บทที่ 2

การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 การพังทลายของดิน (soil erosion)

2.1.1 การพังทลายของดิน เป็นกระบวนการทำลาย และเคลื่อนย้ายวัตถุที่เป็นดินและหิน ด้วยการกระทำของน้ำ ลม และ แรงดึงดูดของโลก

กล่าวคือ การพังทลายของดินที่เกิดจากแรงกระทบ และการเคลื่อนย้ายวัตถุอันเกิดจาก พลังกัดเซาะของเม็ดฝนที่ตกกระทบดินแล้วทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายตำแหน่งนั้น ปริมาณการพังทลายขึ้นกับความต้านทานของวัตถุ คือดินที่ถูกกระทบจนเคลื่อนย้าย และพลังของน้ำ ดังนั้นการพังทลายจะเกิดขึ้นได้ เมื่อแรงที่ทำให้ดินเกิดการพังทลาย มากกว่าแรงต่อต้าน (Satterlund, 1972)

วิชาญ ตันนุกิจ และเกษม จันทร์แก้ว (2516) ได้กล่าวว่าการพังทลายของดินด้วยน้ำ ประกอบด้วย 3 กระบวนการใหญ่ ๆ คือ

1. แรงปะทะที่ทำให้เม็ดดินแตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ความสามารถในการแตกกระจายของเม็ดดินจะมากน้อยเท่าใด ไกลหรือใกล้แค่ไหนขึ้นกับแรงที่กระทำต่อเม็ดดิน และความสามารถในการแตกกระจายของดิน ซึ่งหมายถึงความคงทนของดินต่ออำนาจการพังทลายนั่นเอง

2. การพัดพา เมื่อเม็ดดินแตกกระจาย อาจมีการอุดตามผิวหน้าดินขึ้น ทำให้การซึมน้ำได้ลงสู่ดินลดลง ทำให้มีน้ำไหลผ่านผิวหน้าดินแล้วพัดพา เอาเม็ดดินจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ อัตราการไหลจะรุนแรงมากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับความลาดชัน และระยะทางของความลาดชัน อีกทั้งปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดการไหลตามผิวหน้าดินพร้อมกันนี้อนุภาคดินขนาดเล็กจะถูกพัดพาไปได้ไกลที่สุดเท่าที่จะไปได้ และอาจไปได้ไกลกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งขึ้นกับความรุนแรงที่พัดพา

3. การตกตะกอน เป็นขั้นที่อนุภาคต่าง ๆ จะตกตะกอนตามก้นลำธารหรือตามแอ่งน้ำ เนื่องจากอัตราความเร็วของกระแสน้ำที่พัดพาอนุภาคดินมาลดลง และหยุดนิ่ง ทำให้อนุภาคต่าง ๆ ตกตะกอนด้วยแรงดึงดูดของโลก

สำหรับการเกิดการพังทลายของดินรุนแรงจนกระทั่งดินถล่มในภาคใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช ปี พ.ศ. 2531 นั้น พิสุทธิ์ วิจารณ์สรณ์ และวุฒิชาติ สิริช่วยชู (2532) อธิบายขั้นตอนการเกิดดังนี้

1. ฝนตกชุก และตกหนักติดต่อกัน น้ำจะซึมลงไปในดินอย่างรวดเร็ว เพราะสวนยางพาราหรือป่าเสื่อมโทรม มีความสามารถในการรองรับน้ำหรือดูดซับน้ำน้อยกว่า

ป่าดงดิบ ซึ่งมีไม้หลายชนิดขึ้นหนาแน่นและมีเรือนยอดต่างระดับหลายชั้น น้ำบางส่วนที่ไหลซึมลงไปไม่ทันก็จะไหลผ่านหน้าดิน กัดเซาะผิวดินหายไปเป็นอันดับแรก

2. เมื่อน้ำไหลซึมลงไปในดินมากขึ้น ดินจะอุ้มน้ำมากขึ้น แรงเกาะยึด (shear strength) ระหว่างอนุภาคดินจะน้อยลง ผนวกกับรากยางพารามีไม่มากพอที่จะยึดเหนี่ยวอนุภาคของดิน ดังนั้นเมื่อน้ำหนักของดินมากเนื่องจากการดูดซับน้ำของดิน ดินและหินก็จะถล่มลงมาตามความลาดชันตามแรงดึงดูดของโลก เกิดเป็นร่องรอยของแผ่นดินถล่ม กระจัดกระจายทั่วไปตามไหล่เขา ซึ่งเป็นต้นน้ำลำธารของลำน้ำต่าง ๆ การถล่มของแผ่นดินดังกล่าวจะมีต้นไม้ใหญ่น้อย ถูกถอนราก ถอนโคนตกลงมาด้วย

3. เมื่อดิน ทราย หิน และต้นไม้ใหญ่น้อยตกลงมาบริเวณเชิงเขาและเกิดน้ำท่วม น้ำที่ไหลเชี่ยวมากจะพัดพาเอาดิน ทราย หิน รวมทั้งต้นไม้ไหลไปกับน้ำ ตะกอนที่มีน้ำหนักมาก เช่น ก้อนหิน และทราย จะตกทับถมกันเป็นชั้นหนาแน่นแผ่กระจายเป็นบริเวณทั้งหุบเขาช่วงต้นน้ำ ส่วนตะกอนเนื้อละเอียดจะถูกพัดพาไปทับถมในพื้นที่น้ำท่วมที่ไกลออกไป

2.1.2 <u>ผลเสียหายที่เกิดขึ้นจากการพังทลายของดิน</u> การพังทลายของดินก่อให้เกิดความเสียหายหลายประการคือ

2.1.2.1 ทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง ทั้งนี้เนื่องจากดินบนซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารต่าง ๆ ที่อุดมสมบูรณ์กว่าส่วนอื่น ๆ ถูกชะล้างและเคลื่อนย้ายไปจากพื้นที่เพาะปลูก พื้นที่ที่ถูกชะล้างพังทลายจึงเหลือแต่ส่วนที่ไม่อุดมสมบูรณ์ การเพาะปลูกพืชในบริเวณดังกล่าวจึงไม่ได้ผล เพราะดินในบริเวณนั้นลดความอุดมสมบูรณ์ลง

2.1.2.2 มีผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคม ผลของการพังทลายของดินก่อให้เกิดดินขาดความอุดมสมบูรณ์และเสื่อมคุณภาพลง ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องที่ติดตามมาคือ ผลผลิตตกต่ำ รายได้ของเกษตรกรลดน้อยลง เกษตรกรต้องละทิ้งพื้นที่ทำกินเดิมอพยพไปหาแหล่งใหม่ ก่อให้เกิดปัญหาด้านสังคมตามมามีผลทำให้การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศชาติเป็นไปได้ช้า

2.1.2.3 มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ตะกอนดินที่ถูกเคลื่อนย้ายและพัดพาไปทับถมยังที่ต่าง ๆ ก่อให้เกิดการตื้นเขินในแม่น้ำ ลำคลอง อ่างเก็บน้ำ และเขื่อนต่าง ๆ ทำให้สูญเสียแหล่งน้ำที่ใช้ในการบริโภค การอุตสาหกรรม การชลประทาน การคมนาคม และการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดอุทกภัยทำความเสียหายให้แก่ไร่นาและบ้านเรือน ถนน ที่อยู่อาศัยและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ตลอดจนสถานที่พักผ่อนเกิดความเสียหาย

