

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite Fly Ash)

กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการเผาไหม้ถ่านหินก่อให้เกิดของเสียซึ่งสามารถจำแนกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash, Pulverized Fuel Ash, Dry Ash) เถ้าหนัก (Bottom Ash, Wet Ash) และเถ้าตะกรัน (Slag Ash) (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2539) โดยเถ้าลอยที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ เรียกว่า เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite Fly Ash) มีลักษณะเบา ลอยตัว สามารถฟุ้งกระจายไปในบรรยากาศระหว่างการเผาไหม้ อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะรอบตัวโรงงานหากไม่มีเครื่องดักจับ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541) แต่โดยทั่วไปในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถแยกเถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งมีประมาณร้อยละ 75-85 ของเถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้น

2.1.1 อัตราการเกิด

อัตราการเกิดเถ้าลอยลิกไนต์จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณถ่านหินลิกไนต์ที่นำมาเผาไหม้ ซึ่งมีประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักถ่านหินที่เผา โดยแนวโน้มอัตราการเกิดเถ้าลอยลิกไนต์จะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการใช้ถ่านหินลิกไนต์ สำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงประมาณ 30,000-40,000 ตัน/วัน ในการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อให้เกิดปริมาณของเสียจากกระบวนการเผาไหม้ประมาณ 6,000-9,000 ตัน/วัน โดยมีปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ถึงร้อยละ 80 ของปริมาณเถ้าทั้งหมด คิดเป็น 4,800-7,200 ตัน/วัน หรือประมาณ 2,400,000 ตัน/ปี (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2539)

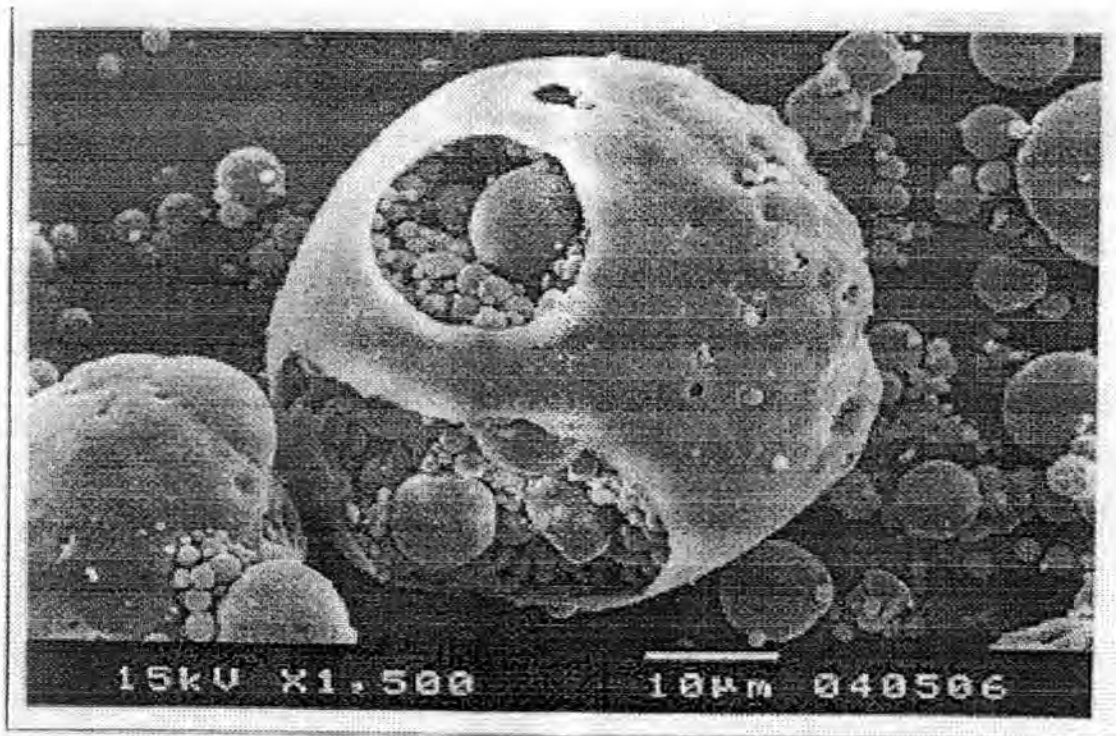
2.1.2 ลักษณะสมบัติและองค์ประกอบ

ลักษณะสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์แตกต่างกันตามกระบวนการเผาไหม้ เช่น การเผาไหม้น้ำมันเตาร่วมกับถ่านหิน หรือการเติมวัสดุบางประเภทเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดการกัดกร่อน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนนำเข้าเตาเผา ชนิดของถ่านหิน (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) และระบบการดักจับเถ้า ทั้งนี้ยังรวมถึงประเภทของโรงผลิตกระแสไฟฟ้า แหล่งที่มาของเถ้าลอยลิกไนต์นั้น ๆ ไม่ว่าจะเป็นชนิดของถ่านหินจากแหล่งที่มาแตกต่างกัน หรือแม้กระทั่งถ่านหิน

ลิกไนต์ซึ่งขุดมาจากตำแหน่งที่ต่างกันในพื้นที่เดียวกันก็ตาม ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าเป็น ปัญหาต่อการนำถ่านลิกไนต์ไปใช้งาน เพราะก่อให้เกิดความยุ่งยากต่อการควบคุมคุณภาพ รวมถึงสมบัติต่าง ๆ ให้เป็นไปตามต้องการในลักษณะการใช้ประโยชน์

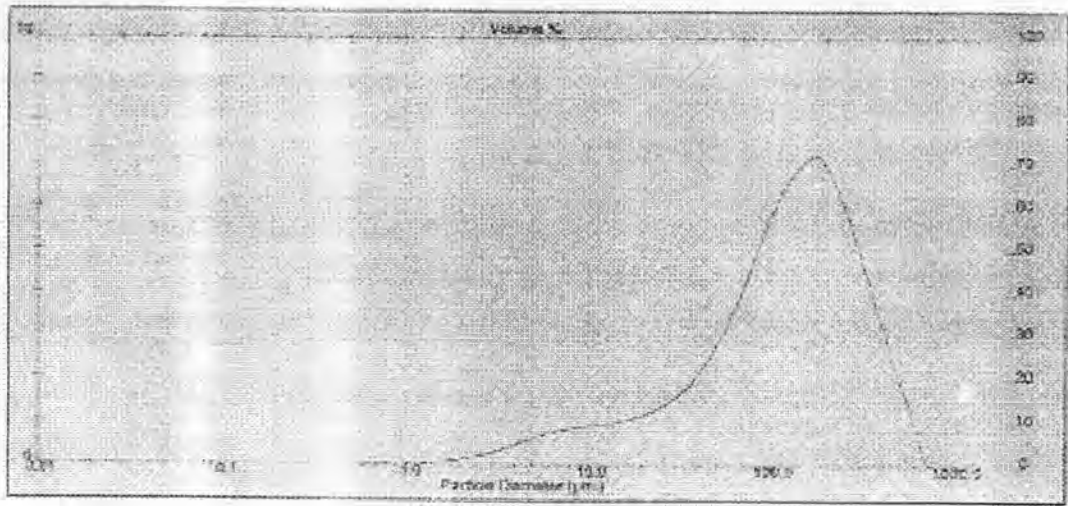
2.1.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะสมบัติทางกายภาพของถ่านลิกไนต์หลังจากการเผาไหม้ใหม่ ๆ จะมีสีเทาอมแดง เมื่อปล่องยให้เย็นลงจะมีสีเทาเข้มขึ้น (Sato, 1986) เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า พบว่า รูปร่างของถ่านลิกไนต์ (ภาพที่ 2.1) ส่วนใหญ่มีลักษณะค่อนข้างกลม (Sub-Round to Round) หรือเกือบกลม และกลวง (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542; อรารรรถ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544)



ภาพที่ 2.1 ภาพขยายถ่านลิกไนต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (อรารรรถ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544)

การกระจายตัวของถ่านลิกไนต์ (ภาพที่ 2.2) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 155 ไมครอน (อรารรรถ ศิริรัตน์พิริยะ, 2544) สามารถจำแนกเป็นขนาดทรายแป้ง และขนาดดินเหนียว มีอยู่ประมาณร้อยละ 64 โดยน้ำหนัก ขนาดทรายละเอียดประมาณร้อยละ 20 ที่เหลือเป็นขนาดทรายหยาบปานกลาง และทรายหยาบ จากการหาค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านลิกไนต์ พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 2.23–2.48 (วิจิตรธัจฉรา สรรพกิจจำนง และคณะ, 2536)



ภาพที่ 2.2 ภาพการกระจายตัวตามขนาดของเถ้าลอยเหล็กไนต์ (อรรณวน ศิริรัตน์พิริยะ, 2544)

2.1.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของแร่ธาตุ (Mineral Matter) ที่สำคัญ และจำเป็น (Essential Element) ต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ได้แก่ ฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และ ซัลเฟอร์ (S) ในปริมาณ 600-2,500, 1,534-34,700 5,400-177,100 4,900-50,800 และ 0.11-0.25 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณจุลธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชปะปนอยู่มาก อาทิเช่น เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ในปริมาณ 7,800-289,000 31-4,400 30-3,020 และ 14-13,000 ppm ตามลำดับ (U.S. EPA, 1988; Adriano et al, 1980) ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของออกไซด์ของโลหะหลายชนิดที่ซับซ้อน เนื่องจากความร้อนในเตาเผาก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมี (วราภรณ์ คุณวานากิจ, 2537) ทั้งนี้องค์ประกอบทางเคมีจะมีปริมาณที่แตกต่างกันตามแหล่งกำเนิดในแต่ละประเทศ (ตารางที่ 2.1) ไม่ว่าจะเป็นเถ้าลอยเหล็กไนต์จากเยอรมัน ไต้หวัน แคนาดา อเมริกา และไทย ดังเช่นปริมาณ Fe_2O_3 ในประเทศแคนาดามากกว่าประเทศอื่น ๆ ประมาณ 3-7 เท่า ปริมาณ CaO ของอเมริกามากกว่าประเทศอื่น ๆ ประมาณ 10 เท่า ยกเว้นประเทศไทยมากกว่าอเมริกาเพียง 2.84 เท่า เป็นต้น หรือแม้แต่เถ้าลอยเหล็กไนต์ที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย (ตารางที่ 2.2) ได้แก่ แม่เมาะ ระยอง สมุทรสาคร และกาญจนบุรี โดยปริมาณ Fe_2O_3 จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีปริมาณร้อยละสูงกว่าแหล่งอื่น ๆ

