เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture, Utilization and Storage: CCUS)

ประวรรธน์ สุขพูล[๑], อลิศรา เรืองแสง[๑,๒]

[๑] สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, prawat.s@kkumail.com

[๒] ภาคีสมาชิก สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ประเภทวิชาเทคโนโลยี สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, alissara@kku.ac.th

บทนำ

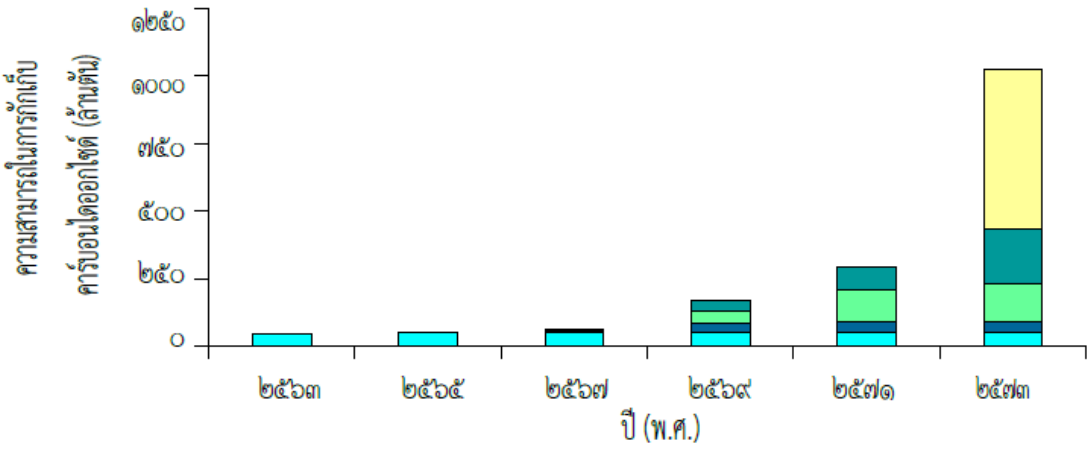
ภายหลังการประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UN Climate Change Conference of the Parties) สมัยที่ ๒๖ พ.ศ. ๒๕๖๔ นานาประเทศ รวมถึงประเทศไทยได้วางเป้าหมายด้านสภาพภูมิอากาศ และการส่งเสริมการลงทุนกิจกรรมที่ลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gases; GHGs) มากขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม (UNFCCC, 2021) เช่น การลงทุนในโครงการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาด้านพลังงานสะอาด การเรียกเก็บภาษีจากผู้ประกอบการหรือองค์กรที่ปล่อยแก๊สเรือนกระจกสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (Carbon tax) และการกำหนดเพดานการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน (EPA, 2024; NCCS, 2024) อย่างไรก็ตาม กระบวนการลดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศยังจำเป็นต้องมีอยู่ เพราะไม่เพียงจะเป็นการลดแก๊สเรือนกระจก แต่ยังช่วยในการเปลี่ยนผ่านสู่ยุคพลังงานสะอาดในอนาคตด้วย

รายงานขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (International Energy Agency; IEA) แสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน (Carbon capture, utilization, and storage, CCUS) ถือเป็นกลุ่มเทคโนโลยีที่ดีที่สุดสำหรับการลดคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่ นอกจากนี้ ในภาวะที่เป้าหมายด้านสภาพภูมิอากาศและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของแต่ละประเทศเข้มงวดขึ้น การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจึงเป็นเรื่องที่เลี่ยงไม่ได้ (IEA, 2024)

เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน

เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน เป็นเทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่อุตสาหกรรมที่ลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ยาก (Hard-to-abate sector) โดยเฉพาะอุตสาหกรรมหนัก เช่น อุตสาหกรรมเหล็ก เคมีภัณฑ์ ซีเมนต์ และโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีจุดประสงค์เพื่อบีบอัดคาร์บอนไดออกไซด์และขนส่งทางท่อ รถราง เรือ หรือรถบรรทุก แล้วนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น การผลิตน้ำมันเพิ่ม (Enhanced oil recovery) การผลิตเครื่องดื่มที่เติมคาร์บอนไดออกไซด์ และการผลิตสารเคมี อย่างไรก็ตาม หากไม่มีการใช้ประโยชน์ คาร์บอนไดออกไซด์ที่