2.2 ปัจจัยที่มีผลทำให้ดินพังทลาย

2.2.1 ลักษณะภูมิอากาศ

ปัจจัยด้านภูมิอากาสที่มีอิทธิพลต่อการไหลบ่าของน้ำและการชะล้างพังทลาย คือฝน อุณหภูมิ และลม ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่า ฝนเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญยิ่งที่จะทำให้เกิดการสูญเสียดินมากกว่าปัจจัยอื่นใดทั้งสิ้น (Baver, 1948) การพังทลายจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของฝนคือ ปริมาณของฝนที่ตกทั้งหมด ความเข้มของฝน ระยะเวลา ขนาด ความเร็ว รูปร่างของเม็ดฝน และการแพร่กระจายของฝนในแต่ละฤดู โดยทั่วไปการพังทลายของดินโดยน้ำ จะเกิดขึ้นรุนแรงในบริเวณที่มีฝนตกเฉลี่ยตั้งแต่ 600-1200 มิลลิเมตร/ปี ทั้งนี้เนื่องจากในเวลาฝนตกความแรงของเม็ดฝนที่ตกกระทบผิวดิน ทำให้อนุภาคดินหลุดออกจากกันและถูกน้ำพัดพาไปในที่สุด แรงปะทะของเม็ดฝนเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เม็ดดินแตกกระจาย และเป็นเหตุเริ่มต้นของการเซาะกร่อน ส่วนน้ำที่ไหลไปตามผิวหน้าดินทำหน้าที่กัดชะโดยตรง (นิวัติ เรืองพานิช, 2528) ปริมาณอนุภาคดินที่แตกกระเด็นและเคลื่อนย้ายขึ้นกับขนาดของเม็ดฝนความเร็ว และความหนาแน่นของฝนที่ตก (Baver, 1948) นอกจากนี้ Baver ยังได้สรุปเกี่ยวกับปริมาณและะความเร็วของการไหลบ่าของน้ำผ่านผิวดินได้ มากน้อยเพียงใดนั้น จะต้องขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้คือ

1) คุณสมบัติ (ขนาด ความเร็ว ความหนาแน่น) ของฝนที่ตก

2) ความลาดชันของพื้นที่

3) ความสามารถของดินที่จะดูดซับ และเคลื่อนย้ายน้ำผ่านชั้นหน้าตัด (profile) ของดิน

สำหรับปัจจัยด้านอุณหภูมินั้น ไม่ได้เกี่ยวข้องหรือมีอิทธิพลโดยตรงต่อการสูญเสียดินโดยกระบวนการพังทลาย แต่จะมีผลทางอ้อมต่อการไหลบ่าของน้ำ คือมีส่วนช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินระหว่างที่มีฝนตก และช่วยในการเปลี่ยนแปลงการดูดซับน้ำของดินตามระดับความลึก นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลทางอ้อมต่อการพังทลาย โดยมีผลทำให้จุลินทรีย์และกระบวนการทางชีวเคมีดีขึ้น ดินจะพัฒนาตัวเองอย่างดี เท่ากับมีผลทำให้การพังทลายของดินลดลงได้ ส่วนลมเป็นปัจจัยด้านภูมิอากาศที่มีผลต่อการพังทลาย กล่าวคือ ลมมีผลโดยตรงในด้านการส่งเสริมความรุนแรงของเม็ดฝน ที่ตกลงสู่พื้นผิวโลก ความรุนแรงของกระบวนการพังทลายของดินจะเพิ่มขึ้น และยังมีผลต่อความเร็วรวมถึงมุมที่ฝนตกกระทบดิน (Baver, 1948)

2.2.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อการพังทลายของดิน เนื่องจากเป็นตัวช่วยส่งเสริมทำให้แรงดึงดูดของโลกมีบทบาทในการทำให้ดินเกิดการพังทลายมากขึ้น นั่นคือการช่วยให้น้ำเกิดการไหลบ่าจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ

ลักษณะสำคัญของสภาพภูมิประเทศได้แก่ ความมากน้อยของความลาดชันของพื้นที่ ความยาวของความลาดชัน รูปร่างของความลาดชัน และทิศทางของความลาดชัน (Glenn O. et al.,1981) ลักษณะดังกล่าวต่างมีผลกระทบต่อการพังทลายของดินมากน้อยแตกต่างกัน พื้นที่ที่มีความลาดชันหรือบริเวณลาดไหล่เขา (slope)มีบทบาทต่อการพังทลายอย่างมาก โดยเฉพาะในขั้น transportation ของกระบวนการพังทลาย เพราะในที่ที่มีความลาดชันสูง ปริมาณและอัตราการไหลของน้ำตามผิวหน้าดิน จะเพิ่มความรุนแรงขึ้น น้ำจะเป็นตัวการทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น (Kohnke และ Bertrand, 1959) นอกจากนี้ในที่ที่มีความลาดชัน และความยาวของความลาดชันมาก จะทวีความรุนแรงของน้ำไหลบ่า ก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้มากกว่า (เกษม จันทร์แก้ว และคณะ,2519) โดยทั่วไปแล้ว การพังทลายของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อความลาดชันหรือความลาดเทของพื้นที่เพิ่มขึ้น พื้นดินที่มีความลาดเทมีระยะยาว จะมีปริมาณน้ำไหลอยู่นานมาก มีโอกาสพังทลายมาก (อำนาจ เจริญศิลป์, 2528) เมื่อน้ำผ่านผิวหน้าดิน จะช่วยกวาดเอาพวก Litter ต่าง ๆ และอินทรีย์วัตถุลงสู่ที่ต่ำกว่าเสียเกือบทั้งหมด (นิพนธ์ ตั้งธรรม และเกษม จันทร์แก้ว, 2513) นอกจากนี้ นิพนธ์ และเกษม อธิบายว่าความลาดชันของพื้นที่ที่ทำให้เกิดการพังทลายนั้นประมาณ 20 องศา และจะเกิดการพังทลายมากที่สุดเมื่อความลาดชัน 40 องศาขึ้นไป

Kohnke และ Bertrand (1959) กล่าวถึงทิศทางของพื้นที่ลาดไหล่เขาหรือทิศทางของความลาดชัน (Aspect of slope) ว่ามีผลต่อการเซาะกร่อน กล่าวคือ ด้านลาดที่หันไปทางทิศใต้จะมีการเปลี่ยนแปลงเรื่องอุณหภูมิ และความชื้นสูงกว่าพื้นที่ด้านลาดที่หันไปทางทิศอื่น

Milos Holy (1980) กล่าวว่า ความลาดชันของพื้นที่เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการพังทลายของดิน แต่การพังทลายสามารถลดลงได้โดยปัจจัยอื่นๆ เช่น คุณสมบัติของดิน พืชคลุมดิน แต่ไม่สามารถยับยั้งให้มันลดลงได้เต็มที่นัก

2.2.3 พืชพรรณ

พืชพรรณ เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการป้องกันการพังทลายของดิน

กล่าวคือ บริเวณที่มีพืชปกคลุมผิวดินอย่างน้อย 70 เปอร์เซนต์ของผิวดิน จะให้การคุ้มกันในการเกิดการชะล้างพังทลายของดินอย่างพอเพียง และหากว่าน้อยกว่านี้ การพังทลายของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้น (สมเจตน์ จันทวัฒน์, 2529) นอกจากนี้ยังมีผลต่อดินในด้านการช่วยเพิ่มการซึมน้ำ ช่วยรองรับเม็ดฝนที่ตกลงมาซึ่งเป็นการลดพลังงานที่เม็ดฝนจะกระทบผิวหน้าดินโดยตรงทั้งหมด และช่วยลดความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดินรวมทั้งลดปัญหาที่เกิดจากความลาดเทของพื้นที่ (นิวัติ เรืองพานิช, 2528) พืชพรรณแต่ละชนิดสามารถลดการพังทลายของดินโดยน้ำได้แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะของใบ กิ่งก้าน ลำต้น และรากของพืชแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน พืชที่มีลักษณะการปกคลุมดินได้อย่างหนาแน่น จะช่วยลดการพังทลายของดินได้มาก ในพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมดินอยู่น้อยจะมีการพังทลายของดินเกิดขึ้นมาก

