

ลำดับความสำคัญของอะตอมหรือหมู่อะตอมที่เหลือทั้งสามคือ  $Br > Cl > F$

3. เมื่อจัดเรียงลำดับความสำคัญของอะตอมหรือหมู่อะตอมทั้งสามแล้ว ถ้าการเรียงมีทิศทางตามเข็มนาฬิกาก็มีคอนฟิกูเรชันเป็น R แต่ถ้าการเรียงมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาก็มีคอนฟิกูเรชันเป็น S

ตัวอย่าง



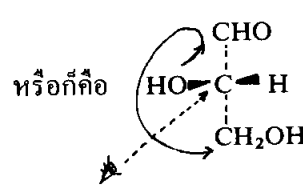
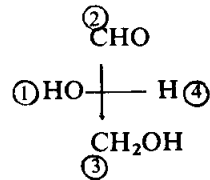
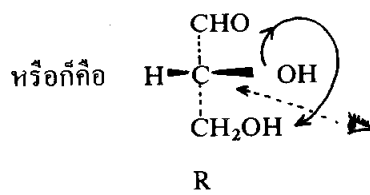
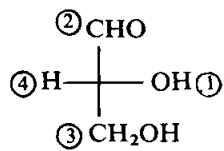
R - Bromochlorofluoromethane

S - Bromochlorofluoromethane

ในคู่อิแนนทิโอเมอร์ แต่ละอิแนนทิโอเมอร์จะมีคอนฟิกูเรชันกลับกัน เช่น ถ้าอิแนนทิโอเมอร์หนึ่งมีคอนฟิกูเรชันเป็น R อีกอิแนนทิโอเมอร์หนึ่งจะเป็น S

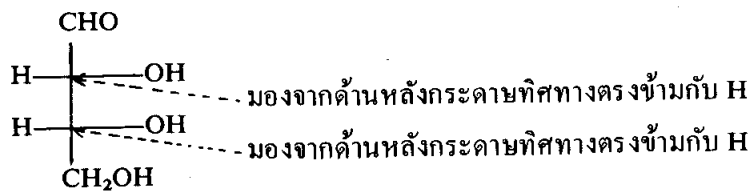
ดังนั้นถ้าจะเขียนคอนฟิกูเรชันของราซิเมต ให้เขียน RS ไว้หน้าชื่อเพื่อแสดงคอนฟิกูเรชันของราซิเมตนั้น

ตัวอย่างเพิ่มเติม



มองจากด้านหลังกระดาษจากทิศตรงข้ามกับ S

ในกรณีที่มีโมเลกุลมีไครัลเซ็นเตอร์จำนวนหลาย ๆ ไครัลเซ็นเตอร์ ให้พิจารณา  
คอนฟิกูเรชันที่ละไครัลเซ็นเตอร์ดังนี้



จะเห็นว่า มีสองไครัลคาร์บอนอะตอม คือคาร์บอนตัวที่ 2 และคาร์บอนตัวที่ 3 ตาม  
กำหนดตำแหน่งในการอ่านชื่อ

ที่คาร์บอนตัวที่ 2 ลำดับความสำคัญ  $\text{OH} > \text{CHO} > \text{CHOH} > \text{H}$  จะมีคอนฟิกูเรชัน

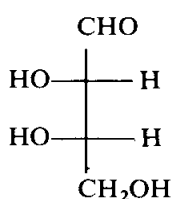
เป็น R จึงเขียนเป็น 2R โดยที่เลข 2 คือเลขตำแหน่งของไครัลคาร์บอนนั้น

ที่คาร์บอนตัวที่ 3 ลำดับความสำคัญ  $\text{OH} > \text{CHOH} > \text{CH}_2\text{OH} > \text{H}$  มีคอนฟิกูเรชัน

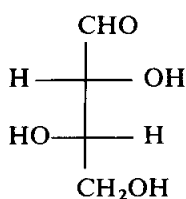
เป็น R จึงเขียนเป็น 3R โดยที่เลข 3 คือเลขตำแหน่งของไครัลคาร์บอนนั้น

ดังนั้นคอนฟิกูเรชันของโมเลกุลนี้คือ 2R, 3R

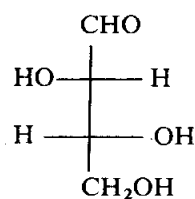
ตัวอย่าง



2S, 3S



2R, 3S



2S, 3R

### 3.7 คอนฟอร์เมชัน (Conformation)

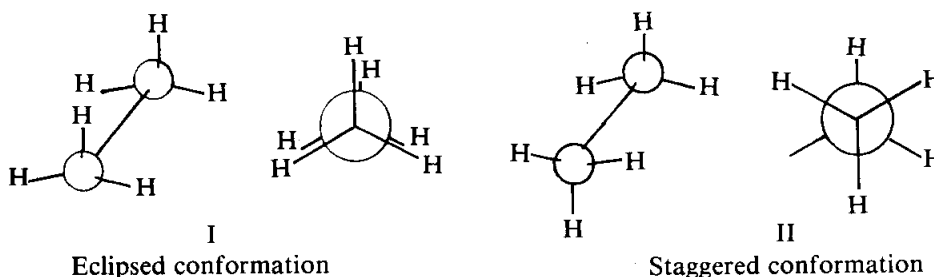
คอนฟอร์เมชัน หมายถึง รูปร่างของโมเลกุลซึ่งแสดงการจัดตัวของอะตอมหรือหมู่อะตอมในที่ว่างอันเนื่องมาจากการหมุนรอบ ๆ พันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน โมเลกุลที่มีรูปร่างแต่ละแบบแตกต่างกันโดยเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งอันเนื่องจากการหมุนรอบ ๆ พันธะดังกล่าวเรียกว่า คอนฟอร์เมอร์ (conformer)

ในที่นี้จะได้กล่าวถึงคอนฟอร์เมชันของพวกอะไซคลิก (acyclic) พวกไซคลิก (cyclic) บางโมเลกุลเท่านั้น

3.7.1 คอนฟอร์เมชันของสารประกอบอะไซคลิก สารประกอบอะไซคลิกได้แก่ สารประกอบที่มีโครงร่างเป็นโซ่เปิด เช่น อีเทน, บิวเทน, เป็นต้น