ดักจับได้จะถูกนำไปเก็บอย่างถาวรภายในชั้นหินใต้ดินหรือใต้ทะเล (IEA, 2024) ปัจจุบันมีโครงการที่นำเทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน ไปใช้จริงในเชิงพาณิชย์อยู่ ๔๕ โครงการ ซึ่งมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า ๕๐ ล้านตันต่อปี และอีกกว่า ๗๐๐ โครงการอยู่ระหว่างการพัฒนา โดยคาดการณ์ว่าภายใน พ.ศ. ๒๕๗๓ โลกจะสามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ได้รวมทั้งหมด ๔๓๕ ล้านตันต่อปี ซึ่งคิดเป็นเพียง ๔๐ เปอร์เซ็นต์ของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้องการกักเก็บเพื่อบรรลุเป้าหมายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero emission) (IEA, 2024) ดังแสดงในรูปที่ ๑



รูปที่ ๑. ความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ของโครงการขนาดใหญ่นับจาก พ.ศ. ๒๕๖๓ ถึง พ.ศ. ๒๕๗๓ เพื่อเป้าหมายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ [ดัดแปลงจาก IEA (2024)]

การดักจับและการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์

กระบวนการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์คือกระบวนการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊ส เพื่อนำไปกักเก็บหรือใช้ประโยชน์ มี ๓ กระบวนการหลัก ได้แก่

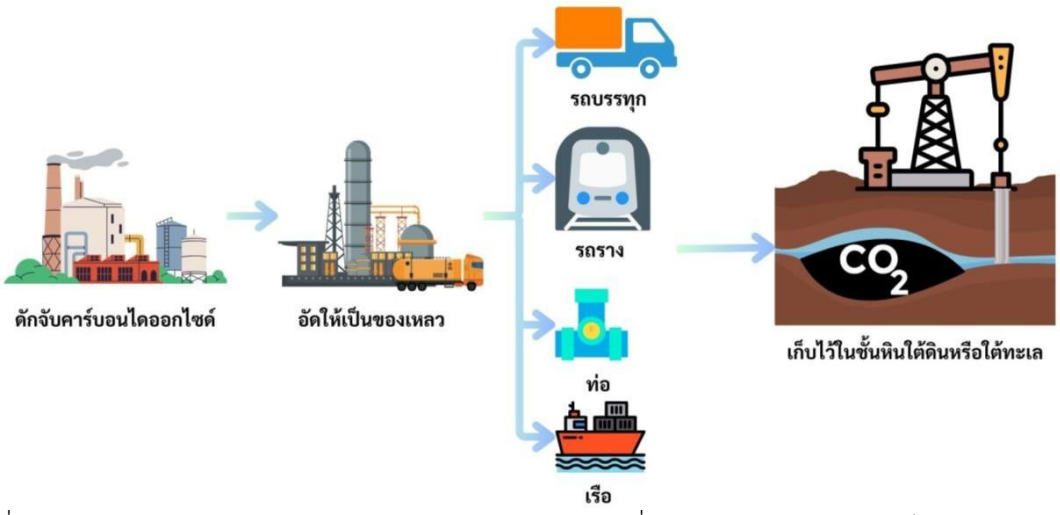
๑. กระบวนการก่อนการเผาไหม้ (Pre-combustion process) คือการเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปของแข็ง เช่น ถ่านหิน ชีวมวล ภายใต้อุณหภูมิและแรงดันสูงร่วมกับการใช้ไอน้ำให้อยู่ในรูปของซินแก๊ส (Syngas) ซึ่งประกอบด้วยแก๊สผสมของไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อนแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากไฮโดรเจนด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การดูดซึมทางเคมี และการแยกด้วยเมมเบรน เพื่อนำไปกักเก็บหรือใช้