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแก้วลอยลิกไนต์จากแหล่งต่าง ๆ ในแต่ละประเทศ
(การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณร้อยละเฉลี่ย (โดยน้ำหนัก)				
	เยอรมัน	ไต้หวัน	แคนาดา	อเมริกา	ไทย
Al ₂ O ₃	27.00	30.44	21.60	17.60	22.51
Fe ₂ O ₃	7.79	3.59	27.60	4.90	9.02
CaO	2.32	2.12	1.87	27.90	9.82
SO ₃	0.77	-	1.10	-	1.51
MgO	1.80	0.58	3.03	5.20	3.05
K ₂ O	3.57	1.05	2.55	0.30	2.53

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของแก้วลอยลิกไนต์จากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย
(ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณร้อยละเฉลี่ย (โดยน้ำหนัก)			
	แม่เมาะ	ระยอง	สมุทรสาคร	กาญจนบุรี
Al ₂ O ₃	26.43	36.21	36.62	22.73
Fe ₂ O ₃	10.71	4.09	3.97	6.29
CaO	7.61	3.64	3.05	8.36
SO ₃	1.85	0.48	0.64	3.38
MgO	2.21	0.54	0.55	2.64
K ₂ O	3.07	0.31	0.44	2.95

องค์ประกอบทางเคมีของแก้วลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ (ตารางที่ 2.3) จังหวัดลำปาง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533-2541 นั้น ประกอบด้วยปริมาณ Al₂O₃ ร้อยละ 18.0-28.1 ปริมาณ

Fe_2O_3 ร้อยละ 8.5-15.0 และ ปริมาณ CaO ร้อยละ 10.0-17.4 นอกนั้นประกอบด้วย MgO K_2O และ SO_3 ในปริมาณเล็กน้อย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะระหว่างปี พ.ศ. 2533-2541 (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542)

ปี พ.ศ.	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)					
	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	SO_3
2533	20.5	14.2	17.4	3.3	2.1	3.9
2534	23.3	14.0	10.5	2.4	2.3	3.9
2535	24.0	15.0	11.2	2.8	2.6	3.1
2536	20.2	13.2	13.0	2.7	2.4	2.6
2537	18.0	8.5	13.3	1.4	2.0	2.8
2538	22.3	12.8	14.4	2.5	2.0	2.8
2539	23.6	13.0	13.0	2.5	3.0	2.4
2540	28.1	12.3	10.0	1.2	3.3	2.0
2541	22.1	14.4	11.4	2.7	2.7	2.5

อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์ยังอาจปนเปื้อนด้วยธาตุพิษ เช่น นิกเกิล (Ni) แคดเมียม (Cd) และอลูมิเนียม (Al) ในปริมาณ 1.8-8,000 0.1-250 และ 11,500-144,000 ppm ตามลำดับ (U.S. EPA, 1988; Adriano et al, 1980) สำหรับปริมาณโลหะหนักที่เป็นส่วนประกอบในเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2536) พบว่ามีปริมาณนิกเกิล แคดเมียม และทองแดง เท่ากับ 53.3 7.8 และ 375 ppm ตามลำดับ

ทั้งนี้ลักษณะสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของเถ้าลอยลิกไนต์อยู่ในช่วง 10-12 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541; อรรณวน ศิริรัตน์พิริยะ, 2544)

2.2 ผลกระทบของแฉ่ำลอยลิกไนต์ต่อสิ่งแวดล้อม

แฉ่ำลอยลิกไนต์มีลักษณะอนุภาคละเอียด หากอยู่ในสภาพแห้งเมื่อโดนลมจะปลิวกระจายไปเป็นระยะทางไกล ทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงมีความรู้สึกถูกรบกวน (ไกรวุฒิ เกียรติโกมล และคณะ, 2540) เนื่องจากอนุภาคแฉ่ำลอยลิกไนต์ก่อให้เกิดความสกปรกแก่อาคาร บ้านเรือน อีกทั้งขนาดที่เล็กกว่า 10 ไมครอน ของแฉ่ำลอยลิกไนต์ยังอาจก่อให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจแก่มนุษย์ และสัตว์ได้ ทั้งนี้เพราะขนของเยื่อทางเดินหายใจไม่สามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กออกไปได้ ทำให้อนุภาคแฉ่ำลอยลิกไนต์สามารถลงลึกถึงถุงลม และขังอยู่ในปอด ก่อให้เกิดผลระยะยาวต่อสุขภาพ (Chronic Effects) คือ ประสิทธิภาพการทำงานของปอดลดลง สำหรับกลุ่มคนที่อ่อนแอ ได้แก่ ผู้ที่เคยได้รับสารพิษเป็นเวลานาน เด็ก คนชรา คนที่เป็นโรคหัวใจ ภูมิแพ้ หรือโรคระบบทางเดินหายใจจะมีอาการเจ็บป่วยอย่างเฉียบพลัน (Acute Effects) (ศิริกัลยา สุวจิต ตานนท์ และคณะ, 2542)

นอกจากนี้อนุภาคแฉ่ำลอยลิกไนต์ยังก่อความเสียหายต่อพืช โดยอนุภาคที่จับบนพืช (ใบ กิ่ง ก้าน ดอก และผล) อาจเกาะกระจงในสภาพแห้ง หรือเป็นคราบเหนียวเหมือนน้ำมันดิน ส่งผลให้ความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง เนื่องจากอนุภาคฝุ่นสะท้อนออกของรังสีดวงอาทิตย์ (ความยาวคลื่น 400-760 นาโนเมตร) เพิ่มขึ้น แต่สามารถดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่น 1,750-1,850 นาโนเมตร มากขึ้น ทำให้ความร้อนในพืชเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้อนุภาคแฉ่ำลอยลิกไนต์ยังส่งผลให้ความสามารถในการดูดซึ่มก๊าซต่าง ๆ ของพืชลดลงอีกด้วย (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรขต, 2540)

ทั้งนี้แฉ่ำลอยลิกไนต์ยังอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อดิน หรือน้ำทั้งแหล่งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ในบริเวณที่มีการกองทิ้งแฉ่ำลอยลิกไนต์บนพื้นดิน เนื่องจากองค์ประกอบของธาตุพิษที่มีอยู่ แต่จากการวิเคราะห์แฉ่ำลอยลิกไนต์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ปรากฏว่า ปริมาณโลหะหนักตะกั่ว และแคดเมียมในน้ำสกัดมีค่าเท่ากับ 5.0 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ซึ่งไม่เกินข้อกำหนดตามเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้แฉ่ำลอยลิกไนต์ยังเข้าข่ายเป็นวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว เป็นสารที่ไม่ต้องกำจัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ภาคผนวกที่ 1 บัญชีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิภูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หมวด 1 ข้อ 5 ประเภทสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable Substances) อย่างไรก็ตามลักษณะสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของแฉ่ำลอยลิกไนต์ยังแตกต่างกันตามกระบวนการเผาไหม้ อุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนจะเผา ชนิดของถ่านหิน (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542)

ประเภทของโรงผลิตกระแสไฟฟ้า แหล่งที่มาของแก๊สออยลิกไนต์ และระบบการดักจับแก๊ส ดังที่ได้กล่าวแล้วในข้างต้น

สำหรับปริมาณรังสีของแก๊สออยลิกไนต์ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542) มีค่าต่ำกว่าปริมาณรังสีของแก๊สออยลิกไนต์จากแหล่งอื่น ๆ ของโลก นอกจากนี้ปริมาณรังสีที่วัดได้ก็อยู่ในระดับเดียวกับปริมาณรังสีที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม (Background Radiation)

2.3 การใช้ประโยชน์จากแก๊สออยลิกไนต์

แก๊สออยลิกไนต์ที่ผลิตได้ต่อวันมีปริมาณค่อนข้างสูง หากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ก็เป็นรายได้เพิ่มของหน่วยงาน แต่หากว่าไม่สามารถใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์แล้ว จะเป็นภาระในการกำจัดทิ้ง ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ นอกจากนี้บริเวณที่นำไปกำจัดก็ไม่สามารถทำประโยชน์อื่นใดได้ เป็นการสูญเสียพื้นที่ส่วนนั้นไปโดยเปล่าประโยชน์ (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และคณะ, 2542) ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำแก๊สออยลิกไนต์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาปริมาณการใช้ประโยชน์แก๊สออยลิกไนต์เป็นส่วนผสมเพิ่มในคอนกรีตสูงถึงร้อยละ 39 (ตารางที่ 2.4)

ตารางที่ 2.4 การใช้ประโยชน์แก๊สออยลิกไนต์ในสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1967 (National Ash Association, 1967 Cited in Capp and Spencer, 1970)

การใช้ประโยชน์แก๊สออยลิกไนต์	ปริมาณแก๊สออยลิกไนต์	
	ตัน	ร้อยละ
การก่อสร้างถนนและอาคาร	300,000	20
ส่วนผสมเพิ่มในคอนกรีต	600,000	39
วัสดุน้ำหนักเบา	150,000	10
ปรับโครงสร้างถนน	120,000	7
กระบวนการผลิตวัสดุก่อสร้าง	150,000	10
วัสดุอัดแทรกในงานอัลฟัลส์	120,000	7
อื่น ๆ	120,000	7

โดยวิธีการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ การใช้ประโยชน์ในเชิงวิศวกรรม และการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.3.1 การใช้ประโยชน์ในเชิงวิศวกรรม