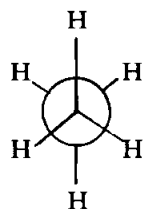
ตัวอย่าง

คอนฟอร์เมชันของอีเทน ( $\text{CH}_3-\text{CH}_3$ ) มีคอนฟอร์เมชันมากมายหลายแบบแล้วแต่ว่าการหมุนรอบพันธะเดี่ยว C—C จะหมุนไปที่มุมกี่องศา โครงร่างคอนฟอร์เมชันที่สำคัญมี 2 รูปคือ อีคลิปส์คอนฟอร์เมชัน (eclipsed conformation) และสแตกเกอร์คอนฟอร์เมชัน (staggered conformation) ซึ่งเขียนแสดงด้วยซอฮอร์สและนิวแมน โพรเจกชัน ดังในรูปที่ 3.5

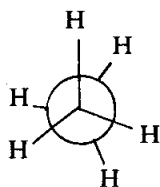


รูปที่ 3.5 แสดงอีคลิปส์และสแตกเกอร์คอนฟอร์เมชันของอีเทน

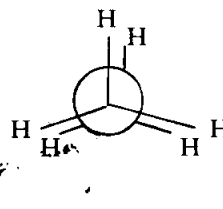
เมื่อมีการหมุนรอบพันธะเดี่ยว C—C จะมีอิลิปส์และสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์เกิดขึ้นจำนวนหลายรูป เช่น หมุน  $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $240^\circ$ ,  $300^\circ$  และ  $360^\circ$  และระหว่างอิลิปส์และสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์จะมีคอนฟอร์เมอร์จำนวนมากมาย ซึ่งคอนฟอร์เมอร์จำนวนมากมายที่เกิดขึ้นระหว่างอิลิปส์และสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์นี้เรียกว่า สกิวคอนฟอร์เมอร์ (skew conformation)



Staggered conformation



Skew conformation



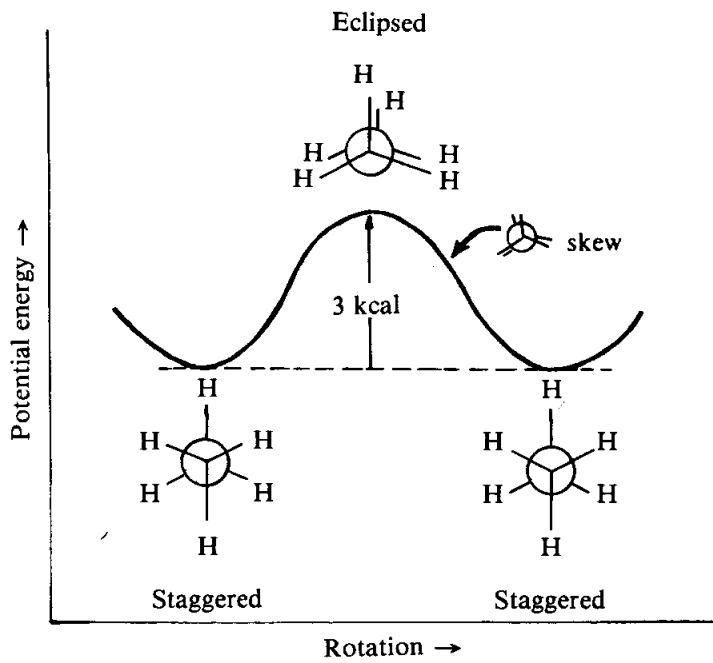
Eclipsed conformation

ในการเขียนอิลิปส์คอนฟอร์เมอร์ความจริงแล้วต้องเขียนเงาของคาร์บอนอะตอมใกล้เคียงทั้งสามเงาให้ทับกับเงาของคาร์บอนอะตอมใกล้เคียงทั้งสามเงา แต่ที่เขียนยื่นออกมาเพื่อให้มองเห็นเงาของพันธะชัดเจน

ในสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์เงาแต่ละเงาของคาร์บอนใกล้เคียงจะทำมุม  $60^\circ$  กับเงาแต่ละคาร์บอนที่อยู่ใกล้เคียง

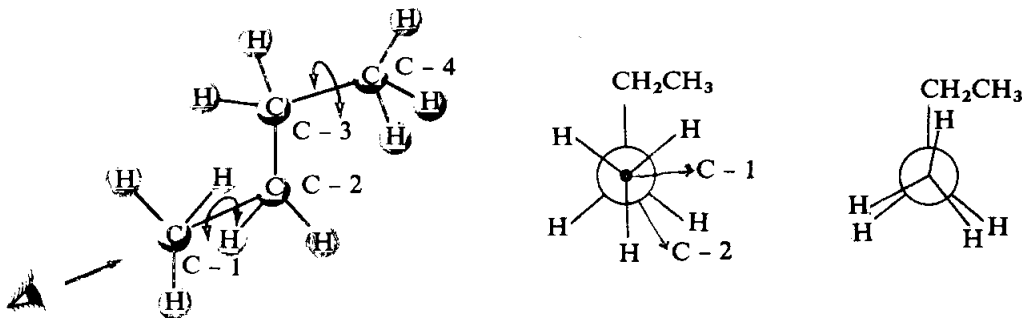
ส่วนในสกิวคอนฟอร์เมอร์เงาแต่ละเงาของคาร์บอนใกล้เคียงจะทำมุมกึ่งองศาได้กับเงาแต่ละเงาของคาร์บอนที่อยู่ใกล้เคียง ทั้งนี้แล้วแต่การหมุนรอบพันธะเดี่ยวที่มุมใด ๆ ที่ไม่ใช่มุม  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $240^\circ$ ,  $300^\circ$  และ  $360^\circ$

ถ้าจะพิจารณาเสถียรภาพสัมพัทธ์ของคอนฟอร์เมอร์เหล่านี้ จะเห็นได้ว่าสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์มีเสถียรภาพมากที่สุด และอิลิปส์คอนฟอร์เมอร์มีเสถียรภาพน้อยที่สุด ดูรูปที่ 3.6 พลังงานของอิลิปส์คอนฟอร์เมอร์จะสูงกว่าสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์ประมาณ 3 กิโลแคลอรีต่อโมล (12.6 กิโลจูลต่อโมล) พลังงานจำนวนนี้ก็คือพลังงานที่ใช้ในการหมุนเพื่อเปลี่ยนรูปร่างจากสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์ไปเป็นอิลิปส์คอนฟอร์เมอร์นั่นเอง พลังงานนี้เรียกว่า torsional energy เป็นพลังงานที่เนื่องมาจากมี torsional strain ซึ่งเกิดจากการที่มีแรงกระทำระหว่างกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนของพันธะ C—H ทั้งหลาย ดังนั้นเมื่อใดที่มีการเบี่ยงเบนจากการจัดตัวแบบสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์จะมี torsional strain เกิดขึ้นเสมอ



