



บทที่ 8 คาร์บอนเยอะไปทำไม ?

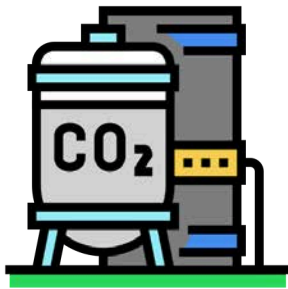
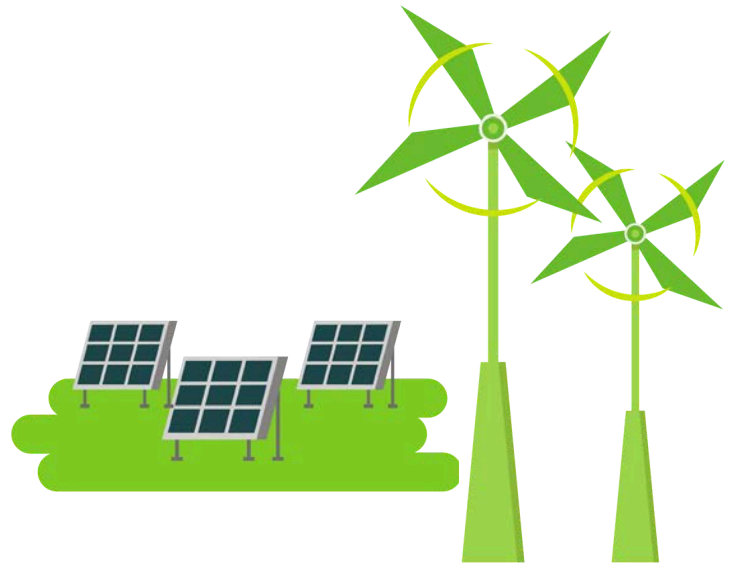
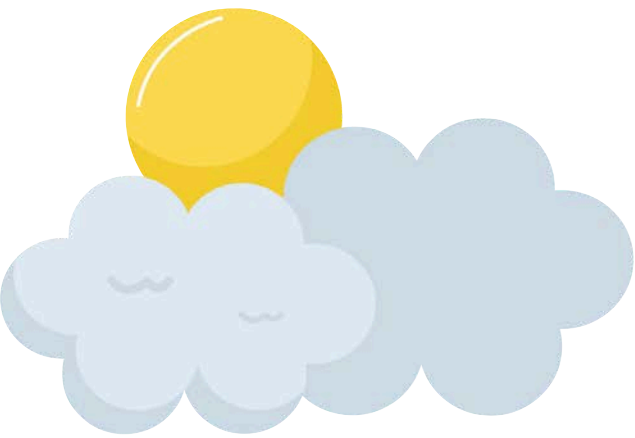
แอบดูเทคนิคดักจับ CO₂

คำถามสำคัญ

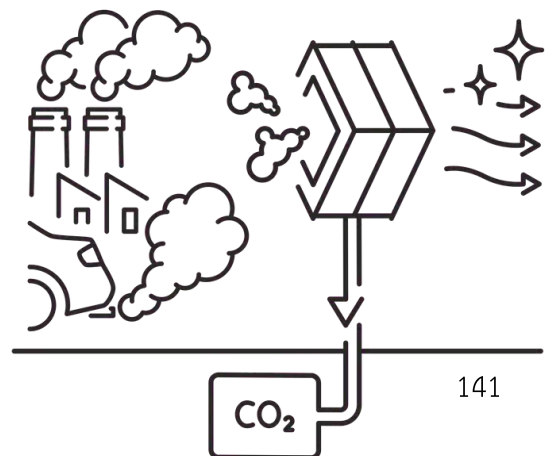
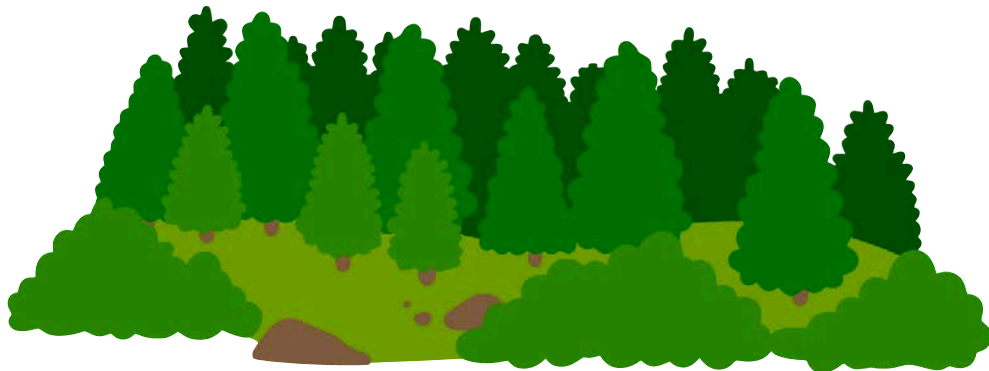
1. เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอนคืออะไร และมีความสำคัญต่อการแก้ไขปัญหาสภาพภูมิอากาศโลกอย่างไร
2. กระบวนการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน มีขั้นตอนสำคัญอะไรบ้าง
3. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมใดบ้าง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความหมายและความสำคัญของเทคโนโลยี CCUS ได้
2. อธิบายกระบวนการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอนได้
3. ยกตัวอย่างการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับไปใช้ประโยชน์ได้

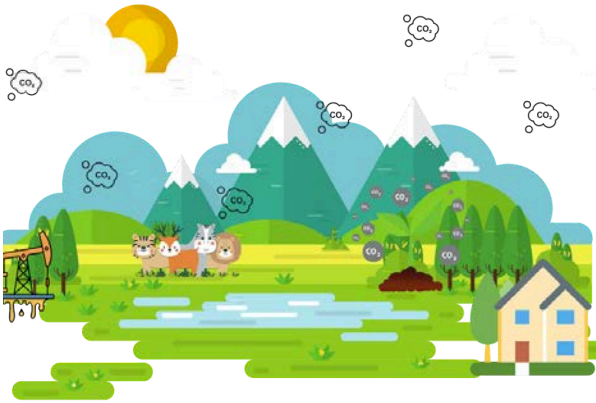


ลองสังเกตรอบตัวเรา
มีเทคโนโลยีหรือ
กระบวนการดักจับคาร์บอนอะไรบ้าง





คาร์บอน (Carbon: C) เป็นธาตุลำดับที่ 6 สัญลักษณ์ C เป็นอโลหะ ลักษณะเป็นของแข็ง ในธรรมชาติพบ 2 อัญรูป คือ เพชร และแกรไฟต์ และเป็นองค์ประกอบสำคัญในสิ่งมีชีวิต



คาร์บอนมีอยู่ที่ไหนบ้าง?

- ในร่างกายของคน สัตว์และพืช
- ในอากาศ (ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์)
- ในดิน หิน น้ำ และเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ)

☀️ ก๊าซ CO₂ ทำให้โลกร้อนขึ้นได้อย่างไร?

เมื่อมนุษย์เผาเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซ CO₂ จะถูกปล่อยออกมาในอากาศ

- ก๊าซ CO₂ ทำหน้าที่เป็น “ครอบแก้ว” ห่อหุ้มโลก
- เก็บความร้อนจากดวงอาทิตย์ไว้ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น
- เมื่อ CO₂ มีมากเกินไป โลกจะร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว

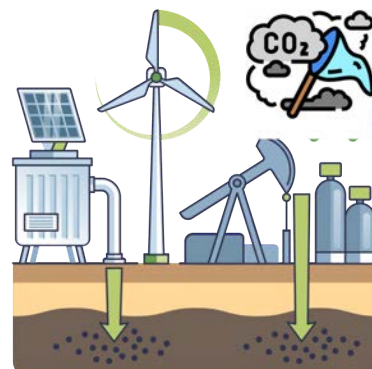


แหล่งกำเนิดก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากมนุษย์

1. โรงงานอุตสาหกรรม – ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล
2. การขนส่ง (รถยนต์เครื่องบิน เรือ) – เผาเชื้อเพลิงฟอสซิล
3. การผลิตไฟฟ้า – ใช้ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ
4. การตัดไม้ทำลายป่า – ต้นไม้ช่วยดูดซับ CO₂ เมื่อถูกตัดลง CO₂ จึงสะสมในอากาศมากขึ้น

ลดคาร์บอนได้ด้วยวิธีใดบ้าง

1. ใช้พลังงานสะอาด
2. ปลูกต้นไม้ช่วยดูดซับ CO₂
3. ใช้รถยนต์ไฟฟ้าลดการปล่อยมลภาวะจากน้ำมัน
4. ประหยัดพลังงานลดการใช้พลังงานไม่จำเป็น
5. ใช้เทคโนโลยีดักจับคาร์บอน



คาร์บอนกับการเกิดภาวะโลกร้อน ? ? ?