ประโยชน์ (Hua et al., 2023) ไฮโดรเจนที่ได้จะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิง จากนั้นซินแก๊สจะถูกทำให้บริสุทธิ์และปราศจากคาร์บอน (Decarbonized fuel) เพื่อการผลิตพลังงานสะอาด

๒. กระบวนการหลังการเผาไหม้ (Post-combustion process) เป็นกระบวนการที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สหลังการเผาไหม้ โดยการดูดซึมด้วยสารเคมี (Chemical absorption) (Hua et al., 2023) โดยทั่วไปนิยมใช้สารละลายเอมีน (Aqueous amine solution) ที่สามารถเลือกจับอย่างจำเพาะกับคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อลดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม สารละลายเอมีนสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้หลังกระบวนการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ออกด้วยไอน้ำ (Stripping) (Chai et al., 2023)

๓. กระบวนการเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว (Oxyfuel combustion process) เป็นการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์เพื่อเผาไหม้เชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว แทนการใช้ออกซิเจนในอากาศ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดแก๊สที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนที่มาจากอากาศ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของมลพิษทางอากาศ เช่น หมอกพิษ (Smog) หรือฝนกรด ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ประกอบด้วยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (Chai et al., 2023; Hua et al., 2023) เนื่องจาก คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการนี้มีความเข้มข้นสูง ส่งผลให้การแยกคาร์บอนไดออกไซด์ ไปกักเก็บหรือใช้ประโยชน์นั้นทำได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ

คาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จะถูกบีบอัด (Compress) ให้อยู่ในรูปของเหลวและขนส่งโดยผ่านทางท่อ เรือ รถราง หรือรถบรรทุก (Golrokh Sani et al., 2022) (รูปที่ ๒) การขนส่งทางท่อจะเป็นวิธีที่คุ้มทุนมากที่สุด เนื่องจากสามารถใช้ท่อสำหรับส่งแก๊สเดิมที่มีอยู่แล้ว โดยดัดแปลงเพียงเล็กน้อยได้ อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยรถบรรทุกนั้นจะคุ้มทุนมากกว่า เมื่ออัตราการขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่า ๑๐๐,๐๐๐ ตันต่อปี (Golrokh Sani et al., 2022) และคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเหล่านี้จะถูกเก็บในพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีสัณฐานที่เหมาะสมอย่างถาวร ทั้งนี้ วิธีการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยอมรับกันในปัจจุบันคือการฉีดคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในชั้นเกลือใต้ดิน (Saline aquifer) และในแหล่งน้ำมันหรือแหล่งแก๊สใต้ดินหรือใต้ทะเลที่หยุดดำเนินการแล้ว (Depleted oil and gas reservoirs) เนื่องจากมีความจุมากและมีเครื่องมือพร้อม (IEA, 2024) ตัวอย่างแหล่งกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ขนาดใหญ่ เช่น โครงการ Humble Zero ของสหราชอาณาจักร สามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ลึกลงไปในชั้นหินเกลือใต้ทะเลถึง ๑.๖ กิโลเมตร โดยตั้งเป้าว่าจะสามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ๓.๓ ล้านตันต่อปีใน พ.ศ. ๒๕๗๑ และโครงการ Ravenna CCS ของสหภาพยุโรป ซึ่งมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ลึกลงไปในหลุมแก๊สที่หยุดดำเนินการแล้วใต้ทะเลลึก ๒.๕ กิโลเมตร และจะเริ่มดำเนินการใน พ.ศ. ๒๕๗๓ โดยคาดว่าจะสามารถกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ได้กว่า ๑๖ ล้านตันต่อปี