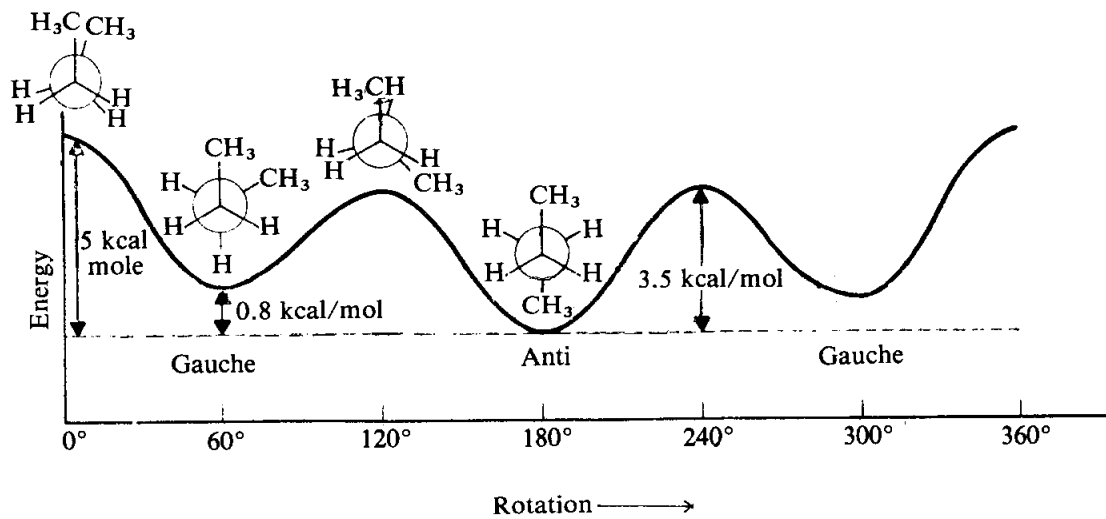
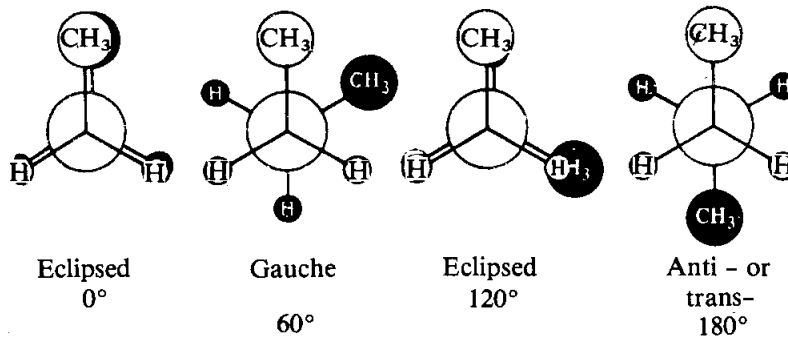
รูปที่ 3.6 แสดงพลังงานของคอนฟอร์เมชันของอีเทน

คอนฟอร์เมชันของบิวเทน (butane) บิวเทนมีสูตรโครงสร้าง  ${}^1\text{CH}_3\text{-}{}^2\text{CH}_2\text{-}{}^3\text{CH}_2\text{-}{}^4\text{CH}_3$  จะเห็นว่าจะมีการหมุนรอบพันธะ C-1-C-2, C-2-C-3 และ C-3-C-4 การหมุนรอบพันธะ C-1-C-2 หรือ C-3-C-4 จะเกิดคอนฟอร์เมชันที่เหมือนกันทุกประการดังแสดงในรูปที่ 3.7



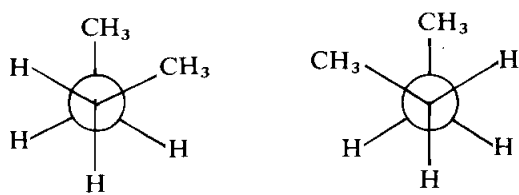
รูปที่ 3.7 แสดงคอนฟอร์เมชันเมื่อมีการหมุนรอบพันธะ C-1-C-2 ถ้ามีการหมุนรอบพันธะ C-3-C-4 ก็จะได้คอนฟอร์เมชันที่เหมือนกัน

แต่เมื่อมีการหมุนรอบพันธะ C-2-C-3 ผลที่ได้จะแตกต่างจากการหมุนรอบพันธะ C-1-C-2 หรือ C-3-C-4 จะได้คอนฟอร์เมชันหลายชนิดเมื่อหมุนตามมุมต่าง ๆ ดังนี้

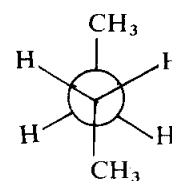


รูปที่ 3.8 แสดงพลังงานของคอนฟอร์เมชันต่าง ๆ เมื่อมีการหมุนรอบพันธะ C-2-C-3 ของ n - butane

สแตกเกอร์คอนฟอร์เมชันมี 2 แบบ ดังนี้



กอกคอนฟอร์เมชัน  
(Gauche conformation)  
มีหมู่  $\text{-CH}_3$  ห่างกันด้วยมุม  $60^\circ$



แอนติคอนฟอร์เมชัน  
(Anti conformation)  
มีหมู่  $\text{-CH}_3$  ห่างกันด้วยมุม  $180^\circ$

แอนติคอนฟอร์เมชันเสถียรกว่ากอกคอนฟอร์เมชัน เพราะหมู่เมทิล  $\text{-CH}_3$  อยู่ห่างกัน การผลัก (repulsion) ระหว่างหมู่  $\text{-CH}_3$  จะน้อยกว่าเมื่ออยู่ใกล้กัน อคติสคอนฟอร์เมชัน มีหมู่  $\text{-CH}_3$  อยู่ตรงกันจะยิ่งมีการผลักกันมาก ทำให้พลังงานสูงยิ่งขึ้นและไม่เสถียร การที่ไม่เสถียรนี้จึงเนื่องจาก van der Waals strain หรือ steric strain ดังรูปที่ 3.8

3.7.2 คอนฟอร์เมชันของสารประกอบไซคลิก สารประกอบไซคลิกได้แก่ สารประกอบที่มีโครงร่างเป็นวง เช่นพวกไซโคลอัลเคน (cycloalkane) เป็นต้น

