

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อเสาเข็ม

7.1 กล่าวนำ

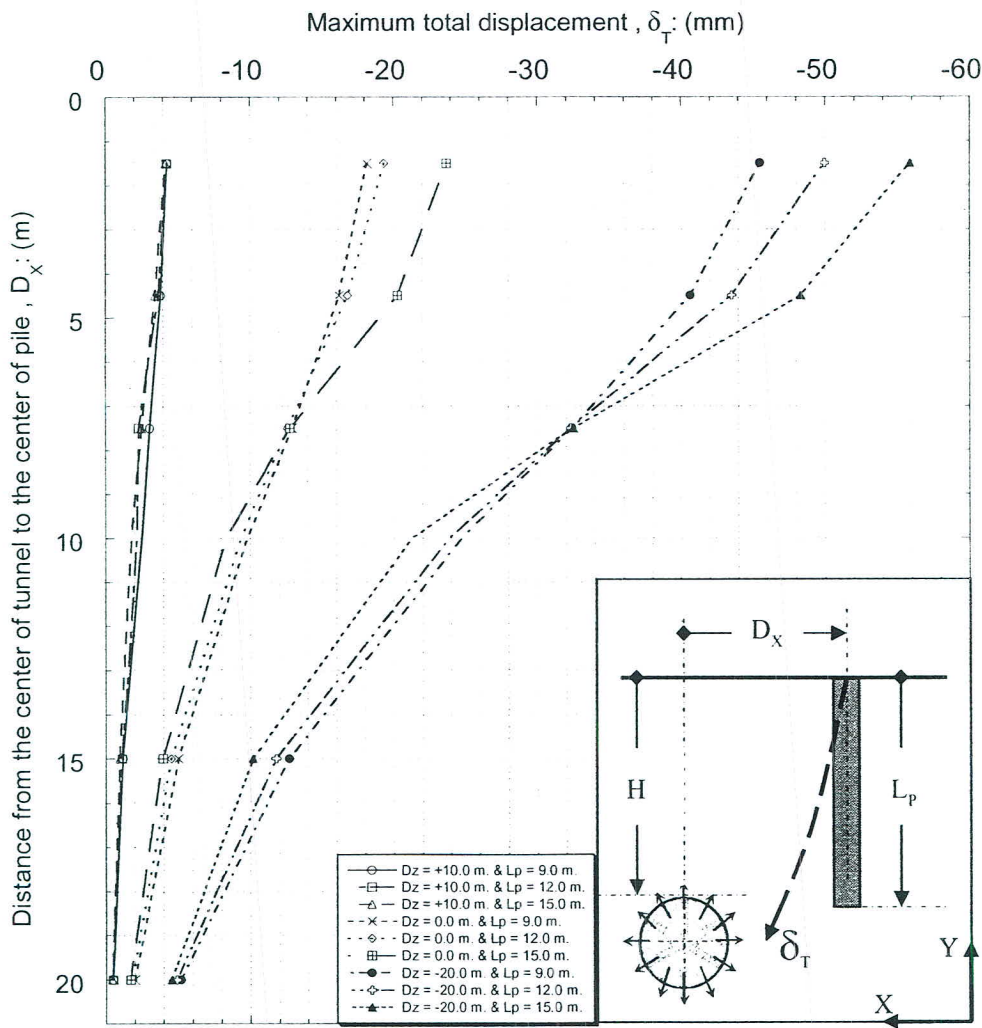
เมื่อทำการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดินจะเกิดการเคลื่อนตัวขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อเสาเข็มชั้นที่มีระดับปลายของเสาเข็มเหนือระดับยอดของอุโมงค์ ดังนั้นในบทนี้จะได้กล่าวถึงผลของการวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มเดี่ยวที่เกิดขึ้นเมื่อเสาเข็มอยู่ในสภาวะรับน้ำหนักบรรทุก โดยจะกล่าวถึง การเคลื่อนตัวรวมของเสาเข็ม (Total displacement, δ_T) การเคลื่อนตัวทางแนวนอนในแต่ละแนวแกนทั้งแกน X และแกน Z ของเสาเข็ม (Horizontal displacement, δ_x และ δ_z) และแรงตามแนวแกน (Axial force, F_p) ที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งสรุปและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ และได้เสนอกราฟความสัมพันธ์เพื่อการออกแบบ เพื่อใช้ประเมินผลกระทบต่อเสาเข็มจากการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร

7.2 พฤติกรรมการเคลื่อนตัวรวมของเสาเข็ม (δ_T)