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) คือ การที่อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะมีก๊าซเรือนกระจกสะสมในชั้นบรรยากาศมากเกินไป หนึ่งในตัวการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่สำคัญ และมีปริมาณมาก คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) การเกิดของคาร์บอนไดออกไซด์มีได้หลากหลายแหล่งกำเนิด แบ่งเป็น 2 แหล่งดังนี้

เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์



1. การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuels) จากกิจกรรมของมนุษย์ ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้โลกร้อน

- โรงงานและโรงไฟฟ้าเผาถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ
- รถยนต์เครื่องบิน และเรือที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมัน และกิจกรรมในชีวิตประจำวันจากการใช้พลังงานของมนุษย์

2. การตัดไม้ทำลายป่า (Deforestation)

- ต้นไม้ช่วยดูดซับ CO₂ จากอากาศ
- เมื่อป่าถูกทำลาย CO₂ จะสะสมในชั้นบรรยากาศมากขึ้น
- บางทีการเผาป่าเพื่อทำพื้นที่เกษตรกรรม ทำให้เกิด CO₂ เพิ่มขึ้นอีก



3. การทำปศุสัตว์และเกษตรกรรม (Livestock & Agriculture)

- วัวและสัตว์เคี้ยวเอื้องปล่อย ก๊าซมีเทน (CH₄) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้โลกร้อน
- การใช้ปุ๋ยเคมีและยาฆ่าแมลงทำให้เกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ซึ่งรุนแรงกว่า CO₂ หลายเท่า

4. การเผาขยะและของเสีย (Waste Burning & Landfills)

- การเผาขยะพลาสติกและของเสียทำให้เกิด CO₂ และสารพิษ
- กองขยะปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุ



เกิดจากธรรมชาติ

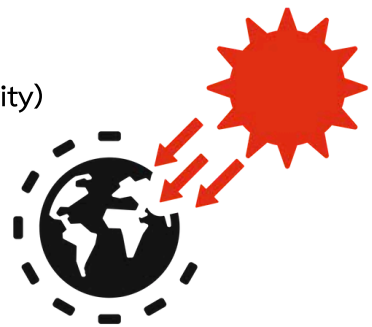


1. ภูเขาไฟระเบิด (Volcanic Eruptions)

- การระเบิดของภูเขาไฟปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ขึ้นไปในอากาศ
- ฝุ่นละอองจากภูเขาไฟบางครั้งช่วยให้โลกเย็นลงชั่วคราว แต่ในระยะยาว CO₂ ทำให้โลกร้อนขึ้น

2. การเปลี่ยนแปลงของดวงอาทิตย์ (Solar Activity)

- ดวงอาทิตย์มีช่วงที่พลังงานเพิ่มขึ้นและลดลง
- เมื่อดวงอาทิตย์แผ่พลังงานมากขึ้น โลกจะร้อนขึ้น
- เมื่อดวงอาทิตย์มีกิจกรรมลดลง โลกจะเย็นลง



3. กระแสน้ำทะเลเปลี่ยนแปลง (Ocean Currents)

- ปรากฏการณ์เอลนีโญ (El Niño) ทำให้พื้นที่บางส่วนของโลกมีอากาศร้อนผิดปกติ
- ปรากฏการณ์ลานีญา (La Niña) ทำให้บางพื้นที่เย็นลง

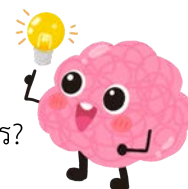
4. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากธรรมชาติ

- ก๊าซมีเทน (CH₄) ถูกปล่อยออกจากพื้นที่ชื้น เช่น
- หนองน้ำ และบึง
 - แบคทีเรียในดินและมหาสมุทร



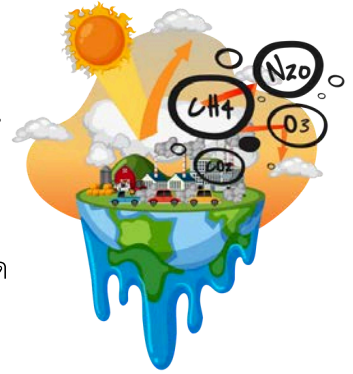
ชวนคิด

- ทำไมการกระทำของมนุษย์ทำให้โลกร้อนเร็วขึ้นกว่าปกติ?
- เราจะช่วยลดผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่เกิดจากธรรมชาติได้อย่างไร?



ก๊าซตัวการโลกร้อนมีอะไรบ้าง

ภาวะโลกร้อน เกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าสู่ชั้นบรรยากาศใน ปริมาณมหาศาล ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศกักเก็บและสะสมความร้อนมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าคาร์บอนไดออกไซด์เป็น ก๊าซเรือนกระจกหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากที่สุด แต่ยังมีก๊าซเรือนกระจก ชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

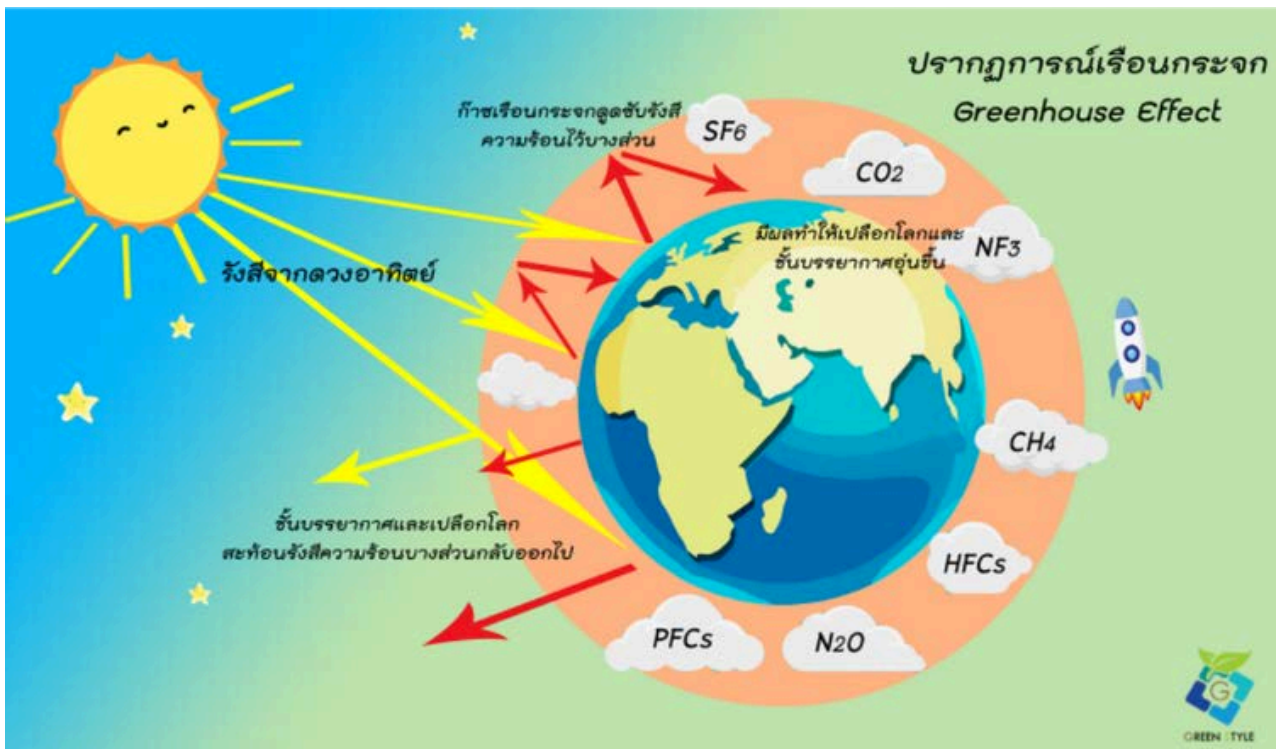


ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) คือกระบวนการที่ ก๊าซในชั้นบรรยากาศของโลกดักจับความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น

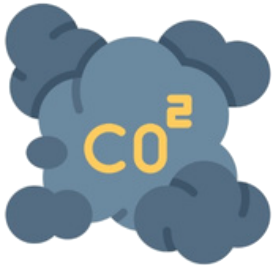
เปรียบเทียบง่าย ๆ

เรือนกระจก คือสิ่งก่อสร้างที่ทำจากกระจกเพื่อให้พืชได้รับ แสงแดดและเก็บความร้อนไว้ข้างใน

โลกของเรา ก็เหมือนเรือนกระจก เพราะมีก๊าซในชั้น บรรยากาศช่วยกักเก็บความร้อน



ที่มา: <http://greenstylethailand.com/?p=4081>



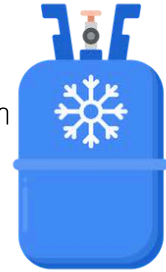
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมามากที่สุดจากทั้งแหล่งธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซนี้มีอายุในชั้นบรรยากาศได้นานถึง 200 ปี

ก๊าซมีเทน (CH₄) มีความสามารถในการสร้างภาวะเรือนกระจกได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 28 แต่มีอายุในชั้นบรรยากาศเพียง 12 ปี



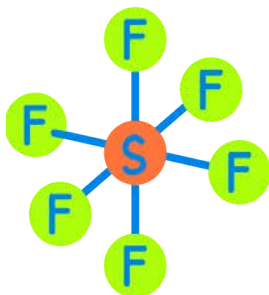
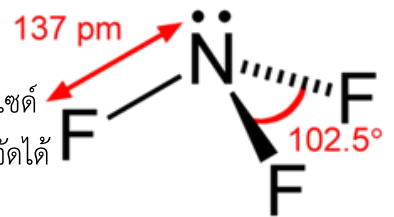
ก๊าซไนตรัสออกไซด์(N₂O) มีความสามารถในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 265 เท่า และสามารถคงอยู่ในบรรยากาศได้นานกว่า 100 ปี

ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ใช้เป็นสารทำความเย็นในเครื่องทำความเย็น มีความสามารถในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์หลายพันเท่า และมีอายุในชั้นบรรยากาศได้นานกว่า 100 ปี



ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) ใช้ในกระบวนการผลิตอะลูมิเนียมและอุปกรณ์กึ่งตัวนำไฟฟ้า มีอายุในชั้นบรรยากาศได้นานถึง 50,000 ปีและเป็นก๊าซที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกสูงมาก ก๊าซชนิดนี้สามารถดักจับและกำจัดได้ในกระบวนการผลิต

ก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์(NF₃) สามารถกักเก็บความร้อนได้มากกว่า คาร์บอนไดออกไซด์หลายพันเท่า และมีอายุการคงอยู่ในบรรยากาศยาวนาน ก๊าซชนิดนี้สามารถดักจับและกำจัดได้ในกระบวนการผลิต



ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์(SF₆) ใช้ในการผลิตเซมิคอนดักเตอร์และสวิตช์เกียร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแรงสูงมีความสามารถในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 17,400 พันเท่า และอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานกว่า 3,200 ปี

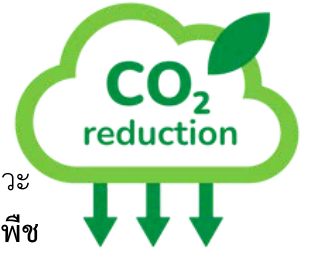
ชวนหา

ลองสังเกตแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกรอบ ๆ ตัวเรา

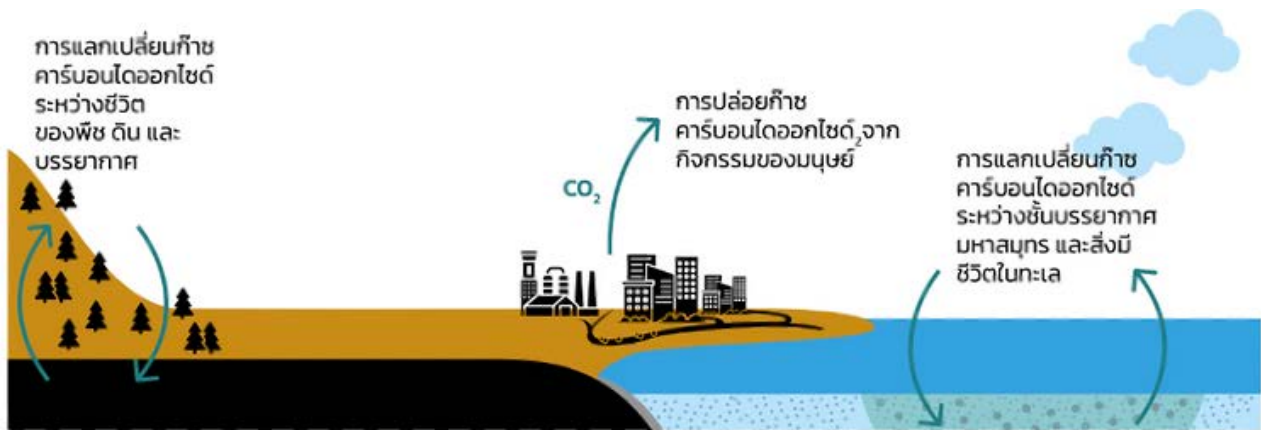


ก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกโดยเฉพาะกิจกรรมของมนุษย์ที่สร้างก๊าซชนิดนี้เพิ่มขึ้น เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้อุณหภูมิโลกสูงขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน ปกติแล้วธรรมชาติสามารถช่วยดูดซับก๊าซชนิดนี้ได้ผ่านการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช



แต่เมื่อปริมาณมีมากเกินไปธรรมชาติจึงไม่สามารถดูดซับได้หมด นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การละลายของน้ำแข็งขั้วโลก ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น และสภาพอากาศที่รุนแรงขึ้น ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องหาวิธีลดและกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมา เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและรักษาสมดุลของโลก



ที่มา: https://cldp.doc.gov/sites/default/files/2024-04/CLDP-CCUS%20Handbook_TH-Web.pdf

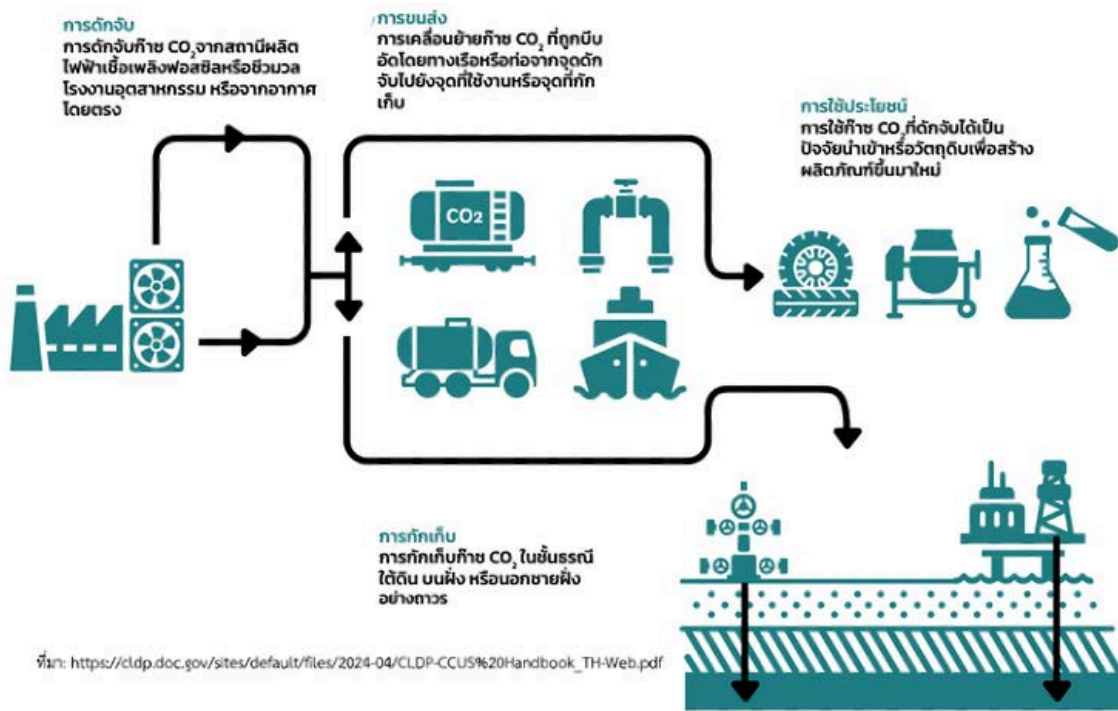
แนวทางการลดก๊าซเรือนกระจก

ในระดับโลก ประเทศต่าง ๆ ได้ร่วมมือกันเพื่อแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน โดยได้มีการจัดประชุมภายใต้ กรอบอนุสัญญาแห่งสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC) UN ในการประชุมครั้งที่ 26 (CoP 26) ณ กรุงปารีส ในปี พ.ศ. 2564 ได้กำหนดเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการลงทุนใน กิจกรรมที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นทางการ (UNFCCC, 2021) โดยทั่วโลกได้ ดำเนินการตามแนวทางที่แต่ละประเทศได้นำมาใช้ตัวอย่างเช่น

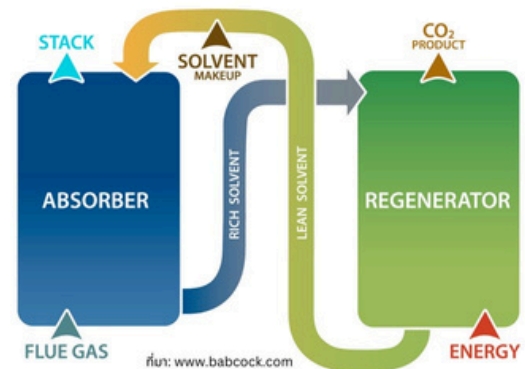
- การพัฒนาด้านพลังงานสะอาด การลงทุนในพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวมวล
- การเก็บภาษีคาร์บอน (Carbon Tax) กำหนดให้ผู้ประกอบการหรือองค์กรที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกินเกณฑ์ที่กำหนดต้องจ่ายภาษีตามปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
- การกำหนดเพดานการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ควบคุมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของอุตสาหกรรมเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ
- การใช้เทคโนโลยีกระบวนการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture Utilization and Storage – CCUS) เป็นที่ยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการลด คาร์บอนไดออกไซด์ได้

เทคโนโลยีกระบวนการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture Utilization and Storage – CCUS)

เทคโนโลยี CCUS (Carbon Capture Utilization and Storage) คือ เทคโนโลยีที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยการดักจับ นำไปใช้ประโยชน์ และกักเก็บไว้ในที่ปลอดภัย หลักการทำงานของเทคโนโลยีนี้มี 3 ขั้นตอนหลัก คือ การดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บที่ปลอดภัย



