# เทคนิคการฟื้นสภาพดินโดยการเติมธาตุอาหารธรรมชาติจากหิน บะซอลต์ผุ: การทดลองสำหรับปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในจังหวัดอุดรธานี

นายวีระพล แก้วอินทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Re-soil technique by adding natural nutrient from residual basalt: an experiment for KDML 105 in Udonthani province

Mr. Weerapon Kaew-in

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Science
Inter-Department of Environmental Science
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | เทคนิคการฟื้นสภาพดินโดยการเติมธาตุอาหารธรรมชาติจากหินบะซอลต์ผุ: การทดลองสำหรับปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในจังหวัดอุดรธานี |
| โดย | นายวีระพล แก้วอินทร์ |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ชูวงษ์ |

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฉัพพรรณรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ชูวงษ์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกวรรณ เสรีภาพ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ วันอินทร์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วีระพล แก้วอินทร์ : เทคนิคการฟื้นสภาพดินโดยการเติมธาตุอาหารธรรมชาติจากหินบะซอลต์ผุ: การทดลองสำหรับปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในจังหวัดอุดรธานี . ( Re-soil technique by adding natural nutrient from residual basalt: an experiment for KDML 105 in Udonthani province) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.มนตรี ชูวงษ์

หินบะซอลต์อุดมไปด้วยซิลิกาและสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ดินบะซอลต์ที่เกิดจากการผุพังและย่อยสลายของหินบะซอลต์นั้นยังประกอบไปด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุซึ่งมีความจำเป็นสำหรับพืช รวมถึงมีความสำคัญต่อลักษณะเฉพาะบางประการและพืชบางชนิดด้วย เช่น กลิ่นหอมของข้าว เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาแหล่งหินบะซอลต์ผุที่มีศักยภาพ ทั้งลักษณะทางกายภาพ เคมี และมีความเหมาะสมเชิงพื้นที่ เพื่อนำบะซอลต์ผุที่มีศักยภาพเหล่านั้นไปทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML105) วัดผลอัตราการเติบโตรวมถึงผลผลิตของข้าวด้วย เราให้ความสนใจพื้นที่เขากระโดงซึ่งเป็นภูเขาไฟที่ดับแล้วและมีบะซอลต์ผุอยู่มากมายทั้งบริเวณโดยรอบและบริเวณใกล้เคียง วิธีการเริ่มจากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมจำนวน 3 ดวงด้วยเทคนิค GIS เพื่อค้นหาและเปรียบเทียบขอบเขตและการกระจายตัวของบะซอลต์ จากนั้นจึงกำหนดพื้นที่เป้าหมาย 3 แห่ง สำหรับการขุดดินบะซอลต์วิเคราะห์ตัวอย่างดินจาก 7 โปรไฟล์ด้วย XRD และ XRF พบว่าพื้นที่หลังองค์การบริหารส่วนตำบลห้วยราช ไปทางทิศใต้ประมาณ 0.8 กิโลเมตร เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพและมีความเหมาะสมที่สุด จากนั้นจึงนำบะซอลต์ผุไปทำการทดลองแบบ RCBD ในพื้นที่ทดลองในจังหวัดอุดรธานี ทำการสังเกตการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 รวมถึงการตรวจวัดคุณสมบัติทางด้านความหอมของเมล็ดข้าวด้วย ผลการวิจัยพบว่าหินบะซอลต์ผุมีผลต่อความสูงของต้นข้าว การแตกหน่อ จำนวนรวง จำนวนเมล็ดต่อรวง และน้ำหนักผลผลิตโดยรวม บะซอลต์ผุ 25% ต่อดินเสื่อมโทรม 75% คืออัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับสภาพดินที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวได้ดีทำให้ข้าวมีความสมบูรณ์ทั้งระยะการเจริญเติบโตช่วงต้นและระยะการสร้างเมล็ด รวมถึงทำให้ได้ผลผลิตรวมที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองในครั้งนี้

| | | |
|---|---|---|
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) | ลายมือชื่อนิสิต ..... |
| ปีการศึกษา | 2565 | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ..... |

# # 6187814720 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORD: Residual basalt, Natural micronutrient, GIS, KDML105, 2AP

Weerapon Kaew-in : Re-soil technique by adding natural nutrient from residual basalt: an experiment for KDML 105 in Udonthani province. Advisor: Prof. MONTRI CHOOWONG, Ph.D.

Basalt is rich in silica and essential nutrients for plant growth. Residual basaltic soil contains various primary, secondary, and micronutrients, including some unique plant characteristics, such as the fragrance of rice. This research aimed to find residual basalt sites where relevant physical, chemical, and spatial characteristics are appropriate to test the growth rate of KDML 105. We focused on the Khao Kradong where extinct volcanoes and residual soils are extensively located nearby. The method started with the processing in three series of satellite images by GIS technique. As a result, we determined three target areas for excavating the residual soils. Soil samples from 7 profiles were analyzed by XRD and XRF. We found that the area behind Huai Rat Sub-district Administrative Organization to the south, about 0.8 kilometers, is the most suitable among all of basaltic residual soil sites. Then, the residual basalt was used for the RCBD experiment in UdonThani province where the observation of KDML 105 growth and yield, coupled with aromatic properties were carried out. The results showed that residual basalt significantly affected the height of rice, germination, number of ears, number of seeds per ear, and the total yield weight. Overall, the specific properties of weathering basalt that are rich in plant nutrients in an appropriate ratio of 1 part of residual basalt to 3 parts of soil degradation will help to improve the soil condition to be suitable for the rice growth, and yield.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| | | |
|---|---|---|
| Field of Study: | Environmental Science | Student's Signature ..... |
| Academic Year: | 2022 | Advisor's Signature ..... |

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ชูวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา รวมถึงการแก้ไขและเพิ่มเนื้อหาในส่วนที่มีความบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ แนะนำทีมทำงานที่เปี่ยมล้นด้วยความสามารถและความสามัคคีคอยช่วยเหลือสนับสนุนทุกปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างดำเนินงานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนกวรรณ เสรีภาพ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ คำแนะนำและข้อเสนอแนะเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ วันอินทร์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาสละเวลาและให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาภรณ์ กองแก้ว สถาบันภาษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CULI) แนะนำการใช้ภาษาอังกฤษ ขอขอบคุณ Dr. Nguyen Ngoc Thanh แนะนำเกี่ยวกับโปรแกรมด้าน GIS คุณธารารัตน์ มณีน่วม นักวิชาการเกษตรชำนาญการ ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีและสถาบันอาหาร สำหรับการวิเคราะห์ความหอมของข้าว และคุณวัชรินทร์ วรรณพราหมณ์ ครูชำนาญการพิเศษ. กลุ่มสาระภาษาไทย โรงเรียนบ้านนายูง ที่คอยช่วยอ่านและพิสูจน์อักษร ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่หลักสูตรสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (IEnS) , Center of Excellence for the Morphology of Earth Surface and Advanced Geohazards in Southeast Asia (MESA CE) , ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการศึกษาในระดับดุษฎีบัณฑิต อนึ่ง ผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้จะมีประโยชน์ต่อผู้อ่านและผู้ที่มีความสนใจ จึงขอมอบคุณค่าทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้ให้แก่ เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดามารดา และผู้มีอุปการคุณทุกท่าน

วีระพล แก้วอินทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญ

**หน้า**


..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ ..... 13

1.1 ความสำคัญของปัญหา ..... 13

1.2 วัตถุประสงค์ ..... 1

1.3 สมมติฐานการวิจัย ..... 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ ..... 4

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review) ..... 6

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ..... 6

2.2 หินบะซอลต์ (Basalt)และหินบะซอลต์ผุ (Residual basalt)และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 7

2.3 ดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินเสื่อมโทรม (Soil degradation) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

2.4 การสำรวจทางธรณีวิทยา การสำรวจระยะไกล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 27

2.5 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และการทำนา ..... 40



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 ความยั่งยืนและแนวทางการใช้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร (มาตรฐานเลขที่ 2-2562) ..... 56
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 69
3.1 ศึกษาพื้นที่แหล่งหินบะซอลต์ผุและพื้นที่ทำการทดลอง ..... 69
3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย ..... 74
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล ..... 81
บทที่ 4 ผลการทดลอง ..... 82
4.1 ผลการวิเคราะห์ดินในพื้นที่ทดลอง ..... 82
4.2 การประมวลผลข้อมูลด้าน GIS ..... 82
4.3 จุดเก็บตัวอย่างและผลการสำรวจ ..... 89
4.4.2 ผลการวิเคราะห์ XRD ..... 106
4.4.3 ธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ..... 108
4.4 การขุดหินบะซอลต์ผุเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง ..... 109
4.5 ผลการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ..... 110
4.6.1 การวัดขนาดลำต้น (*กำหนดต้นในการวัดผล) ..... 111
4.6.2 การวัดความกว้างของใบ (*กำหนดต้นในการวัดผล) ..... 112
4.6.4 การวัดจำนวนการแตกหน่อ(*กำหนดต้นในการวัดผล) ..... 114
4.6.5 จำนวนใบ (*กำหนดต้นในการวัดผล) ..... 115
4.6.6 จำนวนรวง ..... 115
4.6.7 จำนวนเมล็ดต่อรวง ..... 116
4.6.8 จำนวนเมล็ดสมบูรณ์และจำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ ..... 118
4.6.9 น้ำหนักรวม ..... 118
4.8 แนวทางการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการปลูกข้าวตามกรอบของ CE ดังนี้ ..... 121
บทที่ 5 สรุปผลและอภิปรายผล ..... 127

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินพื้นที่ทดลองไร่แก้วอินทร์และแหล่งบะซอลต์ผุบริเวณรอบเขากระโดง ..... 127
5.2 วิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ..... 137
5.3 วิเคราะห์บะซอลต์ผุที่มีผลต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ..... 140
5.4 อภิปรายผลวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ..... 141
5.5 การอภิปรายผลเกี่ยวกับการนำผลการทดลองไปใช้ใน Field Test และการดำเนินการแบบ Circular Economy ใน SME ของธุรกิจเกษตร ..... 142
5.6 ข้อเสนอแนะ ..... 146
บรรณานุกรม ..... 147
ภาคผนวก ..... 154
ภาคผนวก ก ..... 155
ภาคผนวก ข ..... 161
ภาคผนวก ค ..... 166
ภาคผนวก ง ..... 171
ประวัติผู้เขียน ..... 176

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตารางที่ 1 ตารางแสดงระดับของการผุพังของหิน ..... 12

ตารางที่ 2 ตารางแสดงธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชในหินบะซอลต์และหินบะซอลต์ผุ ในจังหวัด บุรีรัมย์ สุรินทร์ และ ศรีสะเกษ ..... 14

ตารางที่ 3 ข้อมูลทุติยภูมิธาตุอาหารพืชในหินบะซอลต์และหินบะซอลต์ผุ ในอำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ..... 15

ตารางที่ 4 พันธุ์ข้าวในประเทศไทยจำนวน 116 สายพันธุ์ ..... 42

ตารางที่ 5 พันธุ์ข้าวในประเทศไทย ..... 43

ตารางที่ 6พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินเสื่อมโทรมในพื้นที่ทดลอง ..... 75

ตารางที่ 7ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในพื้นที่ทดลอง ..... 82

ตารางที่ 8 ผลสำรวจ Profile 7 ..... 96

ตารางที่ 9 จำนวนตัวอย่างวิเคราะห์ XRF ใน Profile 1 ..... 97

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ XRD ที่ระดับความลึกที่ 0-10 ซม. ..... 107

ตารางที่ 11 แสดงค่า max และ min ความกว้างของใบข้าว ..... 113

ตารางที่ 12 แสดงค่า เฉลี่ยจำนวนหน่อของข้าว ..... 114

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความหอม 2 AP ..... 120

ตารางที่ 14 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลการวัดการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ..... 121

ตารางที่ 15 แนวทางการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการปลูกข้าวตามกรอบของ CE ..... 122

ตารางที่ 16 แผนการติดตามผล ทบทวน และการรายงาน ในระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว. 126

ตารางที่ 17 ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเพื่อคัดเลือกพื้นที่ศักยภาพ ..... 127

ตารางที่ 18 ต้นทุนในการปลูกข้าว ที่มา : กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559) ..... 145

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญรูปภาพ

**หน้า**


รูปที่ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย ..... 3

รูปที่ 2 เปรียบเทียบความแตกต่างของหลักสูตรหรือสาขาวิชาแบบเอกวิทยาการ ..... 7

รูปที่ 3 หินบะซอลต์ ที่มา : The university of Auckland (2005) ..... 8

รูปที่ 4 โครงสร้างทางกายภาพ (Physical) และโครงสร้างทางเคมี (Chemical) ..... 17

รูปที่ 5 แผนผังกระบวนการเกิดความเสื่อมโทรมของดินที่สอดคล้อง ..... 21

รูปที่ 6 ความหลากหลายของปัญหาดินเสื่อมโทรม ที่มา : Rattan Lal (2015) ..... 22

รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างของดินเสื่อมโทรมและวิธีการแก้ไข ..... 25

รูปที่ 8 ความแตกต่างในแต่ละชนิดของ Sensor ..... 29

รูปที่ 9 การสร้างแบบจำลองความสูงและลักษณะพื้นผิว ..... 35

รูปที่ 10 แบบจำลองทางอุทกธรณีวิทยาพื้นที่บางส่วนของจังหวัดกำแพงเพชร ..... 36

รูปที่ 11 องค์ประกอบที่ต้องนำมาพิจารณาในการสำรวจระยะไกล ..... 38

รูปที่ 12 Reflected spectrum defined for basalt by Johns Hopkins University ..... 39

รูปที่ 13 การได้รับธาตุอาหารพืชโดยกลไก Mass flow ..... 50

รูปที่ 14 ระดับของการพัฒนาระดับการดำเนินการเศรษฐกิจหมุนเวียนขององค์กร ..... 62

รูปที่ 15 ตัวอย่างคำถามในเอกสารเครื่องมือนำทางตามกรอบการดำเนินงาน 8 ขั้นตอน ..... 64

รูปที่ 16 การจัดกลุ่มรูปแบบธุรกิจ 6 กลุ่มที่สัมพันธ์กับระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ..... 65

รูปที่ 17 การเชื่อมโยงในงานวิจัย ..... 68

รูปที่ 18 แหล่งสำรวจหินบะซอลต์ผุบริเวณเขากระโดงจังหวัดบุรีรัมย์ ..... 70

รูปที่ 19 พื้นที่สำรวจหินบะซอลต์ผุรอบวนอุทยานเขากระโดง อำเภอเมือง จังหวัด บุรีรัมย์ ..... 71

รูปที่ 20 แผนที่แสดงพื้นที่ทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 จังหวัดอุดรธานี ..... 73

รูปที่ 21 พื้นที่ทดลอง ไร่แก้วอินทร์ ตำบลหนองกุงทับม้า อำเภอวังสามหมอ จังหวัดอุดรธานี ..... 74



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 22 ขั้นตอนการค้นหาพื้นแหล่งบะซอลต์ผุที่มีศักยภาพ ..... 77
รูปที่ 23 การออกแบบหน่วยการทดลอง Lab Scale แบบ RCBD ..... 78
รูปที่ 24 การควบคุมระดับน้ำในระหว่างการทดลอง ..... 79
รูปที่ 25 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยแล้วนำมาสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ ..... 81
รูปที่ 26 แสดงหน่วยทดลอง แหล่งบะซอลต์ผุ และแผนที่สามมิติของกระโดง (a) ..... 83
รูปที่ 27 ข้อมูล GIS ที่นำมาประมวลผล , [1] การใช้ประโยชน์พื้นที่,[2] ข้อมูลด้านธรณีวิทยา, ..... 86
รูปที่ 28 การกระจายของบะซอลต์รอบบริเวณเขากระโดงประมวลผลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม 3 ดวง ..... 86
รูปที่ 29 แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่ ที่มีศักยภาพ บริเวณโดยรอบเขากระโดง ..... 87
รูปที่ 30 พื้นที่เป้าหมาย 3 พื้นที่ และจุดเก็บตัวอย่าง 7 Profiles ..... 88
รูปที่ 31 ผลการสำรวจ Profile 1 ..... 89
รูปที่ 32 ผลการสำรวจ Profile 2 ..... 90
รูปที่ 33 ผลการสำรวจ Profile 3 ..... 91
รูปที่ 34 ผลการสำรวจ Profile 4 ..... 93
รูปที่ 35 ผลสำรวจ Profile 5 ..... 94
รูปที่ 36 ผลการสำรวจ Profile 6 ..... 95
รูปที่ 37 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 1 ..... 98
รูปที่ 38 ผลการวิเคราะห์ XRF :Profile 2 ..... 99
รูปที่ 39 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 3 ..... 100
รูปที่ 40 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 4 ..... 102
รูปที่ 41 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 5 ..... 103
รูปที่ 42 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 6 ..... 104
รูปที่ 43 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 7 ..... 105
รูปที่ 44 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ XRD ในระดับความลึกที่ 0-10 ซม. ..... 106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 45 ข้อมูลเป็นร้อยละขององค์ประกอบในบะซอลต์ผุที่ความลึกแตกต่างกัน ..... 108
รูปที่ 46 กราฟแสดงข้อมูลเป็นร้อยละขององค์ประกอบในบะซอลต์ผุที่ความลึกแตกต่างกัน..... 108
รูปที่ 47 ธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ..... 109
รูปที่ 48 การขุดบะซอลต์ผุเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง ..... 110
รูปที่ 49 การเจริญเติบโตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ใน สัปดาห์ที่ 1 - 18..... 111
รูปที่ 50 กราฟแสดงขนาดลำต้นข้าว ..... 112
รูปที่ 51 กราฟแสดงความกว้างของใบข้าว ..... 112
รูปที่ 52 กราฟแสดงความสูงของต้นข้าว ..... 113
รูปที่ 53 กราฟแสดงการแตกหน่อของข้าว ..... 114
รูปที่ 54 กราฟแสดงจำนวนใบข้าว ..... 115
รูปที่ 55 กราฟแสดงจำนวนรวงข้าว..... 116
รูปที่ 56 ลักษณะรวงข้าวจากการทดลอง..... 116
รูปที่ 57 กราฟแสดงจำนวนค่าเฉลี่ยเมล็ดข้าวต่อรวง ..... 117
รูปที่ 58 กราฟแสดงจำนวนเมล็ดสมบูรณ์และจำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ ..... 118
รูปที่ 59 ลักษณะเมล็ดข้าวและน้ำหนักผลผลิตจากการทดลอง..... 118
รูปที่ 60 กราฟแสดงน้ำหนักรวมทั้งหมดของผลผลิตข้าวในแต่ละตำรับการทดลอง..... 119
รูปที่ 61 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความหอม 2AP ..... 120
รูปที่ 62 การปลูกข้าวแบบดั้งเดิม การปลูกข้าวแบบเพิ่มผลผลิต..... 123
รูปที่ 63 แนวทางและการนำไปปฏิบัติตามกรอบของ CE ..... 125
รูปที่ 64 สรุปผลการวิเคราะห์ XRF และ XRD ..... 129
รูปที่ 65 ผลการวิเคราะห์ XRD ที่ระดับความลึก 0-10 ซม. ..... 132
รูปที่ 66 การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชที่มีนัยสำคัญต่อความหอมของข้าวจากบะซอลต์ผุ ..... 136
รูปที่ 67 การเจริญเติบโตของข้าว ช่วงที่ 1 (สัปดาห์ที่ 1-12) ..... 138
รูปที่ 68 ผลสรุปการวัดผลการเจริญเติบโตของข้าว และการวิเคราะห์ทางสถิติ ..... 140

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญของปัญหา

การวิจัยในอดีตมีข้อจำกัดมากมายทำให้งานวิจัยที่ผ่านมาตอบโจทย์และค้นหาปัญหาเพียงมิติเดียวหรือเป็นการวิจัยเพื่อค้นหากฎธรรมชาติจากปรากฏการณ์รอบตัวแล้วนำมาสรุปเป็นทฤษฎีพื้นฐาน (Principles) และถ่ายทอดประสบการณ์จากรุ่นสู่รุ่นโดยการค้นพบธรรมชาติที่เป็นเส้นตรง (จรัส สุวรรณมาลา , 2560) แต่สถานการณ์ของโลกในปัจจุบัน ปัญหาและแนวทางการแก้ไขมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การแก้ปัญหาจึงต้องใช้ศาสตร์หลายแขนงและการบูรณาการข้ามศาสตร์ เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านั้นและตอบโจทย์ด้านความยั่งยืนด้วย (รัตนะ บัวสนธ์ , 2561) ความยั่งยืนเป็นคำที่ถูกกล่าวถึงอย่างมากในทศวรรษนี้ ความยั่งยืนจะเกิดขึ้นได้ในแต่ละบริบท จะต้องเข้าใจในความสัมพันธ์ทุกมิติในบริบทนั้น ยกตัวอย่างเช่น ความยั่งยืนในเชิงการประกอบการด้านธุรกิจ ต้องเข้าใจความเชื่อมโยงและผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดห่วงโซ่อุปทาน (ศูนย์พัฒนาธุรกิจเพื่อความยั่งยืน : SET, 2559) หรือปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหนึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบอื่นอีกระบบได้ เช่น การแก้ปัญหาเรื่องปริมาณอาหารเพื่อให้สัมพันธ์กับจำนวนประชากรของโลกที่เพิ่มขึ้น (Food crisis) จะกระทบกับปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ หรือผลิตภัณฑ์อาหารที่มาจากกระบวนการเพาะปลูกทางการเกษตรที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพของมนุษย์ได้ (รัตนะ บัวสนธ์ , 2561) คาดการณ์ว่าในอีก 50 ปีข้างหน้า ประชากรของโลกจะมีจำนวนหนึ่งหมื่นล้านคน (World Economic Forum ,2561) นั่นหมายถึงต้องใช้ปริมาณอาหารจำนวนมหาศาลเพื่อรักษาความสมดุล การเตรียมพร้อมด้วยระบบการเกษตรแบบอุตสาหกรรม เร่งการผลิต การเพิ่มจำนวนรอบของการเพาะปลูก รวมถึงการใช้ปุ๋ยเกินความจำเป็นทำให้ทรัพยากรดินเสื่อมโทรมลง (IPBES, 2561) ปัญหาดินเสื่อมโทรมนับเป็นวาระสำคัญระดับโลก จากการประกาศเป้าหมายการพัฒนาแห่งสหัสวรรษ (Sustainable Development Goals :SDGs) เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 15 ระบุข้อความตอนหนึ่งว่า“หยุดการเสื่อมโทรมของที่ดินและฟื้นสภาพกลับมาใหม่” แสดงให้เห็นว่าปัญหาการเสื่อมโทรมของดินอยู่ในขั้นวิกฤต ผู้เชี่ยวชาญจากองค์การสหประชาชาติให้ความเห็นเพิ่มเติมว่า “หากไม่มี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การดำเนินการใดเพื่อลดระดับการเสื่อมคุณภาพของดิน หน้าดินจะหมดไปในระยะเวลา 60 ปี" (UN , 2557)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพเพาะปลูก กิจกรรมการเพาะปลูกเกิดขึ้นกับผืนดินไทยอย่างยาวนานและต่อเนื่องจากอดีตจนถึงปัจจุบัน นอกจากสาเหตุที่เกิดจากธรรมชาติแล้ว การจัดการและใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่เหมาะสมของเกษตรกร เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ศักยภาพในการผลิตของดินลดลง คุณสมบัติทั้งสามด้านของดินเปลี่ยนแปลงไปได้แก่ คุณสมบัติด้านเคมี เช่น ดินมีความเป็นกรดมากขึ้น (กรมการข้าว, 2559) ความอุดมสมบูรณ์หรือปริมาณธาตุอาหารลดลง ด้านกายภาพ เช่น ดินสูญเสียโครงสร้างทำให้เกิดการอัดตัวแน่น ขาดความโปร่ง พรุน และด้านชีวภาพพบว่าสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินลดลงทั้งปริมาณและความหลากหลาย (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ : FTPI, 2558) รัฐบาลไทยเล็งเห็นความสำคัญและตระหนักถึงปัญหาเหล่านี้จึงได้กำหนดเป้าหมายที่สอดคล้องในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 รวมถึงยุทธศาสตร์กรมพัฒนาที่ดิน 20 ปี (พ.ศ.2560-2579) ว่าด้วยการพัฒนาที่ดินให้สมบูรณ์เพิ่มพูนผลผลิตในทิศทางการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนบนพื้นฐานการมีส่วนร่วม (กรมพัฒนาที่ดิน , 2560) ทำให้เกิดงานวิจัยเกี่ยวกับการฟื้นฟูดินและการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง เช่น น้ำหมัก ปุ๋ยชีวภาพคุณภาพสูง ปุ๋ยสูตรพิเศษ ( Super fertilizer ) ผงถ่านจากเศษวัสดุอินทรีย์ (Biochar) ผลลัพธ์ที่ได้สามารถแก้ปัญหาได้ดีตามวัตถุประสงค์ แต่การนำผลลัพธ์จากงานวิจัยเหล่านั้นมาใช้งานจริงกลับพบว่า ไม่ส่งผลในเชิงบวกโดยภาพรวม (กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม :อว, 2562) อาจเป็นเพราะมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อน หรือมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อผลิตใช้ในเชิงธุรกิจเกษตร

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการเอาหินบะซอลต์ผุ (residual basalt) ในเขตภูเขาไฟที่ดับสนิทแล้วมาใช้ประโยชน์ ซึ่งนอกจากหินบะซอลต์ผุจะมีธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชแล้วยังมีธาตุอาหารตั้งต้นที่สำคัญสำหรับลำดับการทำงานของธาตุอาหารพืช (Biochemical Sequence) และมีปริมาณมากในธรรมชาติ (กรมทรัพยากรธรณี , 2553) นับได้ว่าเป็นการหมุนเวียนทรัพยากรจากธรรมชาติ นำมาใช้ได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ต้นทุนต่ำ รวมถึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของดินทั้งทางกายภาพและเคมีแบบยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์ธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชจากดินในพื้นที่ทดลองและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินบะซอลต์ผุจากพื้นที่เป้าหมาย
2. สำรวจหินบะซอลต์ผุบริเวณภูเขาไฟที่ดับสนิทแล้วโดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูล GIS และแบบจำลองแบบ 3 มิติ เพื่อความแม่นยำในการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างหินบะซอลต์ผุ บริเวณโดยรอบวนอุทยานเขากระโดง จังหวัดบุรีรัมย์ และบริเวณใกล้เคียง
3. เสนอแนะอัตราส่วนที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรมโดยการวิเคราะห์จากการเจริญเติบโตและผลผลิตจากข้าวขาวดอกมะลิ 105และวัดปริมาณสารที่ให้ความหอมในเมล็ดข้าว

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

ซิลิคอน เป็นองค์ประกอบหลักในหินบะซอลต์ผุ การย่อยสลายของซิลิคอนจะให้ Monosilicic acids ทำหน้าที่ในการควบคุมคุณสมบัติทางเคมีของสารละลายในดิน และ Polysilicic acids ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน (V.V.Matichenkov et al., 2001) หินบะซอลต์ผุยังมีธาตุอาหารตั้งต้นที่สำคัญในลำดับการทำงานของธาตุอาหารพืช (Biochemical Sequence) ได้แก่ โบรอน > ซิลิคอน > แคลเซียม > ไนโจรเจน > แมกนีเซียม > ฟอสฟอรัส > คาร์บอน > โพแทสเซียม ซึ่งธาตุอาหารตั้งต้นเหล่านี้จะทำหน้าที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารอื่นเพื่อเพิ่มศักยภาพของพืชในการดูดซึมธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุ และธาตุเสริมไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโตของพืช (Hugh Lovell, 2015) ด้านคุณภาพและความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ธาตุอาหารที่ส่งผลเชิงบวกต่อความหอมได้แก่ P, Ca, Mg, Zn และ OM การเติมธาตุแมงกานิส ซัลเฟอร์ และโซเดียม ในการทดลองปลูกข้าวในสารละลายพบว่าปริมาณสารหอม 2-AP ในเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้น (กรมการข้าว, 2558) ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้ล้วนพบในหินบะซอลต์ผุในปริมาณที่สูง (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

Re-soil คือเทคนิคในการปรับปรุงดินด้วยการเติมหินบะซอลต์ผุในอัตราส่วนที่เหมาะสมลงไปในดินที่เสื่อมโทรมเพื่อให้ดินมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี ทั้งนี้หินบะซอลต์ผุต้องมาจากแหล่งที่พิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญและผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบทางธรณีวิทยา กายภาพ เคมี เคมีฟิสิกส์แล้ว เพื่อได้หินบะซอลต์ผุที่มีระดับการผุ

(Degree of weathering) ที่เหมาะสม มีอัตราส่วนระหว่างดินและหินเหมาะสมสำหรับการเกษตรและมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงโครงสร้างของดินและการเจริญเติบโตของพืช

**ขอบเขตของการวิจัย**

**ขอบเขตเชิงพื้นที่**

1. พื้นที่ในการทดลอง ไร่แก้วอินทร์ ตั้งอยู่บริเวณหมู่ 11 ต.หนองกุงทับม้า อ.วังสามหมอ จ.อุดรธานี พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด: 17° 2'7.99"N ลองติจูด: 103°26'38.84"E ค่า X : 334480 ค่า Y :1884183 Zone : 48Q เนื้อที่ขนาด 48 ไร่ ภาพถ่ายออร์โธสีเชิงเลข มาตราส่วน 1:4000 ระวาง 5643234842
2. พื้นที่สำรวจหินบะซอลต์ผุ บริเวณโดยรอบวนอุทยานเขากระโดง ตำบลเสม็ด ตำบลอิสาณ และตำบลสวายจิก อำเภอเมืองบุรีรัมย์ และจังหวัดใกล้เคียง พิกัดที่ 0294967 ตะวันออก 1652646 เหนือ แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุด L7018 ระวางที่ 5638 IV หรือ ภาพถ่ายออร์โธสีเชิงเลข มาตราส่วน 1:4000 ระวาง 563849452, 563849652, 563849450 และ 363849650

**ขอบเขตเชิงเนื้อหา**

1. การปลูกข้าว จะอยู่ในช่วงฤดูทำนาปี (in-season rice) เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และเก็บเกี่ยวสิ้นสุดไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์
2. ข้าวขาวดอกมะลิ 105
3. ดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน กลไกลในการดูดซึมธาตุอาหารของพืช
4. การสำรวจระยะไกลโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม
5. การทำนาโดยการปักดำ
6. หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กรของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)
7. งานวิจัยประกอบด้วย 4 ส่วนดังนี้

   ส่วนที่ 1 คือ การวิเคราะห์ตัวอย่างดินเสื่อมโทรม และพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

   ส่วนที่ 2 คือ ค้นหาแหล่งหินบะซอลต์ผุ วิเคราะห์ตัวอย่างหินบะซอลต์ผุ จากเขตภูเขาไฟที่ดับสนิทแล้วและวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่และเคมีด้วย XRD และ XRF

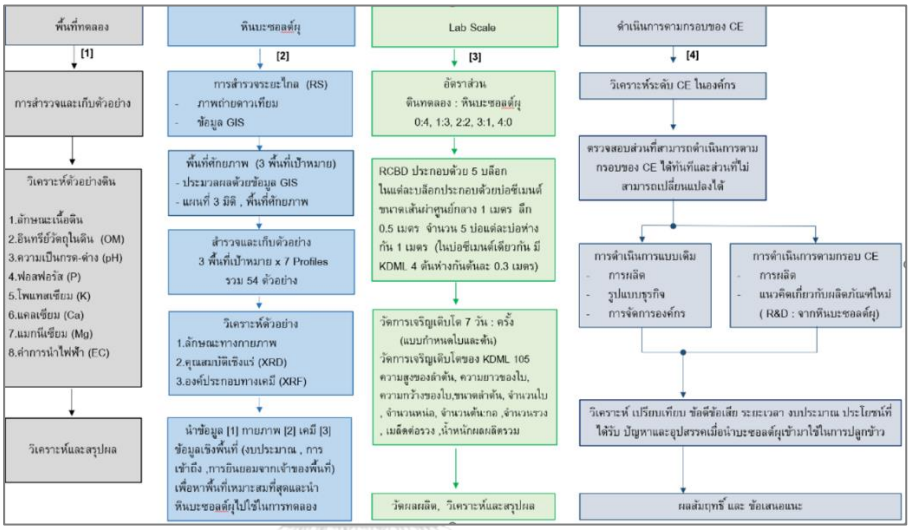
   ส่วนที่ 3 คือ การทดลอง Lab scale โดยออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (RCBD)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนที่ 4 คือ การทดลอง Field Test เป็นการนำเอาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดนำมาทดลองในพื้นที่ขนาด 1 ไร่ จำนวน 3 ซ้ำ *หากการทดลองในระดับ Lab Scale มีผลการทดลองที่ส่งผลเชิงบวกและมีความคุ้มทุนทางหลักเศรษฐศาสตร์

ส่วนที่ 5 คือการดำเนินการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงองค์กรสู่ความยั่งยืนโดยใช้หลัก CE (มชต. 2-2562)

ในกระบวนการเพาะปลูก




รูปที่ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้หินบะซอลต์ผุในการเพาะปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในดินที่เสื่อมโทรม

2.ทำให้ทราบถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรมด้วยหินบะซอลต์ผุและใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาขั้นสูงเพื่อนำวัตถุต้นกำเนิดดินมาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี เป็นการลดต้นทุนทางการเกษตรและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแนวทางที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

3. ทำให้ทราบถึงปัญหา อุปสรรค แนวทางแก้ไข และข้อเสนอแนะสำหรับกลุ่มธุรกิจเกษตรขนาด Micro SME และ ขนาดกลาง-ย่อม (SME) ที่ดำเนินการตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กรของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและเป็นต้นแบบสำหรับการเป็นผู้ประกอบการกลุ่มธุรกิจเกษตรขนาดเล็กในการใส่ใจและรับผิดชอบผลกระทบที่เกิดขึ้นในทุกมิติซึ่งเป็นแนวทางของการประกอบธุรกิจที่ยั่งยืน

4.นำผลการทดลองและคุณสมบัติของหินบะซอลต์ผุที่ได้จากการทดลอง วิเคราะห์ สร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (R&D) จากหินบะซอลต์ผุ เช่น วัสดุผสมสำหรับปลูกที่มีคุณสมบัติพิเศษสำหรับไม้ดอกไม้ประดับ ต้นไม้ขนาดเล็กในกระถาง ซึ่งผลิตภัณฑ์เหล่านั้นเกิดจากกระบวนการผลิตที่ใช้หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร

**1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ**

Re-soil หมายถึง กระบวนการปรับปรุงดินด้วยการเติมหินบะซอลต์ผุลงไปในดิน ทำให้ดินนั้นมีคุณสมบัติด้านการเพาะปลูกที่ดีขึ้น

หินบะซอลต์ผุ (Residual Basalt) หมายถึง หินบะซอลต์ที่มีระดับการผุที่ 6 (BS5930, 1981) จากเขตภูเขาไฟที่ดับสนิทแล้ว บริเวณโดยรอบวนอุทยานเขากระโดง อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ และบริเวณใกล้เคียง

Treatment หมายถึง หินบะซอลต์ผุ

ดินเสื่อมโทรม หมายถึง ดินตัวอย่างจากไร่แก้วอินทร์ หรือดินที่มาจากพื้นที่เพาะปลูกเชิงธุรกิจเกษตรที่มีการเพาะปลูกต่อเนื่องและยาวนาน คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจนโดยสังเกตได้จาก โครงสร้างของเนื้อดินที่อัดแน่น ขาดความโปร่งและพรุน การเกาะตัวหรือยึดตัวของเม็ดดินต่ำ หรือจากผลผลิตที่ลดลงอย่างชัดเจนในรอบของการผลิต และ ดินเสื่อมโทรมในระดับที่ 1 ตามนิยามของความเสื่อมโทรมของดินที่สอดคล้องกับศักยภาพการผลิตของดินทางการเกษตร ของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2553 หรือดินที่ได้รับผลวิเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดินที่แสดงว่า ธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมีปริมาณต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการทดลองใน Lab scale หมายถึง ผลการทดลองซึ่งปัจจัยแทรกแซง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ปริมาณน้ำฝน และปัจจัยอื่นใดที่เกี่ยวข้องตามสภาพความเป็นจริงบริเวณพื้นที่ทดลอง ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2564 - ธันวาคม 2564

ผลผลิต หมายถึง ผลผลิตที่ได้จากการทดลอง field test ซึ่งปัจจัยแทรกแซง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ปริมาณฝน และสภาพแวดล้อมอื่นใดที่เกี่ยวข้องตามสภาพความเป็นจริงในพื้นที่ทดลอง ระหว่างเดือนพฤษภาคม 2565 - ธันวาคม 2565

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (KDML) หมายถึง พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิที่ประกาศรับรองโดยคณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ ปี 2502

เศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร (มตช.2-2562) หมายถึง หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร ตามประกาศของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2562

การปรับเปลี่ยนองค์กรเข้าสู่หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กรในงานวิจัยนี้ หมายถึง กระบวนการปรับเปลี่ยนที่นำเสนอเฉพาะกระบวนการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวเท่านั้น



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 2
# ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

## 2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### การวิจัยแบบไร้กำแพงทางวิชาการ Non-Boundary Research Method

เป็นแนวคิดของการวิจัยเพื่อตอบโจทย์หรือแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนและหลากหลายมากยิ่งขึ้นในยุคของการสื่อสารที่ไร้ขีดจำกัด ปัญหาในสถานะการของโลกในปัจจุบันและอนาคต นับวันจะทวีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การแก้ไขปัญหาหรือตอบโจทย์โดยใช้องค์ความรู้แบบสาขาใดสาขาหนึ่ง (ความรู้ทางวิชาการแบบเอกวิทยาการ : Monodisciplinary) อาจจะไม่เพียงพอ จำเป็นต้องอาศัยความรู้ที่มีความหลากหลายของสาขาวิชาเพื่อการแก้ไขปัญหาหรือเพื่อส่งเสริมและพัฒนา

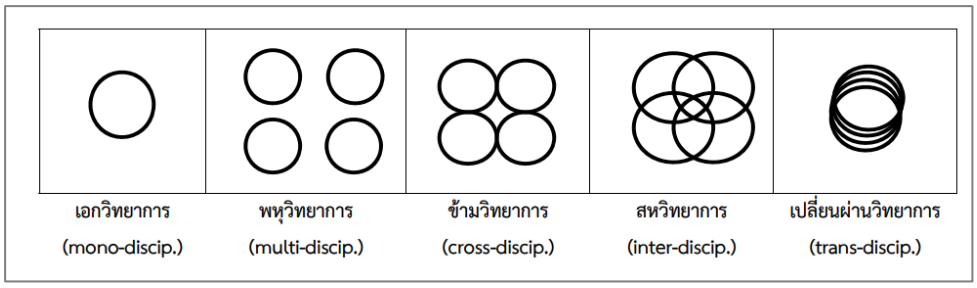
การทลายกำแพงทางวิชาการ (Non-boundary discipline) จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นเพื่อเปิดมุมมองใหม่ในการมองปัญหาและลดอุปสรรคต่อความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาได้

(รัตนะ บัวสนธ์, 2561)

### การวิจัยแบบข้ามวิทยาการ (Cross-disciplinary research)

การวิจัยแบบข้ามวิทยาการ เป็นการวิจัยที่นำเอาความรู้จากสาขาวิชาหนึ่งมาใช้ศึกษาอธิบายตีความการวิจัยหรือผลการวิจัยที่กระทำในอีกสาขาหนึ่ง เพื่อเพิ่มมุมมองใหม่ๆ มากกว่าจะใช้มุมมองเดิมในสาขาวิชาเดิมมาทำการวิจัยหรืออธิบายตีความผลวิจัย การวิจัยแบบนี้มีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างสาขาวิชาที่นำมาร่วมกันดำเนินงานวิจัย ไม่ถึงกับเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักวิจัยหรือหลอมรวมความรู้วิธีการวิจัยจากสาขาวิชาต่างๆ มาสร้างเป็นองค์ความรู้สาขาวิชาใหม่ๆ เหมือนกับการวิจัยแบบสหวิทยาการและการวิจัยแบบเปลี่ยนผ่านวิทยาการแต่ก็ไม่เหมือนกับการวิจัยแบบพหุวิทยาการที่นักวิจัยต่างคนต่างใช้ความรู้ตามสาขาวิชาของตน ซึ่งสามารถอธิบายได้จากภาพประกอบด้านล่าง เพื่อความหมายที่ชัดเจนและความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




รูปที่ 2 เปรียบเทียบความแตกต่างของหลักสูตรหรือสาขาวิชาแบบเอกวิทยาการ พหุวิทยาการข้ามวิทยาการ สหวิทยาการ และเปลี่ยนผ่านวิทยาการ
ที่มา : Rattana Buosonte (2016)

ในงานวิจัยนี้ ได้นำองค์ความรู้ที่หลากหลาย เช่น ธรณีวิทยา (geology) ปฐพีวิทยา (pedology) ความรู้เกี่ยวกับพืช สิ่งแวดล้อม และ องค์ความรู้ด้านธุรกิจ มาใช้ในการวิจัย เพื่อตอบโจทย์และฉายภาพให้เห็นผลลัพธ์เชิงบวกในการนำกระบวนการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เพื่อแก้ไขปัญหา ในขณะเดียวกันก็สามารถเชื่อมโยงเข้าสู่กระบวนการผลิต เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินธุรกิจ ซึ่งใช้ได้จริง และมีผลเชิงประจักษ์ในกระบวนการเชิงธุรกิจด้วย

## 2.2 หินบะซอลต์ (Basalt)และหินบะซอลต์ผุ (Residual basalt)และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บะซอลต์ มาจากภาษาลาติน หมายถึง หินที่แข็งมาก หินบะซอลต์เป็นหินอัคนี (Extrusive igneous rock) ซึ่งพบได้ทั่วไปทั้งบนโลกและในระบบสุริยะ เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว (cooling) และการตกผลึก (Crystallization) ของลาวาภูเขาไฟ สีของหินบะซอลต์จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมี เช่น มีสีดำเนื่องจาก แมกนีเซียมออกไซด์และแคลเซียมออกไซด์หรือสีแดงและสีส้มเกิดจากสารประกอบเหล็กที่เป็นสนิม เนื้อหินละเอียด (Aphanitic texture) ผลึกมีขนาดเล็กมาก ประกอบด้วยแร่ประกอบหิน (Rock-forming Minerals) ตามธรรมชาติกลุ่มแร่ออไจต์ ( augite) หรือ pyroxene แร่แพลจิโอเคลส (plagioclase) และโอลิวีน หรือ เพริดอต (Olivine) เป็นส่วนใหญ่ มนุษย์นำหินบะซอลต์มาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ ด้านอุตสาหกรรม นำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ถนนและฉนวนกันความร้อน ด้านเกษตรกรรมช่วยเสริมประสิทธิภาพในการเพาะปลูก หินบะซอลต์แบ่งประเภทตามองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ส่วนประกอบด่าง (alkaline) เช่น ธาตุโซเดียมและโพแทสเซียม (Nockoids et al. ,1978) ได้ 4 ชนิดดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.หินบะซอลต์ชนิดด่าง (alkaline basalt)

2.หินบะซอลต์โทลิโอต์ (tholeiitic basalt)

3.หินแคลก์แอลคาไลบะซอลต์) calc-alkaline basalt) ที่เกิดร่วมกันหินแอนดีไซต์ที่สัมพันธ์

กับบริเวณที่เกิดภูเขา (orogenic region) และหมู่เกาะรูปโค้ง (island arc)

4.หินบะซอลติกโคมาทิไอต์ (basaltic komatiite)

รูปที่ 3 หินบะซอลต์ ที่มา : The university of Auckland (2005)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การผุพัง (Wreathing Process)** ในทางธรณีวิทยา หมายถึง กระบวนการที่ทำให้หินย่อยสลายเป็นชิ้นขนาดเล็กโดยที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของหินไปที่อื่น อัตราการผุพังหรือศักยภาพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ เสถียรภาพของแร่ประกอบหิน พื้นที่ผิว เนื้อหิน ภูมิอากาศ เป็นต้น

**การผุพังทางกายภาพ** (physical weathering) หมายถึง การผุพังที่ทำให้หินแตกเป็นชิ้นเล็กลงแต่ไม่เปลี่ยนแร่องค์ประกอบภายในหิน ประกอบด้วย 5 รูปแบบ ดังนี้

1. การคลายแรงดัน (pressure release) คือ การผุพังที่เกิดจากหินใต้พื้นผิวโลกซึ่งเดิมเคยถูกกดทับด้วยน้ำหนักของหินหรือดินด้านบนอย่างสมดุล แต่เมื่อหินหรือดินด้านบนถูกกัดกร่อนไป หินเดิมจึงคลายแรงดัน ขยายตัวและแยกออกตามแนวรอยแตกเดิม
2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (thermal expansion) คือ การผุพังที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของหินร้อน-เย็นสลับกัน ทำให้หินขยาย-หดตัว และผุพัง พบมากในสภาพแวดล้อมแบบทะเลทราย ซึ่งมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากในช่วงกลางวัน-กลางคืน
3. การเปลี่ยนแปลงความชื้น (alternate wetting and drying) คือ การผุพังที่เกิดจากการดูดซึม-ระเหยของน้ำในหินสลับกัน ทำให้หินมีการขยาย-หดตัว และผุพัง
4. การเกิดลิ่มน้ำแข็งและลิ่มเกลือ (frost and salt wedging) คือ การผุพังเนื่องจากหินที่มีน้ำหรือเกลือ เป็นองค์ประกอบหรือแทรกอยู่ตามรอยแตก โดยน้ำจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อกลายเป็นน้ำแข็ง และเกลือสามารถขยายตัวได้เมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นน้ำแข็งหรือการเพิ่มอุณหภูมิให้เกลือ หินจะมีการขยาย-หดตัว และผุพัง
5. กิจกรรมของสิ่งมีชีวิต (biological activity) คือ การผุพังที่เกิดจากการกระทำของทั้งพืช สัตว์และกิจกรรมของมนุษย์

ขนาดของหินบะซอลต์ที่เล็กลงจากการผุทางกายภาพ เมื่อนำมาผสมกับดินก่อนการเพาะปลูกจะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของเนื้อดินที่อัดแน่นให้ โปร่ง พรุนมากขึ้น (Philip S. Callahan, 1995) นอกจากจะพัฒนาลักษณะโครงสร้างของดินให้ดีขึ้นแล้ว จากการทดลองของ Cristan, C.A, (2003) นำหินบะซอลต์บดผสมลงไปในดินในรูปของหินฝุ่น (rock dust) ก่อนการเพาะปลูกและวิเคราะห์ดินหลังการเพาะปลูกพบว่า กรดในดินลดลงและปริมาณธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม โบรอน เหล็ก และ ซิลิกา ในดินเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การผุพังทางเคมี** (chemical weathering) หมายถึง การผุพังจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของแร่ในหิน กลายเป็นแร่ชนิดใหม่ ประกอบด้วย 6 รูปแบบ ดังนี้

1. กระบวนการไฮโดรไลสิส (hydrolysis) คือ กระบวนการที่ไฮโดรเจนไอออน (H+) หรือ ไฮดรอกซิลไอออน (OH–) ของน้ำทำปฏิกิริยากับไอออนของแร่ เช่น

$KAlSi_3O_8 + H_2CO_3 + H_2O \longrightarrow Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+ + 2HCO_3^- + 4SiO_2$

โปแตสเซียมเฟลด์สปาร์ + กรดคาร์บอนิก + น้ำ ⟶ คาโอลีไนต์ + โปแตสเซียม + ไอออนไบคาร์บอเนต + ควอตซ์

2. กระบวนการไฮเดรชัน (hydration) คือ กระบวนการที่แร่ดูดซึมน้ำทำให้แร่ขยายตัว และเนื่องจากกระบวนการไฮเดรชันเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ง่าย ดังนั้นเมื่อแร่มีการสลับกันระหว่างการรับ-เสียน้ำ ทำให้หินมีการขยาย-หดตัว เช่น แร่ฮีมาไทท์ (Fe2O3) เปลี่ยนเป็นแร่ไลมอไนท์

   (2Fe2O3.3H2O) 2Fe2O3 + 3H2O ⟶ 2Fe2O3.3H2O ฮีมาไทท์ + น้ำ ⟶ ไลมอไนท์

3. กระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) คือ กระบวนการที่เกิดจากการรวมตัวกันของแร่ น้ำ และออกซิเจน ทำให้เกิดการเพิ่มประจุบวกหรือลดประจุลบของไอออนลง ผลที่ได้คือคราบสนิมเหล็กสีน้ำตาลตามเม็ดแร่ เช่น แร่ไพไรต์ (FeS2) ถูกออกซิไดส์กลายเป็นกรดกำมะถัน (H2SO4) 2FeS2 + 2H2O + 15O2 ⟶ 2Fe2 (SO4) 3 + 2H2SO4 ไพไรต์ + น้ำ ⟶ เหล็กซัลเฟต + กรดกำมะถัน ต่อมากรดกำมะถันทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO3) และน้ำ เกิดเป็นแร่ยิปซั่ม (CaSO42H2O) H2SO4 + CaCO3 + 2H2O ⟶ CaSO42H2O + H2CO3 กรดกำมะถัน + แคลเซียมคาร์บอเนต + น้ำ ⟶ ยิปซั่ม

4. กระบวนการรีดักชัน (reduction) คือ กระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาตรงกันข้ามกับกระบวนการออกซิเดชัน โดยส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่มีน้ำขัง ในสภาพไร้อากาศ หรือไม่มีออกซิเจนอิสระเนื่องจากมวลน้ำปิดทับ เช่น กระบวนการรีดักชันที่เปลี่ยนเหล็กเฟอร์ริก (Fe3+) ไปเป็นเหล็กเฟอร์รัส (Fe2+) ถือเป็นการคายหรือคืนสภาพตัวเองของไอออนเหล็กให้สามารถละลายได้ง่ายขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. กระบวนการคาร์บอเนชัน (carbonation) คือ กระบวนการที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ทำปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นกรดคาร์บอนิก หรือ ฝนกรด (acid rain) ซึ่งฝนกรดนั้นเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมคาร์บอเนต หรือหินปูน ทำให้หินปูนผุพังกลายเป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนต (Ca(HCO3) 2) CaCO3 + H2O + CO2 ⟶ Ca (HCO3) 2 แคลเซียมคาร์บอเนต + น้ำ + คาร์บอนไดออกไซด์ ⟶ แคลเซียมไบคาร์บอเนต

6. กระบวนการละลาย (dissolution) คือ กระบวนการที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายแร่ธาตุที่ละลายได้ออกไป เช่น แคลเซียมไบคาร์บอเนต (Ca (HCO3) 2) ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอเนชัน สามารถละลายและถูกชะล้างออกได้ด้วยน้ำ นอกจากนี้แร่เฮไลด์ ยิปซั่ม แคลไซต์ ยังสามารถละลายและชะล้างไปได้ด้วยน้ำ ซึ่งถือว่าเป็นการผุพังทางเคมีโดยตรงที่ไม่ต้องอาศัย

ปฏิกิริยาที่ซับซ้อนเหมือนกับกระบวนการอื่นๆ $CaCO_3 + H_2CO_3 + 2H^+ \longrightarrow 2H_2O + 2CO_2 + Ca^{2+}$ แคลไซต์ + กรดคาร์บอนิก+ ไอออนไฮโดรเจน ⟶ น้ำ + คาร์บอนไดออกไซด์ + ไอออนแคลเซียม

จากกระบวนการผุพังทางเคมีของหินบะซอลต์ทำให้เกิดธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชมากมายทั้งในรูปไอออนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้เลย เช่น $K^+$ , $Ca^{++}$ ,$Mg^{++}$ ,$Fe^{++}$ หรือสะสมในหินบะซอลต์ผุโดยพืชดูดซึม (assimilation) ธาตุอาหารเหล่านั้นไปใช้ผ่าน

กระบวนการต่าง ๆ ในระบบการหมุนเวียนธาตุอาหาร (Nutrient cycling) เช่น การตรึงไนโตรเจน (Processes of nitrogen cycling) หรือการดูดซึมฟอสฟอรัสในวัฏจักร (Phosphorus cycle) เป็นต้น

**ระดับของการผุพังของหิน (Degree of weathering)** ระดับของการผุพังของหินเริ่มจากการผุกร่อนเพียงเล็กน้อยไปจนถึงผุกร่อนโดยสมบูรณ์แบ่งได้ 6 ระดับดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1 ตารางแสดงระดับของการผุพังของหิน

| ระดับการผุกร่อน (ไทย) | ระดับการผุกร่อน (อังกฤษ) | ลักษณะ | Degree |
|---|---|---|---|
| ไม่มีการผุกร่อน | Fresh | ไม่มีร่องรอยของวัสดุหินผุกร่อนที่มองเห็นได้ อาจเปลี่ยนสีเล็กน้อยบนพื้นผิว | I |
| ผุกร่อนเล็กน้อย | Slightly weathered | สภาพดินฟ้าอากาศทำให้วัสดุหินเปลี่ยนสีจากการผุกร่อนแต่เกิดขึ้นบนพื้นผิวแบบไม่ต่อเนื่อง | II |
| ผุกร่อนปานกลาง | Moderately weathered | ปริมาณการผุกร่อนน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของแร่ที่อยู่ในหิน | III |
| ผุกร่อนสูง | Highly weathered | ปริมาณการผุกร่อนมากกว่าครึ่งหนึ่งของแร่ที่อยู่ในหิน | IV |
| ผุกร่อนอย่างสมบูรณ์ | Completely weathered | วัสดุหินทั้งหมดถูกย่อยสลาย | V |
| ดินจากการผุกร่อน | Residual soil | กลายเป็นดินจากการผุกร่อน | VI |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา : Degrees of rock mass weathering (BS5930, 1981)

ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้การผุของหินบะซอลต์ในลำดับที่ 6 กล่าวคือ คุณสมบัติทั้งหมดของหินถูกทำลายด้วยกระบวนการผุกร่อนหมดแล้ว ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าการผุระดับนี้จะมีความลึกที่ 0.4-1.0 เมตร (นิคม จึงอยู่สุข, 2541 ; กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

**หินบะซอลต์ผุกับการเกษตร** การเพิ่มสารอาหารลงไปในดินด้วยการใช้วัตถุจากธรรมชาติมีมานานแล้ว เช่น การใช้เถ้าภูเขาไฟทดลองปลูกอ้อยครั้งแรกในปี ค.ศ. 1937 พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ดี และการใช้ Volcanic Basalt ผสมในดินเพื่อทำการเกษตรพบว่าคุณสมบัติของดินดีขึ้น เหมาะสมต่อการเพาะปลูก (Philip ,1950) นอกจากนี้ในการทดลองของ Jian Feng Ma ในปี 2012 โดยนำ เถ้าภูเขาไฟผสมกับดินทดลองปลูกพืชแล้วนำผนังเซลล์ของพืชที่เจริญเติบโตจากการทดลอง มาตรวจสอบพบว่าผนังเซลล์ที่เจริญเติบโตจากการใช้ดินผสมกับเถ้าภูเขาไฟมีความแข็งแรงต้านทานโรคและแมลงดีกว่าพืชที่ปลูกในสภาพปกติ การปลูกส้มในดินที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเกษตรในประเทศบราซิล ด้วยการผสมหินบะซอลต์บดขนาดต่างกัน 3 ระดับคือ ละเอียด หยาบและขนาดก้อนกรวด พบว่าส่วนผสมของหินบะซอลต์บดละเอียดให้ผลผลิตส้มดีที่สุดและผลผลิตได้เป็น 2 เท่าของส่วนผสมอื่น (Stanley W.Buol, 2009) การนำปุ๋ยจากแร่ (Mineral fertilizer) ธรรมชาติมาใช้ปรับปรุงดินแพร่หลายในงานวิจัยจากหลายประเทศแถบทวีปแอฟริกาเพราะคุณภาพของดินประเทศเหล่านี้ มีขีดจำกัดและไม่เอื้อต่อการเกษตร (Hugh Lovell, 2558)

**หินบะซอลต์ในประเทศไทย** หินบะซอลต์ เป็นหินภูเขาไฟ ที่มีปริมาณธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีความหลากหลายด้านชนิดและปริมาณ (กรมทรัพยากรธรณี, 2551) ในประเทศไทยพบหินบะซอลต์ได้ทุกภูมิภาค ภาคเหนือ พบบริเวณแนวเทือกเขาของจังหวัด เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ตาก ลำปาง แพร่ น่านและสุโขทัย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบบริเวณที่ราบสูงโคราช จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ อุบลราชธานี เลย ภาคตะวันออก พบที่จังหวัดจันทบุรี ตราด สระแก้ว ภาคตะวันตกพบที่ จังหวัดกาญจนบุรี และภาคกลางพบที่ จังหวัดลพบุรีและเพชรบูรณ์ องค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ $SiO_2$ 45-55% $Al_2O_3$ 14% CaO 10% FeO 5-14% MgO 5-12% $TiO_2$ 0.5-2.0% และ Total alkalis 2-6% ตามลำดับ จากงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณประโยชน์ของ หินบะซอลต์นอกจากจะใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมแล้ว ด้านเกษตรกรรมก็มีความโดดเด่นในการใช้ปรับปรุงและฟื้นฟูสภาพดิน เป็นอาหารเสริม หรืออาจใช้เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมธาตุอาหารจากดิน ซึ่งเป็นการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร แต่ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบในหิน/แร่ หรือดินที่ได้จากการผุกร่อนของหิน/แร่ ไม่สามารถนำมาใช้กับพืชได้

ทั้งหมด ขึ้นอยู่กับชนิดและอิออนของธาตุ ที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ และขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมโดยรอบ เช่น ความชื้น ค่า pH ของดิน ระยะเวลาสลายตัว เป็นต้น ดังนั้นปริมาณหรืออัตราส่วนที่นำมาใช้ต้องทำการศึกษาและวิจัยในพืชแต่ละชนิดเพื่อให้ได้ธาตุอาหารพืชสูงสุดจากแหล่งกำเนิดธาตุอาหารตามธรรมชาติเหล่านั้น

หินและแร่เป็นวัสดุต้นกำเนิดดินและเป็นทรัพยากรธรณีที่ใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม หรือเรียกว่าแร่เกษตร (Agrominerals) เป็นธรณีวัตถุ หิน แร่ ซากดึกดำบรรพ์ ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยนำมาใช้งานได้ทั้งเป็นวัตถุดิบและการแปรรูปอย่างง่าย เช่น การบดละเอียด การบดหยาบ หรือ การแปรรูปโดยใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น rock fertilizers หรือ petrofertilizers

งานวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวกับหินบะซอลต์ในประเทไทย จะมุ่งเน้นไปทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม ในทางการเกษตร กรมทรัพยากรธรณีและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเริ่มเห็นความสำคัญและทำการสำรวจอย่างจริงจังเมื่อปี พ.ศ. 2551 จึงถึงปัจจุบัน เหตุผลหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยด้านหินบะซอลต์กับการเกษตรอยู่ในวงจำกัด อาจเป็นเพราะแหล่งหินบะซอลต์ส่วนใหญ่ที่มีศักยภาพจะอยู่ในเขตพื้นที่หวงห้าม เช่น อุทยานแห่งชาติ วนอุทยาน เขตอนุรักษ์ เป็นต้น จากข้อมูลการวิเคราะห์ธาตุอาหารที่สำคัญของพืชในหินบะซอลต์และหินบะซอลต์ผุ (ppm) ในจังหวัดบุรีรัมย์ สุรินทร์ และ ศรีสะเกษ ของกรมทรัพยากรธรณี ปี พ.ศ. 2551 แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชในหินบะซอลต์และหินบะซอลต์ผุ ในจังหวัด บุรีรัมย์ สุรินทร์ และ ศรีสะเกษ

| พื้นที่ | P | K | Ca | Mg | S |
|---|---|---|---|---|---|
| บุรีรัมย์ (ผุ) | 678 | 352 | 649 | 316 | 1 |
| สุรินทร์ (สด) | 346 | 475 | 1,589 | 89 | 41 |
| ศรีสะเกษ (ผุ) | 313 | 259 | 670 | 306 | 45 |

ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี (2551

ผลการศึกษาหินบะซอลต์ผุในประเทศไทยพบสมบัติทางเคมีและสภาพการผุสลายที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณธาตุอาหารพืชในหินบะซอลต์ผุในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน โดยพบโพแทสเซียม กำมะถัน เหล็ก และคลอรีน ในหินบะซอลต์มีมากกว่าในหินบะซอลต์ผุ แต่พบแคลเซียมและแมกนีเซียมในหินบะซอลต์ผุมีปริมาณมากกว่าในหินบะซอลต์สด ส่วนฟอสฟอรัส แมงกานีสและสังกะสี โดยส่วนใหญ่มีปริมาณไม่แตกต่างกันมากนัก (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

ปริมาณธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อพืชที่เด่นชัด ได้แก่ K, Ca และ Mg ซึ่งสามารถนำหินบะซอลต์ผุผสมกับดินในขั้นตอนการเตรียมดินก่อนปลูกเพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้กับพืชได้ทันที ปริมาณฟอสฟอรัสที่พบในหินบะซอลต์ผุ ได้แก่ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี อำเภอขุนหาน จังหวัดศรีสะเกษ และ อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์ โพแทสเซียม พบมากที่สุดที่ อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอเชียงยืน จังหวัดอุบลราชธานี และอำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ ตามลำดับ แมกนีเซียม พบมากที่ อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี และอำเภอน้ำยืน จังหวัดอุบลราชธานี

ตารางที่ 3 ข้อมูลทุติยภูมิธาตุอาหารพืชในหินบะซอลต์และหินบะซอลต์ผุ ในอำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

| ชนิด/ธาตุอาหาร | P (ppm) | K (ppm) | Ca (ppm) | Mg (ppm) | S (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| หินบะซอลต์ | 218 | 133 | 1,146 | 256 | 43 |
| หินบะซอลต์ผุ | 678 | 352 | 649 | 316 | 1 |

ที่มา : กรมทรัพยากรธรณี (2551)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

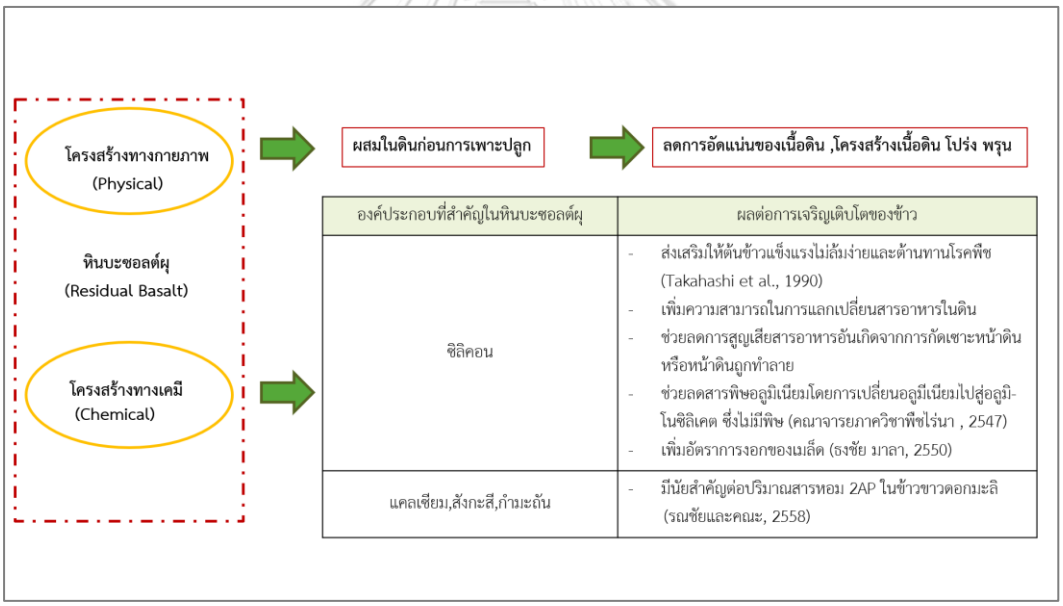
งานวิจัยที่นำหินบะซอลต์และหินบะซอลต์ผุเพื่อปรับปรุงดิน เช่น Markus Anda (2006) นำหินบะซอลต์บดละเอียดและแกลบหมักมาใช้ในการปรับปรุงดินพบว่า หินบะซอลต์และแกลบหมักมีความสามารถในการสร้างประจุลบในดินซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถของดินในการกักเก็บไอออนบวก นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเข้มข้นของไอออน Ca, Mg, K, Na และ Si อย่างมีนัยสำคัญในดินอีกด้วย Shazana et al. (2014) ศึกษาผลของการใช้หินบะซอลต์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ต่อความอุดมสมบูรณ์ในดินที่เป็นกรดและการเจริญเติบโตของข้าว ก่อนการทดลองทราบว่าข้าวที่ปลูกในดินเปรี้ยวจัด จะได้ผลผลิตที่ต่ำมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากความเป็นพิษของ $Al^{+}$ 3 และ หรือ /$Fe^{+}$ 2 ผลของการศึกษาในการแก้ปัญหานี้โดยใช้หินบะซอลต์พบประโยชน์ที่ชัดเจนของหินบะซอลต์ในการแก้ไขภาวะของการขาดความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เป็นกรดซัลเฟต ผลการปรับสภาพดินเทียบได้กับการใช้หินปูนแมกนีเซียม ทางเลือกที่ดีที่สุดคือการใช้หินบะซอลต์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ในระยะเวลา 2 เดือน ก่อนการย้ายต้นกล้ามาปักดำในนา จะสามารถลด Al และ หรือ /Fe ในดิน Gillman et al. (2001) ศึกษาการใช้หินบะซอลต์ในการลดความผุกร่อนของดินที่มีการผุกร่อนสูงโดยเลือกตัวอย่างดินที่พื้นผิว (0–10 ซม.) จากดินที่มีการผุกร่อนสูง 7 แห่งในเขตร้อนชื้นของควีนส์แลนด์ บ่มเป็นเวลา 3 เดือนที่อุณหภูมิห้องและผสมด้วยผงหินบะซอลต์ 2 ขนาดคือ <150 μm และ 40 μm พบว่าฝุ่นหินบะซอลต์ทำให้ค่า pH ของดินเพิ่มขึ้นตามที่ต้องการและช่วยลดปริมาณของไอออนบวกที่เป็นกรดที่แลกเปลี่ยนได้ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของดินและเพิ่มปริมาณของไอออนบวกในดินด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยส่วนใหญ่ประเทศที่มีการพัฒนาทางการเกษตร เกษตรกรจะนำเอาเทคโนโลยีและหลักวิชาการมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น สหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน และประเทศในกลุ่มยุโรป ประเทศเหล่านี้ ใช้งานวิจัยไปพัฒนาแร่ธาตุและสารประกอบต่างๆ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของดิน รวมถึงการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดินให้มีความร่วนซุย ระบายน้ำระบายอากาศได้ดี หนึ่งในสารอาหารพืชที่ถูกนำมาใช้และกล่าวถึงมากชนิดหนึ่งคือ ซิลิก้า ($SiO_2$) พบปริมาณมากในหินบะซอลต์ผุ สารอาหารธรรมชาติที่มีสารซิลิคอนผสมอยู่สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ประเภทแรกอยู่ในรูปของแข็ง (ผลึกคริสตัล) ที่ประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ ทราย (ซิลิก้า: $SiO_2$ ) และ ดินเหนียว (ซิลิเกต : $SiO_2$) ประเภทที่สองจะอยู่ในรูปแบบของเหลว ซึ่งพืชสามารถดูดซึมได้ทันที ได้แก่ กรดซิลิซิค ($H_4$ $SiO_4$) การย่อยสลายซิลิเคต ที่อยู่ในรูปของผลึก ไปสู่การเป็นของเหลวที่เรียกว่า กรดออร์โทซิลิซิค นั้น จะต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายสามขั้นตอน ได้แก่

