

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ปฏิกิริยาเคมี คือ การที่สารตั้งต้นเปลี่ยนเป็นสารใหม่ เมื่อเวลาผ่านไป สารตั้งต้นจะลดลง สารใหม่จะเกิดขึ้นจนในที่สุด

1. เกิดสารใหม่อย่างเดียว สารตั้งต้นหมดทุกตัวเหลือเหลือตัวใดตัวหนึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์
2. เกิดสารใหม่ขึ้น สารตั้งต้นทุกตัวยังเหลืออยู่ทุกตัว เรียกว่า ปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์

ทฤษฎีอธิบายการเกิดปฏิกิริยา

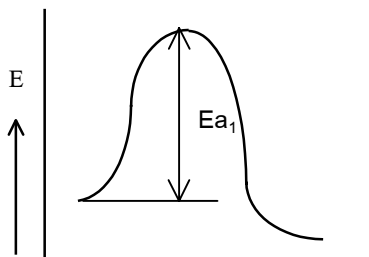
1. ทฤษฎีการชนของโมเลกุล (Collision Theory) กล่าวว่า โมเลกุลต้องมีการชนกันทุกครั้งไม่จำเป็นต้องเกิดปฏิกิริยา
2. ทฤษฎีจลน์ของโมเลกุล (Kinetic Theory) กล่าวว่า โมเลกุลต้องมีการเคลื่อนที่ที่ซึ่งก่อให้เกิดพลังงานจลน์และโมเลกุลต้องมีพลังงานสูงพอจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้

ปัจจัยที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมี

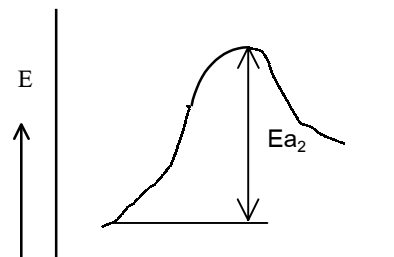
1. ต้องมีจำนวนโมเลกุลมากพอ
2. ต้องมีการชนกัน
3. ต้องมีพลังงานสูงพออย่างน้อยเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์
4. ต้องมีทิศทางที่เหมาะสม

พลังงานกระตุ้น (พลังงานก่อกัมมันต์ = Activation energy)

เป็นพลังงานอย่างต่ำที่โมเลกุลของสารต้องมีจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้ ส่วนใหญ่เป็นพลังงานจลน์ ค่าพลังงานกระตุ้นไม่เกี่ยวข้องกับความร้อนของปฏิกิริยา แต่ผลต่างของพลังงานกระตุ้นจะเป็นตัวบอกความร้อนของปฏิกิริยา ค่าพลังงานกระตุ้นจะเป็นตัวบอกอัตราของปฏิกิริยา

