บทที่ 2

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพังทลายของดิน (soil erosion)

การพังทลายของดิน หมายถึง การเคลื่อนย้ายของวัตถุที่เกิดการผุพังแล้ว (weathered materials) โดยกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดที่ผิวดิน ซึ่งมีตัวการต่าง ๆ พัดพาวัตถุที่ผุพังแล้วนี้ให้เคลื่อนที่ไปจากที่เดิม

ตัวการที่ทำให้เกิดการพังทลายของดิน

การที่ภูมิประเทศของโลกมีลักษณะแตกต่างกัน มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการพังทลายของดิน โดยมีตัวการที่สำคัญดังนี้

- ลม เป็นตัวการที่ทำให้เกิดการพัดพาของดินในหลายประเทศ เช่น ในรัสเซีย จีน สหรัฐอเมริกา ส่วนในประเทศไทยนั้น ลมไม่ใช่ตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการพังทลาย แต่อาจมีผลในการพัดพาดินได้ในกรณีที่ดินแห้งจัด เช่น บริเวณดินทรายของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- น้ำ อาจกล่าวได้ว่า น้ำเป็นตัวการที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการพังทลายของดินในประเทศไทย โดยมีอิทธิพลนับแต่อยู่ในสภาพของเม็ดฝนที่ตกลงมากระทบผิวดิน จนเป็นสายน้ำที่ไหลกัดเซาะฝั่งแม่น้ำลำธาร และเป็นน้ำทะเลที่ซัดกระแทกชายฝั่งอยู่ตลอดเวลา
- การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ในเขตหนาวเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำจะแข็งตัวเป็นน้ำแข็ง ทำให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคดิน และมีผลให้อนุภาคดินถูกพัดพาไปที่ต่ำ
- สิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์และสัตว์ โดยเฉพาะมนุษย์เป็นตัวการสำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง กิจกรรมของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นการตัดไม้ทำลายป่า การปลูกพืชและการไถพรวนอย่างผิดวิธี ล้วนแต่มีผลทำให้เกิดการพังทลายของดินได้อย่างรวดเร็ว ส่วนสัตว์นั้นเป็นตัวการหนึ่งที่เร่งให้เกิดการพังทลายของดินโดยการเล็มหญ้าของสัตว์ ทำให้ดินขาดสิ่งปกคลุม กีบเท้าและน้ำหนักตัวของสัตว์จะทำให้ดินแน่นทึบ น้ำซึมผ่านได้ยาก มีผลต่อการพังทลายของดิน

การพังทลายของดินโดยน้ำ (water erosion)

หมายถึง กระบวนการพังทลายที่เกิดจากตัวการสำคัญ 2 อย่าง คือ เม็ดฝนที่ตกลงมาและน้ำที่ไหลบ่าไปบนผิวดิน การพังทลายของดินแบบนี้มีความสำคัญ และเกิดขึ้นมากกระจายไปเกือบทั่วโลก ประกอบด้วยกระบวนการหลัก 3 กระบวนการ คือ

- กระบวนการกัดกร่อนของเม็ดดิน (detachment) เกิดจากแรงปะทะที่ทำให้เม็ดดินแตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำต่อเม็ดดิน และความสามารถในการแตกกระจายของดิน

- กระบวนการที่อนุภาคดินถูกเคลื่อนย้ายพัดพาไปจากที่เดิม (transportation) เมื่อเม็ดดินแตกกระจาย อาจมีการอุดตามผิวหน้าดิน ทำให้น้ำซึมลงไปในดินได้น้อยลง เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินพัดเอาเม็ดดินจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ

- กระบวนการตกตะกอนและทับถมของอนุภาคดินในที่ใหม่ (deposition) เมื่อความเร็วของกระแสน้ำลดลง ทำให้อนุภาคดินตกตะกอนตามก้นลำธารหรือตามแอ่งน้ำ เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

สำหรับการเกิดแผ่นดินถล่มที่ภาคใต้ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ 2531 นั้น พิสุทธิ์ วิจารณ์สรณ์ และวุฒิชาติ สิริช่วยชู (2532) อธิบายลำดับการเกิด ดังนี้

(1) เมื่อฝนตกชุก และตกหนักติดต่อกัน น้ำจะซึมลงไปในดินอย่างรวดเร็ว ในพื้นที่ที่เป็นสวนยางพารา สวนผลไม้ หรือป่าเสื่อมโทรม ซึ่งมีคุณสมบัติในการรองรับน้ำและดูดซับน้ำได้น้อยกว่าป่าดงดิบ น้ำจะซึมผ่านลงไปในดินได้มาก จนถึงจุดที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีน้ำอยู่เต็ม ขณะเดียวกันน้ำบางส่วนที่ไหลซึมไม่ทัน ก็จะไหลผ่านหน้าดิน กัดเซาะผิวดินหายไป

(2) เมื่อดินถึงจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ จะมีแรงเกาะยึดกันระหว่างเม็ดดิน (shear strength) น้อยมาก ประกอบกับยางพารามีรากน้อย ไม่เพียงพอสำหรับการยึดเหนี่ยวอนุภาคดิน ดินบริเวณดังกล่าวจึงถล่มลงมาตามความลาดชัน โดยแรงดึงดูดของโลก เกิดเป็นร่องรอย (slump feature) ของแผ่นดินถล่มกระจายทั่วไปตามไหล่เขา

(3) เมื่อดิน หิน ทรายและต้นไม้เลื่อนไถลลงมาบริเวณเชิงเขา น้ำที่ไหลเชี่ยวมากจะพัดพาเอาดิน หิน ทราย รวมทั้งต้นไม้ไหลไปกับน้ำ ส่วนตะกอนที่มีน้ำหนักมาก เช่น ก้อนหินและทรายจะทับถมกันเป็นชั้นหนา และแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างทั้งหุบเขาบริเวณช่วงต้นน้ำ ส่วนตะกอนเนื้อละเอียดจะถูกพัดพาไปทับถมในพื้นที่น้ำท่วมที่อยู่ไกลออกไป

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพังทลายของดินโดยน้ำ

การพังทลายของดินโดยน้ำ จะเกิดขึ้นรุนแรงมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ สมบัติของดิน ลักษณะของพืชพรรณ รวมถึงการใช้ประโยชน์จากที่ดินและการจัดการเพาะปลูกพืช

1. สภาพภูมิอากาศ (climate)

