

## การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยต่างกันร่วมกับซีโอไลต์ 4 เอ

### REDUCTION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM DIFFERENT FERTILIZER USES WITH ZEOLITE 4A

พัทธนันท์ นาทพิณิจ\* จูติรัตน์ ดิษฐ์แก้ว

Patthanant Natpinit\*, Thitirat Ditkaew

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมพลังงานสะอาดและสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย  
Expert Centre of Innovative Clean Energy and Environment, Thailand Institute of Scientific and  
Technological Research.

\*Corresponding author, e-mail: patthanant\_n@tistr.or.th

Received: April 9, 2018; Revised: September 7, 2018; Accepted: September 11, 2018

#### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 4 เอ โดยศึกษาในแปลงทดลอง 4 แปลง ที่มีวิธีการใส่ปุ๋ยต่างกัน ได้แก่ กรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการเติมปุ๋ย กรรมวิธีที่มีการเติมปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว กรรมวิธีที่มีการเติมปุ๋ยเคมีจำนวน 2 ครั้ง และกรรมวิธีที่มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้าเพียงครั้งเดียว และแต่ละกรรมวิธีแบ่งออกเป็น กรรมวิธีที่เติมซีโอไลต์ 4 เอ ในอัตราส่วนซีโอไลต์ต่อปุ๋ยเป็น 3:1 และกรรมวิธีที่ไม่เติมซีโอไลต์ โดยทำการปลูกข้าวพันธุ์ กข. 41 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ ในพื้นที่สถานีวิจัยลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา ปุ๋ยเคมีที่ใช้ คือ 16-20-0 และ 46-0-0 ที่อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยทำการใส่ปุ๋ยหลังหว่านข้าว 20 วัน และ 60 วัน ผลการทดลองพบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้ง 4 กรรมวิธีมีความแตกต่างกัน โดยซีโอไลต์ 4 เอ สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ ซึ่งมีอัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อซีโอไลต์ในช่วง 0.97-35.49 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อกรัมซีโอไลต์ ซึ่งกรรมวิธีที่เติมปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว มีร้อยละ และอัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด แต่กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ละลายช้า มีร้อยละและอัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุด เนื่องจากซีโอไลต์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน จึงดูดซับแร่ธาตุไว้ในช่องว่างของซีโอไลต์ได้ ซึ่งเป็นการดูดซับโดยใช้วิธีทางเคมี และลักษณะพิเศษของซีโอไลต์คือ มีโครงสร้างที่มีความเป็นรูพรุน จึงมีช่องว่างในการดูดซับก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ด้วย ดังนั้นซีโอไลต์ที่เติมลงในกรรมวิธีเหล่านี้จึงทำหน้าที่ทั้งตัวดูดซับแร่ธาตุ และดูดซับก๊าซไปด้วยกัน ประสิทธิภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงขึ้นกับปริมาณปุ๋ยที่ใช้ และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก ซีโอไลต์ อัตราการลดการปลดปล่อย การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

### Abstract

The objective of this investigation aims to study the feasibility of reducing greenhouse gas (GHG) emission with zeolite 4A. The experiment was designed in 4 main plots with different fertilizer application methods such as (I) control plot with no fertilizer added, (II) a single chemical fertilizer added plot, (III) two times of chemical fertilizers added plot and (IV) slow released chemical organic fertilizer added plot. Subplots were as zeolite 4A added in 3:1 ratio of zeolite and fertilizer and no zeolite added. RD 41 rice variety was cultivated at the rate of 25 kg/rai in Lam Ta Khong research station, Nakhon Ratchasima. The chemical fertilizers used were 16-20-0 and 46-0-0 at a rate of 50 kg/rai after sowing 20 days and 60 days. The experimental results showed that the GHG emission of 4 main plots were significantly different. It demonstrated that zeolite 4A could reduce the GHG emission. The reduction rate of GHG emission per zeolite was in the range of 0.97-35.49 gCO<sub>2</sub> equivalents/m<sup>2</sup>-g zeolite. A single chemical fertilizer added plot had the highest percentages of reducing GHG emission, but the slow released chemical organic fertilizer added plot had the lowest percentage of reducing GHG emission. Zeolites have highly the cation exchange capability, so it absorbs minerals in its pore by chemical adsorption. Besides, the structure of the zeolite is highly porous. It can absorb methane and carbon dioxide gas in its gap. Therefore, zeolite serves as both a mineral adsorbent and gas absorber. It concluded that the reduction efficiency of GHG emission depended on both the amount of fertilizer used and GHG emissions.

**Keywords:** Greenhouse Gas, Zeolite, Reduction Rate Of Emission, GHG Emission

### บทนำ

ปัจจุบัน ในประเทศไทยได้มีการสำรวจการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในประเทศโดยใช้วิธีการที่กำหนด ในคู่มือการคำนวณก๊าซเรือนกระจก โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) พบว่า ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยในปี 2555 นั้น ภาคพลังงานปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด 256.44 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าหรือร้อยละ 73.13 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ ภาคการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 55.71 ล้านตัน

คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือร้อยละ 15.89 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ ภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 33.50 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือร้อยละ 9.55 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ และภาคการจัดการของเสียปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 5.03 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือร้อยละ 1.43 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ ภาคการเกษตร ป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีส่วนที่มีการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกรวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นการกักเก็บที่เกิดจากการสะสมของปริมาณชีวมวล (Biomass) ในพื้นที่ป่า และพื้นที่ปลูกไม้ยืนต้นในภาคการเกษตรเช่นปาล์มน้ำมันยางพาราและสวนผลไม้

ซึ่งพบว่าในปี พ.ศ. 2555 มีการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งสิ้น 122.95 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังนั้นภาคการเกษตรป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดินมีการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 67.25 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [1] ซึ่งสรุปได้ว่าภาคพลังงานปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด ภาคการเกษตรและปศุสัตว์ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นก๊าซมีเทน และภาคการจัดการดินและมูลสัตว์ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์มากที่สุด [2]

