

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ระเบียบวิธีศักยภาพไฟฟ้าในตัวเอง (Self-Potential or Spontaneous Polarization Method) หรือเอสพี (SP) เป็นการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติระหว่าง 2 จุดใดๆ บนพื้นดิน มีการคิดค้นขึ้นมาเมื่อปี ค.ศ. 1830 โดย Robert Fox ซึ่งใช้ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นทองแดงต่อเข้ากับเครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าแบบกัลวานอมิเตอร์เพื่อสำรวจหาแหล่งสะสมของแร่คอปเปอร์ซัลไฟด์ (copper sulphide) ใต้พื้นดินในเมืองคอนวอร์ล ประเทศอังกฤษ หลังจากนั้นหลักการนี้ถูกใช้เป็นเครื่องมือในขั้นตอนที่สอง ของการสำรวจหาแร่โลหะ เพื่อกำหนดลักษณะรูปร่างและการวางตัวของแหล่งแร่ แต่อย่างไรก็ตามค่าผิดปกติของเอสพีที่ได้จากการสำรวจอาจมีได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและลบ หรือเป็นขั้วคู่ หรืออาจจะมีลักษณะที่ซับซ้อน และนอกจากนี้ลักษณะธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ทำการสำรวจก็มีอิทธิพลต่อค่าเอสพีด้วย (Howard, 1997)

ระเบียบวิธีเอสพีสามารถนำมาใช้ในการสำรวจหาแหล่งน้ำบาดาล แหล่งน้ำร้อน ตลอดจนถึงการใชในงานวิศวกรรม และการทำแผนที่ธรณีวิทยาด้วย ตัวอย่างเช่นการกำหนดตำแหน่งรอยเลื่อน (shear zones) และรอยเลื่อนระดับผิวดิน (near-surface faults) ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมือวัดค่าเอสพีมีราคาถูกและมีความสะดวกในการทำการสำรวจ

สัญญาณรบกวนของเอสพีมาจากหลายๆ แหล่งด้วยกันเช่น สถานีจ่ายไฟฟ้า สายไฟฟ้า ท่อส่งที่เป็นโลหะฝังดินหรือดั่งที่ป้องกันการเกิดสนิมด้วยการทำให้เป็นขั้วลบ ท่อวางสายไฟ ท่อระบายน้ำ รั้วที่ปักลงดิน ปลอกท่อเจาะ และวัสดุโลหะอื่นๆ ที่อยู่ในดิน ส่วนสัญญาณรบกวนตามธรรมชาติมาจากกระแสเทลลูริก ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องมือให้มีตัวกรองสัญญาณความถี่ทางอินพุต (input filter) ที่ทันสมัยหรือโดยใช้ดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงๆ การสำรวจเอสพีจึงสามารถทำได้ในพื้นที่มีสัญญาณรบกวนข้างต้นได้

การใช้ระเบียบวิธีเอสพี เพื่อตรวจหาความผิดปกติในโครงสร้างชั้นดินของพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น การรั่วซึมของเขื่อนหรือแหล่งฝังกลบขยะ ในการสำรวจจะต้องทำการวัดค่าที่หลายๆ จุดโดยการเลื่อนตำแหน่งขั้วไฟฟ้าไปตลอดพื้นที่โดยอาศัยการอ้างอิงกับตำแหน่งที่อยู่นอกพื้นที่การสำรวจหรืออีกกรณีหนึ่งสามารถใช้การวัดแบบอาศัยการอ้างอิงกับตำแหน่งที่อยู่ก่อนหน้าตำแหน่งที่กำลังวัดก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าทั้งสองวิธีต้องอาศัยการเลื่อนตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า ซึ่งถ้าหาก

เป็นการสำรวจแบบเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของเอสพีที่จะต้องวัดซ้ำที่ทุกๆ ตำแหน่งตลอดเวลาจะทำให้ไม่สะดวกและใช้เวลามาก

ในปัจจุบันจึงมีความพยายามคิดค้นและพัฒนาเครื่องมือขึ้นมาใช้ในลักษณะการสำรวจแบบสลับสายสัญญาณแทนการเลื่อนขั้วไฟฟ้า โดยทำการปักขั้วไฟฟ้าไว้คงที่ ณ ทุกๆ ตำแหน่งและเมื่อต้องการวัดค่าเอสพีที่ตำแหน่งใดก็จะเชื่อมต่อสายสัญญาณกับขั้วไฟฟ้าที่ตำแหน่งนั้น โดยอาศัยการทำงานของวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ (ใช้สายสัญญาณเส้นเดียวสำหรับทุกๆ ขั้วไฟฟ้า) เครื่องมือลักษณะนี้ยังไม่มีการผลิตในประเทศไทย แต่สำหรับในต่างประเทศมีการคิดค้นและมีการใช้การสำรวจคล้ายๆ กับลักษณะเดียวกันนี้ ที่ใช้ในการการสำรวจค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า เช่นของบริษัท ABEM (ประเทศสวีเดน) ซึ่งพบว่าทำให้เกิดความสะดวกและประหยัดเวลาเป็นอย่างมาก

ปัจจุบันห้องปฏิบัติการธรณีฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีเครื่องมือสำหรับงานสำรวจทางด้านเอสพี และสภาพต้านทานไฟฟ้า แต่ยังมีขาดระบบสลับสายสัญญาณ ทำให้ในการทำการสำรวจเอสพีแบบเฝ้าติดตาม หรือการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าที่การจัดขบวนขั้วไฟฟ้าต้องเลื่อนขั้วไฟฟ้าซ้ำตำแหน่งเดิมหลายครั้งใช้เวลาในการเก็บข้อมูลมาก การพัฒนาระบบในส่วนนี้ขึ้นมาทำหน้าที่เปลี่ยนขั้วไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับสายนำสัญญาณ แทนการเลื่อนตำแหน่งขั้วไฟฟ้าด้วยคน จึงเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการสำรวจงานทางด้านธรณีฟิสิกส์ด้วยระเบียบวิธีเอสพีในอนาคตให้มากขึ้นอีกด้วย

1.2 ค่าผิดปกติของเอสพี (SP Anomalies)

ระเบียบวิธีเอสพีจะเป็นการวัดความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าบนดินที่มีอยู่ตามธรรมชาติระหว่างจุดสองจุดใดๆ บนผิวดิน ค่าที่วัดได้จะอยู่ในระดับมิลลิโวลต์หรือมากกว่าหนึ่งโวลต์ และค่าที่เป็นบวกหรือลบก็มีความสำคัญมากต่อการแปลความข้อมูลความผิดปกติของเอสพี ที่มาของเอสพีแสดงดังตาราง 1.1 ซึ่งมีอยู่สองชนิดคือ ศักย์ไฟฟ้าจากแร่หรือเรียกว่ามีเนอรัลโพเทนเชียล (mineral potential) และเอสพีที่เกิดขึ้นจากแหล่งอื่นๆ ที่ไม่ใช่เกิดจากแร่เรียกว่าเบ็คกราวด์โพเทนเชียล (background potential) โดยที่เอสพีจากแร่ส่วนใหญ่จะเป็นแร่ซัลไฟด์ เช่นไพไรต์ คาลโคไพไรต์ ฟิรโรไทต์ สฟาเลอไรต์ และกาลีนา นอกจากนี้ยังมีแร่แกรไฟต์ แมกนีไทต์ หรือแร่ตัวนำไฟฟ้าอื่นๆ ตลอดจนถึงถ่านหิน แมงกานีส สายแร่ควอร์ตซ์ และผนังเพกมาไทต์ด้วย ส่วนเบ็คกราวด์โพเทนเชียลเกิดขึ้นจากการไหลของของเหลว ปฏิกิริยาเคมี ไฟฟ้าชีวภาพ (กระบวนการออกซิเดชันของ

หญ้าหรือต้นไม้) การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน หรือแม้กระทั่งความแตกต่างกันของระดับความสูงของผิวดินก็ทำให้มีเอสพีแตกต่างกันด้วย

ตาราง 1.1 แหล่งกำเนิดเอสพี (ปรับปรุงจาก : Reynolds, 1997)

แหล่งกำเนิด	ลักษณะของความผิดปกติ
1. มิเนอร์รัลโพเทนเชียล	
- แร่ซัลไฟด์ (ไพไรต์ คาลโคไพไรต์ พิริโรไทต์ สฟาเลอไรต์ กาลีนนา)	} เป็นลบประมาณหลักร้อยมิลลิโวลต์
- แกรไฟต์	
- แมกนีไทต์และแร่ตัวนำไฟฟ้าอื่นๆ	
- ถ่านหิน	
- เมงกานีส	
- สายแร่ควอร์ตซ์	} เป็นบวกประมาณหลักสิบมิลลิโวลต์
- เพกมาไทต์	
2. เบ็คกราวด์โพเทนเชียล	
- การไหลของของเหลว ปฏิกิริยาเคมี	เป็นบวกหรือลบ ≤ 100 มิลลิโวลต์
- ศักย์ไฟฟ้าชีวภาพ	เป็นลบ ≤ 100 มิลลิโวลต์
- การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน	เป็นบวกหรือเป็นลบ, ประมาณหลักร้อยมิลลิโวลต์
- ระดับความสูงของพื้นดิน	เป็นลบได้ถึง 2 โวลต์

1.3 กลไกการเกิดเอสพี

ในกรณีทั่วไป เอสพีเกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของน้ำใต้ดิน โดยกระบวนการของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ที่มาจากการละลายของแร่ต่างชนิดและต่างความเข้มข้น ชนิดของศักย์ไฟฟ้าแสดงในตาราง 1.2 ซึ่งความแตกต่างกันของค่าเอสพีบนพื้นดินในแต่ละจุดขึ้นอยู่กับค่าไดอิเล็กทริก (dielectric) และความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอน (electronic conduction) ของพื้นดิน การเคลื่อนที่ของไอออน ความหนืด อุณหภูมิและแรงดันที่กระทำต่อของสารละลายด้วย

ตาราง 1.2 ชนิดของศักย์ไฟฟ้า (ปรับปรุงจาก : Reynolds, 1997)

อิเล็กโทรไคเนติกโพเทนเชียล (electrokinetic potential)	}	เปลี่ยนแปลงตามเวลา
- อิเล็กโทรฟิลเตรชัน (electrofiltration)		
- อิเล็กโทรเมคานิคอล (electromechanical)		
- สตรีมมิงโพเทนเชียล (streaming potential)	}	อิเล็กโทรเคมีคอลโพเทนเชียล
ดิฟฟิวชันโพเทนเชียล (diffusion potential)		
- ลิกวิดจังก์ชัน (liquid junction)	}	(electrochemical potential)
เนิร์นสต์โพเทนเชียล (Nernst potential)		
- เซลโพเทนเชียล (shale potential)	}	คงที่
มิเนอร์อัลโพเทนเชียล (mineral potential)		

