

บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบของขั้วกระแสไฟฟ้าผ่าที่มีต่อความยาวประสิทธิผลของรากสายดิน ทั้งรากสายดินแนวตั้งและรากสายดินแนวนอน โดยทดลองภายใต้การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ และรูปคลื่นของกระแสिमพัลส์ที่แตกต่างกัน

4.1 การศึกษาผลกระทบของขั้วกระแสไฟฟ้าผ่าที่มีต่อรากสายดินแนวตั้ง

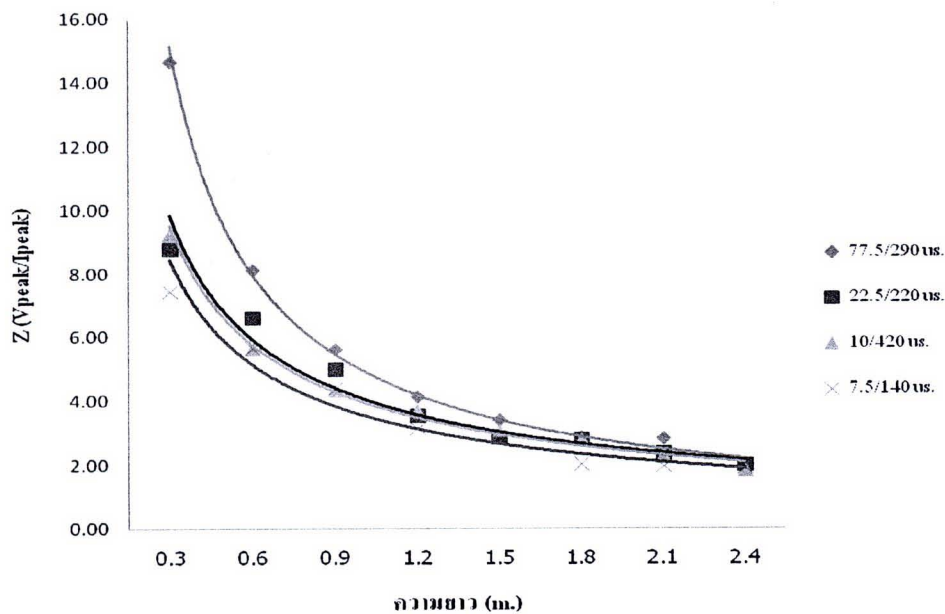
ในการทดลองจะปรับความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือให้มีความต้านทาน 1136 $\Omega\cdot\text{cm}$, 757 $\Omega\cdot\text{cm}$, และ 367 $\Omega\cdot\text{cm}$. ทำการทดลองที่ทุกค่าความต้านทานด้วยรูปคลื่น 77.5/290 μs , 22.5/220 μs , 10/420 μs , และ 7.5/140 μs . ตามลำดับ ทั้งกระแสिमพัลส์ขั้วบวกและขั้วลบ

4.1.1 กรณีกระแสिमพัลส์ขั้วบวก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 $\Omega\cdot\text{cm}$.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.1 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองรากสายดินแนวตั้ง ความต้านทาน 1136 $\Omega\cdot\text{cm}$. กระแสिमพัลส์ขั้วบวก

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs .)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	14.65 ± 3.82	8.77 ± 0.73	9.26 ± 0.87	7.45 ± 1.02
0.6	8.12 ± 0.16	6.59 ± 0.39	5.62 ± 0.77	5.66 ± 0.42
0.9	5.61 ± 0.29	4.96 ± 0.42	4.33 ± 1.54	4.39 ± 0.45
1.2	4.12 ± 0.17	3.51 ± 0.64	3.69 ± 0.19	3.13 ± 0.31
1.5	3.40 ± 0.09	2.83 ± 0.67	3.07 ± 0.21	2.82 ± 0.33
1.8	2.85 ± 0.08	2.77 ± 0.34	2.79 ± 0.30	2.03 ± 0.18
2.1	1.81 ± 0.05	2.34 ± 0.26	2.30 ± 0.36	1.96 ± 0.26
2.4	1.90 ± 0.01	1.97 ± 0.22	1.82 ± 0.02	1.91 ± 0.18



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดย
สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์
ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความ
ยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ
1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