กระบวนการทางกลศาสตร์ กระบวนการทางเคมี และ กระบวนการทางชีววิทยา (พงศ์เทพ อันตะริกานนท์, 2556)

ในประเทศไทยมีงานวิจัยที่ใช้ซิลิคอนร่วมกับสารอาหารพืชประเภทอื่นเพื่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะในข้าว W. Wattanapay et al. (2011) ศึกษาผลของซิลิคอนในการลดการระบาดของโรคใบไหม้และการเพิ่มผลผลิตข้าวอินทรีย์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่า ซิลิคอนสามารถลดการระบาดของโรคได้ 75-83 % และผลผลิตเมล็ดข้าวสูงสุดเมื่อใช้ซิลิคอนในอัตรา 1,000 กก. $Ha^{-}$ 1 โดยผลผลิตเพิ่มขึ้น 19-43% สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร (2550) ศึกษาซิลิคอนและความเค็มในนาข้าวพบว่า การให้ซิลิคอนในสภาวะที่ได้รับเกลือสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีระวิทยาข้าว โดยการเพิ่มการดูด $K^{+}$ และยับยั้งการดูด $Na^{+}$ ในข้าว ดังนั้นจึงช่วยบรรเทาความเป็นพิษของเกลือที่มีต่อข้าวและเพิ่มความสามารถในการทนต่อเกลือได้ดีขึ้น




รูปที่ 4 โครงสร้างทางกายภาพ (Physical) และโครงสร้างทางเคมี (Chemical) ของหินบะซอลต์ผุที่มีผลต่อคุณภาพของดินและการเจริญเติบโตของข้าว
ที่มา : ดัดแปลงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2553)

**2.3 ดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ดินเสื่อมโทรม (Soil degradation) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

ดิน ตามความหมายของราชบัณฑิตยสถาน (2516 ) หมายถึง วัตถุชั้นบางๆ ที่ปกคลุมอยู่บนผิวโลก ส่วนใหญ่มีอนินทรียวัตถุทั้งสามสถานะคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซผสมผสานกันอย่างซับซ้อน ดินมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์และพืช

ดิน (Soil) หมายถึง เทหวัตถุธรรมชาติ ซึ่งเกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกเป็นวัตถุที่ค้ำจุน การเจริญเติบโตและการทรงตัวของต้นไม้ ประกอบด้วยแร่ธาตุ และอินทรียวัตถุและมีลักษณะชั้นแตกต่างกัน ซึ่งแต่ละชั้นที่อยู่ต่อเนื่องกันจะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ตามขบวนการกำเนิดดินที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการกระทำร่วมกันของภูมิอากาศ พืชพรรณ วัตถุต้นกำเนิดดิน ระยะเวลา และ ความต่างระดับของพื้นที่ในบริเวณนั้น (บรรเจิด, 2523)

ที่ดิน (Land) หมายถึง อสังหาริมทรัพย์อย่างหนึ่ง หรือเป็นพื้นที่บริเวณหนึ่งบนผิวโลกแบ่งอาณาเขตตามที่มนุษย์กำหนดไว้ (บรรเจิด, 2523)

คุณภาพของดิน (Soil Quality) หมายถึง ความสามารถเฉพาะของดินในการทำหน้าที่ภายในขอบเขตของดินนั้นๆ ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เช่น เพื่อค้ำจุนพืชพรรณที่ขึ้นอยู่บนดินนั้น เพื่อเป็นแหล่งเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เพื่อรักษาไว้หรือเพิ่มพูนคุณภาพของน้ำและอากาศ เพื่อช่วยให้มนุษย์ได้ดำรงซึ่งชีวิตและแหล่งที่อยู่อาศัยที่มีคุณภาพ

**ความอุดมสมบูรณ์ของดิน** การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil Fertility Evaluation) คือการประเมินความสามารถที่ดินจะให้ธาตุอาหารแก่พืชส่วนหนึ่งเป็นการประเมินระดับธาตุอาหารในดินโดยตรงและอีกส่วนหนึ่งเป็นการประเมินสถานภาพหรือคุณสมบัติที่ส่งผลหรือเกี่ยวข้องกับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ( ปัทมา วิตยากร แรมโบ, 2558) ในการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน เราต้องทราบว่ามีปัจจัยด้านธาตุอาหารใดที่มีผลต่อผลผลิตของพืช ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่จะให้ปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับพืชหนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น คุณภาพของดิน พันธุ์พืช การจัดการและสิ่งแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น

**วิธีการประเมินคุณภาพที่ดิน** วิธีการหรือระบบการประเมินคุณภาพดินที่นำมาใช้ในประเทศไทยมีอยู่หลายระบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำดินนั้นไปใช้เพื่อกิจการใด เราสามารถแยกได้ ระบบดังนี้ 3

1.ระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA.system)

2.ระบบสำนักงานฟื้นฟูที่ดินของกระทรวงมหาดไทยสหรัฐอเมริกา (USBR.system)

3.ระบบขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ( FAO.System)

ระบบทั้งสามมีวิธีการประเมินที่แตกต่างกันโดยเฉพาะการจัดชั้นคุณภาพของดิน (Land evaluation classes) แต่คุณสมบัติของดินที่นำมาใช้เป็นบรรทัดฐาน (Criteria) ในการประเมินนั้นมีลักษณะใกล้เคียงกัน

(กรมพัฒนาที่ดิน, 2533)

**ตัวชี้วัดสำหรับการประเมินคุณภาพดิน** (indicators for soil quality evaluation) หมายถึง กระบวนการคุณลักษณะหรือคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีหรือทางชีวิภาพของดินที่สามารถวัดค่าเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นได้ ชนิดตัวชี้วัดคุณภาพดินมีหลายประเภท การคัดเลือกตัวชี้วัดคุณภาพของดินให้มีประสิทธิภาพสูงสุดขึ้นอยู่กับกลไกและรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต้องการศึกษาหรือพื้นที่ที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งการคัดเลือกชนิดของตัวชี้วัดควรครอบคลุมถึงกลไกของดินที่สำคัญ ได้แก่

- ปรับสภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพเพื่อการเป็นที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมสำหรับสัตว์และจุลินทรีย์ที่อาศัยในดิน

- จัดแบ่งสัดส่วนขององค์ประกอบของดินซึ่งได้แก่ น้ำ อากาศ อินทรียวัตถุ และอนินทรียวัตถุที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดการสะสมและการหมุนเวียนขององค์ประกอบของน้ำ อากาศและธาตุอาหารที่เหมาะสมแก่การใช้ประโยชน์ต่อพืช

- เป็นแหล่งที่เกิดกิจกรรมทางชีวภาพและเป็นแหล่งของความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์และพืช

- เป็นที่กรองหรือที่ดูดซับสารพิษในดิน

**การแปลค่าความหมายตัวชี้คุณภาพของดิน** การแปรค่าที่ได้จากการประเมินเชิงปริมาณของตัวชี้คุณภาพของดินเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดระหว่างการประเมินคุณภาพของดินในระยะยาวและการประเมินคุณภาพดินแบบเป็นช่วงซึ่งเกิดขึ้นแบบไม่แน่นอนเป็นสิ่งที่สำคัญที่ผู้ทำการศึกษาควรแยกให้ถูกต้องเพื่อที่จะสามารถประเมินคุณภาพของดินให้ถูกต้องตามเป้าหมายและสามารถคัดเลือกวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ค่าการศึกษาตัวชี้คุณภาพดินแต่ละชนิดมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ควบคุมและเกี่ยวข้องกับตัวชี้นั้นๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งผู้ทำการประเมินคุณภาพของดินควรมีความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ และลักษณะที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปลี่ยนแปลงของตัวชี้คุณภาพดินด้วย เช่นความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินขึ้นอยู่กับปริมาณอินทรียวัตถุในดินและปริมาณอนุภาคของดินเหนียวในดิน ชนิดของอนุภาพดินเหนียวยังเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดินอีกด้วย

**การประเมินที่ดินสำหรับนาข้าว** เกณฑ์จะแตกต่างไปจากการประเมินคุณภาพที่ดินสำหรับปลูกพืชไร่ ทั้งสภาพดินและสภาพพื้นที่ ปริมาณน้ำที่ต้องการ (water requirement) และปัจจัยอื่นๆ อีกหลายอย่าง แบ่งความเหมาะสมได้ 5 ชั้นดังนี้

ชั้นที่ 1(P-I) ประกอบด้วยดินที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการปลูกข้าว แทบไม่มีข้อจำกัดใดใด

ชั้นที่ 2(P-II) ประกอบด้วยดินที่เหมาะสมอย่างดีในการปลูกข้าว มีข้อจำกัดเพียงเล็กน้อย

ชั้นที่ 3(P-III) ประกอบด้วยดินที่เหมาะสมปานกลางในการปลูกข้าว มีข้อจำกัดสูงกว่าชั้นที่ 2

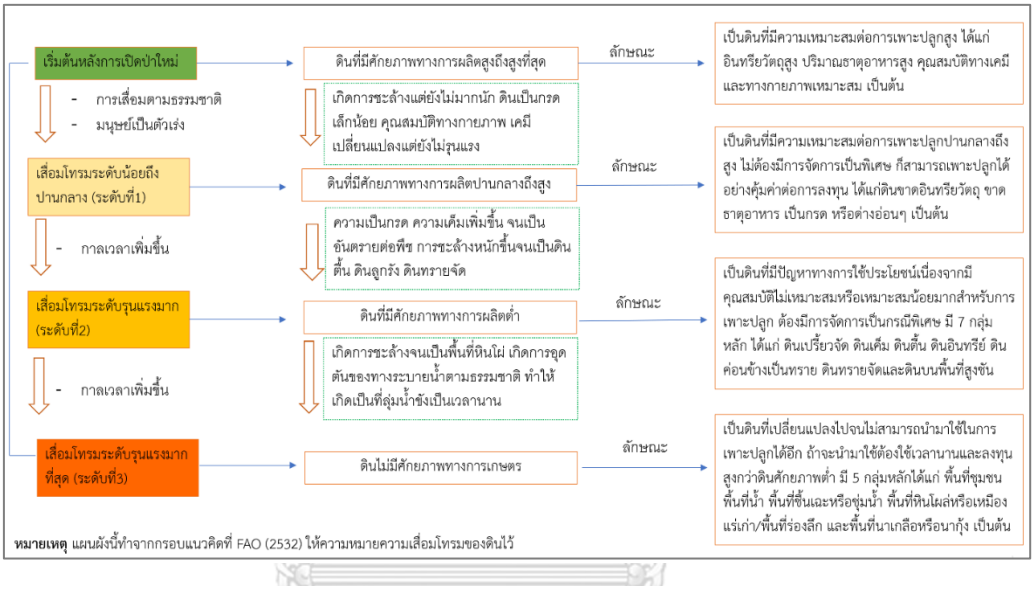
ชั้นที่ 4(P-IV) ประกอบด้วยดินที่ค่อนข้างไม่เหมาะสมในการปลูกข้าว มีข้อจำกัดมาก เช่น ดินทรายจัด ดินตื้นมีลูกรังปนอยู่มาก และอื่น ๆ

ชั้นที่ 5(P-V) ประกอบด้วยดินที่ไม่เหมาะสมในการปลูกข้าวเลย เช่นดินที่เกิดในพื้นที่สูง ไม่สามารถเก็บกักน้ำได้ หรือ ดินเค็มจัด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2533)

**ดินเสื่อมโทรม (Soil degradation)** หมายถึง ดินที่อยู่ในสภาพที่ไม่เอื้อต่อการผลิตทางการเกษตร ศักยภาพในการผลิตของดินลดลงหรือไม่อาจใช้ประโยชน์จากดินได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากคุณสมบัติของดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

**ที่ดินเสื่อมโทรม (Land Degradation)** ความเสื่อมโทรมของที่ดิน (Land Degradation) มีผู้ให้คำนิยาม/ความหมายไว้มากมาย เช่น องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ )Food and Agriculture Organization – FAO, 2532) ให้นิยามความเสื่อมโทรมของที่ดิน หมายถึง การเสื่อมกำลังการผลิตพืชในเชิงปริมาณหรือคุณภาพหรือทั้งสองอย่างของที่ดิน เป็นผลมาจากการชะล้างดินโดยน้ำหรือลม การสูญเสียโครงสร้างที่ดีของดิน และที่สำคัญคือ พื้นที่ทิ้งร้างที่ปล่อยว่างเปล่าไม่ได้ใช้ประโยชน์ก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม การเสื่อมโทรมของดินมีผลโดยตรงต่อการเกษตรและป่าไม้ กรมพัฒนาที่ดิน (2540) ให้นิยามไว้ว่าความเสื่อมโทรมของดินคือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของดินจนทำให้ดินนั้นมีคุณภาพลดลงไม่สามารถใช้เพื่อการเกษตรได้อย่างถาวรและให้ผลผลิตคงที่ตลอดไป โดยมีผลมาจากขาดการจัดการดินที่ถูกต้อง

**ดินศักยภาพต่ำทางการเกษตร (Low Potential Soil)** วิชัย และคณะ (2544) ให้ความหมายว่าเป็นดินที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตพืชต่ำเพราะดินที่มีคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง ดินที่ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกพืช การจะนำพื้นที่ดังกล่าวมาใช้ปลูกพืชเศรษฐกิจจำเป็นต้องมีการจัดการเป็นกรณีพิเศษ แบ่งเป็น 7 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) ดินเปรี้ยว 2) ดินเค็ม 3) ดินอินทรีย์ 4) ดินทรายจัด 5) ดินค่อนข้างเป็นทราย 6) ดินตื้น 7) ดินบนพื้นที่สูงชัน



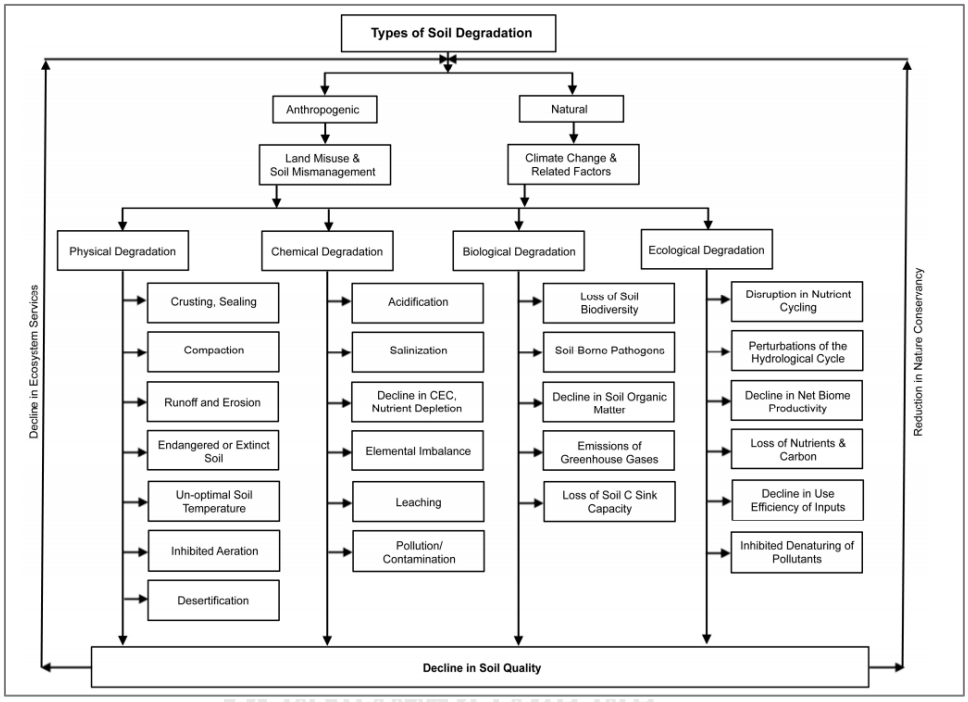

รูปที่ 5 แผนผังกระบวนการเกิดความเสื่อมโทรมของดินที่สอดคล้องกับศักยภาพการผลิตของดินทางการเกษตร

ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ดินเสื่อมโทรมในงานวิจัยครั้งนี้คือดินที่มีความเสื่อมโทรมระดับที่ 1 หมายถึง ดินที่สามารถเพาะปลูกได้ แต่ต้องมีการจัดการที่เหมาะสมจึงจะคุ้มทุนในการเพาะปลูก เพราะดินขาดอินทรียวัตถุและธาตุอาหาร ดินเป็นกรด หรือ ด่างอ่อนๆ โดยการจัดระดับความเสื่อมโทรมของดินที่สอดคล้องกับศักยภาพการผลิตของดินทางการเกษตรของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2553

**ปัญหาดินเสื่อมโทรม** เกิดจาก 2 สาเหตุหลัก คือธรรมชาติและมนุษย์ สาเหตุจากธรรมชาติ ได้แก่ ภัยธรรมชาติ และปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมของโลก (Climate change ) สาเหตุจากมนุษย์ ได้แก่ การใช้ที่ดินผิดประเภทและการจัดการที่ดินไม่เหมาะสม ดินเสื่อมโทรมคือดินที่เสื่อมสภาพแบ่งเป็น 4 ด้านได้แก่ เสื่อมสภาพทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ และระบบนิเวศน์ ดังในภาพแสดง




รูปที่ 6 ความหลากหลายของปัญหาดินเสื่อมโทรม ที่มา : Rattan Lal (2015)

ปัญหาดินเสื่อมโทรมในประเทศไทยเกิดจากการพังทลายหน้าดินและการสูญเสียหน้าดินโดยธรรมชาติ เช่น การชะล้าง การกัดเซาะของน้ำและลม ปัญหาจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การทำลายป่า เผาป่า การเพาะปลูกผิดวิธี ก่อให้เกิดการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทำให้ใช้ประโยชน์จากที่ดินได้น้อยลงปัญหาการใช้ที่ดินไม่เหมาะสมกับสมรรถนะของที่ดิน และไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรมอย่างไม่ถูกหลักวิชาการ ขาดการบำรุงรักษาดิน การปล่อยให้ผิวดินปราศจาก พืชปกคลุม ทำให้สูญเสียความชุ่มชื้นในดิน การเพาะปลูกแบบพืชชนิดเดียวซ้ำๆ เร่งเพาะปลูกโดยไม่เว้นระยะพักดิน การใช้ปุ๋ยเคมีและยากำจัดศัตรูพืช เพื่อเร่งผลผลิต และตอบสนองด้านปริมาณ สิ่งเหล่านี้ ทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ และมีสารพิษ

ตกค้างอยู่ในดิน โดยสรุปการจำแนกความเสื่อมคุณภาพของดินได้ดังนี้ 1) การพังทลายของดิน 2) การเสื่อมโทรมของดิน 3) การขาดความอุดรสมบูรณ์ของดินเนื่องจากการปลูกพืชไม่ถูกวิธี และ 4) ดินเป็นพิษจากสารเคมีปราบศัตรูพืชและปุ๋ยเคมี (กรมวิชาการเกษตร, 2554)

**การแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรม** ดินเสื่อมโทรมหรือดินขาดคุณภาพนั้นจะมีขอบเขต และ กระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ ในพื้นที่เดียวกัน ขึ้นอยู่กับระยะเวลา ลักษณะภูมิศาสตร์ และปัจจัยที่ทำให้ดินเสื่อมโทรม เช่น ปัจจัยทางด้านกายภาพ ได้แก่ การลดลงของเนื้อดิน โครงสร้างเนื้อดินถูกบีบอัด ปริมาณออกซิเจนในดินต่ำ ปัจจัยทางด้านเคมี ได้แก่ ดินเป็นกรด ดินเค็ม ดินมีความพร่องด้านปริมาณธาตุอาหารของพืช ปัจจัยด้านชีวภาพ ได้แก่ การพร่อง และการลดลงของ SOC ในดิน การลดลงของความหลากหลายทางชีวภาพ การลดลงของชีวมวลของจุลินทรีย์ ปัจจัยด้านระบบนิเวศน์ ได้แก่ การหมุนเวียนองค์ประกอบของธาตุในดินไม่สมดุล เป็นต้น เมื่อทราบสาเหตุของการเกิดดินเสื่อมโทรม เราสามารถแก้ไขปัญหาโดยการ เพิ่มหรือเติมสิ่งที่พร่องลงไปในดินเพื่อให้เกิดความสมดุล โดยกลยุทธ์ที่สำคัญในการฟื้นฟู (soil restoration) และลดความเสี่ยงต่อการเสื่อมโทรมของดิน ได้แก่ การลดปัจจัยที่ทำให้เกิดการกัดเซาะหรือพังทลายหน้าดิน เช่น การทำคันดินขวางความลาดชันของพื้นที่ การปลูกพืชขั้นบันได การปลูกพืชขวางความลาดชัน การปลูกพืชคลุมดิน การสร้างระบบนิเวศในดินโดยการเก็บกักคาร์บอน การเติมธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุ ลงในดิน การเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพในดิน โดยสร้างความสมดุลของกระบวนการจุลินทรีย์ในดินและจุลินทรีย์ในระบบรากพืช เป็นต้น การแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรมนั้น ไม่อาจทำให้ดินกลับมาสมบูรณ์อีกครั้งด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง หากต้องผสมผสานวิธีการและความหลากหลายอย่างต่อเนื่อง ถูกต้องและเหมาะสมกับความต้องการของพืชที่ใช้ปลูก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

**แนวทางในการปรับปรุงดินที่เสื่อมโทรม**

การปรับปรุงดินทางกายภาพ คือ การปรับสภาพโครงสร้างของดินให้เอื้อต่อการเจริญเติบโตของรากพืช ทำให้มีช่องว่างสำหรับการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศได้ดี เช่น ดินมีเนื้อละเอียด ผิวดินแน่นทึบ มีการระบายน้ำและอากาศไม่ดี หรือเนื้อดินหยาบไม่เก็บกักน้ำและธาตุอาหาร

การปรับปรุงดินทางด้านเคมี คือ การปรับสภาพของดินให้สามารถรองรับกิจกรรมทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิตซึ่งรวมถึงรากพืชและต้นด้วย เป็นการทำให้ดินมีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอและสมดุล ธาตุอาหารต่างๆ สามารถละลายและเป็นประโยชน์ได้ หรือการจัดการเพื่อลดโอกาสในการสูญเสียธาตุ

อาหาร ซึ่งในกระบวนการปรับปรุงดินด้านเคมีนั้น มีความละเอียดและซับซ้อนนอกจากจะทราบปริมาณธาตุอาหารในดินจากการวิเคราะห์หรือความต้องการธาตุอาหารของพืชที่ปลูกแล้ว การทำความเข้าใจสิ่งแวดล้อมก็เป็นปัจจัยสำคัญในการลดอัตราการสูญเสียของธาตุอาหารได้ เช่น ถ้าดินมีความเป็นกรด-ด่างสูง ควรปรับสภาพให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (ค่า pH 6 - 7.5) ในกรณีที่ดินเป็นกรดสูง แก้ไขด้วยการเติมปูนขาว โดโลไมท์ เปลือกหอย หรือ ขี้เถ้า แต่ถ้าดินเป็นด่างสูง แก้ไขด้วยการเติมน้ำหมักที่มีความเป็นกรดหรือเติมปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก เพื่อให้ดินอยู่ในสถาวะที่เหมาะสมและในช่วงของการละลายธาตุอาหารออกมาได้ง่ายขึ้น หากดินมีปัญหาการตรึงธาตุอาหาร หรือธาตุอาหารอยู่ในรูปที่ละลายได้ยาก สามารถจัดการด้วยการใช้ปุ๋ยชีวภาพ ในการช่วยการละลายธาตุอาหาร

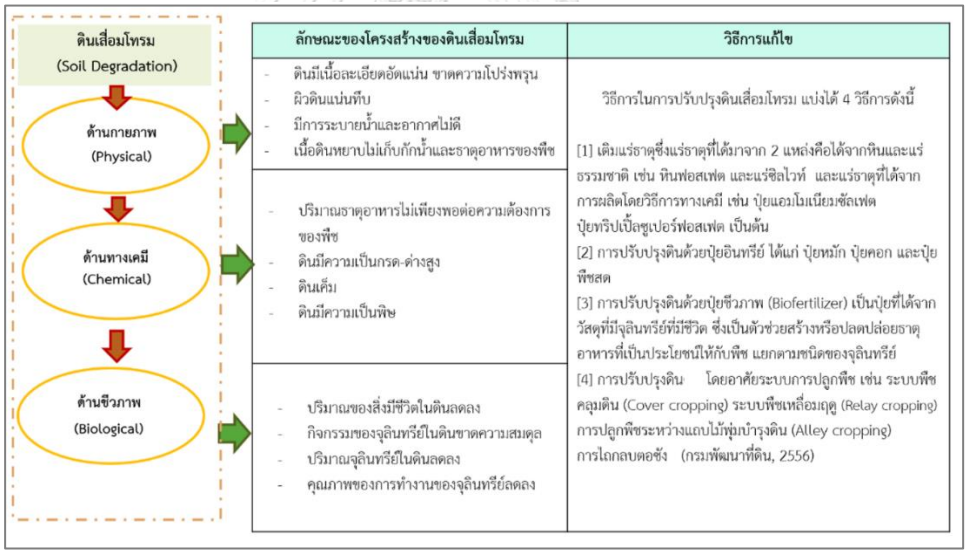
การปรับปรุงดินทางชีวภาพ เป็นการปรับปรุงดินโดยการเติมจุลินทรีย์ลงไปในดินหรือปรับสภาพเพื่อส่งเสริมกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดิน เช่น ปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิตอยู่ และมีคุณสมบัติพิเศษสามารถสังเคราะห์สารประกอบธาตุอาหารพืชได้เอง หรือสามารถเปลี่ยนธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ให้มาอยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้

**วิธีการในการปรับปรุงดินเสื่อมโทรม** แบ่งได้ 4 วิธีการดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

1. เติมแร่ธาตุซึ่งแร่ธาตุที่ได้มาจาก 2 แหล่งคือได้จากหินและแร่ธรรมชาติ เช่น หินฟอสเฟต และแร่ซิลไวท์ รวมถึงแร่ธาตุที่ได้จากการผลิตโดยวิธีการทางเคมี เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยทริปเปิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต เป็นต้น
2. การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก และปุ๋ยพืชสด
3. การปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizer) เป็นปุ๋ยที่ได้จากวัสดุที่มีจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งเป็นตัวช่วยสร้างหรือปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ให้กับพืช แยกตามชนิดของจุลินทรีย์ เช่น จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุไนโตรเจน เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศเพื่อให้พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Azotobacter sp., Bacillus sp. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เชื้อไรโซเบียม ฯลฯ จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุฟอสฟอรัส เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ละลายสารประกอบฟอสเฟตให้เป็นประโยชน์และพืชสามารถนำไปใช้ได้ จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Flavobacterium sp., Pseudomonas sp. ฯลฯ และกลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยละลายและดูดซับธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ให้กับพืชมากขึ้น เช่น เชื้อราไมโคไรซ่า จุลินทรีย์ที่ให้ธาตุโพแทสเซียม เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ปลดปล่อยกรดออกมา เพื่อละลาย แร่ในกลุ่มไมก้า และแร่ในกลุ่มเฟลด์ปาร์ จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Bacillus, biotite และ microcline ช่วยเปลี่ยนธาตุโพแทสเซียมให้อยู่ในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ จุลินทรีย์ที่

ผลิตฮอร์โมน เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ผลิตฮอร์โมนและวิตามิน ซึ่งเป็นสารช่วยกระตุ้นให้พืชเจริญเติบโตได้ดียิ่งขึ้น จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ Azospirillum, Azotobacter และ Bacillus เป็นต้น

4. การปรับปรุงดินโดยอาศัยระบบการปลูกพืช เช่น ระบบพืชคลุมดิน (Cover cropping) ระบบพืชเหลื่อมฤดู (Relay cropping) การปลูกพืชระหว่างแถบไม้พุ่มบำรุงดิน (Alley cropping) การไถกลบตอซัง เป็นต้น ซึ่งการปรับปรุงดินเสื่อมโทรมโดยใช้พืชเป็นวิธีการที่ช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินทั้ง 3 ด้านได้แก่ ด้านกายภาพ ช่วยทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย ง่ายต่อการเตรียมดิน การระบายอากาศในดินเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของน้ำและการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น ด้านเคมีช่วยให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ ด้วยการเพิ่มธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุให้แก่ดิน ซึ่งธาตุอาหารเหล่านี้จะปลดปล่อยสู่ดินจึงเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ในระยะยาว และด้านชีวภาพ ช่วยทำให้ปริมาณและกิจกรรมจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช




*รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างของดินเสื่อมโทรมและวิธีการแก้ไข*

ที่มา: ดัดแปลงจากสถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ :ftip (2020)

**งานวิจัยเกี่ยบกับสารซึ่งเป็นองค์ประกอบในบะซอลต์ผุเพื่อปรับโครงสร้างของดินและการเจริญเติบโตของพืช (ซิลิคอน : Si)**

V.V.Matichenkov (2001) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของซิลิคอนเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าแร่ธาตุและอินทรียวัตถุในดินควบคุมคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน การเติมซิลิคอน (Si) ลงไปในดินจะส่งผลให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยน Cations ในดินเพิ่มขึ้น ความสมดุลของระบบน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างซิลิคอนและธาตุในดินส่งผลให้เกิดไอออนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ นอกจากนี้ยังเกิดแร่ธาตุใหม่จากปฏิกิริยา เช่น Amorphous silica, montmorillonite และ vermiculite แร่ธาตุเหล่านี้เองที่ทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป จากงานวิจัยทำให้ทราบว่า Monosilicic acids จะควบคุมคุณสมบัติทางเคมีของสารละลายในดินและ Polysilicic acids จะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

กรมทรัพยากรธรณี (2542) ศึกษาการใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร ได้แก่ หินปูน หินโดโลไมต์ หินเพอร์ไลต์ และหินพัมมิช พบว่าหินปูน หินโดโลไมต์ จะช่วยปรับค่า pH ในดิน กรณีที่ดินขาดแคลเซียมและแมกนีเซียมก็จะช่วยเสริมธาตุเหล่านี้ในดิน การปรับสภาพดินเป็นกรดมาก (ค่า pH < 5.5 ) ด้วยการเติมหินปูน และ หินโดโลไมต์บดลงในดิน ในอัตราส่วนที่เหมาะสมนอกจากจะช่วยลดความเป็นกรดในดินแล้วยังช่วยลดความเป็นพิษของธาตุเหล็ก อะลูมินัม และแมงกานีสด้วย ค่า pH ที่เหมาะสมที่พืชสามารถนำฟอสฟอรัสและโมลิบดินัมไปใช้ได้ดี คือ 6.5 – 7 ในการแก้ไขดินเป็นกรดในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณของ หินปูน และหินโดโลไมต์ ที่เติมลงไปควรมีอัตราส่วนที่ต่างกัน ถ้าเติมมากเกินไปจนทำให้ดินเป็นด่าง จะส่งผลให้ฟอสฟอรัส เหล็ก ทองแดง สังกะสี โบรอน แมงกานีส ละลายน้ำได้ยาก พืชจะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การนำหินปูนมาใช้ ควรทราบค่าความเป็นกลาง (neutralizing value) หากหินปูน หรือหินโดโมไลต์ มีค่าความเป็นกลางที่ต่ำกว่า 75% จะไม่เหมาะหากนำมาใช้ในการปรับสภาพดินเพื่อการเกษตร กลุ่มหินภูเขาไฟ ได้แก่ หินเพอร์ไลต์ และหินพัมมิช มีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับที่ดี ช่วยรักษาสมดุลระหว่างน้ำกับอากาศได้ดี ส่วนใหญ่เป็นหินแก้วภูเขาไฟ ซึ่งมีซิลิก้าที่อยู่ในรูปไร้ผลึก (amorphous silica) ซึ่งบางส่วนละลายน้ำได้ในรูปซิลลิซิคแอสสิก ($H_2SiO_4$) พืชจะนำไปใช้สร้างผนังเซล ทำให้พืชแข็งแรงสามารถต้านทานเชื้อราและแมลงบางชนิดได้ ความพรุนของเพอร์ไลต์มีมากกว่าดินเหนียวทั่วไป 5 เท่า สามารถเก็บกักความชื้นไว้ได้ดีกว่าดินทราย 45 เท่า และป้องกันไม่ให้ดินแห้งจนเกินไป

**2.4 การสำรวจทางธรณีวิทยา การสำรวจระยะไกล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

การสำรวจ (Exploration) คือการค้นหาเพื่อบรรลุเป้าหมายของการค้นพบหรือการค้นหาทรัพยากร การสำรวจเกิดขึ้นในทุกสิ่งมีชีวิตที่มีการเคลื่อนไหวรวมถึงมนุษย์ อิทธิพลของการสำรวจเกิดขึ้นอย่างแพร่หลายในช่วงที่นักสำรวจชาวยุโรปใช้เรือออกสำรวจและเขียนแผนที่เกี่ยวกับบริเวณที่ค้นพบ

**การสำรวจทางธรณีวิทยา (Geological exploration)** เป็นกระบวนการในการค้นหาแหล่งแร่ที่มีศักยภาพในเชิงพาณิชย์และมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาในเวลาที่สั้นที่สุดและมีต้นทุนต่ำที่สุด การพัฒนาเทคโนโลยีจึงเป็นเรื่องที่ท้าทายเพื่อตอบสนองการสำรวจในยุคใหม่ ( S.M. Gandhi and B.C. Sarkar, 2016) ให้ประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการสำรวจ โดยหลักต้องคำนึงถึง1 ) การเลือกภูมิประเทศทางธรณีวิทยาที่เหมาะสม 2) การระดมทุนในระดับที่เหมาะสม 3) การนำเทคโนโลยีการสำรวจที่ล้ำสมัย ใช้เทคนิคที่ผสมผสานกันอย่างถูกต้อง ลงตัว ประหยัดต้นทุน นำข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง การตีความ การประกันคุณภาพของข้อมูล ประมวลผลเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ แล้วนำไปกำหนดเป้าหมายและคาดการณ์ล่วงหน้า การสำรวจประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การสำรวจข้อมูลพื้นฐานหรือการสำรวจขั้นต้น การสำรวจขั้นกึ่งรายละเอียด และการสำรวจขั้นรายละเอียด

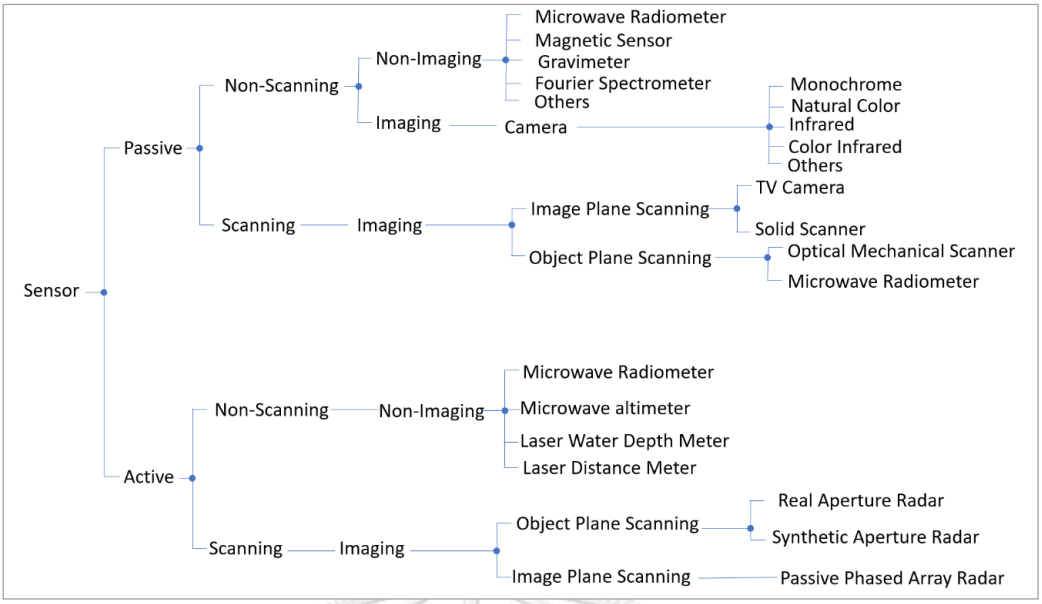
การสำรวจข้อมูลพื้นฐานหรือการสำรวจขั้นต้น เป็นการศึกษาข้อมูลก่อนไปสำรวจสถานที่จริงเพื่อคัดเลือกบริเวณที่คาดว่าจะมีแหล่งแร่ หิน หรือวัตถุที่เราสนใจสะสมอยู่ โดยวิธีการรวบรวม วิเคราะห์ และแปลความหมาย เช่น ข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีเคมี ธรณีฟิสิกส์ สำรวจระยะไกล (RS) โดยใช้ข้อมูลเชิงภาพ ข้อมูลเชิงตัวเลขจากภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลการสำรวจเชิงตัวเลขที่ได้จากการสำรวจระยะไกลนำมาประมวลผลเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่สนใจ นอกจากนี้ในปัจจุบันนิยมนำข้อมูลด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกพื้นที่ก่อนการสำรวจภาคพื้นดิน นอกจากช่วยประหยัดงบประมาณและเวลาแล้วยังช่วยลดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

การสำรวจขั้นกึ่งรายละเอียด เป็นขั้นตอนการสำรวจในภาคสนาม หลังจากได้ข้อมูลขอบเขตการกระจายตัว ลักษณะพื้นที่ทางภูมิศาสตร์จากการสำรวจขั้นต้นแล้ว การสำรวจขั้นกึ่งรายละเอียดใช้เทคนิคการสำรวจ 4 ชนิดผสมผสานกันคือ เทคนิคการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีเคมี ธรณีฟิสิกส์ และเจาะสำรวจทั้งนี้การประยุกต์ใช้เทคนิคการสำรวจในแต่ละขั้นตอนขึ้นอยู่กับชนิดแร่ สภาพทางธรณีวิทยา สภาพภูมิประเทศ การสำรวจขั้นรายละเอียดเป็นขั้นสุดท้ายของการสำรวจซึ่งรายละเอียด

จะอยู่ที่ขั้นตอนการขุดเจาะ ความลึก ชนิดตัวอย่าง การวิเคราะห์ ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นข้อมูลรายละเอียดสูงเมื่อเทียบกับการสำรวจขั้นต้นและขั้นกึ่งรายละเอียด การสำรวจรายละเอียดจะมีขั้นการประเมินปริมาณ คุณภาพและมูลค่าแหล่งแร่ หรือวัตถุที่สนใจ โดยการเจาะสำรวจ ทดลองแต่งแร่ ประเมินโครงสร้างทางเศรษฐศาสตร์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำเหมือง โดยทั่วไปภาครัฐจะดำเนินการสำรวจข้อมูลพื้นฐานจนถึงขั้นกึ่งรายละเอียด หากพบพื้นที่ศักยภาพแร่ที่น่าสนใจรัฐจะให้เอกชนดำเนินการสำรวจในขั้นรายละเอียดเพื่อประเมินแหล่งแร่และพัฒนาทำเหมืองต่อไป หากพบว่าเป็นพื้นที่แหล่งแร่เศรษฐกิจ เช่น ทองคำ เงิน เหล็ก เป็นต้น แร่มีค่าเหล่านี้ไม่ได้มีอยู่ทั่วไป ทำให้การสำรวจต้องจำเพาะเจาะจงมากขึ้น (สุคนธ์เมธ จิตรมหันตกุล, 2556) นอกจากจะเพิ่มขั้นตอนเจาะหลุมสำรวจแล้วยังต้องมีขั้นตอนของการหาปริมาณสำรองและศึกษาความเป็นไปได้ของการทำเหมืองแร่รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอีกด้วย การวางแผนงานเจาะสำรวจ กลุ่มแร่มูลค่าสูงต้องทำการวางแผนงาน อย่างมีวินัย เข้มงวด รัดกุม เพราะค่าใช้จ่ายต้องคำนวณต่อเมตรของการสำรวจ ด้วยเหตุนี้ความยากง่ายของการนำเครื่องจักรเข้าไปในพื้นที่ขุดเจาะ จึงเป็นเรื่องที่ควรคำนึงตั้งแต่การตั้งงบประมาณของการสำรวจ

การสำรวจหินบะซอลต์ผุเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร เป็นการสำรวจบริเวณหน้าดิน ไม่ใช่ชั้นหินแข็ง ซึ่งไม่จำเป็นต้องขุดเจาะในชั้นแท่งหิน เราใช้การสำรวจขั้นพื้นฐานและขั้นกึ่งรายละเอียดเพื่อค้นหาพื้นที่ ตรวจสอบการกระจายตัว และองค์ประกอบของธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช

**การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing)** การสำรวจระยะไกล คือการใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อวัดคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุระยะไกลซึ่งรวมถึงการถ่ายภาพและการสำรวจธรณีฟิสิกส์โดยใช้คุณสมบัติของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) ประวัติความเป็นมาของการสำรวจระยะไกลเริ่มต้นด้วยการถ่ายภาพ เมื่อสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง ระบบเรดาร์ โซนาร์ และระบบตรวจจับอินฟราเรดความร้อนได้ถูกพัฒนาขึ้น (GERALD K. MOORE, 2009) จนกระทั่งในปี 1960 ระบบเซ็นเซอร์ (ภาพแสดงภาพที่ 1) ได้ถูกออกแบบและนำมาใช้งานร่วมกับสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการสำรวจระยะไกลที่มีความหลากหลายมากขึ้น และตอบโจทย์การทำงานที่เฉพาะเจาะจง เช่น การสำรวจทางด้านอุทกวิทยา สำรวจแร่ หิน ดิน ทรัพยากรธรรมชาติ การจัดการและการติดตามปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นต้น




รูปที่ 8 ความแตกต่างในแต่ละชนิดของ Sensor

ที่มา : Indian institute of technology Roorkee (2017)

**ข้อมูลสำหรับการสำรวจระยะไกล**

**แผนที่ (Map)** คือ การจำลองสิ่งที่ปรากฏบนพื้นผิวโลก โดยนำมาย่อส่วนให้เล็กลงตามมาตราส่วนที่ต้องการบนแผ่นวัสดุที่เลือกสรรแล้ว สิ่งที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกประกอบด้วยสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นซึ่งแสดงให้ปรากฏด้วยสัญลักษณ์ เส้น สี และรูปทรงสัณฐานต่าง ๆ (ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์, 2558) แผนที่จำแนกได้ 3 ประเภทดังนี้ 1) แผนที่ตามลักษณะของรายละเอียดที่ปรากฏ เช่นแผนที่, ลายเส้น (Line maps), แผนที่รูปถ่าย (Photomap) เป็นแผนที่ที่ทำจากรูปถ่ายทางอากาศของ สภาพภูมิประเทศทั้งหมดหรือบางส่วน เพื่อนำมาใช้แทนแผนที่ หรือเพิ่มเติมแผนที่ให้สมบูรณ์ ) แผนที่ผสม (Annotated maps) รายละเอียดที่ปรากฏจะผสมระหว่างรายละเอียดที่ได้จาก การถ่ายภาพภูมิประเทศกับรายละเอียดที่วาดหรือเขียนขึ้น 2) แผนที่ตามขนาดมาตราส่วน ซึ่งแบ่งในทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ แผนที่มาตราส่วนเล็ก มีขนาดมาตราส่วนเล็กกว่า 1:1,000,000 แผนที่มาตราส่วนปานกลาง มีขนาดมาตราส่วนตั้งแต่ 1:250,000 ถึง 1:1,000,000 และแผนที่มาตราส่วนใหญ่ มีขนาดมาตราส่วนใหญ่กว่า 1:250,000 แบ่งในกิจการทหาร ได้แก่ แผนที่มาตราส่วนเล็ก มีขนาดมาตราส่วนตั้งแต่ 1:600,000 และเล็กกว่า แผนที่มาตราส่วนปานกลาง มีขนาดมาตราส่วนใหญ่กว่า 1:600,000 แต่เล็กกว่า 1:75,000 และแผนที่มาตราส่วนใหญ่มีขนาดมาตราส่วนตั้งแต่ 1:75,000 และใหญ่กว่า 3) แผนที่ตามลักษณะการใช้งาน

และชนิดของรายละเอียดที่แสดงไว้ในแผนที่ แผนที่ทั่วไปเป็นแผนที่พื้นฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แบ่งเป็น 2 ชนิด คือแผนที่แบบราบ (Planimetric map) ได้แก่ แผนที่ซึ่งแสดงรายละเอียดทั่วไปของพื้นผิวพิภพในทางราบมีประโยชน์ในการแสดงตำแหน่งและการหาระยะทางในทางราบ และแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic map) ได้แก่ แผนที่ซึ่งแสดงรายละเอียดทั่วไปของพื้นผิวโลกในทางราบและทางดิ่ง นอกจากแผนที่ 3 ประเภทนี้แล้วยังสามารถพบการจำแนกแผนที่พิเศษ (Special map) และแผนที่เฉพาะเรื่อง (Thematic map) อีกด้วย เช่นแผนที่โฉนดที่ดิน (Cadastral map) แผนที่เศรษฐกิจ (Economic map) แผนที่สถิติ (Statistical map) เป็นต้น

**ข้อมูลเชิงภาพ (Graphic data)** ในมิติของข้อมูลด้านเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นข้อมูลประเภทหนึ่งในข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) สามารถแทนได้ด้วย 2 รูปแบบพื้นฐานคือ ข้อมูลแบบเวกเตอร์(Vector format) และข้อมูลแบบแรสเตอร์ (Raster format) 1) ข้อมูล แบบเวกเตอร์ (Vector format) เป็นข้อมูลที่แสดงด้วย จุด (Point) เส้น (Line) หรือพื้นที่ (Polygon) ซึ่งถูกกำหนดโดยจุดพิกัด ข้อมูลประกอบด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (X,Y) และ หรือ แนวดิ่ง/Z) หรือ Cartesian Coordinate System ถ้าเป็นพิกัดตำแหน่งเดียวจะเป็นค่าของจุด ถ้าจุดพิกัดสองจุดหรือมากกว่าจะเป็นเส้น ส่วนพื้นที่ จะต้องมีจุดมากกว่า 3 จุดขึ้นไป จุดพิกัดเริ่มต้นและจุดพิกัดสุดท้ายต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ข้อมูลเวกเตอร์ ได้แก่ ถนน แม่น้ำ ลำคลอง ขอบเขตการปกครอง เป็นต้น 2) ข้อมูลแบบแรสเตอร์ (Raster format) คือ จุดของเซลล์ ที่อยู่ในแต่ละช่วงสี่เหลี่ยม (grid) โครงสร้างของข้อมูล Rater ประกอบด้วยชุดของ Grid cell หรือ pixel หรือ picture element cell ข้อมูลแบบ Raster เป็นข้อมูลที่อยู่บนพิกัดรูปตารางแถวนอนและแถวตั้ง แต่ละ cell อ้างอิงโดยแถวและสดมภ์ภายใน grid cell จะมีตัวเลขหรือภาพข้อมูล Raster รายละเอียดของข้อมูลขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งชุดนั้น ซึ่งข้อมูลประเภท Raster มีข้อได้เปรียบหากนำระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยประมวลผลหรือวิเคราะห์ข้อมูลจะเพิ่มความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ข้อมูล Raster และข้อมูล Vector สามารถแปลงข้อมูลกลับไป-กลับมาได้แต่จะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นระหว่างการแปลงข้อมูล

**ข้อมูลภาพเชิงเลข** ข้อมูลภาพเชิงเลขประกอบด้วยองค์ประกอบที่เรียกว่า จุดภาพ (pixel) ในแต่ละจุดภาพมีค่าตัวเลขคือ ค่าการแผ่รังสีเฉลี่ย หรือ ค่าความสว่าง ของพื้นที่ภายในจุดภาพ ขนาดพื้นที่ของจุดภาพจะส่งผลโดยตรงต่อรายละเอียดของภาพ โดยหากพื้นที่ของจุดภาพลดลง รายละเอียดของภาพจะเพิ่มมากขึ้น ข้อมูลภาพเชิงเลขสามารถแสดงผลตามมาตราส่วนที่ต้องการได้โดยการประมวลผล (Jensen, J. R., 2005)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ความละเอียดของข้อมูลภาพเชิงเลข** (digital image resolution) ในระบบการรับรู้จากระยะไกล แบ่งออกได้ )ประเภท ดังต่อไปนี้ 4 ERDAS Imagine(, 2002)

1. ความละเอียดเชิงคลื่น (spectral resolution) หมายถึง ช่วงความยาวคลื่นเฉพาะใน สเปคตรัม แม่เหล็กไฟฟ้าที่เครื่องมือตรวจวัดสามารถบันทึกได้
2. ความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) หมายถึง ขนาดของวัตถุเล็กที่สุดที่สามารถ แยกชัดโดยเครื่องมือตรวจวัด หรือความสามารถแสดงผลพื้นที่ทางภาคพื้นดินในแต่ละจุดภาพ ความละเอียดเชิงพื้นที่สูงจะมีค่าตัวเลขน้อยลง
3. ความละเอียดเชิงคลื่นรังสี (radiometric resolution) หมายถึง พิสัยพลวัติหรือจำนวน ของค่าไฟล์ข้อมูลที่เป็นไปได้ในแต่ละช่วงคลื่น ความละเอียดเชิงคลื่นรังสีถูกบ่งชี้ด้วยจำนวนของบิต ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ
4. ความละเอียดเชิงเวลา (temporal resolution) หมายถึง ความสามารถในการถ่ายภาพซ้ำของเครื่องมือตรวจวัดที่จะบันทึกภาพในพื้นที่เดิม

ความละเอียดทั้งหมดนี้มีความสัมพันธ์ระหว่างกัน ซึ่งในการรวบรวมข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลสำหรับใช้ในการประมวลผล จะต้องมีการนำความละเอียดทั้ง 4 ประเภทมาพิจารณาพร้อมกัน

**ภาพถ่ายดาวเทียม** การนำภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์ใช้งาน ต้องเข้าใจข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียมวงโคจร การรับส่งข้อมูล อุปกรณ์บันทึกภาพ ช่วงคลื่นของการบันทึกและขนาดข้อมูล เพื่อการเลือกประเภทของภาพถ่ายดาวเทียมให้ถูกต้อง เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของงาน ดาวเทียมแต่ละดวงถูกส่งขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศด้วยภารกิจที่แตกต่างกันไป เช่น ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา เป็นดาวเทียมที่บันทึกข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา เป็นต้น ซึ่งการเก็บข้อมูลทำได้ 2 รูปแบบคือ

1) ข้อมูลอนาล็อก (analog data) หรือ ข้อมูลแบบต่อเนื่อง (continuous data) เครื่องตรวจวัดจะบันทึกค่าของความเข้มรังสีที่วัดได้จริงอย่างละเอียด ทำให้ได้ผลการตรวจวัดซึ่งมีค่าต่อเนื่องตลอดพื้นที่ศึกษา

2) ข้อมูลเชิงเลข (digital data) หรือข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete data) เครื่องตรวจวัดจะแปลงข้อมูลอนาล็อก (ข้อมูลแบบต่อเนื่อง) ที่ได้รับมา เป็นค่าจำนวนเต็มค่าหนึ่งที่ใกล้เคียง ค่าจริงเดิมมากที่สุดตามชุดตัวเลขจำนวนเต็มที่ระบบกำหนดขึ้น (ทรงกต ทศานนท์, 2550)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การแปลความหมายภาพจากดาวเทียม** หากข้อมูลเป็นภาพพิมพ์สีหรือขาว – ดำ จะใช้การแปลความหมายหรือตีความด้วยสายตา (Visual interpretation) เช่นเดียวกันกับการแปลความหมายจากภาพถ่ายทางอากาศ แต่ในกรณีที่เป็นข้อมูลเชิงเลขจะถูกแปลงเป็นภาพอีกครั้งโดยใช้โปรแกรมด้านการสำรวจระยะไกล การแปลความหมายและตีความ การจัดกลุ่มข้อมูลการคำนวณทางสถิติ จะประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีขั้นตอนการทำงาน 3 ขั้นตอน ได้แก่ การปรับแก้ไขภาพก่อนการประมวลผลภาพ (Pre-processing), การเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) และ การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (Image classification) เป็นต้น

**ภาพถ่ายทางอากาศ** เป็นภาพของภูมิประเทศที่ได้จากการถ่ายรูปทางอากาศด้วยวิธีนำกล้องถ่ายรูปติดกับอากาศยานที่บินไปเหนือภูมิประเทศที่จะทำการถ่ายรูป แล้วทำการถ่ายรูปตามตำแหน่งทิศทางและความสูงของการบินที่ได้วางแผนไว้ หลังจากนั้นนำฟิล์มไปล้างและอัดภาพจะได้รูปที่มีรายละเอียดภูมิประเทศในบริเวณที่ต้องการถ่ายปรากฏอยู่ ภาพถ่ายทางอากาศแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ภาพถ่ายแนวดิ่งและภาพถ่ายแนวเอียง

การศึกษาข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ ศึกษาด้วยตาเปล่าและศึกษาด้วยกล้องสามมิติ ซึ่งผู้ที่ทำหน้าที่ในการแปลภาพถ่ายต้องมีความรู้เกี่ยวกับการแปลความหมายภาพเป็นอย่างดี การใช้ประสบการณ์ควบคู่กับการใช้แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาจะทำให้การแปลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยอาศัยหลักพิจารณาดังนี้ ความแตกต่างของความเข้มของสีวัตถุเนื่องจากวัตถุต่างชนิดกันจะมีค่าการสะท้อนคลื่นแสงที่ต่างกัน ขนาดและรูปร่าง เนื้อภาพและรูปแบบของภาพ ความสูงและเงาในภาพ ตำแหน่งและความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในภาพ สิ่งสุดท้ายในการแปรความหมายภาพถ่ายคือ การตรวจสอบข้อมูล ซึ่งในขั้นตอนนี้ ผู้แปลจะต้องนำองค์ความรู้ทั้งหมดผสมผสานกันรวมถึงข้อมูลจากภาคสนามเพื่อช่วยให้การแปลความหมายถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลภาพถ่ายออร์โธสีเชิงเลข** คือแผนที่ภาพถ่ายที่ผลิตจากภาพถ่ายทางอากาศสี ซึ่งผ่านกระบวนการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเนื่องจากเรขาคณิตของการถ่ายภาพ และมีค่าพิกัดที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่สอดคล้องกับพื้นที่จริง

**ข้อมูลด้านเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)** ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) คือกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศ ที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่ สัมพันธ์กับตำแหน่งในแผนที่ ตำแหน่ง เส้นรุ้ง เส้นแวง ข้อมูลและแผนที่ใน GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูล และฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับ

ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย จะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ เช่น การแพร่ขยายของโรคระบาด การเคลื่อนย้ายถิ่นฐาน การบุกรุกทำลาย การเปลี่ยนแปลงของการใช้พื้นที่ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปลและสื่อความหมายใช้งานได้ง่าย (สมบัติ อยู่เมือง, 2557)

**ลักษณะของข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์** ข้อมูล (data) หมายถึง ค่าสังเกต ค่าจากการจัดการบันทึกคุณสมบัติของวัตถุด้านภูมิศาสตร์แบ่งประเภทข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และข้อมูลที่ไม่อยู่ในเชิงพื้นที่ (Non-spatial data)

1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) เป็นข้อมูลที่สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Geo-referenced) ได้แก่ ข้อมูลเชิงภาพและข้อมูลอรรถาธิบายข้อมูลเชิงภาพ (Graphic data) สามารถแทนได้ด้วยรูปแบบพื้นฐานของข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector format) และข้อมูลแบบแรสเตอร์ (Raster format) ส่วนข้อมูลอรรถาธิบาย (Attribute data) นั้นเป็นข้อความอธิบายที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงภาพเหล่านั้น เช่น ชื่อถนน ลักษณะ พื้นผิว และจำนวนช่องทางวิ่งของเส้นถนน เป็นต้น

2) ข้อมูลที่ไม่อยู่ในเชิงพื้นที่ (Non-spatial data) เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะในพื้นที่นั้น (Attributes) ได้แก่ ข้อมูลการถือครองที่ดิน ข้อมูลปริมาณธาตุอาหารในดิน และข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะเศรษฐกิจและสังคม ในการรวบรวมข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลเพื่อการประมวลผลและต้องนำข้อมูลหลายด้านมาประกอบกัน ยกตัวอย่างเช่น การประมวลผลภาพเชิงเลขเพื่อนำไปใช้ ต้องพิจารณาข้อมูลดังนี้ 1) การได้มาของข้อมูลหมายถึงการแปลงภาพให้เป็นข้อมูลเชิงเลขที่สามารถนำไป ประมวลผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ 2) การประมวลผลข้อมูลภาพ จากข้อมูลภาพหนึ่งภาพหรือ มากกว่าเพื่อก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ต้องการ และ 3) การแสดงผลข้อมูลภาพ คือการสร้างภาพที่เกิดจาก กระบวนการประมวลผลข้อมูล 4) ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพเชิงเลขซึ่งในขั้นตอนสุดท้ายนี้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนย่อยดังนี้

1) การประมวลผลเบื้องต้น คือ การเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์

2) การสกัดรูปลักษณ์ ซึ่งจะช่วยลดจำนวนตัวแปรที่จะถูกนำไปวิเคราะห์ ประหยัดเวลาและทรัพยากร

3) การเน้นความคมชัดภาพ เป็นเทคนิคที่ใช้ปรับปรุงวัตถุ หรือรูปลักษณ์ที่ปรากฏในภาพ

4) การตัดสินใจและการจำแนก คือ การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อ กำหนดประเภทข้อมูลเฉพาะให้แต่ละจุดภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) การประเมินความถูกต้องของผลการจำแนกประเภท

6) ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ประกอบด้วย แผนที่ ภาพ ข้อมูล และรายงาน เป็นต้น

**แผนที่ 3 มิติและแบบจำลองพื้นผิว (3D map and surface model)**

แผนที่ 3 มิติ คือ แผนที่ที่มีการนำเสนอในรูปแบบ 3 มิติ ประกอบด้วยรูปร่างลักษณะ และพื้นผิวของวัตถุบริเวณที่นำเสนอ มีความสวยงาม เสมือนจริง รวมไปถึงพิกัดตำแหน่งเพื่อให้การออกแบบและการจำลองมีความใกล้เคียงกับสถานที่จริงมากที่สุด

ข้อมูล GIS 3 มิติ หมายถึง ข้อมูลสารสนเทศที่มีการจัดทำเป็นแบบจำลองสามมิติแสดงความสูงโดยใช้ค่าความสูงจาก Vector ที่ได้มีการจัดเก็บ แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ระดับที่ 1 แบบจำลองสามมิติแสดงความสูง ลักษณะรูปแบบ Block เป็นรูปแบบสามมิติอย่างง่ายโดยสร้างแบบจำลองจากข้อมูล Vector และใช้ข้อมูลความสูงจาก Vector นั้น ระดับที่ 2 แบบจำลองสามมิติแสดงรูปแบบ Geometry (Multipath แบบไม่มี texture) เป็นแบบจำลองที่ใช้ข้อมูล Vector อาคาร แผนที่ภาพถ่าย และ ภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจ ประกอบการจัดทำ แต่ไม่ได้ประกอบพื้นผิวภายนอก (texture) ระดับที่ 3 แบบจำลองสามมิติ เสมือนจริง แสดงรูปแบบ Geometry ประกอบพื้นผิวภายนอก (Multipath แบบมี texture) เป็นแบบจำลองที่ใช้ข้อมูล Vector อาคาร แผนที่ภาพถ่าย และ ภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจ ประกอบการจัดทำ โดยใช้ภาพถ่ายในการประกอบพื้นผิวภายนอก (texture) เราสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและแก้ไขข้อมูลในรูปแบบสามมิติได้ ด้วยโปรแกรม ArcScene และ ArcMap ผู้ใช้งานสามารถสร้างภาพและแผนที่หรือข้อมูลเชิงเส้นทาบทับ (Drape) ลงบนพื้นผิว สามารถยืดหรือยกข้อมูลเชิงเส้นออกมาจากพื้นผิวนั้นได้ด้วย สามารถกำหนดมุมมองที่แตกต่างและครอบคลุมด้วยการสร้างแบบจำลองพื้นผิว (Surface model) แบบจำลองพื้นผิวเกิดจากการประมาณค่าจากพื้นผิวจริงโดยการเก็บตัวอย่างค่าที่มีความแตกต่างกันบนพื้นผิวที่ต้องการ แล้วจึงทำการคำนวณเพื่อแทรกค่า (Interpolating) ลงไประหว่างจุดตัวอย่างเหล่านั้น ทำให้แบบจำลองพื้นผิวมีความคล้ายคลึงกับพื้นที่จริง และนำแบบจำลองไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ เพื่อง่ายต่อการจัดการและประหยัดงบประมาณก่อนการสำรวจพื้นที่จริง

**กระบวนการสร้างแบบจำลองพื้นผิวสามมิติโดยระบบภูมิสารสนเทศ**

มีองค์ประกอบ 5 ประการ

1) การสำรวจหรือสกัดข้อมูลความสูงของพื้นผิวจากภูมิประเทศจริง (Data capture) เป็นการรวบรวมตำแหน่งทั้งทางราบและความสูงของภูมิประเทศ สามารถทำได้หลายวิธี และมีหลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

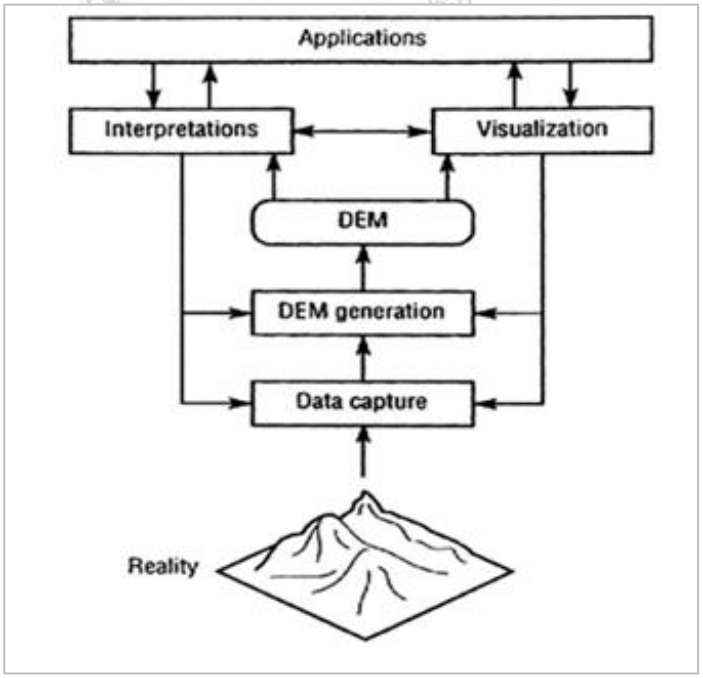
เทคโนโลยีที่สามารถทำได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลายๆ อย่าง เช่น ความละเอียดถูกต้อง ปริมาณที่ต้องการ ตลอดจนปัจจัยภายนอก เช่น งบประมาณด้วยเช่นกัน

2) การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM generation) ในระบบภูมิสารสนเทศการแสดงพื้นผิวความสูงของภูมิประเทศสามารถทำได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น ปริมาณข้อมูล วิธีการที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ หรือวัตถุประสงค์ในการแสดงผล เป็นต้น

3) การแสดงผลในระบบ (Visualization) เป็นการนำข้อมูลเชิงตำแหน่งมาประมวลผลร่วมกับแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และแสดงผลการแสดงผลในรูปแบบสองมิติ หรือสามมิติ โดยอ้างอิงกับการกำหนดวิธีการแสดงผล และความสมบูรณ์ของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

4) การวิเคราะห์ตีความแบบจำลอง (Interpretation) เป็นการนำข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล นำมาผ่านกระบวนการวิเคราะห์ ตีความ โดยวิธีการหรือใช้แบบจำลองที่เหมาะสมตามเงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนด เช่น การวิเคราะห์เส้นทางน้ำ การวิเคราะห์พื้นที่ศักยภาพแร่ การวิเคราะห์ภูมิประเทศ วิเคราะห์ขอบเขตของหินบะซอลต์ผุ เป็นต้น

5) การนำไปประยุกต์ใช้งาน (Applications) เป็นการนำผลที่ได้จากแบบจำลองไปใช้งาน เช่น การปฏิบัติงาน วางแผนงาน หรือบริหารจัดการในขั้นต่อไป