ขั้นตอนที่ 1 การดักจับคาร์บอน (Carbon Capture) สำหรับการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกระบวนการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งในบรรยากาศและจากแหล่งกำเนิด โดยกระบวนการหลักในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ



การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังจากการเผาไหม้

(post-combustion capture process) หลักการทำงาน คือ อากาศหลังเผาไหม้ (Flue gas) ไหลผ่านตัวดูดซับ (Absorber) ซึ่งสารละลายนี้มี คุณสมบัติในการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์โดยเฉพาะ เมื่อสารละลายจับกับคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว จะถูกนำไป ผ่านกระบวนการแยกโดยใช้ไอน้ำ เพื่อแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากสารดูดซับ สารดูดซับที่ผ่านการแยกแล้วสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ช่วยลดต้นทุน และลดของเสียจากกระบวนการ

ข้อดี ของกระบวนการนี้คือ สามารถปรับใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมเดิมที่มีอยู่แล้ว

ข้อจำกัด ของกระบวนการนี้คือ มีต้นทุนสูงทั้งในแง่ของการติดตั้งอุปกรณ์และค่าดำเนินการ

การดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนจากการเผาไหม้

(pre-combustion capture process) เป็นกระบวนการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์

ก่อนการนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้ ส่วนใหญ่กระบวนการนี้จะใช้กับการผลิต

ที่ต้องการเผาไหม้ที่ใช้เชื้อเพลิงจำพวก

ถ่านหิน ชีวมวล เริ่มจากการเปลี่ยนเชื้อ

เพลิงแข็งเป็นก๊าซสังเคราะห์ (syngas)

ภายใต้สภาวะ อุณหภูมิและแรงดันสูงร่วม

กับการใช้ไอน้ำ จากนั้นแยกคาร์บอนไดออกไซด์

ออก ด้วยวิธีการดูดซับทางเคมี

(Chemical Absorption) โดยใช้สารดูดซับ

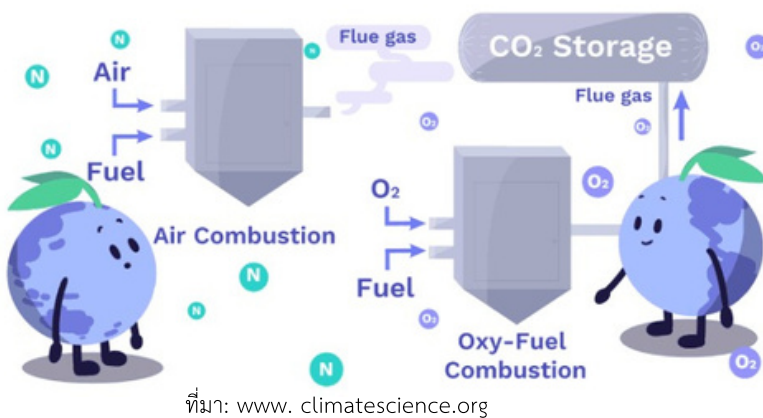
และการแยกด้วยเมมเบรน (Membrane

Separation) มีการนำกระบวนการนี้ไปใช้งานในอุตสาหกรรมเช่น โรงงานไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน การใช้

ใน อุตสาหกรรมเคมีที่ต้องการใช้ไฮโดรเจนในกระบวนการผลิต

ข้อดี มีประสิทธิภาพการดักจับสูงคาร์บอนไดออกไซด์สูง

ข้อจำกัด ต้นทุนการติดตั้งสูงต้องมีการเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตพลังงานและติดตั้งอุปกรณ์ เพิ่มเติม มีความซับซ้อนของกระบวนการ



การเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว

(Oxy-fuel combustion process) เป็นกระบวนการ

การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยใช้ ออกซิเจนบริสุทธิ์แทน

อากาศ กระบวนการนี้มีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

เช่น การผลิตไฟฟ้าจาก ก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรม

ผลิตเหล็ก และซีเมนต์และอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน

ข้อดี สามารถดักจับ คาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ลดการปล่อยไนโตรเจน ออกไซด์และสามารถผลิตพลังงานความร้อนที่สูง เนื่องจากการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์

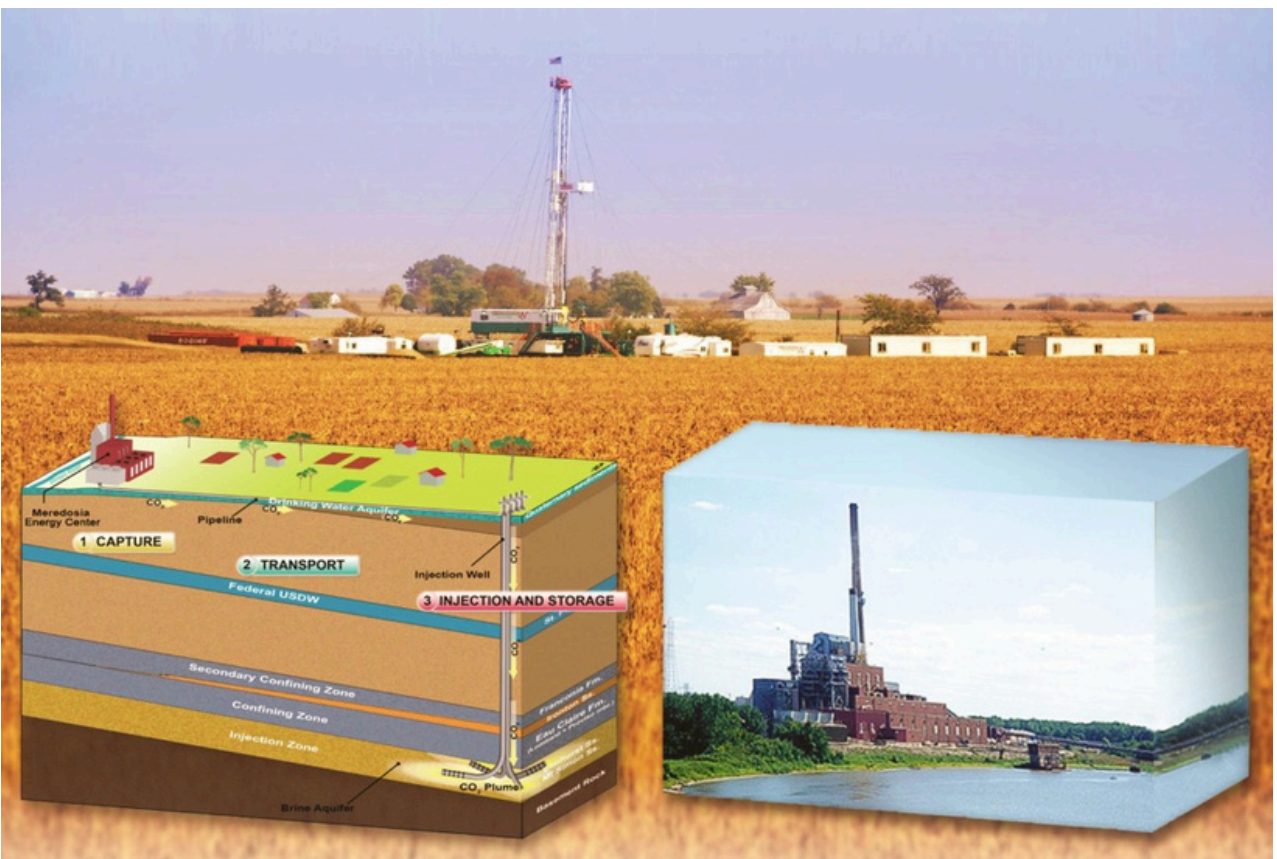
ทำให้กระบวนการเผาไหม้มีประสิทธิภาพมากขึ้นคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ง่าย

ข้อจำกัด เป็นกระบวนการที่ต้องมีการลงทุนสูง และต้องใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ในการเผาไหม้ ซึ่งมีราคาสูง ไม่สามารถ

ดัดแปลงระบบเพิ่มเติมในระบบผลิตเดิมได้



โครงการที่ใช้การดักจับคาร์บอนด้วยการเผาไหม้โดยการใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียวเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ชื่อโครงการ Callide Oxyfuel Project ที่ประเทศออสเตรเลีย
 ที่มา: <https://esdnews.com.au/callide-oxyfuel-project-throwing-coal-a-lifeline/>



โครงการที่ใช้การดักจับคาร์บอนด้วยการเผาไหม้โดยการใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียวเพื่อดักจับและกักเก็บคาร์บอนอย่างเต็มรูปแบบ ชื่อโครงการ FutureGen 2.0 ประเทศสหรัฐอเมริกา
 ที่มา: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/10/f4/EIS-0460-FEISVolume_I-2013.pdf

การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรง (Direct Air Capture - DAC)