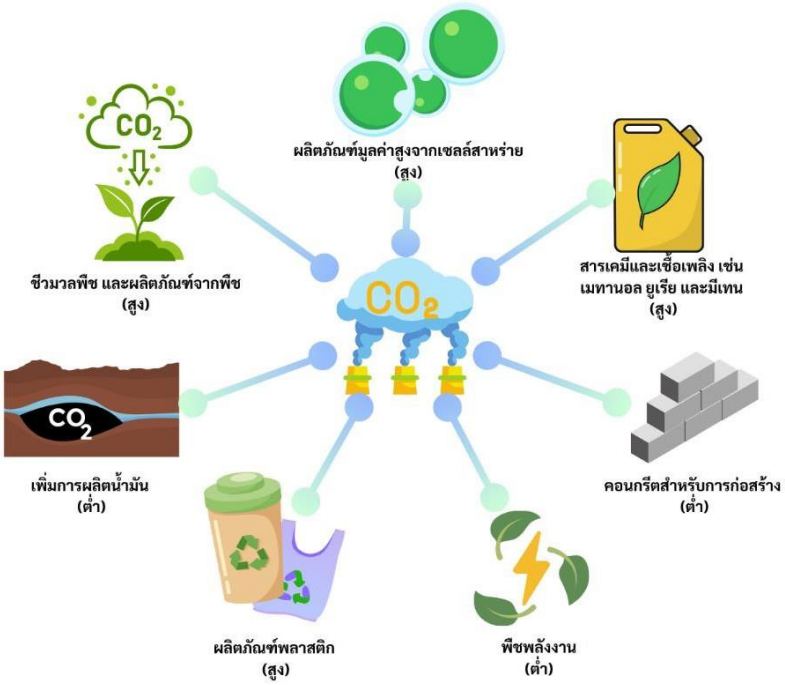


รูปที่ ๒. แผนภาพอย่างง่ายของการขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับได้ไปยังแหล่งกักเก็บถาวรใต้ดิน

รัฐบาลสหรัฐอเมริกาได้ดำเนินการแก้ไขนโยบายการอุดหนุนการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์แบบก้าวหน้า (Progressive subsidy) เพื่อสร้างแรงจูงใจให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน เพื่อไปสู่เป้าหมายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ โดยเพิ่มเงินอุดหนุนให้โครงการที่กักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นหินใต้ดินและใต้ทะเลจาก ๒๕.๗๐ เหรียญสหรัฐใน พ.ศ. ๒๕๗๑ เป็น ๕๐.๐๐ เหรียญสหรัฐใน พ.ศ. ๒๕๗๙ และเพิ่มเงินอุดหนุนโครงการที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (Carbon dioxide utilization) จาก ๑๕.๒๙ เหรียญสหรัฐใน พ.ศ. ๒๕๗๑ เป็น ๓๕.๐๐ เหรียญสหรัฐใน พ.ศ. ๒๕๗๙ (IEA, 2024)

การใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์

เนื่องจากเทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ต้องการใช้พลังงานและต้นทุนสูงมาก ในกระบวนการดักจับ ระบบการขนส่ง และการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ซับซ้อน การนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดักจับได้ไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ควบคู่ไปกับการกักเก็บอย่างถาวร จึงทำให้เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน มีประสิทธิภาพ คุ้มทุน และสำคัญแก่การบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutralization) รูปที่ ๓ แสดงผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการแปลงผันคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีทางเคมีและชีวภาพ (Chemical and biological conversion)



รูปที่ ๓. ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์ที่กักเก็บได้ และโอกาสที่คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปล่อยสู่บรรยากาศอีกครั้ง

การผลิตคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างมีศักยภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ ๐.๑–๑.๔ กิกะตันต่อปี ถือเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้คาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด คิดเป็น ๓.๘ เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่ปล่อยต่อปี นอกจากนี้ Hepburn et al., (2019) คาดการณ์ว่า ใน พ.ศ. ๒๕๙๓ ศักยภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อผลิตสารเคมีและพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นไปถึง ๐.๓–๐.๖ กิกะตันต่อปี และ ๑๐–๕๐ ล้านตันต่อปี ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การใช้คาร์บอนไดออกไซด์เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ยังถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งหมด ปัจจุบันจึงมีการศึกษาหาวิธีใหม่ ๆ ในการใช้ประโยชน์จากคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การผลิตเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงและมีศักยภาพในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าพืชทั่วไป (ที่ ๑๐ เปอร์เซ็นต์ เทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ ที่ ๑–๔ เปอร์เซ็นต์) การปลูกพืชพลังงานที่ทั้งสามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศและสามารถเปลี่ยนชีวมวลเป็นกระแสไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงได้ ซึ่งจะสามารถผลิตพลังงานทดแทนได้ถึง ๑๐๐–๓๐๐ เอกซะจูล (๑×๑๐^{๑๘} Joule) ต่อปี (Hepburn et al., 2019)