ส่วนประกอบของภูมิอากาศที่มีผลกระทบต่อการเกิดการพังทลายของดินโดยน้ำ คือ น้ำฝน ลม อุณหภูมิ ความชื้น และการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการพังทลายของดินทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่วนองค์ประกอบของภูมิอากาศที่มีผลกระทบต่อการเกิดการพังทลายของดินโดยน้ำมากที่สุดคือ น้ำฝน การพังทลายจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของฝน คือ ปริมาณของฝนที่ตกทั้งหมด ขนาดของเม็ดฝน ความเข้มของฝน ระยะเวลา ความเร็ว และการแพร่กระจายของฝนในแต่ละฤดู กล่าวคือ หากฝนตกเป็นปริมาณมาก ดินจะไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ ฝนที่ตกลงมาหลังจากนั้นจึงกลายเป็นน้ำไหลบ่าไปตามผิวดิน กัดเซาะหน้าดินและพัดพาลงไปยังที่ต่ำ เม็ดฝนที่มีขนาดใหญ่มีแรงกระแทกผิวดินสูง ทำให้เกิดการแยกตัวของอนุภาคดินออกจากกันได้ง่าย และฝนที่มีความเข้มสูงจะมีแรงกระทบผิวดินสูง ทำให้น้ำไหลบ่าได้มาก

โดยทั่วไปการพังทลายของดินโดยน้ำจะเกิดขึ้นรุนแรง ในบริเวณที่มีฝนตกเฉลี่ยตั้งแต่ 600-1,200 มิลลิเมตรต่อปี ในบริเวณที่มีฝนตกเฉลี่ยน้อยกว่า 600 มิลลิเมตรต่อปี จะมีการพังทลายของดินโดยน้ำเกิดขึ้นน้อย ทั้งนี้เพราะสภาพภูมิอากาศแห้งแล้งจึงได้รับอิทธิพลของลมมากกว่า สำหรับในบริเวณที่มีฝนตกเฉลี่ยมากกว่า 1,200 มิลลิเมตรต่อปี มีการพังทลายไม่รุนแรง เนื่องมาจากในบริเวณนี้มีพืชพรรณขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น ซึ่งพืชจะช่วยรองรับแรงปะทะของเม็ดฝนที่ตกลงมา แต่ถ้าพืชพรรณธรรมชาติถูกรบกวนโดยการหักล้างถางป่าเพื่อการเพาะปลูกพืช ก็จะก่อให้เกิดการพังทลายของดินโดยน้ำอย่างรุนแรงได้เช่นเดียวกัน

ช่วงเวลาที่เกิดอุทกภัยในภาคใต้ระหว่างวันที่ 19-23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 นั้น มีปริมาณฝนตกมาก โดยวัดปริมาณน้ำฝนที่ยอดเขาพิปูนในรอบ 24 ชั่วโมง ของวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 ได้ 523.8 มิลลิเมตร (ภาคผนวก ก ตารางที่ ผ. 3) และปริมาณน้ำฝนที่ตกติดต่อกันรวม 5 วัน วัดได้ถึง 1259.4 มิลลิเมตร ซึ่งปริมาณฝนที่ตกลงมามากนี้เป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดอุทกภัยในครั้งนี้ และเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม

ปัจจัยทางภูมิอากาศอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ก็มีผลต่อการพังทลายของดิน กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืน หรือระหว่างฤดูกาล มีผลต่อการปรับตัวของโครงสร้างดิน ทำให้การจับตัวกันของอนุภาคดินมีแรงยึดน้อยลง จึงเกิดการพังทลายได้ง่าย

2. สภาพภูมิประเทศ (topography)

สภาพภูมิประเทศมีผลต่อการพังทลายของดินโดยน้ำ กล่าวคือ ความลาดเทของภูมิประเทศเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดปริมาณ และอัตราของน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน ลักษณะของภูมิประเทศที่มีผลต่อการพังทลายของดิน ได้แก่

- ความมากน้อยของความลาดเท (slope gradient) เมื่อความลาดเทเพิ่มขึ้น ปริมาณและความเร็วของน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดินจะเพิ่มขึ้น Holy (1980) กล่าวว่า ความลาดชันของพื้นที่เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการพังทลายของดิน การพังทลายจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ความลาดชันตั้งแต่ 35 ถึง 100 เปอร์เซนต์ และจะลดลงตามระดับองศาของความลาดชัน แต่อย่างไรก็ตาม การพังทลายของดินสามารถลดลงได้เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น คุณสมบัติของดิน พืชคลุมดิน เป็นต้น

- ความยาวของความลาดเท (slope length) พื้นที่ที่มีความยาวของความลาดเทมากจะทำให้น้ำไหลไปรวมกันมากและไหลเร็ว จึงเกิดแรงกัดเซาะดินสูง การศึกษาของ Ral (1976) พบว่าเมื่อความยาวของความลาดเทเพิ่มขึ้นสองเท่า การสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้น 1.5 เท่า

- รูปร่างของพื้นที่ลาดเท (slope configuration) พื้นที่ลาดเทนูน (convex slope) มีการพังทลายมากกว่าพื้นที่ลาดเทเว้า (concave slope) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคดินโดยการกระทำของเม็ดฝนจะเกิดมากบนพื้นที่ลาดเทนูน นอกจากนั้นความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านผิวดินบริเวณพื้นที่ลาดเทนูนจะเพิ่มขึ้น เมื่อไหลลงสู่ปลายที่ลาดเท จึงมีแรงกัดเซาะดินมาก ตรงข้ามกับพื้นที่ลาดเทเว้าซึ่งการไหลของน้ำบนผิวดินจะลดความเร็วลง ทำให้เกิดการตกตะกอนขึ้น

- ความสม่ำเสมอของความลาดเท (slope variation) พื้นที่ที่มีความลาดเทสม่ำเสมอมีการชะล้างพังทลายของดินมากกว่าพื้นที่ที่มีความลาดเทแปรปรวนมาก

- ทิศทางของความลาดเท (slope aspect) ในซีกโลกเหนือ พื้นที่ลาดเทที่หันไปทางทิศใต้และทิศตะวันตก จะเกิดการพังทลายของดินมากกว่าพื้นที่ลาดเทที่หันไปทางทิศเหนือและทิศตะวันออก การศึกษาของ Kohnke และ Bertrand (1959) พบว่าพื้นที่ลาดเทที่หันไปทางทิศใต้จะมีความแปรปรวนของอุณหภูมิมาก อีกทั้งยังได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงมากกว่าพื้นที่ลาดเทที่หันไปทางทิศอื่น จึงเกิดการระเหยของน้ำมากกว่า ทำให้ดินมีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำและแห้ง เกิดการแตกกระจายง่ายและถูกชะล้างได้ง่ายด้วย

- ลักษณะเฉพาะของพื้นที่ (microtopography) บริเวณพื้นที่ที่มีแอ่งน้ำขนาดเล็กอยู่ทั่วไป สามารถขังน้ำและทำให้น้ำไหลซึมลงดินได้ เป็นการลดการพังทลายของดิน การที่มีแอ่งน้ำขนาดเล็กจะช่วยลดการพังทลายได้ดีในพื้นที่ที่มีความลาดเทน้อย ตั้งแต่ 2-7 เปอร์เซนต์ แต่จะมีผลไม่มากนักในพื้นที่ที่มีความลาดเทเกิน 20 เปอร์เซนต์