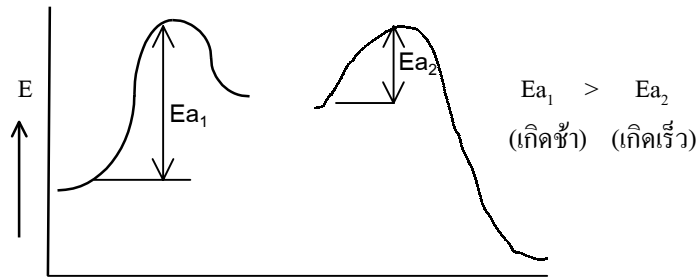


การดำเนินไปของปฏิกิริยา

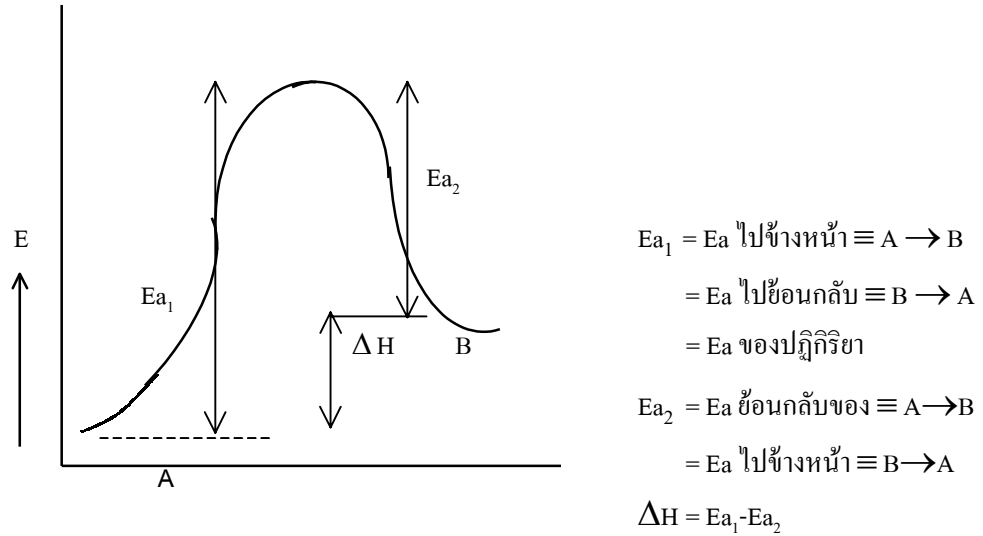


การดำเนินไปของปฏิกิริยา

$$E_{a1} = E_{a2} \rightarrow \text{อาจเป็นคายหรือดูด}$$

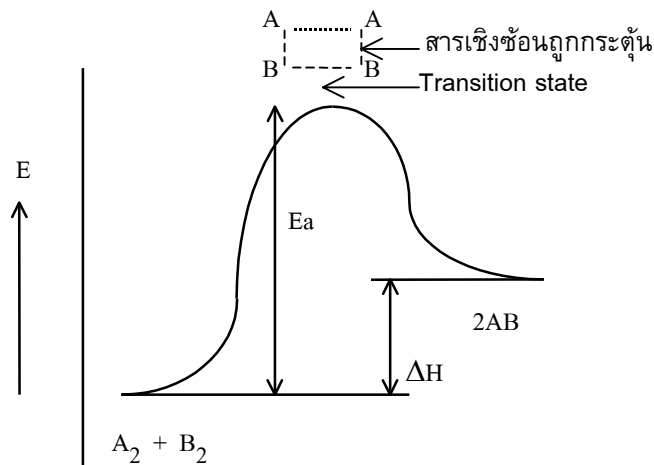
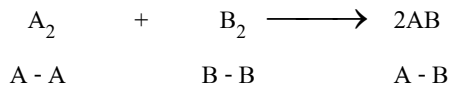


การดำเนินไปของปฏิกิริยา



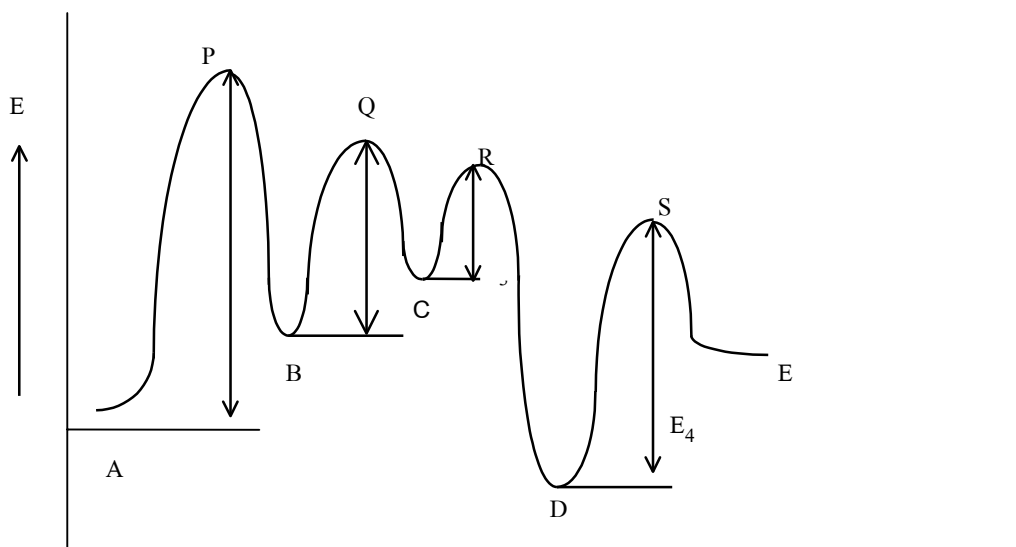
การดำเนินไปของปฏิกิริยา

ในการเกิดปฏิกิริยาจะมีสารตั้งต้นมารวมตัวกันเกิดเป็นสารใหม่ ซึ่งในระหว่างเกิดปฏิกิริยาจะมีการสลายพันธะเดิม และมีการสร้างพันธะใหม่ เราเรียนสารที่เกิดชั่วคราวนี้ว่าสารเชิงซ้อนถูกกระตุ้น (Activated Complex) และที่สภาวะเช่นนี้เรียก Transition state จะเป็นสารที่ไม่เสถียร คือ พันธะเดิมกำลังสลายตัวออกพันธะใหม่กำลังสร้าง



