



สมดุลเคมี (Chemical equilibrium)

1. สมดุลเคมี เป็นสมดุลแบบไดนามิกหรือสมดุลพลวัต (dynamic equilibrium) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับอยู่ตลอดเวลา ไม่หยุดนิ่ง

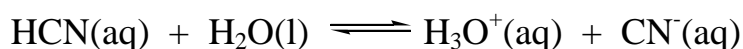
2. ประเภทของสมดุลไดนามิก

2.1 ภาวะสมดุลระหว่างสถานะ เกิดจากสถานะที่แตกต่างกัน

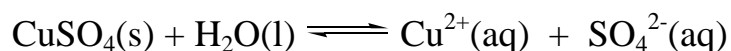
ประเภทสมดุล	การเปลี่ยนแปลง	ภาวะของสมดุล	ตัวอย่าง
สมดุลของการหลอมเหลว	$\text{solid} \rightleftharpoons \text{liquid}$	อัตราการหลอมเหลวเท่ากับอัตราการแข็งตัว	$\text{H}_2\text{O(s)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O(l)}$
สมดุลของการกลายเป็นไอ	$\text{liquid} \rightleftharpoons \text{gas}$	อัตราการระเหยเท่ากับอัตราการกลั่นตัว	$\text{H}_2\text{O(l)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O(g)}$
สมดุลของการระเหิด	$\text{solid} \rightleftharpoons \text{gas}$	อัตราการระเหิดเท่ากับอัตราการเกิดผลึก	$\text{I}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{g})$

2.2 ภาวะสมดุลในสารละลาย

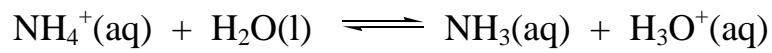
1) สมดุลของการแตกตัว เกิดขึ้นกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อนในน้ำ ส่วนหนึ่งแตกตัวเป็นไอออน ในขณะที่บางส่วนของไอออนจะรวมกันเป็น โมเลกุล เช่น



2) สมดุลของการละลาย เกิดขึ้นกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่หรืออนอิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ในภาวะอิ่มตัว (ถ้าไม่อิ่มตัวจะไม่เกิดสมดุลเกิดขึ้น) ซึ่งกล่าวได้ว่าอัตราการละลายเท่ากับอัตราการตกผลึก



2.3 ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี เช่น



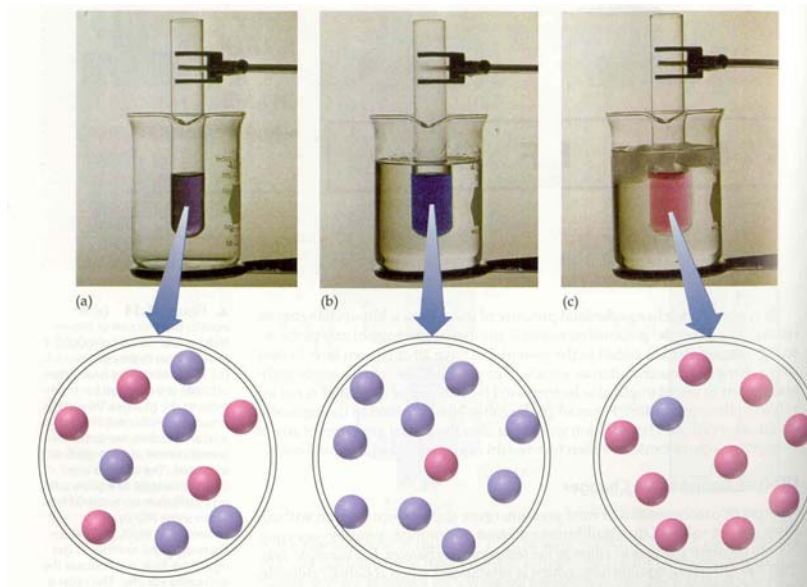
3. ปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible reaction)

ในการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เมื่อสารตั้งต้นเข้าทำปฏิกิริยากันได้สารผลิตภัณฑ์จะเรียกว่าปฏิกิริยาไปข้างหน้า และเมื่อสารผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากันแล้วได้เป็นสารตั้งต้นเรียกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีทั้งไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับจะเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้หรือปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (reversible reaction)

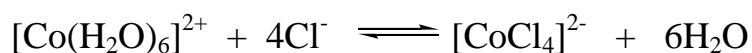
ปฏิกิริยาไปข้างหน้า Reactant \longrightarrow Product

ปฏิกิริยาย้อนกลับ Reactant \longleftarrow Product

ปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ Reactant \rightleftharpoons Product



ปฏิกิริยาผันกลับได้ของสารละลาย



ณ อุณหภูมิห้องไอออนทั้งสองของโคบอลต์จะปะปนกันอยู่ในสารละลาย และเป็นสารละลายสีม่วง ต่อเมื่อเราให้ความร้อนแก่สารละลาย ปฏิกิริยาไปข้างหน้าจะเกิดได้มากขึ้น สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินในรูปของ $[\text{CoCl}_4]^{2-}$ และเมื่อนำสารละลายนี้มาทำให้เย็น ปฏิกิริยาย้อนกลับจะเกิดได้มากขึ้นให้สารละลายสีชมพูในรูปของ $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ในบทนี้เราจะศึกษาเรื่องสมดุลเคมี รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมดุลเคมี

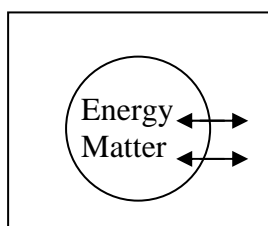
ปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่มักจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ คือมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เกิดสารผลิตภัณฑ์หรือการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าและการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับหรือการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เกิดสารตั้งต้นเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าเท่ากัน แสดงว่าระบบเข้าสู่ สมดุลเคมี (**Chemical Equilibrium**)

4. ระบบกับสิ่งแวดล้อม (System and surrounding)

