



การทดสอบต้นแบบเรดาร์ทะลุดวง ผิวดินในการระบุชั้นดาน

Prototype testing of Ground Penetrating Radar for Hardpan Identification

นววิทย์ พงศ์อนันต์, กมล เขมะรังษี, กฤษณ์ อธิกุลวงศ์, พัชร ประเสริฐกุล, ปิยนันท์ พิพัฒน์ศิริ,
กัญญารัตน์ ท้าวทา, สุเมธ คงภักดี, กำพล สกุลลีรุ่งโรจน์ และอภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ

สวทช.
NSTDA

BIOTEC
a member of NSTDA

NECTEC
a member of NSTDA

Introduction

ดินดานคือเนื้อดินที่มีโครงสร้างที่ถูกอัดแน่น ไม่มีช่องระบายอากาศและน้ำ เกิดจากการทำการเกษตรอย่างขาดความรู้ความเข้าใจการทำเกษตรกรรมที่ผิดวิธี การไถพรวนบ่อยครั้งที่ระดับความลึกเดียวกันหลายๆ ปี ไถพรวนในขณะที่ดินมีความชื้นไม่เหมาะสม การลดลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ลดการกักเก็บน้ำและเพิ่มการชะล้างหน้าดิน ส่งผลให้ดินเกิดสถานะเสื่อมโทรม เกิดการอัดแน่นของดินและเกิดเป็นชั้นดานขึ้น พื้นที่ที่เกิดปัญหาดินดานมักจะเกิดน้ำท่วมขังเนื่องจากน้ำไม่สามารถซึมผ่านชั้นดินดานลงไปได้ และในฤดูแล้งน้ำสำหรับปลูกไม่สามารถดึงน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ ส่งผลให้ผลมันสำปะหลังแคระแกรนหรือยืนต้นตายได้ ชั้นดินดานที่อยู่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตรจะมีผลกระทบต่อการปลูกมันสำปะหลังมาก (สมาคมแปงมันสำปะหลังไทย, 2556)

การแก้ปัญหาดินดานสามารถทำได้โดยใช้การไถระเบิดดินดาน เป็นการแก้ปัญหามีค่าใช้จ่ายสูงและต้องการรถไถขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระและต้นทุนให้แก่เกษตรกร ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้เป็นความพยายามที่จะประยุกต์ใช้ระบบเรดาร์ทะลุทะลวงผิวดินในการระบุชั้นดินดานที่มีความถูกต้อง และสามารถช่วยในการตัดสินใจเลือกไถระเบิดดินดานในพื้นที่ที่เกิดปัญหา จะทำให้เกษตรกรสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายลงไปได้ (Ping Wang *et al.*, 2016)

Materials and Methods

1. การวิเคราะห์ชั้นดินในพื้นที่
2. การวิเคราะห์ชั้นดินดานโดยใช้เรดาร์ทะลุทะลวงผิวดิน
 - 2.1 เครื่องมือต้นแบบเรดาร์ทะลุทะลวงผิวดินและขั้นตอนการเก็บข้อมูล
 - 2.2 การวิเคราะห์สัญญาณสะท้อนของต้นแบบเรดาร์ทะลุทะลวงผิวดิน

1. การวิเคราะห์ชั้นดินในพื้นที่



Figure 3 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ชั้นดินดาน

1. การวิเคราะห์ชั้นดินในพื้นที่

CM

0

10

20

30

40

50

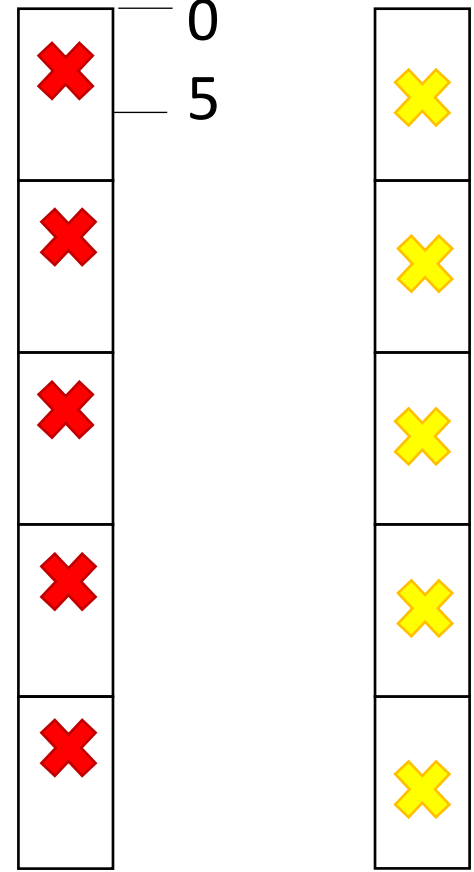


Penetrating Resistant

CM

0

5



Bulk Density + Soil Moisture **Soil Texture + EC**

*ไม่ได้กล่าวถึงในงานวิจัยนี้

Figure 2 การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ชั้นดินดาน

1.การวิเคราะห์ชั้นดินในพื้นที่

สำหรับการวิเคราะห์ชั้นดินในพื้นที่จะดำเนินการโดยให้ผู้เชี่ยวชาญทำการวิเคราะห์หน้าตัดดินที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร รวมทั้งใช้การวิเคราะห์ค่าความต้านทานการแทงทะลุ (penetration resistance) ที่ได้จากเครื่อง dynamic penetrometer เพื่อหาตำแหน่งที่เกิดชั้นดิน โดยเลือกเก็บจุดตัวอย่างจำนวน 35 จุด ในพื้นที่เตรียมแปลงปลูกมันสำปะหลังของสถาบันพัฒนามันสำปะหลัง ต.ห้วยบง อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา

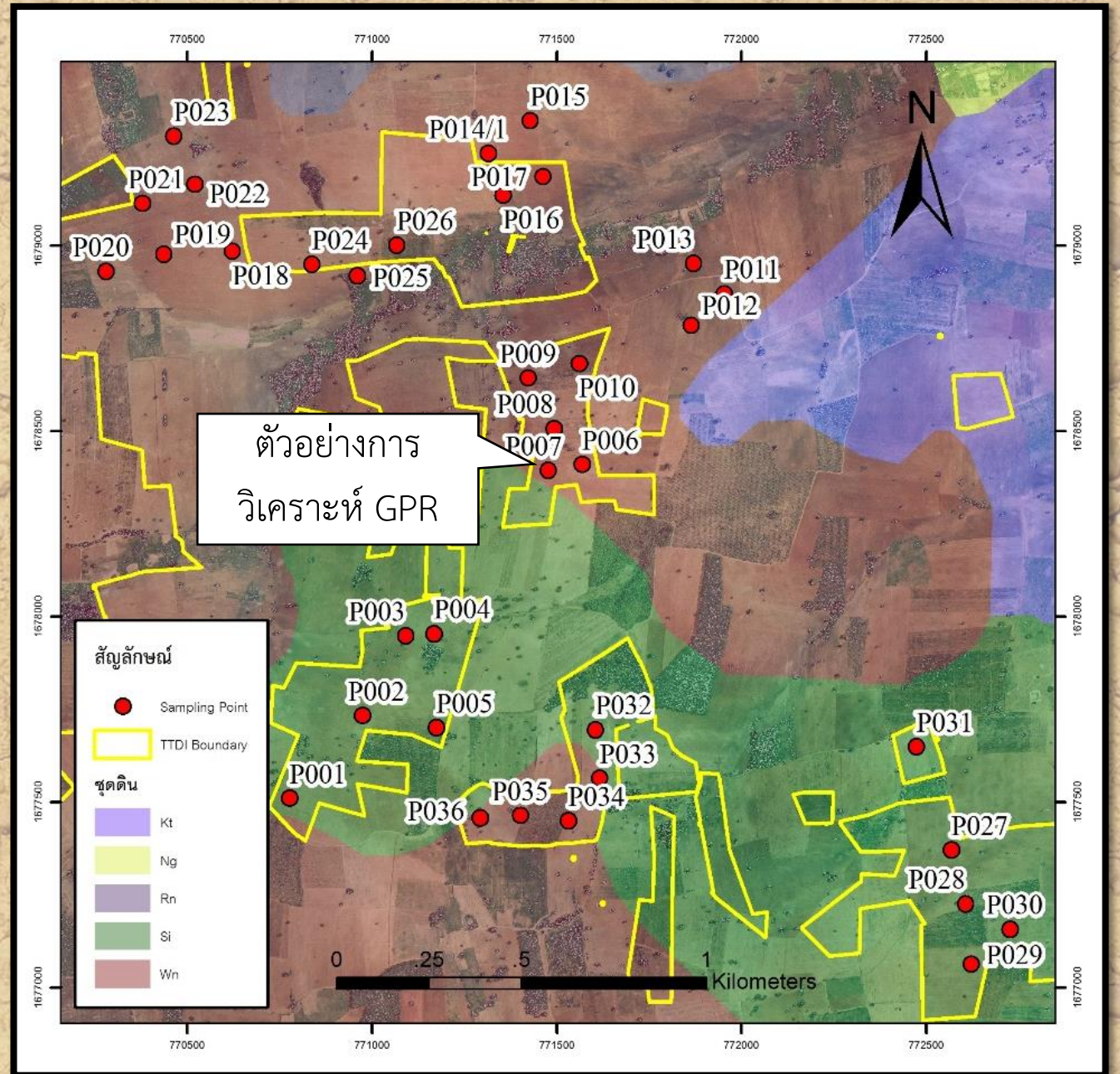


Figure 1 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ชั้นดินดาน

2. การวิเคราะห์ชั้นดินดานโดยใช้เรดาร์ทะลุดวงผิวดิน

2.1 เครื่องมือต้นแบบเรดาร์ทะลุดวงผิวดินและขั้นตอนการเก็บข้อมูล

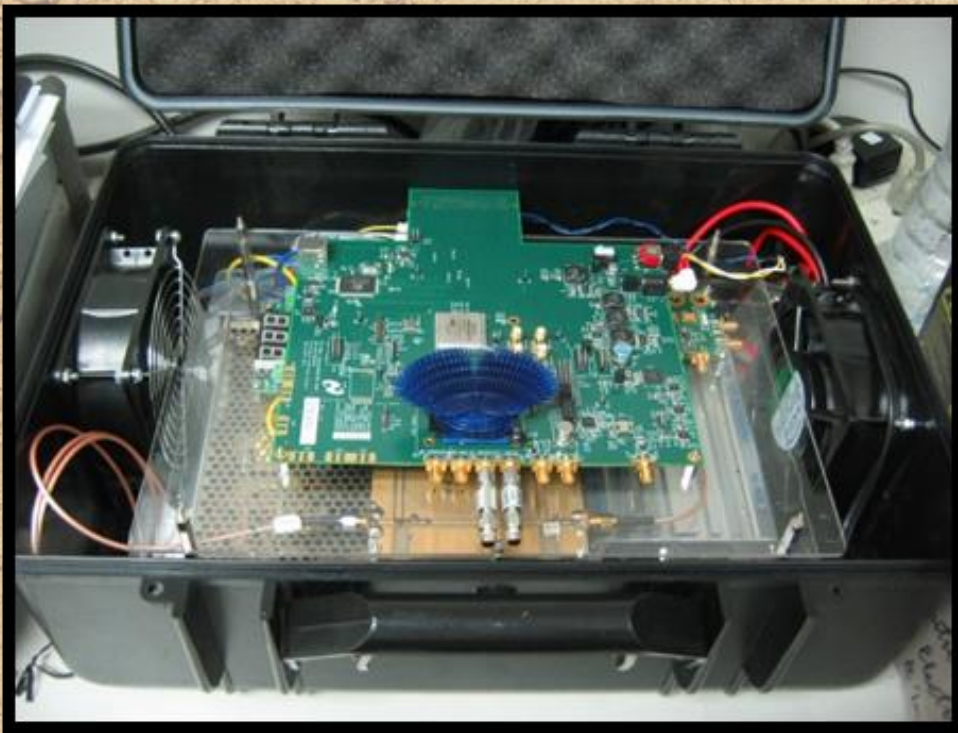


Figure 4 ต้นแบบเรดาร์ทะลุดวงผิวดิน (ground penetrating radar)