โดยปกติแล้วเสถียรภาพของคอนฟอร์เมชันของไซโคลอัลเคนขึ้นอยู่กับ

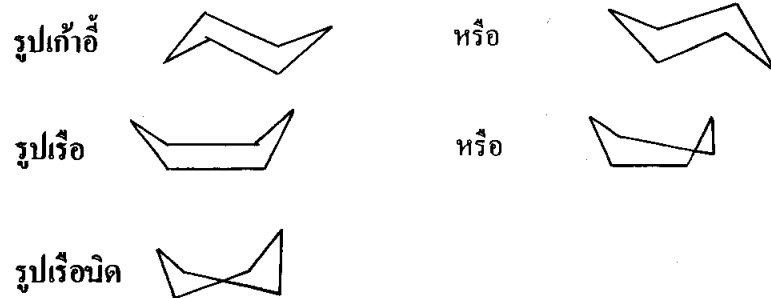
1. Angle strain หรือ Baeyer strain จะเกิดขึ้นเมื่อมุมระหว่างพันธะคาร์บอนในวงเบี่ยงเบนไปจากมุมปกติของเตตระฮีดรอน ( $109.5^\circ$ ) ถ้าเบี่ยงเบนไปมากจะมี angle strain มาก ซึ่งทำให้เสถียรภาพน้อยลง

2. Torsional strain ซึ่งเกิดจากแรงกระทำ (interaction) เช่นการผลักของกลุ่มหมอกอเล็กตรอน

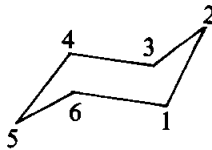
3. Steric strain หรือ van der Waals strain ซึ่งเกิดจากแรงกระทำของอะตอมหรือหมู่อะตอม โดยไม่ผ่านพันธะ (เรียกว่า non-bonded interaction) เช่นแรงผลักกันระหว่างอะตอมหรือหมู่อะตอม

4. Dipole - dipole interaction เป็นแรงกระทำที่เกิดขึ้นในโมเลกุลที่มีพันธะไดโพล จะเกิดแรงกระทำระหว่างอะตอมหรือหมู่อะตอม (ที่มีประจุเล็กน้อย) โดยแรงกระทำนี้ไม่ผ่านพันธะไฮโดรเจน จัดได้ว่าเป็น dipole - dipole interaction เช่นกัน

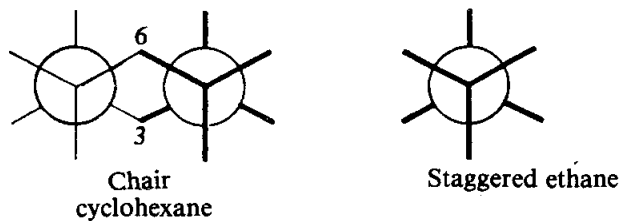
คอนฟอร์เมชันของไซโคลเฮกเซน ไซโคลเฮกเซนมีสูตร  $C_6H_{12}$  โครงสร้างเป็นวงหกเหลี่ยม มีหลายคอนฟอร์เมอร์ คอนฟอร์เมอร์ที่มี angle strain น้อยที่สุดหรือแทบไม่มีเลยได้แก่ คอนฟอร์เมอร์รูปเก้าอี้ (chair conformation) คอนฟอร์เมอร์รูปเรือ (boat conformation) และคอนฟอร์เมอร์รูปเรือบิด (twist - boat conformation) ดังในรูปที่ 3.9 :



รูปที่ 3.9 แสดงคอนฟอร์เมชันของไซโคลเฮกเซนที่ปราศจาก angle strain ถ้ามองตามแกนของพันธะระหว่างคาร์บอนและคาร์บอน ( $C_1-C_2$ ) ของ



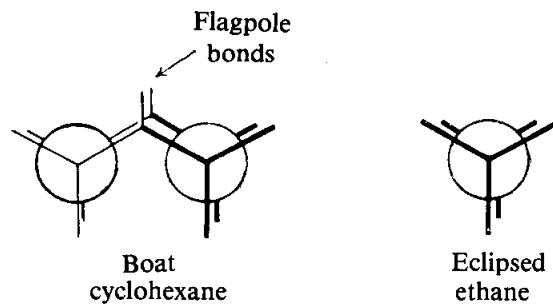
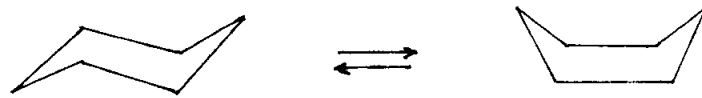
จะเห็นว่าอยู่ในรูปแบบสแตกเกอร์คอนฟอร์เมอร์ดังนี้



คอนฟอร์เมอร์รูปเก้าอี้ นอกจากแทบจะไม่มี angle strain แล้วก็ยังไม่มีการบิดเบือน (torsional strain) และ steric strain ด้วย จึงเป็นคอนฟอร์เมอร์ของไซโคลเฮกเซนที่เสถียรที่สุด

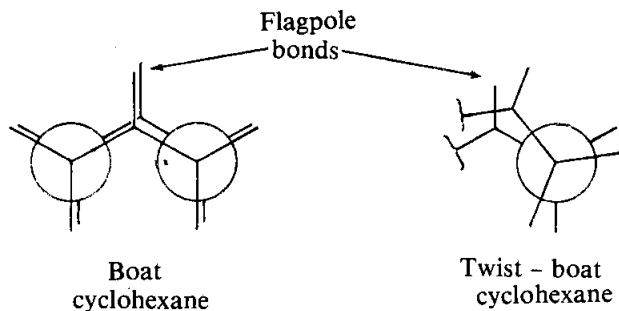
ถ้าหักพับ (flip) ปลายด้านซ้ายของคอนฟอร์เมอร์รูปเก้าอี้ จะได้คอนฟอร์เมอร์รูปเรือที่มีลักษณะรูปแบบอิกลิปส์คอนฟอร์เมอร์





