บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เถ้าลอยลิกไนต์

เถ้าลอยได้จากการเผาถ่านหินในโรงงาน โรงไฟฟ้าถ่านหิน เถ้าลอยจะถูกดักจับไว้ในไซโล ด้วยตัวดักจับ (เช่น เครื่องดักจับแบบไฟฟ้าสถิต) มีสีเทา เทาดำ หรือน้ำตาล จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ โดยใช้เทคนิค X- Ray Fluorescence พบว่า ประกอบด้วยองค์ประกอบออกไซด์ของแร่ต่างๆ ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นต้น ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้จะมีค่าต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งหรือชนิดของถ่านหินที่มาของเถ้าลอย กระบวนการเผา อุณหภูมิที่ใช้เผา ด้วยเหตุนี้จึงมีการแยกประเภทของเถ้าลอยดังมาตรฐาน ASTM C618 เป็น Class F และ Class C (ตารางที่ 2.1) โดยเถ้าลอย Class F มักได้จากการเผาถ่านหินประเภทแอนทราไซต์หรือบิทูมินัส ส่วนเถ้าลอย Class C ได้จากการเผาถ่านหินประเภทซับบิทูมินัสหรือลิกไนต์ ทั้งนี้ เพื่อให้มั่นใจว่า เถ้าลอยนั้นมีสมบัติทางเคมีเหมาะที่จะใช้ในงานด้านวิศวกรรม

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดทางด้านเคมีตามมาตรฐาน ASTM C618 (ASTM, 1995)

องค์ประกอบทางเคมี	Class ของเถ้าลอย	
	F	C
ผลรวมของปริมาณซิลิกาออกไซด์ อลูมินาออกไซด์ และเหล็กออกไซด์, min %	70.0	50.0
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์, max %	5.0	5.0
ปริมาณความชื้น, max %	3.0	3.0
น้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI), max %	6.0	6.0
อัลคาไลน์ในรูปของโซเดียมไดออกไซด์ (Na_2O), max %	1.5	1.5

การกำหนดมาตรฐาน ASTM C 618 ให้ผลรวมของปริมาณออกไซด์ของซิลิกา อลูมินา และเหล็กในเถ้าลอย Class F และ Class C เป็น 70 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากให้เกิดความมั่นใจว่า ในเถ้าลอยนั้นมีส่วนประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างเพียงพอ และสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิค (Pozzolanic Reaction) ได้ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย,

2544) โดยทั่วไปแม้เถ้าลอย Class F จะมีผลรวมออกไซด์ของซิลิกา อลูมินา และเหล็กอยู่ไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ แต่แทบจะไม่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประสานเลยเมื่อผสมกับน้ำ เนื่องจากมีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ต่ำ โดยมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 10 (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544) สำหรับร้อยละของปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ กำหนดให้ไม่เกิน 5 เนื่องจากปริมาณซัลเฟตในเถ้าลอย มีผลต่อการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังอัดและระยะเวลาในการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ การกำหนดปริมาณสูงสุดไว้เพื่อป้องกันไม่ให้มีซัลเฟตในคอนกรีตสูงเกินไป เพราะจะทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตได้ ปริมาณร้อยละความชื้นของเถ้าลอยไม่ควรเกินร้อยละ 3 เพราะหากสูงกว่านี้จะเป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงาน นอกจากนี้เถ้าลอย Class C สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ หากมีความชื้นสูงเพียงพอ ทำให้เถ้าลอยแข็งตัวเป็นเม็ดได้ การกำหนดค่าร้อยละของน้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI) ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเถ้าลอยไว้ไม่เกินร้อยละ 6 เนื่องจากเถ้าลอยที่มี LOI มาก การควบคุมด้าน Air Entrainment ของคอนกรีตสดจะทำได้ยาก และมีความต้องการน้ำสูงขึ้น สำหรับร้อยละของอัลคาไลน์ในรูปของโซเดียมไดออกไซด์ เป็นข้อกำหนดเสริมของ ASTM C 618 ในกรณีที่จะนำเถ้าลอยมาใช้ร่วมกับมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยา โดยเถ้าลอยที่มีอัลคาไลน์ในรูปของโซเดียมไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 1.5 จะทำให้มวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยามีการขยายตัวจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อคอนกรีต อย่างไรก็ดีข้อกำหนดนี้ไม่มีความจำเป็นหากไม่ได้ใช้เถ้าลอยร่วมกับมวลรวมที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544)

2.1.1 สมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์

เถ้าลอยโดยทั่วไปรูปร่างส่วนใหญ่จะมีลักษณะค่อนข้างกลมหรือเกือบกลม มีรูพรุน มีน้ำหนักเบาลอยน้ำได้ หรือมีรูปร่างไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนเผา และชนิดของถ่านหิน รูปทรงของเถ้าลอยเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของอนุภาค โดยอนุภาคของเถ้าลอยส่วนใหญ่จะไม่เป็นผลึก มีรูปทรงกลม ซึ่งอาจตันหรือกลวง ลักษณะทรงกลมที่ภายในกลวงเรียกว่า เถ้าลอยกลวง (Cenospheres) บางส่วนจะเป็นทรงกลมกลวงบรรจุด้วยอนุภาคเล็กๆ อยู่ภายในเรียกว่า Plerospheres อนุภาคที่เหลือมีลักษณะตั้งแต่โปร่งแสงจนถึงทึบแสง มีรูพรุนเล็กน้อยถึงพรุนมาก มีรูปร่างที่กลมจนถึงรูปร่างยาวแบน เถ้าลอยที่มีรูพรุนมากๆมักเกิดจากการเผาถ่านหินด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงพอที่จะทำให้เถ้าลอยหลอมเหลวได้ และเถ้าลอยที่ได้มักมีรูปร่างต่างๆกัน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544; Fisher et al., 1978; Aitken, Campbell and Bell, 1987; Schure et al., 1985; Adriano et al., 1980) สมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์สามารถแบ่งได้ดังนี้

1) ความละเอียด

อนุภาคของเถ้าลอยมีหลากหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอนจนถึงขนาดใหญ่กว่า 1 มม. (Davison et al., 1974; Fisher, Chang and Brummer, 1976; Chang et al., 1977; Adriano et al., 1980; Summer et al., 1983) โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเก่ามักใช้วิธีดักจับเถ้าลอยโดยการแยกเชิงกล ซึ่งจะได้เถ้าลอยที่มีขนาดหยาบกว่าเมื่อเทียบกับเถ้าลอยที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าสมัยใหม่ซึ่งดักจับเถ้าลอยด้วยเครื่องดักจับแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitators) หรือใช้ถุงเก็บ (Bag Filters) โดยทั่วไปการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากแหล่งผลิตหนึ่งๆจะค่อนข้างคงที่ แต่ทั้งนี้ต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงแหล่งของถ่านหิน วิธีการบดถ่านหิน กระบวนการเผาถ่านหิน และกำลังการผลิตมากนัก

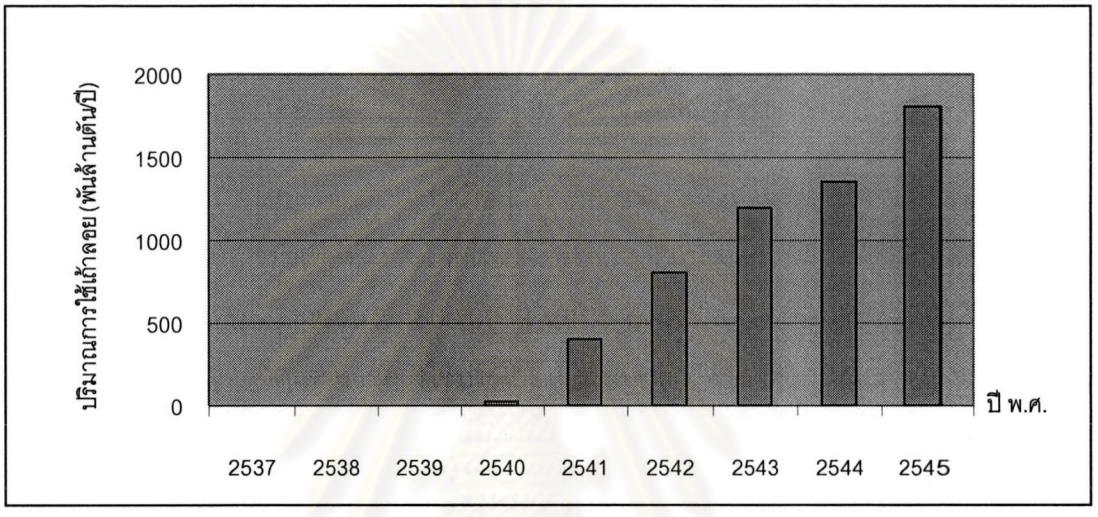
2) ความถ่วงจำเพาะ

ขนาดอนุภาคเถ้าลอยสามารถบ่งชี้ได้ด้วยความถ่วงจำเพาะ กล่าวคือ ความถ่วงจำเพาะสูง อนุภาคส่วนใหญ่มีความละเอียดสูงและตัน เนื่องจากเถ้าลอยที่อนุภาคหยาบมักมีอนุภาคที่กลวงปนอยู่ค่อนข้างมาก และมักมีรูพรุนสูงกว่าเถ้าลอยที่มีขนาดเล็ก ทั้งนี้ ความถ่วงจำเพาะสูงเป็นผลมาจากในเถ้าลอยมีปริมาณแร่เหล็กสูง และมีปริมาณคาร์บอนต่ำ ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยโดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 2.2-2.8 สำหรับเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.0 เถ้าลอยที่มีอนุภาคกลวงอาจลอยน้ำได้ เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะของอนุภาคโดยรวมน้อยกว่า 1.0 เถ้าลอย Class C มีแนวโน้มที่จะมีอนุภาคเล็ก และมีความละเอียดสูงปนอยู่มากกว่าเถ้าลอย Class F นั่นคือ เถ้าลอย Class C จะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเถ้าลอย Class F โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.4-2.8 (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544)