พืชพรรณต่างๆ เช่น ต้นไม้ ไม้พุ่ม หญ้า มีบทบาทในการช่วยสกัดกั้นพลังงานจากเม็ดฝนไม่ให้กระทบผิวดินได้โดยตรง ช่วยลดพลังในการกัดชะและพัดพาอนุภาคดินโดยน้ำไหลบ่าหน้าดิน นั่นคือช่วยลดความเร็วของน้ำไหลบ่าที่จะพัดพาอนุภาคดินไป พืชคลุมดินที่ช่วยลดการพังทลายนั้นขึ้นกับ ความสูง ความหนาแน่น และการติดต่อกันของเรือนยอด ความหนาแน่นของราก และสิ่งปกคลุมดิน ตลอดจนความสูงของเรือนยอดเป็นสิ่งสำคัญในแง่ที่ว่า ถ้าความสูงของเรือนยอดสูงเกินไปก็ไม่มีผลในการช่วยลดการพังทลาย เช่น ถ้าน้ำหยดจากเรือนยอดที่มีความสูง 7 เมตร จะมีพลังงานสูงถึง 90 เปอร์เซนต์ของความเร็วต้นของเม็ดฝน (Morgan, 1986) ด้วยเหตุที่ว่าเม็ดฝนที่ถูกสกัดกั้นโดยเรือนยอดจะเกาะกันบนใบต่อมาจะรวมตัวเป็นหยดน้ำที่ใหญ่กว่าเดิมแต่ความเร็วเมื่อตกถึงพื้นดินจะลดลงกว่าเดิม (Baver, 1948) นอกจากนี้เรือนยอดยังช่วยสร้างร่มเงาให้กับดิน ทำให้อุณหภูมิที่ดินได้รับในเวลากลางวันน้อยลงและอยู่ในช่วงที่สั้น เรือนยอดจะเป็นส่วนหนึ่งของต้นไม้ที่จะสกัดกั้นน้ำฝนส่วนใหญ่ไว้เท่ากับลดแรงกระทบระหว่างเม็ดฝนกับผิวดินโดยตรง ทำให้น้ำฝนบางส่วนค่อย ๆไหลผ่านลำต้นลงสู่ดินและบางส่วนออกมาในรูปหยดน้ำที่ใบเท่ากับเป็นการลดพลังงานของฝน สุดท้ายเรือนยอดจะช่วยเพิ่มการคายและระเหยน้ำของพืชได้ Litter ซึ่งได้แก่ กิ่ง ใบ ดอก ผล ที่ร่วงหล่นอยู่ตามผิวดินยังสามารถช่วยรองรับแรงกระทบอีกชั้นหนึ่ง และยังมีส่วนทำให้ดินร่วนซุยเพิ่มขึ้น Litter ของพืชต่างชนิดกันจะให้ผลดังกล่าวแตกต่างกัน (Marshall, 1977) ปริมาณของสิ่งเหล่านี้จะมากน้อยขึ้นกับ ขนาด และการเจริญเติบโตของพืชด้วย

Milos Holy (1980) อธิบายเกี่ยวกับพืชคลุมดินและส่วนของพืชที่อยู่เหนือดินว่า ช่วยป้องกันขัดขวางไม่ให้เม็ดฝนตกกระทบผิวดินโดยตรงส่วนของลำต้นช่วยกระจายพลังงานของฝนโดยน้ำฝนจากเรือนยอดบางส่วนจะไหลลงมาตามลำต้น ลำต้นจะช่วยดูดซับน้ำฝนไว้ส่วนหนึ่ง บางส่วนจะค่อย ๆ ไหลผ่านลงสู่พื้นดิน และค่อย ๆ ซึมเข้าไปในดิน อัตราเร็วของน้ำที่ไหลบ่าผ่านผิวดินจะลดลงไปด้วย เป็นการลดอันตรายจากการกระจายของกลุ่มก้อนเม็ด

ดิน (soil aggregate) ไปในตัว การที่ต้นไม้จะช่วยลดการพังทลายของดินได้นั้นต้องมีเรือนยอดที่อยู่ใกล้ผิวดิน (Foster et al., 1985)

รากพืชเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ช่วยให้ดินร่วนซุยขึ้น ทั้งในขณะที่มีชีวิตและตายแล้ว (เกษม จันทร์แก้ว, นิพนธ์ ตั้งธรรม และทวี แก้วละเอียด, 2512) นั่นคือรากของต้นไม้เป็นตัวช่วยให้ดินมั่นคงขึ้น (นิพนธ์ ตั้งธรรม และเกษม จันทร์แก้ว, 2513)การชอนไชของรากพืชทำให้ดินเกาะและรวมตัวกันเป็นกลุ่มของเม็ดดินที่มีความคงทน เกิดช่องว่างในดินเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำจะเพิ่มมากขึ้น (Baver, 1948) ความลึก และขอบเขตของกิ่งก้านสาขาของรากเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ความคงทนของดิน (soil stability) และการปกคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ ส่วนปัจจัยสำคัญของรากที่ช่วยยึดเหนี่ยวดินไว้ ช่วยให้เกิดความคงทนต่อการพังทลายนั้นขึ้นกับ ความหนาแน่นของ ระบบราก และความลึกของรากที่หยั่งลึกลงไปในดิน (Kramer และ Duke, 1969)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า พืชพรรณและสิ่งคลุมดินมีบทบาทที่จะช่วยควบคุมป้องกันการพังทลายของดินมากที่สุด ดังที่ Kirby และ Morgan (1980) ได้สรุปไว้ดังนี้

1. ช่วยดูดซับ และลดแรงกระทบของเม็ดฝน ไม่ให้ตกลงสู่ผิวดินโดยตรงจากการสกัดกั้นของเรือนยอด

2. เพิ่มความต้านทานการไหลบ่าของน้ำ เนื่องจากความขรุขระของพื้นผิวและสิ่งคลุมดิน รวมทั้งเศษเหลือของพืชที่ปกคลุม

3. ช่วยลดความเร็วของน้ำไหลบ่าให้ช้าลงก่อให้เกิดการตกตะกอนได้มากขึ้น

4. ช่วยเพิ่มสมรรถนะในการซึมน้ำได้ของดินเนื่องจากการเจริญเติบโตแผ่ขยายของรากพืชในดิน

5. เพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดิน ซึ่งเป็นส่วนที่จะช่วยเสริมสร้างความคงทนแก่ดิน

6. ช่วยลดการไหลบ่าของน้ำให้น้อยลง เนื่องจากน้ำฝนบางส่วนจะสูญเสียไปจากการสกัดกั้นโดยเรือนยอด จากการซึมผ่านผิวดิน และจากการคายระเหย (Evapotranspiration)

2.2.4 ดิน

ปัจจัยหลักของดินที่มีผลต่อการพังทลายคือ โครงสร้างของดิน ลักษณะของเนื้อดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ ความหนาแน่นรวมของดิน ปริมาณของ

ช่องว่าง ปริมาณความชื้นในดิน เช่นดินพวกดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (Silty clay loam) เกิดการพังทลายในที่ราบได้ยากกว่าพวกดินทราย แต่ในที่ที่มีความลาดชัน ดินพวกนี้จะพังทลายได้ง่ายกว่าดินทราย (Glenn.O Schwab et al., 1981) แต่ในดินทรายจะถูกทำให้แตกกระจายได้ดี แต่จะไม่ถูกพัดพาไปอย่างสะดวกสบาย อย่างไรก็ตามมันจะมีความสามารถในการซึมซับของน้ำได้สูงอันตรายจากการเซาะกร่อนพังทลายด้วยน้ำจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกเสียจากว่าดินทรายนั้นอยู่ในพื้นที่ลาดชันสูง ในขณะที่ดินที่มีอนุภาคดินเหนียวเป็นองค์ประกอบปานกลางกระทั่งสูงมากจะมีการซึมน้ำได้ของดินต่ำ แต่หลังจากที่ทำให้อนุภาคแตกออกจากกันแล้ว (อัตราการแตกกระจายต่ำ) จะถูกพัดพาได้ง่าย (Kohnke และ Bertrand, 1959)

