รายงานด้านเทคนิคเกี่ยวการพัฒนา PATTERN-CONSTRAINED INVERSION

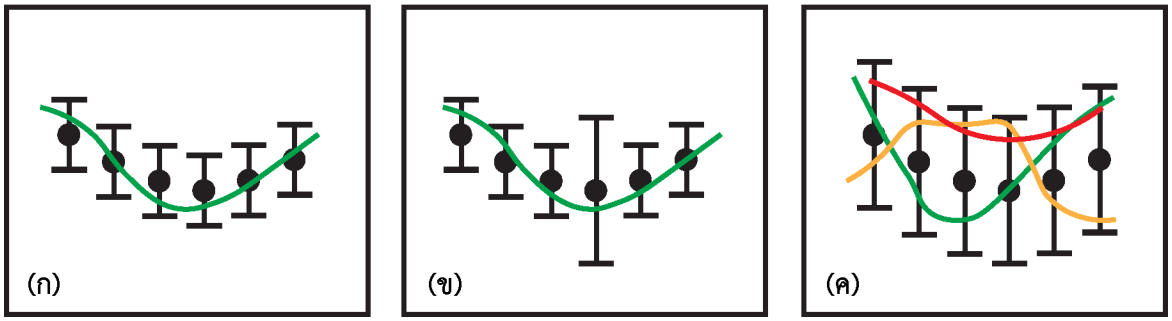
ผู้จัดทำรายงาน: ดร.ฉัตรชัย วชิระเธียรชัย

ปัญหาสัญญาณรบกวนเป็นปัญหาที่พบโดยทั่วไปในการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้แบบจำลองสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจอาจขาดความน่าเชื่อถือ และเพื่อที่จะให้ได้แบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการปรับแก้ข้อมูล จากรายงานด้านเทคนิคเกี่ยวกับการแก้ไขข้อมูลอัตโนมัติ บ่งชี้ว่าการปรับแก้แบบอัตโนมัติสามารถให้แบบจำลองที่มีค่า RMS misfit ที่ดีกว่าการปรับแก้แบบมาตรฐาน ในขณะเดียวกันแบบจำลองที่ได้ก็มีความสอดคล้องกับข้อมูลหลุมเจาะ แต่การปรับแก้แบบอัตโนมัติอาจนำมาซึ่งจุดข้อมูลที่มีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10 เป็นจำนวนมาก ทำให้ตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลแบบมาตรฐานอาจให้ผลที่ผิดพลาดได้ ตัวชี้วัดแบบมาตรฐานหรือค่า RMS Misfit คำนวณจาก

$$RMS = 100 * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{r_i - d_i}{\epsilon_i}\right)^2}{N}},$$

โดยที่ d_i คือข้อมูลจริง r_i คือข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง ϵ_i คือค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และ N คือจำนวนข้อมูล ตัวชี้วัดมาตรฐานนี้จะสามารถทำงานได้ดี เมื่อจุดข้อมูลส่วนใหญ่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อย (รูปที่ 1ก) ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง (เส้นสีเขียว) จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริง (จุดสีดำ) และยังสามารถทำงานได้ดีในกรณีที่บางจุดข้อมูลมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง (รูปที่ 1ข) เพราะข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจะถูกบังคับให้ยังอยู่ในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริง แต่ปัญหาของตัวชี้วัดแบบเดิมจะไม่สามารถทำงานได้เมื่อจุดข้อมูลส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนที่สูง (รูปที่ 1ค) เนื่องจากตัวชี้วัดแบบเดิมไม่ได้ให้ความสำคัญกับรูปแบบของข้อมูล แต่ให้ความสำคัญกับผลต่างระหว่างข้อมูลจริงกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองที่ต้องมีค่าน้อยกว่าความคลาดเคลื่อน ส่งผลให้ไม่ว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจะมีลักษณะแบบเส้นเขียว หรือเส้นสีส้ม ด้วยตัวชี้วัดแบบเดิมก็จะถือว่าเป็นข้อมูลที่ดี ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องสร้างตัวชี้วัดใหม่ที่มีสามารถตรวจสอบรูปแบบของข้อมูล และยังสามารถนำปัจจัยความคลาดเคลื่อนเข้ามากำหนดทิศทางของอินเวอร์ชันได้ ดังเช่นเส้นสีแดงในรูปที่ 1ค