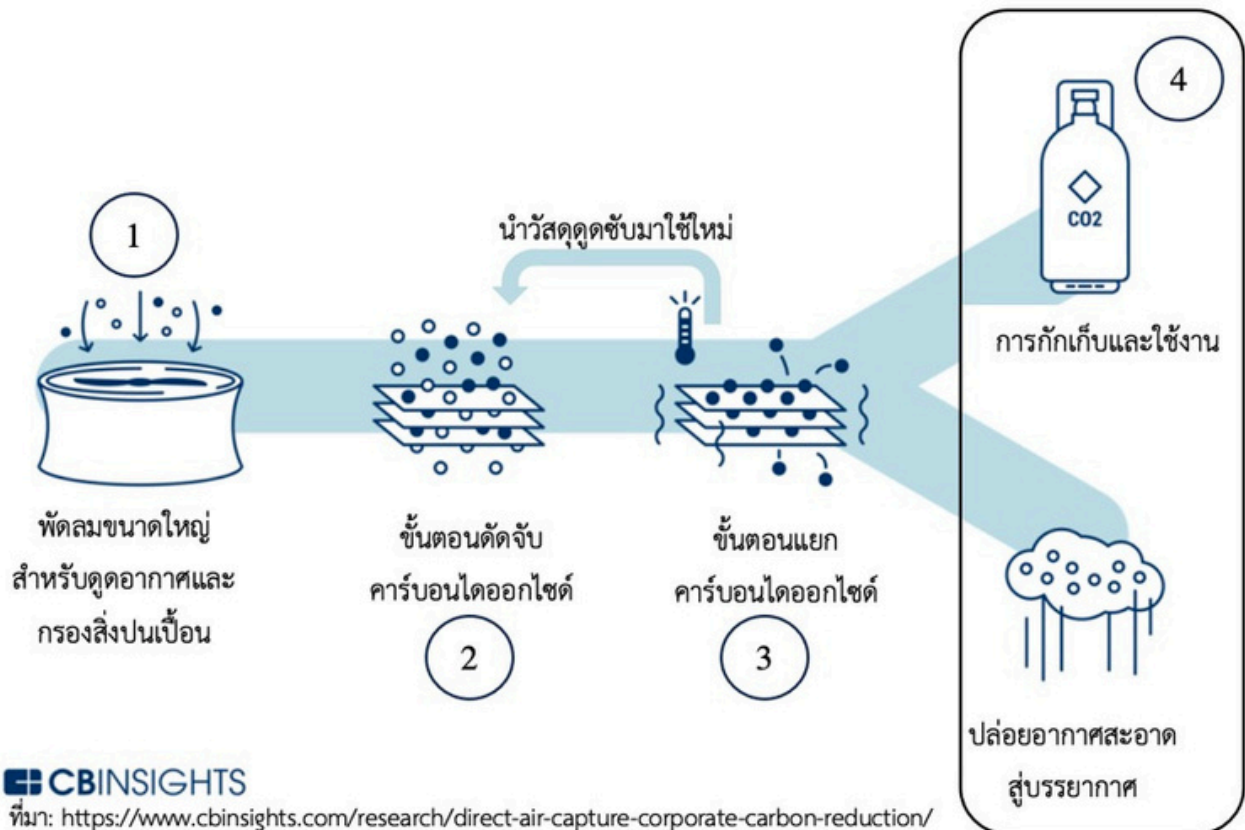
การดักจับคาร์บอนโดยตรง คือ เทคโนโลยีที่ดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศโดยตรง ด้วยระบบกลไกที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เทคโนโลยีนี้ช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้น บรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อน โดยสามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับได้ไปใช้ ประโยชน์ เช่น การผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ การเก็บกักใต้ดิน หรือการใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ การ ทำงานของเทคโนโลยีนี้แบ่งขั้นตอนหลักได้ 4 ขั้นตอน เริ่มต้นด้วย

ขั้นตอนที่ 1 อากาศจะถูกดูดเข้าสู่ระบบโดยใช้พัดลมขนาดใหญ่ ผ่านระบบกรองอากาศขั้นต้นเพื่อ กำจัดสิ่งปนเปื้อนที่จะเข้าไปรบกวนการทำงานของเครื่อง

ขั้นตอนที่ 2 อากาศที่ไหลมาในส่วนนี้จะถูกดักจับด้วยสารดูดซับ เช่น ไฮดรอกไซด์ของโลหะ ซีโอไลต์ โพลีเอไมด์ ไฮดรอกไซด์สารละลายเอมีน เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดักจับไว้ในสารดูดซับจนอิ่มตัว สารดูดซับจะถูกส่งไปขั้นตอนการแยกออกจากสารดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นตอนการแยกและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากตัวดูดซับ ในขั้นตอนนี้มีการใช้ พลังงานความร้อนหรือแรงดัน เพื่อแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จะนำ ไปเก็บกักไว้ในแหล่งกักเก็บหรือนำไปใช้งาน

ขั้นตอนที่ 4 การจัดเก็บหรือการนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ประโยชน์โดยคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ สามารถนำไปเก็บกักใต้ดินเพื่อป้องกันการปล่อยกลับสู่ชั้นบรรยากาศ หรือใช้ในอุตสาหกรรม



การขนส่งคาร์บอน (carbon dioxide transport)

การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการจัดการคาร์บอนที่ช่วยนำคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งกำเนิดหรือแหล่งดักจับไปยังแหล่งกักเก็บที่ปลอดภัยหรือนำไปใช้ประโยชน์ การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์มี 4 ประเภทหลัก

1. การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านท่อ (Pipelines)

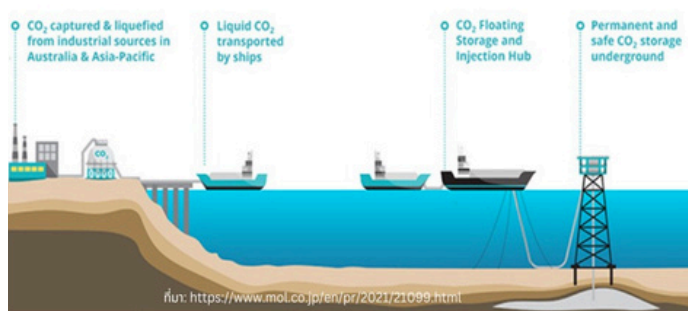
การขนส่งนี้จะทำการส่งผ่านท่อ โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกบีบอัดให้อยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซที่มีความดันสูง จากนั้นจึงส่งผ่านเครือข่ายท่อไปยังแหล่งกักเก็บหรือพื้นที่ที่นำไปใช้ต่อ

ข้อดี เหมาะกับแหล่งกำเนิดคาร์บอนไดออกไซด์ขนาดใหญ่ที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง เช่น โรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม จะมีต้นทุนในการติดตั้งเครือข่ายท่อสูงในช่วงเริ่มโครงการ แต่เมื่อใช้งานในระยะยาวและขนส่งปริมาณมาก ต้นทุนต่อหน่วยจะลดลงอย่างมาก

ข้อจำกัด ต้องมีการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานและการวางท่อที่ครอบคลุมพื้นที่จากแหล่งกำเนิดไปยังแหล่งกักเก็บ มีความเสี่ยงที่ท่ออาจเกิดการรั่วไหล ต้องมีระบบตรวจสอบและบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ การบำรุงรักษาและการตรวจสอบเครือข่ายท่อต้องใช้ทรัพยากรและเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมีค่าใช้จ่ายที่สูง



2. การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ทางเรือ (Ships)



เย็นลงจนอยู่ในสถานะของเหลว จากนั้นบรรจุลงในถังเก็บที่มีความปลอดภัยบนเรือ การขนส่งทางเรือเหมาะสำหรับ การขนส่งระยะไกล เช่น ข้ามประเทศหรือข้ามทวีป **ข้อดี** มีความยืดหยุ่นในการปรับเส้นทาง และสามารถขนส่งได้ปริมาณมากในคราวเดียวรวม ไม่จำเป็นต้องสร้างโครงสร้างระบบท่อเครือข่ายเหมือนการขนส่งผ่านท่อ

ข้อจำกัด ต้องสร้างโครงสร้างพื้นฐานของท่าเรือ เช่น ระบบการขนถ่ายและการจัดเก็บในสถานที่ปลายทาง ต้องใช้พลังงานมากในการบีบอัดและรักษาสถานะของให้เป็นของเหลว การขนส่ง ทางเรือมักนำไปใช้ในกรณีที่แหล่งกำเนิดและพื้นที่กักเก็บอยู่ห่างไกลกัน

3. การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยรถบรรทุก (Trucks)

เป็นวิธีที่ยืดหยุ่นและเหมาะสำหรับการขนส่งในระยะสั้น หรือในปริมาณที่ไม่มาก การขนส่งนี้เริ่มต้นด้วยการบีบอัดคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซที่มีความดันสูง จากนั้นบรรจุลงในถังเก็บที่ออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อติดตั้งบนรถบรรทุกและขนส่งไปยังแหล่งกักเก็บหรือพื้นที่ใช้งาน

ข้อดี สามารถเข้าถึงพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ท่อส่งหรือท่าเรือได้อย่างง่ายดาย และยังช่วยลดความจำเป็นในการลงทุนเริ่มต้นสูง



ข้อจำกัด มีต้นทุนการดำเนินงานที่สูงหากมีการขนส่งปริมาณมากอีกทั้งยังมีข้อจำกัดในปริมาณการขนส่งต่อครั้ง และมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุหรือปัญหาด้านความปลอดภัย การขนส่งด้วยรถบรรทุกมักนำไปใช้ในกรณีที่แหล่งกำเนิดอยู่ใกล้กับพื้นที่กักเก็บ



4. การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ทางรถไฟ (Train)

การขนส่งทางรถไฟเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพ สำหรับการขนส่งในปริมาณปานกลางถึงมากในระยะไกล โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกบีบอัดให้อยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซที่มีความดันสูง จากนั้นบรรจุลงในถังเก็บที่ติดตั้ง บนตู้รถไฟที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อดี สามารถรองรับการขนส่งในปริมาณมากต่อรอบ มีต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการขนส่งด้วยรถบรรทุก

และเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีโครงสร้างพื้นฐานของทางรถไฟรองรับ

ข้อจำกัด ต้องการฟั้งพาเส้นทางรถไฟที่มีอยู่ ซึ่งอาจไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ห่างไกลได้โดยตรง และยังต้องมีโครงสร้างพื้นฐานเพิ่มเติม เช่น สถานีโหลดและถ่ายคาร์บอนไดออกไซด์สู่ที่กักเก็บหรือสถานที่นำไปใช้

ตารางเปรียบเทียบวิธีการขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์

วิธีขนส่ง	ปริมาณการขนส่ง	ต้นทุน	ระยะทาง	ข้อจำกัด
ท่อขนส่ง	ปริมาณมากและต่อเนื่อง	ต่ำ	ระยะไกล	การลงทุนเริ่มต้นสูง
เรือขนส่ง	ปริมาณปานกลาง - มาก	ปานกลาง - สูง	ข้ามประเทศ	ต้องมีโครงสร้างพื้นฐานท่าเรือ
รถบรรทุก	ปริมาณน้อย	ปานกลาง	ระยะสั้น	ไม่เหมาะกับปริมาณมาก
รถไฟ	ปริมาณปานกลาง	ปานกลาง	ระยะกลาง	ต้องมีโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟ

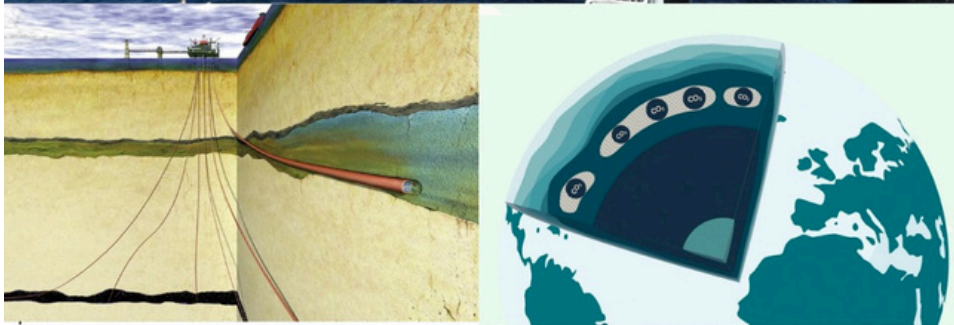
ขั้นตอนที่ 2 การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide storage)

คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกส่งไปยังที่กักเก็บที่ปลอดภัยในระยะยาว เช่น ชั้นหินใต้ดิน แหล่งน้ำมันหรือ ก๊าซธรรมชาติที่หมดสภาพ และชั้นเกลือใต้ทะเล การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์มีข้อดีคือ ช่วยลด ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ป้องกันไม่ให้คาร์บอนไดออกไซด์ปล่อยกลับสู่ ชั้นบรรยากาศ และเป็นการใช้ประโยชน์ของคาร์บอนไดออกไซด์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด น้ำมันจากหลุมน้ำมัน (Enhanced Oil Recovery) อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อเสียคือ การกักเก็บ คาร์บอนไดออกไซด์ต้องใช้การลงทุนสูงและต้องมีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกัน การรั่วไหล วิธีการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ได้แก่

1. การเก็บในชั้นใต้ดิน (Geological Storage) เป็นกระบวนการที่ทำการอัดฉีด คาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในชั้นหินใต้ดิน เช่น แหล่งน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติที่ใช้หมดแล้ว หรือน้ำเกลือใต้พิภพ (Saline Aquifers) โดยคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกักไว้ในนี้ ตัวอย่าง การใช้วิธีการกักเก็บนี้ เช่น โครงการ Sleipner ในทะเลเหนือของนอร์เวย์ ที่กักเก็บ คาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในชั้นหินเกลือใต้ทะเล แหล่งกักเก็บนี้มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากถึง 600,000 ล้านตัน ปัจจุบันมีการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ ไปแล้วประมาณ 23 ล้านตัน

ข้อดี สามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในปริมาณมาก เนื่องจากมีแหล่งกักเก็บ เช่น แหล่งน้ำมันเก่าและแหล่งก๊าซธรรมชาติเก่าอยู่ทั่วโลก และเป็นเทคโนโลยีที่ทดสอบแล้วว่าสามารถใช้ได้จริง

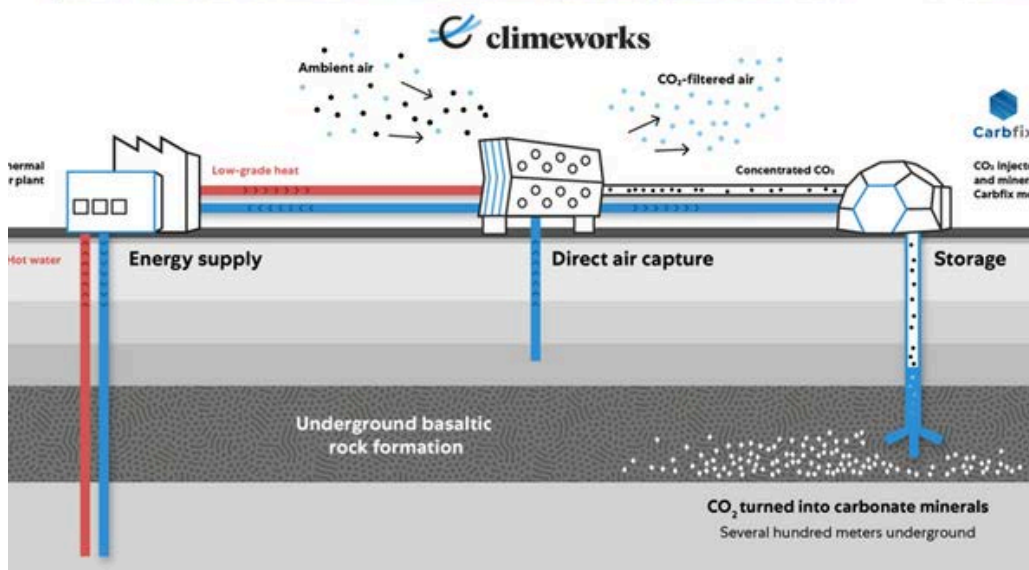
ข้อจำกัด อาจมีความเสี่ยงจากการรั่วไหลหากชั้นหินที่กักเก็บไม่แข็งแรงพอ คาร์บอนไดออกไซด์อาจรั่วกลับสู่ชั้นบรรยากาศ และมีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากต้องใช้งบประมาณมากในการสำรวจและติดตั้งโครงสร้างใต้ดิน และต้องมีระบบติดตามระยะยาวเพื่อป้องกันปัญหา ด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม



ที่มา: <https://www.certrec.com/blog/the-expansion-of-co2-pipelines-and-ccus-infrastructure-in-the-us/>

แหล่งกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ Sleipner ประเทศนอร์เวย์

2. การทำให้คาร์บอนกลายเป็นแร่ (Carbon Mineralization) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นสารประกอบคาร์บอเนต กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งตามธรรมชาติและในรูปแบบที่มนุษย์สร้างขึ้น สำหรับวิธีที่มนุษย์สร้างขึ้นจะทำการฉีดคาร์บอนไดออกไซด์ เข้าไปในชั้นหินใต้ดินเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในหิน มีการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในโครงการขนาดใหญ่ เช่น การกักเก็บคาร์บอนใต้ดินในประเทศไอซ์แลนด์ภายใต้โครงการ Carbfix