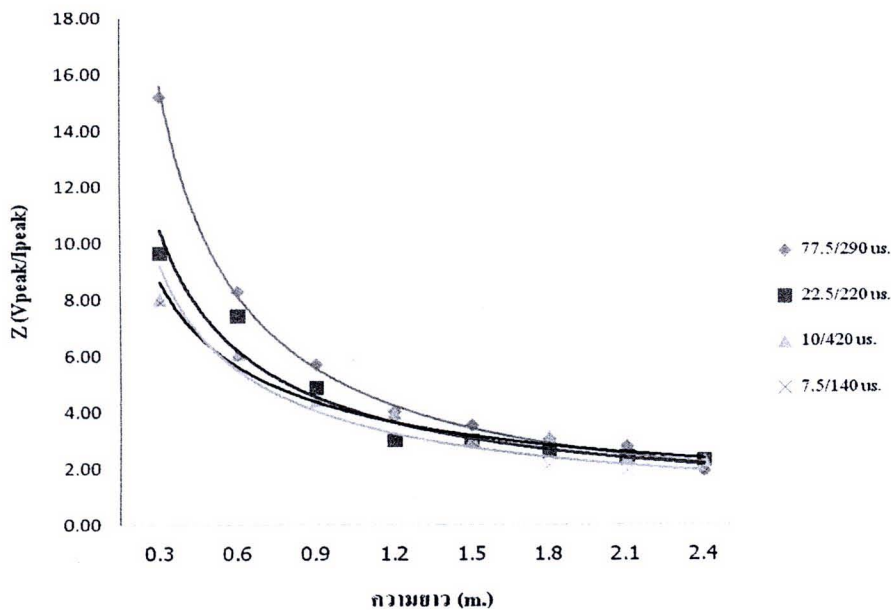
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 15.155L^{-0.932}$	13.89
22.5/220	$Z = 9.862L^{-0.737}$	12.74
10/420	$Z = 9.5397L^{-0.73}$	12.55
7.5/140	$Z = 8.4491L^{-0.721}$	11.77

4.1.2 กรณีกระแสिमพัลส์ชั่วลบ (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.3 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 1136 Ω.cm. กระแสिमพัลส์ชั่วลบ

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	15.22 ± 1.52	9.67 ± 1.25	8.02 ± 2.57	7.92 ± 0.51
0.6	8.29 ± 0.32	7.43 ± 0.89	6.09 ± 0.67	5.87 ± 0.75
0.9	5.71 ± 0.20	4.88 ± 0.32	4.43 ± 1.36	4.80 ± 0.50
1.2	4.04 ± 0.11	3.02 ± 0.16	3.99 ± 0.25	3.71 ± 0.13
1.5	3.56 ± 0.17	3.02 ± 0.16	3.06 ± 0.20	2.99 ± 0.31
1.8	3.05 ± 0.05	2.60 ± 0.27	3.14 ± 0.16	2.15 ± 0.01
2.1	2.80 ± 0.05	2.45 ± 0.25	2.38 ± 0.11	1.95 ± 0.21
2.4	1.91 ± 0.07	2.30 ± 0.21	2.32 ± 0.12	1.88 ± 0.17



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดย สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสिमพัลส์ชั่วลบ

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

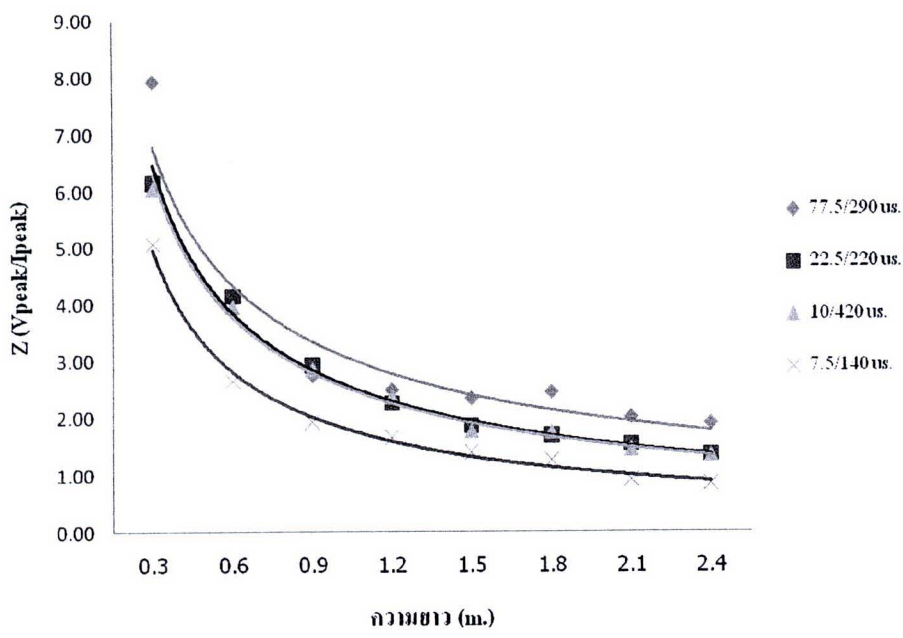
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 15.626L^{-0.939}$	14.04
22.5/220	$Z = 10.477L^{-0.758}$	12.99
10/420	$Z = 8.6508L^{-0.616}$	12.72
7.5/140	$Z = 9.2307L^{-0.745}$	12.19