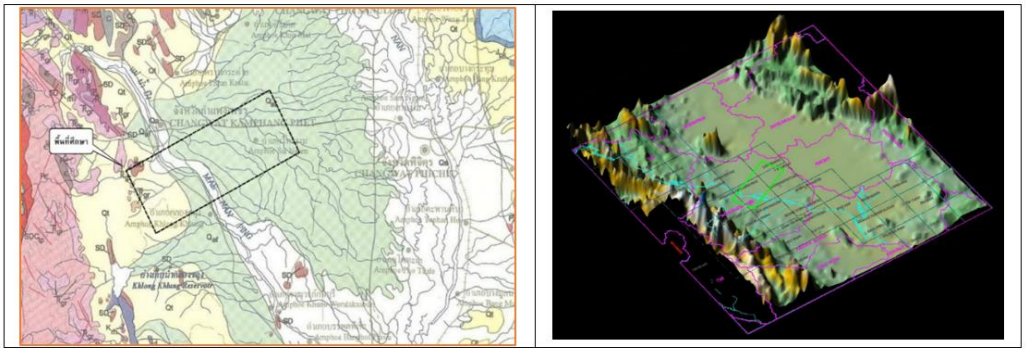



รูปที่ 9 การสร้างแบบจำลองความสูงและลักษณะพื้นผิว

ที่มา : กรมแผนที่ทหาร (2561

**แบบจำลองความสูงสามมิติของภูมิประเทศ** โดยลักษณะทั่วไปแผนที่จะแสดงลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นผิวที่ต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างจากการใช้หน่วยพื้นที่ (Raster) แสดงการใช้ที่ดิน ซึ่งเป็นลักษณะของข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) พื้นผิวความสูงที่ต่อเนื่องสามารถแสดงด้วยเส้นชั้นความสูง (Contour line) ซึ่งเสมือนเป็นรูปหลายเหลี่ยมที่ซ้อนกันอยู่เป็นชั้นๆ แต่เส้นชั้นความสูงไม่เหมาะที่จะใช้ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numeric analysis) หรือการสร้างแบบจำลอง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาวิธีการที่สามารถแสดงการแปรเปลี่ยนทางความสูงต่ำของพื้นที่เชิงตัวเลขได้ เช่น แบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model หรือ DEM) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีแต่ข้อมูลระดับความสูงเพียงอย่างเดียว แบบจำลองภูมิประเทศเชิงตัวเลข (Digital Terrain Model หรือ DTM) ประกอบด้วยข้อมูลระดับความสูง และข้อมูลลักษณะอื่นของภูมิประเทศ เช่น ความชัน (Slope) การหันรับแสง (Aspect) หรือความสูงต่ำเชิงเงา (Shaded relief) เป็นต้น

**การใช้แบบจำลอง 3 มิติกับงานด้านธรณีวิทยา (GeoScene3D)** ช่วยให้มองเห็นข้อมูลทางธรณีวิทยาได้อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ภาพจำลอง 3 มิติแสดงข้อมูลด้านธรณีฟิสิกส์เคมีในหลุมขุดเจาะสำรวจและข้อมูลชั้นธรณีวิทยาในเหมือง เป็นต้น



รูปที่ 10 แบบจำลองทางอุทกธรณีวิทยาพื้นที่บางส่วนของจังหวัดกำแพงเพชร
ที่มา : มณีพัชร บุญเรือง (2561)

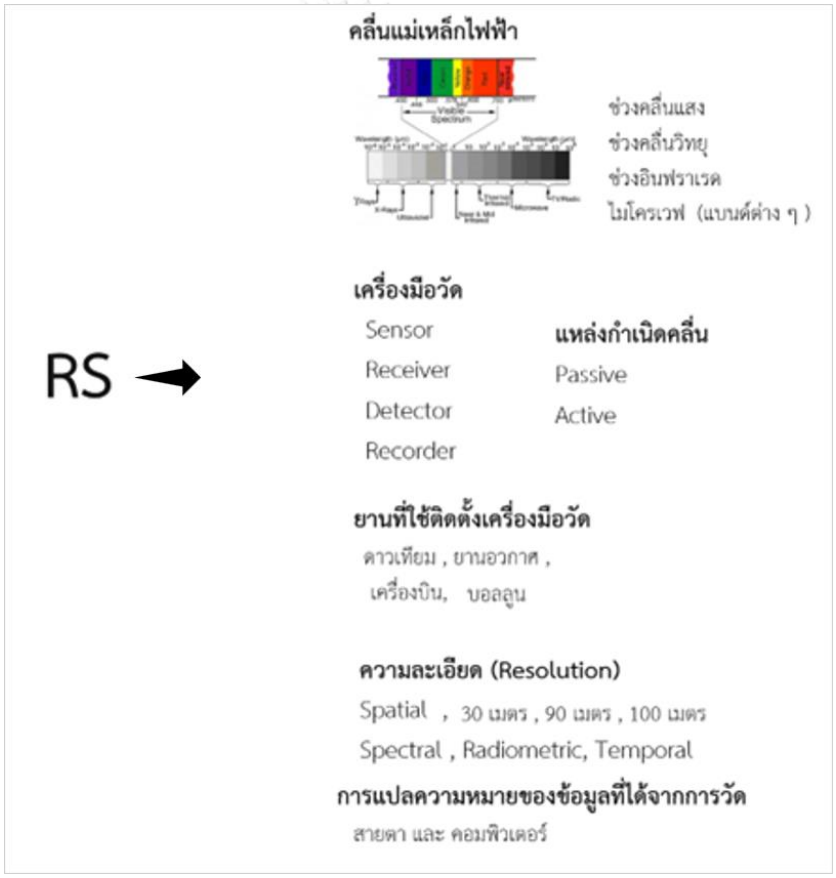
ด้วยความสามารถของ 3D analyst สามารถทำงานร่วมกับแบบจำลองพื้นผิว 2 ประเภทได้แก่ แบบภาพแสดงพื้นผิว (Raster) และโครงข่ายสามเหลี่ยมที่เรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (TIN) Raster จะแสดงพื้นผิวออกมาในลักษณะตารางกริด ส่วน TIN เป็นพื้นผิวที่สร้าง

ขึ้นจากการเชื่อมต่อหลายๆ จุดที่มีการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบเข้ามาเป็นโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมที่มีค่า Z เก็บอยู่ในแต่ละโหนด (Node) การประมาณค่า (Interpolation) เป็นการสร้างข้อมูลเชิงพื้นผิว หรือข้อมูลความสูงเชิงตัวเลขที่มีเทคนิคที่ใช้หลายเทคนิคแต่เทคนิคที่นิยมใช้โดยพิจารณาจากรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละจุด มีดังนี้ 1) IDW (Inverse Distance Weight) เป็นเทคนิคที่เหมาะกับตัวแปรที่อ้างอิงกับระยะทางในการคำนวณ ยิ่งใกล้ยิ่งมีอิทธิพล ทุกๆ จุดตัวอย่างมีอิทธิพลกับระยะทางจุดที่อยู่ใกล้กว่าจะใช้ในการคำนวณโดยกำหนดจำนวนที่จุดหรือรัศมีที่ใกล้ เหมาะกับข้อมูลที่ขึ้นกับระยะทาง เช่น ความเข้มข้นของสารเคมี เป็นต้น
2) Natural Neighbors เป็นเทคนิคที่คล้ายกับ IDW โดยอาศัยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักข้อมูลที่ได้ เทคนิคนี้จะเหมาะสำหรับจุดตัวอย่างที่กระจายมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ 3) Spline เหมาะสำหรับการสร้าง Surface ที่ได้จะโค้งตามความสูงจริงและค่อยๆ มีการเปลี่ยนแปลง เช่น Elevation , Pollution Concentration และไม่เหมาะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมากภายในแนวราบที่สั้นหรือชิดกันมากเกินไปเพราะสามารถประเมินค่าเลยจุดหมาย (Overshot) ได้ 4) Kriging เป็นวิธีการแทรกค่าที่ทำการสันนิษฐานจากระยะทางหรือทิศทางระหว่างจุดตัวอย่างแต่ละจุดซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่สามารถนำมาอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ได้ ซึ่งเทคนิคนี้จะสามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับจุดตัวอย่างที่กำหนดไว้ได้

การสำรวจระยะไกลถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดขอบเขตและแผนที่ทางธรณีวิทยา เนื่องจากสามารถดำเนินการได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ ประหยัดค่าใช้จ่ายและใช้ระยะเวลาที่รวดเร็วกว่าการสำรวจภาคสนามในอดีต (Abdelmalik, 2018) การก้าวกระโดดและความนิยมของการสำรวจระยะไกล ทำให้มีหน่วยงานและงานวิจัยได้พัฒนาอัลกอริทึม กระบวนการทางคณิตศาสตร์ / สถิติ เพื่องานเป้าหมายทางธรณีวิทยาที่จำเพาะ(Amer et al., 2015) มากขึ้น เช่น การสำรวจแร่ที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ การกำหนดขอบเขตเหมืองทองคำ เป็นต้น (Gad and Kusky, 2006 ; Gad and Kusky, 2007; Amer et al., 2010) วิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการใช้งานทางธรณีวิทยา คือการวิเคราะห์วัตถุจากอัตราส่วนของแบนด์ (band ratio : BR) และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของวัตถุ (Principal Components Analysis : PCA) การวิจัยในปัจจุบันอาจมีการเพิ่มการวิเคราะห์และเทคนิคอื่นๆ ร่วมด้วย เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลยิ่งขึ้น เช่น การวิเคราะห์ ICA (Independent Component analyses ) การวิเคราะห์ลายเซ็นเชิงคลื่นของวัตถุ (signature spectral curves of object) (Abdelmalik, 2020) เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

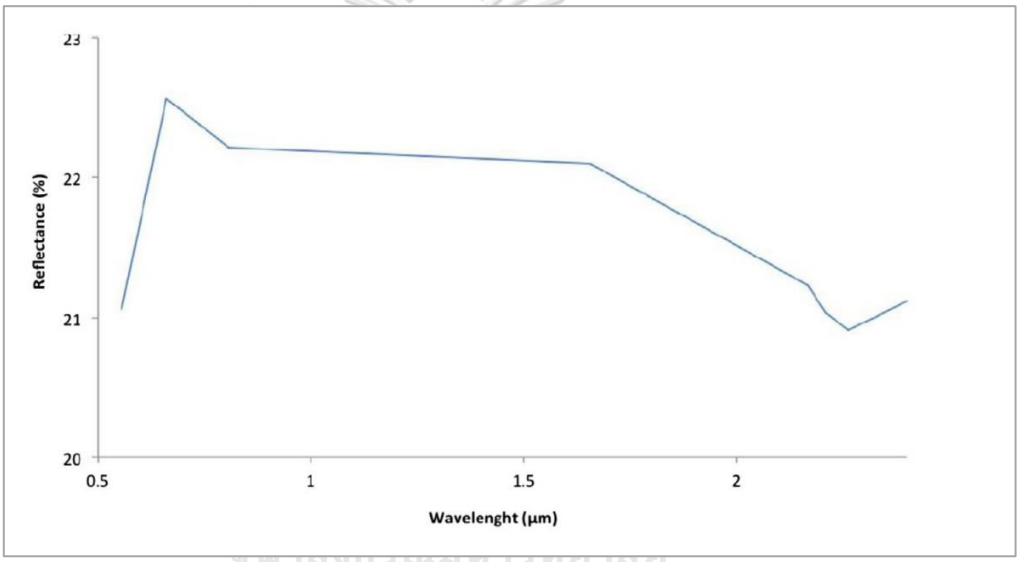
การนำข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลมาใช้งานนั้น ต้องพิจารณาองค์ประกอบและที่มาของข้อมูลเพื่อจะได้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลที่ตรงกับวัตถุประสงค์ของงาน องค์ประกอบที่ควรนำมา พิจารณานั้น ได้แก่ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงคลื่น เครื่องมือวัด ยานที่ใช้ในการสำรวจ ความละเอียด และการแปลความหมายของข้อมูลที่ได้จากการวัด ดังแสดงในภาพประกอบด้างล่าง




รูปที่ 11 องค์ประกอบที่ต้องนำมาพิจารณาในการสำรวจระยะไกล

ที่มา : ดัดแปลงจาก GISTDA (2558)

ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ภาพดาวเทียม Aster เซนเซอร์ประกอบด้วยช่วงคลื่น 14 แบนด์ ประกอบด้วยแบนด์ Visible Near-Infrared, Shortwave Infrared และ Thermal Infrared รายละเอียดข้อมูล 30 เมตร และ 90 เมตร Swath width 60 กิโลเมตร Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) เป็นเซนเซอร์ระบบ Optical ส่งขึ้นสู่วงโคจรด้วยความร่วมมือ NASA (สหรัฐอเมริกา) และ METI (ญี่ปุ่น) มีรายละเอียดข้อมูลที่หลากหลายสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน ได้แก่ ภารกิจการติดตามทรัพยากรธรรมชาติ ธรณีวิทยา เป็นต้น และใช้ดัชนีการสกัดหินบะซอลต์ (BEI) ของมหาวิทยาลัย จอห์นฮอปกินส์ เพื่อการประมวลผลแยกขอบเขตหินบะซอลต์ในพื้นที่ศึกษา




*รูปที่ 12 Reflected spectrum defined for basalt by Johns Hopkins University*
ที่มา : Markoski & Rolim (2014)

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้คุณสมบัติสเปกตรัมเพื่อการสำรวจทางธรณีวิทยา**

Abdelmalik (2020) จัดทำแผนที่หินบะซอลต์ด้วยข้อมูลการสำรวจระยะไกล โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในงานวิจัยนี้ใช้สเปกตรัมของหินบะซอลต์และความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance: SR) ของข้อมูล Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) นำมาวิเคราะห์ทั้ง PCA Principal Components analyses) และ ICA (Independent Component analyses ) รวมกับลายเซ็นคลื่นของหินบะซอลต์ (Signature spectral curve of basalt) เพื่อพัฒนาสูตรทางคณิตศาสตร์ อัตราส่วนระหว่าง

แบนด์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ภาพและแผนที่ของหินบะซอลต์ที่แม่นยำ ถูกต้อง จากการตรวจสอบพบว่า สเปกตรัมของหินบะซอลต์ที่มีนัยสำคัญในภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT8 คือ แบนด์ 4, 5, 6 และ 7 สมการอัตราส่วนในการแยกหินบะซอลต์ที่ดีที่สุดคือ (band3-band7)/(SQRT(band4)) ในการทดลองครั้งนี้ใช้ ERDAS Imagine (2010) และ ArcGIS 10.3 เพื่อประมวลผลดิจิทัล / คณิตศาสตร์และโมเดลในพื้นที่ศึกษา

Argany (2018) ศึกษาการสำรวจระยะไกล โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Aster เพื่อจำแนกหินบะซอลต์คุณภาพสูงในเขตพื้นที่ศึกษา โดยใช้ดัชนีการสกัดหินบะซอลต์ (BEI) ของมหาวิทยาลัย จอห์น ฮอปกินส์ และ Maximum Likelihood algorithm ประมวลผลผ่านโปรแกรม ENVI และ ArcGIS เพื่อกำหนดขอบเขตของหินบะซอลต์และจำแนกหินบะซอลต์คุณภาพสูงในพื้นที่ศึกษา ซึ่งผลของการศึกษาทำให้สามารถกำหนดขอบเขตของหินบะซอลต์คุณภาพดีได้อย่างชัดเจน และแม่นยำ

Asgari (2014) ประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกลในด้านการสะสมแร่ โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Aster ซึ่งตรวจสอบความสามารถของ ASTER และ Hyperion EO-1 images เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแร่ โดยวิธีการที่นำมาใช้ได้แก่ Minimum Noise Fraction (MNF) index, color staining False-Color Composite (FCC), Spectral Angle Mapper (SAM), และ Principal Components Analysis (PCA) การวิจัยระบุว่าการใช้ SWIR Bandwidth of Advanced Space borne Thermal Emission และ Reflection Radiometer ในภาพถ่ายดาวเทียม Aster เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการระบุแหล่งแร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**2.5 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และการทำนา**

**ข้าว (rice)** ข้าวเป็นอาหารของผู้คนที่มีประวัติศาสตร์ยาวนานกว่าพืชชนิดอื่น จากต้นตระกูลหญ้าป่า *Oryza rufipogon* ประมาณ 10,000–14,000 ปีก่อน พบหลักฐานทางพันธุศาสตร์แสดงชัดเจนในการนำข้าวมาเพาะปลูกเมื่อราว 8,200–13, 500(Vaughan et al., 2008) และหลักฐานทางโบราณคดีเชื่อว่าข้าวมีจุดกำเนิดบริเวณหุบเขาแม่น้ำแยงซีในประเทศจีน (Zhenhua Deng, 2015) มีการเพาะปลูกกระจายทั่วศรีลังกาและอินเดียในเวลาต่อมา ข้าวถูกส่งไปยังกรีซและพื้นที่ของทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และแพร่กระจายไปทั่วยุโรป ในยุคแห่งการสำรวจชาวยุโรปนำข้าวไปยังดินแดนใหม่ทางตะวันตก โดยผู้ตั้งถิ่นฐานชาวยุโรปยุคแรก ได้แก่ ชาวโปรตุเกสนำข้าวไปยังบราซิลและชาวสเปนนำข้าวไปสู่อเมริกากลางและอเมริกาใต้จนในที่สุดข้าวได้แพร่กระจายและเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในทุกภูมิภาคของโลก ข้าวส่วนใหญ่ผลิตจากประเทศจีน อินเดีย อินโดนีเซีย ปากีสถาน บังคลาเทศ

เวียดนาม ไทย พม่า ฟิลิปปินส์ และญี่ปุ่น เกษตรกรในเอเชีย คิดเป็น 92% ของการผลิตข้าวทั้งหมดบนโลก

ประเทศไทยอยู่กับวัฒนธรรมในการปลูกข้าวมายาวนานกว่า 5,000 ปี โดยหลักฐานทางประวัติศาสตร์ที่สำคัญคือเครื่องปั้นดินเผาที่เป็นภาชนะใส่ข้าวสมัยสุโขทัย ศิลาจารึกถูกบันทึกถ้อยคำเกี่ยวกับข้าวไว้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังมีหลักฐานที่ระบุว่า ข้าวมีบทบาทสำคัญเป็นสินค้าส่งออกตั้งแต่สมัยอยุธยาและสืบเนื่องมาถึงปัจจุบัน

**สกุลข้าว (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Oryza*)** เป็นสกุลของพืชในวงศ์ *Poaceae* ในเผ่า *Oryzeae* อยู่ในวงศ์ย่อย *Bambusoideae* เป็นพืชพื้นเมืองในเอเชีย ออสเตรเลียเหนือ และแอฟริกา เป็นสกุลของพืชอาหารที่สำคัญ ทั้ง *Oryza sativa* และ *Oryza glaberrima* สมาชิกของสกุลนี้ขึ้นในที่น้ำขัง มีทั้งพืชฤดูเดียวและหลายฤดู (Elizabeth A. Kellogg, 2009) ข้าวที่นิยมปลูกในเอเชียคือ *Oryza sativa* แยกออกได้เป็น *indica* มีปลูกมากในเขตร้อน *japonica* และ *Javanica* มีปลูกมากในเขตอบอุ่น

**สารอาหารและความสำคัญทางโภชนาการของข้าว** ข้าวเป็นอาหารหลักและเป็นแหล่งพลังงานของประชากรจำนวนมาก การวิเคราะห์รายละเอียดของปริมาณสารอาหารของข้าว แสดงให้เห็นว่าคุณค่าทางโภชนาการของข้าวแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ สายพันธุ์ข้าว พื้นที่ปลูกข้าว และวิธีการแปรรูปข้าว

**ชนิดของข้าว** การแบ่งชนิดของข้าวทำได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับมาตรการที่ใช้ในการแบ่ง เช่น แบ่งตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร แบ่งตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก แบ่งตามอายุการเก็บเกี่ยว แบ่งตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง แบ่งตามรูปร่างของเมล็ดข้าวสาร และแบ่งตามฤดูปลูก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**แบ่งตามประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ดข้าวสาร** ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวซึ่งมีต้นและลักษณะอย่างอื่นเหมือนกันทุกอย่าง แต่ต่างกันที่ประเภทของเนื้อแข็งในเมล็ด เมล็ดข้าวเจ้าประกอบด้วย amylase ประมาณร้อยละ 15-30 ส่วนเมล็ดข้าวเหนียวประกอบด้วย amylase ประมาณร้อยละ 5-7

**แบ่งตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก ได้แก่** 1) ข้าวไร่ : Upland rice เป็นข้าวที่ปลูกได้ทั้งบนที่ราบและที่ลาดชัน ไม่ต้องทำคันนาเก็บกักน้ำ นิยมปลูกกันมากในบริเวณที่ราบสูงตามไหล่เขาทางภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ คิดเป็นเนื้อที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 10 ของเนื้อที่เพาะปลูกทั้งประเทศ 2) ข้าวนาสวนหรือนาดำ : Lowland rice เป็นข้าวที่ปลูกในที่ลุ่มทั่วๆ ไปในสภาพที่มีน้ำหล่อเลี้ยงต้นข้าวตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งก่อนเก็บ สามารถควบคุม รักษาระดับได้ 3) ข้าวขึ้นน้ำ (Floating rice) เป็นข้าวที่ปลูกในแหล่งที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ บางครั้ง

ระดับน้ำในบริเวณที่ปลูกอาจสูงถึงกว่า เมตร ต้องใช้ข้าวพันธุ์พิเศษที่เรียกว่า ข้าวลอย หรือ ข้าวฟ่าง 1 ลอย ส่วนมากปลูกแถบจังหวัดพระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี ลพบุรี

**แบ่งตามอายุการเก็บเกี่ยว** ประกอบด้วย ข้าวเบา มีอายุเก็บเกี่ยว 90 – 100 วัน ข้าวกลาง มีอายุเก็บเกี่ยว 120 วันและข้าวหนัก มีอายุเก็บเกี่ยวมากกว่า 120 วัน

**แบ่งตามลักษณะความไวต่อช่วงแสง** ความต้องการช่วงแสงสั้นของพันธุ์ข้าวแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกัน ทำให้พันธุ์ข้าวออกดอกไม่พร้อมกันประกอบด้วย 1) ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง คือ ข้าวที่ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันสั้น ช่วงกลางวันน้อยกว่า 12 ชั่วโมง (เวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน) 2) พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง คือ ข้าวที่ออกดอกเฉพาะในเดือนที่มีความยาวของกลางวันยาวกว่า 12 ชั่วโมง

**แบ่งตามรูปร่างของเมล็ดข้าว** ข้าวเมล็ดสั้น (Short grain) ความยาวของเมล็ดไม่เกิน 5.50 มิลลิเมตร

ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง (Medium grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 5.51-6.60 มิลลิเมตร

ข้าวเมล็ดยาว (Long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 6.61-7.  50 มิลลิเมตร

ข้าวเมล็ดยาวมาก (Extra-long grain) ความยาวของเมล็ดตั้งแต่ 7. 51 มิลลิเมตรขึ้นไป

**แบ่งตามฤดูปลูก** ข้าวนาปีหรือข้าวนาน้ำฝน คือ ข้าวที่ปลูกในฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมและเก็บเกี่ยวเสร็จสิ้นล่าสุดไม่เกินเดือนกุมภาพันธ์ และ ข้าวนาปรัง คือ ข้าวที่ปลูกนอกฤดูการทำนาปกติ เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม ในบางท้องที่จะเก็บเกี่ยวอย่างช้าที่สุดไม่เกินเดือนเมษายน นิยมปลูกในท้องที่ที่มีการชลประทานดี เช่น ในภาคกลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ความสำคัญของพันธุ์ข้าว** พันธุ์ข้าวเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอันดับแรกในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตข้าวโดยไม่ต้องเพิ่มต้นทุนการผลิต ถ้าเรามีพันธุ์ข้าวที่ให้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพ ทั้งข้าวคุณภาพดี ข้าวคุณภาพปานกลาง ข้าวคุณภาพต่ำ และข้าวคุณภาพพิเศษ ที่ตรงกับความต้องการของตลาดและเพื่อทำผลิตภัณฑ์มีความต้านทานต่อโรคแมลง และมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในแต่ละท้องถิ่นแล้วจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตข้าวได้เป็นอย่างดี ตารางด้านล่างแสดงพันธุ์ข้าวในประเทศไทยจำนวน 116 พันธุ์ ดังนี้

ตารางที่ 4 พันธุ์ข้าวในประเทศไทยจำนวน 116 สายพันธุ์

ตารางที่ 5 พันธุ์ข้าวในประเทศไทย

| พันธุ์ | จำนวน | พันธุ์ |
|---|---|---|
| พันธุ์ข้าวนาสวนไวต่อช่วงแสง | 43 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวนาสวนไม่ไวต่อช่วงแสง | 38 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวขึ้นน้ำไวต่อช่วงแสง | 5 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวน้ำลึกไวต่อช่วงแสง | 6 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวน้ำลึกไม่ไวต่อช่วงแสง | 1 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวไร่ไวต่อช่วงแสง | 9 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวไร่ไม่ไวต่อช่วงแสง | 1 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวแดงไวต่อช่วงแสง | 2 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวแดงไม่ไวต่อช่วงแสง | 1 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวญี่ปุ่น | 2 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวสาลี | 4 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวบาร์เลย์ | 2 | พันธุ์ |
| พันธุ์ข้าวลูกผสม | 2 | พันธุ์ |

ที่มา : สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว (2562)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พันธุ์ข้าวเหล่านี้มีทั้งชนิดข้าวเจ้าและข้าวเหนียว มีทั้งพันธุ์ที่ปลูกเฉพาะนาปีและปลูกได้ตลอดปี และมีบางพันธุ์เป็นข้าวหอม พันธุ์ข้าวส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีความต้านทานต่อโรค, แมลง และเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูก

การปรับปรุงพันธุ์ข้าวเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพื่อค้นหาพันธุ์ข้าวที่ตอบโจทย์สำหรับกลุ่มผู้บริโภคที่มีหลากหลายและมีขีดจำกัดในการบริโภคข้าวในยุคปัจจุบัน เช่น พันธุ์ข้าวที่มีระดับดัชนีน้ำตาลต่ำเพื่อตอบสนองกลุ่มผู้สูงวัยและผู้ป่วยโรคเบาหวาน เป็นต้น

**ข้าวขาวดอกมะลิ 105** เป็นสายพันธุ์ข้าวที่มีถิ่นกำเนิดในไทย มีลักษณะกลิ่นหอมคล้ายใบเตย เป็นพันธุ์ข้าวที่ทำให้ข้าวไทยเป็นสินค้าส่งออกที่รู้จักไปทั่วโลก เมื่อปีพ.ศ. 2497 นายสุนทร สีหเนิน พนักงานข้าว จังหวัดฉะเชิงเทรา ได้รวบรวมพันธุ์ข้าวหอมในเขตอำเภอบางคล้า ได้จำนวน 199 รวง แล้ว ดร. ครุย บุณยสิงห์ ผู้อำนวยการกองบำรุงพันธุ์ข้าวในเวลานั้น ได้ส่งไปปลูกคัดพันธุ์บริสุทธิ์และเปรียบเทียบพันธุ์ที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง (ปัจจุบันคือสถานีข้าวลพบุรีดำเนินการคัดพันธุ์โดย ( นักวิชาการเกษตรชื่อนายมังกร จูมทองภายใต้การดูแลของนายโอภาส พลศิลป์ หัวหน้าสถานีทดลองข้าวโคกสำโรงจนกระทั่งปี พ .ศ.2502 ได้พันธุ์บริสุทธิ์ข้าวขาวดอกมะลิ 4-2-105105 : หมายเลข 4 หมายถึงอำเภอที่เก็บมาคืออำเภอบางคล้า หมายเลข 2 หมายถึง ชื่อพันธุ์ข้าวที่เก็บในอำเภอ คือ พันธุ์หอมมะลิ และ หมายเลข 105 คือ ตำแหน่งรวงข้าวของพันธุ์หอมมะลิที่เก็บ, รวงที่ 105 และคณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ข้าวได้อนุมัติให้เป็นพันธุ์ส่งเสริมแก่เกษตรกร เมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ .ศ.2502 โดยเกษตรกรทั่วไปเรียกว่า ข้าวดอกมะลิ“105” ต่อมาได้มีการปรับปรุงพันธุ์ข้าว ขาวดอกมะลิ 105 จนได้ข้าวพันธุ์ กข 15 ซึ่งพันธุ์ข้าวทั้งสองนี้ กระทรวงพาณิชย์ได้ประกาศเป็นข้าวหอมมะลิไทยในปี พ.ศ. 2559 เพื่อเป็นมาตรฐานในการส่งออก และได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงทั้งในและต่างประเทศจวบจนปัจจุบัน

**ลักษณะจำเพาะของกลิ่นหอมมะลิ** ความหอมของข้าวหอมมะลิ เกิดจากสารระเหยชื่อ 2-acetyl-1-pyroline ซึ่งเป็นสารที่ระเหยหายไปได้ การรักษาความหอมของข้าวหอมมะลิให้คงอยู่นานนั้นจึงควรเก็บข้าวไว้ในที่เย็น อุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส เก็บข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำ 14-15% ลดความชื้นข้าวเปลือกที่อุณหภูมิไม่สูง

**พันธุ์ข้าว** ชื่อพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 (Khao Dawk Mali : KDML 105)

**การรับรองพันธุ์** โดยคณะกรรมการการพิจารณาพันธุ์ ให้ใช้ขยายพันธุ์เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2502

**ลักษณะประจำพันธุ์** คือเป็นข้าวเจ้าหอม สูงประมาณ 140 เซนติเมตร ไวต่อช่วงแสง ลำต้นสีเขียวจาง ใบสีเขียวยาวค่อนข้างแคบ ฟางอ่อน ใบธงทำมุมกับคอรวง เมล็ดข้าวรูปร่างเรียวยาว ข้าวเปลือกสีฟาง อายุเก็บเกี่ยว ประมาณ 25 พฤศจิกายน เมล็ดข้าวเปลือก ยาว x กว้าง x หนา =10.6 x 2.5 x 1.9 มิลลิเมตร เมล็ดข้าวกล้อง ยาว x กว้าง x หนา =7.5 x 2.1 x 1.8 มิลลิเมตร ปริมาณอะไมเลส 12-17 % คุณภาพข้าวสุก นุ่ม มีกลิ่นหอม

**ผลผลิต** ประมาณ 363 กิโลกรัมต่อไร่

**ลักษณะเด่น**

1.ทนแล้งได้ดีพอสมควร

2.เมล็ดข้าวสารใส แกร่ง คุณภาพการสีดี

3.คุณภาพการหุงต้มดี อ่อนนุ่ม มีกลิ่นหอม

4.ทนต่อสภาพดินเปรี้ยว และดินเค็ม

**ข้อควรระวัง** ไม่ต้านทานโรคใบสีส้ม โรคขอบใบแห้ง โรคไหม้ และโรคใบหงิก ไม่ต้านทานเพลี้ย กระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว และหนอนกอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**พื้นที่แนะนำ** ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือตอนบน (กรมการข้าว, 2559)

**การทำนาดำ** เป็นวิธีการทำนาที่มีการนำเมล็ดข้าวไปเพาะในแปลงที่เตรียมไว้ ให้งอกเป็นต้นกล้า แล้วถอนต้นกล้าไปปักดำในบริเวณแปลงนาที่เตรียมไว้ และมีการดูแลรักษาจนให้ผลผลิต

**ขั้นตอนการทำนาดำ**

**การเตรียมดิน** การเตรียมดินสำหรับการทำนา ต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เช่น น้ำ ภูมิอากาศ ลักษณะพื้นที่ ตลอดจนแบบวิธีการทำนา และเครื่องมือการเตรียมดินที่แตกต่างกัน การเตรียมดินแยกได้เป็น 2 ขั้นตอนคือ การไถดะ และไถแปร การไถดะคือ การไถพลิกหน้าดินครั้งแรกเพื่อกำจัดวัชพืช และตากดินให้แห้ง การไถแปร คือการไถครั้งที่สองโดยไถขวางแนวไถดะ เพื่อย่อยดินและคลุกเคล้าฟาง วัชพืช ไปในดิน การไถในสมัยโบราณใช้แรงงานสัตว์แต่ปัจจุบันใช้รถไถเดินตามหรือรถแทรกเตอร์

**การคราดหรือใช้ลูกทุบเตรียมดินเพื่อปักดำ** คือการกำจัดวัชพืช ตลอดจนการทำให้ดินแตกตัวและเป็นโคลน-ตม พร้อมที่จะปักดำได้ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำต่อจากการไถดะและไถแปร และขังน้ำไว้ระยะหนึ่ง เพื่อให้มีสภาพดินที่เหมาะสมในการคราด

**การปักดำ** การปักดำควรทำเป็นแถวเป็นแนวซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการจัดการตลอดจนเก็บเกี่ยว เช่น การกำจัดวัชพืช การใส่ปุ๋ย เป็นต้นและยังทำให้ข้าวแต่ละกอมีโอกาสได้รับอาหารและแสงแดดอย่างสม่ำเสมอกันสำหรับระยะปักดำนั้นขึ้นกับชนิดและพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงหรือข้าวนาปรัง เช่นพันธุ์ สุพรรณบุรี1 ชัยนาท1 พิษณุโลก2 สันป่าตอง1 ควรใช้ระยะปักดำระหว่างแถวและระหว่างกอ 20x20 เซนติเมตร หรือ 20x25 เซนติเมตร พันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสงหรือข้าวนาปี เช่น เหลืองประทิว123 ขาวดอกมะลิ105 กข15 กข6 ปทุมธานี60 ควรใช้ระยะปักดำ 30x30 เซนติเมตร การปักดำจะใช้จำนวนต้นกล้า 3-5 ต้น ปักดำลึกประมาณ 3-5 เซนติเมตร จะทำให้ข้าวแตกกอใหม่ได้เต็มที่ การปักดำลึกจะทำให้ข้าวตั้งตัวได้ช้าและแตกกอได้น้อย ไม่ควรตัดใบกล้าเพราะการตัดใบกล้าจะทำให้เกิดแผลที่ใบ จะทำให้โรคเข้าทำลายได้ง่าย ควรตัดใบกรณีที่จำเป็น เช่น ใช้กล้าอายุมาก มีใบยาว ต้นสูง หรือมีลมแรง เมื่อปักดำแล้วจะทำให้ต้นข้าวล้ม เป็นต้น อายุกล้า การใช้กล้าอายุที่เหมาะสม จะทำให้ข้าวตั้งตัวเร็ว แตกกอได้มาก และให้ผลผลิตสูง

**อายุกล้าที่เหมาะสมสำหรับปักดำ** ขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์ข้าว ได้แก่ พันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงหรือข้าวนาปรัง เช่นพันธุ์ สุพรรณบุรี1 ชัยนาท1 พิษณุโลก2 ควรใช้กล้าที่มีอายุประมาณ 20-25 วัน พันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสงหรือข้าวนาปี เช่น เหลืองประทิว123 ขาวดอกมะลิ105 กข15 กข6 ปทุมธานี60 ควรใช้กล้าที่มีอายุประมาณ 25-30 วัน ระดับน้ำในการปักดำ ควรมีระดับน้ำในนาน้อยที่สุด เพียงแค่คลุมผิวดิน เพื่อป้องกันวัชพืชและประคองต้นข้าวไว้ไม่ให้ล้ม การควบคุมระดับน้ำหลังปักดำก็เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะระดับน้ำลึกจะทำให้ต้นข้าวแตกกอน้อย ซึ่งจะทำให้ผลผลิตต่ำ ควรควบคุมให้อยู่ในระดับลึกประมาณ 5-10 เซนติเมตร

## การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารและการดูดซึมของพืช (Nutrient movement and root uptake)

ธาตุอาหารในดินเข้าสู่พืชได้ 2 ทาง คือ 1) รากจะเจริญเติบโตได้รับธาตุอาหาร 2) สารอาหารไปที่รากผ่านทางน้ำในดิน ทั้งนี้การเคลื่อนที่ของธาตุอาหารในดินขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่

1. โครงสร้างของดิน โครงสร้างการบดอัดดิน แน่นไม่มีรูพรุน จะเป็นอุปสรรคและจำกัดความสามารถของรากในการเคลื่อนย้ายไปยังสารอาหารและความสามารถของน้ำในการ

เคลื่อนที่นำพาสารอาหารไปยังระบบราก การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของดินเป็นวิธีการหนึ่งที่ช่วยการเจริญเติบโตของรากและการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหาร

2. ความเข้มข้นของธาตุอาหาร ความเข้มข้นโดยรวมของธาตุอาหารในดินมีผลต่อการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไปยังระบบราก หากความเข้มข้นของธาตุอาหารกระจายทั่วพื้นที่ในดินจะเพิ่มโอกาสในการเคลื่อนย้ายธาตุอาหารไปยังพืช ระดับของสารอาหารที่มีตลอดฤดูกาลจึงเป็นสิ่งสำคัญ
3. การดูดซึมธาตุอาหาร หากธาตุอาหารยึดติดกับดินมาก สารอาหารจะเคลื่อนไปที่รากได้ยากขึ้น
4. การเคลื่อนย้ายของธาตุอาหาร ความเร็วที่สารอาหารสามารถเคลื่อนที่ไปทั่วดินมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหาร การเคลื่อนย้ายจะแตกต่างกันไปในแต่ละสารอาหาร สารอาหารประเภท ไนเตรต (N) และกำมะถัน (S) สามารถเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและเข้าถึงรากพืชได้ง่ายกว่าสารอาหารที่ไม่เคลื่อนที่เช่นฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K)

**ที่มาของอาหารและรูปของธาตุอาหารพืช** แหล่งที่มาของอาหารพืชมาจาก 2 แหล่ง คือ แร่ในดิน และ อินทรียวัตถุในดิน ธาตุอาหารในดินมี 2 รูป (forms) คือ 1) รูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available form) 2) รูปที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช (unavailable form) ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility) คือ ความสามารถของดินในการให้ธาตุอาหาร ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงหมายถึงดินที่สามารถให้ ธาตุอาหารพืชได้ทุกธาตุที่พืชต้องการ ให้ธาตุเหล่านั้นในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในปริมาณที่เพียงพอ และพืชได้รับธาตุเหล่านั้นในสัดส่วนที่สมดุลตามความต้องการของพืช ธาตุอาหารในดินรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมี 2 แบบ คือ ไอออนในสารละลายดิน และไอออนที่แลกเปลี่ยนได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ไอออนในสารละลายในดิน**

ไอออน (ion) คือ อะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่มีประจุ เช่น อะตอมมีประจุ ได้แก่ โพแทสเซียม อะตอมมีประจุบวก (K+) เรียกโพแทสเซียมไอออน หรือ กลุ่มอะตอมมีประจุ ได้แก่ กลุ่มของอะตอมสองธาตุประกอบด้วย ไนโตรเจนหนึ่งอะตอมกับออกซิเจนสามอะตอม มีประจุลบ (NO3-) ซึ่งเรียกว่าไนเทรตไอออน ไอออนมี 2 ประจุ คือไอออนประจุบวก (แคตไอออน) และไอออนประจุลบ (แอนไอออน) แคตไอออน (cation) คือ ไอออนที่มีประจุบวก เช่น โพแทสเซียมไอออน (K+) ที่มาของชื่อ คือ เมื่อสลายเกลือด้วยไฟฟ้า แคตไอออนจะวิ่งไปหาขั้วคาโทด (cathode) แอนไอออน (anion) คือ ไอออนที่มีประจุลบ เช่น ซัลเฟตไอออน (SO42-) ที่มาของชื่อ คือ เมื่อสลายเกลือด้วยไฟฟ้า แอน

ไอออนจะวิ่งไปหาขั้วอะโนด (anode) สารละลายดิน (soil solution) คือ ส่วนของดินที่เป็นของเหลว ประกอบด้วยน้ำและตัวละลาย (ได้แก่ไอออนต่างๆ และสารที่ละลายน้ำได้) ปริมาณของสารละลายดินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นของดิน

**ไอออนที่แลกเปลี่ยนได้**

ปฏิกิริยาเคมีในดินที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ ปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนระหว่างไอออนที่ดูดซับบริเวณผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียวและผิวของฮิวมัส กับไอออนในสารละลายดิน จนเกิดสภาวะสมดุล:ซึ่งมี 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาแบบที่ 1 ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนระหว่างแคตไอออน หรือ การแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange) ซึ่งมีมาก เพราะอนุภาคแร่ดินเหนียวและผิวของฮิวมัสมีประจุลบอันเป็นที่เกาะหรือดูดซับของแคตไอออนมาก ปฏิกิริยาแบบที่ 2 ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนระหว่างแอนไอออน หรือ การแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange) ซึ่งมีน้อย เพราะอนุภาคแร่ดินเหนียวและผิวของฮิวมัสมีประจุบวกอันเป็นที่เกาะหรือดูดซับของแอนไอออนน้อย

1) การแลกเปลี่ยนแคตไอออน (cation exchange) ในปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนระหว่างแคตไอออน มีไอออนอยู่ 2 พวก คือ 1) แคตไอออนที่ผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียวและผิวของฮิวมัส เรียกว่าแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ และ 2) ไอออนในสารละลายดิน ซึ่งจะเข้ามาแทนที่เมื่อปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนระหว่างแคตไอออนสิ้นสุดลง

2) การแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange)

เนื่องจากที่ผิวของอนุภาคแร่ดินเหนียวและผิวของฮิวมัสบางบริเวณมีประจุบวก จึงมีแอนไอออนมาดูดซับ หรือมีแอนไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable anion) ในขณะเดียวกันก็มีแอนไอออนอยู่ในสารละลายดิน จึงมีปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนแอนไอออน (anion exchange) เช่นเดียวกัน

**ความสำคัญของไอออนที่แลกเปลี่ยนได้**

1) แคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ มีความสำคัญเนื่องจาก เป็นแคตไอออนของธาตุอาหารซึ่งถูกดูดซับกับประจุลบอยู่ที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวและฮิวมัส ส่วนนี้รากพืชสามารถดูดไปใช้ได้โดยตรง แต่ที่สำคัญมาก คือ เป็นส่วนของแคตไอออนที่ไม่สูญเสียไปกับน้ำที่ชะผ่านดิน และ เมื่อมีแคตไอออนอื่นเข้าไปไล่ที่ ให้ออกมาอยู่ในสารละลายของดิน ซึ่งรากพืชก็ดูดไปได้ง่ายเช่นกัน

2) แอนไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ มีความสำคัญในฐานะเป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช เช่นเดียวกัน ในดินทุกชนิดปริมาณแอนไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ มีน้อยกว่าแคตไอออนที่แลกเปลี่ยนได้ (ยงยุทธ โอสถสภา, 2020)

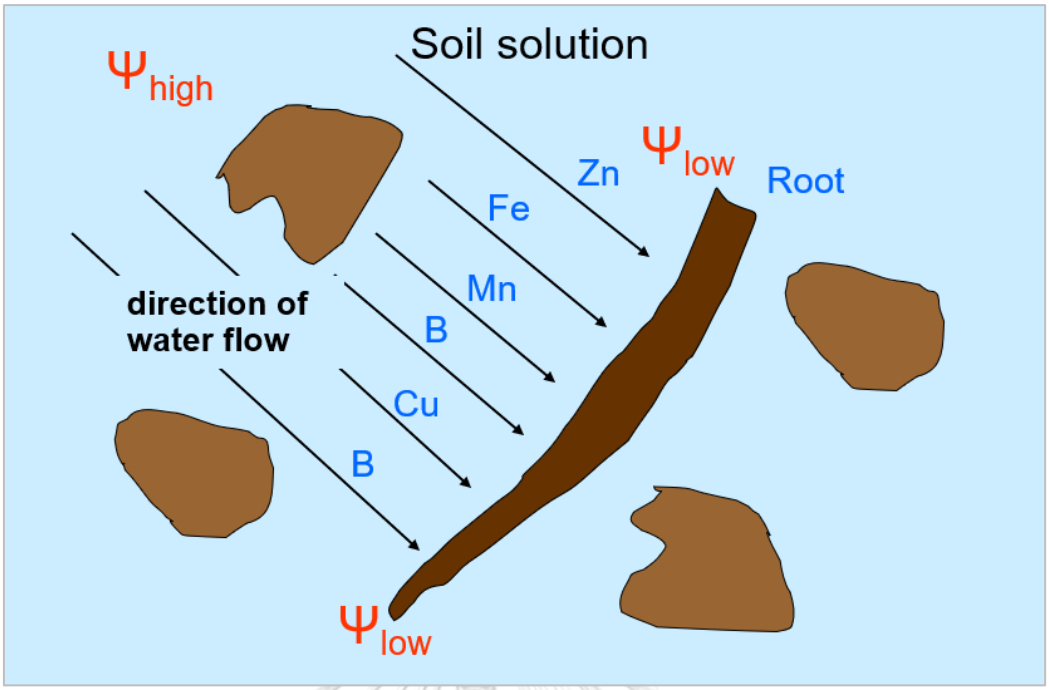
**การดูดซึมสารอาหารโดยระบบรากพืช (Nutrient uptake by the root system)**

สารอาหารเข้าถึงระบบรากเพื่อให้พืชดูดซึมได้หลายกลไก ซึ่งแต่ละกลไกก็มีประโยชน์ต่อธาตุอาหารบางชนิด ขึ้นอยู่กับว่าสารอาหารเหล่านั้นเคลื่อนที่ไปทั่วดินอย่างไร

Root Interception and contact exchange เป็นกระบวนการที่รากเติบโตแทรกผ่านไปในดินเพื่อสัมผัสกับสารอาหาร โดยทั่วไปรากจะเติบโตแผ่ขยายผ่านดินและสัมผัสกับปริมาณดินประมาณ 1-2 % โครงสร้างของดินที่ดีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการ root interception and contact exchange หากโครงสร้างของดินอัดแน่น ไม่มีรูพรุน จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของรากและการสกัดกั้นการไหลเวียนของสารอาหารในดิน ปริมาณสารอาหารที่พืชได้รับโดยกลไกนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของธาตุอาหารในดินและปริมาตรดินที่ถูกแทนที่โดยระบบราก ปัจจัยที่มีผลต่อกลไก root interception ได้แก่ ความชื้นของดิน (soil moisture) ความหนาแน่นของดิน (soil compaction) ความเป็นกรดด่างของดิน (soil pH) การระบายอากาศของดิน (soil aeration) โรคแมลง ไส้เดือนฝอยราก และ อุณหภูมิของดิน

Mass Flow เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนธาตุอาหารในดินไปสู่รากตามการไหล (convective flow) ของน้ำ Mass Flow จะแสดงถึงการดูดซึมสารอาหารที่เคลื่อนที่ได้ เช่น ไนโตรเจนและกำมะถัน ความเข้มข้นของสารอาหารมีบทบาทอย่างมากต่อปริมาณของสารอาหารที่พืชได้รับผ่านกลไก Mass Flow หากสารอาหารมีอยู่มากในดิน ธาตุอาหารที่เคลื่อนย้ายโดยน้ำไปยังระบบรากก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย ดังภาพแสดงด้านล่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




รูปที่ 13 การได้รับธาตุอาหารพืชโดยกลไก Mass flow
ที่มา : ปัทมา วิตยากร แรมโบ (2555)

ปริมาณสารอาหารที่รากพืชได้รับโดยกลไก mass flow ขึ้นอยู่กับ อัตราการไหลของน้ำหรือปริมาตรน้ำที่พืชดูดใช้ ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของธาตุอาหารในสารละลายดิน ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่พืชดูดใช้ ได้แก่ ปริมาณของระบบราก ความชื้นของดิน และ อุณหภูมิของดิน การลำเลียงสารอาหารโดย mass flow จะลดลงเมื่อความชื้นของดินลดลง อุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้ mass flow ลดลงเช่นกันเพราะการดูดน้ำของพืชลดลง

diffusion หมายถึง การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลาย (solute) ในสารละลายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เมื่อกลไก root interception และ mass flow ให้อาหารแก่พืชได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช รากพืชก็จะทำการดูดธาตุอาหารต่อไป ทำให้ความเข้มข้นธาตุอาหารบริเวณรากพืชลดลงต่ำกว่าบริเวณที่ห่างจากรากพืชออกไป เกิดแนวลาดเทของความเข้มข้น (concentration gradient) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับผิวราก ธาตุอาหารจึงแพร่มาสู่ราก โดยทั่วไป diffusion จะสิ้นสุดลงเมื่อความเข้มข้นสองตำแหน่งเท่ากัน แต่เนื่องจากรากดูดใช้ธาตุอาหารอยู่เสมอ ความสมดุลจึงไม่เกิดขึ้น และธาตุอาหารจะแพร่ไปสู่รากตาม gradient ของความเข้มข้นอย่างต่อเนื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อ diffusion ได้แก่ ปัจจัยด้านอุณหภูมิของดิน เช่น ถ้าอุณหภูมิต่ำ

ก็ทำให้การ diffusion ช้าลง ความชื้นของดิน เช่น ถ้าดินแห้ง การ diffusion ก็ช้าลง แต่ถ้าดินมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้อัตราการ diffusion เพิ่มขึ้น soil buffering capacity ดินที่มี buffering capacity สูง เช่น มีเปอร์เซ็นต์แร่ดินเหนียว (%clay) สูง ก็มีส่วนทำให้ธาตุอาหารที่ลำเลียงโดยกลไก diffusion อาจจะถูกดูดยึดโดยอนุภาคของแร่ดินเหนียว ทำให้อัตราการ diffusion ลดลง

**ธาตุอาหารในหินบะซอลต์ผุที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช**

ซิลิคอน (Si) เป็นธาตุอาหารที่มีประโยชน์สำหรับข้าว แต่หน้าที่ของธาตุนี้ในพืชยังไม่ทราบแน่ชัด ซิลิคอนจำเป็นในการพัฒนาใบ รากและลำต้นที่แข็งแรง ซิลิคอนที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ช่วยให้พืชต้านทานโรค แมลงและปลวกดีขึ้น ข้าวที่ได้รับซิลิคอนพอเพียงจะมีใบและลำต้นตั้ง ทำให้การสังเคราะห์แสงดีขึ้นข้าวที่ขาดซิลิคอนจะมีใบไม่กระด้างและโน้มลง (Droopy) ทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงลดลง ข้าวจะอ่อนแอต่อการทำลายโรคและแมลง การขาดที่รุนแรงจะเกิดจุดสีน้ำตาลบนใบข้าว จำนวนรวงต่อตารางเมตรและจำนวนเมล็ดดีต่อรวงลดลง ข้าวจะหักล้มมาก การขาดซิลิคอนมีสาเหตุจากการที่ดินมีปริมาณซิลิคอนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต วัตถุต้นกำเนิดดินมีปริมาณซิลิคอนต่ำ รวมทั้งการขนฟางออกจากแปลงนาเป็นระยะเวลาหลายปีติดต่อกันก็ทำให้ดินขาดซิลิคอนได้เช่นกัน การขาดซิลิคอนมักพบในดินนาที่เสื่อมโทรม ดินพีทที่มีปริมาณซิลิคอนต่ำ และดินนาน้ำฝนที่มีการชะล้างสูง เช่น ดินนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กองปฐพีวิทยา , 2543) ซิลิคอนพบได้ทั่วไปในทราย หรือ ดินปนทราย และหินบะซอลต์ผุ นอกจากซิลิคอนทำหน้าที่ช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น โดยทำให้ลำต้นแข็งแรงและอ้วนขึ้น ช่วยให้ใบพืชหันเข้าหาแสงมากขึ้น และทำให้พืชทนทานต่อโรคที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียและรา เช่น โรคราแป้ง แล้วยังสร้างความทนทานต่อความร้อนหรือความเค็มจัดไปจนถึงความเป็นพิษของโลหะหนักและอลูมิเนียมด้วย (G.H.Korndörferl et al., 2001)

แคลเซียม (Ca) พบมากในกระดูก เปลือกไข่ ปูนขาว หรือ ยิปซัม หินผุ แคลเซียมมีส่วนช่วยให้เนื้อเยื่อพืชแข็งแรงขึ้นได้เช่นเดียวกับการสร้างความแข็งแรงของกระดูก และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่ช่วยในการทำงานเนื้อเยื่อพืช แม้ว่าพืชจะใช้แคลเซียมในปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับธาตุอื่นๆ แต่หากพืชได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอจะส่งผลให้พืชเจริญเติบโตผิดปกติ เช่น อาการแห้งกรอบ ยอดใบอ่อนไหม้ หรือเกิดจุดด่างในใบ เป็นต้น

แมงกานีส (Mg) แมงกานีสเป็นธาตุอาหารเสริมที่พืชต้องการในปริมาณน้อย โดยส่วนใหญ่เกษตรกรจะให้ความสำคัญ กับธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองโดยไม่คำนึงถึงธาตุอาหารเสริม อย่างไรก็ตามแมงกานีสเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เป็นตัวเร่งการทำงานและองค์ประกอบของเอนไซม์และการพัฒนาของพืชในระยะเจริญพันธุ์ (ยงยุทธ, 2552) แต่ถ้าหากพืชได้รับแมงกานีสมากเกินไปจะส่งผลต่อพืชเช่นกัน เช่น หากให้แมงกานีสมากเกิดไปในการปลูกแตงกวา แมงกานีสจะยับยั้งการเจริญเติบโต (Shi et at.,2006) ใบชามีรอยด่างมีน้ำตาล (Venkatesan et al.,2007) หรืออาจส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ และการสังเคราะห์แสงลดลง (Rezai and Farboodnai, 2008) การขาดแมกนีเซียมเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้การแลกเปลี่ยนธาตุอาหารไม่สมดุล มีการแลกเปลี่ยนไอออนได้ในระดับต่ำในดินที่เป็นกรด แต่การเติม Mg นั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของพืช พันธุ์พืช และคุณลักษณะของดิน

**ความหอมของข้าว**

ความหอมของข้าวเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญต่อคุณภาพของข้าว ข้าวที่มีความหอม (Fragrant rice) จะมีราคาที่สูงกว่าและถูกเลือกจากผู้บริโภคมากกว่าข้าวที่ไม่มีความหอม (Non-fragrant rice) นอกจากนี้ความหอมยังถูกนำไปใช้เป็นกลยุทธ์เพื่อแข่งขันในตลาดการค้าข้าวของโลกอีกด้วย (Chen et al., 2016) ทำให้หลายประเทศมีเป้าหมายสำคัญสำหรับการปรับปรุงพันธุ์ที่ให้กลิ่นอันเป็นเอกลักษณ์ และคงสภาพความหอมไว้ได้ยาวนาน (Wang et al.2553) ความหอมที่มีความเฉพาะเจาะจงนั้นได้มาจากองค์ประกอบทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก อาทิเช่น พันธุ์ข้าว ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ แสงแดด กระบวนการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา ความหอมของข้าวเกิดจากการผสมผสานของสารหอมระเหยมากกว่า 500 ชนิด (Deepak Kumar Verma, 2020) แต่ที่มีความโดดเด่นและพบมากที่สุดในข้าวหอม คือกลุ่มของสารประกอบที่เรียกว่า 2-acetyl-1-pyrroline (2-AP) สาร 2 AP จะถูกสร้างขึ้นเมื่อข้าวอยู่ในสภาวะเครียด และจะเก็บสะสมไว้แทบทุกส่วนในเมล็ดข้าว (วาสนา, 2538) ในงานวิจัยเกี่ยวกับความหอมของข้าว ทำให้เราทราบถึงกลุ่มยีนและตำแหน่งโครโมโซม ที่ทำหน้าที่ควบคุมและเกี่ยวข้องกับความหอม (Bradbury et al.,2005) ทำให้พันธุ์ข้าวถูกพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์ให้มีคุณภาพอย่างต่อเนื่องด้วยกระบวนการมากมาย เช่น การทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (Mutation) ด้วยการฉายรังสี หรือ การตัดต่อยีนด้วยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรม (Genetic Engineering) เป็นต้น นอกจากนี้การควบคุมปัจจัยภายนอก เช่น การควบคุมน้ำโดยการทำให้ข้าวขาดน้ำ 7 วันหลังการออกดอก การเก็บเกี่ยวที่ระยะการเก็บเกี่ยว 35 วันหลังการออกดอก และลดความชื้นโดยการตากแดด เป็นวิธีการช่วยเพิ่มปริมาณสาร 2AP ในเมล็ดข้าวขาวดอก

มะลิ105 และ กข15 (ศูนย์วิจัยข้าวภาคตะวันออกเฉียงเหนือ , 2558) การเติมธาตุอาหารพืช เช่น ซัลเฟอร์ แคลเซียม แมงกานีส แมกนีเซียม และสังกะสี มีนัยสำคัญที่ส่งเสริมเชิงบวกกับค่า 2AP ในเมล็ดข้าว รวมถึง อินทรียวัตถุและฟอสฟอรัสในดินจะมีผลโดยตรงกับปริมาณของ สาร 2AP (รณชัย และคณะ,2558)

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

Zheng Wang (2019) ได้ทำการวิเคราะห์อภิปรายผลในบทความวิจัย 570 บทความและบทความภาคสนาม 99 บทความ เพื่อเปรียบเทียบผลของการให้ปุ๋ย Mg ต่อการผลิตพืชและประสิทธิภาพทางการเกษตรที่สอดคล้องกันในระบบการผลิตที่แตกต่างกันภายใต้สภาพดินที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยของการเพิ่มผลผลิตและประสิทธิภาพทางการเกษตรที่ได้จากการใช้ Mg เมื่อรวมการวัดผลผลิตทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยไม่คำนึงถึงชนิดของพืชสภาพดินและปัจจัยอื่น ๆ พบว่าในสภาพดินที่ Mg อย่างรุนแรง Mg <60 mg kg-1) เมื่อเติม Mg ลงไปในดินพบว่าผลผลิตของพืชนั้นเพิ่มขึ้น 8.5% และ 34.4 kg kg-1 ตามลำดับ ในดินที่มี Mg มากกว่า 120 mg kg-1 ex-Mg ผลผลิตเพิ่มขึ้นถึง 9.4% หรือ 2 เท่าจากผลผลิตเดิม อย่างไรก็ตาม การเติม Mg จะมีความสัมพันธ์กับ ค่า pH ในดิน เมื่อค่า pH ของดินต่ำกว่า 6.5 ประสิทธิภาพในการดึง Mg ไปใช้ของพืชจะลดลง ซึ่งทำให้เห็นว่าค่า pH ในดินมีปฏิสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับ Mg การวิเคราะห์ยืนยันว่าการเติม Mg ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของพืชโดยการเพิ่มผลผลิตหรือส่งผลในทางบวกกับสรีรวิทยา ผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตในพืช

Savant (1977) ศึกษาการใช้ซิลิคอน กับบทบาทการจัดการธาตุอาหารแบบผสมผสานเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวอย่างยั่งยืน ซิลิคอนที่ต้นข้าวสามารถดูดซึมและนำไปใช้ได้จะอยู่ในรูปของ monosilicic acid [$H_4SiO_4$ หรือ Si (OH)4] จากนั้นต้นข้าวจะสะสมซิลิคอนในรูป amorphous SiO ซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับ cellulose และ hemicellulose ในยอดต้นข้าว ใบและเปลือก เรียกว่า cuticle-Si double layer ความเข้มข้นของซิลิคอนในสารละลายดินขึ้นอยู่กับ จลนศาสตร์การละลาย (dissolution kinetics) และปัจจัยต่างๆ ในดิน เช่น Al , Fe oxides , OM , redox potential และ ความชื้น ความเข้าใจในกระบวนการและปัจจัยในการละลายเหล่านี้จะทำให้เราสามารถดึงสารอาหารจากซิลิคอนในรูปที่พืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้อย่างเหมาะสม และมีการจัดการเกี่ยวกับบทบาทของซิลิคอนได้อย่างถูกต้อง

กรมทรัพยากรธรณี (2542) ได้ศึกษาการใช้ ซิลิคอน (Si) เป็นธาตุอาหารเสริมสำหรับนาข้าว ซึ่งในพื้นที่ส่วนใหญ่ของนาข้าวจะมีธาตุอาหารซิลิคอนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ เนื่องจากการละลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ของซิลิคอนในดินไม่เพียงพอสำหรับข้าว การเติมซิลิคอนในนาข้าวจะทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตได้ดี มีความต้นทานโรค และให้ผลผลิตสูง นอกจากนี้การเติมซิลิคอนในดินเปรี้ยวหรือดินที่เป็นกรด จะช่วยปรับสมดุลในดิน และลดความเป็นพิษของ อะลูมินา เหล็กและแมงกานีส ซึ่งมีความเป็นพิษต่อต้นข้าว

ชอบ คณะฤกษ์ และคณะ (2550) ศึกษาประโยชน์ของซิลิคอนที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชสรุปได้ดังนี้ ซิลิคอนจะให้ประโยชน์เฉพาะพืชที่สะสมซิลิคอนเท่านั้น ซิลิคอนช่วยยับยั้งการทำลายของโรคข้าว เช่น โรคไหม้ โรคจุดสีน้ำตาล กาบใบไหม้ใบพอง และโรคเมล็ดเปลี่ยนสี การเติมซิลิคอนในดินจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ปรับปรุงกระบวนการใช้น้ำ อากาศของพืชและช่วยเพิ่มการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจากแหล่งแร่ในดิน

ชนากานต์ เทโบลต์ พรมอุทัย (2559) ศึกษาความเข้มข้นของซิลิคอนในลำต้นและใบของข้าวพันธุ์ไทย 29 พันธุ์พบว่า ความเข้มข้นซิลิคอนในส่วนของลำต้นและใบของพันธุ์ข้าวนา 17 พันธุ์ และข้าวไร่ 12 พันธุ์ มีความแตกต่างกัน โดยพันธุ์ข้าวนาและข้าวไร่มีปริมาณความเข้มข้นของซิลิคอนในใบมากกว่าในลำต้น ในส่วนของใบพบว่าพันธุ์ข้าวนามีความเข้มข้นซิลิคอนมากกว่าพันธุ์ข้าวไร่ แต่พันธุ์ข้าวไร่มีความเข้มข้นซิลิคอนใน

ลำต้นมากกว่าพันธุ์ข้าวนา และยังพบว่าความเข้มข้นของซิลิคอนในลำต้นของพันธุ์ข้าวนามีผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิต สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิตของข้าวนา ซึ่งเป็นชนิดข้าวที่ปลูกเป็นส่วนมากในประเทศไทย

Kirkby (2012) องค์ประกอบของแร่ที่จำเป็นโดยจัดกลุ่มตามพฤติกรรมทางชีวเคมีและหน้าที่ทางสรีรวิทยาของพืชแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ กลุ่มแรกคือกลุ่มอินทรียวัตถุได้แก่ C, H, O, N, S ซึ่งจะมี amino acids, proteins, enzymes และ nucleic acids เป็นองค์ประกอบหลัก พืชสามารถดูดซึมสารอาหารเหล่านี้จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและรีดักชัน กลุ่มที่สองประกอบด้วย P, B, Si กลุ่มนี้เกิดจากสารละลายดิน เช่น inorganic anions หรือ acids ซึ่งอยู่ในเซลล์ของพืช หรือเป็นกลุ่มของน้ำตาลในหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups of sugars) ในรูปของ phosphate, borate และ silicate esters. กลุ่มที่สาม K, Na, Ca, Mg, Mn และ Cl กลุ่มนี้พืชจะสามารถดึงมาใช้จากสารละลายดินในรูปของไอออน เช่น $K^+$ , $Ca^{++}$,$Mg^{++}$ กลุ่มที่สามจะ อยู่ในรูปไอออนิกซึ่งมีฟังก์ชันที่ไม่เฉพาะเจาะจง (nonspecific functions) เช่น เกิดการสร้างศักย์ทางไฟฟ้า (electro-potentials) กลุ่มที่สี่ประกอบด้วย Fe, Cu, Zn และ Mo ที่ส่วนใหญ่มีอยู่ในพืชในรูปของคีเลตและช่วยในการขนส่งอิเล็กตรอนในการเปลี่ยนแปลงความจุ

ความพยายามที่จะเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้กับ KDML 105 ผ่านการวิจัยก่อนหน้านี้ มีมาอย่างต่อเนื่อง โดยใช้วิธีการและแนวทางที่หลากหลาย เช่น การจัดการน้ำ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีความต้องการน้ำมากในช่วงเพาะกล้า การออกดอก และการติดผล ดังนั้น ควรให้น้ำในปริมาณที่เพียงพอและเหมาะสมตามช่วงเวลาการเจริญเติบโตของข้าว จะทำให้ลดต้นทุน และประหยัดการใช้น้ำในแปลง การใช้เทคโนโลยีทางการเกษตร เช่น ระบบน้ำทำนาแบบเปียกชื้นหรือน้ำน้อย การใช้ระบบการเจริญเติบโตแบบอัตโนมัติ เป็นต้น การจัดการดินและปุ๋ยให้เหมาะสม กล่าวคือควรทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินและปรับปรุงดินให้เหมาะสม ให้ปุ๋ยตามความต้องการของข้าวในแต่ละช่วงเวลาของการเจริญเติบโต เช่นการทดลองปลูกข้าวในดินเค็มด้วยเทคนิคการเติมมูลสุกรที่ผ่านการหมัก 50% พร้อมกับปุ๋ยเคมี 100% เป็นการส่งเสริมผลผลิตข้าวเป็นอย่างมากถึงระดับสูงสุด (1.88 ตัน/ไร่) และการศึกษาแนะนำว่ามูลสุกรหมักสามารถปรับปรุงคุณภาพและความอุดมสมบูรณ์ของดินและลดความต้องการปุ๋ยเคมีสำหรับการผลิตข้าวบนดินเค็ม (Rann et al., 2016) การเติมปุ๋ยซิลิคอนในอัตรา 200 kg/ha ให้ผลผลิตข้าวมากที่สุดสำหรับการทดลองปลูกข้าวในประเทศพม่า (Mya Mya Swe, et al.,2021) ผลของการให้ซิลิกา (Si) และแมงกานีส (Mn) ในโรงเรือนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวพบว่า ที่ความเข้มข้นของ Si: 200 ppm และ Mn:  5 ppm มีนัยสำคัญต่อ ค่าความเขียวของใบ จำนวนกอ น้ำหนักแห้ง จำนวนเมล็ดข้าว และช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและความต้านทานของพืชข้าว (Timotiwu, et al.,2014) Hom Mali 821 เป็นข้าวหอมมะลิสายพันธุ์ที่ทดต่อสภาพน้ำท่วมและ มีความต้านทานต่อแมลงกินใบสีน้ำตาลที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวหอมมะลิ 105 เดิม ในขณะที่ยังคงคุณภาพการปรุงอาหารและกลิ่นหอมของข้าวไว้ ซึ่ง Hom mali 821 นี้ได้ถูกพัฒนามาจากข้าวหอมมะลิ 105 (Korinsak, et al.,2016)

Chulalongkorn University

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวพันธุ์ที่มีกลิ่นหอมเนื้อสัมผัสที่เฉพาะ ลักษณะของเมล็ดยาวเรียว เมื่อหุงแล้วข้าวจะมีสีขาวเป็นมัน เนื้อนุ่ม และมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติของ 2-Acetyl-1-pyrroline (2AP) (กรมการข้าว 2553) ด้วยคุณลักษณะพิเศษนี้ทำให้ KDML 105 เป็นที่ต้องการของตลาดโลกและถือได้ว่าเป็นสินค้า Premium แต่ประเทศไทยก็ไม่สามารถผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของตลาดต่างประเทศ (Pitiphunpong et al. 2011) ด้วยปัจจัยด้านลักษณะเฉพาะของสายพันธุ์ เช่น ความสูงของลำต้นและความไวต่อช่วงแสงเป็นลักษณะสำคัญที่ทำให้การผลิต KDML 105 ในประเทศไทยน้อยลง ด้วยคุณสมบัติไวต่อช่วงแสง KDML105 จึงปลูกได้เฉพาะช่วงเดือนสิงหาคม-ธันวาคม (Phanchaisri et al. 2007) เพื่อปรับปรุงโครงสร้างลำต้นและลดความไวต่อช่วงแสงของต้นข้าวพันธุ์ KDML 105 จึงมีการใช้สารก่อกลายพันธุ์ทั้งทางกายภาพและทางเคมี การพัฒนาสายพันธุ์