การดำเนินไปของปฏิกิริยา

กลไกของปฏิกิริยา ในการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยาเกิดขึ้นเดี่ยวซึ่งแสดงถึงความพร้อมของปัจจัยต่าง ๆ แต่บางปฏิกิริยาเกิดหลายขั้น เรียกว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) จะมีขั้นตอนย่อย เรียกว่า ขบวนการประสม (Elementary process) ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีอัตราเร็วไม่เท่ากัน ขั้นตอนที่เกิดช้าสุดจะเกินขั้นที่กำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา (Rate determining step)



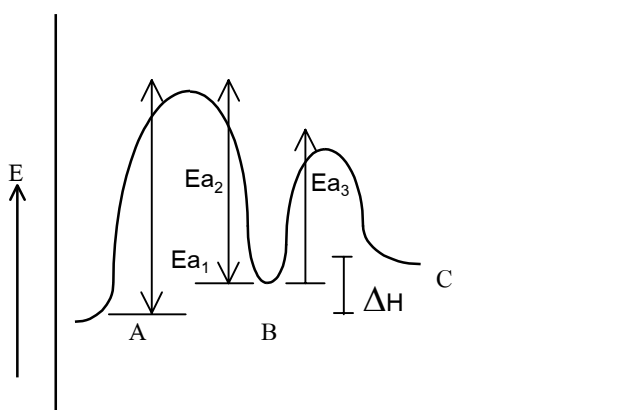
การดำเนินไปของปฏิกิริยา

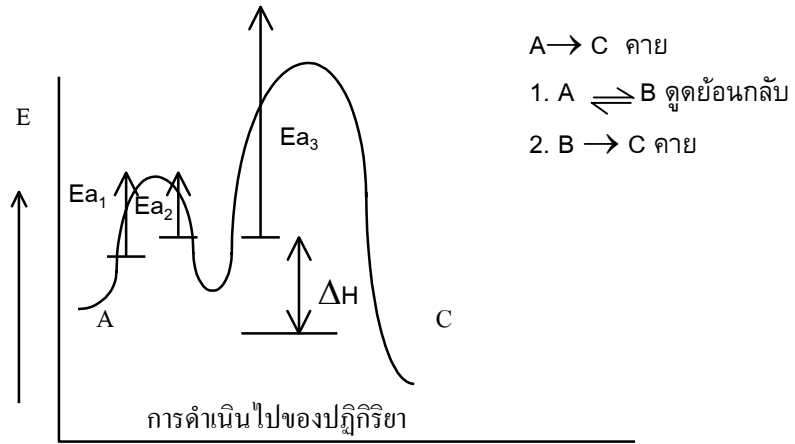
ตอบคำถามต่อไปนี้

1. สารตั้งต้นคือ
2. สารผลิตภัณฑ์คือ
3. ปฏิกิริยาเกิดกี่ขั้นอะไรบ้าง
4. ขั้นใดเกิดเร็วสุด
5. จุดหรือคาย
6. ขั้นใดกำหนดอัตราไวของปฏิกิริยา
7. พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา
8. สาร Activated complex
9. สาร Intermediate
10. ขั้นใดย้อนกลับได้

การพิจารณาปฏิกิริยาย้อนกลับ

- ปฏิกิริยา $A \rightarrow C$ คูด
1. $A \rightarrow B$ ช้าไม่ย้อน
 2. $B \rightarrow C$ เร็ว





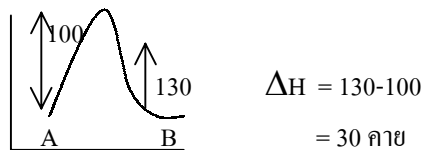
$A \longrightarrow C$ เกิด 2 ขั้น ดูดความร้อน

1. $A \longrightarrow C$ เร็วและไม่ย้อน

2. $B \longrightarrow C$ ช้า

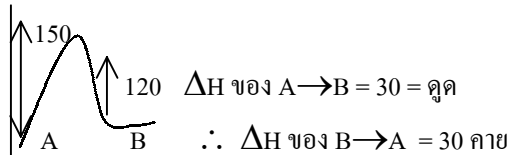
โจทย์ ปฏิกิริยา $A \longrightarrow B$ มี E_a ไปข้างหน้า = 100 E_a ย้อนกลับ = 130