4.1.3 กรณีกระแสอิมพัลส์ชั่วคราว (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.5 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดิน ได้ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 757 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	7.93 ± 0.75	6.15 ± 0.62	6.04 ± 0.24	5.08 ± 0.40
0.6	4.09 ± 0.33	4.15 ± 0.31	3.96 ± 0.27	2.66 ± 0.20
0.9	2.75 ± 0.13	2.93 ± 0.11	2.86 ± 0.33	1.94 ± 0.03
1.2	2.50 ± 0.10	2.26 ± 0.05	2.37 ± 0.09	1.67 ± 0.30
1.5	2.35 ± 0.05	1.86 ± 0.09	1.77 ± 0.07	1.42 ± 0.08
1.8	2.46 ± 0.00	1.69 ± 0.17	1.76 ± 0.13	1.27 ± 0.12
2.1	2.02 ± 0.02	1.54 ± 0.03	1.45 ± 0.05	0.93 ± 0.04
2.4	1.91 ± 0.02	1.35 ± 0.10	1.35 ± 0.08	0.86 ± 0.04



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดย
สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสพัลส์ชั่วบว

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์
ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความ
ยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ
757 Ω.cm. ภายใต้กระแสพัลส์ชั่วบว

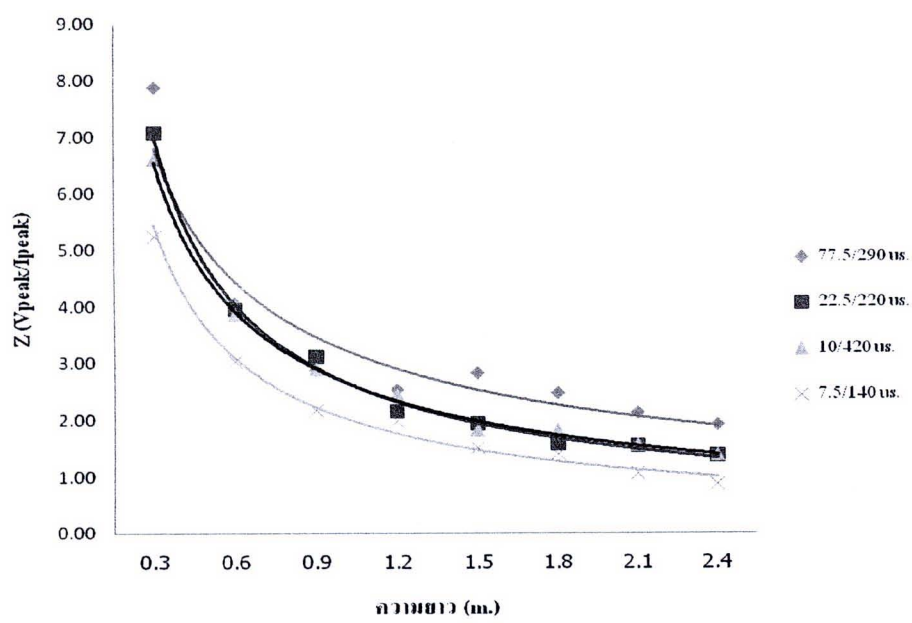
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 6.7871L^{-0.642}$	10.80
22.5/220	$Z = 6.4603L^{-0.747}$	9.93
10/420	$Z = 6.3073L^{-0.739}$	9.84
7.5/140	$Z = 4.9811L^{-0.821}$	8.26

4.1.4 กรณีกระแสिमพัลส์ชั่วลบ (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.7 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 757 Ω.cm. กระแสिमพัลส์ชั่วลบ

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	7.88 ± 0.41	7.08 ± 0.64	6.60 ± 0.64	5.24 ± 0.60
0.6	4.06 ± 0.19	3.95 ± 0.14	3.85 ± 0.40	3.03 ± 0.30
0.9	2.88 ± 0.05	3.12 ± 0.21	2.89 ± 0.30	2.18 ± 0.22
1.2	2.54 ± 0.06	2.16 ± 0.10	2.45 ± 0.13	1.99 ± 0.15
1.5	2.83 ± 0.03	1.94 ± 0.08	1.82 ± 0.19	1.51 ± 0.15
1.8	2.48 ± 0.04	1.57 ± 0.12	1.83 ± 0.12	1.40 ± 0.14
2.1	2.13 ± 0.04	1.55 ± 0.03	1.56 ± 0.16	1.06 ± 0.09
2.4	1.92 ± 0.01	1.37 ± 0.13	1.38 ± 0.14	0.87 ± 0.03