ด้วยลำแสงไอออนต่ำต่อข้าวพันธุ์ KDML 105 ทำให้ได้ข้าวพันธุ์ใหม่หลายสายพันธุ์ให้ผลผลิตสูงขึ้น ต้านทานภัยแล้ง (Boonrueng et al. 2013) และความต้านทานโรคใบไหม้ (Mahadtanapuk et al. 2013) ในการศึกษา ข้าวพันธุ์กลายพันธุ์ KDML 105 ที่ให้ผลผลิตสูง 6 ชนิด ซึ่งสามารถปลูกได้ในฤดูนาปรัง (OS) และไม่ไวต่อช่วงแสง ชื่อ HyKOS3, HyKOS3-1, HyKOS7-1, HyKOS16, HyKOS21 และ HyKOS22 ซึ่งสายพันธุ์ใหม่ทั้ง 6 สายพันธุ์ได้ผ่านการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสแล้วว่าเป็นที่ยอมรับ ของผู้บริโภค (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร : ARDA, 2013)

**2.6 ความยั่งยืนและแนวทางการใช้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร (มาตรฐานเลขที่ 2-2562)**

ปัจจุบันทุกองค์กรทั้งภาครัฐและภาคเอกชนล้วนหันมามุ่งเน้นและให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการและการพัฒนาเพื่อความยั่งยืน กล่าวคือทุกกระบวนการในห่วงโซ่อุปทานจะตระหนักและให้ความสำคัญในการรับผิดชอบต่อสังคมและส่วนรวมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นกลไกลในการขับเคลื่อนให้ประสบความสำเร็จในระดับองค์กร ระดับประเทศ และในระดับสากล วิกฤตเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นกับโลกยุคปัจจุบัน ยิ่งทำให้ความสำคัญในการแก้ปัญหาตั้งแต่ต้นน้ำไปตลอดปลายน้ำต้องมีความสัมพันธ์กันเพื่อเป็นการแก้ปัญหาแบบยั่งยืนและไม่ส่งผลหรือสร้างปัญหาใหม่ในอนาคต

**ความยั่งยืน (Sustainability)** เป็นแนวคิดที่ซับซ้อน มีหลายองค์กร บุคคล ให้คำนิยามไว้มากมาย คำจำกัดความที่อ้างถึงบ่อยที่สุดมาจาก UN World Commission on Environment and Development กล่าวว่า การพัฒนาที่ยั่งยืนคือการพัฒนาที่ตอบสนองความต้องการในปัจจุบันโดยไม่ลดทอนความสามารถของคนรุ่นต่อไปในอนาคต ความยั่งยืน หมายถึง ความสามารถในการดำรงสภาพอยู่ได้ต่อไปยังอนาคต ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด ตามวงจรการเปลี่ยนแปลงทั้งหลายทั้งภายในและภายนอก (ปิยะพันธ์ ทยานิธิ, 2558)

**ความยั่งยืนในระดับสากล** คือกระบวนการหรือการกระทำใดๆ ขององค์กรภาครัฐและภาคธุรกิจ ที่มีแนวทางปฏิบัติอย่างเป็นระบบ เพื่อสร้างคุณภาพชีวิตของประชาชน ทำให้ลูกหลานหรือคนรุ่นหลังมีคุณภาพชีวิตที่ดีด้วยการจัดการความยั่งยืนโดยการสร้างดุลภาพให้เกิดขึ้นระหว่างมนุษย์, สิ่งแวดล้อม, สังคม และเทคโนโลยี เพื่อให้ทุกมิติเกื้อกูลซึ่งกันและกันอย่างยั่งยืนและยาวนาน โดยกรอบการพัฒนาสู่ความยั่งยืนได้กำหนดเป็นเป้าหมายการพัฒนาระดับนานาชาติ ซึ่งจัดทำขึ้นโดยองค์กรสหประชาชาติ หรือ UN ประกอบด้วยเป้าหมายหลัก 17 ข้อ ซึ่งต้องการเสริมสร้างมาตรฐานชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรโลกครอบคลุมในทุกๆ ด้าน กล่าวคือความยั่งยืนหรือการพัฒนาอย่างยั่งยืนจึงไม่ใช่เรื่องของบุคคล องค์กร หรือหน่วยงานในระดับประเทศ แต่เป็นการพัฒนาในระดับสากล เป็น

เรื่องของประชากรโลก ที่แต่ละประเทศได้กำหนดวิสัยทัศน์เชิงนโยบายในหลากหลายแบบเพื่อกำหนดให้ไปในทิศทางเดียวกันทั่วโลก ในส่วนของประเทศไทยรัฐบาลมีมติกำหนดให้ 30 เป้าประสงค์เร่งด่วนที่จะต้องเร่งรัดดำเนินการในช่วง 5 ปีแรก จากเป้าหมาย 17 ประการและ 169 เป้าประสงค์ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ความยั่งยืนได้ถูกตีความและนิยามไว้มากมายในบริบทที่แตกต่างกันออกไป ตามนโยบายและบริบทของแต่ละประเทศ

**ความยั่งยืนในบริบทของการพัฒนาองค์กรภาครัฐ** จากผลงานการวิจัยและเอกสารทางวิชาการชี้ให้เห็นว่า สังคมไทยในปัจจุบันอยู่ภายใต้กระแสทุนนิยม ซึ่งมีลักษณะมุ่งหวังแต่ความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ โดยแสวงหากำไรจากการลงทุนและการบริโภค จึงทำให้เกิดการแข่งขันกันอย่างรุนแรงในทุกๆ ด้าน ภาครัฐจึงได้เตรียมความพร้อมในบริบทของการบริหารและพัฒนาองค์กรภาครัฐ เริ่มจากการนำระบบราชการก้าวสู่ระบบราชการ 4.0 โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ (ก.พ.ร.) จัดทำคู่มือแนวทางพัฒนาองค์การสู่ระบบราชการ 4.0 โดยยึดประชาชนเป็นศูนย์กลาง ตลอดจนพัฒนาองค์กรของรัฐให้มีขีดความสามารถสูงและทันสมัย โดยอาศัยปัจจัยหลักที่สำคัญจากการประสานทุกภาคส่วน องค์กรมีการสร้างนวัตกรรมปรับเข้าสู่การเป็นดิจิทัล ภายใต้หลักธรรมาภิบาล ของการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี (ก.พ.ร., 2562)

**ความยั่งยืนในบริบททางด้านธุรกิจ** คือแนวคิดการดำเนินธุรกิจอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เป็นแนวทางปฏิบัติที่ทำควบคู่ไปกับการบริหารเพื่อให้ได้ผลตอบแทนหรือได้รับผลประกอบการที่ดี ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของธุรกิจว่านอกจากจะสร้างสรรค์การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจแล้ว ยังสามารถเกื้อหนุนสังคมและสิ่งแวดล้อมให้พัฒนาและเติบโตควบคู่กันอย่างสมดุล ประกอบกับแนวทางการดำเนินธุรกิจอย่างมีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมได้รับการส่งเสริมในระดับสากลว่าเป็นแนวคิดที่สำคัญและจำเป็นต่อการบริหารจัดการและการพัฒนาธุรกิจอย่างยั่งยืน

**แนวทางการจัดการความยั่งยืนขององค์กรธุรกิจ** การจัดการความยั่งยืนขององค์กรธุรกิจอย่างแท้จริง คือการดำเนินธุรกิจโดยตระหนักถึงหน้าที่และความรับผิดชอบต่อสังคม รวมถึงส่งเสริมให้บุคลากรเห็นความสำคัญของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม โดยปฏิบัติหน้าที่ด้วยความรับผิดชอบต่อสังคมและชุมชนร่วมกันกับองค์กร ดังนี้

1.สร้างธรรมเนียมปฏิบัติภายในองค์กร เพื่อรับผิดชอบและอำนวยประโยชน์ต่อสังคมทั้งในระยะใกล้และไกล2.ส่งเสริมสนับสนุนให้เกิดการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะทางการศึกษาของเยาวชนและประชาชนทั่วไป รวมทั้งส่งเสริม การสร้างจิตสำนึกเรื่องการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและ

สิ่งแวดล้อมในชุมชนและสังคมไทย3.ให้การสนับสนุนกิจกรรมสาธารณประโยชน์ในหลายๆ รูปแบบ4. ให้ความร่วมมือ รวมถึงการสนับสนุนนโยบายของ รัฐบาลเพื่อผลประโยชน์ต่อสังคมส่วนรวม เช่น ออกแบบและเลือกใช้บรรจุภัณฑ์รักษ์โลกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม5.คำนึงถึงการเลือกใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า เช่น ออกแบบและผลิตบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุหีบห่อสินค้าที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก**ความยั่งยืนในบริบทขององค์กร** หมายถึง ระบบหรือกลไกที่สร้างความสมดุลของสามองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ เศรษฐกิจ (Economy) สังคม (Sociality) และสิ่งแวดล้อม (Environmental) (กรมองค์การระหว่างประเทศ , 2562)

**เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)**

เศรษฐกิจหมุนเวียน หมายถึง ระบบอุตสาหกรรมที่วางแผนและออกแบบ เพื่อคืนสภาพให้กับวัสดุในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ เพื่อลดการเกิดขยะหรือส่งผลกระทบอย่างอื่น เมื่อสิ้นสุดการบริโภค โดยการนำวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นกลับมาสร้างคุณค่าใหม่ หมุนเวียนเป็นวงจรต่อเนื่อง การออกแบบเศรษฐกิจให้หมุนเวียนเป็นวงจรไม่รู้จบนั้นมีหลักการที่กว้างกว่า การนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ (recycle) แต่เป็นแนวคิดที่รวบรวมและครอบคลุม 3 หลักการสำคัญดังนี้ 1) ออกแบบสินค้าและบริการที่เน้นการรักษาต้นทุนด้านทรัพยากรธรรมชาติ 2) เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยการหมุนเวียนวัตถุดิบและสินค้า และ 3) ลดการเกิดของเสียและผลกระทบเชิงลบ (negative externalities) ต่อสิ่งแวดล้อมให้ได้มากที่สุด

ปัจจุบันหลายประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป หรือในเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น และจีน กำลังปรับตัวเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อที่จะแก้วิกฤตทรัพยากรที่เกิดขึ้น แต่การนำแนวคิดนี้ไปปรับใช้ยังไม่ประสบความสำเร็จมากนัก เนื่องจากอุปสรรคและข้อจำกัดบางประการ เช่น พฤติกรรมผู้บริโภค ที่ยังไม่นิยมใช้สินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หรือสินค้ามือสอง ต้นทุนในการปรับกระบวนการผลิตและความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปแบบธุรกิจ รวมถึงศักยภาพของแรงงานที่ไม่เพียงพอกับเทคโนโลยีการผลิตที่รุดหน้า

สำหรับประเทศไทย ในแผนยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ได้กำหนดยุทธศาสตร์ด้านการสร้างการเติบโตด้วยคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 12 ขององค์การสหประชาชาติ ว่าด้วยเรื่องแผนการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน ซึ่งระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นกุญแจสำคัญในการบรรลุเป้าหมาย แต่ความตื่นตัวในเรื่องระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนยังไม่เกิดขึ้นอย่างชัดเจนในภาคธุรกิจของไทย ถึงแม้หลายบริษัทในไทยเริ่มให้ความสำคัญและกำหนดนโยบายในการปรับเปลี่ยนกระบวนการในองค์กรเพื่อตอบสนองด้านความยั่งยืน แต่การปรับเปลี่ยนนั้นต้องใช้งบประมาณ และวิสัยทัศน์ของผู้บริหารองค์กร ซึ่งสามารถ

ดำเนินการได้ในกลุ่มบริษัทที่มีความพร้อมสูงเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ที่ลดการใช้ทรัพยากรในการผลิตลงร้อยละ 25 แต่ยังคงคุณภาพของสินค้าได้เช่นเดิม รวมถึงการใช้ขยะพลาสติก เป็นต้น การก้าวสู่ระบบเศรษกิจหมุนเวียนนั้นเป็นเรื่องที่ท้าทาย และประสบความสำเร็จได้ต้องอาศัยความร่วมมือทุกภาคส่วน เช่น ภาคส่วนของผู้บริโภคต้องเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภค ภาคส่วนการเงินการธนาคารต้องให้การสนับสนุน กลุ่มบริษัท หรือ SME ที่มีแนวนโยบายเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจน ภาครัฐต้องกำลังดูแลและให้สิทธิพิเศษกับกลุ่มอุตสาหกรรมที่ใช้หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กรมาตรฐานเลขที่ 2-2562 ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ซึ่งครอบคลุมบริบทภายใต้มิติของความยั่งยืน ทั้งมิติด้านสิ่งแวดล้อม (environmental) มิติด้านสังคม (social) และมิติด้านธรรมาภิบาล (governance) (ธนันธร มหาพรประจักษ์, 2562)

**แนวทางการใช้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร มาตรฐานเลขที่ 2-2562** แนวทางการใช้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กรจัดทำโดยคณะอนุกรรมการวิชาการรายสาขา คณะที่ 5 เศรษฐกิจหมุนเวียน ภายใต้คณะกรรมการ วิชาการรายสาขา คณะที่ 59 ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม แปลและเรียบเรียงจาก BS 8001:2017 Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide ประกอบด้วยเนื้อหาหลัก 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เนื้อหาอธิบายและสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับคำว่าเศรษฐกิจหมุนเวียน ความหมาย หลักการและเหตุผล ทำไมถึงต้องเปลี่ยนรูปแบบการปฏิบัติงานขององค์กรเพื่อให้มีการหมุนเวียนและยั่งยืนมากขึ้น และส่วนที่ 2 เนื้อหาหลักเป็นรายละเอียดของมาตรฐานอธิบายถึงการเพื่อนำเศรษฐกิจหมุนเวียนไปดำเนินการในบริบทขององค์กรอย่างไร

**วัตถุประสงค์ของมาตรฐาน** 1) ให้กรอบการดำเนินงานและข้อเสนอแนะสำหรับองค์กรประเภทต่างๆ โดยไม่ขึ้นกับขนาดและระดับความรู้ 2) ให้ความเข้าใจเกี่ยวกับเศรษฐกิจหมุนเวียน การเริ่มต้นปฏิบัติจากแผนงาน โครงการขนาดเล็กและนำไปปฏิบัติได้โดยเร็ว

**โครงสร้างมาตรฐาน** ประกอบด้วย 4 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ทั่วไป หลักการ กรอบการดำเนินงาน และข้อแนะนำ

**1.ทั่วไป** เนื้อหาส่วนนี้อธิบายถึงแนวคิดของเศรษฐกิจหมุนเวียน ขอบข่าย คำศัพท์และบทนิยามต่างๆ และส่วนสุดท้ายคือเศรษฐกิจหมุนเวียนและความเกี่ยวข้องกับองค์กร

**แนวคิดของเศรษฐกิจหมุนเวียน** Circular Economy เป็นการผสมผสานหลักการ ของกลุ่มความคิดจากหลากหลายแหล่งตั้งแต่ช่วง ทศวรรษที่ 1960 ซึ่งมีนัยยะความยั่งยืนที่หลากหลาย เช่น การพัฒนาเศรษฐกิจบนฐานทรัพยากรทางทะเล และชายฝั่งอย่างยั่งยืน แนวคิดเศรษฐกิจศักยภาพ การเลียนแบบสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติมา ประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาของมนุษย์ แนวคิดระบบทุนนิยม

ธรรมชาติ แนวคิดนิเวศวิทยาอุตสาหกรรมและการอยู่ร่วมกัน แนวคิดจากแหล่งกำเนิดสู่แหล่งกำเนิด และการออกแบบเพื่อการปฏิรูปใหม่ (พงษวิภา หล่อสมบูรณ, 2562)

**การสร้างคุณค่าที่เหมาะสมผ่านการหมุนเวียน** หลักสำคัญของเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เกี่ยวข้องกับองค์กร ได้แก่ การใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่จากความสามารถในการใช้ซ้ำของผลิตภัณฑ์ของส่วนประกอบและวัสดุ ความสามารถในการฟื้นฟูและปฏิรูปทรัพยากรธรรมชาติและการสร้างคุณค่าที่เหมาะสมทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสมด้วยการใช้ซ้ำ การซ่อมแซม การปรับปรุงใหม่ การผลิตใหม่ และการรีไซเคิลวัสดุหรือผลิตภัณฑ์

**แนวคิดเชื่อมโยงของเศรษฐกิจหมุนเวียน** แนวคิดเชื่อมโยงของเศรษฐกิจหมุนเวียนนั้นเกิดจากความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิผลและเหมาะสมตลอดวัฏจักรชีวิต เช่น ความสัมพันธ์กับการไม่มีของเสีย โดยส่งเสริมการออกแบบวัฏจักรชีวิตของทรัพยากรเพื่อให้วัสดุและผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเพื่อสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำหรือรีไซเคิลได้ แต่ไม่ได้สนับสนุนการใช้ของเสียเพื่อเป็นพลังงานด้วยการนำไปเผาหรือฝังกลบ เป็นต้น หรือความสัมพันธ์กับแนวคิดของลีน (lean thinking) เป็นแนวคิดเกี่ยวกับวิธีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องแบบองค์รวมเพื่อสร้างคุณค่าเพิ่มให้ลูกค้าโดยใช้ทรัพยากรที่น้อยลง โดยมุ่งเน้นไปที่การขจัด กระบวนการหรือสิ่งที่ไม่เพิ่มคุณค่าให้กับลูกค้า

**ขอบข่าย** แนวทางการใช้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร ให้กรอบการดำเนินงานและข้อแนะนำ มาประยุกต์ใช้ในองค์กร โดยไม่คำนึงถึงสถานที่ตั้ง ขนาด กลุ่มประเภท และรูปแบบการดำเนินธุรกิจ

**เศรษฐกิจหมุนเวียนและความเกี่ยวข้องกับองค์กร**

การนำเศรษกิจหมุมเวียนมาปรับใช้ในองค์กรมีประโยชน์ทั้งในระดับมหภาคและระดับจุลภาค กล่าวคือในระดับมหภาคจะทำให้การฟื้นคืนกลับของระบบเศรษฐกิจดีขึ้น การเติบโตทางเศรษฐกิจและการจ้างงาน การรักษาต้นทุนธรรมชาติและการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ประโยชน์ในระดับจุลภาคทั้งในภาคการผลิตและการบริการจะช่วยลดค่าใช้จ่ายแหล่งใหม่ของนวัตกรรมและรายได้ การปรับปรุงความสัมพันธ์กับลูกค้า การฟื้นคืนกลับขององค์กรที่ดีขึ้น แต่ในการดำเนินการตามหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนขององค์กร มีประเด็นที่ท้าทายที่มีผลโดยตรงต่อองค์กร 3 ด้านดังนี้

1) การปรับกิจกรรมขององค์กร ให้สามารถดำเนินการได้ยั่งยืน ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม

2) การตอบสนองความต้องการและคาดหวังใหม่ๆ ของตลาด ทั้งในปัจจุบันและในอนาคต

3)การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในองค์กรนั้นจะถูกตอบสนองภายใต้ค่านิยมของผู้บริโภค กฎหมาย และกรอบเศรษฐกิจที่แตกต่างกัน

**2.หลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน** ประกอบด้วย การคิดเชิงระบบ (Systems thinking), นวัตกรรม (Innovation), การดูแลรับผิดชอบ (Stewardship), ความร่วมมือ (Collaboration), คุณค่าที่เหมาะสม (Value Optimization) และความโปร่งใส (Transparency)

**การคิดเชิงระบบ (Systems thinking)** คือ การทำความเข้าใจ ธรรมชาติที่ซับซ้อนและการเชื่อมโยงของทุกระบบในองค์กร กล่าวคือการคิดอย่างเป็นระบบสามารถช่วยให้องค์กร จัดการกับความเปลี่ยนแปลงและความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถระบุผลกระทบในระยะยาวที่อาจเกิดขึ้นจากการตัดสินใจและจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นในองค์กรได้ หลักการคือ องค์กรควรเข้าใจถึงผลกระทบในวงกว้างที่เกิดจากกิจกรรมขององค์กร

**นวัตกรรม (Innovation)** คือการคิดไปข้างหน้าถึงสิ่งใดก็ตามที่ส่งผลให้เกิดสิ่งใหม่หรือการเปลี่ยนแปลงที่ตระหนักถึงการสร้างคุณค่าหรือเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการหรือ ผลิตภัณฑ์/บริการ นวัตกรรมอาจเกิดขึ้นจากการวิจัยและพัฒนา (R&D) หรือเป็นผลมาจากการออกแบบหรือการให้ความร่วมมือในการเปลี่ยนแปลงเพื่อนำไปสู่การหมุนเวียนและยั่งยืนมากขึ้น หลักการคือองค์กรควรพัฒนานวัตกรรมอย่างต่อเนื่องโดยคำนึกถึงการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน ตั้งแต่การออกแบบกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์/บริการ และรูปแบบธุรกิจ

**การดูแลรับผิดชอบ (Stewardship)** หมายถึง องค์กรมีการรับผิดชอบจากการตัดสินใจและทำกิจกรรมทุกอย่างตั้งแต่เริ่มแรกจนสิ้นสุด ซึ่งอาจรวมถึงสิ่งที่เกิดขึ้นทั้งในโซ่อุปทานและที่ตัวลูกค้า โดยต้องคำนึงถึงปัญหาทางเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสังคม ทั้งในปัจจุบันและที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต หลักการคือ องค์กรควรจัดการผลกระทบจากการตัดสินใจและกิจกรรมที่องค์กรมีส่วนเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อม

**ความร่วมมือ (Collaboration)** หลักการคือองค์กรควรมีความร่วมมือกันทั้งภายในและภายนอกองค์กร เพื่อรักษาผลประโยชน์และสร้างคุณค่าทางธุรกิจร่วมกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**คุณค่าที่เหมาะสม (Value Optimization)** หลักการคือองค์กรควรทำให้ผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบและวัตถุดิบเกิดคุณค่าและการใช้ประโยชน์สูงสุด การเพิ่มประสิทธิภาพคุณค่าประกอบด้วย 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 ใช้วัสดุที่ถูกมองว่าเป็นของเสีย ทั้งจากขั้นตอนการผลิตหรือ หลังการใช้งาน มานำเป็นปัจจัยในการผลิตที่มีค่าในกระบวนการอื่น อาจต้องปรับแต่งกระบวนการผลิตหรือการออกแบบ วิธีที่ 2 ใช้วัสดุที่ได้จากทรัพยากร เพื่อยืดอายุการใช้งานของ ผลิตภัณฑ์ให้ยาวขึ้นหรือใช้บ่อยครั้ง ผ่านการออกแบบหรือใช้วัสดุที่คงทนในการผลิต การพัฒนาโลจิสติกส์ย้อนกลับและพัฒนากระบวนการ วิธีที่ 3 ใช้พื้นที่หรืออุปกรณ์ที่เหลืออยู่ให้เป็นคุณค่าใหม่ได้ภายในองค์กรหรือระหว่างธุรกิจกับธุรกิจ (B2B) ธุรกิจกับผู้บริโภค (B2C) และผู้บริโภคกับผู้บริโภค (C2C)

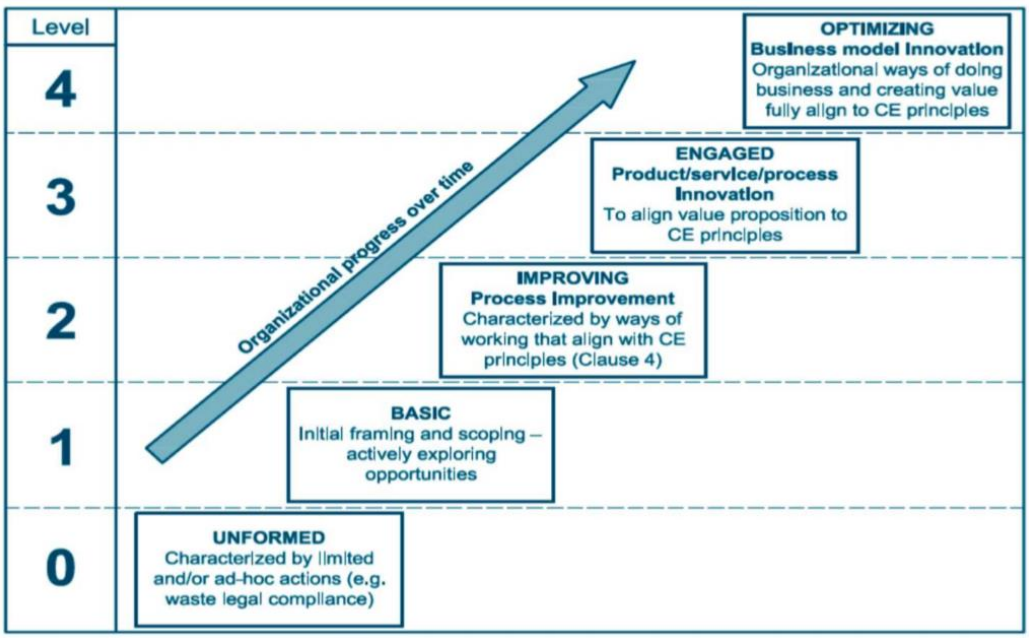
**ความโปร่งใส (Transparency)** หลักการคือองค์กรควรเปิดเผยการตัดสินใจและกิจกรรมต่างๆ

ที่ส่งผลต่อความสามารถในการเปลี่ยนไปใช้รูปแบบการดำเนินการ เศรษฐกิจหมุนเวียนและยั่งยืน รวมทั้งเต็มใจที่จะสื่อสารในลักษณะที่ชัดเจน ถูกต้อง ตรงเวลา ซื่อสัตย์ และครบถ้วน

**3.กรอบการดำเนินงาน**

**การกำหนดระดับการดำเนินการเศรษฐกิจหมุนเวียนขององค์กร**

แต่ละองค์กรจะมีระดับของความคุ้นเคยกับเศรษฐกิจหนุนเวียนที่แตกต่างกัน ในองค์กรเดียวกัน แต่ต่างแผนก ต่างกลุ่มผลิตภัณฑ์/บริการหรือต่างภูมิภาค อาจมีระดับการดำเนินการที่แตกต่างกันได้ ระดับของการพัฒนาจะเริ่มจาก 0 ถึง ระดับ 4 หรือสูงไปกว่านั้น การเปลี่ยนแปลงไปสู่รูปแบบของระดับความหนุมเวียนสูงขึ้นหมายถึงความยั่งยืนที่มากยิ่งขึ้นด้วย




รูปที่ 14 ระดับของการพัฒนาระดับการดำเนินการเศรษฐกิจหมุนเวียนขององค์กร

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2558)

**กรอบการดำเนินงาน 8 ขั้น (The eight-stage flexible framework) ประกอบด้วย**

**ขั้นที่ 1** การวางกรอบ (Framing) องค์กรควรประเมินความเกี่ยวข้องขององค์กรกับเศรษฐกิจหมุนเวียน และค้นหาจุดเริ่มต้นสำหรับองค์กร ประเมินสภาวะขององค์กร (state of play) และความเกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจหมุนเวียน ด้วยการทำแผนที่ผู้มีส่วนได้เสีย (stakeholder mapping) และสร้างความตระหนักและความสนใจภายในองค์กร

**ขั้นที่ 2** การกำหนดขอบข่าย (Scoping) องค์กรควรพิจารณาดูว่าภายใต้บริบทเศรษฐกิจหมุนเวียนอะไรที่เป็นไปได้และ/หรือต้องดำเนินการ ระบบที่จะสำรวจและโน้มน้าวทำความเข้าใจในวิสัยทัศน์ขององค์กรว่าเศรษฐกิจหมุนเวียนจะสามารถช่วยสนับสนุนหรือขัดขวางการส่งมองคุณค่าขององค์กรในระยะยาวได้อย่างไร ความเห็นชอบในวิสัยทัศน์และกลยุทธ์ระดับบริหาร (high-level strategy)

**ขั้นที่ 3** การสร้างแนวคิด (Idea Generation) องค์กรควรจัดทำแนวคิดหรือทางเลือกเพื่อจัดการกับปัญหา และ/หรือ โอกาสที่ได้ระบุไว้ในขั้นที่ 2 จัดลำดับความสำคัญโดยพิจารณาตามบริบทของวิสัยทัศน์องค์กรที่เกี่ยวกับเศรษฐกิจหมุนเวียน แผน กลยุทธ์ วัตถุประสงค์ โดยกำหนดเป้าหมายและหัวข้อที่ชัดเจนในการสำรวจ ระบุแนวคิด/ทางเลือก พร้อมทั้งจัดลำดับความสำคัญ

**ขั้นที่ 4** ความเป็นไปได้ (Feasibility) องค์กรควรประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติตามแนวคิด/ทางเลือกตามที่ได้ระบุไว้ในขั้นที่ 3 โดยระบุและประเมินความเป็นไปได้ การทบทวน และ/หรือ ยืนยันแนวคิด/ทางเลือก

**ขั้นที่ 5** เหตุผลทางธุรกิจ (Business Case) องค์กรควรพัฒนาเหตุผลทางธุรกิจเพื่อให้แน่ใจว่ามีทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้เป็นต้นแบบของแนวคิด/ ทางเลือก การดำเนินงาน การขยายขนาดการดำเนินงาน และการดำเนินการจริง โดยพัฒนาเหตุผลทาง ธุรกิจโดยละเอียด ประเมินความต้องการจากเหตุผลธุรกิจ แปลงแนวคิดหรือทางเลือกเป็นเหตุผลทางธุรกิจโดยครอบคลุมพื้นที่ศึกษาที่เหมาะสม ตรวจสอบประเด็นที่เกี่ยวข้อง เช่น ทรัพยากร หรือระยะเวลาดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ระบุตัวชี้วัดประสิทธิภาพ/ผลลัพธ์ ซึ่งสอดคล้องกับตัวชี้วัดที่ใช้ในการติดตามและทบทวนการดำเนินโครงการนำร่อง ระบุความถี่ในการทบทวนและปรับปรุงเหตุผลทางธุรกิจ

**ขั้นที่ 6** การดำเนินกิจกรรมนำร่องและการสร้างต้นแบบ (Piloting and prototyping) องค์กรควรนำแนวคิดหรือทางเลือกมาทดลองทำจากขนาดเล็กก่อน เพื่อหาวิธีที่สามารถปฏิบัติได้ อย่างเป็นรูปธรรม โดย กำหนดเจ้าภาพและแนวทางในการกำกับดูแล จัดทำแผนสำหรับการนำร่องหรือการพัฒนากิจกรรมต้นแบบ ทำโครงการนำร่อง/สร้างต้นแบบ และทบทวนผลการดำเนินงาน

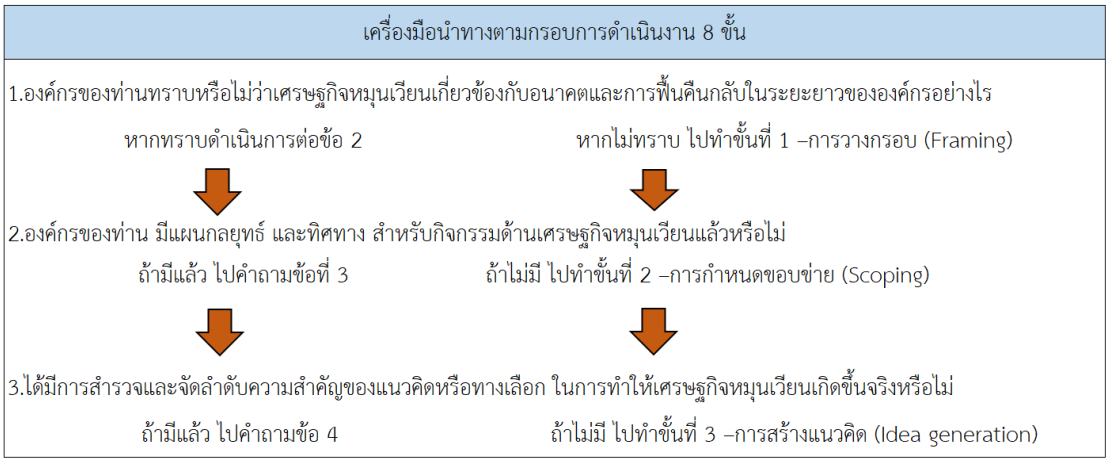
**ขั้นที่ 7** การส่งมอบและนำแผนไปสู่การปฏิบัติ (Delivery and implementation) องค์กรควรขยายผล/ประยุกต์ใช้ และบูรณาการแนวทางที่ผ่านการพิสูจน์แล้ว เพื่อเปลี่ยนรูปแบบ การปฏิบัติงานไปสู่การหมุนเวียนและยั่งยืนมากขึ้น โดยพัฒนาและดำเนินการตามแผนการส่งมอบและการนำแผนไปสู่การปฏิบัติ จัดให้มีกลไกในการวัดความก้าวหน้า

**ขั้นที่ 8** การติดตามผล การทบทวน และการรายงาน (Monitor, review, and report) องค์กรควรติดตามสมรรถนะเพื่อให้มั่นใจว่าการดำเนินงานประสบความสำรวจและมีการปรับเปลี่ยนองค์กรอย่างต่อเนื่องโดยการเฝ้าติดตามและการตรวจวัด การรายงานความก้าวหน้า การปรับปรุงและปรับเปลี่ยนอย่างต่อเนื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**เครื่องมือนำทางตามกรอบการดำเนินงาน 8 ขั้น**

การประเมินว่าองค์กรอยู่ในกรอบการดำเนินงานขั้นไหน จะมีเอกสารประเมินซึ่งเป็นเครื่องมือในการนำทางแนะนำให้องค์กรทราบว่า ต้องเริ่มจากการดำเนินการขั้นใด ตัวอย่างเอกสารเครื่องมือดังภาพแสดงด้านล่าง




รูปที่ 15 ตัวอย่างคำถามในเอกสารเครื่องมือนำทางตามกรอบการดำเนินงาน 8 ขั้นตอน

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2558)

**4.คำแนะนำ**

**ข้อแนะนำเกี่ยวกับกลไกสนับสนุนและรูปแบบธุรกิจ**

ก. ทั่วไป ข้อแนะนำเกี่ยวกับกลไกสนับสนุน และรูปแบบธุรกิจให้ภาพรวมที่ครอบคลุม 1) ข้อควรพิจารณาที่สำคัญสำหรับองค์การเมื่อเลือกรูปแบบธุรกิจ 2) ประเภทรูปแบบธุรกิจที่สำคัญ

ข. กลไกสนับสนุน (Enabling Mechanism) ช่วยให้องค์กรส่งมอบและสร้างคุณค่าควบคู่ไปกับการ จัดการทรัพยากรให้มีความยั่งยืนมากขึ้น ควรเป็นส่วนหนึ่งของการบริหารเชิงระบบเพื่อระบุหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน และการนำไปปฏิบัติ ผ่านกรอบการดำเนินงาน 8 ขั้น

ค. การออกแบบรูปแบบธุรกิจรูปแบบธุรกิจตามแบบดั้งเดิม เน้นว่า องค์กรจะมีการสร้างรายได้อย่างไร ส่วนองค์กรที่เปลี่ยนการดำเนินงาน เป็นแบบหมุนเวียนและยั่งยืนมากขึ้น คุณค่าอาจไม่ได้เป็นเพียงเรื่องทาง การเงิน แต่สะท้อนถึงการส่งมอบทาง สังคมที่กว้างขึ้น และผลประโยชน์ ด้านสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ง. ประเภทของรูปแบบธุรกิจและการเลือก ในการเลือกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเป็นผู้นำของระดับผู้บริหาร ความพร้อมขององค์กร วัฒนธรรม และประเภทของผลิตภัณฑ์/บริการ/ตลาด เป็นต้น สำหรับองค์กรสตาร์ทอัพ ให้ใช้รูปแบบธุรกิจใหม่ซึ่งมีศักยภาพในการสร้างความแตกต่าง สำหรับองค์กรที่ก่อตั้งมานานแล้วใช้นวัตกรรมจากรูปแบบธุรกิจที่ k มีอยู่เดิมสำหรับการปรับตัวทางธุรกิจ การจัดกลุ่มรูปแบบธุรกิจสามารถแบ่งได้เป็น 6 กลุ่มเพื่อให้เข้ากับระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ดังแสดงในตารางด้านล่าง

| การจัดกลุ่มรูปแบบธุรกิจ 6 กลุ่มที่สัมพันธ์กับระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน |
|---|
| 1. ตามความต้องการ |
| 2.การไม่ใช้วัสดุ |
| 3.การยืดอายุวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์/การใช้ซ้ำ |
| 4.การนำกลับมาใหม่ของวัตถุดิบทุติยภูมิ / ผลพลอยได้ |
| 5.เปลี่ยนผลิตภัณฑ์เป็นการให้บริการ/ระบบผลิตภัณฑ์และบริการ (Product-Service System :PSS) |
| 6.เศรษฐกิจแบ่งปัน/และการบริโภคแบบร่วมมือกัน |

รูปที่ 16 การจัดกลุ่มรูปแบบธุรกิจ 6 กลุ่มที่สัมพันธ์กับระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน
ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2558)

**ข้อแนะนำเกี่ยวกับประเด็นด้านเศรษฐกิจหมุนเวียนและข้อควรพิจารณา**

องค์กรสามารถระบุทั้งความเสี่ยงและโอกาสที่สามารถส่งผลกระทบต่อการบรรลุวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐกิจหมุนเวียนขององค์กร โดยพิจารณาจากรายละเอียดในด้านต่อไปนี้ ด้านเศรษฐกิจ ใช้วิธีการประกันภัย การจัดเก็บภาษี วิธีการทำบัญชีธุรกิจ การกำหนดราคาความเสียหายต่อ สิ่งแวดล้อม เกณฑ์ผลตอบแทนจากการลงทุน ไปจนถึงวิธีที่องค์กรรับรู้และรายงานผลกำไร ด้านเทคนิค การออกแบบผลิตภัณฑ์และบริการใหม่ การประยุกต์ใช้/การรับเทคโนโลยีใหม่การใช้วัสดุทางเลือก/ การใช้วัสดุที่มีอยู่เดิมซ้ำ และผลที่ตามมากระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบในวงกว้าง ด้านนโยบายและข้อบังคับ ซึ่งมีผลในอนาคตต่อการสนับสนุนให้มีการดำเนินงานสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน ด้านพฤติกรรม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทางวัฒนธรรมในองค์กร ด้านองค์กร ต้องมีระบบการจัดการและระบบการกำกับดูแลทั้งในองค์กรและระหว่างองค์กร ตัวอย่างความสัมพันธ์เพื่อ ช่วยให้องค์กรระบุ ประเด็นที่อาจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เกิดขึ้น และข้อควรพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิสัยทัศน์ กลยุทธ์หรือวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน แสดงตารางในภาคผนวก ก

**งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

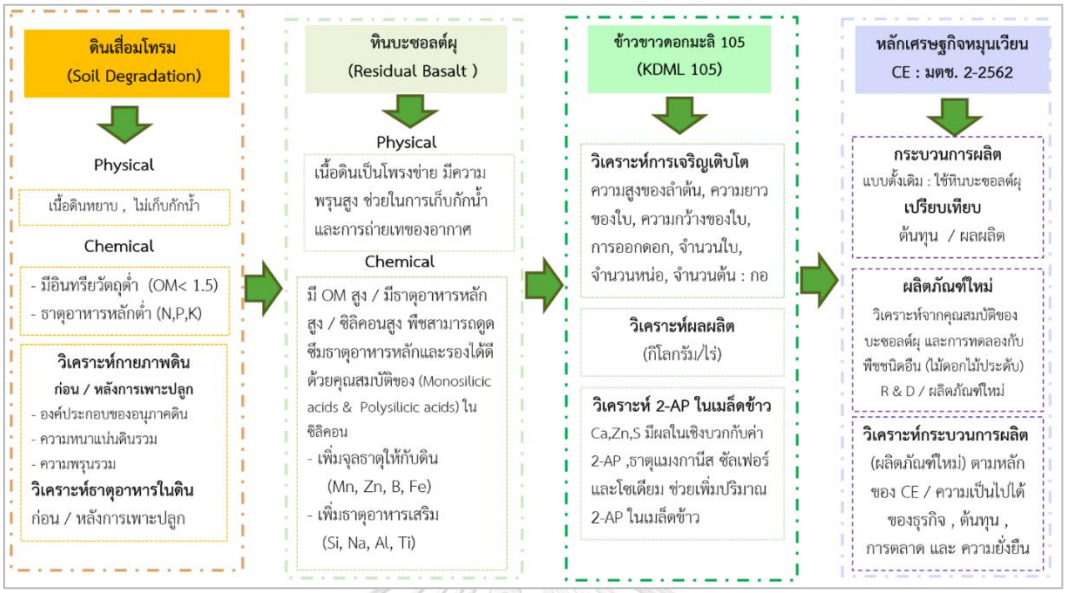
Sriboonlue (2014) ได้ทำการศึกษาเชิงประจักษ์ของมหาวิทยาลัยของรัฐในไทยที่ให้บริการทางวิชาการเพื่อช่วยเหลือ SMEs ในภูมิภาคของประเทศไทยให้ก้าวไปสู่การเป็นผู้ประกอบการเชิงนวัตกรรม และสัมพันธ์กับรูปแบบการพัฒนาประเทศในปัจจุบันที่เรียกว่า Thailand 4.0 รูปแบบการพัฒนาสร้างขึ้นตามแนวคิดอุตสาหกรรม 4.0 โมเดลดังกล่าวได้เพิ่มความกังวลให้กับ บริษัท ขนาดเล็กที่ต้องการเพิ่มความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพื่อสร้างธุรกิจที่มีมูลค่าเพิ่ม ข้อสรุปของงานวิจัยได้พิจารณาถึงอิทธิพลของแนวคิด Thailand 4.0 ที่มีต่อการพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมระดับภูมิภาค (SMEs) เป็นการศึกษาเชิงประจักษ์ของ SMEs ในภูมิภาคภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่พยายามมุ่งสู่ SME ที่มีนวัตกรรม การศึกษาใช้วิธีการวิจัยแบบผสมผสาน ประการแรกใช้แนวคิดการเป็นผู้ประกอบการเชิงกลยุทธ์เพื่อสร้างกรอบทฤษฎีและสมมติฐานการวิจัย ในขั้นตอนนี้มีการทดสอบทางทฤษฎีเกี่ยวกับความสามารถในการแข่งขันที่มั่นคงนวัตกรรมขององค์กรที่เหนือกว่าและความคิดสร้างสรรค์ทางธุรกิจที่โดดเด่นและความสัมพันธ์กับผลการดำเนินงานของธุรกิจ นักวิจัยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้เทคนิคทางสถิติซึ่งรวมถึง VIF การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอย OLS ในขั้นตอนนี้การศึกษาสามารถระบุองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ประการสำหรับประสิทธิภาพและนวัตกรรมของ SMEs ได้แก่ การสร้างแนวคิดใหม่เชิงบูรณาการและการวางแนวผู้นำตลาด จากผลการศึกษาเบื้องต้นจากนั้นการศึกษาได้ศึกษาบทบาทของมหาวิทยาลัยในการส่งเสริมประสิทธิภาพและนวัตกรรมของ SMEs ในภูมิภาค โดยมุ่งเน้นไปที่การมีส่วนร่วมในการสร้างแนวคิดใหม่เชิงบูรณาการและการวางแนวความเป็นผู้นำตลาดใน SMEs ในภูมิภาคโดยเฉพาะ ในขั้นตอนนี้การวิจัยใช้กรณีศึกษาเชิงคุณภาพโดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกในการรวบรวมข้อมูล

Tseng (2020) ได้ศึกษาระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในระบบห่วงโซ่อุปทานในทุกระดับ พบว่าการนำระบบเศรษฐกิจหนุนเวียนมาใช้ในระบบห่วงโซ่อุปทานนั้นสามารถช่วยให้การบริโภคและผลิตได้อย่างยั่งยืนในระบบห่วงโซ่อุปทานหลายระดับ การศึกษาพบว่า ความท้าทายของชุมชนเศรษฐกิจหมุนเวียนในขณะนี้คือการออกแบบเกี่ยวกับคุณลักษณะต่างๆ ในระบบห่วงโซ่อุปทานในแต่ละระดับและการกำหนดกิจกรรมที่สอดคล้อง เพื่อให้เข้าสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Chen (2019) ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเศรษฐกิจและสังคมจากการนำเศรษฐกิจหมุนเวียนเข้าสู่การผลิตข้าว ในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน โดยการนำเทคโนโลยีปุ๋ยชีวภาพแบบใหม่ที่ใช้กากข้าวเปลือก (รำและแกลบ) ผ่านการหมักให้เป็นปุ๋ย แล้วนำมาหมุนเวียนใช้แล้วประเมินในบริบทของการประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตกับเศรษฐกิจชีวภาพแบบหมุนเวียน ปุ๋ยชีวภาพสามารถนำสารอาหารที่เหลือกลับมาใช้ใหม่เพื่อทดแทนปุ๋ยสังเคราะห์ภายในระบบการผลิตข้าว เพื่อประเมินความเป็นไปได้และประโยชน์ที่เป็นไปได้ของระบบการผลิตข้าวแบบหมุนเวียน รวมถึงพัฒนาแบบจำลองการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบผสมผสานเพื่อประเมินผลกระทบทางสังคมและเศรษฐกิจ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นประสิทธิภาพของการใส่ปุ๋ยมีผลอย่างมากต่อผลกระทบทางสังคม เศรษฐกิจ ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนมีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าในขั้นต้นและการจ้างงานในการผลิตข้าวแบบเดิม แต่ระบบข้าวแบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ไม่สามารถปรับปรุงผลกระทบทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมได้ในเวลาเดียวกัน ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าระบบหมุนเวียนในการผลิตข้าว นอกจากต้องใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในทุกขั้นตอนแล้ว สิ่งที่ไม่ควรละเลยคือเทคโนโลยีปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งถ้าใช้ควบคู่กันในระบบจะเพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐกิจและสังคมในห่วงโซ่อุปทานข้าวแบบหมุนเวียนอย่างเต็มประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติมเช่นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรองรับการผลิตปุ๋ยชีวภาพด้วย

**การเชื่อมโยงของงานวิจัย** ข้อมูลทางกายภาพและเคมีของดินเสื่อมโทรม หินบะซอลต์ผุ และข้อมูลด้านปริมาณความต้องการธาตุอาหารของข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นสิ่งสำคัญ ทำให้เราสามารถวิเคราะห์และออกแบบการทดลอง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์สิ่งที่มีเพื่อเติมในสิ่งที่ขาดให้ได้ในปริมาณที่พืชต้องการ รวมถึงการวัดผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ในงานวิจัยครั้งนี้นำหินบะซอลต์ผุ ซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็นโพรงข่าย มีความพรุนสูง เมื่อผสมลงไปในดินที่เสื่อมโทรมแล้วจะทำให้เนื้อดินที่หยาบ ไม่เก็บกักน้ำ สามารถเก็บกักน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้หินบะซอลต์ผุยังมีองค์ประกอบของธาตุ เช่น ซิลิคอน แคลเซียม ที่มีส่วนสำคัญในการสร้างความสมดุลกับกระบวนการทางเคมีในสารละลายดิน ส่งเสริมให้กระบวนการดูดซึมธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรองและจุลธาตุของพืชมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแล้ว หินบะซอลต์ผุยังมีธาตุอาหารเสริม เช่น Na, Al,Ti, ที่เติมโดยตรงให้กับดิน มากไปกว่านั้นนอกจากดินผสม (ดินเสื่อมโทรม + หินบะซอลต์ผุ) จะให้ธาตุอาหารตามความต้องการของข้าวขาวดอกมะลิ 105 แล้ว หินบะซอลต์ผุยังมีธาตุที่มีนัยสำคัญต่อความหอม (2-AP) ของเมล็ดข้าวด้วย เช่น โซเดียม แมงกานิส ซัลเฟอร์ และ สังกะสี เป็นต้น ดั่งภาพการเชื่อมโยงงานวิจัยที่แสดงด้านล่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




รูปที่ 17 การเชื่อมโยงในงานวิจัย

เมื่อเราทราบแหล่งหินบะซอลต์ผุที่ประกอบด้วยธาตุอาหารพืชที่มีความโดดเด่น และนำมาทดลองกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 แล้วผลของการทดลองมีผลลัพธ์ในเชิงบวกกล่าวคือ ทั้งลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิต ซึ่งทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมจะถูกเปรียบเทียบด้วยกระบวนการผลิตโดยใช้หินบะซอลต์เป็นองค์ประกอบและดำเนินการตามหลักของ CE รวมถึงกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่จากหินบะซอลต์ผุ ที่กระบวนการผลิตทั้งหมดใช้หลักของ CE ในกระบวนการผลิต ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 3 วิธีวิจัยในส่วนที่ 5 การดำเนินการตามหลักของ CE (ในงานวิจัยนี้นำหลักของ CE มาใช้ในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ใหม่ ตั้งแต่เริ่มต้นการวิจัย จนได้ผลิตภัณฑ์ และการวางจำหน่าย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 ศึกษาพื้นที่แหล่งหินบะซอลต์ผุและพื้นที่ทำการทดลอง

### ก : พื้นที่ศึกษาหินบะซอลต์ผุ พื้นที่โดยรอบวนอุทยานแห่งชาติเขากระโดง จังหวัดบุรีรัมย์ และพื้นที่ใกล้เคียง

**ข้อมูลทั่วไป** พื้นที่โดยรอบเขากระโดง และพื้นที่ใกล้เคียง เป็นพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของหินบะซอลต์ซึ่งเกิดจากการประทุของภูเขาไฟที่ดับสนิทในวนอุทยาน และหลงเหลือสภาพสัณฐานของปากปล่องภูเขาไฟให้เห็นในปัจจุบัน หินบะซอลต์กระจายตัวโดยรอบพื้นที่เขากระโดง และส่วนใหญ่จะกระจายไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมพื้นที่ มากกว่า 22 ตารางกิโลเมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) หินบะซอลต์มีอายุประมาณ 3 แสนถึง 9 แสนล้านปี จุดสูงจากระดับน้ำทะเล 265 เมตร ปัจจุบันพื้นที่โดยรอบเป็นชุมชน ที่อยู่อาศัย เขตเกษตรกรรม ยังคงหลงเหลือป่าไม้ในบริเวณเขตวนอุทยานเขากระโดง

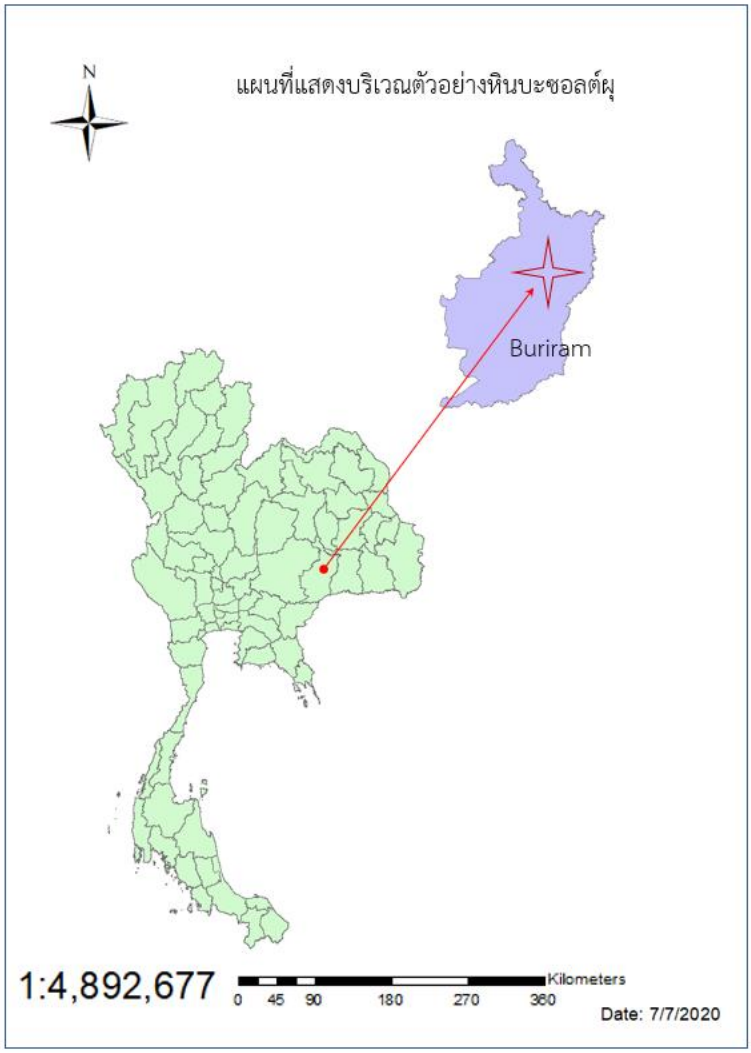
**อาณาเขตบริเวณสำรวจ** บริเวณวนอุทยานในพื้นที่ตำบลเสม็ด ตำบลอิสานและตำบลสวายจีก อำเภอเมืองบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ และบริเวณใกล้เคียง

**ลักณะภูมิประเทศ** สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่โดยรอบเป็นที่ราบสูง มีเนินเขาสูง 60 เมตรอยู่ในบริเวณวนอุทยาน ด้านทิศตะวันตกและทิศเหนือของวนอุทยานประกอบด้วยเขตชุมชนและที่อยู่อาศัยเป็นส่วนใหญ่ ด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ของวนอุทยานจะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว จากการสำรวจความหนาของชั้นลาวาจากการระเบิดของเหมืองหิน พบว่าความหนาของหินบะซอลต์บริเวณโดยรอบมีความหนา มากกว่า 20 เมตร และแผ่กระจายออกไป ความหนาของหินบะซอลต์จะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ พบชั้นความหนาของหินบะซอลต์ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของปากปล่องภูเขาไฟมีความหนามากกว่าทิศอื่น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

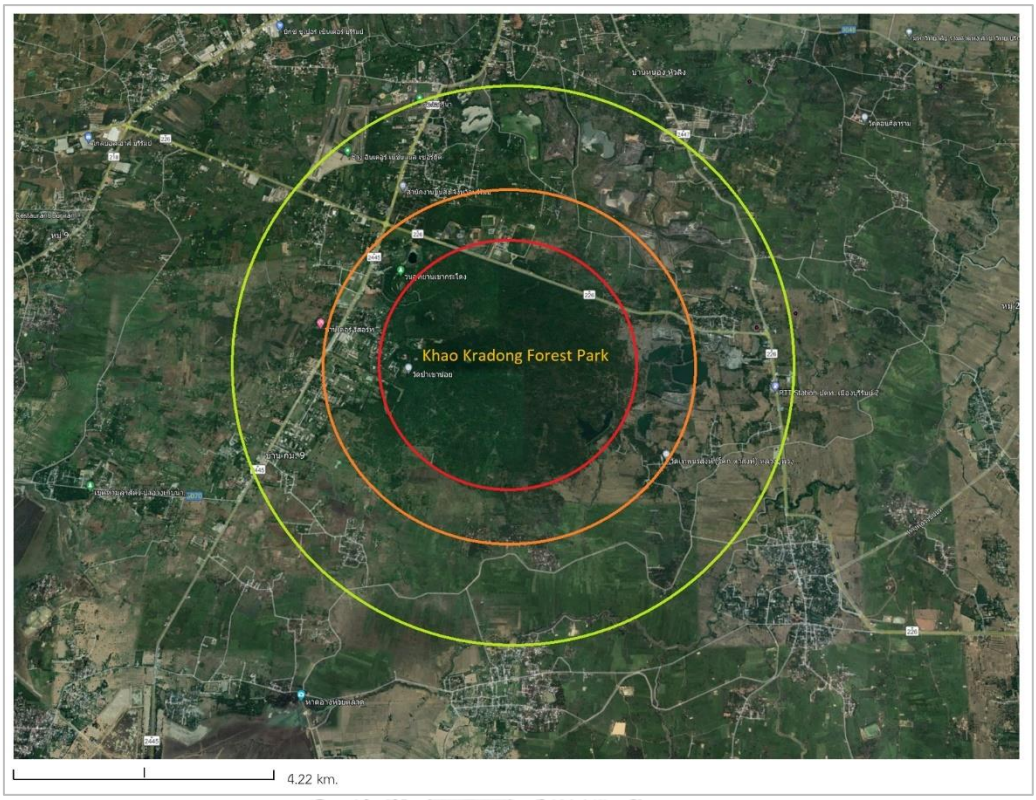
**ลักษณะภูมิอากาศ** สภาพภูมิอากาศบริเวณโดยรอบพื้นที่สำรวจแบ่งออกเป็น 3 ฤดูคือฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์และฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม

**ทรัพยากรป่าไม้** ในพื้นที่วนอุทยานยังคงป่าไม้ พืชพันธุ์ธรรมชาติจะเป็นพืชพันธุ์สวันนา เป็นหญ้าสูงและต้นไม้ขึ้นกระจัดกระจาย พืชพันธุ์ที่เกิดในเขตนี้จะเจริญเติบโตรวดเร็ว สภาพป่าเป็นป่าเต็งรัง

**ทรัพยากรสัตว์ป่า** สัตว์ป่า จากการสำรวจสัตว์ป่าในบริเวณวนอุทยานเขากระโดงพบว่า สัตว์ที่พบมากจะเป็นประเภทสัตว์ปีก คือ จำพวกนก ส่วนใหญ่ที่พบเป็นนกประจำถิ่น เช่น นกแอ่นบ้าน นกกินปลีอกเหลือง นกเอี้ยงสาลิกา เป็นต้น ส่วนนกอพยพจะสามารถพบได้มากในช่วงฤดูหนาว และบริเวณที่จะสามารถพบนกได้บ่อยที่สุดคือบริเวณริมน้ำ นอกจากนกแล้วสัตว์ที่สามารถพบได้ในพื้นที่ก็จะเป็นพวกสัตว์ขนาดเล็ก พวกสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์ป่าในพื้นที่วนอุทยานเขากระโดงสำรวจเมื่อ พ .ศ.2512 โดยกรมป่าไม้ พบว่า สัตว์ป่าประเภทเลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ไม่มีเหลืออยู่แล้ว มีแต่ขนาดเล็ก เช่น กระรอก กระต่าย




รูปที่ 18 แหล่งสำรวจหินบะซอลต์ผุบริเวณเขากระโดงจังหวัดบุรีรัมย์




รูปที่ 19 พื้นที่สำรวจหินบะซอลต์ผุรอบวนอุทยานเขากระโดง อำเภอเมือง จังหวัด บุรีรัมย์
ที่มา: ดัดแปลง Google earth ( 2018 )

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข. พื้นที่ทำการทดลองปลูกข้าว (จังหวัดอุดรธานี)**

จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์และโบราณคดีพบว่า บริเวณพื้นที่จังหวัดอุดรธานีในปัจจุบันเคยเป็นถิ่นที่อยู่ของมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ประมาณ 5,000-7,000 ปี จากหลักฐานการค้นพบที่บ้านเชียงอำเภอหนองหาน ข้อมูลจากเครื่องเอกซเรย์ความถี่สูงศึกษาเครื่องปั้นดินเผาและโลหะโบราณแยกและสังเคราะห์ DNA ของซากพืชและสัตว์ที่ขุดพบทำให้เราทราบว่า การเกษตรและการทำกสิรกรรมมีความรุ่งเรืองเมื่อครั้งในอดีต

**ลักษณะภูมิประเทศ**

**ที่ตั้งและอาณาเขต** จังหวัดอุดรธานีอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 123 เมตร มีเนื้อที่ทั้งสิ้นประมาณ 16,112.65 ตารางกิโลเมตร หรือ 10.07 ล้านไร่ มีอาณาเขตทิศเหนือติดกับจังหวัดหนองคาย ทิศใต้ติดกับจังหวัดขอนแก่นและจังหวัดกาฬสินธุ์ ทิศตะวันออกติดกับจังหวัดสกลนคร ทิศตะวันตกติดกับ จังหวัดหนองบัวลำภูและจังหวัดเลย

**ลักษณะภูมิประเทศ** ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของจังหวัดอุดรธานีเป็นที่ราบสูง โดยทิศตะวันตกมีภูเขาและป่าไม้เป็นแนวยาวตามเขตแดนของจังหวัดจรดทิศใต้ และมีแนวราบลุ่มทางตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัด โดยลาดเอียงให้แม่น้ำไหลไปยังแม่น้ำโขง ซึ่งทำให้บริเวณดังกล่าวมีพื้นที่เหมาะสำหรับการเพาะปลูกโดยทั่วไป

**ลักษณะภูมิอากาศ** ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของมรสุมที่พัดผ่าน คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดพามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้าปกคลุมประเทศไทยประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณเดือนกุมภาพันธ์ทำให้มีอากาศหนาวเย็นและแห้งทั่วไป และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดพามวลอากาศชื้นจากทะเลและมหาสมุทรเข้าปกคลุมประเทศไทยในช่วงฤดูฝน ประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม ทำให้มีฝนตกชุกทั่วไป

**ฤดูกาล** ฤดูกาลของจังหวัดอุดรธานี พิจารณาตามลักษณะของลมฟ้าอากาศของประเทศไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู คือ ฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ ฤดูร้อน เริ่ม

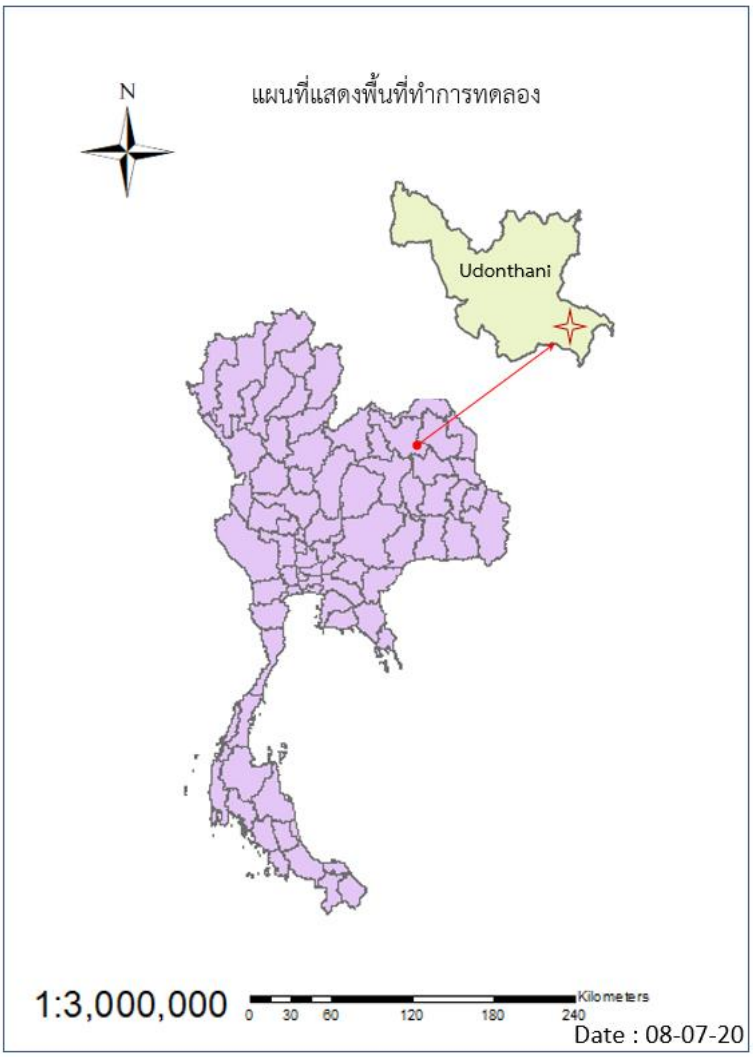
ต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม และฤดูฝนเริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม

**อุณหภูมิ** เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดอุดรธานีส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงและมีเทือกเขาติดกันเป็นแนวยาว ทำให้อากาศค่อนข้างร้อนอบอ้าวในช่วงฤดูร้อน และในช่วงฤดูหนาวจะมีอากาศหนาวเย็นมาก โดยอุณหภูมิเฉลี่ย ตลอดทั้งปี 26.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.4 องศาเซลเซียส เดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวมากที่สุดในรอบปี ซึ่งเคยวัดอุณหภูมิสูงที่สุดได้ 43.9 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 28 เมษายน 2503 ส่วนในช่วงฤดูหนาวจะมีอากาศหนาวที่สุดในเดือนมกราคมวัดอุณหภูมิ ต่ำที่สุดได้ 2.5 องศาเซลเซียส เมื่อวันที่ 12 มกราคม 2498

**ปริมาณน้ำฝน** จังหวัดอุดรธานีมีฝนเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ระหว่าง 1,000 – 1,600 มิลลิเมตร ซึ่งพื้นที่ทาง ตอนเหนือของจังหวัดเป็นบริเวณที่มีฝนตกชุกมากกว่าบริเวณอื่นๆ โดยมีปริมาณฝนเฉลี่ยมากกว่า 1,500 มิลลิเมตร ส่วนพื้นที่ทางตอนใต้ของจังหวัดมีฝนน้อยค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 1,200 มิลลิเมตร มีจำนวนวันที่ฝนตก 126 วัน โดยเดือนสิงหาคมเป็นเดือนที่มีฝนตกชุกมากที่สุดในรอบปี มีปริมาณฝนเฉลี่ย 285.1 มิลลิเมตร และมีฝนตก 22 วัน ปริมาณฝนมากที่สุดใน 24 ชั่วโมง วัดได้ 274.5 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ.2543 (กรมอุตุนิยมวิทยา ,2561)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ไร่แก้วอินทร์** ตั้งอยู่บริเวณหมู่ 11 ตำบลหนองกุงทับม้า อำเภอวังสามหมอ จังหวัดอุดรธานี ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด : 17° 2'7.99"N ลองติจูด : 103°26'38.84"E ค่า X : 334480 ค่าY :1884183 Zone : 48Q เนื้อที่ขนาด 48 ไร่ หรือ ภาพถ่ายออร์โธสีเชิงเลข มาตราส่วน 1:4000 ระวาง 564323484




รูปที่ 20 แผนที่แสดงพื้นที่ทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 จังหวัดอุดรธานี

รูปที่ 21 พื้นที่ทดลอง ไร่แก้วอินทร์ ตำบลหนองกุงทับม้า อำเภอวังสามหมอ จังหวัดอุดรธานี
ที่มา : ดัดแปลง Google earth (2018)