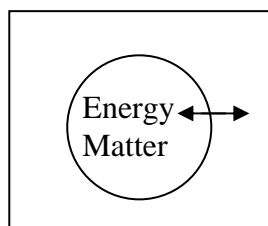
- 1) ระบบ สิ่งที่เราศึกษาหรือทดลอง
- 2) สิ่งแวดล้อม คือสิ่งที่อยู่นอกระบบ

5. ชนิดของระบบ

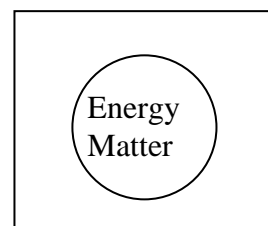
- 1) ระบบเปิด (Opened system) คือระบบที่มีการถ่ายเทได้ทั้งมวลสารและพลังงานกับสิ่งแวดล้อม
- 2) ระบบปิด (Closed system) คือระบบที่มีการถ่ายเทเฉพาะพลังงานอย่างเดียว แต่ไม่มีการถ่ายเทมวลสาร
- 3) ระบบโดดเดี่ยว (Isolated system) คือระบบที่ไม่มีการถ่ายเททั้งพลังงานและมวลสารแก่สิ่งแวดล้อม



Opened system



Closed system



Isolated system



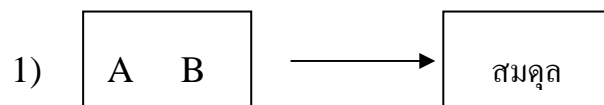
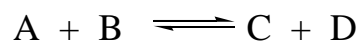
ตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงต่อไปนี้จะจัดว่าเป็นระบบแบบใด

- | | |
|---|-----------|
| 1) การหลอมเหลวแอมพารินในชามกระเบื้อง | ระบบ..... |
| 2) ใส่โลหะทองแดงลงในสารละลายกรดไนตริก | ระบบ..... |
| 3) ผสมกรด HCl กับ NaOH ในบีกเกอร์ | ระบบ..... |
| 4) ตั้งบีกเกอร์ใส่น้ำปูนใสไว้บนโต๊ะจนกระทั่งมีฝ้าสีขาว
ลอยอยู่บนน้ำปูนใส | ระบบ..... |

6. ระบบที่อยู่ในภาวะสมดุล

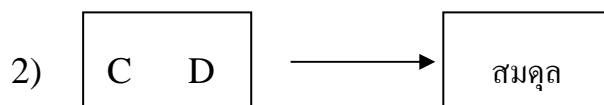
- เกิดในระบบปิด
- อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับปฏิกิริยาย้อนกลับ
- เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้
- มีสมบัติคงที่ (สี อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้น และ จำนวน โมล)

ตัวอย่าง จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้จงตอบคำถาม



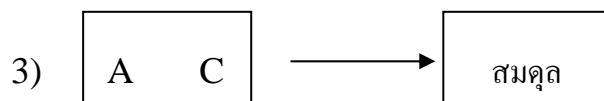
ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ หรือ ไม่ได้ สารใดเกิดใหม่

สารใดที่มีจำนวน โมลเพิ่มขึ้น.....สารใดที่มีจำนวน โมลลดลง.....



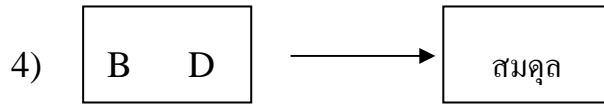
ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ หรือ ไม่ได้ สารใดเกิดใหม่

สารใดที่มีจำนวน โมลเพิ่มขึ้น.....สารใดที่มีจำนวน โมลลดลง.....



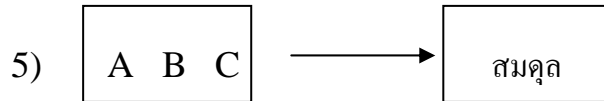
ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ หรือ ไม่ได้ สารใดเกิดใหม่

สารใดที่มีจำนวน โมลเพิ่มขึ้น.....สารใดที่มีจำนวน โมลลดลง.....



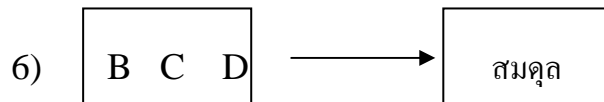
ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ หรือ ไม่ได้ สารใดเกิดใหม่

สารใดที่มีจำนวน โมลเพิ่มขึ้น.....สารใดที่มีจำนวน โมลลดลง.....



ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ หรือ ไม่ได้ สารใดเกิดใหม่

สารใดที่มีจำนวน โมลเพิ่มขึ้น.....สารใดที่มีจำนวน โมลลดลง.....



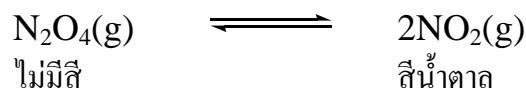
ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลได้ หรือ ไม่ได้ สารใดเกิดใหม่

สารใดที่มีจำนวน โมลเพิ่มขึ้น.....สารใดที่มีจำนวน โมลลดลง.....