2.1.2 ผลกระทบจากการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์

เถ้าลอยเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหิน (บิทูมินัส แอนทราไซต์ และลิกไนต์) โดยทั่วไปการเผาถ่านหินจะได้เถ้าลอย 75-80% (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544) สำหรับประเทศไทยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีเถ้าลอยลิกไนต์ประมาณ 3 ล้านตัน/ปี จากการใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นแหล่งเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 14.6 ล้านตัน/ปี (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544; วราภรณ์ คุณาวณากิจ, 2546) หลังจากมีงานวิจัยสนับสนุนการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ทดแทนซีเมนต์โดยใช้เทคโนโลยีต่างๆ การใช้เถ้าลอยลิกไนต์จึงเริ่มมีมากขึ้นเป็น 400,000 ตัน/ปี ซึ่งคิดเป็น 13

เปอร์เซ็นต์ของที่ผลิตได้ในปี พ.ศ. 2541 เมื่อมีการรวบรวมกุล่มนักวิจัยที่สนใจในการนำวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหรรมเพื่อทำงานวิจัยต่อยอดซึ่งกันและกัน พบว่า ปัจจุบันปริมาณการใช้เถ้าลอยในประเทศไทยมีมากขึ้นถึง 1,800,000 ตัน/ปี โดยคิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของที่ผลิตได้ในปี พ.ศ. 2545 (ดังรูปที่ 2.2) นอกจากการใช้ประโยชน์เถ้าลอยทางด้านวิศวกรรมแล้ว เถ้าลอยลิกไนต์ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ด้วย ทั้งนี้ การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆตามที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้เกิดผลกระทบดังนี้



รูปที่ 2.1 ปริมาณการใช้เถ้าลอยลิกไนต์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537-2545 (วราภรณ์ คุณาวณากิจ, 2546)

1) ผลกระทบจากการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางวิศวกรรม

เนื่องจากเถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานสังเคราะห์ประเภทหนึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นอันยรูปของซิลิกาและอลูมินา เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่นจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ [$Ca(OH)_2$] และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious)

โดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) จะทำให้ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$) แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.2Al_2O_3.3H_2O$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นจึงได้มีการใช้เถ้าลอยซึ่งมีคุณสมบัติเชื่อมประสานได้เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาผสมในคอนกรีตเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีเนื้อแน่นทึบ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะมีดังนี้

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำ (Hydration of Portland cement)

$$2\,[2\,CaO.SiO_2] + 4\,H_2O \rightarrow 3\,CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

$$2\,[2\,CaO.SiO_2] + 6\,H_2O \rightarrow 3\,CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

$$2\,[2\,CaO.Al_2O_3] + 4\,H_2O \rightarrow 3\,CaO.2Al_2O_3.3H_2O + Ca(OH)_2$$

$$2\,[2\,CaO.Al_2O_3] + 6\,H_2O \rightarrow 3\,CaO.2Al_2O_3.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

ปฏิกิริยาระหว่าง $Ca(OH)_2$ กับเถ้าลอยลิกไนต์ (Pozzolanic Reaction)

$$3\,Ca(OH)_2 + 2\,SiO_2 \rightarrow 3\,CaO.2SiO_2.3H_2O$$

$$3\,Ca(OH)_2 + 2\,Al_2O_3 \rightarrow 3\,CaO.2Al_2O_3.3H_2O$$

อย่างไรก็ตาม กลไกในการเกิดปฏิกิริยาของเถ้าลอยยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ องค์ประกอบทางเคมี ความเป็นผลึก หรือความไม่เป็นผลึกของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ความเข้มข้นของแอลคาไลน์ไฮดรอกไซด์ในระบบปฏิกิริยา ความละเอียดของเถ้าลอย และของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ การพัฒนาความร้อนในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการลดลงของปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับการผสมคอนกรีตเมื่อมีการใช้เถ้าลอยในส่วนผสม

ความละเอียดของเถ้าลอยมีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตอย่างมาก (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544; วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544) แต่คุณสมบัติของเถ้าลอยอาจมีการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเผาไหม้ เช่น มีการเผาน้ำมันเตาร่วมกับการเผาถ่านหิน มีการเติมวัสดุบางประเภทเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ และลดการกัดกร่อน ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของเถ้าลอยเพื่อนำไปใช้งานอาศัยข้อกำหนดทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C618 ดังตารางที่ 2.2

สำหรับการใช้เถ้าลอยผสมปูนซีเมนต์นั้นพบว่า เถ้าลอยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วหลายประการ ดังนี้

1.1) **ความสามารถเทได้** เถ้าลอยมีผลกระทบต่อค่าการไหลของซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากลักษณะกลมของขนาดอนุภาคเถ้าลอยจะทำให้ใช้น้ำในคอนกรีตลดลง โดยยังคงให้ค่าความยุบตัวเท่าเดิม อีกทั้งยังมีผลต่อการเพิ่มอัตราส่วนระหว่างของแข็งต่อของเหลวในเพสต์ด้วย อย่างไรก็ตามเถ้าลอยชนิดหยาบที่มีปริมาณคาร์บอนสูงและไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของวัสดุปอซโซลาน มักต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมีรูพรุนมากจึงดูดน้ำบางส่วนเข้าไปในอนุภาคทำให้น้ำในส่วนที่ช่วยให้การลื่นไหลในการผสมคอนกรีตหายไป และต้องการน้ำในส่วนผสมมากขึ้นเพื่อให้มีความสามารถเทได้เท่ากัน (ไกรวุฒิ และคณะ, 2542 อ้างถึงใน วิศวกรรม

สถานแห่งประเทศไทย, 2544) การใช้เถ้าลอย Class F ในคอนกรีตสามารถลดอัตราการสูญเสียค่ายุบตัวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดาในการใช้งานภายใต้สภาวะอากาศร้อน นอกจากนี้ เถ้าลอย Class C ที่มักมีอนุภาคละเอียดขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนปนอยู่มาก จะช่วยให้ความสามารถเทได้ของคอนกรีตดีขึ้น (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544)

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดทางกายภาพมาตรฐาน ASTM C618-97 (ASTM, 1995)

ข้อกำหนดด้านกายภาพ	Class ของเถ้าลอย	
	F	C
ความละเอียด: ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 หลังการร่อนแบบเปียก, Max %	34	34
หาดัชนีกำลัง: โดยผสมกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์		
7 วัน, Min % เมื่อเทียบกับตัวควบคุม	75	75
28 วัน, Min % เมื่อเทียบกับตัวควบคุม	75	75
ความต้องการน้ำ: Max % เมื่อเทียบกับตัวควบคุม	105	105
ความอยู่ตัว: การขยายตัวหรือหดตัวโดยวิธี Autoclave, Max %	0.8	0.8
การกำหนดความสม่ำเสมอ (Uniformily Requirement)		
- ความหนาแน่น, Max จากค่าเฉลี่ย %	5	5
- ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325, Max จากค่าเฉลี่ย %	5	5
Multiple Factor (ผลคูณระหว่าง %LOI กับ % ของปริมาณที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325)	255	-
Drying Shrinkage ของแท่งมอร์ตาร์ที่ 28 วัน Max % ที่แตกต่างจากตัวควบคุม	0.03	0.03

1.2) **ระยะเวลาก่อตัว** โดยทั่วไปเมื่อผสมเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ เถ้าลอยจะยืดระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตออกไป โดยเฉพาะ เถ้าลอย Class F ในขณะที่เถ้าลอย Class C อาจจะมีผลกระทบต่อระยะเวลาการก่อตัวไม่มากนัก การก่อตัวที่นานขึ้นมีแนวโน้มทำให้มีโอกาสเกิดร้อยร้าวจากการหดตัวแบบพลาสติก (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544)

1.3) **กำลังอัดและอัตราการพัฒนากำลัง** ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีตที่อายุต่างๆ ได้แก่ คุณลักษณะของเถ้าลอย ปูนซีเมนต์ และสัดส่วนของปูนซีเมนต์กับเถ้าลอยในคอนกรีต อัตราการเกิดปฏิกิริยาในช่วงต้นๆ ของเถ้าลอย Class C มักสูงกว่าของเถ้าลอย Class F แม้ว่าเถ้าลอย Class C จะเกิดปฏิกิริยาสูงในช่วงอายุต้นๆก็ตาม แต่การพัฒนากำลังในอายุช่วงหลังของคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย Class C ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2544) นอกจากนี้ ทิน เกตุรัตนบวร ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และเอกภพ อังศุวัฒนา (2541) พบว่า การใช้เถ้าลอยที่มีความละเอียดมากๆ ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.8 ไมครอน ในอัตราส่วนร้อยละ 15 ร้อยละ 25 และร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