Milos Holy (1980) กล่าวว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการซึมน้ำได้ของดินคือ เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ความชื้นในดิน และการจัดเป็นชั้นของดิน ส่วนฮิวมัสในดินเป็นปัจจัยที่มีผลมากที่สุดของการต้านทานต่อการพังทลายของดินเมื่อความชื้นในดินสูงขึ้น ปริมาณน้ำที่ซึมซับผ่านผิวดินจะลดลง ถ้าดินนั้นแห้งเม็ดฝนที่ตกลงมาจะถูกดูดซับจนดินกลายเป็นดินที่มีความชื้น ถ้าปริมาณฝนที่ตกลงมามากกว่านี้จะเกิดการทำลายช่องว่างที่อยู่ระหว่างเม็ดดิน ทำให้เกิดการแตกกระจายได้ดียิ่งขึ้น (Baver, 1948)

คุณสมบัติของเนื้อดินจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความยากง่ายในการเกิดการพังทลายของดิน (soil erodibility) โดยทั่วไปแล้วดินทรายแป้ง (silt soils) เป็นดินที่ง่ายต่อการพังทลายสูงสุด ดินเหนียวจะเกิดได้น้อยที่สุด เนื่องจากมีอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารเป็นองค์ประกอบช่วยยึดเม็ดดินไว้ (Foster et al., 1985) นอกจากนี้ปริมาณอนุภาคดินเหนียวช่วย ให้ความคงทนของเม็ดดินเพิ่มขึ้น อัตราการแตกกระจายจะลดลง

คุณสมบัติของโครงสร้างของดินที่เกิดจากการจับตัวกันของเม็ดดินปฐมภูมิตั้งแต่สอง หรือมากกว่าสองเม็ดขึ้นไป (เรียกว่า soil aggregate) จะทำให้มีความคงทนแข็งแรงมากกว่าเมื่อมันอยู่เม็ดเดียวโดด ๆ ความคงทนนี้จะเกิดจากแรงยึดภายในเม็ดดินด้วยกัน ขนาดของ soil aggregate ทำให้เกิดช่องว่างในดิน ปริมาณน้ำและอากาศที่ขังอยู่ในช่องว่างดังกล่าวจะแตกต่างกันไปด้วย ความสามารถในการรวมตัวกันขึ้นกับ สารเชื่อม (cementing agent) ซึ่งประกอบด้วย อินทรีย์วัตถุในดิน Colloidal Clay และ Colloidal Oxide ของเหล็ก และอลูมิเนียม (นิพนธ์ ตั้งธรรม และเกษม จันทร์แก้ว, 2513)

คุณสมบัติทางเคมีที่มีผลต่อความยากง่ายในการเกิดการพังทลายของดิน กรณีที่ดินมีธาตุโซเดียมเป็นองค์ประกอบสูงมากจะทำให้เกิดการพังทลายสูงขึ้น แต่ดินที่มีธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบสูงมากจะช่วยลดการพังทลายของดินลง ปกติความคงทนที่เกิดจากการรวมตัวของเม็ดดิน (aggregate stability) จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ

7 เปอร์เซนต์ (Foster et al., 1985)

คุณสมบัติทางเคมีที่มีส่วนสำคัญต่อการผังทลายของดินอีกประการหนึ่งคือ pH ของดิน ดินที่ผังทลายง่ายมักมี pH เป็นกรด ความเป็นกรดของดินมาจากปริมาณธาตุอาหารในดิน ธาตุอาหารแต่ละชนิดจะให้ความสามารถในการเกาะกันของเม็ดดินต่างกัน (เกษม จันทร์แก้ว และ สุรเชษฐ์ อังกูลภักดีกุล, 2514) pHของดินมีบทบาทควบคุม available plant nutrient และบทบาททางกายภาพ(ฟิสิกส์)ของดิน การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุเป็นไปได้ดีในดินที่มีความเป็นกรดปานกลางมากกว่าดินกรด ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากจะร่วนซุย อุ้มน้ำได้มากและช่วยให้มีการซึมน้ำได้ของดินสูง เป็นการลดสภาพการเกิดน้ำท่วมไปในตัว (เกษม จันทร์แก้ว, 2512)

ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมีผลต่อการทำให้ดินมีความคงทนมากขึ้น กล่าวคือ อินทรีย์วัตถุเป็นสิ่งยึดอนุภาคของดินให้ติดกันเป็นเม็ดทนทานต่อการสูญเสียดิน ที่จะเกิดจากการไหลบ่าของน้ำ ผลพลอยได้อย่างหนึ่งก็คือ ทำให้ดินมีพวก mycelium อันเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินขับถ่ายออกมา ลักษณะดังกล่าวของอินทรีย์วัตถุจะทำให้ดินร่วนซุย เท่ากับช่วยเพิ่มความจุในการดูดยึดน้ำไว้ในดิน การซึมน้ำได้ของดินจะเพิ่มขึ้น การผังทลายของดินจะลดลงได้เช่นกัน (Kohnke และ Bertrand, 1959)

2.3 ความหนาแน่นของราก

ความหนาแน่นของรากพืชซึ่งเจริญอยู่ในดิน จะมีปริมาณมากน้อยขึ้นกับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในดิน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมในอากาศอีกด้วย

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในดินที่มีผลต่อการเจริญ และแพร่กระจายของรากได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน ความเป็นพิษของอลูมิเนียมในดิน (Aluminium toxicity) ธาตุอาหารในดิน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยพื้นฐานอื่น ๆ อาทิ เนื้อดิน ความชื้นในดิน ออกซิเจนในดิน ความหนาแน่นรวมของดิน เชื้อโรคในดิน และธาตุอาหารที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Alan Wild, 1988) แต่ Hiroshi Kawasaki et al. (1985) อธิบายว่า การกระจายความหนาแน่นของรากขึ้นกับ ชนิดของดิน และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ความเป็นกรด-ด่างของดิน อินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณน้ำฝน และช่วงเวลาที่ฝนตก สำหรับในสภาพดินที่มีความเป็นกรดสูง อินทรีย์วัตถุต่ำ ปริมาณน้ำฝนและช่วงเวลาที่ฝนตกน้อย จะเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่ทำให้รากพืชเจริญไปถึงชั้นดินที่ลึก แต่ความหนาแน่นของรากจะมีปริมาณมากในระดับชั้นดินบน กรณีที่ดินนั้นมี

ความเป็นกรดสูง มีความเป็นพิษของอลูมิเนียม ธาตุอาหารไม่ครบตามที่พืชต้องการ และความหนาแน่นรวมของดินสูง มีผลทำให้การเจริญเติบโตของรากช้า รากมีความหนาแน่นน้อย