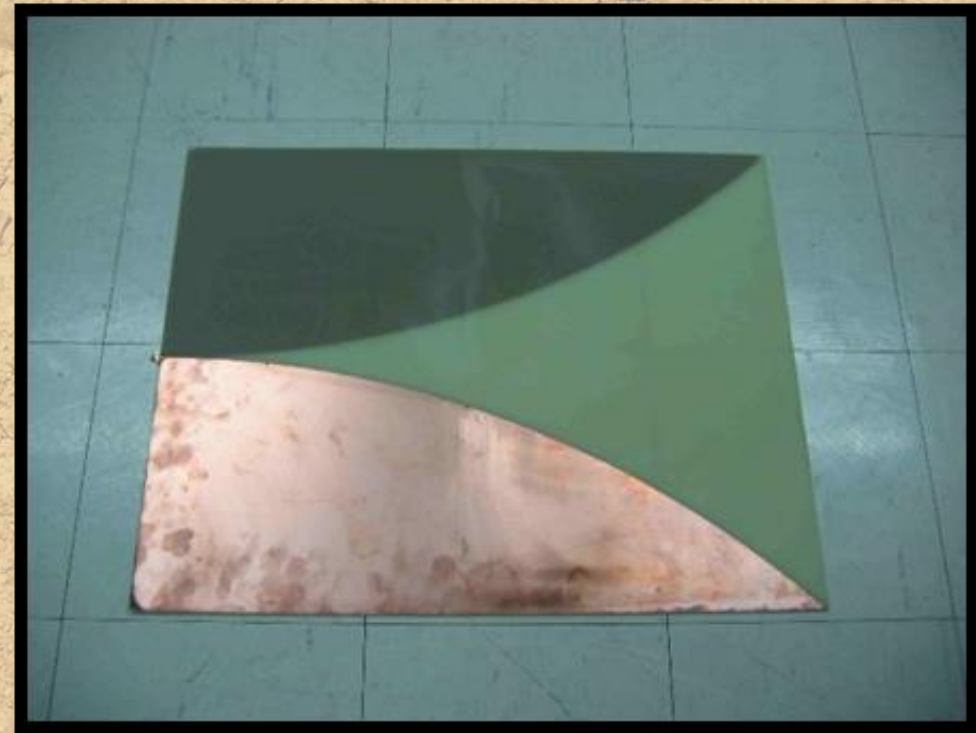


Figure 5 ตัวอย่างสายอากาศแบบ vivaldi
(420MHz ถึง 1.5GHz)

หลักการทำงานของเครื่องมือ ต้นแบบเรดาร์ทะลุทะลวง ผิวดิน (GPR)

โดยหลักการทำงานของเครื่องจะมีการสร้างพัลส์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ครอบคลุมความถี่ที่กว้างมาก ซึ่งมีชื่อเรียกทางเทคนิคว่าสัญญาณอัลตราไวด์แบนด์ (ultra-wide bandwidth signal) มีหลักการทำงานพื้นฐานคือมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำการสร้างสัญญาณพัลส์อัลตราไวด์แบนด์แบบ gaussian monocycle ที่มีความแคบในระดับ 3.5 นาโนวินาที ดังแสดงใน Figure 6 เพื่อส่งออกไปทางสายอากาศภาคส่ง เมื่อพัลส์เดินทางผ่านหรือตกกระทบวัตถุหรือชั้นดินที่มีตัวนำที่แตกต่างกันพัลส์จะเกิดการสะท้อนกลับมายังสายอากาศภาครับ ซึ่งวงจรเซนเซอร์ภาครับที่มีวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบความเร็วสูง (hi-speed analog-to-digital converter (ADC)) จะสร้างสัญญาณที่รับได้กลับคืนมาเพื่อนำไปวิเคราะห์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์ชั้นดินที่มีความแตกต่างกัน