ของปูนซีเมนต์ ทำให้กำลังอัดโดยรวมดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอย โดยเริ่มให้กำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยตั้งแต่ช่วงอายุ 7 วันขึ้นไป และแตกต่างจากการใช้เถ้าลอยที่ไม่ได้ผ่านการคัดขนาดมาแทนที่ปูนซีเมนต์อย่างมาก โดยเถ้าลอยที่ไม่ได้คัดขนาดจะให้กำลังอัดต่ำในช่วงอายุต้นๆ และต้องรอเวลานานเพื่อพัฒนากำลัง ดังนั้นการใช้เถ้าลอยที่มีความละเอียดมากจะสามารถแก้ปัญหาในการใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีตได้

2) ผลกระทบจากการนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร

เถ้าลอยลิกไนต์ถูกนำมาใช้ในทางการเกษตร เนื่องจากเถ้าลอยมีศักยภาพที่จะปรับปรุงสมบัติทางด้านกายภาพ และเคมีของดินได้ ดังเช่น การปรับปรุงเนื้อดินจากเนื้อดินที่มีลักษณะหยาบ ให้เนื้อดินมีความละเอียดมากขึ้น หรือจากเนื้อดินที่มีความละเอียดมาก ให้กลายเป็นเนื้อดินที่หยาบขึ้น การเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำให้แก่ดินที่มีเนื้อหยาบ และการเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารให้แก่พืช อย่างไรก็ตามการใช้เถ้าลอยก็ยังทำให้เกิดผลกระทบในทางตรงกันข้ามกับที่ได้กล่าวมาแล้วอีกด้วย เช่น ปริมาณของเกลือที่ละลายได้ (Soluble Salt) มีมากเกินไป และธาตุพิษอื่นๆ (Toxic Trace Elements) เป็นต้น สำหรับการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ทากการเกษตรนั้น สามารถแยกพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ประโยชน์เถ้าลอยลิกไนต์ต่อดินได้ ดังนี้

2.1) ผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพของดิน

เนื่องจากเถ้าลอยประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเท่ากับทรายแป้ง (Silt) เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเติมเถ้าลอยลงสู่ดินในปริมาณที่มากๆ ในดินทรายและดินเหนียวสามารถปรับปรุงเนื้อดินได้ และเถ้าลอยยังช่วยลดความหนาแน่นรวมของดิน และเพิ่มการระบายอากาศ (Chang et al., 1977; Fail and Wochok, 1977) .ในขณะที่เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินเหนียว ความหนาแน่นรวมของดินเหนียวจะเพิ่มขึ้น (Chang et al.,1977)

การเติมเถ้าลอยลงสู่ดินยังสามารถปรับปรุงความจุในการอุ้มน้ำของดินได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินทราย และยังทำให้ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้นด้วย(Salter, Webb and Williams, 1971; Chang et al.,1977; Campbell et al., 1983; Aitken, Cambell and Bell, 1984) ด้วยสมบัติของเถ้าลอยที่สามารถเป็นสารปอซโซลานได้นั้น ทำให้การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินเป็นสาเหตุให้การก่อซีเมนต์ (Cementation) ขึ้นในดินนั้นเกิดขึ้นได้ โดยจะทำให้การซึมของน้ำ และการชอนไชของรากพืชนั้นเป็นไปได้ลำบาก Chang et al. (1977) พบว่าเถ้าลอยที่เป็นด่าง (pH = 12.5) นั้นจะลดอัตราการไหลซึมของน้ำเมื่อเติมลงดินกรด (Acidic soil) ในอัตราที่มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเมื่อเติมลงในดินที่มีปริมาณแคลเซียมสูง

(Calcareous soil) ในอัตราที่มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และยังพบอีกว่าเมื่อเติมเถ้าลอยที่เป็นกรด (pH = 5) ลงในดินร่วนปนทรายทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิคได้ (Pozzolanic Reaction) (Furr et al., 1978)

2.2) ผลกระทบต่อสมบัติทางเคมีของดินและองค์ประกอบธาตุของพืช

เนื่องจากเถ้าลอยมีความเป็นด่างสูง (pH ประมาณ 9-12) และมีปริมาณของธาตุอัลคาไลน์เอิร์ธมาก จึงทำให้มีการศึกษาถึงศักยภาพในการนำเถ้าลอยไปใช้เป็นสารปรับปรุงดินเพื่อแก้ไขความเป็นกรดของดิน เช่น รายงานการวิจัยของ Phung et al. (1978) ถึงการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถของการยกระดับ pH ของดินระหว่างการเติมเถ้าลอย (pH = 12.5) กับแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในดินเหนียวปนทรายแป้ง (pH = 4.1) ที่อัตราต่างๆกัน พบว่า pH จะเพิ่มขึ้นในระดับที่เท่ากันได้ เมื่อเติมเถ้าลอยมากเป็น 5 เท่าของแคลเซียมคาร์บอเนต และอรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ (2546) ก็พบเช่นเดียวกันว่า เมื่อนำเถ้าลอยลิกไนต์ (pH = 10) เติมลงในดินเหนียว (pH = 5.87) และดินร่วน (pH = 5.00) จะต้องเติมเถ้าลอยถึง 14.2 และ 16 ตัน/ไร่ จึงจะสามารถยกระดับ pH ของดินให้ได้เท่ากับ 7.00 ในขณะที่มีการเติมปูนมาร์ล ($CaCO_3$) เพียง 0.9 ตัน/ไร่ เท่ากับว่าต้องเติมเถ้าลอยมากเป็น 15-18 เท่าของการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้เมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงสู่ดินเหนียวและดินร่วน 4 ตัน/ไร่ (อัตราแนะนำในการเติมปูนมาร์ล) ในแปลงทดลองในภาคสนามไม่พบการเปลี่ยนค่า pH อย่างมีนัยสำคัญ จึงอาจกล่าวได้ว่า การใช้ประโยชน์ของเถ้าลอยลิกไนต์ในรูปของปูนเพื่อยกระดับ pH ของดินมีความเป็นไปได้น้อย

การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงในดินยังส่งผลต่อดินและองค์ประกอบทางเคมีของพืชด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของโลหะหนัก (Trace Element) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้นก็มีผลมาจากความเป็นกรด-ด่างของดิน การละลายออกมาของธาตุที่จะมีผลต่อดินและองค์ประกอบทางเคมีของพืช รวมทั้งปริมาณของธาตุต่างๆที่มีอยู่ในเถ้าลอย Petruzzelli et al. (1987) พบว่า ข้าวสาลี (Wheat) ที่ปลูกบนดินที่ถูกทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นด้วยเถ้าลอยจะมีปริมาณของโลหะลดลง แต่อย่างไรก็ตามข้าวสาลีที่ปลูกบนดินอีก 2 ชนิดมีปริมาณของโลหะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโลหะจากเถ้าลอย

เนื่องจากในเถ้าลอยมีธาตุต่างๆในปริมาณมาก ทำให้งานวิจัยส่วนใหญ่ยังคงศึกษาถึงประโยชน์ของเถ้าลอยในด้านการเป็นธาตุอาหารให้แก่พืช และพบว่า เถ้าลอยสามารถใช้เป็นแหล่งของแหล่งธาตุอาหารที่จำเป็นให้แก่พืชได้ โดยธาตุอาหารที่จำเป็นเหล่านี้ได้แก่ B Ca Cu K Mg Mo S และ Zn (Martens, 1971; Doran and Martens, 1972; Elseewi et al., 1978;

Wallace and Wallace, 1986) แต่ในขณะเดียวกันเถ้าลอยยังเพิ่มปริมาณของโลหะหนักที่จำเป็นสำหรับสัตว์ โดยเฉพาะ Se ให้แก่พืชได้อีกด้วย (Furr et al., 1978)

2.3) **ผลกระทบต่อจุลินทรีย์ดิน**

การศึกษาวิจัยถึงผลกระทบต่อจำนวนประชากรและกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเถ้าลอยยังมีอยู่น้อย อย่างไรก็ตาม ข้อสรุปโดยทั่วๆไปคือ ดินที่ถูกปรับปรุงด้วยเถ้าลอยทำให้จำนวนและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินลดลง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการหายใจของจุลินทรีย์ในดิน 2 ชนิดที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่ 6.4 และ 6.7 ซึ่งเติมเถ้าลอยที่อัตรา 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักพบว่า ทำให้การหายใจของดิน (Soil Respiration) ลง 97 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (Pichtel, 1990)

2.2 สมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติทางกายภาพของดินมีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการงอกของเมล็ด การเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช สมบัติทางกายภาพเป็นสมบัติที่มองเห็นได้ และสัมผัสได้ เช่น เนื้อดิน (Soil Texture) และโครงสร้างดิน (Soil Structure) รวมทั้งสมบัติอื่นๆที่เป็นผลต่อเนื่องจากสมบัติพื้นฐาน 2 ประการข้างต้น เช่น ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ความพรุน (Porosity) การไหลซึมน้ำ (Permeability) และความจุในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ของดิน เป็นต้น