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคเกษตรกรรมนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการปลูกข้าวและก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยนั้นเป็นก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน เช่นตอซัง ปุ๋ยอินทรีย์ และก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพื่อเพิ่มผลผลิตซึ่งกิจกรรมต่างๆ ในการปลูกข้าวที่ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นขึ้นกับการจัดการน้ำและการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบว่า ในช่วงที่มีน้ำท่วมขังนั้นจุลินทรีย์ในดินจะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ เช่น ตอซัง ฟางข้าว ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นเป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดช่วงการปลูกข้าว แต่จะมีมากที่สุดในช่วงออกดอกและออกรวงสำหรับการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จะเกิดจากปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ในช่วงเริ่มต้นปุ๋ยแอมโมเนียหรือยูเรียที่เหลืออยู่ในดินจะเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรตและไนไตรต์และเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันเปลี่ยนไนไตรต์เป็นแอมโมเนีย ก๊าซไนโตรเจน หรือไนตรัสออกไซด์ ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์เกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงออกรวงหรือในช่วงที่ระบายน้ำออก

ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซมีเทนนั้นเกิดขึ้นในขั้นตอนการออกดอกและออกรวงเป็นหลัก ประมาณ 48 กรัมมีเทนต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลปลูก และการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จะเกิดขึ้นในขั้นตอนออกรวง ประมาณ 1.6 กรัมไนตรัสออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อฤดูกาลปลูก หากคิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะมีค่าเท่ากับ 8.3 กิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมข้าวเปลือก [3]

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวนั้นได้แบ่งประเภทนาข้าวออกเป็น 2 ลักษณะคือ 1) ลักษณะนาข้าวแบบน้ำท่วมอย่างต่อเนื่องที่ไม่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 18.72 กรัมก๊าซมีเทนต่อตารางเมตร 2) ลักษณะนาข้าวแบบน้ำท่วมอย่างต่อเนื่องที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 44.04 กรัมก๊าซมีเทนต่อตารางเมตร โดยใช้ค่าการปลดปล่อย 0.156 กรัมก๊าซมีเทนต่อตารางเมตรต่อวัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวในพื้นที่นาลักษณะต่างๆ ของประเทศไทย โดยมีปัจจัยทางลักษณะภูมิประเทศ (ภูมิภาค) การจัดการน้ำ การใส่ปุ๋ย และฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ การปลดปล่อยก๊าซมีเทนสำหรับนาปีในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ เท่ากับ 21.11 กรัมก๊าซมีเทนต่อตารางเมตร ภาคกลางและภาคใต้ เท่ากับ 18.86 กรัมก๊าซมีเทนต่อตารางเมตร สำหรับการปลดปล่อยสำหรับนาปรังในภาคเหนือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคใต้ มีค่า 6.78 กรัมก๊าซมีเทนต่อตารางเมตร [4]

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากการทำนาสวนมีปริมาณสูงกว่าการทำนาไร่ โดยปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ปล่อยจากพื้นที่ทำนาสวนพันธุ์ กข 23 และ กข 6 ตลอดการเพาะปลูกเท่ากับ 19.19 และ 21.89 กรัมต่อตารางเมตร ส่วนปริมาณก๊าซมีเทนทั้งหมดที่ถูกปล่อยจากพื้นที่ข้าวไร่พันธุ์อาร์ 258 และชีวแมจัน ตลอดการเพาะปลูก

เท่ากับ 5.27 และ 5.31 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ [5] นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีการปลดปล่อยมากที่สุด รองลงมาคือ ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 กข 23 ชัยนาท 1 และหอมสุพรรณ ตามลำดับ และอัตราการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมีปริมาณมากในช่วงเช้าและค่อยๆ ลดลงในช่วงเย็น [6]

การปลดปล่อยก๊าซมีเทนในพื้นที่เกษตรกรรม มักเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขัง โดยเฉพาะพื้นที่นาข้าว ส่วนพื้นที่ที่น้ำไม่ขัง ได้แก่ ไร่ข้าวโพด และไร่ข้าวสาลี มีการดูดซับมากกว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทน ซึ่งจากการตรวจวัดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนในพื้นที่ทั้งสอง พบว่า พื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังมีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมามากที่สุด ที่ 4.51 กรัมต่อตารางเมตร ในขณะที่ไร่ข้าวสาลีและไร่ข้าวโพดดูดซับก๊าซมีเทนเข้าไป 59 และ 40 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร [7] นอกจากนี้ยังพบว่าระดับน้ำในนามีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนด้วย โดยพบว่าที่ระดับน้ำสูง 20 ซม. มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากถึง 20.53 กรัมต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก ที่ 10 ซม. 17.42 กรัมต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก ที่ 5 ซม. 15.75 กรัมต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก และที่ 0 ซม. 12.11 กรัมต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก โดยระดับความสูงของน้ำมีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนเนื่องจากดินอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจน จึงเกิดก๊าซมีเทนได้มากขึ้น [8]

ซีโอไลต์มักนิยมใช้ในการปรับปรุงดินหรือยึดจับธาตุอาหารสำหรับการปลูกข้าว ธัญพืช ผัก และผลไม้อื่น ๆ เนื่องจากความสามารถในการชะล้างสารอาหารและปลดปล่อยแร่ธาตุ [9] นอกจากนี้ซีโอไลต์มีโครงสร้างที่มีรูพรุนสูง และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ และสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของพืชได้ดี [10] ซีโอไลต์ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางในการเกษตรเพื่อเป็นปุ๋ย โดยเฉพาะ

ปุ๋ยไนโตรเจนและโพแทสเซียม พร้อมทั้งมีความสามารถในการรักษาภาวะบัฟเฟอร์สูง จึงช่วยรักษาระดับพีเอชในดินให้มีเสถียรภาพมากขึ้น [9]

ตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์เป็นที่นิยมมากในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากช่องว่างภายในโครงสร้างซีโอไลต์สามารถกักเก็บน้ำได้สูง มีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาตรช่องว่างมาก เมื่อถูกดึงน้ำออกจากโครงสร้าง และมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เนื่องจากสมบัติที่มีความพรุนมากในโมเลกุลของซีโอไลต์ สามารถดูดซับโมเลกุลอื่น ๆ ได้ดีเยี่ยม โดยอาศัยความแตกต่างของขนาดและรูปร่างโมเลกุลในการแยกสารต่างๆ ออกจากกัน จึงถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน รวมถึงมีการใช้ซีโอไลต์เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน โดยใช้ซีโอไลต์ชนิด Clinoptilolite จะช่วยจับแอมโมเนียได้สูงและปล่อยออกมาช้าๆ จึงช่วยให้นดินยึดไนโตรเจนไว้ได้นาน นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารดูดซับสารอินทรีย์และอนินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแยกก๊าซและการทำให้บริสุทธิ์ ในกระบวนการอุตสาหกรรมทางเคมี เช่น แยกก๊าซมีเทนอีเทน และโพรเพนตามขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกัน [11] หรือแยกก๊าซพิษซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในโตรเจนไดออกไซด์ และออกซิเจนออกจากอากาศ [12] และได้มีการศึกษาการกำจัดก๊าซมีเทนด้วยซีโอไลต์ โดยสังเคราะห์ซีโอไลต์เฟรมเวิร์คที่โครงสร้างต่างๆ กัน พบว่า ซีโอไลต์ 4A มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซมีเทน [13] และซีโอไลต์ดูดซับก๊าซมีเทนได้ดีที่ความดันต่ำและโครงสร้างของซีโอไลต์มีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซมีเทน ซีโอไลต์ที่สังเคราะห์จากแบเรียม (Barium-Exchanged Zeolite) มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซมีเทนสูงที่สุด [11] นอกจากนี้ยังพบว่า ซีโอไลต์ชนิด NaY มีพื้นที่การดูดซับมากที่สุด แต่ซีโอไลต์ NaA ถูกใช้ประโยชน์ได้มากกว่า และการดูดซับ สามารถดูดซับก๊าซมีเทนได้มากกว่าก๊าซอีเทน และโพรเพน ตามลำดับ [13]

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาซีโอไลต์ และโดโลไมต์ธรรมชาติ เพื่อนำมาใช้เป็นประโยชน์ในการลดก๊าซเรือนกระจก โดยในประเทศอินโดนีเซีย มีการนำซีโอไลต์ธรรมชาติ มาปรับปรุงดิน และพบว่า การปรับปรุงดินด้วยซีโอไลต์สามารถลดการปล่อยก๊าซได้ประมาณ 27.3% และ 21.4% ตามลำดับ [14] สำหรับการศึกษาอื่นๆ พบว่าซีโอไลต์ธรรมชาติ และซีโอไลต์สังเคราะห์จากฟางข้าว สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมูลเป็ดได้ [15]

ประเทศไทยได้กำหนดนโยบายให้มีการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละภาคส่วน สำหรับส่วนภาคเกษตรในการลดก๊าซเรือนกระจกนั้น เน้นที่ลดปริมาณก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ที่มาจากกิจกรรมด้านปศุสัตว์ การใช้ปุ๋ยไนโตรเจน และการปลูกข้าว เป็นต้น การลดการปล่อยก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ สามารถทำได้โดยการจัดการมูลสัตว์ โดยเน้นการหมักแบบแอโรบิก หรือการลดก๊าซไนตรัสออกไซด์ในดิน โดยลดปริมาณการใช้ หรือวิธีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สำหรับการลดก๊าซมีเทนจากนาข้าว สามารถทำได้โดยการจัดการน้ำ และการจัดการเศษซากพืชในนา [16] การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำได้หลายวิธี เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่ช่วยเร่งการย่อยสลายต่อซัง ฟางข้าว และสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน (Facultative Microbial) เพื่อช่วยลดปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน [17] นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาตัวดูดซับ เพื่อนำมาใช้ในการลดปริมาณการเกิดก๊าซเรือนกระจก หรือก๊าซมีเทน เช่น ซีโอไลต์ชนิด NaA, NaX และ NaY [11, 13] นอกจากนี้ ได้มีการนำซีโอไลต์ชนิด 4 เอ และซีโอไลต์ที่สังเคราะห์จากต่อซังข้าว มาใช้เป็นตัวดูดซับ เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในนาข้าว พบว่า ชุดที่มีการเติมซีโอไลต์ต่อซังมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 27.87

และ 33.14 ตามลำดับ ส่วนซีโอไลต์ 4 เอ มีร้อยละ 49.47 และ 62.70 ตามลำดับ สรุปได้ว่าซีโอไลต์ทั้งสองชนิดสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ และประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกขึ้นกับปริมาณซีโอไลต์ที่ใช้ อัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของซีโอไลต์ต่อซังเป็น 0.148 กรัมมีเทนต่อตารางเมตรต่อกรัมซีโอไลต์ และ 0.358 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อกรัมซีโอไลต์ เช่นเดียวกัน อัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของซีโอไลต์ 4 เอ เป็น 0.702 กรัมมีเทนต่อตารางเมตรต่อกรัมซีโอไลต์ และ 1.806 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อกรัมซีโอไลต์ [18]

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้วยตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 4 เอ ในกรรมวิธีการใช้ปุ๋ยที่ต่างกัน 4 วิธี

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### ชุดทดลอง และหลักการทำงาน

แปลงนาข้าวที่ใช้ทดลอง ตั้งอยู่ที่สถานีวิจัยลำตะคอง ถนนมิตรภาพ ตำบลแก่งหีบ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา มีพิกัดที่ตั้งที่ละติจูด 14.770389 องศาเหนือ และลองจิจูด 101.518518 องศาตะวันออก แบ่งออกเป็น 4 กรรมวิธีการเติมปุ๋ย และ 2 กรรมวิธีย่อยการเติมตัวดูดซับชนิดซีโอไลต์ 4 เอ ในอัตราส่วน 3:1 (ซีโอไลต์ต่อปุ๋ย) แต่ละกรรมวิธีมีพื้นที่ในการเพาะปลูก 1 ไร่ และวางอุปกรณ์เก็บก๊าซเรือนกระจก (ดังภาพที่ 1) ขนาด 50 X 50 X 50 เซนติเมตร ในพื้นที่แปลงนา โดยฝังลงในดินที่ความลึก 15 เซนติเมตร ปลูกข้าวพันธุ์ กข. 41 โดยมีอัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยหว่านข้าวในกล่องเก็บก๊าซเรือนกระจก 20 กรัม รายละเอียดแต่ละแปลง แสดงได้ดังตารางที่ 1