1.3.1 อิเล็กโทรไคเนติกโพเทนเชียล

อิเล็กโทรไคเนติกโพเทนเชียล เป็นผลของการไหลของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ผ่านรูเล็กๆ หรือโพรงในตัวกลาง ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ที่ปลายทั้งสองด้านของตัวกลางนั้น (Ahmad, 1964) โดยเชื่อว่าศักย์ไฟฟ้าเกิดจากการสัมผัสกันของไอออนอิสระกับผนังของรูที่สารละลายไหลไปซึ่งอาจจะเรียกว่าอิเล็กโทรฟิลเตรชัน (electrofiltration) หรืออิเล็กโทรเมคานิคอล และศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับความดันดังนี้

$$E_k = \frac{\epsilon \rho \zeta \delta P}{\eta} \quad (1)$$

ซึ่ง E_k เป็นเกรเดียนต์ของศักย์ไฟฟ้า (Vm^{-1}) ที่เกิดขึ้น ส่วน ϵ , ρ และ η คือค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Fm^{-1}) สภาพต้านทานไฟฟ้า (Ωm) และค่าความหนืด (Pa s) ตามลำดับ และสำหรับ δP คือค่าความแตกต่างความดัน (Pam^{-1}) ระหว่าง 2 บริเวณนั้น ส่วน ζ คือสตรีมมิงโพเทนเชียล (V)

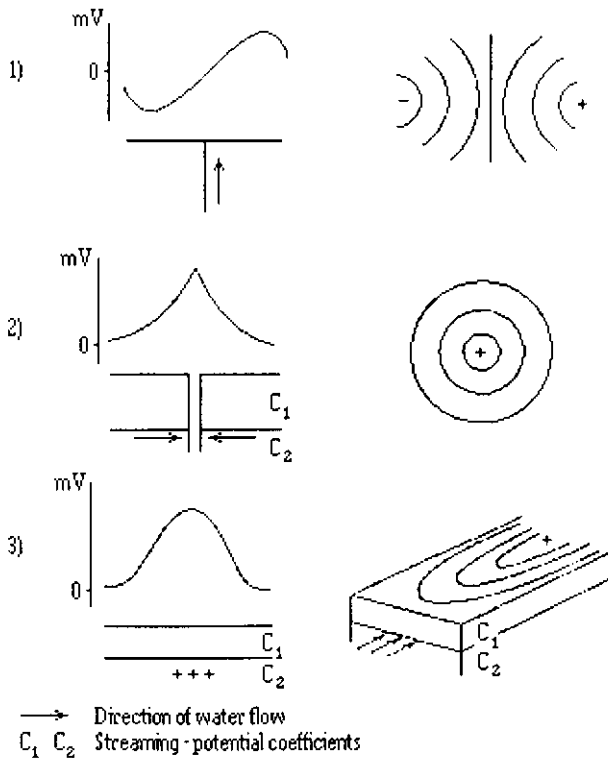
จากกฎของ Helmholtz ที่กล่าวไว้ว่าเกรเดียนต์ของศักย์ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับความแตกต่างความดันและปริมาณของตัวกลาง นั้นก็คือ

$$E_k = C_E \delta P \quad (2)$$

โดยเรียก C_E ว่าค่าคงตัวอิเล็กโตรฟิลเตรชันหรือค่าคงตัวสตรีมมิงโพเทนเชียล (electrofiltration coupling or streaming potential coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางไฟฟ้าของสารละลายอิเล็กโทรไลต์และโครงสร้างการผสมผสานเป็นเครือข่ายของตัวกลางที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้นไหลผ่านหรือจากสมการ (1) จะได้ $C_E = \frac{\epsilon\rho\zeta}{\eta}$

ตัวอย่างของอิเล็กโตรโคเนคติกโพเทนเชียลที่ชัดเจนคือ การไหลของน้ำขนานกับตัวกลาง 2 ชนิดที่เป็นตัวกำหนดขอบเขต หรือไหลออกไปยังพื้นที่ว่าง เช่น การไหลจากพื้นที่รับน้ำมายังระดับน้ำใต้ดินในชั้นดินอุ้มน้ำของน้ำบาดาล กราฟของอิเล็กโตรโคเนคติกโพเทนเชียลในพื้นที่ธรณีวิทยาที่มีค่า C_E แตกต่างกันแสดงในภาพประกอบ 1.1ก

ภาพประกอบ 1.1ก ลักษณะของค่าผิดปกติจากอิเล็กโตรโคเนคติกโพเทนเชียลในธรณีวิทยาแบบต่าง ๆ 1) น้ำไหลในทิศทางขึ้นด้านบน 2) การสูบน้ำบาดาลขึ้นมาจากชั้นหินอุ้มน้ำ 3) น้ำไหลในแนวนอน (ที่มา : Schiavone and Quarto, 1984)

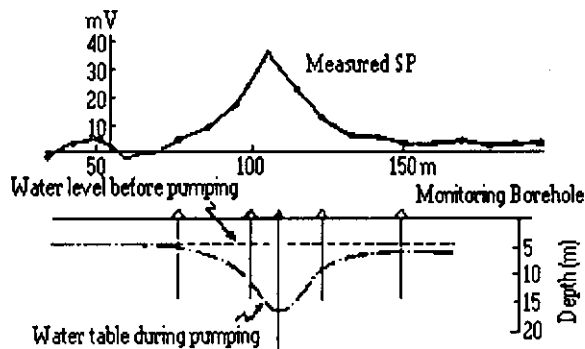


ศักย์ไฟฟ้ามีแนวโน้มเป็นบวกมากขึ้นในทิศทางเดียวกับการไหลของน้ำแต่ประจุไฟฟ้าจะไหลในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นจึงสามารถทำให้สรุปได้ว่าประจุลบจะมีค่ามากขึ้นเมื่อระดับภูมิประเทศสูงขึ้น (เพราะปกติน้ำไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ จึงทำให้ที่ยอดภูเขามีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าที่ฐาน) ตามตัว

อย่างที่มีรายงานการวิจัยของ Gay (1967) ซึ่งได้รายงานการวัดค่าของเอสพีที่ยอดเขาแห่งหนึ่งใกล้เมือง Hualgayac ประเทศเปรูได้ค่าเท่ากับ $-1,842$ มิลลิโวลท์ แต่เนื่องจากพื้นที่นั้นเป็นแหล่งแร่ยูเรเนียมด้วย ค่าเอสพีที่วัดได้อาจมีผลมาจากมิเนอร์ลโพเทนเชียลด้วย นอกจากนี้ Nayak (1981) ได้ทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าบนภูเขาที่เป็นหินควอร์ตไซต์ในเมืองซิลลอง (Shillong) ประเทศอินเดียและได้ค่าต่ำถึง $-1,940$ มิลลิโวลท์ซึ่งสอดคล้องกับ Corwin and Hoover (1979) ที่รายงานค่าศักย์ไฟฟ้าบนยอดสูงสุดของภูเขาไฟอะดักดาก (Adagdak) เกาะอะดาก (Adak) มลรัฐอลาสกาได้เท่ากับ $-2,693$ มิลลิโวลท์ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าเอสพีจะลดต่ำลงเมื่อค่าความสูงของพื้นที่มากขึ้น

ในพื้นที่ลาดชันที่น้ำผิวดินไหลได้จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าในบริเวณเดิมเปลี่ยนแปลงไปได้เช่นกัน เช่น กรณีมีฝนตกหนัก (Fournier, 1989) นั่นคือการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินก็ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Corwin and Hoover, 1979) ดังนั้นขั้วไฟฟ้าที่ปักลงในดินที่เปียกมากกว่าจะมีค่าเอสพีมากกว่า (Poldini, 1939) นอกจากนี้ศักย์ไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้จากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาโดยมีค่าหลายสิบลมิลลิโวลท์ (Semenov, 1980) ความแตกต่างของแรงดันน้ำที่ไหลมาจากชั้นหินอุ้มน้ำเพื่อมายังบ่อเจาะที่ถูกสูบน้ำออกไปก็จะให้ค่าเอสพีเป็นบวกด้วยดังภาพประกอบ 1.1ข

ภาพประกอบ 1.1ข ค่าผิดปกติของเอสพีในพื้นที่มีการสูบน้ำบาดาลจากบ่อ (ที่มา : Semenov, 1980)



1.3.2 อิเล็กโตรเคมีคอลโพเทนเชียล (Electrochemical potential)

ศักย์ไฟฟ้าบนพื้นดินที่มีผลมาจากการแพร่ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เรียกว่าลิควิดจังก์ชันโพเทนเชียล (liquid-junction potential) จะมีค่าอยู่ในระดับหลักสิบลมิลลิโวลท์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นต่างกันในน้ำบาดาล แต่เมื่อเวลาผ่านไปศักย์ไฟฟ้าจะมีความแตกต่างน้อยลงอันเนื่องมาจากการแพร่ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จากบริเวณที่

มีความเข้มข้นสูงมายังความเข้มข้นต่ำ ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลาย (E_d) ดังสมการ (3)

$$E_d = -\frac{RT(I_a - I_c)}{nF(I_a - I_c)} \ln\left(\frac{C_1}{C_2}\right) \quad (3)$$

ซึ่ง I_a และ I_c คืออัตราเร็วของแอนไอออน (Anions, +ve) และแคทไอออน (Cations, -ve) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (ms^{-1}) ส่วน R คือค่าคงที่ของแก๊สซึ่งมีค่าเท่ากับ 9.314 จูลต่อเคลวินต่อโมล ($\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$) สำหรับ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์มีหน่วยเคลวิน (K) ส่วน n คือจำนวนไอออนที่มีการเคลื่อนที่ F คือค่าคงที่ของฟาราเดย์มีค่าเท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ต่อโมล (Cmol^{-1}) และ C_1 กับ C_2 คือความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีหน่วยเป็นโมลาร์ (Molar)

เนิร์นทโพเทนเชียล (Nernst potential : E_n) เป็นกรณีพิเศษของลิกนิตจันซ์โพเทนเชียล และเป็นกรณีที่ง่ายที่สุดของอิเล็กโทรเคมีคอลโพเทนเชียล เกิดขึ้นเนื่องจากความต่างศักย์ในสารละลายชนิดเดียวกันและมีความต่อเนื่องกันตลอดแต่มีความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ต่างกัน เท่านั้น จากสมการที่ (3) จะได้ดังนี้

$$E_n = -\frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{C_1}{C_2}\right) \quad (4)$$