**3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย**

**ส่วนที่ 1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ตัวอย่างดินเสื่อมโทรม**

**ข้อมูล** ได้แก่ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เช่น ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ข้อมูลมรสุม ข้อมูลเกี่ยวกับดิน ได้แก่ คุณภาพดิน ลักษณะดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อาณาเขตที่ตั้ง ลักษณะภูมิประเทศ

**การวิเคราะห์ตัวอย่างดินเสื่อมโทรมในพื้นที่ทดลอง (ไร่แก้วอินทร์)**

เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ทดลอง 2 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 เก็บ 20 จุด : พื้นที่ 25 ไร่ และตัวอย่าง ที่ 2 เก็บ 20 จุด : 23 ไร่ โดยวิธีการสุ่มแบบมีระบบ (Systematic) เก็บตัวอย่างดินแบบผสมรวม (Composite Sampling) *การเก็บตัวอย่างดิน 15-20 จุด ไม่เกิน 25 ไร่ : ตัวอย่าง (กรมพัฒนาที่ดิน , 2556) นำตัวอย่างดินวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังแสดงในตารางด้านล่าง

ตารางที่ 6พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินเสื่อมโทรมในพื้นที่ทดลอง

| ลำดับ | การวิเคราะห์ | Method |
|---|---|---|
| 1 | เนื้อดิน | Pipette Method |
| 2 | pH | pH meter |
| 3 | OM | Walkley & Black |
| 4 | P (ที่เป็นประโยชน์) | Bray II |
| 5 | K ที่เป็นประโยชน์ (Available K) | การวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| 6 | Ca (ที่แลกเปลี่ยนได้) | การวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| 7 | Mg (ที่แลกเปลี่ยนได้) | การวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |
| 8 | การนำไฟฟ้า (EC) | การวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ที่มา : คู่มือการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี กรมพัฒนาที่ดิน (2553)

*ขั้นตอนการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจะแสดงไว้ในภาคผนวก

**ส่วนที่ 2 การหาแหล่งหินบะซอลต์ผุ และการวิเคราะห์หินบะซอลต์ผุ**

จากข้อมูลงานวิจัยของกรมทรัพยากรธรณี ( 2544,2551,2553,2554) เกี่ยวกับหินบะซอลต์ พบว่าหินบะซอลต์ที่มีองค์ประกอบทางเคมี ที่มีศักยภาพโดดเด่นในด้านเกษตรกรรม ได้แก่ หินบะ ซอลต์ ในเขตจังหวัด บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ และบางส่วนของจังหวัดอุบลราชธานี

**1.ข้อมูลทั่วไป** ได้แก่ ข้อมูลทางธรณีวิทยา ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลการสำรวจ

ข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูล GIS ได้แก่ ข้อมูล ประเภทของหินและตะกอน ข้อมูลชนิดของดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลขอบเขตการ ปกครอง ข้อมูลชุมชน ข้อมูลแหล่งน้ำ ข้อมูลเส้นทางน้ำ ข้อมูลการคมนาคม ข้อมูลเขตอนุรักษ์

**2. ขั้นตอนการค้นหาแหล่งหินบะซอลต์ผุ**

2.1 การกำหนดขอบเขตหินบะซอลต์จากการสำรวจระยะไกล

นำภาพถ่ายดาวเทียม 3 ดวง ได้แก่ Thaichate , Landst-5TM, Landsat-8OLI บริเวณโดยรอบเขากระโดงและบริเวณใกล้เคียง มาประมวลผลด้วยค่าสกัดหินบะซอลต์ (Basalt extraction index : BEI) ซึ่งจัดทำโดยมหาวิทยาลัยจอห์น ฮอปกินส์ ด้วยสมการ $BEI = \frac{B3}{B4 - B5 - B6 - B8}$ และ $\mathrm{EBEI} = \frac{B3 + B2}{B4 + B6}$ ประมาณค่าด้วย Maximum Likelihood algorithm ประมวลผลด้วย โปรแกรม ENVI และ ArcGIS

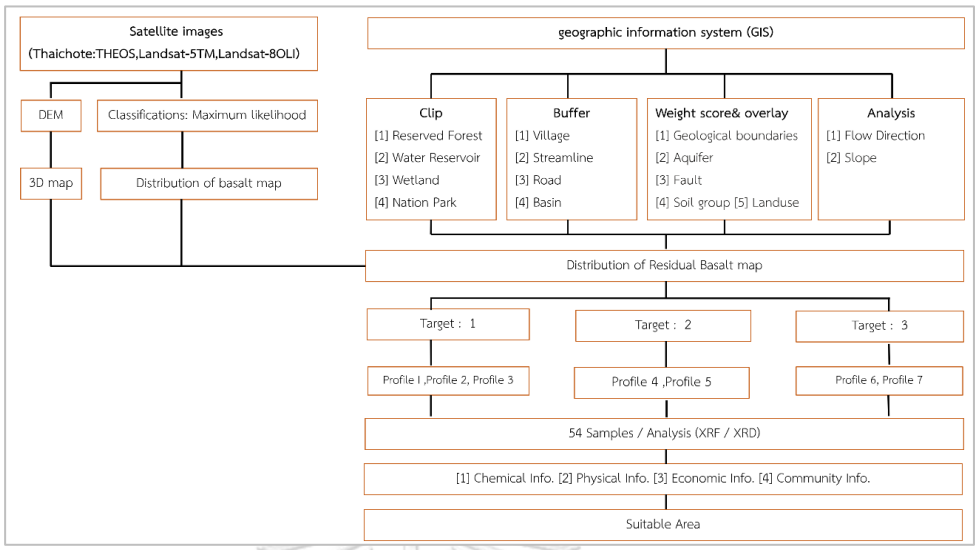
2.2 จากการประมวลผล (ตามขั้นตอน 2.1) จะได้ผลลัพธ์คือขอบเขตหินบะซอลต์ ลักษณะและทิศทางของการกระจาย จากนั้นนำ DEM มาประมวลผลเพื่อดูลักษณะทางกายภาพปากปล่อง และพื้นที่โดยรอบด้วยแผนที่ 3 มิติ

2.3 นำข้อมูล GIS มาประมวลผลเพื่อหาพื้นที่ศักยภาพบะซอลต์ผุตามกระบวนการดังนี้ ตัด (Clip) ข้อมูลวนอุทยาน, เขตอนุรักษ์, เขตชุมชน, แหล่งน้ำ, ถนน ออกไปและซ้อนทับ (Overlay) ด้วยข้อมูลทางธรณีวิทยาได้แก่ ประเภทของหินและตะกอน ลักษณะดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และ Weight Score

2.4 กำหนดจุดเก็บตัวอย่างจากทั้งสามพื้นที่เป้าหมาย 3 พื้นที่รวม 7 profile ตามลำดับความลึก

โดยใช้ Auger

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




รูปที่ 22 ขั้นตอนการค้นหาพื้นแหล่งบะซอลต์ผุที่มีศักยภาพ

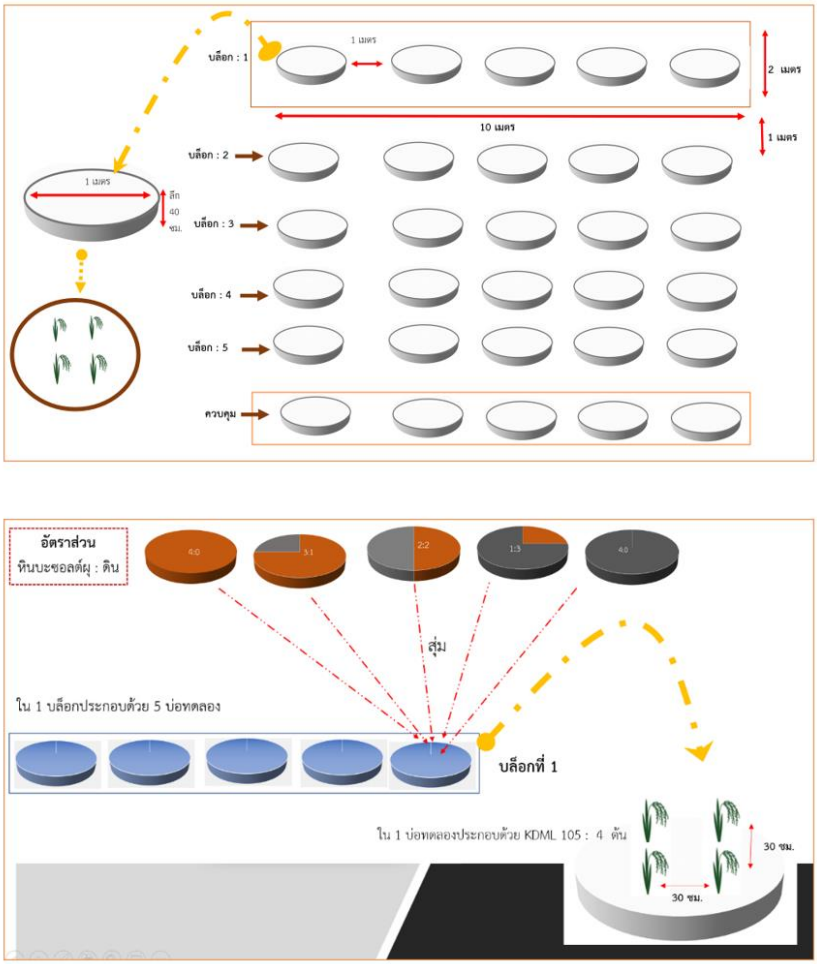
2.5 นำตัวอย่างหินบะซอลต์ผุวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบเชิงแร่ ด้วย XRD และ XRF

2.6 นำข้อมูลทางกายภาพ เคมี งบประมาณ ความยากง่ายของการเข้าถึง การยินยอมของเจ้าของพื้นที่ มาพิจารณาเพื่อคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเข้าทำการขุดหินบะซอลต์ผุไปใช้ในการทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในลำดับต่อไป

**ส่วนที่ 3 การทดลองในระดับ Lab Scale**

1. เตรียมต้นกล้าโดยเพาะเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ ในพื้นที่เพาะต้นกล้า ขนาด 0.5 ไร่ 15–20 วัน
2. เก็บตัวอย่างดินก่อนการเพาะปลูกเพื่อนำไปวิเคราะห์
3. เตรียมพื้นที่ทดลองขนาด 2 เมตร x 10 เมตร จำนวน 5 บล็อก และ อีก 1 บล็อกเป็นแปลงควบคุม ในแต่ละบล็อกประกอบด้วยบ่อซีเมนต์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร ลึก 0.40 เมตร จำนวน 5 บ่อแต่ละบ่อห่างกัน 1 เมตร (ในบ่อซีเมนต์เดียวกัน มี KDML 105 : 4 ต้นห่างกันต้นละ 0.3 เมตร)
4. นำหินบะซอลต์ผุผสมกับดินในอัตราส่วน 4:0, 1:3, 2:2, 3:1, 0:4 และนำลงไปในบ่อทดลองโดยการสุ่ม จนครบทุกบล็อก ดังแผนภาพที่แสดงด้านล่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

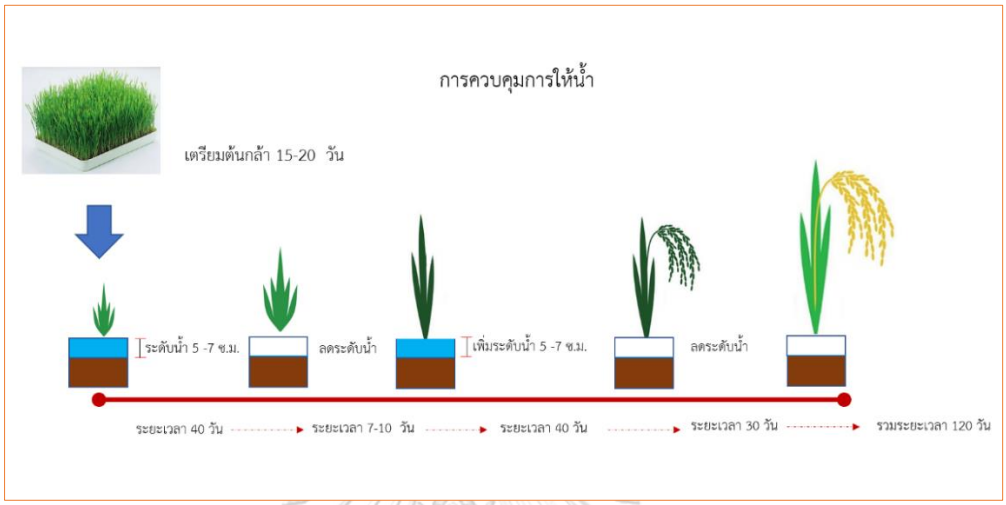



รูปที่ 23 การออกแบบหน่วยการทดลอง Lab Scale แบบ RCBD

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. ระบายน้ำลงไปในแปลงทดลองคลุกเคล้าดินผสมให้เป็นตม นำต้นกล้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาปักดำ โดยเว้นระยะห่างระหว่างกล้า 30 ซ.ม.
6. เติมน้ำให้ระดับน้ำสูงกว่าระดับพื้นดิน 5 -7 ซ.ม. ทุกแปลง
7. จดบันทึกความสูงของลำต้น ความยาวของใบ ความกว้างของใบ จำนวนใบ จำนวนหน่อ จำนวนต้นต่อกอ การออกดอกในแต่ละแปลง โดยวิธีกำหนดต้น กำหนดใบ บันทึกการเปลี่ยนแปลง 7 วันต่อครั้ง
8. เมื่อระยะเวลา 40 วันทำการลดระดับน้ำให้อยู่ระดับเดียวกันกับระดับดิน และอีก 7 วัน เพิ่มระดับน้ำเข้าไปในแปลงให้ระดับน้ำสูงกว่าระดับพื้นดิน 5 - 7 ซ.ม. จดบันทึกและเฝ้าสังเกตอย่างสม่ำเสมอพร้อมกำจัดวัชพืช และหนอนซึ่งเป็นศัตรูของข้าว
9. ก่อนการเก็บเกี่ยว 20 วันลดระดับน้ำให้อยู่ระดับเดียวกับดินเตรียมพร้อมเก็บเกี่ยว

10. บันทึกจำนวนรวงต่อกอ และผลผลิต (กิโลกรัม) ในแต่ละแปลง
11. นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล และสรุปผล




รูปที่ 24 การควบคุมระดับน้ำในระหว่างการทดลอง

**ส่วนที่ 4 การเปลี่ยนแปลงองค์กรโดยใช้หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร มาตรฐานเลขที่ 2-2562**

ในกระบวนการนำองค์กรเข้าสู่หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กรนั้น เป็นเรื่องที่ต้องใช้ระยะเวลาและงบประมาณในการดำเนินงาน ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอในส่วนของกระบวนการผลิตที่ดำเนินการตามกรอบของ CE มีลำดับขึ้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบระดับของ CE ในองค์กรโดยการตอบแบบสอบถามปลายเปิด (ตอบคำถามตามรายการที่กำหนดเพื่อทราบระดับ CE ในองค์กร)
2. ดำเนินการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักของ CE ดังนี้

   ขั้นที่ 1 การวางกรอบ (Framing) ในขั้นแรกนี้ เราจะทำแผนของกระบวนการผลิตทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยจัดทำเป็นหมวดหมู่ ได้แก่ ขั้นตอนการผลิตเริ่มจากการขุดนำหินบะซอลต์ผุมาใช้ในการปลูกข้าวขาวดอกมะลิ อุปกรณ์ที่ใช้ในทุกขั้นตอน การได้มาของวัสดุและอุปกรณ์ ความร่วมมือและปฏิสัมพันธ์กับบุคคลหรือหน่วยงานในแต่ละขั้นตอน ต้นทุน ผลผลิต การตลาด การจำหน่าย

ขั้นที่ 2 การกำหนดขอบข่าย (Scoping) ทำการวิเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตไปจนถึงวางจำหน่าย พิจารณาดูว่าภายใต้บริบทเศรษฐกิจหมุนเวียน อะไรที่เป็นไปได้และ/หรือต้องดำเนินการทันที เช่น การใช้เครื่องจักรในการปักดำ แทนแรงงานมนุษย์ซึ่งในยุคปัจจุบันค่าแรงจะสูงกว่าในอดีตมาก การนำฟางข้าวมาทำเป็นปุ๋ยหมัก การใช้โดรนในการให้ฮอร์โมนทางใบ การลดการใช้ปุ๋ยและหันมาใช้ หินบะซอลต์ผุ เพื่อทดแทน

ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิด (Idea Generation) กำหนดทางเลือกให้กับขั้นตอนทุกขั้นตอนของการผลิต และเลือกทางเลือกที่ประหยัดค่าใช้จ่าย และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การนำหินบะซอลต์ผุมาใช้ในกระบวนการผลิตลดการใช้ปุ๋ย ผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวมาใช้ในการผลิต

ขั้นที่ 4 ความเป็นไปได้ (Feasibility) ในแต่ละขั้นตอนอะไรที่ปรับเปลี่ยนได้ทันที เช่น การใช้เครื่องจักรแทนแรงงานมนุษย์ ซึ่งสามารถทำได้เลย

ขั้นที่ 5 เหตุผลทางธุรกิจ (Business Case) เช่น การนำหินบะซอลต์ผุเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุน และต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับองค์กรได้

ขั้นที่ 6 การดำเนินกิจกรรมนำร่องและการสร้างต้นแบบ (Piloting and prototyping) ใช้การทดลองหินบะซอลต์ผุ กับผลผลิตของ KDML 105 เพื่ออ้างอิงในการนำหินบะซอลต์ผุเป็นผลิตภัณฑ์ และสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่จากการพัฒนาต่อยอด เช่น สูตรหินบะซอลต์ผุสำหรับไม้ดอกไม้ประดับหรือพืชขนาดเล็กในกระถาง

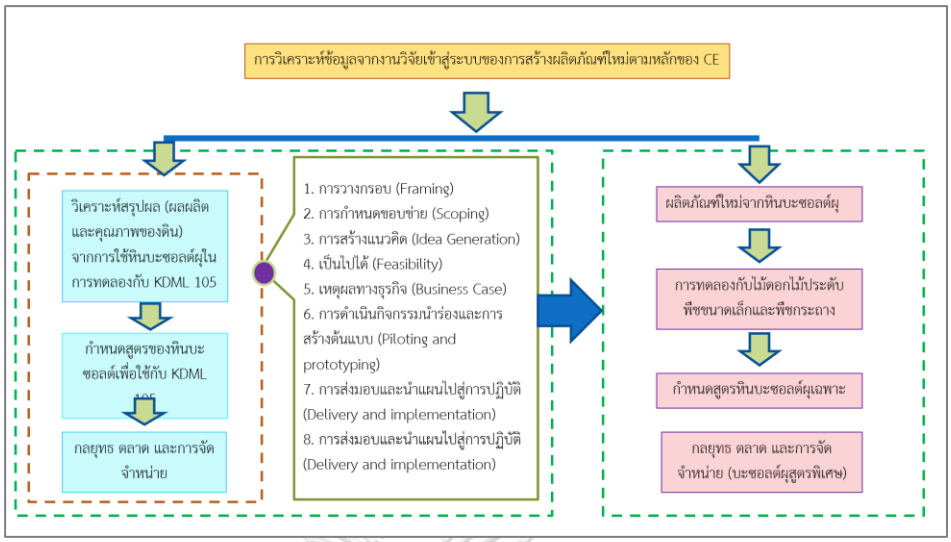
ขั้นที่ 7 การส่งมอบและนำแผนไปสู่การปฏิบัติ (Delivery and implementation) เขียนแผนการปฏิบัติและนำร่องการทดลองหินบะซอลต์ผุกับพืชชนิดอื่น

ขั้นที่ 8 การติดตามผล การทบทวน และการรายงาน (Monitor, review, and report) ติดตามและรายงานในทุกขั้นตอนของการผลิต

3. เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย ระยะเวลา งบประมาณ ประโยชน์ที่ได้รับ ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติตามกรอบ CE เทียบกับกระบวนการแบบดั้งเดิม

เพื่อความเข้าใจในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยแล้วนำมาสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ตามหลักของ CE กล่าวคือเริ่มต้นกระบวนการทดลอง กระบวนการผลิต รวมถึงการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ แสดงดังแผนภาพด้านล่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




รูปที่ 25 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยแล้วนำมาสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทางสถิติที่ถูกต้องแม่นยำ ได้มาจากการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลน้อยที่สุด ซึ่งความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental error) ประกอบด้วยความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับอิทธิพลของทรีตเมนต์เดียวกัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากความแตกต่างที่มีอยู่ในวัตถุทดลองก่อนการทดลอง (inherent variability) เช่น พันธุ์ข้าว หรือแหล่งที่มาของหินบะซอลต์ผุ ความแตกต่างเนื่องมาจากสิ่งภายนอก (extraneous variability) เช่น อิทธิพลของสภาพแวดล้อมบริเวณแปลงทดลอง การบันทึกข้อมูล เป็นต้น

ในการทดลอง Lab scale วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลผลิตข้าวในแต่ละตำหรับทดลองด้วยวิธี Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

# บทที่ 4

# ผลการทดลอง

## 4.1 ผลการวิเคราะห์ดินในพื้นที่ทดลอง

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในพื้นที่ทดลอง จากกรมพัฒนาที่ดิน แสดงในตารางด้านล่างดังนี้

ตารางที่ 7ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในพื้นที่ทดลอง

| รายการวิเคราะห์ | จำนวน/หน่วย | ผลการวิเคราะห์ | ค่าระดับปานกลาง |
|---|---|---|---|
| 1.อินทรีย์วัตถุ (OM) | 0.57% | ระดับต่ำ | 1.5-2.5 % |
| 2.ฟอสฟอรัส (P) | 6 mg/kg | ระดับต่ำ | 13-25 mg/kg |
| 3.โพแทสเซียม (K) | 22 mg/kg | ระดับต่ำมาก | 31-60 mg/kg |
| 4.แคลเซียม (Ca) | 561mg/kg | ระดับต่ำ | 600-800 mg/kg |
| 5.แมกนีเซียม (Mg) | 57 mg/kg | ระดับต่ำ | 60-90 mg/kg |
| 6.ความเป็นกรด-ด่าง (pH) | 6.3 | กรดเล็กน้อย | - |
| 7.ค่าการนำไฟฟ้า (EC) | 0.03 dS/m | ไม่เค็ม | - |
| 8.เนื้อดิน | | ดินร่วนปนทราย | - |

(*เอกสาร:ก ภาคผนวก)

## 4.2 การประมวลผลข้อมูลด้าน GIS

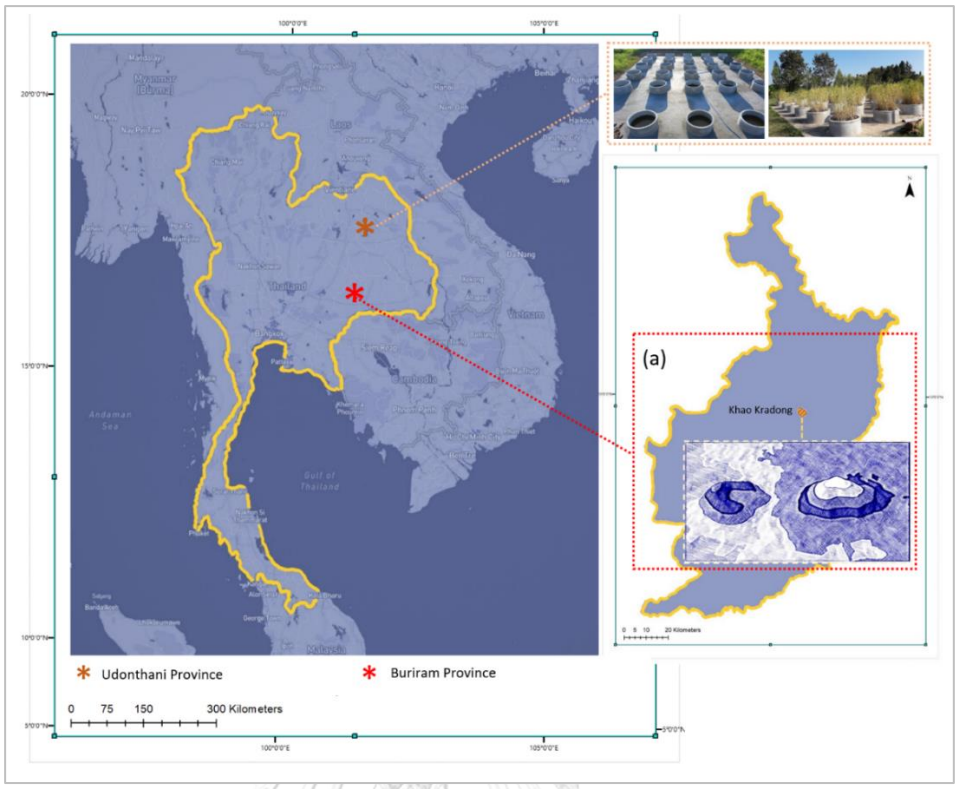
ก. พื้นที่ทดลอง แหล่งบะซอลต์ผุและแผนที่สามมิติของเขากระโดง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พื้นที่ทดลอง (ไร่แก้วอินทร์) ตั้งอยู่บริเวณหมู่ 11 ต.หนองกุงทับม้า อ.วังสามหมอ จ.อุดรธานี พิกัดภูมิศาสตร์ ละติจูด: N 17 02 07 ลองติจูด: E 103 26 38 ( * จุดสีส้มในแผนที่ด้านล่าง)

พื้นที่สำรวจหินบะซอลต์ผุ บริเวณโดยรอบวนอุทยานเขากระโดง ตำบลเสม็ด ตำบลอิสาณ และตำบลสวายจีก อำเภอเมืองบุรีรัมย์ พิกัดที่ 0294967 ตะวันออก 1652646 เหนือ (จุดสีแดงในแผนที่ด้านล่าง)

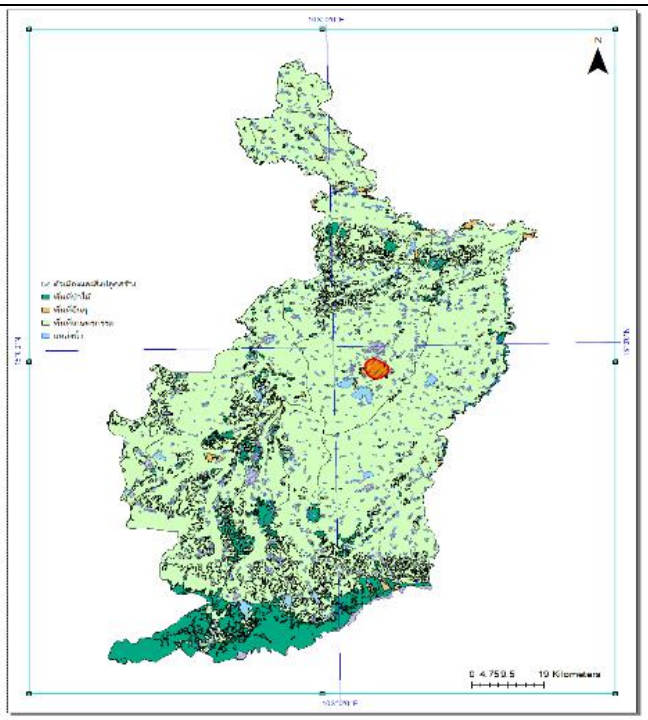
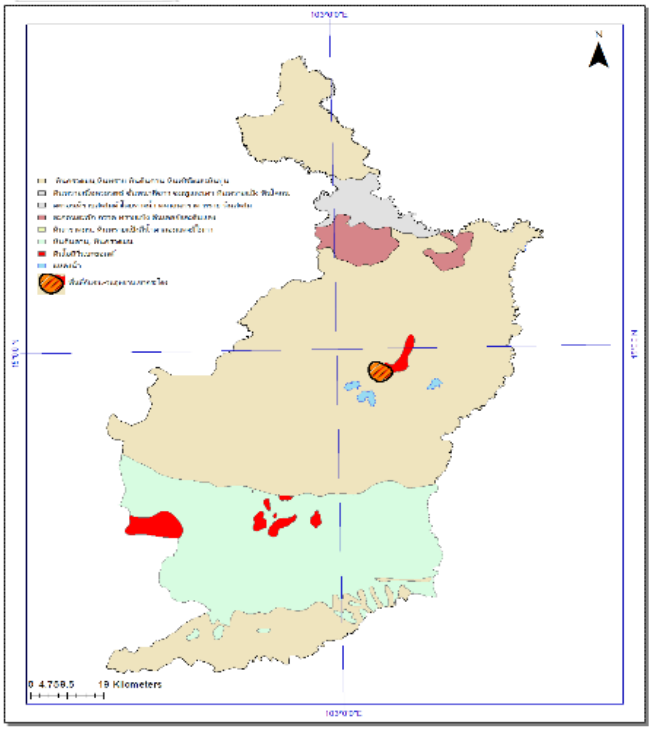
แผนที่สามมิติแสดงให้เห็นลักษณะทางกายภาพของเขากระโดง ซึ่งประกอบด้วยภูเขา 2 ลูก ภูเขาที่มีลักษณะเป็นปากปล่อง ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตก มีขนาดเล็กกว่าภูเขาทางด้านตะวันออกเล็กน้อย ปากปล่องภูเขาไฟเป็นรูปโค้งเว้าที่ชัดเจนจากแผนที่ภาพสามมิติ (a)




รูปที่ 26 แสดงหน่วยทดลอง แหล่งบะซอลต์ผุ และแผนที่สามมิติของกระโดง (a)

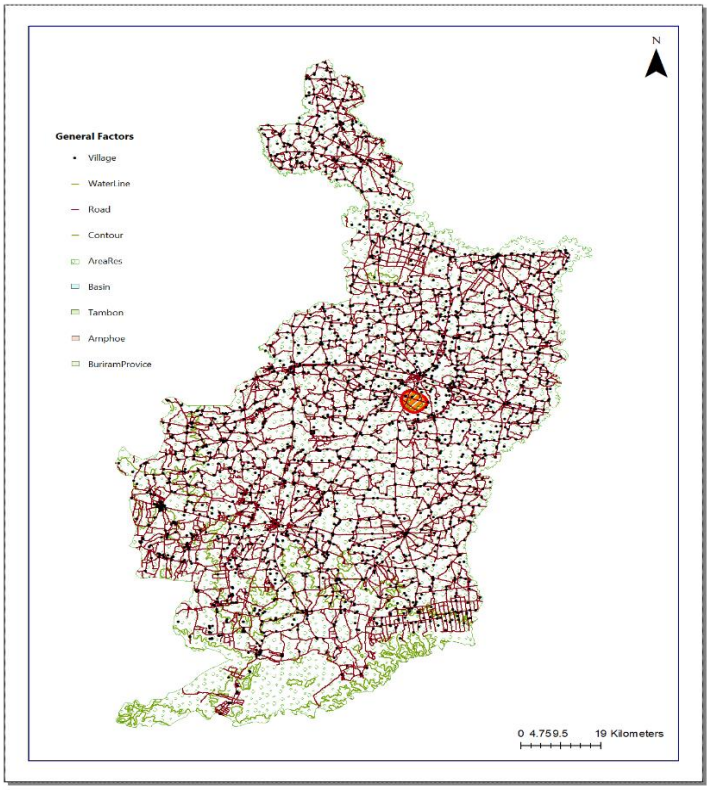
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข.แผนที่แสดงปัจจัยที่นำมาประมวลผล ประกอบด้วย

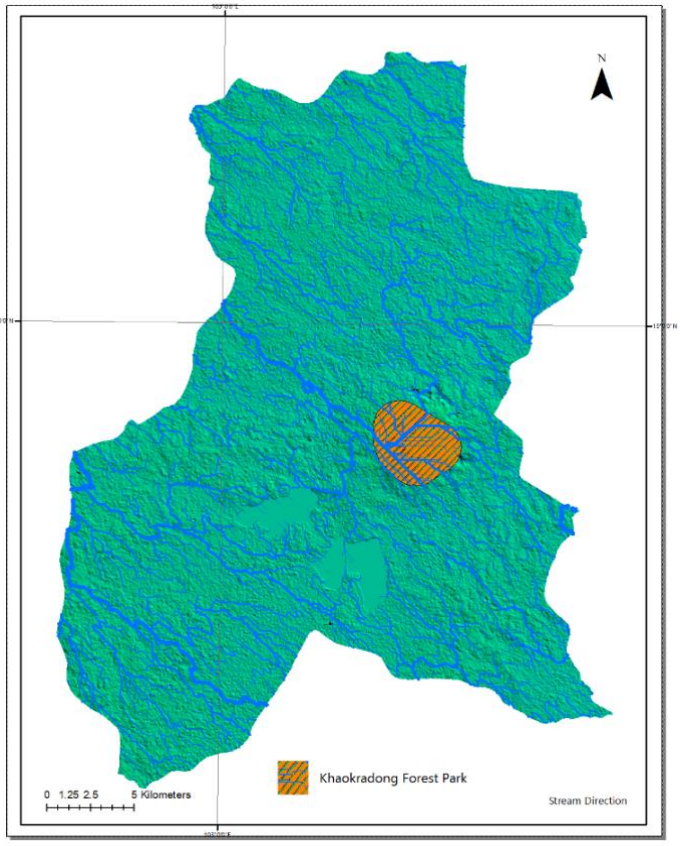
| ปัจจัย | แผนที่ |
|---|---|
| [1] การใช้ประโยชน์พื้นที่ (Land use) |  |
| [2] แผนที่แสดงข้อมูลด้านธรณีวิทยา (Geological map) |  |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[3] แผนที่แสดงถนน เส้นทางน้ำ หมู่บ้าน และแหล่งเก็บกักน้ำ




[4] แผนที่แสดงการไหลของทิศทางน้ำ




จุฬาล
CHULAL

รูปที่ 27 ข้อมูล GIS ที่นำมาประมวลผล , [1] การใช้ประโยชน์พื้นที่,[2] ข้อมูลด้านธรณีวิทยา, [3] ข้อมูล ถนน เส้นทางน้ำ หมู่บ้าน และแหล่งเก็บกักน้ำ, [4] ข้อมูลการไหลของทิศทางน้ำ

จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า มีพื้นที่เกษตรกรรม (สีเขียวอ่อน) และการขยายเมืองเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลในปี 2551 (กรมทรัพยากรธรณี , 2551) มีพื้นที่ป่าไม้แสดงให้เห็น (สีเขียวเข้มในแผนที่ [1]) อยู่ในเขตพื้นที่อนุรักษ์และในเขตวนอุทยานแห่งชาติ

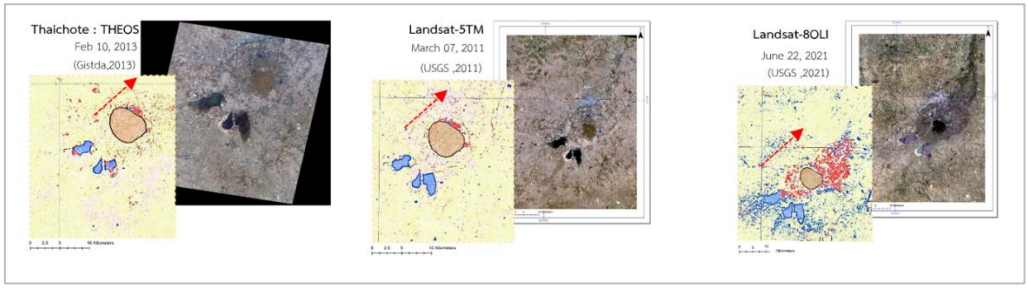
ข้อมูลด้านธรณีวิทยาแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ส่วนใหญ่ในแผนที่ [2] เป็นหินกรวดมน,หินทราย หินดินดาน หินเชิร์ตและหินปูน ในยุคคาร์บอนิเฟอรัส (พื้นที่สีเหลือง) บริเวณส่วนกลางของจังหวัดบุรีรัมย์ แต่ที่น่าสนใจคือพื้นที่สีแดงที่ปรากฏในแผนที่ ซึ่งแสดงถึงพื้นที่ หินโอลิวีนบะซอลต์ พบบริเวณโดยรอบของกระโดงและเป็นแนวยาวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ข้อมูลถนน และหมู่บ้านแสดงในแผนที่ [3] พบหมู่บ้านกระจายตัวหนาแน่นบริเวณตอนกลาง (เขตเมือง)และกระจายตัวแผ่ขยายออกไปทั่วบริเวณแต่หนาแน่นน้อยกว่าเขตเมือง

ข้อมูลแสดงทิศทางการไหลของน้ำในแผนที่ [4] พบว่าการไหลของน้ำจะไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือไหลไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้โดยลำน้ำทางตะวันตกเฉียงเหนือจะมีขนาดของลำน้ำที่ใหญ่กว่า แต่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงใต้จะมีลำน้ำสาขาย่อยมากกว่า

ค.แผนที่แสดงการกระจายของบะซอลต์รอบบริเวณเขากระโดงประมวลผลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม

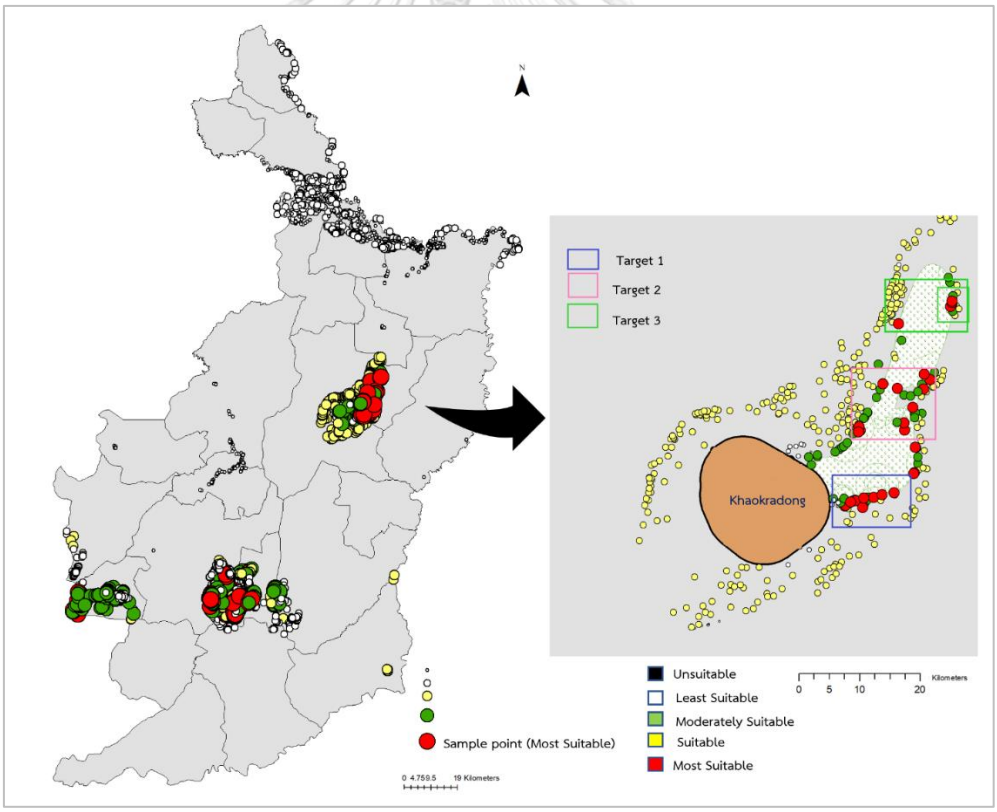
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



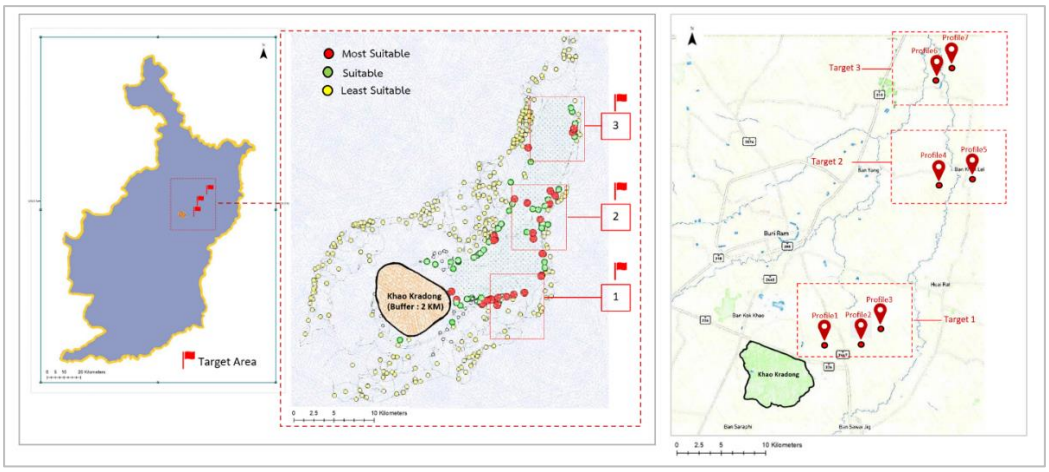

รูปที่ 28 การกระจายของบะซอลต์รอบบริเวณเขากระโดงประมวลผลด้วยภาพถ่ายดาวเทียม 3 ดวง

ประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม 3 ภาพ ผลปรากฏว่าการกระจายตัวของหินบะซอลต์ในพื้นที่ศึกษา ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8OLI ให้ภาพการกระจายที่ชัดเจนที่สุด รองลงมาคือ ภาพถ่ายดาวเทียม Thaichoteและ Landsat -5TM ตามลำดับ Band 4 มีความสำคัญสำหรับการจำแนกประเภทของหินบะซอลต์ การกระจายตัวของหินบะซอลต์มีลักษณะการกระจายโดยรอบเขากระโดงเป็นวงกว้างรอบทิศทาง แต่ความหนาแน่นกระจายตัวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขากระโดงประมาณ 25 กิโลเมตร ตั้งแต่เขตปกครองอำเภอเมืองบุรีรัมย์ไปจนถึงเขตปกครองอำเภอห้วยราช ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณีในปี พ.ศ. 2551-2553

ง.แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่เป้าหมายและจุดเก็บตัวอย่าง 7 Profiles




รูปที่ 29 แผนที่แสดงความเหมาะสมของพื้นที่ ที่มีศักยภาพ บริเวณโดยรอบเขากระโดง




รูปที่ 30 พื้นที่เป้าหมาย 3 พื้นที่ และจุดเก็บตัวอย่าง 7 Profiles

จากการประมวลผลพบบริเวณที่เหมาะสมที่สุดอยู่บริเวณตอนกลางและตอนล่างของจังหวัดบุรีรัมย์ แต่ในงานวิจัยนี้เราให้ความสนใจไปที่ บริเวณโดยรอบของวนอุทยานแห่งชาติเขากระโดง ซึ่งอยู่บริเวณตอนกลางของจังหวัด พื้นที่สีแดงหมายถึงพื้นที่เหมาะสมที่สุด พื้นที่สีเขียวหมายถึงพื้นที่เหมาะสมมากและพื้นที่สีเหลืองหมายถึงพื้นที่เหมาะสมปานกลาง นำพื้นที่เหมาะสมที่สุด (สีแดง) เพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายดังนี้ พื้นที่เป้าหมายที่ 1 อยู่บริเวณ ตำบลสวายจีก อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ห่างจากพื้นที่กันชนวนวนอุทยานเขากระโดงไปทางทิศตะวันออกประมาณ 4 กิโลเมตรเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เป้าหมาย 2 อยู่บริเวณตำบลห้วยราช อำเภอห้วยราช และตำบลอีสาณ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ห่างจากพื้นที่กันชนไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 7 กิโลเมตร พื้นที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่เป้าหมาย 3 อยู่บริเวณ ตำบลบ้านยาง อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ห่างจากพื้นที่กันชนไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 12 กิโลเมตร เป็นพื้นที่เกษตรกรรม เมื่อได้พื้นที่เป้าหมายแล้วนำพื้นที่เป้าหมายทั้งสามมากำหนดจุดสำรวจดังนี้ พื้นที่เป้าหมายที่ 1 ประกอบด้วย 3 Profile ได้แก่ Profile ที่ 1,2 และ 3 พื้นที่เป้าหมายที่ 2 ประกอบด้วย 2 Profile ได้แก่ Profile ที่ 4 และ 5 พื้นที่เป้าหมายที่ 3 ประกอบด้วย 2 profile ได้แก่ Profile ที่ 6 และ 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**4.3 จุดเก็บตัวอย่างและผลการสำรวจ**

4.3.1 พื้นที่เป้าหมายที่ 1 ประกอบด้วย 3 Profile ได้แก่ Profile ที่ 1,2 และ 3 (Coordinate จุดเก็บตัวอย่าง ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1)

ผลการสำรวจ Profile 1 แสดงในรูปด้านล่าง

| ความลึก (ซ.ม.) | ภาพถ่าย | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 0-20 | | สีน้ำตาลแกมเหลือง<br>มีรากพืชผสม<br>สัดส่วน soil มากกว่าหิน<br>ขนาดตะกอน เป็นทรายหยาบ |
| 20-40 |  | สีน้ำตาลเทา<br>ขนาดตะกอนเป็นทรายละเอียด มีเศษหินบะซอลต์ผสม<br>สัดส่วนหินมากกว่าดิน |
| 40-60 |  | สีน้ำตาลเข้ม<br>ขนาดตะกอนเป็นทรายหยาบ<br>มี clay ผสมเพิ่มมากขึ้นกว่าช่วง 20-40 ซม.<br>(Clay: Rock/60:40) |
| 60-70 |  | สีน้ำตาลเข้ม<br>สัดส่วน<br>(Clay : Sand/80:20) |

รูปที่ 31 ผลการสำรวจ Profile 1

ผลการสำรวจ Profile 2 แสดงในรูปที่ 32

| ความลึก (ซ.ม.) | ภาพถ่าย | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 0-20 | | สีน้ำตาลเข้ม-ดำ<br>มีเศษรากพืชผสม<br>Clay: Rock /90:10<br>มีเศษหินขนาด 1x1x2.5 ผสมอยู่ประมาณ 1% |
| 20-40 | | สีน้ำตาลเข้ม , สีน้ำตาลเทา<br>Clay: Rock /60:40<br>ขนาดหิน ประมาณ Pebbles |
| 40-60 | | *พบหินขนาดใหญ่<br>สีน้ำตาลอ่อน มีกรวดขนาดใหญ่ปะปนมากขึ้น<br>Clay: Rock / 60:40 / พบบะซอลต์ผุในระดับนี้ |
| 60-80 | | สีน้ำตาลอ่อน ปนเหลือง<br>พบหินขนาด ไม่เกิน 3 ซม.<br>Mass: Rock /50: 50 |
| 85-95 | | มีสีเทา<br>Angular fragment rocks<br>พบบะซอลต์ผุสีดำผสม |

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 32 ผลการสำรวจ Profile 2

ผลการสำรวจ Profile 3 แสดงในรูปที่ 33

| ความลึก (ซ.ม.) | ภาพถ่าย | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 0-20 | | Sticky clay สีน้ำตาลเข้ม มีรากพืชผสม ในระดับ 0-25 ซม.มีเศษหินผสมอยู่ประมาณ 15%<br>ขนาดเศษหิน 0.5-1 มม. |
| 20-60 | | มีสีดำเข้ม<br>Clay: Rock /85:25<br>ขนาดเศษหินตั้งแต่ 0.5 มม.-2 ซม. |
| 60-100 | | มี Clay ปริมาณมาก<br>สีน้ำตาลเข้ม (ดำ)<br>มีหินผสมประมาณ 10-15%<br>ขนาดหิน 0.5 มม.-2 ซม. |
| 100-120 | | สีน้ำตาลอ่อนปนเหลือง<br>Clay: Rock /30:70<br>หินชั้นบนมีขนาด 0.5-3 มม. หินชั้นล่างมีขนาด 0.5-4.5 มม. พบหินบะซอลต์ผุผสม |

รูปที่ 33 ผลการสำรวจ Profile 3

4.3.2 พื้นที่เป้าหมายที่ 2 ประกอบด้วย 2 Profile ได้แก่ Profile ที่ 4 และ 5 (Coordinate จุดเก็บตัวอย่าง ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-2)

ผลการสำรวจ Profile 4 แสดงในรูปที่ 34

| ความลึก (ซ.ม.) | ภาพถ่าย | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 0-20 | | มีตะกอน Clay และมีหินผสมในอัตราส่วน 95 : 5<br>มีสีน้ำตาลเข้ม -ดำ<br>มีทรายหยาบผสม |
| 20-40 | | มีตะกอน Clay และมีหินผสมในอัตราส่วน 60 :40<br>มีสีน้ำตาลเทา มีหินผุผสมอยู่ (ไม่แน่ใจว่าจะเป็นบะซอลต์ผุหรือไม่) |
| 40-60 | | ลักษณะดินมีสีเทาและสีส้มของหินผุผสม<br>อัตราส่วนระหว่าง Clay : Grain /40:60<br>Grain size = Medium |
| 60-80 | | ลักษณะดินมีสีน้ำตาลอ่อน (มีหินผุผสมอยู่จำนวนมาก)<br>อัตราส่วนระหว่าง Clay : Grain /30:70<br>Grain size = 0.5 mm.-3 mm. |

| | | |
|---|---|---|
| 80-110 | | ลักษณะดินมีสีน้ำตาลปนสีส้ม (มีหินผุผสมอยู่จำนวนมาก)<br>อัตราส่วนระหว่าง Clay : Grain /10:90<br>Grain size = cores sand-pebbles |
| 110-140 | | สีแดงเข้ม<br>ปริมาณดินน้อยมากพบหินเป็นจำนวนมากหินมีหลายขนาด<br>อัตราส่วนระหว่างดิน:หิน /5:95 |
| 140-190 | | สีแดงเข้ม<br>ปริมาณดินน้อยมากพบหินเป็นจำนวนมากหินมีหลายขนาด<br>อัตราส่วนระหว่างดิน:หิน /3:97 |

รูปที่ 34 ผลการสำรวจ Profile 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการสำรวจ Profile 5

ตารางที่ 11 ผลสำรวจ Profile 5 แสดงในรูปที่ 35

| ความลึก (ซ.ม.) | ภาพถ่าย | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 0-20 | | มีสีน้ำตาลเข้ม<br>Clay: Grain /70:30<br>Grain size: cores -very cores |
| 20-40 Cm. | | มีสีน้ำตาลดำ<br>Clay: Grain /85:15<br>Grain size: cores -very cores |
| 40-60 Cm. | | มีสีน้ำตาลอ่อน<br>Clay: Grain /30:70<br>Grain เป็นหินบะซอลต์ผุมีขนาดตั้งแต่ 0.3-5 ซม. |
| 60-80 Cm. | | มีสีน้ำตาลเทา มีหินผุขนาดใหญ่ขนาดตั้งแต่ 4-8 ซม. |

รูปที่ 35 ผลสำรวจ Profile 5

4.3.3 พื้นที่เป้าหมายที่ 3 ประกอบด้วย 2 Profile ได้แก่ Profile ที่ 6 และ 7 (Coordinate จุดเก็บตัวอย่าง ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก-3)

ผลการสำรวจ Profile 6 แสดงในรูปที่ 36

| ความลึก (ซ.ม.) | ภาพถ่าย | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 0-20 Cm. | | มีสีน้ำตาลเข้มมีเศษหินปะปน<br>Clay: grain /70:30<br>Grain size :0.1-2 Cm.<br>*Grain =Weathering Basalt |
| 20-50 Cm. | | สีน้ำตาลปนเหลือง<br>Clay: grain /30:70<br>Grain size :0.5-3 Cm.<br>พบ Residual basalt จำนวนมาก |
| 50-60 Cm. | | หินผุมีสีน้ำตาลปนเหลือง clay สีเทา<br>Clay: grain /40:60<br>Grain size :1-4 Cm.<br>มีน้ำในระดับความลึกนี้ |
| 60-70 Cm. | | สีเทา<br>พบหินจำนวนมาก<br>Clay: grain 10:90<br>Grain size :3-6 Cm. (ขนาดใหญ่) |

รูปที่ 36 ผลการสำรวจ Profile 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการสำรวจ Profile 7 แสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ **8** ผลสำรวจ Profile 7

| ความลึก Cm. | ภาพถ่าย | ลักษณะ |
|---|---|---|
| 0-20 | | สีน้ำตาลเข้ม<br>Clay: Grain/60:40<br>Grain size = 0.3-3 Cm.<br>Grain: เป็นหินผุ |
| 20-40 | | สีเทา<br>Clay: Grain/20:80<br>Grain size = 0.5-7 Cm.<br>Grain: เป็นหินผุ |
| 40-60 | | พบหินจำนวนมากมีหลากหลายขนาด ตั้งแต่ 1 ซม. ไปจนถึงขนาด 10 ซม.พบปริมาณของดินน้อยมาก |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**4.4 ผลการวิเคราะห์ X-ray fluorescence (XRF) และ X-Ray Diffraction (XRD)**

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ XRF ประกอบด้วยตัวอย่าง 54 ตัวอย่างตามระดับความลึกทั้ง 7 Profile ดังนี้

Profile 1 ประกอบด้วย 4 ตัวอย่างตามระดับความลึกดังนี้

ตารางที่ 9 จำนวนตัวอย่างวิเคราะห์ XRF ใน Profile 1

| ระดับความลึก (ซม.) | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | รวมตัวอย่างทั้งหมด |
|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนตัวอย่าง | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |

ผลการวิเคราะห์ XRF ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 1 ดังรูปที่ 37

| Concentration (%wt) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Depth (Cm.) /Element | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-70 |
| SiO2 | 51.67 | 52.10 | 50.10 | 50.11 |
| Al2O3 | 15.08 | 14.93 | 14.20 | 16.97 |
| Fe2O3 | 13.48 | 13.46 | 23.14 | 20.08 |
| CaO | 7.32 | 7.53 | 1.87 | 2.54 |
| MgO | 3.75 | 3.66 | 1.25 | 1.69 |
| K2O | 2.41 | 2.38 | 0.82 | 0 |
| Na2O | 2.34 | 2.32 | 0.83 | 0.97 |
| TiO2 | 2.22 | 2.15 | 6.05 | 4.67 |
| P2O5 | 1.15 | 1.06 | 0.37 | 0.35 |
| MnO | 0.26 | 0.20 | 1.08 | 1.26 |
| SrO | 0.13 | 0.13 | 0.04 | 0.06 |
| BaO | 0.08 | 0.00 | 0.10 | 0.14 |
| SO3 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0 |
| ZrO2 | 0.03 | 0.03 | 0.09 | 0.07 |
| Cr2O3 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.03 |
| Nb2O5 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.01 |
| NiO | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| ZnO | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| K2O | 0.00 | 0.00 | 0.82 | 1.03 |
| NiO | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.00 |

รูปที่ 37 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 1

Profile 2 ประกอบด้วย 11 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRF ตามระดับความลึกดังนี้

| Concentration (%wt) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Depth (Cm.) | | 10 - | 20 - | 30 - | 40 - | 50 - | 60 - | 70 - | 80 - | 85 - | 95 - |
| Element | 0-10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 85 | 95 | 120 |
| SiO2 | 46.40 | 45.83 | 42.21 | 46.22 | 49.33 | 49.33 | 49.33 | 49.33 | 50.52 | 50.06 | 27.15 |
| Fe2O3 | 25.32 | 25.20 | 26.84 | 18.73 | 14.37 | 15.45 | 13.79 | 13.47 | 12.90 | 13.39 | 11.17 |
| Al2O3 | 17.10 | 17.40 | 17.48 | 19.93 | 20.51 | 18.05 | 17.70 | 18.09 | 17.86 | 17.90 | 10.30 |
| TiO2 | 4.82 | 4.71 | 4.50 | 3.94 | 3.36 | 3.50 | 2.81 | 2.82 | 2.70 | 2.99 | 2.44 |
| CaO | 2.03 | 2.16 | 3.01 | 4.09 | 5.00 | 6.40 | 6.91 | 6.63 | 6.74 | 8.14 | 39.48 |
| MgO | 1.27 | 1.26 | 1.45 | 1.57 | 1.41 | 1.94 | 2.22 | 2.39 | 2.42 | 2.20 | 7.46 |
| MnO | 1.04 | 1.20 | 1.34 | 0.58 | 0.28 | 0.19 | 0.18 | 0.21 | 0.19 | 0.14 | 0.13 |
| K2O | 0.66 | 0.71 | 1.24 | 1.91 | 0 | 2.40 | 2.37 | 2.24 | 2.25 | 1.93 | 0.67 |
| Na2O | 0.55 | 0.69 | 0.84 | 1.71 | 2.27 | 2.06 | 2.67 | 2.54 | 3.08 | 2.08 | 0.56 |
| P2O5 | 0.43 | 0.45 | 0.65 | 0.99 | 1.41 | 1.09 | 1.10 | 1.07 | 1.04 | 0.92 | 0.27 |
| BaO | 0.11 | 0.14 | 0.17 | 0.12 | 0.10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ZrO2 | 0.09 | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.01 |
| SO3 | 0.08 | 0.03 | 0.03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Cr2O3 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| SrO | 0.03 | 0 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.23 |
| NiO | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| ZnO | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| V2O5 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 38 ผลการวิเคราะห์ XRF :Profile 2

Profile 3 ประกอบด้วย 6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRF ตามระดับความลึกดังนี้

| Concentration (%wt) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Depth (Cm.) /Element | 0-20 | 20 - 60 | 60-80 | 80 -100 | 100-110 | 110 - 120 |
| SiO2 | 51.34 | 52.63 | 53.92 | 55.21 | 56.50 | 57.79 |
| Fe2O3 | 18.44 | 16.79 | 15.78 | 16.17 | 27.60 | 27.95 |
| Al2O3 | 16.29 | 18.12 | 17.54 | 17.09 | 19.77 | 20.27 |
| TiO2 | 6.82 | 5.62 | 5.64 | 6.08 | 4.21 | 3.77 |
| K2O | 1.99 | 1.69 | 1.84 | 1.88 | 0.89 | 1.02 |
| CaO | 1.68 | 1.72 | 1.90 | 1.80 | 1.73 | 2.41 |
| Na2O | 1.23 | 1.09 | 1.15 | 1.10 | 0.74 | 0.96 |
| MgO | 1.08 | 1.34 | 1.43 | 1.36 | 1.35 | 1.45 |
| P2O5 | 0.50 | 0.39 | 0.30 | 0.30 | 0.33 | 0.32 |
| MnO | 0.29 | 0.31 | 0.31 | 0.42 | 1.05 | 1.21 |
| SO3 | 0.10 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ZrO2 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.05 |
| SrO | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.03 | 0.03 |
| Cr2O3 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| ZnO | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| NiO | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 |
| V2O5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |

รูปที่ 39 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 3

*ผลอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากในระหว่างการเก็บตัวอย่างมีฝนตกหนักและสภาพอากาศที่แปรปรวน

Profile 4 ประกอบด้วย 20 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRF ตามระดับความลึกดังนี้

ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 4

| Concentration (%wt) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Depth (Cm.) | 0 - | 10 - | 20 - | 30 - | 40 - | 50 - | 60 - | 70 - | 80 - | 90 - |
| Element | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| SiO2 | 59.77 | 59.20 | 60.78 | 61.04 | 66.49 | 59.09 | 59.13 | 58.74 | 64.77 | 68.43 |
| Al2O3 | 14.44 | 15.68 | 15.12 | 15.69 | 15.63 | 16.09 | 16.06 | 16.36 | 15.66 | 15.91 |
| Fe2O3 | 12.45 | 12.09 | 11.59 | 11.38 | 9.77 | 16.74 | 17.15 | 16.36 | 10.24 | 6.66 |
| TiO2 | 6.25 | 5.97 | 5.72 | 5.26 | 3.19 | 2.81 | 2.47 | 2.21 | 2.16 | 1.84 |
| K2O | 2.19 | 2.18 | 2.04 | 1.91 | 1.09 | 0.91 | 0.79 | 0.74 | 0.85 | 0.81 |
| CaO | 1.50 | 1.46 | 1.41 | 1.37 | 1.11 | 1.02 | 1.05 | 2.51 | 3.19 | 3.14 |
| Na2O | 1.43 | 1.50 | 1.56 | 1.48 | 0.83 | 0.86 | 0.68 | 0.68 | 0.62 | 0.64 |
| MgO | 0.81 | 0.87 | 0.87 | 0.96 | 1.16 | 1.12 | 1.25 | 1.57 | 1.75 | 2.02 |
| P2O5 | 0.40 | 0.36 | 0.37 | 0.37 | 0.20 | 0.30 | 0.29 | 0.29 | 0.17 | 0.16 |
| MnO | 0.40 | 0.38 | 0.26 | 0.25 | 0.26 | 0.71 | 0.77 | 0.75 | 0.31 | 0.14 |
| ZrO2 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| SrO | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 |
| Cr2O3 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| SO3 | 0.00 | 0.05 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Nb2O5 | 0.00 | 0.02 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0 | 0 | 0.00 |
| V2O5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.00 |
| NiO | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 4 (*ต่อ)

| | Concentration (%wt) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Depth (Cm.) / Element | 100-110 | 110-120 | 120-130 | 130-140 | 140-150 | 150-160 | 160-170 | 170-190 | 190-200 | >200 |
| SiO2 | 65.14 | 65.00 | 65.20 | 63.98 | 64.37 | 64.57 | 67.82 | 75.14 | 69.81 | 67.69 |
| Al2O3 | 18.10 | 20.73 | 20.17 | 19.74 | 20.23 | 17.40 | 15.49 | 11.77 | 15.35 | 15.65 |
| Fe2O3 | 6.67 | 6.64 | 6.71 | 6.85 | 6.91 | 7.96 | 6.33 | 5.03 | 6.29 | 6.70 |
| TiO2 | 1.94 | 1.51 | 1.65 | 2.04 | 1.99 | 2.14 | 2.16 | 2.28 | 1.69 | 1.68 |
| K2O | 0.99 | 1.15 | 1.36 | 1.36 | 1.38 | 1.80 | 1.38 | 1.07 | 1.29 | 1.54 |
| CaO | 3.73 | 1.61 | 1.57 | 2.57 | 1.62 | 2.54 | 3.37 | 1.94 | 2.17 | 3.44 |
| Na2O | 0.70 | 0.73 | 0.79 | 0.76 | 0.80 | 0.60 | 0.63 | 0.78 | 0.58 | 0.67 |
| MgO | 2.27 | 2.15 | 2.12 | 2.20 | 2.18 | 2.34 | 2.34 | 1.52 | 1.96 | 2.02 |
| P2O5 | 0.13 | 0.13 | 0.12 | 0.19 | 0.11 | 0.09 | 0.11 | 0.12 | 0.08 | 0.14 |
| MnO | 0.12 | 0.16 | 0.14 | 0.11 | 0.20 | 0.29 | 0.15 | 0.10 | 0.48 | 0.23 |
| ZrO2 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.14 | 0.09 | 0.10 |
| SrO | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |
| Cr2O3 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0 | 0.01 | 0.01 |
| SO3 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 |
| Nb2O5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| V2O5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| NiO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| BaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.00 |

รูปที่ 40 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 4

Profile 5 ประกอบด้วย 6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRF ตามระดับความลึกดังนี้

ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 5

| Concentration (%wt) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Depth (Cm.) /Element | 0-20 | 20-40 | 40-60 | 60-80 | 80-100 | 100-110 |
| SiO2 | 52.26 | 46.61 | 49.48 | 49.57 | 49.99 | 50.08 |
| Fe2O3 | 19.40 | 24.13 | 14.61 | 13.80 | 13.62 | 14.84 |
| Al2O3 | 14.44 | 15.70 | 18.21 | 17.00 | 17.01 | 18.20 |
| TiO2 | 7.21 | 6.24 | 3.25 | 3.11 | 3.09 | 3.29 |
| K2O | 1.71 | 1.51 | 2.12 | 2.17 | 2.26 | 2.01 |
| CaO | 1.53 | 1.85 | 5.78 | 7.03 | 6.48 | 5.49 |
| Na2O | 1.14 | 1.03 | 2.48 | 2.75 | 2.83 | 2.03 |
| MgO | 0.93 | 1.28 | 2.95 | 3.40 | 3.50 | 2.99 |
| P2O5 | 0.51 | 0.63 | 0.78 | 0.83 | 0.90 | 0.71 |
| MnO | 0.48 | 0.63 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.18 |
| ZrO2 | 0.11 | 0.09 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.04 |
| BaO | 0.10 | 0.10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SO3 | 0.06 | 0.07 | 0 | 0.10 | 0 | 0 |
| SrO | 0.05 | 0.05 | 0.09 | 0 | 0.10 | 0.10 |
| Cr2O3 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Nb2O5 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| NiO | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| ZnO | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |

รูปที่ 41 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 5

Profile 6 ประกอบด้วย 4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRF ตามระดับความลึกดังนี้

ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 6

ผลการวิเคราะห์ XRF ดังนี้

| | Concentration(%wt) | | | |
|---|---|---|---|---|
| Depth (Cm.) / Element | 0-20 | 20-40 | 40-55 | 55-80 |
| SiO2 | 42.42 | 44.48 | 47.27 | 45.83 |
| Fe2O3 | 24.88 | 20.44 | 17.61 | 19.71 |
| Al2O3 | 20.48 | 24.19 | 24.21 | 23.16 |
| TiO2 | 5.44 | 3.85 | 3.86 | 3.84 |
| K2O | 1.52 | 1.72 | 1.88 | 1.94 |
| MgO | 1.26 | 1.40 | 1.32 | 1.22 |
| CaO | 1.13 | 1.35 | 1.58 | 1.70 |
| Na2O | 0.99 | 0.94 | 1.07 | 1.07 |
| MnO | 0.87 | 1.01 | 0.50 | 0.75 |
| P2O5 | 0.72 | 0.44 | 0.51 | 0.60 |
| SO3 | 0.09 | 0.00 | 0.04 | 0 |
| ZrO2 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Cr2O3 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| SrO | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| NiO | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| Nb2O5 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| V2O5 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0 |
| ZnO | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| Rb2O | 0.00 | 0 | 0.01 | 0.00 |

รูปที่ 42 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 6

Profile 7 ประกอบด้วย 3 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ XRF ตามระดับความลึกดังนี้

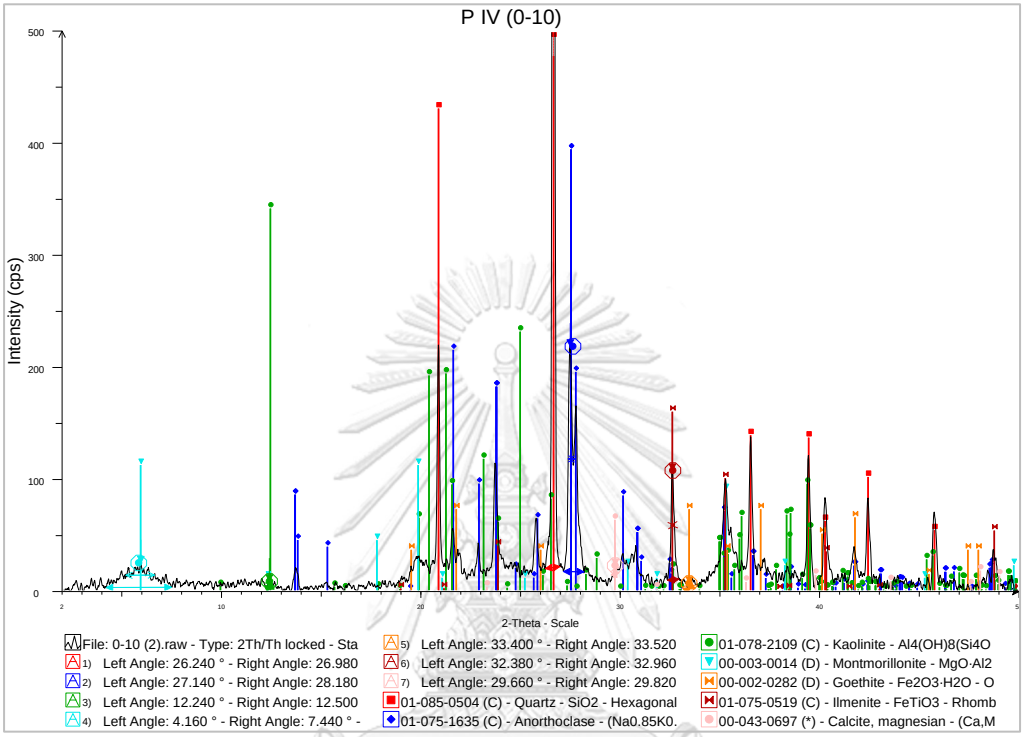
ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 7

| Concentration(%wt) | | | |
|---|---|---|---|
| Element/Depth (Cm.) | 0-20 | 20-40 | 40-60 |
| SiO2 | 43.89 | 48.48 | 46.13 |
| Fe2O3 | 24.01 | 16.28 | 21.73 |
| Al2O3 | 19.32 | 21.42 | 20.44 |
| TiO2 | 4.51 | 3.74 | 3.88 |
| CaO | 2.28 | 3.61 | 2.38 |
| K2O | 1.58 | 2.05 | 1.64 |
| MgO | 1.22 | 1.28 | 1.13 |
| MnO | 1.21 | 0.32 | 0.58 |
| Na2O | 1.08 | 1.66 | 1.11 |
| P2O5 | 0.67 | 0.98 | 0.76 |
| ZrO2 | 0.07 | 0.05 | 0.06 |
| SrO | 0.06 | 0.09 | 0.06 |
| Cr2O3 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| NiO | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| V2O5 | 0.02 | 0.00 | 0.02 |
| Nb2O5 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| ZnO | 0.01 | 0.01 | 0.01 |

รูปที่ 43 ผลการวิเคราะห์ XRF : Profile 7

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ XRD

การวิเคราะห์ XRD ในระดับความลึกที่ 0-10 ซม.