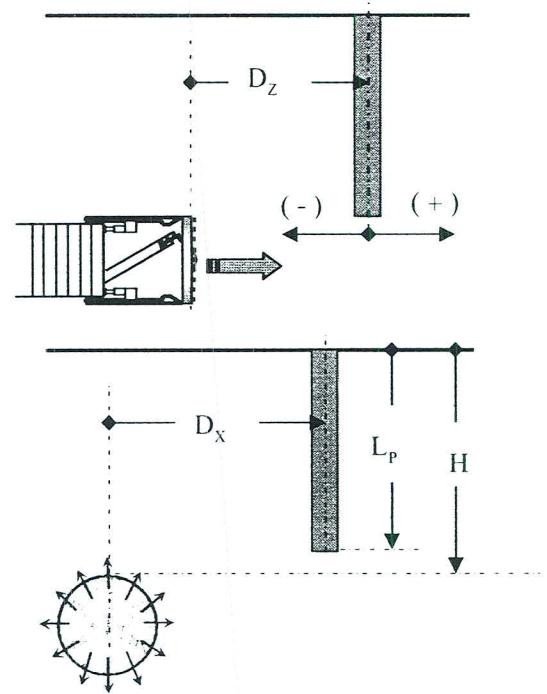
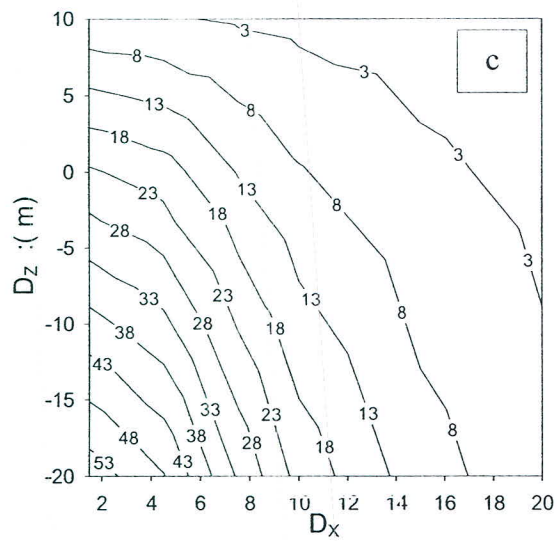
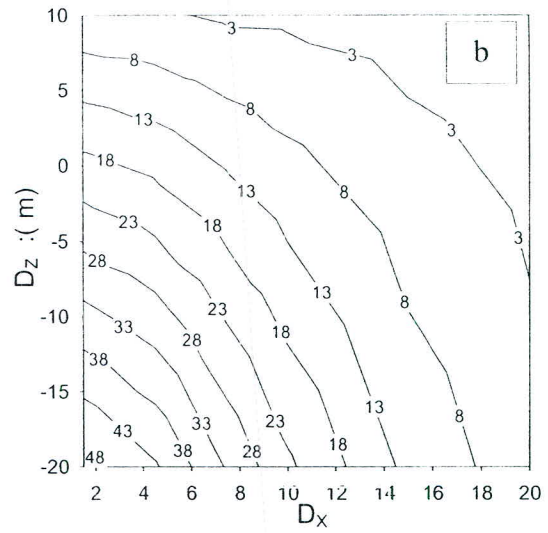
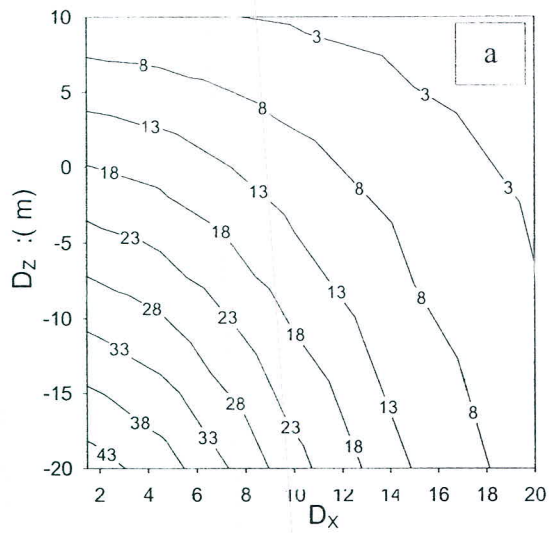
รูปที่ 7.1 แสดงค่าการเคลื่อนตัวรวม δ_T ของเสาเข็ม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการขุดเจาะอุโมงค์ในดินเหนียวอ่อนมีผลกระทบต่อการเคลื่อนตัวของเสาเข็มอย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะของการเคลื่อนตัวของเสาเข็มชั้นในสภาวะรับน้ำหนักบรรทุกจะเกิดการเคลื่อนตัวในลักษณะที่ปลายเสาเข็มเคลื่อนตัวเข้าหาแนวเส้นผ่านศูนย์กลางในแนวตั้งของอุโมงค์ เมื่อพิจารณาระยะของเสาเข็มที่อยู่ด้านหน้าของหัวเจาะ $D_z > 0$ พบว่าเสาเข็มจะมีการเคลื่อนตัวรวมค่อนข้างน้อย ซึ่งมีค่าการเคลื่อนตัวรวมสูงสุดเท่ากับ 4.3 มิลลิเมตร และระยะตำแหน่งของปลายเสาเข็ม L_p มีผลต่อการเคลื่อนตัวรวมน้อยมาก โดยที่เมื่อระยะของเสาเข็มจากด้านหน้าของหัวเจาะเท่ากับค่าการเคลื่อนตัวรวมของเสาเข็มที่ตำแหน่งปลายเสาเข็มที่แตกต่างกันจะยังคงมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมาก แต่เมื่อเสาเข็มมีระยะเท่ากับหน้าหัวเจาะหรือเสาเข็มอยู่ที่ตำแหน่งเท่ากับหัวเจาะ $D_z = 0$ เสาเข็มจะมีการเคลื่อนตัวรวมที่เพิ่มมากขึ้น มีค่าการเคลื่อนตัวรวมสูงสุดเท่ากับ 23.7 มิลลิเมตร ในเสาเข็มที่มีค่า L_p เท่ากับ 15 เมตร เมื่อระยะของเสาเข็มอยู่ด้านหลังของหัวเจาะ $D_z < 0$ เสาเข็มจะมีการเคลื่อนตัวรวมสูงที่สุดซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 56 มิลลิเมตร ในเสาเข็มที่มีค่า L_p เท่ากับ 15 เมตร ซึ่งเสาเข็มอาจจะเกิดความเสียหายขึ้นได้ เสาเข็มที่มีระยะเท่ากับหัวเจาะและอยู่ด้านหลังของหัวเจาะนี้ เมื่อระยะตำแหน่งของปลายเสาเข็มมีค่าแตกต่างกันจะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวรวมที่แตกต่างกัน โดยที่เมื่อพิจารณาจากระยะห่างของเสาเข็มกับอุโมงค์ทางแนวนอน D_x ที่ระยะจาก 0 ถึง 7.50 เมตร พบว่าการเคลื่อนที่รวมของเสาเข็มจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความลึกของระดับปลายเสาเข็มจากผิวดิน แต่เมื่อพิจารณาระยะ D_x