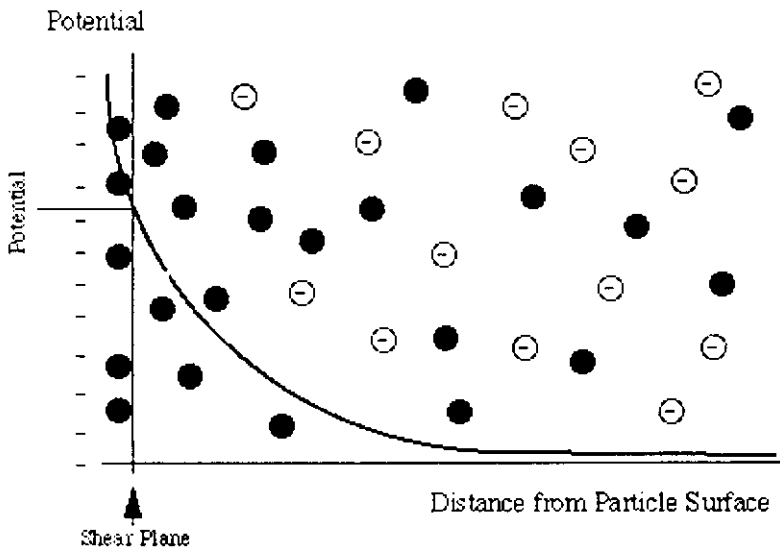
จากสมการ (4) ที่ 25 องศาเซลเซียสสารละลายเกลือแกง (NaCl) ที่มีอัตราส่วนความเข้มข้นที่ 5:1 จะได้เนิร์นทโพเทนเชียลประมาณ 50 มิลลิโวลต์

เนิร์นทโพเทนเชียลมีความสำคัญอย่างมากในการสำรวจธรณีฟิสิกส์ในหลุมเจาะ (logging) หรือเรียกว่าเซลโพเทนเชียล (shale potential) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความแตกต่างความเข้มข้น $\frac{C_1}{C_2}$ และอุณหภูมิเท่านั้น ตัวอย่างสำหรับกรณีนี้คือการนำไปใช้ในการสำรวจแหล่งน้ำร้อนของ Corwin and Hoover (1979) และกรณีของการเกิดเอสพีจากความแตกต่างความเข้มข้นของเกลือจากการรุกตัวของน้ำทะเลเข้ามาในชั้นน้ำบาดาล

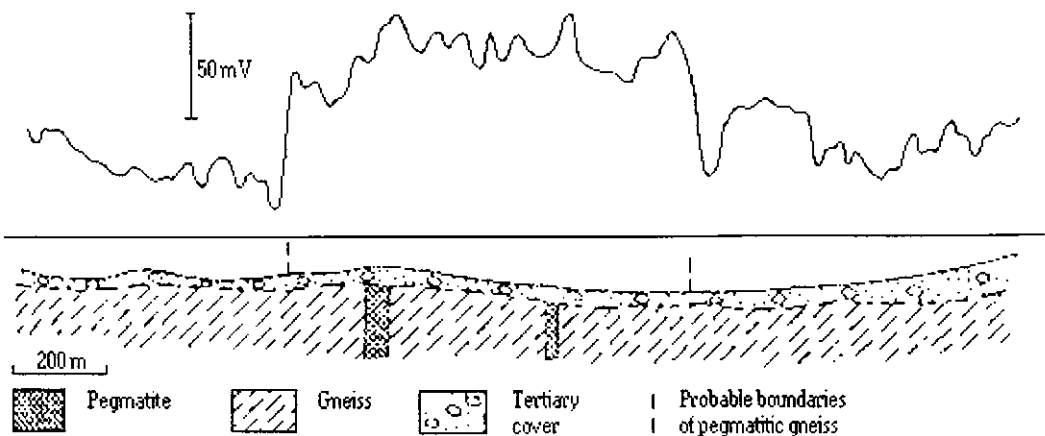
นอกจากนี้ยังมีกรณีของอิเล็กโทรเคมีคอลโพเทนเชียลในรูปแบบที่มีการจับแอนไอออนที่บริเวณผิวของสายแร่ควอร์ตซ์หรือผนังเพกมาไทต์ ที่เรียกชื่อว่าแอดซอร์บชันโพเทนเชียลหรือซีตาโพเทนเชียล (adsorption or zeta potentials) ซึ่งโดยปกติที่ผิววัตถุของแข็งมีค่าทางไฟฟ้าเป็นลบ ดังนั้นเมื่อมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์มาอยู่ติดกัน จะทำให้ไอออนบวกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มาออกันอยู่ที่ผิวรอบนอกของของแข็งเสมอ หรือเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า อิเล็กทริกดับเบิลเลเยอร์

(electric double layer) ของของแข็งและสารละลาย (Klee, 2000) หรือจากภาพประกอบ 1.2 ถ้าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไหลขึ้นด้านบน จะมีไอออนบวกส่วนหนึ่งที่เกาะกับผนังของแข็งจนมาถึงบริเวณระนาบเฉือน (shear plane) ส่วนไอออนบวกอื่นๆ ก็พยายามที่จะเข้าใกล้ผนังของแข็งให้มากที่สุดดังจะเห็นได้ว่ามีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งบริเวณห่างจากระนาบเฉือนออกมาไอออนบวกยังคงถูกพาไปกับการไหลของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้อยู่ ตัวอย่างในกรณีนี้คือค่าผิดปกติที่สูงขึ้นถึง +100 มิลลิโวลต์ จากการวัดค่าเอสพีที่ตัดผ่านผนัง (dyke) เพกมาไทต์ในหินไนส์ (gneiss) ดังภาพประกอบ 1.3

ภาพประกอบ 1.2 ลักษณะการเกิดอิเล็กทริกดับเบิลเลเยอร์ (ที่มา : Klee, 2000)



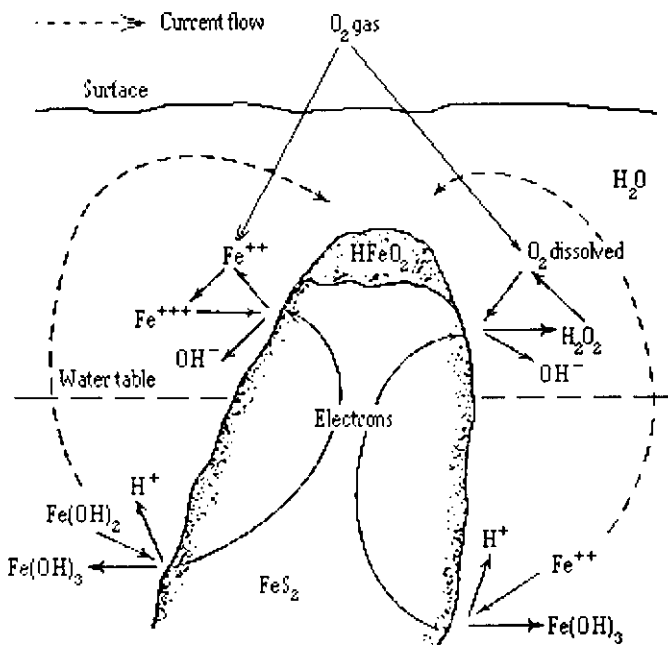
ภาพประกอบ 1.3 ภาคตัดขวางค่าผิดปกติของเอสพีในแนวตั้งจากกับผนังเพกมาไทต์ในหินไนส์ (ที่มา : Semenov, 1980)



1.3.3 มิเนอร์รัลโพเทนเชียล

มิเนอร์รัลโพเทนเชียลอธิบายการเกิดค่าผิดปกติของเอสพีที่เป็นลบมาากๆ ซึ่งจะพบได้ในการสำรวจแหล่งแร่ซัลไฟด์ เช่นแร่ไพไรต์ คาลโคไพไรต์และแร่ที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีอื่นๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการสำรวจแร่สฟาเลอไรต์หรือแร่ที่นำไฟฟ้าไม่ดียื่นๆ ได้อีกด้วย แต่ค่าผิดปกติที่ได้จะไม่เด่นชัดนัก

ภาพประกอบ 1.4 แบบจำลองการเกิดเอสพีของแหล่งแร่ซัลไฟด์ (ที่มา : Sato and Mooney, 1960)



Sato and Mooney (1960) อธิบายการเกิดมิเนอร์รัลโพเทนเชียลไว้ว่า เกิดจากการที่ก่อนมวลของแร่ตัวนำไฟฟ้าอย่างเช่นไพไรต์ วางตัวอยู่ใต้ดินโดยท่อนล่างอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ตามลักษณะนี้จะทำให้มีการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) เกิดขึ้น โดยส่วนที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) จากภาพประกอบ 1.4 พิจารณาฝั่งซ้ายมือเมื่อ FeS_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำ (H_2O) จะได้ Fe(OH)_2 และแอนไอออนอิสระของ H^+ หนึ่งตัว เมื่อ Fe(OH)_2 เสียอิเล็กตรอนอีกหนึ่งตัวโดยการจับกับ $(\text{OH})^-$ จะได้เป็น Fe(OH)_3 ส่วนด้านบนไอออนอิสระของ Fe^{++} จะรับอิเล็กตรอนกลายเป็น Fe^{+++} ส่วนด้านขวามือก็มีลักษณะคล้ายกัน ดังนั้นถ้ามองว่าทั้งหมดคือเซลล์ไฟฟ้า จะเห็นว่าด้านบนจะเป็นขั้วลบด้านล่างจะเป็นขั้วบวกจึงทำให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้าภายนอกเซลล์ (เนื่องจากในดินมีความชื้น และแร่ตัวนำกระแสไฟฟ้าอื่นๆ ในดิน) จากด้านล่างขึ้นด้านบน (ตามเส้นประ)

1.4 เครื่องมือสำหรับวัดเอสพี

เครื่องมือสำหรับวัดเอสพีเป็นเครื่องมือทางธรณีฟิสิกส์ที่ง่ายที่สุด สามารถใช้ขั้วไฟฟ้าที่เป็นนอนโพลาร์ไรเซชันต่อเข้ากับโวลต์มิเตอร์ที่มีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์มากกว่า 10^8 โอห์ม และสามารถวัดค่าได้น้อยกว่า 1 มิลลิโวลต์ขั้วไฟฟ้าโดยทั่วไปจะทำจากทองแดงจุ่มอยู่ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่อิ่มตัว (Cu-CuSO_4) และสามารถทำให้สารละลายซึมผ่านฐานด้านล่างลงไปสู่ดินได้ นอกจากนี้สามารถใช้สังกะสีในสารละลายซิงค์ซัลเฟตที่อิ่มตัว (Zn-ZnSO_4) แพลตินัมในสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ (Pt-KCl) เงินในสารละลายซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag-AgCl) หรือเมอร์คิวรีในสารละลายเมอร์คิวรีคลอไรด์ ($\text{Hg-Hg}_2\text{Cl}_2$) ก็ได้

ในการวัดภาคสนามจะมีเทคนิคการปักขั้วไฟฟ้าอยู่สองวิธี โดยจะพยายามให้มีแนวการวัดขวางหรือตั้งฉากกับเป้าหมาย การปักขั้วทั้งสองวิธีเป็นดังนี้