7. ภาวะสมดุล

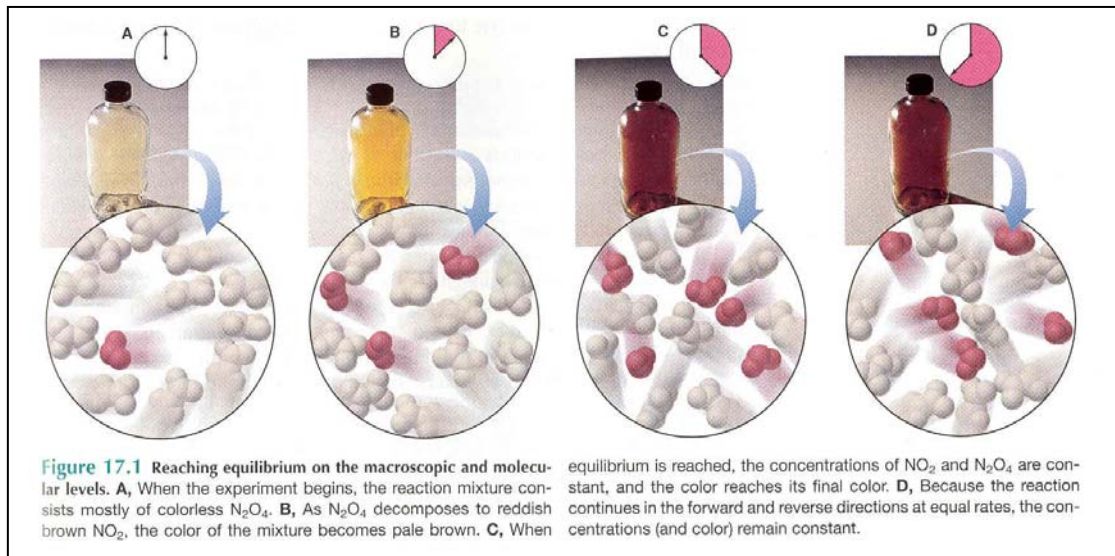
อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีไปข้างหน้าเท่ากับปฏิกิริยาย้อนกลับ

เริ่มต้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเริ่มลดลง ในขณะที่ปฏิกิริยาย้อนกลับเริ่มเพิ่มขึ้น ที่ภาวะสมดุลอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าเท่ากันถ้าไม่มีการรบกวน สมดุลเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่นการทดลองในระบบของสารต่อไปนี้ดังสมการ

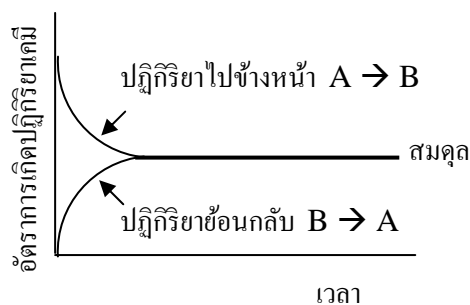
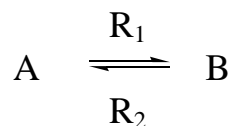


เมื่อเรานำก๊าซไนโตรเจนเตตระออกไซด์ใส่ไว้ในขวดที่มีฝาปิด และทำให้มีอุณหภูมิ 100°C ก๊าซในขวดจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและค่อย ๆ เข้มขึ้นเรื่อย ๆ จนความเข้มสีคงที่ เมื่อทำการศึกษาในระดับโมเลกุลพบว่า ในช่วงแรกโมเลกุลของ N_2O_4 จะแพร่กระจายไปทั่วขวด จากนั้นจึงค่อย ๆ สลายตัวเป็น NO_2 ซึ่งมีสีน้ำตาล และโมเลกุลของ NO_2 จะค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้น จึงเห็นเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้น เมื่อจำนวนโมเลกุลของ N_2O_4 น้อยลง N_2O_4 ก็จะสลายตัวช้าลงด้วย

ในขณะที่โมเลกุลของ N_2O_4 สลายตัว โมเลกุลของ NO_2 จะเกิดขึ้น และเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า (การสลายตัวของ N_2O_4) เท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (การเกิด N_2O_4) ภาวะนี้เรียกว่า ภาวะสมดุล



8. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับเวลาในระบบที่มีภาวะสมดุล



เมื่อเปรียบเทียบ R_1 และ R_2 ควรเป็นอย่างไร

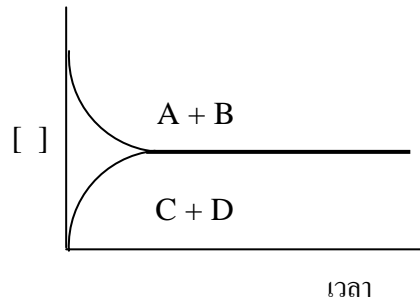
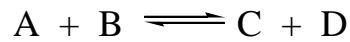
ที่เริ่มต้นปฏิกิริยา $R_1 \dots\dots\dots R_2$

ที่ภาวะสมดุล $R_1 \dots\dots\dots R_2$

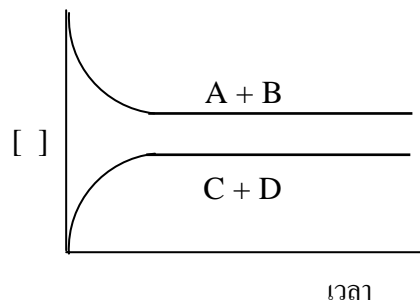
นอกจากการเกิดภาวะสมดุลนั้นจะต้องเป็นระบบปิด เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้แล้ว ภาวะสมดุลจะเกิดขึ้นได้อีกประการหนึ่งที่สำคัญคือคุณสมบัติของระบบคงที่ทั้ง สី กลั่น และความเข้มข้นของสาร



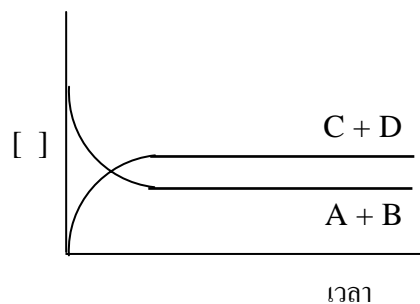
กราฟแสดงในเทอมของความเข้มข้นของสมดุลไดนามิกของสารแต่ละตัวในระบบได้ ซึ่งที่ภาวะสมดุลความเข้มข้นของสารทุกตัวในระบบจะคงที่ดังกราฟต่อไปนี้



กราฟแสดงความเข้มข้นที่ภาวะสมดุลเมื่อความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ เท่ากับ สารตั้งต้น



กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ภาวะสมดุลเมื่อความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ น้อยกว่า สารตั้งต้น



กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ภาวะสมดุลเมื่อความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ มากกว่า สารตั้งต้น