2.2.1 เนื้อดิน

เนื้อดินเป็นสมบัติทางกายภาพขั้นพื้นฐาน ซึ่งมีผลควบคุมสมบัติทางกายภาพอื่นๆ เนื้อดินถูกจำแนกเป็นหลายประเภท โดยสิ่งที่กำหนดประเภทของเนื้อดิน คือ สัดส่วนโดยมวลของอนุภาค 3 กลุ่มขนาด คือ ทราย (Sand) ทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay) ซึ่งขนาดอนุภาคทรายเป็นกลุ่มขนาดที่โตที่สุดในดิน และอนุภาคดินเหนียวเป็นกลุ่มขนาดที่เล็กที่สุดในดิน

ความสามารถของดินในการอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศขึ้นกับจำนวนและขนาดของช่องว่างในดิน (Soil Pores) ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากขนาดของอนุภาค หากอนุภาคของดินมีขนาดใหญ่พื้นที่ผิวภายในของดินมีค่าน้อย ดูดซับน้ำได้น้อย ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดใหญ่ ดูดน้ำด้วยแรงต่ำ ทำให้ดินนั้นระบายน้ำและอากาศได้ดี เนื่องจากในดินนั้นมีช่องอากาศมาก และมีความต่อเนื่องถึงกัน ในขณะที่อนุภาคของดินที่มีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวภายในของดินมีค่ามาก ดูดซับน้ำได้มาก ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก ดูดน้ำด้วยแรงสูง ทำให้ดินนั้นระบายน้ำและอากาศได้ไม่ดี ช่องว่างในดินส่วนมากจะมีน้ำขังอยู่ ช่องว่างจึงไม่ต่อเนื่องถึงกันเนื่องจากมีน้ำขวาง

อยู่ ดังนั้น เมื่ออนุภาคทั้ง 3 กลุ่มขนาดผสมรวมกันเป็นมวลดิน ทำให้มวลดินมีประเภทของเนื้อดินแตกต่างกัน และมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันได้ ซึ่งแยกเป็นกลุ่มคร่าวๆ ได้เป็น

1) ดินเนื้อหยาบ (Coarse-textured Soils) จะมีช่องว่างขนาดใหญ่ระหว่างอนุภาคเมื่อมีการไหลซึมน้ำดี ดังนั้น เกษตรกรที่เพาะปลูกในดินเนื้อหยาบ สามารถเตรียมดินได้ภายในเวลาไม่นานหลังฝนตก ดินมักไม่เกาะตัวเป็นก้อนทึบ การไถพรวนจึงไม่ต้องใช้แรงมาก อย่างไรก็ดีดินเนื้อหยาบมีข้อเสียเนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อย เป็นอนุภาคดินที่ไม่มีประจุ และประกอบด้วยช่องว่างระหว่างอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ จึงดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้น้อย ปุ๋ยที่ใส่ลงบนผิวดินสามารถถูกชะล้าง (Leaching) ด้วยน้ำให้ไหลลึกเลยเขตรากได้ง่าย

2) ดินเนื้อละเอียด (Fine-textured Soils) มักมีลักษณะตรงข้ามกับดินเนื้อหยาบ กล่าวคือ ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก และมีปริมาตรรวมของช่องว่างมาก การไหลซึมน้ำต่ำ ดินนี้จึงมักจะมีปัญหาน้ำท่วมขัง และการระบายอากาศไม่ดี รากพืชทั่วไปอาจประสบปัญหาขาดอากาศได้ ดินเนื้อละเอียดจะเกาะกันเป็นก้อนทึบการไถพรวนต้องใช้แรงมาก และมักมีแผ่นแข็งปิดผิว (Surface Crust) ทำให้เมล็ดพืชงอกได้ยาก สำหรับข้อดีของดินเนื้อละเอียดคือ มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง อนุภาคมีประจุลบ ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก จึงดูดซับน้ำและธาตุอาหารพืชได้มาก การชะล้างธาตุอาหารไปกับน้ำเลยเขตรากเกิดขึ้นน้อยกว่าดินเนื้อหยาบ อย่างไรก็ตามหากมีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพบางประการของดินเนื้อละเอียด เช่น ส่งเสริมให้อนุภาคจับตัวกันเป็นเม็ด (Aggregate) โดยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือสารปรับปรุงดินต่างๆก็จะทำให้ดินมีสัดส่วนของช่องว่างขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น การไหลซึมน้ำของดินจะเร็วขึ้น การระบายอากาศและน้ำของดินก็ดีขึ้นด้วย

3) ดินเนื้อปานกลาง (Medium-textured Soils) จะมีสมบัติกึ่งกลางระหว่างดินเนื้อหยาบและดินเนื้อละเอียด นั่นคือ การระบายน้ำไม่เร็วมากจนก่อให้เกิดการชะล้างสูญเสียธาตุอาหารพืช แต่เร็วพอที่จะระบายน้ำไม่ให้ท่วมขัง มีปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Plant Available Water) มาก พืชจึงสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำส่วนใหญ่ที่ดินอุ้มไว้ นอกจากนี้ดินยังมีความร่วนซุยและทำการไถพรวนได้ง่าย ดินเนื้อปานกลางจึงมีลักษณะเหมาะสมต่อการเพาะปลูกมากกว่าดินเนื้อหยาบ และดินเนื้อละเอียด

2.2.2 ความหนาแน่นและความพุรนของดิน

ความหนาแน่นและความพรุนเป็นสมบัติของดินที่ได้รับอิทธิพลจากชนิดของเนื้อดิน และการเกิดเม็ดดินหรือการเกิดโครงสร้างดิน ความหนาแน่นของดินใดๆ หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลกับปริมาตรของดินนั้นๆ ความหนาแน่นของดินแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ

1) ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลแห้งของดิน และปริมาตรทั้งหมดของดิน ดินโดยทั่วไปจะมีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ระหว่าง 1.0-1.6 ก./ลบ.ซม. ค่าของความหนาแน่นรวมจะแปรผันได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน เนื้อดิน ความลึกของดิน การใช้ที่ดิน และระบบการปลูกพืช ความหนาแน่นรวมของดินจะลดลงเมื่อปริมาณอินทรียวัตถุสูงขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากอินทรียวัตถุมีน้ำหนักเบา และช่วยให้ดินร่วนซุย ดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ เพราะว่าดินเนื้อละเอียดมีปริมาณของช่องว่างในดินมากกว่า ทำให้ปริมาตรทั้งหมดของดินเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นรวมของดินปกติจะเพิ่มมากขึ้นตามความลึกของดิน การใช้ที่ดินไปนานๆจะทำให้ดินแน่น และความหนาแน่นรวมจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเหยียบย่ำหรือการใช้เครื่องมือที่มีน้ำหนักมากทำให้ดินอัดตัวกันแน่น ระบบการปลูกพืชที่แตกต่างกันจะทำให้ความหนาแน่นรวมของดินแตกต่างกัน เช่น ดินทุ่งหญ้ามักจะมีความหนาแน่นรวมของดินต่ำกว่าดินที่ใช้ปลูกข้าวโพด ข้าวฟ่าง หรืออ้อย เป็นต้น

2) ความหนาแน่นอนุภาค (Particle Density) หมายถึง สัดส่วนระหว่างมวลของดินที่แห้งสนิทกันปริมาตรของส่วนที่เป็นอนุภาคดิน ความหนาแน่นอนุภาค ถือว่าเป็นความหนาแน่นที่แท้จริงของดิน และมักจะมีค่าที่ค่อนข้างจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดินโดยทั่วไปจะมีค่าความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในช่วงแคบระหว่าง 2.6-2.75 ก./ลบ.ซม. สำหรับค่าที่มักจะใช้ในการคำนวณคือ 2.65 ก./ลบ.ซม. การทราบถึงค่าของความหนาแน่นอนุภาคดิน พอเป็นแนวทางบ่งชี้ว่าดินนั้นมีอินทรียวัตถุน้อยหรือมาก เช่น ดินมีความหนาแน่นอนุภาคต่ำกว่า 2.0 ก./ลบ.ซม. ย่อมมีอินทรียวัตถุมาก อาจเป็นดินอินทรีย์ ถ้าความหนาแน่นอนุภาคมีค่าประมาณ 2.0 ก./ลบ.ซม. หรือมากกว่า จะเป็นดินแร่ที่ใช้ในการเกษตรกรรมทั่วๆไป ซึ่งมีอินทรียวัตถุต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และถ้าความหนาแน่นอนุภาคมีค่ามากกว่า 3.0 ก./ลบ.ซม. ขึ้นไป ดินนั้นจะประกอบด้วยแร่ที่มีความหนาแน่นสูง เช่น แร่เหล็กต่างๆ นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นอนุภาคยังใช้ในการคำนวณความพรุนทั้งหมดของดินได้

สำหรับความพรุน (Porosity) ของดิน หมายถึง ส่วนที่เป็นช่องว่างของดิน เป็นสมบัติที่ถูกควบคุมโดยปริมาตรและขนาดของช่องว่างในดิน ความพรุนของดินมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะความพรุนรวม (Total Porosity) ของดิน ซึ่งหมายถึง ปริมาตรของส่วนที่เป็นช่องว่างในดิน เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรของรวมดิน ความพรุนรวมจะบอกให้ทราบว่า ถ้าตวงดินแห้งมาโดยให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 1 หน่วย ในระหว่างอนุภาคของแข็งเหล่านั้นจะมีช่องว่างเป็นสัดส่วนเท่าใด เนื่องจากความพรุนของดินมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นรวมของดิน ดังนั้น ดินเนื้อหยาบจะมีความพรุนรวมต่ำกว่าดินเนื้อละเอียด เพราะดินเนื้อหยาบแม้จะมี