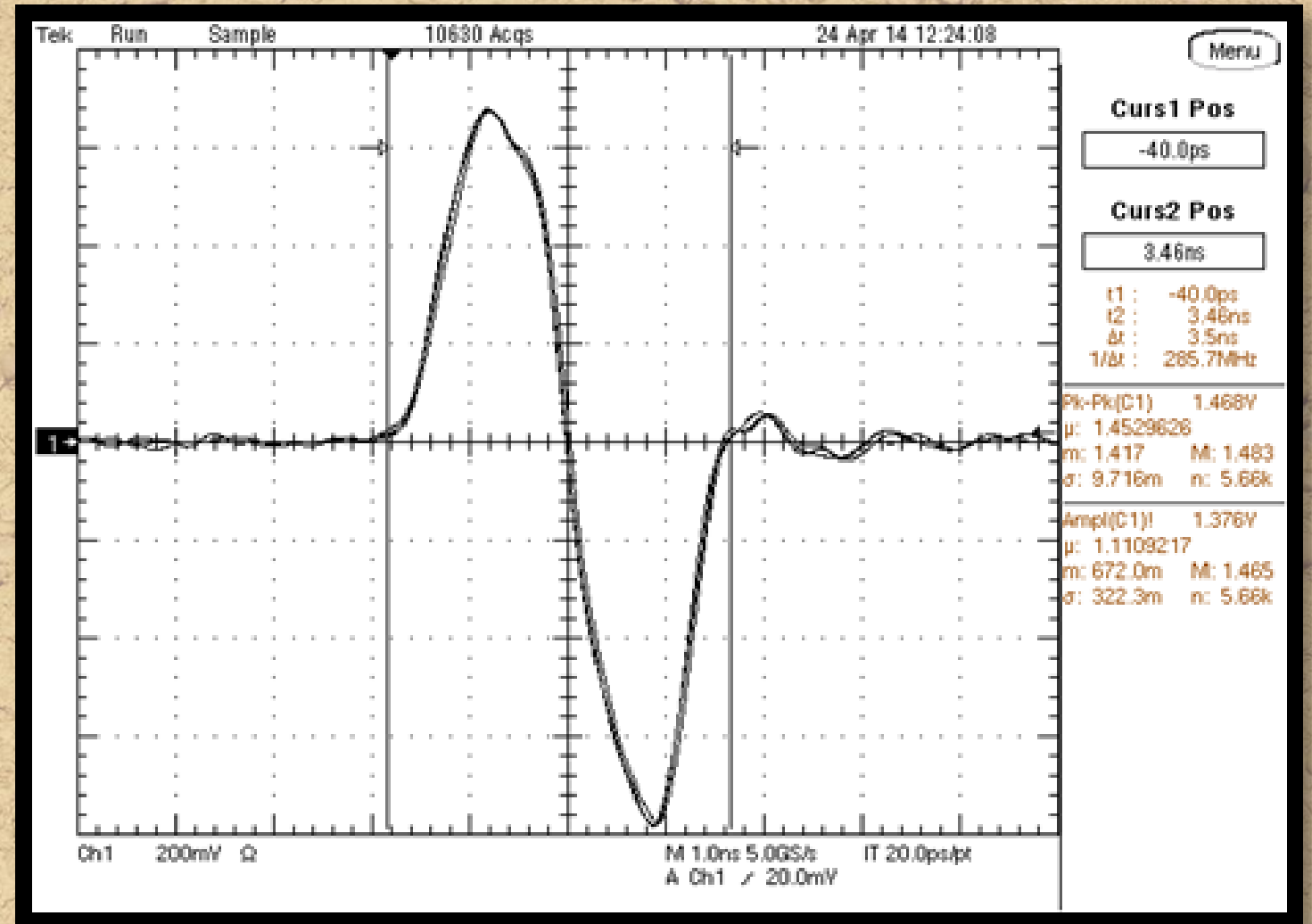


Figure 6 สัญญาณพัลส์อัลตราไวด์แบนด์แบบ gaussian monocycle

2.2 การวิเคราะห์สัญญาณสะท้อนของต้นแบบเรดาร์ทะลุทะลวงผิวดิน

การวัดสัญญาณพัลส์ที่สะท้อนกลับขึ้นมาจากใต้ดินนั้น (ในที่นี้จะใช้ตัวอย่างที่ P007 เป็นตัวแทนในการอธิบาย) โดยจะแสดงใน Figure 7 โดยภาพย่อยด้านบนเป็นการเปรียบเทียบสัญญาณที่พัลส์ถูกยิงลง在地上 (เส้นทึบสีน้ำเงิน) กับพัลส์ที่ถูกยิงขึ้นไปในอากาศซึ่งไม่มีสิ่งกีดขวางหรือวัตถุใด ๆ (เส้นประสีแดง) เป็นจำนวน 401 Sample ที่ 277.78 พิโควินาทีต่อหนึ่งช่วงการสุ่มค่า (picosecond/Sample) (เนื่องจาก sampling ด้วย ADC ที่มีอัตราการสุ่มสัญญาณที่ 3.6 giga-samples/second) และภาพย่อยด้านล่างคือผลการหักล้างสัญญาณทั้งสองในรูปย่อยด้านบนและยกกำลังสอง