1.) การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ในงานก่อสร้างเขื่อน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542) เช่น งานก่อสร้างเขื่อนที่ปากมูล เขื่อนแม่ปิงตอนล่าง และเขื่อนคลองท่าด่าน เป็นต้น เพื่อลดปริมาณความร้อนของคอนกรีต ช่วยให้คอนกรีตแข็งตัวช้า และป้องกันการแตกร้าวของเขื่อน

2.) การนำเถ้าลอยลิกไนต์ใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มในคอนกรีต (Concrete Additive) โดยทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสาน (Cementitious) เพื่อทดแทนซีเมนต์ (Cement Replacement) ในอุตสาหกรรมก่อสร้างถนนและเขื่อน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542)

3.) การนำเถ้าลอยลิกไนต์ใช้ในกระบวนการผลิตวัสดุน้ำหนักเบา (Light Weight Aggregate) ได้แก่ การทำอิฐ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542)

4.) การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ในการปรับโครงสร้างถนน เช่น ในบริเวณที่ทรุดตัวของดินระหว่างผนังดินและผนังคอนกรีตของคลองส่งน้ำจากเขื่อนแม่ขาม (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542) โดยใช้เป็นวัสดุแทนดินถมในการก่อสร้าง (Earthfill Material) หรือนำมาทำชั้นรองพื้นทางของถนน (สมพงษ์ ชีไทสง, 2542)

5.) การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาทำผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างโดยทำเป็นซีเมนต์บล็อกก่อผนังและซีเมนต์บล็อกปูพื้น (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542)

6.) การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาเป็นวัสดุอัดแทรกในงานแอลฟิรส์คอนกรีต (สมพงษ์ ชีไทสง, 2542) โดยการอัดฉีดเข้าไปตามรอยแยกต่าง ๆ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542; Tath et al, 1988) เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์สามารถใช้ประโยชน์ได้ง่าย ต้นทุนต่ำ และลักษณะโครงสร้างดี ซึ่งความสามารถของวัสดุธรรมชาติ และอัดแทรกโครงสร้างถูกจำกัดมาก

7.) การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ในเชิงวิศวกรรมด้านอื่น ๆ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2542) เช่น งานคอนกรีตเสริมเหล็กของรางระบบสายไฟในโรงไฟฟ้า ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก และผสมทดแทนซีเมนต์ในงานคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready-Mix Concrete) รวมถึงการใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) ในงานเซรามิกซ์ และอัลลอยด์ เป็นต้น

2.3.2 การใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร (Agricultural Utilization) เป็นทางเลือกที่น่าสนใจศึกษาสำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประกอบกับกิจกรรมทางการเกษตรมีความต่อเนื่องของการใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับการเกิดขึ้นของเถ้าลอยลิกไนต์จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า จึงน่าจะเป็นแนวทางในการจัดการเถ้าลอยลิกไนต์จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

2.3.2.1 เหตุผลสนับสนุนในการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

จากลักษณะสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยลิกไนต์ สามารถนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางการเกษตร ดังต่อไปนี้

1.) การปรับปรุงลักษณะสมบัติทางกายภาพของดิน และการปรับปรุงสภาพพื้นที่ถูกรบกวน

เถ้าลอยลิกไนต์สามารถปรับปรุงเนื้อดิน (Soil Texture) ให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้นได้จากการเติมลงในดินทราย หรือดินเหนียว (Chang et al, 1977; 1989) ดังเช่นการสังเกตในห้องปฏิบัติการ และพื้นที่ภาคสนามโดยการกองเถ้าลอยลิกไนต์บนลานดิน ซึ่งจากลักษณะสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์ที่มีขนาดทรายแป้ง (Silt) เมื่อใช้ในปริมาณมากจะสามารถปรับปรุงเนื้อดินจากดินร่วนเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam) ให้เป็นดินร่วนปนทรายแป้ง (Silt Loam) หรือดินร่วน (Loam) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่

ข้อได้เปรียบที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงเนื้อดิน คือ ทำให้มีช่องว่างสำหรับการกักเก็บน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นลักษณะที่พบมากในดินทรายแป้ง (Millar, Turk and Foth, 1965) ปริมาตรช่อง (Pore Space) ที่สามารถเก็บน้ำได้ในดินนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิว ปริมาตรช่องที่ว่าง และความต่อเนื่องของปริมาตรช่อง ดังนั้นความสามารถในการเก็บกักน้ำขึ้นกับโครงสร้างที่ดีของเนื้อดิน ซึ่งดินที่มีโครงสร้างละเอียดจะมีความจุซึ่มน้ำ (Water Holding Capacity) หรือการเก็บกักน้ำของดินสูงสุด แต่ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์สูงสุด คือ ส่วนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาค (Interparticle Pore Space) ดิน แสดงให้เห็นว่าการเก็บกักปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในดินสูงนั้นสัมพันธ์กับปริมาณของดินทรายแป้ง (Silt) และดินทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand)

นอกจากนี้ความจุ้มน้ำของแฉะลอยลิกไนต์ยังช่วยในการจัดการ และการซึมของน้ำในพื้นที่สำหรับการปรับปรุงดินสนามหญ้า เนื่องจากแฉะลอยลิกไนต์มีการดูดซึมน้ำได้รวดเร็วกว่า และน้ำที่ดูดซึมนั้นจะถูกปล่อยในช่วงเวลาแห่งแล้ง เพื่อรักษาสภาพการเจริญเติบโตของพืช (Patterson, Henderlons and Adams, 1968; Patterson, 1969) ได้ดี ทั้งยังทำหน้าที่เป็นสารดูดซับของเสียที่เป็นของเหลว (Adriano et al, 1980; Carlson and Adriano, 1993; Sharp, 1997) ในพื้นที่ที่ถูกรบกวน (Land Reclamation) เช่น พื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่ หรือพื้นที่เหมืองร้างซึ่งการนำแฉะลอยลิกไนต์เติมลงในพื้นที่สามารถเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่พื้นที่หน้าเหมืองซึ่งไม่ใช่พื้นที่เพาะปลูก และมีลักษณะเป็นกรด อย่างไรก็ตามต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อจากการกองแฉะลอยลิกไนต์ไว้ที่หน้าดินบน (Topsoil) คือ ดินที่อยู่ส่วนบนสุด เช่น ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของแฉะลอยลิกไนต์ที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นที่ได้ รวมถึงความสามารถในการเจริญเติบโตของพืช การปลูก และดูแลรักษาพืช (Capp and Spencer, 1970) ในพื้นที่ที่ถูกรบกวน

ทั้งนี้จากการศึกษาของ Millar, Turk and Foth (1965) พบว่า ปริมาณความชื้นในดิน (Soil Moisture Content) สำหรับแปลงควบคุม และแปลงที่เติมแฉะลอยลิกไนต์ 800 ตัน/เฮคเตอร์ ขึ้นกับปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในบรรยากาศ โดยปริมาณฝนจะก่อให้เกิดการสะสมความชื้นในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแปลงที่มีการเติมแฉะลอยลิกไนต์ และก่อให้เกิดความเป็นประโยชน์ต่อเนื้อไปถึงในช่วงเวลาที่แห้งแล้งของฤดูร้อน ขณะที่ดินในแปลงควบคุมยังคงมีความชื้นน้อยจากช่วงฤดูฝนและในช่วงฤดูแล้งจะไม่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายสปีดาศ์ เนื่องจากปริมาณความชื้นจริงของดินในแปลงควบคุมยังคงอยู่ใกล้เคียงกับจุดเหี่ยว (Wilting Point) เพราะน้ำฝนส่วนใหญ่ที่ตกอยู่บนพื้นที่ที่ทำการศึกษาไหลไปตามผิวดิน (Run Off) มากกว่าการถูกดูดซับ

ความหนาแน่นของตัวอย่างดินจากแปลงควบคุม และแปลงที่ถูกบำบัดด้วยแฉะลอยลิกไนต์ มีค่าเท่ากับ 1.56 กรัม/มิลลิลิตร และ 0.92 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยกำหนดให้อณูภาคมีความหนาแน่นเฉลี่ย 2.65 กรัม/มิลลิลิตร ดังนั้นช่องว่างทั้งหมดของสองตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 41.1 และ 65.3 ตามลำดับ โดยช่องว่างของดินเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความจุอากาศ (Air Capacity) ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ และการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น ขณะที่การไหลบ่า และการพังทลายของดินในแปลงควบคุมก็สูงขึ้นด้วย

2.) การปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ถ้าล้อยลิกไนต์จะทำหน้าที่เป็นวัสดุปรับปรุงดิน (Soil Amendment) สำหรับพื้นที่เพาะปลูกทางการเกษตร เนื่องจากความสามารถในการให้ธาตุอาหารหลัก (Major Element) และธาตุอาหารรอง (Minor Element) เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ (จรรยาภรณ์ คุณวานานากิจ, 2530 อ้างถึงใน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2536; Bredakis, 1966) รวมทั้งธาตุอาหารที่จำเป็น (Essential Element) อื่น ๆ กับพืช ที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปที่ละลายได้ (Cope, 1961) ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบบางประการของถ่านหินถูกเปลี่ยนระหว่างการเผาไหม้ ดังนั้นการกองถ่านล้อยลิกไนต์ทิ้งไว้ก็จะทำให้เกิดการละลาย หรือความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารเพิ่มขึ้น (Central Electricity Generating Board, 1964)

ปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจนสามารถพบได้น้อยในถ่านล้อยลิกไนต์ (Adriano et al, 1980) แต่ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสโดยทั่วไปจะสูง แม้ว่าฟอสฟอรัสจากถ่านล้อยลิกไนต์จะไม่อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำมาใช้ได้อย่างรวดเร็วก็ตาม ส่วนปริมาณของโพแทสเซียมและความสามารถในการใช้ประโยชน์ขึ้นกับแหล่งกำเนิดแต่ละประเภทของถ่านล้อยลิกไนต์ (Scotti, Silva and Botteschi, 1999) ซึ่งก็มีการเติมธาตุอาหารทดแทนในส่วนที่ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช (Bredakis and Page, 1965; Hodgson and Holliday, 1966) อย่างไรก็ตามปริมาณของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจากถ่านล้อยลิกไนต์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ของประเทศสหรัฐอเมริกา (McGayhey, 1971) และไม่สามารถให้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเพิ่มเติมแก่พืช เพื่อให้ได้รับธาตุอาหารดังกล่าวในปริมาณที่เพียงพอและสมดุลกันตามที่ต้องการ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535) จึงไม่อาจเรียกถ่านล้อยลิกไนต์ว่าปุ๋ย (Fertilizer) ทั้งประเภทปุ๋ยอนินทรีย์ (Inorganic Fertilizer) หรือปุ๋ยอินทรีย์ (Organic Fertilizer) ได้ แต่อาจกล่าวได้ว่าถ่านล้อยลิกไนต์เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner) เนื่องจากเมื่อคลุกเคล้าลงไปไถดินจะทำปฏิกิริยาให้อนุภาคดินเชื่อมยึดกันเป็นเม็ดดินที่เสถียรได้ดีขึ้น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2535)

ในขณะเดียวกันถ่านล้อยลิกไนต์ก็มีส่วนประกอบของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่เป็นโลหะหนัก เช่น ทองแดง สังกะสี นิกเกิล และแคดเมียม (จรรยาภรณ์ คุณวานานากิจ, 2530 อ้างถึงใน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2536) ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของถ่านล้อยลิกไนต์ (Fly Ash Particle Size) ที่ลดลง (Davison et al, 1974; Natusch and Wallace, 1975) แต่กระนั้นโลหะหนักทุกชนิดมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (Siriratpiriya, Vigerust and Selmer-Olsen, 1985) โดยค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ที่สูงของถ่านล้อยลิกไนต์

สามารถลดการละลายของธาตุอาหารบางชนิด (Scotti et al, 1999) ซึ่งยืนยันได้จากการศึกษาของ Albanis et al (1998) พบว่า ความเข้มข้นของเหล็กและแมงกานีสจะลดลง เนื่องจากกระบวนการตกตะกอนโลหะเมื่ออยู่ในสภาพของสารละลาย และค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นจากการผสมแกลลอลิกลินต์ลงในดินยังส่งผลให้ความเข้มข้นของนิกเกิล ทองแดง และสังกะสีอยู่ในระดับที่ต่ำเช่นกัน

นอกจากนี้การศึกษาของฐิติยา อังสัจจะพงษ์ (2539) ที่ทำการใส่แกลลอลิกลินต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะในปริมาณ 0 1.8 และ 3.6 ตัน/ไร่ ในชุดดินโคราชซึ่งเป็นดินร่วนปนทราย พบว่า ภายหลังจากการหมักตัวอย่างดินที่ระดับความจุความชื้นสนาม (Field Capacity : FC) เป็นระยะเวลา 2 และ 4 สัปดาห์ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใส่แกลลอลิกลินต์ที่เพิ่มขึ้น และในการที่จะยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างจากเดิม (5.3) ไปอยู่ที่ระดับ 6.5-6.7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชต้องใช้แกลลอลิกลินต์ในปริมาณ 1.8 ตัน/ไร่ นอกจากนี้การใส่แกลลอลิกลินต์ 3.6 ตัน/ไร่ จะยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างไปอยู่ที่ 7.3-7.5 แต่อำนาจในการทำให้เป็นกลาง (Neutralizing Value) คือ การยกระดับความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินให้ขึ้นไปอยู่ที่ 7.00 ของแกลลอลิกลินต์ สำหรับดินเหนียว (pH 5.87) และดินร่วน (pH 5.00) คือ 14.2 และ 16 ตัน/ไร่ ตามลำดับ (อรรรรณ ศิริรัตนพิริยะ, 2544)

อย่างไรก็ตามในลักษณะที่เกิดความเป็นกรดของสภาพแวดล้อม เช่น ดิน และน้ำ จะส่งเสริมให้โลหะหนักที่มีอยู่ในดินมีรูปทางเคมีที่พืชสามารถดูดดึงไปยังส่วนต่าง ๆ ได้มากขึ้น (Siriratpiriya et al, 1985) ดังนั้นการเติมแกลลอลิกลินต์ลงในพื้นที่ศึกษาวิจัยที่มีสภาพเป็นกรดสำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นการปรับ (ลด/เพิ่ม) ปริมาณโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหารและธาตุพิษบางชนิดให้เหมาะสมแก่การเจริญเติบโตของพืช

3.) การเป็นประโยชน์ต่อพืช (Plants Utilization)

ประโยชน์ที่เป็นไปได้จากการนำแกลลอลิกลินต์มาใช้กับธัญพืช (Rees and Sidrak, 1956) คือ ข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum*) และผักขม (*Spinacia oleracea*) มีการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อใบสูงขึ้น และเมื่อดำเนินการเติมปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารทำให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งของเนื้อเยื่อพืชเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แกลลอลิกลินต์ยังมีผลทำให้ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเป็น 65 77.5 88.2 91.1 และ 92.2 ตัน/ไร่ ตามลำดับ และยังส่งผลต่อองค์ประกอบผลผลิตเฉลี่ยข้าวเปลือก ได้แก่ จำนวนเมล็ด/รวง เพิ่มขึ้นจาก 108 109 118 130 และ 137 ตัน/ไร่ ตามลำดับ แต่สำหรับน้ำหนักเมล็ดข้าว/รวงเฉลี่ย 1,000 เมล็ดจะอยู่ในช่วง 27-28 กรัม ซึ่งเป็นอัตราปกติ คือ

ไม่พบความแตกต่างระหว่างการเติมแกลบขี้ไก่ในอัตราเติม 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตัน/ไร่ ในหนึ่งฤดูปลูกข้าว (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และกรมพัฒนาที่ดิน, 2541)

จากการศึกษาของ Charleston (1968) โดยการเติมปุ๋ยเม็ดสูตร 10-10-10 ที่อัตรา 1,000 ปอนด์/เอเคอร์ ในแปลงควบคุม และแปลงที่มีการเติมแกลบขี้ไก่ในอัตราทั้งหมด พบว่า หญ้าที่เพาะจากเมล็ดพันธุ์ พืชที่มีฝัก รวมถึงหญ้าจำพวก Festuca ที่ใช้เลี้ยงสัตว์ในรัฐเคนตักกี 31 หญ้าในสวนผลไม้ หญ้าไรน์ Red Top Bird's Foot Trefoil และอัลฟาฟา ให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมแกลบขี้ไก่ในพื้นที่ของเหมืองถ่านหิน Sewickley ซึ่งมีสภาพเป็นกรด พบว่า ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1.09 ตัน/เอเคอร์ สูงกว่าแปลงที่มีการเติมหินปูน ซึ่งให้ผลผลิตเพียง 0.54 ตัน/เอเคอร์ สำหรับเหมืองถ่านหิน Baluerstewm พบว่า การเติมแกลบขี้ไก่ให้ผลผลิตเฉลี่ย 1.39 ตัน/เอเคอร์ เนื่องจากมีการขุดของพืชที่ปลูกน้อยมากในช่วงเริ่มต้นของระยะเวลาเจริญเติบโต ส่วนแปลงควบคุมไม่ได้ทำการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างให้เป็นกลางก่อนจึงไม่ให้ผลผลิต ซึ่งผลผลิตน้ำหนักรวมเฉลี่ยของรัฐเวอร์จิเนียตะวันตกในช่วงปี 1967-1968 มีค่าประมาณ 1.5 ตัน/เอเคอร์

2.3.2.2 ความเสี่ยงในการนำแกลบขี้ไก่ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

จุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิดจัดเป็นโลหะหนัก เนื่องจากเป็นธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัม/ลูกบาศก์เมตร (Stoker and Seagers, 1976) หรือเป็นธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 (Jones and Jarvis, 1981) โดยทั่วไปจะเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขเชิงอะตอม (Atomic Number) ในช่วง 23-92 อยู่ในคาบที่ 4-7 ซึ่งไม่รวมโลหะที่เป็นโลหะอัลคาไลนเจอร์ท์ เมื่อจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษเหล่านี้สะสมอยู่ในปริมาณที่มากเกินไปเกินความต้องการของพืช โดยพืชต่างชนิดกันมีการดูดกิน และสะสมธาตุอาหารในปริมาณที่ต่างกัน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ดังนั้นปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิดจึงเป็นขีดจำกัด (Threshold) ของการเกิดผลกระทบซึ่งการวัดโอกาส และความรุนแรงที่จะเกิดผลกระทบด้านลบในเชิงปริมาณคือ ความเสี่ยง (Daniel, 1978)

1.) การสะสมจุลธาตุอาหารและธาตุพิษในดิน

ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมจุลธาตุอาหารและธาตุพิษในดิน ได้แก่ ชนิดพืช ลักษณะสมบัติของดิน ชนิดและรูปทางเคมีของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิด ปฏิกิริยาเสริม (Synergism) หรือปฏิกิริยาหักล้าง (Antagonism) รวมถึงธาตุอื่น ๆ จากสิ่งที่เติมลงดิน นอกจากนี้ยังขึ้นกับอัตราการเติม ความลึกของการเติม และระยะเวลาในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนแปลง สภาพแวดล้อม เช่น ภูมิอากาศ ฤดูกาล (ศิริภาณี ศิริสุขโขดม, 2535; อรรถนพ หอมจันทร์, 2535) เป็นต้น เมื่อกล่าวถึง

ลักษณะสมบัติของดินซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสะสมจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิด โดยการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุลงในดินจะช่วยลดความเป็นประโยชน์ของโลหะหนักที่เป็นจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิดในดินได้ (Siriratpiriya et al, 1985)