3. สมบัติของดิน (soil properties)

สมบัติของดินที่มีผลกระทบต่อความยากง่ายในการพังทลายคือ วัตถุต้นกำเนิดของดิน เนื้อดิน โครงสร้าง ปริมาณของอินทรียวัตถุในดิน ปริมาณของอนุภาคดินเหนียว ปริมาณเม็ดดินที่เสถียร ปริมาณของช่องว่างในดิน ปริมาณความชื้น และระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

วัตถุต้นกำเนิดของดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความคงทนของดิน เช่น ดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดพวกหินแกรโนไดโอไรท์ (granodiorite) จะให้ดินที่ง่ายต่อการพังทลายกว่าดินที่เกิดจากหินบะซอลท์ (basalt) (Wooldrige, 1964) เนื่องจากดินที่เกิดจากพวกหินแกรโนไดโอไรท์ เนื้อดินจะประกอบด้วยอนุภาคทรายและกรวดเป็นส่วนมาก มีพวกอนุภาคดินตะกอนและอนุภาคดินเหนียวต่ำ ส่วนดินที่เกิดจากหินบะซอลท์จะมีปริมาณอนุภาคดินตะกอนสูง (Willen, 1965)

การศึกษาของประหยัด ปานดี (2532) ที่บริเวณอำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเปรียบเทียบความหนาแน่นของรอยร้าว (lineament) พบว่าบริเวณที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นพวกหินแกรนิต จะมีรอยร้าวหนาแน่นมากกว่าบริเวณที่มีวัตถุต้นกำเนิดเป็นพวกหินชั้นและหินแปร ซึ่งความหนาแน่นของรอยร้าวนี้จะสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินถล่ม กล่าวคือ บริเวณที่มีรอยร้าวมากจะพบการเกิดแผ่นดินถล่มมาก

ลักษณะของเนื้อดินเป็นตัวที่บ่งชี้ถึงความยากง่าย ในการเกิดการพังทลายของดิน ดินที่มีปริมาณทรายสูงจะเกิดการพังทลายได้ง่ายกว่า ดินที่มีปริมาณทรายแป้งหรือดินเหนียวสูง เนื่องจากประกอบด้วยอนุภาคดินที่มีน้ำหนักอยู่ในปริมาณน้อย จึงมีความคงทนต่อพลังงานจลน์ของน้ำได้ไม่มากนัก ส่วนดินที่มีปริมาณของดินเหนียวสูงจะเกิดการพังทลายได้ยาก เนื่องจากมีความสามารถในการให้น้ำไหลผ่านได้น้อย และประกอบด้วยอนุภาคคอลลอยด์จำนวนมาก อีกทั้งมีอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารเป็นองค์ประกอบ จึงจะช่วยยึดอนุภาคดินไว้ (Foster et al,1985)

โครงสร้างของดินมีผลต่อการพังทลาย ดินที่มีโครงสร้างแบบเม็ดมนมีความคงทนต่อการพังทลายมากกว่าดินที่มีโครงสร้างแบบทึบหรือแน่น

ปริมาณอินทรียวัตถุในดินเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่ง ที่มีผลต่อการยึดเกาะของเม็ดดิน เมื่ออินทรียวัตถุสลายตัวจะให้สารประกอบที่ช่วยเสริมสร้างให้ดินมีโครงสร้างที่คงทนขึ้น (McCalla, 1945) และเมื่ออินทรียวัตถุทำงานร่วมกับดินเหนียว จะสามารถเชื่อมอนุภาคดินเข้า

ด้วยกันเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า aggregates ทำให้โครงสร้างของดินเสถียร และช่วยเพิ่มการซาบซึมน้ำของดิน (สุรชาติ จิรพรเจริญ, 2530) นอกจากนี้ตัวของอินทรียวัตถุเองยังสามารถอุ้มน้ำไว้ได้สูงถึง 20 เท่าของน้ำหนักตัว จึงช่วยในการเก็บกักน้ำได้มาก โดยปกติอินทรียวัตถุในดินทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเฉพาะจุลินทรีย์ดิน Baver (1961) พบว่าพวกเห็ดราบางชนิดจะผลิตสารประกอบพวกน้ำตาลซูโครส (sucrose) ยาง ขี้ผึ้ง และสารบางอย่างที่เป็นตัวเชื่อมให้เม็ดดินเกาะกันดียิ่งขึ้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงจะมีความคงทนต่อการพังทลายมากกว่าดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุต่ำ (สำราญ สมบัติพานิช, 2528)

ปริมาณอนุภาคดินเหนียวในดินมีบทบาทสำคัญต่อความคงทนของดิน เนื่องจากการจับตัวกันของเม็ดดิน ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุบวกของอนุภาคดินเหนียว (Baver, 1961) และอนุภาคดินเหนียวยังเป็นตัวเชื่อมอนุภาคปฐมภูมิ (primary particle) เข้าด้วยกัน (Mazurak and Peter, 1961) ดังนั้นดินที่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวสูงจะทำให้การยึดเกาะของเม็ดดินดีขึ้น มีความคงทนต่อการพังทลายมากขึ้น วิชาญ ตันนุกิจ (2516) ศึกษาปริมาณอนุภาคดินเหนียวบริเวณป่าดิบเขาดอยปุย เพื่อนำมาประเมินเรื่องการพังทลายของดิน พบว่าการพังทลายของดินเป็นปฏิภาคกลับกับปริมาณอนุภาคดินเหนียว ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวมากจะทำให้ดินมีความคงทนต่อการพังทลายได้ดีกว่าดินที่มีอนุภาคดินเหนียวน้อย

ปริมาณเม็ดดินที่เสถียร (stable aggregate) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการพังทลายของดิน กล่าวคือเม็ดดินที่เสถียรนี้จะช่วยรักษาระดับความชื้นในดิน และทำให้สมบัติทางกายภาพของดินมีความแปรปรวนน้อยลง การเกิดเม็ดดินที่เสถียรจะต้องมีการจับตัวกันของอนุภาคดินเกิดเป็นดินก้อนเล็ก ๆ และต้องมีอินทรียวัตถุในสภาพของคอลลอยด์ ซึ่งจะช่วยให้อนุภาคดินเชื่อมติดกันโดยพันธะทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical bond) อย่างไรก็ตามเม็ดดินที่เสถียรนี้อาจแตกหักได้ เนื่องจากแรงปะทะของเม็ดฝน ดังนั้นการรักษาปริมาณเม็ดดินที่เสถียรจำเป็นต้องมีพืชคลุมดินไว้

