รายงานวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องดูดควัน เพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการเผาไหม้ของเตาย่าง โดยการใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

The Development of the Fume Hood to Reduce Carbon Dioxide Gas from the Combustion of the Grill by Using a Solution of Calcium Hydroxide

โดย

ปรียาภัทร ชัชวาลย์สิน

การวิจัยครั้งนี้ได้รับเงินทุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชพฤกษ์

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชพฤกษ์

ชื่องานวิจัย: การพัฒนาเครื่องดูดควัน เพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการเผาไหม้ของเตาย่างโดยการใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ชื่อผู้วิจัย: ปรียาภัทร ชัชวาลย์สิน

ปีที่ทำการวิจัยแล้วเสร็จ: 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเครื่องดูดควัน 2) ออกแบบถังบรรจุสารดูดซับของเครื่องดูดควันที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเครื่องดูดควัน ผลการวิจัยพบว่า สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อนำมาบรรจุในถังบรรจุสารดูดซับที่สร้างตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับแล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพก่อนนำไปทดลองใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง และ เมื่อนำเครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างบรรจุสารดูดซับแล้วไปใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง 2 ร้าน โดยร้านแรกใช้สารดูดซับความเข้มข้น 1 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) พบควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลอยปนออกมากับท่อระบายอากาศ จึงแก้ไขโดยเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับเป็น 1.39 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) ยังคงมีควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลอยปนออกมากับท่อระบายอากาศ จึงแก้ไขอีกครั้งด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับเป็น 2.78 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) แล้วนำไปทดลองใช้กับร้านที่ 2 พบว่าไม่มีควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเตาปิ้งไก่ลอยปนออกมากับท่อระบายอากาศ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.78 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อนำมาใส่ลงในถังบรรจุสารดูดซับตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับของเครื่องดูดควัน

คำสำคัญ: เครื่องดูดควัน ถังบรรจุสารดูดซับ สารดูดซับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Research Title: The Development of the Fume Hood to Reduce Carbon Dioxide Gas from the Combustion of the Grill by Using a Solution of Calcium Hydroxide

Researcher: Preyaphat Chatchawansin

Year: 2023

Abstract

This research aimed to 1) study the concentration of calcium hydroxide solution ($Ca(OH)_2$) that was effective in absorbing carbon dioxide (CO_2) in the hood 2) design the absorbent tank of the hood that was effective in absorbing carbon dioxide (CO_2). The result showed that calcium hydroxide solution at a concentration of 1 (Percentage by mass per volume) was effective in absorbing carbon dioxide when it was packed in an absorbent tank created according to the 3rd draft of the structure of the tank containing absorbents. Thus, the hood created according to the 3rd draft of the structure of the tank containing absorbents was put to test its performance before being installed and tested at two food stores selling Somtum and grilled chicken. After it had passed the performance test, the hood was put and tested at the first store. It was found that Carbon dioxide smoke was found floating out of the ventilation duct when having the absorbent concentration of 1 (percentage by mass per volume) in the absorbent tank. Consequently, the hood was adjusted by increasing the concentration of the adsorbent to 1.39 (percentage by mass per volume). However, there were still carbon dioxide fumes floating out of the ventilation ducts when it was tested at the same store. The hood, therefore, was adjusted again by increasing the concentration of the adsorbent to 2.78 (percentage by mass per volume). After that, it was installed and tested at the second food store. There were no carbon dioxide fumes floating out of the ventilation duct. As a result, it can be concluded that calcium hydroxide solution ($Ca(OH)_2$) at a concentration of 2.78 percent (Percentage by mass per volume) was suitable for absorbing carbon dioxide (CO_2) when it was put into the absorbent tank according to the 3rd draft of the absorbent tank structure of the hood.

Keywords: hood, absorbent tank, adsorbent , Carbon dioxide

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องดูดควัน เพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการเผาไหม้ของเตาย่างโดยการใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือของอาจารย์สมนึก สมรรถกิจขจร หัวหน้างานอาคารสถานที่ให้ความอนุเคราะห์ในการอำนวยความสะดวกจัดหาห้องทดลอง และขอขอบคุณ คุณเขียว และคุณป้าชูจิตร สัมผัสสุข เจ้าของร้านขายส้มตำไก่ย่าง ที่ได้อนุเคราะห์ให้ผู้วิจัยได้นำเครื่องดูดควันมาทดลองใช้งาน

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์อาภากร ทัศนแสงสูรย์ ที่กรุณาตรวจทานบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้เขียนบทความ ตำรา รายงานการวิจัยและวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าประกอบการทำรายงานวิจัยเรื่องนี้ ซึ่งล้วนเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยให้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยได้สำเร็จด้วยดี

ปรียาภัทร ชัชวาลสิน

ตุลาคม 2566

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 คำถามการวิจัย 4

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.4 ขอบเขตการวิจัย 4

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ 5

1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย 5

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับเครื่องดูดควัน 6

2.2 แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 13

2.4 แนวคิดเกี่ยวกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 22

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 37

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมการ 37

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นออกแบบและสร้างถังบรรจุสาร 38

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับและการหาปริมาณสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมก่อนนำใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง 39

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นทดลองใช้เครื่องดูดควันกับร้านขายอาหารปิ้งย่าง 42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล **44**

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ 44

ตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับและการหาปริมาณสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมก่อนนำใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง 46

ตอนที่ 3 ผลการทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาแล้วกับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง 55

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ **65**

5.1 สรุปผลการวิจัย 65

5.2 อภิปรายผล 67

5.3 ข้อเสนอแนะ 69

5.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ 69

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป 70

บรรณานุกรม **71**

ประวัติผู้วิจัย **75**

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง 29
2.2 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด 29
3.1 ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องดูดควัน โดยใช้สารดูดซับ 41
4.1 ผลการทดลองหาความเข้มข้นของสารดูดซับที่เหมาะสมก่อนนำไปทดลองใช้กับร้านส้มตำไก่ย่าง 54

มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์ RAJAPRUK UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 ภาพจำลองเทคโนโลยี CCS แสดงการกักเก็บคาร์บอนลงสู่ใต้ดิน 2
1.2 กระบวนการกักเก็บคาร์บอนลงสู่ใต้ดิน 2
1.3 โรงไฟฟ้า Boundary Dam ประเทศแคนาดา โรงไฟฟ้าถ่านหินที่ใช้เทคโนโลยี CCS ในเชิงพาณิชย์เป็นแห่งแรกในโลก 2
1.4 เทคโนโลยีทางเลือกลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สู่ชั้นบรรยากาศ 3
2.1 ท่อดูดควัน 7
2.2 เครื่องดูดควันดูดควันพกพา (1) 7
2.3 เครื่องดูดควันดูดควันพกพา (2) 8
2.4 เครื่องดูดควันดูดลม 8
2.5 เครื่องดูดควัน DIY แบบครบชุด 9
2.6 เครื่องดูดควันแรงดูดทรงพลัง 9
2.7 หน่วย CCUS ขนาดใหญ่ (world large-scale CCUS facilities) 12
2.8 เทคโนโลยีดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศโดยตรง (Direct Air Capture: DAC) 13
2.9 เครื่องดูดดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ออกจากอากาศ 14
2.10 กระบวนการ Enhanced oil Recoveryโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 18
2.11 แผนผังการจำแนกกระบวนการในการเปลี่ยนรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 19
2.12 แป้งเทียม ที่ผลิตจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 21
2.13 หินคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ผลิตจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 22
2.14 โครงสร้างของแบเรียมออธอไททาเนต (Barium Orthotitanate) 23
2.15 ภาพถ่าย SEM และแบบจาลองโครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) 26
3.1 แบบร่างที่ 1 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ 38
3.2 แบบร่างที่ 2 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ 38
3.3 แบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ 39
3.4 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 39
3.5 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.6 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนที่ใส....40
3.7 เครื่องดูดควันที่จัดตั้งเรียบร้อยพร้อมทดสอบการใช้งาน....41
3.8 ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้สารสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม....42
4.1 ถังบรรจุสารดูดซับที่สร้างตามแบบร่างที่ 2 ของโครงสร้างถังบรรจุสาร....45
4.2 ถังบรรจุสารดูดซับที่สร้างตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสาร....45
4.3 ถังบรรจุสารดูดซับที่ย้ายพัดลมจากบริเวณ Hood มาติดบริเวณท่อระบายอากาศ....46
4.4 เครื่องดูดควันที่ปรับปรุงถังบรรจุสารดูดซับนำมาทดสอบประสิทธิภาพ....46
4.5 ฝ้าสีขาวขุ่นผิวหน้าสารดูดซับ (วันแรก)....47
4.6 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ (วันแรก)....47
4.7 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (วันแรก)....48
4.8 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ (วันแรก)....48
4.9 ฝ้าสีขาวขุ่นผิวหน้าสารดูดซับ (วันที่สอง)....49
4.10 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ (วันที่สอง)....49
4.11 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (วันที่สอง)....50
4.12 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ (วันที่สอง)....50
4.13 ฝ้าสีขาวขุ่นผิวหน้าสารดูดซับ (วันที่สาม)....51
4.14 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ (วันที่สาม)....51
4.15 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (วันที่สาม)....51
4.16 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ (วันที่สาม)....52
4.17 ฝ้าสีขาวขุ่นผิวหน้าสารดูดซับ (วันที่สี่)....52
4.18 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ (วันที่สี่)....53
4.19 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (วันที่สี่).....53
4.20 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ (วันที่สี่)....53
4.21 เครื่องดูดควันที่ติดตั้งเรียบร้อยพร้อมใช้งาน....56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.22 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ 56
4.23 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน. 56
4.24 เครื่องดูดควันที่ปรับการติดตั้งHoodและระยะห่างของHoodกับเตาปิ้งไก่ที่เหมาะสม..... 57
4.25 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ..... 58
4.26 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ 58
4.27 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน 58
4.28 เครื่องดูดควันที่ปรับความยาวท่อระบายอากาศเป็น 3 เมตร 59
4.29 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ..... 59
4.30 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ 60
4.31 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน 60
4.32 เครื่องดูดควันที่ติดตั้งพร้อมใช้ทดลอง 61
4.33 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ..... 61
4.34 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ 62
4.35 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน 62
4.36 เครื่องดูดควันที่ติดตั้งพร้อมใช้ทดลอง 63
4.37 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ..... 63
4.38 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ 64
4.39 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน 64

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สภาวะโลกร้อน ความแห้งแล้งและความหลากหลายทางชีวภาพ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยทั่วโลกประมาณ 36 พันล้านตันต่อปี ซึ่งปริมาณการปลดปล่อยนี้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้นายริชาร์ด เบ็ธ นักวิทยาศาสตร์ด้านภูมิอากาศ ระบุว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศอันมีสาเหตุจากพฤติกรรมของมนุษย์กำลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ก่อนหน้านี้ใช้เวลามากกว่า 200 ปี กว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นถึง 25 % แต่ตอนนี้ผ่านไปเพียง 30 ปี ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นถึง 50% แล้ว (มติชนออนไลน์ ,2564) เหล่านี้เป็นผลมาจากภาคอุตสาหกรรม การก่อสร้าง การขนมนาคมขนส่ง และภาคครัวเรือน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประกอบอาหารปิ้งย่าง

ปัจจุบันการรับประทานอาหารปิ้งย่างในรูปแบบหมูกระทะ คอหมูย่าง ปลาย่าง ไก่ย่าง และอาหารทะเลปิ้งย่าง ได้รับความนิยมมากขึ้น ซึ่งเตาถ่านที่นำมาใช้ปิ้งย่างนั้น ก่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดควันซึ่งมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อร่างกายลดลง การลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายน้อยลง ส่งผลให้เซลล์ของอวัยวะต่าง ๆ ขาดออกซิเจนไปลำเลียง โดยเฉพาะสมอง เกิดอาการง่วงหลับ หมดสติโดยไม่รู้ตัว และหากได้รับในปริมาณมากอาจเกิดอาการขาดออกซิเจนฉับพลันถึงขั้นเสียชีวิตได้ ในกรณีที่ใช้เตาถ่านที่อับทึบ

นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยมีความพยายามในการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้ในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพื่อเป็นเครื่องทุ่นแรงบรรเทาวิกฤตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น เช่น เทคโนโลยีดักจับคาร์บอน (Carbon Capture and Storage: CCS) คือกระบวนการฉีดอัดก๊าซคาร์บอนร้อยละ 90 ที่ออกจากโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่ใต้ดินที่มีความลึกหลายกิโลเมตร หรืออีกนัยหนึ่งคือ การนำคาร์บอนกลับคืนแหล่งกำเนิด และจะถูกเก็บไว้ไม่ให้รั่วไหลออกมาเป็นเวลาหลายล้านปี (www.tgo.org.th/2015/thai: 2559: ออนไลน์) ดังภาพที่ 1.1 และภาพที่ 1.2

ภาพที่ 1.1 ภาพจำลองเทคโนโลยี CCS แสดงการกักเก็บคาร์บอนลงสู่ใต้ดิน
ที่มา: http://www.theaustralian.com.au (2559: ออนไลน์)

ภาพที่ 1.2 กระบวนการกักเก็บคาร์บอนลงสู่ใต้ดิน
ที่มา: Greennetwork Magazine (2563: ออนไลน์)

เทคโนโลยีดักจับคาร์บอน Boundary Dam 3 CCS Facility (BD3) ของบริษัท Sask Power ดังภาพที่ 1.3 สามารถดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทะลุ 3 ล้านตัน แสดงให้เห็นว่า นักบุกเบิกเทคโนโลยีดักจับและกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture and Storage: CCS) ของโรงงานแห่งนี้บรรลุเป้าหมาย การพัฒนาและมีบทบาทในการลดและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างต่อเนื่อง (RTY 9: 2562: ออนไลน์)

ภาพที่ 1.3 โรงไฟฟ้า Boundary Dam ประเทศแคนาดา โรงไฟฟ้าถ่านหินที่ใช้เทคโนโลยี CCS ในเชิงพาณิชย์เป็นแห่งแรกในโลก
ที่มา: http://www.theaustralian.com.au (2559: ออนไลน์)

และเมื่อไม่นานได้มีการลงนามบันทึกความเข้าใจระหว่างบริษัท Japan CCS co., Ltd. กรุงโตเกียว กับ International CCS Knowledge Centre เมืองริไจนา รัฐซัสแคตเชวัน ประเทศแคนาดา มีวัตถุประสงค์ร่วมมือกันเพื่อผลักดันการใช้เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์และการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture Utilization and Storage หรือ CCUS) ดังภาพที่ 1.4

ภาพที่ 1.4 เทคโนโลยีทางเลือกลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สู่ชั้นบรรยากาศ
ที่มา: http://www. blockdit.com/posts/ (2021: ออนไลน์)

นอกจากนี้เครื่องดูดควันเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของเทคโนโลยีที่นำมาใช้ เพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อประกอบอาหารปิ้งย่างในชีวิตประจำวัน จากงานวิจัยการสร้างเครื่องดูดควันที่สร้างจากแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างเครื่องดูดควัน ที่นำไปใช้กับเตาปิ้งย่างเฉลี่ย 5 ชั่วโมงต่อวัน ประเมินจากลักษณะของเครื่องดูดควันที่ดี โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) พบว่าเครื่องดูดควันมีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับดี คือ เกิดสารสีขาวขุ่นของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แขวนลอยอยู่ในถังบรรจุสาร บางส่วนตกตะกอนอยู่ก้นถังบรรจุสาร เมื่อตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที แยกตัวออกจากน้ำ ซึ่งเป็นของเหลวใส โดยมีควันเหลือที่เตาปิ้งย่างประมาณร้อยละ 20 ของควันที่เกิดจากเตาปิ้งย่าง (ปรียาภัทร ชัชวาลย์สิน, 2563)

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังคงพบควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลือที่เตาปิ้งย่าง ซึ่งก๊าซนี้ยังคงปนเปื้อนอยู่ในอากาศ ทำให้เกิดมลพิษอากาศตามมา ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจพัฒนาเครื่องดูดควันจากเตาปิ้งย่าง โดยออกแบบถังบรรจุสารดูดซับ และใช้สารดูดซับ ได้แก่

สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ทำหน้าที่ในการดักจับและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากเตาปิ้งย่าง เพื่อคืนก๊าซสะอาดออกสู่บรรยากาศและสิ่งแวดล้อม

1.2 คำถามการวิจัย

1.2.1 ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเครื่องดูดควันเป็นอย่างไร

1.2.2 ถังบรรจุสารดูดซับของเครื่องดูดควันที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเครื่องดูดควันเป็นอย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเครื่องดูดควัน

1.3.2 เพื่อออกแบบถังบรรจุสารดูดซับของเครื่องดูดควันที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเครื่องดูดควัน

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาเครื่องดูดควันที่ใช้สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกแบบถังบรรจุสารดูดซับ โดยมีตัวแปรต้นคือ การพัฒนาเครื่องดูดควันโดยการออกแบบถังบรรจุสารดูดซับกับเตาปิ้งย่างขนาดเล็ก (50x70 เซนติเมตร) ตัวแปรตามคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ถูกดูดโดยสารดูดซับ

1.4.2 ขอบเขตด้านประชากร

ร้านขายส้มตำไก่ย่าง คุณเขียว อพาร์ทเม้นชัยเจริญ ตำบางขุนกอง อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี

ร้านขายส้มตำไก่ย่าง นางชูจิตร สัมผัสสุข ตำบางขนุน อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี

1.4.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา

ระยะเวลาของงานวิจัยเรื่องนี้ใช้เวลาทั้งสิ้น 1 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2564 – เดือนพฤษภาคม 2565 โดยผู้วิจัยคาดว่าจะเริ่มออกแบบและสร้างถังบรรจุสารดูดซับ เดือนกรกฎาคม 2564

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 เครื่องดูดควัน หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ในการดูดควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากเตาปิ้งย่าง โดยมีถังบรรจุสารดูดซับได้แก่สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่ช่วยดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพื่อคืนก๊าซดีสู่สิ่งแวดล้อม

1.5.2 สารดูดซับ หมายถึง สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่บรรจุอยู่ถังบรรจุสารดูดซับ โดยมีสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ทำหน้าที่ในการดักจับและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก่อนออกสู่บรรยากาศ

1.5.3 ถังบรรจุสารดูดซับ หมายถึง ถังสแตนเลสขนาด 50x50x25 เซนติเมตร มีฝาปิดและเจาะรูที่ฝาถัง 2 รู เพื่อต่อท่อระบายอากาศ 1 รู และอีก 1 รู ต่อกับ Hood ของเครื่องดูดควันเพื่อให้ควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเตาปิ้งย่างเข้ามาทำปฏิกิริยากับสารดูดซับที่อยู่ในถังบรรจุสารดูดซับ ทำหน้าที่เป็นภาชนะบรรจุสารดูดซับหรือสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

1.5.4 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หมายถึง ก๊าซที่ก่อให้เกิดมลพิษอากาศและสิ่งแวดล้อม หากได้รับเข้าไปจะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อร่างกายลดลง ส่งผลให้เซลล์ของอวัยวะต่าง ๆ ขาดออกซิเจนไปลำเลียงสมอง เกิดอาการง่วงหลับ หมดสติโดยไม่รู้ตัว หากได้รับปริมาณมากอาจเกิดอาการขาดออกซิเจนฉับพลันถึงขั้นเสียชีวิตได้ ซึ่งก๊าซนี้เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ให้ควันสีดำ