1. การปักขั้วที่เรียกว่าระเบียบวิธีโพเทนเชียลเกรเดียนท์ (potential gradient) ใช้ขั้วไฟฟ้าสองขั้วปักให้ระยะห่างเท่ากันตลอดแนวการวัด โดยทั่วไปประมาณ 5 ถึง 10 เมตร ค่าที่บันทึกจะเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้หารด้วยระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในหน่วยมิลลิโวลต์ต่อเมตร (mV/m) และจุดที่วัดค่าได้คือจุดกึ่งกลางระหว่างขั้วไฟฟ้า การย้ายขั้วไฟฟ้าจะใช้วิธีการกระโดดข้าม โดยถ้าสมมติว่าขณะนี้ขั้วที่นำหน้าตามแนววัดเป็นขั้วบวก ในการวัดครั้งต่อไปขั้วนี้จะเปลี่ยนเป็นขั้วลบ และขั้วลบที่อยู่ด้านหลังขั้วนี้จะไปอยู่ด้านหน้าแทนและเปลี่ยนเป็นขั้วบวก ทั้งนี้เพื่อป้องกันการผิดพลาดเรื่องของการปักขั้วที่จุดเดิม

2. การปักขั้วที่เรียกว่าระเบียบวิธีโพเทนเชียลแอมพลิจูด (potential amplitude) โดยการปักขั้วหนึ่งไว้กับที่ ณ ตำแหน่งอ้างอิงและไม่ใช้เป็นแหล่งแร่ และจะทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าในหน่วยมิลลิโวลต์ (mV) ระหว่างจุดอ้างอิงกับขั้วไฟฟ้าอีกขั้วหนึ่งที่ปักตลอดแนวการวัด โดยระยะห่างระหว่างจุดที่เลื่อนไปไม่จำเป็นต้องเท่ากันตลอดก็ได้ การวัดแบบนี้สามารถป้องกันการสับสนเรื่องขั้วได้ แต่ต้องระวังไม่ให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในขั้วไฟฟ้าที่เลื่อนไปกับขั้วที่ใช้เป็นศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพราะอาจจะทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ที่ผิดปกติขึ้นได้ เช่นค่าศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปของขั้วไฟฟ้าแบบทองแดงในคอปเปอร์ซัลเฟตเท่ากับ 0.5 มิลลิโวลต์ต่อองศาเซลเซียสและสำหรับขั้วไฟฟ้าแบบโลหะเงินในซิลเวอร์คลอไรด์เท่ากับ 0.25 มิลลิโวลต์ต่อองศาเซลเซียส (Reynolds, 1997)

สัญญาณรบกวนของเอสพีมีทั้งชนิดที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและชนิดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่นสัญญาณรบกวนที่มาจากชั้นบรรยากาศ จะมีความถี่ประมาณ 5 -10 เฮิร์ตซ์ และมีแอมพลิจูดอยู่ในช่วงเดียวกันกับมินิเออร์ลโพเทนเชียลก็อาจจะทำให้เข้าใจว่าเป็นความผิดปกติมา

จากแร่โลหะก็เป็นได้ ปัญหานี้สามารถแก้ไขด้วยการวัดซ้ำในตำแหน่งเดิม แต่ต่างเวลากันในรอบหนึ่งวันแล้วหาค่าเฉลี่ย นอกจากนี้ในกรณีของการวัดค่าเอสพีหลังจากมีฝนตกหนักและมีน้ำไหลบนผิวดินอาจทำให้เกิดสตริมมิงโพเทนเชียลที่มีค่าผิดปกติขนาดเดียวกับมินิเออร์ลโพเทนเชียลได้เช่นกัน

การวัดค่าเอสพีสามารถกระทำบนผิวน้ำเพื่อวัดค่าสตริมมิงโพเทนเชียลได้ แต่จะต้องปิดฐานของขั้วไฟฟ้าไม่ให้สารละลายภายในไหลออกมาได้ เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของน้ำให้เท่าเดิม แต่ระเบียบวิธีนี้สามารถใช้ได้กับน้ำที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเอสพีตามความลึก หรือมีการไหลของกระแสไฟฟ้าในแนวตั้งน้อยมากๆ หรือไม่มีเลย (Ogilvy, et al., 1969) ในกรณีของน้ำเกลือ (NaCl) ที่มีสภาพต้านทานไฟฟ้าประมาณ 0.3 - 1 โอห์มเมตร พบว่าเอสพีที่วัดได้มีค่าต่ำมาก

นอกจากโวลท์มิเตอร์แล้ว ยังมีเครื่องมือที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการวัดเอสพีโดยตรงอีกหลายชนิด เช่น เครื่อง Borehole Resistivity System ของบริษัท Geotech ที่สามารถวัดเอสพีได้ในช่วง ± 1000 มิลลิโวลท์ และเทอร์รามิเตอร์ของบริษัท ABEM รุ่น SAS 300B ที่สามารถวัดเอสพีได้ด้วยการปรับช่วงการวัดแบบอัตโนมัติ แต่ไม่เกิน ± 500 โวลท์ มีความเที่ยงตรง (Accuracy) ที่ 0.01 ถึง 1 มิลลิโวลท์ และรุ่น SAS 4000 ซึ่งสามารถวัดค่าเอสพีได้ระหว่าง 1 ไมโครโวลท์ถึง 400 โวลท์ มีการเลือกช่วงการวัดแบบอัตโนมัติ และค่าความละเอียดที่ 30 นาโนโวลท์ ความเที่ยงตรงดีกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ตลอดช่วงอุณหภูมิทำงาน (-5 ถึง 50 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ทั้งสองรุ่นของบริษัท ABEM สามารถทำการวัดซ้ำหลายครั้ง (Stack) เพื่อหาค่าเฉลี่ยได้ และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทางช่องส่งสัญญาณมาตรฐาน RS-232

งานวิจัยนี้ได้ใช้เทอร์รามิเตอร์ SAS 300B ทำหน้าที่วัดค่าเอสพี และสร้างเครื่องมือเพิ่มเติมในส่วนทำหน้าที่ควบคุมการวัดและสลับสายนำสัญญาณเพื่อต่อกับขั้วไฟฟ้าในตำแหน่งที่ต้องการวัดแบบอัตโนมัติ ตลอดจนถึงการตั้งเวลาทำการวัดแบบเฝ้าติดตามและการบันทึกลงแฟ้มข้อมูล ซึ่งจะทำให้การวัดในทุกๆ ตำแหน่ง (ทุกๆ ขั้วไฟฟ้า) ในพื้นที่เดียวกันใช้เวลาน้อยมากสำหรับ และใช้คนเพียงคนเดียวสำหรับการทำงานภาคสนามได้

1.5 การปรับแก้ข้อมูลเอสพี

การวัดค่าเอสพีในพื้นที่ใหญ่กว่า 1 ตารางกิโลเมตรค่าผิดปกติของเอสพีอาจถูกซ่อนทับด้วยอิทธิพลของกระแสเทลลูริก (telluric current) ซึ่งจะมีค่าประมาณ ≥ 100 มิลลิโวลท์ต่อกิโลเมตร แต่สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการปรับแก้เชิงภูมิภาค อย่างไรก็ตามการวัดค่าเอสพีในพื้นที่เล็กๆ มีแนววัดไม่ถึง 1 กิโลเมตร ก็ไม่มีความจำเป็นในการปรับแก้ค่ามากนัก นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลของความสูงด้วย ซึ่งถ้าระดับความสูงในพื้นที่แตกต่างกันไม่มากนักก็ไม่ต้องทำการปรับแก้เชิงภูมิภาคเช่นกัน

ค่าเอสพีเป็นลบมากที่ความสูงเพิ่มขึ้น คาดว่ามาจากผลของกระแสเทลลูริกด้วยเช่นกัน ซึ่งนอกจากสาเหตุนี้และสาเหตุของการไหลของน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำแล้วนอกจากนั้นยังไม่มีสาเหตุอื่นที่มีการพิสูจน์ให้ชัดเจน ซึ่งเป็นการยากที่จะแยกแยะองค์ประกอบของการเกิดค่าผิดปกติแบบนี้ได้ แต่ก็สามารถที่ปรับแก้ในเชิงคุณภาพได้ ซึ่ง Yüngüi (1950) กำหนดวิธีไว้และมีการพิสูจน์เพิ่มเติมโดย Bhattacharya and Roy (1981) หลังจากนั้น Bhattacharya ปรับปรุงอีกครั้งหนึ่งเมื่อปี 1986 โดยได้ข้อสรุปว่า ถ้าความชันของพื้นที่ทำการสำรวจมากกว่า 20 องศา จะต้องทำการปรับแก้ค่าเอสพี โดยการหักลบค่าเอสพีที่วัดได้ด้วยค่าผิดปกติเชิงภูมิภาค

นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวนที่มาจากศักย์ไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric potential) ของพืช ซึ่งสามารถให้ค่าความผิดปกติที่เป็นลบได้ถึงหลักร้อยมิลลิโวลต์ ค่าผิดปกติของเอสพีจากพืชกับจากแร่มีขนาดและรูปแบบใกล้เคียงกัน จึงต้องมีการป้องกันด้วยการกำจัดพืชในจุดวัดไม่ให้ความหนาแน่นมากเกินไปด้วย

1.6 การแปลความข้อมูลค่าผิดปกติของเอสพี

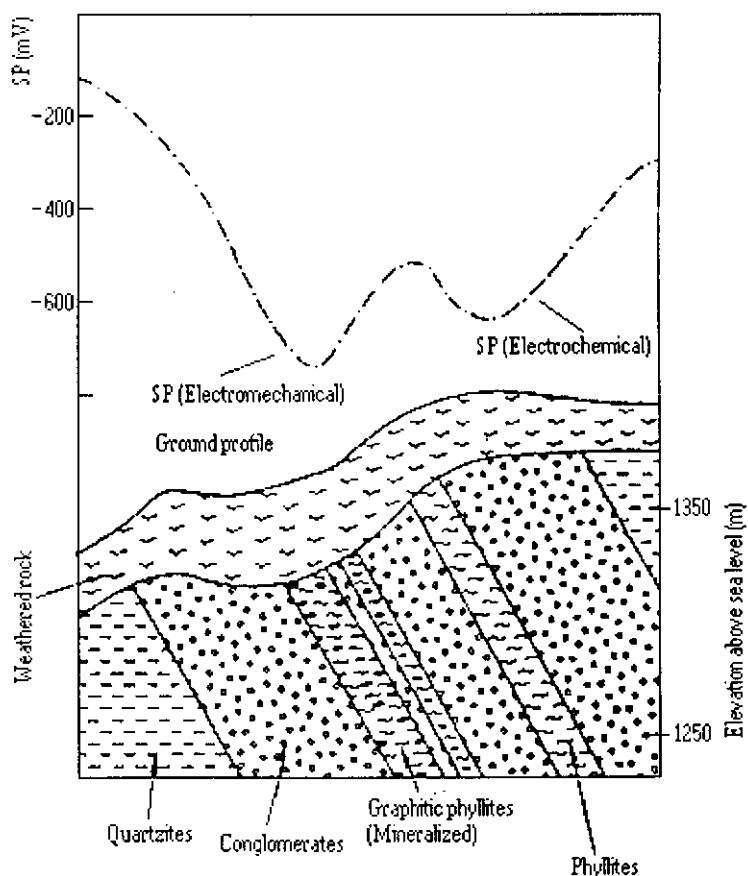
การแปลความข้อมูลค่าผิดปกติของเอสพีส่วนใหญ่จะเป็นการแปลความเชิงคุณภาพ โดยพิจารณาจากรูปร่างภาคตัดขวาง (profile shape) ค่าแอมพลิจูดของข้อมูล ความเป็นขั้ว (ค่าบวกหรือลบ) และรูปแบบคอนทัวร์ (contour pattern) ด้านบนสุดของแหล่งแร่อนุมานได้ว่าเป็นตำแหน่งของจุดวัดที่ให้ค่าเอสพีน้อยที่สุด ถ้าแกนของขั้วที่เกิดขึ้นคือแกนระหว่างขั้วแคโทดและแอนโอดของกลุ่มก้อนแร่ได้เอียงไปจากแนวตั้ง จะทำให้ลักษณะเส้นกราฟค่าผิดปกติไม่สมมาตร ด้านที่เส้นกราฟมีค่าบวกของเอสพีมากกว่าจะเป็นด้านของฐานกลุ่มก้อนแร่หรือเป็นด้านที่แสดงถึงการวางตัวที่เอียงไปจากเส้นสมมาตร