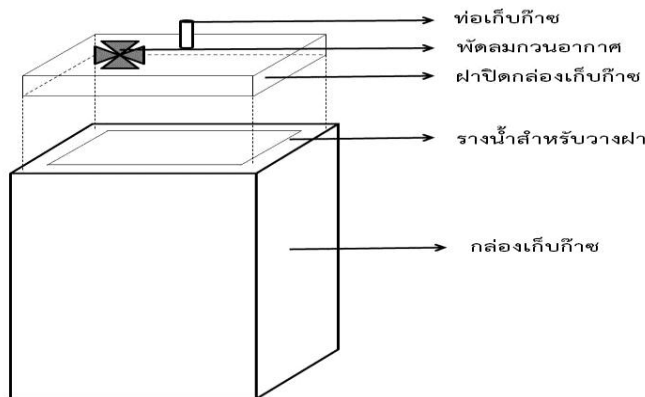
**ตารางที่ 1** แปลงชุดทดลอง

กรรมวิธี	กรรมวิธีเดิมซีโอไลต์	กรรมวิธีไม่เดิมซีโอไลต์	หมายเหตุ (แต่ละกรรมวิธี)
1. ชุดควบคุม	ไม่ใส่ปุ๋ย	ไม่ใส่ปุ๋ย	
2. ชุดเติมปุ๋ยเคมีครั้งเดียว	เต็ม 16-20-0 และ 46-0-0	เต็ม 16-20-0 และ 46-0-0	อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หลังหว่านข้าว 20 วัน
3. ชุดเติมปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง	เต็ม 16-20-0 (1) และ 46-0-0 (2)	เต็ม 16-20-0 (1) และ 46-0-0 (2)	อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หลังหว่านข้าว 20 วัน (1) และหลังหว่านข้าว 60 วัน (2)
4. ชุดเติมปุ๋ยอินทรีย์ครั้งเดียว	ปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้า สูตร 6:6:6	ปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้า สูตร 6:6:6	อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หลังหว่านข้าว 20 วัน

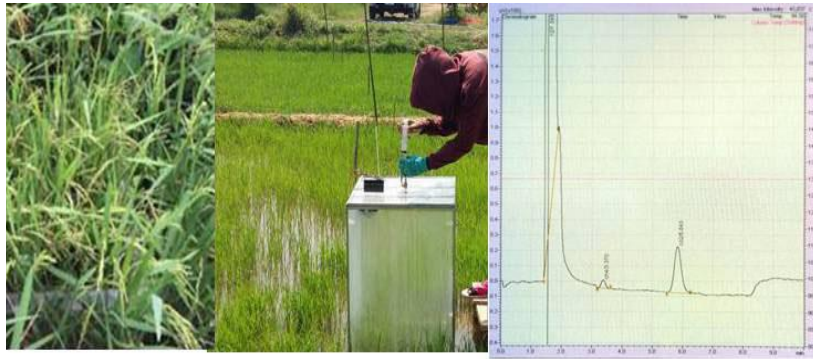
**การเก็บตัวอย่างก๊าซเรือนกระจก และวิเคราะห์ตัวอย่าง**

เมื่ออายุข้าวได้ 10 วัน ทำการเก็บก๊าซเรือนกระจก โดยปิดปากช่องเก็บก๊าซส่วนบน เปิดพัดลม เป็นเวลา 30 นาที เก็บตัวอย่างก๊าซภายในกล่องด้วยหลอดฉีดยา บรรจุลงในหลอดสุญญากาศ พันทับด้วยพาราฟิล์ม โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาระหว่าง 10.30-12.00 น. [15] โดยเก็บคราวละ 15 นาที เป็นจำนวน 5 รอบต่อการเก็บตัวอย่าง ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก โดยเก็บสัปดาห์ละ 1 วัน นำไปวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการของก๊าซ

และปริมาณของก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟี รุ่น GC-2014 Shimadzu ก๊าซนำพาเป็นก๊าซฮีเลียม อุณหภูมิฉีดตัวอย่างที่ 150 องศาเซลเซียส ใช้คอลัมน์ชนิดยูนิปัด ซี ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสคงที่ใช้ อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนำความร้อน ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส (ดังภาพที่ 2) [18] เพื่อและนำไปคำนวณหาอัตราการปลดปล่อยต่อพื้นที่ ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก และอัตราการลดก๊าซต่อกรัมซีโอไลต์ [18]



**ภาพที่ 1** อุปกรณ์เก็บก๊าซเรือนกระจก



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 2 (ก) แปลงปลูกข้าว (ข) วิธีการเก็บก๊าซ (ค) โครมาโตแกรมที่ได้

#### สมบัติของซีโอไลต์ 4 เอ

ซีโอไลต์ 4 เอ เป็นสารประกอบกลุ่มอัลคาไลน์อะลูมิโนซิลิเกต ในรูปของเกลือโซเดียม โดยโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ 4 เอ มีขนาดรูพรุนประมาณ 4 อังสตรอม มีความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวกสูง สามารถดูดซับสารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ออกซิเจน

ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอออนบวก เช่น แอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) โพแทสเซียมไอออน ( $\text{K}^+$ ) แคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) รวมทั้งไฮโดรคาร์บอนแบบเส้นตรง เช่น มีเทน สมบัติและลักษณะเฉพาะของซีโอไลต์ 4 เอ แสดงได้ดังตารางที่ 2 [19]

ตารางที่ 2 สมบัติของซีโอไลต์ 4 เอ

สมบัติ	หน่วย	ค่าสมบัติ
เส้นผ่าศูนย์กลาง	มม.	1.7
ความหนาแน่น	ก./ลบ.ซม.	> 0.72
ขนาดรูพรุน	อังสตรอม	4
ปริมาตรรูพรุน	ลบ.ซม./ก.	0.45
ความเป็นรูพรุน	ร้อยละ	0.55
ความแข็งแรง	นิวตัน	> 35
ความชื้น	ร้อยละน้ำหนัก	< 1
ความสามารถการดูดซับ	ก. น้ำ/ 100 ก. ซีโอไลต์	> 22
	ก. เมทานอล/ 100 ก. ซีโอไลต์	> 15
ความสามารถแลกเปลี่ยนไอออน	มิลลิอิควิวาเลนต์/ 100 ก. ซีโอไลต์	738-797

### ปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้า

ปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้าประกอบด้วยปุ๋ยอินทรีย์จากการหมักมูลโคผสมกับแม่ปุ๋ย ได้แก่ ยูเรีย ไตแอมโมเนียมฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ ร่วมกับสารเชื่อม ได้แก่ ซีโอไลท์ เบนโทไนท์ และสเมคไทท์ ร้อยละ 10 และโดโลไมท์ร้อยละ 10 ผสมให้ได้เป็นปุ๋ยอินทรีย์เคมี โดยผลิตปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้าในสูตร 6-6-6 [20]

### ผลการวิจัย

**ประเภทของชุดดิน และสมบัติของดินที่ใช้ในแปลงนา**

ประเภทของชุดดินที่ใช้ เป็นดินโคราช มีลักษณะและสมบัติดินเป็นดินลึก ดินบนเป็นดินทราย

ปนดินร่วนหรือดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาล ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย ส่วนใหญ่มีอนุภาคดินเหนียวไม่เกินร้อยละ 35 สีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนเหลือง อาจพบสีเทาปนน้ำตาล สีเทาหรือสีเทาปนชมพูในดินล่างลึกลงไปพบจุดประสี น้ำตาลแก่หรือสีเหลืองปนแดง ภายใต้น้ำความลึกมากกว่า 100 ซม. จากผิวดิน อาจพบก้อนเหล็กสะสมในดินล่าง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดเล็กน้อย (pH 5.5-6.5) ในดินบนและเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) ในดินล่าง [21] สมบัติของดินที่เข้าปลูกข้าวแสดงได้ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3 ลักษณะและสมบัติดินชุดโคราช

ความลึก (ซม.)	อินทรีย์วัตถุ	CEC	ความอิ่มตัว เบส	ฟอสฟอรัส*	โพแทสเซียม**	ความสมบูรณ์
0-25	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
25-50	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ
50-100	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ

หมายเหตุ \*ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ \*\*โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ CEC = ความสามารถแลกเปลี่ยนไอออน

ที่มา: สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ลักษณะและสมบัติของชุดดินภาคตะวันออกเฉียงเหนือ: ชุดดินโคราช.

ตารางที่ 4 สมบัติของดินในแปลงนาข้าว

รายการ	หน่วย	ค่าที่ได้
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง		6.39
ค่าการนำไฟฟ้า	เดซิซีเมนต์ต่อเมตร	0.06
ค่าอินทรีย์วัตถุ	ร้อยละ	0.54
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	มก./กก.	0.03
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	มก./กก.	12.12
ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้	มก./กก.	96.76
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	เซนติโมลต่อกก.	13.52



## การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละแปลง

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าการปลดปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุมที่มีการเติมซีโอไลต์ที่อัตราส่วนซีโอไลต์ต่อปุ๋ยเคมีที่ 3:1 มีการปลดปล่อยก๊าซทั้งสองชนิดเป็น 67 และ 1,508 กรัมต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก หรือมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) เป็น 3,190 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก ส่วนในกรรมวิธีที่ 1 ที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์ มีการปลดปล่อยก๊าซทั้งสองชนิดสูงขึ้นเป็น 123 และ 2,387 กรัมต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก หรือมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) เป็น 5,474 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก ซึ่งในกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยนี้เห็นได้ชัดว่า ซีโอไลต์สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ เนื่องจากสมบัติของซีโอไลต์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน สามารถดูดซับก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ [13] นอกจากนี้ในกรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 3 ของทั้ง 2 ชุดที่มีการเติมซีโอไลต์ และไม่เติมซีโอไลต์ มีแนวโน้มของการปลดปล่อยก๊าซทั้งสองชนิดเช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ 1 โดยชุดที่มีการเติมซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับจะมีการปลดปล่อยก๊าซทั้งสองชนิดน้อยกว่าชุดที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์ ดังนั้นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) เป็น 2,877 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก และ 6,071 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ 3 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) เป็น 3,664 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก และ 5,610 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ยังพบว่ากรรมวิธีที่ 3 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่ากรรมวิธีที่ 2 ทั้ง 2 ชุด เนื่องจากมีจำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ยที่มากกว่า ทำให้แร่ธาตุที่ซีโอไลต์ต้องดูดซับมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ช่องว่างในการดูดซับก๊าซเรือนกระจกลดลง [13]

ส่วนกรรมวิธีที่ 4 ทั้ง 2 ชุด มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันมากนักทั้งชุดที่มีการเติม และไม่เติมซีโอไลต์ โดยชุดที่มีการเติมซีโอไลต์มีการปลดปล่อยก๊าซทั้งสองชนิดเป็น 165 และ 1,577 กรัมต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก หรือมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) เป็น 5,699 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก สำหรับชุดที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์มีการปลดปล่อยก๊าซทั้งสองชนิดเป็น 191 และ 1,022 กรัมต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก หรือมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) เป็น 5,786 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีที่ 4 ทั้ง 2 ชุด มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าทุกแปลง เนื่องจากชนิดของปุ๋ยที่ใช้มีความแตกต่างกัน โดยกรรมวิธีที่ 4 มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์เคมี นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกรรมวิธีที่ 4 ที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์ และกรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์ จะเห็นได้ว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้งสองกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าสารอินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งปุ๋ยอินทรีย์ที่อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ละลายช้า สามารถเกิดการย่อยสลายได้ในสภาวะน้ำขัง ซึ่งจะเกิดสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้น จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศจะย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ที่อยู่ในดิน และเกิดเป็นก๊าซมีเทนขึ้น [22] โดยสามารถแพร่ออกสู่บรรยากาศได้โดยการซึมผ่านรากข้าวไปตามช่องอากาศภายในกาบใบและใบ แล้วออกสู่บรรยากาศได้ [3]