รูปที่ 44 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ XRD ในระดับความลึกที่ 0-10 ซม.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ XRD ที่ระดับความลึกที่ 0-10 ซม.

| Left Angle 2-Theta ° | Right Angle 2-Theta ° | Net Height Cps | Raw Area Cps x 2-Theta ° | Net Area Cps x 2-Theta ° | %Minerals | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 26.24 | 26.98 | 1120 | 191.6 | 176.5 | 56.84 | Quartz |
| 27.14 | 28.18 | 202 | 98.15 | 80.61 | 25.96 | Anorthoclase |
| 12.24 | 12.5 | 5.32 | 1.481 | 0.744 | 0.24 | Kaolinite |
| 4.16 | 7.44 | 21.9 | 40.56 | 31.69 | 10.21 | Montmorillonite |
| 33.4 | 33.52 | 4.16 | 0.477 | 0.253 | 0.08 | Goethite |
| 32.38 | 32.96 | 98 | 25.62 | 20.11 | 6.48 | Ilmenite |
| 29.66 | 29.82 | 6.63 | 2.974 | 0.594 | 0.19 | Calcite, magnesian |
| | | | | 310.501 | 100.00 | |

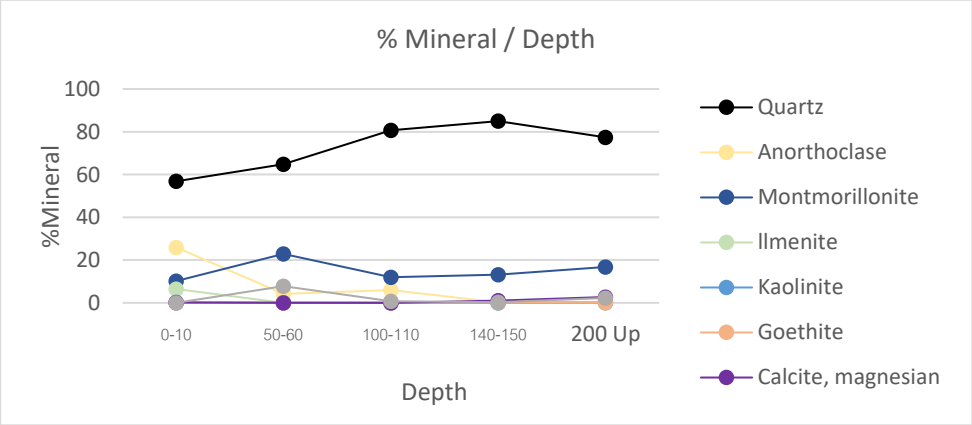
*ระดับความลึกในลำดับถัดไปกราฟแสดงใน ภาคผนวก ค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในส่วนนี้ขอสรุปข้อมูลเป็นร้อยละขององค์ประกอบในบะซอลต์ผุที่ความลึกแตกต่างกัน ดังตารางด้านล่างดังนี้

| % Mineral/Depth (Cm.) | 0-10 | 50-60 | 100-110 | 140-150 | 200 Up |
|---|---|---|---|---|---|
| Quartz | 56.84 | 64.84 | 80.64 | 84.97 | 77.46 |
| Anorthoclase | 25.96 | 4.22 | 5.96 | 0.22 | 0.35 |
| Montmorillonite | 10.21 | 22.89 | 12.02 | 13.19 | 16.8 |
| ilmenite | 6.48 | 0.02 | 0.37 | 0.06 | 0.01 |
| Kaolinite | 0.24 | 0.11 | 0.07 | 0.05 | 0.21 |
| Goethite | 0.08 | 0.09 | 0.22 | 0.13 | 0.12 |
| Calcite, magnesian | 0.1 | 0.03 | 0 | 1.01 | 2.73 |
| Albite | 0 | 7.81 | 0.71 | 0.37 | 2.31 |

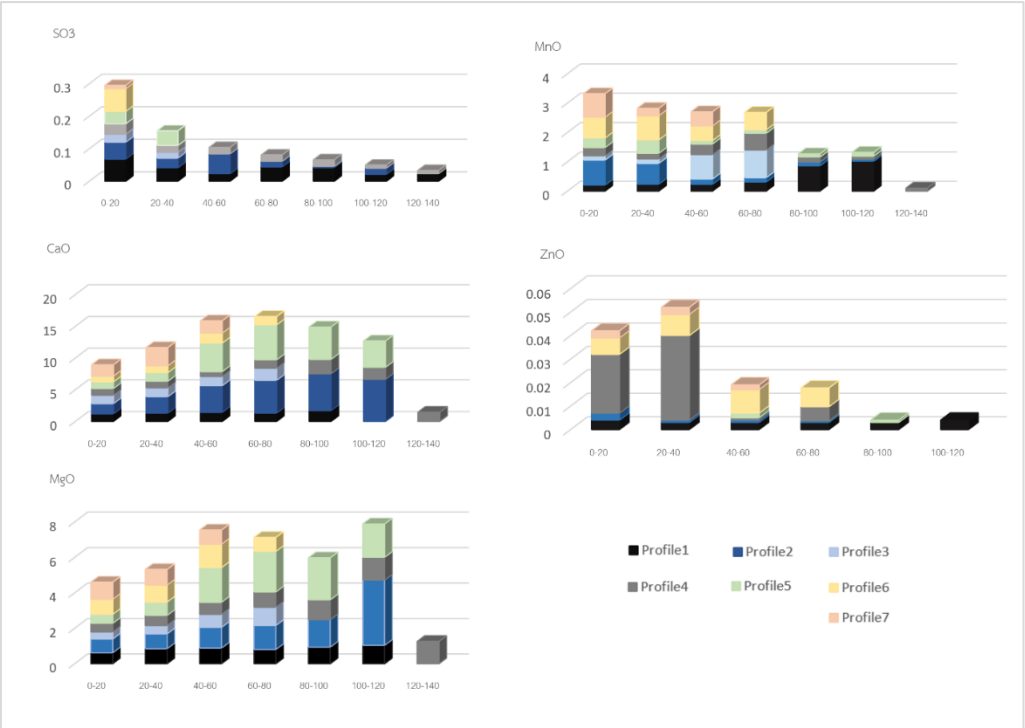
รูปที่ 45 ข้อมูลเป็นร้อยละขององค์ประกอบในบะซอลต์ผุที่ความลึกแตกต่างกัน




รูปที่ 46 กราฟแสดงข้อมูลเป็นร้อยละขององค์ประกอบในบะซอลต์ผุที่ความลึกแตกต่างกัน

4.4.3 ธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105

จุลธาตุที่มีนัยสำคัญและส่งเสริมในเชิงบวกต่อความหอมของข้าวประกอบด้วย ซัลเฟอร์ (S) แคลเซียม (Ca) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) และ สังกะสี (Zn) ผลการวิเคราะห์ในแต่ละ Profile ในระดับความลึกที่แตกต่างกัน ดังนี้




รูปที่ 47 ธาตุอาหารที่มีนัยสำคัญต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105

## 4.4 การขุดหินบะซอลต์ผุเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

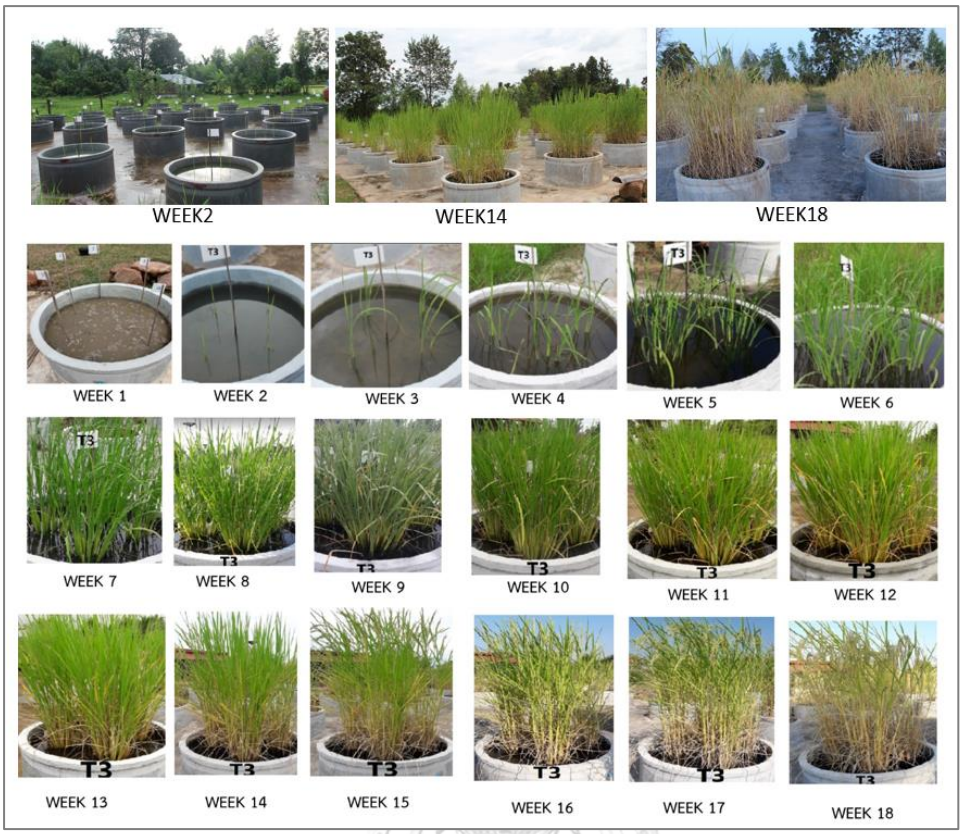
พื้นที่เป้าหมาย 2 (Profile 4 )เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุด จากการประมวลผล ด้วยข้อมูล GIS และภาพถ่ายดาวเทียม (Document, GIS &Satellite info.) ข้อมูลทางกายภาพ (Physical info.) ข้อมูลทางเคมี (Chemical info.) ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic info.) และข้อมูลด้านชุมชน พิกัดของพื้นที่ขุดบะซอลต์ผุคือ 302967E,1655620N อยู่บริเวณตำบลบ้านยาง อำเภอห้วยราช จังหวัดบุรีรัมย์ ระยะทางจากเขากระโดงไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 11 กิโลเมตร ระดับความลึกที่ 10–80 ซม. เมื่อได้รับอนุญาตจากเจ้าของพื้นที่แล้ว จึงเข้าพื้นที่และทำการขุด โดยใช้พื้นที่กว้าง 2 เมตร และ ความยาว 3 เมตร จำนวน 5 บ่อ ในบริเวณใกล้เคียงกัน โดยใช้บะซอลต์ผุบ่อละ 2 ลูกบาศก์เมตร รวม 10 ลูกบาศก์เมตร ( cubic meter) เพื่อใช้ในการทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในจังหวัดอุดรธานี

รูปที่ 48 การขุดบะซอลต์ผุเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง

**4.5 ผลการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105**

ในการวัดผลของการทดลองครั้งนี้จะทำการวัดผล เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 การวัดการเจริญเติบโตของลำต้นและใบ จะเริ่มวัดผลในสัปดาห์ที่ 1- 12 และ ช่วงที่ 2 คือ การวัดผลการเจริญพันธุ์และการสร้างเมล็ด จะทำการวัดผลในสัปดาห์ที่ 12 – 18 และทำการเก็บเกี่ยว การเจริญเติบโตทั้งสองช่วงแสดงในรูปที่ 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

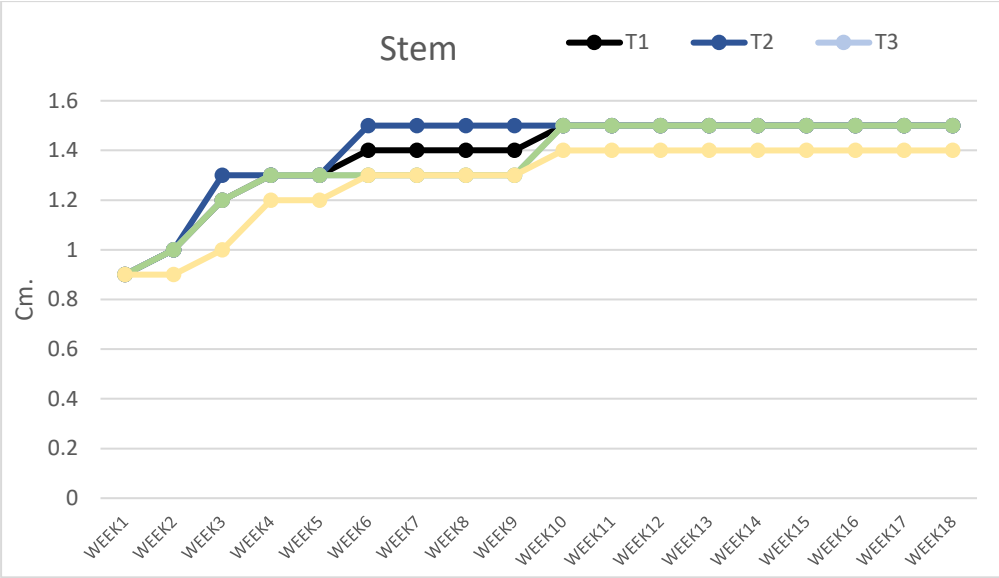



รูปที่ 49 การเจริญเติบโตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ใน สัปดาห์ที่ 1 - 18

4.6.1 การวัดขนาดลำต้น (*กำหนดต้นในการวัดผล)

ในช่วงสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่สอง พบว่า t4 มีการเจริญเติบโตกว่า t อื่นในทุกบล็อกของการทดลอง

ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไป พบว่า t2 มีการเจริญเติบโตมากกว่า t อื่น และตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 9-10 การเจริญเติบโตของลำต้นเป็นแบบคงที่ค่าเฉลี่ยของขนาดลำต้นคือ 1.5 ซม. ดังกราฟแสดงด้านล่าง

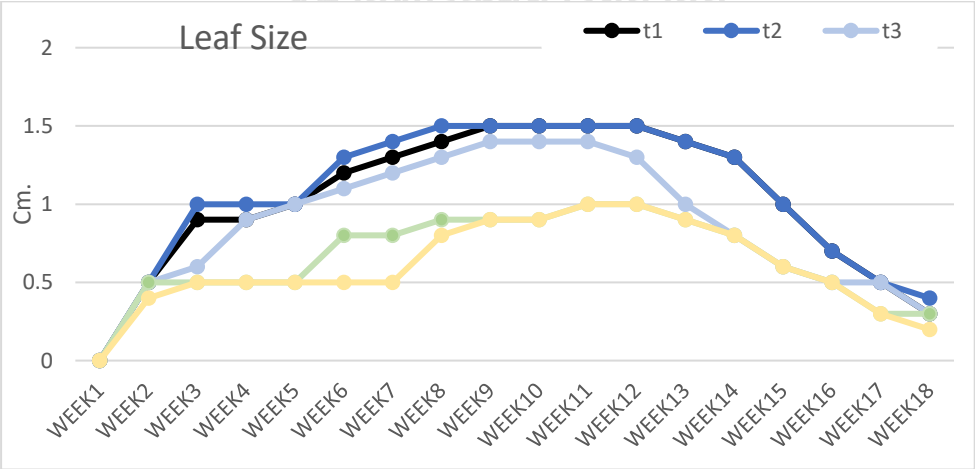



รูปที่ 50 กราฟแสดงขนาดลำต้นข้าว

4.6.2 การวัดความกว้างของใบ (*กำหนดต้นในการวัดผล)

ในช่วงสัปดาห์แรก พบว่า t4 มีการเจริญเติบโตกว่า t อื่นในทุกบล็อกของการทดลอง

ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 พบว่า t2 มีการเจริญเติบโตมากกว่า t อื่น และตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 9-10 การเจริญเติบโตของลำต้นเป็นแบบคงที่ อยู่ที่ ขนาด 1.5 ซม. ดังกราฟแสดงด้านล่าง



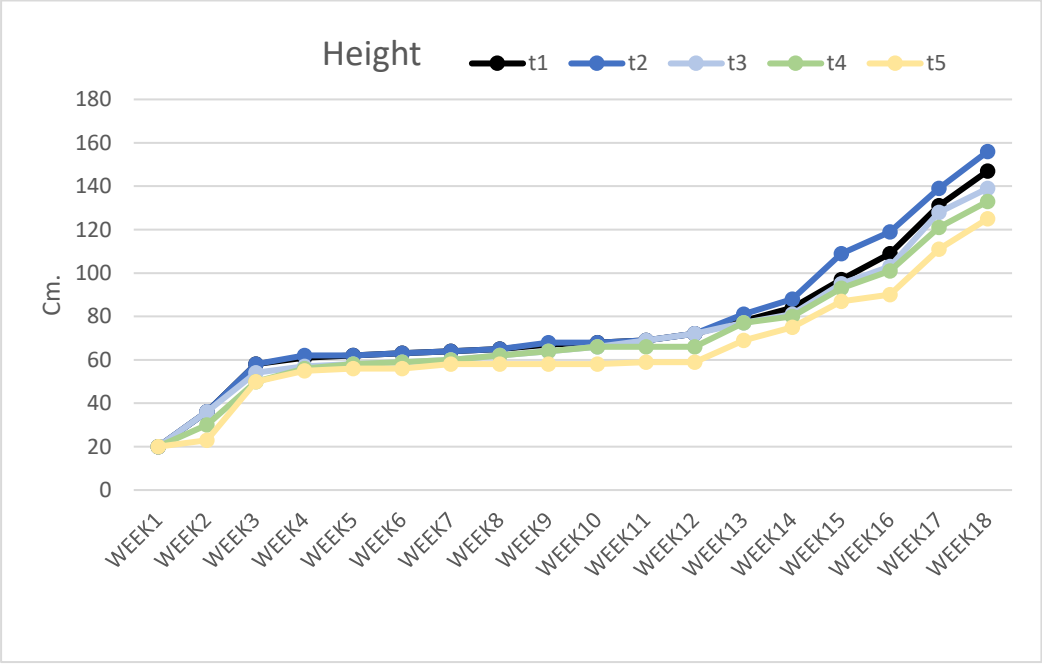

รูปที่ 51 กราฟแสดงความกว้างของใบข้าว

ตารางที่ 11 แสดงค่า max และ min ความกว้างของใบข้าว

| (t)/Cm. | t (1) | t (2) | t (3) | t (4) | t (5) |
|---|---|---|---|---|---|
| max | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1 | 1 |
| Min | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.2 |

4.6.3 การวัดความสูงของต้นข้าว (*กำหนดต้นในการวัดผล)

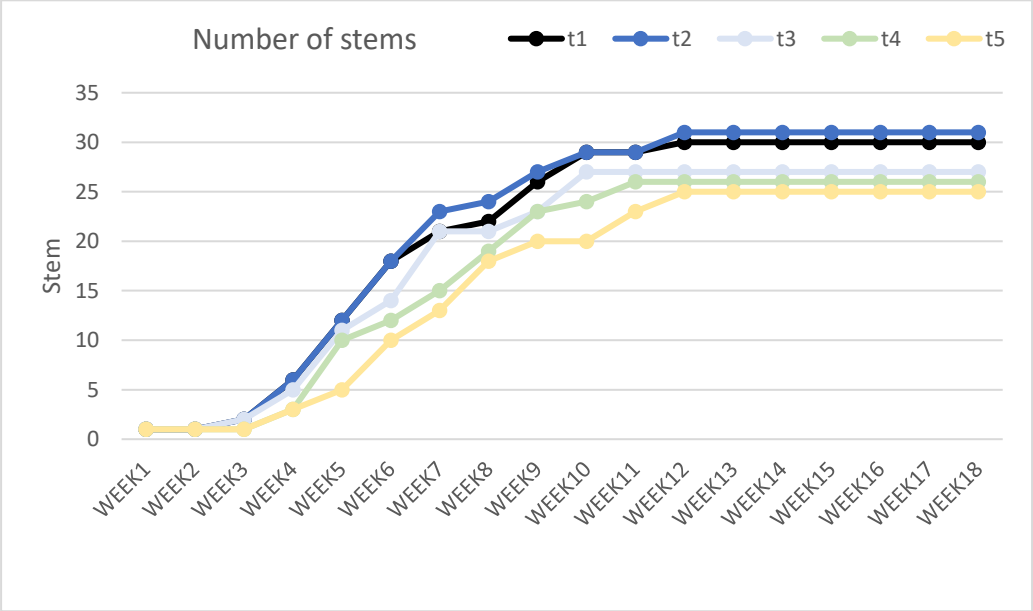
การวัดความสูงของต้นข้าว ในช่วงสัปดาห์แรก-สัปดาห์ที่ 3 พบว่า t3 และ t2 มีการเจริญเติบโตกว่า t อื่นในทุกบล็อกของการทดลองในช่วงสัปดาห์ที่ 2 พบว่า t2 มีการเจริญเติบโตมากกว่า t อื่น และตั้งแต่ สัปดาห์ที่3-18 การเจริญเติบโตของลำต้นจากมากไปน้อยคือ t2, t1, t3, t4 และ t5 ตามลำดับ ดังกราฟแสดงด้านล่าง




รูปที่ 52 กราฟแสดงความสูงของต้นข้าว

4.6.4 การวัดจำนวนการแตกหน่อ(*กำหนดต้นในการวัดผล)

การนับจำนวนการแตกหน่อพบว่าการแตกหน่อเพิ่มจำนวนอย่างเห็นได้ชัดเจนในสัปดาห์ที่ 1-สัปดาห์ที่ 3 และเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 4-18 โดย t2 และ t1 มีการแตกหน่อมากที่สุด รองลงมาคือ t3, t4 และ t5 ตามลำดับ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 13 เป็นต้นไปจำนวนการแตกหน่อเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในบางบล็อกและจำนวนคงที่ไปจนถึงสัปดาห์ที่ 18 ดังกราฟแสดงด้านล่าง




รูปที่ 53 กราฟแสดงการแตกหน่อของข้าว

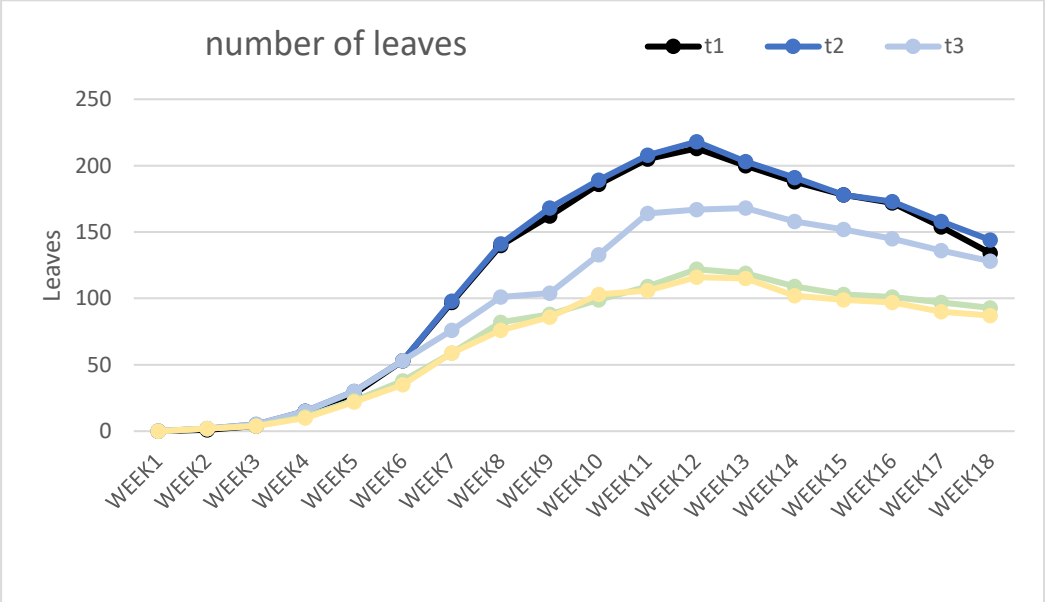
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 แสดงค่า เฉลี่ยจำนวนหน่อของข้าว

| ค่าเฉลี่ย(t) | t (1) | t (2) | t (3) | t (4) | t (5) |
|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนหน่อ | 29 | 31 | 27 | 26 | 25 |

4.6.5 จำนวนใบ (*กำหนดต้นในการวัดผล)

การนับจำนวนใบพบว่าจำนวนใบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่สัปดาห์แรกไปจนถึงสัปดาห์ที่ 12 จากนั้นจำนวนใบจะเริ่มลดลงไปจนถึงสัปดาห์ที่ 18 การเพิ่มขึ้นและการลดลงของจำนวนใบเป็นไปในทิศทางเดียวกล่าวคือ t ที่จำนวนใบเพิ่มขึ้นมากที่สุดในช่วงแรกคือ t2, t1, t3, t4 ,t5 ตามลำดับ และ t ที่มีจำนวนใบลดลงในช่วงหลังสัปดาห์ที่ 13 คือ t2, t1, t3, t4 ,t5 ตามลำดับ ดังกราฟแสดงด้านล่าง

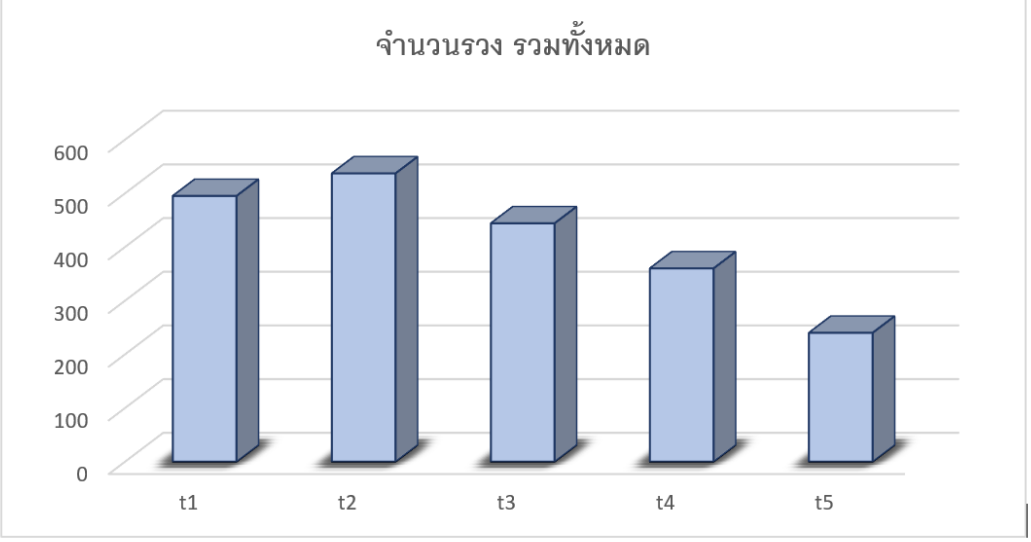



รูปที่ 54 กราฟแสดงจำนวนใบข้าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6.6 จำนวนรวง

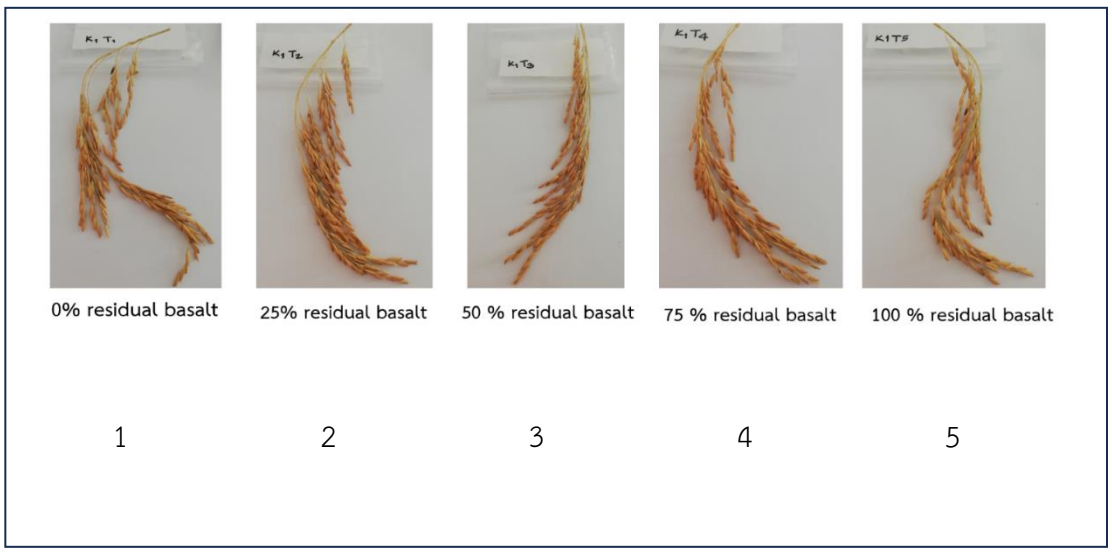
การนับจำนวนรวงทั้งหมดในแต่ละบล็อกพบว่าจำนวนรวงมากที่สุดคือ t2 ,t1, t3, t4 และ t5 มีจำนวนรวง 573, 495, 444, 360, และ 240 ตามลำดับ ดังกราฟแท่งแสดงด้านล่าง




| (t) | t (1) | t (2) | t (3) | t (4) | t (5) |
|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนรวงทั้งหมด (รวง) | 495 | 573 | 444 | 360 | 240 |

รูปที่ 55 กราฟแสดงจำนวนรวงข้าว

4.6.7 จำนวนเมล็ดต่อรวง




รูปที่ 56 ลักษณะรวงข้าวจากการทดลอง

รูปที่ 1 คือ ลักษณะรวงข้าวที่ได้จากการทดลองด้วยดินเสื่อมโทรม 100 % (ดินในพื้นที่ทดลอง)

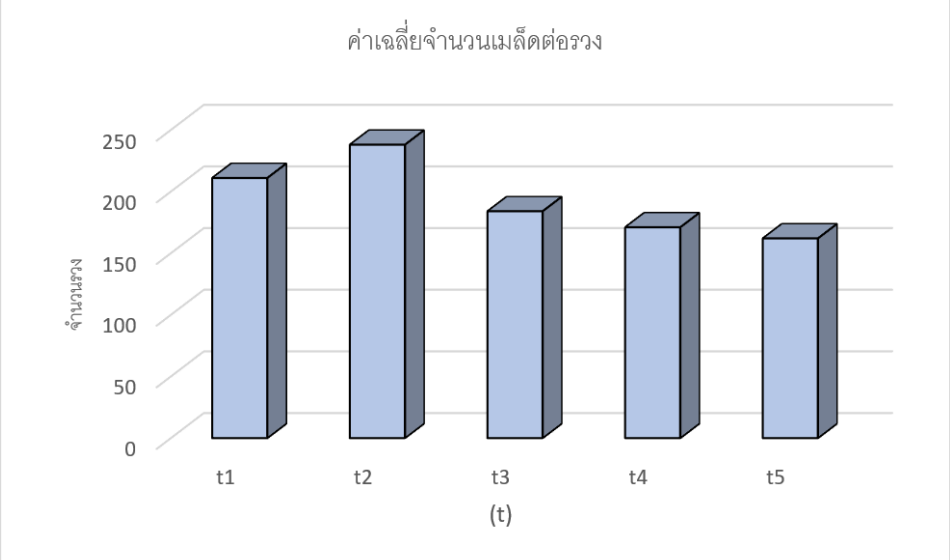
รูปที่ 2 คือ ลักษณะรวงข้าวที่ได้จากการทดลองด้วยดินผสมบะซอลต์ผุ 25%

รูปที่ 3 คือ ลักษณะรวงข้าวที่ได้จากการทดลองด้วยดินผสมบะซอลต์ผุ 50%

รูปที่ 4 คือ ลักษณะรวงข้าวที่ได้จากการทดลองด้วยดินผสมบะซอลต์ผุ 75% และ

รูปที่ 4 คือ ลักษณะรวงข้าวที่ได้จากการทดลองด้วยบะซอลต์ผุ 100%

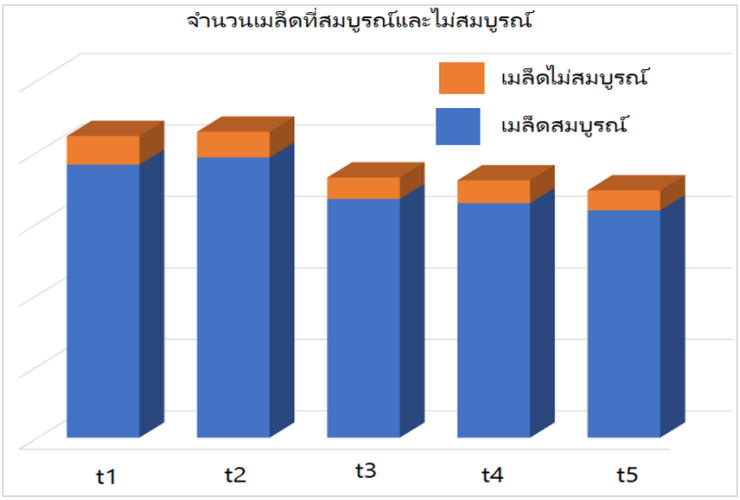
การนับจำนวนเมล็ดต่อรวงในแต่ละบล็อกพบว่าจำนวนเมล็ดต่อรวงมากที่สุดคือ t2 ,t1, t3, t4 และ t5 มีค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ดต่อรวง 238, 211, 184, 171, และ 162 ตามลำดับ ดังกราฟแท่งแสดงด้านล่าง




| (t) | t (1) | t (2) | t (3) | t (4) | t (5) |
|---|---|---|---|---|---|
| ค่าเฉลี่ยจำนวนเมล็ด | 211 | 238 | 184 | 171 | 162 |

รูปที่ 57 กราฟแสดงจำนวนค่าเฉลี่ยเมล็ดข้าวต่อรวง

4.6.8 จำนวนเมล็ดสมบูรณ์และจำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์



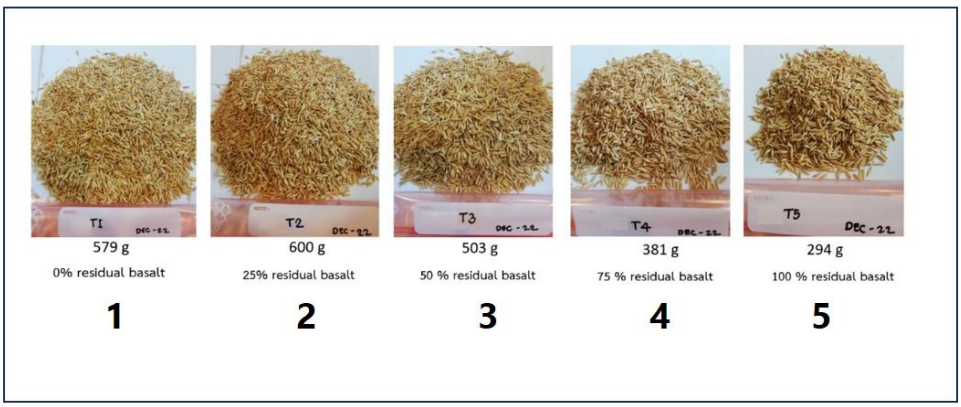

| t (1) | | t (2) | | t (3) | | t (4) | | t (5) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สมบูรณ์ | ไม่สมบูรณ์ | สมบูรณ์ | ไม่สมบูรณ์ | สมบูรณ์ | ไม่สมบูรณ์ | สมบูรณ์ | ไม่สมบูรณ์ | สมบูรณ์ | ไม่สมบูรณ์ |
| 191 | 22 | 194 | 26 | 179 | 16 | 163 | 19 | 160 | 14 |

*จำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ในแต่ละรวงนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อประมวลผลผ่านสถิติ

รูปที่ 58 กราฟแสดงจำนวนเมล็ดสมบูรณ์และจำนวนเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

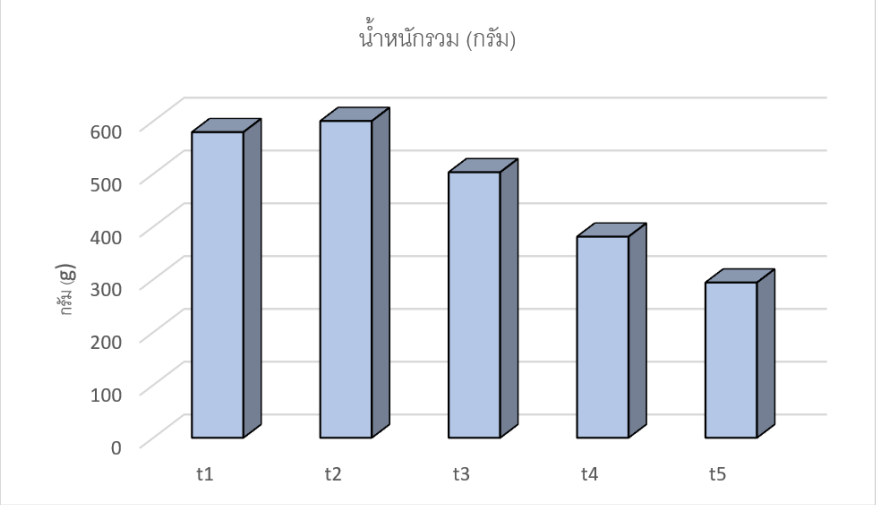
4.6.9 น้ำหนักรวม




รูปที่ 59 ลักษณะเมล็ดข้าวและน้ำหนักผลผลิตจากการทดลอง

รูปที่ 1 คือ ลักษณะของเมล็ดข้าวและน้ำหนักรวมทั้งหมดจากการทดลองปลูกข้าวด้วยดินเสื่อมโทรม 100 % (ดินในพื้นที่ทดลอง) มีน้ำหนักรวม 579 กรัม รูปที่ 2 คือ ลักษณะของเมล็ดข้าวและน้ำหนักรวมทั้งหมดจากการทดลองปลูกด้วยดินผสมบะซอลต์ผุ 25% มีน้ำหนักรวม 600 กรัม รูปที่ 3 คือ ลักษณะของเมล็ดข้าวและน้ำหนักรวมทั้งหมดจากการทดลองปลูกด้วยดินผสมบะซอลต์ผุ 50% มีน้ำหนักรวม 503 กรัม รูปที่ 4 คือ ลักษณะเมล็ดข้าวและน้ำหนักผลผลิตจากการทดลองปลูกด้วยดินผสมบะซอลต์ผุ 75% มีน้ำหนักรวม 381 กรัม และ รูปที่ 4 คือ ลักษณะเมล็ดข้าวและน้ำหนักผลผลิตรวมที่ได้จากการทดลองปลูกด้วยบะซอลต์ผุ 100% มีน้ำหนักรวม 294 กรัม

การชั่งน้ำหนักรวมของผลผลิตข้าวในแต่ละ t ทุกบล็อกพบว่า t ที่มีน้ำหนักรวมมากที่สุดคือ t2 ,t1, t3, t4 และ t5 มีน้ำหนักรวม 600, 579, 503, 381, และ 294 ตามลำดับ ดังกราฟแท่งแสดงด้านล่าง



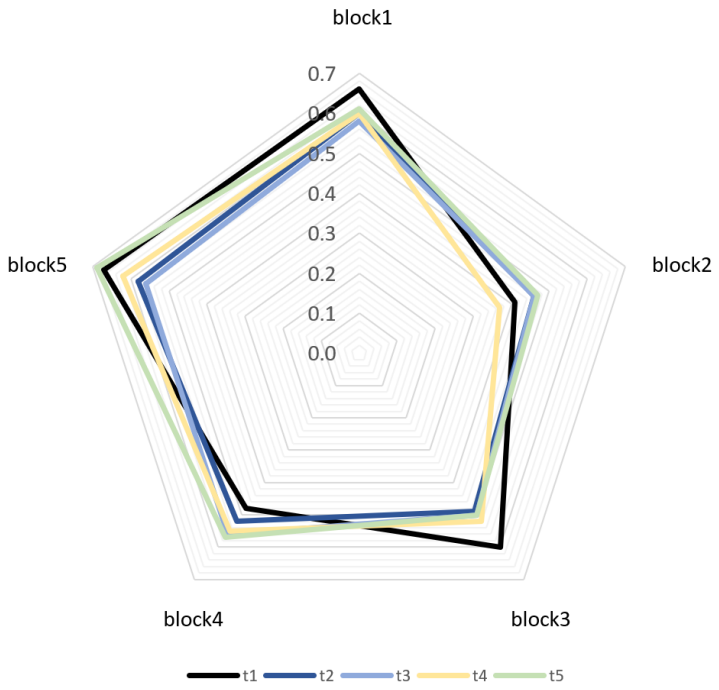

| (t) | t (1) | t (2) | t (3) | t (4) | t (5) |
|---|---|---|---|---|---|
| น้ำหนักรวม (กรัม) | 579 | 600 | 503 | 381 | 294 |

รูปที่ 60 กราฟแสดงน้ำหนักรวมทั้งหมดของผลผลิตข้าวในแต่ละตำรับการทดลอง

**4.7 ความหอม (2 AP)** : ด้วย HS-GC/MS : In-House method based on JARQ38(2),105-109 (2004) จาก สถาบันอาหาร (nfi) ตรวจวิเคราะห์เมื่อวันที่ 20-24 มีนาคม 2566 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางด้านล่างดังนี้

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความหอม 2 AP

| (t) & block | Block1 | Block2 | Block3 | Block4 | Block5 |
|---|---|---|---|---|---|
| (t1) | 0.66 | 0.41 | 0.60 | 0.48 | 0.67 |
| (t2) | 0.60 | 0.46 | 0.49 | 0.52 | 0.58 |
| (t3) | 0.58 | 0.46 | 0.50 | 0.56 | 0.56 |
| (t4) | 0.60 | 0.37 | 0.52 | 0.55 | 0.62 |
| (t5) | 0.61 | 0.47 | 0.50 | 0.57 | 0.69 |




รูปที่ 61 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ความหอม 2AP

การเปรียบเทียบผลการวัดการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากการทดลองดังนี้

ตารางที่ 14 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลการวัดการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105

| ลำดับ | รายการวัดผล | มากที่สุดไปหาน้อยที่สุด |
|---|---|---|
| 1 | ขนาดของลำต้น | หน่วยทดลอง t2 มากที่สุด (t1,t2,t3,t4,t5 มีค่าไม่แตกต่างกัน) |
| 2 | ขนาดของใบ | หน่วยทดลอง t1และt2 มีค่าเท่ากันรองลงมาคือ t3 ,t4 และ t5 |
| 3 | ความสูงของต้นข้าว | หน่วยทดลองที่ t2,t1,t3,t4,t5 ตามลำดับ |
| 4 | การแตกหน่อ | หน่วยทดลองที่ t2,t1,t3,t4,t5 ตามลำดับ |
| 5 | จำนวนใบ | หน่วยทดลองที่ t2,t1,t3,t4,t5 ตามลำดับ |
| 6 | จำนวนรวง | หน่วยทดลองที่ t2,t1,t3,t4,t5 ตามลำดับ |
| 7 | จำนวนเมล็ดต่อรวง | หน่วยทดลองที่ t2,t1,t3,t4,t5 ตามลำดับ |
| 8 | น้ำหนักรวม | หน่วยทดลองที่ t2,t1,t3,t4,t5 ตามลำดับ |
| 9 | ค่าความหอม | หน่วยทดลองที่ t5 มากที่สุดและ ( t1,t2,t3,t4 มีค่าไม่แตกต่างกัน) |

**4.8 แนวทางการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการปลูกข้าวตามกรอบของ CE ดังนี้**

ในงานวิจัยนี้จะประเมินผลเฉพาะขั้นตอนของการปลูกข้าวตามขั้นตอนของ CE 8 ขั้นตอน ได้แก่ การวางกรอบ การกำหนดขอบข่าย การสร้างแนวคิด ความเป็นไปได้ เหตุผลทางธุรกิจ การดำเนินกิจกรรมนำร่องและการสร้างต้นแบบ การส่งมอบและนำแผนไปสู่การปฏิบัติ สุดท้ายคือ การติดตามผล การทบทวน และการรายงาน

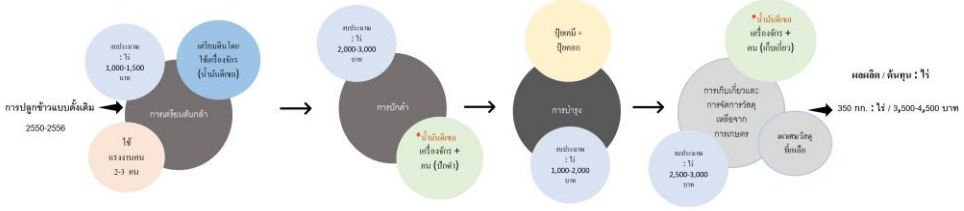
ขั้นที่ 1 การวางกรอบ การวางกรอบในการปลูกข้าวเพื่อให้สอดคล้องกับหลักการของ CE แสดงตารางดังนี้

ตารางที่ 15 แนวทางการปรับเปลี่ยนขั้นตอนการปลูกข้าวตามกรอบของ CE

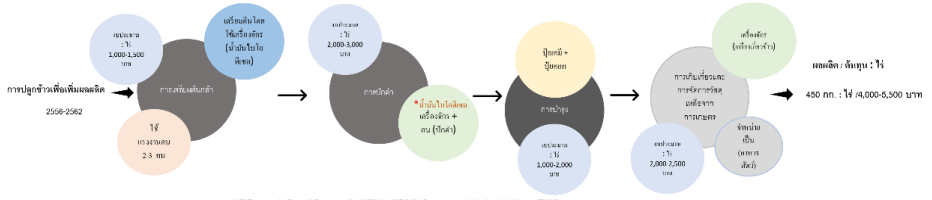
| ขั้นตอน | วิธีดั้งเดิม | การปรับเปลี่ยน | ผลลัพธ์ที่ได้ |
|---|---|---|---|
| [1] ขั้นตอนการเตรียมเมล็ดพันธ์ (ต้นกล้า) | เตรียมพื้นที่และหว่านเมล็ดพันธุ์ | เพาะเมล็ดพันธุ์ในถาดเพาะเมล็ด | ประหยัดทั้งค่าเตรียมดินและเมล็ดพันธุ์ ลดการปล่อยมลภาวะสู่บรรยากาศในขึ้นตอนการเตรียมดำหว่านเพาะพันธุ์ |
| [2] ขั้นตอนการเตรียมดินปักดำ | ใช้น้ำมันดีเซล ในกระบวนการเตรียมดิน | เปลี่ยนมาใช้ ไบโอดีเซลในการบวนการเตรียมดิน | ลดค่าใช้จ่ายและลดมลภาวะ |
| [3] ขั้นตอนการลดน้ำการเพิ่มน้ำ | ใช้น้ำมันดีเซลในการสูบน้ำ | ใช้ระบบโซลาเซลล์ในกระบวนการสูบน้ำ | ลดค่าใช้จ่ายและมลภาวะ |
| [4] ขั้นตอนการเติมปุ๋ย | ใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ | ใช้ปุ๋ยอินทรีย์และเติม บะซอลต์ผุ | ลดค่าใช้จ่ายและมลภาวะ |
| [5] ขึ้นตอนการเก็บเกี่ยว | ใช้เครื่องยนต์ดีเซลในการเก็บเกี่ยว | ใช้เครื่องยนต์ ไบโอดีเซลในกระบวนการเก็บเกี่ยว | ลดค่าใช้จ่ายและมลภาวะ |
| [6] การเตรียมแปลงนาหลังการเก็บเกี่ยว | การเผาฟางข้าว | จัดเก็บฟางข้าวเพื่อจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ | เพิ่มรายได้ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การปลูกข้าวแบบดั้งเดิม




การปลูกข้าวแบบเพิ่มผลผลิต




การปลูกข้าวตามกรอบของ CE

รูปที่ 62 การปลูกข้าวแบบดั้งเดิม การปลูกข้าวแบบเพิ่มผลผลิต
และการปลูกข้าวตามกรอบของ CE

ขั้นที่ 2 การกำหนดขอบข่าย โดยทำการวิเคราะห์ว่าในกระบวนการปลูกข้าวนั้น กระบวนการใดสามารถปรับเปลี่ยนได้ทันที กระบวนการใดที่ต้องรอการดำเนินการ ซึ่งกระบวนการ**ปรับเปลี่ยนได้ทันทีได้แก่** ขั้นตอนการเตรียมเมล็ดพันธุ์ ขั้นตอนการเตรียมดินปักดำ ขั้นตอนการลดน้ำการเพิ่มน้ำ ขั้นตอนเกี่ยวกับการเลือกและการใช้ปุ๋ย ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว **และ**การเตรียมแปลงนาหลังการเก็บเกี่ยว **สำหรับขั้นตอนของการรอดำเนินการคือขั้นตอนการนำเศษวัสดุที่เหลือจากการทำ**

นามาเพิ่มมูลค่า เช่น การนำฟางข้าวมาเพิ่มมูลค่า เพื่อเป็นรายได้เสริมซึ่งในกระบวนการนี้ต้องมีกระบวนการวิจัยและที่ปรึกษาเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน

ขั้นที่ 3 การสร้างแนวคิด ถึงแม้ว่าแนวคิดของการนำเอาบะซอลต์ผุมาใช้ในการปลูกข้าวแทนปุ๋ย หรือใช้เป็นธาตุอาหารเสริมจะมีข้อจำกัดบางประการ เช่น พื้นที่ศักยภาพส่วนใหญ่อยู่ในเขตพื้นที่ที่ไม่สามารถนำมาใช้ได้ หรือเป็นพื้นที่ของเอกชนอาจไม่ได้รับการยินยอม หรือผลผลิตที่เพิ่มขึ้นไม่สอดคล้องกับต้นทุนการขนส่ง เรามีแนวคิดที่จะนำบะซอลต์ผุไปทดลองปลูกพืชเศรษฐกิจอย่างอื่นที่มีมูลค่าสูง เช่น กุหลาบพันธุ์หายาก หรือ ไม้ดอกไม้ประดับเพื่อตอบสนองกลุ่มลูกค้าที่อาศัยในพื้นที่จำกัด เช่น คอนโดมิเนียม ซึ่งจะทำการทดลองในโอกาสต่อไป

ขั้นที่ 4 ความเป็นไปได้ ขั้นตอนการเพาะปลูกที่ปรับเปลี่ยนได้ทันทีและมีความเป็นไปได้ คือ การเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจากดีเซล 100 % มาเป็นน้ำมันที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซล เช่น B7 หรือ B10 เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ และลดระยะเวลาการขังน้ำในระหว่างกระบวนการปลูกข้าวเพื่อลดก๊าซมีเทน

ขั้นที่ 5 เหตุผลทางธุรกิจ องค์กรมีแนวคิดที่จะนำหินบะซอลต์ผุมาใช้ผสมในการปลูกข้าวเพื่อลดต้นทุน และต่อยอดเป็นด้วยการนำบะซอลต์ผุทดลองปลูกกับพืชเศรษฐกิจประเภทไม้ดอกไม้ประดับในลำดับถัดไป

ขั้นที่ 6 การดำเนินกิจกรรมนำร่องและการสร้างต้นแบบ องค์กรได้เตรียมข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อประชาสัมพันธ์ในชุมชน ถึงประสิทธิภาพของบะซอลต์ผุที่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว และเตรียมพื้นที่การเกษตร (พื้นที่ทำการทดลอง) เพื่อเป็นพื้นที่ดูงานของเกษตรกรในชุมชนและเกษตรกรในระแวกใกล้เคียงที่มีความสนใจ และวางแนวทางเพื่อเป็นพื้นที่การเกษตรอัจฉริยะ (Smart farm) ในระดับถัดไป

ขั้นที่ 7 การส่งมอบและนำแผนไปสู่การปฏิบัติ เขียนแผนการปฏิบัติ ดังนี้

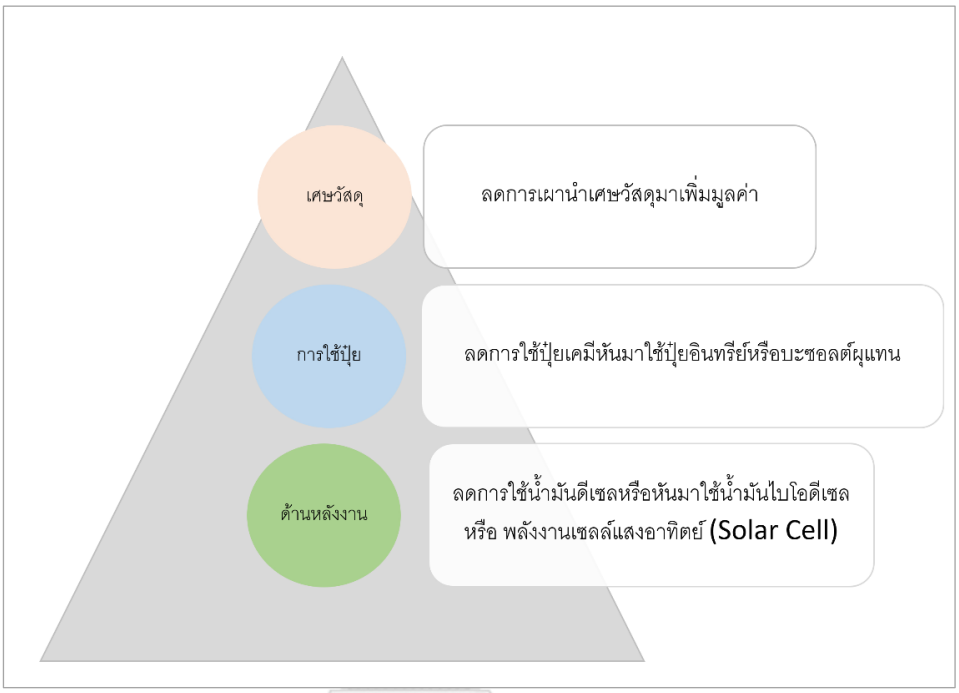
7.1 การทดลองการปลูกข้าวโดยใช้ บะซอลต์ผุ

7.2 ได้ผลการทดลองในระดับ Lab scale แล้วนำไปเผยแพร่ในชุมชน

7.3 เป็นต้นแบบของพื้นที่ปลูกข้าวที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อม ด้วยการลดกระบวนการ หรือขั้นตอนที่ปล่อยมลภาวะ สู่สิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7.4 นำเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตรมาต่อยอด เพื่อลดต้นทุน และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง




รูปที่ 63 แนวทางและการนำไปปฏิบัติตามกรอบของ CE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นที่ 8 การติดตามผล การทบทวน และการรายงาน องค์กรมีแผนระยะสั้น คือการปรับเปลี่ยนโดย ทันทีและแผนระยะกลางคือในระยะเวลา 5 ปี และแผนระยะยาวในเวลา 10 ปี ดังนี้

ตารางที่ 16 แผนการติดตามผล ทบทวน และการรายงาน ในระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว

| แผนระยะสั้น<br>ปรับเปลี่ยนได้ทันที | แผนระยะกลาง<br>(5 ปี) | แผนระยะยาว<br>(10 ปี) |
|---|---|---|
| 1. ลดต้นทุนการผลิต<br>- การใช้บะซอลต์ผุผสมดินในกระบวนการเพาะปลูก<br>- ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดการปล่อยมลภาวะสู่บรรยากาศ<br>- ลดระยะเวลาน้ำขังในพื้นที่เพาะปลูก<br>- งดการเผาวัสดุที่เหลือจากการเกษตร<br>2. เพิ่มมูลค่า<br>- นำวัสดุที่เหลือมาทำปุ๋ย นำฟางข้าวจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ | ยกระดับการทำการเกษตรดั้งเดิมสู่ การเกษตรแบบอัจฉริยะ โดยนำระบบไอโอที (IOT : internet of thing ) มาใช้ | เป็นพื้นที่การเกษตรแบบอินทรีย์และยั่งยืน |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 5
# สรุปผลและอภิปรายผล

## 5.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินพื้นที่ทดลองไร่แก้วอินทร์และแหล่งบะซอลต์ผุบริเวณรอบเขากระโดง

ดินในพื้นที่ทดลองไร่แก้วอินทร์ เป็นดินร่วนปนทราย มีความเป็นกรดเล็กน้อย ดินไม่เค็ม (ค่าการนำไฟฟ้า (EC) : 0.03 dS/m) มีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM), ฟอสฟอรัส (P), แคลเซียม (Ca), แมกนีเซียม (Mg) ในระดับต่ำ และ โพแทสเซียม (K) ในระดับที่ต่ำมาก ซึ่งหากใช้ในการเพาะปลูกต้องเสริมธาตุอาหารพืชในปริมาณมากเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช

แหล่งบะซอลต์ผุและพื้นที่เหมาะสมในการนำบะซอลต์ผุไปใช้ในการทดลอง พิจารณาจากปัจจัยตามตารางดังนี้

*ตารางที่ 17 ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเพื่อคัดเลือกพื้นที่ศักยภาพ*

| ข้อมูลที่นำมาพิจารณา | การได้มาของข้อมูล |
|---|---|
| 1. ข้อมูลจากเอกสาร ข้อมูล GIS และภาพถ่ายดาวเทียม (Document, GIS &Satellite info.) | รวบรวมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง |
| 2. ข้อมูลทางกายภาพ (Physical info.) | ข้อมูล Profile ตัวอย่าง และข้อมูลการสำรวจ |
| 3. ข้อมูลทางเคมี (Chemical info.) | การวิเคราะห์ XRF และ XRD |
| 4. ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic info.) | เข้าสำรวจพื้นที่จริงและการวิเคราะห์ |
| - การเข้าถึงพื้นที่ | |
| - งบประมาณที่เกี่ยวข้อง | |
| 5. ข้อมูลด้านชุมชน (community info.) | สอบถามและพูดคุย |
| - ความร่วมมือของเจ้าของพื้นที่ | |
| - ความเห็นของผู้เกี่ยวข้องในพื้นที่ | |

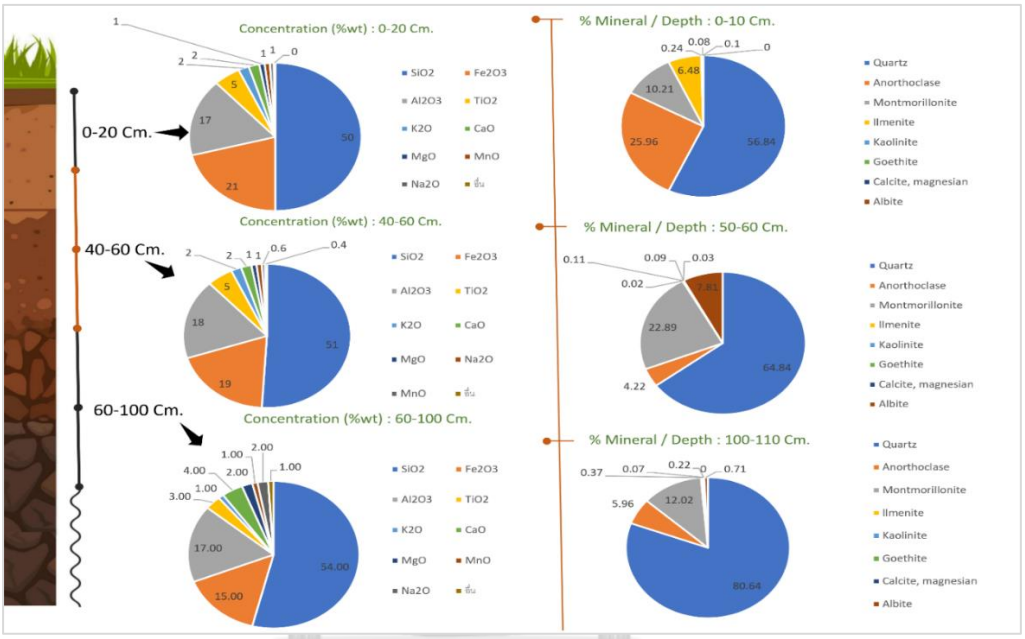
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การกระจายตัวของบะซอลต์ในพื้นที่ศึกษาโดยพิจารณาจากข้อมูลด้านเอกสาร ข้อมูล GIS และการประมวลผลผ่านภาพถ่ายดาวเทียม พบว่า บะซอลต์มีการกระจายตัวแบบกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปบริเวณโดยรอบเขากระโดงและหนาแน่นไปทางฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของเขากระโดงในรัศมีประมาณ 20 กิโลเมตร ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณี (2551-2553) และพื้นที่เหมาะสมที่ได้จากการประมวลผล จะกระจายตัวแผ่ขยาย ขนานไปกับการกระจายตัวของบะซอลต์ จากเขตการปกครองอำเภอเมืองบุรีรัมย์ถึงเขตการปกครองอำเภอห้วยราช ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเขากระโดง พื้นที่เหมาะสมที่ใกล้กับพื้นที่กันชนเขากระโดง 2 กิโลเมตรจะมีพื้นที่เหมาะสมที่หนาแน่นกว่าบริเวณที่ไกลออกไป

ข้อมูลทางกายภาพ พื้นที่โดยรอบเขากระโดง เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากเมื่อเทียบกับข้อมูล GIS (ปี 2553-2558) รวมถึงข้อมูลเอกสารจากการสำรวจจากกรมทรัพยากรธรณี โดยเฉพาะข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน การขยายตัวของเมืองและพื้นที่เกษตรกรรมขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน บริเวณจุดเก็บตัวอย่างพบหินโผล่จำนวนมากและเป็นบริเวณกว้าง ในบางพื้นที่เจ้าของที่ดินทำการเกษตรขนานไปกับแนวของหินโผล่ แทรกการเพาะปลูกไปกับช่องว่างที่เกิดขึ้น มองเห็นเป็นแนวหินโผล่สีดำ หรือน้ำตาล สลับไปกับพืชพรรณเพาะปลูกสีเขียว เราพบแหล่งหินบะซอลต์ผุดั้งเดิมที่ยังไม่ทำประโยชน์ใดใด ระหว่างพื้นที่เพาะปลูกแต่เป็นพื้นที่ขนาดเล็ก สำรวจพบปริมาณหินมากกว่าปริมาณของดินในพื้นที่ดังกล่าว เช่น เป็นแอ่งน้ำตื้น เป็นลานหิน เป็นต้น จากตัวอย่างทั้ง 7 profile พบว่าในระดับความลึกที่ 0-10 ซม.พบดินผสมกับบะซอลต์ผุประมาณ 90:10 มีสีดำหรือสีดำเข้ม ในพื้นที่เป้าหมายที่ 3 (Profile 6,7) พบเศษหินขนาดใหญ่ประมาณ 0.1-2 มม. ผสมอยู่ด้วย ความลึกที่ 10-20 พบดินผสมกับบะซอลต์ผุประมาณ 80:20 มีสีดำหรือสีน้ำตาล เมื่อนำเนื้อดินมาขยี้ที่ปลายนิ้วพบเศษของหินขนาดเล็กปะปน สัมผัสได้ถึงเนื้อหยาบของเศษหินขนาดเล็ก ความลึกที่ 20-40 ซม. พบดินผสมกับบะซอลต์ผุประมาณ 60:40 มีสีเทาเข้มปนน้ำตาล และเริ่มมีเศษหินขนาด 0.1-03 มม.ผสมอยู่ ระดับความลึกที่ 40-60 ซม. พบดินผสมกับบะซอลต์ผุประมาณ 60:40 เนื้อผสมมีลักษณะคล้ายทรายหยาบ มีสีน้ำตาลเข้ม มีเศษหินขนาด 0.2-0.4 มม. ผสมอยู่ ระดับความลึกที่ 60-80 ซม. พบดินผสมกับบะซอลต์ผุประมาณ 50:50 เนื้อผสมมีลักษณะคล้ายทรายหยาบ มีสีน้ำตาล มีเศษหินขนาด 0.2-0.5 มม. ผสมอยู่มากขึ้นใน Profile 5,6 มีหินผุสีน้ำตาล ขนาด 1-4 ซม. ผสมอยู่ด้วย (ระบุไม่ได้ว่าเป็นบะซอลต์ผุหรือไม่) ระดับความลึกที่ 80-100 ซม. พบส่วนผสมดินน้อยกว่าหินบะซอลต์ผุ ในอัตราส่วน 40:60 ลักษณะคล้ายทรายหยาบ มีสีน้ำตาลอ่อน มีเศษหินผุขนาด ขนาด 0.2-0.8 มม. ผสมอยู่มาก ในระดับความลึกที่มากกว่า 100 ซม. พบเศษหินผุที่มีขนาด 2 มม.ขึ้นไป ผสมอยู่ มีจำนวนมากขึ้นตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ของความลึก นอกจากนั้นยังพบว่า ตั้งแต่ความลึกที่ 100 ซม.ลงไป พบปริมาณอัตราส่วนของดินน้อยลงเมื่อเทียบกับปริมาณของหินบะซอลต์ผุ จากการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าไม่เหมาะที่จะทำมาใช้ในการเพาะปลูกทางการเกษตร เพราะเศษหินที่เป็นส่วนผสมมีขนาดใหญ่ (มากกว่า 1 ซม.) ปะปนอยู่มาก และมีรูปร่างที่หลากหลาย บางลักษณะมีความแหลม บางลักษณะมีความคม ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อเกษตรกรได้