โลหะหนักมีการเคลื่อนย้าย (Mobile) ที่แตกต่างกัน เช่น สังกะสี นิกเกิล และแคดเมียม เป็นโลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ส่วนทองแดงสามารถเคลื่อนย้ายได้ปานกลาง (Davis, 1984) ดังนั้นความเข้มข้นโลหะหนักจึงแปรผันตามความลึกของดินได้ เช่น น้ำที่ชะล้าง (Leachate) ผ่านดินอาจทำให้โลหะหนักที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ได้แก่ สังกะสี และแคดเมียม เคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่น ส่งผลให้ความเข้มข้นของสังกะสี และแคดเมียมลดลงตามความลึกของดิน (Gillies et al, 1989) อย่างไรก็ตามจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิดที่เป็นโลหะหนักมีความสามารถยึดเกาะ (Fixation Capacity) ในส่วนที่เป็น Clay Fraction ได้ดี ดินที่เป็นดินเหนียว (Clay) จึงมีการสะสมจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่เป็นโลหะหนักได้ดีกว่าดินทราย (Sand) ซึ่งมีส่วนที่เป็น Clay Fraction น้อย (Dias and Polo, 1988) ดังนั้นน้ำที่ชะล้างผ่านดินเหนียวลงสู่พื้นดินจึงไม่ค่อยมีการปนเปื้อนโลหะหนัก (Genevini et al, 1984) อย่างไรก็ตามการเคลื่อนย้ายของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษส่งผลต่อสภาพการละลายได้ซึ่งกำหนดระดับที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิดในดิน (ตารางที่ 2.5)

โดยมีปัจจัยที่ควบคุมสภาพการละลายได้ คือ รีดอกโพเทนเชียล (ศักยภาพของระบบ หรือสภาพแวดล้อมของดินในการให้ (Reduce) หรือรับ (Oxidize) อิเล็กตรอนแก่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น) ของดิน ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน เนื้อดิน วัตถุต้นกำเนิดดิน ชนิดและปริมาณสารประกอบอินทรีย์ในดิน และในสารละลายดิน ไอออนของธาตุอื่นที่มีอยู่ในสารละลายดิน ระดับความชื้นของดิน อุณหภูมิของดิน และกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน (ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) อย่างไรก็ตามการสะสมจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิดในดินสามารถวัดความเสี่ยงได้โดยการใช้ชนิดพืชที่เหมาะสมสำหรับการดูดดึงจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิด และใช้เป็นดัชนีบ่งชี้สภาพความเป็นพิษของดิน และสามารถลดความเสี่ยงให้น้อยลง หรือไม่ให้เกิดขึ้นด้วยการพิจารณาปัจจัยดังกล่าวมา และเพื่อเป็นการป้องกันมิให้ปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษก่อผลกระทบต่อสุขภาพแก่พื้นที่เพาะปลูก จึงได้กำหนดปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรมของประเทศอังกฤษ เยอรมัน ฝรั่งเศส และเนเธอร์แลนด์ (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.5 ระดับวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน และก่อให้เกิดพิษของปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในดิน

ชนิดของธาตุอาหาร	ปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน (ppm)	ปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษ (ppm)
เหล็ก	2 (สกัดด้วย $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ pH 4.8) ¹ 2.5-4.5 (สกัดด้วย DTPA + CaCl_2 pH 7.3) ¹	100 (pH 3.7) ² ≥ 300 (pH 5.0) ²
แมงกานีส	0.1-0.5 ³ 1.0 (สกัดด้วย DTPA) ⁶	$> 10^3$
ทองแดง	0.2 (สกัดด้วย $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ pH 4.8) ¹ 0.75 (สกัดด้วย 0.5 EDTA) ¹ 0.2 (สกัดด้วย DTPA) ⁶	> 2.0 (สกัดด้วย DTPA) ⁷
สังกะสี	1.0-7.5 (สกัดด้วย 0.1 N HCl) ¹ 0.5-1.0 (สกัดด้วย DTPA + CaCl_2 pH 7.3) ¹	> 10 (สกัดด้วย DTPA) ⁷
นิกเกิล	-	50-100 ⁴
แคดเมียม	-	5-700 ⁴
อลูมิเนียม	-	27-270 ⁵

หมายเหตุ : 1 Yost, 1981

2 Tanaka et al, 1966

3 Ishizuka, Tanaka and Fujita, 1961; Tanaka and Navasero, 1966a

4 Chaney, 1982

5 Coutler, 1972

6 Lindsay, 1979

7 Mortvedt, 1980

ตารางที่ 2.6 ปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษ (ppm) สูงสุดที่ยอมรับได้ในดินเพื่อการเกษตรกรรมของประเทศต่าง ๆ (Webber, Kloke and Tjell, 1983; Oosthoek and Vam, 1986-1987; Bardos, Hardley and Kendle, 1992)

ชนิดของธาตุ	ความเข้มข้น (ppm) ของดินในประเทศ			
	อังกฤษ	เยอรมัน	ฝรั่งเศส	เนเธอร์แลนด์
แมงกานีส	500.0	-	-	-
ทองแดง	140.0	100.0	100.0	50.0
สังกะสี	280.0	300.0	300.0	100.0
นิกเกิล	35.0	50.0	50.0	20.0
แคดเมียม	3.5	3.0	2.0	1.0

2.) การสะสมจุลธาตุอาหารและธาตุพิษในพืช

โอกาสการสะสมจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในพืชเกิดขึ้นได้ทั้งจากดิน น้ำ และอากาศ เนื่องจากโลหะหนักสามารถเข้าสู่พืชได้ทั้งทางราก ลำต้น และใบ (Lee et al, 1976) โดยทั่วไปมักขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิด ซึ่งกระบวนการดูดซับและสะสมจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษที่มีอยู่ในพืช เกิดจากการเคลื่อนที่จากดินไปยังบริเวณพื้นผิวของรากพืช (Root Surface) การเคลื่อนย้ายจากบริเวณพื้นผิวของรากพืชเข้าสู่รากพืช และการเคลื่อนย้ายจากส่วนของรากพืชไปยังส่วนเหนือพื้นดินของพืช (Wild, 1988 Cited in Alloway, 1990) โดยความสามารถในการเคลื่อนย้ายของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษในต้นพืชแตกต่างกันตามชนิดของธาตุ (ตารางที่ 2.7) ซึ่งปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดพิษในพืชของจุลธาตุอาหาร (ตารางที่ 2.8) และธาตุพิษ (ตารางที่ 2.9) ก็แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้รูปทางเคมีของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษบางชนิด ลักษณะสมบัติของดิน และสภาพภูมิอากาศ ก็มีผลต่อการสะสมของพืช (Cottenie, Kiekans and Van Landschoot, 1984; Joseph, 1984)

ช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ถ่านหินก่อให้เกิดธาตุบางชนิด เช่น แมงกานีส และอลูมิเนียม ในถ่านลอยลิกไนต์มีความเข้มข้นสูงพอที่จะเป็นประโยชน์ (Gilbert and Frederick, 1935) หรือก่อให้เกิดความเป็นพิษในพืช (Jones and Lewis, 1960; Rees and Sidrak, 1956) ดังเช่น การเจริญเติบโตของข้าวบาร์เลย์ (*Hordeum*) และผักกวม (*Spinacia oleracea*) บนถ่านลอยลิกไนต์มีการสะสมปริมาณแมงกานีส และอลูมิเนียมที่บริเวณเนื้อเยื่อใบในปริมาณที่มาก และแสดงอาการเป็น

พืช ส่วนวัชพืชจำพวก *Atriplex hastata* var. *detoidea* แม้ปริมาณแมงกานีส และอลูมิเนียมจะ เท่ากับที่พบในข้าวบาร์เลย์ และผักขม แต่ก็ไม่แสดงลักษณะหรืออาการที่บ่งบอกถึงความเป็นพิษ ทั้งนี้การปลูกข้าวบาร์เลย์บนกองเถ้าลอยลิกไนต์โดยตรง ต้องมีการเติมปริมาณฟอสฟอรัส เพื่อ ความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหาร เนื่องจากปริมาณฟอสฟอรัสจากเถ้าลอยลิกไนต์นั้นมีอยู่น้อย มากสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวบาร์เลย์ สำหรับการเพาะปลูกพืชชนิดอื่นบนกองเถ้าลอย ลิกไนต์ พบว่า มีพืชหลายชนิดที่สามารถเจริญเติบโตบนกองเถ้าลอยลิกไนต์ได้โดยมีความทนทาน ต่อความเป็นพิษของแมงกานีส และอลูมิเนียม (Rees and Sidrak, 1956) ดังเช่น หญ้าไรน์ (Rye) สามารถเจริญเติบโตบนกองเถ้าลอยลิกไนต์ทั้งในสภาพเรือนทดลองและภาคสนามภายใต้สภาวะ ที่มีความเป็นพิษสูง ส่วนวัชพืชที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกบนกองเถ้าลอยลิกไนต์ คือ พืชในตระกูล บีท (Beet) และกะหล่ำปลี (Cabbage) ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด (Central Electricity Generating Board, 1964)

ปริมาณแมงกานีส และอลูมิเนียมที่มากเกินไปพืชจะแสดงอาการที่บ่งบอกถึงความเป็น พิษ ดังเช่น การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินที่มีการเจริญเติบโตของพืชพื้นเมืองในสหรัฐอเมริกา พบว่า พืชพื้นเมืองสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้โดยไม่มีการเจริญเติบโตของวัชพืชร่วมด้วย (Gilbert and Frederick, 1935) เนื่องจากปริมาณอลูมิเนียมที่มีอยู่สูงในเถ้าลอยลิกไนต์ นอกจากนี้ยังพบ ว่า ปริมาณอลูมิเนียมในดินกรดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของวัชพืชประเภทหญ้า 21 ชนิด ซึ่ง ในสภาวะปกติสามารถเจริญเติบโตได้บนหน้าดินบน (Topsoil) อย่างไรก็ตามวัชพืชที่สามารถพบ ได้โดยทั่วไปในสกุล *Atriplex* (Chenopodiaceae) มีความทนทานต่อความเป็นพิษของอลูมิเนียม ภายใต้สภาวะที่ดินเป็นกรดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังพบว่าการเจริญเติบโตของพืชบนกองเถ้า ลอยลิกไนต์เก่านั้นเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าเถ้าลอยลิกไนต์ที่ทำการกองทิ้งหรือฝังกลบใหม่ ๆ เนื่องจากการชะล้างที่เกิดขึ้นจากการกองทิ้งหรือฝังกลบเป็นเวลานานจะกำจัดส่วนที่เป็นพิษออกไปจากเถ้า ลอยลิกไนต์

นักวิจัยปฐพีศาสตร์ที่มหาวิทยาลัย Virginia Polytechnic Blacksburg, Va. ทำการ ศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการและเรือนทดลองโดยการประเมินผลกระทบการประยุกต์ใช้ โฟแทสเซียม และสังกะสี จากเถ้าลอยลิกไนต์ตามความสามารถของดินเกษตรกรรม โดยทดลอง สุ่มตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์จากโรงไฟฟ้า 15 แห่ง ใน 9 รัฐ และใช้ตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์จาก 3 แห่ง กับดินทรายแบ่ง Tatum พบว่า ความเป็นพิษของแมงกานีส และอลูมิเนียมต่ออัลฟาฟา (*Medicago sativa* L.) ลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดินร่วนปน ทรายแบ่ง Groseclose นอกจากนี้ได้นำตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์จาก 4 แห่ง เติมลงในดินร่วนปน ทรายแบ่ง Davidson พบว่า ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์กับพืชในดินเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม

ตามปริมาณโพแทสเซียมที่ได้จากถั่วลยถิกในดินนั้น มีความเป็นประโยชน์น้อยกว่าที่ได้จากโพแทสเซียมคลอไรด์มาก แต่ถั่วลยถิกในดินก็ยังสามารแก้ไขปัญหาคขาดแคลนสังกะสีของพืชพวกข้าวโพดที่ไม่สามารถเจริญเติบโตบนดินร่วนปนทรายแข็ง Tatum และดินร่วนปนทรายแข็ง Frederick ให้สามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เนื่องจากถั่วลยถิกในดินก่อให้เกิดการลดลงของค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน ส่งผลให้ความเป็นประโยชน์ของสังกะสีเพิ่มขึ้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่างยังก่อให้เกิดการสลายตัวของสังกะสีจากสารประกอบเชิงคีสิลิกเกิดเป็นส่วนใหญ่

อย่างไรก็ดีการเพิ่มความเข้มข้นของจุลธาตุอาหาร และธาตุพืชบางชนิดมักสอดคล้องกับการเพิ่มปริมาณถั่วลยถิกในดิน ดังนั้นการพิจารณาเพื่อนำถั่วลยถิกในดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรในพื้นที่เพาะปลูกนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้ปริมาณจุลธาตุอาหาร และธาตุพืชบางชนิดก่อนนำไปใช้ เนื่องจากความเสี่ยงของการสะสมในดิน และพืชอาจให้โทษมากกว่าให้ประโยชน์ ทั้งนี้การเลือกชนิดพืช ลักษณะดิน และการเติมปุ๋ยเคมีร่วมกับถั่วลยถิกในดินที่เหมาะสม ย่อมนำไปสู่การนำถั่วลยถิกในดินมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรอย่างเหมาะสม และปลอดภัยได้ในที่สุด

ตารางที่ 2.7 ความสามารถในการเคลื่อนย้ายของจุลธาตุอาหาร และธาตุพืชในต้นพืช
(Robson and Snowball, 1986)

ความสามารถในการเคลื่อนย้าย	ชนิดของธาตุ
ได้	ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียม
ปานกลาง	กำมะถัน ทองแดง และสังกะสี
ไม่ได้	แคลเซียม แมงกานีส และเหล็ก

ตารางที่ 2.8 ปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน ปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิด
ความเป็นพิษ (ppm) ในพืช ของจุลธาตุอาหาร

ชนิดของธาตุ	ส่วนของพืช (ระยะการเจริญเติบโต) ที่วิเคราะห์	ปริมาณที่ก่อให้เกิดการขาดแคลน (ppm)	ปริมาณปกติ (ppm)	ปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ (ppm)
เหล็ก	ใบข้าว (แตกกอ)	70 ¹	30-300 ²	300 ¹
	เนื้อเยื่อใบแก่	< 50 ⁵	50-250 ⁵	
แมงกานีส	ต้นข้าวเว้นราก (แตกกอ)	20 ¹	15 - 150 ²	7,000 ¹
	เนื้อเยื่อใบแก่	< 20 ⁵	20-500 ⁵ 15 - 100 ⁶	400 - 2,000 ² > 500 ⁵
ทองแดง	ฟางข้าว (เก็บเกี่ยว)	< 6 ¹	3 - 20 ²	30 ¹ 25 - 40 ² 15-20 ³
	เนื้อเยื่อใบแก่	< 4 ⁵	2-20 ⁴ 5-20 ⁵ 4 - 15 ⁶	> 20 ⁵
สังกะสี	ต้นข้าวเว้นราก (แตกกอ)	10 ¹		1,500 ¹
	ฟางข้าว (เก็บเกี่ยว)		15 - 150 ²	500 - 1,500 ² 20-30 ³
	เนื้อเยื่อใบแก่	< 20 ⁵	25-150 ⁵ 8 - 100 ⁶	> 400 ⁵

หมายเหตุ : ใบ หมายถึง ใบที่โตเต็มวัยล่าสุด เป็นใบที่ 2 นับจากยอด

ฟาง หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือดินทั้งหมดหลังจากแยกรวงออกไปแล้ว

1 Yoshida, 1981

2 Chaney, 1982

3 Pendias and Pendias, 1992

4 Mengel and Kirkby, 1982

5 Davies and Carlton-Smith, 1980

6 Allaway, 1968

ตารางที่ 2.9 ปริมาณปกติ และปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ (ppm) ในพืช ของธาตุพืช

ชนิดของธาตุ	ส่วนของพืช (ระยะการเจริญเติบโต) ที่วิเคราะห์	ปริมาณปกติ (ppm)	ปริมาณที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ (ppm)
นิกเกิล		0.1 – 5 ²	50 – 100 ² 150-200 ³
		1 ⁴	
แคดเมียม		0.1 – 1 ²	5 – 700 ² 5-10 ³
		0.2 – 0.8 ⁴	
อลูมิเนียม	ต้นข้าวเหนียว (แตกกอ)		300 ¹

หมายเหตุ : โบ หมายถึง โบที่โตเต็มวัยล่าสุด เป็นโบที่ 2 นับจากยอด

ฟาง หมายถึง ส่วนที่อยู่เหนือดินทั้งหมดหลังจากแยกรวงออกไปแล้ว

1 Yoshida, 1981

2 Chaney, 1982

3 Pendias and Pendias, 1992

4 Allaway, 1968

2.4 ดินเปรี้ยว

ดินเปรี้ยว หรือดินเปรี้ยวจัด หรือดินกรดกำมะถัน หรือดินกรดซัลเฟต หรือ Cat Clay หรือ Pyritic Soil คือ ดินกรดจัด (Acid Sulfate Soil) ส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต่ำกว่า 6 ซึ่งถือว่าเป็นดินที่มีปัญหาในการที่จะนำมาใช้สำหรับการเพาะปลูกพืช แต่ในปัจจุบันพื้นที่ทำการเกษตรลดน้อยลง จึงจำเป็นที่จะต้องนำดินที่เป็นปัญหาเหล่านี้มาใช้ในการเพาะปลูก

2.4.1 แหล่งที่พบ

ในประเทศไทยพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด หรือดินที่มีศักยภาพเป็นดินเปรี้ยวจัด มีประมาณ 9.4 ล้านไร่ ส่วนใหญ่พบอยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางประมาณ 5.6 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 60 ของพื้นที่ที่เป็นดินเปรี้ยวจัดทั้งหมด ส่วนที่เหลือกระจายอยู่ทั่วไปตามบริเวณชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะบริเวณลุ่มแม่น้ำจันทบุรี และตามชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของอ่าวไทยบริเวณจังหวัด

สงขลา นราธิวาส และปัตตานี ดินกรดจัดดังกล่าวในประเทศไทยนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการปลูกข้าว ในปัจจุบันได้พัฒนาพื้นดินที่เปรี้ยวจัดบางส่วนมาปลูกพืชผัก และผลไม้ ดินกรดจัดในที่ราบลุ่มภาค กลางนั้นโดยมากอยู่ทางฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา (Pons and Kevie, 1969; Kevie and Yenmanas, 1972)

2.4.2 การเกิด

ดินเปรี้ยวเกิดจากตะกอนของน้ำทะเล และน้ำกร่อยเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะทั่วไปของดินเปรี้ยวจะมีดินชั้นบนเป็นดินเหนียวถึงดินเหนียวจัด สีเทา หรือสีเทาเข้มถึงดำ ลึกประมาณ 20-40 เซนติเมตร โดยอาจจะมี หรือกำลัมี หรือเคยมีกรดกำมะถันอยู่ในชั้นหน้าตัดของดิน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากกระบวนการเกิดของดิน และอาจจะมีจุดประของสารประกอบเหล็กพวก Basic Ferric Sulfate มีสีน้ำตาล หรือน้ำตาลแดง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามรอยรากข้าว ดินชั้นล่างเป็นดินเหนียว มีพื้นเป็นสีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนเทา มีจุดประสีเหลืองปนน้ำตาล สีแดง หรือสีเหลืองคล้ายฟางข้าว เรียกว่า จาโรไซต์ (Jarosite)

2.4.3 ผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของข้าว

ดินเปรี้ยวถือว่าเป็นดินที่ไม่มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืช (Panichapong, 1982) เนื่องจากดินเปรี้ยวมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำ (ปริมาณไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้สูง) หรือมีปริมาณอลูมิเนียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ดินเปรี้ยวไม่เหมาะสมกับการปลูกพืช โดยสามารถก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรง และทางอ้อมต่อการเจริญเติบโตของพืชดังนี้

1.) ผลกระทบทางตรง คือ ทำให้รากพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ตามปกติเมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินต่ำ ดังเช่น การปลูกข้าวในสารละลายที่ให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 3.5-4.0 พบว่า ไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้สูงส่งผลเสียโดยตรงต่อข้าว (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2531) ซึ่งโดยปกติแล้วผลกระทบทางตรงในลักษณะนี้มักจะเกิดขึ้นเป็นส่วนน้อย

2.) ผลกระทบทางอ้อม เกิดขึ้นเนื่องจากความเป็นกรดของดินก่อให้เกิดผลบางประการ เช่น ทำให้ขาดธาตุอาหารพืชบางชนิดที่สำคัญ คือ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส หรือทำให้ธาตุบางชนิดเกิดความเป็นพิษ เช่น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ต่ำกว่า 4.5-5.0 ก่อให้เกิดความเป็นพิษของอลูมิเนียมสำหรับกล้าข้าว และค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ต่ำกว่า 3.5-4.2 ก่อให้เกิดพิษอลูมิเนียมของสำหรับพืชที่มีอายุมากขึ้น (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2531) อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่น ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ปริมาณฟอสเฟตจะลดความเป็นพิษของอลูมิเนียม เนื่องจากเกิดการตกตะกอนกับอลูมิเนียมทั้งภายใน และภายนอกราก ดังนั้นการที่ปริมาณฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ในดินมี

ปริมาณต่ำ หรือถูกตรึงในดินเปรี้ยวสูงนั้น จะก่อให้เกิดปัญหาความเป็นพิษของอลูมิเนียมสูงขึ้น สำหรับดินเปรี้ยวที่ไม่พบปัญหาความเป็นพิษของเหล็ก และอลูมิเนียม นั้น จะพบปัญหาที่สำคัญ คือ การขาดฟอสเฟต เนื่องจากปริมาณฟอสเฟตถูกตรึงโดยเหล็ก และอลูมิเนียม ซึ่งปัญหาปริมาณฟอสเฟตต่ำสามารถพบได้ในดินเปรี้ยวจัดโดยทั่วไปของประเทศไทย (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน, 2520) และเป็นปัจจัยหลักในการจำกัดการเจริญเติบโตของข้าว โดยผลผลิตของข้าวมีแนวโน้มลดลงในดินเปรี้ยวจัดที่มีความเข้มข้นของแมงกานีสในดินมากกว่า 1,500 ppm (ไพบูลย์ ประพุดิธรรม และลัดดาวัลย์ เพียรเพิ่มภัทร, 2530)

นอกจากนี้ความไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชทางอ้อมยังทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์ในดินลดลง (ประยงค์ นามเมือง, 2518) และทำให้สมบัติทางกายภาพของดินแน่นทึบและอัดตัว ดังนั้นถ้าจะนำดินเปรี้ยวเหล่านี้มาใช้ทำการเกษตร จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงปัญหาขั้นพื้นฐานของดินเปรี้ยวเหล่านี้เสียก่อน แล้วจึงหาแนวทางในการจัดการดินชนิดนี้ เพื่อที่จะทำให้การใช้ประโยชน์ที่ดินเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2.4.4 การจัดการสำหรับการปลูกข้าว

การปลูกข้าวในสภาพขังน้ำก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินเปรี้ยวจัด เนื่องจากการขังน้ำจะมีผลต่อความเข้มข้นของจุลธาตุอาหาร และธาตุพิษ 2 ชนิดหลัก คือ เหล็ก และอลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น (ทัศนีย์ อัดตะนันท์, 2531) มีดังต่อไปนี้ คือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินกรดจัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับดินธรรมดา ปริมาณเหล็กที่สามารถละลายน้ำได้เพิ่มปริมาณสูงขึ้น และปริมาณสูงสุดมีค่าอยู่ระหว่างหลายร้อยถึงหลายพัน ppm ซึ่งการยกระดับความเป็นกรดเป็นด่างให้ใกล้เคียงกับค่าที่เป็นกลาง ส่งผลให้ปริมาณเหล็กลดลงอยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายน้ำได้ลดลง เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงขึ้น แต่ปริมาณซัลเฟอร์ที่ละลายน้ำได้กลับเพิ่มปริมาณสูงขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปฏิกิริยารีดักชันของดิน ดังนั้นการจัดการโดยการปรับปรุงแก้ไขดินเปรี้ยวจัดให้เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว จึงต้องอาศัยวิธีการดังต่อไปนี้

- 1.) การชะล้างด้วยน้ำ สามารถขจัดธาตุที่อาจก่อให้เกิดพิษแก่พืชซึ่งสะสมตกค้างอยู่ในดินเปรี้ยวจัดได้ และยังทำให้ค่าการนำไฟฟ้า รวมถึงปริมาณซัลเฟอร์ลดลง ส่วนค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังเช่น ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินกรดจัดเพิ่มขึ้นจาก 2.5 เป็น 3.7 เมื่อทำการชะล้างด้วยน้ำ (Cate and Sukhai, 1964) ปริมาณไฟฟ้านในดินสามารถลดลงจากร้อยละ 2-3 เหลือเพียงร้อยละ 0.5 ในระยะ 5-10 ปี ภายใต้สภาพการชะล้าง และการระบายน้ำที่ดี

(Coulter, 1972) และการศึกษาการชะล้างดินเปรี้ยวจัดของประเทศเวียดนาม พบว่า สามารถลดความเข้มข้นของอลูมิเนียมในสารละลายดินจาก 69 ppm เหลือเพียง 0.6 ppm (Ponnamperuma, Attanandana and Beye, 1972)

2.) การขังน้ำก่อนปลูก ซึ่งก่อให้เกิดทั้งผลดี และผลเสีย เนื่องจากการขังน้ำทำให้การละลายได้ของฟอสเฟต และแมงกานีสเพิ่มขึ้น แต่การละลายได้ของสังกะสีลดลง (Tadano and Yoshida, 1978) นอกจากนี้การขังน้ำในดินเปรี้ยวจัดตลอดเวลายังส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเพิ่มขึ้น ความเป็นพิษจากเหล็ก และอลูมิเนียมจะลดน้อยลง (Kawaguchi and Kyuma, 1979; International Rice Research Institute [IRRI], 1981)

3.) การใส่ปุ๋ย เป็นวิธีการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดที่ง่าย และได้ผลดีวิธีหนึ่ง ผลของการใช้ปุ๋ย ซึ่งเป็นการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน นอกจากจะทำให้ความเป็นพิษของสารต่าง ๆ ลดน้อยลงไปแล้วยังช่วยเพิ่มธาตุอาหารบางชนิดให้แก่พืชอีกด้วย (สำราญ สมบัติพานิช และลาวัลย์ วงศ์ไพบุลย์, 2516; Cate and Phu, 1951; Mclean et al, 1964; Ponnamperuma, 1960)

4.) การใส่ปุ๋ยฟอสฟอรัส เพื่อเพิ่มระดับความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินเปรี้ยวจัด ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการตรึงของเหล็ก และอลูมิเนียม ซึ่งพบได้เป็นปริมาณสูงในดินเปรี้ยวจัด

5.) การใส่แมงกานีสไดออกไซด์ เพื่อเพิ่มผลผลิต และปรับปรุงดินเปรี้ยวจัด เนื่องจากแมงกานีสไดออกไซด์สามารถยับยั้งการลดลงของปริมาณออกซิเจน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน) ในดินเปรี้ยวจัดได้ ส่งผลให้ปริมาณเหล็ก และอลูมิเนียมที่ละลายได้ลดน้อยลง (Nhung and Ponnamperuma, 1966; Ponnamperuma, Yuan and Nhung, 1965; Ponnamperuma and Solivas, 1981; IRRI, 1981)

6.) การใช้พันธุ์ต้านทาน กองบริรักษ์ที่ดิน (2522) ได้รายงานผลการคัดพันธุ์ข้าวที่เจริญเติบโตได้ดีในดินเปรี้ยวจัดชุดรังสิตกรดจัดที่สถานีปรับปรุงบำรุงดิน อำเภอองค์รักษ์ จังหวัดนครนายก ซึ่งประกอบด้วย ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เล็บมือนาง111 ตะเภาแก้ว161 เหลืองบังใบ และหอมมะลิ

2.5 ข้าว

2.5.1 ลักษณะที่สำคัญของต้นข้าว

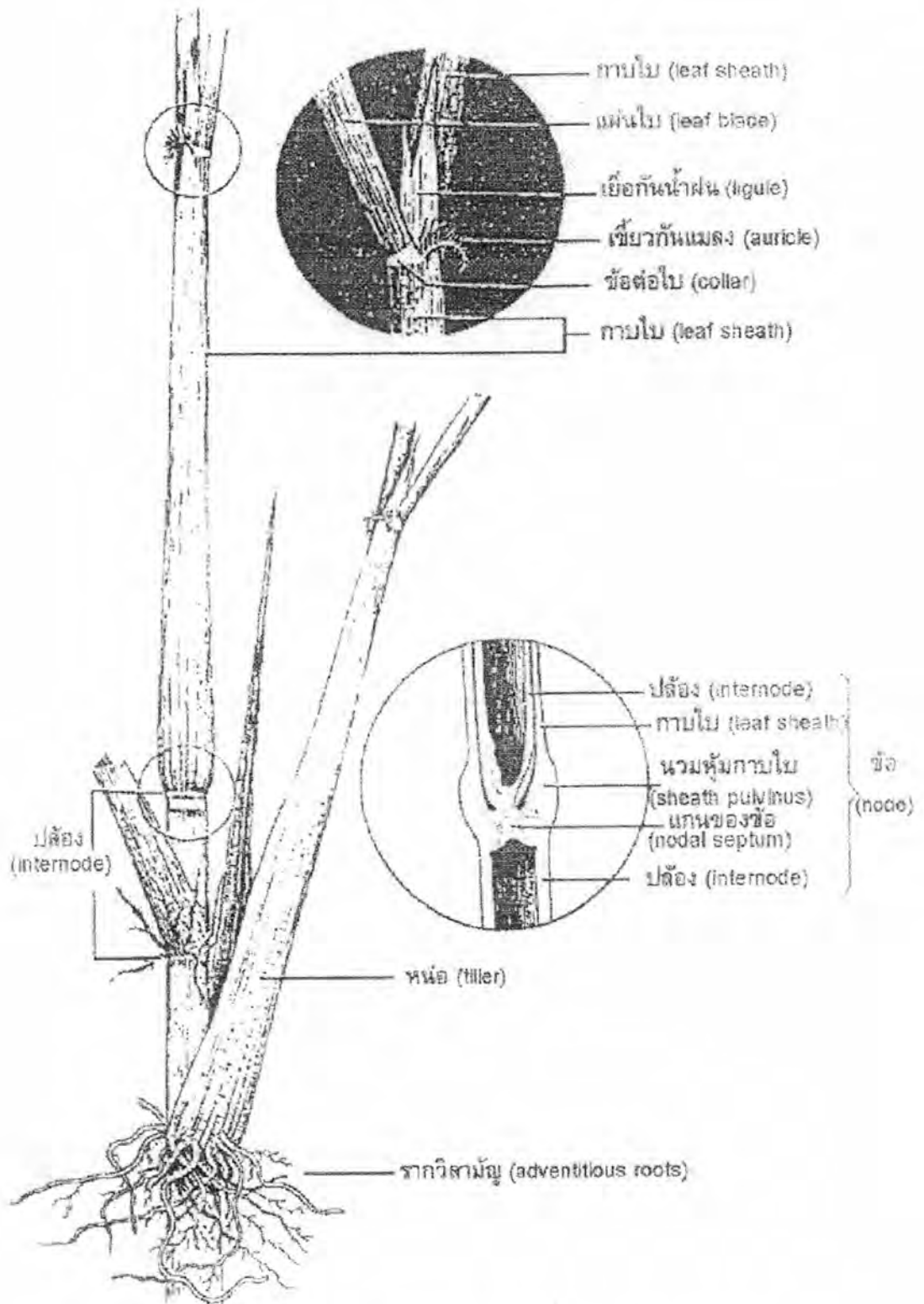
ข้าว (*Oryza sativa* L.) เป็นพืชตระกูลหญ้า จัดเป็นพืชล้มลุก ประกอบด้วยลักษณะที่สำคัญ (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2543) ดังภาพที่ 2.3 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ต้นข้าวอยู่เหนือผิวดิน และรากซึ่งส่วนมากอยู่ใต้ผิวดิน โดยส่วนของต้นประกอบด้วย ลำต้น ใบ และรวงข้าว

ลำต้นมีลักษณะทรงกลม ประกอบด้วย ปล้องหลาย ๆ ปล้องเชื่อมต่อกัน ภายในปล้องมีลักษณะกลวง รอยต่อระหว่างปล้องเป็นเนื้อเยื่อค่อนข้างแข็ง เรียกว่า ข้อ ที่ข้อมีตาใบ ตายอด และตาราก ส่วนของตาใบจะเจริญเติบโตเป็นใบข้าว ตายอดสามารถพัฒนากลายเป็นหน่อ (ลำต้น) หรือรวงได้ และตารากก็สามารถเจริญเติบโตเป็นรากได้หากอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม

ใบข้าวเกิดสลับกัน 2 ทิศทางบนลำต้นโดยมีฐานใบติดกับลำต้น ส่วนที่เรียกว่า ข้อใบข้าว ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ ส่วนที่ติดกับข้อเรียกว่ากาบใบ มีลักษณะโค้งหุ้มลำต้นข้าว และส่วนยอดเรียกว่า แผ่นใบ มีลักษณะแบน สีเขียว ส่วนที่เชื่อมระหว่างกาบใบ และแผ่นใบ เรียกว่า คอใบ ใบข้าวทำหน้าที่สำคัญในการสร้างอาหาร ซึ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต พัฒนาการ และการสร้างเมล็ด โดยปกติต้นข้าวจะมีใบสีเขียวสมบูรณ์ประมาณต้นละ 5-8 ใบ ใบข้าวใบสุดท้ายก่อนที่ต้นข้าวออกรวง มีชื่อเรียกว่า ใบธง หรือ ใบวี ถัดจากใบธงก็จะเป็นรวงข้าว บริเวณคอใบยังมีเยื่อถักน้ำฝน และเขี้ยวกันแมลง ซึ่งไม่พบในหญ้าทั่ว ๆ ไป สามารถใช้ลักษณะดังกล่าวในการแยกความแตกต่างระหว่างต้นข้าวกับต้นหญ้า

รวงข้าว ประกอบด้วย ก้านรวง กระจับ ก้านเมล็ด และเมล็ด ซึ่งมีทั้งเมล็ดดี และเมล็ดลีบ โดยในส่วนของเมล็ดข้าว ประกอบด้วย เปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ด ซึ่งมีแบ่งเป็นองค์ประกอบหลัก

รากข้าวเป็นส่วนของต้นข้าวที่อยู่ในดิน ทำหน้าที่ยึดลำต้น ดูดน้ำ และธาตุอาหารจากน้ำ และดิน รากข้าวเป็นระบบรากฝอย เมื่อเกิดใหม่จะมีสีขาว ค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อข้าวมีอายุมากขึ้น และเป็นสีดำเมื่อรากข้าวตาย



ภาพที่ 2.3 ลักษณะสำคัญของข้าวโดยทั่วไป (ทวี คุปต์กาญจนากุล, 2543)

2.5.2 ธาตุอาหารสำหรับข้าว

การจำแนกธาตุอาหารสำหรับข้าวสามารถจัดกลุ่มตามความสำคัญ ปริมาณที่พืชต้องการ ให้ ปริมาณที่มีอยู่ในดิน และความรุนแรงของการขาดธาตุนั้น ๆ ต่อความเสียหายของผลผลิต (ลัดดาวัลย์ กรรณนุช, 2543) ดังนี้

1.) ธาตุอาหารหลัก ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นธาตุอาหารในกลุ่มที่ข้าวมีความต้องการในปริมาณมากเพื่อนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโต และสร้างผลผลิต ถ้าพืชขาดธาตุดังกล่าวชนิดใดชนิดหนึ่งในกลุ่มนี้ จะแสดงอาการขาดอย่างรุนแรง ทำให้การเจริญเติบโตชะงักงัน และถ้ายังไม่ได้รับการแก้ไข จะทำให้พืชต้นนั้นตายในที่สุด

2.) ธาตุอาหารรอง ประกอบด้วย แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ เป็นธาตุอาหารที่ข้าวนำไปใช้น้อยกว่ากลุ่มแรก แต่ถ้าขาดธาตุดังกล่าวชนิดใดชนิดหนึ่งในกลุ่มนี้ ข้าวก็จะแสดงอาการขาดให้เห็น ซึ่งหากมีการเติมธาตุอาหารที่ขาดลงในดิน จะทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตเป็นปกติดังเดิม

3.) จุลธาตุอาหาร ประกอบด้วย เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เป็นธาตุอาหารประเภทใช้น้อย แต่ยังมีความจำเป็น เพราะเมื่อขาดธาตุอาหารเหล่านี้แล้ว ความสามารถในการเจริญเติบโตของข้าวจะลดลง หรือชะงักการเจริญเติบโต ถ้าขาดรุนแรงอาจตายได้

นอกจากธาตุอาหารที่มีความจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของข้าวแล้ว ปริมาณธาตุบางชนิดที่มีมากเกินไปก็อาจส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวได้ เช่น นิกเกิล แคดเมียม และอลูมิเนียม เป็นต้น

2.5.3 ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105

ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 (กรมวิชาการเกษตร, 2539) เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาเกษตรกร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกเพื่อศึกษาลักษณะ และมีการปรับปรุงพันธุ์ให้บริสุทธิ์ตามหลักวิชาการจนได้พันธุ์ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม และเมล็ดอ่อนนุ่ม เมื่อนำมาหุงต้ม ดังนั้นรัฐบาลประกาศให้ขยายพันธุ์ส่งเสริมการปลูกได้ตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม 2502 เป็นต้นมา สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 ที่เหมาะสม ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางบางพื้นที่

1.) ลักษณะทั่วไป ข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ105 เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปีเท่านั้น ลักษณะลำต้นที่เจริญเติบโตเต็มที่สูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร ออกดอก

ประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายนของทุกปี ระยะพักตัวของเมล็ด ประมาณ 8 สัปดาห์ ขนาดเมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตรหนา 1.8 มิลลิเมตร ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดเรียวยาว ปลายเมล็ดบิดงอเล็กน้อย สีฟาง

2.) ข้อดีของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 คือ ข้าวสุกมีกลิ่นหอม และเมล็ดค่อนข้างนุ่ม สามารถทนต่อสภาพแล้ง ดินเปรี้ยว และดินเค็ม คุณภาพการขัดสีดี เมล็ดข้าวสารใส แกร่ง มีท้องไข่น้อย นวดง่าย เนื่องจากเมล็ดหลุดร่วงจากรวงได้ง่าย เป็นที่ต้องการของตลาด ขายได้ราคาดี

3.) ข้อจำกัดของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 คือ น้ำหนักเมล็ดเบา ผลผลิตค่อนข้างต่ำโดยประมาณ 363 กก./ไร่ ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคไหม้ โรคใบหงิก แมลงบัว หนอนกอ เพลี้ยจักจั่น และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ต้นอ่อนล้มง่าย ทรงกอแผ่ ถ้าปลูกในบริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง ถ้าสุกงอมเกินไปจะเก็บเกี่ยวยาก