จงหา ΔH ของ $\equiv A \longrightarrow B$



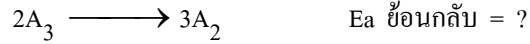
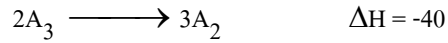
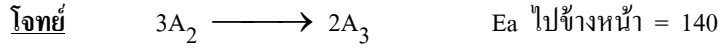
โจทย์ ปฏิกิริยา $A \longrightarrow B$ มี E_a ไปข้างหน้า = 150 ย้อนกลับ = 120

จงหา ΔH ของ $\equiv B \longrightarrow A$



โจทย์ ปฏิกิริยา $C \longrightarrow D$ มี E_a ไปข้างหน้า = 80 ความร้อนปฏิกิริยา = -60 \rightarrow คาย

จงหา E_a ย้อนกลับของปฏิกิริยา $C \longrightarrow D$



โจทย์ ปฏิกิริยาย้อนกลับของ $\equiv A \longrightarrow B$ มี E_a ย้อนกลับเท่ากับ 140 พบว่ามีความร้อนลดลง 50 จงหา E_a ไปข้างหน้าของ $\equiv A \longrightarrow B$

อัตราเร็วของปฏิกิริยา

หาได้จากอัตราส่วนของปริมาณสารที่เปลี่ยนไปในหนึ่งเวลา ซึ่งอาจเป็นสารตั้งต้นที่ลดลงหรือสารใหม่ที่เกิดขึ้น

$$\text{Rate} = \frac{\text{ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลง}}{\text{เวลา}} \quad \text{หรือ} \quad = \frac{\text{ปริมาณสารใหม่ที่เกิดขึ้น}}{\text{เวลา}}$$

ชนิดของ Rate

1. Rate เฉลี่ย คือ ปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงในหนึ่งหน่วยเวลาที่ใช้
2. Rate ขณะใดขณะหนึ่ง คือ ปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงในหนึ่งหน่วยเวลาของช่วงนั้น

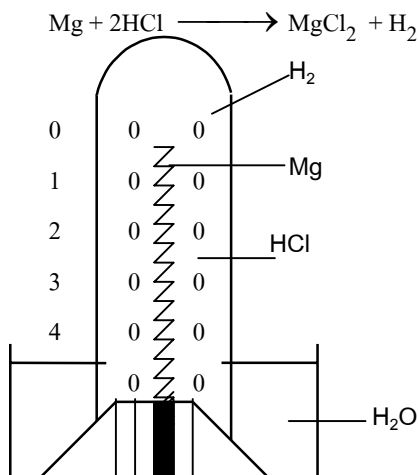
หน่วยของ Rate ก็คือหน่วยของปริมาณสารต่อหนึ่งหน่วยเวลาซึ่งมีหลายแบบ

ถ้าเป็นของแข็ง \longrightarrow กรัม/วินาที

ก๊าซ \longrightarrow cm^3/sec , dm^3/sec

สารละลาย \longrightarrow mol/dm^3

การศึกษาอัตราเร็วของปฏิกิริยา



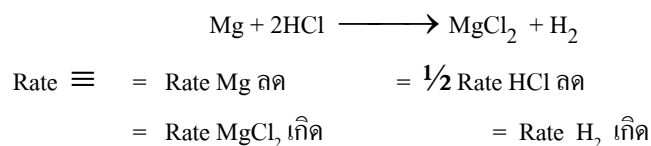
ปริมาตรก๊าซ H ₂ (cm ³)	เวลา (วินาที)
1	10
2	30
3	80
4	150
5	270

1. แต่ละช่วง 1 cm³ ของการเกิดการ H₂ จะใช้เวลาเท่ากันหรือไม่ _____
2. เมื่อเวลาผ่านไปการเกิด H₂ จะเป็นอย่างไร _____
3. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยเป็นเท่าใด _____
4. อัตราการเกิดการ H₂ ขณะที่ได้ 2-3 cm³ เป็นเท่าใด _____
5. เขียนกราฟระหว่างตัวแปรต่อไปนี้
 - ก. ปริมาณ Mg กับเวลา

 - ข. ปริมาณ H₂ กับเวลา

 - ค. Rate กับเวลา

จากปฏิกิริยาใด ๆ Rate ของปฏิกิริยาสามารถหาจากสารใดก็ได้ เช่น



สมการทั่วไป $a\text{A} + b\text{B} \longrightarrow c\text{C} + d\text{D}$

$$\text{Rate} \equiv = \frac{1}{a} \text{RATE A ลดลง} = -\frac{1}{a} \text{Rate A}$$