การแสดงกราฟสมดุลของระบบในแง่ความเข้มข้นไม่จำเป็นต้องเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารทุกตัวกับเวลา อาจเขียนพิจารณาแค่สารใดสารหนึ่ง



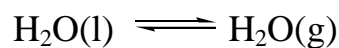
9. ภาวะสมดุลกับตัวเร่งปฏิกิริยา

หากนำตัวเร่งใส่เข้าไปในปฏิกิริยาที่สามารถเกิดภาวะสมดุลได้และปฏิกิริยาขณะนั้นยังไม่เข้าสู่สมดุล ตัวเร่งจะเร่งให้เข้าสู่ภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น โดยจะเร่งให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับให้เท่ากัน แต่ถ้าภาวะนั้นเข้าสู่สมดุลแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่มีผลต่อระบบ

10. สมดุลเอกพันธ์และสมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous and heterogeneous equilibrium)

สมดุลเอกพันธ์คือสมดุลที่มีสามตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทุกชนิดมีวิภาคเดียวกัน ส่วนสมดุลที่มีวิภาคต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดเรียกว่าสมดุลวิวิธพันธ์

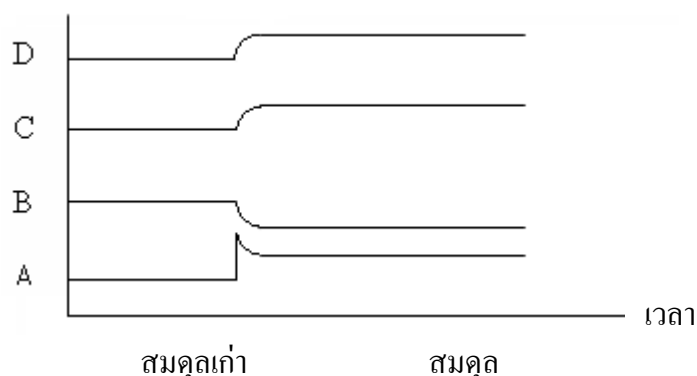
ตัวอย่างสมดุลวิวิธพันธ์ได้แก่สภาวะระหว่างน้ำในสถานะของเหลวกับน้ำในสถานะไอ



เลอชาเตอริเอ (Lechatelier) กล่าวว่า ระบบใดก็ตามที่เข้าสู่ภาวะสมดุล หากระบบถูกรบกวนด้วยภาวะต่างๆ (ความเข้มข้น อุณหภูมิ หรือ ความดัน) จะทำให้ระบบที่เข้าสู่สมดุลนั้นเสียไป แต่ระบบจะพยายามปรับสภาวะให้เข้าสู่สมดุลอีกครั้ง แต่จะไม่เหมือนสมดุลครั้งแรก

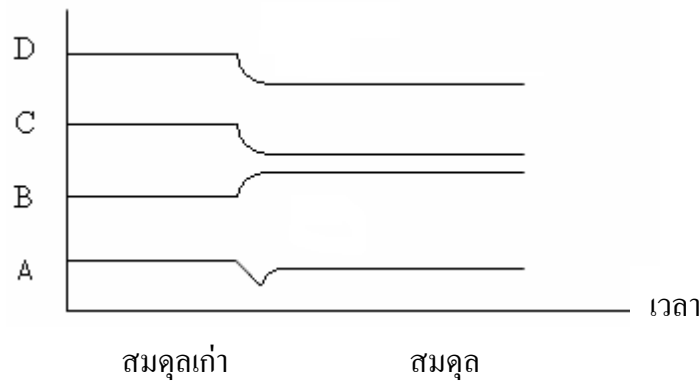
เช่น จากปฏิกิริยา $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$ ซึ่งอยู่ในภาวะสมดุลถ้าเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตัวหนึ่งตัวใดของระบบจะทำให้สมดุลเปลี่ยน

ถ้าเพิ่ม [A] จะทำให้สมดุลเปลี่ยนทิศทาง เพื่อลดความเข้มข้นของ A ตามหลักเลอชาเตอริเอ สมดุลเปลี่ยนจากซ้ายไปขวา ที่สมดุลใหม่ [A] เพิ่มขึ้น [B] ลดลง [C] และ [D] เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสมดุลเดิม



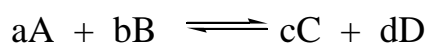


ถ้าลด [A] จะทำให้สมดุลเปลี่ยนทิศทาง เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ A ตามหลักเลอชาเตอริเอ สมดุลเปลี่ยนจากขวาไปซ้าย ที่สมดุลใหม่ [A] ลดลง [B] เพิ่มขึ้น [C] และ [D] ลดลง เมื่อเทียบกับสมดุลเดิม



11. ค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี

กำหนดให้ปฏิกิริยาเคมีคือ

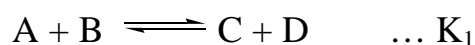


เมื่อเขียนค่าคงที่สมดุล (K) จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad \dots (1)$$

หากมีการเปลี่ยนแปลงสมการเคมี เช่นกลับสมการจากสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์หรือจำนวนโมลของสมการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ก็จะมีผลต่อค่าคงที่สมดุลใหม่ด้วย ดังตัวอย่าง

กรณีที่ 1. ถ้ากลับสมการจากสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ค่าคงที่สมดุลใหม่จะเป็นส่วนกลับกับค่าคงที่เดิมเช่น



ค่าคงที่สมดุลคือ $K_1 = \frac{[C][D]}{[A][B]}$

ถ้ากลับสมการ

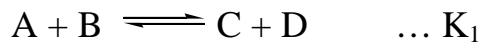


ค่าคงที่สมดุลคือ $K_2 = \frac{[A][B]}{[C][D]}$

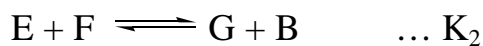


จะเห็นได้ว่า $K_2 = \frac{1}{K_1}$

กรณีที่ 2. ถ้านำสมการเคมีมารวมกันจะส่งผลต่อค่าคงที่เดิม ค่าคงที่ใหม่จะเท่ากับค่าคงที่ของปฏิกิริยาแรกคูณด้วยค่าคงที่ของปฏิกิริยาที่สองเช่น