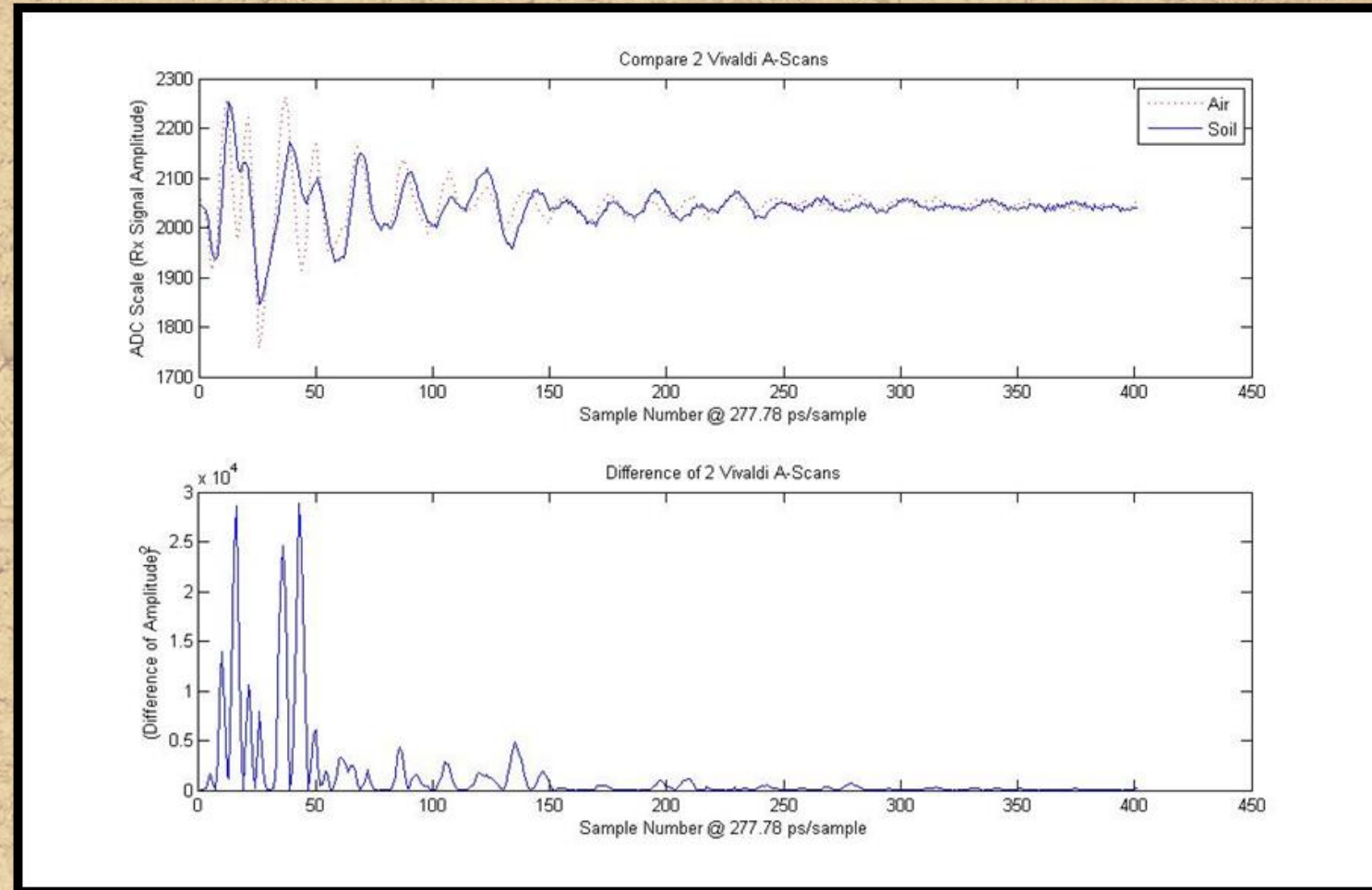


Figure 7 (บน) แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณทางเวลาที่วัดได้ระหว่างพื้นดินกับอากาศเมื่อใช้สายอากาศแบบ vivaldi (ล่าง) ผลการหักล้างสัญญาณระหว่างพื้นดินกับอากาศในรูปย่อยด้านบนและยกกำลังสอง

การประมาณค่าความลึกของชั้นดินด้วยเรดาร์ทะลุทะลวงดิน

$$v_r = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{meters/second}$$

และสามารถประมาณค่าความลึกของชั้นดินจากสมการ

$$d = v_r \frac{t}{2} \quad \text{meters}$$

เมื่อ	v_r	คือ relative propagation velocity
	c	คือ speed of light = $3 \cdot 10^8$ m/s
	ϵ_r	คือ relative permittivity ของดินหรือตัวกลาง (ปกติมีค่าระหว่าง 1 ถึง 80 (น้ำ))
	d	คือ ความลึกชั้นดินหรือระยะทางถึงวัตถุเป้าหมาย
	t	คือ ระยะเวลาที่พัลส์เดินทางไปและกลับจากชั้นดินหรือเป้าหมาย

ในการประมาณค่าความลึกของชั้นดินด้วยเรดาร์ทะลุทะลวงดินนั้น ปัจจัยที่สำคัญในการคำนวณคือ อัตราความเร็วในการเดินทางของคลื่นอัลตราไวด์แบนด์ (ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ที่เดินทางผ่านลงไปชั้นดิน หรือที่เรียกว่า velocity of propagation เนื่องจากในตัวอย่างนี้ยังไม่มีวิเคราะห์ค่าความเร็วดังกล่าวของดินในแปลงมันสำปะหลัง แต่โดยทั่วไปแล้วสำหรับตัวนำที่เป็นแบบ homogeneous and isotropic แล้วจะสามารถประมาณค่า relative propagation velocity ได้จากสมการ (Daniels, 2004)

การชดเชยสัญญาณลดทอนจาก ความลึกที่มากขึ้น

เนื่องจากสัญญาณของเรดาร์ที่มีการลดทอนเพิ่มขึ้น เมื่อสัญญาณเดินทางลึกลงไปใต้ดินและสะท้อนกลับมา โดยเป็นไปในลักษณะของฟังก์ชันเลขชี้กำลัง (exponential function) ดังนั้นเพื่อให้สามารถขยายสัญญาณที่มีระดับอ่อนมาก ๆ ที่ความลึกลงไปใต้ดินให้สามารถเห็นได้ชัดขึ้น ทีมวิจัยจึงทำการคูณค่าคงที่ ที่เพิ่มขึ้นแบบฟังก์ชันเลขชี้กำลัง กลับเข้าไปในสัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งของพัลส์ (สัญญาณที่เกิดจากการหักล้างกันระหว่างสัญญาณที่ส่งลงไปใต้ดินกับสัญญาณที่ส่งขึ้นไปในอากาศ) หรือเรียกว่าเป็นการทำการขยายสัญญาณหลังจากได้รับสัญญาณจากเครื่องรับ (post-amplification) ซึ่งจะทำให้สามารถสังเกตเห็นตำแหน่งของพัลส์ที่ความลึกลงไปใต้ดินได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