$$= \frac{1}{b} \text{RATE B ลดลง}$$

$$= \frac{1}{c} \text{RATE C เกิดขึ้น} = +\frac{1}{c} \text{Rate C}$$

$$= \frac{1}{d} \text{RATE D เกิดขึ้น}$$

โจทย์ 6 ปฏิกิริยา $2A + 3B \longrightarrow 4C$ จงหา Rate \equiv
Rate \equiv =

โจทย์ 7 ปฏิกิริยาหนึ่งสามารถหา Rate ของปฏิกิริยาได้จาก $\frac{1}{2}$ เท่าของ Rate A ที่ลดลงหรือ 3 เท่าของ Rate B ที่ลดลงหรือ 2 เท่าของ Rate C ที่เกิดขึ้น จงหาปฏิกิริยาที่เกิด
 $2A + \frac{1}{3}B \rightarrow \frac{1}{2}C \Rightarrow 12A + 2B \rightarrow 3C$

โจทย์ 8 ปฏิกิริยาหนึ่งสามารถหา Rate ของปฏิกิริยาได้จาก 3 เท่าของ Rate A ที่เกิดขึ้นหรือ $\frac{1}{2}$ เท่าของ Rate C ที่ลดลงหรือ $\frac{2}{3}$ เท่าของ Rate B ที่ลดลง จงหาจำนวนโมลของปฏิกิริยา

โจทย์ 9 เมื่อใช้ Al 10 กรัม ทำปฏิกิริยาสารละลาย HCl 0.8 M 100 cm³ เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที
หาว่ามี HCl เหลืออยู่ 0.3 M จงหา

ก. Rate ของปฏิกิริยา (mol/dm³.sec)

ข. Rate ของ H₂ (dm³/sec)

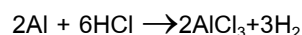
ค. Rate ของ Al (g/sec)

ข. $\frac{1}{3} \text{Rate H}_2 = \frac{1}{6} \text{Rate HCl}$

$$\text{Rate H}_2 = \frac{3}{6} \left[\frac{(0.8 - 0.3)100}{20 \times 60} \right]$$

$$= A \text{ mol/sec}$$

$$= A \times 22.4 \text{ dm}^3/\text{sec}$$



ก. Rate $\equiv \frac{1}{6} \text{Rate HCl}$

$$= \frac{1}{6} \left[\frac{0.8 - 0.3}{20 \times 60} \right]$$

ค. $\frac{1}{2} \text{Rate Al} = \frac{1}{6} \text{Rate HCl}$

$$\text{Rate Al} = \frac{2}{6} \left[\frac{(0.8 - 0.3)100}{20 \times 60} \right]$$

$$= B \text{ mol/sec}$$

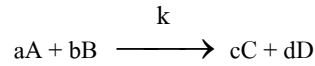
$$= 27 B \text{ g/sec}$$

โจทย์ 10 ปฏิกิริยา $2A + 3B \longrightarrow 4C$ เมื่อใช้ A 10 กรัม ทำปฏิกิริยากับ B 3.01×10^{22} โมเลกุล
เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที จงหา Rate การเกิด C (A = 20)

โจทย์ 11 ปฏิกิริยา $3A + 4B \longrightarrow 5C$ เมื่อเวลาผ่านไป 10 และ 15 นาที พบว่ามี C เกิดขึ้น 5.2×10^{-7}
และ 7.52×10^{-6} โมลต่อลิตร จงหา Rate การลดลงของ A (g/sec) เมื่อ A = 30

Law of Mass Action

กล่าวว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน



$$\text{Rate} = k [A]^m [B]^n$$

เมื่อ k = ค่าคงที่ของอัตราเร็ว

m, n = อันดับของปฏิกิริยาที่เกี่ยวกับสาร A และ B

$[A], [B]$ = ความเข้มข้นของสาร A และ B

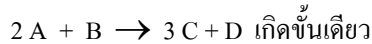
$m + n$ = อันดับปฏิกิริยารวม

ค่า m, n จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงผลของความเข้มข้นของสารที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และถ้าตัวใดมีค่ามาก ก็จะมีผลต่อ Rate มาก

ค่า m, n สามารถหาได้จากโจทย์กำหนดขั้นตอนของปฏิกิริยาหรือข้อมูลการทดลอง ซึ่งในแต่ละปฏิกิริยามีค่าแตกต่างกันไป

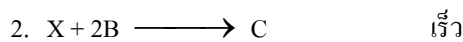
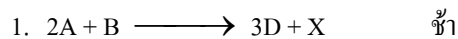
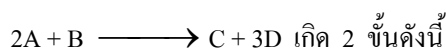
1. โจทย์กำหนดขั้นตอนของปฏิกิริยา

1.1 ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเดียว ค่า m, n เท่ากับสัมประสิทธิ์หน้าสารที่เข้าทำปฏิกิริยากัน เช่น