สมบัติทางกายภาพที่มีผลต่อการพังทลายของดินคือ ความหนาแน่นรวมของดิน และความสามารถในการดูดยึดน้ำของดิน กล่าวคือดินที่มีความหนาแน่นรวมมาก จะทำให้ความคงทนของดินต่อการพังทลายต่ำ เนื่องจากอนุภาคของดินถูกอัดแน่น จึงมีสัดส่วนของน้ำหนักดินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสูง ทำให้ปริมาณช่องว่างในดินลดลง (Rendig and Taylor, 1989) เมื่อฝนตกลงมาน้ำจะไหลซึมลงดินได้น้อย จึงเกิดน้ำไหลบ่า และดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีความหนาแน่นรวมต่ำกว่าดินเนื้อหยาบ ส่วนดินที่มีความสามารถในการดูดยึดน้ำสูงจะช่วยดูดซับน้ำไว้ได้มาก เป็นการลดปริมาณน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน จากการศึกษาของราตรี ภารา (2535) พบว่าความสามารถในการดูดยึดน้ำของดินมีความสัมพันธ์กับปริมาณอนุภาคดินเหนียว และปริมาณ

อินทรียวัตถุในดิน คือความสามารถในการดูดยึดน้ำของดินจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอนุภาคดินเหนียว และปริมาณอินทรียวัตถุในดินมาก

เกษม จันทร์แก้ว และสุรเชษฐ์ อังกูลภักดีกุล (2514) ศึกษาพบว่าการพังทลายของดินขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ค่า pH ของดิน ดินที่พังทลายได้ง่ายมักมี pH เป็นกรด ซึ่งความเป็นกรดของดินมาจากปริมาณธาตุอาหารในดิน ธาตุอาหารแต่ละชนิดจะให้ความสามารถในการเกาะกันของเม็ดดินต่างกัน pH ของดินมีบทบาทในการควบคุมปริมาณธาตุอาหารที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ และสมบัติทางกายภาพของดิน การสลายตัวของอินทรียวัตถุเกิดได้ดีในดินที่เป็นกรดปานกลางมากกว่าดินกรด (เกษม จันทร์แก้ว, 2512)

ความอุดมสมบูรณ์ของดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการพังทลายของดิน ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง จะเกิดการพังทลายน้อย เนื่องจากดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงจะทำให้พืชเจริญเติบโตดี มีกิ่งก้าน ลำต้น และใบทำหน้าที่ปกคลุมดินมากกว่าพืชที่ขึ้นอยู่บนดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงนี้จะมีปริมาณเม็ดดินที่เสถียรอยู่มากด้วย

4. ลักษณะของพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมดิน (vegetation)

พืชพรรณที่ขึ้นปกคลุมผิวดินจะช่วยรองรับเม็ดฝน และทำให้การพังทลายของดินลดน้อยลง ซึ่งพืชพรรณแต่ละชนิดสามารถลดการพังทลายของดินโดยน้ำได้แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของใบ กิ่งก้าน ลำต้น และรากของพืชแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน พืชที่มีลักษณะปกคลุมดินได้อย่างหนาแน่นจะช่วยลดการพังทลายของดินได้มาก (ดุสิต มานะจุติ, 2535)

พืชที่คลุมดินจะมีส่วนช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดฝนกระทบกับผิวดินโดยตรง ส่วนของลำต้นจะช่วยกระจายพลังงานของฝน โดยน้ำฝนจากเรือนยอดบางส่วนจะไหลลงมาตามลำต้นซึ่งลำต้นจะช่วยดูดซับน้ำฝนไว้ส่วนหนึ่ง บางส่วนจะค่อย ๆ ไหลผ่านลงสู่พื้นดิน และซึมผ่านเข้าไปในดิน (Holy M., 1980) ทำให้ความเร็วของน้ำที่ไหลบ่าหน้าดินลดลง เป็นการลดอันตรายจากการกระจายของกลุ่มก้อนเม็ดดิน (soil aggregate) การที่ต้นไม้จะช่วยลดการพังทลายของดินได้ต้องมีเรือนยอดอยู่ใกล้ผิวดิน (Foster et al, 1985)

นอกจากนี้การที่มีพืชพรรณปกคลุมดินจะทำให้การไหลซึมของน้ำลงสู่ดินเป็นไปได้ดีขึ้น และมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ตลอดจนช่วยลดอัตราการระเหยน้ำของดิน รักษาระดับความชื้นในดิน ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับเสถียรภาพของกลุ่มก้อนเม็ดดิน

Frevert และคณะ (1955) กล่าวว่าปัจจัยสำคัญที่มีส่วนช่วยลดการพังทลายของดินคือพืชที่ขึ้นปกคลุมดิน โดยมีบทบาทดังนี้

- ช่วยดูดซับน้ำฝนและลดแรงปะทะของเม็ดฝน

- ลดความเร็วของน้ำที่ไหลบ่าผ่านหน้าดิน เป็นการลดแรงที่จะทำให้เกิดการพังทลายของดิน

- ช่วยทำให้ดินจับกันเป็นก้อนได้ดีขึ้น เพิ่มปริมาณช่องว่างในดิน ทำให้น้ำไหลซึมลงไปได้มากขึ้น

- ช่วยให้กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินมีมากขึ้น เป็นผลให้ดินจับกันเป็นก้อนดีขึ้น

- เมื่อพืชที่ขึ้นปกคลุมดินตายลง ซากพืชที่ผุพังจะกลายเป็นอินทรียวัตถุที่ช่วยเชื่อมเม็ดดินให้เกาะกันได้ดี และทำให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มาก

Wooldrige (1964) กล่าวว่าพืชและสิ่งปกคลุมดินที่จะช่วยลดการพังทลายของดินควรมีความหนาแน่นและลักษณะที่ปกคลุมดินติดต่อกันเพียงพอ ที่จะลดแรงปะทะจากเม็ดฝน พืชคลุมดินควรมีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซนต์ Ruangpanit (1971) ศึกษาอิทธิพลของความหนาแน่นของเรือนยอดที่มีต่อการสูญเสียดินและน้ำบริเวณป่าดิบเขา พบว่าการสูญเสียดินและน้ำมีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคกลับต่อความหนาแน่นของเรือนยอด โดยการสูญเสียของดินและน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อความหนาแน่นของเรือนยอดต่ำกว่า 70 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าความหนาแน่นของเรือนยอดเท่ากับหรือมากกว่า 70 เปอร์เซนต์ อัตราการสูญเสียดินและน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกัน

Judson (1968) กล่าวว่าพืชจะช่วยลดการพังทลายของดินได้ แต่ไม่สามารถหยุดชะงักการพังทลายได้อย่างสิ้นเชิง จากการทดลองบนที่ลาดชันสูงพบว่าแปลงปลูกพืชที่มีหญ้าปกคลุมจะมีตะกอนเฉลี่ย 75 ตันต่อปี แต่ถ้าไม่มีหญ้าปกคลุมจะมีการพังทลาย เพิ่มขึ้นถึง 100 เท่า การศึกษาของ Bennett (1955) ในสหรัฐอเมริกาพบว่า การที่จะทำให้หน้าดินหนา 18 เซนติเมตร บนความลาด 16 % และมีเนื้อดินร่วนปนซิลต์หมดไปนั้น หากมีทุ่งหญ้าปกคลุมอยู่จะใช้เวลานานถึง 10,000 ปี แต่ถ้าไม่มีพืชคลุมดินจะใช้เวลาเพียง 5 ปีเท่านั้น ส่วนบนดินร่วนเหนียวปนทรายที่มีความลาด 10% นั้น เมื่ออยู่ในสภาพป่าธรรมชาติจะใช้เวลา 500,000 ปีจึงจะทำให้ดินหมดไป แต่ถ้าไม่มีพืชคลุมดินจะใช้เวลาเพียง 15 ปีเท่านั้น

Davidson, Kapustka และ Koch (1989) ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระบบรากพืชกับการพังทลายของดิน พบว่าในพื้นที่ลาดชันที่มีต้นไม้ใหญ่จะมีการพังทลายน้อยกว่าพื้นที่ลาดชันที่มีพวกไม้ล้มลุก ค่าการสูญเสียหน้าดินของพื้นที่ราบที่มีหญ้าปกคลุมมีค่าเท่ากับ 0.2 mton/ha ส่วนพื้นที่ราบที่มีป่าไม้จะมีค่าน้อยกว่า 0.1 mton/ha พื้นที่ลาดชันที่มีหญ้าปกคลุมมีค่าเท่ากับ 7.8 mton/ha และพื้นที่ลาดชันที่มีป่าไม้จะมีค่าเท่ากับ 0.4 mton/ha

รากพืชเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีส่วนช่วยลดการพังทลายของดิน โดยรากพืชจะทำให้เม็ดดินเกาะกันได้ดีขึ้น และช่วยยึดอนุภาคดิน รากพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการยึดดินต่างกัน แม้แต่ในสายพันธุ์ของชนิด (species) เดียวกันก็อาจยึดดินได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมหลายประการ เช่น การกระจายความหนาแน่นของรากต่างกัน ลักษณะทางเคมีและกายภาพของดิน เป็นต้น (Smucker and Erickson, 1976)

ระบบรากของพืชนอกจากจะทำให้อนุภาคดินเกาะกันได้ดีแล้ว ยังทำให้ดินมีความสามารถในการซาบซึมน้ำได้ดีขึ้นด้วย โดยรากพืชที่มีอยู่เป็นจำนวนมากจะช่วยให้ดินร่วนซุยขึ้น และในบริเวณที่มีรากพืชและต้นพืชจำนวนมาก จะมีกิจกรรมทางชีวภาพ (biological activity) มากด้วย เนื่องจากสิ่งมีชีวิตในดินมักชอบอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีพืชปกคลุมอย่างหนาแน่น กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินมีผลต่อโครงสร้างของดิน การเน่าเปื่อยของอินทรียวัตถุ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อการพังทลายของดิน (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2526)

5. <u>การใช้ประโยชน์จากที่ดินและการจัดการเพาะปลูกพืช</u> (land use and crop management)

การใช้ประโยชน์จากที่ดินเป็นสิ่งที่สำคัญ ที่มีผลกระทบต่อการพังทลายของดิน การใช้ที่ดินให้เหมาะสมตามสมรรถนะของที่ดินจะช่วยลดการพังทลายของดินได้ การจัดการเพาะปลูกพืชก็มีอิทธิพลต่อการพังทลายของดินมากเช่นเดียวกัน เช่น การไถพรวนดินเพื่อเพาะปลูกพืช วิธีการปลูกพืช หากทำไม่ถูกวิธีจะเพิ่มอัตราการพังทลายของดิน แต่ถ้าทำตามวิธีที่เหมาะสมจะช่วยลดการพังทลายของดินได้

ความสำคัญของรากพืชต่อการพังทลายของดิน

ระบบรากของพืชแต่ละชนิดมีส่วนช่วยลดการพังทลายของดินได้มากน้อยต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของราก รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของราก ขนาดและความแข็งแกร่งของราก

1. <u>โครงสร้างของราก</u>

โดยทั่วไปโครงสร้างของรากพืชมีส่วนสำคัญที่ช่วยในการยึดเกาะอนุภาคดิน เซลบริเวณหมวกราก (root cap) จะผลิตสารที่เรียกว่า mucigel จำนวนมาก เพื่อทำหน้าที่ให้ความหล่อลื่นแก่รากขณะที่จะแทงเข้าไปในดิน และทำให้เกิดแผ่นฟิลม์บาง ๆ เชื่อมระหว่างผิวรากและ

อนุภาคของดิน (Jeffrey, 1987) ซึ่งแผ่นฟิลม์นี้มีความหนาประมาณ 1 ไมครอน (Jenny and Grossenbacher, 1963) การศึกษาโดยการใช้ X-ray แสดงให้เห็นถึงอนุภาคดินที่ถูกยึดไว้บริเวณผิวของราก (Jeffrey, 1987)

ในเซลบริเวณเยื่อบุผิว (epidermis) ของพืชหลายชนิดจะมีส่วนที่ยื่นออกมาเรียกว่า รากขนอ่อน (root hair) ซึ่งรากขนอ่อนเหล่านี้จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของรากและปริมาณของดินที่ถูกยึดไว้โดยราก เนื่องจากรากขนอ่อนมีบทบาทในการทำให้รากยึดกับดินได้ดีขึ้น (Rendig and Taylor, 1989)

2. รูปแบบการกระจายความหนาแน่นของราก

การที่พืชมีระบบรากที่เป็นแบบร่างแห เมื่อมีแรงมากระทำต่อต้นหรือต่อดิน รากพืชจะช่วยลดแรงนั้นโดยกระจายแรงไปตามส่วนต่าง ๆ ของราก ทำให้เกิดความมั่นคงของดินโดยเฉพาะบริเวณลาดไหล่เขา (Gray and Leiser, 1982)

Yen (1987) ศึกษารูปแบบและลักษณะการกระจายของระบบรากของไม้ยืนต้น 108 ชนิด พบว่าระบบรากสามารถแบ่งได้เป็น 5 รูปแบบ แต่ละรูปแบบมีผลต่อการควบคุมการพังทลายของดินหรือช่วยในการอนุรักษ์ดินต่างกัน 3 ลักษณะคือ ลักษณะของรากที่ช่วยทำให้เกิดความมั่นคงของพื้นที่ (soil-stability root type) ลักษณะของรากที่ช่วยยึดดิน (soil-binding root type) ลักษณะของรากที่ช่วยในการต้านลม (wind-resisting root type) นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนของรากใหญ่ (main root) จะยื่นขยายไปตามแนวความลาดชันของพื้นที่ โดยส่วนใหญ่จะขนานไปตามผิวดิน