รูปที่ 64 สรุปผลการวิเคราะห์ XRF และ XRD

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์ XRF ทำให้เราทราบว่า ซิลิกอน ออกไซด์ (SiO2) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับของความลึกโดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละความเข้มข้นต่อน้ำหนัก (Concentration (%wt)) ดังนี้ ระดับความลึกที่ 0-50 ซม. พบซิลิกอนออกไซด์ ร้อยละ 50 , ในระดับความลึกที่ 50-100 ซม.พบ ร้อยละ 54 และ ในระดับความลึกที่มากกว่า 100 ซม. จะพบ ซิลิคอน ออกไซด์ มากกว่าร้อยละ 65 และจำนวนร้อยละจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นด้วย

เหล็ก ออกไซด์ (Fe2O3) ,อะลูมิเนียม ออกไซด์ (Al2O3) ,ไททาเนียม ออกไซด์ (TiO2), โพแทสเซียม ออกไซด์ (K2O) มีปริมาณลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ระดับความลึกที่ 0-20 ซม. พบเหล็ก ออกไซด์,อะลูมิเนียม ออกไซด์ ,ไททาเนียม ออกไซด์ , โพแทสเซียม ออกไซด์ ร้อยละ 21 ,17 และ 5 ตามลำดับ ระดับความลึกที่ 40-60 ซม. พบเหล็ก ออกไซด์,อะลูมิเนียม ออกไซด์ ,ไททาเนียม

ออกไซด์ , โพแทสเซียม ออกไซด์ ร้อยละ 19 ,18 และ 5 ตามลำดับ ระดับความลึกที่ 60-100 ซม. พบ,อะลูมิเนียม ออกไซด์ , เหล็ก ออกไซด์,ไททาเนียม ออกไซด์ , โพแทสเซียม ออกไซด์ ร้อยละ 17 ,15 และ 3 ตามลำดับ

ความสำคัญของซิลิก้าต่อการเจริญเติบโตของข้าว เซลล์หรือเนื้อเยื่อที่มีโครงสร้างของซิลิก้าเป็นองค์ประกอบนั้นจะมีความแข็งแรงและสามารถต้านการสูญเสียน้ำและอากาศได้ดี ยังสามารถทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่แห้งแล้งได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย ซิลิก้ามีความสามารถในการเพิ่มความต้านทานต่อการระบาดของโรคพืช และศัตรูของพืช เช่น โรคใบไหม้ของข้าว โรคใบจุดของข้าว และลดการสะสมของแมลงศัตรูข้าว ช่วยลดความเสี่ยง การเสียหายจากโรคและศัตรูของข้าวที่อาจส่งผลเสียต่อผลผลิตของข้าว นอกจากนี้ซิลิก้ายังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมนำสารอาหารเข้าสู่ลำต้น ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาของต้นข้าวและข้าวสามารถใช้ประโยชน์สูงสุดจากธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซิลิคอนไม่ถูกจัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็น (essential element) สำหรับการเจริญเติบโตและการพัฒนาของข้าวแต่ซิลิคอนทำให้ต้นข้าวมีระบบรากแข็งแรง สมบูรณ์ เจริญเติบโตดี ช่วยส่งเสริมการแตกกอ ลำต้นแข็งแรง ตั้งตรงไม่ล้มง่าย ทำให้ต้นข้าวสามารถรับแสงและอากาศได้อย่างทั่วถึง (Guntamukkala, et al.,2017)

เหล็กออกไซด์ เหล็กเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และส่งเสริมการสร้างเมลาโทนินส่งเสริมให้เกิดสภาวะสมดุลธาตุในพืช กล่าวคือ เหล็กออกไซด์มีบทบาทในกระบวนการขนย้ายไอออนเหล็กภายในพืช ทำให้เกิดสภาวะสมดุลธาตุในพืช ซึ่งสำคัญสำหรับการพัฒนาเซลล์และเนื้อเยื่อในต้นข้าว การมีสภาวะสมดุลธาตุช่วยให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตอย่างสมดุลและมีความแข็งแรง การปฏิบัติหน้าที่เป็นเอนไซม์นั้น เหล็กเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิดที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีภายในพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการสังเคราะห์และการเผาไหม้ของอาหาร การมีเหล็กออกไซด์เพียงพอในต้นข้าวช่วยส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้ ทำให้ต้นข้าวมีสภาวะทางเคมีที่เหมาะสมและสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้อย่างมากที่สุด ทั้งหมดนี้มีผลทำให้ต้นข้าวมีความแข็งแรง สมบูรณ์ และเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ (Rout, et al.,2015)

บทบาทที่สำคัญของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวคือป้องกันอนุมูลอิสระพิษ ที่มีความอันตราย หรือรบกวนการเจริญเติบโตของข้าว อะลูมิเนียมออกไซด์สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกรองและป้องกันอนุมูลอิสระพิษจากดินเข้าสู่ระบบรากของต้นข้าว เมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Al2O3 กับสารพิษ เช่น โลหะหนัก จะทำให้สารพิษไม่สามารถเข้าสู่ระบบรากของต้นข้าวได้

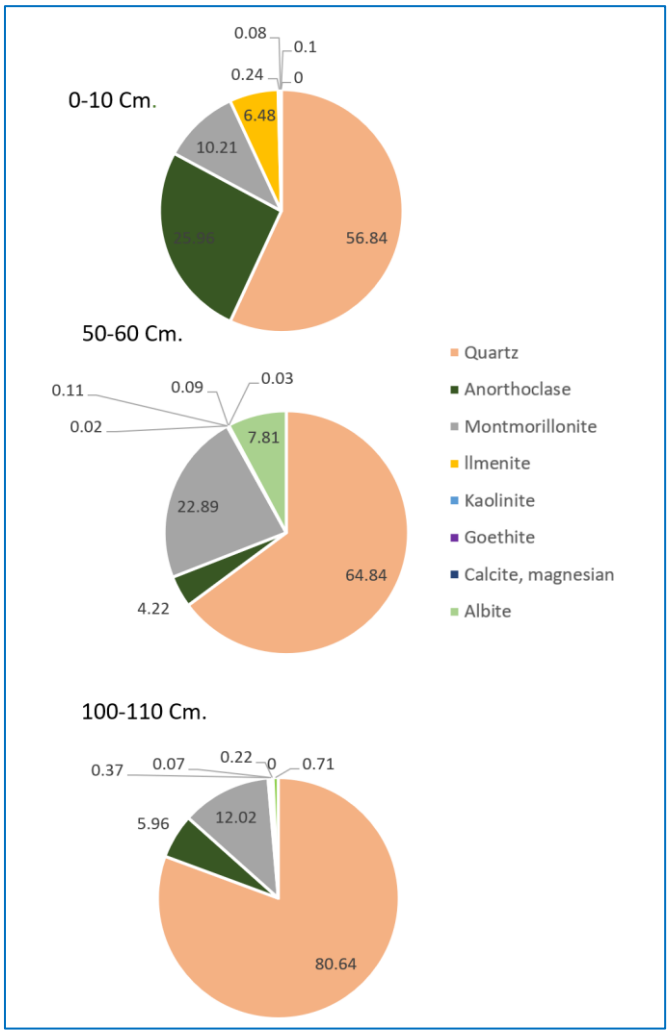
นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความมั่นคงของดิน ลดการละลาย และช่วยให้ดินสามารถเก็บรักษาความชื้นและสารอาหารได้ดี ช่วยเสริมและปกป้องเนื้อเยื่อในต้นข้าว ช่วยเสริมความแข็งแรงของเซลล์และเนื้อเยื่อในต้นข้าวทำให้ต้นข้าวมีความต้านทานต่อสภาวะแวดล้อมที่เป็นอันตรายได้ดี (Jamaludin,et al.,2015)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ สามารถดูดซับแสงแดดที่มีคลื่นยาวในช่วงของสีแดงและสีน้ำเงินได้ เมื่อต้นข้าวได้รับแสงแดดที่ผ่านการกรองของ TiO2 มันช่วยให้สังเคราะห์แสงในการกำเนิดพลังงานทางเคมีอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ต้นข้าวมีพลังงานเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตและพัฒนาอวัยวะต่างๆ ช่วยกระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ทำให้ข้าวสามารถสร้างอาหารและพลังงานได้มากขึ้น (Phothi et al.,2020)

แมงกานีสออกไซด์เป็นสารประกอบที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในบางสภาวะ แมงกานีส (Mn) เป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นสำหรับพืชรวมทั้งข้าว และมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยา อาทิเช่น การกระตุ้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง การหายใจและเมแทบอลิซึมของไนโตรเจน ปริมาณ Mn ที่เพียงพอจะส่งเสริมกิจกรรมของเอนไซม์และช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช การสร้างคลอโรฟิลล์ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงและเพิ่มการผลิตมวลชีวภาพในต้นข้าว ปริมาณ Mn ในดินมีอิทธิพลต่อการดูดซึมและการใช้สารอาหารที่จำเป็นอื่น ในข้าว เช่น ประสิทธิภาพของการดูดซึมและขนส่งธาตุเหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) ระดับแมงกานีสออกไซด์ที่เพียงพอ จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมและการใช้สารอาหาร อย่างสมดุลสำหรับต้นข้าว ข้าวนำ Mn มาใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ รวมถึงค่า pH ของดิน ปริมาณอินทรียวัตถุ และสถานะของสารอาหารโดยรวม ปริมาณ Mn ที่มากเกินไปอาจเป็นพิษต่อพืชได้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ MnO ในปริมาณที่เหมาะสมตามการทดสอบดินและคำแนะนำทางการเกษตร (Timotiwu, et al.,2014)

โพแทสเซียมออกไซด์ เป็นสารประกอบที่มีผลอย่างมากต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของข้าว โพแทสเซียม (K) เป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืช รวมทั้งข้าว โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเปิดและปิดปากใบ บนผิวใบเพื่อควบคุมไอน้ำและการแลกเปลี่ยนก๊าซ นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงขั้นสูง กล่าวคือโพแทสเซียมมีส่วนร่วมในการกระตุ้นเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง ช่วยในการสังเคราะห์อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP) ซึ่งเป็นโมเลกุลที่ให้พลังงานในการสังเคราะห์ด้วยแสง และยังมีอิทธิพลต่อการทำงานของเอนไซม์รูบิสโก ซึ่งเกี่ยวข้องกับการตรึงคาร์บอน ปริมาณ K2O ที่เพียงพอจะส่งเสริมการสังเคราะห์

ด้วยแสงอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มการผลิตคาร์โบไฮเดรตและการเจริญเติบโตของพืชที่ดีขึ้น เพิ่มผลผลิตและคุณภาพข้าว ปรับปรุงและเพิ่มขนาดน้ำหนัก และคุณลักษณะของเมล็ดข้าว เช่น ปริมาณแป้งและคุณภาพของแป้ง สิ่งสำคัญคือต้องสังเกตว่าผลของ K2O ต่อการเจริญเติบโตของข้าวอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของดิน ปฏิสัมพันธ์ของธาตุอาหาร การใช้ K2O ที่เหมาะสมจะได้ให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้น




รูปที่ 65 ผลการวิเคราะห์ XRD ที่ระดับความลึก 0-10 ซม. 50-60 ซม.และ 100-10 ซม.

การวิเคราะห์ XRD พบว่า Quartz มีปริมาณร้อยละที่เพิ่มขึ้นตามระดับความลึก ดังนี้ ระดับความลึกที่ 0-10 ซม. พบ Quartz ร้อยละ 56.84 , ในระดับความลึกที่ 50-60 ซม. พบ Quartz เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 64.84 และในระดับความลึกที่มากกว่า 100-110 ซม. พบ Quartz ถึงร้อยละ 80.64

Anorthoclase, Montmorillonite, ilmenite มีปริมาณร้อยละไม่คงที่ในแต่ละระดับชั้นของความลึก ดังนี้ ระดับความลึกที่ 0-10 ซม. พบ Anorthoclase, Montmorillonite, ilmenite ร้อยละ 25.96 ,10.21 และ 6.48 ตามลำดับ ระดับความลึกที่ 50-60 ซม. พบ Montmorillonite, Albite, ilmenite ร้อยละ 22.89 ,7.20 และ 4.22 ตามลำดับ ระดับความลึกที่ 100-110 ซม. พบ Montmorillonite, Anorthoclase, Albite ร้อยละ 12.02 ,5.96 และ 0.71 ตามลำดับ ระดับความลึกที่ 140-150 ซม. พบ Quartz, Montmorillonite, Calcite, magnesian ร้อยละ 84.97 ,13.19 และ 1.01 ตามลำดับ

ถึงแม้ว่า Quartz ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวโดยตรง แต่จะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น ความพรุนและการเคลื่อนที่ของน้ำ การระบายอากาศในดิน ซึ่งอาจส่งผลทางอ้อมต่อความพร้อมของธาตุอาหาร โดยทั่วไปแล้วอนุภาคของ Quartz จะหยาบและ ดินที่มีแร่ Quartz สูงมักจะระบายน้ำได้ดี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการปลูกข้าว การระบายน้ำที่เหมาะสมช่วยป้องกันน้ำขัง ซึ่งอาจขัดขวางการเจริญเติบโตของรากและทำให้ดินขาดออกซิเจน อย่างไรก็ตาม การระบายน้ำมากเกินไปที่เกิดจากดินที่อุดมด้วยแร่ Quartz ต้องมีการจัดการชลประทานเพิ่มเติมเพื่อรักษาความชื้นในดินให้เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าว นอกจากนี้ Quartz ยังมีผลต่ออุณหภูมิในดิน Quartz มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนต่ำ และดินที่มีปริมาณ Quartz สูงมักจะอุ่นขึ้นอย่างรวดเร็วภายใต้แสงแดด คุณลักษณะนี้มีประโยชน์สำหรับการปลูกข้าว เพราะโดยทั่วไปแล้วต้นข้าวจะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่อบอุ่น ดินที่มีปริมาณของ Quartz สูงจะลดความเสี่ยงจากการกัดเซาะป้องกันการสูญเสียธาตุอาหาร โครงสร้างดินที่มั่นคงจากดินที่อุดมด้วยผลึก Quartz จะช่วยกักเก็บอินทรียวัตถุและสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าว สิ่งสำคัญคือต้องสังเกตว่าลักษณะเฉพาะของ Quartz ต่อการเจริญเติบโตของข้าวอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น องค์ประกอบของดิน สภาพภูมิอากาศ การเข้าใจโครงสร้างของดินและการปรับเทคนิคการเพาะปลูกข้าวอย่างเหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของข้าวได้ดียิ่งขึ้น

Anorthoclase เป็นแร่เฟลด์สปาร์ชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวสามารถพิจารณาได้โดยสัมพันธ์กับอิทธิพลต่อคุณสมบัติของดินและธาตุอาหารที่มีอยู่ ดังนี้ความอุดมสมบูรณ์ของดิน Anorthoclase เป็นแหล่งโพแทสเซียมซึ่งเป็นสารอาหารที่จำเป็นสำหรับต้นข้าว โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ รวมถึงการสังเคราะห์ด้วยแสง การควบคุมน้ำ และการต้านทานโรค ดินที่มี anorthoclase อาจให้แหล่งโพแทสเซียมตามธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนช่วยในการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินและสนับสนุนการเจริญเติบโตของข้าวที่ดี ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (CEC) Anorthoclase มี CEC ค่อนข้างสูง ซึ่งหมายถึงความสามารถของดินในการกักเก็บและแลกเปลี่ยนไอออนบวก (ไอออนที่มีประจุบวก) เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ดินที่มี CEC สูงสามารถกักเก็บธาตุอาหารที่จำเป็นไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้พืชพร้อมใช้เมื่อเวลาผ่านไป CEC ที่เพิ่มขึ้นซึ่งอำนวยความสะดวกโดยการมีอยู่ของ anorthoclase สามารถเพิ่มการกักเก็บสารอาหารและความพร้อมใช้งานสำหรับต้นข้าว โครงสร้างดินและการระบายน้ำ Anorthoclase สามารถนำไปสู่การรวมตัวและเสถียรภาพของดิน ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างของดิน ดินที่จับตัวกันดีให้สภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของราก การเคลื่อนตัวของน้ำ และการดูดซึมธาตุอาหาร โครงสร้างดินที่ได้รับการปรับปรุงโดย anorthoclase สามารถเพิ่มการพัฒนาของรากและสนับสนุนการเจริญเติบโตของข้าวได้ดี

การควบคุมค่า pH โดย Anorthoclase มีค่า pH เป็นกลางถึงเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งอาจส่งผลต่อระดับ pH ของดิน ต้นข้าวชอบสภาพ pH ที่เป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลางเพื่อการเจริญเติบโตที่เหมาะสม การปรากฏตัวของ anorthoclase สามารถช่วยรักษาช่วงค่า pH ของดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว ป้องกันสภาวะที่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไปซึ่งอาจขัดขวางความพร้อมของธาตุอาหาร สภาพดินฟ้าอากาศและการปลดปล่อยธาตุอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป anorthoclase อาจผุกร่อนและปล่อยโพแทสเซียมและธาตุอาหารที่จำเป็นอื่นๆ ลงในดิน กระบวนการผุกร่อนแบบค่อยเป็นค่อยไปนี้สามารถช่วยให้ต้นข้าวมีสารอาหารเพียงพอในระยะยาว

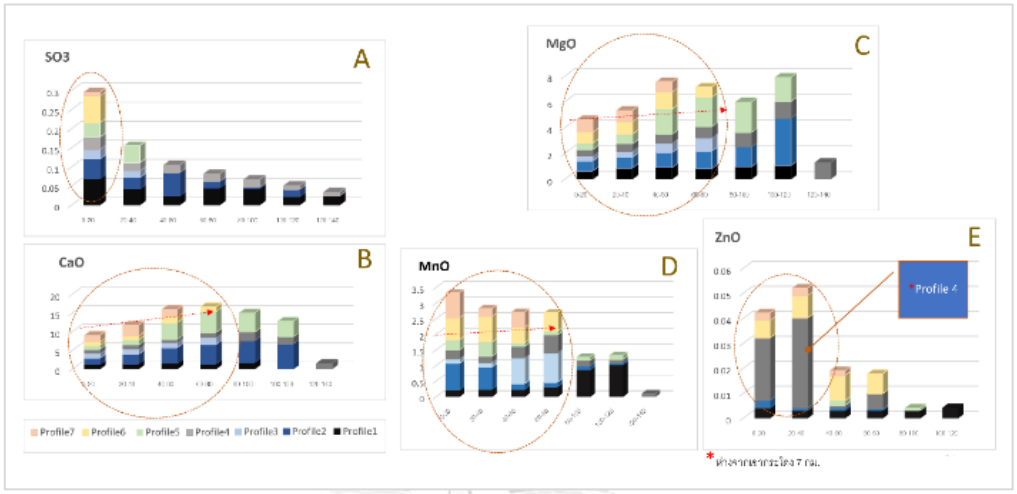
Montmorillonite เป็นแร่ดินชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มสเม็กไทต์ ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าวอาจมีนัยสำคัญเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะดังนี้ การเก็บกักน้ำในดิน Montmorillonite มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูงเนื่องจากความสามารถในการพองตัวและเก็บกักความชื้น ดินที่อุดมด้วย Montmorillonite สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้นานขึ้น ทำให้ต้นข้าวได้รับความชื้นอย่างต่อเนื่อง สิ่งนี้สามารถเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งหรือในพื้นที่ที่มีฝนตกไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากช่วยให้ดินมี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความชื้นเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวที่เหมาะสม นอกจากนี้ Montmorillonite ยังช่วยปรับปรุงโครงสร้างดิน กล่าวคือ Montmorillonite มีคุณสมบัติการพองตัวและการกระจายตัวที่ดีเยี่ยม ซึ่งสามารถปรับปรุงโครงสร้างของดินได้ ช่วยลดการบดอัดของดินและปรับปรุงความลาดเอียงของดิน ทำให้รากข้าวสามารถซึมผ่านและดูดซึมธาตุอาหารได้ดีขึ้น โครงสร้างดินที่ได้รับการปรับปรุงโดย Montmorillonite มีส่วนช่วยในการเติมอากาศ การแทรกซึมของน้ำ และการพัฒนาของราก ซึ่งทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวที่เหมาะสม

Ilmenite เป็นแร่ที่ประกอบด้วยไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO2) และเหล็กออกไซด์ (FeO) เป็นหลัก แม้ Ilmenite จะไม่ส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของข้าว แต่ก็มีข้อควรพิจารณาบางประการเกี่ยวกับการ Ilmenite ในดิน ได้แก่ ส่วนประกอบของเหล็กออกไซด์ใน Ilmenite จะปล่อยธาตุเหล็กออกมาเมื่อเวลาผ่านไปซึ่งจะปล่อยผ่านกระบวนการผุกร่อน เหล็กเป็นธาตุอาหารรองที่จำเป็นสำหรับต้นข้าว มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์ด้วยแสง ผลกระทบ pH: Ilmenite ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า pH ของดิน อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญคือต้องสังเกตว่าส่วนประกอบของเหล็กออกไซด์ของ Ilmenite สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ภายใต้เงื่อนไขบางประการ ซึ่งอาจทำให้ค่า pH ของดินลดลงเล็กน้อย Ilmenite เป็นแร่ที่ทนทานและมีแนวโน้มที่จะต้านทานสภาพดินฟ้าอากาศ Ilmenite ในดินสามารถช่วยให้ดินมีเสถียรภาพและลดความเสี่ยงของการพังทลายโครงสร้างดินได้

เมื่อนำสารอาหารที่มีนัยสำคัญและส่งเสริมในเชิงบวกต่อความหอมของข้าวประกอบด้วย ซัลเฟอร์ (S) แคลเซียม (Ca) แมงกานีส (Mn) แมกนีเซียม (Mg) และ สังกะสี (Zn) มาพิจารณาพบว่าพื้นที่บริเวณ ตำบลสวายจีก อำเภอเมืองบุรีรัมย์ (เป้าหมายที่ 1) พบปริมาณออกไซด์ของ แคลเซียม แมงกานีส แมกนีเซียม เพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และพบปริมาณออกไซด์ของ ซัลเฟอร์ และ สังกะสี ปริมาณน้อยมากและไม่คงที่ตามระดับของความลึกที่เพิ่มขึ้น บริเวณตำบลห้วยราช อำเภอห้วยราช และตำบลอีสาณ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ (เป้าหมายที่ 2 ) พบปริมาณออกไซด์ของ แคลเซียม แมงกานีส แมกนีเซียม ปริมาณไม่คงที่ตามระดับความลึก ในระดับความลึกที่ 40-100 ซม.พบออกไซด์ของจุลธาตุทั้งห้าในปริมาณที่มากกว่าในความลึกระดับอื่น บริเวณตำบลบ้านยาง อำเภอเมืองบุรีรัมย์ (เป้าหมาย 3) พบปริมาณออกไซด์ของ แคลเซียม แมงกานีส แมกนีเซียม เพิ่มขึ้นตามระดับความลึก และพบปริมาณออกไซด์ของ ซัลเฟอร์ และ สังกะสี ปริมาณน้อยโดยพบในระดับความลึกที่ 0-40 ซม. เท่านั้น




รูปที่ 66 การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชที่มีนัยสำคัญต่อความหอมของข้าวจากบะซอลต์ผุ

ออกไซด์ที่พบในบะซอลต์ผุนั้น มีความแตกต่างกันไปในแต่ละ Profile และระดับความลึก พบออกไซด์ของซัลเฟอร์ ในระดับความลึกที่ 0-20 ซม. (A) พบ CaO ในระดับความลึกที่ 0-40 ซม. และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย พบ MgO และ MnO ในระดับความลึกที่ 0-60 ซม.และปริมาณของ ZnO พบมาที่ระดับความลึก 0-40 ซม.และพบในบริเวณที่ห่างจากเขากระโดง ประมาณ 7 กม. (บริเวณตำบลห้วยราช อำเภอห้วยราช และตำบลอีสาน อำเภอเมืองบุรีรัมย์)

ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์และชุมชน พื้นที่เป้าหมายที่ 1 บริเวณตำบลสวายจีก อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ประกอบด้วย Profile 1 , 2 และ 3 Profile 1 และ 2 อยู่ในพื้นที่เกษตรกรรมห่างจากถนนหมายเลข 266 (National Route 226) นครราชสีมา-อุบลราชธานี บริเวณแยกบ้านพรวงไปทางทิศตะวันออก ประมาณ 1 ถึง 2 กิโลเมตร ไม่สามารถรถนำรถยนต์เข้าไปในพื้นที่ได้ เนื่องจากเป็นทุ่งนาบริเวณกว้าง พื้นที่ส่วนใหญ่หน้าดินถูกรบกวนจากการทำการเกษตร Profile 3 เป็นพื้นที่เกษตรกรรมห่างจากบริเวณแยกบ้านพรวงไปทางทิศตะวันตกประมาณ 1.5 กิโลเมตร การเข้าถึงสะดวก แต่เจ้าของพื้นที่อนุญาตเพียงการสำรวจและการขุดตัวอย่างเท่านั้น

พื้นที่เป้าหมายที่ 2 บริเวณตำบลห้วยราช อำเภอห้วยราชและตำบลอีสาณ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ประกอบด้วย Profile 4 และ 5 Profile 4 อยู่ในพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่บางส่วนยังเป็นพื้นที่ป่าไม้ ยังไม่มีการเพาะปลูกใดในพื้นที่ อยู่บริเวณด้านหลังขององค์การบริหารส่วนตำบลห้วยราช ไปทางทิศใต้ประมาณ 1.5 กิโลเมตร การเข้าถึงสะดวก เจ้าของพื้นที่ให้ความร่วมมือในการสำรวจและการเก็บตัวอย่างเป็นอย่างดี Profile 5 ห่างจากที่ทำการกำนัน ตำบลอีสาณ ไปทางทิศใต้ประมาณ 1.2 กิโลเมตร เป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ส่วนใหญ่ถูกรบกวนหน้าดินจากการทำการเกษตร การเข้าถึงสะดวก แต่ไม่พบเจ้าของพื้นที่

เป้าหมายที่ 3 บริเวณตำบลบ้านยาง อำเภอเมืองบุรีรัมย์ ประกอบด้วย Profile 6 และ 7 เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ห่างจากที่ทำการผู้ใหญ่บ้านหมู่ 12 ตำบลบ้านยาง ไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 1 กิโลเมตรการเข้าถึงสะดวก เจ้าของพื้นที่อนุญาต ให้สำรวจและเก็บตัวอย่าง แต่พื้นที่ส่วนใหญ่ถูกปรับเปลี่ยนเพื่อเพาะปลูก

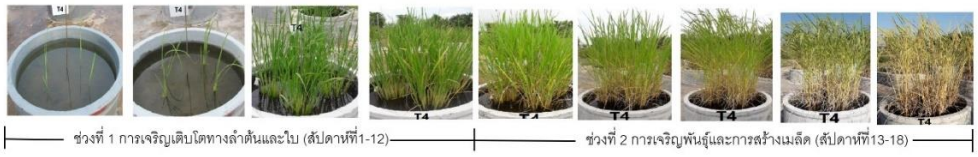
Profile 7 เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ห่างจากที่ทำการผู้ใหญ่บ้านหมู่ 12 ตำบลบ้านยาง ไปทางทิศตะวันตกประมาณ 1.5 กิโลเมตร การเข้าถึงสะดวก แต่ไม่พบเจ้าของพื้นที่ การเก็บตัวอย่างทำได้เพียงระดับความลึกที่ 60 ซม.เนื่องจากพบหินไม่สามารถขุดต่อไปได้

หลังจากที่เรานำข้อมูลทั้งหมดมาพิจารณาแล้วพบว่า พื้นที่เป้าหมายที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างใน Profile 4 เป็นพื้นที่เหมาะสมสำหรับการขุดหินบะซอลต์ผุไปใช้ในการทดลอง การขุดจะใช้ในระดับ 10-80 ซม. ถึงแม้ในระดับความลึกที่มากขึ้นจะพบปริมาณของจุลธาตุมากขึ้น แต่ลักษณะทางกายภาพที่จะนำไปใช้ในทางการเกษตรนั้นไม่เหมาะสม ด้วยลักษณะโครงสร้างของเนื้อผสมที่ประกอบด้วยหินผุขนาดใหญ่ผสมอยู่มาก รูปร่างลักษณะของเศษหินผุเหล่านั้นอาจเป็นอุปสรรค หรืออันตรายต่อเกษตรกรได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**5.2 วิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105**

การทดลองแบ่งการวัดผลเป็น 2 ช่วงได้แก่ ช่วงที่ 1 เป็นการวัดผลการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ เริ่มจากสัปดาห์แรก ไปถึงสัปดาห์ที่ 8 ช่วงที่ 2 เป็นช่วงการวัดผลการเจริญพันธุ์และการสร้างเมล็ด เริ่มจากสัปดาห์ที่ 13 ไปจนถึง สัปดาห์ที่ 18 ซึ่งเป็นสัปดาห์สุดท้ายก่อนเก็บเกี่ยวผลผลิต รวมถึงการวัดผลจำนวนเมล็ดต่อรวง การวัดน้ำหนักข้าวทั้งหมดที่ได้จากการปลูกในแต่ละอัตราส่วน




รูปที่ 67 การเจริญเติบโตของข้าว ช่วงที่ 1 (สัปดาห์ที่ 1-12)
และ ช่วงที่ 2 (สัปดาห์ที่ 12-18)

5.2.1 ช่วงที่ 1 การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ

การเจริญเติบโตของลำต้น และขนาดของใบ ช่วงสัปดาห์แรก – สัปดาห์ที่ 2 ส่วนผสมของบะซอลต์ผุในอัตราส่วน 0% (t1) , 25 % (t2) และ 50 % (t3) มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าอัตราส่วนอื่น สัปดาห์ที่ 6 - สัปดาห์ที่ 9 การเจริญเติบโตของลำต้นดีที่สุดคือ อัตราส่วน 25 % , 0% , 50 % , 75 % (t4) และ 100 % (t5) ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 10 เป็นต้นไป ทุกอัตราส่วนผสมมีการเจริญเติบโตแบบคงที่ เมื่อนำข้อมูลประมวลผลทางสถิติพบว่า บะซอลต์ผุไม่มีอิทธิพลต่อขนาดของลำต้นและขนาดของใบ

การวัดผลจำนวนใบ สัปดาห์แรก – สัปดาห์ที่ 8 จำนวนใบมีอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีจำนวนที่ลดลงเริ่มจากสัปดาห์ที่ 9 จำนวนใบมากไปหาน้อยด้วยอัตราส่วนผสมบะซอลต์ผุ ดังนี้ 25% , 0% , 50% , 75% และ 100% ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลของจำนวนใบประมวลผลทางสถิติพบว่าบะซอลต์ผุมีอิทธิพลต่อการเพิ่มของจำนวนใบอย่างมีนัยสำคัญ (ความเชื่อมั่น 95%)

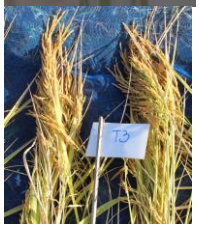
การวัดผลการแตกหน่อ ในสัปดาห์ 1 – สัปดาห์ที่ 12 มีการแตกหน่ออย่างต่อเนื่อง โดยอัตราส่วนที่ผสมบะซอลต์ผุ 25%, 0%, 50%, 75% และ 100% ให้การแตกหน่อจำนวนมากไปน้อยตามลำดับโดยการแตกหน่อจะเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 13 เป็นต้นไป เมื่อนำข้อมูลการแตกหน่อประมวลผลทางสถิติพบว่า บะซอลต์ผุมีอิทธิพลต่อความสูงของข้าวอย่างมีนัยสำคัญ (ความเชื่อมั่น 95%)

5.2.2 ช่วงที่ 2 การวัดผลการเจริญพันธุ์และการสร้างเมล็ด

การวัดผลจำนวนรวงในการทดลองพบว่า อัตราส่วนบะซอลต์ผุ 25% ให้จำนวนรวงข้าวมากที่สุด ตามด้วยอัตราส่วน 0% , 50%, 75%, 100% จำนวนรวงข้าวที่ได้คือ 573 , 495, 444, 360 และ 240 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลจำนวนรวงข้าวมาประมวลผลทางสถิติพบว่าอัตราส่วนบะซอลต์ผุมีอิทธิพลต่อจำนวนรวงข้าวอย่างมีนัยสำคัญ (ความเชื่อมั่น 95%)

การวัดผลจำนวนเมล็ดต่อรวง พบว่า อัตราส่วนบะซอลต์ผุ 25% ให้จำนวนเมล็ดต่อรวงมากที่สุด ตามด้วยอัตราส่วน 0% , 50%, 75%, 100% จำนวนรวงข้าวที่ได้คือ 238 , 211, 184, 171 และ 162 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลประมวลผลทางสถิติพบว่าอัตราส่วนบะซอลต์ผุ มีอิทธิพลต่อจำนวนเมล็ดต่อรวงอย่างมีนัยสำคัญ (ความเชื่อมั่น 95%) การวัดผลน้ำหนักรวม พบว่า อัตราส่วนบะซอลต์ผุ 25% ให้น้ำหนักข้าวมากที่สุด ตามด้วยอัตราส่วน 0% , 50%, 75%, 100% น้ำหนักรว

ข้าวที่ได้คือ 600 , 579, 503, 381 และ 294 ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลประมวลผลทางสถิติพบว่าอัตราส่วนบะซอลต์ผุไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักรวมของข้าว

| การวัดผล | ภาพ | สัปดาห์ที่1-3 | สัปดาห์ที่4-12 | สัปดาห์ที่ 13-18 | วิเคราะห์สถิติ |
|---|---|---|---|---|---|
| [1] ขนาดลำต้น | | 25%>0%>50%>75%>100% | | คงที่ | *ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ |
| [2] ขนาดใบ | | 25%>0%>50%>75%>100% | | คงที่ | *ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ |
| [3] ความสูงต้นข้าว | | | 25%>0%>50%>75%>100% | | มีนัยสำคัญทางสถิติ |
| [4] การแตกหน่อ | | | 25%>0%>50%>75%>100% | | มีนัยสำคัญทางสถิติ |
| [5] จำนวนรวง |  | | 25%>0%>50%>75%>100% | | มีนัยสำคัญทางสถิติ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | | | |
|---|---|---|---|
| [6] จำนวนเมล็ดต่อรวง | | 25%>0%>50%>75%>100% | มีนัยสำคัญทางสถิติ |
| [7] น้ำหนักรวม | | 25%>0%>50%>75%>100% | *มีนัยสำคัญทางสถิติ |

รูปที่ 68 ผลสรุปการวัดผลการเจริญเติบโตของข้าว และการวิเคราะห์ทางสถิติ

**5.3 วิเคราะห์บะซอลต์ผุที่มีผลต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105**

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหอมพบว่า อัตราส่วนผสมของบะซอลต์ผุ 100% (t5) ให้ปริมาณความหอมที่มากกว่าอัตราส่วนอื่น ค่าเฉลี่ยของความหอมอยู่ที่ 0.57 mg/kg รองลงมาคือ อัตราส่วนผสมบะซอลต์ผุ ที่ 25% (t2) , 50% (t3) และ 75% (t4) ค่าเฉลี่ยของความหอมเท่ากันคือ 0.53 mg/kg และค่าเฉลี่ยความหอมที่น้อยที่สุดคือ อัตราส่วนผสมบะซอลต์ผุ 0% (t1) ค่าความหอมอยู่ที่ 0.51 mg/kg เมื่อนำค่าความหอมประมวลผลทางสถิติพบว่า บะซอลต์ผุไม่มีนัยสำคัญต่อความหอมของข้าวขาวดอกมะลิ 105

มีงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่อ้างอิงถึงประโยชน์ของ ซิลิคอน) ปุ๋ยซิลิเกต (เมื่อนำมาใช้กับการปลูกข้าว ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อ ความสูงของข้าว จำนวนเมล็ด และการเพิ่มผลผลิตในการปลูกข้าวอย่างมีนัยสำคัญ (Pati et al. ,2016) รวมถึงน้ำหนักของเมล็ดข้าวและการสะสมแป้งในธัญพืช (Gholami, et al. ,2013) ซึ่ง ซิลิก้าจะช่วยในกลไกของการดูซับสารอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และทำให้รากพืชแข็งแรงมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารอาหารอื่นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอีกด้วย (Awahar, et al.,2013) อย่างไรก็ตาม การมีซิลิก้ามากเกินไปในดิน อาจทำให้เกิดการแข่งขันในการดูดซึมระหว่างซิลิก้าและธาตุอาหารอื่น ซึ่งอาจทำให้พืชไม่สามารถนำธาตุอาหารที่จำเป็นเหล่านั้นไปใช้ได้เต็มที่ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของ

ข้าวได้ (AND V et al., 2013) นอกจากนี้ทำให้เกิดความเสี่ยงภาวะเป็นพิษในพืช และเกิดภาวะเป็นกรดในดิน ซึ่งล้วนแล้วแต่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวมีผลกระทบ จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนดินผสมบะซอลต์ผุ ตั้งแต่ 50 % ขึ้นไป ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 น้อยกว่าดินผสมบะซอลต์ผุ 25% และ ผลการวัดการเจริญเติบโตและผลผลิตจากทุกหน่วยทดลองที่ใช้บะซอลต์ผุ 100% มีการเจริญเติบโตของ ลำต้น ใบ การแตกหน่อ จำนวนรวง รวมถึงน้ำหนักรวมของข้าวน้อยที่สุด กล่าวคือ การผสมดินบะซอลต์ผุในการทดลองปลูกข้าวดอกมะลิ 105 ในครั้งนี้ด้วยส่วนผสมบะซอลต์ผุ 25% หรือใช้บะซอลต์ผุ 1 ส่วน ต่อดินเสื่อมโทรม 3 ส่ว) ส่งผลให้การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมตำรับอื่น ป ร ะ เ ด็ น ความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากการทดลองในครั้งนี้ ใช้แหล่งอาหารของข้าวจากส่วนผสมของบะซอลต์ผุเพียงอย่างเดียว (ไม่มีการเติมสารอาหารจากแหล่งอื่น) แต่ผลผลิตที่ได้อยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ยของผลผลิตต่อไร่ ในการปลูกข้าวขาวดอกมะลิโดยทั่วไป คือ 350-450 กิโลกรัมต่อไร่ (กองวิจัยและพัฒนาข้าว,2559) เมื่อเทียบบัญญัติไตรยางศ์อัตราผลผลิตต่อไร่ อาจกล่าวได้ว่าการเติมบะซอลต์ผุสามารถลดการเติมสารอาหารจากแหล่งอื่นได้ อีกหนึ่งประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม คือ เหล็กออกไซด์ ซึ่งมีปริมาณสูงในบะซอลต์ผุช่วยลดก๊าซมีเทน) CH4) ที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศจากกิจกรรมการปลูกข้าวได้ (Ali, et al., 2008) โดยปริมาณออกไซด์เหล็กที่มีประสิทธิภาพ จะทำหน้าที่เป็นตัว oxidizing agents และ electron acceptors ในกิจกรรมการสร้างมีเทนในดิน และช่วยยับยั้งการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ซึ่งกระบวนการปลูกข้าวที่ช่วย ลดก๊าซ ที่ส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของสภาวะโลก ด้วยการเติมบะซอลต์ผุ จะนำเสนอในการทดลองโอกาสต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**5.4 อภิปรายผลวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ**

อัตราส่วนบะซอลต์ผุ 25% ต่อดินเสื่อมโทรม 75% (t2) เป็นอัตราส่วนที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อความสูงของต้นข้าว จำนวนใบ การแตกหน่อ จำนวนรวงข้าว และ จำนวนเมล็ดต่อรวง รองลงมาคือ 0% , 50% , 75% , และ 100% ตามลำดับ การปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ด้วยบะซอลต์ผุเพียงอย่างเดียว (100%) พบการเจริญเติบโตที่โดดเด่นของใบและลำต้นในช่วงสัปดาห์แรก-สัปดาห์ที่ 2 เท่านั้น และในสัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไปถึงเก็บเกี่ยว จะมีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองประมวลผลทางสถิติพบกว่าอัตราส่วนของบะซอลต์ผุไม่มีอิทธิพลต่อขนาดของลำต้น ขนาดของใบ

**5.5 การอภิปรายผลเกี่ยวกับการนำผลการทดลองไปใช้ใน Field Test และการดำเนินการแบบ Circular Economy ใน SME ของธุรกิจเกษตร**

เมื่อพิจารณาข้อมูลรอบด้านแล้ว ทำให้ทราบว่าการนำบะซอลต์ผุมาปลูกข้าวหอมมะลิ 105 นอกเขตพื้นที่ของภูเขาไฟนั้น ถึงแม้จะมีนัยสำคัญต่อปริมาณของผลผลิตรวมในการทดลองในระดับ Lab scale แต่ปริมาณผลผลิตที่ได้ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ยทั่วไปของผลผลิตข้าวต่อไร่ในจังหวัดอุดรธานี ซึ่งปริมาณของผลผลิตเป็นปัจจัยลำดับต้นๆ ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการเพาะปลูกข้าวของ Micro SME, SME อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนบะซอลต์ผุยังมีอิทธิพลในเชิงบวกและมีนัยสำคัญต่อ ความสูงของข้าว การแตกหน่อ จำนวนใบ จำนวนรวง และจำนวนเมล็ดต่อรวง หากเสริมด้วยธาตุอาหารพืชหรือจุลธาตุที่เฉพาะเจาะจงในช่วงเวลาที่พืชต้องการ อาจทำให้น้ำหนักรวมหรือผลผลิตเพิ่มมากขึ้นเกินค่าเฉลี่ยอย่างชัดเจน ซึ่งต้องอาศัยการทดลองในวาระอื่นในลำดับถัดไป การทดลองครั้งนี้พอสรุปได้ดังนี้

[1] ผลผลิตข้าวเปลือกที่ได้จากการทดลองอยู่ในเกณฑ์ผลผลิตค่าเฉลี่ยต่อไร่ทั่วไป (350 – 450 กิโลกรัมต่อไร่) * (กองวิจัยและพัฒนาข้าว ,2559)

[2] การใช้บะซอลต์ผุในการปลูกข้าว (นอกพื้นที่) ผลผลิตที่ได้อยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ย แต่ผู้ประกอบการอาจมี ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับต้นทุนของบะซอลต์ผุ ซึ่งควรพิจารณาให้ถี่ถ้วนและรอบคอบ

[3] การขนส่ง (Logistic) บะซอลต์ผุจากแหล่งอื่นระยะทางในการขนส่งมีผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[4] ราคาขายข้าวหอมมะลิอินทรีย์คุณภาพดีมีแนวโน้มราคาข้าวลดลง (กระทรวงพานิชย์ ,2565)

[5] บะซอลต์ผุไม่มีนัยสำคัญต่อความหอมของข้าวโดยตรงแต่การทดลองพบว่า ในหน่วยทดลองปลูกข้าวที่ใช้เฉพาะบะซอลต์ผุอย่างเดียว (100%) นั้น ปริมาณค่าความหอมที่ได้มีปริมาณมากกว่าการปลูกในอัตราส่วนอื่น

ในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต (เพาะปลูก) ของ Micro-SME หรือ SME ธุรกิจเกษตร เพื่อให้สอดคล้องและอยู่ในกรอบของ CE นั้นมีความจำเป็นต้องนำกระบวนการในแต่ละขั้นตอนมาพิจารณาโดยละเอียด เพื่อเลือกแนวทางที่เป็นไปได้และตอบโจทย์สำหรับแนวทางยั่งยืนกล่าวคือในบริบทแวดล้อมขององค์กรที่มีความแตกต่างแนวทางหรือวิธีการที่เหมาะสมก็จะต่างกัน แต่หลักการที่นำมาพิจารณามีความคล้ายกันดังนี้

ก. การลด หรือใช้ให้น้อยลง เพื่อลดการปล่อยมลภาวะสู่สภาพแวดล้อม

ข. การเปลี่ยนแปลงหรือเลือกทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับองค์กร

ค. การเปลี่ยนกระบวนการใหม่หรือวิธีการใหม่

**แนวทางการจัดการของเสียในการเพาะปลูกข้าวตามหลักการของ CE**

การจัดการของเสียในระบบการปลูกข้าวมีความสำคัญเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ ดังนี้ การจัดการปุ๋ย: ใช้ปุ๋ยให้ถูกต้องและเหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียปุ๋ยในระบบ ควรปรับปรุงการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมกับความต้องการของข้าว โดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยเคมีในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ปริมาณสารอาหารที่ใช้ต่อไร่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูง และลดการสูญเสียปุ๋ยไปยังสิ่งแวดล้อม เช่น การนำเอาปุ๋ยมาใช้ในจำนวนที่ต้องการและในช่วงเวลาที่เหมาะสมตามความต้องการของข้าว และจากผลการวิจัยโดยการเติมบะซอลต์ผุในอัตราส่วน 1 ส่วนต่อดินเสื่อมโทรม 3 ส่วน ในการปลูกข้าวขาวมะลิ ให้ผลผลิต อยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ยต่อไร่ คือ 350-450 กิโลกรัม ต่อไร่ (กองวิจัยและพัฒนาข้าว ,2559) การจัดการน้ำเสีย: ในกระบวนการการปลูกข้าว การจัดการน้ำเสียอย่างถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อป้องกันน้ำเสียไปยังแหล่งน้ำหรือสิ่งแวดล้อมบริเวณโดยรอบ ควรมีบ่อกักเก็บน้ำเสีย (Lagoon Treatment ) หรือ นำระบบการจัดการน้ำที่มีการบำบัดน้ำเสียหรือระบบการกำจัดน้ำเสียที่เหมาะสมมาใช้ การทำนาในระบบอินทรีย์ ซึ่งปราศจากการใช้ยากำจัดศัตรูพืชและปุ๋ยเคมี พบว่าน้ำในระบบการทำนา สามารถใช้ระบบพืชและหญ้ากรองน้ำเสีย (Plant and Grass Filtration) ในการบำบัดได้ (คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ , 2543) การจัดการสารเคมี: ในกรณีที่ต้องใช้สารเคมีในการป้องกันแมลงศัตรูหรือโรคข้าว ควรใช้สารเคมีที่ได้รับอนุญาตและแนะนำโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อป้องกันการสูญเสียของสารเคมีไปยังแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม ควรใช้สารเคมีในปริมาณที่เหมาะสมและตามคำแนะนำในฉลากการใช้สารเคมี เพื่อลดความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ การจัดการเศษซากพืช: เศษซากพืชที่เกิดขึ้นในกระบวนการปลูกข้าว เช่น ต้นข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว สามารถนำมาใช้ในการทำปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอมโพสต์ โดยการนำเอาเศษซากพืชกลับมาในระบบการปลูกข้าว จะช่วยเพิ่มการไหลเวียนของสารอินทรีย์วัตถุในดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินการจัดการกับเศษซากสัตว์: ในกรณีที่มีการใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอมโพสต์ที่มีเศษซากสัตว์เป็นส่วนประกอบ ควรใช้เศษซากสัตว์ที่ได้มาตรฐานและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ในกรณีที่มีเศษซากสัตว์ที่เป็นอันตรายหรือมีโอกาสมีจุดเป็นโรค ควร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มีการจัดการเศษซากสัตว์ให้ถูกต้องและปลอดภัยเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรค เมื่อมีการจัดการของเสียในระบบการปลูกข้าวอย่างเหมาะสม จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างระบบการเกษตรที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การใช้วิธีการจัดการของเสียที่เหมาะสมนี้อาจต้องการความร่วมมือจากเกษตรกร องค์กรเกษตร และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้มีการบริหารจัดการของเสียที่มีประสิทธิภาพและตรงกับเงื่อนไขท้องถิ่น และการปลูกข้าวอย่างยั่งยืน

**การวิเคราะห์ต้นทุนและกำไร**

การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์เริ่มต้นจะคำนวณต้นทุนการผลิตข้าวหอมมะลิโดยพิจารณาต้นทุนในการปลูกและดูแลรักษาพื้นที่เพาะปลูก รวมถึงต้นทุนในการใช้ปุ๋ย สารเคมี และการจัดการกับวัชพืชและศัตรูของข้าว การประเมินกำไรจะเป็นการคำนวณรายได้จากการขายข้าวหอมมะลิ และเปรียบเทียบกับต้นทุนทั้งหมดเพื่อให้เห็นภาพรวมของผลกำไรที่เกิดขึ้นจากการปลูกข้าวหอมมะลิด้วยบะซอลต์ผุ แต่การทดลองในครั้งนี้จะขอประเมินเฉพาะต้นทุนในส่วนของกระบวนการเพาะปลูกเท่านั้น และการอนุมานผลผลิตต่อไร่จากผลผลิตที่ได้จากการทดลอง ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 18 ต้นทุนในการปลูกข้าว ที่มา : กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559)

| ลำดับ | รายการ | งบประมาณ | ผลผลิต |
|---|---|---|---|
| 1 | *การปลูกข้าวแบบดั้งเดิม | 3,500-4,500 บาท | 350-400 กิโลกรัม/ไร่ |
| 2 | *การปลูกข้าวแบบเพิ่มผลผลิต | 4,000-5,500 บาท | 420-กิโลกรัม 470/ไร่ |
| 3 | **การปลูกข้าวโดยใช้หลักการของ CE ใช้บะซอลต์ผุในกระบวนการเพาะปลูก | 4,700-5, 500บาท | 450- 550กิโลกรัม/ไร่ |

*กองวิจัยและพัฒนาข้าว (2559), **การประมาณค่าใช้จ่ายต้นทุนโดยการเทียบจากผลการทดลอง

(**การประมาณค่าใช้จ่ายต้นทุนโดยการเทียบจากผลการทดลอง)

การเพาะปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากการทดลองไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของปุ๋ย หรือสารบำรุงใดใดแต่จะมีต้นทุนในส่วนของค่าบะซอลต์ผุและการขนส่งทำให้ต้นทุนสูงขึ้น แนวทางการว่างตำแหน่งของผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตจึงควรจัดอยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์ข้าวไร้สารเคมี ซึ่งกระบวนการเพาะปลูกจากดินที่มีส่วนผสมของบะซอลต์ผุจากธรรมชาติปราศจากสารเคมีตลอดขั้นตอนการเพาะปลูก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นระบบการปลูกข้าวแบบยั่งยืน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**5.6 ข้อเสนอแนะ**

ความต้องการจุลธาตุในพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จุลธาตุในบะซอลต์ผุมีความแตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ ในระดับความลึกที่ต่างกัน การกำหนดชนิดพืชทดลองและวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน รวมถึงการศึกษาข้อมูลความต้องการจุลธาตุของพืชทดลองที่ครอบคลุมจะนำมาซึ่งการค้นหาแหล่งบะซอลต์ผุที่มีคุณลักษณะทั้งลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่ถูกต้องและแม่นยำ การเข้าถึงพื้นที่และความร่วมมือของเจ้าของพื้นที่ เป็นอีกปัจจัยที่ควรคำนึงถึง เพราะหากไม่ได้รับความร่วมมือจากเจ้าของพื้นที่ จะเป็นอุปสรรคอย่างยิ่งต่อการเข้าถึงและนำบะซอลต์ผุมาใช้ให้บรรลุตามวัตถุประสงค์

การใช้บะซอลต์ผุทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 และน้ำหนักรวมของผลผลิต ควรเสริมด้วยสารอาหารพืชจากแหล่งอื่น เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ ฮอร์โมนพืช น้ำหมัก ในช่วงการเจริญพันธุ์และการสร้างเมล็ด กล่าวคือ หลังจากสัปดาห์ที่ 12 เป็นต้นไป เพื่อเสริมสร้างให้ข้าวมีธาตุอาหารไปใช้ในกระบวนการสร้างเมล็ดอย่างเต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้เมล็ดข้าวมีน้ำหนักเพิ่มมากตามไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บรรณานุกรม

**ภาษาไทย**

เกษมชาต ศรีวาลัย.(2553). ปฏิบัติติการปฐพีกลศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา.(2515).ปฐพีวิทยาเบื้องต้น.กรุงเทพมหานคร:คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จิติมา ยถาภูธานนท์ และคณะ. (2558). การพัฒนาระบบการตรวจสอบวิเคราะห์พืชและปัจจัยการผลิตทาง การเกษตร. กรุงเทพมหานคร : กรมวิชาการเกษตร

ชฎา ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ.(2558). การวิจัยและพัฒนาการศึกษาผลของเนื้อดินและขนาดอนุภาคดินที่มีต่อค่า การสะท้อนรังสีของดิน. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดรุณี สายสุทธุชัย และคณะ.(2551). การนำเสมอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2551การใช้หินบะซอลต์เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมสำหรับงานด้านเกษตรกรรม. กรุงเทพมหานคร : กรมทรัพยากรธรณี

ต่อศักดิ์ประสมทรัพย์.(2548).ศิลาวรรณนาและโครงสร้างของหินบะซอลต์ในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร : กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี

บุญร่วม สงกรานต์ และคณะ (2538). การสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ. กรุงเทพมหานคร : กองพัฒนาทรัพยากรธรณี

ประกาศสำนักนายกรัฐมนตรี เรื่อง กำหนดมาตรฐานการตรวจสอบและรับรองแห่งชาติแนวทางการใช้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม ๑๓๗ ตอนพิเศษ ๑๙ ง ๒๔ มกราคม ๒๕๖๓. สืบค้นเมื่อ ๑ มีนาคม ๒๕๖๓, จาก http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2563/E/019/T_0008.PDF.

ประกาศสำนักนายกรัฐมนตรี เรื่อง กำหนดมาตราฐานคุณภาพดิน. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม ๑๒๑ ตอนพิเศษ ๑๑๙ ง ๒๐ ตุลาคม ๒๕๔๗. สืบค้นเมื่อ ๑๙ มกราคม ๒๕๖๓ , จาก http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/0E/00151138.PDF

วัลลภ วิเศษสินธ์ และคณะ.(2538). การบินสำรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า :วิธีการและการประยุกต์ใช้.กรุงเทพมหานคร :กรมทรัพยากรธรณี

มนตรี ชูวงษ์.(2554). ธรณีสัณฐานวิทยาพื้นฐาน. สำนักพิมพ์ เทียนวัฒนาพริ้นท์ติ้ง , กรุงเทพมหานคร.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มยุรี ปาลวงศ์ แร่ หิน ดิน ทราย. (2550). กรุงเทพมหานคร : สำนักพัฒนาและส่งเสริม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่

สุรเชษฐ ปุญปัน และคณะ.(2545). ธรณีวิทยาแหล่งหินบะซอลต์บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนใต้.กรุงเทพมหานคร : กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพืชกรองน้ำเสีย: คู่มือเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียตามแนวพระราชดำริ. (2543). กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริมูลนิธิชัยพัฒนา

**ภาษาอังกฤษ**

Abdelmalik, K. W. (2020). Landsat 8: Utilizing sensitive response bands concept for image processing and mapping of basalts. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(3), 263-274. Doi:

Aluwong, C., Bala, D., Kamtu, P., & Nechako, R. (2017). The Use of Remote Sensing and Gis in Mineral Prospecting of Toro and Environs (Bauchi State). *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*, 05, 34-43. doi:10.9790/0990-0503013443.

Amer, R., Mezayen, A., & Hasanein, M. (2015). ASTER spectral analysis for alteration minerals associated with gold mineralization. *Ore Geology Reviews*, 75. Doi: 10.1016/j.oregeorev.2015.12.008

Anbazhagan, S., & Arivazhagan, S. (2009). Reflectance spectra of analog basalts; implications for remote sensing of lunar geology. *Planetary and Space Science*, 57, 1346–1358. Doi: 10.1016/j.pss.2009.06.020

Angelopoulou, T., Tziolas, N., Balafoutis, A., Zalidis, G., & Bochtis, D. (2019). Remote Sensing Techniques for Soil Organic Carbon Estimation: *A Review. Remote Sensing*, 11, 676. doi:10.3390/rs11060676.

Argany, M., Ramezani, A., & Ahmadi, A. (2018). Determination of basalt zones using basalt extraction index (BEI) and ASTER image classification. *Cogent Geoscience*, 4(1), 1466672. doi:10.1080/23312041.2018.1466672

Artyszak, A., (2018) Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—a literature review in Europe. *Biochem*. 127, 152–160

Asran, A., Emam, A., & Elfakharani, A. (2017). Geology, structure, geochemistry and ASTER-based mapping of Neoproterozoic Gebel El-Delihimmi granites,

*Central Eastern Desert of Egypt. Lithos*, 282-283, 358-372.

Arunrat, N., Pumijumnong, N., & Hatano, R. (2018). Predicting local-scale impact of climate change on rice yield and soil organic carbon sequestration: A case study in Roi Et Province, Northeast Thailand. *Agricultural Systems*, 164, 58-70.

Arunrat, N., Pumijumnong, N., Sereenonchai, S., Chareonwong, U., & Wang, C. (2020). Assessment of climate change impact on rice yield and water footprint of largescale and individual farming in Thailand. *Science of The Total Environment*, 726, 137864.

Asio, V., & Jahn, R. (2007). Weathering of basaltic rock and clay mineral formation in Leyte, Philippines. *Philippine Agricultural Scientist*, 90, 222-230.

C. Ndikuryayo, A. Ndayiragije, N. Kilasi and P. Kusolwa (2022) breeding for Rice Aroma and Drought Tolerance: *A Review Agronomy* 12(7)

Chen, W., Oldfield, T. L., Katsantonis, D., Kadoglidou, K., Wood, R., & Holden, N. M. (2019). The socio-economic impacts of introducing circular economy into Mediterranean rice production. *Journal of Cleaner Production*, 218, 273- 283.

Devkota, K. P., Sudhir, Y., Khanda, C. M., Beebout, S. J., Mohapatra, B. K., Singleton, G. Puskur, R. (2020). Assessing alternative crop establishment methods with a sustainability lens in rice production systems of Eastern India. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118835.

Dietzel, M. (2000). Dissolution of silicates and the stability of polysilicic acid. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(19), 3275-3281.

Eneji, A.E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., (2008) Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *J. Plant Nutr 31*, 355–365.

Francisca, F. M., & Bogado, G. O. (2019). Weathering effect on the small strain's elastic properties of a residual soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(5), 4031-4041.

F.S.G. Hashemi, M.Y. Rafii, M.R. Ismail, T.M. Mahmud, H.A. Rahim, R. Asfaliza, M.A. Malek, M.A. Latif (2013) Biochemical, genetic and molecular advances of fragrance characteristics in rice Crit. Rev. *Plant Sci* pp. 445-457

Gillman, G., Burkett, D., & Coventry, R. (2001). A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: Effect on soil cation chemistry. *Soil Research*, 39, 799-811. doi:10.1071/SR00073

Guntamukkala Babu Rao, Poornima Yadav PI and Elizabeth K Syriac. Silicon nutrition in rice: A review. *J Pharmacogn Phytochem* 2017;6(6):390-392.

Jamaludin, A., Shamshuddin, J., Ishak, C., Hanif, M., Husni, A., & Panhwar, Q. (2015). Effects of Aluminum, Iron and/or Low pH on Rice Seedlings Grown in Solution Culture. *International Journal of Agriculture and Biology*, 17, 1560-8530. https://doi.org/10.17957/IJAB/14.0019

Kamonwan R., Srisawat k., Theerayut, Sureeporn K. (2013) Fragrance Gene and Molecular Basis of Fragrant Rice. *Thai J. Genet* 6(2),93-114

Kingra, P., Majumder, D., & Singh, S. P. (2016). Application of Remote Sensing and Gis in Agriculture and Natural Resource Management Under Changing Climatic Conditions. *agricultural research journal*, 53, 295-302.

Kongmon, E., Jitvisate, M., Panchaisri, B., Techarang, J., Thumanu, K., & Rimjaem, S. (2020). Classification of ion-beam-induced traits in Thai jasmine rice mutants using synchrotron radiation FTIR microspectroscopy. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam *Interactions with Materials and Atoms*, 465, 37-41.

KKorndörfer, G. H., & Lepsch, I. (2001). Chapter 7 Effect of silicon on plant growth and crop yield. In L. E. Datnoff, G. H. Snyder, & G. H. Korndörfer (Eds.), *Studies in Plant Science* (Vol. 8, pp. 133-147): Elsevier.

L. M. T. Bradbury, T. L. Fitzgerald, R. J. Henry, Q. Jin and D. L. E. Waters (2005) The gene for fragrance in rice. *Plant Biotechnology Journal* 3, 363-370

Li, G., Hartmann, J., Derry, L. A., West, A. J., You, C.-F., Long, X., . . . Chen, J. (2016). Temperature dependence of basalt weathering. *Earth and Planetary Science Letters*, 443, 59-69.

Mya Mya Swe, Swe Swe Mar, Tin Tun Naing, Thu Zar, Kyaw Ngwe, (2021). Effect of Silicon Application on Growth, Yield and Uptake of Rice (Oryza sativa L.) in

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Two Different Soils. *Open Access Library Journal*, Vol.8 No.10

Melini, V., & Melini, F. (2019). Asian grain-based food products and the European scheme for food protected designations of origin: A critical analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 83-94.

Oechaiyaphum, K., Ullah, H., Shrestha, R. P., & Datta, A. (2020). Impact of long-term agricultural management practices on soil organic carbon and soil fertility of paddy fields in Northeastern Thailand. *Geoderma Regional*, 22, e00307.

Oliver, T. H., Isaac, N. J. B., August, T. A., Woodcock, B. A., Roy, D. B., & Bullock, J. M. (2015). Declining resilience of ecosystem functions under biodiversity loss. *Nature Communications*, 6(1), 10122. doi:10.1038/ncomms10122

Oriolo, S., Ozán, I., Schmidt, B., Charlin, J., Manzi, L., & Techmer, K. (2019). Basalt weathering as the key to understand the past human use of hematite-based pigments in southernmost Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102376.

Phothi, R., & Theerakarunwong, C. (2020). Enhancement of rice (Oryza sativa L.) physiological and yield by application of nano-titanium dioxide. *Australian Journal of Crop Science*, 1157-1161.

C. Ndikuryayo, A. Ndayiragije, N. Kilasi and P. Kusolwa (2022) breeding for Rice Aroma and Drought Tolerance: *A Review Agronomy* 12(7)

Rann, V., Anusontpornperm, S., Thanachit, S., & Sreewongchai, T. (2016). Response of KDML105 and RD41 rice varieties grown on a Typic Natrustalf to granulated pig manure and chemical fertilizers. *Agriculture and Natural Resources*, 50(2), 104-113.

Ronnachai Changsri. (2015). Factors affecting the quality of Thai Hom Mali Rice. Rice Department Rice Research and Development Division, Ubon Ratchathani Rice Research Center

Sanchez, P., Palm, C., & Buol, S. (2003). Fertility capability soil classification: A tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*, 114, 157-185.

Rout, G.R., and S. Sahoo. 2015. Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science.* 3: 1-24.

Shazana, R. s., Shamshuddin, J., Ishak, C., Panhwar, Q., & Naher, U. (2014). Effects of

applying ground basalt with or without organic fertilizer on the fertility of an acid sulfate soil and growth of rice. *Malaysian Journal of Soil Science*, 18, 87-102.

Manning, D. (2017). Innovation in Resourcing Geological Materials as Crop Nutrients. *Natural Resources Research*, 1-11. doi:10.1007/s11053-017-9347-2.

Melini, V., & Melini, F. (2019). Asian grain-based food products and the European scheme for food protected designations of origin: A critical analysis. *Trends in Food Science & Technology,* 91, 83-94.

Timotiwu, P., & Dewi, M. (2014). The effect of silica and manganese application on rice growth and yield. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 36, 182-188.

Sivakumar, M., Roy, P., K. Harmsen, & saha, S. K. (2003). Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agriculture Meteorology.

Sriboonlue, P., & Puangpronpitag, S. (2019). Towards Innovative SMEs: An Empirical Study of Regional Small and Medium Enterprises in Thailand. *Procedia Computer Science,* 158, 819-825.

Suebpongsang, P., Ekasingh, B., & Cramb, R. (2020). Commercialization of Rice Farming in Northeast Thailand. In R. Cramb (Ed.), White Gold: The Commercialization of Rice Farming in the Lower Mekong Basin. *Springer Singapore* 39-68

Takodjou Wambo, J. D., Pour, A. B., Ganno, S., Asimow, P. D., Zoheir, B., Salles, R. d. R., Muslim, A. M. (2020). Identifying high potential zones of gold mineralization in a sub-tropical region eastern Cameroon. *Ore Geology Reviews*, 122, 103530.

Thuesombat, P., Hannongbua, S., Akasit, S., & Chadchawan, S. (2014). Effect of silver nanoparticles on rice (Oryza sativa L. cv. KDML 105) seed germination and seedling growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104, 302-309.

Timotiwu, P., & Dewi, M. (2014). The effect of silica and manganese application on rice growth and yield. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science* ,36 ,182-188.

Tseng, M.-L., Chiu, A. S. F., Liu, G., & Jantaralolica, T. (2020). Circular economy enables sustainable consumption and production in multi-level supply chain system.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Resources, *Conservation and Recycling*, 154, 104601.

Laohasiriwong, S., & Rambo, A. T. (2020). Naming, Classification, and management of paddy soils by Thai-Lao rice farmers in a village in Northeast Thailand. *Geoderma*, 369, 114332.