จาก 7.50 เมตร ห้างออกไปพบว่าเสาเข็มจะมีค่าการเคลื่อนตัวรวมที่มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อระดับความลึกของปลายเสาเข็มมีค่าเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 7.2 (a) ถึงรูปที่ 7.2 (c) แสดงค่าการเคลื่อนตัวรวมของเสาเข็มเมื่อมีระยะห่างจากศูนย์กลางของเสาเข็มถึงศูนย์กลางของอุโมงค์แตกต่างกันและมีค่าระยะห่างจากศูนย์กลางของเสาเข็มถึงหน้าหัวเจาะที่แตกต่างกัน จากรูปพบว่าเสาเข็มจะเกิดการเคลื่อนตัวมากขึ้นเมื่อระยะ L_p เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งเมื่อระยะ D_z ลดลงจาก 10 ถึง -20 เมตรและ D_x ลดลงจาก 20 ถึง 0 เมตร จะทำให้ค่าการเคลื่อนตัว δ_T เพิ่มมากขึ้น



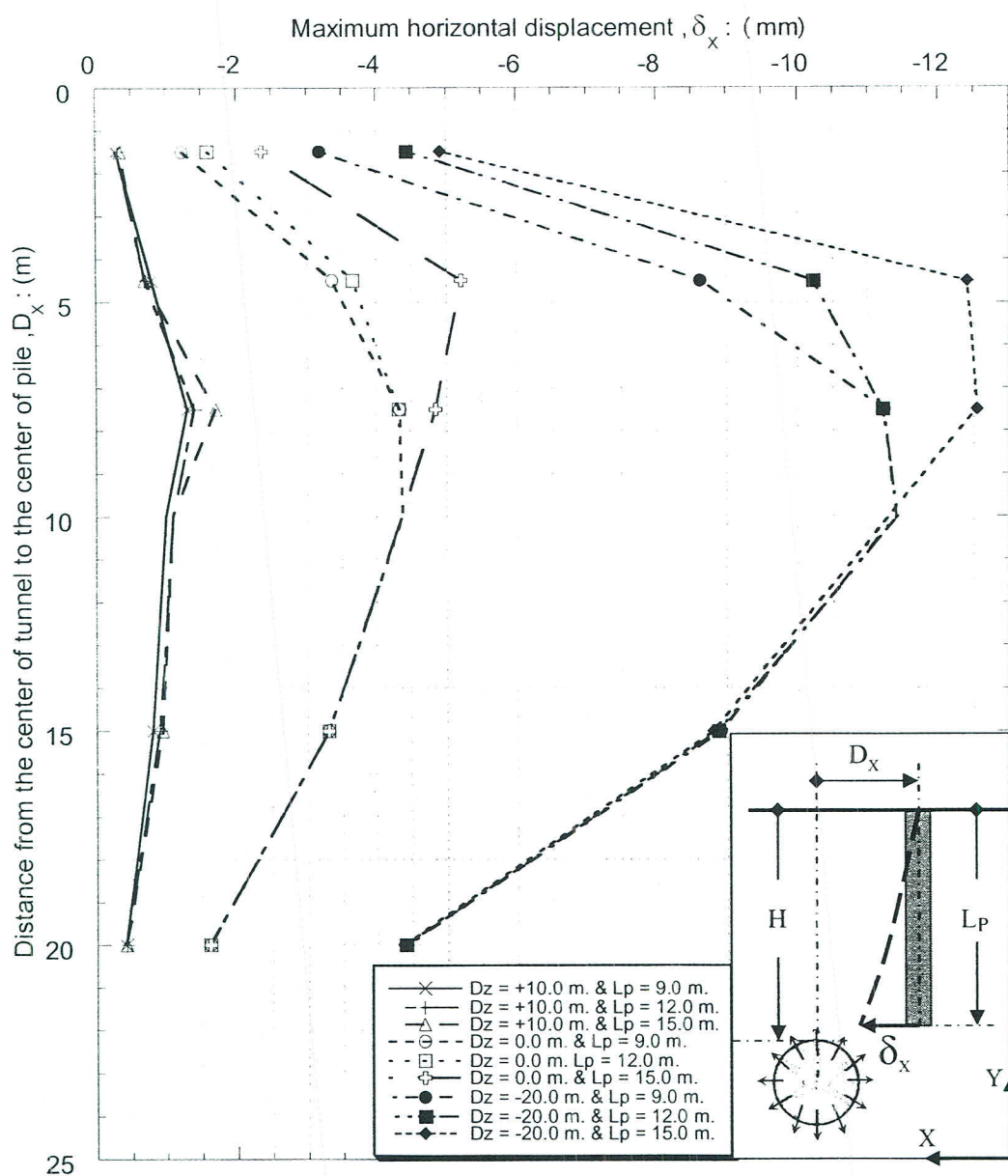
รูปที่ 7.1 ค่า Total displacement, δ_T ของเสาเข็มที่มีระยะห่างจากด้านหน้าของหัวเจาะ D_z และตำแหน่งปลายของเสาเข็ม L_p ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 7.2 ค่าการเคลื่อนตัวรวมของเสาเข็ม δ_T เมื่อระยะ D_x และ D_z แตกต่างกัน: (a) $L_p = 9.0$ m.,
(b) $L_p = 12.0$ m., (c) $L_p = 15.0$ m.

7.3 พฤติกรรมการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน X ของเสาเข็ม (δ_x)

รูปที่ 7.3 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน X ของเสาเข็ม δ_x ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน X ของเสาเข็มมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันเมื่อมีระยะของเสาเข็มที่อยู่หน้าของหัวเจาะและตำแหน่งของปลายเสาเข็มที่มีค่าแตกต่างกัน โดยพฤติกรรมของเสาเข็มจะเคลื่อนตัวทางแนวราบเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะห่างจากศูนย์กลางของเสาเข็มถึงศูนย์กลางของอุโมงค์เพิ่มมากขึ้นจนมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นการเคลื่อนตัวในแนวราบจะมีค่าลดลงเมื่อระยะ D_x เพิ่มมากขึ้น คือเมื่อเสาเข็มมีระยะของเสาเข็มอยู่หน้าของหัวเจาะ $D_z > 0$ เสาเข็มจะมีการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน X น้อยมากซึ่งมีค่าสูงสุดประมาณ 1 มิลลิเมตรเท่านั้น และตำแหน่งของปลายเสาเข็ม L_p ที่แตกต่างกันมีผลต่อการเคลื่อนตัวทางแนวราบน้อยมากเช่นเดียวกัน โดยที่ตำแหน่งของปลายเสาเข็มที่แตกต่างกันทั้งสามตำแหน่ง (L_p เท่ากับ 9, 12, 15 เมตร) จะมีค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบสูงสุดที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อเสาเข็มมีระยะเท่ากับหน้าหัวเจาะ $D_z = 0$ เสาเข็มจะมีค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.8 มิลลิเมตร ในเสาเข็มที่มีค่า L_p เท่ากับ 15 เมตร ในขณะที่เมื่อระยะของเสาเข็มอยู่ด้านหลังของหัวเจาะ $D_z < 0$ เสาเข็มจะมีการเคลื่อนตัวทางแนวราบสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร ในเสาเข็มที่มีค่า L_p เท่ากับ 15 เมตร เสาเข็มที่มีระยะเท่ากับหัวเจาะและอยู่ด้านหลังของหัวเจาะนี้ เมื่อระยะตำแหน่งของปลายเสาเข็มมีค่าแตกต่างกันจะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวทางแนวราบที่แตกต่างกัน โดยที่เมื่อพิจารณาจากระยะห่างของเสาเข็มกับอุโมงค์ทางแนวขวาง D_x ที่ระยะจาก 0 ถึง 10.0 เมตร พบว่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบของเสาเข็มจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความลึกของระดับปลายเสาเข็ม แต่เมื่อพิจารณาระยะ D_x จาก 10.0 เมตร ห่างออกไปพบว่า ถึงแม้เสาเข็มจะมีระดับปลายเสาเข็มที่แตกต่างกันก็ตามแต่ค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบก็ยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ระยะ D_x เท่ากับ 4.50 เมตร และ 7.50 เมตร ตามลำดับ สำหรับเสาเข็มที่มีระยะเท่ากับหัวเจาะและอยู่ด้านหลังของหัวเจาะและมีระยะตำแหน่งของปลายเสาเข็มที่แตกต่างกันทั้งสามตำแหน่ง การเคลื่อนตัวของเสาเข็มทางแนวราบในแนวแกน X จะมีลักษณะที่เคลื่อนตัวเข้าหาอุโมงค์ในทุกกรณี

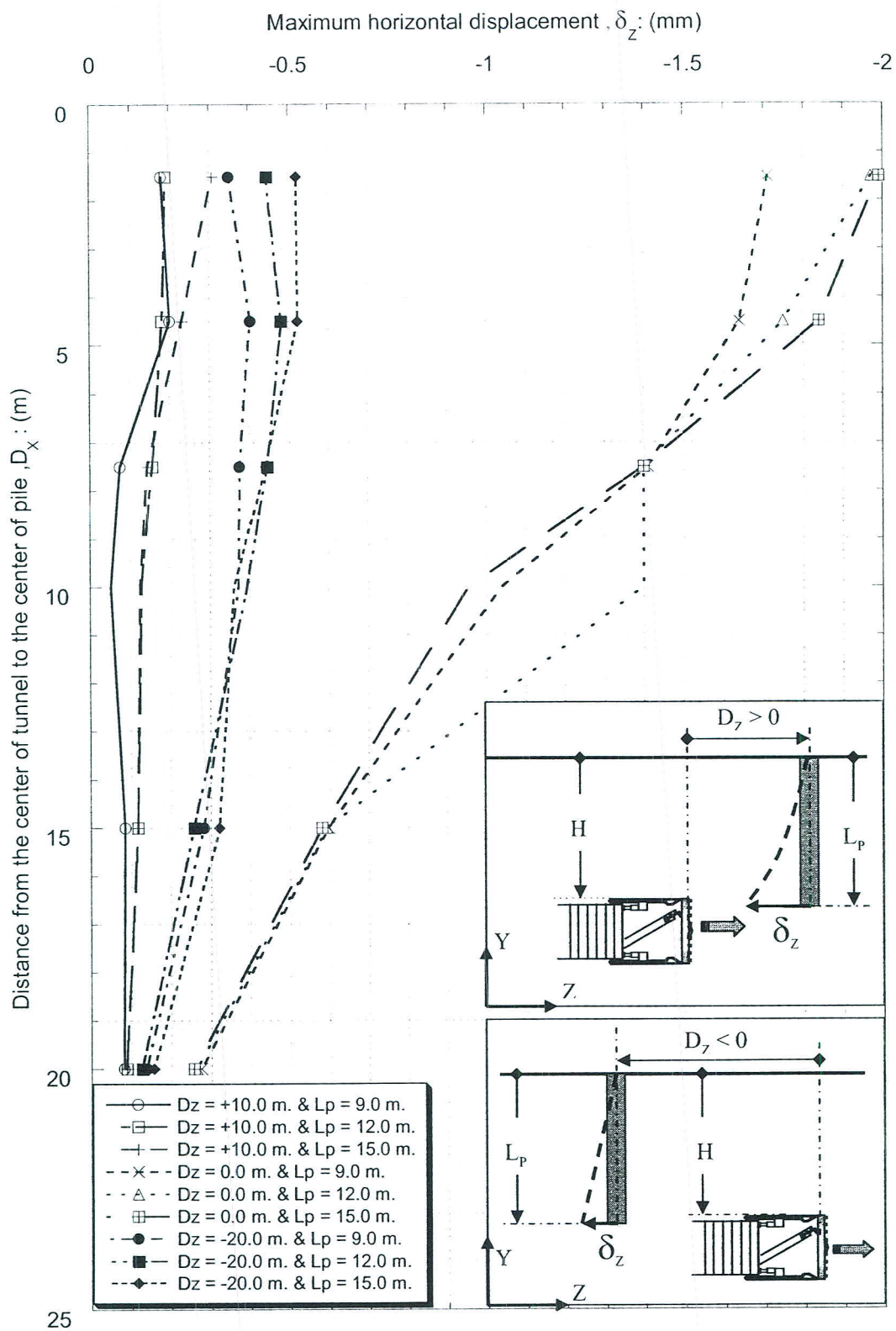


รูปที่ 7.3 ค่า Horizontal displacement, δ_x ทางแนวแกน X ของเสาเข็มที่มีระยะห่างจากด้านหน้าของหัวเจาะ D_z และตำแหน่งปลายของเสาเข็ม L_p ที่แตกต่างกัน

7.4 พฤติกรรมการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน Z ของเสาเข็ม (δ_z)

รูปที่ 7.4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน Z ของเสาเข็ม δ_z ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน Z ของเสาเข็มมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันเมื่อมีระยะของเสาเข็มที่อยู่ห่างจากหน้าของหัวเจาะ D_z และตำแหน่งของปลายเสาเข็ม L_p ที่มีค่าที่แตกต่างกัน และมีพฤติกรรมที่แตกต่างกับการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน X อย่างมากทั้งลักษณะการเคลื่อนตัวและค่าการเคลื่อนตัว โดยพฤติกรรมของเสาเข็มที่เคลื่อนตัวทางแนวราบจะลดลงเมื่อระยะห่าง

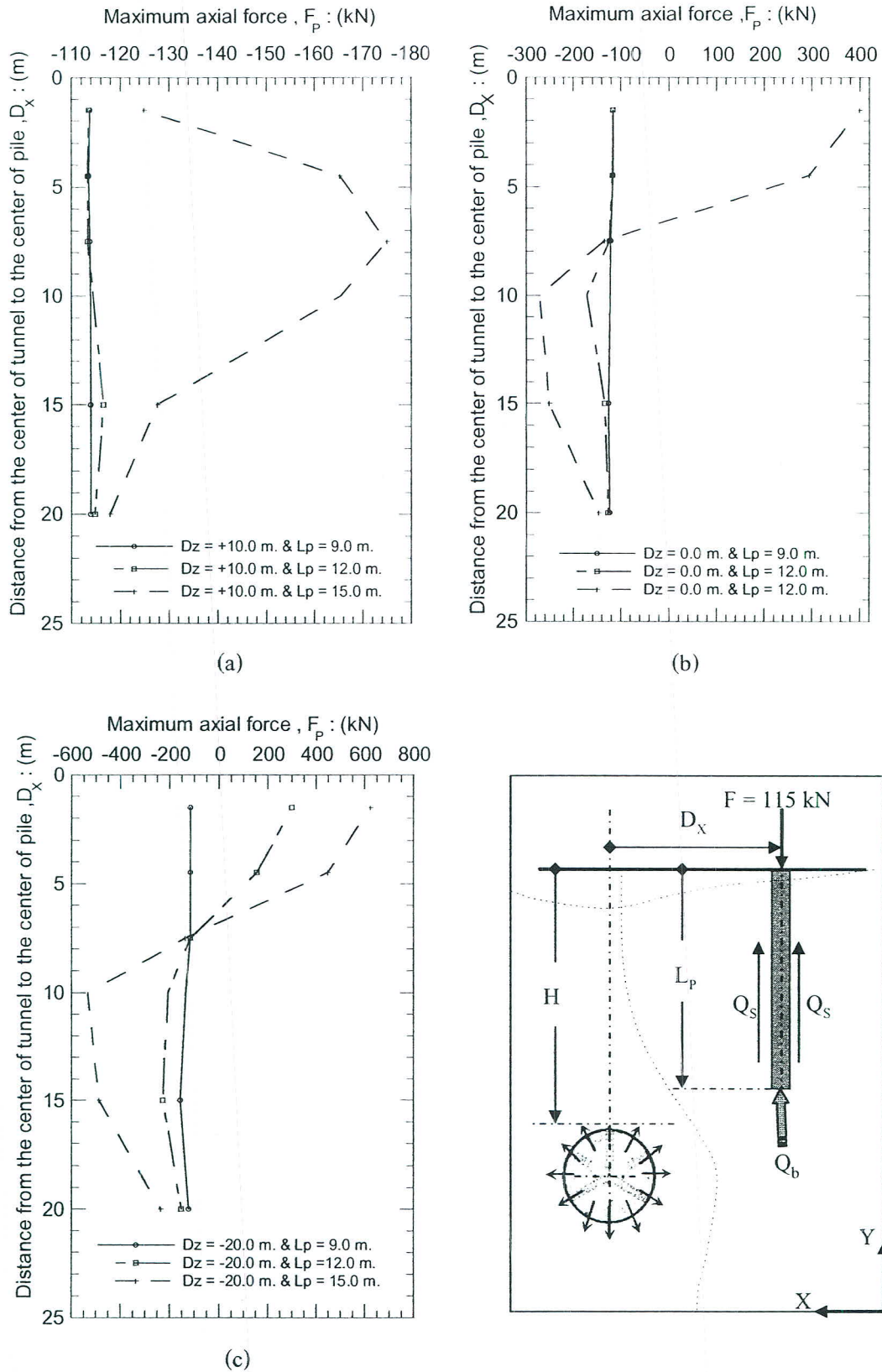
จากศูนย์กลางของเสาเข็มถึงศูนย์กลางของอุโมงค์ D_x มีค่าเพิ่มมากขึ้น คือเมื่อเสาเข็มมีระยะของเสาเข็มอยู่ทางด้านหน้าของหัวเจาะ $D_z > 0$ เสาเข็มจะมีค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน Z ที่มีค่าน้อยมากคือมีค่าประมาณ 0.3 มิลลิเมตรเท่านั้น และปลายเสาเข็มที่แตกต่างกันทั้งสามตำแหน่งมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนตัวทางแนวราบในแนวแกน Z ที่มีค่าใกล้เคียงกันแตกต่างกันน้อยมาก เมื่อการขุดเจาะอุโมงค์ดำเนินต่อไปจนมีระยะของหน้าหัวเจาะเท่ากับตำแหน่งแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม $D_z = 0$ การเคลื่อนตัวในแนวราบของเสาเข็มจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ในเสาเข็มที่มีค่า L_p เท่ากับ 15 เมตร และตำแหน่งปลายเสาเข็มที่มีค่าที่แตกต่างกันจะก่อให้เกิดพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวและค่าการเคลื่อนตัวที่มีค่าแตกต่างกัน โดยที่เมื่อพิจารณาจากระยะห่างของเสาเข็มกับอุโมงค์ทางแนวขวาง D_x ที่ระยะจาก 0 ถึง 7.50 เมตร พบว่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบของเสาเข็มจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความลึกของระดับปลายเสาเข็ม แต่เมื่อพิจารณาจากระยะจาก 7.50 เมตร ห่างออกไปการเคลื่อนตัวของเสาเข็มจะมีค่าใกล้เคียงกัน เสาเข็มที่มีระยะเท่ากับหัวเจาะและอยู่ด้านหน้าของหัวเจาะนี้ จะมีค่าการเคลื่อนตัวในทิศทางที่มุ่งเข้าสู่ด้านหน้าของหัวเจาะ ในขณะที่เมื่อการขุดเจาะอุโมงค์ผ่านเสาเข็มไปแล้ว $D_z < 0$ ลักษณะการเคลื่อนตัวของดินจะทำให้เสาเข็มมีพฤติกรรมที่ทำให้เสาเข็มมีค่าการเคลื่อนตัวในทิศทางตรงกันข้ามกับเสาเข็มที่มีระยะของเสาเข็มอยู่หน้าของหัวเจาะและอยู่ที่ตำแหน่งของหัวเจาะ แต่ค่าการเคลื่อนตัวนั้นจะมีค่าน้อยกว่าการเคลื่อนตัวเมื่อเสาเข็มอยู่ที่ตำแหน่งของหัวเจาะ ทำให้เสาเข็มยังมีทิศทางการเคลื่อนตัวในทิศทางเดิมอยู่ และทำให้ค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบสูงสุดเหลือเพียง 0.50 มิลลิเมตร ในเสาเข็มที่มีค่า L_p เท่ากับ 15 เมตร และค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความลึกที่ระยะห่างของเสาเข็มกับอุโมงค์ทางแนวขวาง D_x ที่มีระยะจาก 0 ถึง 7.50 เมตร และที่ระยะมากกว่า 7.50 เมตร ค่าการเคลื่อนตัวทางแนวราบจะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อปลายเสาเข็มมีค่าแตกต่างกันทั้งสามกรณี



รูปที่ 7.4 ค่า Horizontal displacement, δ_z ทางแนวแกน Z ของเสาเข็มที่มีระยะห่างจากด้านหน้าของหัวเจาะ D_z และมีตำแหน่งปลายของเสาเข็ม L_p ที่แตกต่างกัน

7.5 พฤติกรรมของแรงตามแนวแกนของเสาเข็มจากการเจาะอุโมงค์, F_p

รูปที่ 7.5 แสดงค่าแรงตามแนวแกนของเสาเข็มที่เกิดขึ้นจากการขุดเจาะอุโมงค์เมื่อเสาเข็มมีระยะอยู่ห่างจากด้านหน้าของหัวเจาะ D_z ที่แตกต่างกันและมีตำแหน่งของปลายเสาเข็ม L_p ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะของการเกิดแรงตามแนวแกนและค่าแรงตามแนวแกนมีค่าแตกต่างกันอย่างมาก โดยที่ค่าของแรงตามแนวแกนจะมีค่าลดลงเมื่อเสาเข็มมีระยะห่างจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงศูนย์กลางของอุโมงค์ D_x เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแรงตามแนวแกนจะมีค่าลดลงเรื่อยๆและมีแนวโน้มเข้าใกล้กับแรงภายนอกที่กระทำกับเสาเข็ม เมื่อเสาเข็มมีระยะของเสาเข็มอยู่ทางด้านหน้าของหัวเจาะ $D_z > 0$ ดังรูปที่ 7.5 (a) เสาเข็มที่มีตำแหน่งปลายเสาเข็มอยู่ที่ระดับ 9.0 และ 12.0 เมตรจากผิวดิน ค่าแรงตามแนวแกนจะเป็นแรงอัดและมีค่าสูงสุดเท่ากับ -116 kN ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าของแรงภายนอกที่กระทำกับเสาเข็ม ขณะที่เสาเข็มที่มีตำแหน่งของปลายเสาเข็มอยู่ที่ระดับ 15.0 เมตร ค่าแรงตามแนวแกนจะยังคงเป็นแรงอัดและมีค่าสูงสุดเท่ากับ -175 kN โดยค่าแรงตามแนวแกนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะห่างจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงศูนย์กลางของอุโมงค์เพิ่มมากขึ้นจนมีระยะเท่ากับประมาณ 7.50 เมตร แรงตามแนวแกนจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อการขุดเจาะอุโมงค์ดำเนินต่อไปจนมีระยะของหน้าหัวเจาะเท่ากับตำแหน่งแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม $D_z = 0$ ดังรูปที่ 7.5 (b) เสาเข็มที่มีตำแหน่งของปลายเสาเข็มอยู่ที่ระดับ 9.0 และ 12.0 เมตรจากผิวดิน ค่าแรงตามแนวแกนจะเป็นแรงอัดและมีค่าสูงสุดเท่ากับ -171 kN ในเสาเข็มที่มีตำแหน่งปลายเสาเข็มเท่ากับ 12.0 เมตร ในขณะที่เสาเข็มที่มีตำแหน่งของปลายเสาเข็มอยู่ที่ระดับ 9.0 เมตร ค่าแรงตามแนวแกนยังคงเป็นแรงอัดและมีค่าสูงสุดเท่ากับ -126 kN และมีค่าค่อนข้างคงที่ถึงแม้ว่าระยะห่างจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงศูนย์กลางของอุโมงค์ D_x เพิ่มมากขึ้นก็ตาม แต่ในเสาเข็มที่มีระดับปลายเสาเข็มอยู่ที่ระยะ 15.0 เมตร ค่าการเคลื่อนตัวของดินจะก่อให้เกิดแรงตามแนวแกนที่เป็นแรงดึงเกิดขึ้นในเสาเข็ม คือที่ระยะศูนย์กลางเสาเข็มถึงศูนย์กลางของอุโมงค์ D_x จาก 0 ถึงประมาณ 7.50 เมตร จะเกิดแรงดึงในเสาเข็มและมีค่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ +399 kN และเมื่อระยะ D_x เพิ่มมากขึ้นเกินกว่า 7.50 เมตร ค่าแรงตามแนวแกนจะมีค่าเป็นแรงอัดและมีค่าสูงสุดเท่ากับ -272 kN และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อระยะ D_x เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เมื่อการขุดเจาะอุโมงค์ผ่านเสาเข็มไปแล้ว $D_z < 0$ ดังรูปที่ 7.5 (c) ค่าแรงตามแนวแกนจะเกิดขึ้นทั้งแรงดึงและแรงอัดซึ่งขึ้นอยู่กับระยะของ D_x โดยที่ระยะจาก 0 ถึง 7.50 เมตร ค่าแรงตามแนวแกนจะมีค่าเป็นแรงดึงและมีค่าสูงสุดเท่ากับ +624 kN ในเสาเข็มที่มีค่า L_p เท่ากับ 15 เมตร แต่เมื่อระยะ D_x เพิ่มมากขึ้นเกินกว่า 7.50 เมตร ค่าแรงตามแนวแกนจะมีค่าเป็นแรงอัดและมีค่าสูงสุดเท่ากับ -534 kN ในเสาเข็มที่มีค่า L_p เท่ากับ 15 เมตร และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อระยะ D_x เพิ่มมากขึ้น ตำแหน่งของระดับปลายเสาเข็มก็มีอิทธิพลต่อแรงตามแนวแกนเช่นเดียวกัน โดยค่าแรงตามแนวแกนจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเสาเข็มค่า L_p เพิ่มมากขึ้น