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดย สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสिमพัลส์ชั่วลบ

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

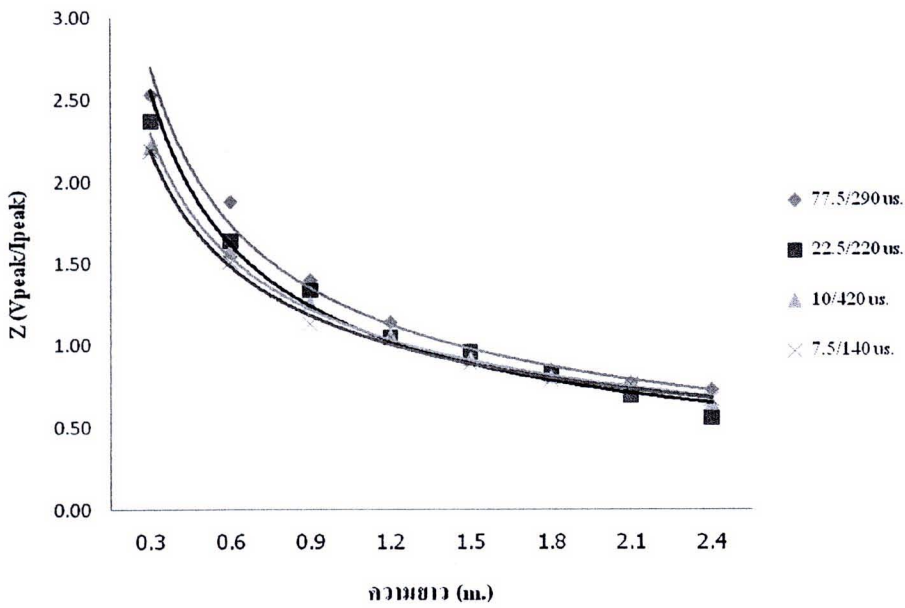
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 6.7908L^{-0.614}$	10.96
22.5/220	$Z = 7.0005L^{-0.797}$	10.10
10/420	$Z = 6.5476L^{-0.742}$	10.03
7.5/140	$Z = 5.4408L^{-0.816}$	8.69

4.1.5 กรณีกระแสอิมพัลส์ชั่วพล (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.9 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 367 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	2.53 ± 0.07	2.37 ± 0.04	2.21 ± 0.06	2.19 ± 0.09
0.6	1.88 ± 0.10	1.64 ± 0.06	1.58 ± 0.02	1.51 ± 0.07
0.9	1.40 ± 0.05	1.34 ± 0.05	1.26 ± 0.02	1.13 ± 0.00
1.2	1.14 ± 0.02	1.05 ± 0.04	1.06 ± 0.02	1.05 ± 0.01
1.5	0.97 ± 0.02	0.96 ± 0.11	0.92 ± 0.02	0.89 ± 0.13
1.8	0.85 ± 0.01	0.83 ± 0.03	0.81 ± 0.07	0.79 ± 0.05
2.1	0.77 ± 0.01	0.70 ± 0.08	0.78 ± 0.02	0.76 ± 0.08
2.4	0.73 ± 0.00	0.56 ± 0.04	0.65 ± 0.04	0.67 ± 0.05



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดย
สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์
ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความ
ยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ
367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