**ตารางที่ 5** ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของชุดทดลองทั้ง 4 กรรมวิธี

	กรรมวิธีที่ 1				กรรมวิธีที่ 2			
	เติมซีโอไลต์		ไม่เติมซีโอไลต์		เติมซีโอไลต์		ไม่เติมซีโอไลต์	
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
กรัมต่อตร.ม.	67	1,508	123	2,387	60	1,387	134	2,720
กรัมต่อตร.ม.*	1,682	1,508	3,087	2,387	1,490	1,387	3,351	2,720
กรัมต่อตร.ม.**	3,190		5,474		2,877		6,071	
	กรรมวิธีที่ 3				กรรมวิธีที่ 4			
	เติมซีโอไลต์		ไม่เติมซีโอไลต์		เติมซีโอไลต์		ไม่เติมซีโอไลต์	
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
กรัมต่อตร.ม.	86	1,526	174	1,255	165	1,577	191	1,022
กรัมต่อตร.ม.*	2,138	1,526	4,355	1,255	4,121	1,577	4,764	1,022
กรัมต่อตร.ม.**	3,664		5,610		5,699		5,786	

หมายเหตุ \* กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อรอบการปลูก

\*\* กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดต่อรอบการปลูก

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าทุกกรรมวิธี มีปริมาณการปลดปล่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปริมาณที่มากกว่าก๊าซมีเทน เมื่อพิจารณา การปลดปล่อยก๊าซแต่ละชนิดในหน่วยกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตร ต่อรอบการปลูก พบว่าปริมาณก๊าซมีเทน มีการปลดปล่อยมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซมีเทนมีความรุนแรงของการเป็น ก๊าซเรือนกระจกมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 25 เท่า [23] นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ทุกกรรมวิธี ชุดที่มีการเติมซีโอไลต์ 4 เอ มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์น้อยกว่าชุดที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์ แสดงว่าซีโอไลต์ 4 เอ ที่เติมสามารถช่วยลดการ ปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้ จึงทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือน กระจกมีค่าต่ำกว่าชุดที่ไม่ได้เติมซีโอไลต์ โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว มีร้อยละ และอัตราการลดก๊าซเรือนกระจกได้ มากที่สุด รองลงมาคือกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ย อินทรีย์เคมีละลายช้า เห็นได้ชัดว่า ซีโอไลต์ที่เติม สามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสามารถช่วยลดการปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 52.61, 41.73, 34.69 และ 1.50 ตามลำดับ และมีอัตราการ ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อซีโอไลต์ เป็น 35.49, 25.38, 21.62 และ 0.97 กรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ ตร.ม. ต่อกรัม ซีโอไลต์ ตามลำดับ ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซเรือน กระจกในภาคเกษตรกรรม ส่วนใหญ่เกิดจาก การปลูกข้าว และก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยนั้น เป็นก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน เช่น ตอซัง ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น ดังนั้น ในกรรมวิธี ที่ไม่ใส่ปุ๋ย กิจกรรมต่าง ๆ ในการปลูกข้าวที่ ส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้น ขึ้นกับการจัดการน้ำเป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พบว่า ในช่วงที่มีน้ำท่วมซังนั้นจุลินทรีย์ในดิน จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ เช่น ตอซัง ฟางข้าว ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น ในสภาวะไร้อากาศ

ซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซมีเทนขึ้นเป็นหลัก นอกจากนี้ ยังพบว่า การปลดปล่อยก๊าซมีเทนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดช่วงการปลูกข้าว แต่จะมีมากที่สุดในช่วงออกดอกและออกรวง [3]

**ตารางที่ 6** ประสิทธิภาพการลดก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของซีโอไลต์ 4 เอ

	การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	
	ประสิทธิภาพ*	อัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อซีโอไลต์**
กรรมวิธีที่ 1 (ไม่มีการใส่ปุ๋ย)	41.73	25.38
กรรมวิธีที่ 2 (มีการเติมปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว)	52.61	35.49
กรรมวิธีที่ 3 (มีการเติมปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง)	34.69	21.62
กรรมวิธีที่ 4 (มีการเติมปุ๋ยอินทรีย์เคมีเพียงครั้งเดียว)	1.50	0.97

หมายเหตุ \* หน่วย ร้อยละ \*\* หน่วยกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตารางเมตรต่อกรัมซีโอไลต์

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \left( \text{GHG}_{\text{no zeolite}} - \text{GHG}_{\text{zeolite}} \right) * 100 / \text{GHG}_{\text{no zeolite}}$$

$$\text{อัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อซีโอไลต์} = \left( \text{GHG}_{\text{no zeolite}} - \text{GHG}_{\text{zeolite}} \right) / \text{wt zeolite} (90)$$

สำหรับกรรมวิธีที่ 2 ที่ใช้ปุ๋ยเคมี 16-20-0 และ 40-0-0 เพียงครั้งเดียว และกรรมวิธีที่ 3 ที่ใช้ปุ๋ยเคมี 16-20-0 และ 40-0-0 จำนวน 2 ครั้ง การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย แต่กรรมวิธีที่ 2 และ 3 มีการเติมปุ๋ยเคมีซึ่งปุ๋ยเคมีที่ใช้มีความสามารถในการละลายดีมาก และซีโอไลต์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน หรือความสามารถในการดูดซับแร่ธาตุได้ จึงสามารถดูดซับแร่ธาตุไว้ในช่องว่างของซีโอไลต์ได้ ซึ่งเป็นการดูดซับโดยใช้วิธีทางเคมี และลักษณะพิเศษของซีโอไลต์คือ มีโครงสร้างที่มีความเป็นรูพรุน จึงมีช่องว่างในการดูดซับก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ [24-25] ดังนั้นซีโอไลต์ในกรรมวิธีที่ 2 และ 3 ต้องทำหน้าที่ทั้งตัวดูดซับแร่ธาตุ และดูดซับก๊าซไปด้วยกัน แต่กรรมวิธีที่ 2 ที่มีการเติมปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว จึงทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทนต่ำกว่ากรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ย และกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง จึงทำให้การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกรรมวิธีที่ 2 ในชุดที่เติมซีโอไลต์มีค่าต่ำ

ประสิทธิภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงมีค่าสูงกว่า แต่กรรมวิธีที่ 3 ที่มีการเติมปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง การปลดปล่อยก๊าซมีเทน และก๊าซเรือนกระจกมีค่ามากกว่า จึงทำให้ประสิทธิภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่ากรรมวิธีที่เติมปุ๋ยเคมีครั้งเดียว และกรรมวิธีที่ไม่มีการเติมปุ๋ย

ความแตกต่างของกรรมวิธีที่ 2 และ 3 คือ จำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ย ซึ่งกรรมวิธีที่ 3 มีการเติมปุ๋ย 46-0-0 เพิ่มขึ้นหลังหว่านข้าว 60 วัน จึงทำให้ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในดินมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และคุณสมบัติของซีโอไลต์ที่เป็นตัวดูดซับแร่ธาตุอาหารในปุ๋ยเคมีได้ดี โดยเฉพาะแอมโมเนียม และโพแทสเซียม เป็นต้น จึงทำให้ซีโอไลต์ที่เติมลงไปในการกรรมวิธีที่ 3 มีปริมาณไม่เพียงพอในการดูดซับทั้งแร่ธาตุ และก๊าซเรือนกระจกพร้อมกัน ประสิทธิภาพในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และอัตราการลดการปลดปล่อยต่อซีโอไลต์ของกรรมวิธีที่ 3 จึงมีค่าต่ำกว่ากรรมวิธีที่ 2 ที่มีการเติมปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว ทั้งนี้กรรมวิธีที่

มีการเติมซีโอไลท์ร่วมกับปุ๋ยเคมี จะถือว่าซีโอไลท์สามารถควบคุมการละลายของปุ๋ยได้เป็นอย่างดี จึงจัดเป็นปุ๋ยละลายช้าได้ และซีโอไลท์สามารถเก็บรักษาแร่ธาตุไว้สำหรับการเจริญเติบโตของพืชได้ และสามารถรักษาสภาวะบัพเฟอร์ และระดับพีเอชในดินได้ดี [26] ทำให้สามารถควบคุมปฏิกิริยาภายในดิน หรือการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดีกว่า แต่เนื่องจากการแบ่งใช้ปุ๋ยออกมาเป็น 2 ช่วง ทำให้ซีโอไลท์ในกรรมวิธีที่ 3 ที่มีการเติมปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง ดูดซับแร่ธาตุได้มากกว่ากรรมวิธีที่ 2 ที่มีการเติมปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการลดก๊าซเรือนกระจก และอัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่า

สำหรับกรรมวิธีที่ 4 ที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้า พบว่า ชุดที่มีการเติมซีโอไลท์ และชุดที่ไม่มีการเติมซีโอไลท์มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้าที่เติมลงไป มีการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ในสภาน้ำขัง และไร้อากาศ ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนมากขึ้น จึงส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด [3] ดังนั้นปริมาณซีโอไลท์ที่เติมลงไปจึงมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น จึงไม่สามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เช่นเดียวกับกรรมวิธีที่ 1, 2 และ 3 โดยทั่วไปในภาคเกษตรกรรม การปลูกข้าวมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซมีเทนจากสภาพที่น้ำขังในนา ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน จะเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศ ได้ก๊าซมีเทนเกิดขึ้น [22] โดยสามารถแพร่ออกสู่บรรยากาศได้โดยการซึมผ่านรากข้าวไปตามช่องอากาศภายในกาบใบ และใบ แล้วออกสู่บรรยากาศ ซึ่งขนาดและปริมาณช่องอากาศในรากรวมถึงกาบใบมีขนาดใหญ่ขึ้นตามอายุต้นข้าว หากปริมาณของช่องอากาศใหญ่ขึ้นความสามารถในการส่งผ่านก๊าซมีเทนมากขึ้นด้วย โดยก๊าซมีเทนที่ผ่านทางต้นข้าวนี้คิดเป็น 90-95% ของการปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าวทั้งหมด [3, 27]

นอกจากนี้ยังสามารถแพร่ผ่านผิวน้ำ และลอยออกเป็นฟองสู่ผิวน้ำคิดเป็น 2 และ 8% ตามลำดับ [3]

### สรุปและอภิปรายผล

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทั้ง 4 กรรมวิธี มีความแตกต่างกัน โดยพบว่า ตัวดูดซับชนิดซีโอไลท์ 4 เอ ในอัตราส่วนซีโอไลท์ต่อปุ๋ยที่ 3:1 สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ โดยมีร้อยละการลดการปลดปล่อยในช่วง 1.50-52.61 และมีอัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อซีโอไลท์ในช่วง 0.97-35.49 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตร.ม.ต่อกรัมซีโอไลท์ โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว มีร้อยละ และอัตราการลดก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 52.61 และ 35.49 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อตร.ม.ต่อกรัมซีโอไลท์ ตามลำดับ รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี กรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมี 2 ครั้ง และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์เคมีละลายช้า ทั้งนี้เนื่องจากก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีการปลดปล่อยอย่างต่อเนื่องตลอดฤดูกาลปลูก โดยก๊าซมีเทนมีการปลดปล่อยออกมาน้อยกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ก๊าซมีเทนมีความรุนแรงที่ก่อให้เกิดเป็นก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ผลรวมของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าสูงขึ้น ซีโอไลท์มีหน้าที่ในการดูดซับแร่ธาตุอาหาร และดูดซับก๊าซรวมกันในการกรรมวิธีที่มีการเติมปุ๋ย จึงทำให้ความสามารถในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง และกรรมวิธีที่มีจำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มขึ้น จะมีร้อยละการลดการปลดปล่อย และอัตราการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงด้วย เนื่องจากซีโอไลท์ดูดซับแร่ธาตุอาหารมากขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ว่างในการดูดซับก๊าซเรือนกระจกลดลง สำหรับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ทั้งชุดที่มีการเติม

และไม่เติมซีโอไลต์ เนื่องจากการย่อยสลายของปุ๋ยอินทรีย์จะปลดปล่อยก๊าซมีเทนได้มากขึ้นเมื่ออยู่ในสภาพน้ำขัง ซึ่งปริมาณอัตราส่วนซีโอไลต์ต่อปุ๋ยที่ใช้อาจจะมีปริมาณน้อยเกินไป ซีโอไลต์จึงไม่มีผลช่วยในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