Zia-ur-Rehman, M., Murtaza, G., Qayyum, M. F., Saifullah, Rizwan, M., Ali, S., . . . Khalid, H. (2016). Degraded Soils: Origin, Types and Management. In K. R. Hakeem, J. Akhtar, & M. Sabir (Eds.), Soil Science: *Agricultural and Environmental Prospectives* 23-65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ก

**สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน**
2003/61 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทร 02-561-4179 อีเมล : osd_9@ldd.go.th



**เรื่อง** แจ้งผลการทดสอบดิน
**เรียน** นายวีระพล แก้วอินทร์

## รายงานผลการทดสอบ

**รายงานผลการทดสอบเลขที่:** 47 **เลขรับที่:** 64-1246
**เลขที่ปฏิบัติการ:** 6410116 **รหัสตัวอย่าง:** P64#0847
**ประเภทตัวอย่าง:** ดิน **วันที่รับตัวอย่าง:** 1 กันยายน พ.ศ. 2564
**รายละเอียดตัวอย่าง:** แปลงทำนา **วันที่ทดสอบ:** 23 กันยายน พ.ศ. 2564 ถึง 7 ธันวาคม พ.ศ. 2564
**ชื่อผู้ขอบริการ:** นายวีระพล แก้วอินทร์ **วันที่รายงานผล:** 7 ธันวาคม พ.ศ. 2564
**ที่อยู่ผู้รับผลวิเคราะห์:** 9 หมู่บ้าน บ้านหนองกุงทับม้า หมู่ที่ 1 ถนน วังสามหมอ- วาริชภูมิ ซอย - ต.หนองกุงทับม้า อ.วังสามหมอ จ.อุดรธานี 41280

| ผลวิเคราะห์ | จำนวน | หน่วย | ต่ำมาก | ต่ำ | ค่อนข้างต่ำ | ปานกลาง | ค่อนข้างสูง | สูง | สูงมาก |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.อินทรียวัตถุในดิน[1/] (OM) | 0.57 | % | ☐ | ☑ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| | | | **ต่ำมาก** | **ต่ำ** | **ปานกลาง** | **สูง** | **สูงมาก** | | |
| 2.ฟอสฟอรัส[2/] (P) | 6 | mg/kg | ☐ | ☑ | ☐ | ☐ | ☐ | | |
| 3.โพแทสเซียม[3/] (K) | 22 | mg/kg | ☑ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | | |
| 4.แคลเซียม[3/] (Ca) | 561 | mg/kg | ☐ | ☑ | ☐ | ☐ | ☐ | | |
| 5.แมกนีเซียม[3/] (Mg) | 57 | mg/kg | ☐ | ☑ | ☐ | ☐ | ☐ | | |
| | | | **กรดรุนแรง** | **กรดจัด** | **กรดเล็กน้อย** | **กลาง** | **ด่างเล็กน้อย** | **ด่างจัด** | |
| 6.ความเป็นกรด-ด่าง[4/] (pH) | 6.3 | | ☐ | ☐ | ☑ | ☐ | ☐ | ☐ | |
| | | | **ไม่เติม** | **เติมน้อยมาก** | **เติมปานกลาง** | **เติมจัด** | **เติมจัดมาก** | | |
| 7.ค่าการนำไฟฟ้า[5/] (EC) | 0.03 | dS/m | ☑ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | | |
| 8.เนื้อดิน[6/] | ดินร่วนปนทราย | | | | | | | | |

ข้อแนะนำการแก้ไข ปรับปรุงดิน ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก
การใส่ปูน:ปริมาณ "ความต้องการปูน"[7/] (Lime Requirement) ในการปรับสภาพความเป็นกรดในดิน = กก.$CaCO_3$ต่อไร่

| **ค่าแนะนำการใส่ปูน:**<br>**(ควรปรับสภาพดินด้วยปูน โดยเลือกชนิดของปูนอย่างใดอย่างหนึ่งตามที่แนะนำ)** | **ปูนขาว**<br>**กิโลกรัม/ไร่** | **ปูนมาร์ล**<br>**กิโลกรัม/ไร่** | **หินปูนบด**<br>**กิโลกรัม/ไร่** | **ปูนโดโลไมท์**<br>**กิโลกรัม/ไร่** |
|---|---|---|---|---|

| **พืชที่ปลูก** | **ปริมาณธาตุปุ๋ยที่ต้องการ**<br>**$N$-$P_2O_5$-$K_2O$** | **เท่ากับปุ๋ยสูตร**<br>**$N$-$P_2O_5$-$K_2O$** |
|---|---|---|
| ข้าวนาปี/ข้าวไวแสง | 9-3-6 กิโลกรัม/ไร่ | 1) 46-0-0 =17.01 กิโลกรัม/ไร่ 2) 18-46-0 =6.52 กิโลกรัม/ไร่ 3) 0-0-60 =10 กิโลกรัม/ไร่ |

หมายเหตุ: วิธีการทดสอบ [1/]Walkley and Black [2/]สกัดด้วย Bray II หรือ Oslen [3/]สกัดด้วย $NH_4OAc$ 1 N [4/] ASTM D4972-13 [5/]Soil Chemical Methods-Australasia, 2010 october, p.19-22 [6/]Hydrometer Method [7/]Woodrulf
เครื่องหมาย * หมายถึง พารามิเตอร์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025

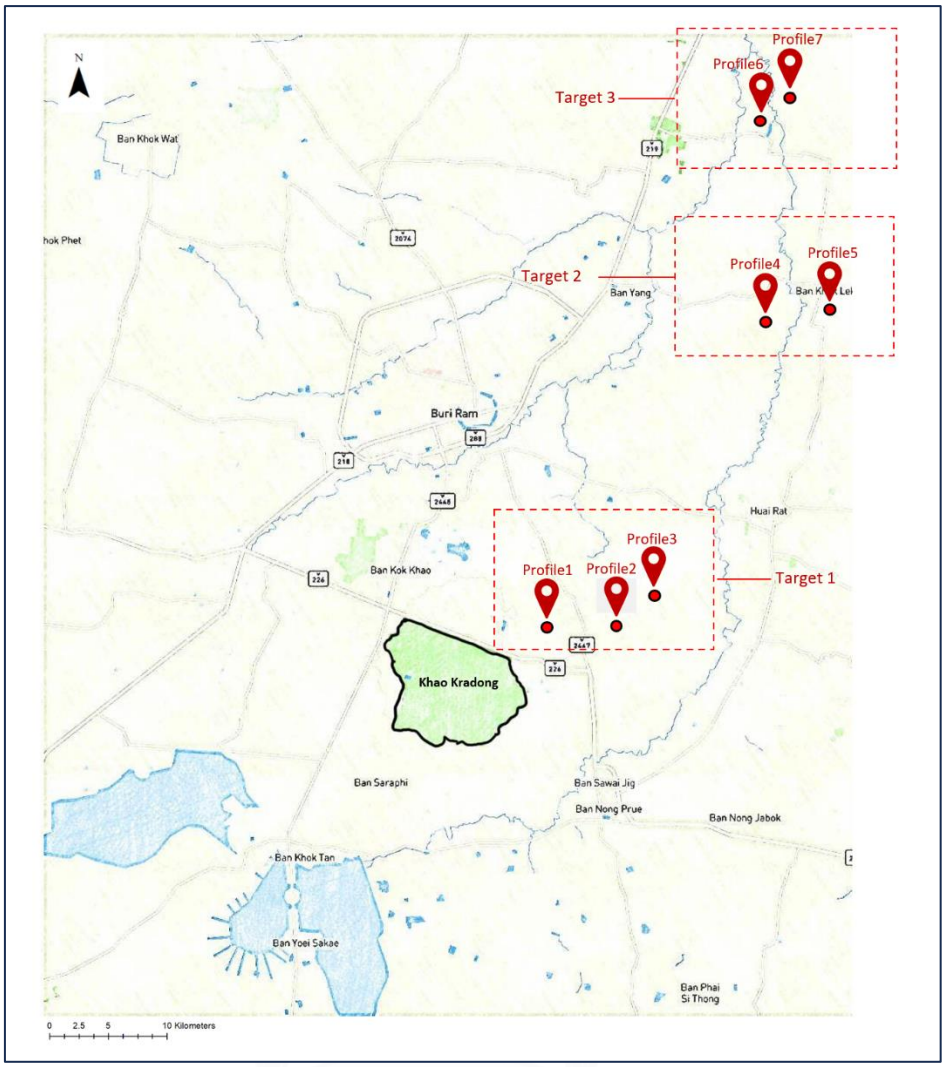
ลงชื่อ
( นางวัชราภรณ์ เบ้าไธสง )
เจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูล
7 ธันวาคม พ.ศ. 2564

ลงชื่อ
( นายรัตนชาติ ช่วยบุดดา )
ผู้เชี่ยวชาญด้านวิเคราะห์วิจัยดินทางเคมี
7 ธันวาคม พ.ศ. 2564

ห้ามคัดถ่ายใบรับรองหรือรายงานผลแต่เพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับอนุญาต
*รายงานนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ตรวจ วิเคราะห์ ทดสอบเท่านั้น*
End of report



รูปที่ ก-1 เอกสารอ้างอิงผลการวิเคราะห์ดินในพื้นที่ทดลอง ไร่แก้วอินทร์ จังหวัดอุดรธานี




รูปที่ ก-2 แผนที่แสดงพื้นที่เป้าหมายแหล่งบะซอลต์ที่มีศักยภาพ 3 พื้นที่เป้าหมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ก-1 Coordinate จุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่เป้าหมาย

| พื้นที่เป้าหมายที่ 1 | Coordinate | | |
|---|---|---|---|
| Profile 1 | 0300259E | 1652017N | Zone 48 P |
| Profile 2 | 0300573E | 1651987N | Zone 48 P |
| Profile 3 | 0300013E | 1651780N | Zone 48 P |

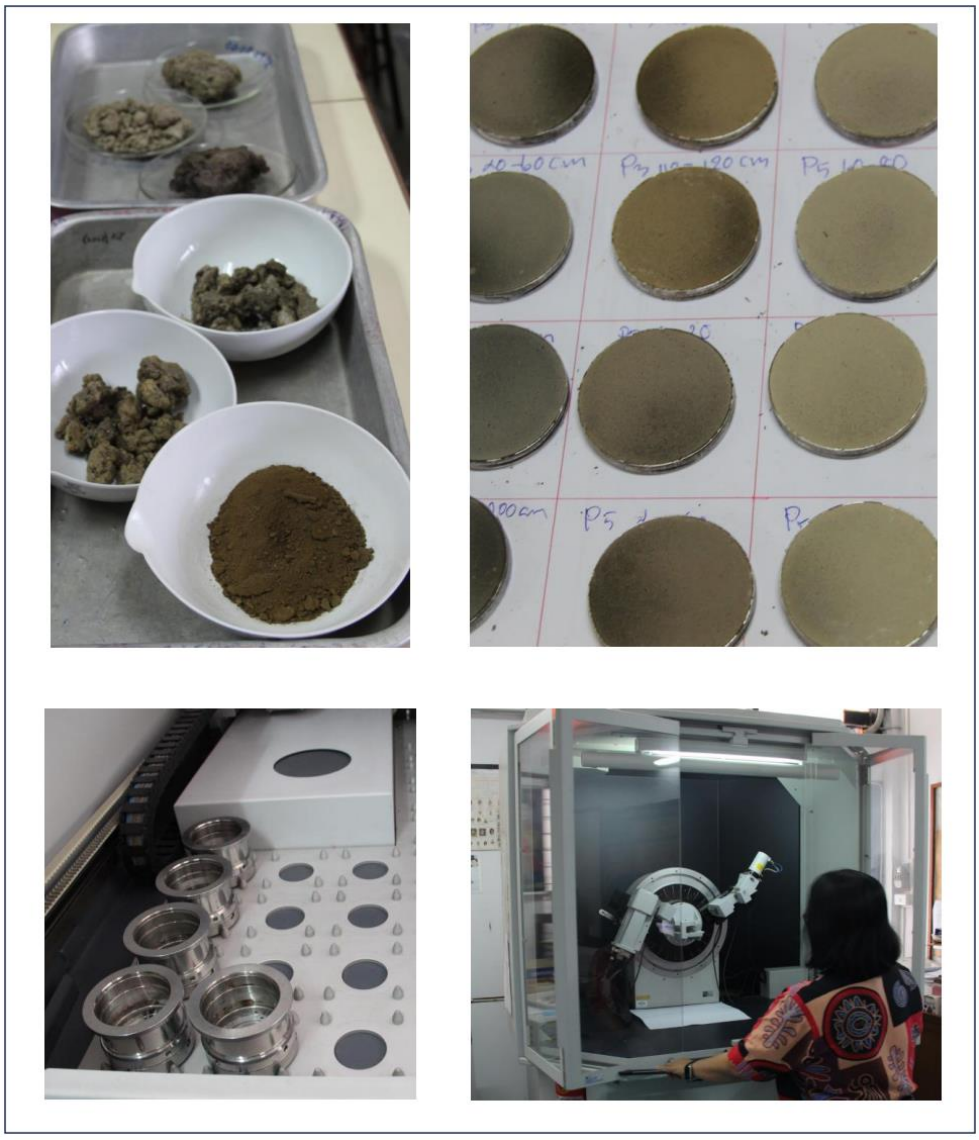
ตารางที่ ก-1 Coordinate จุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่เป้าหมายที่ 1

| พื้นที่เป้าหมายที่ 2 | Coordinate | | |
|---|---|---|---|
| Profile 4 | 0302967E | 1655620N | Zone 48 P |
| Profile 5 | 0300089E | 1655726N | Zone 48 P |

ตารางที่ ก-2 Coordinate จุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่เป้าหมายที่ 2

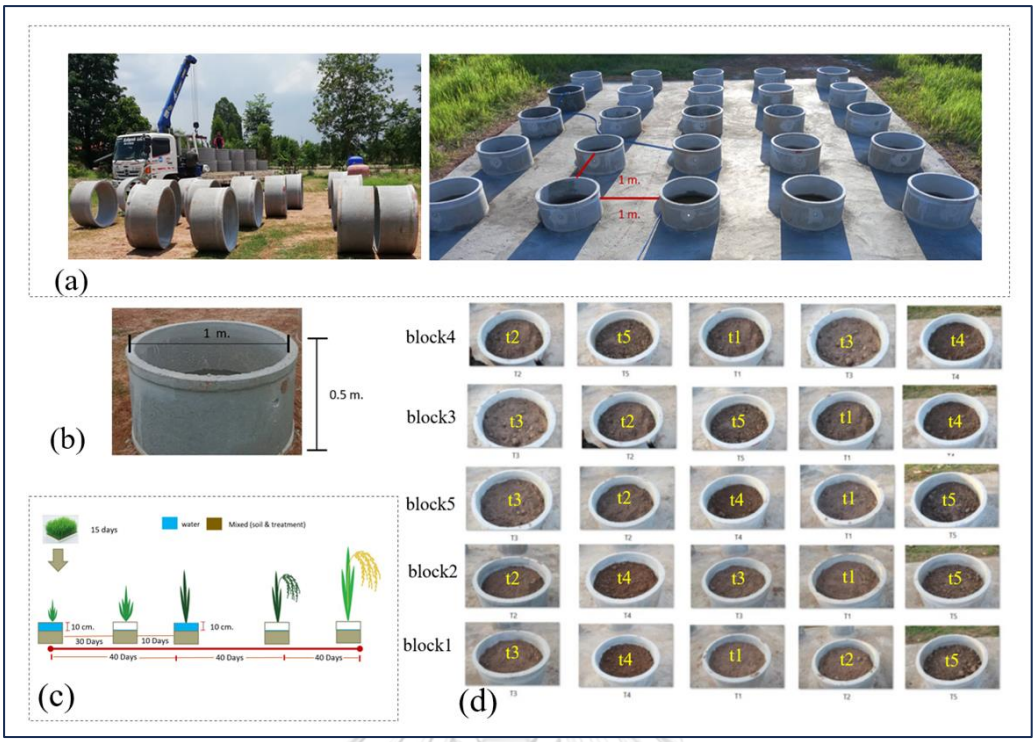
| พื้นที่เป้าหมายที่ 3 | Coordinate | | |
|---|---|---|---|
| Profile 6 | 0302967E | 1655620N | Zone 48 P |
| Profile 7 | 0300089E | 1655726N | Zone 48 P |

รูปที่ ก-3 การเก็บตัวอย่างบะซอลต์ผุ วันที่ 2-6 พฤษภาคม 2565 จังหวัดบุรีรัมย์



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ก-4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ XRF และ XRD




รูปที่ ก-5 (a)-(d) การเตรียมหน่วยทดลองแบบ RCBD เพื่อการทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105

รูปที่ ก-6 การทดลองปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในพื้นที่ทดลอง

nfi
national food institute
ministry of industry

สถาบันอาหาร
กระทรวงอุตสาหกรรม
Foundation for Industrial Development National Food Institute
Food Industrial Laboratory Service Center

**รายงานผลการตรวจวิเคราะห์**

**เลขที่ใบรายงานผล:** NE2300027-001
**เลขที่ใบคำขอรับบริการ :** NE2300027
**วันที่รับตัวอย่าง :** 16 มีนาคม 2566
**วันที่ตรวจวิเคราะห์ :** 20-24 มีนาคม 2566
**ชื่อ-ที่อยู่ผู้ส่งตรวจ :** สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เลขที่ 254 อาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ชั้น 15 (จามจุรี 10) ถนนพญาไท
แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม.
**รายการวิเคราะห์ :** การตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสาร 2AP
**วิธีวิเคราะห์ :** In-house method based on JARQ 38(2), 105-109 (2004) by HS-GC/MS
**ผลการตรวจวิเคราะห์ :**

| หมายเลขปฏิบัติการ | รายละเอียดตัวอย่าง | ผลการตรวจวิเคราะห์ | Units | LOD | LOQ |
|---|---|---|---|---|---|
| NE2300027-001 | K1-t1 | 0.66 | mg/kg | 0.05 | 0.10 |

**หมายเหตุ:** ND = Not Detected
LOD = Limit of Detection
LOQ = Limit of Quantitation

ผู้วิเคราะห์
(นางสาววารีดา กรีมี)
นักวิจัย
กลุ่มประเมินความปลอดภัยและสารสกัด

ผู้รับรองรายงานผล
(นางสาวนฤมล คงทน)
ผู้จัดการ
กลุ่มประเมินความปลอดภัยและสารสกัด
27 มีนาคม 2566

หน้า 1/1

รายงานฉบับนี้รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทดสอบเท่านั้น
ห้ามคัดถ่ายรายงานผลการทดสอบแต่เพียงบางส่วนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันอาหาร

2008 ซอยอรุณอมรินทร์ 36 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร 10700
2008 Soi 36, Arun Amarin Road, Bang Yi Khan Subdistrict, Bang Phlat District, Bangkok 10700, Thailand
Tel +66(0) 2422 8688 Fax +66(0) 2422 8545

รูปที่ ก-7 ตัวอย่างเอกสารการวิเคราะห์ความหอม (2-AP) จากสถาบันอาหาร

**ภาคผนวก ข**

ตัวอย่างตารางแสดงข้อควรพิจารณาเกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิสัยทัศน์กลยุทธ์หรือวัตถุประสงค์ ด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน

| ข้อควรพิจารณา / ประเด็น | ด้านเศรษฐกิจ | ด้านเทคนิค | ด้านนโยบายและข้อบังคับ | ด้านพฤติกรรม | ด้านองค์กร |
|---|---|---|---|---|---|
| การบัญชีและการเงิน (7.2) | √ | | √ | | √ |
| กฎหมายต่อต้านการผูกขาดและการแข่งขันทางการค้า (7.3) | √ | | √ | √ | √ |
| การบริหารการเปลี่ยนแปลง (7.4) | | | | √ | √ |
| สารเคมี (7.5) | √ | √ | √ | | |
| พลังงานและเชื้อเพลิง (7.6) | √ | √ | √ | √ | |
| การจัดการข้อมูล (7.7) | √ | √ | √ | √ | √ |
| ความรับผิดทางแพ่งและการประกันภัย(7.8) | √ | | √ | | √ |
| โลจิสติกส์และโลจิสติกส์ย้อนกลับ (7.9) | √ | √ | √ | | √ |
| การตลาด (7.10) | √ | √ | √ | √ | √ |
| ตลาดวัสดุ (7.11) | √ | √ | √ | √ | |
| การเลือกใช้วัสดุ (7.12) | √ | √ | √ | | √ |
| การเฝ้าติดตามและการวัด (7.13) | √ | √ | √ | | √ |
| การจัดซื้อและการจัดการสัญญา (7.14) | √ | √ | √ | √ | √ |
| การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (7.15) | √ | √ | √ | √ | √ |
| กฎระเบียบของเสีย (7.16) | √ | √ | √ | √ | √ |

*ตัวอย่างตารางความสัมพันธ์เพื่อช่วยให้องค์กรระบุประเด็นที่สำคัญและข้อควรพิจารณา

รูปที่ ข-1 ตัวอย่างข้อควรพิจารณาเกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิสัยทัศน์กลยุทธ์หรือวัตถุประสงค์ด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ตัวอย่างเอกสารเกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิสัยทัศน์
# กลยุทธ์หรือวัตถุประสงค์ ด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน

## ตัวอย่างเอกสารการประเมินงานตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

| หลักการ | Level of Maturity (ระดับการพัฒนา) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Unformed (>2/3 of responses = not considered) ขั้นเริ่มต้น | Basic (>1/3 to ⅔ of responses = Partly considered) ขั้นพื้นฐาน | Improving (>1/2 of responses = Partly considered) ขั้นพัฒนา | Engaged (≥ ⅔ to 2/3 of responses = Fully considered) ขั้นการมีส่วนร่วม | Optimizing (>2/3 of responses = Fully considered) ขั้นสมบูรณ์ |
| 1. การคิดเชิงระบบ (Systems thinking) | ไม่มีหลักฐานที่แสดงถึงการคิดเชิงระบบภายในองค์กร | องค์กรเริ่มนำกระบวนการคิดเชิงระบบมาประยุกต์ใช้ในการจัดการทรัพยากร | วิสัยทัศน์ขององค์กร สำหรับการดำเนินการเรื่องเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างน้อยที่สุดต้องมีเรื่องของการพัฒนา โดยที่ผู้บริหารระดับสูงยอมรับ และมีแนวคิดว่าการจัดการทรัพยากรนั้นเกี่ยวข้องกับห่วงโซ่คุณค่าหรือระบบในวงกว้าง | กระบวนการคิดเชิงระบบได้รับการยอมรับให้ เป็นกุญแจสำคัญในการสำรวจความคิดเห็นที่แตกต่าง การเชื่อมโยงเหตุและผล รวมถึงสะท้อนไปยังวิสัยทัศน์ กลยุทธ์และวัตถุประสงค์ ในการดำเนินการเรื่องเศรษฐกิจหมุนเวียน | องค์กรสามารถแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์การใช้การคิดเชิงระบบในการดำเนินการ การตัดสินใจต่างๆ รวมถึงการลงทุนในระยะยาวอย่างสม่ำเสมอ (ตัวอย่างเช่น การฝึกอบรมพนักงาน การวัดผลลัพธ์ที่ชัดเจน) |
| 2. นวัตกรรม (Innovation) | นวัตกรรมภายในองค์กรมีจำกัด และกระจัดกระจาย และมีความสัมพันธ์กับองค์กรภายนอกเพียงเล็กน้อย | องค์กรเริ่มตระหนักถึง โอกาสของการใช้นวัตกรรมด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน และสร้างความเชื่อมโยงไปสู่ความต้องการของลูกค้า และกลยุทธ์ทางธุรกิจในอนาคต | ผู้บริหารระดับสูงมุ่งเน้นในเรื่องนวัตกรรม และองค์กรเริ่มตระหนักถึงการบูรณาการความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย และนำมาพัฒนาการดำเนินการเรื่องเศรษฐกิจหมุนเวียน | วางรากฐานนวัตกรรมของเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กร และมีโครงสร้างที่ให้ความมั่นใจว่าโซ่คุณค่าถูกรวมอยู่ในระบบการกำกับดูแลด้านนวัตกรรม (ตัวอย่างเช่น ทรัพย์สินทางปัญญา/ผลทางกฎหมาย/ การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น) | องค์กรสามารถแสดงให้เห็นถึงการส่งเสริมการสร้างวัฒนธรรมเรื่องนวัตกรรมในองค์กร เพื่อสร้างคุณค่าทางธุรกิจ ผ่านการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืนในผลิตภัณฑ์และบริการ ซึ่งอย่างน้อยที่สุดต้องเริ่มมีรูปแบบธุรกิจด้านนวัตกรรม |

| หลักการ | Level of Maturity (ระดับการพัฒนา) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Unformed (>2/3 of responses = not considered) ขั้นเริ่มต้น | Basic (>1/3 to ⅔ of responses = Partly considered) ขั้นพื้นฐาน | Improving (>1/2 of responses = Partly considered) ขั้นพัฒนา | Engaged (≥ ⅔ to 2/3 of responses = Fully considered) ขั้นการมีส่วนร่วม | Optimizing (>2/3 of responses = Fully considered) ขั้นสมบูรณ์ |
| 3. การดูแลรับผิดชอบ (Stewardship) | องค์กรมุ่งเน้นไปที่การให้รายละเอียดในการสร้างความสัมพันธ์ต่อสาธารณชน/ การตลาด และ/หรือกฎระเบียบข้อบังคับแต่ไม่ได้มุ่งเน้นทางด้านเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างจริงจัง (ตัวอย่างเช่น การปฏิบัติตามกฎระเบียบเรื่องการจัดการขยะ และการสร้างความมั่นใจว่ามีสัญญาการรีไซเคิล และการกำจัด) | มีการพัฒนา ปรับปรุงการให้ความรู้ และความเข้าใจขององค์กรทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากร | ความเสี่ยงและโอกาส ในด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม บางส่วนมีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากร และถูกนำไปใช้ในการตัดสินใจและดำเนินการ ทั้งนี้การจัดการในบางส่วนยังมีบางประเด็นที่เกินการควบคุมโดยตรงขององค์กร | ความเสี่ยงและโอกาสในด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม มีความเกี่ยวข้องกับการจัดการทรัพยากร ตลอดโซ่คุณค่า ซึ่งองค์กรได้รับรู้และทำความเข้าใจแล้ว ประเด็นสำคัญคือถูกนำมาเป็นปัจจัยในการตัดสินใจ และดำเนินการในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจหมุนเวียน | องค์กรสามารถแสดงให้เห็นถึงความกระทือรือร้นในการจัดการผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม จากการตัดสินใจและการดำเนินการต่างๆ ตลอดโซ่คุณค่า ซึ่งอาจรวมถึงการมีส่วนร่วมในภาคอุตสาหกรรมอย่างจริงจังรวมถึงสนับสนุนผู้มีส่วนได้เสียทุกกลุ่ม และ/หรือให้ความร่วมมือในการแก้ปัญหาประเด็นต่างๆอย่างเป็นระบบ |

| หลักการ | Level of Maturity (ระดับการพัฒนา) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Unformed (>2/3 of responses = not considered) ขั้นเริ่มต้น | Basic (>1/3 to ⅓ of responses = Partly considered) ขั้นพื้นฐาน | Improving (>1/2 of responses = Partly considered) ขั้นพัฒนา | Engaged (≥ ⅓ to 2/3 of responses = Fully considered) ขั้นการมีส่วนร่วม | Optimizing (>2/3 of responses = Fully considered) ขั้นสมบูรณ์ |
| 4. ความร่วมมือ (Collaboration) | มีประสบการณ์ในด้านความร่วมมือภายในองค์กรอย่างจำกัด โดยเฉพาะในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับความร่วมมือทางด้านการจัดการทรัพยากรซึ่งมุ่งเน้นไปยังคู่ค้า และข้อมูลพื้นฐานในประเภทของวัตถุดิบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์และบริการ | การหาความร่วมมือกับภาคส่วนต่างๆในเรื่องเศรษฐกิจหมุนเวียน มีการนำมาพิจารณาเพียงบางส่วน ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะจำกัดแค่เพียงคู่ค้าลูกค้า และกลุ่มอื่นๆ | องค์กรมีองค์ประกอบสำคัญทั้งหมดในการสร้างความร่วมมือเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานตามแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน แต่ประยุกต์ใช้เพียงบางส่วนทั้งผู้มีส่วนได้เสียภายใน และภาคส่วนอื่นๆ ในโซ่คุณค่า | ความร่วมมือในเรื่องเศรษฐกิจหมุนเวียน ถูกดำเนินการ และความกระตือรือร้นในการร่วมมือนี้สามารถระบุได้และรับทราบกันทั่วทั้งองค์กร | องค์กรสามารถแสดงให้เห็นถึงการส่งเสริมวัฒนธรรมให้เกิดความร่วมมือทั้งภายในและภายนอก ผ่านวิสัยทัศน์ กลยุทธ์ และวัตถุประสงค์ในการดำเนินการเรื่องเศรษฐกิจหมุนเวียน รวมถึงมีกระบวนการในการระบุคู่ค้าการรักษาความสัมพันธ์ รวมไปถึงประเมินพฤติกรรมของผู้เกี่ยวข้องเหล่านั้น |
| 5. การสร้างคุณค่าอย่างสมดุล (Value optimization) | การสร้างคุณค่าและการปรับค่าให้เหมาะสมมีเพียงการมุ่งเน้นเฉพาะผลประโยชน์ด้านการเงิน ซึ่งอาจไม่มีหรืออาจมีการพิจารณาถึงการจัดการทรัพยากรที่เหมาะสมในระยะยาวเพียงเล็กน้อย | การจัดการการใช้ทรัพยากร ของผลิตภัณฑ์และบริการขององค์กรได้ถูกพิจารณาในบางส่วน ซึ่งจะมุ่งเน้นค่าที่เกี่ยวข้องกับผู้บริโภคขั้นสุดท้าย(การรีไซเคิล) และลดของเสีย | หลายหน่วยงานภายในองค์กรตระหนักถึงคุณค่าที่เหมาะสม ในหลากหลายกิจกรรม เช่น การออกแบบ, การผลิต การใช้งาน และการจัดการหลังการใช้งาน | องค์กรมีวิธีการในการหาคุณค่าที่เหมาะสม การพิจารณาประกอบไปด้วย การสร้างคุณค่าไปยังภาคส่วนต่างๆ ผ่านการจัดการทรัพยากรอย่างเป็นระบบ | องค์กรสามารถแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบและวัตถุดิบต่างๆ ถูกรักษาคุณค่าสูงที่สุด และสร้างประโยชน์ได้ตลอดเวลา |

| หลักการ | Level of Maturity (ระดับการพัฒนา) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Unformed (>2/3 of responses = not considered) ขั้นเริ่มต้น | Basic (>1/3 to ⅓ of responses = Partly considered) ขั้นพื้นฐาน | Improving (>1/2 of responses = Partly considered) ขั้นพัฒนา | Engaged (≥ ⅓ to 2/3 of responses = Fully considered) ขั้นการมีส่วนร่วม | Optimizing (>2/3 of responses = Fully considered) ขั้นสมบูรณ์ |
| 6. ความโปร่งใส (Transparency) | ความรู้และความเข้าใจขององค์กรในเรื่องการจัดการทรัพยากรมีจำกัด และยังไม่มีการเผยแพร่ในวงกว้างทั้งภายในและภายนอก | ข้อมูลสำคัญในการจัดการทรัพยากร เกี่ยวข้องกับประเด็นในความเข้าใจของโซ่คุณค่า และการให้ข้อมูลพื้นฐานในการรีไซเคิลของวัตถุดิบบางอย่างกับลูกค้า | มีความตระหนักในความโปร่งใสที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการหมุนเวียนขององค์กร ซึ่งรวมถึงผู้บริหารระดับสูงด้วย อย่างไรก็ตาม การทำกิจกรรมมีแนวโน้มเป็นเชิงรับมากกว่าเชิงรุก | วางแผนการเปิดเผยข้อมูลวัตถุดิบ การจัดการทรัพยากร และกิจกรรมเศรษฐกิจหมุนเวียน ทั้งองค์กรด้วยการกำกับดูแลของผู้บริหารระดับสูง ในด้านการให้ข้อมูลลูกค้ามีการจัดการตามความหมาะสม | องค์กรมีการแสดงให้เห็นว่ามีความโปร่งใสในทุกประเด็น ทั้งในส่วนของการรวบรวมข้อมูล การชี้เฉพาะข้อมูลของพันธมิตรตั้งแต่ต้นน้ำ และส่งเสริมการให้คำแนะนำไปยังปลายน้ำ เกี่ยวกับวิธีการในการรักษาคุณค่าไปถึงผู้ใช้งานขั้นสุดท้าย |

ตัวอย่างเอกสารกลยุทธ์ที่มีศักยภาพในการออกแบบการหมุนเวียน
และรายการตรวจสอบที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ ข-2 ตัวอย่างเอกสารการประเมินงานตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ประเด็นการออกแบบที่ควรมุ่งเน้น | กลยุทธ์ที่มีศักยภาพในการออกแบบ |
|---|---|
| แนวคิดใหม่ แนวทางดำเนินการ คุณค่าของผลิตภัณฑ์ การพัฒนารูปแบบธุรกิจ | การพิจารณาแง่มุมเพิ่มเติมต่างๆ ในขั้นเริ่มต้นของการออกแบบผลิตภัณฑ์หมุนเวียน ควรต้องให้ความสำคัญกับการบ่งชี้ การทำความเข้าใจ และการกำหนดรายละเอียดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งรูปแบบของระบบที่จะดำเนินการเพื่อรองรับการออกแบบดังกล่าว ซึ่งอาจรวมถึงการเลือกที่จะไม่ใช้แนวทางการดำเนินการทั่วไปหรือที่ปฏิบัติเป็นปกติในปัจจุบัน แต่ค้นคว้าหาวิธีการ แนวทาง หรือรูปแบบธุรกิจที่เป็นทางเลือกใหม่ ในขั้นตอนนี้ควรนำคุณค่า ภารกิจ วิสัยทัศน์ และแบรนด์ขององค์กรมาพิจารณาด้วย เพื่อให้สอดคล้องและเป็นไปตามเป้าหมายสู่ความสำเร็จขององค์กร |
| ระบบของผลิตภัณฑ์และบริการ | การออกแบบการหมุนเวียนควรพิจารณาแบบองค์รวม โดยคำนึงถึงบทบาทของผลิตภัณฑ์ บริการ และระบบต่างๆ ที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการนั้นเข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้อง ตัวอย่างกลยุทธ์การออกแบบ เช่น ออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการใช้งานนาน สามารถใช้งานร่วมกันได้ ให้เช่า ซ่อมแซม ผลิตใหม่ หรือปรับปรุงใหม่ได้ เป็นต้น<br><br>การออกแบบผลิตภัณฑ์ควรพิจารณารูปแบบวัฏจักรชีวิตแบบต่างๆ และกำหนดกลยุทธ์ของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มมีการใช้งานครั้งแรกและเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งานว่า ควรดำเนินการอย่างไร นอกจากนี้ บทบาทของผู้บริโภคก็เป็นสิ่งสำคัญที่ควรต้องคำนึงถึงและนำมาพิจารณา เช่น การพิจารณาพฤติกรรมที่เกี่ยวข้อง การมีปฏิสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์หรือบริการ ซึ่งอาจจำเป็นและมีผลต่อความสำเร็จของรูปแบบธุรกิจ เป็นต้น |
| ผลิตภัณฑ์และชิ้นส่วน/ส่วนประกอบ (รวมถึงบรรจุภัณฑ์) | กลยุทธ์การออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่มีอยู่เดิมสามารถนำมาใช้ในประเด็นนี้ได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการลดการใช้วัสดุ การทำให้วัสดุมีน้ำหนักเบาเพื่อลดการใช้พลังงาน การลดการใช้พลังงานด้วยการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การเลือกใช้วัสดุเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบการหมุนเวียน โดยต้องคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของวัสดุดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้วัสดุใดไม่มีคำตอบตายตัวขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี โดยให้พิจารณาผลิตภัณฑ์และระบบที่วัสดุจะถูกใช้เป็นส่วนประกอบในนั้น ยกตัวอย่างเช่น ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคงทน การเลือกใช้วัสดุเกรดสูงอาจเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด หรือถ้าผลิตภัณฑ์นั้นมีวิธีการซ่อมแซมแก้ไขเฉพาะเป็นพิเศษ อาจไม่จำเป็นต้องเน้นการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถถอดประกอบหรือรีไซเคิลได้ง่ายที่สุด |
| โซ่อุปทาน ซึ่งครอบคลุมการผลิตและการกระจายผลิตภัณฑ์ | การออกแบบผลิตภัณฑ์ควรคำนึงถึงบริการ วิธีการผลิต ที่ตั้ง และโซ่อุปทาน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดหรือกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตและกระจายผลิตภัณฑ์ (เช่น พลังงาน น้ำ วัสดุที่ใช้) นอกจากนี้ ควรคำนึงถึงประเด็นเรื่องความรับผิดชอบต่อสังคมและจริยธรรม และความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นตลอดทั้งโซ่อุปทานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนั้น |

## ตัวอย่างตาราง รายการตรวจสอบปลายเปิด
## สำหรับแนวทางพัฒนาการออกแบบตามหัวข้อหรือด้านที่มุ่งเน้น

| ประเด็นการออกแบบที่ควรมุ่งเน้น | รายการตรวจสอบปลายเปิด เพื่อพัฒนาการออกแบบ | ใช่ / ไม่ใช่ |
|---|---|---|
| แนวคิดใหม่ แนวทางดำเนินการ คุณค่าของผลิตภัณฑ์ การพัฒนารูปแบบธุรกิจ | มีการพัฒนาหรือเสนอคุณค่าของผลิตภัณฑ์/รูปแบบธุรกิจที่เป็นทางเลือกใหม่ | |
| | มีการบ่งชี้และระบุทางเลือกในการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหา สาเหตุของปัญหา และระบบ โดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ | |
| | มีการพิจารณาโอกาสของผลิตภัณฑ์และบริการ ภายใต้บริบทของแบรนด์ วิสัยทัศน์ ภารกิจ และคุณค่าขององค์กร | |
| ระบบของผลิตภัณฑ์และบริการ | มีการทำให้ง่ายต่อการใช้ซ้ำ การถอดประกอบ และการรีไซเคิล อย่างเหมาะสม | |
| | มีการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการใช้งานอย่างเหมาะสม โดยการออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง ซ่อมแซม และยกระดับผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการใช้งานอย่างเหมาะสม โดยการออกแบบให้ทนทานและมีความเชื่อถือได้ | |
| | มีการพิจารณาใช้โครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ชิ้นส่วนประกอบมาตรฐาน | |
| | มีการพิจารณาการเปิดเผยแบบผลิตภัณฑ์ และการเพิ่มความโปร่งใสในการออกแบบ | |
| | มีการส่งเสริมความรู้สึกยึดมั่นในผลิตภัณฑ์ หรือ การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้ทุกยุคสมัย | |
| | มีการพิจารณาการส่งเสริมแนวคิดการลดความต้องการในการครอบครองและบริโภคผลิตภัณฑ์ เช่น การแบ่งปันการใช้ผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการลดผลกระทบของการใช้ผลิตภัณฑ์ ด้านพลังงาน น้ำ และลดการใช้ผลิตภัณฑ์สิ้นเปลือง | |
| | มีการพิจารณากลยุทธ์เมื่อผลิตภัณฑ์หมดอายุการใช้งาน เช่น การใช้ซ้ำ การผลิตใหม่การปรับปรุงใหม่ การแปรใช้วัสดุใหม่ การแปรของเสียเป็นพลังงาน | |
| | มีการลดพลังงานที่ใช้ในการถอดประกอบและการรีไซเคิล | |

| ประเด็นการออกแบบที่ควรมุ่งเน้น | รายการตรวจสอบปลายเปิด เพื่อพัฒนาการออกแบบ | ใช่ / ไม่ใช่ |
|---|---|---|
| แนวคิดใหม่ แนวทางดำเนินการ คุณค่าของผลิตภัณฑ์<br>การพัฒนารูปแบบธุรกิจ | มีการพัฒนาหรือเสนอคุณค่าของผลิตภัณฑ์/รูปแบบธุรกิจที่เป็นทางเลือกใหม่ | |
| | มีการบ่งชี้และระบุทางเลือกในการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหา สาเหตุของปัญหา และระบบ โดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือบริการ | |
| | มีการพิจารณาโอกาสของผลิตภัณฑ์และบริการ ภายใต้บริบทของแบรนด์ วิสัยทัศน์ ภารกิจ และคุณค่าขององค์กร | |
| ระบบของผลิตภัณฑ์และบริการ | มีการทำให้ง่ายต่อการใช้ซ้ำ การถอดประกอบ และการรีไซเคิล อย่างเหมาะสม | |
| | มีการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการใช้งานอย่างเหมาะสม โดยการออกแบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง ซ่อมแซม และยกระดับผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการใช้งานอย่างเหมาะสม โดยการออกแบบให้ทนทานและมีความเชื่อถือได้ | |
| | มีการพิจารณาใช้โครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ชิ้นส่วนประกอบมาตรฐาน | |
| | มีการพิจารณาการเปิดเผยแบบผลิตภัณฑ์ และการเพิ่มความโปร่งใสในการออกแบบ | |
| | มีการส่งเสริมความรู้สึกยึดมั่นในผลิตภัณฑ์ หรือ การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้ทุกยุคสมัย | |
| | มีการพิจารณาการส่งเสริมแนวคิดการลดความต้องการในการครอบครองและบริโภคผลิตภัณฑ์ เช่น การแบ่งปันการใช้ผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการลดผลกระทบของการใช้ผลิตภัณฑ์ ด้านพลังงาน น้ำ และลดการใช้ผลิตภัณฑ์สิ้นเปลือง | |
| | มีการพิจารณากลยุทธ์เมื่อผลิตภัณฑ์หมดอายุการใช้งาน เช่น การใช้ซ้ำ การผลิตใหม่การปรับปรุงใหม่ การแปรใช้วัสดุใหม่ การแปรของเสียเป็นพลังงาน | |
| | มีการลดพลังงานที่ใช้ในการถอดประกอบและการรีไซเคิล | |

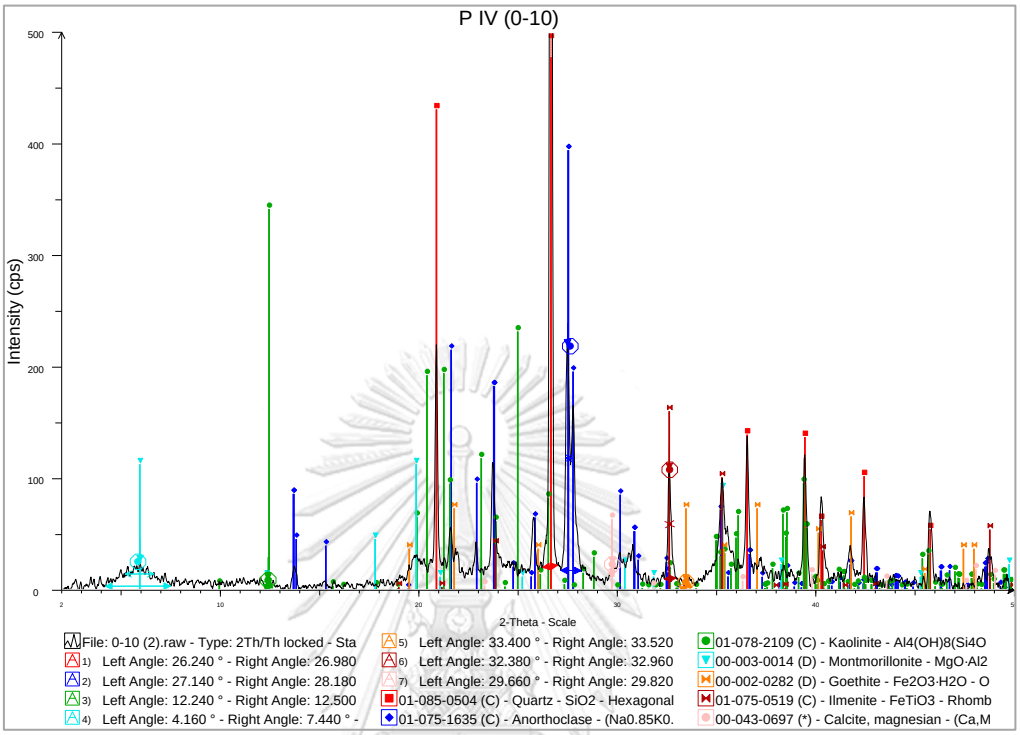
| ประเด็นการออกแบบที่ควรมุ่งเน้น | รายการตรวจสอบปลายเปิด เพื่อพัฒนาการออกแบบ | ใช่ / ไม่ใช่ |
|---|---|---|
| ผลิตภัณฑ์และชิ้นส่วน/ส่วนประกอบ (รวมถึงบรรจุภัณฑ์) | มีการทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาด น้ำหนัก และปริมาตร อย่างเหมาะสม | |
| | มีการหลีกเลี่ยงการออกแบบที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ซ้ำและการรีไซเคิล เช่น การใช้วัสดุประกอบหรือวัสดุผสม | |
| | มีการเลือกใช้วัสดุที่สร้างผลกระทบน้อย โดยคำนึงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมความยั่งยืน ความสามารถในการหมุนเวียน การใช้พลังงานน้อย ปริมาณการใช้วัสดุที่แปรใช้ใหม่ได้ ความสามารถในการรีไซเคิล | |
| | มีการจำกัดการใช้สารที่เป็นหรืออาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ หรือ สิ่งแวดล้อม ซึ่งมีโอกาสรั่วไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมระหว่างการใช้ | |
| | มีการลดการใช้วัสดุที่มีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนสูง | |
| | มีการลดจำนวนส่วนประกอบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการเพิ่มปริมาณการใช้ชิ้นส่วนที่ใช้แล้วในผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการพิจารณาในหัวข้อต่างๆที่กล่าวมาในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ รวมทั้งคำนึงถึงการกระจายผลิตภัณฑ์ | |
| โซ่อุปทาน ซึ่งครอบคลุมการผลิตและการกระจายสินค้า | มีการทำให้เกิดประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสมในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการลดการใช้พลังงาน | |
| | มีการลดการใช้น้ำ | |
| | มีการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิต | |
| | มีการใช้วัสดุที่ได้จากการเรียกคืนหรือการนำของเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตมาแปรใช้ใหม่ | |
| | มีการลดการปลดปล่อยมลพิษสู่อากาศ น้ำ และดิน ตลอดช่วงของการผลิตผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการออกแบบรูปร่างและปริมาตรผลิตภัณฑ์อย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความหนาแน่นของการบรรจุผลิตภัณฑ์ | |
| | มีการขนส่งและกระจายสินค้า โดยคำนึงถึงการใช้น้ำมันหรือพลังงาน รวมถึงมลพิษที่ปลดปล่อย อย่างเหมาะสม | |

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ข-3 ตัวอย่างตาราง รายการตรวจสอบปลายเปิด
สำหรับแนวทางพัฒนาการออกแบบตามหัวข้อหรือ ด้านที่มุ่งเน้น

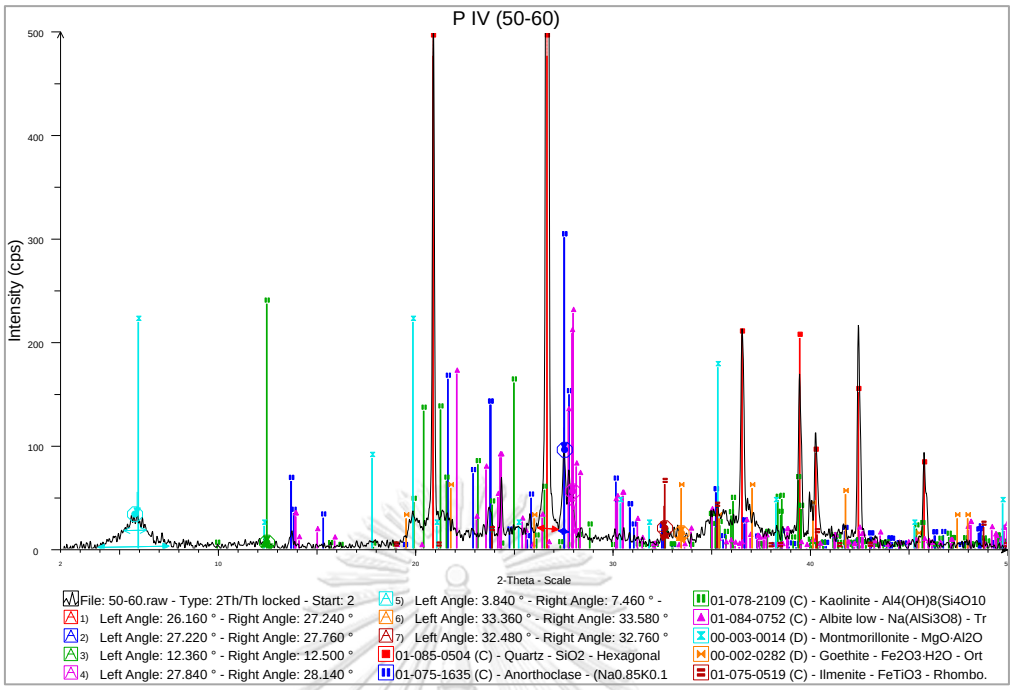
# ภาคผนวก ค

## การแสดงผลการวิเคราะห์ XRD



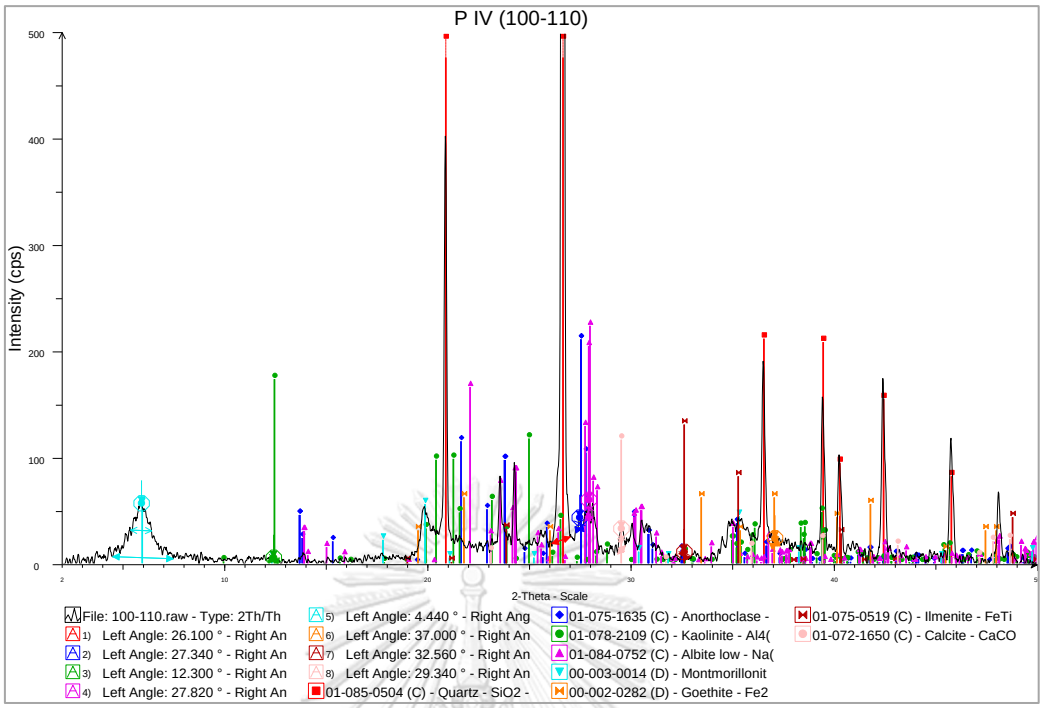

| Left Angle | ght Angle | let Height | Raw Area | Net Area | %minerals | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2-Theta ° | 2-Theta ° | Cps | Cps x 2-Theta ° | Cps x 2-Theta ° | | |
| 26.24 | 26.98 | 1120 | 191.6 | 176.5 | 56.84 | Quartz |
| 27.14 | 28.18 | 202 | 98.15 | 80.61 | 25.96 | Anorthoclase |
| 12.24 | 12.5 | 5.32 | 1.481 | 0.744 | 0.24 | Kaolinite |
| 4.16 | 7.44 | 21.9 | 40.56 | 31.69 | 10.21 | Montmorillonite |
| 33.4 | 33.52 | 4.16 | 0.477 | 0.253 | 0.08 | Goethite |
| 32.38 | 32.96 | 98 | 25.62 | 20.11 | 6.48 | Illmenite |
| 29.66 | 29.82 | 6.63 | 2.974 | 0.594 | 0.19 | Calcite, magnesian |
| | | | | 310.501 | 100.00 | |

รูปที่ ค-1 ผลการวิเคราะห์ XRD ในระดับความลึกที่ 0-10 ซม.



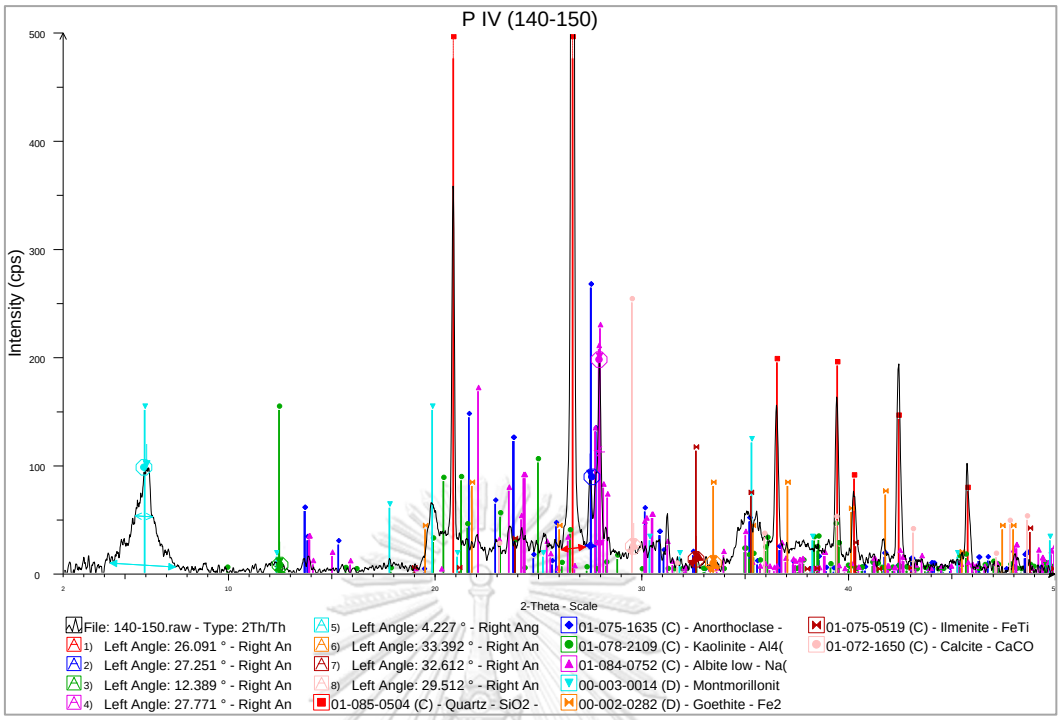

| | *Left Angle* | *Right Angle* | *Net Height* | *Raw Area* | *Net Area* | *%minerals* | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *2-Theta °* | *2-Theta °* | *Cps* | *ps x 2-Theta* | *Cps x 2-Theta °* | | |
| | 26.16 | 27.24 | 1911 | 312.4 | 291.4 | 80.64 | Quartz |
| | 27.22 | 27.76 | 79.2 | 30.02 | 21.59 | 5.97 | Anorthoclase |
| | 12.36 | 12.5 | 3.51 | 0.582 | 0.244 | 0.07 | Kaolinite |
| | 27.84 | 28.14 | 19.4 | 12.25 | 2.554 | 0.71 | Albite |
| | 3.84 | 7.46 | 31.6 | 50.08 | 43.43 | 12.02 | Montmorillonite |
| | 33.36 | 33.58 | 5.48 | 2.901 | 0.782 | 0.22 | Goethite |
| | 32.48 | 32.76 | 8.54 | 4.625 | 1.35 | 0.37 | Illmenite |
| | | | | | 361.35 | 100.00 | |

รูปที่ ค-2 ผลการวิเคราะห์ XRD ในระดับความลึกที่ 50-60 ซม.



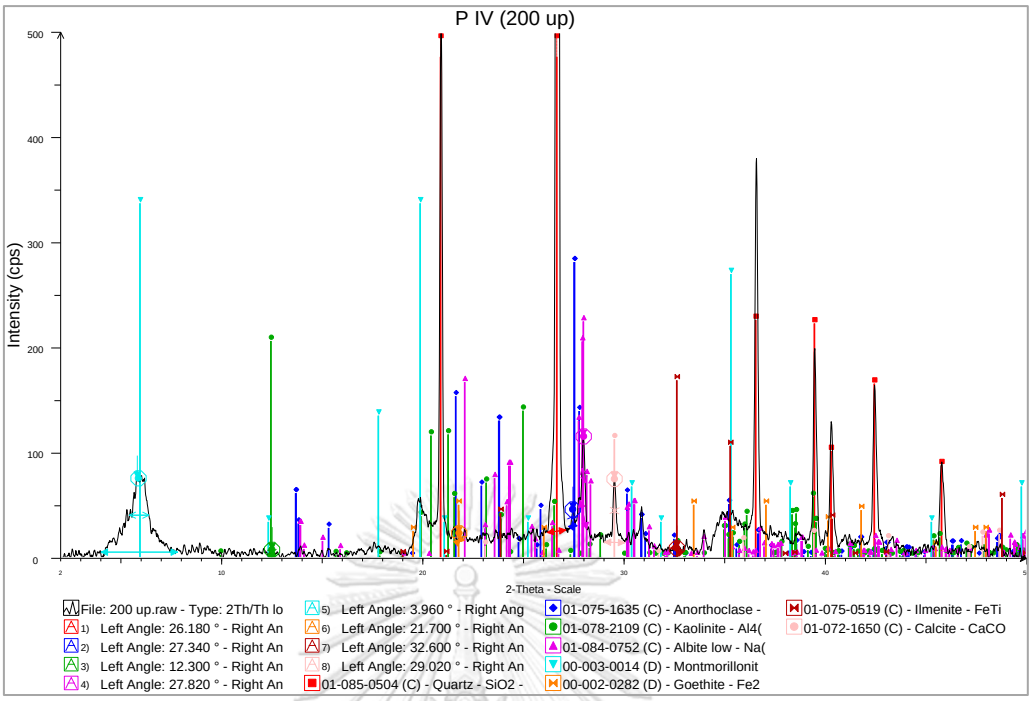

| *Left Angle* | *Right Angle* | *Net Height* | *Raw Area* | *Net Area* | *%minerals* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *2-Theta °* | *2-Theta °* | *Cps* | *Cps x 2-Theta °* | *Cps x 2-Theta °* | | |
| 26.1 | 27 | 2518 | 415.4 | 395.6 | 84.97 | Quartz |
| 27.34 | 27.58 | 10.9 | 8.819 | 1.021 | 0.22 | Anorthoclase |
| 12.3 | 12.46 | 2.98 | 0.68 | 0.255 | 0.05 | Kaolinite |
| 27.82 | 28.02 | 16.5 | 10.52 | 1.713 | 0.37 | Albite |
| 4.44 | 7.42 | 51.4 | 77.87 | 61.39 | 13.19 | Montmorillonite |
| 37 | 37.2 | 6.06 | 4.178 | 0.594 | 0.13 | Goethite |
| 32.56 | 32.68 | 3.11 | 1.19 | 0.266 | 0.06 | Illmenite |
| 29.34 | 29.72 | 20.2 | 9.655 | 4.72 | 1.01 | Calcite |
| | | | | 465.559 | 100.00 | |

รูปที่ ค-3 ผลการวิเคราะห์ XRD ในระดับความลึกที่ 100-110 ซม.




| *Left Angle* | *Right Angle* | *Net Height* | *Raw Area* | *Net Area* | *%minerals* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *2-Theta °* | *2-Theta °* | *Cps* | *cps x 2-Theta* | *Cps x 2-Theta °* | | |
| 26.091 | 27.271 | 1664 | 309.4 | 282.4 | 64.84 | Quartz |
| 27.251 | 27.771 | 63.9 | 30.89 | 18.4 | 4.22 | Anorthoclase |
| 12.389 | 12.529 | 5.53 | 0.727 | 0.491 | 0.11 | Kaolinite |
| 27.771 | 28.172 | 170 | 44.6 | 34.03 | 7.81 | Albite |
| 4.227 | 7.388 | 91 | 122.7 | 99.71 | 22.89 | Montmorillonite |
| 33.392 | 33.553 | 4.04 | 1.183 | 0.392 | 0.09 | Goethite |
| 32.612 | 32.652 | 1.06 | 0.488 | 0.023 | 0.01 | Illmenite |
| 29.512 | 29.632 | 2.14 | 2.727 | 0.109 | 0.03 | Calcite |
| | | | | 435.555 | 100.00 | |

รูปที่ ค-4 ผลการวิเคราะห์ XRD ในระดับความลึกที่ 140-150 ซม.




| *Left Angle* | *Right Angle* | *Net Height* | *Raw Area* | *Net Area* | *%minerals* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *2-Theta °* | *2-Theta °* | *Cps* | *Cps x 2-Theta °* | *Cps x 2-Theta °* | | |
| 26.18 | 27.1 | 2532 | 433.4 | 410.6 | 77.46 | Quartz |
| 27.34 | 27.56 | 15.7 | 8.418 | 1.872 | 0.35 | Anorthoclase |
| 12.3 | 12.62 | 5.85 | 1.502 | 1.099 | 0.21 | Kaolinite |
| 27.82 | 28.14 | 74.6 | 25.2 | 12.25 | 2.31 | Albite |
| 3.96 | 7.76 | 70.6 | 107.8 | 89.05 | 16.80 | Montmorillonite |
| 21.7 | 21.86 | 7.45 | 3.101 | 0.612 | 0.12 | Goethite |
| 32.6 | 32.66 | 1.71 | 0.48 | 0.064 | 0.01 | Illmenite |
| 29.02 | 30.04 | 60.7 | 28.91 | 14.52 | 2.74 | Calcite |
| | | | | 530.067 | 100.00 | |

รูปที่ ค-5 ผลการวิเคราะห์ XRD ในระดับความลึกที่ มากกว่า 200 ซม.

# ภาคผนวก ง
# การแสดงผลวิเคราะห์ทางสถิติ

## การประมวลผลทางสถิติ

ในงานวิจัยนี้เลือกการทดลองในรูปแบบ RCBD เนื่องจาก หน่วยทดลอง (บะซอลต์ผุในแต่ละบ่อ) มีจุลธาตุที่ไม่สม่ำเสมอกันทั้งหมด กล่าวคือ หินบะซอลต์ผุที่นำมาทดลองนั้นมาจากการตักจาก 5 บ่อในบริเวณรอบ profile 4 กำหนด ค่า K คือ บะซอลต์ผุจากบ่อที่ 1 กำหนดเป็น K1 (Block1) และสิ่งทดลองคือข้าวขาวดอกมะลิ 105 และบะซอลต์ผุ (หน่วยทดลอง) ไม่มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน ตัวแปรต้น ได้แก่อัตราส่วนของหินบะซอลต์ต่อดินเสื่อมโทรมในพื้นที่ทดลอง และตัวแปรตาม คือการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105

รูปที่ ง-1 การสุ่มบล็อก (K)

รูปที่ ง-2 การสุ่ม Block & Treatment (t)

ตารางที่ ง-1 ตาราง ANOVA รวมการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

| Block(K)&(t) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| K4 | t (2) | t (5) | t (1) | t (3) | t (4) |
| K3 | t (3) | t (2) | t (5) | t (1) | t (4) |
| K5 | t (3) | t (2) | t (4) | t (1) | t (5) |
| K2 | t (2) | t (4) | t 31) | t (1) | t (5) |
| K1 | t (3) | t (4) | t (1) | t (2) | t (5) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมมติฐาน H0 : $\mu 1=\mu 2=\mu 3=\mu 4=\mu 5$ :อัตราส่วนบะซอลต์ผุไม่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ หรือ H1: not H0 อัตราส่วนของบะซอลต์ผุมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของข้าวขาวดอกมะลิ 105 จากการวัดผลและนำมาประมวลผลทางสถิติ พบว่าอัตราส่วนของบะซอลต์ผุไม่มีอิทธิพลต่อขนาดของลำต้นและขนาดของใบ

4.6.1.ความสูงของลำต้น

| RCBD | ANOVA | df | SS | MS | F cal | F tab | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Treatmen | | | | | | |
| | t | 4 | 1,389 | 347.34 | 25.61 | 3.007 | *(4,16) |
| | Block | 4 | 4,706 | 1,176.54 | 86.73 | 3.007 | *(4,16) |
| | Error | 16 | 217 | 13.56 | | | |
| | Total | 24 | 6,313 | | | | |

4.6.2 การแตกหน่อ

| RCBD | ANOVA | df | SS | MS | F cal | F tab | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Treatment | 4 | 173 | 43.34 | 16.90 | 3.007 | *(4,16) |
| | Block | 4 | 13 | 3.24 | 1.26 | 3.007 | *(4,16) |
| | Error | 16 | 41 | 2.57 | | | |
| | Total | 24 | 227 | | | | |

4.6.3 จำนวนรวงข้าว

| RCBD | ANOVA | df | SS | MS | F | F | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Treatment | 4 | 11,155 | 2,788.74 | 117.84 | 3.007 | (4,16) |
| | Block | 4 | 317 | 79.34 | 3.35 | 3.007 | (4,16) |
| | Error | 16 | 379 | 23.66 | | | |
| | Total | 24 | 11,851 | | | | |

4.6.4 น้ำหนักรวมของข้าว

| RCBD | ANOVA | df | SS | MS | F cal | F tab | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Treatment | 4 | 23,408 | 5,851.90 | 2.91 | 3.007 | *(4,16) |
| | Block | 4 | 343,704 | 85,925.90 | 42.68 | 3.007 | *(4,16) |
| | Error | 16 | 32,213 | 2,013.30 | | | |
| | Total | 24 | 399,324 | | | | |

4.6.5 วิเคราะห์ความหอม (2 AP)

| RCBD | ANOVA | df | SS | MS | F cal | F tab | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Treatment | 4 | 0.0073 | 0.0018 | 0.9824 | 3.007 | *(4,16) |
| | Block | 4 | 0.1170 | 0.0292 | 15.8215 | 3.007 | *(4,16) |
| | Error | 16 | 0.0296 | 0.0018 | | | |
| | Total | 24 | 0.1538 | | | | |

*CF=7, SUMSQ=8

Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นายวีระพล แก้วอินทร์ |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 01 มีนาคม 2520 |
| **สถานที่เกิด** | จังหวัดอุดรธานี |
| **วุฒิการศึกษา** | - วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2556)<br>- วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (มศว. ภาคใต้) (2543) |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | ไร่ แก้วอินทร์ 9 หมู่ 1 ตำบลหนองกุงทับม้า อำเภอวังสามหมอ จังหวัดอุดรธานี 41280 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University