1.6 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.6.1 ผู้วิจัยได้เครื่องดูดควันที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากเตาปิ้งย่าง เมื่อใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เป็นตัวดูดซับ ช่วยลดมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมและสามารถนำมาใช้กับร้านขายอาหารปิ้งย่างจากเตาถ่าน

1.6.2 นักธุรกิจจำหน่ายเครื่องดูดควัน สามารถนำมาพัฒนาธุรกิจด้านเครื่องดูดควันสำหรับเตาปิ้งย่างอาหารที่ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ราคาถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.6.3 ร้านอาหารปิ้งย่างสามารถต่อยอดธุรกิจ เป็นร้านอาหารที่ปลอดสารมลพิษและปลอดภัยต่อสุภาพ

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่ง ประกอบด้วยแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องดูดควัน เพื่อพัฒนาเครื่องดูดควันที่สามารถดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) โดยการใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เป็นสารดูดซับ ซึ่งนำเสนอผลการทบทวนวรรณกรรมใน 5 ประเภท ดังนี้

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับเครื่องดูดควัน

2.2 แนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.4 แนวคิดเกี่ยวกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับเครื่องดูดควัน

ปัจจุบันคนมีความนิยมในการรับประทานอาหารปิ้งย่างอย่างแพร่หลาย จนทำให้เกิดเป็นธุรกิจร้านอาหารประเภทปิ้งย่างมากขึ้น เนื่องจากรับประทานได้ทุกเพศ ทุกวัย สามารถรับประทานที่ร้านหรือสั่งมาทานกับครอบครัวก็ได้ จากความนิยมรับประทานอาหารปิ้งย่างไม่เพียงแค่ก่อให้เกิดธุรกิจร้านอาหารแต่ยังก่อให้เกิดธุรกิจเกี่ยวกับเครื่องใช้ที่ช่วยในการดูดควันจากการปิ้งย่าง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในขณะรับปรับประทานและผู้ให้บริการภายในร้านด้วย (www.ddcharcoal.com)

2.1.1 ชนิดของเครื่องดูดควัน สามารถเลือกติดตั้งได้ตามความต้องการและสะดวกต่อการใช้งาน ได้แก่

1) แบบท่อดูดควัน เป็นท่อที่สามารถดูดความจากเตาปิ้งย่างขึ้นบนอาคาร ตัวท่อทำจากวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้าและกันความร้อนได้ดี สามารถดึงขึ้นลงได้ตามต้องการ ตัวหมุนได้ 360 องศา ดูดควันป้องกันการหยดของน้ำมันลงบนเตาปิ้งย่าง ติดตั้งง่าย มีพัดลมดูดควันในตัว ส่วนใหญ่มักใช้กับร้านปิ้งย่างเกาหลี ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 เครื่องดูดควันชนิดท่อดูดควัน
ที่มา: www.shoppee.co.th (2023: ออนไลน์)

2) เครื่องดูดควันแบบพกพา (1) สามารถดูดควันที่เกิดจากการย่างอาหาร ขนาดเล็ก และนำมาใช้ในงานช่างเชื่อมได้ด้วย เพราะช่วยดูดควันและกรองควันพิษได้อย่างรวดเร็วด้วยพลังสูง ดังภาพที่ 2.2

ภาพ 2.2 เครื่องดูดควันพกพา(1)
ที่มา: www.worthen – life.com (2020: ออนไลน์)

3) เครื่องดูดควันพกพา (2) สามารถนำมาวางไว้ข้างเตาปิ้งย่างหรือประยุกต์ติดที่ผนังได้ เครื่องนี้จะดูดควันที่ก่อกวนขณะปิ้งย่างด้วยเสียงที่เบามาก ดังภาพที่ 2.3

ภาพที่ 2.3 เครื่องดูดควันพกพา (2)

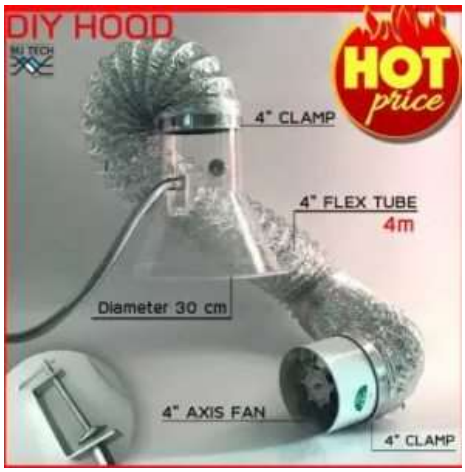
ที่มา: www.worthen – life.com (2020: ออนไลน์)

4) เครื่องดูดลม ที่ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานง่าย ติดตั้งบนผนังหรือวางไว้บนโต๊ะตามที่ต้องการ มีท่อดูดลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สามรถดูดควันอาหารและระบายอากาศได้ ดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.4 เครื่องดูดลม

ที่มา: www.worthen – life.com (2020: ออนไลน์)

5) เครื่องดูดควัน DIY แบบครบชุด สามารถดูดควันที่เกิดจากการปิ้งย่าง มาพร้อมกับพัดลมดูดอากาศนาด 4 นิ้ว มีขายึดกับโต๊ะเพื่อให้ได้รับองศาที่เหมาะสมในการดูดควันมากขึ้น ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เครื่องดูดควัน DIY แบบครบชุด
ที่มา: www.worthen – life.com (2020: ออนไลน์)

6) เครื่องดูดควันแรงดูดทรงพลัง สามารถดูดควัน ดูดไอน้ำและระบายอากาศที่ช่วยจัดการกับสิ่งที่ไม่พึงประสงค์จากการปิ้งย่างได้เป็นอย่างดี ใช้งานได้ทั้งในบ้าน ในอาคารหรือนอกตัวบ้าน เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีการประกอบอาหาร ดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6 เครื่องดูดควันแรงดูดทรงพลัง
ที่มา: www.worthen – life.com (2020: ออนไลน์)

2.1.2 ข้อดีของเครื่องดูดควันสำหรับการปิ้งย่าง

เครื่องดูดควันสำหรับการปิ้งย่าง มีข้อดีต่าง ๆ ที่น่าสนใจ ดังนี้

1) ช่วยทำให้ไม่รู้สึกอึดอัด สำหรับการปิ้งย่างในร้านอาหารที่เป็นพื้นที่ปิด จะมีควันและกลิ่นของอาหารจากการปิ้งย่าง ทำให้รู้สึกอึดอัดจากการสูดควันภายในร้าน หากมีเครื่องดูดควันก็จะดูดควันและระบายอากาศออกนอกร้านทำให้รู้สบายและปลอดภัยขึ้น

2) ไม่รบกวนเพื่อนบ้าน เนื่องจากควันจากเตาปิ้งย่างเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์องทุกคน เป็นปัจจัยที่ทำให้เพื่อนบ้านเกิดการเขม่นกัน เพราะควันรบกวน

3) ช่วยรักษาสุภาพ เพราะการสูดควันจากการปิ้งย่างเป็นเวลานานติดต่อกันระหว่างทานอาหาร เป็นสิ่งที่บั่นทอนสุขภาพอย่างมาก ทั้งระบบหายใจและนัยน์ตา ที่ต้องสัมผัสควัน ดังนั้นการติดตั้งเครื่องดูดควันจะช่วยลดผลกระทบเหล่านี้และยังช่วยให้คนที่รับประทานอาหารได้สบายขึ้น

2.1.3 ข้อดีของเครื่องดูดควันต่อกิจการร้านปิ้งย่าง

การติดตั้งเครื่องดูดควันในร้านอาหาร มีผลดีทั้งภาพลักษณ์องกิจการและพนักงานภายในร้าน ดังนี้

1) เพิ่มความเชื่อถือให้กับร้านค้า ทำให้ร้านดูโปรและพรีเมี่ยมขึ้นมาทันที เนื่องจากเครื่องดูดควันในปัจจุบันมีรูปแบบที่ดูหรูหราทันสมัย ใช้วัสดุที่แข็งแรงทนทาน มีขนาดมองเห็นได้ชัดเจน เมื่อลูกค้าเข้ามาในร้านก็จะรู้สึกว่าร้านใช้อุปกรณ์ได้มาตรฐานในการช่วยดูดควัน ส่งผลดีต่อตัวลูกค้าที่ไม่ต้องทนสูดควันหรือมีกลิ่นควันติดตัว

2) ผลดีต่อสุภาพของพนักงาน เนื่องจากพนักงานในร้านอาหารต้องทำงานในร้านหลายชั่วโมงต่อวัน ต้องเจอกับควันติดต่อกันเป็นเวลานานทุกวัน ซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงกับทั้งระบบทางเดินหายใจ และดวงตาที่โดนควันมาก ๆ แล้วจะเกิดการระคายเคืองได้ง่าย การติดตั้งเครื่องดูดควันจะช่วยให้สุขภาพของพนักงานปลอดภัย มีความสุขในการทำงาน อยากทำงานกับร้านไปนาน ๆ

3) ช่วยรักษาเฟอร์นิเจอร์ภายในร้านอาหารให้ดูใหม่อยู่เสมอ เพราะเครื่องดูดควันจะช่วยดูดควัน ลดเขม่าและคราบไขมันที่มากับควัน ทำให้เกิดคราบดำและคราบสกปรกขึ้นบนเฟอร์นิเจอร์ภายในร้านได้ง่าย

2.2 แนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน จากการดำเนินชีวิตประจำวันและการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและส่งผลต่อภัยพิบัติทางธรรมชาติต่าง ๆ ดังนั้น

การนำเทคโนโลยีเกี่ยวกับการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนี้

2.2.1 การดักจับและการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage: CCS) เป็นกระบวนการของการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เป็นของเสียจากแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้าพลังถ่านหิน (Coal- fired Power Plant) หรือ โรงงานผลิตที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงในอุตสาหกรรมอื่น ๆ โดยขนส่งไปจัดเก็บไว้ในสถานที่ที่จะไม่สามารถกับเข้าสู่บรรยากาศได้ อาทิ โพรงทางธรณีวิทยา (Geological formation) ที่อยู่ในดิน เพื่อป้องกันไม่ให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสู่ชั้นบรรยากาศ)

2.2.2 เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture, Utilization and Storage: CCUS) เป็นเทคโนโลยีการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และนำมากักเก็บภายใต้พื้นดินหรือใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมอื่น ๆ แนวคิดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ครั้งแรกในด้านการผลิตน้ำมันในขั้นตอนที่เรียกว่า “การสูบน้ำมันแบบก้าวหน้า” (Enhanced oil recovery: EOR) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970

เนื่องจาก CCUS เป็นเทคโนโลยีที่มีราคาสูงสำหรับการนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม การลงทุนในเทคโนโลยีดังกล่าวจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมในช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม CCUS ถือเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการลดคาร์บอนและเริ่มได้รับการสนใจเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 2017 จากการวางเป้าหมายด้านสภาพภูมิอากาศและแรงจูงใจด้านการลงทุนที่เพิ่มมากขึ้นจากทั่วโลก อีกทั้ง CCUS ยังถือเป็นหนึ่งในห้าวิธีการหลักในการเปลี่ยนถ่ายสู่พลังงานสะอาดสำหรับประเทศจีน

นอกจากนี้เพื่อการมุ่งสู่เป้าหมายการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ เทคโนโลยี CCUS สามารถตอบสนองได้ด้วยคุณค่าด้านกลยุทธ์ที่โดดเด่นอันประกอบด้วย

1. โรงงานผลิตไฟฟ้าและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งสามารถปล่อย CO_2 8 พันล้านตัน ในปี ค.ศ. 2050 สามารถทำการติดตั้ง CCUS ได้

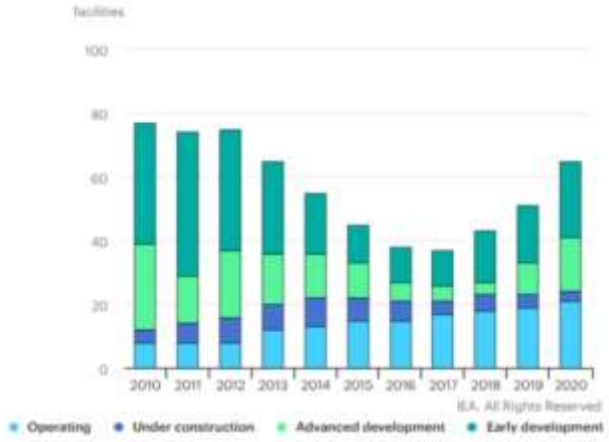
2. CCUS สามารถประยุกต์ใช้ได้ในภาคการผลิตที่หลากหลาย ขณะที่เทคโนโลยีอื่น ๆ มีความจำกัด

3. CCUS สามารถนำไปสู่การผลิตก๊าซไฮโดรเจนคาร์บอนต่ำที่ต้นทุนต่ำที่สุด

4. CCUS สามารถกำจัด CO2 จากบรรยากาศด้วยการทำงานร่วมกับการใช้พลังงานชีวภาพ

5. หรือการดักจับอากาศโดยตรงเพื่อสร้างสมดุลการปล่อย

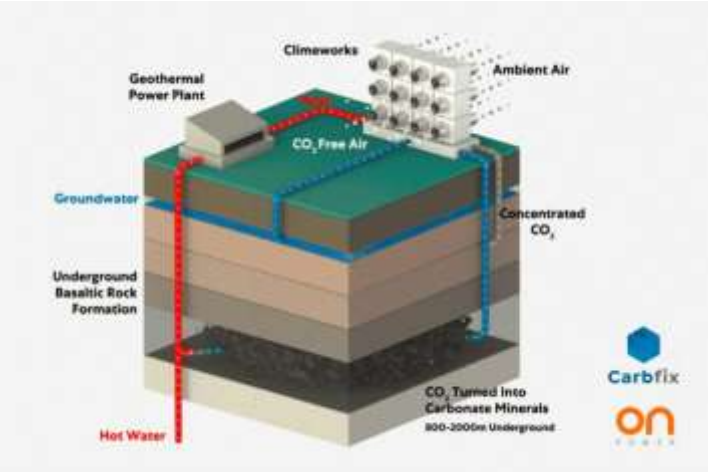
จากที่กล่าวมาข้างต้น CCUS ที่กำลังได้รับแรงขับเคลื่อนและสามารถประยุกต์ใช้ได้ในกระบวนการอุตสาหกรรมที่หลากหลายซึ่งกำลังปล่อย CO_2 ปริมาณมหาศาลสู่ชั้นบรรยากาศ ดังนั้นเทคโนโลยีนี้จึงถือเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพในการลดการปล่อย CO_2 และการมุ่งสู่เป้าหมายการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในอนาคต



ภาพที่ 2.7 หน่วย CCUS ขนาดใหญ่ (world large-scale CCUS facilities)
ที่มา: https://caacademy.tgo.or.th (2021: ออนไลน์)

จากเนื้อความดังกล่าวสรุปได้ว่า เทคโนโลยี CCS และ CCUS เป็นนวัตกรรมที่ช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ และเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการมุ่งสู่การปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ในอนาคต โดยการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งผลิตแล้วนำไปสู่การผลิตก๊าซไฮโดรเจนคาร์บอนต่ำ รวมถึงการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาแปลงเป็นเมทานอล

2.2.3 เทคโนโลยีดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศโดยตรง (Direct Air Capture: DAC) มีหลักการทำงานคือการดูดอากาศเข้าสู่ตัวเครื่องด้วยพัดลมดูดอากาศ เครื่องจะปิดไม่ให้อากาศหลุดออกไปสู่ภายนอกและสกัดเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากอากาศด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์และยุติวงจรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศด้วยวิธี Carbfix คือการการนำเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการสกัดผสมเข้ากับน้ำ แล้วใช้แรงดัน อัดอากาศและน้ำลงสู่พื้นดินเพื่อฝังลึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กักเก็บไว้ใต้ชั้นเปลือกโลกอย่างถาวร ดังภาพที่ 2.8

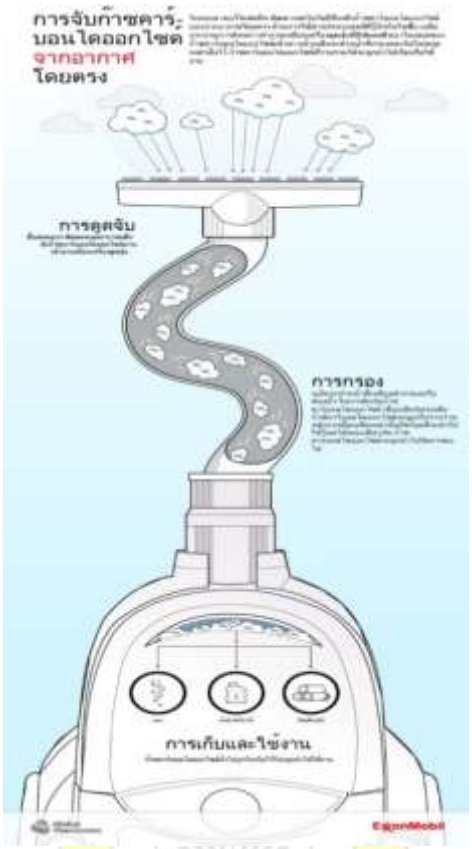


ภาพที่ 2.8 เทคโนโลยีดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศโดยตรง (Direct Air Capture: DAC)
ที่มา: https://urbancreature.co/climeworks/ (2021: ออนไลน์)

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากอากาศโดยตรงซึ่ง โกลบอล เทอร์โมสแต๊ท ได้พัฒนาเทคโนโลยีที่จะดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจากอากาศโดยตรง ด้วยการใช้สารประกอบเคมีที่รู้จักกันในชื่อเอมีน กระบวนการดังกล่าวทำงานเหมือนเครื่องดูดฝุ่นที่มีพัดลมดึงเอาโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เข้ามา แล้วเอมีนทำหน้าที่กรองและจับโมเลกุลเหล่านั้นไว้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ที่รวบรวมได้จะถูกนำไปเก็บหรือใช้งาน โดยการดูดจับในขั้นแรก พัดลมจะดูดอากาศเพื่อดึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ผ่านเข้ามาเหมือนเครื่องดูดฝุ่น ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 เครื่องดูดดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกจากอากาศ
ที่มา: https://energyfactor.exxonmobil.asia/th/science-technology/ (2019: ออนไลน์)

2.3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO_2)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะต้นไม้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการสร้างอาหารหล่อเลี้ยงลำต้น มนุษย์และสัตว์หายใจออกปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ ในอากาศบนผิวโลกที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับร้อยละ 0.03 โดยปริมาตร ซึ่งถือได้ว่ามีปริมาณเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก๊าซไนโตรเจน (N_2) และออกซิเจน (O_2) ที่มีอยู่เท่ากับร้อยละ 78 และ 21 โดยปริมาตรตามลำดับ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยังมีคุณสมบัติเป็นก๊าซเรือนกระจกช่วยเก็บความอบอุ่นไว้ภายในโลก หากปราศจากก๊าซเรือนกระจก อุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวโลกจะหนาวเย็นถึง -18 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการดำรงชีวิต อย่างไรก็ตาม การมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศมากเกินไป จะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น น้ำทะเลมีความเป็นกรดมากขึ้นจาก

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ละลายน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งบนบกและในทะเล รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ผิดปกติ ก่อให้เกิดทั้งความแห้งแล้ง น้ำท่วม พายุและภาวะคลื่นความร้อน (Heatwave) ที่รุนแรง

2.3.1.1 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก่อนหน้านี้ที่มีรายงานจากสถาบัน American Meteorological Society ออกมาว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นถึงระดับที่ไม่เคยเห็นมาก่อนอย่างน้อย 800,000 ปี โดยในปี ค.ศ. 2018 สูงถึงระดับ 407.4 ppm (Parts Per Million) โดยเพิ่มขึ้น 2.4 ppm จากปี ค.ศ. 2017