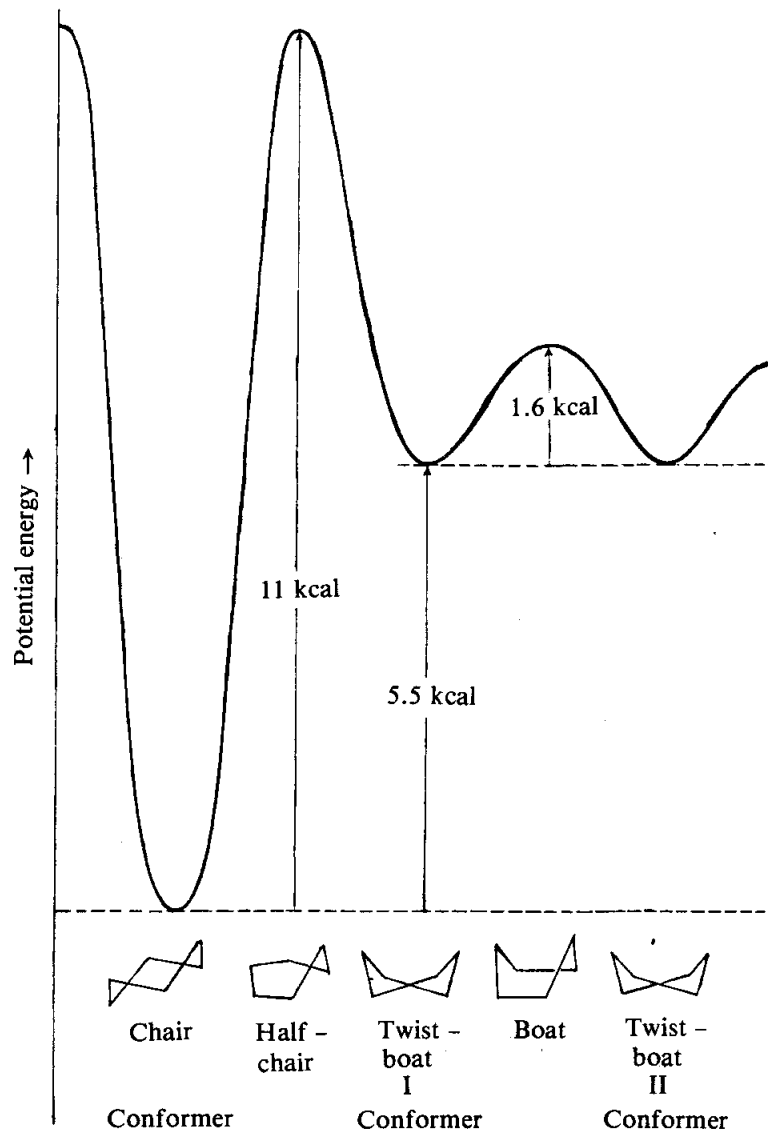
จะเห็นว่ามี torsional strain พอ ๆ กับในอีเทน 2 โมเลกุล นอกจากนี้ยังมี van der Waals strain ซึ่งเกิดเนื่องจากไฮโดรเจนอะตอมที่ flagpole bonds จึงทำให้คอนฟอร์เมชันรูปเรือเสถียรน้อยกว่ารูปเก้าอี้

ถ้าเปลี่ยนคอนฟอร์เมชันรูปเรือเป็นรูปเรือบิดดังนี้



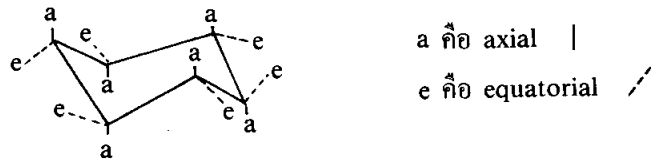
จะเห็นว่าคอนฟอร์เมชันรูปเรือบิดนั้นแรงกระทำที่ flagpole bonds มีค่าน้อยลง และ torsional strain ที่พันธะ  $C_2-C_3$  และ  $C_5-C_6$  น้อยมาก เสถียรมากกว่ารูปเรือ แต่ก็เสถียรน้อยกว่ารูปเก้าอี้

พลังงานที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนคอนฟอร์เมชันของไซโคลเฮกเซนจากรูปหนึ่งเป็นอีกรูปหนึ่งแสดงในรูปที่ 3.10



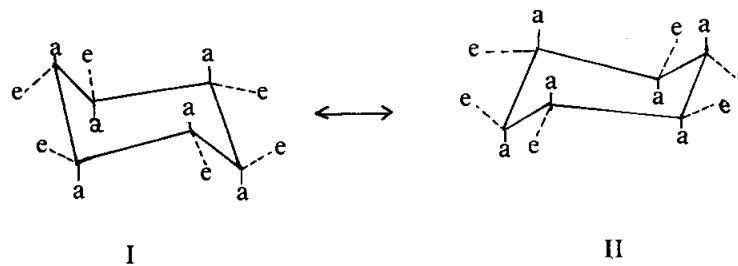
รูปที่ 3.10 แสดงพลังงานศักย์ของคอนฟอร์เมอร์เมชันต่าง ๆ ของไซโคลเฮกเซน

ไซโคลเฮกเซนมีพันธะ C—H ทั้งหมด 12 พันธะ ซึ่ง 6 พันธะมีทิศทางในแนว axial และอีก 6 พันธะมีทิศทางในแนว equatorial



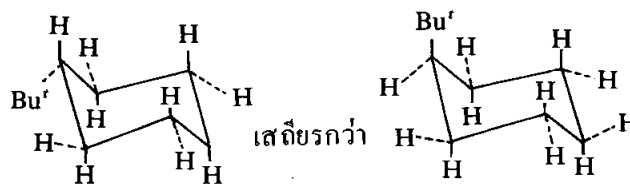
ดังนั้นแต่ละหมู่ -CH<sub>2</sub> ประกอบด้วยพันธะแนว axial (a) 1 พันธะ และพันธะแนว equatorial (e) 1 พันธะ

ถ้าเปลี่ยนคอนฟอร์เมชันรูปเก้าอี้รูปที่ I ไปเป็นรูปที่ II ดังนี้

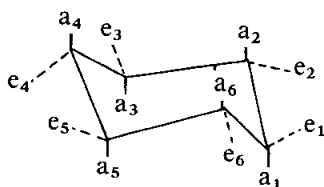


จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยน I ไปเป็น II นั้น พันธะ (e) ของ I จะเปลี่ยนเป็น (a) ของ II การเกิดหักพับของวง (ring - flip) ระหว่าง I และ II นี้จะเกิดขึ้นประมาณ 10<sup>6</sup> ครั้งต่อวินาที ตำแหน่งที่แนว equatorial จะเสถียรมากกว่าที่แนว axial ทั้งนี้เนื่องจากที่ตำแหน่งแนว axial นั้นมี steric strain มากกว่า ดังนั้นอนุพันธ์ของไซโคลเฮกเซนเช่นมีอะตอมหรือหมู่อะตอมเกาะอยู่ คอนฟอร์เมชันจะเสถียรที่สุดเมื่อหมู่อะตอมที่เกาะกะหรือมีขนาดใหญ่กว่านั้นอยู่ที่ตำแหน่งตามแนว equatorial

ตัวอย่าง *t*-Butylcyclohexane



คอนฟอร์เมชันของซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ของอนุพันธ์ของไซโคลเฮกเซน



จะเห็นได้ว่า ถ้าพิจารณา a ด้วยกัน

ซิสไอโซเมอร์ได้แก่  $a_1a_3$ ,  $a_1a_5$  คือเมื่อ a อยู่เว้ากันหนึ่งหรือสามคาร์บอน