Kahn และ Stoffella (1986) กล่าวถึง ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในอากาศ และในดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อระบบรากและลำต้นว่า สิ่งแวดล้อมในอากาศ อาทิความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝนจะมีผลต่อระบบรากโดยผ่านทางลำต้น ส่วนสภาพแวดล้อมในดินมีอิทธิพลต่อลำต้นโดยผ่านทางระบบราก ดังนั้นการเจริญเติบโตของระบบรากพืช จึงเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของลำต้นเมื่ออยู่ในสภาวะการณ์เดียวกันสิ่งแวดล้อมที่อยู่ และต่ำกว่าผิวดินมีผลต่อการเจริญเติบโต และการตายของราก มีผลเกี่ยวพันกันระหว่างรากด้วยกันเอง รากกับดิน และรากกับลำต้น แม้ว่าปัจจัยเรื่องสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ อาทิ เนื้อดิน ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง จะเหมาะสมก็ตาม ความหนาแน่นและการแพร่กระจายของรากยังมีข้อจำกัดในเรื่องอายุของพืช (Hiroshi Kawasaki, 1985)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดิน Miller (1938) พบว่า pH ของดินจะสัมพันธ์กับการกระจายความหนาแน่นของรากอัลฟัลฟา (alfalfa) กล่าวคือ ถ้า pH ของดินมีค่า 4.8 รากอัลฟัลฟา จะหยุดการเจริญเติบโต ความหนาแน่นของรากจึงน้อย แต่จะมีการเจริญเติบโต มีความหนาแน่นมากและแพร่กระจายได้ดี เมื่อดินมี pH ประมาณ 5.0 หรือมากกว่านั้น

อินทรีย์วัตถุ (organic matter) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และธาตุอาหารในดินที่พืชเจริญอยู่ในธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะได้จาก litter และการตายของราก (Marshall, 1977) อัตราการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุขึ้นอยู่กับ ความชื้นในอากาศและในดิน ตลอดจนกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดิน (Jordan และ Escalante, 1980) สำหรับส่วนของรากนั้นเมื่อตายแล้ว จะให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุมากน้อยขึ้นกับ ชนิด และ อายุของพืช (Miller, 1938) นอกจากนี้ Miller อธิบายว่า ระบบรากในดินยังเป็นตัวส่งเสริมให้เกิดการปลดปล่อยแร่ธาตุ จึงเป็นตัวสำคัญที่มีผลต่อ กระบวนการที่ทำให้เกิดวงจรของธาตุอาหาร (nutrient cycling) เช่น ระบบรากของ Slash pine อายุ 5 ปี ทำให้เกิดธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม และแคลเซียม เท่ากับ 3, 11, 12, และ 23 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์

ธาตุอาหารต่างกันจะทำให้เกิดการแพร่กระจายของรากพืชต่างกัน ดังที่ Hiroshi Kawasaki et al. (1985) ได้ทดลองปลูกถั่วเหลืองในแปลงทดลองซึ่งใส่ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตและปูนขาว, ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตอย่างเดียว, ปูนขาวอย่างเดียว และไม่ใส่ปุ๋ย ส่วนอีก 4 แปลงทดลองใส่ปุ๋ยเหมือน 4 แปลงแรกแต่แตกต่างกันในเรื่องปริมาณของแคลเซียม แมกนีเซียม และอินทรีย์วัตถุในดิน จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบในระหว่าง 4 แปลงแรก แปลงทดลองที่ใส่ทั้งปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟตและปูนขาว จะมีความหนาแน่นของรากมากที่สุด รากสามารถเจริญลงสู่ดินได้ลึกที่สุด รองลงมาได้แก่ แปลงที่ใส่ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต อย่างเดียว และปูนขาว

อย่างเดียว ตามลำดับ และพบว่าในแปลงทดลองที่ใส่ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต และปูนขาวเหมือนกัน แปลงที่มีปริมาณธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และอินทรีย์วัตถุสูง จะมีการกระจายความหนาแน่นของรากในดินมาก และลงได้ลึก

ความชื้นในดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อระบบรากพืชในด้านต่าง ๆ เรื่องนี้ Miller (1938) ได้สรุปเกี่ยวกับปัจจัยด้านความชื้นในดินที่มีอิทธิพลต่อรากพืชไว้ 3 ประการ คือมีผลต่อ. 1) การเจริญเติบโต และการกระจายความหนาแน่นของรากโดยตรง 2) ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของราก กับส่วนที่อยู่เหนือราก 3) ขอบเขตของราก ทั้งที่กระจายไปทางด้านข้างในแนวนอน และความลึกที่หยั่งลงไปในดิน

Miller (1938) กล่าวว่า รากข้าวโอ๊ตจะเจริญเข้าไปในดินที่มีความสามารถในการดูดยึดน้ำของดิน (Water holding capacity) เท่ากับ 42, 45, และ 49 เปอร์เซนต์ ทำให้สัดส่วนของน้ำหนักแห้งของส่วนที่อยู่เหนือรากต่อน้ำหนักแห้งของรากเท่ากับ 6.6, 11.5 และ 13.2 ตามลำดับ เรื่องนี้ Gray และ Leiser (1982) สรุปไว้ว่า การคำนึงถึงความสามารถในการดูดยึดน้ำของดินจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก ซึ่งปกติรากพืชมักจะหลีกเลี่ยงแหล่งที่มีความชื้นสูง แต่จะต้องการเข้าไปในแหล่งที่ชื้นหรือเปียกน้อย ๆ

จากการศึกษาของJordan และ Escalante (1980)ในป่าบริเวณลุ่มน้ำอะเมซอน ประเทศเวเนซูเอล่า พบว่า ป่าบริเวณนี้จะมีฝนตกชุกคือไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตรต่อเดือน เมื่อใบไม้ร่วงหล่นลงสู่พื้นดินในป่า รากพืชจะเจริญเติบโต สามารถกระจายความหนาแน่นออกไปอย่างรวดเร็ว และมีความหนาแน่นมากในระดับชั้นดินบน ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยด้านความชื้นมีมาก กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตในดินและเหนือดินเป็นไปอย่างรวดเร็ว และเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของรากมากกว่าชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป เนื่องจากที่ที่อยู่ลึกลงไปปัจจัยด้านความชื้นมีอยู่มากเกินไป

Alan Wild (1988) กล่าวว่า ในสภาพของดินที่พืชเจริญอยู่ในธรรมชาติซึ่งผิวดินปกคลุมด้วย litter และไม่ถูกรบกวน ลำต้นจะมีกิ่งก้านสาขามาก บริเวณที่ความลึก 2-3 เซนติเมตร จะเต็มไปด้วยต้นไม้ธรรมชาติเหล่านี้ ซึ่งถ้าต้นไม้เหล่านี้เจริญในที่ที่ไม่มีการสะสมของ litter จะทำให้ผิวหน้าดินแห้ง กรณีในดินที่มีการระบายน้ำไม่ดี และมีการสะสมของ litter เป็นชั้น ๆ รากพวกนี้จะจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของราก (mat) อยู่บนผิวดินแต่ในช่วงที่มีความแห้งแล้งมากๆจะมีราก 2-3 รากที่จะเจริญลงที่ระดับความลึกสูงสุด เพื่อดูดซับความชื้นและป้องกันไม่ให้พืชตาย (Miller, 1938)

Jordan และ Escalante (1980) ศึกษาเกี่ยวกับ การเจริญเติบโตของรากพืชในบริเวณที่มีความชื้นมากโดยเอาใบไม้ที่หล่นลงมาใหม่ ๆ 120 ใบ กิ่งไม้เล็ก ๆ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 5 เซนติเมตร จำนวน 120 กิ่ง มาผูกมัดให้ติดแน่นกับลวดทองแดงแล้วนำ

ไปวางบนพื้นป่า เป็นเวลา 289 วัน แล้วแยกเอาส่วนของรากที่เกาะเป็นกลุ่มก้อนบริเวณนี้ออกมาหาน้ำหนักแห้ง จากการศึกษาพบว่า มวลชีวภาพของรากที่เกาะกันหนาเป็นกลุ่มก้อนเหนือดินเฉลี่ยแล้วเท่ากับ 123 กรัม/ตารางเมตร.ปี และพบว่าการเจริญเติบโตของรากใกล้ผิวดินโดยเฉลี่ยจะสูงมากเมื่อมี litter สด ๆ อยู่ด้วย Jordan และ Escalante สรุปว่าปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากคือ ความชื้นในดินและในบรรยากาศ