เมื่อพิจารณาจากรายงานของ Global Carbon Project ของ Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) ซึ่งนำตัวเลขปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปี ค.ศ. 2017 อันส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกในแต่ละประเทศมาจัดอันดับจะพบว่า อันดับหนึ่งที่ปล่อยก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดคือประเทศจีน คิดเป็น 27.2% จากจำนวนปริมาณก๊าซทั้งหมด 36,153 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ (MtCO2) รองลงมาคือสหรัฐอเมริกาและอินเดีย ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทั้ง 3 ประเทศปล่อยออกมานี้รวมกันถือเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดทั่วโลก โดยประเทศที่มีอันดับรองลงมาใน 5 อันดับแรกก็คือรัสเซียและญี่ปุ่น

แต่เมื่อเราพิจารณาเปรียบเทียบกับจำนวนประชากรในแต่ละประเทศกับจำนวนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะพบว่า ประเทศที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรคือประเทศกาตาร์ รองลงลงมาคือประเทศตรินิแดดโตเบโก ประเทศคูเวต ประเทศสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ และบาห์เรน

หากพิจารณาจากข้อมูลทั้งสองชุดประกอบกันจะเห็นว่า มี 6 ประเทศ ที่ติดทั้งในกลุ่มประเทศที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด และประเทศที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนประชากร นั่นก็คือ ซาอุดิอาระเบีย สหรัฐอเมริกา แคนาดา เกาหลีใต้ รัสเซีย และเยอรมนี

ในขณะที่ประเทศไทย ซึ่งได้ให้สัตยาบันเข้าร่วมความตกลงปารีส ภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปี พ.ศ. 2559 โดยมีการกำหนดป้าหมายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในเฟสแรกให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 7 ภายในปี พ.ศ.2563 และร้อยละ 20-25 ภายในปี พ.ศ. 2573

ปรากฏว่าในปีที่ผ่านมา ประเทศไทยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 45.68 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ หรือเท่ากับร้อยละ 12 ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่ประกาศไว้ และคาดว่าเมื่อถึงปี พ.ศ. 2573 ประเทศไทยจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 156.86 ล้านตัน

คาร์บอนไดออกไซด์หรือร้อยละ 28.2 โดยภาคพลังงานและการขนส่งเป็นสองภาคที่มีการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดของประเทศไทย

2.3.1.2 เป้าหมายของภาคอุตสาหกรรมในการลดการปลดปล่อย CO_2

อุตสาหกรรมชั้นนาหลายแห่งได้ตั้งเป้าที่จะลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้ได้ 30% ภายในปี ค.ศ. 2030 และมุ่งสู่คาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ (net-zero carbon) ภายในปี ค.ศ. 2050 โดยมีแนวทางที่แตกต่างกันเพื่อไปถึงเป้าหมาย ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมซีเมนต์ซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อันดับต้น โดย Cement Sustainability Initiative (CSI) ร่วมกับ International Energy Agency (IEA) ได้เสนอแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในรายงาย Cement technology road map นอกจากนี้ยังมีรายงานอื่น ๆ ซึ่งได้กล่าวถึงแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (energy efficiency, 4-8% CO_2 reduction) คาดว่าสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ 4-8% การใช้เชื้อเพลิงทางเลือก (alternative fuels, 40% CO_2 reduction) การทดแทนปูนเม็ด (clinker substitution, 70-90% CO_2 reduction) การผลิตวัสดุซีเมนต์ชนิดใหม่ (novel cements, 90-100% CO_2 reduction) และการใช้เทคโนโลยีการดักจับ การใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน (carbon capture, utilization and storage, CCUS, 95-100% CO_2 re-duction) เป็นต้น ทั้งนี้สาหรับอุตสาหกรรมซีเมนต์ถึงแม้ว่าจะมีหลายแนวทางที่ช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่คาดการณ์ว่ามีเพียงการมุ่งสู่วัสดุซีเมนต์ใหม่ ๆ หรือเทคโนโลยี CCUS เท่านั้นที่จะสามารถผลักดันให้ไปถึงคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ได้ สาหรับภาคอุตสาหกรรมชั้นนาอื่น ๆ เช่น Chemicals, Steel, Power และ Oil & Gas ที่เป็นแหล่งของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็มีสัดส่วนการตั้งเป้าเพื่อไปสู่คาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์เช่นกัน และมีสัดส่วนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี CCUS เพื่อไปให้ถึงเป้าที่แตกต่างกันอีกด้วย

ในปัจจุบันมีรายงานจาก IEA ถึง 21 หน่วยอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ทั่วโลกที่ดำเนินการด้าน CCUS อยู่ (world large-scale CCUS facilities) และยังมีหน่วยอุตสาหกรรมที่อยู่ระหว่างการก่อสร้างและการพัฒนาอีกจานวนหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น หน่วย CCUS ในอุตสาหกรรมเหล็กที่แรกของโลกที่ตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 2016 ที่เขตอุตสาหกรรม Mussafah ในเมืองอาบูดาบี ประเทศสหรัฐอาหรับเอ-มิเรตส์ สามารถดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ถึง 0.8 ล้านตันต่อปี และใช้ฉีดกลับลงในหลุมขุดเจาะน้ามันเพื่อเพิ่มผลผลิต นอกจากนี้ยังมีโรงงานการผลิตสารสำคัญหรือผลิตภัณฑ์จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยกตัวอย่างเช่น โรงงานของบริษัท Covestro ในการแปลงก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ ไปเป็นโฟมของ polyurethane ที่เมืองดอร์มาเกน ประเทศเยอรมนี และโรงงานของ Carbon Recycling International (CRI) ในการผลิตเมทานอลที่

ประเทศไอซ์แลนด์ เป็นต้น สำหรับโปรเจคใหญ่ที่อยู่ระหว่างการพัฒนา เช่น โปรเจค Net Zero Teesside ประกอบด้วยกลุ่มสมาชิก Oil & Gas

Climate Initiative (OGCI) 5 บริษัท ได้แก่ BP, Eni, Equinor, Shell และ Total โดยดาเนินโครงการผ่านการสนับสนุนของรัฐบาลสหราชอาณาจักรในกรอบนโยบายที่มุ่งสู่การเป็นผู้นำและส่งออกเทคโนโลยี CCUS ไปทั่วโลก

2.3.1.3 การนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ประโยชน์

การนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ประโยชน์มี 2 รูปแบบ ดังนี้

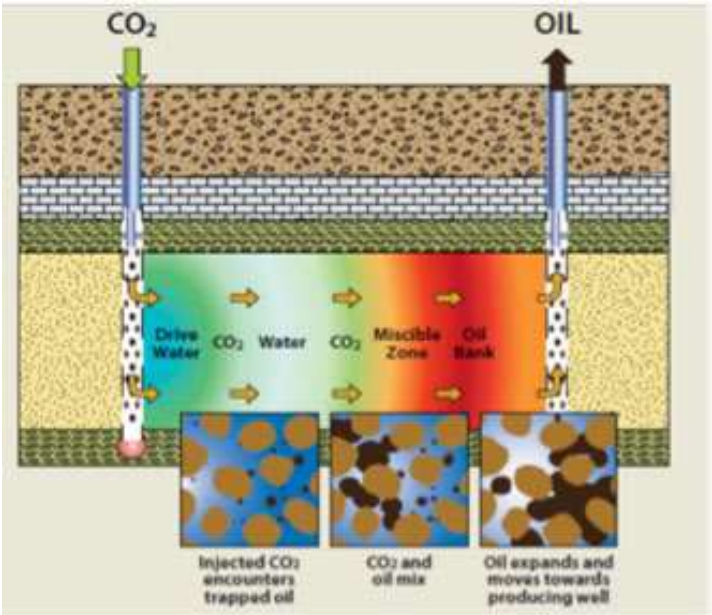
1. การนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาใช้โดยไม่มีการเปลี่ยนรูป (non-conversion CO_2 utilization)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่นำไปใช้งานโดยตรงนั้น มักจะถูกใช้เป็นตัวทำละลาย (solvent) สารทำงาน (working fluid) และสารถ่ายเทความร้อน (heat transfer fluid) ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากสมบัติทางกายภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และด้วยลักษณะการใช้งานดังกล่าว ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะนำมาใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์และมีปริมาณที่มากพอ ดังนั้น จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการจัดการกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดแบบชัดเจน ที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมามาก ตัวอย่างการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไปใช้ในกระบวนการโดยตรงที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมปัจจุบัน ได้แก่

1.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของไหลยิ่งยวด (supercritical CO_2) เป็นการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาใช้เป็นตัวทำละลายในขณะที่อยู่ในสภาพของไหลภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวด ซึ่งเกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิและความดันจนสูงกว่าจุดวิกฤต (critical point) ณ สภาวะนั้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีสมบัติอยู่ระหว่างทั้งของเหลวและก๊าซ (ความหนาแน่นจะใกล้เคียงกับของเหลว ส่วนสมบัติการแพร่และความหนืดจะใกล้เคียงกับก๊าซ) จากสมบัตินี้ทำให้สารอินทรีย์สามารถละลายในของไหลภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดได้ดี อีกทั้งสมบัติของของไหลภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวดนั้นจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนความดันและอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสะดวกต่อการแยกออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้ในปัจจุบันมีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาใช้ทดแทนตัวทำละลายของเหลว (liquid solvents) ที่มักจะเป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic solvent) ซึ่งจัดเป็นสารพิษต่อสิ่งมีชีวิต และยังทำให้เกิดปัญหาโลกร้อนตามมา

1.2 กระบวนการช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตน้ำมัน (enhanced oil recovery) เป็นกระบวนการที่ช่วยในการนำน้ำมันขึ้นมาจากหลุมภายหลังจากที่ได้มีการผลิตตามธรรมชาติ (การขุดเจาะครั้งแรก น้ำมันจะสามารถไหลขึ้นมาจากหลุมได้เองด้วยแรงดันภายในหลุม) ขั้นตอนนี้จะเป็นการ

อัดน้ำหรือก๊าซเข้าไปในแหล่งกักเก็บ เพื่อให้น้ำหรือก๊าซนั้นไปแทนที่น้ำมันดิบ และไล่น้ำมันดิบมาเข้าหลุมผลิตดังภาพที่ 2.10 ซึ่งก๊าซสามารถใช้ได้ทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซธรรมชาติ และไนโตรเจน แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะเป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อผสมอยู่กับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะช่วยลดความหนืด และยังมีราคาถูกกว่ามาก แต่ข้อจำกัดคือ ก๊าซที่อัดลงไปจะต้องอยู่ในสภาพเป็นของไหลภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวด เพื่อให้สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวได้ ดังนั้นโดยทั่วไปกระบวนการอัดก๊าซมักจะใช้ได้ดีกับหลุมที่มีความลึกมากกว่า 2,000 ฟุต และน้ำมันดิบที่ถูกดันขึ้นมาได้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันชนิดเบาและชนิดหนักปานกลางเพราะใช้ก๊าซซึ่งมีน้ำหนักเบาเป็นตัวดัน



ภาพที่ 2.10 กระบวนการ Enhanced oil Recoveryโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา: https://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/ (2017,ออนไลน์)

1.3 สารถ่ายเทความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ (geothermal fluid) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกนำมาใช้งานเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยปกติแล้วความร้อนใต้พิภพจะถูกนำมาใช้ได้โดยการอัดน้ำลงไปให้สัมผัสกับหินร้อนใต้ดิน เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะระเหยกลายเป็นไอเกิดเป็นแรงดันขึ้นมาและไปหมุนกังหันผลิตไฟฟ้า

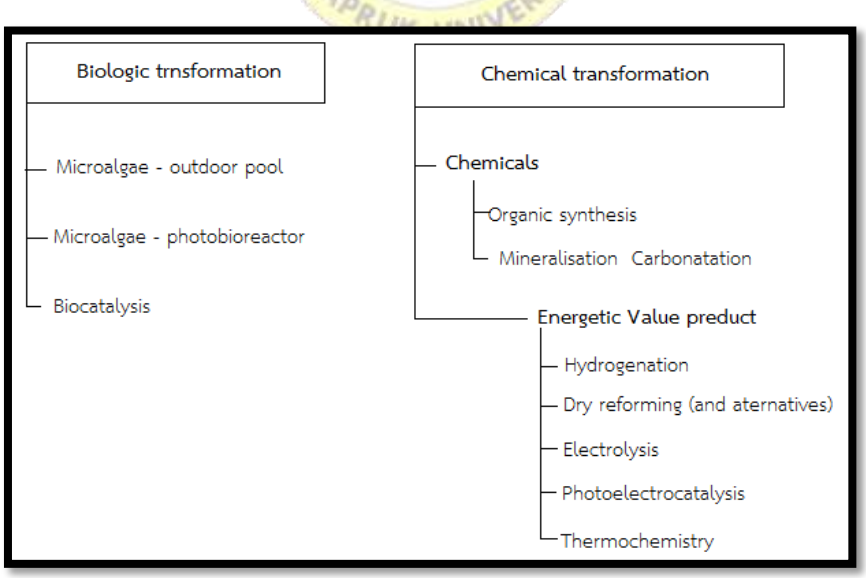
1.4 เครื่องดื่มและอาหาร (beverages and food) ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม มีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาอัดลงไปในผลิตภัณฑ์จำพวกน้ำอัดลมหรือโซดา เพื่อให้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ละลายเป็นกรดอยู่ในเครื่องดื่ม ทำให้เมื่อรับรสจะรู้สึกซ่า นอกจากการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ลงไปในเครื่องดื่มโดยตรงแล้ว สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและอาหารที่ต้องอาศัยความเย็นในการเก็บรักษาสภาพ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็มักจะถูกใช้ในการผลิตเป็นน้ำแข็งแห้ง (dry ice) ซึ่งจะมีอุณหภูมิต่ำถึง -79 องศาเซลเซียส ทำให้มีประสิทธิภาพทั้งในการรักษาความสด และยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียในอาหารหรือในกระบวนการหมักต่าง ๆ ได้

2. การนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้โดยมีการเปลี่ยนรูปเป็นสารอื่น (conversion CO_2 utilization)

เนื่องจากปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ตามกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไปข้างต้น ดังนั้น การเปลี่ยนรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่สามารถนำไปใช้งานต่อ หรือสามารถเป็นแหล่งเก็บพลังงานได้ ย่อมทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักในการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารอื่น ๆ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารประกอบที่ค่อนข้างเสถียร ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ยาก ดังนั้นการแก้ปัญหาส่วนใหญ่มักจะเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรมากกว่าหรือเลือกสารตั้งต้นที่ไม่ค่อยมีความเสถียรมาทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกระบวนการเกิดปฏิกิริยาถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทหลัก คือ กระบวนการทางชีวภาพ และกระบวนการทางเคมีซึ่งแต่ละประเภทจะเกิดปฏิกิริยาได้อีกหลายแบบดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 แผนผังการจำแนกกระบวนการในการเปลี่ยนรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา: https://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/ (2017,ออนไลน์)

นอกจากนี้ยังมีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ด้วยการแปลงเป็นเชื้อเพลิง เช่น มีเทนหรือไดเมทิลอีเทอร์ (DME) และยังมีการนำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ด้วยการแปลงเป็นสารเคมีหรือผลิตภัณฑ์อื่นที่มีมูลค่าสูงขึ้น (CO_2 conversion to higher-valued products) เช่น การแปลงไปเป็นเมทานอล ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีการนำเข้าอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย และมีอัตรานำเข้าที่เติบโตอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันเมทานอลสังเคราะห์จากก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นกระบวนการที่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 0.5-1.5 ตันต่อการสังเคราะห์เมทานอล 1 ตัน ทั้งนี้ เมทานอลเป็นสารเคมีที่มี value chain ที่กว้างและส่งผลกระทบต่อหลายอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นสารจำเป็นที่ใช้ในการผลิตสารเคมีสำคัญอีกหลายตัว ยกตัวอย่างเช่น formaldehyde และ formic acid ซึ่งใช้ในการผลิตต่อเป็นสารจำพวก hydrocarbons polymers และ oxygenates ซึ่งสามารถนำไปผลิตต่อเป็น vinyl acetate monomer, methyl methacrylate, olefins และ higher alpha olefins ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมพลาสติกวิศวกรรมทั่วไปและการบรรจุ หรือ terepthalic acid ที่ส่งผลต่ออุตสาหกรรมเส้นใยสำหรับการบรรจุ acetic acid และ anhydride ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีและการสังเคราะห์ รวมถึงอุตสาหกรรมยา methylene diphenyl diisocyanate, ethers บางชนิด (MTBE, DME) และ dimethyl carbonate (DMC) ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวทาละลายในหลายอุตสาหกรรม UF/PF resins และ polyacetals ที่ใช้ในโครงสร้างพื้นฐานพลาสติกวิศวกรรม อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า และสารเคลือบ ดังนั้นการผลิตเมทานอลจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์ CO_2 ที่น่าสนใจ

อีกทั้งการผลิตแป้งเทียมจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปกติแล้ว แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตเกิดจากกระบวนการหลายขั้นตอนตั้งแต่การเพาะปลูกไปจนถึงกระบวนการเมตาบอลิซึมอันซับซ้อนมากกว่า 60 ปฏิกิริยา แต่ในขั้นตอนการวิจัยกลับสามารถสังเคราะห์แป้งขึ้นมาได้ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีเพียง 11 ขั้นตอน ภายในเวลาเพียง 4 ชั่วโมง ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร ที่สามารถให้ผลผลิตได้เทียบเท่ากับการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ 0.33 เฮกตาร์ (หรือประมาณ 2 ไร่) องค์ประกอบของแป้งที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้นั้นผ่านการวิเคราะห์และทดสอบแล้วว่า มีองค์ประกอบและคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเหมือนกับแป้งที่ผลิตขึ้นเองตามธรรมชาติ ดังภาพที่ 2.12 ทำให้การค้นพบครั้งนี้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมากในการช่วยลดขีดจำกัดในการใช้ทรัพยากรในสิ่งแวดล้อม โดยการค้นพบนี้มาจาก หม่า หยานเหอ ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรมเทียนจิน (Tianjin Institute of Industrial Biotechnology) สังกัดสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Chinese Academy of Sciences : CAS) ซึ่งเป็นองค์กรด้านการวิจัยและพัฒนาชั้นนำระดับโลก

ภาพที่ 2.12 แป้งเทียมที่ผลิตจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา: http://en.people.cn/n3/2021/0929/c90000-9902425.html (2021,ออนไลน์)

รวมไปถึงการแปรรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นหิน โดยใช้ใช้วิธีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน (carbon capture and storage – CCS) เปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็น ‘หิน’ เน้นดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งอุตสาหกรรมก่อนที่จะถูกปล่อยสู่บรรยากาศ นำไปละลายในน้ำ และฉีดเข้าไปในดิน ซึ่งในกระบวนการที่ว่านี้ใช้เวลาร่วม 2 ปีจนสามารถทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลายเป็นหินได้ ถือว่าเป็นการเร่งกระบวนการกักเก็บคาร์บอนตามธรรมชาติให้เร็วขึ้นเพื่อลดการปล่อยก๊าซที่ทำให้โลกร้อนขึ้น 1.5 – 2 °C เพราะต้นไม้และป่าไม้ไม่ได้เป็นแหล่งของการกักเก็บคาร์บอนจากชั้นบรรยากาศแต่เพียงเท่านั้น คาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากยังกักเก็บอยู่ในหินด้วย โดยเมื่อก๊าซถูกละลายในน้ำและทำปฏิกิริยากับหินทำปฏิกิริยา อาทิ หินบะซอลต์ ก็จะสร้างเป็นแร่ธาตุที่เป็นที่กักเก็บคาร์บอนถาวร กระบวนการของ Carbfix จึงเพียงเลียนแบบกระบวนการตามธรรมชาติที่มีอยู่และใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วย โดยน้ำที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่หรือที่มีการอัดก๊าซลงในน้ำ (Carbonated water) จะมีความเป็นกรด ยิ่งอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในน้ำไปมากเท่าไร เมื่ออัดฉีดความเป็นกรดนี้ก็จะทำปฏิกิริยากับหินใต้ดินมากเท่านั้น และจะปล่อยแร่ธาตุอย่างแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กให้ไหลไปตามสายน้ำ เมื่อเวลาผ่านไป แร่ธาตุเหล่านี้จะไปผสมรวมกับก๊าซคาร์บอนที่ละลายในน้ำ และจะไปเติมเต็มเข้ารู/ช่องว่างภายในของก้อนหิน เป็นรูปแบบที่กักเก็บคาร์บอนไว้ถาวร โดยป้องกันไม่ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รั่วไหลออกมาอีกครั้ง ดังภาพที่ 2.13

ภาพที่ 2.13 หินคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ผลิตจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา: https://www.sdgmove.com/2021/10/06/carbfix-css-turning-co2-into-stone/ (2021: ออนไลน์)

จากเนื้อความดังกล่าวสรุปได้ว่า ชั้นบรรยากาศที่ปนเปื้อนด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกปลดปล่อยจากแหล่งอุตสาหกรรม ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ขณะนี้นานาประเทศเล็งเห็นถึงผลกระทบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงพยายามที่จะลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไปใช้ประโยชน์ทั้งที่ไม่เปลี่ยนรูปและเปลี่ยนรูปเป็นสารอื่น รวมทั้งแปลงเป็นเชื้อเพลิง เช่นมีเทน แปลงเป็นสารเคมีหรือเคมีภัณฑ์ เช่น เมทานอล แป้งเทียมและ หินคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

2.4 แนวคิดเกี่ยวกับสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีหน้าที่กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแหล่งกำเนิด มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่

2.4.1 โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นเกลือสีขาวที่อุณหภูมิห้องละลายได้ทั้งในน้ำและเอทานอล อะซีโตน และอีเทอร์ แข็งแรง ดูดความชื้นสัมผัสอากาศ สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ เป็นโพแทสเซียมไบคาร์บอร์เนต สลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งส่วนใหญ่มาจากโปแตซ เตรียมในอุตสาหกรรม โดยทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ สารละลายจะตกผลึกเป็นโปแตซไฮเดรต ซึ่งสมารถให้ความร้อนสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส เมื่อผลิตเกลือปราศจากน้ำ สามารถนำมาใช้ในงาน

1. โพแทสเซียมคาร์บอเนตถูกใช้ในการผลิตแว่นตา ชนิดพิเศษ เช่นเลนส์ หน้าจอโทรทัศน์ และหลอดรังสีแคโทด โปแตชยังใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาสำหรับย้อมไม้กระถาง

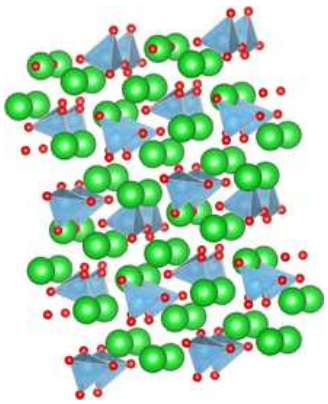
2. โพแทสเซียมคาร์บอเนตใช้ฐานะการผลิตเฉาก๊วย ใช้ผ้าขี้ริ้ว tenderize สูตรเยอรมันมักจะใช้โพแทสเซียมคาร์บอเนตเป็นตัวแทนอบ นอกจากนี้มันยังถูกใช้เป็นตัวแทนบัฟเฟอร์ในการผลิตของทุ่งหญ้าหรือไวน์

3. โพแทสเซียมคาร์บอเนตใช้ในอุตสาหกรรมปุ๋ยการผลิตสำหรับการผลิตโปแตช โปแตชประมาณ 95% ใช้ในอุตสาหกรรมปุ๋ย แร่โปแตชจะใช้ในอุตสาหกรรมปุ๋ยเนื่องจากประโยชน์ของมันเช่นเป็นตัวเพิ่มรสชาติกับผลไม้ และผัก ดีกว่าฐานะพลังงานโรค พลังงาน การป้องกัน จากภัยแล้งและสภาพภูมิอากาศ และแข็งลำต้นและรากที่จองดีกว่า โพแทสเซียมคาร์บอเนตใช้เป็นปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพสำหรับเสถียรภาพค่า pH ของดิน และลดความเป็นกรดของดิน

4. การผลิตของผลิตภัณฑ์สบู่ สบู่โซเดียมคาร์บอเนตอ่อนน้อยกว่าสบู่การใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ โพแทสเซียมคาร์บอเนตใช้ในการเตรียมน้ำสำหรับผลิต oxyhydrogen โพแทสเซียมคาร์บอเนตยังใช้ในอุตสาหกรรมบำบัดน้ำสำหรับการอ่อนตัวของน้ำแข็ง

5. โพแทสเซียมคาร์บอเนตใช้สำหรับความมั่นคงในเซลล์ประสาทเพื่อรักษาสมดุล ในอุตสาหกรรมยา โพแทสเซียมคาร์บอเนตใช้เป็นยาลดกรด อิเล็กโทร replinisher, excipient, leavening แทนและตัวแทนในการควบคุมค่า pH สำหรับสูตรทางการแพทย์

2.4.2 แบเรียมออธอไททาเนต (Barium Orthotitanate) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ ในระบบ $BaCO_3$-TiO_2 ที่มี $BaCO_3$ เป็นองค์ประกอบหลัก มีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็งสีขาว มีสูตรเป็น Ba_2TiO_4 มีโครงสร้างผลึกอยู่สองแบบคือ โมโนคลินิก และออธอรอมบิก โครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกมีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง และมีโครงสร้างเป็นแบบ β-Ca_2SiO_4 ในขณะที่โครงสร้างผลึกแบบออธอรอมบิกมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างเป็นแบบชนิด β-K_2SO_2 ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของแบเรียมออธอไททาเนต (Barium Orthotitanate)
ที่มา: https://www.google.com/search?q=Barium+Orthotitanate&rlz

แบเรียมออธอไททาเนต (Barium Orthotitanate) ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 800 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูงและมีความเสถียรในการดูดซับละคายซับหลายครั้ง เมื่อถูกนำมาใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูง

2.4.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) หรือโซดาไฟ มีสถานะเป็นของแข็งสีขาวหรืออาจอยู่ในรูปของเหลวที่เป็นสารละลาย ถือเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญมากในภาคอุตสาหกรรม โดยปัจจุบันมีจำหน่ายทั้งในสถานะของแข็ง และของเหลว บางครั้งเรียกกันว่า ผงมัน ส่วนในรูปสารละลายมักพบความเข้มข้น 50% ดูดความชื้นได้ดี ละลายน้ำได้หรืออาจอยู่ในรูปแบบของเหลวได้เช่นกัน เป็นสารละลายมีค่าเป็นเบส / ด่าง มีฤทธิ์กัดกร่อนและมีความร้อน ประกอบด้วย Na + OH (Sodium anions +Hydroxide anions) ซึ่งมีค่าทดสอบโดยประมาณเท่ากับ pH13.5

Zeman และ Lackner ได้อธิบายวิธีการเฉพาะของการดักจับในอากาศดังนี้

สิ่งแรกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกดูดซึมโดยสารละลาย NaOH อัลคาไลน์เพื่อผลิตโซเดียมคาร์บอเนตเหลว ปฏิกิริยาการดูดซึมเป็นปฏิกิริยาแก๊สของเหลวชนิดหนึ่ง มีการคายความร้อนอย่างรุนแรง ตามสมการดังนี้:

$$2NaOH\ (aq) + CO_2\ (g) \rightarrow Na_2CO_3\ (aq) + H_2O\ (l)$$

กระบวนการฟอกต่าง ๆ ได้รับการนำเสนอในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกจาอากาศหรือจากแก๊สปล่องควัน กระบวนการเหล่านี้มักจะเกี่ยวข้องกับการใช้กระบวนการคราฟท์ที่แตกต่างกัน กระบวนการฟอกอาจจะขึ้นอยู่กับโซดาไฟ (sodium hydroxide) CO_2 จะถูกดูดซึมเข้าสู่สารละลาย จากนั้นก็ถูกถ่ายเทเข้าสู่ปูนขาวผ่านกระบวนการที่เรียกว่า causticization แล้วปล่อยเข้าไปในเตาเผา ด้วยการปรับเปลี่ยนบางอย่างให้เป็นกระบวนการที่มีอยู่แล้ว ส่วนใหญ่กับเตาเผาที่ยิงด้วยออกซิเจนผลลัพธ์สุดท้ายคือกระแสเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่พร้อมสำหรับการจัดเก็บหรือการใช้ในเชื้อเพลิง ทางเลือกหนึ่งสำหรับกระบวนการความร้อนสารเคมีนี้เป็นหนึ่งที่ใช้ไฟฟ้าที่แรงดันขนาดหนึ่งจะถูกใส่คร่อมสารละลายคาร์บอเนตเพื่อที่จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่กระบวนการทางไฟฟ้าที่ง่ายกว่านี้จะบริโภคพลังงานมากขึ้นเนื่องจากมันแยกน้ำออกมาในเวลาเดียวกัน เนื่องจากมันขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้า ไฟฟ้าจำเป็นต้องเป็นแบบหมุนเวียนเช่นเซลล์แสงอาทิตย์มิฉะนั้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตในระหว่างการผลิตไฟฟ้าจะต้องนำมาพิจารณาด้วย การกลับชาติมาเกิดในช่วงต้นของการดักจับในอากาศที่ใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้น มันจึงขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตที่เป็นคาร์บอนฟรี ระบบการดักจับในอากาศร้อนจะใช้ความร้อนที่ผลิตขึ้นในสถานที่ ซึ่งจะช่วย

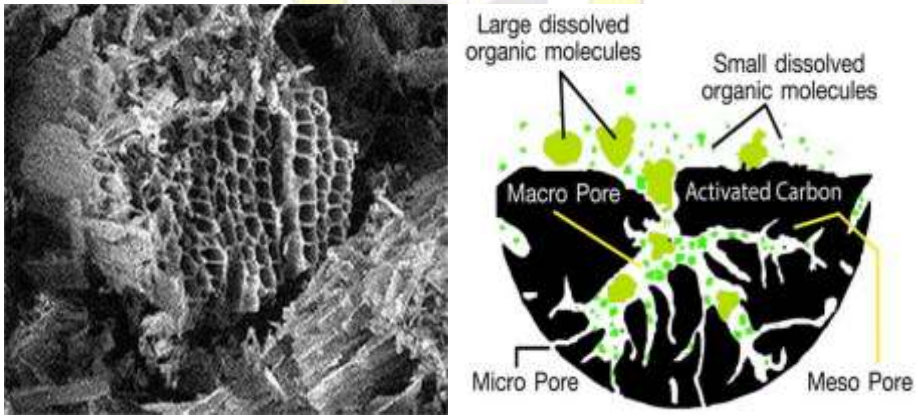
ลดความไร้ประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้านอกสถานที่ แต่แน่นอนมันยังคงต้องการแหล่งที่มาของความร้อน (ที่เป็นคาร์บอนฟรี) พลังงานแสงอาทิตย์เข้มข้นก็เป็นตัวอย่างหนึ่งของแหล่งที่มาของความร้อนดังกล่าว สามารถนำมาใช้ในงานได้ดังนี้

1. เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโซดาไฟเหลว
2. ใช้สำหรับอุตสาหกรรมผลิตสบู่ ด้วยการทำปฏิกิริยากับไขมันเปลี่ยนเป็นสบู่
3. ใช้สำหรับขจัดคราบสกปรก และสิ่งอุดตันในท่อระบายน้ำ ด้วยก้อนหรือละลายน้ำเทราดบริเวณที่มีการอุดตันของท่อ
4. ใช้สำหรับปรับสภาพความเป็นกรดของน้ำให้เป็นด่าง โดยเฉพาะในระบบบำบัดน้ำเสียที่ต้องปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ
5. ใช้สำหรับการตกตะกอนของแร่ธาตุหรือโลหะหนักในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย
6. ใช้ฟื้นสภาพของเรซินของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ
7. ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมไหม โดยเฉพาะขั้นตอนการลอกกาวไหมที่ต้องต้มละลายที่ต้องปรับความเป็นกรด-ด่างของน้ำไหมด้วยโซดาไฟ สำหรับการฟอกไหมในระดับครัวเรือนชาวบ้านเรียกโซดาไฟว่า ผงมัน ซึ่งหาซื้อได้ตามร้านขายเคมีฟอกไหม

2.4.4 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide; $Ca(OH)_2$) มีสูตรทางเคมี คือ $Ca(OH)_2$ มีชื่อพ้องอื่น ๆ เช่น calcium hydrate, slaked lime, hydrated lime, carboxide, calcium dihydroxide และ lime water องค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วย แคลเซียม (calcium, Ca) 54.09 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน (hydrogen, H) 2.72 เปอร์เซ็นต์ ออกซิเจน (oxygen, O) 43.19 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 74.10 ลักษณะเป็นผง หรือของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น จุดเดือด 580 องศาเซลเซียส มีสภาพเป็นด่างแก่ เมื่อละลายน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 14 (USDA, 2002) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ เกิดจากการนำวัสดุที่ได้จากการเผาหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) โดยใช้ความร้อนสูง จะได้เป็นปูนสุก (แคลเซียมออกไซด์, CaO, lime) เมื่อเย็นตัวลงแล้วพรมน้ำให้ชุ่ม ปูนสุกจะทำปฏิกิริยากับ น้ำได้เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนที่เป็นผงแห้งได้เป็นปูนขาว และส่วนที่เป็นสารแขวนลอย คือ น้ำปูนไลม์ (milk of lime) เหมาะกับการนำไปใช้ในกระบวนการที่ไม่ผ่านความร้อน เช่น ระบบบำบัดน้ำเสีย การดึงสารเจือปนในการผลิตน้ำประปา เป็นต้น การใช้ประโยชน์ในด้านปศุสัตว์ โดยใช้ควบคุมสภาพของวัสดุรองพื้น เช่น แกลบ ฟาง ขี้กบ เป็นต้น ให้มีสภาพเป็นด่างเพื่อลดปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ ช่วยลดหรือเจือจางความเป็นพิษของสารอนินทรีย์ และ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ปนมากับมูลสัตว์ในฟาร์ม เช่น ฟาร์มไก่ สุกร ลดผลกระทบจากแก๊สพิษที่เป็นปัญหาต่อ ระบบทางเดินหายใจของสัตว์ ลดปัญหาการเพาะฟักของไข่แมลงวัน ไร แมลงปีกแข็งในวัสดุรองพื้น) และเมื่อน้ำปูนใสสัมผัสกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือคาร์บอเนตไอออน แคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 จะกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้น้อยและให้ สารที่มี pH เป็นเบส

อ่อน คือ pH~8 ภายในเวลา 2 วัน และจะไม่เปลี่ยนแปลงค่า pH เป็นเวลา 6 สัปดาห์ปกติน้ำปูนใสจะช่วยรักษาสภาพของเนื้อสัมผัสของพืช เพราะแคลเซียมไอออนจากสารละลาย น้ำปูนใสจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับเพคตินที่ผนังเซลล์ของพืชกลายเป็น แคลเซียมเพคเทต (calcium pectate) ที่มีคุณสมบัติแข็งแรง โมเลกุลไม่ละลายน้ำและไม่ยอมให้น้ำผ่านเข้าได้แต่ถ้าใช้ในปริมาณ มากเกินไปจะทำให้ผิวของพืชหยาบกระด้างมากขึ้น

2.4.5 ถ่านกัมมันต์ หรือคาร์บอนกัมมันต์ มีชื่อเรียกภาษาอังกฤษคือ activated carbon หรือ activated charcoal คือถ่านที่ต้องนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือวิธีทางกายภาพก่อน เพื่อทำให้โครงสร้างทางกายภาพของถ่านเกิดรูพรุนหรือรอยแตกขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรจำนวน จากคุณสมบัตินี้ทำให้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอินทรีย์ที่ดี และมีราคาไม่แพงทำให้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้กันมาก ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) สามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้ทั้งในรูปของแก๊สและสารละลาย โดยเกิดการดูดซับทางกายภาพ(physical adsorption) ด้วยแรง van der Waals force ซึ่งเกิดจากการแพร่ของตัวถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนภายในถ่านกัมมันต์ (intraparticle diffusion) โดยการแพร่นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของโครงสร้างของรูพรุนการแพร่อาจอยู่ในลักษณะของการแพร่ในรูพรุน (porediffusion) ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ภาพถ่าย SEM และแบบจาลองโครงสร้างภายในของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)
ที่มา: ปิยะพร ณ หนองคาย และ จริยาวดี สุริยพันธ์ (2561)

การวัดพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์สามารถทำได้ โดยการหาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ดูดไว้ สมรรถนะของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ทำได้โดยการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ (size and

surface area) ลักษณะของตัวดูดซับ ค่าความเป็นกรด-ด่างอุณหภูมิ และเวลาในการสัมผัส โดยทั่วไป วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) จะต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ อาจเป็นวัตถุดิบที่เป็นอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในธรรมชาติ หรืออาจได้จากการสังเคราะห์ วัตถุดิบที่นิยมนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ในระดับอุตสาหกรรมได้แก่ ถ่านพีท ถ่านหินถ่านลิกไนต์ และไม้ เป็นต้น เนื่องจากมีความสามารถในการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีความสามารถในการดูดซับสูง และมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก โดยทั่วไปวัตถุดิบที่นำมาผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ มีปริมาณสารระเหยต่ำ มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง มีราคาถูกและหาได้ง่าย และมีคุณสมบัติคงที่

1. คุณลักษณะของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

1.1 ไอโอดีนนัมเบอร์ (iodine number) เป็นค่าสำคัญที่ใช้บอกประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) และเป็นตัวบ่งชีพื้นที่ผิวทั้งหมด โดยการดูดซับไอโอดีนจากสารละลายเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) จำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ 1 กรัม เมื่อความความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน หลังถูกดูดซับเป็น 0.01 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

1.2 ความหนาแน่นปรากฏ (apparent density) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะเป็นถ่านที่มีคุณภาพดีสามารถดูดซับได้ดี

1.3 ค่าความแข็ง (hardness/abrasion number) เป็นค่าความต้านทานการสึกกร่อนของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ค่านี้จะบอกถึงความสามารถในการทนต่อแรงเสียดสีและความสามารถในการคงสภาพของถ่านกัมมันต์ที่มีต่อกระบวนการล้างวัสดุกรอง ซึ่งค่านี้จะแตกต่างอย่างชัดเจนตามชนิดวัตถุดิบและระดับที่ถ่านถูกกระตุ้น

1.4 ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (particle size distribution) ถ่านที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมากเท่าใดก็จะยิ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของถ่านให้มากขึ้น ซึ่งมีผลให้โมเลกุลก๊าซถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างถ่านได้เร็วขึ้น

1.5 ปริมาณเถ้า (ash content) หากปริมาณเถ้ามากประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) จะลดลงและลดประสิทธิภาพการนำถ่านไปกระตุ้นซ้ำ