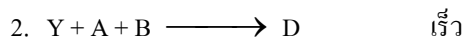
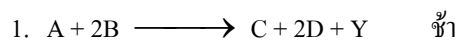


$$\text{Rate} = k [A]^2 [B]$$

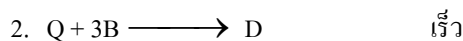
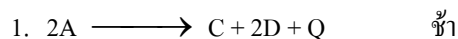
1.2 ปฏิกิริยาเกิดหลายขั้น ค่า m, n เท่ากับสัมประสิทธิ์หน้าสารในขั้นที่เกิดช้าที่สุด เช่น



$$\text{Rate} = k [A]^2 [B]$$

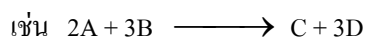


$$\text{Rate} =$$



$$\text{Rate} =$$

2. โจทย์กำหนดข้อมูลการทดลอง



	[A]	[B]	Rate
1	0.1	0.1	3.5×10^{-4}
2	0.2	0.1	14×10^{-4}
3	0.1	0.3	31.5×10^{-4}

$$\text{จาก Rate} = k[A]^m[B]^n$$

$$\text{จากการทดลองที่ 1. } 3.5 \times 10^{-4} = k[0.1]^m[0.1]^n \longrightarrow \textcircled{1}$$

$$\text{จากการทดลองที่ 2. } 14 \times 10^{-4} = k[0.2]^m[0.1]^n \longrightarrow \textcircled{2}$$

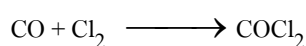
$$\textcircled{2} / \textcircled{1} \quad 4 = 2^m \Rightarrow m = 2$$

$$\text{จากการทดลองที่ 3. } 31.5 \times 10^{-4} = k[0.1]^m[0.3]^n \longrightarrow \textcircled{3}$$

$$\textcircled{3} / \textcircled{1} \quad 9 = 3^n \Rightarrow n = 2$$

$$\text{จะได้ Rate} = k[A]^2[B]^2$$

โจทย์ 12

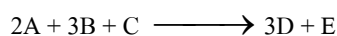


	[CO]	[Cl ₂]	Rate
1	0.14	0.21	8×10^{-5}
2	0.28	0.21	1.6×10^{-4}
3	0.56	0.21	3.2×10^{-4}
4	0.28	0.42	1.28×10^{-3}

จงหา ก. กฎอัตราเร็ว _____

ข. ค่าคงที่ของอัตราเร็ว _____

โจทย์ 13



	[A]	[B]	[C]	Rate
1	0.02	0.4	0.03	9×10^{-6}
2	0.04	0.4	0.03	4.5×10^{-6}
3	0.02	0.8	0.03	7.2×10^{-5}
4	0.02	0.4	0.09	9×10^{-6}

- ก. จงหาแกว้อตราเร็ว _____

- ข. หาค่า K _____
- ค. สารตั้งต้นใดมีผลต่ออัตราเร็ว _____
- ง. ถ้า $[A] = 0.1$ $[B] = 0.02$ $[C] = 0.01$ จะมีค่าอัตราเร็วเท่าใด

โจทย์ 14 จากการทดลองของปฏิกิริยาหนึ่งพบว่าเมื่อเพิ่ม $[A]$ 2 เท่า โดยให้ $[B]$ คงที่ Rate จะเป็น 4 เท่า แต่เมื่อเพิ่ม $[B]$ 3 เท่า โดยให้ $[A]$ คงที่ Rate จะเป็น 8 เท่า จงหาแกว้อตราเร็วของปฏิกิริยา

โจทย์ 15 จากโจทย์ข้อที่แล้ว ถ้าเพิ่ม $[A]$ เป็น 3 เท่าและเพิ่ม $[B]$ 5 เท่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นกี่เท่าของอัตราปฏิกิริยาเดิม

โจทย์ 16 จากการทดลองหนึ่งพบว่า เมื่อเพิ่ม $[A]$ 2 เท่า โดยให้ $[B]$ คงที่ Rate จะลดลง 2 เท่า แต่ถ้าลด $[B]$ 3 เท่า โดยให้ $[B]$ คงที่ Rate จะลดลง 9 เท่า จงหาแกว้อตราเร็วของปฏิกิริยา

โจทย์ 17 ปฏิกิริยาหนึ่งพบว่า Rate ปฏิกิริยาหาได้จาก $\frac{1}{3}$ Rate การลดลงของ A หรือ 2 เท่า Rate การเกิดขึ้นของ B หรือพบว่าเมื่อให้ $[A]$ คงที่แต่เพิ่ม $[C]$ 2 เท่า Rate จะเป็น 8 เท่า จงหา