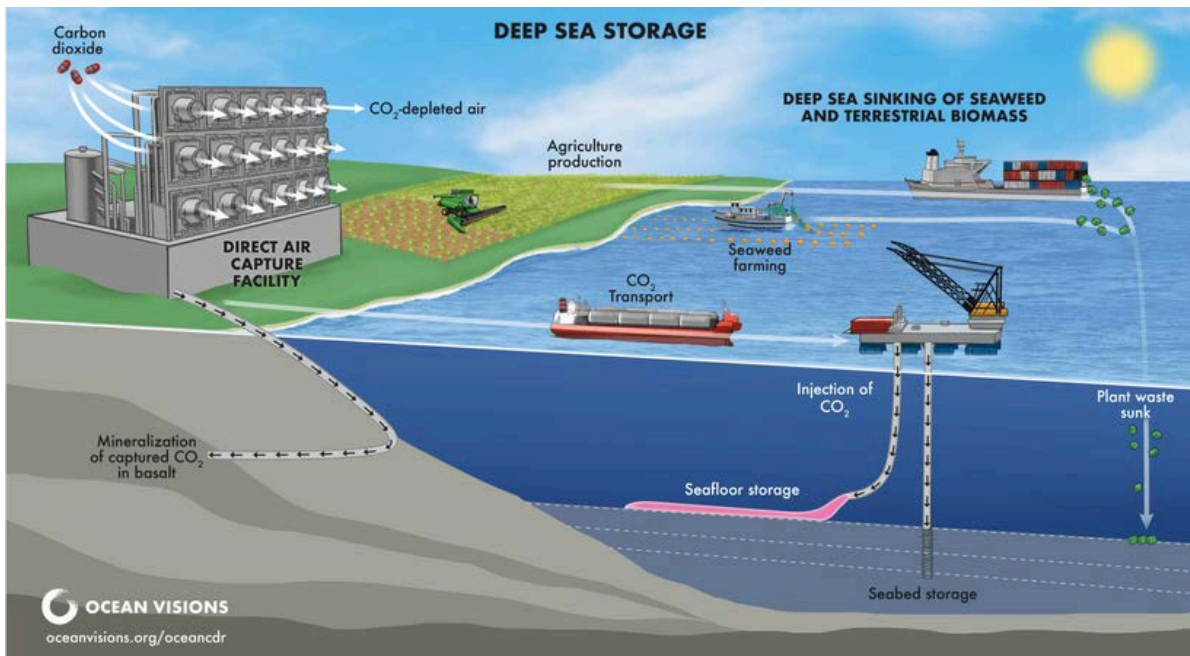


การกักเก็บคาร์บอนใต้ดินในประเทศไอซ์แลนด์ภายใต้โครงการ Carbfix

3. การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในมหาสมุทร (Ocean Storage) เป็นการอาศัยศักยภาพของมหาสมุทรที่สามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในปริมาณมหาศาล โดยมีการดำเนินการผ่านสองวิธีหลัก ได้แก่ การฉีดคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในพื้นที่ท้องทะเลลึกของมหาสมุทรในรูปของเหลว เพื่อให้คาร์บอนไดออกไซด์ถูกกักเก็บไว้ด้วยความดันสูง และอีกวิธีคือการกระตุ้นให้คาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำทะเลใต้มหาสมุทรลึกเพื่อสร้าง สารประกอบที่เสถียร เช่น ไบคาร์บอเนต

ข้อดี มหาสมุทรที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่และสามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในปริมาณ มหาศาลในระยะยาว อีกทั้งยังสามารถนำวิธีนี้ไปใช้ในพื้นที่ห่างไกล ลดผลกระทบต่อมนุษย์โดยตรง

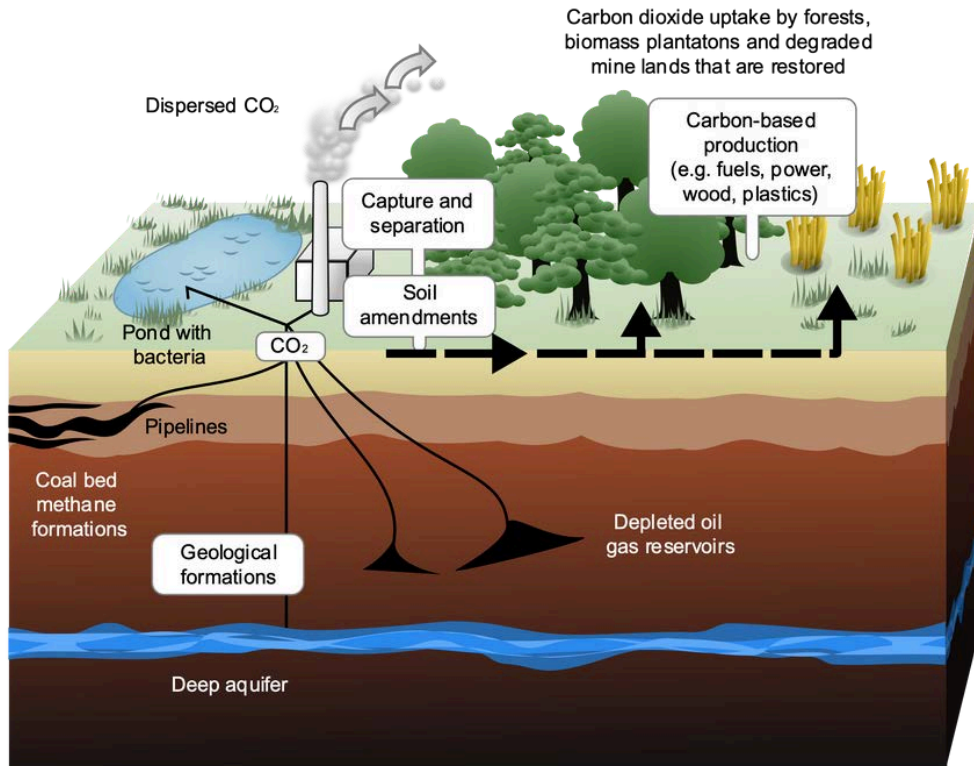
ข้อจำกัด ทำให้น้ำทะเลมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลและสิ่งมีชีวิต เช่น ปะการังและสัตว์น้ำ



4. การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีชีวภาพ (Bio-based Storage of Carbon Dioxide) เป็นกระบวนการผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) คาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกกักเก็บไว้ในเนื้อเยื่อของพืช ดิน หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็น “แหล่งกักเก็บคาร์บอน” เป็นวิธีที่ช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อดี ช่วยฟื้นฟูระบบนิเวศ เพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน และช่วยลดการพึ่งพาเทคโนโลยีที่มีค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ยั่งยืนและเหมาะสมกับการนำไปใช้ในหลายพื้นที่อย่างไรก็ตาม

ข้อเสีย ของการกักเก็บแบบชีวภาพคือ ต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งอาจแย่งพื้นที่สำหรับ การเกษตรหรือการพัฒนาอื่น ๆ และผลลัพธ์อาจใช้เวลานานกว่าที่จะเห็นประสิทธิภาพ ในการลดคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างการนำไปใช้ ได้แก่ โครงการปลูกป่าในพื้นที่ที่ถูกทำลาย ซึ่งช่วยฟื้นฟูระบบนิเวศ และกักเก็บคาร์บอนในระยะยาวนอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้โออาร์หรือถ่านชีวภาพ ซึ่งผลิตจากเศษพืชมาปรับปรุงคุณภาพดิน คาร์บอนในถ่านชีวภาพจะถูกกักเก็บในดินได้ในระยะยาว กระบวนการกักเก็บคาร์บอนด้วยวิธีชีวภาพเป็นแนวทางที่ไม่เพียงช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ยังสร้างประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจในระยะยาวได้อย่างยั่งยืน



การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีชีวภาพ

ที่มา: <https://www.researchgate.net/publication/343859071>

ขั้นตอนที่ 3 การใช้ประโยชน์คาร์บอน (Carbon Utilization)

การนำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ประโยชน์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วย ทำให้การจัดการมีความยั่งยืนมากยิ่งขึ้น เช่น การใช้ประโยชน์โดยตรงในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม ใช้ในกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน (Enhanced Oil Recovery - EOR) การเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดก๊าซธรรมชาติ (Enhanced Gas Recovery - EGR) นอกจากนี้ยังสามารถนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เช่น คาร์บอนแบล็ค (Carbon Black) คาร์บอนไฟเบอร์ หรือพลาสติก ซึ่งไม่เพียงช่วยเพิ่มมูลค่าแต่ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอีกด้วย



การใช้ประโยชน์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่มีประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรม เนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลายซึ่งช่วยในกระบวนการผลิต และเพิ่มคุณภาพของสินค้า โดยตัวอย่างการใช้คาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีดังนี้

- 1. อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม** ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในหลายบทบาท เช่น
 - ใช้เป็นตัวทำให้เกิดฟองในน้ำอัดลมและเครื่องดื่มอัดแก๊ส เพื่อสร้างฟองและทำให้เครื่องดื่มมีรสชาติช่วยเพิ่มความสดชื่นขณะดื่ม
 - ใช้สำหรับก๊าซในบรรจุภัณฑ์ คาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้ในบรรจุภัณฑ์เพื่อช่วยรักษาคุณภาพอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ผลไม้ และผักให้สดนานขึ้น
 - ใช้สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการการผลิตผงฟูน้ำแข็งแห้ง
 - ใช้ในกระบวนการสกัดคาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้เป็นตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการ สกัด เช่น การดองกลิ่นและธรรมชาติออกจากพืช หรือการสกัดคาเฟอีนออกจากเมล็ดกาแฟ ซึ่งเป็นวิธีที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- 2. อุตสาหกรรมยาและการแพทย์** มีตัวอย่างการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ดังนี้
 - กระบวนการหายใจ คาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้ในทางการแพทย์เพื่อกระตุ้นการหายใจของผู้ป่วยที่มีภาวะการหายใจผิดปกติ เช่น การหายใจเร็วเกินไป
 - ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตยา คาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้เป็นส่วนประกอบ สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ยาบางชนิด
- 3. อุตสาหกรรมเคมีและเชื้อเพลิง** ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้โดย การแปรรูปและเปลี่ยนเป็นสารเคมีหรือเชื้อเพลิง
 - กระบวนการเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารเคมีกระบวนการนี้สามารถทำได้ผ่านปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชัน (Carboxylation Reactions) โดยโมเลกุลคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้ป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์บอนเตตระไฮไดรด์ในวัสดุเคลือบผิวหรือแบตเตอรี่ อะคริเลตใช้ในกาวและพลาสติกพอลิเมอร์สังเคราะห์ต่าง ๆ นอกจากนี้ปฏิกิริยาคาร์บอกซิเลชัน ยังมีการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ในการผลิตสารเคมีจากปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reactions) โดยในกระบวนการนี้พันธะ