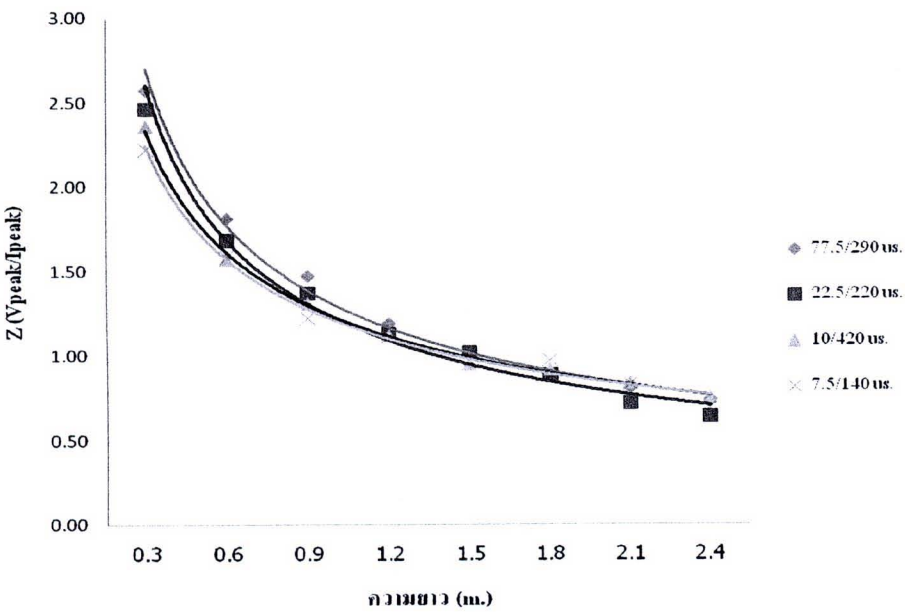
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 2.6943L^{-0.63}$	6.17
22.5/220	$Z = 2.5539L^{-0.657}$	5.94
10/420	$Z = 2.2897L^{-0.571}$	5.59
7.5/140	$Z = 2.1956L^{-0.561}$	5.44

4.1.6 กรณีกระแสिमพัลส์ชั่วลบ (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.11 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทาน 367 Ω.cm. กระแสิมพัลส์ชั่วลบ

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	2.57 ± 0.07	2.46 ± 0.25	2.36 ± 0.07	2.22 ± 0.09
0.6	1.81 ± 0.05	1.68 ± 0.07	1.57 ± 0.02	1.58 ± 0.10
0.9	1.47 ± 0.03	1.37 ± 0.06	1.31 ± 0.04	1.22 ± 0.07
1.2	1.19 ± 0.00	1.13 ± 0.06	1.12 ± 0.02	1.11 ± 0.02
1.5	1.02 ± 0.00	1.02 ± 0.07	0.95 ± 0.03	1.03 ± 0.09
1.8	0.90 ± 0.01	0.89 ± 0.07	0.92 ± 0.06	0.97 ± 0.05
2.1	0.81 ± 0.01	0.72 ± 0.06	0.84 ± 0.06	0.83 ± 0.06
2.4	0.74 ± 0.00	0.64 ± 0.05	0.75 ± 0.05	0.69 ± 0.06



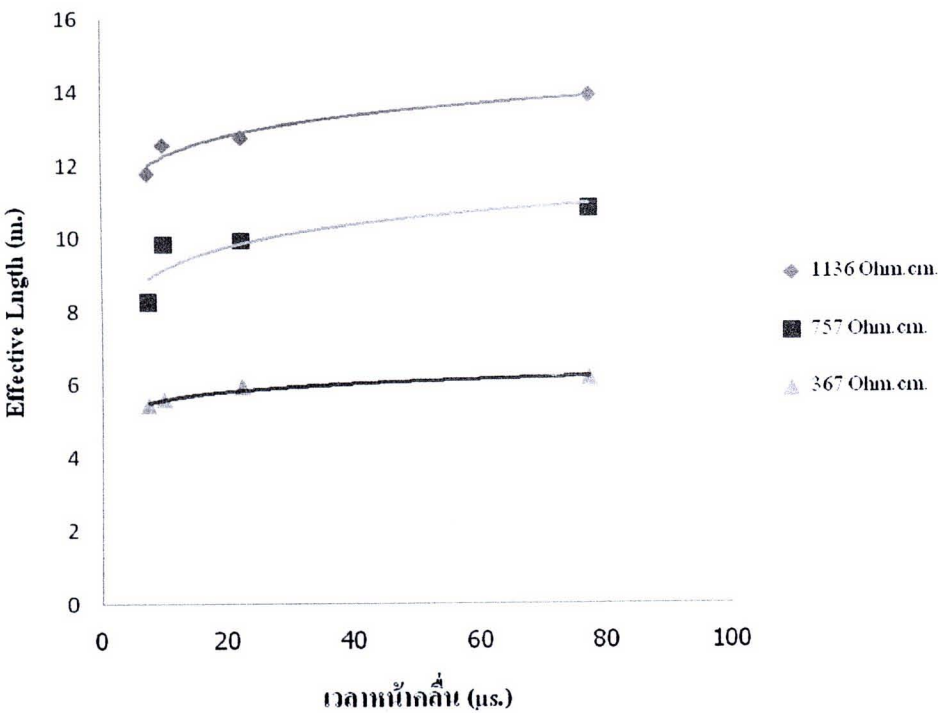
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวดิ่งโดย สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสิมพัลส์ชั่วลบ