Pritchett และ Fisher (1987) ได้สรุปความสำคัญของเนื้อดิน (soil texture) องค์ประกอบของความชื้นที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ และธาตุอาหารที่มีประโยชน์ว่ามีผลต่อรูปแบบ (Pattern) ความลึก และขอบเขตการเจริญเติบโตของรากพืชชนิดนั้นได้ เนื้อดินมีผลต่อการกระจายตัวของรากแขนง ในต้นสนจะมีรากน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในดินเนื้อละเอียด แต่เมื่ออยู่ในดินทรายที่มีการระบายน้ำดี สนอายุ 2 ปีจะมีมากกว่า 70 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักรากที่กระจายความหนาแน่นอยู่ในระดับชั้นดินบน ช่วงความลึก 0-15 เซนติเมตรจากผิวดิน

2.4 การกระจายความหนาแน่นของราก

Miller (1938) กล่าวว่า ส่วนใหญ่รากพืชมีการเจริญและแพร่กระจายออกไปทางด้านข้างลำต้นในแนวนอนมากกว่าที่จะหยั่งลงดินตามความลึก แสดงให้เห็นว่า สภาพทั่วไปในดินไม่เอื้ออำนวยต่อการขยายตัวของรากลงในระดับดินที่ลึก ๆ ได้ ทั้งนี้จากสาเหตุในเรื่องความชื้นในดิน ในกรณีที่ความชื้นเหนือดินมากกว่า รากพืชจะไม่หยั่งลงไปได้ลึก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าปริมาณน้ำฝนและความหนาแน่นของต้นพืช (ระยะห่างระหว่างต้น) เป็นตัวกำหนดขอบเขตการกระจายความหนาแน่นของรากในแนวนอน นอกจากนี้ปริมาณความหนาแน่น และการกระจายของรากในแนวนอน จะมีส่วนสัมพันธ์กับการร่วงของใบในฤดูใบไม้ร่วง กล่าวคือรากของพืชจะกระจายความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในฤดูใบไม้ร่วง เพื่อดูดอาหารไว้ใช้ในฤดูใบไม้ผลิ เรื่องนี้ Pritchett และ Fisher (1987) อธิบายว่า องค์ประกอบในเรื่องความหนาแน่นของต้นพืช การแก่งแย่งแข่งขันกันระหว่างแต่ละต้น ความมากน้อยของสิ่งมีชีวิตในดิน และเปอร์เซนต์ของอนุภาคหยาบ ๆ ที่อยู่ในดิน เช่น หิน จะมีผลต่อการยืดตัวออกของรากแขนง

Kramer และ Duke (1969) กล่าวว่า ในดินที่มีการระบายน้ำและอากาศดี พบว่ารากข้าวโพดและรากข้าวฟาง จะสามารถหยั่งลงไปในดินได้ลึก 2 เมตร ในขณะที่หญ้าอัลฟัลฟาหยั่งลงลึก 10 เมตร ส่วนรากต้นแอปเปิล (อายุ 8 ปี) หยั่งลงได้ลึกเกินกว่า 10 เมตร นอกจากนี้รากของไม้ผลต่าง ๆ ที่เจริญในดินร่วนเถบแคลิฟฟอร์เนีย หยั่งลงลึกอย่างน้อยสุด 5 เมตร และจะมีจำนวนรากมากสุดที่ระดับความลึก 0.6-1.5 เมตร ส่วน Miller (1938)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กล่าวว่า รากของไม้ยืนต้นจะมีขอบเขตของความลึกมากกว่าไม้ล้มลุก ความลึกสูงสุดของราก ข้าวโพด ข้าวฟ่าง และธัญพืช อยู่ระหว่าง 5-8 ฟุต (1.52-2.44 เมตร) ส่วนรากของหญ้าอัลฟัลฟาจะลงได้ลึก 6-14 ฟุต (1.83-4.23 เมตร)

Alan Wild (1988) รายงานว่า ความลึกของรากข้าวสาลีจะสัมพันธ์กับชนิดของดิน โดยความลึกสูงสุดที่รากจะหยั่งลึกลงในดินทราย ดินร่วนปนทราย ดินเหนียว และดินทรายเหนือชั้นดินเหนียว คือ 169, 173, 31 และ 73 เซนติเมตรตามลำดับ นอกจากนี้ชนิดของดินจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับ การเจริญและการแพร่กระจายของรากในแนวนอนของพืชแตกต่างกัน สำหรับเรื่องนี้ Pritchett และ Fisher (1987) อธิบายว่า การเจริญเติบโตในแนวนอนของรากสนอายุ 6 ปี ที่อยู่ในดินทราย จะมีความยาวของรากโดยเฉลี่ย 5.49 -3.05 เซนติเมตร และเท่ากับ 1.52-3.05 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าชนิดของดินจะเป็นตัวกำหนดการกระจายของราก นอกจากนี้ขอบเขตการกระจายของรากจะผันแปรไปตามอายุของพืช เช่นอัลฟัลฟาอายุ 5, 6 ปี ซึ่งอยู่ในดินที่มีเปอร์เซนต์ของดินเหนียวมาก จะหยั่งลงไปในดินได้ลึก 203.20 และ 381 เซนติเมตร รากแขนงต่าง ๆ จะกระจายออกห่างโคนต้น 15.24 และ 30.48 เซนติเมตรตามลำดับ

Ellern , Harper และ Sagar (1970) ศึกษาการกระจายความหนาแน่นของราก Avena fatua และ Avena strigosa โดยใช้ ^{14}C เป็นตัวติดตามผล (ให้ $^{14}CO_2$ ผ่านทางลำต้น) จากการศึกษาพบว่า หลังจากการหว่านด้วยเมล็ด 32 วัน ที่ระดับความลึก 0-10, 10-20 เซนติเมตร ใน A. strigosa จะมีน้ำหนักแห้งของรากมากกว่า A. fatua แต่ที่ระดับความลึก 20-30 และ 30-40 เซนติเมตร จะมีน้ำหนักแห้งของรากทั้งหมดน้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นรวมของรากที่ระดับ 0-40 เซนติเมตร รากของ A. fatua (น้ำหนักแห้ง 240 มิลลิกรัม) จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า A. strigosa (น้ำหนักแห้ง 283 กรัม) เมื่อศึกษาในระยะเวลา 52 วัน หลังการหว่าน ที่ระดับผิวดิน 0-10 และ 10-20 เซนติเมตร A. Fatua จะมีน้ำหนักแห้งของรากน้อยกว่า A. strigosa แต่ที่ระดับลึกมากกว่า 20 เซนติเมตร จะมีน้ำหนักแห้งของรากมากกว่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาน้ำหนักแห้งทั้งหมดของรากที่ระดับ 0-40 เซนติเมตร A. fatua (น้ำหนักแห้ง 3089 มิลลิกรัม) จะน้อยกว่า A. Strigosa (น้ำหนักแห้ง 3474 มิลลิกรัม) และพบว่าระบบลำต้นจะใช้ ^{14}C ในปริมาณน้อยที่สุด คือ 97 เปอร์เซนต์ ของปริมาณ $^{14}CO_2$ ทั้งหมด สรุปได้ว่ารากของ Avena ทั้งสองชนิดที่ศึกษาในระยะเวลาต่างกัน มีการกระจายความหนาแน่นของรากสัมพันธ์กับความลึกคือเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นการกระจายความหนาแน่นของรากจะลดลง และอายุของพืช เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการกระจายความหนาแน่นของราก