สรุปได้ว่ากรรมวิธีที่มีการใส่ปุ๋ยเคมีเพียงครั้งเดียว และใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับ จะสามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้ดีที่สุด โดยมีอัตราส่วนซีโอไลต์ต่อปุ๋ยเคมีอย่างน้อย 3:1 ทั้งนี้ปริมาณซีโอไลต์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ด้วย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2018). *Greenhouse Gas Emissions in Thailand*. Retrieved from <http://www.environment.in.th/archives/3779>
- [2] Applied Economics Research Center, Faculty of Economics, Kasetsart University. (2010, September). *National Report No. 2 for UNFCCC*. Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, Ministry of Natural Resources and Environment.
- [3] Mungkung, R., Gheewala, S., Poovarodom, N., and Towprayoon, S. (2010). *Carbon Footprint and Carbon Label of Rice*. The Thailand Research Fund. pp. 1-83.
- [4] Graduate School of Energy and Environment. (2010). *Full Report on Greenhouse Gas Inventories in Thailand*. King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning.
- [5] Kanchanasunthon, R. (1994). *Effects of Farming and Field Farming on Methane Emission in Chiang Mai Province*. Master of Science Thesis Chulalongkorn University.
- [6] Photyothin, W. (2000). *Effect of Rice Varieties on Methane Emission in Ratchaburi Province by Applying Geographic Information System*. Master of Science Thesis King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [7] Rakharuthai, W. (2003). *Methane Emission from Agricultural Areas*. Master of Science Thesis Chulalongkorn University.
- [8] Wanichpongpan, P. (1993). *Emission and Factors Influencing the Methane Emission from Paddy Fields*. Master of Science Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- [9] Torii, K. (1978). *Utilization of natural zeolite in Japan, in "Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Use"*. Pergamon Press, Elmsford, New York, pp. 441-450.
- [10] Butorac, A., Filipan, T., Basic, F., Butorac, J., Mesic, M., Kiscic, I. (2002). Crop response to the application of special natural amendments based on zeolite tuff. *Rostlinná Výroba*. 48, 118-124.
- [11] Kamarudin, K. S. N., Hamdan, H., and Mat, H., (2003). *Methane adsorption characteristic dependency on zeolite structures and properties*. The 17th Symposium of Malaysian Chemical Engineers.
- [12] Breck, Donald W. (1974). *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry, and Use*. Wiley Publisher.

- [13] Sansupan, Y. (1998). *Adsorption isotherms of concentrated hydrocarbon gases on zeolites*. Thesis Master of Engineering. Chulalongkorn University.
- [14] Indonesian Center for Agricultural Land Resources Research and Development (ICALRD). (2010). *Greenhouse Gas Emission under Different Crop Management Practices in Indonesia*. Retrieved from [http://www.niaes.affrc.go.jp/marco/marco\\_gra2010/07\\_marco\\_gra\\_setyanto.pdf](http://www.niaes.affrc.go.jp/marco/marco_gra2010/07_marco_gra_setyanto.pdf)
- [15] Wang, J.Z., Hu, Z.Y., Zhou, X.Q., An, Z.Z., Gao, J.F., Liu, X.N., Jiang, L.L., Lu, J., Kang, X.M., Li, M., Hao, Y.B., Kardol, P. (2014). Effects of Reed Straw, Zeolite, and Superphosphate Amendments on Ammonia and Greenhouse Gas Emissions from Stored Duck Manure. *Journal of Environmental Quality*. 4, 1221-1227.
- [16] The Thailand Research Fund (TRF). (2019). *Reduction greenhouse gases in agricultural sector. TRF policy brief. TRF Policy Brief*. 3(8)/2012. Retrieved from <http://prp.trf.or.th/trf-policy-brief>
- [17] Jahmori, M. F., Liang, J. B., Rosfarizan, M., Goh, Y. M., Shokryazdan, P., and Ho, Y. W. (2011). Efficiency of Rice Straw Lignocelluloses Degradability by *Aspergillus terreus* ATCC 74135 in Solid State Fermentation. *African Journal of Biotechnology*. 10(21): 4428-4435.
- [18] Natpinit, P., Anuwattana, R., Ditkaew, T., and Suppinunt, T. (2016). Application of Rice Stubble Synthesized Zeolite for Greenhouse Gas Reduction. *App. Envi. Res*. 38(2), 23-31.
- [19] Guangzhou Chemxin Environmental Material Co.,Ltd. (2019). *4A Molecular sieve specifications*. Retrieved from <http://www.chemxin.com/product/class/68.html>
- [20] Tangkuliboon, R., Tangworntharama, P., Roongkra, P., Bamrungsuk, P. and Bunyot, P. (2016). Research and Development of Slow-Released Fertilizer Products. In *Final Report*. Thailand Institute of Scientific and Technological Research.
- [21] Bureau of Soil Resources Research, Department of Land Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2019). *Characteristics and properties of northeastern soil series: Korat soil series*. Retrieved from [http://oss101.ldd.go.th/web\\_thaisoils/pf\\_desc/northeast/Kt.html](http://oss101.ldd.go.th/web_thaisoils/pf_desc/northeast/Kt.html)
- [22] Dubey, S.K. (2001). Methane Emission and Rice Agriculture. *Current Science*. 81, 345-346.
- [23] IPCC. (1995). *IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>
- [24] Wong, T. W. (2009). *Handbook of zeolites: Structure, properties and applications*. Nova Science Publishers.

- [25] Shashoua, Y. (1996). *Zeolites*. Retrieved from <http://cool.conservation-us.org/byorg/abbey/an/an20/an20-7/an20-702.html>
- [26] Polat, E., Karaca, M., Demir, H., and Naci-Onus, A. (2004). Use of natural zeolite Clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit Ornamental and Plant Research*. 12, 183-189.
- [27] Aulakh, M.S., and Singh, B. (2000). Methane Emissions from Rice Fields-Quantification, Mechanisms, Role of Management, and Mitigation Options. *Advances in Agronomy*. 70, 193-260.