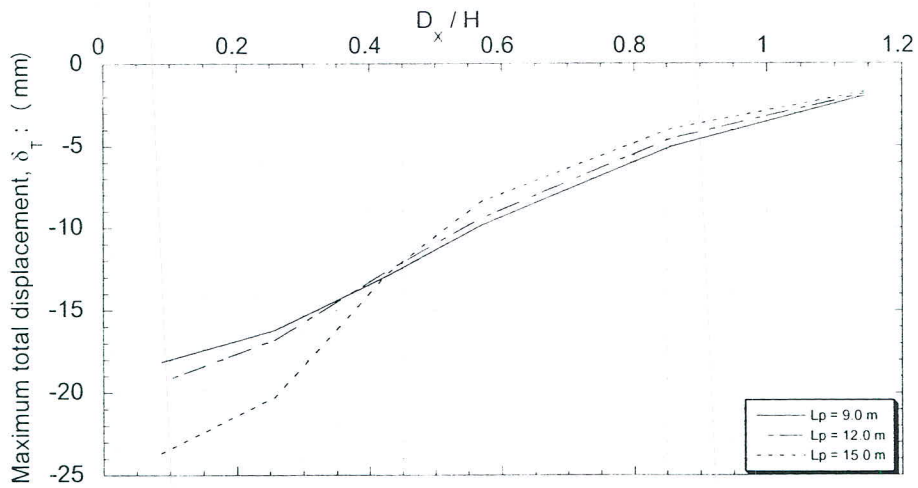


รูปที่ 7.5 ค่า Axial force, F_p ของเสาเข็มที่มีระยะของ D_z ที่แตกต่างกันและระยะ L_p เท่ากับ 9, 12 และ 15 เมตร: (a) $D_z = +10.0$ m., (b) $D_z = 0.0$ m., (c) $D_z = -20.0$ m.

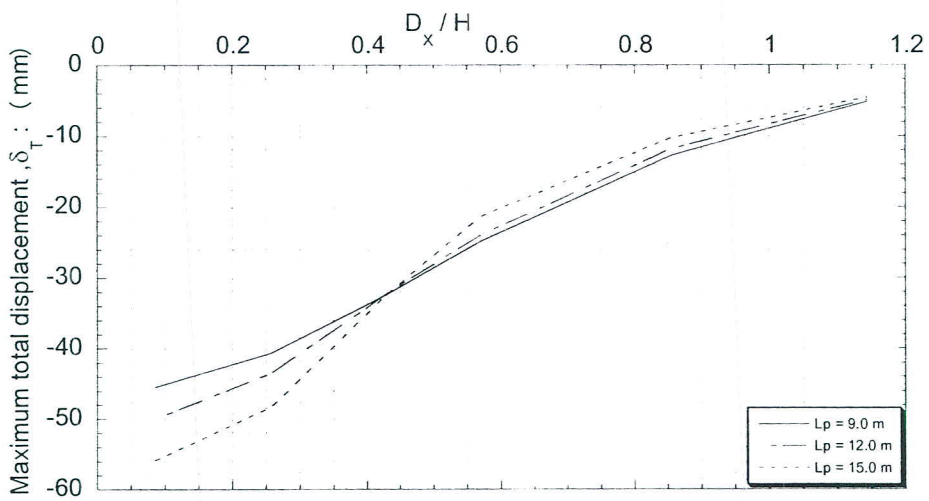
7.6 การประยุกต์ใช้

จากการวิเคราะห์สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อการออกแบบ (Design chart) เพื่อใช้ในการประมาณค่าการเคลื่อนตัว และแรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7.6 และ รูปที่ 7.7 ตามลำดับ แต่ในการใช้จะครอบคลุมเพียงเสาเข็มสั้นที่มีระยะของปลายเสาเข็มจากผิวดินไม่เกินยอดของอุโมงค์ $L_p \leq H$ และเสาเข็มมีขนาดตั้งแต่ 0.30 เมตรขึ้นไปและรับน้ำหนักบรรทุกทุกในสภาวะปกติซึ่ง Longanathan (2011) พบว่าเมื่อเสาเข็มมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้ค่าการเคลื่อนตัวที่น้อยลง และค่าแรงตามแกนมีแนวโน้มที่มากขึ้นทั้งเมื่อเกิดแรงดึงและแรงอัด และจากการวิเคราะห์พบว่า แรงภายนอกที่เพิ่มขึ้นก็มีผลให้แรงตามแกนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นในการใช้กราฟความสัมพันธ์เพื่อการออกแบบมีขั้นตอนดังนี้

- กำหนดการสูญเสียมวลดินที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหรือจากการคำนวณมาจากการขุดเจาะอุโมงค์
- ประมาณค่า D_x / H และอ่านค่า δ_T หรือ F_p จากกราฟ
- ค่าการเคลื่อนตัวสามารถนำไปใช้ได้ทันที
- ส่วนที่เป็นแรงตามแนวแกนถ้าขนาดเสาเข็ม d มากกว่า 0.30 เมตรหรืออาจจะมีแรงภายนอกกระทำมากกว่า 100 kNให้นำค่าดังกล่าวไปคูณด้วยค่าแฟกเตอร์ที่เหมาะสมที่มีค่ามากกว่า 1 อันเนื่องจากขนาดของเสาเข็มที่เพิ่มมากขึ้น



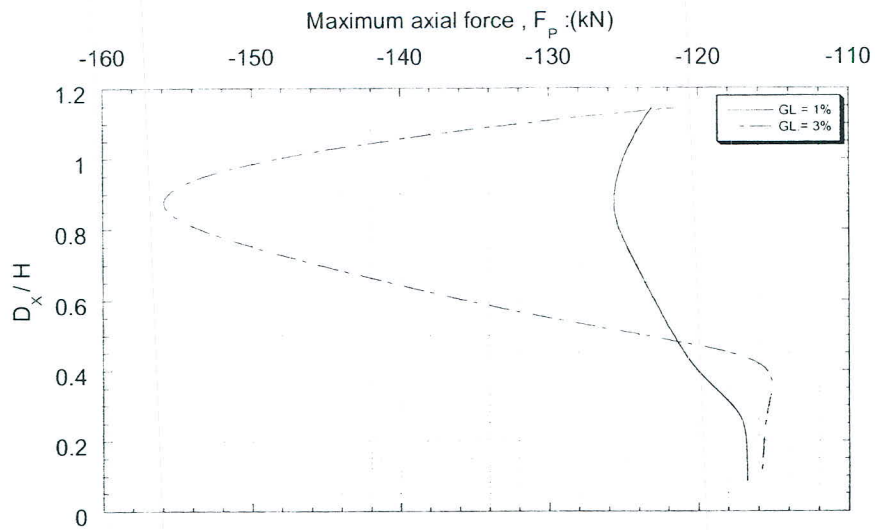
(a)



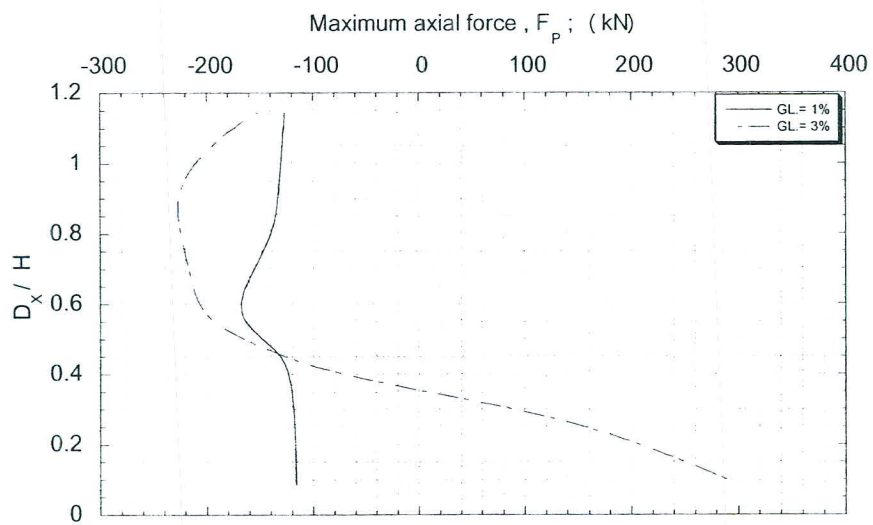
(b)

รูปที่ 7.6 กราฟความสัมพันธ์เพื่อการออกแบบ ค่าการเคลื่อนตัวรวมของเสาเข็ม δ_T :

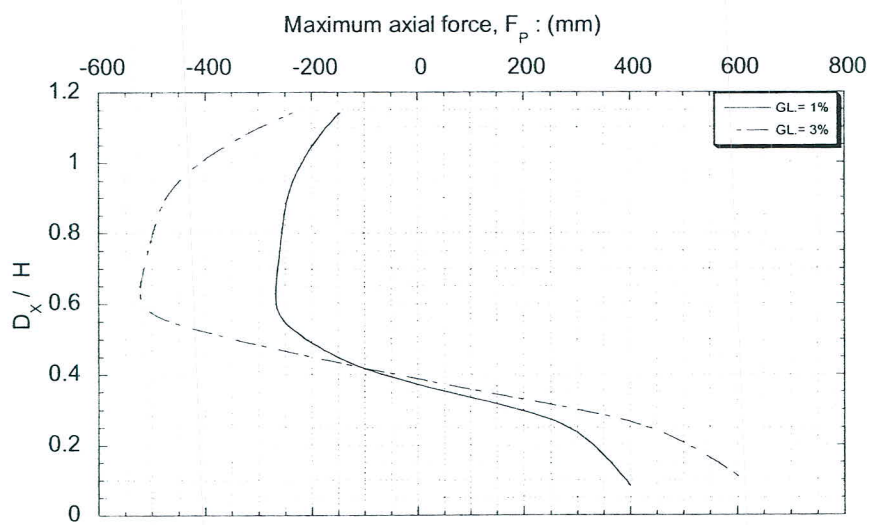
(a) ค่าการสูญเสียมวลดิน 1%, (b) ค่าการสูญเสียมวลดิน 3%



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 7.7 กราฟความสัมพันธ์เพื่อการออกแบบ ค่าแรงตามแกนของเสาเข็ม F_p : (a) $L_p = 9$ m., (b) $L_p = 12$ m., (c) $L_p = 15$ m.