ทรานส์ไอโซเมอร์ได้แก่  $a_1a_2$ ,  $a_2a_3$ , ... ฯลฯ คือเมื่อ a อยู่ตำแหน่งติดกัน หรือเมื่อเว้ากันสองคาร์บอน เช่น  $a_1a_4$

การพิจารณา e ด้วยกันก็เช่นกัน

ถ้าพิจารณา e และ a เป็นคู่ ๆ จะเห็นว่า e และ a ที่คาร์บอนติดกันหรือเว้ากันสองคาร์บอนเป็นซิสไอโซเมอร์

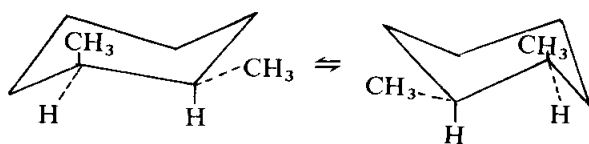
e และ a ที่คาร์บอนเว้ากันหนึ่งหรือสามคาร์บอนเป็น ทรานส์ไอโซเมอร์

ตัวอย่าง

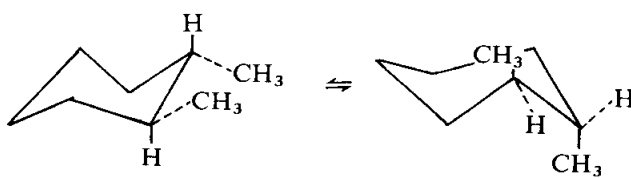
จงเขียนโครงสร้างแสดงคอนฟอร์เมชันรูปเก้าอี้ของ cis - 1, 2 - dimethylcyclohexane

และของ trans - 1, 2 - dimethylcyclohexane

เฉลยดังนี้



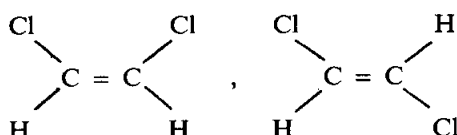
cis - 1, 2 - Dimethylcyclohexane



trans - 1, 2 - Dimethylcyclohexane

## สรุปเนื้อหาสาระสำคัญ

1. ไอโซเมอร์ชนิดโครงสร้าง เป็นไอโซเมอร์ที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่สูตรโครงสร้าง ทั้งนี้เพราะอะตอมทั้งหลายในโมเลกุลต่อกันในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น  $C_2H_6O$  มีไอโซเมอร์ชนิดโครงสร้าง 2 ไอโซเมอร์ ได้แก่  $CH_3-CH_2-OH$ ,  $CH_3-O-CH_3$
2. สเตอริโอไอโซเมอร์ เป็นไอโซเมอร์ที่มีสูตรโครงสร้างเหมือนกัน อะตอมต่าง ๆ ต่อกันในลักษณะเดียวกัน แต่แตกต่างกันในวิธีการจัดตัวของอะตอมในที่ว่างแบบ 3 มิติ เช่น  $Cl-CH=CH-Cl$  มี 2 สเตอริโอไอโซเมอร์ ได้แก่



3. กฎซีเควนซ์ เป็นกฎที่ใช้ในการเรียงลำดับความสำคัญ (priority) ของอะตอมหรือหมู่อะตอม มีประโยชน์ใช้ในระบบการเรียกชื่อและใช้ในการแสดงคอนฟิกูเรชัน กฎนี้มีหลักเกณฑ์ ดังกล่าวในหัวข้อที่ 3.1
4. จีโอเมตริกไอโซเมอร์หรือซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ เป็นไอโซเมอร์ที่มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน สูตรโครงสร้างเหมือนกัน แต่มีคอนฟิกูเรชันต่างกัน ซิสและทรานส์-ไอโซเมอร์ของสารประกอบนั้น ๆ ไม่เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน จึงเป็นได-แอสเทอริโอไอโซเมอร์ จะพบในสารประกอบพวกใหญ่ ๆ 2 พวกคือ พวกอัลคีนและสารประกอบไซคลิก

4.1 ซิสไอโซเมอร์ ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2

4.2 ทรานส์ไอโซเมอร์ ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3

5. คำว่า syn- และ anti- มักใช้แสดงคอนฟิกูเรชันในพวก oxime เช่น

ในพวก aldoxime พิจารณาจากหมู่อะตอมหรืออะตอมที่มีความสัมพันธ์กันคือ -OH และ H ถ้าอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่ เรียกเป็น syn- ถ้าอยู่คนละข้างกันของพันธะคู่ เรียกเป็น anti-

ในพวก ketoxime ให้พิจารณาจากหมู่ -OH และหมู่อัลคิลที่ขนาดเล็กกว่า ถ้าอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่ก็เป็น syn- ถ้าอยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่ก็เป็น anti-

6. การเรียกชื่อจีโอเมตริกไอโซเมอร์โดยระบบ E และ Z (ดูหัวข้อที่ 3.2.3)
 

E หรือ seqtrans , Z หรือ seqcis

พิจารณาโดยอาศัยกฎซีเควนซ์ ถ้าอะตอมหรือหมู่อะตอมที่มีลำดับความสำคัญสูงสุดของแต่ละคาร์บอนนั้น ๆ อยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่ เรียกเป็น Z หรือ seqcis แต่ถ้าอยู่คนละข้างกันของพันธะคู่ ก็เรียกเป็น E หรือ seqtrans

ระบบ E และ Z นั้นนอกจากจะใช้เรียกชื่อสารประกอบพวกที่มีพันธะคู่  $C = C$  เช่นอัลคีนแล้ว ยังใช้เรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์พวกที่มีพันธะคู่  $C = N, N = N$  และสารประกอบพวกที่มีโครงสร้างเป็นวงคือสารประกอบไซคลิก
7. จำนวนของจีโอเมตริกไอโซเมอร์ =  $2^n$ 

เมื่อ n คือจำนวนพันธะคู่ซึ่งที่คาร์บอนของพันธะคู่นั้น ๆ มีอะตอมหรือหมู่อะตอมที่ไม่เหมือนกันเกาะอยู่ ดูหัวข้อที่ 3.2.4
8. ซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์จะมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน คุณสมบัติทางเคมีคล้ายกันแต่ไม่เหมือนกันทุกประการ ไอโซเมอร์ที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีคล้ายคลึงกันมักจะแตกต่างกันที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลผลิตจากปฏิกิริยาของซิสและทรานส์-ไอโซเมอร์มักจะแตกต่างกันในสเตอริโอเคมี ดูหัวข้อที่ 3.2.5
9. สารประกอบไครัล หมายถึงสารประกอบที่ไม่สามารถวางทับภาพในกระจกเงาของสารประกอบนั้นได้สนิท ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีระนาบสมมาตร
10. สารประกอบอะไครัล หมายถึงสารประกอบที่โมเลกุลมีระนาบสมมาตร และสามารถวางทับภาพในกระจกเงาได้สนิท
11. ไครัลเซ็นเตอร์ หมายถึงคาร์บอนอะตอมที่มีอะตอมหรือหมู่อะตอมที่ไม่เหมือนกันทั้งสิ้นมาเกาะอยู่
12. สารประกอบที่มีคุณสมบัติ optically active เป็นสารประกอบที่สามารถหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ ซึ่งแสงโพลาไรซ์เป็นแสงระนาบเดี่ยว ดูหัวข้อที่ 3.3.1
 

การหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไปทางขวา เรียกว่า เด็กซ์โตรโรเตตอรี หรือการหมุนตามเข็มนาฬิกา ใช้สัญลักษณ์เป็นเครื่องหมาย + หรือ d

การหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไปทางซ้าย เรียกว่า เลโวโรเตตอรี หรือการหมุนทวนเข็มนาฬิกา ใช้สัญลักษณ์เป็นเครื่องหมาย - หรือ l
13. โพลาริมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการหมุนของระนาบแสงโพลาไรซ์

14. การหมุนจำเพาะ (specific rotation) คือจำนวนองศาที่สารนั้นหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ไป เมื่อใส่สารที่ต้องการวัดลงในหลอดที่มีความยาว 1 เดซิเมตร และสารนั้นมีความเข้มข้น 1 กรัม/ซม.<sup>3</sup> คำนวณได้จากสูตร

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

15. สารที่มีคุณสมบัติ optically active ได้แก่
1. พวกที่มีไครัลเซ็นเตอร์ หรือไครัลคาร์บอนอะตอม
  2. พวกที่มีแกนของไครัลลิตี
  3. พวกที่มีระนาบของไครัลลิตี
16. อีแนนทิโอเมอร์ เป็นโมเลกุลของสารประกอบที่เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน แต่ไม่สามารถวางทับภาพในกระจกเงาได้สนิท อีแนนทิโอเมอร์จะมีเป็นคู่ ๆ มีคุณสมบัติ optically active แต่ละอีแนนทิโอเมอร์ที่เป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ซึ่งกันและกัน จะมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกัน ยกเว้นการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ โดยที่แต่ละไอโซเมอร์ในคู่ นั้น ๆ จะหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์เป็นจำนวนองศาเท่ากันแต่หมุนในทิศทางตรงข้ามกัน สำหรับคุณสมบัติทางเคมีก็จะเหมือนกัน ยกเว้นเมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบไครัล อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกัน ดูหัวข้อที่ 3.3.2
17. โมเลกุลที่มีหนึ่งไครัลเซ็นเตอร์ จะมีสองอีแนนทิโอเมอร์ หรือมีคู่อีแนนทิโอเมอร์จำนวน 1 คู่
- ถ้าโมเลกุลมีจำนวนไครัลเซ็นเตอร์มากขึ้นจะมีจำนวนสเตอริโอไอโซเมอร์เป็น  $2^n$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนไครัลเซ็นเตอร์ที่ไม่เหมือนกัน ถ้ามีไครัลเซ็นเตอร์ที่เหมือนกันจำนวนอีแนนทิโอเมอร์จะไม่เท่ากับ  $2^n$  ดูหัวข้อที่ 3.3.3
18. ไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์ หรือบางที่เรียกไดแอสเตอริโอเมอร์เป็นสเตอริโอไอโซเมอร์ที่ไม่เป็นภาพในกระจกเงาซึ่งกันและกัน
19. สารประกอบเมโซ เป็นสารประกอบที่โมเลกุลเป็นอะไครัล แต่มีไครัลเซ็นเตอร์ ถึงแม้ว่ามีไครัลเซ็นเตอร์แต่ก็ไม่มีคุณสมบัติ optically active คือไม่สามารถหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ ทั้งนี้เพราะทิศทางของการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์จะหักล้างกันเองระหว่างแต่ละครึ่งของโมเลกุลที่ถูกแบ่งโดยระนาบสมมาตร ดูหัวข้อที่ 3.3.4

20. ราชิเมตหรือสารผสมราชิเมก เป็นสารผสมของสองอีแนนทิโอเมอร์คือ  $d$  (หรือ  $+$ ) และ  $l$  (หรือ  $-$ ) ในอัตราส่วน 50 : 50 ราชิเมตจะไม่มีคุณสมบัติ optically active ทั้งนี้ เพราะการหมุนระนาบแสงโพลาไรซ์จะหักล้างกันเองระหว่างสองอีแนนทิโอเมอร์ที่มีปริมาณเท่า ๆ กัน แต่ในทิศทางตรงข้ามกัน ดังนั้นค่าการหมุนจำเพาะของราชิเมตจะเป็นศูนย์

ใช้เครื่องหมาย ( $\pm$ ) หรือสัญลักษณ์ ( $d,l$ ) ไว้ข้างหน้าชื่อสารประกอบเพื่อแสดงว่าเป็นราชิเมต ดูหัวข้อที่ 3.4

21. เรโซลูชัน เป็นการแยกราชิเมตออกเป็นแต่ละอีแนนทิโอเมอร์
22. โพรเจกชัน เป็นการเขียนรูปแบบแทนสูตรโครงสร้างสามมิติมีดังนี้
1. ฟิชเชอร์โพรเจกชัน
  2. ซอฮอร์สโพรเจกชัน
  3. นิวแมนโพรเจกชัน

ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.5

24. คอนฟิเจอร์ชัน หมายถึงการจัดอะตอมหรือหมู่อะตอมรอบ ๆ ไครัลเซ็นเตอร์ในที่ว่าง ลำดับในการจัดเรียงอะตอมหรือหมู่อะตอมรอบ ๆ ไครัลคาร์บอนอะตอม เรียกว่า คอนฟิเจอร์ชันที่แท้จริงรอบคาร์บอนนั้น ซึ่งใช้ระบบ R และ S แสดงคอนฟิเจอร์ชันที่แท้จริงในโมเลกุลสารประกอบ หลักเกณฑ์ของระบบ R และ S ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.6

25. คอนฟอร์เมชัน หมายถึงรูปร่างของโมเลกุลซึ่งแสดงการจัดตัวของอะตอมหรือหมู่อะตอมในที่ว่างเนื่องมาจากการหมุนรอบ ๆ พันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน ดูหัวข้อที่ 3.7


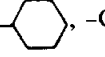
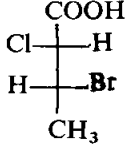
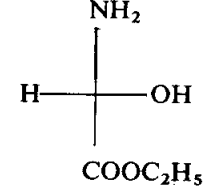
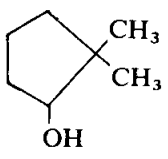
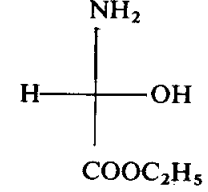
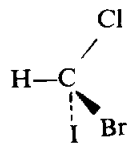
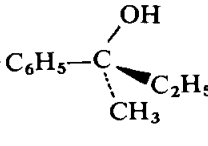
คอนฟอร์เมอร์ หมายถึง โมเลกุลที่มีรูปร่างแต่ละแบบแตกต่างกันโดยเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง อันเนื่องจากการหมุนรอบ ๆ พันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน

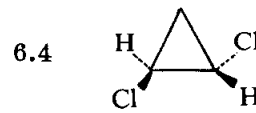
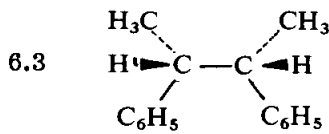
26. คอนฟอร์เมชันของสารประกอบอะไซคลิก เช่น อีเทน บิวเทน ดูรายละเอียดจากหัวข้อที่ 3.7.1

คอนฟอร์เมชันของสารประกอบไซคลิก เช่น ไซโคลเฮกเซน ดูรายละเอียดจากหัวข้อที่ 3.7.2



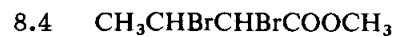
### แบบฝึกหัดทบทวนบทที่ 3

- จงเขียนนิวแมนโพรเจกชันและฟิชเชอร์โพรเจกชันของ  $\text{CH}_3\text{CHClC}_2\text{H}_5$
- จงเขียนสูตรโครงสร้างทุกไอโซเมอร์ของ monobromoisopentane และใส่เครื่องหมายดอกจันไว้เหนือคาร์บอนที่เป็นไครัลคาร์บอน
- จงเรียงลำดับความสำคัญ (priority) ของอะตอมหรือหมู่อะตอมต่อไปนี้
  - $\text{H}, \text{CH}_3, \text{NH}_2, \text{Cl}$
  - $-\text{COOH}, -\text{COOCH}_3, -\text{CH}_2\text{OH}, -\text{OH}, \text{H}$
  - หมู่ n-butyl, หมู่ isobutyl
  - $-\text{CH}_2\text{NH}_2, -\text{NH}_2, -\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2, -\text{NHCH}_3$
  - , ,  $-\text{C}\equiv\text{N}, -\text{C}\equiv\text{CH}, -\text{CH}=\text{CH}_2$
  - $-\text{CH}_2\text{SH}, -\text{CH}_2\text{Br}, -\text{CH}_2\text{OH}, -\text{CHCl}_2$
- สารประกอบต่อไปนี้ตัวใดบ้างที่แสดงจีโอเมตริกไอโซเมริซึม
  - $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{NOH}$
  - 1, 2 - Dichloroethene
  - 2 - Pentene - 4 - yne
  - 2, 3 - Dimethyl - 2 - pentene
  - $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CHCOOH}$
  - $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHOHCHO}$
- จงเขียนอีนันทิโอเมอร์ของสารประกอบต่อไปนี้
  - $\text{CH}_3\underset{\text{OH}}{\text{CH}}\text{COOH}$
  - 
  - $\text{CH}_3\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}\text{CH}_2\text{CH}_3$
  - 
  - 
  - 
- สารประกอบต่อไปนี้ที่มีคอนฟิกูเรชันตามระบบ R, S อย่างไร
  - 
  - 

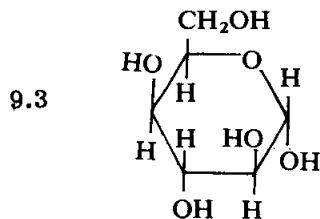


7. จงเขียนคอนฟอร์เมชันที่เสถียรที่สุดของ 1, 3 - diethylcyclohexane พร้อมทั้งเขียนกำกับไว้ด้วยว่าเป็นซิสหรือทรานส์ไอโซเมอร์

8. สารประกอบต่อไปนี้ตัวใดบ้างที่มีสองไครัลเซ็นเตอร์ที่เหมือนกัน และจงเขียนพีชเชอร์โพรเจกชันของสารประกอบเมโซของ



9. สารประกอบต่อไปนี้ มีกี่ไครัลเซ็นเตอร์, มีกี่อีแนนทิโอเมอร์, มีกี่คู่อีแนนทิโอเมอร์, มีกี่ราซิเมต และมีกี่เมโซฟอร์ม ?

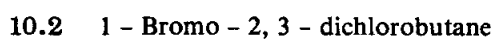


10. จงเขียนโพรเจกชันของทุก ๆ สเตอริโอไอโซเมอร์ของสารประกอบต่อไปนี้ พร้อมทั้งเขียนกำกับด้วยว่า :-

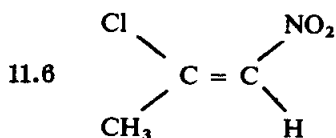
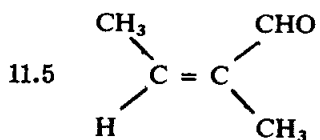
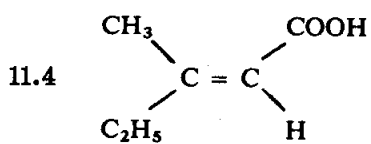
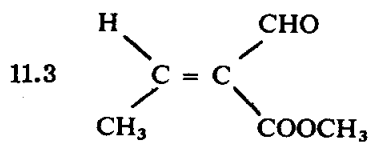
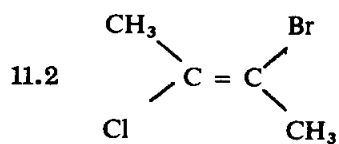
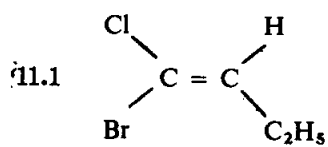
ก. มีคอนฟิกูเรชันตามระบบ R และ S อย่างไรบ้าง ?

ข. มีคุณสมบัติ optically active หรือไม่ ?

ค. เป็นเมโซฟอร์ม (ถ้าเป็น)



11. อัลคีนต่อไปนี้ เป็น E หรือ Z ไอโซเมอร์



12. จงเขียนสูตรโครงสร้างของจีโอเมตริกไอโซเมอร์ของ 2, 4 - heptadiene พร้อมทั้งอ่านชื่อ