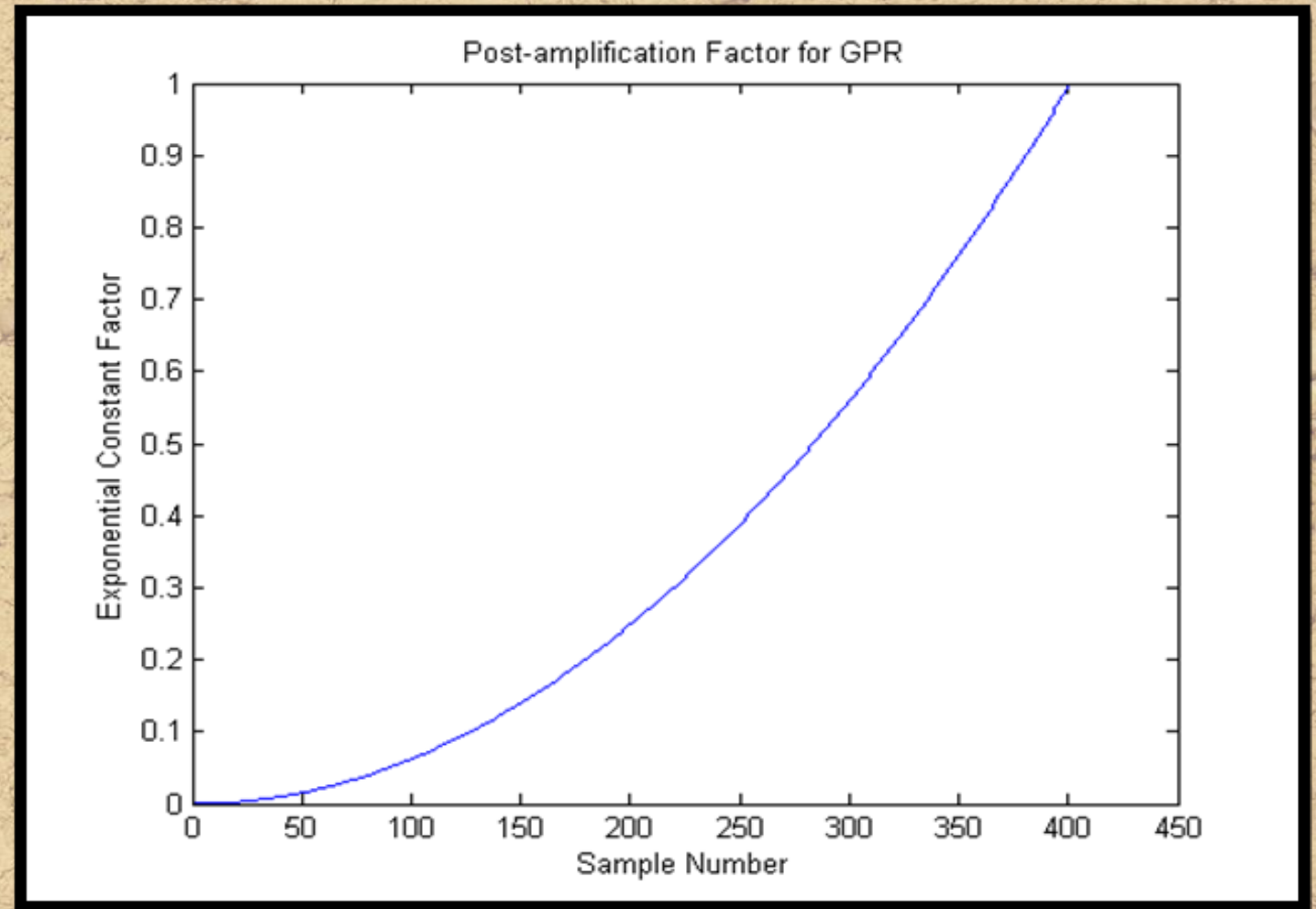


Figure 8 แสดง post-amplification factor

Results and Discussions

จากข้อมูลสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้รับสะท้อนกลับขึ้นมาจากดินและสิ่งที่อยู่ใต้ผิวดินพบว่า ต้นแบบของเรดาร์ทะลุทะลวงผิวดินจะแสดงผลข้อมูลของพัลส์สะท้อนกลับอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งจากภาพตัวอย่างของตำแหน่งของจุดสำรวจ ดังแสดงใน Figure 9 จะสังเกตเห็นว่ามียอดของพัลส์อยู่เป็นจำนวนมากและอาจจะแบ่งเป็นกลุ่มของพัลส์ที่อยู่ใกล้ ๆ กันได้หลายกลุ่ม (พัลส์ที่พิจารณาว่าอยู่ในกลุ่มเดียวกันมักจะอยู่ห่างกันไม่เกิน 25 samples)