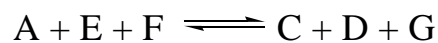


เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_1 = \frac{[C][D]}{[A][B]}$



เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_2 = \frac{[G][B]}{[E][F]}$

เมื่อรวมสมการเคมีจะได้



เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_3 = \frac{[C][D][G]}{[A][E][F]}$

จะเห็นได้ว่า $K_1 \times K_2 = \frac{[C][D][G]}{[A][E][F]} = K_3$

กรณีที่ 3. ถ้านำจำนวนเต็มใดๆ ($n = 1, 2, 3, \dots$) คูณเข้าไปในสมการจะพบว่า ค่าคงที่ใหม่เท่ากับค่าคงที่เดิมกำลัง n เช่น



เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_1 = \frac{[C][D]}{[A][B]}$

เอาสองคูณทั้งสมการจะได้



เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_2 = \frac{[C]^2[D]^2}{[A]^2[B]^2}$

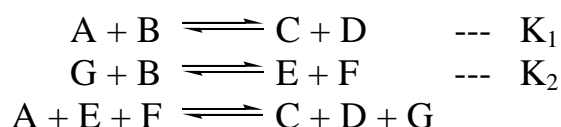
จะเห็นได้ว่า $K_2 = K_1^2$



ดังนั้นสรุปได้ว่า

- 1) ถ้ากลับสมการค่า K จะกลับเศษเป็นส่วน
- 2) ถ้านำสมการมารวมกันค่า K จะนำมาคูณกัน
- 3) ถ้าเอาเลขคูณทั้งสมการค่า K นำมายกกำลัง

ตัวอย่าง จงหาค่า K ของปฏิกิริยาต่อไปนี้



$K = \dots\dots\dots$

ตัวอย่าง ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ เท่ากับ 1×10^{12}
ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา $\text{NO}(\text{g}) + 1/2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_2(\text{g})$ เท่ากับเท่าใด

$K = \dots\dots\dots$

12. การหาค่าคงที่ K

มีทั้งหมด 4 แนวทาง

- 1) ให้หาค่าคงที่สมดุล โดยกำหนดความเข้มข้นให้ทุกค่า
- 2) ให้หาค่าคงที่สมดุล โดยกำหนดความเข้มข้นให้บางค่า ส่วนค่าที่เหลือหาจากสมการเคมี
- 3) กำหนดค่าคงที่สมดุลให้ และหาความเข้มข้นของสารแต่ละตัว
- 4) การหาค่า K เมื่อมีการรบกวนสมดุล

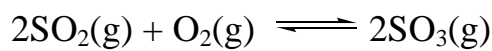
ค่า K ที่นำมาคิด คิดเฉพาะสารที่เป็น aqueous และ gas เท่านั้น

ตัวอย่าง 12.1 จากปฏิกิริยา $A(\text{s}) + 2B(\text{g}) + 2C(\text{g}) \rightleftharpoons 4D(\text{g}) + 6E(\text{s}) + F(\text{g})$ ที่ภาวะสมดุลในภาชนะ 5 ลิตรซึ่งมีสารต่างๆ ดังนี้ $A = 15 \text{ mol}$, $B = 5 \text{ mol}$, $C = 10 \text{ mol}$, $D = 20 \text{ mol}$, $E = 5 \text{ mol}$ และ $F = 5 \text{ mol}$ จงหาค่า K

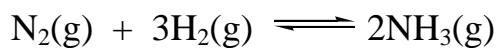


ตัวอย่าง 12.2 จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้ $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ ที่ภาวะสมดุลพบว่าความเข้มข้นของ N_2O_4 มีค่าเท่ากับ $4.50 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ และ ความเข้มข้นของ NO_2 เท่ากับ $1.61 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3$ จงคำนวณหาค่า K ของปฏิกิริยานี้

ตัวอย่าง 12.3 3.0 โมลของ SO_2 และ 1.50 โมลของ O_2 บรรจุอยู่ในภาชนะ 2.0 dm^3 ที่อุณหภูมิ 1350 K จากการทดลองพบว่าที่ภาวะสมดุลมี O_2 0.90 โมล จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา

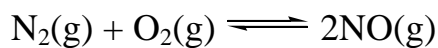


ตัวอย่าง 12.4 1.24 โมลของ H_2 และ 5.08 โมลของ N_2 บรรจุอยู่ในภาชนะ 10 dm^3 ที่ 400°C เมื่อถึงภาวะสมดุลมี NH_3 0.159 โมลเกิดขึ้น จงคำนวณหาค่า K สำหรับปฏิกิริยา





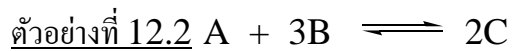
ตัวอย่าง 12.5 การทดลองในการสันดาปใน combustion chamber ที่ 1800 K ความเข้มข้นเริ่มต้นของ N_2 และ O_2 เท่ากับ 2.2 และ 0.060 mol/dm^3 ตามลำดับค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา



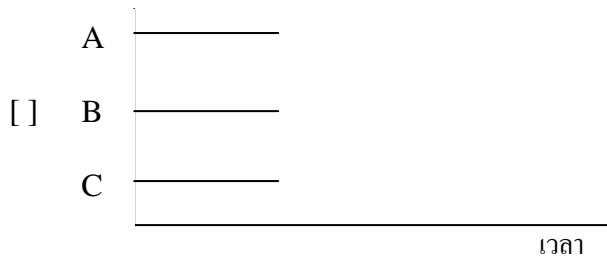
เท่ากับ 1.2×10^{-4} ที่ 1800 K จงคำนวณหาความเข้มข้นของ N_2 , O_2 และ NO ที่ภาวะสมดุล

ตัวอย่าง 12.6 จากการเผา PCl_5 0.08 โมล ในภาชนะ 2 ลิตรให้ความร้อน 250°C รอให้ถึงภาวะสมดุลพบว่าจะให้ $Cl_2(g)$ 0.05 โมล จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาที่ 250°C