ก. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

ข. ถ้าปฏิกิริยาเกิด 2 ชั้น จงเขียนขั้นตอนย่อ

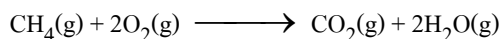
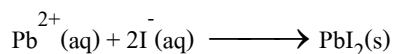
ค. สารใดมีผลต่อ Rate ของปฏิกิริยา

ปัจจัยที่มีผลต่อ Rate

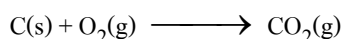
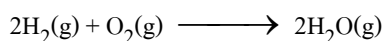
1. ธรรมชาติของสาร
2. ความเข้มข้นของสาร
3. พื้นที่ผิว
4. อุณหภูมิ
5. ภาวะไลต์
6. ความดัน

1. ธรรมชาติของสารมีผลต่อ Rate

1.1 ปฏิกริยาของสารพวกซอออนิกจะเกิดเร็วกว่าพวกโควาเลนต์

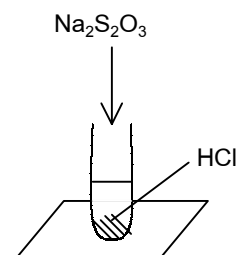
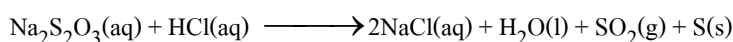


1.2 ปฏิกริยาที่เป็นก๊าซจะเกิดเร็วกว่าต่างสถานะก๊าซ



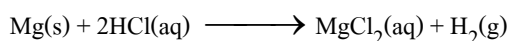
2. ความเข้มข้นของสารมีผลต่อ Rate

ศึกษาปฏิกริยาระหว่างโซเดียมไธโอซัลเฟตกับกรดไฮโดรคลอริก



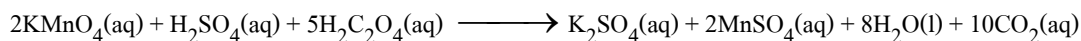
3. พื้นที่ผิวของสารมีผลต่อ Rate

ศึกษาปฏิกริยาระหว่างลวดแมกเนเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก



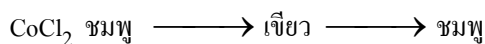
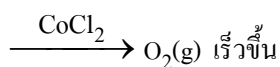
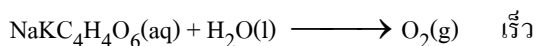
4. อุณหภูมิมีผลต่อ Rate

ศึกษาปฏิกริยาระหว่างต่างทับทิม กรดซัลฟูริกและกรดออกซาลิก



5. คะตะไลต์มีผลต่อ Rate

ศึกษาปฏิกริยาระหว่างโซเดียมโพทัสเซียมทาเทรคกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

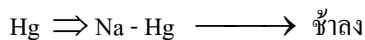
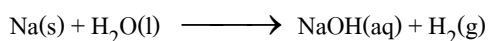
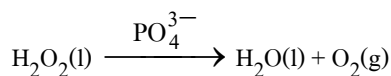


ประเภทของคะตะไลต์

1. คะตะไลต์เนื้อเดียว - จะมีสถานะเดียวกับสารตั้งต้น

2. คะตะไลต์เนื้อผสม - จะมีสถานะต่างจากสารตั้งต้น

ตัวยับยั้งปฏิกริยา (Inhibitor) หรือ ตัวหน่วยปฏิกริยาซึ่งทำให้อัตราการเกิดปฏิกริยาช้าลง เช่น