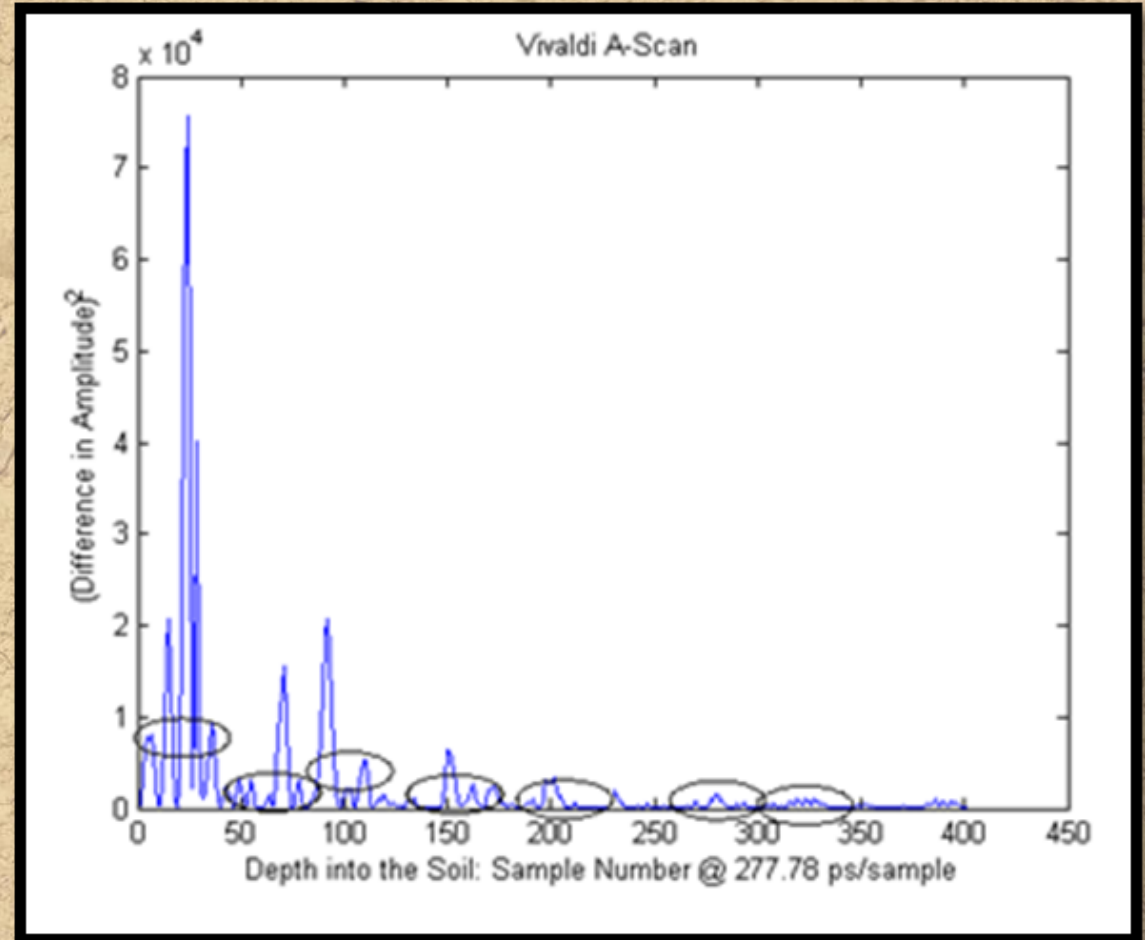
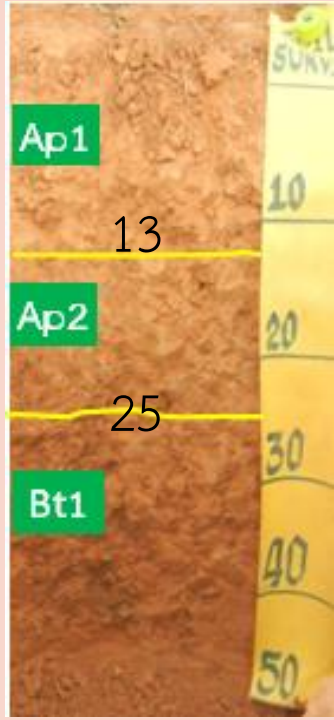


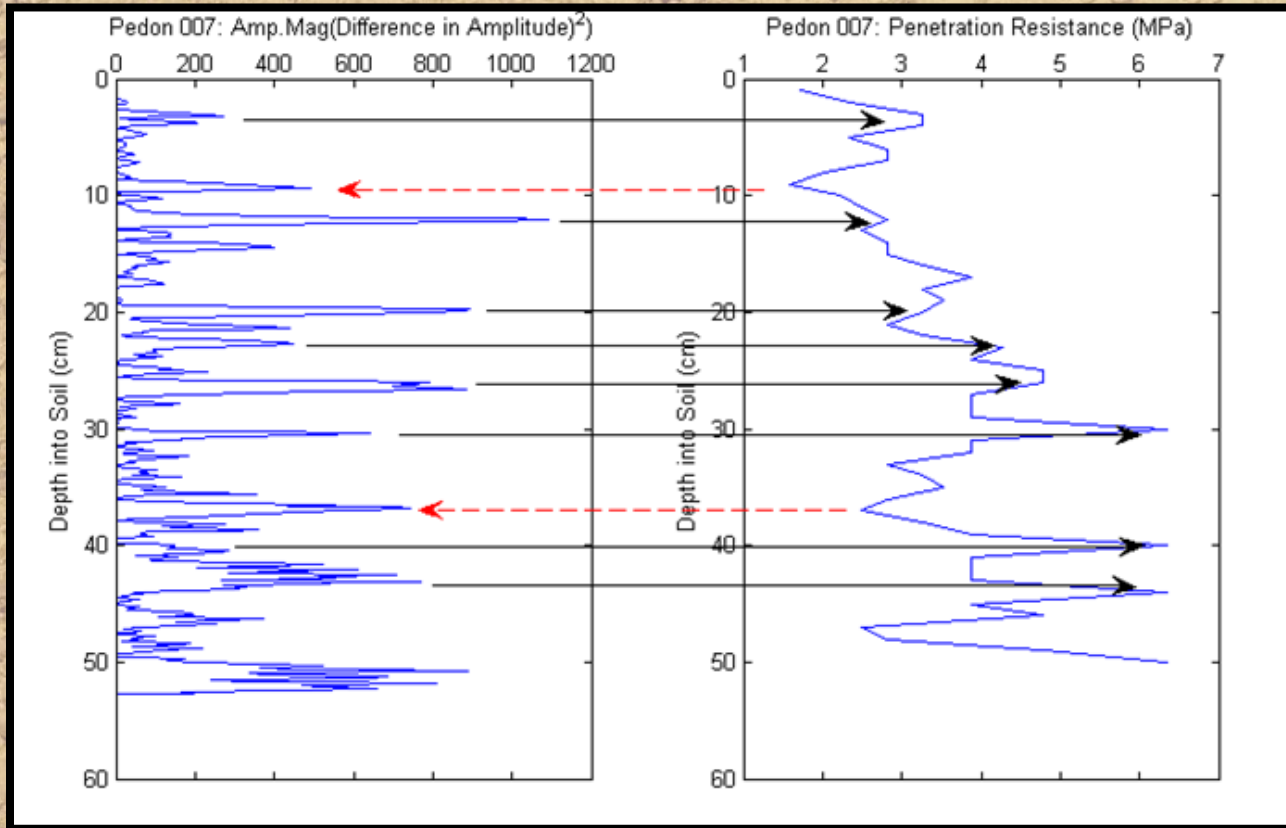
Figure 9 แสดงข้อมูลพัลส์สะท้อนกลับของตำแหน่งสำรวจ

การเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาคสนาม กับ เรดาร์ทะลุดวงผิวดิน (แบ่งชั้นโดยผู้เชี่ยวชาญ)