ช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่า แต่ปริมาตรรวมของช่องว่างจะน้อยกว่าดินเนื้อละเอียดที่มีช่องว่างขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก

ช่องว่างในดินมีอยู่ 2 ขนาดคือ ช่องว่างขนาดเล็ก (Micropores หรือ Capillary Pores) และช่องว่างขนาดใหญ่ (Macropores หรือ Non-capillary Pores) ช่องว่างทั้ง 2 ขนาดจะทำหน้าที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ช่องว่างขนาดใหญ่จะทำหน้าที่ระบายน้ำเมื่อดินได้รับน้ำในอัตราสูงจนเกิดสภาพน้ำท่วมขัง เมื่อสภาพดังกล่าวพ้นไปแล้วช่องว่างขนาดใหญ่จะเป็นที่อยู่และเป็นทางผ่านของอากาศในดิน ช่องว่างขนาดใหญ่เป็นช่องว่างที่มีขนาดรัศมีมากกว่า 5 ไมครอน ส่วนช่องว่างขนาดเล็กจะทำหน้าที่เก็บกักน้ำ แก๊สต่างๆ ตลอดจนธาตุอาหารพืชต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำในดิน เนื่องจากการไหลของน้ำในช่องว่างขนาดเล็กจะดำเนินไปอย่างช้าๆ ดังนั้น ช่องว่างขนาดเล็กจึงเป็นช่องว่างที่บรรจุน้ำไว้ให้พืชใช้ โดยเรียกน้ำที่พืชใช้ได้ว่า ปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Plant Available Water) แต่อย่างไรก็ตาม พืชจะใช้น้ำจากช่องว่างขนาดเล็กได้เพียงบางส่วน น้ำที่บรรจุอยู่ในช่องว่างขนาดเล็กมากๆ จะถูกดึงดูดด้วยแรงดึงดูดสูงมากจากผนังของช่องว่างจนรากพืชไม่สามารถดูดมาใช้ได้ โดยขนาดของช่องว่างที่บรรจุน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้จะมีรัศมีขนาด 0.1-5 ไมครอน บางแห่งอาจพบว่าขนาดรัศมีของช่องว่างอยู่ในช่วง 0.1-7.5 ไมครอน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าแรงดึงดูดน้ำ (Water Tension) ในดินแต่ละชนิดที่ต่างกัน ส่วนช่องว่างที่มีขนาดรัศมีใหญ่กว่า 5 ไมครอนจะถือว่าเป็นช่องว่างสำหรับระบายน้ำ และช่องว่างที่มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ถ้ามีน้ำขังอยู่จะถือว่าน้ำเหล่านั้นไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช การประเมินการกระจายขนาดของช่องว่างใช้วิธีแปลงผลจากกราฟการปลดปล่อยความชื้นของดิน (Moisture Release Curve) กราฟปลดปล่อยความชื้นของดินได้จากการนำดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) มาให้ได้รับความกดดันอากาศต่างๆกัน โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Pressure Plate และ Pressure Membrane Apparatus

2.2.3 การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน

การเคลื่อนที่ของน้ำในดินจะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำในดินถูกกระทำด้วยแรงต่างๆมากมาย การศึกษาการเคลื่อนที่ของน้ำจำเป็นมากในแง่ของการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยทั่วไปอัตราการไหลซึมของน้ำ (Hydraulic Conductivity) ในดิน จะแตกต่างกันออกไปในดินแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับสมบัติของดินนั้นๆ ที่เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับขนาด รูปร่าง ปริมาตรของช่องว่างในดินที่จะเป็นทางให้น้ำไหลผ่าน เช่น เนื้อดิน และโครงสร้างของดิน เป็นต้น และยังขึ้นอยู่กับระดับความชื้นในดินอีกด้วย ดินจะมีอัตราการไหลซึมน้ำสูงสุดเมื่ออยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และจะลดลงเมื่อปริมาณของน้ำในดินลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในดินขณะที่ช่องว่างในดินทุกส่วนเต็มไปด้วยน้ำจะเกิดขึ้นในดินชั้นบนหลังจากที่ฝนตก หรือมีการให้น้ำ

อย่างเพียงพอ น้ำที่บรรจุอยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของดินนั้นจะไหลไปได้อย่างรวดเร็ว ส่วนการเคลื่อนที่ของน้ำในดินขณะที่ช่องว่างในดินมีน้ำเพียงบางส่วน น้ำส่วนมากจะบรรจุในช่องว่างขนาดเล็ก ทำให้การไหลของน้ำเป็นไปได้ช้า อัตราการไหลซึมน้ำจึงต่ำ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ขนาดของช่องว่างในดินก็มีผลต่ออัตราการไหลซึมน้ำด้วย ดังจะเห็นได้จากเมื่อความชื้นในดินสูง ดินเนื้อหยาบมีอัตราการไหลซึมน้ำมากกว่าดินเนื้อละเอียด เพราะน้ำไหลผ่านช่องว่างขนาดใหญ่ แต่ถ้าดินทั้ง 2 ชนิดมีความชื้นต่ำน้ำในดินต้องไหลผ่านช่องว่างขนาดเล็ก จึงทำให้อัตราการไหลซึมน้ำของดินต่ำ

2.2.4 การดูดยึดน้ำของดิน

ดินจะมีระดับของการดูดยึดน้ำไว้ในลักษณะต่างๆ นับตั้งแต่ดินได้รับน้ำเต็มที่หรือหลังจากที่ฝนตก ระดับของการดูดยึดน้ำไว้ของดินนี้จะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของน้ำไปในดินและปริมาณน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ สิ่งเหล่านี้มีความสัมพันธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อมกับขนาดปริมาตร และการกระจายของช่องว่างในดิน ดินจะมีการดูดยึดน้ำไว้หลายระดับ ดังนี้

1) ความสามารถดูดยึดน้ำสูงที่สุด (Maximum Retention Capacity) หมายถึง ความสามารถของดินที่ดูดยึดไว้ได้สูงสุด หลังจากที่ดินได้รับน้ำอย่างเต็มที่หรือมีฝนตกหนัก ในกรณีนี้ช่องว่างทุกขนาดของดินจะมีน้ำอยู่เต็มหมด ซึ่งเป็นจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ในช่องว่างขณะนั้นก็คือความสามารถสูดสุดของดินที่จะดูดยึดน้ำไว้ได้ ณ จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ

2) ความชื้นภาคสนาม (Field Capacity) หมายถึง ระดับของการดูดยึดน้ำของดินภาคสนาม เกิดขึ้นหลังจากที่ดินได้รับน้ำเต็มที่แล้วน้ำก็จะซึมลงสู่ดิน การเคลื่อนที่ของน้ำในดินจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก จนกระทั่งถึงจุดจุดหนึ่งที่การเคลื่อนที่ของน้ำโดยแรงดึงดูดของโลกหมดไป ระดับของน้ำที่เหลืออยู่ในดินในขณะนั้นก็คือความชื้นภาคสนาม ซึ่งจะเป็นน้ำส่วนที่ดูดยึดเป็นแผ่นบางๆตามผิวของอนุภาคดินและอยู่ในช่องว่างขนาดเล็ก ระดับความชื้นภาคสนามนี้ถือว่าเป็นจุดพิกัดบนของน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Upper Limit of Plant Available Water Content) การหาระดับความชื้นภาคสนามโดยตรงกระทำได้ยาก เนื่องจากไม่ทราบว่าการดูดยึดน้ำในระดับนี้จะเกิดขึ้นเมื่อไร แต่อย่างไรก็ตามได้มีการทดลองหาและพบว่า ที่จุดนี้ดินจะดูดยึดน้ำไว้ด้วยแรงที่ใกล้เคียงกับ 0.33 บรรยากาศ ดังนั้น วิธีการหาระดับความชื้นภาคสนามจึงกระทำได้ในห้องปฏิบัติการ โดยการนำดินซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วให้ได้รับแรงดึงดูดน้ำที่เท่ากับ 0.33 บรรยากาศ จนกระทั่งเกิดการสมดุลคือ ไม่มีน้ำไหลออกมาจากดินอีก น้ำที่เหลืออยู่ในดินก็คือ ระดับความชื้นภาคสนาม

3) จุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point) หมายถึง ระดับการดูดยึดน้ำของดินในขณะที่พืชแสดงอาการเหี่ยวอย่างถาวรขึ้น เนื่องจากน้ำในดินจะมีการสูญเสียอยู่ตลอดเวลาโดยการระเหยหรือพืชดูดไปใช้ ปริมาณน้ำในดินจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดจุดหนึ่งที่พืชแสดงอาการเหี่ยวอย่างถาวรไม่สามารถฟื้นคืนสภาพเดิมได้ เนื่องจากปริมาณน้ำในดินมีน้อยมากพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ในอัตราที่ทัดเทียมกับการคายน้ำของพืช ที่จุดนี้ก็คือระดับน้ำที่จุดเหี่ยวถาวร ซึ่งถือว่าเป็นจุดพิกัดล่างของน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ (Lower Limit of Plant Available Water Content) การวัดหาระดับน้ำที่จุดเหี่ยวถาวรนี้กระทำได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางตรงคือ การทดลองปลูกพืชในกระถางแล้วปล่อยให้พืชเจริญเติบโตสักระยะหนึ่งโดยรักษาระดับน้ำในดินให้อยู่ในระดับความชื้นภาคสนาม หลังจากนั้นจึงงดให้น้ำจนกระทั่งพืชแสดงอาการเหี่ยวอย่างถาวร ระดับน้ำที่เหลืออยู่ในดินขณะนั้นก็คือ ระดับน้ำที่จุดเหี่ยวถาวร วิธีการหาโดยตรงนี้ต้องใช้เวลานาน การหาโดยทางอ้อมได้จากการทดลองซึ่งพบว่า ความชื้นที่จุดเหี่ยวถาวรดินจะดูดยึดน้ำไว้ด้วยแรงประมาณ 15 บรรยากาศ ดังนั้น วิธีการวัดหาระดับจุดเหี่ยวถาวรจะกระทำได้เช่นเดียวกับการหาระดับความชื้นภาคสนาม แต่ให้แรงดึงดูดน้ำเท่ากับ 15 บรรยากาศ

4) ความจุของน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Water Capacity) เป็นระดับความจุของน้ำในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช หาได้จากผลต่างระหว่างจุดพิกัดบน (ความชื้นภาคสนาม) และจุดพิกัดล่าง (จุดเหี่ยวถาวร)

2.3 บทบาทของดินนาต่อการเกษตรกรรม

ปัจจุบันประชากรเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้ความต้องการอาหารเพิ่มมากขึ้น การเกษตรกรรมจึงเป็นกิจกรรมสำคัญที่จะเพิ่มผลผลิตอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของคนไทย และเป็นสินค้าส่งออกสำคัญที่ทำรายได้ให้กับประเทศมหาศาลในแต่ละปี จึงทำให้มีการเพิ่มพื้นที่ปลูกข้าวในหลายภาค หลายจังหวัดของประเทศไทย โดยจะเห็นได้จากสถิติการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาพบว่า พื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจต่างๆ ได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน(ตารางที่ 2.3) จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมมาตราส่วน 1 : 500,000 ถ่ายปี พ.ศ. 2543 พร้อมทั้งได้สำรวจตรวจสอบในภาคสนามพบว่า เป็นพื้นที่เกษตรกรรมประมาณ 174,858,853 ไร่ โดยพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกข้าวมีมากเป็นอันดับหนึ่งของพื้นที่ที่ใช้ในการเกษตรกรรมทั้งหมด ดังนั้นดินนาจึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นต่อการเกษตรกรรมเป็นอย่างยิ่ง (เล็ก มอญเจริญ และสุนันท์ คุณาภรณ์, 2535)

ดินนาคือ ดินที่ใช้ในการปลูกข้าวเป็นพืชหลัก เนื่องจากการปลูกข้าวนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นการปลูกกันในสภาพที่ดินมีน้ำขัง (Submerged Soil หรือ Flooded Soil) ข้าวไม่จำเป็นจะต้อง

ปลูกแบบให้ดินมีน้ำขังเสมอไป การปลูกแบบพืชไร่ทั่วๆไป ซึ่งเรียกว่า ข้าวไร่ (Upland Rice) ก็สามารถกระทำได้เช่นกัน แต่การปลูกข้าวส่วนใหญ่จะกระทำกันแบบให้ดินมีน้ำขังแทบทั้งสิ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้าวเมื่อปลูกโดยวิธีดังกล่าวมักจะให้ผลดีกว่าปลูกแบบข้าวไร่ ถึงแม้ว่าข้าวไร่ซึ่งชาวบ้านเคยปลูกแบบพืชไร่หากปรับมาปลูกแบบปักดำผลผลิตก็เพิ่มขึ้น การปลูกข้าวแบบปักดำจึงเป็นวิธีการที่ชาวนาเลือกหากพื้นที่นั้นๆ มีน้ำเพียงพอเสมอ ดังนั้น การปลูกข้าวกับการเตรียมดินให้มีน้ำขังอยู่ด้วย จึงเป็นของที่ควบคู่กันและเป็นสิ่งที่ชาวนาทราบดีอยู่แล้ว ด้วยเหตุนี้ ข้าวจึงเป็นพืชที่มีสมบัติบางประการต่างไปจากพืชไร่อื่นๆ และสภาพของดินที่มีน้ำขังก็มีธรรมชาติและสมบัติบางอย่างที่ทำให้ข้าวเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี แต่พืชไร่อื่นๆไม่สามารถจะเจริญเติบโตได้ ซึ่งก็หมายความว่าธรรมชาติและสมบัติของดินนานั้นจะต้องผิดแปลกไปจากดินที่อยู่ในสภาพที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืชไร่ทั่วๆไป สิ่งที่เห็นได้อย่างเด่นชัดก็คือดินนานั้น อยู่ในสภาพที่ไม่มีการถ่ายเทอากาศเลย ระดับของออกซิเจนในอากาศในดินไม่มีหรือมีน้อยมาก (Anaerobic Condition) (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531)

ดังนั้น ดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าวมากที่สุด ควรจะมีลักษณะโดยทั่วไปเป็นดินลึก เนื้อละเอียด อัตราการไหลซึมน้ำต่ำ พื้นที่มีลักษณะเรียบ ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลว มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง มีปริมาณเกลือต่ำ และด้วยการจัดการน้ำธรรมดาจะต้องมีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะปลูกพืชได้ครั้งหนึ่งในช่วง 1 ปี (ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ด้วยเหตุนี้ ดินนาที่ปลูกข้าวได้ผลผลิตดีส่วนใหญ่ จึงเป็นดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างละเอียด มีอนุภาคของดินที่เป็นดินเหนียว และทรายแป้งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ซึ่งทำให้ดินมีคุณสมบัติในการขังน้ำและดูดยึดธาตุอาหารได้ดี เนื่องจากดินเหนียวสามารถเกาะยึดกันเอง และเกาะยึดกับอนุภาคอื่นได้ดี ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก ทำให้น้ำและก๊าซต่างๆเคลื่อนที่ผ่านได้ช้า (อรรควุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2526; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; กรมวิชาการเกษตร, 2536; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) จึงเหมาะสำหรับการทำนา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 แสดงการใช้ที่ดินของประเทศไทย พ.ศ. 2543 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

ประเภทการใช้ที่ดิน	เนื้อที่	
	ไร่	เปอร์เซ็นต์
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	4,663,923	1.454
พื้นที่เกษตรกรรม	174,858,853	54.525
- นาข้าว	79,940,845	24.927
- พืชไร่	50,634,155	15.789
- ไม้ยืนต้น	25,937,599	8.088
- ไม้ผล	7,960,132	2.482
- พืชสวน	72,531	0.023
- ไร่หมุนเวียน	8,845,852	2.758
- ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	852,660	0.26
- สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	1,413,600	0.441
พื้นที่ป่าไม้	105,507,602	32.899
- ป่าไม้ผลัดใบ	17,558,575	16.642
- ป่าพรุ	242,052	0.076
- ป่าชายเลน	1,033,165	0.322
- ป่าผลัดใบ	16,565,748	15.701
- สวนป่า	507,848	0.158
พื้นที่น้ำ	3,508,189	1.094
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	32,158,383	10.028
- ทุ่งหญ้าธรรมชาติ	29,896,970	9.323
- พื้นที่ลุ่ม	1,739,521	0.542
- เหมืองแร่ บ่อขุด	374,800	0.117
- นาเกลือ หาดทราย	147,092	0.046
เนื้อที่รวม	320,696,950	100

ดินนาเมื่อแห้งจะแข็งมาก ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคของดิน โดยเฉพาะพวกทรายแป้งและดินเหนียว เมื่อแห้งจะอัดตัวกันแน่น อนุภาคของทรายแป้งและดินเหนียวมีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นแบนและบาง (Platety) เกิดจากการตกตะกอนซ้อนทับกันในขณะที่ดินมีน้ำขังอยู่นั้น จะเป็นแบบเรียงซ้อนกันอย่างมีระเบียบในทางราบ ซึ่งทำให้สามารถอัดตัวกันได้แน่นที่สุด และเมื่อดินนานี้แห้งลงอนุภาคของดินเหล่านี้จะมีพื้นที่เกาะและประสานกันได้มากที่สุด ดังนั้น จึงมีผลทำให้ดินมีสภาพแข็งมากเมื่อแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนที่เป็นผิวดิน ทำให้การไถพรวนดินนาขณะแห้งอยู่นั้นกระทำได้ลำบากมาก เมื่อดินนาได้รับน้ำจนเปียกชุ่มจะเป็นน้ำจากฝนหรือจากการชลประทาน

ก็ตาม อนุภาคของดินที่เกาะกันอยู่อย่างแน่นทึบและแข็งมากนั้นจะกลับอ่อนตัวลง โดยการแทรกซึมของโมเลกุลของน้ำเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินที่เรียกว่า Hydrating Action ทำให้สามารถไถพรวนได้ง่าย (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511)