พืชที่มีระบบรากหยั่งลงไปในดินได้ลึกจะมีส่วนช่วยในการยึดดินได้ดีกว่าพืชที่มีระบบรากตื้น พืชใบเลี้ยงคู่ที่มีอายุหลายปี (perennial dicotyledonous plant) และจิมโนสเปิร์ม (gymnosperms) บางชนิดจะมีระบบรากลึก มีรากขนาดใหญ่ และมีรากขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งจะช่วยยึดเหนี่ยวดินให้เกิดความคงทนได้ (Russell, 1973) นอกจากนี้การที่พืชแต่ละชนิดมีระบบรากต่างกัน จึงทำให้มีความสามารถในการลดการพังทลายได้ต่างกัน การศึกษาของ DeGraff (1979) พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนการปลูกพืชจากพวกไม้ยืนต้นและไม้พุ่มมาเป็นพวกหญ้า จะมีอัตราการเกิดแผ่นดินถล่มสูงขึ้น

การศึกษาภาคสนามพบว่าการกระจายความหนาแน่นของรากพืชเป็นลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ มวลชีวภาพของรากจะมีค่าสูงสุดเมื่ออยู่ใกล้ผิวดิน ประมาณกันว่าที่ระดับความลึกครึ่งหนึ่งของขอบเขตของราก (root zone) เมื่อวัดจากผิวดิน จะมีรากถึง 75 เปอร์เซนต์ (Jeffrey, 1987)

ราตรี ภารา (2535) ศึกษาถึงการกระจายความหนาแน่นของรากยางพารา พบว่า รากของยางพาราจะหยั่งลึกลงไปในดินได้ลึกประมาณ 100 เซนติเมตร และความหนาแน่นรวมของรากทุกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของรากส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรทุกพื้นที่ความลาดชัน ยกเว้นพื้นที่ราบซึ่งความหนาแน่นของรากส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับความลึก 0-40 เซนติเมตร จึงกล่าวได้ว่ารากของยางพาราในพื้นที่ที่ทำการศึกษามีระบบรากเป็นพวกที่มีรากตื้น

การศึกษาของ Davidson, Kapustka และ Koch (1989) พบว่า บริเวณที่มีสมบัติของดินคล้ายกัน มวลชีวภาพต่อหน่วยของรากไม้ยืนต้นจะมีค่าเป็นสองเท่าของรากไม้ล้มลุก ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของรากไม้ยืนต้นกับความลึกของดิน มีลักษณะที่เป็น Log-Linear pattern และมวลชีวภาพของรากประมาณ 50 เปอร์เซนต์อยู่ที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตรจากผิวดิน ส่วนการกระจายความหนาแน่นของรากไม้ล้มลุกจะลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น โดยมวลชีวภาพของรากประมาณ 90 เปอร์เซนต์ อยู่ที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตรจากผิวดิน

3. ขนาดของราก

ในพืชพวกไม้ยืนต้นและไม้พุ่มจะมีรากใหญ่ (main root) ซึ่งมีกิ่งก้านสาขาจำนวนมาก เมื่อรากแขนง (lateral root) แตกแขนงออกเป็นรากเล็ก ๆ รากเหล่านั้นจะช่วยยึดดินให้มาอยู่รวมกันในลักษณะที่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน แม้ว่าจะอยู่ในบริเวณลาดไหล่เขา

การศึกษาของ Crozier (1986) พบว่ารากที่มีขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร จะมีส่วนสำคัญในการยึดดิน ซึ่งสอดคล้องกับที่ Waldron และ Dakessian (1982) กล่าวไว้ว่า รากพืชที่มีขนาดเล็กจะช่วยให้ดินเกิดความคงทนได้ดีกว่ารากที่มีขนาดใหญ่และเพิ่มเสถียรภาพ (stability) ของดินแม้จะอยู่ในบริเวณพื้นที่ลาดชัน การศึกษาของ Burroughs และ Thomass (1977) ก็พบว่ารากขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 4 เซนติเมตร มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาเสถียรภาพของพื้นที่ลาดชัน ในขณะที่เกิดแผ่นดินถล่ม นอกจากนี้การที่รากขนาดเล็กและขนาดกลางแผ่กระจายเป็นลักษณะตาข่ายที่หนาแน่นบริเวณดินชั้นบน จะทำหน้าที่คล้าย membrane ที่ทำให้เกิดความแข็งแกร่งของดิน และเพิ่มเสถียรภาพบริเวณลาดไหล่เขา (O'Loughlin, 1981)

4. ความแข็งแกร่งของราก

สมบัติอีกประการของรากที่มีส่วนช่วยลดการพังทลายของดินคือ ความแข็งแกร่งของราก (root strength) ซึ่งจะมีบทบาทอย่างมากในการยึดดินบริเวณที่มีความลาดชันสูง หรือในกรณีของดินเหนียวขณะที่มีปริมาณน้ำในดินใกล้ถึงจุดอิ่มตัวของดิน (field capacity point) ดินเหนียวจะทำหน้าที่คล้ายของเหลว จึงไม่สามารถช่วยยึดดินไว้ได้ ดังนั้นความสามารถของพืชที่จะช่วยลดการพังทลายของดิน ขึ้นอยู่กับการกระจายความหนาแน่นของราก และความแข็งแกร่งของราก (Kapustka et al., 1978)

การที่โครงสร้างภายในของรากพืชประกอบด้วยเส้นใย (fiber) ที่ยืดหยุ่นได้ จึงมีแรงยึดเหนี่ยวให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคดินเป็นกลุ่มก้อน เมื่อมีแรงดึงระหว่างเส้นใยของรากจะทำให้เกิดความเสียดทานขึ้น (Gray and Leiser, 1982) ซึ่งสามารถวัดค่านั้นได้ในรูปของความต้านแรงดึง (tensile strength) ของราก ค่าความต้านแรงดึงนี้จะเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความแข็งแกร่งและประสิทธิภาพของรากในการยึดดิน ซึ่งค่านี้จะมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของราก (O'Loughlin, 1981)

ค่าความต้านแรงดึงของรากไม้ยืนต้นกับไม้ล้มลุกมีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือ รากไม้ยืนต้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร จะมีค่าความต้านแรงดึงมากกว่ารากไม้ล้มลุกที่มีขนาดเดียวกันถึง 1.5-8.5 เท่า นอกจากนั้นค่าความต้านแรงดึงของรากขนาดเล็กในไม้ยืนต้นผลัดใบจะมีความสัมพันธ์กับความแข็งแกร่งของเนื้อไม้ ซึ่งวัดได้ในรูปของสัมประสิทธิ์ของการแตก (Modulus of rupture) (Davidson, Kapustka and Koch, 1989)