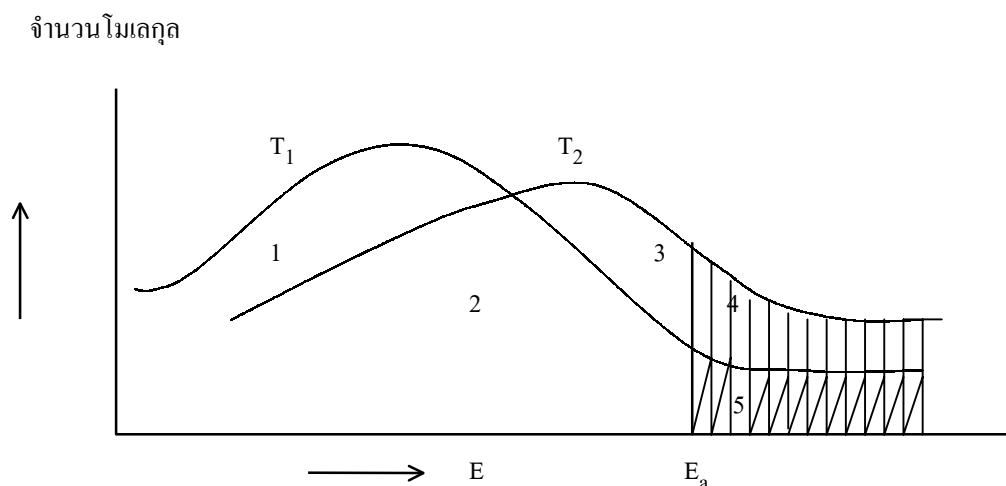
6. ความดันมีผลต่อ Rate

ปฏิกิริยาที่เป็นกาซจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วถ้าเพิ่มความดัน โดยการลดปริมาตรภาชนะจะทำให้ อัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงขึ้น

การอธิบายผลปัจจัยที่มีต่อ Rate

1. ความเข้มข้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเท่ากับเป็นการเพิ่มโมลต่อลิตร คือ การเพิ่มจำนวนโมเลกุล โอกาสชนกันมากขึ้น Rate เร็วขึ้น
2. พื้นที่ผิว เมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวเท่ากับเพิ่มพื้นที่การชน โอกาสที่โมเลกุลจะชนกันมากขึ้น Rate เร็วขึ้น
3. อุณหภูมิ โดยทั่วไปอุณหภูมิสูงขึ้น 10°C Rate ของปฏิกิริยาจะเร็วขึ้นประมาณ 2-3 เท่า เช่น ปฏิกิริยาหนึ่งที่ 20°C ใช้เวลา 200 วินาที ที่ 40°C จะใช้เวลา วินาที

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ (E_a เท่าเดิม) จะเพิ่มพลังงานให้โมเลกุล ทำให้มีจำนวนโมเลกุล ที่มีพลังงานให้โมเลกุล ทำให้มีจำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานมากกว่าพลังงานกระตุ้นมากขึ้น Rate เร็วขึ้น



จำนวน โมเลกุลที่ T_1 =

จำนวน โมเลกุลที่ T_2 =

ที่ T_1 จำนวน โมเลกุลที่เกิดปฏิกิริยา =

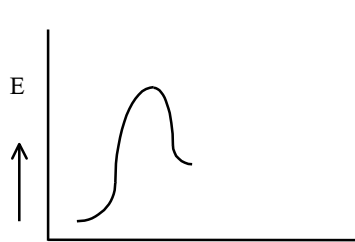
ที่ T_2 จำนวน โมเลกุลที่เกิดปฏิกิริยา =

จำนวน โมเลกุลที่เหลือ T_1 =

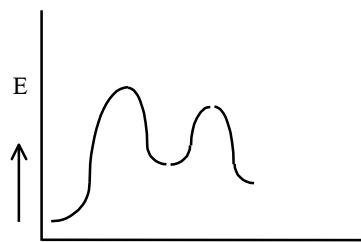
จำนวน โมเลกุลที่เหลือ T_2 =

4. สถานะเปลี่ยน เมื่อใส่สถานะเปลี่ยน ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น อธิบายใน 2 ลักษณะ

ก. เกิดทิศทางใหม่



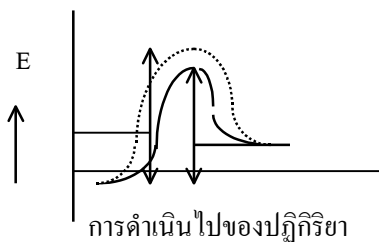
การดำเนินไปของปฏิกิริยา



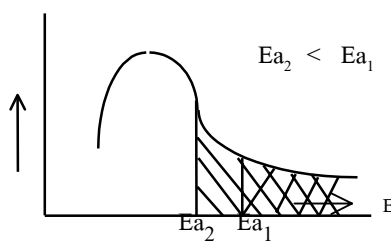
การดำเนินไปของปฏิกิริยา

ข. ลดค่าพลังงานกระตุ้น

จำนวนโมเลกุล

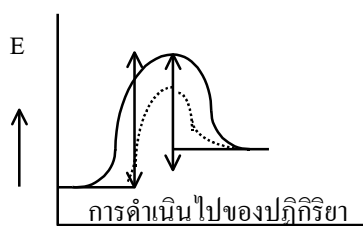


การดำเนินไปของปฏิกิริยา



ตัวยับยั้งปฏิกิริยา จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง

จำนวนโมเลกุล



การดำเนินไปของปฏิกิริยา