ดินนาในสภาพที่ชุ่มน้ำเมื่อถูกไถจะยังคงจับกันเป็นก้อนและมีความเหนียวอยู่ ซึ่งยังไม่เหมาะที่จะทำการปักดำ เมื่อน้ำถูกปล่อยเข้ามาให้ดินมีน้ำขังพอสมควรแล้วดินก็จะถูกคราดซ้ำไปซ้ำมาหลายๆครั้ง จนกระทั่งก้อนดินแตกสลาย และอนุภาคของดินแพร่กระจายออกมาแขวนลอยอยู่ในน้ำและทำให้น้ำกลายเป็นตมไป การทำให้ดินนากลายเป็นตมหรือที่เรียกว่า ทำเทือก จะทำให้โครงสร้างของดินนาถูกทำลาย แต่จะทำให้ดินสามารถอุ้มน้ำไว้ได้นานขึ้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; อรรวุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2526; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; ธวัชชัย ณ นคร และประทีป วีระพัฒนนิรันดร์, 2536; Adachi and Inoue, 1988; Adachi, 1992; Salokhe and Shirin, 1992) ดังนั้น การทำเทือกจะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำได้เป็นอย่างมาก และเป็นการปฏิบัติที่จำเป็นสำหรับดินที่มีเนื้อดินค่อนข้างหยาบและมีอัตราการไหลซึมน้ำสูง

2.3.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของดินนา

สมบัติทางกายภาพจะเปลี่ยนไปจากเดิมที่อยู่ในสภาพที่แห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินถูกไถคราดให้เป็นตม (Puddling) สมบัติทางกายภาพของดินก็จะยิ่งเปลี่ยนแปลงไปมากยิ่งขึ้น แต่จะเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยสักแค่ไหนนั้น จะขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพเดิมของดิน เช่น ชนิดของเนื้อดิน และการไหลซึมของน้ำ (Permeability) ของดิน เป็นต้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; อรรวุฒิ ทัศน์สองชั้น, 2526; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531; Adachi and Inoue, 1988; Adachi, 1992; Salokhe and Shirin, 1992) การสูญเสียน้ำในนาโดยการไหลซึมลึกผ่านชั้นของดิน (Percolation) จะลดลงเมื่อมีการทำให้ดินนาเป็นตม โดยลดลงจาก 52.3 มม./วัน เป็น 3.3 มม./วัน หลังจากทำให้ดินเป็นตมแล้วเป็นเวลา 4 วัน (Adachi and Inoue, 1988) ทั้งนี้ เนื่องจากการตกตะกอน (Sedimentation) ของอนุภาคดินเกิดเป็นชั้นแน่นทึบบริเวณผิวดินที่อยู่ใต้น้ำ การทำให้ดินเป็นตมหรือการทำเทือกนั้นยังมีผลดีในการทำลายวัชพืชให้หมดไป ข้าวที่ปักดำจะถูกรบกวนโดยวัชพืชน้อยลง นอกจากนั้นการปักดำก็สามารถกระทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็วขึ้น จากประสบการณ์โดยทั่วๆไปของชาวนาจะพบว่า ข้าวที่ปลูกโดยไม่ได้ทำเทือกก่อน ผลผลิตของข้าวที่ได้จะลดลงครึ่งหนึ่งของที่ควรจะได้รับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการทำดินให้เป็นตมช่วยสงวนน้ำและป้องกันการแข่งขันของวัชพืชในระยะแรกของการเจริญเติบโตของข้าวนั่นเอง

อย่างไรก็ตาม การทำให้ดินนาอยู่ในสภาพเป็นตมถึงแม้จะมีผลดีต่อการเจริญเติบโตของข้าวในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย แต่การทำให้ดินเป็นตมมีผลทำให้

โครงสร้างของดินเสียไป ดินมีความแข็งและแน่นทึบมากขึ้นเมื่อแห้ง นั่นคือ ดินจะมีความหนาแน่นรวมมากขึ้น (สรสิทธิ์ วัชโรทยาน, 2511; ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, 2531) ทำให้การไถพรวนกระทำได้ลำบากเมื่อจะปลูกพืชไร่อื่นๆ ดังนั้นถ้าดินที่มีการชลประทานดี สามารถควบคุมน้ำและวัชพืชได้ อาจไม่จำเป็นต้องทำให้ดินเป็นตมก่อนการปลูกข้าว

2.4 การปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดินด้วยสารปรับปรุงดิน

ลักษณะทางกายภาพของดิน ได้แก่ คุณสมบัติด้านความโปร่ง ความร่วนซุยหรือความแน่นทึบมีผลโดยตรงต่อการถ่ายเทอากาศและการอุ้มน้ำของดิน ดังนั้น การปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดินโดยทั่วไปจะมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของดินที่เป็นอุปสรรคต่อการเพาะปลูกพืชให้ดีขึ้น ลักษณะทางกายภาพที่เป็นอุปสรรคต่อการเพาะปลูกและสารที่ใช้ในการปรับปรุงลักษณะทางกายภาพนั้นมีดังนี้

2.4.1 สารปรับปรุงการเกิดแผ่นแข็งผิวดิน (Surface Crust)

การเกิดแผ่นแข็งผิวหน้าดินเป็นปัญหาต่อการปลูกพืชที่พบมากบนพื้นที่แถบแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง มีผลกระทบต่อพืชโดยตรง คือ เป็นอุปสรรคต่อการงอกของเมล็ด การแทงโผล่ของต้นกล้าออกมาพ้นผิวดิน และการซึมซาบของน้ำลงไปสู่ดินล่างลดลง ทำให้เกิดการชะล้างและน้ำไหล่บ่า (Runoff) บนหน้าดิน วัตถุประสงค์หลักของการใช้สารปรับปรุงดิน เพื่อลดปัญหาการเกิดแผ่นแข็งผิวหน้าดินจึงเป็นการเพิ่มความเสถียรของเม็ดดิน (Aggregate Stability) ให้มีความคงทนไม่แตกกระจายง่ายเมื่อโดนเม็ดฝน หรือน้ำชลประทาน และทำให้อนุภาคดินที่แขวนลอยในน้ำเกิดการฟุ้งกระจาย (Dispersion) น้อยลงหรืออีกนัยหนึ่ง ทำให้อนุภาคดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคดินเหนียวเกิดการจับกันเป็นกลุ่มมวลดิน ทำให้เมื่อแห้งลงไม่เกิดการฉาบเคลือบผิวดินเป็นกลุ่มมวลดิน หรืออุดช่องอากาศบริเวณผิวดิน วิธีป้องกันหรือลดปัญหาการเกิดแผ่นแข็งบนผิวหน้าดินทำได้หลายวิธี เช่น การไถพรวนดิน การใช้วัสดุคลุมดิน และการใช้สารปรับปรุงดิน สารปรับปรุงดินที่สำคัญๆ มีดังนี้

1) สารโพลีอะคริลาไมด์ (Polyacrylamide, PAM) มีชื่อการค้าว่า Syaram เป็นสารประกอบอินทรีย์โพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลของโมโนเมอร์ต่อกันเป็นเส้นยาว คุณสมบัติโดยทั่วๆไปเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีและมีความสามารถในการเชื่อมอนุภาคดินเหนียวเข้าด้วยกัน หรือทำให้อนุภาคดินเหนียวจับกันด้วยแรงที่มีความเสถียรสูงสุดยิ่งขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้เม็ดดินมีความต้านทานต่อการกระแทกของฝนหรือน้ำชลประทานมากขึ้น

2) ยิปซัม (Gypsum) หรือฟอสโฟยิปซัม (Phosphogypsum) ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินให้ดีขึ้น เช่น ทำให้ดินที่มีปัญหาจับกันเป็นแผ่นแข็งที่ผิวน้อยลง ดินมีการแทรกซึมน้ำดีขึ้น มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินน้อยลง

3) ไลม์-ซัลเฟอร์ (Lime-Sulfer) หรือสารประกอบแคลเซียมโพลีซัลไฟด์ เมื่อใส่ลงไปในดินจะทำให้การเกิดแผ่นแข็งผิวดินน้อยลง เช่นเดียวกับยิปซัม อย่างไรก็ตามการใช้สารประกอบแคลเซียมโพลีซัลไฟด์อาจต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนรูปทางเคมีของตัวสารบ้างในระยะแรก ซึ่งขึ้นกับสภาพแวดล้อมในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบายอากาศในดิน

2.4.2 **สารปรับปรุงความแน่นทึบหรือการอัดแน่นของดิน** (Soil Compaction)

ความแน่นทึบหรือการอัดแน่นของดินเป็นลักษณะทางกายภาพของดินที่มีปัญหาต่อการผลิตพืช สาเหตุสำคัญที่ทำให้ดินอัดตัวกันแน่น และทำให้มีสภาพแน่นทึบเองตามธรรมชาติ เกิดจากปัจจัยต่างๆในดิน เช่น ชนิดเนื้อดิน โครงสร้างของดิน องค์ประกอบทางเคมีของดิน ปฏิกิริยาของดิน และสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ (ฝน อุณหภูมิ) รวมทั้งการกระทำของมนุษย์ เช่น การเขตกรรรมที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะการใช้เครื่องจักรกลในการเตรียมดินอย่างไม่ถูกต้อง เกินความพอดี ความแน่นทึบหรือการอัดแน่นของดินมีผลกระทบต่อการผลิตพืชหลายประการ เช่น การเจริญเติบโตและกิจกรรมของระบบราก การใช้ประโยชน์จากน้ำ อากาศและธาตุอาหารพืชในดิน ปัญหาการเกิดโรคโคนเน่าในพืชบางชนิด เนื่องจากดินมีสภาพการระบายน้ำไม่ดีพอ การแก้ไขความแน่นทึบของดินอาจปฏิบัติได้หลายแนวทาง เช่น การไถเจาะทำลายชั้นดินที่อัดแน่น (Subsoiling) การใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือสารอินทรีย์เพื่อปรับสภาพดินและส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและสัตว์ในดิน ตลอดจนการใช้สารปรับปรุงดิน เป็นต้น