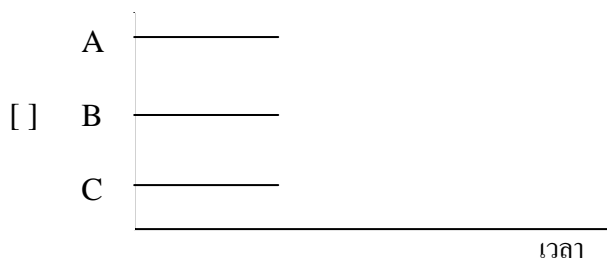
ตัวอย่าง 12.7 ปฏิกิริยา $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g) + D(g)$ ถ้าอุณหภูมิที่ 25°C ปริมาตร 1 ลิตรมีก๊าซ A, B, C และ D อยู่ 2, 2, 1 และ 1 โมลตามลำดับถ้าระบบสมดุลโดยการเติม A ลงไปโดยไม่เปลี่ยนอุณหภูมิพบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สมดุลใหม่จะมีก๊าซ B เหลืออยู่ 1.5 โมล อยากทราบว่าเติมก๊าซ A ลงไปกี่โมล



ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของ A ลงไปจงวาดกราฟแสดงภาวะสมดุลใหม่



แต่เมื่อลดความเข้มข้นของ C กราฟสมดุลใหม่จะเป็นอย่างไร



ในกรณีที่เป็นปฏิกิริยาจำพวกกรดเบส

- ถ้าเติมกรดหรือเกลือที่เป็นกรดเปรียบเสมือนเติม H^+
- ถ้าเติมเบสหรือเกลือที่เป็นเบส เปรียบเสมือนเติม OH^-

2) ความดันกับการเปลี่ยนภาวะสมดุล จะมีผลเฉพาะก๊าซหรือไอเท่านั้น ระบบจะเข้าสู่สมดุลเมื่อถูกรบกวนตามหลักของเลอชาเตอลิเอ โดยอาศัยกฎของบอยล์ (Boyle's law): $V \propto \frac{1}{P}$ และกฎของอาโวกาโดร: $V \propto n$

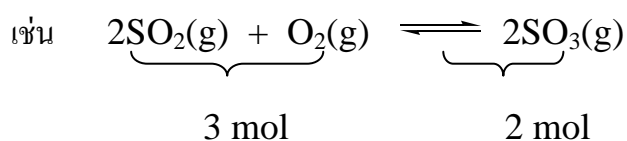
ถ้ารบกวนสภาวะสมดุลโดยการเพิ่มความดันของระบบ ระบบจะปรับตัวไปในทางที่จะลดความดันของตัวเอง โดยการลดจำนวน โมลของแก๊ส คือเกิดปฏิกิริยาจากด้านที่มีแก๊สมากไปยังด้านที่มีแก๊สน้อย แล้วเข้าสู่สมดุลใหม่



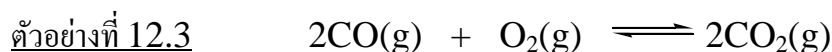
แต่ถ้าระบบภาวะสมดุลโดยการลดความดันของระบบ ระบบจะปรับตัวไปในทางที่จะเพิ่มความดันของตัวเอง โดยการเพิ่มจำนวนโมลของแก๊ส คือเกิดปฏิกิริยาจากด้านที่มีแก๊สน้อยไปยังด้านที่มีแก๊สมาก แล้วเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่

ดังนั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

ถ้าเพิ่มความดันสมดุลจะเลื่อนไปทางโมลน้อย และ ถ้าลดความดันสมดุลจะเลื่อนไปทางโมลมาก แต่ถ้านำจำนวนโมลเท่ากันเมื่อเปลี่ยนความดันระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่โดยไม่มีกรปรับตัว

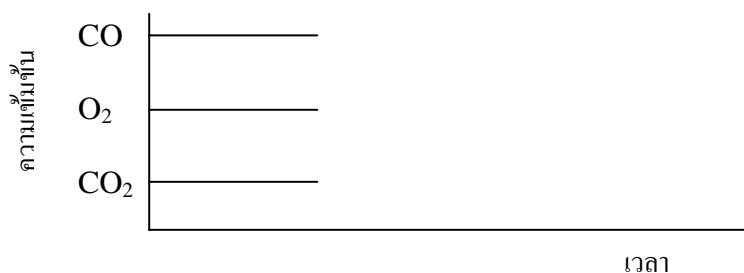


ถ้าเพิ่มความดันระบบจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลโดยเลื่อนไปทางโมลน้อย นั่นคือเลื่อนจากซ้ายไปขวา
ถ้าลดความดันระบบจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลโดยเลื่อนไปทางโมลมาก นั่นคือเลื่อนจากขวาไปซ้าย



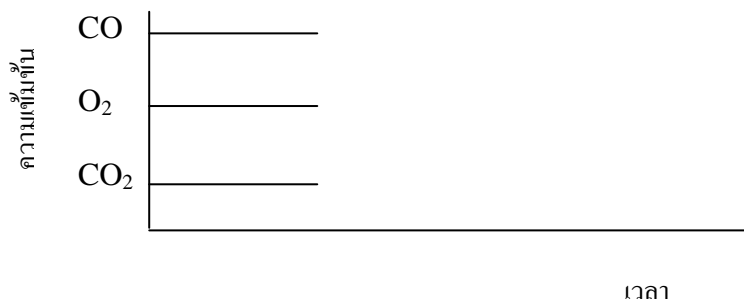
- เพิ่มความดันสมดุลเลื่อนไปทาง.....
- ลดความดันสมดุลเลื่อนไปทาง.....
- ถ้าต้องการให้สมดุลเลื่อนจากซ้ายไปขวา (สมดุลเลื่อนไปข้างหน้า) ต้องลดหรือเพิ่มความดัน.....