การศึกษาของ O'Loughlin (1981) พบว่ารากที่มีชีวิตของ radita pine จะมีค่าความต้านแรงดึงประมาณหนึ่งในสามของราก rata ที่มีชีวิต เมื่อเปรียบเทียบขนาดที่เท่ากัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายความหนาแน่นของราก

การกระจายความหนาแน่นของรากขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ความแตกต่างทางพันธุกรรมของพืช และลักษณะสมบัติของดินทั้งทางด้านเคมีและกายภาพ

1. ความแตกต่างทางพันธุกรรม

ระบบรากของพืชเจริญเติบโตโดยมีรูปแบบและรูปร่างเป็นไปตามที่ยีนกำหนด ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช บางครั้งแม้ว่าจะเป็นพืชชนิดเดียวกันแต่ถ้าต่างสายพันธุ์ก็อาจมีการรูปแบบกระจายของรากต่างกันได้ (Smucker and Erickson, 1976)

Weaver และ Bruner (1927) ศึกษาระบบรากของหัวหอมพบว่า รากหัวหอมสามารถหยั่งลงไปในดินได้ลึกที่สุดที่ระดับความลึก 1 เมตร รากส่วนใหญ่มีการกระจายความหนาแน่นที่ระดับความลึก 0-0.80 เมตร การกระจายของรากในแนวนอนมีระยะทางเพียง 0.30 เมตร ส่วนรากตะบองเพชรนั้นมีการกระจายความหนาแน่นของรากส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับความลึก 0-0.30 เมตร แต่มีการกระจายของรากในแนวนอนได้ไกล 10-15 เมตร จากโคนต้น ส่วนรากแก้วของต้น mesquite บางชนิด สามารถหยั่งลงไปในดินได้ลึกถึง 53 เมตร (Phillips, 1963)

2. ลักษณะสมบัติของดิน

2.1 ทางด้านเคมี

2.1.1 ความเป็นกรด-ด่างของดิน

ความเป็นกรดของดินเกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุต้นกำเนิดของดินที่มีพวก basic cation (Ca^{2+} ,Mg^{2+} ,K^{+} และ Na^{+}) ต่ำ หรือจากการชะล้างของฝนทำให้ปริมาณ basic cation ในดินต่ำ และอาจเกิดขึ้นในดินที่ทำการเพาะปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยว ความเป็นกรดของดินจะมีผลมากในดินชั้นล่าง ทำให้ระบบรากตื้น ไม่สามารถดูดน้ำและสารอาหารได้อย่างเพียงพอ จึงเป็นสาเหตุให้พืชตายในที่สุด

ความเป็นกรดของดินมีผลต่อปริมาณไฮโดรเจน (H) และอลูมิเนียม (Al) ในดิน ซึ่งความเป็นพิษเนื่องจากอลูมิเนียมจะมีความสำคัญกว่าความเป็นพิษเนื่องจากไฮโดรเจน โดยเฉพาะในการเจริญเติบโตของรากพืชชั้นสูง และพวก nonlegumes แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไฮโดรเจนในดินก็มีผลต่อความอยู่รอดและกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน (Wood et al., 1984) ซึ่งนับว่ามีความสำคัญเช่นกัน การที่จะแยกผลกระทบเนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนและอลูมิเนียมต่อการเจริญเติบโตของรากเป็นเรื่องยาก เพราะมีความเกี่ยวเนื่องกัน ความเข้มข้นของอลูมิเนียมจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อความเป็นกรดของดินลดลงในช่วง pH 5.0-5.5

การศึกษาของ Islam และคณะ (1980) พบว่าเมื่อระดับ pH ในดินมีค่าต่ำกว่า 4.0 รากพืชจะถูกทำลาย โดยมีขนาดสั้น หนา มีสีน้ำตาลหรือเทา และมีจำนวนรากน้อย เมื่อระดับ pH ของดินลดลงจาก 7.2 เป็น 5.5 ความยาวของรากขนอ่อน (root hair) จะลดลง (Ekdahl, 1977) ในพวกฝ้าย ความยาวของรากปฐมภูมิ (primary root) จะลดลง เมื่อ pH ของดินต่ำกว่า 4.2 (Howard and Adams, 1965) การที่รากพืชถูกทำลายเมื่อ pH ของดินมีค่าต่ำ เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่มีมากเกินไปจะรบกวนการขนส่งไอออน (ion transport) และทำให้ root membrane เกิดการรั่ว

ในดินที่มีปริมาณอลูมิเนียมมาก จะทำให้รากพืชเจริญเติบโตช้าหรือหยุดการเจริญเติบโต ทั้งนี้เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องการแบ่งเซล (cell division) และการขยายขนาดของเซล (cell elongation) นอกจากนั้นปริมาณอลูมิเนียมยังมีผลต่อรูปร่าง และการทำงานของราก ทำให้รากมีขนาดสั้น ผิดรูปร่าง และมีรูปแบบการกระจายของรากเปลี่ยนไป (Rendig and Taylor, 1989)

2.1.2 ความเค็ม (salinity)

ความเค็มเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของราก ทั้งทางตรงและทางอ้อม ปริมาณเกลือที่มีอยู่ในดินจะทำให้อัตราการขยายตัวของรากลดลง Leo (1964) ทดลองปลูกมะเขือเทศในสารละลาย NaCl เข้มข้น 1 เปอร์เซนต์ พบว่าบริเวณ root tips จะมีอัตราการยืดตัวเพียง 26 เปอร์เซนต์ เมื่อเทียบกับมะเขือเทศที่ปลูกในสารละลายควบคุม นอกจากนี้ความเค็มยังลดความสามารถในการแพร่ผ่านของสารต่าง ๆ บริเวณเซลของราก ส่งผลให้สมดุลของฮอร์โมน และสารอาหารในต้นพืชเปลี่ยนไป และมีส่วนทำให้ pH ของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการละลายของสารต่างๆ ในดิน เมื่อความเค็มในดินเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อโครงสร้างของดิน ทำให้ความแข็งของดิน (soil strength) และการระบายอากาศในดินเปลี่ยนแปลง (Epstein, 1985)

2.2 <u>ทางด้านกายภาพ</u>

สมบัติทางกายภาพของดินที่มีผลต่อมวลชีวภาพของราก ได้แก่ ปริมาณน้ำในดิน ปริมาณอากาศในดิน อุณหภูมิดิน และความแข็งของดิน (soil strength)

2.2.1 ปริมาณน้ำในดิน

การเจริญเติบโตของรากพืชเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่อยู่ในเซลของราก เซลของรากในเขตเนื้อเยื่อเจริญ (meristematic zone) จำเป็นต้องมีน้ำในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อใช้ในการแบ่งเซล ส่วนเซลบริเวณที่มีการยืดตัว (elongation zone) ก็ต้องมีน้ำซึ่งมีค่าความดันออสโมติก (osmotic pressure) ต่ำกว่าในดิน เพื่อให้น้ำในดินแพร่เข้าสู่เซลของราก จนมีปริมาณน้ำมากพอที่จะเอาชนะแรงต้านจากผนังเซล (Lockhart, 1965)