ทางทีมงานได้พัฒนาตัวชี้วัดแบบใหม่ขึ้นมา โดยให้ชื่อเรียกว่า Pattern-Constrained Inversion แต่รายละเอียดทางคณิตศาสตร์ขออนุญาติไม่เปิดเผยในรายละเอียด แต่ทางบริษัทจะนำเสนอผลทดสอบจากแบบจำลองสังเคราะห์ที่ถูกนำมาทดสอบตัวชี้วัดชนิดใหม่ และผลทดสอบกับข้อมูลจริง โดยเปรียบเทียบกับผลของตัวชี้วัดเดิม และเทียบกับผลการเจาะทดสอบ



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงจุดข้อมูล (จุดสีดำ) และข้อมูลจากแบบจำลอง (เส้นสีเขียว, ส้ม และ แดง) ในกรณี (ก) ข้อมูลคุณภาพดี (ข) ข้อมูลคุณภาพปานกลาง มีข้อมูลที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงปะปนบางส่วน และ (ค) ข้อมูลมีคุณภาพต่ำ จุดข้อมูลส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนที่สูง

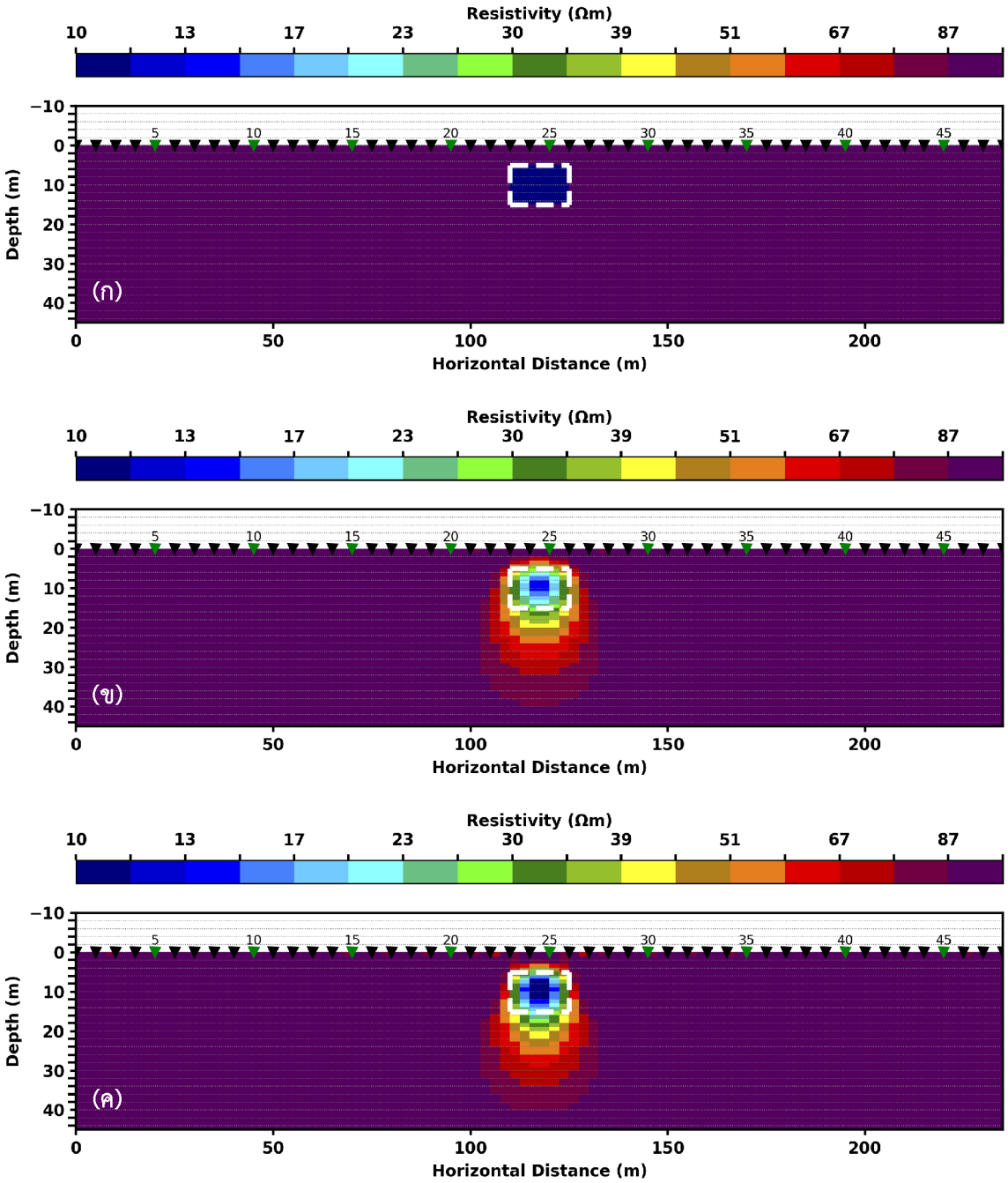
1.1 แบบจำลองสังเคราะห์ที่ 1

แบบจำลองสังเคราะห์ที่ 1 เป็นแบบจำลองสังเคราะห์อย่างง่าย เป็นแบบจำลองที่มีโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า 10 โอห์มเมตร มีขนาด 15 x 10 ตารางเมตร และฝังอยู่โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า 100 โอห์มเมตร โครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำถูกฝังไว้ที่ระดับความลึก 5 เมตร (รูปที่ 2ก)

ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองสังเคราะห์ถูกกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอยู่ที่ร้อยละ 1 เท่ากันทุกจุดข้อมูล ข้อมูลที่ได้ถูกนำเข้าสู่กระบวนการอินเวอร์ชัน โดยใช้ชุดพารามิเตอร์เดียวกันทั้งหมด ทั้งกรณีประมวลผลด้วยตัวชี้วัดเดิม (รูปที่ 2ข) และกรณีประมวลผลด้วยตัวชี้วัดใหม่ (รูปที่ 2ค)

แบบจำลองที่ได้จากตัววัดทั้งสองมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ทั้งสองตัวชี้วัดสามารถสร้างโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่ตำแหน่งที่ถูกต้องได้ โดยมีขอบเขตของโครงสร้างใกล้เคียงกับเส้นประสีขาว (ขอบเขตของโครงสร้างจริง) ยกเว้นขอบเขตด้านล่างที่โครงสร้างมีลักษณะที่ยืดออกเกินจากเส้นประสีขาวไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พบได้ทั่วไป เนื่องจากข้อจำกัดของการสำรวจที่สามารถเก็บข้อมูลได้เฉพาะระดับพื้นผิว

ถึงแม้ว่าแบบจำลองทั้งสองมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดแบบใหม่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำได้ใกล้เคียงกว่าตัวชี้วัดเดิม



รูปที่ 2 แบบจำลองสังเคราะห์ที่ 1 ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อพัฒนาตัวชี้วัดใหม่ โดยเส้นประสีขาวแสดงขอบเขตของโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า 10 โอห์มเมตร (ก) แบบจำลองสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบ (ข) แบบจำลองที่ได้จากกระบวนการอินเวอร์ชัน โดยใช้ตัวชี้วัดเดิม และ (ค) แบบจำลองที่ได้จากกระบวนการอินเวอร์ชัน โดยใช้ตัวชี้วัดใหม่

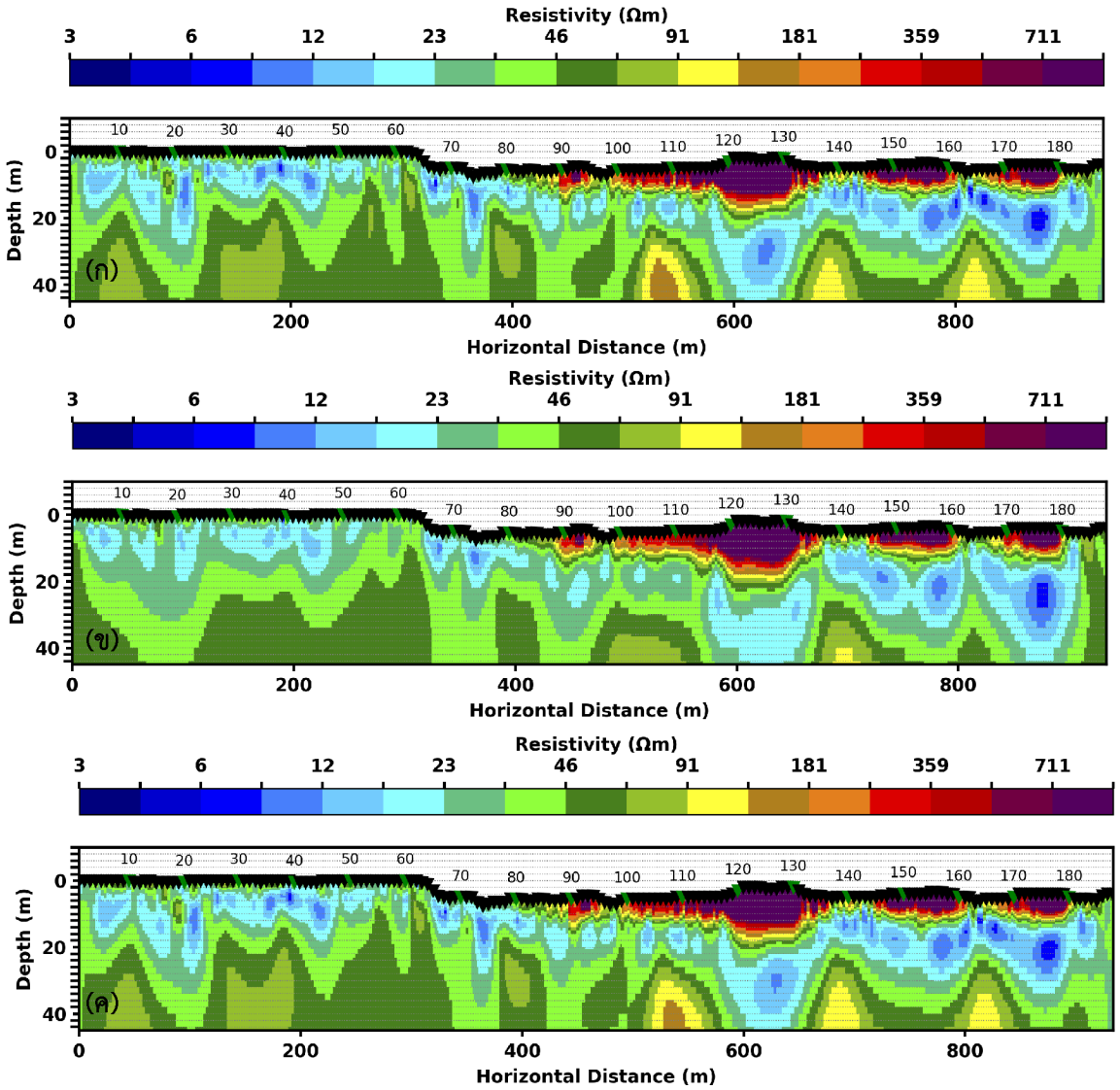
1.2 แบบจำลองสังเคราะห์ที่ 2

แบบจำลองสังเคราะห์ที่ 2 (รูปที่ 3ก) ใช้แบบจำลองที่ได้จากงานสำรวจจริงในพื้นที่เขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำปิง หมู่ที่ 3, หมู่ที่ 1 และหมู่ที่ 2 ตำบลวังแขม อำเภอคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งเป็นพื้นที่ที่พบปัญหาสัญญาณรบกวน จึงมีความจำเป็นต้องทำการปรับแก้ข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยข้อมูลก่อนการปรับแก้และหลังการปรับแก้มีความแตกต่างของข้อมูลอยู่ที่ร้อยละ 34.89

ข้อมูลสังเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองถูกปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยอาศัยความคลาดเคลื่อนจริงจากงานสำรวจ ข้อมูลสังเคราะห์ถูกนำเข้าสู่กระบวนการอินเวอร์ชันด้วยพารามิเตอร์ชุดเดียวกัน ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดเดิมให้ค่า RMS misfit อยู่ที่ 0.98 ในขณะที่ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดใหม่ให้ค่า RMS misfit อยู่ที่ 0.07

ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดเดิมให้โครงสร้างที่มีรูปแบบที่ใกล้เคียงกับแบบจำลองสังเคราะห์ แต่ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ได้จะมีความแตกต่างจากค่าจริง แนวรอยต่อที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองที่ถูกต้อง และโครงสร้างที่ลึกกว่าเมตรที่ 20 มีความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ

ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดใหม่ให้โครงสร้างที่ใกล้เคียงกับแบบจำลองสังเคราะห์เป็นอย่างมาก พบความแตกต่างของโครงสร้างเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจถูกกล่าวหาว่าเกิดจากการพยายามทำ overfit ให้มีค่า RMS misfit ที่ต่ำมาก ๆ อย่างไรก็ตามกระบวนการอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดใหม่นั้นไม่ได้ใช้ค่า RMS misfit ในการกำหนดทิศทางการเปลี่ยนแปลงแบบจำลอง ค่า RMS misfit ที่รายงานเป็นค่าที่คำนวณให้หลังจากกระบวนการอินเวอร์ชันได้สิ้นสุดลง ดังนั้นการที่ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดใหม่ได้ค่า RMS misfit ที่ต่ำมาก ไม่ได้เกิดจากความพยายามจะทำ overfit แต่อย่างใด



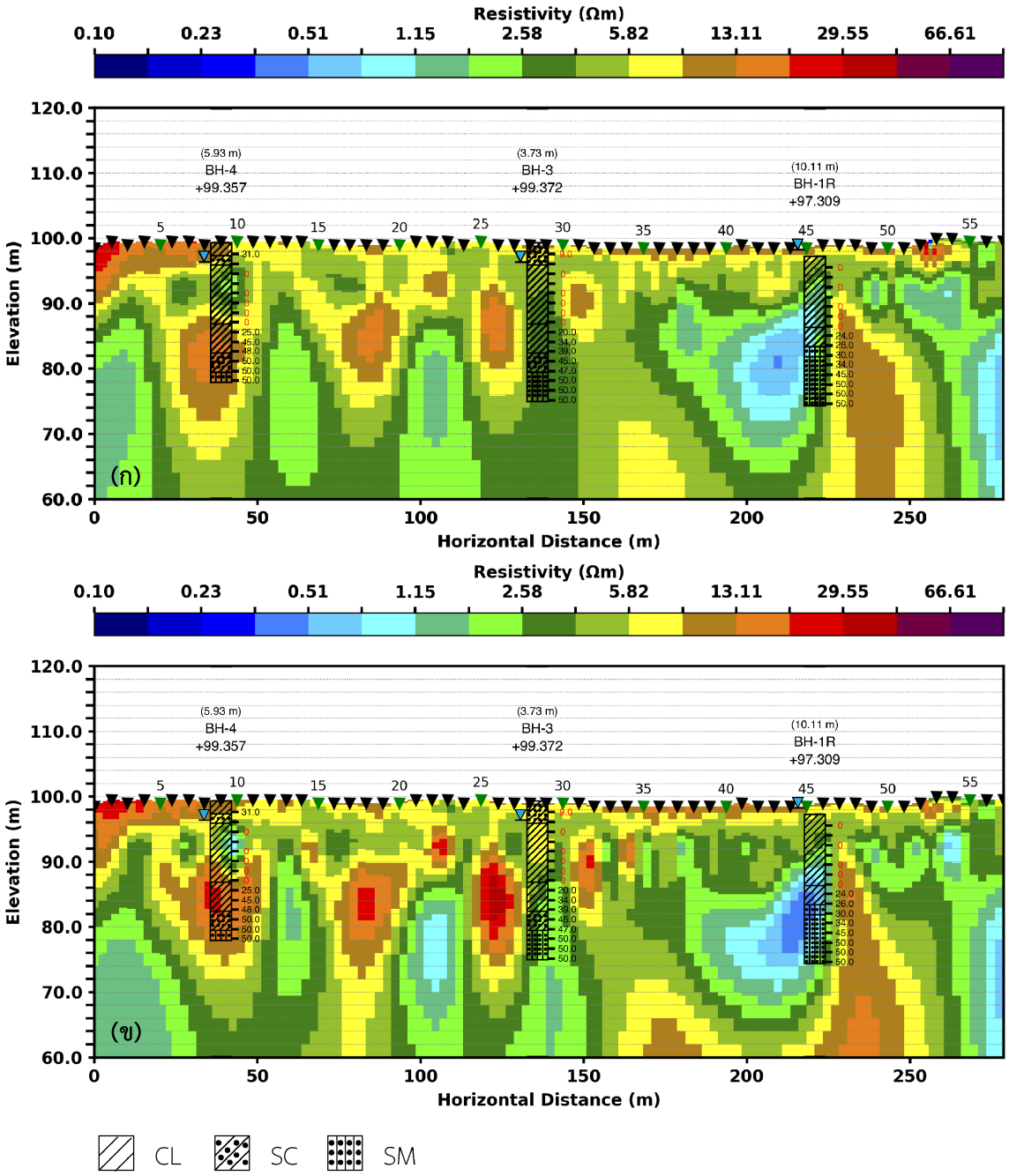
รูปที่ 3 แบบจำลองสังเคราะห์ที่ 2 เป็นแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลจริงจากพื้นที่เขื่อนป้องกันตลิ่งริมแม่น้ำปิง หมู่ที่ 3, หมู่ที่ 1 และหมู่ที่ 2 ตำบลวังแขม อำเภอคลองขลุง จังหวัดกำแพงเพชร (ก) แบบจำลองสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบ (ข) แบบจำลองที่ได้จากกระบวนการอินเวอร์ชันโดยใช้ตัวชี้วัดเดิม และ (ค) แบบจำลองที่ได้จากกระบวนการอินเวอร์ชันโดยใช้ตัวชี้วัดใหม่

1.3 ผลทดสอบกับข้อมูลจริง

ข้อมูลจริงที่ถูกนำมาใช้ทดสอบมาจากเขื่อนป้องกันตลิ่งและปรับปรุงภูมิทัศน์ ริมคลองเปรมประชากร ตำบลสวนพริกไทย อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี โดยข้อมูลจริงชุดนี้ถูกปรับแก้ด้วยกระบวนการแก้ข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยข้อมูลที่ถูกปรับแก้มีความแตกต่างจากข้อมูลดิบอยู่ที่ร้อยละ 161 ข้อมูลหลังจากถูกปรับแก้ถูกนำเข้าสู่กระบวนการอินเวอร์ชันทั้งตัวชี้วัดแบบเก่าและแบบใหม่ โดยอาศัยพารามิเตอร์ชุดเดียวกันทั้งหมด ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดแบบเก่าได้ค่า RMS misfit อยู่ที่ 4.4 ในขณะที่ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดแบบใหม่ให้ค่า RMS misfit อยู่ที่ 4.2

แบบจำลองที่ได้จากตัวชี้วัดใหม่มีความแตกต่างเป็นอย่างมากกับแบบจำลองที่ได้จากตัวชี้วัดเดิม แบบจำลองที่ได้จากตัวชี้วัดใหม่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่สูงกว่าในโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง และให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำกว่าในโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบแบบจำลองสังเคราะห์ที่ผลอินเวอร์ชันจากตัวชี้วัดใหม่จะให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ถูกต้องมากกว่าเดิม ถ้าตัดปัจจัยเรื่องค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าออกไป แบบจำลองทั้งสองให้โครงสร้างไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือพบการฝังตัวของโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูงในช่วงเมตรที่ 0 ถึง 150 จำนวน 4 ตำแหน่ง ตรงช่วงหลุมเจาะ BH-1R จะพบโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำอยู่ติดกับโครงสร้างที่มีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าสูง

แบบจำลองจากตัวชี้วัดเดิมพบความสอดคล้องกันระหว่างข้อมูลหลุมเจาะกับแบบจำลองค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเฉพาะหลุมเจาะ BH-4 แต่แบบจำลองจากตัวชี้วัดใหม่พบความสอดคล้องกันระหว่างข้อมูลหลุมเจาะกับแบบจำลองค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในทุกหลุมเจาะ กล่าวคือที่หลุมเจาะ BH-4 เมื่อเปลี่ยนจากชั้นดินเหนียวอ่อนเข้าสู่ชั้นดินเหนียวแข็งมาก ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะมีการปรับตัวสูงขึ้น ที่หลุมเจาะ BH-3 ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรับตัวลดลงเมื่อเข้าสู่ชั้นดินเหนียวแข็งมาก ซึ่งไม่พบพฤติกรรมดังกล่าวจากผลของตัวชี้วัดเดิม และที่หลุมเจาะ BH-1R เมื่อเข้าสู่ชั้นดินเหนียวแข็งมาก ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าปรับตัวต่ำกว่า 0.8 โอห์มเมตร และปรับตัวสูงขึ้นเมื่อเข้าสู่ชั้น silty sand



รูปที่ 4 ผลการทดสอบกับข้อมูลจริงจากพื้นที่เขื่อนป้องกันตลิ่งและปรับปรุงภูมิทัศน์ ริมคลองเปรมประชากร ตำบลสวนพริกไทย อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี (ก) แบบตัวชี้วัดเดิม และ (ข) แบบตัวชี้วัดใหม่

1.4 สรุปผลการทดสอบ

เมื่อสัญญาณรบกวนส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้อมูลและจำเป็นต้องทำการปรับแก้ข้อมูลเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การทำอินเวอร์ชันด้วยตัวชี้วัดเดิมอาจได้ผลที่คลาดเคลื่อน จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อข้อมูลถูกปรับปรุงเป็นจำนวนมาก แบบจำลองที่ได้จากตัวชี้วัดเดิมจะให้ผลที่ถูกต้องในระดับตื้นเท่านั้น เมื่อเข้าสู่ระดับลึกแบบจำลองที่ได้มีความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ผลจากตัวชี้วัดแบบใหม่ให้ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ถูกต้องมากกว่า และยังสามารถให้แบบจำลองที่ถูกต้องได้ถึงแม้ว่าข้อมูลถูกปรับแก้จำนวนมาก นอกจากนั้นผลจากตัวชี้วัดใหม่ยังแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องระหว่างค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ากับชั้นดินที่เปลี่ยนแปลงไปในทุกหลุมเจาะ ซึ่งผลจากตัวชี้วัดเดิมไม่สามารถตรวจพบ