บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยขั้นต่อไป

จากการวิจัยเพื่อประมาณการทรุดตัวของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนที่ใช้หน่วยแบริ่ง ณ บริเวณคอสะพานข้ามคลองปลัดเปรียง หลักกิโลเมตรที่ 6+402.755 ตามโครงการปรับปรุงทางหลวงสายบางนา - บางปะกง ตอนที่ 1 พอที่จะสรุปผลการวิจัยดังต่อไปนี้

6.1 สรุปผลการวิจัย

1. จากผลการตรวจสอบค่าการทรุดตัวรวมที่บริเวณคอสะพานปลัดเปรียง กม.6+402.755 ทางด้านบางนา ปรากฏว่าบริเวณที่ติดกับสะพานมีการทรุดตัวน้อยมาก คือมีค่าเท่ากับ 1.5 ซม. เมื่อเทียบกับตอม่อสะพาน ส่วนบริเวณปลายของหน่วยแบริ่ง (Bearing unit) ที่ระยะห่างจากสะพาน 50 เมตร มีการทรุดตัวรวมเท่ากับ 21.3 ซม. ค่าการทรุดตัวเฉลี่ยที่ช่วงกึ่งกลางหน่วยแบริ่งมีค่าเท่ากับ 14.8 ซม. ซึ่งการทรุดตัวรวมที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลของการตรวจสอบที่บริเวณไหล่ทางฝั่งซ้ายห่างจากแนวกึ่งกลางถนนประมาณ 3.90 ม. และเกิดขึ้นภายหลังจากการเริ่มก่อสร้างเป็นระยะเวลา 9.8 เดือน และหลังจากการเปิดการจราจรเป็นเวลาประมาณ 7.8 เดือน รูปแสดงผลการตรวจสอบดูในภาคผนวก จ. รูปที่ จ.1

2. ค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มที่เกิดขึ้น เมื่อรวมผลของการตอกเสาเข็มกับการถมคันทาง ดูรูปในภาคผนวก จ. รูปที่ จ.2 พบว่า บริเวณที่ติดกับสะพานมีค่าประมาณ 2.8 ตันต่อตารางเมตร ที่ระดับความลึก -9.55 ม. (ร.ท.ก.) ที่กึ่งกลางของหน่วยแบริ่งระยะห่างประมาณ 25 ม. จากสะพานมีค่าเท่ากับ 2.7 , 3.8 และ 2.5 ตัน/ม^2 ที่ระดับความลึก -4.55 , -6.85 และ -13.55 ม. (ร.ท.ก.) ตามลำดับ ส่วนช่วงปลายของหน่วยแบริ่งที่ระยะห่างประมาณ 45 ม. จากสะพานวัดได้ประมาณ 2.3 ตัน/ม^2 ที่ระดับความลึก -6.25 ม. (ร.ท.ก.) และเกิดเสียหายก่อนเสร็จการก่อสร้าง และวัดได้ประมาณ 0.3 ตัน/ม^2 ที่ระดับความลึก -2.25 ม. (ร.ท.ก.) ซึ่งคิดว่าเป็นเพราะอยู่ในชั้น weathered

Clay ที่มีรากไม้มากทำให้การระบายของแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มเกิดได้รวดเร็ว ส่วนผลของแรงดันน้ำในโพรงดิน จากการวัด dummy piezometer ได้ผลแสดงในรูป จ.3 ในภาคผนวก จ. พบว่าแรงดันน้ำในโพรงดิน จะมีค่าเพิ่มขึ้นแบบ hydro - static ตามความลึกจนถึงระดับประมาณ -10.00 ม. (ร.ท.ก.) ค่าแรงดันน้ำในโพรงดินก็จะเริ่มลดลง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะผลของการสูบน้ำบาดาล

3. การประมาณการทรุดตัวรวมด้วยวิธีการต่าง ๆ ในการวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบกับวิธีการประมาณการทรุดตัวตามวิธี Asaoka (1978) ทั้งนี้เพราะเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือ ซึ่งได้ใช้ข้อมูลจากผลการวัดการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริงในสนาม

พบว่าการทรุดตัวรวมที่เกิดขึ้นขณะนี้ (27 ก.ย 2528) ซึ่งคิดเป็นเวลา 9.8 เดือน นับตั้งแต่เริ่มการก่อสร้าง มีค่าอยู่ในช่วง 86.96 ถึง 97.10% ของการทรุดตัวรวมตามวิธี Asaoka (1978) ส่วนการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำที่เกิดขึ้นในขณะนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 86.1 - 95.3% ของการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำที่ประมาณจากวิธี Asaoka (1978)

4. การประมาณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " (Settlement Analysis of Pile Foundation) ที่พัฒนาขึ้นโดย Pongchai (1985) มาดัดแปลงใช้นั้นอาจจะได้ผลไม่ถูกต้องนัก เมื่อเทียบกับการประมาณด้วยมือ ซึ่งความแตกต่างที่เกิดอยู่ในช่วง 7 - 15% ซึ่งถือได้ว่าน่าพอใจ ทั้งนี้เพราะการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " นี้มีความสะดวกและรวดเร็วมาก จึงได้มีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " ในการประมาณการทรุดตัวรวมตามรูปแบบและสมมุติฐานต่าง ๆ เพื่อหาวิธีที่คิดว่าน่าจะให้ผลดีที่สุดในทางปฏิบัติต่อไป

5. วิธีที่ให้ผลดีที่สุดในการประมาณค่าการทรุดตัวรวมของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนที่ใช้หน่วยแบริ่ง คือวิธี Modified Theory of Elasticity ของ Poulos และ Davis (1980) โดยพิจารณาเป็นลักษณะการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยว ซึ่งคิดผลกระทบของเสาเข็มข้างเคียงในฐานราก และพิจารณาผลกระทบของแท่นหัวเข็ม (pile cap) มีความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 7 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มเดี่ยว หรือพิจารณาเท่ากับ 62% ของระยะห่างระหว่างเสาเข็ม (Spacing) น้ำหนักบรรทุกที่กระทำพิจารณาเฉพาะน้ำหนักบรรทุกคงที่ วิธีที่ให้ผลดีคือ วิธี PL4 และ PL5 ซึ่งให้อัตราส่วนการทรุดตัวรวม

เฉลี่ย (Average Settlement Ratio) เท่ากับ 1.02 และ 1.07 ตามลำดับ

๖. การประมาณการทรุดตัวตามวิธี Terzaghi ให้ผลการทรุดตัวค่อนข้างมาก โดยมีอัตราส่วนการทรุดตัวรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.18 - 1.82 วิธีที่ให้ผลการทรุดตัวรวมเป็นที่น่าพอใจตามวิธี Terzaghi (1952) คือวิธี TG5 ซึ่งพิจารณากลุ่มของฐาน (footing) ในฐานราก (foundation) โดยประกอบด้วยเสาเข็มจำนวน 4 ต้น และมีขนาดของฐานเท่ากับระยะห่างระหว่างเสาเข็ม ซึ่งให้ผลของอัตราการทรุดตัวรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.18 เมื่อเทียบกับการทรุดตัวที่ประมาณโดยวิธี Asaoka (1978) ซึ่งถือว่าเป็นค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากใช้ข้อมูลที่วัดได้ในสนาม

๗. การประมาณการทรุดตัวตามวิธี Tomlinson ให้ผลการทรุดตัวไม่สม่ำเสมอ คืออัตราส่วนการทรุดตัวรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.93 - 2.13 ซึ่งมีทั้งให้ผลมากไปและน้อยไป จึงไม่สามารถสรุปวิธีการที่ให้ผลน่าพอใจตามวิธี Tomlinson ได้

๘. วิธีการประมาณอัตราการทรุดตัว (Rate of Consolidation) ที่ให้ผลใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริง คือวิธีที่ใช้หลักการของ Asaoka (1978) โดยใช้ค่า Time factor จากทฤษฎี One dimensional ของ Terzaghi แต่ถ้าใช้ จากทฤษฎีของ Lacasse et al. (1975) ซึ่งพิจารณาเป็น Plane strain Consolidation ที่มี Double drainage และ Isotropic permeability จะให้ผลของอัตราการทรุดตัวมากในช่วงแรกและน้อยกว่าในช่วงหลัง เมื่อเทียบกับการใช้ one - dimensional จากทฤษฎีของ Terzaghi

๙. จากวิธีการประมาณอัตราการทรุดตัว โดยใช้หลักการของ Asaoka (1978) นั้น สามารถคำนวณหาค่า C_v ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่า C_v ที่เกิดขึ้นในสนาม มีค่าอยู่ในช่วง 1087 - 2146 ซม^2/วัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ C_v ในห้องทดลอง ซึ่งได้จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ด้วยเครื่อง Oedometer จะได้ค่าอยู่ในช่วง 10 - 36 ซม^2/วัน ความสัมพันธ์ของค่า C_v ในสนาม กับค่า C_v ในห้องทดลองดังกล่าวมีความสัมพันธ์ดังนี้