1.6 เมทิลีนบลู (methylene blue) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่โครงสร้างมีรูพรุนจะดูดซับโมเลกุลขนาดกลาง เช่น สีย้อม เมทิลีนบลู สารที่ให้สีนี้ถูกใช้เป็นตัวแทนของสารที่มีโมเลกุลขนาดกลาง ค่าเมทิลีนบลูมีหน่วยมิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งประสิทธิภาพในการกรองหรือดูดซับสารจะต่ำลง เนื่องจากที่ว่างภายในโครงสร้างถ่านมีน้อยลงจึงต้องทำการเปลี่ยนถ่ายถ่านเก่าออกและใส่ถ่านใหม่เข้าไปทดแทนโดยถ่านที่ถูกใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่

ด้วยการนำไปผ่านกระบวนการกระตุ้นซ้ำ (re-activated) เพื่อกำจัดสารต่าง ๆ ที่ถ่านดูดซับไว้ออกไปให้หมดก่อน

2. ชนิดของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) สามารถแบ่งโดยอาศัยหลักต่าง ๆ ได้หลายชนิด ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้ใช้งานตัวอย่างการแบ่งชนิดของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ได้แก่

2.1 แบ่งตามชนิดของสารกระตุ้น ได้แก่

2.1.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางเคมี (chemical activated carbon) เป็นถ่านกัม-มันต์ (Activated Carbon) ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวคาร์บอน มักจะมีรูพรุนขนาดใหญ่

2.1.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่กระตุ้นด้วยวิธีทางกายภาพ (physical activated carbon) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ได้จากวิธีนี้ มักจะมีรูพรุนขนาดเล็ก นิยมใช้ดูดซับก๊าซและไอระเหย

2.2 แบ่งตามขนาดรูพรุนบนผิวของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งแบ่งตามเกณฑ์ของ IUPAC ได้แก่

2.2.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (micropores) เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนไม่เกิน 2 นาโนเมตร มีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ นิยมใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการดูดซับก๊าซและไอระเหย

2.2.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (mesopores) เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนระหว่าง 2-50 นาโนเมตร มักนำไปใช้ในการดูดซับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น การฟอกสี เป็นต้น

2.2.3 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่าง ๆ เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคที่ถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กและมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ

2.3 แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ได้แก่

2.3.1 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีความหนาแน่นต่ำ (น้อยกว่า 0.35 กรัมต่อมิลลิลิตร) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ประเภทนี้ มักใช้เพื่อดูดซับในสารละลาย เช่น การฟอกสีของน้ำตาลดิบให้เป็นสีขาวบริสุทธิ์เป็นต้น

2.3.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่มีความหนาแน่นสูง (มากกว่า 0.45 กรัมต่อมิลลิลิตร) ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ประเภทนี้ มักใช้ดูดสารพิษ หรือไอระเหย

2.4 แบ่งตามรูปร่างลักษณะ ได้แก่

2.4.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (powder activated carbon) มีลักษณะเป็นผงซึ่งได้จากการบด ถ่านกัมมันต์ชนิด (Activated Carbon) นี้มักใช้ดูดซับในสภาวะของเหลว

2.4.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดหรือเม็ด (granular activated carbon) มีลักษณะเป็นเม็ด ซึ่งได้จากการอัดเครื่องอัดเป็นเส้นกลม ๆ แล้วตัดออกเป็นท่อน ขนาดเท่า ๆ กัน หรืออาจทำเป็นเกล็ดที่ได้จากการย่อยอนุภาคขนาดใหญ่ ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ชนิดนี้มักใช้ดูดซับก๊าซและไอ-ระเหย คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง และชนิดเม็ด ตาม มอก. 900-2547 โดยทดสอบตามมาตรฐานของ AWWA แสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดผง

คุณลักษณะ	**เกณฑ์กำหนด (มอก. 900-2547)**
ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า (มิลลิกรัมต่อกรัม)	600
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.20 - 0.75

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด

คุณลักษณะ	**เกณฑ์กำหนด (มอก. 900-2547)**
ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า (มิลลิกรัมต่อกรัม)	600
ความชื้น ร้อยละ 5 ไม่เกิน	8
ความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.36
ความแข็ง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	70

2.5 แบ่งตามชนิดของสารที่ถูกดูดซับ ได้แก่

2.5.1 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับก๊าซ (gas absorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ใช้ดูดซับสารพิษ กลิ่น และไอของสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ได้จากการเผาถ่านประเภท hard artificial char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากเมล็ดผลไม้ หรือถ่านไม้ที่เผาที่ความดันสูง

2.5.2 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับสี (color absorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ใช้เป็นตัวฟอกสี ส่วนใหญ่ เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ได้จากการเผาถ่านประเภท soft artificial char ซึ่งเป็นถ่านที่ได้จากถ่านไม้ถ่านชานอ้อย ถ่านจากแกลบ ถ่านจากหินน้ำมัน และถ่านจากกากน้ำตาล

2.5.3 ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ดูดซับโลหะ (metal absorbents) เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ใช้เป็นตัวแยกโลหะชนิดต่าง ๆ เช่น ทอง เงิน แพลทินัม และแร่

3. การผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

ในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) สามารถใช้วัสดุใด ๆ ก็ได้ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่นเปลือกไม้ ไม้ไผ่ ถ่านหิน กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งกระบวนการผลิตมี 2 วิธีคือ

3.1 การกระตุ้นทางกายภาพ (physical reactivation) เป็นการนำถ่านที่ผ่านการเผาไหม้ในสภาพอับอากาศ หรือจำกัดอากาศทำให้มีออกซิเจนน้อย มากระตุ้นโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือไอน้ำ ที่มีอุณหภูมิกระตุ้น (activation temperature) ประมาณ 600-950 องศาเซลเซียส ซึ่งจำเป็น ต้องใช้พลังงานสูงมาก เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในทางอ้อม ทั้งยังไม่สามารถควบคุมสมบัติของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ให้คงที่ได้ รวมถึงพื้นที่ผิวและรูพรุน เกิดในปริมาณน้อย

3.2 การกระตุ้นด้วยสารเคมี (chemical activation) เป็นการเปลี่ยนวัตถุดิบโดยใช้สารเคมีบางชนิด เช่น ซิงค์คลอไรด์ (zinc chloride) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) ร่วมกับการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ ๔๕๐-๙๐๐ องศาเซลเซียส ในภาคอุตสาหกรรมนิยมผลิตถ่านด้วยวิธีนี้มากกว่า วิธีกระตุ้นทางกายภาพเนื่องจากใช้ความร้อนและเวลาในการผลิตน้อยกว่าแต่บางครั้งถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ได้จากการผลิตวิธีนี้ อาจมีปัญหาเรื่องสารตกค้างได้ เช่น การพบสังกะสีตกค้างในผลิตภัณฑ์ สังกะสีเป็นโลหะหนักเมื่อเข้าสู่ร่างกายมากขึ้น เกิดการสะสมที่บริเวณตับและไตทำให้โครโมโซมผิดปกติ เสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทำให้ปัจจุบันผู้ผลิตสามารถผลิตถ่านออกมาได้หลายรูปแบบดังนั้น จึงมีวิธีการแบ่งประเภทตามลักษณะทางกายภาพของถ่าน ดังนี้

3.2.1 ถ่านกัมมันต์แบบผง (powdered activated carbon) ถ่านกัมมันต์ผงในรูปแบบดั้งเดิมของถ่านที่ยังนิยมใช้ในทุกวันนี้ โดยทั่วไปขนาดของผงถ่านจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.15 ถึง 0.25 มิลลิเมตร ถ่านแบบผงเหมาะกับการใช้งานแบบเติมลงในภาชนะของเหลวโดยตรงมากกว่าการบรรจุในท่อและปล่อยของเหลว ไหลผ่านผงถ่านเนื่องจากวิธีหลังจะสูญเสียผงถ่านได้ง่ายกว่า

3.2.2 ถ่านกัมมันต์แบบเม็ด (granular activated carbon) มีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับถ่านแบบผงและพื้นที่ผิวภายนอกมีขนาดเล็กลง ถ่านเหล่านี้จึงเหมาะสำหรับดูดซับก๊าซและไอระเหย เนื่องจากอัตราการแพร่กระจายเร็วกว่า

3.2.3 ถ่านกัมมันต์แบบอัดแท่ง (extruded activated carbon) เป็นถ่านที่นำมาขึ้นรูปลักษณะรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.8 ถึง 45 มิลลิเมตร เหมาะสำหรับการกรองดูดซับก๊าซเพราะมีความแข็งแรงเชิงกลสูงและมีปริมาณฝุ่นละอองต่ำ

3.2.4 ถ่านกัมมันต์เคลือบอนุภาค (impregnated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ชนิดพิเศษที่ได้เติมโมเลกุลสาร อนินทรีย์ลงไปในโครงสร้าง เช่น โลหะเงิน ไอโอดีน ไอออนบวก จำพวก อะลูมิเนียม (Al) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) ลิเทียม (Li) แคลเซียม (Ca) ทำให้สามารถนำไปใช้ฆ่าเชื้อโรคได้ นอกเหนือจากสมบัติในการกรองสาร จึงมีการนำถ่านชนิดนี้มาใช้กับระบบกรองน้ำของเครื่องกรองน้ำ

3.2.5 ถ่านกัมมันต์เคลือบพอลิเมอร์ (polymer-coated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ที่ถูกเคลือบด้วยพอลิเมอร์ที่เข้ากันได้ทางชีวภาพเพื่อให้ผิวเรียบและดูดซึมได้โดยไม่ปิดกั้นรูพรุน ใช้เป็นวัสดุดูดซับสารพิษออกจากเลือด

4. การดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวดูดซับ (ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดของรูพรุน และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวถูกดูดซับ (ได้แก่ ขนาดของโมเลกุล ประจุไฟฟ้าของโมเลกุล และส่วนประกอบทางเคมี เป็นต้น) ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในสารละลาย ลักษณะของสารละลาย (เช่น ค่าความเป็นกรด - ด่าง อุณหภูมิเป็นต้น) และระยะเวลาในการดูดซับ เป็นต้น

4.1 ขั้นตอนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เกิดขึ้น 4 ขั้นตอน อธิบายได้ดังนี้

4.1.1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารละลายเข้าหาถ่านกัมมันต์ (bulk solution transport) ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่เป็นสารละลายไปสู่บริเวณที่ใกล้ ๆ กับอนุภาคของตัวดูดซับ (boundary layer) การเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ (diffusion) โดยทั่วไปขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นได้เร็ว

4.1.2 ขั้นตอนการแพร่ผ่านฟิล์มบางที่ผิวของตัวดูดซับ (film diffusion) ในขั้นตอนนี้ตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์มบาง ๆ ของสารละลายที่อยู่นิ่ง และอยู่รอบ ๆ อนุภาคของตัวดูดซับ โดยใช้วิธีการแพร่ของโมเลกุล (molecular diffusion) ระยะทาง และเวลาในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของสารละลายที่ผ่านอนุภาคของตัวดูดซับ โดยที่ความหนาของชั้นฟิล์มบาง ๆ จะลดลงเมื่ออัตราการไหล สูงขึ้น

4.1.3 ขั้นตอนการแพร่ของโมเลกุลผ่านช่องว่างในตัวดูดซับ (pore diffusion) ภายหลังโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มบาง ๆ รอบอนุภาคของตัวดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในอนุภาคนี้ (intra-particle

transport) อาจจะเกิดขึ้นโดยผ่านกระบวนการแพร่ของโมเลกุลผ่านสารละลายในรูพรุนในตัวดูดซับ หรือโดยกระบวนการแพร่ผ่านไปตามพื้นผิวของตัวดูดซับ (surface diffusion)

4.1.4 ขั้นตอนการดูดซับ (adsorption) เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงบริเวณที่เป็นผิวของตัวดูดซับ (adsorption bond) การสร้างพันธะของกระบวนการดูดซับระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะเกิดขึ้นขั้นตอนกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วสำหรับกระบวนการดูดซับทางกายภาพด้วยเหตุนี้ ขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้จะทำหน้าที่เป็นขั้นตอนที่ควบคุมปฏิกิริยาในการกำจัดโมเลกุลต่าง ๆ ออกจากสารละลาย แต่เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนการดูดซับเป็นการดูดซับทางเคมี จะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะช้าซึ่งอาจจะช้ากว่าขั้นตอนต่าง ๆที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ดังนั้นขั้นตอนการดูดซับนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอัตราในการดูดซับโมเลกุลต่าง ๆ ออกจากสารละลาย

4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ขึ้นอยู่กับขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับขนาดของสารที่ถูกดูดซับ บนผิวของสารดูดซับความปั่นป่วน (turbulence) รายละเอียดมีดังนี้

4.2.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดซับ สมบัติทางกายภาพที่สำคัญที่สุดของตัวดูดซับคือ ขนาดและพื้นที่ผิว ขนาดของตัวดูดซับ มีอิทธิพลของอัตราเร็วของการดูดซับในทางลบ กล่าวคืออัตราเร็วการ ดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจึงมีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) นั่นคือสารดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

4.2.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เนื่องจากที่ pH ต่ำ ๆ จะมีปริมาณไฮโดรเนียมไอออน มากกว่าที่ pHสูง ๆ ซึ่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่นั้น ก็ขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลาย (pHsol) และค่า pH ที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ (pHzpc) ที่แสดงถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกในสารละลายซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายของระบบนั้น ๆ โดยที่ค่า pHsol และ pHzpc มีความสัมพันธ์กันคือในกรณีที่ค่า pHsol>pHzpc แสดงว่าวัสดุดูดซับนั้นจะเกิดการแตกตัวทำให้พื้นผิวของวัสดุดูดซับแสดงประจุลบมากกว่าประจุบวก มีผลทำให้วัสดุดูดซับมีความสามารถในการดูดซับไอออนหรือโมเลกุลที่มีประจุบวกได้ ในทางตรงกันข้ามถ้ากรณีที่ค่า pHsol<pHzpc วัสดุดูดซับดังกล่าวจะไม่เกิดการแตกตัวและแลกเปลี่ยนไอออนบวก ทำให้วัสดุดูดซับนี้มีความสามารถในการดูดซับไอออนหรือโมเลกุลที่มีประจุลบได้

4.2.3 อุณหภูมิ ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับอุณหภูมิขึ้นอยู่กับประเภทการดูดซับของวัสดุดูดซับ เช่น ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับ

เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับได้มากขึ้น

4.2.4 ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลตัวถูกดูดซับจะถูกดึงดูดออกจากน้ำก่อน แล้วจึงไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นมากกว่าสารที่มีความสามารถละลายน้ำได้น้อยกว่า จึงทำให้ยากต่อการดูดซับมากกว่าสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยกว่าอย่างไรก็ตาม เกณฑ์ข้างต้นไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิดเกาะติดผิวของสารดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่า ความสามารถในการดูดซับและความสามารถในการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ

4.2.5 ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของสารดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ จะมีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เช่น การดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) พบว่าถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ดูดซับกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิออนิก และกรดบิวเทอริก ได้มากขึ้นตามลำดับของขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการละลายอีกด้วย นั่นคือ สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ยาวมักมีความสามารถในการละลายน้ำได้ลดลง จึงทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ตัวดูดซับมีรูพรุนมาก สารที่มีโมเลกุลเล็กกว่ารูพรุน มักถูกดูดซับได้ดีมากกว่าสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้ และพื้นที่ผิวภายนอกที่จะดูดซับมีจำนวนน้อย เนื่องจากพื้นที่ผิวภายนอกเป็นรูพรุน

4.2.6 ความปั่นป่วน (turbulence) อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับการแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม (film diffusion) หรือการแพร่ผ่านรูพรุน (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าหาตัวดูดซับ ทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนา เป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

จากเนื้อความดังกล่าวสรุปได้ว่า การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีกลไกการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ นอกจากนี้ยังสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้แก่ โพแทสเซียมคาร์บอเนต แบเรียมออธอไททาเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และถ่านกัมมันต์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภทตามคุณลักษณะสำคัญของสารดูดซับนั้น ๆ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการดัดจับและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสำคัญจำเป็นต่อการบรรเทาหรือลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่มีปริมาณมาก ปัจจุบันการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เครื่องมือและสารดูดซับมีรายงานงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดย จารุวรรณ เจริญชัยเพชร พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ และ เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ (2561) ได้ศึกษาการปรับปรุงความสามารถในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวดูดซับโพแทสเซียมคาร์บอเนตบนแกมม่า-อลูมินา ที่เตรียมด้วยวิธีอิมเพรกเนชันในสภาวะเบส ซึ่งตัวดูดซับดังกล่าวเป็นของแข็งที่ได้รับความสนใจในการนำมาพัฒนากระบวนการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และงานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับปรุงความสามารถในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สเสียด้วยตัวดูดซับโพแทสเซียมคาร์บอเนตบนแกมม่า-อลูมินา มีตัวแปรในการปรับปรุงการเตรียมตัวดูดซับด้วยวิธีอิมเพรกเนชัน ได้แก่ ค่าความเป็นเบสของสารละลายที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับในช่วง 8 ถึง 12 และระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับในช่วง 12 ถึง 24 ชั่วโมง ผลที่ได้ พบว่า ตัวแปรในการปรับปรุงทั้งสองตัวส่งผลต่อความสามารถในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นเบสส่งผลให้ความสามารถในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น เนื่องจากสารตั้งต้นของการดักจับมีความเป็นกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับตัวดูดซับที่เป็นเบสจึงสามารถกระตุ้นให้เกิดการดักจับได้ดีขึ้น ส่วนผลของระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมตัวดูดซับ ตัวดูดซับจะมีความสามารถในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง เมื่อใช้เวลาในการเตรียมตัวดูดซับ 12 ชั่วโมง

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาของ ปิยะพร ณ หนองคาย และ จริยาวดี สุริยพันธุ์ (2561) ซึ่งศึกษาการเตรียมและการดูดซับแอมโมเนียของเม็ดคอมโพสิต ที่เตรียมได้จากอัลจิเนตและถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับในการกำจัดแอมโมเนียในน้ำ โดยเตรียมได้จากการหยดสารละลายผสมของโซเดียมอัลจิเนต โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ทำหน้าที่เป็นสารสร้างรูพรุน F108 ทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว และผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ลงในสารละลายผสมระหว่างแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และกรดแอซิติก จะทำให้ได้เม็ดคอมโพสิตที่มีลักษณะเป็นทรงกลม วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค ATR-FTIR วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ทดสอบความสามารถในการบวมในน้ำ และศึกษาการดูดซับแอมโมเนีย โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนีย ได้แก่ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ ความเข้มข้นของ F108 และความเข้มข้นของผงถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) พบว่าเม็ดคอมโพสิตชนิด ALGAC5% มีค่าประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 6.88 มิลลิกรัม/กรัม เมื่อใช้สารละลายแอมโมเนีย

เข้มข้น 100 mg-N/L ที่พีเอชของสารละลายเท่ากับ 6 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 6 ชั่วโมง และจากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ พบว่ามีความสอดคล้องกับแบบจำลองการดูดซับของแลงเมียร์

สำหรับปรียาภัทร ชัชวาลย์สิน (2563) ได้ศึกษาการสร้างเครื่องดูดควัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องดูดควันที่สามารถดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จากการสร้างตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างเครื่องดูดควัน จากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานก่อนนำไปทดลองใช้กับร้านขายอาหารปิ้งย่าง ผลการวิจัย พบว่า