สำหรับสารปรับปรุงดินที่นิยมใช้ คือ สารประกอบทางเคมีในรูปแอมโมเนียมลอเร็ซซัลเฟต (Ammonium Laurethsulfate) เป็นสารจับผิวฤทธิ์อ่อนที่มีประจุลบ สารชนิดนี้มีการผลิตออกมาใช้เป็นสารปรับปรุงดิน เพื่อแก้ปัญหาการอัดแน่นของดินและการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน โดยเฉพาะ แอมโมเนียมลอเร็ซซัลเฟต เป็นสารปรับปรุงดินในรูปเกลืออนินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่และมีสมบัติเป็นสารไม่มีขั้ว ไม่ละลายน้ำ ดังนั้น จังมีคุณสมบัติเป็นสารจับผิวอ่อนๆที่ไปช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำเยื่อ (Hygroscopic Water) ที่ถูกดูดยึดไว้ที่ผิวของอนุภาคดินด้วยแรงสูงมาก สารนี้เมื่อเติมลงดินแล้วประจุลบของอนุมูลซัลเฟตจะดึงโมเลกุลของน้ำที่ดูดยึดอยู่ที่ผิวด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โมเลกุลของน้ำเยื่อบางส่วนถูกดึงออกไปจากผิวของอนุภาคดินแล้วไหลผ่านช่องว่างพร้อมๆกับแอมโมเนียมลอเร็ซซัลเฟต โมเลกุลของแอมโมเนียมลอเร็ซซัลเฟตที่มีขนาดใหญ่

จะไหลเบียดแทรกตัวลงไประหว่างอนุภาคหรือเม็ดดินแล้วค่อยๆดันเม็ดดินที่อัดติดกันแน่นให้ห่างออกทีละน้อย จนในที่สุดทำให้ดินมีความแน่นทึบน้อยลง

2.4.3 **สารปรับปรุงความจุในการอุ้มน้ำของดิน** (Water Holding Capacity)

ความจุในการอุ้มน้ำของดินตามธรรมชาติขึ้นกับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ประเภทเนื้อดิน และสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของน้ำในดินแต่ละชนิด สำหรับดินส่วนใหญ่ที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงกว่า และมีเนื้อดินละเอียดกว่าจะอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำกว่าและมีเนื้อหยาบกว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินเป็นปัญหาที่พบทั่วไปในดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทราย นอกเหนือจากการใช้สารอินทรีย์ตามธรรมชาติ เช่น ปุ๋ยหมักอินทรีย์ชนิดต่างๆ ปรับปรุงความจุในการอุ้มน้ำของดินแล้ว สารปรับปรุงบำรุงดินที่มีสมบัติช่วยเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดินที่สำคัญ ได้แก่

1) สารโพลีเมอร์ (Superabsorbent Polymer) สารดูดน้ำชนิดนี้มีการผลิตออกมาใช้ในทางการค้า และเรียกชื่อแตกต่างกันไปมากกว่า 300 ชนิดทั่วโลก สารที่จัดได้ว่ามีสมบัติดูดน้ำได้สูงหรือจัดได้ว่าเป็นสาร Superabsorbent จะต้องเป็นของแข็งที่แห้ง และเมื่อใส่สารดูดน้ำโพลิเมอร์ในรูปของแข็งที่แห้งปริมาณมากเกินพอลงในน้ำจะต้องมีความสามารถดูดน้ำได้เองตามธรรมชาติประมาณ 20 เท่าของน้ำหนักสารเป็นอย่างน้อย สารดูดน้ำประเภทนี้จะไม่ละลายน้ำ แต่จะดูดน้ำและพองตัวเต็มที่จนถึงจุดสมดุลที่จะให้ปริมาตรสูงสุด สารโพลิเมอร์ที่มีความสามารถดูดน้ำได้สูงสุดจะดูดน้ำได้ประมาณ 50-400 เท่าตัวโดยน้ำหนัก โดยทั่วไปนิยมผลิตออกมาใช้ในทางการเกษตรในรูปครอสลิงค์โพลีอะคริลาไมด์ (Cross-Linked Polyacrylamide, CPAM) ที่มีคุณสมบัติดูดน้ำเต็มที่ได้เร็วปานกลาง (ประมาณ 5-30 นาที) แต่น้ำที่ดูดไว้ส่วนใหญ่เป็นน้ำที่พืชใช้ประโยชน์ได้ การใช้สารโพลิเมอร์ดูดน้ำคลุกเคล้ากับดินที่มีความจุในการอุ้มน้ำต่ำจะช่วยเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดินได้ในปริมาณมาก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของพืชที่ปลูกโดยช่วยลดการสูญเสียของน้ำที่ไหลซึมลงสู่ดินชั้นล่าง

2) แคลไซด์เคลย์ (Calcited Clay) เป็นผลิตภัณฑ์จากแร่ดินเหนียว ที่เตรียมไว้โดยการนำแร่ดินเหนียวเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1500-1800 °F ซึ่งการเผาด้วยความร้อนสูงทำให้น้ำในดินไม่ว่าจะเป็นน้ำที่ถูกดูดซับ หรือน้ำที่อยู่ภายในระหว่างชั้นหน่วยผลึก รวมทั้งน้ำที่เป็นโครงสร้างของหน่วยผลึกสูญเสียไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของตัวแร่ให้อยู่ในรูปใหม่ซึ่งจะทำให้แร่ดินเหนียวสูญเสียสมบัติการยืดหยุ่น สามารถนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินได้ เนื่องจากเม็ดสารมีความแข็งแกร่ง เสถียร มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบก และมีความพรุนสูง ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการกักเก็บน้ำและอากาศ น้ำที่สารแคลไซด์เคลย์ดูดไว้ได้นั้นจะมีปริมาณน้ำที่พืชใช้

ประโยชน์ได้ประมาณร้อยละ 20 สารแคลไซด์เคลย์เหมาะที่จะใช้ในดินทรายที่อุ้มน้ำได้น้อย หรือดินที่มีปริมาณแร่ดินเหนียวต่ำ

3) ไอโซไลท์ (Isolite) เป็นสารเซรามิคที่เตรียมได้จากการเผาดินขาว สารชนิดนี้เป็นสารที่มีลักษณะพรุน เนื่องจากตัวสารประกอบไปด้วยรูเล็กๆมากมายที่สามารถกักเก็บน้ำได้ โครงสร้างโดยทั่วๆไปมีลักษณะคล้ายรวงผึ้งที่มีรูเล็กๆกระจัดกระจายมากมายในหลายๆทิศทาง และต่อเนื่องทำให้สามารถช่วยเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดินได้

4) ซีโอไลท์ (Zeolite) เป็นสารในรูปแร่อลูมิโนซิลิเกตชนิดหนึ่ง ที่มีสมบัติดูดน้ำได้ดี ดังนั้น เมื่อนำไปใช้โดยใส่ลงไปในดินจึงช่วยทำให้ดินมีความจุในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น และทำให้พืชที่ปลูกสามารถใช้น้ำในดินได้ดีขึ้น นอกจากนั้นซีโอไลท์ยังมีคุณสมบัติอื่นๆอีกหลายประการ เช่น ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก รวมทั้งความสามารถในการดูดซับโมเลกุลสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หลายชนิด

5) เทอราคอตเต็ม (Terracottem) เป็นสารปรับปรุงดินที่มีลักษณะพิเศษแตกต่างไปจากสารปรับปรุงดินชนิดอื่นๆ คือ องค์ประกอบของสารชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนผสมแห้งแบบคลุกเคล้า (Bulk Blending) ของสารต่างๆรวม 20 ชนิดที่ได้จากกลุ่มของสารประเภทต่างๆรวม 6 ประเภท กลุ่มสารทั้ง 6 ประเภทที่เป็นองค์ประกอบของเทอราคอตเต็มประกอบด้วยสารโพลิเมอร์ประมาณร้อยละ 40 ปุ๋ยเคมีที่ละลายน้ำง่าย และปุ๋ยประเภทปลดปล่อยช้าประมาณร้อยละ 10 สารตัวเร่งการเจริญเติบโตของพืชชนิดต่างๆร้อยละ 0.25 และสารตัวเติม (Filler) ประมาณร้อยละ 50 วัตถุประสงค์หลักของการผลิตสารประเภทนี้ เพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงดินทั้งทางด้านกายภาพ โดยการเพิ่มความจุในการอุ้มน้ำของดินด้วยสารโพลิเมอร์ และในขณะเดียวกันก็ช่วยบำรุงดิน และเร่งการเจริญเติบโตของพืชไปพร้อมๆกัน โดยการใส่สารชนิดนี้เพียงครั้งเดียวก็จะได้ทั้งสารดูดน้ำ ปุ๋ยเคมีทั้งชนิดละลายเร็วและช้า อีกทั้งยังได้สารตัวเร่งการเจริญเติบโตของพืชอีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย