บทที่ ๕

บทอภิปรายและสรุปผล

ผลการวิจัย

นับว่าในการวิจัยครั้งนี้ได้ประสบความสำเร็จพอสมควร คือสามารถใช้เทคนิคนิวเคลียร์โดยวิธีรังสีสะท้อนกลับของรังสีแกมมา วัดหาความหนาแน่นของดินโดยทางอ้อมได้ แม้ว่าในขั้นแรกนี้ยังมีความผิดพลาดค่อนข้างสูงอยู่ ซึ่งส่วนใหญ่เนื่องมาจากสมรรถนะของเครื่องมือ อุปกรณ์ ยังไม่เที่ยงตรงพอ แต่ก็สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ในโอกาสต่อไป

๑. การปรับเทียบ เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดดังได้กล่าวแล้ว คือการปรับเทียบที่ละเอียดแม่นยำมากเท่าใด การนำไปใช้งานย่อมทำให้ผลการวัดถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น

๑.๑ ความชื้น ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการปรับเทียบระหว่างความเข้มของรังสีแกมมาสะท้อนกลับ เนื่องจาก คอมพ์ตัน สแคตเตอริง กับความหนาแน่นของดิน ซึ่งเป็นความหนาแน่นรวม (bulk density) คือรวมน้ำหนักของเม็ดดิน ความชื้น และอากาศ ในหนึ่งหน่วยปริมาตร จากบททฤษฎีข้างต้น กล่าวว่า คอมพ์ตัน สแคตเตอริง เป็นปฏิภาคโดยตรงกับเลขอะตอม (Z) หรือเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความหนาแน่นของมวล ในกรณีที่ดินเป็นมวลของธาตุทั่วๆไปที่มี $\frac{Z}{A} \simeq 0.5$ ทั้งนี้ยกเว้น $_1H$ ซึ่งมี $\frac{Z}{A} = 1.0$ ดังนั้นดินที่มีความชื้นมากๆ จะทำให้ค่า $\frac{Z}{A}$ เฉลี่ยของดินสูงขึ้น เป็นผลให้เกิด คอมพ์ตัน สแคตเตอริงมากขึ้น ทำให้ความเข้มรังสีสะท้อนกลับเพิ่มขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น ดินที่มีความชื้น ๕๐% จะทำให้ความเข้มรังสีสะท้อนกลับ เพิ่มขึ้นประมาณ ๓% เมื่อเทียบกับดินแห้ง (3)

จากรูปปรับเทียบที่ ๔.๔ จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากดินที่มีความชื้นสูงกว่าร้อยละ ๓๐ โดยปริมาตร ควรมีแนวโน้มที่จะอยู่ส่วนล่างของเส้นกราฟเฉลี่ย และข้อมูลที่ได้จากดินที่มีความชื้นต่ำกว่า

ร้อยละ ๕ โดยปริมาตร ควรมีแนวโน้มที่จะอยู่ส่วนบนของเส้นกราฟเฉลี่ย เนื่องจากผลของความชื้นตามทฤษฎี แต่ปรากฏว่า ข้อมูลทั้งสองประเภท มีลักษณะกระจายไปทั่ว ไม่มีแนวโน้มที่พิเศษแต่อย่างใด ทั้งนี้เพราะความผิดพลาดในการวัด มีมากกว่าอิทธิพลของความชื้นนั่นเอง

๑.๒ <u>ความหนาของการวัด</u> (Depth of Investigation) คอมพ์ตัน สแคตเตอริง เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดระหว่างวัตถุกับรังสีแกมมาที่มีพลังงานในช่วง ๐.๒ - ๓ MeV สำหรับธาตุเบา เมื่อพิจารณารูปที่ ๒.๖ จะเห็นได้ว่า ช่วงพลังงานของรังสีแกมมาระหว่าง ๑-๒ MeV เป็นช่วงที่ดีที่สุดในการนำปฏิกิริยา คอมพ์ตัน สแคตเตอริง มาใช้ เพราะค่าสัมประสิทธิ์การลดเชิงมวล ของสารต่างๆมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้ใช้รังสีแกมมาพลังงาน ๐.๖๖๒ MeV เป็นต้นกำเนิดทำให้เกิดปฏิกิริยา คอมพ์ตัน สแคตเตอริง และวัดรังสีสะท้อนกลับที่มีพลังงานประมาณ ๐.๓๖ MeV ขึ้นไป โดยตั้งค่า threshold ประมาณ ๔๐๐ mV ซึ่งนับว่ายังเป็นรังสีแกมมาที่มีพลังงานอยู่ในช่วงที่ดีพอสมควร

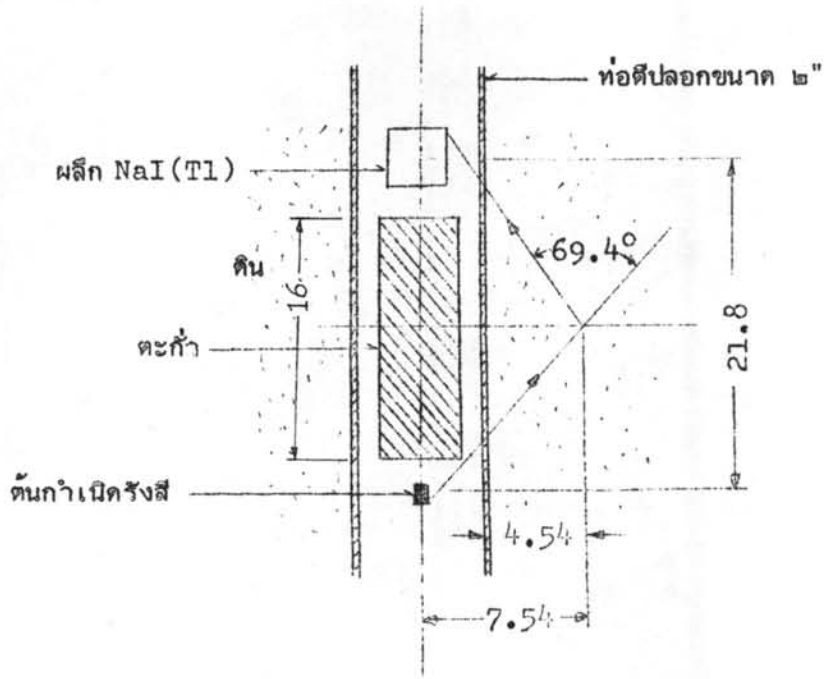
จากค่าพลังงานต่ำสุดของรังสีแกมมาที่ใช้ในการวัดคือ ๐.๓๖ MeV เมื่อคำนวณหาค่ามุมสะท้อนจากสมการ

$$E_{sc} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{0.51}(1 - \cos\theta)}$$

จะได้ว่า เมื่อ E_{sc} = 0.36 MeV

มุมสะท้อน θ = 69.36°

เมื่อทราบระยะห่างของหัววัดรังสี และต้นกำเนิดรังสี สามารถคำนวณได้ว่า ความหนา ของการวัด (depth of investigation) ในกรณีนี้มีค่า ๗.๕๔ ซม. ดังแสดงในรูปที่ ๕.๑



รูปที่ ๕.๑ ความหนาของการวัดโดยวิธีใช้รังสีแกมมา

ความหนาของการวัดในที่นี้ คือ ๗.๕๔ ซม. จะเป็นความหนาของดินที่ทำการวัดจริงเพียง ๗.๕๔ - ๓.๐ = ๔.๕๔ ซม. เท่านั้น เนื่องจากมีท่อตีปลอกเส้นผ่าศูนย์กลาง ๖.๐ ซม. (เรียกว่าท่อขนาด ๒") ฝังอยู่ในดินด้วย การที่ความหนาของการวัดมีค่าน้อยเช่นนี้ จะทำให้การวัดมีความผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากดินในหลุมบริเวณที่ติดกับท่อตีปลอก จะถูกรบกวนได้ง่ายเนื่องจากการเจาะ ทำให้ค่าความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไป ไม่เหมือนดินในสภาพเดิมตามธรรมชาติ

การเพิ่มความหนาของการวัด ซึ่งจะทำให้ค่าความหนาแน่นของดินโดยเฉลี่ยถูกต้องยิ่งขึ้น ทำได้โดย

๑.๒.๑ เพิ่มระยะห่างของหัววัดรังสีกับต้นกำเนิดรังสี แต่จะมีผลทำให้ความเข้มรังสีสะท้อนกลับต่ำลงไปด้วย ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการนับในแง่สถิติมากขึ้น แต่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ต้นกำเนิดรังสีที่แรงขึ้น หรือ ท่อตีปลอกที่บางลงกว่าเดิม หรือเปลี่ยนไปใช้ท่อตีปลอกอลูมิเนียม

๑.๒.๒ นับรังสีแกมมาสะท้อนกลับที่มีพลังงานต่ำลงไปอีก โดยการตั้ง threshold แต่ทั้งนี้ต้องไม่ต่ำกว่า ๐.๒ MeV เพราะว่าผลของปฏิกิริยา โฟโตอีเล็คตริคเริ่มมากขึ้น

๑.๒.๓ ใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีพลังงานสูงขึ้น เช่น Co^{60} ซึ่งให้รังสีแกมมาพลังงาน ๑.๑๗ และ ๑.๓๓ MeV แต่มีข้อเสียคือ มีอายุครึ่งชีวิต ๕.๒๖ ปี ทำให้ความเข้มของรังสีลดลงเร็วกว่า Cs^{137} ส่วนผลดีมีเพิ่มเติมขึ้นมาอีก กล่าวคือ พลังงานของรังสีแกมมาที่สูงขึ้นนี้ เป็นช่วงที่อิทธิพลของคอมพ์ตัน สแคตเตอริงดีกว่าเดิม

๒. <u>การใช้งาน</u> ในการทดสอบวัดความหนาแน่นของดินที่รู้ค่าที่เตรียมไว้ในถัง ปรากฏว่า ผลการวัดให้ค่าที่ผิดพลาดสูงสุดประมาณ ๑๒% ซึ่งค่อนข้างสูงพอสมควร สาเหตุของการวัดที่มีความผิดพลาดสูงเช่นนี้ เนื่องมาจาก

๒.๑ สมรรถนะของอุปกรณ์ ดังจะกล่าวในตอนต่อไป

๒.๒ สภาพของดินภายในถังไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งถัง และความหนาของการวัดมีค่าน้อย (๗.๔ ซม.) ดังกล่าวแล้ว ค่าความหนาแน่นของดินที่วัดได้จึงเป็นบริเวณแคบๆกลางถัง แต่ความหนาแน่นของดินมาตรฐานได้จากค่าเฉลี่ยทั้งถัง ซึ่งมีปริมาณมาก คือหนาประมาณ ๓๐ ซม.

๒.๓ ความคลาดเคลื่อนทางสถิติ โดยธรรมชาติของต้นกำเนิดรังสี และจำนวนนับปริมาณรังสี ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางสถิติขึ้นได้ เมื่อจำนวนนับมีค่า ๒๐,๐๐๐ จะได้ว่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติมีค่าดังนี้

$$\text{ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\sqrt{20,000}}{20,000} \times 100 \quad \%$$

$$= 0.71 \%$$

นั่นแสดงว่า ความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่เกิดมาจาก เครื่องมืออุปกรณ์และสภาพของดินที่ทำการวัด

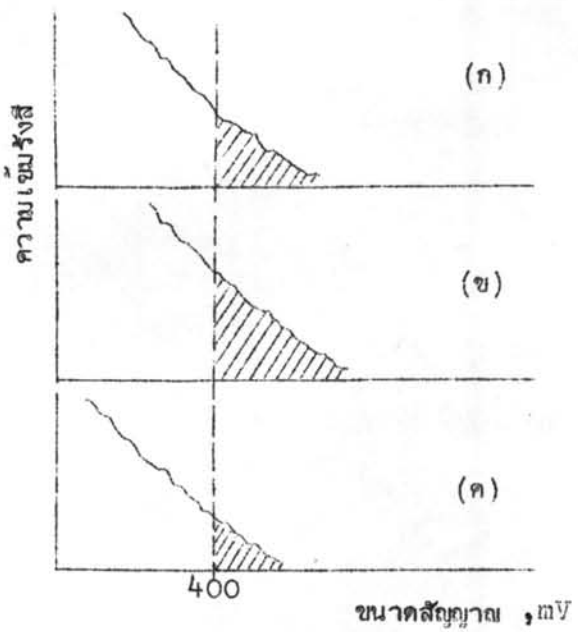
อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการวัดกับวิธีปกติ พบว่ามีความแตกต่างกันมากที่สุดประมาณ ๔.๔% เท่านั้น ดังผลในตารางที่ ๔.๔ นั่นหมายถึงในการใช้งานจริง เครื่องมืออุปกรณ์ชุดนี้ ก็ยังวัดได้ผลที่น่าพอใจพอสมควร

<u>สมรรถนะของอุปกรณ์</u>

ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในขณะทำการวิจัย อันเนื่องมาจากสมรรถนะของเครื่องมืออุปกรณ์ ได้แก่

๑. <u>แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง</u> จากเครื่องนับรังสี BASC ของ NEA ยังไม่ทนทานเท่าที่ควร วงจรของภาคจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงเกิดเสียขึ้นมา ขณะทำการวิจัย ต้องซ่อมถึง ๒ ครั้ง และข้อบกพร่องอีกอย่างหนึ่งคือ ค่าศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่จ่าย ยังไม่เที่ยงตรงพอ เช่น เมื่อตั้งค่าความต่างศักดาไว้ที่ ๑,๐๐๐ โวลท์ เมื่อทดลองวัดดู ปรากฏว่า บางวันได้ค่า ๙๙๘ โวลท์ แต่บางวันได้ค่า ๙๙๒ โวลท์ ซึ่งมีผลมากสำหรับหัววัดรังสีแบบเรืองแสง ทำให้โฟโตพีคเคลื่อนจากตำแหน่งเดิมได้

๒. <u>หัววัดรังสี</u> มีเสถียรภาพไม่ดีนัก จากการทดลองพบว่า ขนาดสัญญาณของโฟโตพีคของรังสีแกมมาจากซีเซียม ๑๓๗ เปลี่ยนแปลงไปได้ตั้งแต่ ๗๒๐ mV ถึง ๗๖๐ mV ความไม่เสถียรภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังผลที่ได้จากการทดสอบอย่างคร่าวๆ คือ เมื่อใช้หัววัดรังสีภายในห้องปรับอากาศและภายนอก ปรากฏว่ามีผลทำให้ตำแหน่งของโฟโตพีคหรือสเปคตรัมของรังสีเคลื่อนไป แต่ก็ไม่ได้ทำการวิจัยในเรื่องนี้โดยละเอียด เพียงแต่หาวิธีแก้ไขปรับแต่งเครื่องมือให้อยู่ในสภาวะที่สามารถใช้งานได้ถูกต้องแม่นยำพอสมควร



รูปที่ ๕.๒ สเปคตรัมของรังสีแกมมาสะท้อนกลับในดินและความคลาดเคลื่อน

พิจารณารูปที่ ๕.๒ (ก) แสดงสเปคตรัมของรังสีแกมมาสะท้อนกลับในดินในสภาวะปกติ โดยตั้งส่วนวิเคราะห์พลังงานของเครื่องนับรังสี ให้นับเฉพาะสัญญาณที่มีขนาด ๔๐๐ mV ขึ้นไป เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของสเปคตรัมของรังสี เนื่องจากหัววัดรังสีมีเสถียรภาพไม่ดี ดังเช่นในรูป (ข) หรือ (ค) จะเห็นได้ว่า ความเข้มหรืออัตรานับรังสีสะท้อนกลับที่นับได้มีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลงไปจากเดิม ทำให้เกิดความผิดพลาดในการปรับเทียบหาความหนาแน่นของดินด้วย

การปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์

จากการทดลองและการใช้งาน พบว่าเครื่องมืออุปกรณ์ชุดนี้ยังมีข้อบกพร่องที่ควรแก้ไขและปรับปรุงให้ดีขึ้น เพื่อให้ได้สมรรถนะที่ดีกว่าเดิม ซึ่งจะกล่าวรวมทั้งการปรับปรุงอุปกรณ์ชุดเดิมและการประกอบอุปกรณ์ชุดใหม่ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น ๒ ส่วนใหญ่ๆ คือ

๑. หัวสำรวจความหนาแน่น

๑.๑ หัววัดรังสี เนื่องจากหัววัดรังสีแบบเรืองแสงต้องใช้หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PMT) ซึ่งมีเสถียรภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่ดีพอ จึงไม่เหมาะต่อการใช้งานภายนอกสถานที่ ควรใช้หลอดไกเกอร์ (G.M. tube) แทน ซึ่งมีข้อดีหลายประการ คือ

๑. มีความทนทาน
๒. ราคาถูกกว่า
๓. มีเสถียรภาพดี
๔. ไม่ต้องมีภาคขยายส่วนหน้า
๕. ใช้กับแหล่งจ่ายไฟแรงสูงแบบง่ายๆได้
๖. สายเคเบิลใช้แบบโคเอ็กเชียลธรรมดาได้
๗. สามารถใช้กับเครื่องนับรังสีธรรมดา ราคาถูกได้

สำหรับการเลือกค่าพลังงานรังสีแกมมาที่ต้องการวัด ทำได้โดยการใช้ตัวกรองรังสี (filter) ที่เหมาะสม กำบังรังสีแกมมาที่มีค่าพลังงานต่ำกว่าต้องการไว้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า จะตัดปัญหาเรื่องการเคลื่อนตำแหน่งของโฟโตพีค ในระบบหัววัดรังสีแบบเรืองแสงไปได้ในตัว

๑.๒ ต้นกำเนิดรังสี อาจใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงขึ้น เช่น Co^{60} แต่ต้องระวังการแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากความแรงของรังสีลดลง เนื่องจาก Co^{60} มีอายุครึ่งชีวิตเพียง ๕.๒๖ ปี

๑.๓ ตัวกำบังรังสี ควรสร้างเป็นลักษณะตัวบีบรังสี (collimator) จะทำให้ผลการวัดถูกต้องยิ่งขึ้น ดังจะพิจารณาได้จากรูปที่ ๔.๔ เมื่อมุม x = 90° หรือรังสีถูกแผ่เข้าไปในดินในทิศตั้งฉาก เมื่อสังเกตจากกราฟจะเห็นได้ว่า รังสีสะท้อนกลับที่วัดได้ส่วนใหญ่มาจากดินบริเวณใกล้ๆหลุม แต่เมื่อมุม x = 60° ดินที่ห่างๆออกมา มีผลต่อการวัดมากขึ้น เนื่องจากว่าดินบริเวณใกล้ๆหลุมจะถูกรบกวนให้เปลี่ยนแปลงไป จากสภาพเดิมได้ง่าย ดังนั้น การวัดที่ได้จากดินที่ห่างๆจากหลุมออกไปย่อมได้ผลที่ถูกต้องกว่า

๑.๔ ระยะห่างหัววัดรังสี-ต้นกำเนิดรังสี ควรจะทำการคำนวณและทดลองหาระยะที่เหมาะสม หรือสร้างหัวสำรวจที่สามารถปรับระยะดังกล่าวได้

๒. เครื่องนับรังสี

๒.๑ เครื่องเดิม ควรดัดแปลงวงจรจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงใหม่ ให้ทนทานกว่าเดิม และถ้าใช้กับหัววัดรังสีแบบเรืองแสง ควรมีปุ่มปรับค่าความต่างศักดาไฟฟ้าแรงสูงแบบละเอียด พร้อมทั้งมีโวลท์มิเตอร์ประกอบด้วย แต่ถ้าใช้กับหลอดไกเกอร์ก็ไม่จำเป็นนัก

๒.๒ เครื่องใหม่ สามารถใช้เครื่องนับรังสีแบบง่ายๆ ไม่ต้องมีส่วนวิเคราะห์พลังงานของรังสี แต่ควรเป็นระบบที่ใช้แบตเตอรี่ได้ และควรมีรูเสียบสายสำหรับใช้ต่อวงมาตรวัดความเข้มรังสี (rate meter) เข้ากับเครื่องเขียนกราฟอัตโนมัติ (x-y plotter) สำหรับไว้ใช้ในกรณี ทำการสำรวจหลุมลึกๆ ซึ่งต้องการความรวดเร็ว โดยใช้ร่วมกับระบบหย่อนหัวสำรวจด้วยมอเตอร์

ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างวิจัย

๑. หัวสำรวจติดค้างในหลุมเจาะ ในการวัดความหนาแน่นของดินในหลุมเจาะระดับลึก ได้เกิดอุบัติเหตุ การติดค้างของหัวสำรวจในหลุมเจาะ พอสรุปได้ดังนี้

๑.๑ สาเหตุ การติดค้างได้เกิดขึ้นที่บริเวณข้อต่อ ของท่อพีปลอกข้อที่ ๓ ที่ระดับความลึก ๑๖.๖ เมตร เนื่องมาจาก

๑.๑.๑ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อพีปลอก บริเวณข้อต่อจะตีบเล็กลง เนื่องจากการขันเกลียว (ปกติมีขนาด ๒ $\frac{๑}{๘}$")

๑.๑.๒ ระบบหย่อนสายเคเบิลหัวสำรวจ ไม่ได้ศูนย์กลางพอดี เพราะใช้สายสลิงเป็นตัวรับน้ำหนัก แทนสายเคเบิลสัญญาณ ดังรายละเอียด ในรูปที่ ๔.๓

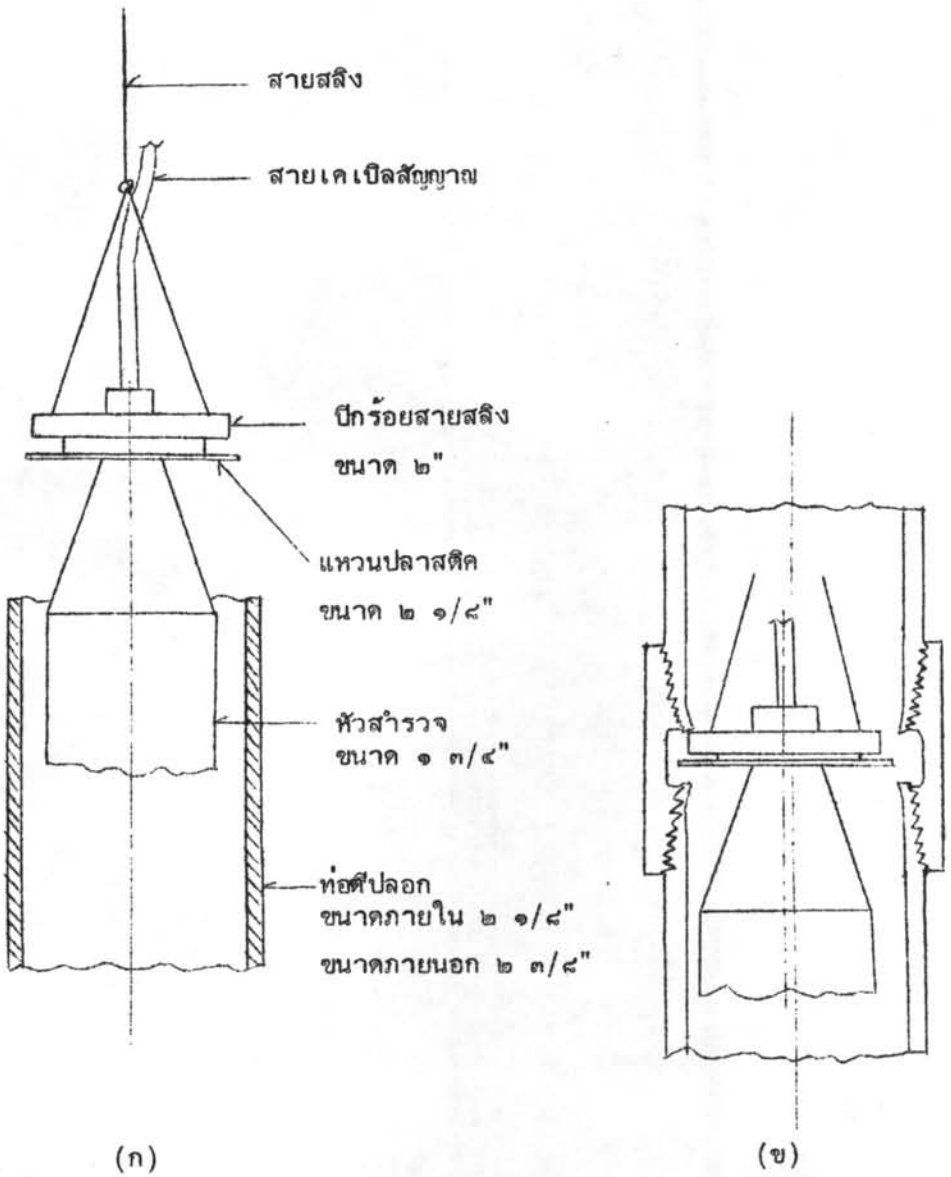
๑.๑.๓ ปีกร้อยสายสลิง ไม่ได้ทำการลบมุม และมีขนาดค่อนข้างใหญ่ คือมีเส้นผ่าศูนย์กลาง = ๒"

๑.๑.๔ มีแหวนปลาสติค ที่มีความยืดหยุ่นพอสมควรขนาด ๒ $\frac{๑}{๘}$" รองอยู่ข้างล่างปีกร้อยสายสลิง ซึ่งใช้สำหรับเป็นตัวบังคับให้หัวสำรวจอยู่กึ่งกลางท่อ

จากสาเหตุดังกล่าว เมื่อปีกร้อยสายสลิงเข้าไปอยู่ในบริเวณข้อต่อนี้ จึงติดค้างอยู่ ไม่สามารถดึงกลับขึ้นมาได้ เนื่องจากปีกร้อยสายสลิงยึดอยู่กับปลายท่อพีปลอกท่อนบน และไม่สามารถหย่อนต่อลงไปได้ เพราะแหวนปลาสติดค้างอยู่บนปลายท่อพีปลอกท่อนล่าง ดังรูปที่ ๔.๓

๑.๒ วิธีแก้ไข ได้ทดลองทำการแก้ไขดังนี้

๑.๒.๑ ต่อท่อประปาขนาด ๓/๔" ลงไปดันหัวสำรวจให้หลุดลงไปข้างล่างก่อน แล้วดึงขึ้นใหม่ ทดลองทำหลายครั้ง ก็ไม่สามารถดึงขึ้นได้



รูปที่ ๕.๓ การติดค้างของหัวสำรวจในหลุมเจาะ

๑.๒.๒ สวมท่อประปาขนาด ๓/๔" ครอบทั้งสายเคเบิลและสายสลิง ดังรูป ๕.๔ (ก) เพื่อให้ระบบห้อยแขวนของหัวสำรวจได้ศูนย์กลางยิ่งขึ้น ดันลงแล้วดึงขึ้นใหม่ ทดลองทำหลายครั้ง ปรากฏว่าไม่ประสบความสำเร็จ

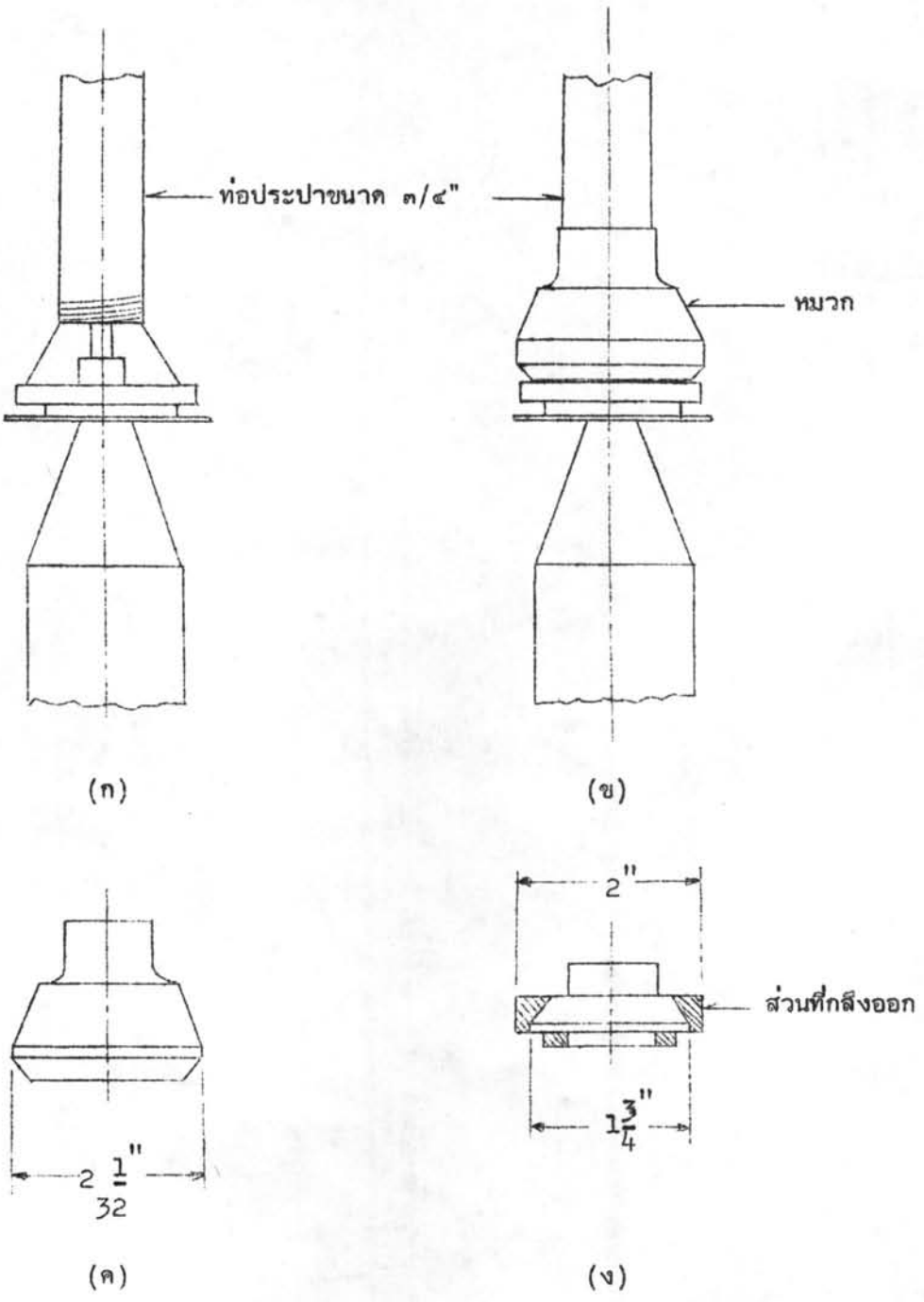
๑.๒.๓ นำข้อลดท่อประปามากลึงให้ได้ขนาดดังรูปที่ ๕.๔ (ค) ซึ่งมีลักษณะเหมือนหมวก นำมาขันเกลียวติดกับปลายท่อประปาขนาด ๓/๔" แล้วสวมลงไปเหมือนวิธี ๑.๒.๒ ดังรูปที่ ๕.๔ (ข) จะทำให้ระบบห้อยแขวนของหัวสำรวจได้ศูนย์กลางดีขึ้น และหมวกจะทำหน้าที่ถ่างปลายท่อตีปลอกให้กว้างออกอีก เมื่อกระทุ้งขึ้นลง ปรากฏว่าได้ผลสำเร็จ สามารถดึงหัวสำรวจกลับขึ้นมาได้

หลังจากนำหัวสำรวจขึ้นมาแล้ว ได้ทำการแก้ไขปีกที่ร้อยสายสลิงใหม่ โดยกลึงให้มีลักษณะรูปกรวย และขนาดเล็กลงดังรูปที่ ๕.๔ (ง)

๒. ปัญหาอื่นๆ ที่มีความสำคัญควรแก่การกล่าวถึงได้แก่

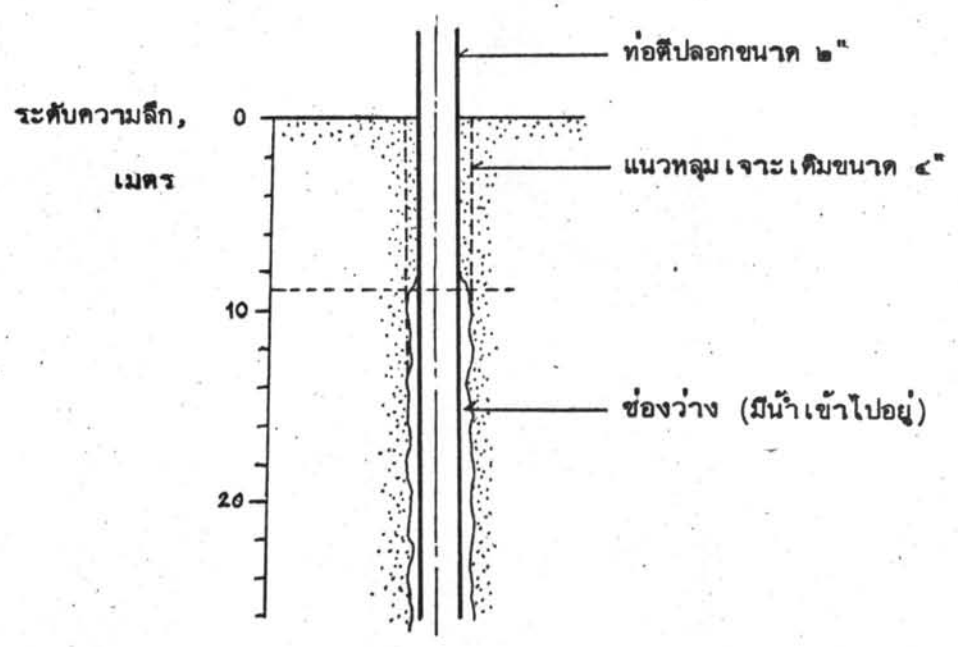
๒.๑ การประกอบต้นกำเนิดรังสี และการถอดประกอบออกจากหัวสำรวจต้องมีความระมัดระวัง เพื่อความปลอดภัยจาก กัมมันตภาพรังสี พอสมควร

๒.๒ การอุ่นเครื่อง เครื่องนับรังสีและหัวสำรวจต้องการการอุ่นเครื่องก่อนการใช้งานประมาณครึ่งชั่วโมง สังเกตได้จากขณะปรับแต่งเครื่อง โดยหย่อนหัวสำรวจลงในถังอ้างอิง อัตรานับรังสีจะคงที่ เมื่อเดินเครื่องไปได้ประมาณครึ่งชั่วโมง



รูปที่ ๕.๔ วิธีแก้ไขการติดค้างของหัวสำรวจในหลุมเจาะ

๒.๓ <u>สภาพของหลุมเจาะ</u> เมื่อพิจารณาผลการวัดความหนาแน่นของดิน ในธรรมชาติ ระดับลึกในรูปที่ ๔.๑๓ จะเห็นได้ว่าที่ระดับความลึก ตั้งแต่ ๔ เมตร ลงไป ความหนาแน่นของดินที่วัดได้มีค่าต่ำลง แทนที่จะสูงขึ้นตามสภาพของดินในบริเวณกรุงเทพมหานครตามที่มีผู้เคยสำรวจมา และจากข้อมูลเพิ่มเติมที่ว่าหลุมเจาะนี้ได้จากการใช้เครื่องเจาะขนาด ๔" แต่ฝังท่อตีปลอกขนาด ๒" จึงสันนิษฐานว่าสภาพของหลุมเจาะไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร คือ ดินชั้นบนที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถเคลื่อนตัวเข้าไปติดกับท่อตีปลอกได้ ส่วนดินชั้นล่างที่ลึกตั้งแต่ ๔ เมตร ลงไป มีความหนาแน่นสูงกว่าไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ จึงทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างดินและท่อตีปลอก ดังแสดงในรูปที่ ๔.๔ ซึ่งบริเวณช่องว่างนี้ก็จะมีน้ำเข้าไปอยู่ ดังนั้นจึงทำให้ ค่าความหนาแน่นของดินที่ระดับความลึก ๔ เมตร ลงไป ที่วัดได้โดยวิธีนิวเคลียร์นี้มีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น



รูปที่ ๔.๔ แสดงสภาพที่บกพร่องของหลุมเจาะ

สรุปและเสนอแนะ

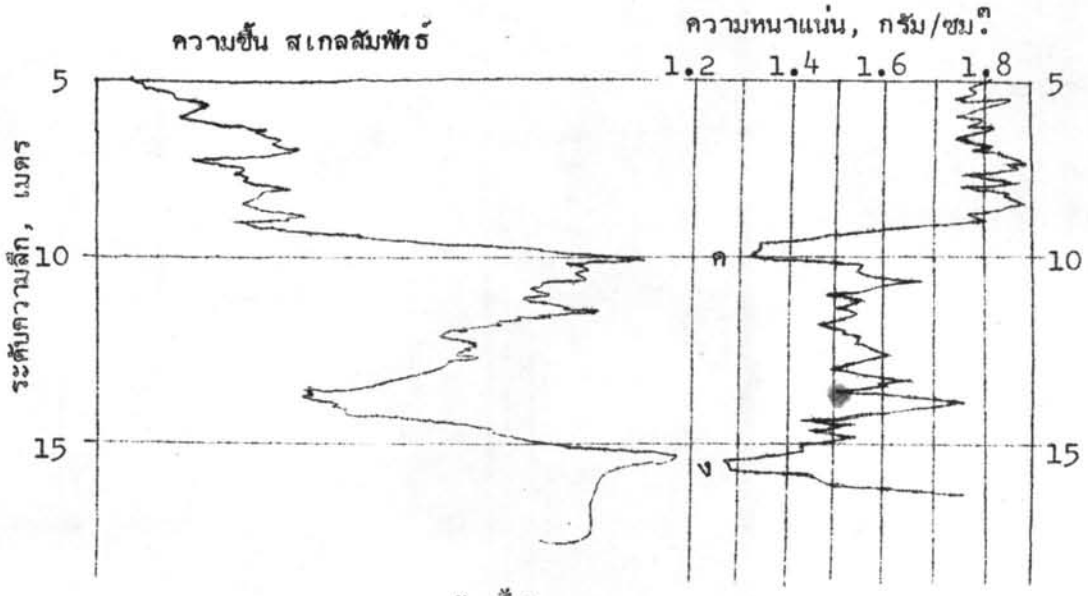
เครื่องมือวัดความหนาแน่นของดินโดยใช้รังสีสะท้อนกลับนี้ มีความสะดวก รวดเร็ว และสามารถวัดได้ละเอียดแม่นยำ นอกเหนือจากการปรับปรุงเครื่องมือดังกล่าวแล้ว ในการใช้งานจริงสามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องมือได้อีก โดย

๑. การใช้ร่วมกับพลอตเตอร์และมอเตอร์หย่อนหัวสำรวจ ทำให้สามารถวัดได้สะดวก รวดเร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับหลุมเจาะลึกๆ

๒. การใช้ร่วมกับหัวสำรวจชนิดอื่น อาทิเช่น

๒.๑ ใช้ร่วมกับหัววัดรังสีแกมมาในธรรมชาติ สามารถใช้เครื่องนับรังสีและอุปกรณ์อื่นๆ ชุดเดียวกัน เพียงแต่เปลี่ยนหัวสำรวจทำให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสภาพและชนิดของดินในระดับลึกต่างๆกัน เนื่องจากดินแต่ละชนิด **มีองค์ประกอบที่เป็นสารกัมมันตรังสี** ปริมาณต่างๆกัน ซึ่งในกรณีนี้นอกจากอาศัยความรู้ทางทฤษฎีแล้ว ยังจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์มากพอสมควร

๒.๒ ใช้ร่วมกับหัววัดความชื้นด้วยนิวตรอน โดยการสร้างรูปปรับเทียบของความหนาแน่นของดินและความเข้มรังสีแกมมาสะท้อนกลับ ที่ค่าความชื้นของดินต่างๆกันเสียก่อน เมื่อใช้หัวสำรวจความหนาแน่นและความชื้นของดินร่วมกัน จะทำให้ค่าความหนาแน่นของดินที่วัดได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น เพราะสามารถแก้ไขความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอิทธิพลของไฮโดรเจนที่มีต่อปฏิกิริยาคอมพ์ตัน สแคตเตอริง ดังกล่าวในบทที่ ๒



(ก) ความชื้น * (water content) (ข) ความหนาแน่น

* ได้จากการทดสอบเครื่องมือสำรวจแบบอัตโนมัติของกรมการพลังงาน กระทรวงกลาโหม ซึ่งยังไม่ได้มีการปรับเทียบ

รูปที่ ๔.๔ ผลการวัดความชื้นและความหนาแน่นของดินในหลุมเจาะเดียวกัน

จากรูปที่ ๔.๔ กราฟ (ก) แสดงผลการวัดความชื้นของดินด้วยหัววัดแบบนิวตรอน เป็นสเกลแบบสัมพัทธ์ และ (ข) ผลการวัดความหนาแน่นของดินแบบรังสีแกมมาสะท้อนกลับในหลุมเจาะเดียวกัน จะสังเกตเห็นได้ว่า กราฟทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน เช่นที่ ตำแหน่ง ค. และ ง. เป็นบริเวณที่มีความชื้นสูงสุด นั่นคือ ดินบริเวณนั้นมีความพรุนมาก มีช่องว่างให้น้ำเข้าไปอยู่เยอะ ซึ่งตรงกันกับผลการวัดความหนาแน่นในกราฟรูป (ข) บริเวณดังกล่าวมีความหนาแน่นต่ำ

จากการศึกษา การใช้เครื่องมือวัดความหนาแน่นของดิน โดยเทคนิคนิวเคลียร์ แบบรังสีสะท้อนกลับที่ประกอบขึ้นนี้ สรุปได้ว่า เป็นระบบเครื่องมือที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรแก่การพัฒนาขึ้นใช้เองในประเทศไทย