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวดิ่ง ความต้านทานน้ำเกลือ 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

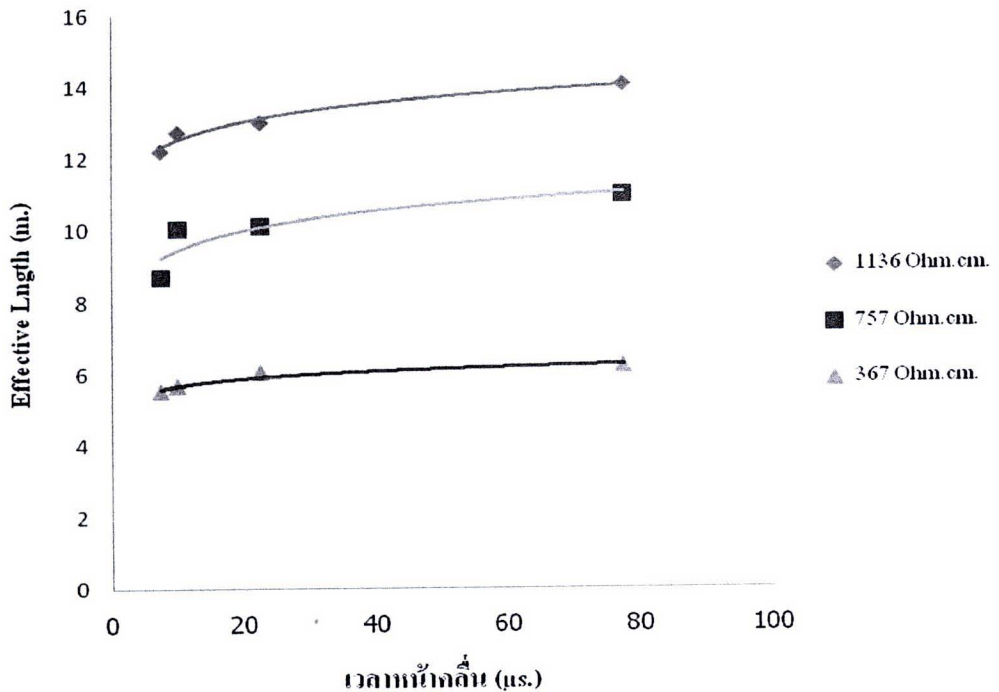
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 2.6989L^{-0.608}$	6.19
22.5/220	$Z = 2.5943L^{-0.626}$	6.03
10/420	$Z = 2.3326L^{-0.536}$	5.65
7.5/140	$Z = 2.2499L^{-0.518}$	5.51

นำข้อมูลรากสายดินแนวดิ่งภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาน้ำคลื่นกับความยาวประสิทธิผลได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวดิ่งกับเวลาน้ำคลื่นภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

นำข้อมูลรากสายดินแนวดิ่งภายใต้กระแสโพลีเมอร์ขั้วลบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหน่วงกับค่าความยาวประสิทธิผลได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวดิ่งกับเวลาหน่วงภายใต้กระแสโพลีเมอร์ขั้วลบ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวดิ่งกับเวลาหน่วงภายใต้กระแสโพลีเมอร์ขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งประมาณเชิงเส้น โดยฟังก์ชันลอการิทึม ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่า เมื่อเวลาหน่วงลดลงทำให้ความยาวประสิทธิผลลดลง และเมื่อพิจารณาที่ความต้านทานสารละลายน้ำเกลือที่ลดต่ำลงก็จะพบว่า เป็นผลทำให้ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินลดต่ำลงเช่นกัน