Table 1 แสดงการ
แปลผลของ
สัญญาณ GPR เพื่อ
ประมาณค่ารอยต่อ
ของชั้นดิน

Soil Interface By GPR	GPR (cm)	Transition of Physical Soil Analysis (cm)
Air-to-Soil	3.16	
1	9.35	
2	12.11	
3	19.88	
4	26.60	
5	30.42	
6	36.87	

การเปรียบเทียบหน้าตัดดินระหว่างสัญญาณสะท้อนกลับ (amplitude of reflection) ของเรดาร์ทะลุดวงพิวดิน (ground penetrating radar) กับ penetration resistance



รูปกราฟในชั้นต้น ๆ ของดิน (0-20 เซนติเมตร) ค่อนข้างมีความแตกต่างกัน ขณะที่รูปแนวโน้มของกราฟในชั้นลึก ๆ ของดิน (20-50 เซนติเมตร) จะมีความเหมือนกันมาก และเมื่อพิจารณาเฉพาะยอดของพัลส์ เทียบกับตำแหน่งที่ค่า penetration resistance มีค่าสูงหรือปรับสูงขึ้น ตามลูกศรสีดำที่ชี้ไปทางขวามือ ก็จะพบว่ามีความที่ใกล้เคียงกันอยู่หลายจุด และในขณะเดียวกันหากพิจารณายอดของกราฟของ GPR ก็ จะพบว่าบางยอดของ GPR ก็ เป็นจุดต่ำของกราฟ penetration resistance ดังแสดงด้วยลูกศรสีแดงที่ชี้ไปทางซ้าย จะเห็นถึงความสอดคล้องกันบางส่วน

Figure 11 ผลเปรียบเทียบแนวโน้มของสัญญาณสะท้อนของ GPR เทียบกับค่า penetration resistance

การพิจารณาแนวโน้มและค่ายอดของแต่ละจุดตัวอย่าง

Table 2 สรุปลักษณะของรูปภาพและตำแหน่งจุดยอดของผลจาก GPR และค่า penetration resistance

Compare	Group	Counts	Percent
Shape	Similar	20/35	57.1
	Different	15/35	42.9
Peak	Similar	35/35	100.0

เพื่อให้สามารถพิจารณาภาพรวมของการเปรียบเทียบ การตรวจหาชั้นดินด้วย GPR และ penetration resistance จึงขอทำการสรุปผลการเปรียบเทียบแบบ การหาความเหมือนคลึงด้วยเทคนิคข้างต้นไว้ใน Table 2 โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็นสองส่วนคือรูปภาพ เหมือนคือการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน หรือจำนวนยอด ที่ใกล้เคียงกันหลายยอด ซึ่งจากภาพรวมพบว่า กราฟ ของ GPR มีความเหมือนกับ penetrometer อยู่ จำนวนหนึ่งแต่ยังไม่ทั้งหมดหากดูด้วยรูปภาพเพียง อย่างเดียว ซึ่งทำให้ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่า มีความสัมพันธ์กัน

Conclusions

การทดสอบต้นแบบเรดาร์ทะลุทะลวงผิวดินในการระบุชั้นดินในครั้งนี สามารถบอกได้ว่าการใช้เรดาร์ทะลุทะลวงผิวดินสามารถระบุรอยต่อหรือการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินได้ละเอียดกว่าการสำรวจดินในภาคสนาม แต่ทั้งนี้การแปลผลจากเครื่อง GPR ยังไม่สามารถแยกแยะได้ว่าสิ่งที่สัญญาณพัลสนั้นตกกระทบใต้ผิวดินนั้นเป็น รอยต่อของชั้นดินจริงหรือเป็นวัตถุชนิดอื่น หรือการให้คำตอบถึงความหนาแน่นของดินในแต่ละชั้นได้ ดังนั้นจึง จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป โดยมีแนวทางดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) การทดลองส่งสัญญาณพัลส์ในลักษณะของ b-scan หรือ c-scan เพื่อให้เห็นความต่อเนื่องของชั้นดินซึ่งจะช่วย ในการอธิบายลักษณะของความแข็งของชั้นดินได้
- 2) การทดลองเรดาร์ทะลุทะลวงผิวดิน กับตัวอย่างของชั้นดินและวัสดุอื่นๆ ที่ถูกกำหนดขึ้นไว้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะทำให้สามารถเข้าใจการสะท้อนของสัญญาณพัลส์ที่ผ่านชั้นดินต่างๆ ก่อนที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ เพาะปลูกจริงต่อไป

Acknowledgement

ขอขอบคุณ

- มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย และสถาบันพัฒนามันสำปะหลัง ต.ห้วยบง อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าทำการศึกษาในพื้นที่ และอำนวยความสะดวกในการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และฝ่ายบริหารจัดการคลัสเตอร์และโปรแกรมวิจัย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

Literature Cited

- สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2556. การไถระเบิดดินดานในพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง. เข้าถึงได้จากจาก http://www.thaitapiocastarch.org/article28_th.asp [เข้าถึงเมื่อเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2558]
- Daniels, D. J. 2004. Ground-penetrating radar - 2nd ed. London. The Institution of Electrical Engineers, UK
- Josef C. and Fawwaz T. Ulaby. 1974. Dielectric Properties of Soils as a Function of Moisture Content. CRES Technical Report. University of Kansas Space Technology Center. 177-47 p.
- Kaemarungsi K., Athikulwongse K., Rungprateepthaworn K., Duangtanoo T. and Dangsakul P. 2015. On study of an impulse RADAR sensor for subsurface object detection, pp. 1-6. In Proceeding of 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). 24-27 June 2015. Hua Hin
- Ping W., Zhengqi H., Yanling Z. and Xinju L. 2016. Experimental study of soil compaction effects on GPR signals. Journal of Applied Geophysics, Volume 126: 128-137. ISSN 0926-9851

**Thank You
for Your
Attention**