ในกรณีที่มีแหล่งกำเนิดค่าผิดปกติของเอสพีมากกว่าหนึ่งแหล่งในพื้นที่เดียวกันจะทำให้มีการซ้อนทับกันของค่าผิดปกติของเอสพี อย่างเช่นภาพประกอบ 1.5 แสดงค่าผิดปกติของเอสพีจากมิเนอร์ลโพเทนเชียลของกราฟิติกฟิลไลต์ซึ่งจะให้ค่าผิดปกติที่ -740 มิลลิโวลต์ และมีค่าผิดปกติจากอีกแหล่งกำเนิดอิเล็กโตรโคเนดิกที่มาจากกรไหลของน้ำในชั้นหินกรวดมน ซึ่งให้ค่าเท่ากับ -650 มิลลิโวลต์ แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีแหล่งกำเนิดค่าผิดปกติอยู่ใกล้เคียงกัน แต่ถ้ามีการวางตัวที่แตกต่างกัน ก็สามารถแยกแยะออกได้ด้วยการพิจารณาจากลักษณะเส้นกราฟ ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 1.6 จะเห็นว่าถ้าการวางตัวของแกรไฟต์ในรูปแรกมีแนวเป็นรูปประทุนหงาย (Syncline) เราจะได้ค่าผิดปกติที่มีจุดต่ำสุดอยู่สองตำแหน่ง ซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกับส่วนบนสุดของแกรไฟต์ทั้งสอง ส่วนในภาพประกอบสอง การวางตัวของแกรไฟต์มีลักษณะเป็นประทุนคว่ำ (Anticline) ทำให้ค่าต่ำที่เป็นลบซ้อนทับกันจนกลายเป็นค่าผิดปกติที่มาจากตัวกลางที่ใหญ่ขึ้น แต่

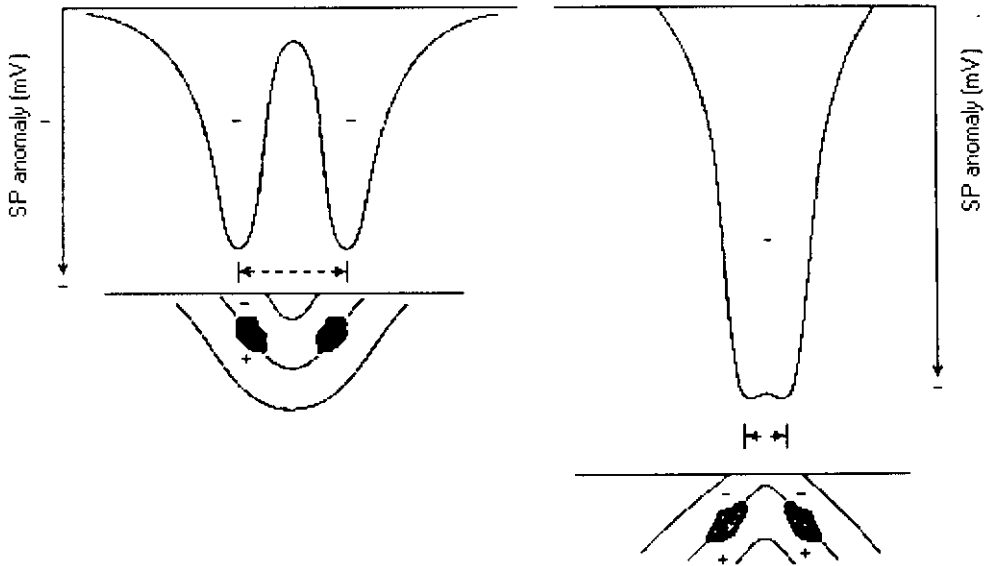
อย่างไรก็ตามก็ยังสามารถแยกได้ว่ามีจุดต่ำสุดอยู่ 2 ค่า ซึ่งระยะระหว่างจุดต่ำสุดทั้งสองจะเท่ากับระยะห่างด้านบนของแหล่งแร่ไฟต์ทั้งสองนั่นเอง

การแปลความข้อมูลเอสพีเชิงปริมาณ ปกติจะอนุมานว่ารูปร่างของตัวกลางเป็นทรงกลม เป็นแผ่น หรือเป็นแท่ง และกำหนดเครื่องหมายของขั้ว แล้วทำการคำนวณค่าจากแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการสำรวจ ส่วนการอนุมานค่าความลึกถึงจุดศูนย์กลางของตัวกลางสามารถใช้เทคนิคความกว้างครึ่งค่า (half-width) ได้ ตัวอย่างค่าผิดปกติของเอสพีที่ได้จากตัวกลางทรงกลมและตัวกลางที่เป็นแผ่นแสดงดังภาพประกอบ 1.7 และตัวกลางที่เป็นแท่งแสดงดังภาพประกอบ 1.8 ส่วนภาพประกอบ 1.9 เป็นการแปลความค่าผิดปกติของเอสพีด้วยการสร้างแบบจำลองเพื่อกำหนดลักษณะของแหล่งแร่ไฟต์

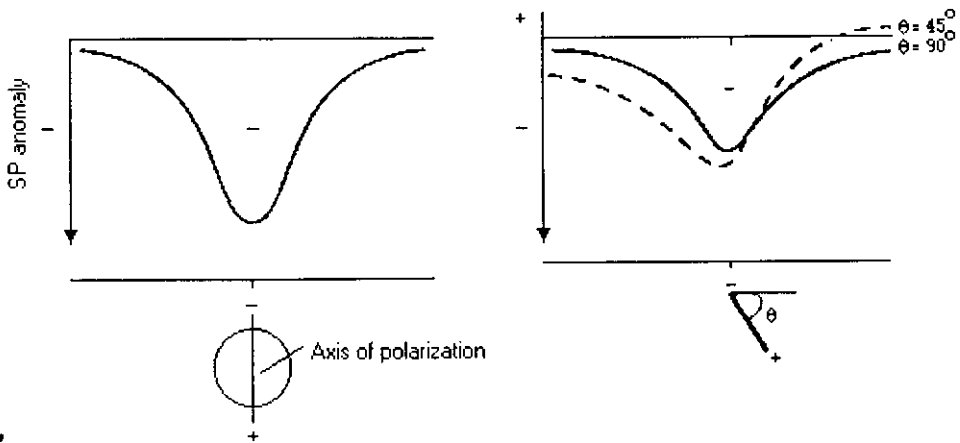
ภาพประกอบ 1.5 ค่าผิดปกติที่มีการซ้อนทับกันของเอสพีแบบมินเนอรัลโพเทนเชียลของกราฟิติกฟิลไลต์ และค่าผิดปกติแบบอิลเล็กโตรโคเนติกโพเทนเชียลจากการไหลของน้ำในชั้นหินกรวดมน (ที่มา : Nayak, 1981)



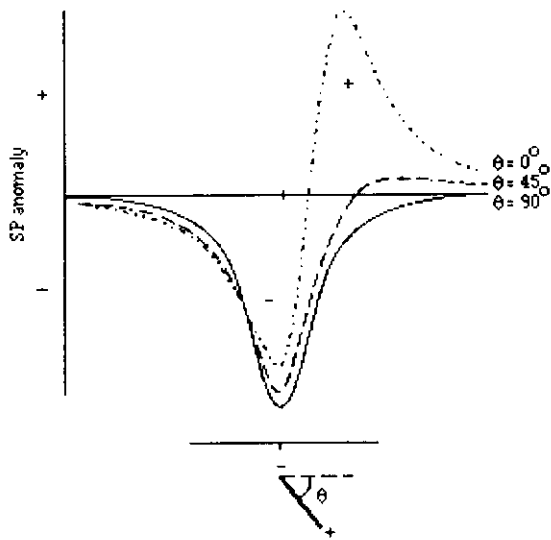
ภาพประกอบ 1.6 ค่าผิดปกติของเอสพีกับลักษณะการวางตัวของตัวกลางสองแหล่งและสองแบบ
(ที่มา : Meiser, 1962)



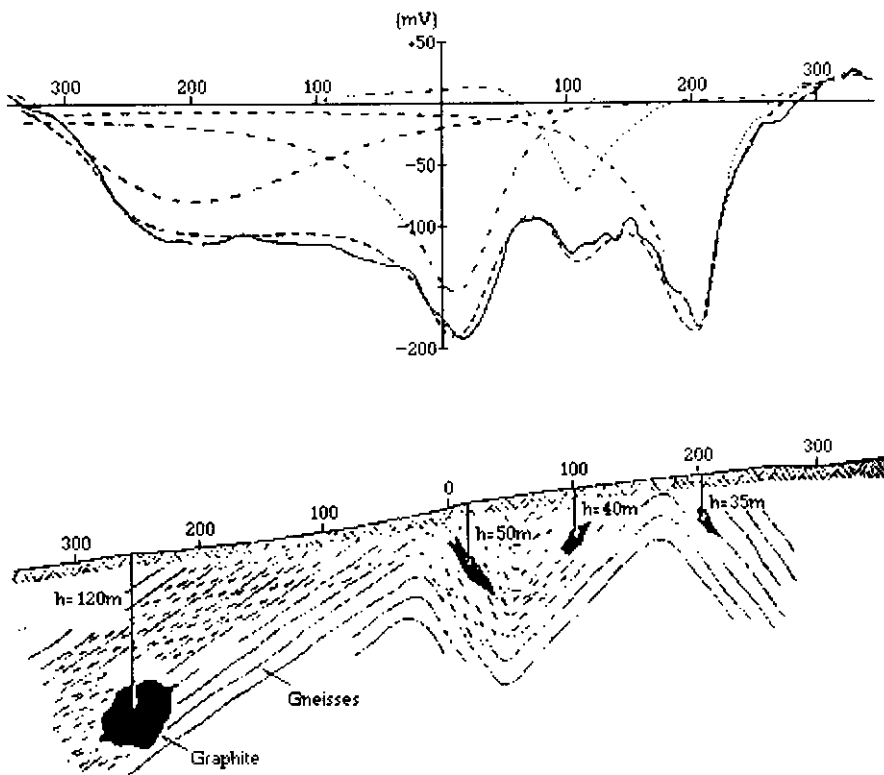
ภาพประกอบ 1.7 ค่าผิดปกติของเอสพีที่มาจากตัวกลางทรงกลมและเป็นแผ่น (ที่มา : Parasnis, 1986)