ถ้าเพิ่มความดันให้ระบบจะได้กราฟที่สมดุลใหม่เป็นเช่นไร





ถ้าลดความดันให้ระบบจะได้กราฟที่สมดุลใหม่เป็นเช่นไร



3) อุณหภูมิกับการเปลี่ยนภาวะสมดุล อุณหภูมิมีผลต่อสมดุลเคมีว่าดำเนินไปข้างหน้าหรือย้อนกลับต้องพิจารณาก่อนว่าปฏิกิริยาเคมีนั้นเป็นดูดหรือคายความร้อน หากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ระบบดำเนินไปข้างหน้ามากขึ้นแต่หากลดอุณหภูมิจะส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับ ในทางกลับกันหากเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนหากลดอุณหภูมิจะส่งผลให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้า แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิปฏิกิริยาจะเกิดย้อนกลับ

ตารางพิจารณาปฏิกิริยาว่าดูดหรือคายความร้อน

ปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic reaction)	ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction)
$A + B + 100 \text{ kJ} \rightleftharpoons C + D$	$A + B - 100 \text{ kJ} \rightleftharpoons C + D$
$A + B \rightleftharpoons C + D - 100 \text{ kJ}$	$A + B \rightleftharpoons C + D + 100 \text{ kJ}$
$A + B \rightleftharpoons C + D \quad \Delta H \text{ เป็นบวก}$	$A + B \rightleftharpoons C + D \quad \Delta H \text{ เป็นลบ}$
$A + B \rightleftharpoons C + D - \text{heat}$	$A + B \rightleftharpoons C + D + \text{heat}$
$A + B + \text{heat} \rightleftharpoons C + D$	$A + B - \text{heat} \rightleftharpoons C + D$
$A \rightleftharpoons C + D$	$A + B \rightleftharpoons C$

ตัวอย่าง 12.4 จากสมการ

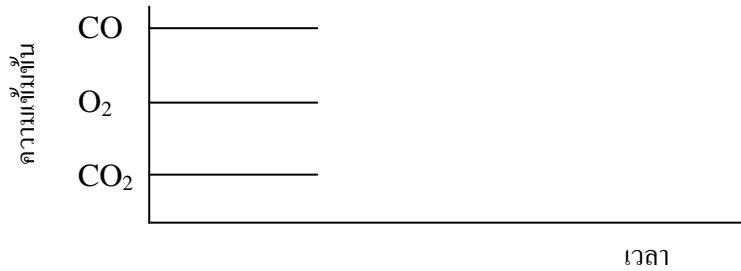


หากเพิ่มอุณหภูมิปฏิกิริยาจะปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลโดย.....

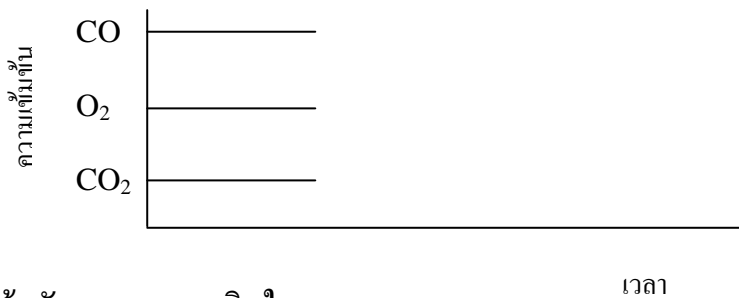


ตัวอย่าง 12.5 จากสมการ $2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO} + \text{O}_2$ จงทำนายกราฟหลังจากครบวงจรระบบ

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วระบบ

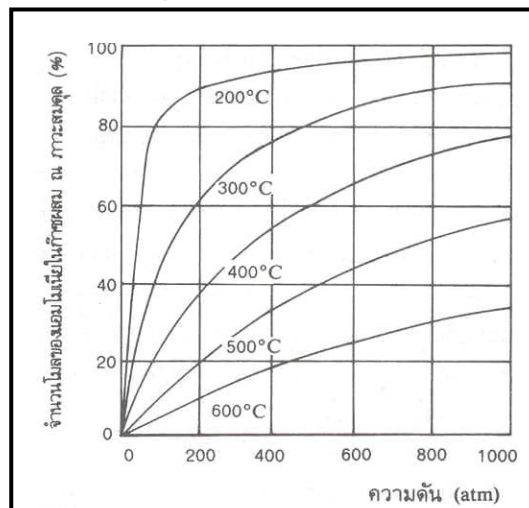
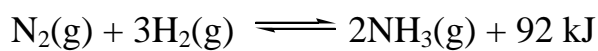


ถ้าลดอุณหภูมิแก่วระบบ



13 การใช้หลักของเลอชาเตอริเอในอุตสาหกรรม

ในการผลิตทางด้านอุตสาหกรรมผู้ลงทุนจะต้องทำการผลิตและเลือกใช้วิธีผลิตในการเปลี่ยนวัตถุดิบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มากที่สุด ในการผลิตก๊าซแอมโมเนียมีปฏิกิริยาดังนี้



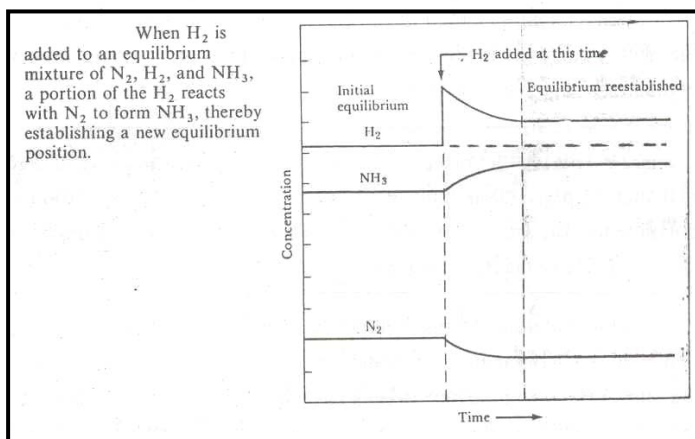
จากปฏิกิริยาถ้าอาศัยหลักของเลอชาเตอลิเอเพื่อให้ได้ก๊าซมาก ๆ ทำได้ดังนี้

- 1) ลดอุณหภูมิ
- 2) เพิ่มความดัน
- 3) เพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นและลดความเข้มข้นของสารใหม่

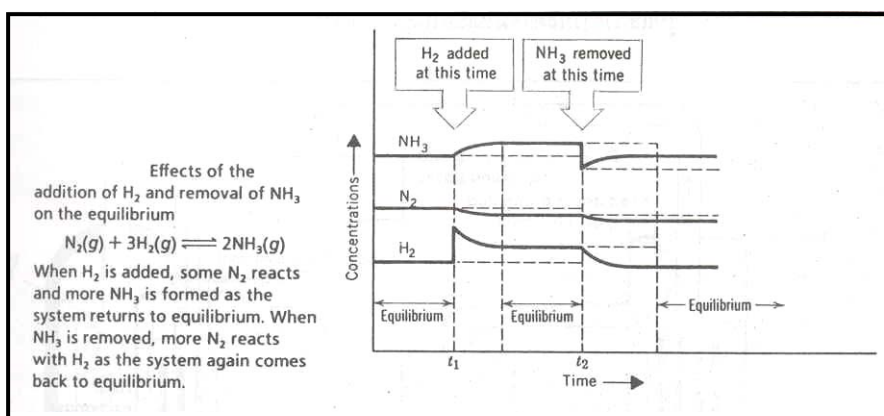
แต่ในทางปฏิบัติจะใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ เพียงอย่างเดียวไม่ได้ในทางอุตสาหกรรมจะต้องคำนึงถึงเวลาและเงินทุนด้วย

จากการทดลองพบว่าภาวะที่พอเหมาะคืออุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 500°C และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมคือเหล็ก

ปฏิกิริยาการเติม H_2

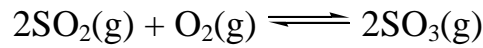


ปฏิกิริยาการเติม H_2 และการดึง NH_3





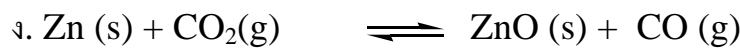
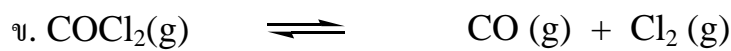
ตัวอย่างที่ 13.1 การเตรียมก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมกรดซัลฟูริก โดยการนำก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) มาทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนตั้งสมการ



ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน จึงใช้หลักเลอชาเตอลิเยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณมาก

แบบฝึกหัดเพิ่มเติมเรื่อง สมดุลเคมี

1. จงหาค่า K ของสมการต่อไปนี้ ในกรณีที่เกี่ยวข้องกับก๊าซ ให้หาทั้ง K_p และ K_C และเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ของ K_p กับ K_C ด้วย



.....

.....

.....

.....

.....

.....

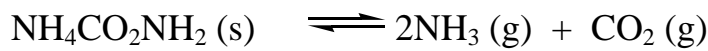


.....
.....
.....
.....

2. สมการของปฏิกิริยา $\text{CaCO}_3 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO} (\text{s}) + \text{CO}_2 (\text{g})$ ที่อุณหภูมิ 800°C ความดันของ CO_2 เท่ากับ 0.236 atm จงคำนวณ (ก) K_p (ข) K_c ที่อุณหภูมินี้

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. แอมโมเนียมคาร์บามาต ($\text{NH}_4\text{CO}_2\text{NH}_2$) สลายตัวดังสมการ



ตอนเริ่มต้นปฏิกิริยามีแอมโมเนียมคาร์บามาตที่เป็นของแข็งเพียงอย่างเดียว และเมื่ออุณหภูมิ 40°C พบว่ามีความดันของก๊าซ (NH_3 และ CO_2) เท่ากับ 0.363 atm จงคำนวณหาค่าคงที่สมคูล (K_p)

.....
.....
.....
.....

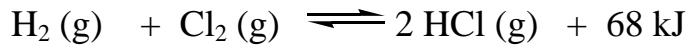
4. ที่ภาวะสมคูล ค่า K_c ของสมการ $\text{H}_2 (\text{g}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} (\text{g}) + \text{CO} (\text{g})$

เท่ากับ 4.2 ที่อุณหภูมิ 1650°C เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยานำ CO_2 0.8 โมล ฉีดเข้าไปในภาชนะขนาด 5 ลิตร ที่มี H_2 อยู่ 0.80 โมล จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่ภาวะสมคูล

.....
.....
.....
.....
.....
.....



5. จงเติมคำว่า “เพิ่มขึ้น” “ลดลง” หรือ “ไม่เปลี่ยนแปลง” ถ้ามีการรบกวนสมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้ลงในช่องว่างให้ถูกต้อง



การเปลี่ยนแปลง	[Cl ₂]	[HCl]	K
เติม H ₂ ลงไป			
เพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบ			
เพิ่มปริมาตรให้กับระบบ			

6. ปฏิกิริยาการเตรียมแอมโมเนีย $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$ ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน ในอุตสาหกรรมต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์มากที่สุดคือปฏิกิริยาเลื่อนจากซ้ายไปขวา อาศัยความรู้เรื่องหลักของเลอชาเตอลิเอในการทำให้ได้ NH_3 มาก ๆ สามารถทำได้โดย

.....



ในทางปฏิบัติจริงได้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะต่าง ๆ ให้นักเรียนเติมข้อดีและข้อเสียของการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ ลงในตาราง

สถานะ	การเปลี่ยนแปลง	ข้อดี	ข้อเสีย
อุณหภูมิ	สูง ต่ำ
	
	
ความดัน	สูง ต่ำ
	
	

ในอุตสาหกรรมเลือกใช้อุณหภูมิที่..... ความดันที่.....
และเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีผลต่อสมดุลเคมีหรือไม่.....