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานของน้ำ (water potential) ในดินจะมีผลกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรากมากกว่าความยาวของราก ถ้าค่าความดันเมตริก (matric potential) หรือความดันออสโมติกของน้ำในดินมีค่าต่ำ จะทำให้รากพืชหดตัว เมื่อน้ำในดินมี

ค่าความดันเมตริกลดลงถึง -0.1 ถึง -0.2 MPa ความยาวของรากจะลดลง (Rendig and Taylor, 1989)

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดิน และค่าพลังงานของน้ำในดินจะเป็นการเปลี่ยนรูปแบบการเจริญเติบโตของราก และมีผลต่อการทำงานของราก ตลอดจนส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืชชนิดนั้นอย่างมีนัยสำคัญ (McMichal and Quisenberry, 1993)

2.2.2 อากาศในดิน

โดยทั่วไปอากาศในดินประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ ที่มีสัดส่วนดังนี้คือ N_2 79 % , O_2 20 % และ CO_2 1 % ที่ระดับความลึกประมาณ 15-20 เซนติเมตร ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซเหล่านี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ปริมาณ O_2 อาจลดลงเหลือ 5 % ส่วนปริมาณ CO_2 อาจเพิ่มขึ้นเป็น 15-20 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิของดิน และปริมาณน้ำในดิน เป็นต้น (Stolzy, 1974)

รากของพืชแต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ ไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น การเจริญเติบโตของรากฝ้ายจะไม่ถูกรบกวนด้วยปริมาณ CO_2 ที่เพิ่มขึ้นในดิน ในขณะที่ CO_2 ปริมาณเท่ากันนี้จะทำให้รากของพืชบางชนิดมีการเจริญเติบโตลดลง แต่รากของฝ้ายจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ O_2 ในดิน อัตราการยืดตัวของรากแก้วจะลดลงเมื่อปริมาณ O_2 ในดินลดลงถึง 5 % และรากจะตายภายใน 3 ชั่วโมง ถ้าในดินนั้นปราศจาก O_2 (McMichael and Quisenberry, 1993)

ในภาวะที่เกิดน้ำท่วม ปริมาณ O_2 ในดินจะลดลง มีผลให้จำนวนรากของข้าวสาลีน้อยลง และความลึกที่รากสามารถหยั่งลงไปได้ก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Box, 1991) รากของพืชบางชนิดสามารถปรับตัวให้เข้ากับภาวะน้ำท่วมได้โดยเพิ่มช่องว่างของอากาศในเซล ที่เรียกว่า aerenchyma เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดีขึ้น (Rendig and Taylor, 1991)

2.2.3 อุณหภูมิของดิน

โดยปกติอุณหภูมิของดินจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ และมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยเฉพาะที่ระดับความลึกน้อย ๆ ในพืชทั่วไปพบว่ารากพืชจะมีการเติบโตได้ดีขึ้น เมื่ออุณหภูมิของดินสูงขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่อุณหภูมิดินมีค่าพอเหมาะ รากพืชก็จะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปจากระดับนี้ อัตราการเจริญเติบโตของรากจะลดลง (Stone and Taylor, 1983)

การศึกษาของ Abbas Al-Ani และ Hay (1983) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส รากพืชจะมีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และรากของฝ้ายและทานตะวันมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดที่ช่วงอุณหภูมิ 28-35 องศาเซลเซียส และ 23-25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่ออุณหภูมิของดินเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรากมักจะลดลง Anderson และ Kemper (1964) พบว่าที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส รากต้นข้าวจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 0.6 มิลลิเมตร และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 23 และ 30 องศาเซลเซียส เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยจะลดลงเป็น 0.5 และ 0.44 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนค่ามวลชีวภาพของรากข้าวนั้นจะมีค่ามากที่สุดที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ในขณะที่รากมีความยาวสูงสุดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของดินมีผลต่อมุมในการงอกของรากแขนงที่ออกจากรากแก้ว การศึกษาของ Onderdonk และ Ketcheson (1973) พบว่าที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส มุมในการงอกของรากข้าวโพดจะมีค่าต่ำสุดประมาณ 10 องศา เมื่อวัดจากแนวนอน แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลงกว่านี้ รากจะงอกไปในทิศตามแนวตั้งมากขึ้น

การที่รากพืชจะเจริญลงไปในดินได้ลึกเพียงใดก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิดินเช่นกัน Kaspar (1982) ศึกษาพบว่ารากแก้วของ Beeson และ Hawkeye 63 สายพันธุ์สามารถเจริญลงไปในดินได้ถึงระดับความลึก 2.04 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Stone และ Taylor (1983) ที่พบว่าเมื่อลดอุณหภูมิลง 1 องศาเซลเซียส รากแก้วจะเจริญลงไปได้แค่ 1.86 เมตร และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น 1 องศาเซลเซียส ความลึกที่รากแก้วสามาถเจริญลงไปได้จะเพิ่มขึ้นเป็น 2.22 เมตร

2.2.4 ความแข็งของดิน (soil strength)

ความแข็งของดินเกิดขึ้นเนื่องจากการที่ดินอัดตัวแน่นเกินไป ทำให้แรงกระทำระหว่างอนุภาคของดินเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ปริมาณน้ำในดินลดลง ความแข็งของดินจะมีค่าสูง เมื่อความหนาแน่นรวมของดินมีค่าสูง (Rendig and Taylor, 1989)

การศึกษาเรื่องความแข็งของดินด้วย Penetrometer พบว่าในดินที่มีการอัดตัวแน่น อัตราการเติบโตและความหนาแน่นของรากจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Wanjura and Buxton, 1972) ดินที่มีค่าความแข็งสูงถึง 1.6 MPa และมีปริมาณน้ำในดินใกล้ถึงจุดอิ่มตัว (field capacity) จะมีความหนาแน่นของรากพลัมลดลง 50 % เมื่อเทียบกับดินที่ไม่มีการอัดตัว (Grimes et al., 1972)

Carr และ Dodds (1983) ศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นรวมของดินเพียงเล็กน้อย ก็มีผลต่อการเติบโตของรากผักกาดหอมอย่างมีนัยสำคัญ และพืชที่เจริญในดินที่มีค่าความแข็งสูง จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรากเล็ก เนื่องจากเซลของท่อลำเลียงน้ำและอาหาร (xylem and phloem) มีขนาดเล็ก

พืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการทนต่อดินที่มีการอัดตัวได้มากน้อยต่างกัน เช่น รากของต้นถั่วจะสามารถทนต่อดินที่มีความแข็งสูงได้น้อยกว่ารากของต้นฝ้าย (Taylor and Ratliff, 1969)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย