

ผลของการคายน้ำของรากพืชต่อการเคลื่อนตัวของผิวดินบนโครงสร้างพื้นฐาน

Effects of plant transpiration on surface movement of adjacent infrastructure

พัฒนพงศ์ จารุกมล^{1*} และ วิรุฬห์ คำชุม²

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: pattanapong_ja@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงสร้างพื้นฐานเช่นถนนและคันดินรางรถไฟในกรุงเทพฯและปริมณฑลตั้งอยู่บนพื้นที่ดินเหนียวอ่อน และมักจะพบปัญหาเกิดจากการหดและขยายตัวของดินเหนียวตามฤดูกาล และนำไปสู่ปัญหาการทรุดตัวที่แตกต่างกัน (differential settlement) ซึ่งความรุนแรงของปัญหานี้มักจะเพิ่มขึ้นได้เมื่อมีต้นไม้อาศัยเนื่องจากการคายน้ำของพืชก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำในดิน (pore water pressure) ที่มากขึ้นบริเวณใกล้รากต้นไม้และการศึกษาที่ผ่านมามักจะอ้างถึงระยะปลอดภัยระหว่างต้นไม้และสิ่งก่อสร้างจากค่าความสูงของต้นไม้แต่ไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในดิน ดังนั้นการพิจารณาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในดินที่เกิดจากอิทธิพลการคายน้ำของพืชจะช่วยให้เข้าใจการทรุดตัวของดินและหลีกเลี่ยงปัญหาการทรุดตัวที่จะเกิดกับโครงสร้างพื้นฐาน บทความนี้จะทำการศึกษาผลของการคายน้ำของพืชต่อความปลอดภัยและความสามารถในการใช้งานของโครงสร้างใกล้เคียง บทความนี้ได้อ้างอิงวิธีการจำลองการคายน้ำของพืชอย่างง่ายเพื่อพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจากพืชต่างชนิดกัน โดยใช้แบบจำลองไฮโปพลาสติก (hypoplastic model) สำหรับดินไม่อิ่มน้ำ (unsaturated soil) เพื่อจำลองพฤติกรรมแบบไม่เป็นเส้นตรงทั้งเชิงกลและเชิงกลศาสตร์ควบคู่กัน (coupled non-linear hydro-mechanical behavior) ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของดินและต้นไม้มาจากการสอบเทียบข้อมูลภาคสนาม โดยผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่า หากโครงสร้างพื้นฐานอยู่ใกล้กับต้นไม้เกินไปจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการใช้งานและความปลอดภัยได้

คำสำคัญ: การคายน้ำของรากพืช, โครงสร้างพื้นฐาน, การทรุดตัว, แรงดันน้ำในดิน

1. บทนำ

นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในประเทศไทยพบปัญหาเรื่องความเสียหายของโครงสร้างพื้นฐานที่ตั้งอยู่บนดินเหนียวมากมาย โดยส่วนหนึ่งพบว่าหากบริเวณข้างเคียงนั้นมีการปลูกต้นไม้ก็ทำให้ปัญหามีความรุนแรงขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างจากรากพืชนั้นมีอยู่ 2 ปัญหาด้วยกัน [1] คือจากการโตของรากพืชบางชนิดนั้นส่งผลให้เกิดการยกตัวของโครงสร้างไม่ว่าจะเป็นทางเท้า ถนน หรือแม้กระทั่งตัวอาคาร [2] โดยปัญหานี้มักจะเกิดบริเวณที่รากต้นไม้โตในวงจำกัด โดยประมาณ 2-3 เมตร [3] อีกสาเหตุซึ่งถือว่าเป็นสาเหตุที่พบเห็นได้บ่อยแต่ยังมี การศึกษาไม่มากนัก คือการหดและขยายตัวของดิน เมื่อมีการคายน้ำของรากพืช [4] จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการคายน้ำของรากต้นไม้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน [5] โดยอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินนี้อาจจะมีค่ามากขึ้นถึง 12 เมตร [6] และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินนี้เองสามารถทำให้เกิดการทรุดตัวของดินได้ [6] ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวกับโครงสร้างของสิ่งก่อสร้างที่อยู่บริเวณข้างเคียง

การคายน้ำของพืชมีผลต่อการสูญเสียน้ำในมวลดินมาก ในบริเวณใกล้กับต้นไม้ [7] จึงทำให้เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน (Differential settlement) ซึ่งพฤติกรรมการทรุดตัวนี้ก็จะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐานแต่ละชนิดแตกต่างกัน [8] โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าต้นไม้ส่งผลกระทบต่อทรุดตัวและก่อให้เกิดปัญหาต่อโครงสร้างอาคารในบริเวณใกล้เคียง [9] แต่ในประเทศไทยฐานรากของโครงสร้างอาคารนั้นเป็นฐานรากลึก (deep foundation) ในดินเหนียวอ่อน ซึ่งได้รับผลกระทบของการคายน้ำของรากพืชเพียงบางส่วน ส่วนฐานรากของถนนเป็นฐานรากตื้น (shallow foundation) การคายน้ำของพืชจึงอาจจะส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อโครงสร้างของถนนได้ [10] ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการคายน้ำของรากพืชต่อการทรุดตัวของดินและผลกระทบต่อโครงสร้างถนน เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายที่เกิดกับตัวโครงสร้างได้

1.1 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาพฤติกรรมของถนนที่มีต้นไม้ในบริเวณใกล้เคียง โดยจะมีการพิจารณาเรื่องของการดูดน้ำตามฤดูกาลของพืช ซึ่งพฤติกรรมที่จะทำการศึกษาแบ่งเป็นผลกระทบต่อน้ำของดิน เช่น ค่าแรงดันน้ำ และพฤติกรรมของโครงสร้างถนนที่เกิดการทรุดตัวแบบไม่เท่ากัน ซึ่งโดยปกติแล้วหากการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันมีค่าไม่เกินที่กำหนด ถนนเองก็จะมีความปลอดภัย [11] แต่ซึ่งจริง ๆ แล้วยังต้องวิเคราะห์ถึงปัจจัยอื่นของถนนอีกด้วย อย่างเช่น ค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้น และค่าโมเมนต์แตกร้าว เพราะปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความปลอดภัยและความสามารถในการใช้งานได้ของถนน [12] ซึ่งมาตรฐานของ NHBC 2020 ได้กำหนดความปลอดภัยของระยะห่างระหว่างต้นไม้กับฐานรากของสิ่งปลูกสร้างขนาดเล็กไว้ แต่ทั้งนี้เป็นการอ้างอิงจากความสูงต้นไม้เพียงแค่มั้งเดียวเท่านั้น งานวิจัยนี้จะคำนึงถึงผลของกระทบของการดูดน้ำของพืชที่ส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างถนน

2. กระบวนการวิจัย

2.1 พรรณพืชในการศึกษา

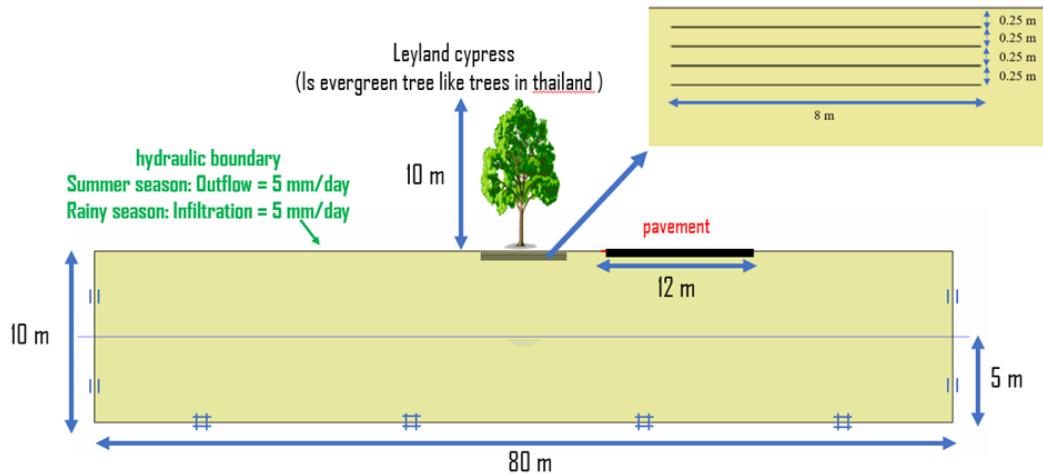
ในประเทศไทยเองก็มีการปลูกต้นไม้เพื่อสร้างร่มเงา ไม่ว่าจะเป็นต้นไม้ประเภทผลัดใบอย่าง ประดู่ นนทรี ชมพูพันธุ์ทิพย์ หรือ แม้กระทั่งต้นไม้ใบเขียวทั้งปีอย่าง ต้นสน (Pine tree) ต้นไม้แต่ละชนิดนั้น ต่างก็มีคุณสมบัติต่างกัน เช่น ต้นไม้ประเภทผลัดใบส่วนมากจะมีการดูดและคายน้ำที่รุนแรงกว่า มีความต้องการน้ำที่ต่างกัน [13] แต่ในประเทศไทยนั้นพบว่าต้นไม้ส่วนใหญ่เป็นต้นไม้ใบเขียวทั้งปี โดยการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณา Leyland cypress (Cupressocyparis- leylandii) ซึ่งจัดอยู่ประเภทต้นสน (coniferous) ในการศึกษา ต้นไม้ชนิดนี้เป็นต้นไม้ที่มีความต้องการน้ำสูง [14] และเป็นต้นไม้ที่เติบโตได้เร็ว โดยการศึกษาจะอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยเดิม ที่มีการตรวจวัดปริมาณความชื้นในดินรอบ ๆ ต้น Leyland cypress ซึ่งมีความสูง 10 เมตร โดยการจำลองจะใช้วิธีการอย่างง่าย (simplified approach) เสนอโดย Kamchoom and Leung (2018) [15] ซึ่งมีการจำลองผลของการดูดน้ำของพืช โดยใช้เส้นศักย์ของน้ำ รอบบริเวณรากต้นไม้เพื่อให้เกิดการไหลของน้ำเทียบเท่ากับการดูดน้ำของต้นไม้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เส้นจำนวน 4 เส้น ความยาวเส้นละ 8 เมตร มีความห่างกัน 0.25 เมตร โดยแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประโยชน์ของแต่ละเส้นนี้สามารถ

ช่วยให้ปรับค่าการดูดน้ำได้และสามารถจำลองบริเวณอิทธิพลของการดูดน้ำของพืชที่เกิดขึ้นจริง

Degree of saturation คือค่าที่จะบอกถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในมวลดิน ซึ่งการที่มีต้นไม้อยู่บนดินนั้นจะส่งผลให้รากต้นไม้เกิดการดูดน้ำในดิน ส่งผลให้น้ำอยู่ในช่องว่างเม็ดดินก็จะลดลงไป ในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับค่า degree of saturation ที่ลดลงจากการดูดน้ำของต้นไม้ จากรูปที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบค่า degree of saturation ที่เกิดขึ้นในฤดูร้อนของปีที่ 1 ระหว่างผลในสนาม (รูปที่ 2a) และผลในโปรแกรม Plaxis (รูปที่ 2b) ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบจะเห็นว่าผลจากแบบจำลองสามารถเทียบได้กับผลจากการตรวจวัดในสนามโดยในรูปที่ 2a จะมีค่า degree of saturation ที่น้อยที่สุดคือประมาณ 90% อยู่จุดที่มีความลึกลงไป 0.25 เมตร ณ บริเวณรากต้นไม้ และ degree of saturation จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออยู่ห่างจากรากต้นไม้ เนื่องมาจากการระเหยของน้ำบริเวณผิวดินนั้นเกิดมากกว่าชั้นดินที่ลึกลงไป

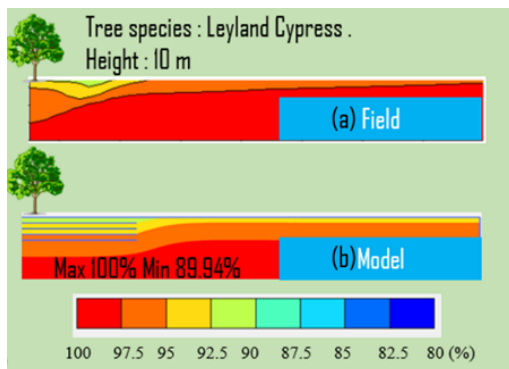
2.2 แบบจำลองโมเดลดิน

การจำลองในครั้งนี้จะใช้โมเดลดินแบบไม่เป็นเส้นตรง Hypoplastic model สำหรับดินไม่อิ่มน้ำ [16] โดย จะทำการจำลองตามในรูปที่ 1 โมเดลจะเป็นรูปแบบของ flat ground ซึ่งมีความกว้างและความยาวตามที่โชว์รูป โดยในประเทศไทยนั้นพื้นที่ส่วนใหญ่ที่เป็นดินเหนียว [17] และมักพบในบริเวณจังหวัดที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวและจังหวัดใหญ่ที่เป็นหัวเมือง เช่น กรุงเทพฯ เชียงใหม่ นครราชสีมา ชลบุรี ฯลฯ [18] ในงานวิจัยนี้ได้นำดินเหนียว kaolin มาใช้ในการศึกษา เนื่องจากเป็นดินดินมาตรฐานและมีข้อมูลคุณสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงกลศาสตร์เป็นจำนวนมาก โดยดินชนิดนี้นั้นมีค่า plasticity index (PI) ประมาณ 22 [19] และมีค่าน้อยกว่าดินเหนียวกรุงเทพฯ ซึ่งจะช่วยให้เห็นว่าการทรุดที่เกิดขึ้นจริงก็มีความรุนแรงกว่า โดยพารามิเตอร์ของดิน kaolin [15] จะถูกแสดงในตารางที่ 1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินตามฤดูกาล การศึกษามีการจำลองฤดูกาลในโปรแกรม Plaxis [20] เป็นระยะเวลา 5 ปี แต่ละปีจะมี 2 ฤดูกาลคือ ฤดูร้อนและฤดูฝน ฤดูกาลละ 180 วัน ในฤดูฝนก็จะกำหนดให้ค่าการไหลซึมเข้าผิวดินเท่ากับ 5 mm/day ซึ่งกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทยได้มีการคาดการณ์ว่าฝนตกในช่วงปี 2563 ตลอดฤดูฝนคือ 900 mm ซึ่งหากนำมาหารกับจำนวนวันที่เกิดฤดูฝน คือ 180 จะได้ว่ามีฝนตกเป็น



รูปที่ 1 ความกว้างและความสูงของ flat ground ที่ใช้จำลอง , boundary ของดิน และตำแหน่งของต้นไม้กับถนน

ปริมาณ 5 mm/day เช่นเดียวกับที่จำลองในโปรแกรม ส่วนในฤดูร้อนก็จะต้องมีการจำลองให้น้ำระเหยมีค่าเท่ากับที่น้ำฝนตกลงมานั้นก็คือ 5 mm/day



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบค่า Degree of saturation จากในสนามเทียบกับโมเดลโปรแกรม Plaxis

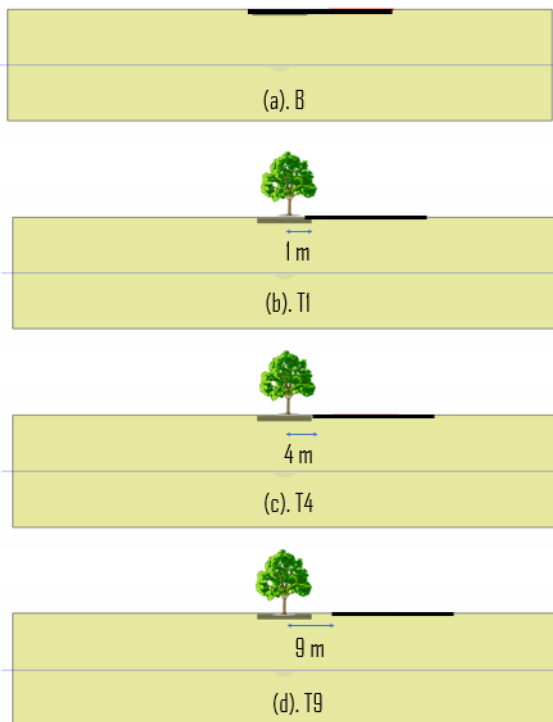
ส่วนบริเวณด้านข้างของต้นไม้ ได้มีการจำลองเป็นถนนซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการศึกษา นี้ โดยจะจำลองเป็นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก มีคุณสมบัติเป็นถนน 2 เลน แต่ละเลนกว้าง 3.5 เมตร และมีไหล่ทางสองข้างทาง ช้างละ 2.5 เมตร รวมความยาวทั้งหมด 12 เมตร [21] และมีความหนาของถนนคือ 15 เซนติเมตร โดยผิวทางจะกำหนดให้เป็นแบบ impermeability เพื่อให้สอดคล้องกับผิวถนนจริง

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของดิน

Hypoplastic parameter	Value	Remark
Critical state friction angle(ϕ_c)	21	Sivakumar & Wheeler 2000
Initial void ratio (e_m)	1.150	Wheeler 2000
λ^*	0.05690	Calibrated against Sivakumar & Wheeler 2000
K^*	8.00E-3	
N	0.9823	
r	0.3500	
n	0.1000	
l	0.000	
m	10	
Over Consolidation Ratio	1	NC clay
Seepage flow parameters		
Residual degree of saturation (%)	5	Calibrated against Gallipoli et al. 2003
Saturated degree of saturation (%)	100	
g_n (or n)	1.6	
g_s (or α ; 1/m)	0.04	
Pore connectivity (g_l)	0.5	
Saturated hydraulic conductivity (m/s)	1×10^{-9}	

2.3 การศึกษาผลกระทบของต้นไม้บริเวณข้างถนน

งานวิจัยนี้จะทำการอ้างอิงมาตรฐานระยะความปลอดภัยจาก NHBC 2020 ซึ่งระยะปลอดภัยของโครงสร้างที่มีความสูงไม่มากที่อยู่บนดินที่มีความเป็นพลาสติกปานกลาง คือ 0.6H (เมื่อ H คือค่าความสูงของต้นไม้) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ที่มีความสูงของต้นไม้ 10 เมตร จึงมีระยะปลอดภัยคือ 6 เมตร งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอยู่ 4 กรณีด้วยกัน คือ กรณีที่มีต้นไม้อยู่ข้างทางฝั่งเดียว และมีระยะห่างกับถนน 1 เมตร (T1) และ 4 เมตร (T4) ซึ่งมีความต่ำกว่าระยะปลอดภัย ระยะห่างกับถนน 9 เมตร (T9) ซึ่งมีความสูงกว่าระยะปลอดภัย รวมถึงกรณีที่ไม่มีต้นไม้อยู่ข้างทาง (B) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลของต้นไม้ดูน้ำ โดยทั้ง 4 กรณีจะแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 (a) กรณีที่ไม่มีต้นไม้อยู่ข้างทาง, กรณีที่มีต้นไม้อยู่ข้างทางฝั่งเดียว และมีระยะห่างกับถนน (b) 1 เมตร (c) 4 เมตร (d) 9 เมตร

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ผลการดูดน้ำของรากพืชตามฤดูกาลต่อแรงดันน้ำในดิน

รูปที่ 4 ได้แสดงค่าแรงดันน้ำในดินจากกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณี ซึ่งเป็นค่าที่แสดงหลังจากฤดูฝนปีที่ 5 โดยค่าที่เป็นลบจะแสดงถึง suction และค่าที่เป็นบวกจะแสดงถึงค่าแรงดันน้ำในดิน

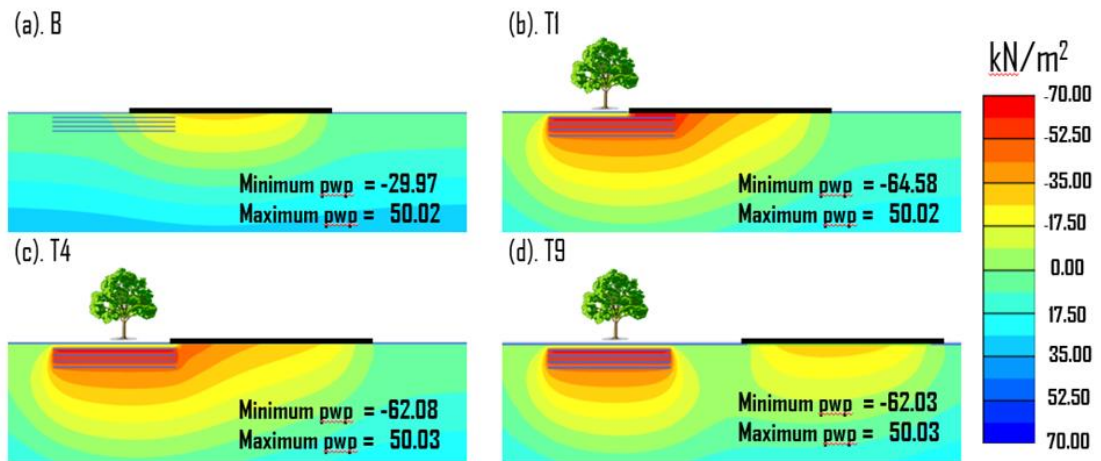
สำหรับกรณีที่ไม่มีต้นไม้ จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันน้ำในดินมีค่าต่ำสุดที่กลางถนนเทียบกับปลายถนน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำฝนไม่สามารถซึมผ่านผิวถนนได้โดยตรง ในกรณีของรากต้นไม้ช่วงฤดูฝนกรณีจะมีค่า suction มากที่สุดอยู่จุดที่ความลึกลงไป 0.25 เมตร ณ บริเวณรากต้นไม้ โดยจะวัดค่า suction ได้ประมาณ 29.97 kPa สำหรับกรณีที่ไม่มีต้นไม้ และ 64 kPa สำหรับกรณีที่มีต้นไม้ห่างฝั่งเดียวที่มีระยะห่างจากต้นไม้ 1 เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังฤดูฝนค่า suction ในกรณีที่มีต้นไม้มีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่มีต้นไม้ประมาณสองเท่า ทั้งนี้เนื่องจากค่า suction เริ่มต้นสูงกว่า ทำให้การไหลของน้ำในดินมีค่าต่ำกว่า และในฤดูฝนสามารถคงระดับ suction ที่สูงกว่าได้

ในกรณีของถนนที่มีต้นไม้ จะพบค่าความแตกต่างของค่า suction ที่ถนนฝั่งซ้ายและขวาซึ่งใกล้และไกลสุดต้นไม้ ซึ่งเป็นผลชัดเจนจากการดูดน้ำที่รุนแรงของต้นไม้ และค่า suction ที่คงค้างอยู่ในฤดูฝน โดยความแตกต่างนี้จะมีค่ามากสุดในกรณีของถนนที่อยู่ติดต้นไม้ เท่ากับ 64 kN/m² และค่าจะลดลงไปเมื่อระยะห่างของถนนกับต้นไม้เพิ่มขึ้น และเมื่อถึงกรณีที่ถนนห่างกับต้นไม้ 9 เมตรจะเห็นได้ว่า suction ของถนนทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวาจะมีค่าที่ไม่ต่างกัน เพราะเนื่องมาจากในกรณีนี้ถนนจะไม่ได้รับอิทธิพลจากการดูดน้ำของต้นไม้แล้ว

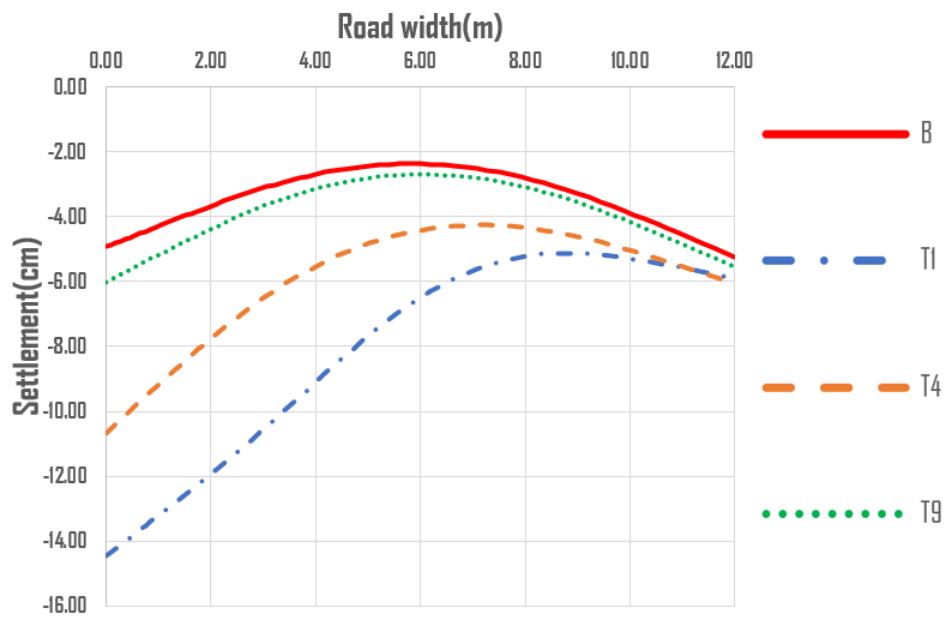
3.2 ผลการดูดน้ำของรากพืชตามฤดูกาลต่อการเคลื่อนตัวของถนน

ค่าการทรุดตัวของถนนทั้ง 4 กรณีหลังจากฤดูฝนปีที่ 5 จะถูกแสดงในรูปที่ 5 ในกรณีที่มีต้นไม้ พบว่ามีการทรุดตัวกลางถนนน้อยกว่าปลายถนน ทั้งนี้เนื่องความต่างของค่าแรงดันน้ำในดินภายใต้ถนน จากรูปที่ 5 โดยมีการทรุดตัวประมาณ 5 เซนติเมตร ใกล้เคียงกันทั้งสองด้าน ในกรณีที่มีต้นไม้ค่าการทรุดตัวใกล้ฝั่งต้นไม้จะมากกว่าฝั่งที่ไม่มีต้นไม้ซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงดันน้ำในรูปที่ 5 ค่าการทรุดตัวที่มากที่สุดมีค่าประมาณ 14 เซนติเมตร ในกรณีของถนนที่มีต้นไม้อยู่ฝั่งเดียวที่ความห่าง 1 เมตร (T1) เนื่องจากเป็นกรณีที่บริเวณใต้ถนนมีค่า suction ที่มากที่สุด และจะมีค่าลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่อระยะห่างของถนนและต้นไม้ห่างกันไป

เรื่องของการทรุดตัวที่ต่างกันก็เป็นเรื่องที่ต้องพิจารณา เนื่องจากเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างได้ โดยที่ค่าการทรุดตัวต่างกันที่มากที่สุดคือกรณีของถนนที่มีต้นไม้อยู่ฝั่งเดียวที่ความห่าง 1 เมตร (T1) โดยจะมีค่าการทรุดตัวที่ต่างกันถึง 9 เซนติเมตร โดยสาเหตุเกิดจากทางใต้ฝั่งซ้ายของถนนจะมีค่า suction ที่สูง และ



รูปที่ 4 ค่าแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากการดูดน้ำของรากพืชใน 4 กรณี

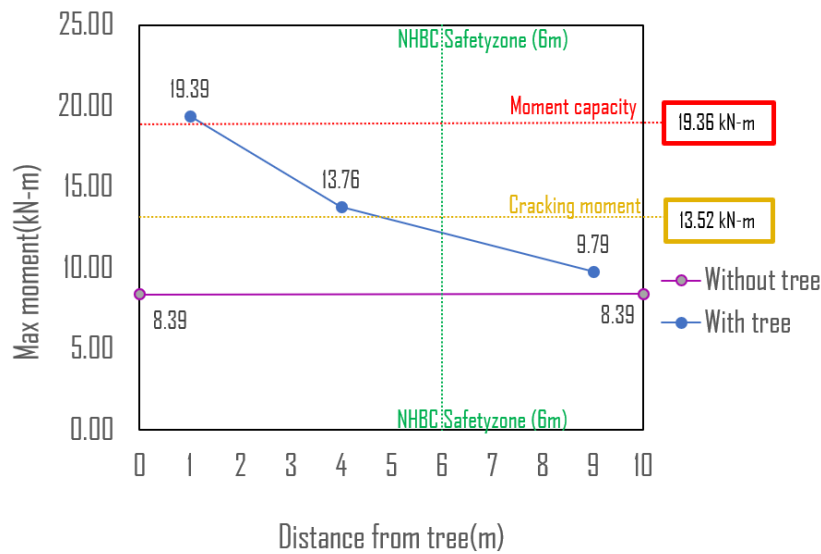


รูปที่ 5 ค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการดูดน้ำของรากพืชใน 4 กรณี

suction ของบริเวณฝั่งขวาของใต้ถนนมีค่าน้อยและมีค่าที่คงที่ในทุกกรณี ดังนั้นเมื่อระยะห่างของต้นไม้กับถนนมากขึ้น ค่าการทรุดตัวที่ต่างกันก็จะน้อยลง และที่ระยะห่าง 9 เมตร (T9) จะมีการทรุดตัวที่ต่างกันมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีต้นไม้ นั่นแสดงให้เห็นว่ากรณีนี้ไม่ได้รับผลจากการดูดน้ำของต้นไม้

3.3 โมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นบนถนนเนื่องจากการดูดน้ำของรากพืชตามฤดูกาล

รูปที่ 6 ได้แสดงค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นในถนนจากทั้ง 4 กรณี โดยกรณีที่ไม่มีถนนนั้นจะมีค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นเพียง 8.39 kN-m ส่วนกรณีที่มีต้นไม้ ค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากในกรณีของถนนที่มีต้นไม้ความห่าง 1 เมตร (T1) ซึ่งมีค่า 19.39 kN-m และ



รูปที่ 6 ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการดูดน้ำของรากพืชใน 4 กรณี

จะลดลงเมื่อต้นไม้ห่างจากถนน โดยจะเห็นได้ว่าในกรณีที่ไม่มีต้นไม้กับกรณีถนนห่างกับต้นไม้ 9 เมตร (T9) นั้นมีค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากกรณีของ T9 มีค่าการทรุดตัวบริเวณใต้ผิวถนนมีค่าใกล้เคียงกัน

ค่า Moment capacity คือค่าที่บอกถึงโมเมนต์ตัดสูงสุดที่ถนนจะรับได้ ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นนั้นหากมีค่าสูงมากเกินไปก็จะส่งผลกระทบต่อถนนได้ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของความปลอดภัยหรือความสามารถในการใช้งานได้ ส่วน Cracking moment ของถนนคือ โมเมนต์สูงสุดก่อนที่ถนนคอนกรีตจะเริ่มจะเกิดความเสียหาย โดยเมื่อเกิดความเสียหายจะทำให้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เซียของหน้าตัดลดลง และส่งผลให้ถนนมีการแอ่นตัวที่มากขึ้น ซึ่งเมื่อคำนวณออกมาจะได้ค่า Moment capacity = 19.36 kN-m และ Cracking moment = 13.52 [22-23] โดยกรณีที่มีค่าโมเมนต์สูงสุดเกิน Moment capacity จะมี T1 เพียงกรณีเดียวเท่านั้น ส่วนผลของกรณี T4 และ T9 (ต้นไม้ในระยะ 4 และ 9 เมตร) พบว่ามีค่าไม่เกิน Moment capacity ซึ่งมีความแตกต่างจาก แนวทางที่ของ NHBC (2020) ที่เสนอว่าระยะปลอดภัยคือ 6 เมตรขึ้นไป ในส่วนของ Cracking moment กรณีถนนที่มีโมเมนต์สูงสุดเกินจะมีกรณี T1 และ T4 จึงสามารถสรุปได้ว่าหากมีต้นไม้อยู่ใกล้ถนนในระยะ 0.1H จะส่งผลให้เกิดรอยร้าวและทำให้ถนนไม่มีความสามารถในการใช้งานได้ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาและหลีกเลี่ยงที่จะให้มีต้นไม้อยู่บริเวณห่างจากถนน 0.1H เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผู้ใช้ถนนตามมา

4. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้มีระยะห่างของถนนกับต้นไม้ที่ศึกษาอยู่ 3 ระยะห่าง นั่นคือ 1 , 4 และ 9 เมตร ดังนั้นจึงกำหนดใหม่ได้คือ 0.1H 0.4H และ 0.9H ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์พบว่าค่าแรงดันน้ำและแรงดูดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งค่าแรงดูดสูงสุดจะเกิดแถวบริเวณรากต้นไม้ในช่วงความลึก 0.25 เมตร ค่าการทรุดตัวจะแปรผันกลับระยะห่างของต้นไม้กับถนน ยิ่งระยะใกล้กัน ค่าการทรุดตัวก็ยิ่งจะสูงขึ้น โดยเรียงค่าการทรุดตัวจากมากไปน้อยคือ กรณีที่ถนนมีต้นไม้ข้างทาง 1 ต้น 0.1H, 0.4H, 0.9H และกรณีที่ไม่มีต้นไม้ เมื่อเทียบกับค่า Moment capacity ของถนน จะพบว่าถนนจะเกิดความเสียหายเมื่อต้นไม้อยู่ภายในระยะ 1 เมตร และอาจจะพบรอยแตกร้าวได้ภายในระยะ 4 เมตร และไม่พบผลกระทบที่ชัดเจนเมื่อต้นไม้อยู่ห่างเป็นระยะ 9 เมตร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนพัฒนานักวิจัย เลขที่ ทุน KREF046012 จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และทุนพัฒนาบุคลากรและการวิจัยเพื่อฐานทางวิชาการ ภายใต้กรอบความร่วมมือไทย-จีน (NRCT-NSFC); Climate Change & Climate Variability Research in Monsoon Asia (CMON3) จาก สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Robert W. Day, Member, ASCE (1991). Damage of Structures due to Tree Roots. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, volume 5, No. 3, August 1991, pp.200-2007.
- [2] Biddle, P. G. (1979). Tree root damage to buildings—An arboriculturist's experience. *Arboricultural J.*, 3(6), pp.397-412.
- [3] T.B. Randrup, E.G. McPherson & L.R. Costello. (2001). A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs, and roads. *Urban Ecosystems*, volume 5, pp.209–225.
- [4] Li, J., & Guo, L. (2017). Field Investigation and Numerical Analysis of Residential Building Damaged by Expansive Soil Movement Caused by Tree Root Drying. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, volume 31, Issue 1, February 2017.
- [5] Take, W.A. & Bolton, M.D. (2011). Seasonal ratcheting and softening in clay slopes, leading to first-time failure. *Géotechnique*, 61(9), pp.757-769.
- [6] Biddle, P.G. (1983). Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees on clay soils. *Geotechnique*, 33(2), pp.107-126.
- [7] Ng, C.W.W., Woon, K.X., Leung, A.K. & Chu, L. M. (2013). Experimental investigation of induced suction distribution in a grass-covered soil. *Ecological engineering*, 52, pp.219-223.
- [8] B. G. Richards, P. Peter, and W. W. Emerson. The effects of vegetation on the swelling and shrinking of soils in Australia. *Géotechnique*, Volume 33 Issue 2, June 1983, pp. 127-139.
- [9] NHBC Standards (2020). NHBC Standards Chapter 4.2. Building near trees. National House-Building Council. London.
- [10] L. M. Zhang, and A. M. Y. Ng. Probabilistic limiting tolerable displacements for serviceability limit state design of foundations. *Géotechnique*, Volume 55 Issue 2, March 2005, pp. 151-161.
- [11] The Buildings Department. *Code of Practice for Foundations 2017*, pp.23-25.
- [12] A.G. Bernal, E.A. Méndez, and H.J. García, (2017). Maximum bending moments in a RC two-way slab subjected to wall loads. *Procedia Engineering*, volume 199, pp.429-434.
- [13] Hernandez-Santana, V., Rodriguez-Dominguez, C.M., Fernández, J.E. & Diaz-Espejo, A. (2016). Role of leaf hydraulic conductance in the regulation of stomatal conductance in almond and olive in response to water stress. *Tree physiology*, 36(6), pp.725-735.
- [14] Michael F. Atkinson, (2005). *Structural Defects Reference Manual for Low-Rise Buildings*. Taylor & Francis Group, pp.264.
- [15] V Kamchoom, AK Leung Proc. (2018). A simplified modelling method of seasonal tree root-water uptake effects on pore-water pressure and ground subsidence. *Proc. of the 7th International Conference on Unsaturated Soils*.
- [16] David Mašín, and Nasser Khalili. A hypoplastic model for mechanical response of unsaturated soils. *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech*, volume32, Issue15, 25 October 2008, pp. 1903-1926.
- [17] Kannica Yoothong, Lek Moncharoen, Pisuth Vijarnsona, and Hari Eswaran. Clay mineralogy of Thai soils. *Applied Clay Science*, volume 11, Issues 5–6, May 1997, pp. 357-371.
- [18] กรมทรัพยากรธรณี. แหล่งดินเหนียวในไทย, หน้า 74-81.
- [19] Suksun Horpibulsuk, Narongded Yangsukkaseam, Avirut Chinkulkijniwat, and Yan JunDu. Compressibility and permeability of Bangkok clay compared with kaolinite and bentonite. *Applied Clay Science*, volume 52, Issues 1–2, April 2011, pp.150-159.
- [20] Plaxis. *Scientific manual*, PLAXIS, The Netherlands.
- [21] กรมทางหลวง. มาตรฐานทางหลวงของกรมทางหลวง.
- [22] สาโรจน์ ดำรงค์ศิลป์ (2016). การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน. หน้า 25-47.
- [23] มงคล จิราวัชรเดช (2014). การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก. สำนักพิมพ์ ตั้มซีวิล ดอท คอม. หน้า 244-263.