ภาพประกอบ 1.8 ค่าผิดปกติของเฮสพีที่มาจากตัวกลางเป็นแท่ง (ที่มา : Telford, et al., 1990)



ภาพประกอบ 1.9 แบบจำลองค่าผิดปกติของเฮสพีจากสี่แหล่งกำเนิดของแกรไฟต์ (เส้นประ) กับค่าที่ได้จากการสำรวจ (เส้นทึบ) และผลการเจาะสำรวจ (ที่มา : Meiser, 1962)

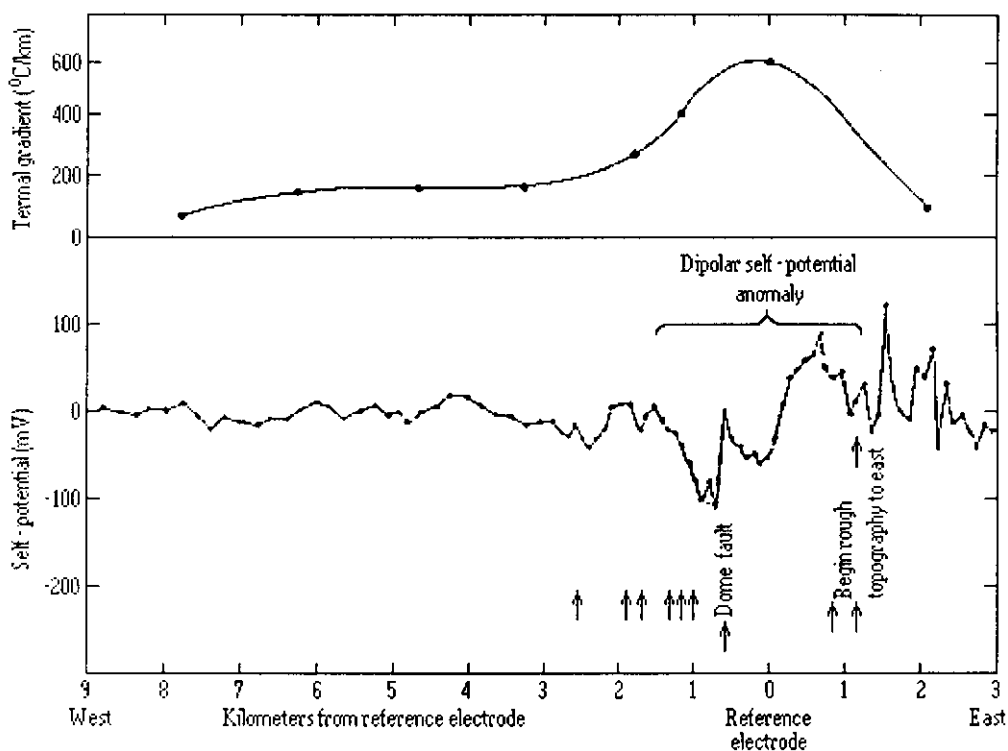


1.7 การตรวจเอกสาร

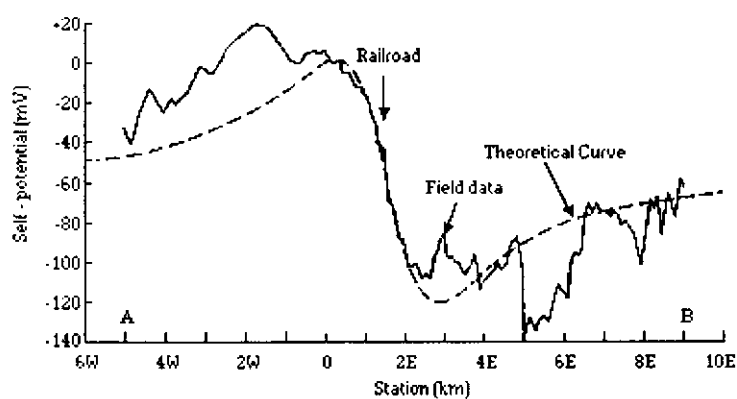
การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีเอสพีพบว่ามีหลายด้าน เช่น นำไปใช้ในการกำหนดขอบเขตแหล่งน้ำพุร้อน แหล่งน้ำบาดาล แหล่งปนเปื้อนจากสารไฮโดรคาร์บอนและแหล่งฝังกลบขยะเป็นต้น ซึ่งมีตัวอย่างที่สำคัญดังนี้

กรณีการประยุกต์ใช้ในการกำหนดขอบเขตแหล่งน้ำพุร้อน Stierman (1998) ได้นำระเบียบวิธีเอสพีไปใช้ในการสำรวจหาโครงสร้างทางธรณีวิทยาในบริเวณที่มีการไหลเวียนของน้ำในแหล่งน้ำพุร้อนไกเซอร์ส ที่บริเวณตอนเหนือของซานฟรานซิสโก เช่นเดียวกับ Apostolopoulos, et al., (1997) ที่ได้ทำการสำรวจเอสพีในแหล่งน้ำร้อนตามธรรมชาติ โดยขณะทำการสำรวจได้ทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากสัญญาณรบกวนของกระแสเทลลูริกด้วยเพื่อเป็นข้อมูลในการปรับแก้ค่าผิดปกติที่ได้ ซึ่งพบว่าการแปลความข้อมูลเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีวีแอลเอฟ (VLF : Very-Low-Frequency) สามารถกำหนดโครงสร้างทางธรณีวิทยาได้สอดคล้องกัน นอกจากนี้ Corwin and Hoover (1979) ก็ใช้ระเบียบวิธีเอสพีสำรวจในแหล่งน้ำพุร้อนรูสเวลท์ (Roosevelt) ที่มลรัฐยูทาห์ (Utah) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นแหล่งแร่ยูเรเนียมและไฟโรตอยู่ด้วย ค่าผิดปกติของแร่ทั้งสองจะให้เอสพีเป็นลบ ในขณะที่บริเวณที่มีน้ำพุร้อนขึ้นมาจะให้ค่าเอสพีเป็นบวกถึง +80 มิลลิโวลท์ ซึ่งค่าผิดปกติของเอสพีมีการซ้อนทับกันจากแหล่งที่มาสองชนิด แต่สามารถใช้ข้อมูลการสำรวจอุณหภูมิเป็นตัวช่วยในการแปลความได้ ซึ่งค่าอุณหภูมิที่สูงที่สุดจะตรงกับตำแหน่งที่ค่าผิดปกติของเอสพีสูงสุดและเป็นตำแหน่งของบ่อน้ำพุร้อนพอดี แสดงในภาพประกอบ 1.10 และในปีเดียวกัน Corwin and Hoover (1979) รายงานผลการสำรวจด้วยเอสพีในแหล่งน้ำร้อนเซร์โรปริเอโต (Cerro Prieto) ประเทศเม็กซิโก แสดงในภาพประกอบ 1.11 พบว่าค่าผิดปกติมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่รอยเลื่อนฮิดัลโก (Hidalgo fault) โดยมีค่าเอสพีจากยอดสูงสุดถึงต่ำสุดประมาณ 150 มิลลิโวลท์ ต่อมา Fitterman and Corwin (1982) ได้ทำเป็นแผนที่คอนทัวร์ของพื้นที่เดียวกัน ซึ่งพบว่ามีบริเวณที่ค่าผิดปกติเป็นลบและเป็นบวกอยู่สองด้านของรอยเลื่อนฮิดัลโก (เส้นประ) เช่นกัน แสดงในภาพประกอบ 1.12 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าระเบียบวิธีเอสพีมีความสำคัญในการสำรวจพื้นที่แหล่งน้ำพุร้อนเป็นอย่างมาก แต่การสำรวจในทุกพื้นที่มีอุปสรรคที่สำคัญคือ ต้องใช้วิธีเลื่อนขั้วไฟฟ้าไปตลอดพื้นที่สำรวจ ทำให้มีระยะเวลาที่ต่างกันมากระหว่างการวัดที่ตำแหน่งแรกและตำแหน่งสุดท้ายซึ่งจะส่งผลให้มีสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้ามามีผลทำให้ค่าที่วัดได้แตกต่างจากความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีมีการกลับไปวัดซ้ำที่ตำแหน่งเดิมอีกครั้งจะต้องใช้เวลาถึงสองเท่าของเวลาเดิม

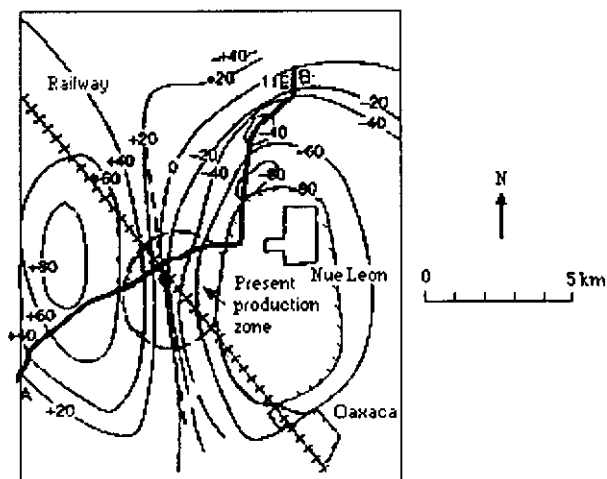
ภาพประกอบ 1.10 ค่าผิดปกติของเอสพีและอุณหภูมิจากแหล่งน้ำพุร้อนรูสเวลท์ (ที่มา : Corwin and Hoover, 1979)



ภาพประกอบ 1.11 ค่าผิดปกติของเอสพีในแหล่งน้ำร้อนเซอร์โรฟรีโตประเทศเม็กซิโก (ที่มา : Corwin and Hoover, 1979)