1) เครื่องดูดควันที่สร้างตามแบบร่างที่ 2 ของโครงสร้างเครื่องดูดควันแล้วนำมาทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน ซึ่งประเมินจากความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จากการจุดธูป 100 ดอก ใช้เวลาจุดห่างกัน 30 นาที เป็นเวลา 5 ชั่วโมง รวมจุดธูป 1,000 ดอก ซึ่งสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เตรียมได้จากปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ 124.56 กรัม กับน้ำปริมาณ 6,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2) เครื่องดูดควันที่สร้างจากแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างเครื่องดูดควันที่ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่พบขณะทดลองใช้กับเตาปิ้งคอหมูแล้วนำไปใช้ทดลองอีกครั้งเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งประเมินจากลักษณะของเครื่องดูดควันที่ดี โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ปริมาณ 250 กรัม กับน้ำ 6,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในการเตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่ใช้เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นำไปใช้กับเตาปิ้งคอหมูเป็นเวลาเฉลี่ยต่อวันประมาณ 5 ชั่วโมง พบว่า เครื่องดูดควันมีความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในระดับดี คือ เกิดสารสีขาวขุ่นของแคลเซียม แขวนลอยอยู่ในถังบรรจุสาร บางส่วนตกตะกอนอยู่ก้นถังบรรจุสาร เมื่อตั้งทิ้งไว้อย่างน้อยประมาณ 30 นาที แยกตัวออกจากน้ำ ซึ่งเป็นของเหลวใส โดยมีควันเหลืออยู่ที่เตาปิ้งย่างประมาณร้อยละ 20 ของควันที่เกิดจากเตาปิ้งย่าง

อีกทั้งพฤกษ์ วงศ์พาณิชย์ (2562) ได้ทำการศึกษาการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของซีโอไลต์ชนิด เอ กับ ซีโอไลต์ เอ ที่ผ่านการเอิบชุ่มด้วยสารละลายโพลีเอททีลีนไอมีนและสารละลายลิเทียมคลอไรด์ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของซีโอไลต์ชนิด เอ กับ ซีโอไลต์ชนิด เอ ที่ผ่านการเอิบชุ่มด้วยสารละลายโพลีเอททีลีนไอมีนและสารละลายลิเทียมคลอไรด์ ในการทำความสะอาดแก๊สชีวภาพสังเคราะห์ กระบวนการทำความแก๊สชีวภาพนี้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านความร้อนการนำไปใช้ผลิตฟ้าและในภาคการขนส่ง โดยการศึกษาจะเน้นประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่มีอยู่ในแก๊สชีวภาพสังเคราะห์ (CO_2 37% มีเทน 52% ไนโตรเจน 11% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ 105 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยแสดงในพจน์ของค่าการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และค่าการเลือกการดูดซับแก๊สมีเทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการดลองพบว่าซีโอไลท์ชนิด 5A เอิบชุ่มด้วยสารละลายโพลีเอททีลีน เป็น

สารดูดซับที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีสัดส่วนการเลือกมีเทนต่อแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด

และงานวิจัยของสุรวิทย์ นาคสู่สุข (2561) ซึ่งได้ทำการศึกษาพลศาสตร์การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในเบดนิ่งด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่บรรจุด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และการวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองโดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและตรวจสอบพฤติกรรมการดูดซับ CO_2 จากแก๊สเผาไหม้สังเคราะห์ (CO_2 + N_2) ในเบดดิ่งด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่บรรจุด้วย NaOH โดยการติดตามความเข้มข้น CO_2 สายออกที่เวลาต่าง ๆ เพื่อนำไปสร้างกราฟเบรกทรูการดูดซับในเบดนิ่ง โดยมีตัวแปรในการศึกษาประกอบด้วยปริมาณการบรรจุ NaOH ความเข้มข้นของ CO_2 ในสายป้อน ความเร็วแก๊ส อุณหภูมิการดูดซับ ปริมาณถ่านกัมมันต์ในคอลัมน์และถ่านกัมมันต์ที่มีโครงสร้างรูพรุนแตกต่างกัน โดยผลของตัวแปรดังกล่าวที่มีต่อความจุในการดูดซับ CO_2 วิเคราะห์ผลด้วยวิธีทางสถิติซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของตัวแปร และการวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่ผิวตอบสนอง ซึ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ประกอบด้วยการออกแบบการทดลองด้วยวิธี 2^k แฟกทอเรียลและ Box – Behnken และนำผลมาวิเคราะห์ถดถอย (Regression analysis) เพื่อหาสภาวะที่ให้ปริมาณการดูดซับ CO_2 สูงสุด จากผลการทดลองพบว่าเวลาเบรกทรูสูงสุดและปริมาณการดูดซับ CO_2 สูงสุดเท่ากับ 650 วินาที และ 26.8 mgCO_2/g Carbon ตามลำดับ ที่มีความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก หรือเท่ากับ 180 mg NaOH/g Carbon และพื้นที่ผิวถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1052 m^2/g และพบว่าการบรรจุ NaOH ในถ่านกัมมันต์สารมารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ CO_2 ได้ถึงร้อยละ 39 ถึง 48 สำหรับแบบจำลองกราฟเบรกทรูพบว่า สมการแบบจำลองของคลินเคนเบิร์ก สมารถอธิบายกราฟเบรกทรูได้ดีที่สภาวะการทดลอง ส่วนผลกสนวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนองให้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ปริมาณการดูดซับ CO_2 สูงสุดเท่ากับ 27.6 mg CO_2/ g Carbon เกิดที่สภาวะปริมาณการบรรจุ NaOH เท่ากับ 103 mg NaOH/g Carbon ความเข้มข้นของ CO_2 สายป้อนเท่ากับ 18 vol% ความเร็วแก๊สเท่ากับ 3.03 m/min อุณหภูมิการดูดซับ 17 องศาเซลเซียสและพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1052 m^2/g สำหรับการเปรียบเทียบระหว่าง q_B สูงสุดที่ทำนายจากสมการสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้นกับ q_B จากการทดลองภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกันพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 8

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาเครื่องดูดควัน โดยใช้สารดูดซับเพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเครื่องดูดควัน และออกแบบถังบรรจุสารดูดซับของเครื่องดูดควันที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในเครื่องดูดควัน ซึ่งการวิจัยได้กำหนดวิธีดำเนินการวิจัยมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมการ

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นออกแบบและสร้างถังบรรจุสาร

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับและการหาปริมาณสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมก่อนนำใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นทดลองใช้เครื่องดูดควันกับร้านขายอาหารปิ้งย่าง

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมการ มีรายละเอียด ดังนี้

1. จัดหาอุปกรณ์ ที่ใช้สร้างถังบรรจุสารดูดซับ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของการพัฒนาเครื่องดูดควัน ประกอบด้วย

1.1 แผ่นสแตนเลสขนาด 4 x 8 ฟุต หนา 0.7 มิลลิเมตร 1 แผ่น

1.2 มินิบอลวาล์ว เกลียวนอก - ใน 1 อัน

1.3 พัดลมขนาด 6 นิ้ว

1.4 กระดาษกาวอลูมิเนียม ขนาด 50 มิลลิเมตร ยาว 45 เมตร 1 ม้วน

1.5 เครื่องชั่งสารขนาด 0.5 กิโลกรัม 1 เครื่อง

1.6 ท่อระบายอากาศยืดหยุ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 3 เมตร

2. สารเคมี

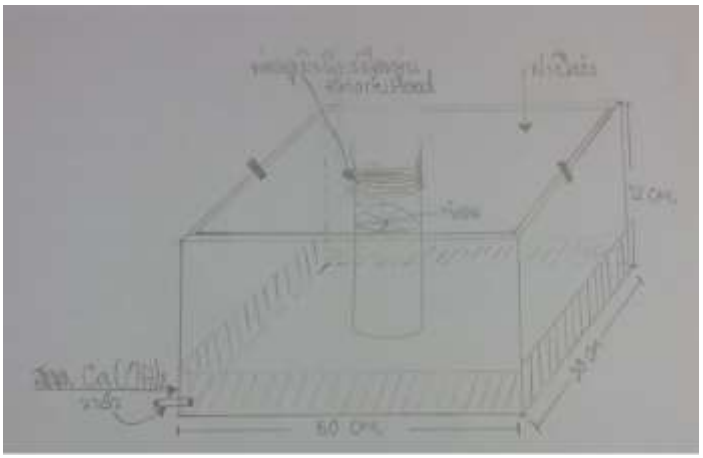
2.1 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)

2.2 น้ำ

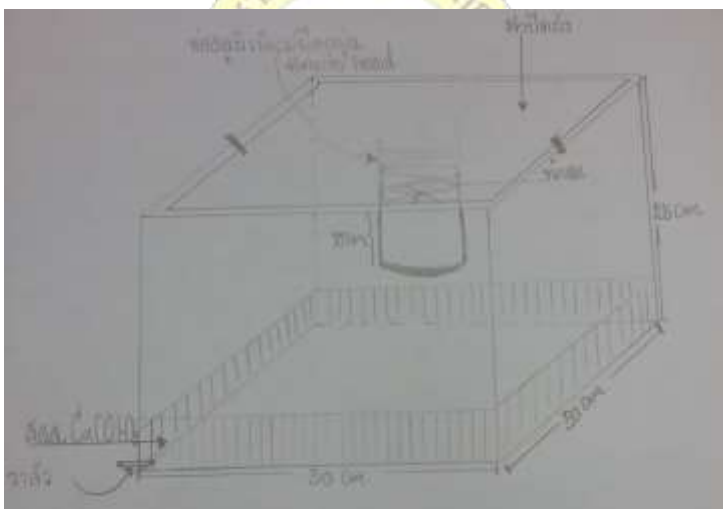
2.4 ธูป

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นสร้างถังบรรจุสารดูดซับ

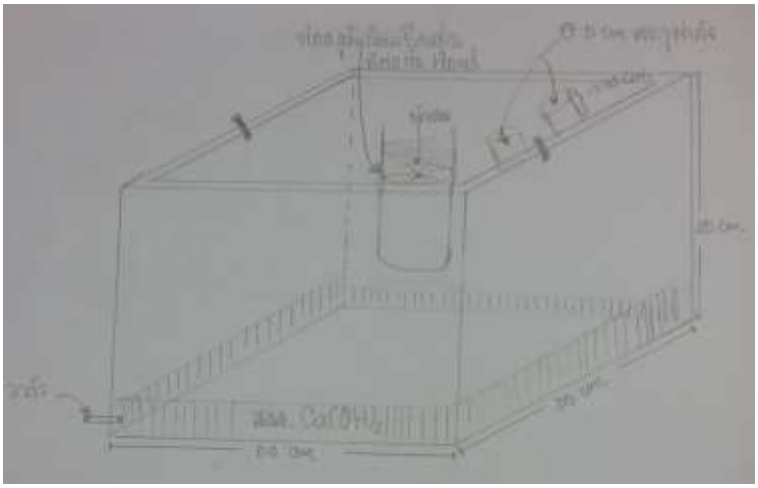
สร้างตามโครงสร้าง ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แบบร่างที่ 1 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ



ภาพที่ 3.2 แบบร่างที่ 2 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ



ภาพที่ 3.3 แบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 ขั้นทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันที่เหมาะสม

3.1 ขั้นเตรียมสารละลายแคลเซียมฮดรอกไซด์หรือสารดูดซับ ความเข้มข้นร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร มีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ชั่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ดังภาพที่ 3.4 ปริมาณตามความเข้มข้น (ร้อยละโดยมวล/ปริมาตร) ดังตารางที่ 3.1 ใส่ลงในน้ำที่เตรียมไว้ คนให้เข้ากันจนได้สารละลายแคลเซียมฮดรอกไซด์ ดังภาพที่ 3.5 แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน นำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนที่ใส ดังภาพที่ 3.6 เทใส่ลงในถังบรรจุสารดูดซับปิดฝาให้สนิท

ภาพที่ 3.4 แคลเซียมไฮดรอกไซด์

ภาพที่ 3.5 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

ภาพที่ 3.6 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนที่ใส

ตารางที่ 3.1 ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องดูดควัน โดยใช้สารดูดซับ

วันที่ทดลอง	**ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละโดยมวล/ปริมาตร)**	**บันทึกผลการทดลอง**
1	0.33	
2	0.50	
3	0.67	
4	1	

3.1.2 จัดตั้งเครื่องดูดควันให้พร้อมสำหรับทดสอบ พร้อมจุดธูป 100 ดอก ดังภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7 เครื่องดูดควันที่จัดตั้งเรียบร้อยพร้อมทดสอบการใช้งาน

3.2 ขั้นทดสอบประสิทธิภาพเครื่องดูดควันที่เหมาะสม โดย

3.2.1 เปิดเครื่องดูดควันให้เครื่องทำงานจนกระทั่งได้เวลา 4 ชั่วโมงปิดเครื่องดูดควัน เปิดฝาถังบรรจุสารดูดซับ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารดูดซับ บันทึกผลการทดลอง

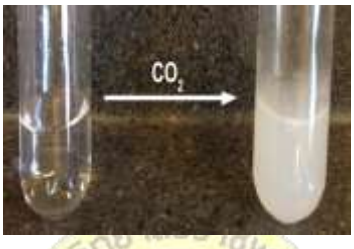
3.2.2 ทดสอบตามข้อ 3.1.1 – 3.2.1 จนกว่าจะได้ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร และเครื่องดูดควันที่พร้อมนำไปใช้กับร้านขายไก่ย่าง

หมายเหตุ

1. การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องดูดควัน โดยประเมินจากความสามารถในการดักจับควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มาทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จากควันธูป 100 ดอก ซึ่งใช้เวลาในการจุดแต่ละครั้งห่างกัน 30 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2. เกณฑ์การพิจารณาความสามารถในการดูดควันของเครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับหรือสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

2.1 การทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะได้สารที่มีสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนมของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และน้ำ ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.8 ปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้สารสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม

ที่มา: Stefan V. (2015: ออนไลน์)

2.2 การตรวจสอบว่าอากาศที่ถูกระบายออกจากท่อระบายอากาศ เป็นอากาศที่ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนออกมา วัดได้โดยการนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนที่ใสมาจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศที่ระบายอากาศออกมา ถ้าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนที่ใสนั้นยังคงใสเหมือนเดิม แสดงว่า ไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนออกมาจากท่อระบายอากาศ เป็นผลให้อากาศที่ออกจากท่อระบายอากาศเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนที่ 4 ขั้นดำเนินการทดลองใช้เครื่องดูดควัน กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 เตรียมสารดูดซับที่มีความเข้มข้นเหมาะสม จากขั้นตอนที่ 3

4.2 นำสารดูดซับใส่ลงในถังบรรจุสารดูดซับ ปิดฝาให้สนิท

4.3 จัดตั้งเครื่องดูดควันให้พร้อมสำหรับการทดลอง เปิดเครื่องดูดควันตั้งแต่เริ่มปิ้งจนถึงเลิกปิ้ง ใช้เวลาประมาณวันละ 4 ชั่วโมง

4.4 หลังจากเลิกปิ้งอาหารแล้ว ปิดเครื่อง สังเกตสิ่งที่เกิดขึ้นในถังบรรจุสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยนำสารละลายในถังบรรจุสารใส่ในขวดน้ำพลาสติกใส บันทึกผล

4.5 ปรับปรุงเครื่องดูดควัน (กรณีที่ยังพบข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไข)

4.6 นำเครื่องดูดควันกลับไปใช้กับร้านขายส้มตำ คอหมูย่าง อีกครั้ง โดยทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1- 5

มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์ RAJAPRUK UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องดูดควัน เพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการเผาไหม้ของเตาย่าง โดยการใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการดำเนินการพัฒนาเครื่องดูดควันตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ทดสอบนำเครื่องดูดควันไปใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง ซึ่งได้ผลการดำเนินการเพื่อพัฒนาเครื่องดูดควันที่สามารถดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารดูดซับ

ผลการวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ

ตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับและการหาปริมาณสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมก่อนนำใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง

ตอนที่ 3 ผลการทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาแล้วกับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ

ภายหลังจากนำแบบร่างที่ 1 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับไปปรึกษากับช่างสร้างถังบรรจุสารดูดซับได้ข้อสรุปให้มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างแบบร่างถังบรรจุสารมาเป็นแบบร่างที่ 2 ของโครงสร้างถังบรรจุสารแล้วดำเนินการสร้างตามภาพที่ 4.1 จากนั้นนำเครื่องดูดควันที่สร้างตามแบบร่างที่ 2 ของโครงสร้างถังบรรจุสารมาทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน ตามขั้นตอนการทดสอบในบทที่ 3 ขั้นตอนที่ 3 พบว่า เมื่อทำการทดลองผ่านไปประมาณ 20 นาที มีลมเย็นและควันออกมาทาง Hood ผู้วิจัยจึงหยุดทำการทดลองแล้วนำถังบรรจุสารไปปรับปรุงตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างการถังบรรจุสาร โดยเจาะช่อง 2 ช่อง บริเวณฝาถัง เพื่อระบายอากาศออกจากถัง ซึ่งช่องระบายทั้ง 2 ช่อง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และใส่ท่อระบายยาว 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.2 จากนั้นนำไปทดลองอีกครั้งในวันถัดไป เมื่อทำการทดลองผ่านไป 1 ชั่วโมง พบว่ามีลมเย็นออกมาบริเวณ Hood ของเตาปิ้งไก่และควันบางส่วนที่ไม่ได้ถูกดูดเข้าไปในถังบรรจุสาร ผู้วิจัยจึงหยุดทำการทดลอง เพื่อนำถังบรรจุสารไปปรับปรุงอีกครั้ง ทั้งนี้เป็นผลมาจากบริเวณท่อระบายอากาศ 2 ท่อ มีอากาศที่ถูกระบายออกมาค่อนข้าง

น้อย จึงทำให้ควันไหลย้อนออกมาบริเวณ Hood เพราะบริเวณปลายท่ออลูมิเนียมที่ต่อกับปล่อง Hood มีพัดลมช่วยดึงควันลงมาในถังบรรจุสารดูดซับมากเกินไปจากนั้นผู้วิจัยนำเครื่องดูดควันไปปรับปรุง โดยการนำพัดลมออกจากฝาถังบรรจุสารดูดซับส่วนที่ต่อกับท่ออลูมิเนียมยืดหยุ่นที่ต่อมาจาก Hood แล้วนำมาติดตั้งบริเวณรูระบายอากาศ 1 ช่อง ต่อปลายท่อระบายอากาศด้วยท่ออลูมิเนียมความยาวประมาณ 1 เมตร ส่วนอีก 1 ช่อง ปิดด้วยกระดาษ ดังภาพที่ 4.3 ซึ่งเป็นถังบรรสารดูดซับที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาทดสอบประสิทธิภาพ

ภาพที่ 4.1 ถังบรรจุสารดูดซับที่สร้างตามแบบร่างที่ 2 ของโครงสร้างถังบรรจุสาร

ภาพที่ 4.2 ถังบรรจุสารดูดซับที่สร้างตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสาร

ภาพที่ 4.3 ถังบรรจุสารดูดซับที่ย้ายพัดลมจากบริเวณ Hood มาติดบริเวณท่อระบายอากาศ

ตอนที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับและการหาปริมาณสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมก่อนนำใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง

นำเครื่องดูดควันที่ปรับปรุงถังบรรสารดูดซับแล้ว มาทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานและหาปริมาณสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมก่อนนำใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง โดยดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ตอนที่ 3 เพื่อให้ได้เครื่องดูดควันที่มีระสิทธิภาพความเข้มข้นสารดูดซับที่เหมาะสมจะนำไปใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง ซึ่งติดตั้งเครื่องดูดควันพร้อมทำการทดสอบประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4 เครื่องดูดควันที่ปรับปรุงถังบรรจุสารดูดซับนำมาทดสอบประสิทธิภาพ

วันแรก ทดลองใช้สารดูดซับที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.33 โดยมวลต่อปริมาตร ใส่ลงในถังบรรจุสารดูดซับแล้วดำเนินการทดลองไปจนครบ 4 ชั่วโมง หยุดทดลองเปิดฝาถังบรรจุสารดูดซับพบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.5 เมื่อนำไปใส่ในขวดพลาสติกใสได้สารละลายสีขาวขุ่น เพราะมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.6 หลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีของแข็งสีขาวตกตะกอนก้นขวดเล็กน้อยดังภาพที่ 4.7 และเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่ามีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.8

ภาพที่ 4.5 ฝ้าสีขาวขุ่นผิวหน้าสารดูดซับ (วันแรก)

ภาพที่ 4.6 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ (วันแรก)

ภาพที่ 4.7 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (วันแรก)

ภาพที่ 4.8 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ (วันแรก)

วันที่สอง ทดลองใช้สารดูดซับที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร ใส่ลงในถังบรรจุสารดูดซับแล้วดำเนินการทดลองไปจนครบ 4 ชั่วโมง หยุดทดลองเปิดฝาถังบรรจุสารดูดซับพบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.9 เมื่อนำไปใส่ในขวดพลาสติกใสได้สารละลายสีขาวขุ่น เพราะมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.10 หลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีของแข็งสีขาวตกตะกอนก้นขวดเล็กน้อยดังภาพที่ 4.11 และเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่ามีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.12

ภาพที่ 4.9 ฝ้าสีขาวขุ่นผิวหน้าสารดูดซับ (วันที่สอง)

ภาพที่ 4.10 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ (วันที่สอง)

ภาพที่ 4.11 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (วันที่สอง)

ภาพที่ 4.12 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ (วันที่สอง)

วันที่สาม ทดลองใช้สารดูดซับที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.67 โดยมวลต่อปริมาตร ใส่ลงในถังบรรจุสารดูดซับแล้วดำเนินการทดลองไปจนครบ 4 ชั่วโมง หยุดทดลองเปิดฝาถังบรรจุสารดูดซับ พบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.13 เมื่อนำไปใส่ในขวดพลาสติกใสได้สารละลายสีขาวขุ่น เพราะมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.14 หลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีของแข็งสีขาวตกตะกอนก้นขวดเล็กน้อยดังภาพที่ 4.15 และเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่ามีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.16

ภาพที่ 4.13 ฝ้าสีขาวขุ่นผิวหน้าสารดูดซับ (วันที่สาม)

ภาพที่ 4.14 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ (วันที่สาม)

ภาพที่ 4.15 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (วันที่สาม)

ภาพที่ 4.16 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ (วันที่สาม)

วันที่สี่ ทดลองใช้สารดูดซับที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร ใส่ลงในถังบรรจุสารดูดซับแล้วดำเนินการทดลองไปจนครบ 4 ชั่วโมง หยุดทดลองเปิดฝาถังบรรจุสารดูดซับพบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย ดังภาพที่ 4.17 เมื่อนำไปใส่ในขวดพลาสติกใสได้สารละลายสีขาวขุ่น เพราะมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.18 หลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีของแข็งสีขาวตกตะกอนก้นขวดเล็กน้อยดังภาพที่ 4.19 และเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกด์ใสไม่มีของแข็งสีขาวแขวนลอยดังภาพที่ 4.20

ภาพที่ 4.17 ฝ้าสีขาวขุ่นผิวหน้าสารดูดซับ (วันที่สี่)

ภาพที่ 4.18 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ (วันที่สี่)

ภาพที่ 4.19 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน (วันที่สี่)

ภาพที่ 4.20 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ (วันที่สี่)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาเข้มข้นของสารดูดซับ (สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์) ที่เหมาะสมก่อนนำไปทดลองใช้กับร้านส้มตำ ไก่ย่าง

วันที่ทดลอง	ความเข้มข้นของสารดูดซับ (ร้อยละโดยมวล/ปริมาตร)	ผลการทดลอง	ผลการทดลองนำลายสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศ
1	0.33	สารดูดซับมีสีขาวขุ่น เพราะมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ หลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีของแข็งสีขาวตกตะกอนก้นขวด	มีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่
2	0.50	สารดูดซับมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย เพราะมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ หลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีของแข็งสีขาวตกตะกอนก้นขวด	มีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่
3	0.67	สารดูดซับมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย ได้สารละลายสีขาวขุ่น เพราะมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ หลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีของแข็งสีขาวตกตะกอนก้นขวด	มีของแข็งสีขาวแขวนลอยเล็กน้อย
4	1	สารดูดซับมีสีขาวขุ่นเล็กน้อย สารละลายสีขาวขุ่น เพราะมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ หลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีของแข็งสีขาวตกตะกอนก้นขวด	สารละลายใส ไม่มีของแข็งสีขาวแขวนลอย

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับและการหาปริมาณสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมก่อนนำใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง ตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ได้ความเข้มข้นของสารดูดซับที่เหมาะสมคือที่ความเข้มข้น 1 โดยมวลต่อปริมาตร ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร หมายถึง น้ำหนักของตัวละลายเป็นกรัม งานวิจัยนี้คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร งานวิจัยนี้คือ น้ำ ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ขึ้นอยู่กับปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หากสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นน้อย ๆ แล้วสามารถทำให้เครื่องดูดควันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะช่วยลดต้นทุนในการซื้อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่หาความเข้มข้นที่มากกว่า 1 โดยมวลตอปริมาตร

ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับ ไปใช้ทดลองกับร้านขายส้มไก่ย่างต่อไป

ตอนที่ 3 ผลการทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาแล้วกับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง

นำเครื่องดูดควันที่พัฒนาแล้วไปและได้ความเข้มข้นของสารดูดซับที่เหมาะสมใช้ทดลองกับร้ายขายส้มตำ ไก่ย่าง คุณเขียว อพาร์ทเม้นท์ชัยเจริญ ตำบลบางขุนกรอง อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี เป็นเวลา 3 วัน ดังนี้

วันแรกของการทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาแล้วโดยใช้สารดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร เตรียมเครื่องดูดควันพร้อมใช้งานดังภาพที่ 4.21 เมื่อเปิดเครื่องดูดควันเริ่มทำงานในตอนต้นก็ดำเนินไปด้วยดีคือมีการดูดควันจากเตาปิ้งไก่เข้าสู่ถังบรรจุสารดูดซับและมีการระบายอากาศออกจากปล่องท่อระบายอากาศ หลังจากดำเนินการทดลองประมาณ 2 ชั่วโมง มีควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนออกมาปลายปล่องท่อระบายอากาศ ซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากปริมาณควันที่ลอยออกมาในบริเวณร้านค้า นอกจากนี้ควันบริเวณเตาปิ้งไก่บางส่วนไม่ถูกดูดเข้าไปในถังบรรจุสาร ผู้วิจัยจึงหยุดทดลอง เปิดฝาถังบรรจุสารดูดซับแล้วเทสารดูดซับใสในขวดพลาสติกใสพบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ในสารดูดซับดังภาพที่ 4.22 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีองแข็งสีตกตะกอนลงก้นขวดพลาสติกดังภาพที่ 4.23 นำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแก้ไขแล้วนำมาทดลองใหม่ในวันถัดไป ทั้งนี้เป็นผลมาจากเตาปิ้งไก่ที่มีฝาปิด เมื่อเปิดฝาออกเพื่อปิ้งไก่ทำให้ฝาไปชนกับขาตั้ง Hood ของเครื่องดูดควัน เป็นผลให้พัดลมที่อยู่ตรงกลางบริเวณ Hood ไม่สามารถข้ามาถึงตรงกลางเตาปิ้งไก่ ควันทีเกิดจากการย่างไก่จึงเข้าไปสู่ Hood ไม่เต็มที่ และ Hood อยู่สูงจากเตาปิ้งไก่มากไป

ภาพที่ 4.21 เครื่องดูดควันที่ติดตั้งเรียบร้อยพร้อมใช้งาน

ภาพที่ 4.22 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ

ภาพที่ 4.23 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

วันต่อมานำเครื่องดูดควันไปทดลองอีกครั้ง โดยทำการปรับการติดตั้ง Hood ใหม่ ให้มีระยะทางที่เหมาะสมกับเตาปิ้งไก่ คือการถอดขาตั้ง Hood ออกแล้วนำ Hood มาแขวน ดังภาพที่ 4.24 และใช้สารดูดซับความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งเทากับความเข้มข้นในวันแรกของการทดลอง เมื่อเริ่มดำเนินการทดลองควันจากเตาปิ้งไก่ถูกดูดเข้าสู่ถังบรรจุสาร ดูดซับและมีการระบายอากาศออกจากปล่องท่อระบายอากาศ เมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความขุ่นเล็กน้อยของของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.25 ดำเนินการทดลองไปจนครบเวลา 4 ชั่วโมง หยุดทดลอง เปิดฝาถังบรรจุสารดูดซับแล้วเทสารใสในขวดพลาสติกใสพบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ในสารดูดซับดังภาพที่ 4.26 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีตะกอนสีขาวตกลงก้นขวดพลาสติกดังภาพที่ 4.27 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองจากการที่นำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความขุ่นเล็กน้อยของของแข็งสีขาวแสดงว่ามีควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลอยปนออกมาที่ท่อระบายอากาศด้วย ผู้วิจัยจึงสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากสารดูดซับมีความเข้มข้นน้อยไปเมื่อเทียบกับปริมาณควันจากเตาปิ้งไก่ที่ถูกปล่อยออกมาก อีกทั้งท่อระบายอากาศที่ยาว 1 เมตร คงสั้นและต่ำไปสำหรับการระบายอากาศ อากาศจึงลอยออกสู่บรรยากาศได้ไม่ดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงปรับแก้ไขโดยเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับและเพิ่มความยาวของท่อระบายอากาศจาก 1 เมตร เป็น 3 เมตร แล้วนำไปทดลองอีกครั้งในวันถัดไป

ภาพที่ 4.24 เครื่องดูดควันที่ปรับการติดตั้ง Hood และระยะห่างของ Hood กับเตาปิ้งไก่ที่เหมาะสม

ภาพที่ 4.25 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ

ภาพที่ 4.26 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ

ภาพที่ 4.27 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

วันต่อมานำเครื่องดูดควันไปทดลองอีกครั้ง หลังจากที่ปรับความยาวของท่อระบายควันเป็น 3 เมตร และเพิ่มความเข้มข้นเป็นร้อยละ 1.39 โดยมวลต่อปริมาตร ตั้งเครื่องดูดควันให้พร้อมทดลอง ดังภาพที่ 4.28 เปิดเครื่องดูดควันเริ่มทำการทดลอง เครื่องดูดควันสามารถดูดควันเข้ามายังถังบรรจุสารดูดซับและมีการระบายอากาศออกจากปลายปล่องทอระบายอากาศ เมื่อนำเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีความขุ่นเล็กน้อยของของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ดังภาพที่ 4.29 ดำเนินการทดลองจนครบ 4 ชั่วโมง จึงหยุดทดลอง เปิดฝาถังบรรจุสารดูดซับแล้วเทสารใสในขวดพลาสติกใสพบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ในสารดูดซับดังภาพที่ 4.30 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีตะกอนสีขาวตกลงก้นขวดพลาสติกดังภาพที่ 4.31

ภาพที่ 4.28 เครื่องดูดควันที่ปรับความยาวท่อระบายอากาศเป็น 3 เมตร

ภาพที่ 4.29 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ

ภาพที่ 4.30 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ

ภาพที่ 4.31 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

จากการทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับแล้วนำมาทดลองใช้กับร้านส้มตำ ไก่ย่าง พบว่ายังมีจุดที่ต้องแก้ไข เนื่องจากขณะทดลองยังมีควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนออกมาบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศ ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณควันมีมากจากการปิ้งไก่ และคอหมูย่าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาอีกครั้ง โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับให้มากพอที่จะดูดซับควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาณมากจากเตาปิ้งย่างแล้วนำไปทดลองใช้งานอีกครั้ง

นำเครื่องดูดควันที่พัฒนาแล้วมาใช้ทดลองกับร้านส้มตำ ไก่ย่าง ของป้าชูจิตร สัมผัสสุข ตำบลบางขนุน อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี เพื่อให้ได้เครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารสามารถดูดควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเตาปิ้งย่างและระบายอากาศดีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมออกสู่บรรยากาศ โดยการทดลองครั้งนี้ปรับความเข้มข้นของสารดูดซับเป็นร้อยละ 2.78 โดยมวลต่อ

ปริมาตร ซึ่งจัดตั้งเครื่องดูดควันพร้อมใช้ทดลองดังภาพที 4.32 จากนั้นดำเนินการทดลอง เครื่องดูดควันดำเนินไปด้วยดีคือมีการดูดควันจากเตาปิ้งไก่ลงสู่ถังบรรจุสารดูดซับ และมีการระบายอากาศออกจากปลายปล่องท่อระบายอากาศ เมื่อนำเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใสดังภาพที่ 4.33 ดำเนินการทดลองจนครบเวลา 4 ชั่วโมง หยุดทดลองเทสารดูดซับใสในขวดพลาสติกใสพบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ในสารดูดซับดังภาพที่ 4.34 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีตะกอนสีขาวตกลงก้นขวดพลาสติกดังภาพที่ 4.35

ภาพที่ 4.32 เครื่องดูดควันที่ติดตั้งพร้อมใช้ทดลอง

ภาพที่ 4.33 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ

ภาพที่ 4.34 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ

ภาพที่ 4.35 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

ผลการทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับ โดยเมื่อควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเตาปิ้งไก่เข้าไปในถังบรรจุสารดูดซับที่มีสารดูดซับอยู่ภายในแล้วทำปฏิกิริยากันได้สารละลายสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม และเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศแล้วสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใส เนื่องจากไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนออกมาบริเวณปลายท่อระบายอากาศ ผู้วิจัยจึงดำเนินการทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับนี้อีกครั้งในวันถัดมาเพื่อตรวจสอบความแม่นยำ โดยทำการทดลองกับร้านายส้มตำไก่ย่าง ร้านส้มตำไก่ย่างร้านป้าชูจิตร และใช้สารดูดซับที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2.78 โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งจัดตั้งเครื่องดูดควันพร้อมใช้ทดลองดังภาพที 4.36 จากนั้นดำเนินการทดลอง เครื่องดูดควันดำเนินไปด้วยดีคือมีการดูดควันจากเตาปิ้งไก่ลงสู่ถังบรรจุสารดูดซับ และมีการระบายอากาศออกจากปลาย

ปล่องท่อระบายอากาศ เมื่อนำเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใสดังภาพที่ 4.37 ดำเนินการทดลองจนครบเวลา 4 ชั่วโมง หยุดทดลองเทสารดูดซับใส่ในขวดพลาสติกใสพบว่าสารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ในสารดูดซับดังภาพที่ 4.38 เมื่อตั้งทิ้งไว้ 1 คืน พบว่ามีตะกอนสีขาวตกลงก้นขวดพลาสติกดังภาพที่ 4.39

ภาพที่ 4.36 เครื่องดูดควันที่ติดตั้งพร้อมใช้ทดลอง

ภาพที่ 4.37 สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังนำมาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศ

ภาพที่ 4.38 สารดูดซับมีสีขาวขุ่นและมีของแข็งสีขาวแขวนลอยในสารดูดซับ

ภาพที่ 4.39 สารดูดซับหลังจากตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยการพัฒนาเครื่องดูดควันเพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการเผาไหม้ของเตาย่าง โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์และออกแบบถังบรรจุสารดูดซับ ที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดูดควัน

จากการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงร่างถังบรรจุสารดูดซับไว้ 3 แบบ โดยแบบที่สามารถนำมาใช้สร้างถังบรรจุสารดูดซับที่เหมาะสมกับการใช้งานเป็นแบบร่างที่ 2 และแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ เมื่อนำแบบร่างที่ 2 ของโครงสร้างถังบรรจุสารที่สร้างสมบูรณ์แล้วมาทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันพบปัญหาขณะทำการทดสอบจึงนำถังบรรจุสารดูดซับมาปรับปรุงามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ จากนั้นนำมาทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานอีกครั้งก่อนนำไปใช้กับร้านส้มตำ ไก่ย่าง เมื่อนำเครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ มาทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานยังคงพบปัญหาขณะทดลอง จึงนำถังบรรจุสารดูดซับมาปรับปรุงแก้ไขจนสามารถนำมาใช้ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานองเครื่องดูดควัน ก่อนนำไปทดลองหาปริมาณสารดูดซับที่เหมาะสมและนำไปทดลองใช้กับร้านส้มตำ ไก่ย่าง

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษา ทดสอบ และทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับ ได้ข้อค้นพบโดยสรุปดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับ ตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ

ถังบรรจุสารดูดซับที่สร้างตามแบบร่างที่ 3 ของโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับ มีความเหมาะสมและพร้อมที่จะนำไปทดลองใช้กับร้านส้มตำ ไก่ย่าง หลังจากนำมาทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

ตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องดูดควันจากการสร้างถังบรรจุสารดูดซับตามแบบร่างโครงสร้างถังบรรจุสารดูดซับและการหาปริมาณสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมก่อนนำใช้กับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง

หลังจากนำเครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานแล้วมาหาความเข้มข้นของสารดูดซับที่เหมาะสมเพื่อให้พร้อมนำไปใช้ทดลองกับร้านส้มตำ ไก่ย่าง โดยพิจารณาความเข้มข้นของสารดูดซับที่เหมาะสมจากความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วได้ของแข็งสีขาวของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แขวนลอยอยู่ในสารละลายและน้ำ ดังสมการเคมี

$$Ca(OH)_2(aq) + CO_2(g) \longrightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l)$$

และประเมินจากการนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ไปจ่อบริเวณปลายปล่องท่อระบายอากาศ พบว่า สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใส เพราะไม่มีควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลอยปนออกมา ซึ่งความเข้มข้นของสารดูดซับที่เหมาะอยู่ที่ความเข้มข้น 1 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) เป็นไปตามสมการเคมีที่กล่าวมาข้างต้น

ตอนที่ 3 การทดลองใช้เครื่องดูดควันที่พัฒนาแล้วกับร้านขายส้มตำ ไก่ย่าง

นำเครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานและความเข้มข้นของสารดูดซับที่เหมาะสมแล้วนำไปใช้กับร้านส้มตำ ไก่ย่าง 2 ร้าน ซึ่งพิจารณาความสามารถในการดูดซับควันจากเตาปิ้งไก่ของเครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับเช่นเดียวกับตอนที่ 2 โดยร้านแรกใช้สารดูดซับที่ความเข้มข้น 1 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) พบว่ามีควันลอยอยู่ในร้าน ซึ่งแก้ไขโดยการปรับความยาวของท่อระบายอากาศให้ยาวประมาณ 3 เมตร และเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับเป็น 1.39 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) แล้วนำมาทดลองในวัดถัดไป ผลที่ได้คือควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับสารดูดซับได้สารละลายสีขาวขุ่นที่มีของแข็งสีขาวแขวนลอยอยู่ในสารละลายดังสมการเคมีที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาจ่อปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีของแข็งสีขาวขุ่นแขวนลอยอยู่ในสารละลายเล็กน้อย ผู้วิจัยจึงแก้ไขโดยเพิ่มความเข้มข้นของสารดูดซับเป็น 2 เท่าของความเข้มข้นเดิมเป็น 2.78 (ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร) แล้วนำเครื่องดูดควันไปทดลองอีกครั้งกับร้านที่ 2 ซึ่งผลที่ได้คือควันจากเตาปิ้งไก่ลอยเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารดูดซับในถังบรรจุสาร เกิดเป็นสารละลายสีขาวขุ่นของของแข็งแขวนลอยอยู่ในสารละลายและเมื่อนำสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาจ่อที่ปลายปล่องท่อระบายอากาศพบว่าสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใส แสดงว่าไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปนออกมาจากปล่องท่อระบายอากาศ ดังนั้นเครื่องดูดควันที่พัฒนาถังบรรจุสารดูดซับ มีความสามารถในการดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเตาปิ้งย่างเมื่อใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์