บทสรุป

ท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในปัจจุบัน ความพยายามลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมของมนุษย์อาจไม่เพียงพอ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน ที่มีศักยภาพในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณมหาศาลสู่ชั้นบรรยากาศเป็นเรื่องที่สนใจกันมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา หัวใจของเทคโนโลยีนี้คือการดักจับคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สเสียในอุตสาหกรรม โดยอาศัยวัสดุพิเศษหรือตัวทำละลายทางเคมีที่มีความจำเพาะ และนำไปเก็บอย่างถาวรในชั้นหินใต้ดินหรือใต้ทะเล แม้ว่าเทคโนโลยีจะมีข้อจำกัด คือ ต้นทุนสูง ทำให้เทคโนโลยีพัฒนาได้อย่างล่าช้าในช่วงหลายปีที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม การนำคาร์บอนไดออกไซด์ที่กักเก็บได้ไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง จะช่วยให้เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน คุ้มทุนมากขึ้นในอนาคต นอกจากนี้ การสนับสนุนเชิงนโยบายและการสร้างแรงจูงใจในการลงทุนนั้นจำเป็นต้องได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาลและองค์กรต่าง ๆ เพื่อขับเคลื่อนเทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน ให้เป็นเทคโนโลยีหลักเพื่อเป้าหมายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเป็นศูนย์ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

Ravenna CCS. (n.d.). [accessed 2024 August 15]; https://ravennaccs.com/en-IT/home

Chai, Y. H., Rashidi, N. A., Mohamed, M., Chin, B. L. F., & Yusup, S. (2023). Basic principles of CO2 capture and conversion technologies. Nanomaterials for Carbon Dioxide Capture and Conversion Technologies, 25–61. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89851-5.00006-8

EPA. (2024). Final Rule - Legacy Coal Combustion Residuals Surface Impoundments and CCR Management Units | US EPA. https://www.epa.gov/coalash/final-rule-legacy-coal-combustion-residuals-surface-impoundments-and-ccr-management-units

Golrokh Sani, A., Najafi, H., & Azimi, S. S. (2022). Dynamic thermal modeling of the refrigerated liquified CO2 tanker in carbon capture, utilization, and storage chain: A truck transport case study. Applied Energy, 326, 119990. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2022.119990

Hepburn, C., Adlen, E., Beddington, J., Carter, E. A., Fuss, S., Mac Dowell, N., Minx, J. C., Smith, P., & Williams, C. K. (2019). The technological and economic prospects for CO2 utilization and removal. Nature 575, 7781, 87–97. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1681-6

Hua, W., Sha, Y., Zhang, X., & Cao, H. (2023). Research progress of carbon capture and storage (CCS) technology based on the shipping industry. Ocean Engineering, 281, 114929. https://doi.org/10.1016/J.OCEANENG.2023.114929

Humber Zero. (n.d.). [accessed 2024 August 15]; https://humberzero.co.uk/ IEA. (2024). Carbon Capture, Utilisation and Storage. [accessed 2024 August 15]; https://www.iea.org/energy-system/carbon-capture-utilisation-and-storage

NCCS. (2024). Singapores climate change action. [accessed 2024 August 15]; https://www.nccs.gov.sg/singapores-climate-action/mitigation-efforts/carbontax/

UNFCCC. (2021). The Glasgow Climate Pact. [accessed 2024 May 15]; https://unfccc.int/process- and-meetings/the-paris-agreement/the-glasgow-climate-pact-key- outcomes-from-cop26