ในการศึกษาเรื่องการกระจายความหนาแน่นของรากถั่วเหลือง Kowasaki,Iwata

019772

และ Filho (1985) พบว่าการกระจายความหนาแน่นของรากถั่วเหลืองขึ้นกับชนิดของดินและการปรับปรุงดิน โดยรากจะมีความหนาแน่นมากในระดับดินบนช่วงความลึก 0-30 เซนติเมตร ความหนาแน่นของรากมีค่าระหว่าง 52-95 เปอร์เซนต์ รากสามารถกระจายความหนาแน่นได้น้อยเมื่ออยู่ในดินที่มีปูนขาวปะปนกับธาตุฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณที่มาก

Taylor et al. (1970) ศึกษาการกระจายความหนาแน่นของรากข้าวโพดและมะเขือเทศหลังการเก็บเกี่ยว โดยใช้วิธี soil block method ขนาดของ soil block เท่ากับ 10 x 10 x 2.5 เซนติเมตร (250 ลูกบาศก์เซนติเมตร) โดยเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 20, 85 และ 160 เซนติเมตร เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักแห้งของรากในดินปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร พบว่า รากของพืชทั้ง 2 ชนิดจะมีความหนาแน่นมากที่สุดที่ความลึก 20 เซนติเมตร และสามารถหยั่งลงไปในดินได้ลึกประมาณ 160 เซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของรากโดยพิจารณาจากน้ำหนักแห้งของพืชทั้งสอง ความหนาแน่นของรากข้าวโพดที่ระดับความลึกต่าง ๆ จะน้อยกว่าของมะเขือเทศ ดังนั้นชนิดของพืชจึงมีผลต่อการกระจายความหนาแน่นของรากในดินได้

Chaudhary และ Prihar (1974) ศึกษาการกระจายความหนาแน่นของรากข้าวโพดอายุ 53 วัน โดยใช้วิธีการ soil block method ระดับความลึกที่ศึกษาคือ 0-50 เซนติเมตร พบว่าบริเวณโคนต้นข้าวโพดที่ปกคลุมด้วยวัสดุปกคลุมประเภทฟางข้าวผสมกับใบไม้และบริเวณควบคุม จะมีการกระจายความหนาแน่นของรากแตกต่างกันโดยบริเวณที่มีวัสดุปกคลุมจะมีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณควบคุม ในทุกระดับความลึกของดิน ยกเว้นที่ระดับความลึก 10-15 และ15-20 เซนติเมตร ไม่ว่าระยะทางที่ศึกษาจะอยู่ใกล้โคนต้นหรือห่างโคนต้นออกไปในแนวนอนทั้ง 2 บริเวณ จะมีการกระจายความหนาแน่นตามความลึก กล่าวคือที่ระยะห่างโคนต้น 0-15 เซนติเมตร ความหนาแน่นของราก (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) จะลดลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ระยะห่างจากโคนต้น (15-35 เซนติเมตร) จะมีความหนาแน่นสูงสุดที่ระดับความลึก 5-10 เซนติเมตร ในบริเวณที่มีวัสดุปกคลุม และของบริเวณควบคุมจะมีความหนาแน่นสูงสุดที่ระดับลึก 10-15 เซนติเมตร จากทดลองของ Chaudhary และ Prihar สรุปได้ว่าการกระจายความหนาแน่นของรากข้าวโพด ในดินที่อยู่ภายใต้วัสดุปกคลุม จะมีความหนาแน่นของรากมากกว่าในบริเวณควบคุม ทั้งนี้เนื่องจาก ภายใต้วัสดุที่ปกคลุมจะช่วยรักษาความชื้นในดินและช่วยลดอุณหภูมิของดินได้ รากพืชจึงเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออยู่ในสภาวะดังกล่าว

Yen (1984) ศึกษาการกระจายของระบบรากไม้ยืนต้น 108 ชนิด พบว่าส่วนมากรากขนาดใหญ่จะเจริญขนานไปกับผิวดินโดยมีขอบเขตไปในแนวนอน ถ้าบริเวณนั้นเป็นบริเวณที่มีความลาดชัน รากจะเจริญตรงไปตามแนวลาดชันของพื้นที่ การเจริญของรากส่วนใหญ่มักอยู่ใต้ลำต้น นอกจากนี้ Yen ได้ศึกษาการกระจายของรากในแนวดิ่ง พบว่า ไม้ยืนต้นที่มีระบบ

รากตื้น รากจะมีความหนาแน่นมากที่ระดับความลึก 0-60 เซนติเมตร ส่วนไม้ยืนต้นที่มีระบบรากลึกปานกลาง จะมีความหนาแน่นของราก มากที่ระดับความลึก 61-90 เซนติเมตร และกรณีที่มีรากมีความหนาแน่นมากที่ระดับความลึกมากกว่า 90 เซนติเมตร จะเป็นพวกที่มีระบบรากลึก

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ราก กับ ดิน

การชอนไชของรากเข้าไปในดินทำให้ดินรวมตัวกันเป็นกลุ่มของเม็ดดินที่มีความคงทนมีความพรุนมากขึ้น ความสามารถในการช่วยยึดดิน (Binding) ของรากจะทำให้ดินเกิดความทนทานต่อการพังทลาย (Baver, 1948) ซึ่งรากพืชชนิดที่หยั่งลงไปในดินได้ลึกจะช่วยให้เกิดความคงทนของดินได้ดีกว่าและช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเลื่อนไหลบนพื้นที่ลาดชันได้ (Gray และ Leiser, 1982)

การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลจะทำให้เกิดความแตกต่างในเรื่องความชื้นของดิน และการเจริญเติบโตของพืช และการปกป้องดินจากการเซาะกร่อนพังทลาย ในดินที่ผ่านสภาพความแห้งแล้งมาแล้วเมื่อได้รับน้ำฝนในปริมาณ และความหนาแน่นของฝนมาก จะกลายเป็นดินที่ง่ายต่อการพังทลายเนื่องจากอนุภาคของดินถูกทำให้แตกออก แรงเกาะยึดระหว่างเม็ดดินลดลง และดินมีคุณสมบัติในการลดการแตกกระจายเมื่อถูกพลังงานจากเม็ดฝน ซึ่งเป็นดินที่มีความคงทน (soil stability) จะต้องมีอินทรีย์สาร (organic matter) สูง อนุภาคดินเหนียวที่เป็นองค์ประกอบสูง กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสูง (Kohnke และ Bertrand, 1959)

Marshall (1977) กล่าวว่ารากของพืชชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะมีความหนาแน่นสูงเมื่ออยู่ในชั้นบนสุดของดิน และอยู่ใกล้ผิวดินแม้ว่าในสภาพปามีความแตกต่างกันหลายอย่าง แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีลักษณะเหมือนกันที่รากขนาดเล็ก (fine root) จะมีความหนาแน่นมากเมื่ออยู่ใกล้ดินชั้นบน รากที่เกาะกันเป็นกลุ่มใกล้ผิวดินนี้ จะเป็นตัวการที่ทำให้โครงสร้างของดินแตกออกเป็นเม็ดเล็ก ๆ ในขณะที่รากยังมีชีวิตจะมีของเหลวไหลซึมออกมาจากรากจึงเกิดการยึดตัวกันของกลุ่มก้อนเม็ดดิน เมื่อตายและสลายตัวจะให้คาร์โบไฮเดรตหลายโมเลกุล เพคติน ลิกนิน สารประกอบของฮิวมัส ขณะที่รากยืดยาวออกหรือแตกกิ่งก้านสาขาออกไป สารประกอบเหล่านี้จะทำให้โครงสร้างของดินเกิดความคงทนขึ้น

พืชที่มีรากลึกจะช่วยให้เกิดความคงทนของดินและช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเลื่อนไหลของดินในบริเวณพื้นที่ลาดชันได้ดีกว่ารากพืชชนิดที่อยู่ในระดับตื้น ๆ โดยเฉพาะส่วนที่เป็นรากแขนง จะช่วยในการผูกมัดยึดดินบนพื้นที่ลาดชันให้เกาะกลุ่มเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน (Gray

และ Leiser, 1982) ความแข็งแรงของรากที่ช่วยในการยึดดินขึ้นกับการแพร่กระจายของราก ในดิน ความหนาแน่นของรากต่อหน่วยปริมาตรของดิน ดังนั้นความลึกและขอบเขตของกิ่งก้านสาขาของราก เป็นสิ่งสำคัญในการเลือกพืชที่จะปลูกสำหรับการทำให้เกิดความคงทนของดิน (soil stability) และการปกคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ (Kramer และ Duke, 1969) เกี่ยวกับเรื่องนี้ Crozier (1986) สรุปไว้ว่า ในราก Pinus contorta ซึ่งเจริญในดินทราย ส่วนของปริมาณมวลชีวภาพของรากจะสามารถเพิ่มความแข็งแรงของดิน หรือความเสียดทานของดิน (soil strength) ได้ดังสมการ Soil strength = 3.13 + 3.31 biomass

ความสำคัญของรากพืชต่อความคงทนของดินดังที่ Crozier (1986) สรุปไว้ 3 ประการด้วยกัน คือ ทำให้เกิดการยึดติดแน่นกับผิวดินมากขึ้น การประสานกันในลักษณะตาข่าย (network) ของรากก่อให้เกิดการยึดติดแน่นกับดิน และก่อให้เกิดแรงเสียดทานเนื่องจากการเหนี่ยวรั้งของส่วนปลายของราก

สำหรับบริเวณพื้นที่ลาดชันที่พืชมีระบบรากหยั่งลงไปในแนวดิ่ง (Vertical root) ไม่ว่าจะเป็นรากแก้วหรือ sinker root (ส่วนของรากที่แตกออกจากรากแขนง มีทิศทางหยั่งลงในแนวดิ่งเหมือนรากแก้ว) จะสามารถแทงทะลุผ่าน soil mantle เข้าไปในชั้นของ Bed rock ได้ รากพวกนี้สามารถยึดดินไว้กับลาดไหล่เขาได้ และสามารถทนทานต่อการเกิดการเลื่อนไหลของมวลดินบนลาดไหล่เขาได้ (Gray และ Leiser, 1982)

ในส่วนที่เกี่ยวกับบทบาทของระบบรากที่มีต่อความมั่นคงของลาดไหล่เขา (slope) นั้น Gray และ Leiser (1982) ได้สรุปไว้ดังนี้

1. รากช่วยกระจายแรงไปตามส่วนของราก เมื่อมีแรงมากระทำต่อต้น หรือต่อดิน
2. รากช่วยลดความชื้นในดิน
3. รากช่วยยึดเกาะดิน
4. น้ำหนักของต้นไม้ช่วยกดดินให้อยู่กับที่ ทำให้เกิดแรงต้านทานต่อการเลื่อนไหลของมวลเพิ่มขึ้น
5. การชอนไชของรากเข้าไปในดินหรือซอกหิน ทำให้หินแยกออกจากกันทำให้เกิดการถล่มลงมาได้
6. ต้นไม้ถูกแรงลมโยกทำให้ดินแยกออกจากกัน

รูปแบบ และลักษณะการแพร่กระจายของระบบรากไม้ยืนต้น ตามที่ Yen (1984) ได้ทำการสำรวจศึกษาไม้ยืนต้น 108 ชนิด สรุปว่าสามารถแบ่งระบบรากออกเป็น 5 รูปแบบ แต่ละรูปแบบมีผลต่อการควบคุมการพังทลายของดิน หรือช่วยอนุรักษ์ดินต่างกัน 3 ลักษณะคือ ลักษณะของรากที่ช่วยทำให้เกิดความมั่นคงของลาดไหล่เขา (slope - stability root type) ลักษณะของรากที่ช่วยในการยึดดิน (soil - binding root type) ลักษณะของ

รากที่ช่วยในการต้านลม (wind - resisting root type) ซึ่งลักษณะของรากที่ช่วยทำให้เกิดความมั่นคงของลาดไหล่เขาจะมีรูปแบบการเจริญของรากที่หยั่งลงไปในแนวดิ่งได้ลึก ในขณะที่รากที่ช่วยในการยึดดินจะเป็นรากที่เจริญไปในแนวนอน มีการกระจายอยู่กันเป็นกลุ่มก้อนของรากเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.51 - 2.0 เซนติเมตร นอกจากนี้พบว่า รากที่มีขนาดใหญ่มักจะยื่นขนานไปกับผิวดินในแนวนอน และเมื่ออยู่ในบริเวณลาดไหล่เขารากเหล่านี้จะยึดตรงออกไปตามแนวความลาดชันของพื้นที่

Gray และ Leiser (1982) อธิบายว่า กิ่งก้านสาขาของรากใหญ่ ๆ (main root) ในไม้ยืนต้น และไม้พุ่มเป็นตัวช่วยให้เกิดการยึดเหนี่ยวดิน ช่วยเพิ่มความคงทนของดิน ความลึกของรากช่วยให้เกิดความมั่นคงของลาดไหล่เขา นั่นคือเมื่อรากพวก Lateral root แตกแขนงออกเป็นรากเล็ก ๆ ส่วนของรากขนาดเล็กนี้จะหัน (เลี้ยว) เข้าไปยึดดิน แม้ว่าจะอยู่บนลาดไหล่เขาให้เข้ามาอยู่ร่วมกันในลักษณะมวลที่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน

จากการศึกษาของ Waldron และ Dakessian (1982) พบว่ารากที่มีขนาดเล็กจะทำให้ดินเกิดความคงทนกว่ารากที่มีขนาดใหญ่ สามารถช่วยให้ดินเกิดความเสถียรภาพเมื่ออยู่ในพื้นที่ลาดชัน และจะช่วยลดการสูญเสียหน้าดินจากการเกิดแผ่นดินถล่มได้ สำหรับเรื่องนี้ Crozier (1986) รายงานว่า รากขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร) จะมีความสำคัญส่วนใหญ่ในการยึดดิน และแรงเสียดทานแต่ละส่วนของรากจะสำคัญต่อบริเวณที่เป็นพื้นที่ลาดชันมากกว่าบริเวณอื่น

Gray และ Leiser (1982) ได้กล่าวถึงพฤติกรรมของรากว่า เหมือนกับองค์ประกอบของสารที่เป็นเส้นใย (fiber) ที่ยืดหยุ่นได้ เนื่องจากมี แรงยึดเหนี่ยวสูงจึงเป็นตัวก่อให้เกิดการรวมตัวของดินเป็นกลุ่มก้อน แรงดึงระหว่างเส้นใยและรอบ ๆ บริเวณที่เกิดการดึงก่อให้เกิดความแข็งแกร่ง (ความเสียดทาน) เพิ่มขึ้นภายในองค์ประกอบของวัตถุนั้น ความแข็งแกร่งภายในนี้คือ แรงที่เกี่ยวกับการดึง ซึ่งจะแตกต่างกันตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของราก และชนิดของพืช รากที่มีขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางน้อย) จะมีความแข็งแกร่งของราก (แรงเสียดทาน) มากกว่ารากที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่

Swanston และ Walkotten (1970) ศึกษาความแข็งแรงของราก ความสามารถในการยึดดิน กับระยะเวลาก่อนและหลังการตัดฟัน พบว่า รากของต้นไม้ที่ตายแล้ว จะมีความสามารถในการยึดดินได้ลดลง แต่รากของต้นไม้ที่ยังมีชีวิตอยู่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดดิน เนื่องจากรากที่ตายแล้วจะผุพังสลายตัวไป แรงเสียดทานในดิน หรือความสามารถในการยึดดินจึงลดลง