5.2 อภิปรายผล

การพัฒนาเครื่องดูดควันเพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ของเตาย่าง โดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลอยออกมาจากเตาปิ้งย่างสู่ถังบรรจุสารดูดซับที่ออกแบบมาเพื่อให้บรรจุสารดูดซับที่สนับสนุนการดักจับและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คืนอากาศดีสู่สิ่งแวดล้อม กล่าวคือความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาของสาร 2 ชนิด ได้แก่ สารละลายแคลเซียมไฮ-ดรอกไซด์ กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นของแข็งสีขาวคือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และน้ำ (H_2O) ที่มีความเป็นกลางและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังสมการเคมี

$$Ca(OH)_2(aq) + CO_2(g) \longrightarrow CaCO_3(s) + H_2O(l)$$

มีความสอดคล้องกับบทความเรื่องการดักจับด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของ Ecospary (ออนไลน์, 2023) ที่กล่าวถึงเทคโนโลยีทางเลือกในการจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในรูปของไลม์มิลล์ (lime milk) เปลี่ยนเป็นของแข็งสีขาวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมคือ แคลเซียมคาร์บอน ($CaCO_3$) และสอดคล้องกับหนังสือเรื่องการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ Brian S. Freeman กับ Jeffrey S. Berger. Anesthesiology Core Rewiew: Past One Basic Exam (2014) ที่กล่าวถึงการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสิ่งจำเป็นในระบบหายใจแบบปิด – กึ่งปิด ซึ่งกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจออกทำได้โดยการทำให้เป็นกลางทางเคมีในภาชนะบรรจุเม็ดดูดซับซึ่งสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุดมคติควรมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อทำปฏิกิริยาก๊าซดมสลบแล้วไม่เกิดสารพิษ เกิดแรงเสียดทานน้อย เมื่อมีอากาศไหลผ่าน ไม่แตกตัวเป็นฝุ่นละอองและราคาประหยัด โดยสมบัติทางเคมีของสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีกระบวนการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารเคมีในสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ผลผลิตเป็นน้ำ ความร้อนและคาร์บอเนต ตัวอย่างสารเคมีได้แก่ โซดาไลม์ (Soda lime) ที่ประกอบด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ร้อยละ 80 น้ำ (H_2O) ร้อยละ 15 และตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ โซเดียมไฮโรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 5 และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 0.1 ค่า pH 13.5 ซึ่งความสามารถในการดูดซับเกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาและทำให้เป็นกลาง ดังสมการเคมี

1. $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$
2. $H_2CO_3 + 2NaOH \text{ (or } KOH) \rightleftharpoons Na_2CO_3 \text{ (or } K_2CO_3) + 2H_2O + Heat$
3. $Na_2CO_3 \text{ (or } K_2CO_3) + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons CaCO_3 + 2NaOH \text{ (or } KOH)$

ขั้นแรกของปฏิกิริยาที่เป็นกลางในรูปของคาร์บอนิกที่เกิดจากปฏิกิริยาของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ จากนั้นโซเดียมหรือ (โพแทสเซียมปริมาณน้อย) ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นเร่งการก่อตัวเป็นโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หรือ โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะสร้างแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งเป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยปฏิกิริยาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการแขวนลอยของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบสเลอรี่ของ Zahrul Mufrodi, L.M. Shitophyta, Hary Sulistyo, Rochamadi, Muhammad Aziz. (2023) กล่าวถึงการศึกษากระบวนการเกิดตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต จากการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารแขวนลอยของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งปฏิกิริยาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะเกิดในเครื่องปฏิกรณ์แบบสเลอรี่ (Slurry Reactor) อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกรกนก ยุวพัฒนวงศ์ ปรัชญ์วิไล นุชประยูร และปิยศักดิ์ วิทยบูรณานนท์ (2559) กล่าวถึงโซดาซอร์ฟ (sodasorb) ที่ใช้เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบหายใจในของเครื่องดมยาสลบที่มีการจัดเรียงให้อากาศหมุนเวียนจนครบวงจรอากาศในระบบไหลในทิศทางเดียว นำอากาศที่ผู้ป่วยหายใจออกไหลผ่านสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก่อนจ่ายให้ผู้ป่วยในช่วงหายใจเข้าเพื่อป้องกันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เจือปนในลมหายใจเข้า โดยโซดาซอร์ฟประกอบด้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ร้อยละ 76.5 น้ำ (H_2O) ร้อยละ 18.9 โซเดียมไฮโรกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 2.25 และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 2.25 รวมถึงงานวิจัยนี้ยังพบสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดใหม่ชื่อว่า ยาบาชิไลม์ (Yabashi lime) ซึ่งเป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีองค์ประกอบของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ร้อยละ 84 น้ำ (H_2O) ร้อยละ 20 ไม่มีเบสแก่เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ (KOH)

นอกจากนี้เครื่องดูดควันยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะร้านขายอาหารปิ้งย่างที่ปล่อยควันสู่บรรยากาศ เมื่อมีการปิ้งย่างอาหาร เช่น ไก่ กุ้ง ปลา คอหมูและเนื้อหมู เป็นต้น เมื่อเทียบความคุ้มทุนของการพัฒนาเครื่องดูดควันกับผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนและส่งผลต่อการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น อุทกภัย วาตภัย ตลอดจนการสูญพันธุ์ของพืชและสัตว์บางชนิดแล้ว ถือได้ว่าการพัฒนาเครื่องดูดควันมีความคุ้มทุนและคุ้มค่าอย่างมาก เนื่องจากเครื่องดูดควันนี้สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้บรรยากาศมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลงและลูกค้าที่รับประทานอาหารในร้านค้าและแม่ค้าไม่ต้องสูดดมควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยของคน ทำให้เกิดโรคโดยการแทนที่ออกซิเจน (asphyxiant) ทำให้ออกซิเจนในอากาศมีไม่พอจึงเกิดพิษจากภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ (hypoxia) ขึ้นได้ การที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คั่งในเลือด (hypercapnia) ไม่ว่าจะจากการขาดออกซิเจนหรือได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ข้าไปมากก็ตาม จะทำให้เลือดเป็นกรด (acidosis) เกิดการขยายตัวของหลอด

เลือด กระตุ้นระบบหายใจให้หายใจเร็วขึ้นและกดสมอง (ทำความรู้จักอันตรายจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2021) ดังนั้นหากมีการนำเครื่องดูดควันที่พัฒนาแล้วนี้ ไปใช้ในการทำธุรกิจการค้าขายอาหารปิ้งย่างก็จะสามารถลดมลพิษทางอากาศและสิ่งแวดล้อมภายในร้าน สร้างความปลอดภัยให้กับแม่ค้ากับลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากผลการวิจัยการพัฒนาเครื่องดูดควัน เพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการเผาไหม้ของเตาย่างโดยใช้สารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์พบว่า เครื่องดูดควันมีความสามารถในการลดควันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากเตาปิ้งย่างก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ ทำให้ทั้งแม่ค้าที่ปิ้งย่างและลูกค้าที่เข้ามาซื้ออาหารปิ้งย่างได้รับความปลอดภัยจากควันพิษนี้ ฉะนั้นรัฐบาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ควรกำหนดเป็นนโยบายในการดูแลและป้องกันสิ่งแวดล้อมให้ปลอดภัยและปราศจากก๊าซพิษนี้ โดย

5.3.1.1 เชิงนโยบาย

1) สร้างความตระหนักและปลูกจิตสำนึกในการดูแล ปกป้องและหวงแหนสิ่งแวดล้อมให้เห็นถึงความสำคัญและคุณค่าของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อชีวิตบนโลก ให้กับประชาชนในชุมชนตั้งแต่ในครอบครัว ท้องถิ่น จนถึงโลกของเรา โดยมีกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษและองค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกเป็นผู้รับใดชอบในการดำเนินการ กำหนดนโยบายลงสู่องค์การบริหารส่วนตำบลทุกองค์กรในประเทศไทย นำไปใช้กับประชาชนในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนตำบล

2) พัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม การจัดการบริหารสิ่งแวดล้อม รวมถึงการจัดการมลพิษสิ่งแวดล้อมให้กับบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม เช่นนักวิชาการ รวมทั้งส่งเสริมและสนับสนุนทุนวิจัยให้กับนักวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมได้ลงไปกระตุ้น แนะนำหรือถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับประชาชนในชุมชน เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาต่อไป

5.3.1.2 เชิงปฏิบัติการ

องค์การบริหารส่วนตำบล มีการส่งเสริมและสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเครื่องมือหรือสิ่งต่าง ๆ ที่ช่วยกำจัดหรือลดการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจัดกิจกรรมดังนี้

1) ประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ข้อมูล ข่าวสารเกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สื่อที่ให้ประชาชนเข้าใจและเข้าถึงได้ง่าย สมวัย ในการรับรู้ของประชาชน ได้แก่ แผ่นพับ ใบปลิว เสียงตามสาย นิทรรศการ ป้ายนิเทศ อย่างต่อเนื่อง

2) จัดประชุมสัมมนา แลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เดือนละ 1 ครั้ง ให้กับผู้นำชุมนในละท้องถิ่น เพื่อนำไปถ่ายทอดต่อประชาชนในชุมชนของตน

3) อบรมให้ความรู้เกี่ยวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ วิธีการจัดการ การกำจัดหรือลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมถึงพฤติกรรมของประชาชนในชุมชน

5.3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

5.3.2.1 ควรทำงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างเครื่องดูดควันโดยใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

5.3.2.2 ควรทำงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างเครื่องดูดควันโดยใช้หอคอยสเปรย์สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

5.3.2.3 ควรทำงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างเครื่องดูดควันโดยใช้สารผสมระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เป็นสารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

5.3.2.4 ควรทำงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อใช้กับเครื่องดูดควัน

5.3.2.5 ควรทำงานวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) เมื่ออยู่ในสถานะของเหลวกับของแข็ง

บรรณานุกรม

เอกสารภาษาไทย

กรกนก ยุวพัฒนวงศ์ ปรัชญ์วิไล นุชประมูล และ ปิยศักดิ์ วิทยบูรณานนท์. (2559). *สารดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.* **วชิรเวชสารและวรสารเวชศาสตร์ เขตเมือง,** หน้า 125-133.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2562). **ถ่านกัมมันต์.** ค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2564, https://lib 3.dss.go.th>chem-2-62-charcoal

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2021). **ทำความรู้จักอันตรายจากคาร์บอนไดออกไซด์.** ค้นเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2565, จาก https://www.sci.psu.ac.th

จารุวรรณ คำแก้ว ประสิทธิ์ รุ่งเรือง และ นรารัตน์ ทองศรีนุ่น. (2561). **การเตรียมถ่านกัมมันต์จากจากวัสดุเหลือทิ้งต้นสาคูเป็นตัวดูดซับสำหรับกำจัดไอออนตะกั่วจากสารละลาย.** มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

จารุวรรณ เจริญชัยเพชร พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ และ เบญจพล เฉลิมสินสุวรรณ. (2561). *การปรับปรุงความสามารถในการดักจับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้สารดูดซับโพแทสเซียมคาร์บอเนตบนแกมม่า-อลูมินา ที่เรียมด้วยวิธีอิแพรกเนชั่นในสภาวะเบส.* **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมทางเคมีและเคมีระยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28**, หน้า 123-133.

เดชอุดมชาร์โคล. **วัฒนธรรมอาหารปิ้งย่าง.** ค้นเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2566, จาก https://www.ddcharcoal.com

ปิยะพร ณ หนองคาย และจริยาวดี สุริยพันธุ์.(2561).**การเตรียมการดูดซับแอมโมเนียของเม็ดคอมโพสิต ทีเตรียมจากอัลจิเนตและถ่านกัมมันต์.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช.มหาวิทยาลัยบูรพา.

ปรียาภัทร ชัชวาลย์สิน. (2563). **การสร้างเครื่องดูดควัน**. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์.

พฤกษ์ วงศ์พาณิชย์. (2562). **การศึกษาการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของซีโอไลต์ชนิด เอกับซีโอไลต์ชนิด เอ ที่ผ่านการเอิบชุ่มด้วยสารละลายโพลีเอททีลีนไอมีนและสารละลายลิเทียมคลอไรด์.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์. (2019). **กรรมวิธีดึงคาร์บอนออกจากอากาศ โดยใช้หอหล่อเย็นดักจับคาร์บอน.** ค้นเมื่อวันที่ 7 กันยายน 2564, จาก https://home.maefahluang.org>dirg

ศูนย์เทคโนโลยีและวิศวกรรมเพื่อเศรษฐกิจหมุนเวียนและเศรษฐกิจสีเขียว.(2564). **การนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ประโยชน์: สถานการณ์ อุปสรรคและความท้าทาย.** ค้นเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2564, จาก https://chem.eng.chula.ac.th

สถาบันวิทยาการด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. (2564). **CCUS เทคโนโลยีที่กำลังเติบโตเพื่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนเป็นศูนย์.** ค้นเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2564, จาก https://caacademy.tgo.or.th/ccus

สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. (2562). **เทคโนโลยีลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นวัตกรรมรักษ์โลก.** ค้นเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 2564, จาก https://www.parliament.go.th>ewt>_dl_link

สมาคมฟิสิกส์ไทย. (2563). **เครื่องดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากอากาศ.** ค้นเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2564, จาก https://www.thaiphysoc.org>article

สาระวิทย์. (2021). **คาร์บอนไดออกไซด์แล้วไง ข้องใจเหรอคะ (ตอนที่1).** ค้นเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2564, จาก https://natda.or.th

สุพัตรา วงษ์แสนใหม่. (2559). **การเตรียมเซรามิกพรุนแบเรียมออธอไทเทเนต.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์.มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สุรวิทย์นาคสู่สุข. (2561). **พลศาสตร์การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเบดนิ่งด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่บรรจุด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และการวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Blockdit. (2564). **บทบาทของเทคโนโลยีCCUSกับการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย.** ค้นเมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2564, จาก https://www.blockdit.com/post/

Climeworks. (2021). **ปลูกป่าไม้ทันใจ climeworks และใช้เทคโนโลยีดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศแทนต้นไม้ 4 แสนต้นซะเลย.** ค้นเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2564, จาก https://urbancreature.co>climeworks

KIREN BBQ. **รวมหลากหลายข้อดีของเครื่องดูดควันร้านปิ้งย่างที่เจ้าของร้านอย่างคุณต้องรู้.** ค้นเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2566, จาก https://www.kirenbbq.com

PSU. (2021). **ทำความรู้จักอันตรายจาคาร์บอนไดออกไซด์.** ค้นเมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม 2665, จาก https://www.sci.psu.ac.th>get-to-know-carbon-dioxide

RISC. (2022). **carbontech เทคโนโลยีเพิ่มมูลค่าให้คาร์บอนเพื่อช่วยโลกของเรา.** ค้นเมื่อวันที่ 16 มกราคม 2566, จาก https://risc.in.th>knowledge>

Siamchhemi.com. **โซดาไฟ โซเดียมไฮดรอกไซด์.** ค้นเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2564, จาก https://www.siamchemi.com/โซดาไฟ/

Technology and Inno Mag. (2559). **การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าด้วยตัวดูดซับแคลเซียมออกไซด์.** ค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2563, จาก https://www.tap.or.th>publisher

Technology and Inno Mag. (2560). **แนวทางการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ประโยชน์.** ค้นเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2564, จาก https://www.tap.or.th>pop Track DL

Worthen-life. (2020). **6 เครื่องดูดควันปิ้งย่าง ยี่ห้อไหนดี ที่ควรมีไว้ติดบ้าน สบายใจ ไร้ควันกวนใจ.** ค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2566, จาก https://www.worthen-life.com

Worthen-life. (2020). **ข้อดีของเครื่องดูดควันสำหรับปิ้งย่าง.** ค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2566, จาก https://www.worthen-life.com

Brain S. Freeman and Jeffrey S. Berger. (2014). **Anesthesiology Core Review: Part One Basic Exam.** United States of America: MC Graw-Hill Education.

Britannica. Calcium hydroxide. Retrieved 7 August 2020. From https://brittannica.com

Britannica. Lithium hydroxide. Retrieved 15 September 2020. Fromhttps://brittannica.com

Ecospray.Scrubbing with calcium hydroxide. Retrieved 21 April 2023. Fromhttps://ecospray.eu>products>srubbing-with-calcium

Huiying Zhang, Ruiqang Lui, Tangyuan Ning,Rattan Lal. (2018). **Higher carbondioxide absorption using a new class of Calcium hydroxide nanoparticles. Environmental Chemistry Letters**.

Scientific reports. (2022). Post combustion carbon dioxide capture with calcium Hydroxide. Retrieved 5 march 2023. From https://www.nature.com>scientific reports>artc

TN department of health. Sodium Hydroxide. Retrieved 1 April 2021. From https://www.tn.gov>environmental-health-topic>

Toppr. Calcium hydroxide. Retrieved 5 July 2020. From https://www.toppr.com>carbon-and-its-compounds

Zahrul Mufrodi.et. (2023). *Reaction of Carbon Dioxide Gas Absorption with Suspension of Calcium hydroxide in Slurry Reactor.* **Emerging Science Journal.** 7(2) Dahlan University Yogyakarta, Indonesia.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	อาจารย์ปรียาภัทร ชัชวาลย์สิน
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 20 เดือนมิถุนายน พุทธศักราช 2516
	ตำบลบ้านชี อำเภอบ้านหมี่ จังหวัดลพบุรี
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
	ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์, พ.ศ. 2544
	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
	ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตรศึกษา, พ.ศ. 2549
ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน	มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์
	อาจารย์ประจำสาขาวิชาศึกษาทั่วไป
ประสบการณ์ทำงาน	**ประสบการณ์ทำงาน**
2537 – 2540	อาจารย์ผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนทิวไผ่งาม กทม.
2541 – 2546	อาจารย์ผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนพระวรสาร จังหวัดลพบุรี
2547 – 2548	ผู้ช่วยผู้อำนวยการและอาจารย์ผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนพลูหลวงวิทยา จังหวัด ตาก
2549 – 2555	หัวหน้ากลุ่มสาระวิทยาศาสตร์และอาจารย์ผู้สอนวิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนศรีวิกรม์ กทม.
2556 – ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์

ชื่อผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่

ปัจจัยที่มีผลต่อความตระหนักด้านจริยธรรมสิ่งแวดล้อมของประชาชนในชุมชนบางขนุน

การสร้างเครื่องดูดควัน

รางวัลหรือทุนการศึกษาที่ได้รับ

-