C_v ในสนาม $\cong$ 59 ถึง 104 เท่าของ C_v ในห้องทดลอง

๑๐. การออกแบบคอสะพานในบริเวณดินอ่อนโดยใช้หน่วยแบริ่งในลักษณะดังกล่าว สามารถลดปัญหาการทรุดตัวที่แตกต่างกันของคอสะพานกับสะพาน ให้ผลดีโดยเฉพาะในบริเวณกรุงเทพมหานคร และบริเวณใกล้เคียง

6.2 ข้อเสนอแนะต่องานของกรมทางหลวงและกรุงเทพมหานคร

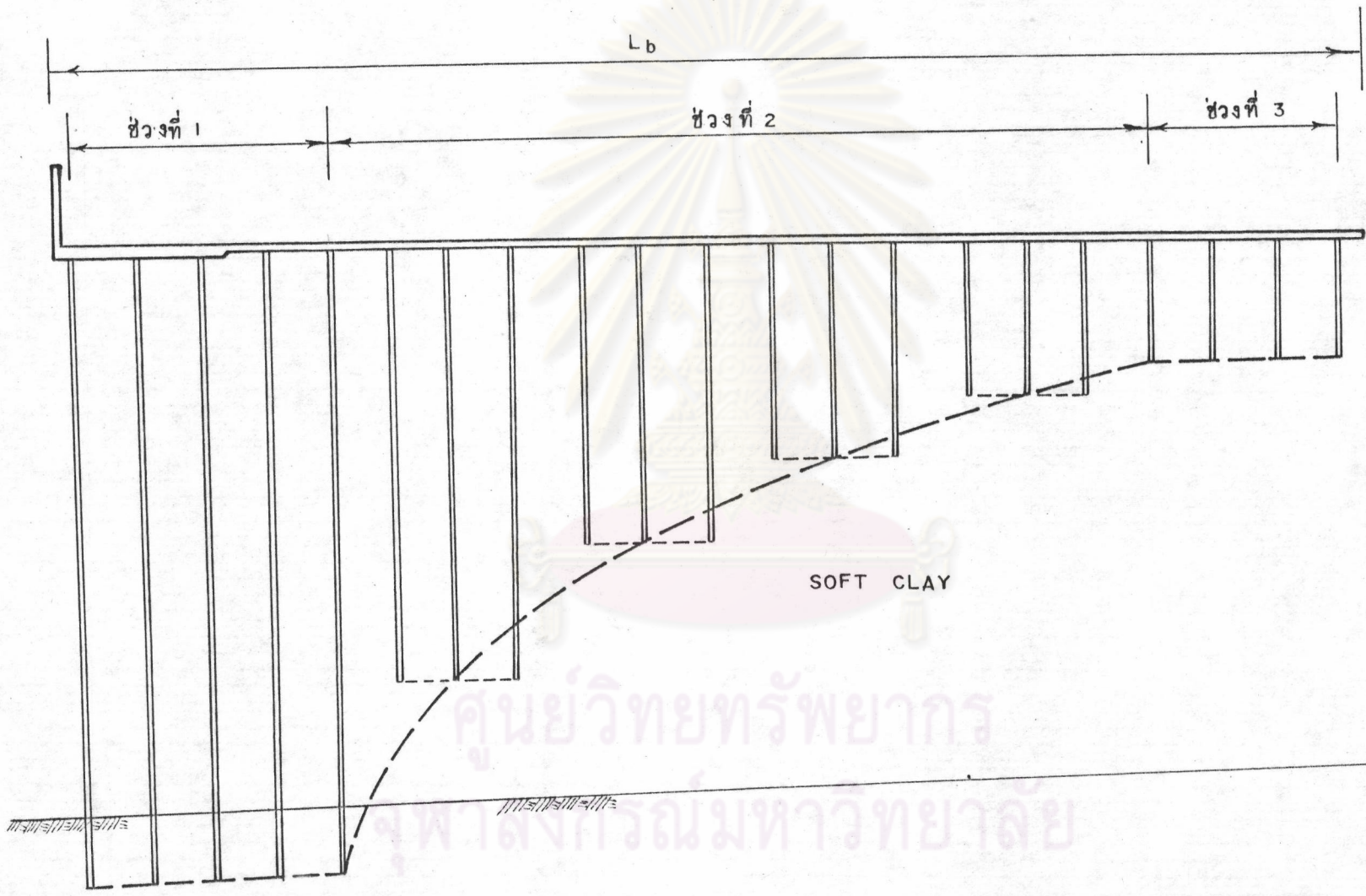
การวิจัยการประมาณการทรุดตัวของคอสะพานในบริเวณดินอ่อนโดยใช้หน่วยแบริ่งนั้น จากลักษณะการทรุดตัวของคอสะพานบริเวณดังกล่าว และจากการวิเคราะห์ผลการประมาณการทรุดตัวดังกล่าว ผู้เขียนมีความคิดว่า ลักษณะและรูปแบบของการออกแบบคอสะพานควรพิจารณาดังนี้คือ

1. ควรพิจารณาหน่วยแบริ่ง ออกเป็น 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 6.1 คือช่วงที่ 1 เป็นช่วงติดกับสะพานควรพิจารณาให้ค่อนข้างจะ Rigid ช่วงที่ 2 ช่วงถัดมาควรพิจารณาให้เป็นช่วงที่เป็น Transition ซึ่งในช่วงนี้มีความสำคัญมากในการออกแบบ ส่วนช่วงที่ 3 ช่วงสุดท้ายนั้น ควรพิจารณาให้เป็นช่วงที่เป็น Flexible มากที่สุด เพื่อไม่ให้มีผลต่างของการทรุดตัวมากเกินไป เมื่อเทียบกันระหว่างคันทางช่วงที่มีและช่วงที่พ้นจากหน่วยแบริ่ง

2. ในกรณีของหน่วยแบริ่งที่บริเวณคลองปลัดเปรียง ผู้เขียนคิดว่าในช่วงที่ 1 ที่ติดกับสะพานนั้น ซึ่งยอมให้มีการทรุดตัวเกิดขึ้นน้อยมาก ความยาวของเสาเข็มที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากับความยาวของเสาเข็มที่ใช้กับตอม่อ ดังรูปในภาคผนวก ค. ความยาวที่น่าจะให้ผลใช้ได้ คือให้หยั่งไปถึงชั้นดินแข็ง หรือชั้นทรายก็น่าจะพอและความยาวเสาเข็มที่ใช้อาจจะใช้ให้เท่ากันในช่วงที่ 1 นี้ ก็น่าจะใช้ได้ไม่จำเป็นต้องมีความยาวลดหลั่นกันก็ได้ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและประหยัดในการก่อสร้าง และความยาวของช่วงนี้ขึ้นกับการพิจารณา Stopping Sight distance ตามหลักการออกแบบทางหลวงโดยทั่วไป

ส่วนในช่วงที่ 2 นั้น คือช่วง Transition การออกแบบในลักษระดังกล่าวให้ความเหมาะสมดี หรือเพื่อความสะดวกและประหยัดในการก่อสร้างยิ่งขึ้น อาจจะลดความยาวของเสาเข็มลง โดยไม่จำเป็นต้องแปรเปลี่ยนความยาวเสาเข็มในทุกตับ การแปรเปลี่ยนทีละสองหรือสามตับ ก็น่าจะให้ผลดีเช่นเดียวกัน

และในช่วงที่ 3 ซึ่งเป็นช่วง Flexible นั้น ความยาวของเสาเข็มในตับสุดท้ายไม่จำเป็นต้องสั้นมาก คือยาวเพียงประมาณ 2.00 เมตร ดังแสดงรูปในภาคผนวก ค. น่าจะใช้ความยาวของเสาเข็มที่สั้นที่สุดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดคือก็น่าจะใช้ได้ทั้งนี้เพราะการทรุดตัวที่เกิดไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อใช้เสาเข็มสั้นกว่านี้ ซึ่งจะต้องหล่อขึ้นเป็นพิเศษ



รูปที่ 6.1 รูปแบบของหน่วยแบริ่งที่เสนอแนะในการทำวิจัยขั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนความยาวทั้งหมดของหน่วยแบริ่งที่ใช้นั้นน่าจะขึ้นอยู่กับค่าการทรุดตัวที่ยอมให้เกิดของคันทางในช่วงอายุการใช้งานที่กำหนด และการทรุดตัวที่ยอมให้เกิดบริเวณคอสะพานที่ติดกับสะพานซึ่งขึ้นกับ Stopping Sight distance ที่กำหนด หรือพิจารณาให้ง่ายเข้า คือความยาวของหน่วยแบริ่งที่ใช้นั้นเป็นฟังก์ชั่นของการทรุดตัวที่ยอมให้เกิดของคันทางในช่วงอายุการใช้งานที่กำหนด คือ $L_b = f(\rho)$ หรือ $L_b = K.(\rho)$ โดยที่ K คือค่าคงที่ที่น่าจะขึ้นกับความลาดชัน (Profile) ที่เกิดเนื่องจากการทรุดตัวที่ยอมให้เกิดในช่วงที่ติดกับสะพานและการทรุดตัวที่ยอมให้เกิดของคันทาง ในช่วงที่พ้นหน่วยแบริ่ง เมื่อ L_b คือความยาวของหน่วยแบริ่ง และ ρ คือการทรุดตัวที่คาดว่าจะเกิดของคันทางในช่วงการใช้งาน

แต่อย่างไรก็ดี การออกแบบหน่วยแบริ่งลักษณะดังกล่าวจะเหมาะสมเพียงใดนั้นยังต้องคำนึงถึงสภาพของชั้นดิน (Soil Profile) ด้วย

อนึ่งการพิจารณาดังกล่าวข้างต้นนั้น เป็นเพียงข้อเสนอแนะเพื่อการออกแบบหน่วยแบริ่งในบริเวณดินอ่อนให้สะดวกและประหยัดในการก่อสร้างเท่านั้น ซึ่งราคาค่าก่อสร้างของหน่วยแบริ่งเมื่อเทียบกับราคาของสะพานแล้วไม่ควรสูงมากนัก จึงจะเหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยขั้นต่อไป

1. ควรจะมีการศึกษาการทรุดตัวของคอสะพานในบริเวณดินอ่อน โดยใช้หน่วยแบริ่งที่บริเวณต่าง ๆ ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น น้ำหนักกระทำมากขึ้น และทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้กับข้อมูลที่มีอยู่เพื่อทำกราฟความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการทรุดตัวต่อความยาว กับ ความยาว (ρ/L V.S.L.) , กราฟความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการทรุดตัวต่อระยะห่างระหว่างเสาเข็มกับความยาว (ρ/S V.S.L.) เพื่อประโยชน์และสะดวกในการออกแบบคอสะพานที่ใช้หน่วยแบริ่งให้รวดเร็วและมั่นใจยิ่งขึ้นต่อไป

2. ควรมีการวิจัยลักษณะคอสะพานที่ได้เสนอแนะไว้ดังแสดงในรูป 6.1 เพื่อดูลักษณะการทรุดตัวและเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นกับการทรุดตัวที่เกิดกับคอสะพานปลัดเปรียงในงานวิจัยนี้และควรมีการเก็บข้อมูลของบริเวณคอสะพานปลัดเปรียงนี้ต่อไป เพื่อดูผลที่ได้กับที่ประมาณไว้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังกล่าว

3. เนื่องจากสมมุติฐานและข้อจำกัดของตัวโปรแกรมสำเร็จรูป " SAPF " ที่พัฒนาขึ้นโดย Pongchai (1985) นั้น ยังไม่ตรงกับลักษณะที่ใช้ในการวิเคราะห์หน่วยแบริ่งทีเดียว ทั้งนี้เพราะหน่วยแบริ่งนั้นมีรูปแบบของกลุ่มเสาเข็มที่มีความยาวลดหลั่นกันไป จึงควรมีการปรับแก้ไขโปรแกรม " SAPF " นี้ ให้สามารถวิเคราะห์ได้ในกรณีที่ความยาวของเสาเข็มต่างระดับกันในฐานราก

4. เนื่องจากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ไม่รวมผลการทรุดตัวของแผ่นดิน (Subsidence) เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งในบริเวณดังกล่าวอยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งปัจจุบันพบว่ามีผลต่อการทรุดตัวเช่นกัน งานวิจัยขั้นต่อไปน่าที่จะรวมผลกระทบดังกล่าวด้วย

5. ควรจะมีการศึกษาผลของการตอกเสาเข็มต่อแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มอย่างจริงจัง เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการประมาณค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มที่เกิดขึ้นและที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป รวมทั้งวิธีการประมาณค่าแรงดันน้ำในโพรงเพิ่มเนื่องจากการถมและบดอัดคันทางในบริเวณที่มีการตอกเสาเข็มด้วย