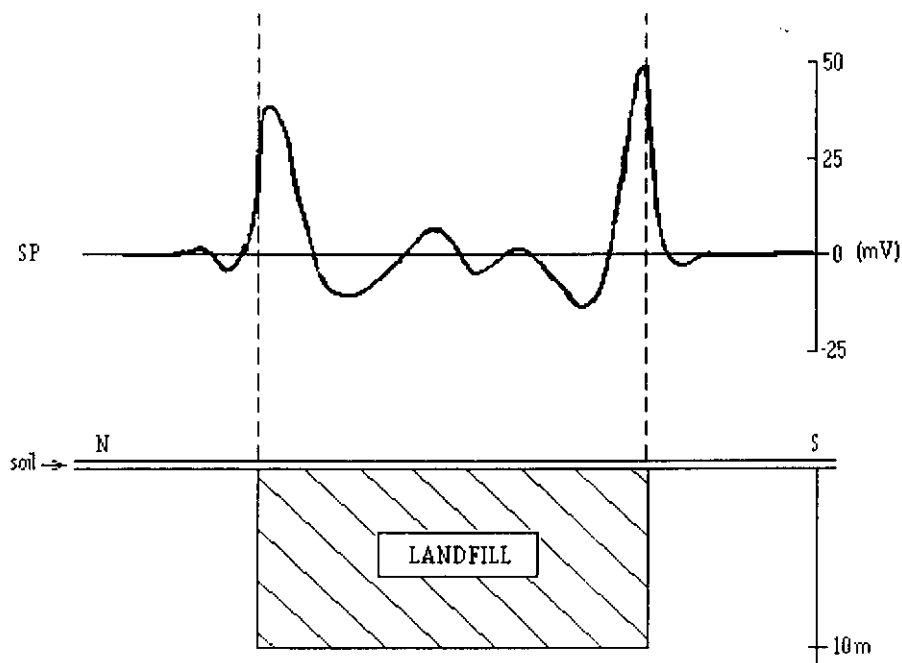


ภาพประกอบ 1.12 คอนทัวร์ค่าผิดปกติของเฮลฟีนในพื้นที่เดียวกันกับภาพประกอบ 1.11 (ที่มา: Fitterman and Corwin, 1982)



กรณีการประยุกต์ใช้กำหนดพื้นที่แหล่งปนเปื้อนโดย Coleman (1991) ได้ทำการทดลองสำรวจเฮลฟีนในหลุมขยะแบบฝังกลบ (Landfill) พบว่าค่าผิดปกติของเฮลฟีนจะเป็นบวกอย่างชัดเจนที่ขอบของหลุมขยะทั้งสองด้านดังแสดงในภาพประกอบ 1.13 ซึ่งสามารถระบุได้ชัดเจนถึงการรั่วออกไปของของเสีย นอกจากนี้ Perry and Corry (2000) นำระเบียบวิธีเฮลฟีนไปสำรวจในแหล่งที่ดินมีสิ่งปนเปื้อนจากสารไฮโดรคาร์บอนบริเวณย่านการค้าคิงไฮเวย์ (King Highway Plaza) ในเมืองสตราทาม (Stratham) มลรัฐนิวแฮมเชียร์ (New Hampshire) และที่ฐานทัพอากาศพีซ (Pease) ในมณฑลโรคคิงแฮม (Rockingham) มลรัฐนิวแฮมเชียร์ (New Hampshire) พบว่าระเบียบวิธีเฮลฟีนให้ผลที่ชัดเจนในการสำรวจเพื่อวิเคราะห์แหล่งปนเปื้อนจากสารไฮโดรคาร์บอนโดยที่มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้วิธีอื่นๆ และสามารถใช้เป็นระบบเฝ้าติดตามการเกิดขึ้นและการเคลื่อนย้ายของแหล่งปนเปื้อนได้ แต่มีอุปสรรคในเรื่องของการใช้เวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างมากและในการวัดซ้ำที่ตำแหน่งเดิมมีความผิดพลาดได้ง่ายถ้าการปักขั้วไฟฟ้าไม่เหมือนเดิม นอกจากนี้เครื่องมือในปัจจุบันสามารถทำการสำรวจเฮลฟีนในแหล่งชุมชน ที่มีสัญญาณรบกวนมาจากสายไฟฟ้า ท่อเหล็ก รั้วเหล็กที่ปักลงดิน และวัสดุโลหะอื่นๆ ที่ฝังในดินได้ด้วย

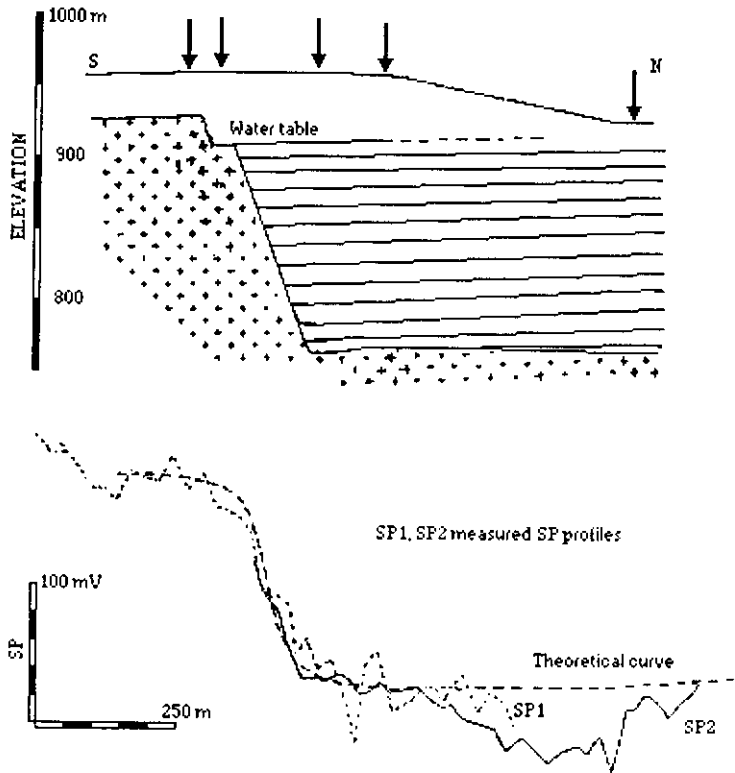
ภาพประกอบ 1.13 ค่าผิดปกติของเอสพีในพื้นที่แหล่งฝังกลบขยะ (ที่มา : Coleman, 1991)



กรณีการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีเอสพีที่สำคัญอีกด้านหนึ่งคือ การใช้ติดตามการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาลซึ่ง Fournier (1989) ได้ใช้ระเบียบวิธีเอสพีเพื่อหาขอบเขตชั้นหินอุ้มน้ำในชั้นหินภูเขาไฟในพื้นที่ Chaine des Puys ตอนกลางของประเทศฝรั่งเศส ภาพประกอบ 1.14 ซึ่งเมื่อใช้การแปลความร่วมกับข้อมูลสภาพด้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก (ณ จุดที่ศรีซี้) พบว่าสามารถกำหนดขอบเขตได้อย่างชัดเจน เช่นเดียวกับ Bergström (1998) ที่ใช้ระเบียบวิธีศักยภาพไฟฟ้าในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำบาดาลในเมืองแร่ Storgruve ประเทศสวีเดน เป็นเวลาประมาณ 1 ปี พบว่าลักษณะการไหลของน้ำบาดาลไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่มีการกักกัรอนระหว่างชั้นดินตลอดระยะเวลาการสำรวจ นอกจากนี้ Pinettes, et al., (2000) ได้ทำการสำรวจเอสพีที่เกิดจากการไหลของน้ำบาดาลภายในรอยแตกของหินแกรนิตที่มีระดับความลึก 150 เมตร พบว่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้มีค่าน้อยมาก จึงเป็นการยากที่จะใช้ระเบียบวิธีวัดเอสพีกับแหล่งกำเนิดเอสพีที่มีระดับความลึกมากๆ ในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีเอสพีเพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาล มีความจำเป็นต้องวัดเอสพีที่ทุกๆ จุดวัดซ้ำหลายครั้งซึ่งปัญหาที่เป็นอุปสรรคอย่างมากคือการปักขั้วไฟฟ้าที่จุดเดิม ไม่สามารถทำให้เหมือนกันได้ทุกครั้งหรือแม้กระทั่งถ้ามีการปักที่ตำแหน่งคลาดเคลื่อนไปแล้วดินมีความชื้นต่างกันก็จะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มีความแตกต่างกันด้วย

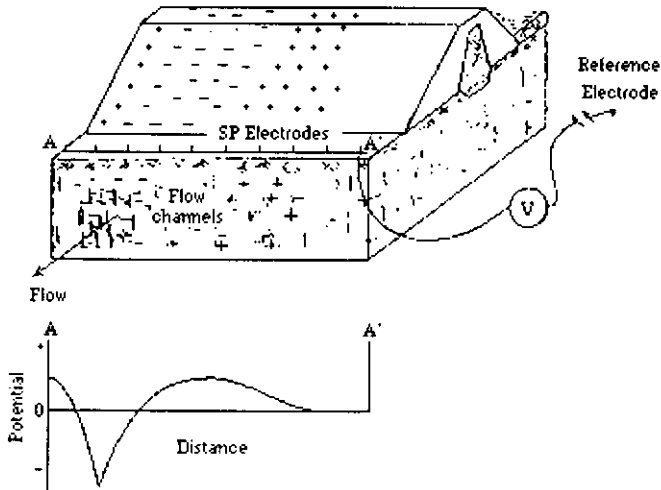
Central Library
Prince of Songkla University

ภาพประกอบ 1.14 ภาคตัดขวางของชั้นหินอุ้มน้ำที่ได้จากการแปลความข้อมูลสภาพด้านทานไฟฟ้าและค่าผิดปกติของเอสพี (ที่มา : Fournier, 1989)

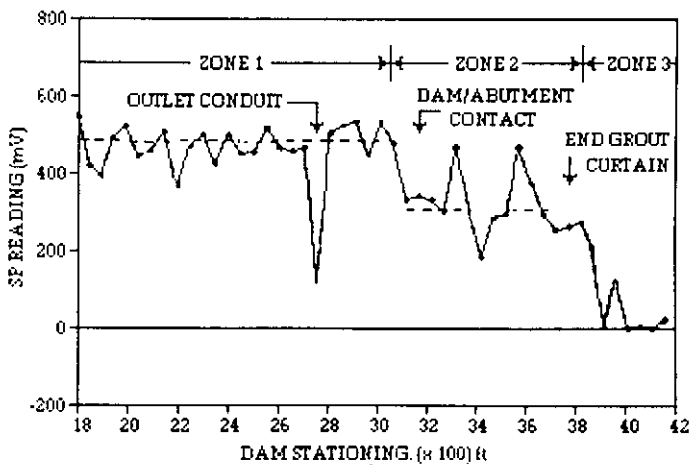


Bogoslovsky and Ogilvy (1970a, b) กล่าวว่าวิธีระเบียบวิธีเอสพีสามารถใช้ในการสำรวจหารอยร้าวของเขื่อนเก็บน้ำตามธรรมชาติได้ (เขื่อนเก็บน้ำที่มีฐานบนพื้นดิน) โดยมีแนวคิดเกี่ยวกับกรณีนี้ดังภาพประกอบ 1.15 นั่นคือค่าเอสพีจะเป็นลบตลอดผิวดินด้านบนของรอยร้าว หลังจากนั้น Butler and Llopis (1990) ใช้ระเบียบวิธีเอสพีสำรวจอ่างเก็บน้ำมิลล์ครีก (Mill Creek) ในมลรัฐวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา เพื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ว่ามีรอยร้าวหรือไม่ ซึ่งจากภาพประกอบ 1.16 พบว่าในบริเวณที่ไม่ได้ทำการอัดฉีดน้ำปูน (Grout) ในรอยแตกของหินมีค่าเอสพีลดลงต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ การวัดผ่านท่อระบายน้ำ (Outlet conduit) ค่าเอสพีก็ลดต่ำลงมากเช่นกัน จึงเป็นไปได้ว่าน้ำไหลออกไปได้ทางรอยแตกของหินที่ไม่ได้อัดฉีดน้ำปูนในพื้นที่นั้น