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการขุดเจาะน้ำมัน (Enhanced Oil Recovery) โดยใช้ก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งอยู่ในสถานะที่มีความหนาแน่นสูงและมีคุณสมบัติคล้ายของเหลว ฉีดเข้าไปในแหล่งน้ำมันใต้ดินที่เหลืออยู่เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันที่สามารถสกัดออกมาได้ ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะดังกล่าวช่วยลดความหนืดของน้ำมันในแหล่งกักเก็บ และช่วยให้น้ำมันไหลออกมาจากแหล่งใต้ดินได้ง่ายขึ้น เทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญสำหรับการสกัด น้ำมันในแหล่งที่การขุดเจาะแบบดั้งเดิมไม่สามารถถึงทรัพยากรที่เหลือออกมาได้โดยช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันที่สามารถสกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้เกิดคั่งค้างทางเศรษฐกิจ

การเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดก๊าซธรรมชาติ (Enhanced Gas Recovery) เป็นวิธีที่ช่วยดึงก๊าซธรรมชาติหรือ ก๊าซมีเทนที่เหลืออยู่ในแหล่งกักเก็บใต้ดินออกมาให้ได้มากที่สุด ซึ่งการขุดเจาะแบบปกติไม่สามารถทำได้วิธีนี้ใช้การ ฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในแหล่งกักเก็บเพื่อเพิ่มแรงดันและช่วยให้ก๊าซที่ติดอยู่ในชั้นใต้ดินไหลออกมาได้ง่าย ขึ้น ในบางกรณีคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าไปแทนที่ก๊าซมีเทนในชั้นถ่านหินที่ไม่สามารถขุดได้ วิธีนี้ไม่เพียงช่วยให้การ สกัดก๊าซมีเทนมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ยังช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ เพราะเป็นการนำ คาร์บอนไดออกไซด์ไปกักเก็บไว้ใต้ดิน อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังอยู่ในระหว่างการทดลองและพัฒนาเพื่อให้สามารถนำไป ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในอนาคต

การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตพลังงานชีวภาพ (Biofuels from microalgae) เป็นวิธี ที่ช่วยลดก๊าซเรือนกระจกและสร้างพลังงานสะอาดควบคู่กันไป โดยนำคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้เป็นแหล่งอาหารให้ กับสาหร่ายที่เลี้ยงในบ่อสาหร่ายจะดูดซับ คาร์บอนไดออกไซด์ผ่านการสังเคราะห์แสง จากนั้นนำสาหร่ายที่ได้ไปผ่าน กระบวนการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง กระบวนการนี้นอกจากจะช่วยลดมลพิษในอากาศแล้วยังช่วยสร้างพลังงานที่เป็น มิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่สิ่งที่ยังเป็นความท้าทายในเรื่องต้นทุนในการผลิตและการจัดการระบบที่ยังต้องพัฒนาให้มี ความคุ้มค่าและใช้งานได้จริงในอนาคต

ประโยชน์ ความท้าทาย และข้อจำกัด ของเทคโนโลยีดักจับคาร์บอน กักเก็บ และใช้ประโยชน์

ปัญหาโลกร้อนที่เกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงงานอุตสาหกรรมและการใช้พลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมันและถ่านหิน เป็นหนึ่งในปัญหาใหญ่ของโลก เทคโนโลยีดักจับ กักเก็บ และ ใช้ประโยชน์จากคาร์บอน ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดการปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะปล่อยสู่บรรยากาศ ซึ่งประโยชน์ความท้าทาย และข้อจำกัดของเทคโนโลยีมีดังนี้

ประโยชน์จากการใช้เทคโนโลยีนี้ ได้แก่

- สามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศได้ในปริมาณมาก
- ช่วยลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากอุตสาหกรรมที่ยากต่อการลดการปล่อย เช่น อุตสาหกรรมเหล็ก ซีเมนต์และเคมี
- สามารถช่วยลดการปล่อยคาร์บอนที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีมูลค่า โดยการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงสังเคราะห์ หรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมี ตลอดจนอุตสาหกรรมทางการแพทย์และยา เป็นต้น

ความท้าทายและข้อจำกัด ได้แก่

- ด้านการลงทุนในเทคโนโลยีมีต้นทุนสูงในด้านการติดตั้งอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ
- ความไม่แน่นอนด้านกฎระเบียบ นโยบายจากภาครัฐ เช่น แรงจูงใจด้านภาษีหรือการ สนับสนุนการลงทุนที่ยังมีความไม่ชัดเจน
- ความเสี่ยงและความปลอดภัยในการกักเก็บระยะยาว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น อาจเกิดการรั่วไหลของคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งกักเก็บซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และชุมชนโดยรอบ

สรุปเนื้อหาท้ายบทเรียน

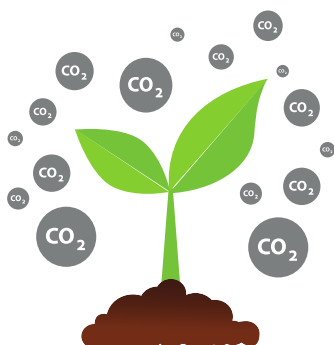
- ความหมายและความสำคัญของเทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน เป็นกระบวนการสำคัญในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นต้นเหตุของภาวะโลกร้อน โดยการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ จากนั้นนำไปใช้ประโยชน์ หรือกักเก็บไว้อย่างปลอดภัย เทคโนโลยีนี้ช่วยลดผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ อย่าง มีนัยสำคัญ
- ขั้นตอนของกระบวนการ เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การดักจับ (Capture) การขนส่งและการกักเก็บ (Transport and storage) การใช้ประโยชน์ (Utilization) ในขั้นตอนการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถทำได้ โดยใช้เทคโนโลยี เช่น การดูดซับด้วยสารเคมี (Chemical Absorption) ซึ่งนิยมใช้ในโรงไฟฟ้า ถ่านหินหรือโรงงานอุตสาหกรรม ขั้นตอนที่สองการขนส่งและการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ทำได้ หลากหลายวิธี เช่น ผ่านท่อส่ง เรือ รถไฟ หรือรถบรรทุก เพื่อขนส่งก๊าซไปยังแหล่งกักเก็บ โดยเก็บ ไว้ใต้ดินในชั้นหินเกลือ แหล่งน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติที่หมดสภาพหรือใต้มหาสมุทร ขั้นตอนสุดท้าย คือการใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์ มีการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อเพิ่ม มูลค่า ตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม คาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้ในกระบวนการ ผลิตน้ำอัดลม หรือเป็นตัวทำละลาย ในการสกัดสารสำคัญจากพืช นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ยัง สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้ เช่น คาร์บอนแบล็ค พลาสติก อีกทั้งยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรม พลังงาน เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ รวมถึงการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อ ผลิตพลังงานชีวภาพ กระบวนการเหล่านี้ไม่เพียงช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ยังเป็นการนำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน
- เทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนเป็นแนวทางที่สำคัญในการลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีความ หลากหลายขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดคาร์บอนไดออกไซด์ และแหล่งกักเก็บการนำคาร์บอน ที่ดักจับได้มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับ คาร์บอนไดออกไซด์ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว อย่างไรก็ตาม ความท้าทายสำคัญยังคงเป็นเรื่องของ ต้นทุนและการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้มีความคุ้มค่าและมีความปลอดภัยในระยะยาว



ตรวจสอบความรู้พื้นฐานท้ายบท

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วเติมเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคำตอบของข้อความที่ถูกต้อง หรือเครื่องหมาย ✗ ลงในช่องคำตอบของข้อความที่ผิด

ข้อที่	ความรู้พื้นฐาน	คำตอบ
1	เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน ช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในบรรยากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ	
2	เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การดักจับและการขนส่งคาร์บอน	
3	การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านท่อเป็นวิธีที่มีต้นทุนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น	
4	การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในมหาสมุทรไม่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล	
5	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับได้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มได้	
6	การดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถทำได้ในกระบวนการหลังการเผาไหม้เชื้อเพลิง	
7	คาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับได้สามารถแปรรูปเป็นพลาสติก และเชื้อเพลิงสังเคราะห์ได้	
8	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับได้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก	
9	เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน เป็นเทคโนโลยีที่มีความเสี่ยงในด้านความปลอดภัยในกรณีระบบกักเก็บมีการรั่วไหล	
10	คาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับได้ไม่สามารถกักเก็บในใต้ชั้นดิน	



ชื่อวิดีโอ