ภาพประกอบ 1.15 แบบจำลองแสดงแนวคิดค่าผิดปกติของเอสพีที่ได้จากแหล่งที่มีรอยร้าวของ
เขื่อน(ที่มา : Bogoslovsky and Ogilvy, 1970a, b)



ภาพประกอบ 1.16 ค่าผิดปกติของเอสพีจากอ่างเก็บน้ำมิลล์ครีก (ที่มา : Butter and Llopis, 1990)



นอกจากการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีเอสพีในกรณีต่างๆ แล้วยังมีการศึกษาเกี่ยวกับค่าคงตัว
สตรีมมิงโพเทนเชียล (C_E) ด้วยโดย Tuman (1963a) ทำการวัดค่า C_E จากตัวอย่างที่แตกต่างกัน 3
ชนิดของหินทรายพบว่าค่ามีความสัมพันธ์กับความพรุนของตัวอย่าง โดยถ้าความพรุนลดลงจะทำให้
ค่า C_E ลดลงด้วย หลังจากนั้น Tuman (1963b) ได้เสนอความสัมพันธ์ของความดันที่มีผลต่อค่า
 C_E สามารถนิยามคือ กรณีที่หนึ่งที่ความดันน้อยๆ ค่าสตรีมมิงโพเทนเชียลจะสอดคล้องกับกฎของ
Helmholtz-Smoluchowski ตามสมการ (2) กรณีที่สองถ้าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไหลเร็วจะทำ
ให้อัตราส่วน $\Delta V / \Delta P$ เพิ่มขึ้นตามความดัน เขาอธิบายว่ามาจากการเคลื่อนที่ของจำนวนไอออน

ที่อยู่ในบริเวณดับเบิลเดเยอร์ไปยังตำแหน่งแกนกลางของท่อตามความเร็วของการไหลของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เพิ่มขึ้น กรณีที่สามถ้าความดันที่ปลายทั้งสองของท่อแตกต่างกันมากๆ (สารละลายอิเล็กโทรไลต์ไหลเร็วมากๆ) จะทำให้อัตราส่วน $\Delta V / \Delta P$ ลดลง เนื่องจากไอออนถูกพาไปเร็วเกินกว่าที่จะเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณดับเบิลเดเยอร์ ต่อมา Ahmad (1964) ได้ทำการวัดค่า C_E ของทรายจากแร่ควอร์ตซ์ที่มีขนาดต่างๆ กันในภาชนะที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ เป็นกล่องสี่เหลี่ยม เป็นท่อทรงกระบอก และกล่องรูปลิ้ม พบว่าได้ค่า C_E เท่ากันในภาชนะทุกรูปทรง แต่ค่า C_E จะเพิ่มขึ้นถ้าขนาดของเม็ดแร่ควอร์ตซ์เล็กลงและค่าสภาพการซึมได้ (Permeability) ลดลง ซึ่งได้สรุปว่าค่าสภาพการซึมได้เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดของเม็ดแร่ (Grain size) ซึ่งสัมพันธ์กับผลการทดลองของ Schuch and Wanke (1967) ที่ทำการวัดค่า C_E ของตัวอย่างดินที่ทำจากทรายและพีทมอส (Peat-moss) พบว่าค่า C_E ของทรายมากกว่าของพีทมอสเล็กน้อย แต่ถ้าหากมีปริมาณของดินเหนียวในทรายมากขึ้นจะทำให้ค่า C_E เพิ่มมากขึ้นด้วย และสอดคล้องกับการทดลองของ Ogilvy, et al., (1969) ที่ได้ทำการวัดค่า C_E ของทรายที่ได้จากแร่ควอร์ตซ์ทั้งหมด โดยทำการวัดค่าที่ขนาดเม็ดแร่ ต่างๆ กัน ซึ่งพบว่าได้ค่าสูงสุดของ C_E มาจากควอร์ตซ์ที่มีขนาด 250 – 315 ไมครอน จึงสามารถสรุปได้ว่าค่า C_E มีความสัมพันธ์กับขนาดเม็ดแร่ของตัวกลางแบบผกผัน ถ้าเม็ดแร่มีขนาดเล็กจะทำให้ค่า C_E มากขึ้น

Ishido and Mizutani (1981) ทำการประมาณค่าสตริมมิงโพเทนเชียล (ζ) ของหินและแร่ประกอบหินจากตัวอย่างหินที่เย็นตัวในชั้นเปลือกโลก เขาใช้แบบจำลองหลอดรูเล็ก (capillary model) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง C_E และ ζ ซึ่งสนใจในกรณีของอิทธิพลจากอุณหภูมิ ค่า pH และองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เขาพบว่าค่าของ ζ จะเพิ่มขึ้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 20 องศาเซลเซียสเป็น 70 องศาเซลเซียส ส่วนผลของ pH ต่อค่า ζ พบว่าจะเหมือนกันในแร่ทุกชนิด คือค่า ζ จะเป็นลบที่ค่า pH เป็นกลางและมีค่าลดลงเมื่อ pH ลดลง และที่สำคัญพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีอิทธิพลต่อผลการทดลองอย่างมาก ซึ่งสามารถทำให้ค่าที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้นี้ทั้งสองค่ากลับจากลบเป็นบวกได้ เช่น สารละลายที่มี Al^{3+} สามารถทำให้ ζ เป็นบวกที่ pH เป็นกลางได้ ดังนั้นจึงนับว่าองค์ประกอบทางเคมีมีอิทธิพลอย่างมากต่อ ζ

Sprunt, et al., (1994) ทำการทดลองหาค่า C_E จากหินปูน (Limestone) ด้วยการเปลี่ยนค่าการซึมได้จาก 1 ถึง 100 มิลลิเดาร์ซี (1 เดาร์ซีเท่ากับ 0.987×10^{-12} ตารางเมตร) พบว่าค่า C_E ของหินปูนไม่ขึ้นกับค่าสภาพการซึมได้ ซึ่งแตกต่างกับค่า C_E ของหินทรายที่ได้จากการทดลองของ

Jouniaux and Pozzi (1995) ที่ทำการวัดค่า C_E ของตัวอย่างหินทรายที่มีค่าสภาพซึ่มได้ตั้งแต่ $0.15-1220 \times 10^{-12}$ ตารางเมตร ซึ่งพบว่า C_E ลดลงเมื่อค่าสภาพการซึ่มได้ลดลง

นอกจากนี้ยังมีการทดลองเพื่อหาค่า C_E ในตัวอย่างต่างๆ อีกหลายชนิด ซึ่งได้รวบรวมไว้ในบางกรณีที่สำคัญตามตาราง 3

ตาราง 3 ค่า C_E ในตัวอย่างที่แตกต่างกันบางชนิด ปกติถ้าไม่มีการหมายเหตุ (Comment) ไว้ จะเป็นการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และค่า pH เป็นกลาง (เครื่องหมายลบหน้า C_E และ C_E/ρ เป็นส่วนกลับกับค่าที่ได้จากการทดลอง) (ที่มา : Friberg, 1996)

Authors	Sample	Electrolyte resistivity, ρ (Ω m)	$-C_E$ (mV/kPa)	$-C_E/\rho \times 1000$ (mV/kPa Ω m)	Comment
Ahmad (1964)	Quartz sand	24	0.4-0.64	17-27	
Ahmad (1964)	Quartz sand	5600	40-112	7-20	
Ishido and Mizutani (1981)	Crushed quartz	40	0.24-3.9	6-98	KNO_3 10^{-3} N, T=45°C, pH=3.2-10.8
Ishido and Mizutani (1981)	Crushed quartz	40	0.24-3.9	50-75	KNO_3 10^{-3} N, T=30°-70°C, pH=6.1
Jouniaux and Pozzi (1995)	Fontainebleau sandstone	1000	0.1-66.4	0.1-66.4	
Morgan (1989)	Crushed Westerly granite	8.5	0.19-0.23	22-27	NaCl, pH=5.5
Morgan (1989)	Crushed K-feldspar	28	1.0	36	NaCl, pH=5.5
Ogilvy, et al., (1968)	Clean quartz sand	55	4.7-8.3	85-150	
Schuch and Wanke (1967)	Fine/middle grained sand	11	10-21	900-1900	
Schuch and Wanke (1967)	Clayey fine/middle grained sand	11	100	9000	
Sprunt, et al., (1994)	Clean limestone	0.56	0.009-0.013	16-23	NaCl
Sprunt, et al., (1994)	Clean sandstone	0.56	0.012	21	NaCl
Tuman (1963a)	Sandstone	500	1.8-4.3	3.6-8.6	

จากกรณีการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีเอสพีที่ได้กล่าวถึง จะเห็นได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้หลายด้าน โดยเฉพาะกรณีการประยุกต์ใช้สำรวจเพื่อกำหนดขอบเขตแหล่งปนเปื้อนที่กำลังเป็นปัญหาสำคัญของสังคมในปัจจุบัน สาเหตุที่มีความพยายามนำเอาระเบียบวิธีเอสพีมาใช้ก็เพราะไม่ต้องป้อนพลังงานลงไปในดิน เครื่องมือมีหลักการที่ง่ายและมีราคาถูก แต่ระเบียบวิธีนี้มีข้อด้อยตรงที่ต้องใช้เวลาในการวัดและการเคลื่อนย้ายจุดวัดนาน และถ้าเป็นการวัดแบบเฝ้าติดตามหรือวัดซ้ำที่จุดเดิมก็จะต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าหากต้องการใช้เวลาในการสำรวจให้น้อยที่สุดจะต้องใช้คนในการสำรวจอย่างน้อย 4 คน (ชุดหลุม 1 คน ปักขั้วไฟฟ้า 2 คน ควบคุมเครื่องมือวัด 1 คน) จึงนับว่าเป็นข้อด้อยสำหรับระเบียบวิธีเอสพีเป็นอย่างมาก ดังนั้นถ้ามีระบบช่วยในการเคลื่อนย้ายขั้วไฟฟ้า วัดค่า และบันทึกค่าแบบอัตโนมัติก็จะทำให้การเก็บข้อมูลภาคสนามใช้เวลาน้อยลง และในการทำงานสามารถใช้คนเพียงคนเดียวได้

1.8 วัตถุประสงค์

ออกแบบและสร้างระบบเฝ้าติดตามศักย์ไฟฟ้าในดินแบบหลายช่องสัญญาณ (อย่างน้อย 32 ช่อง) สำหรับใช้ในการเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของเอสพีที่มาจากความผิดปกติของโครงสร้างใต้พื้นดินแล้วมีศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้น และใช้สำรวจหารอยรั่วของแหล่งกักเก็บของเหลวที่มีฐานอยู่บนพื้นดิน