4.2 การศึกษาผลกระทบของขั้วกระแสไฟฟ้าที่มีต่อรากสายดินแนวนอน

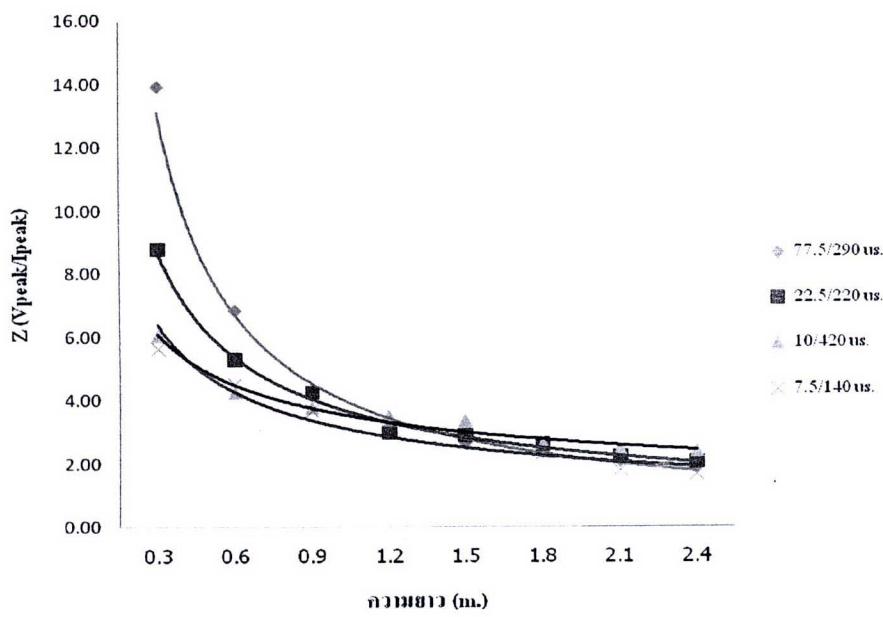
การทดลองในหัวข้อนี้ จะปรับความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือให้มีความต้านทาน 1136 Ω.cm, 757 Ω.cm. และ 367 Ω.cm. ทำการทดลองที่ทุกค่าความต้านทานด้วยรูปคลื่น 77.5/290 μs, 22.5/220 μs, 10/420 μs. และ 7.5/140 μs. ตามลำดับ ทั้งกระแสโพลีเมอร์ขั้วบวกและขั้วลบ

4.2.1 กรณีกระแสอิมพัลส์ชั่วบวก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.13 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอนความต้านทาน 1136 Ω.cm.กระแสอิมพัลส์ชั่วบวก

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	13.90 ± 1.58	8.79 ± 1.01	6.06 ± 0.24	5.62 ± 0.41
0.6	6.83 ± 0.20	5.29 ± 0.59	4.25 ± 0.09	4.51 ± 0.50
0.9	4.17 ± 0.98	4.24 ± 0.50	3.77 ± 0.26	3.66 ± 0.04
1.2	3.17 ± 0.07	2.96 ± 0.10	3.50 ± 0.08	2.99 ± 0.17
1.5	2.65 ± 0.05	2.88 ± 0.16	3.36 ± 0.03	2.89 ± 0.03
1.8	2.38 ± 0.06	2.61 ± 0.26	2.63 ± 0.16	2.31 ± 0.02
2.1	2.07 ± 0.07	2.21 ± 0.17	2.45 ± 0.19	1.78 ± 0.13
2.4	1.90 ± 0.04	2.04 ± 0.14	2.38 ± 0.2	1.65 ± 0.14



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วบวก

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

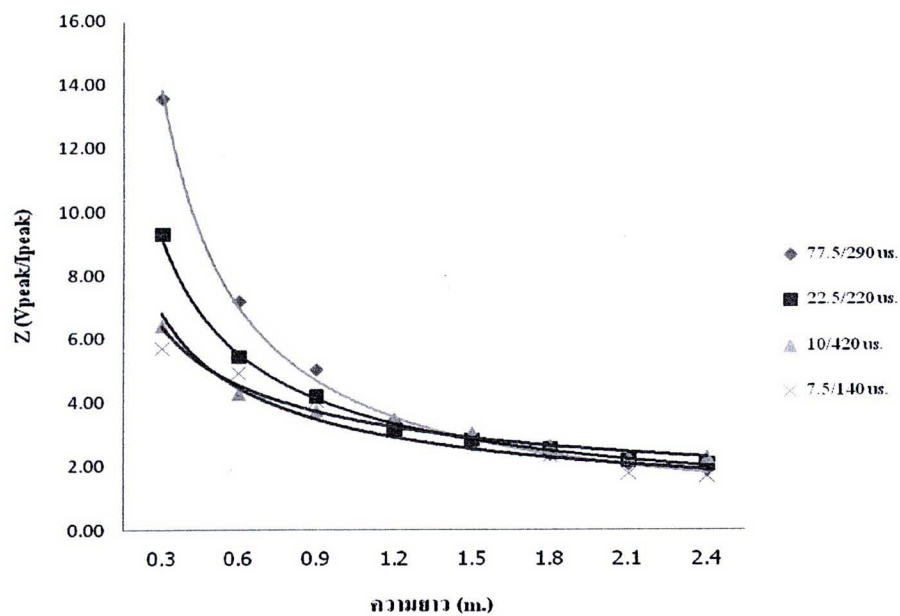
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 13.092L^{-0.965}$	12.56
22.5/220	$Z = 8.7017L^{-0.699}$	12.14
10/420	$Z = 6.0817L^{-0.44}$	10.75
7.5/140	$Z = 6.3977L^{-0.589}$	10.68

4.2.2 กรณีกระแสอิมพัลส์ชั่วคราว (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 1136 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.15 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอนความต้านทาน 1136 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	13.54 ± 1.48	9.30 ± 1.25	6.41 ± 0.01	5.70 ± 1.23
0.6	7.16 ± 0.12	5.43 ± 0.20	4.27 ± 0.08	4.91 ± 0.42
0.9	5.01 ± 0.02	4.18 ± 0.38	3.74 ± 0.16	4.05 ± 0.16
1.2	3.42 ± 0.08	3.16 ± 0.09	3.47 ± 0.07	3.08 ± 0.17
1.5	2.66 ± 0.02	2.83 ± 0.13	3.04 ± 0.17	2.86 ± 0.02
1.8	2.35 ± 0.05	2.55 ± 0.44	2.63 ± 0.24	2.33 ± 0.03
2.1	2.04 ± 0.02	2.17 ± 0.23	2.28 ± 0.08	1.76 ± 0.14
2.4	1.85 ± 0.08	2.06 ± 0.24	2.28 ± 0.08	1.69 ± 0.12



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดย
สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์
ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความ
ยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ
1136 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

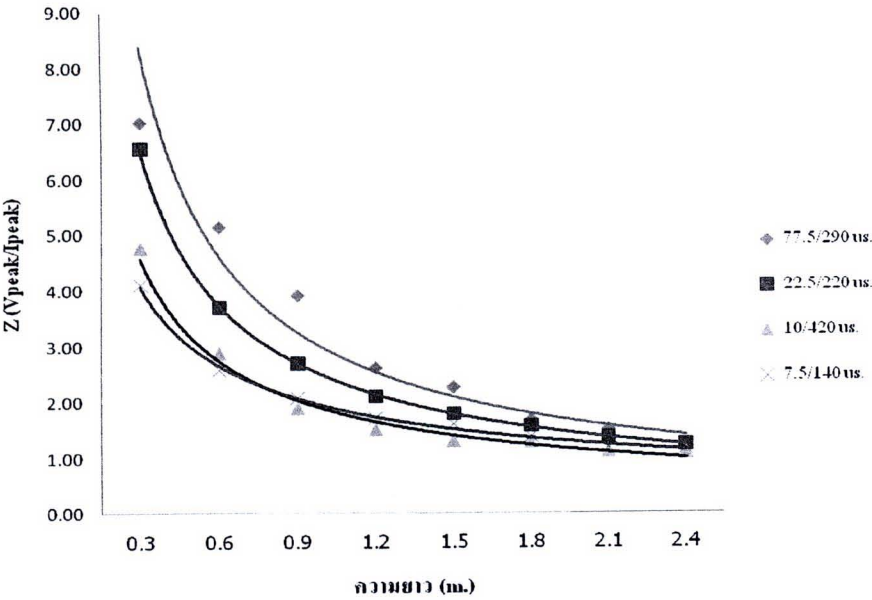
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 13.817L^{-0.983}$	12.73
22.5/220	$Z = 9.1411L^{-0.728}$	12.26
10/420	$Z = 6.3807L^{-0.492}$	11.02
7.5/140	$Z = 6.8088L^{-0.613}$	10.98

4.2.3 กรณีกระแสिमพัลส์ชั่วบวก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.17 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 757 Ω.cm. กระแสिमพัลส์ชั่วบวก

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	7.02 ± 0.11	6.57 ± 0.07	4.77 ± 0.46	4.11 ± 0.14
0.6	5.14 ± 0.12	3.90 ± 0.22	2.88 ± 0.28	2.58 ± 0.04
0.9	3.91 ± 0.03	2.69 ± 0.25	1.89 ± 0.08	2.07 ± 0.02
1.2	2.61 ± 0.05	2.10 ± 0.13	1.50 ± 0.04	1.70 ± 0.07
1.5	2.26 ± 0.04	1.78 ± 0.14	1.29 ± 0.07	1.59 ± 0.04
1.8	1.67 ± 0.18	1.56 ± 0.15	1.27 ± 0.01	1.36 ± 0.07
2.1	1.50 ± 0.08	1.36 ± 0.14	1.10 ± 0.08	1.17 ± 0.06
2.4	1.23 ± 0.06	1.22 ± 0.13	1.08 ± 0.02	1.14 ± 0.05



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอน โดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสिमพัลส์ชั่วบวก

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 757 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

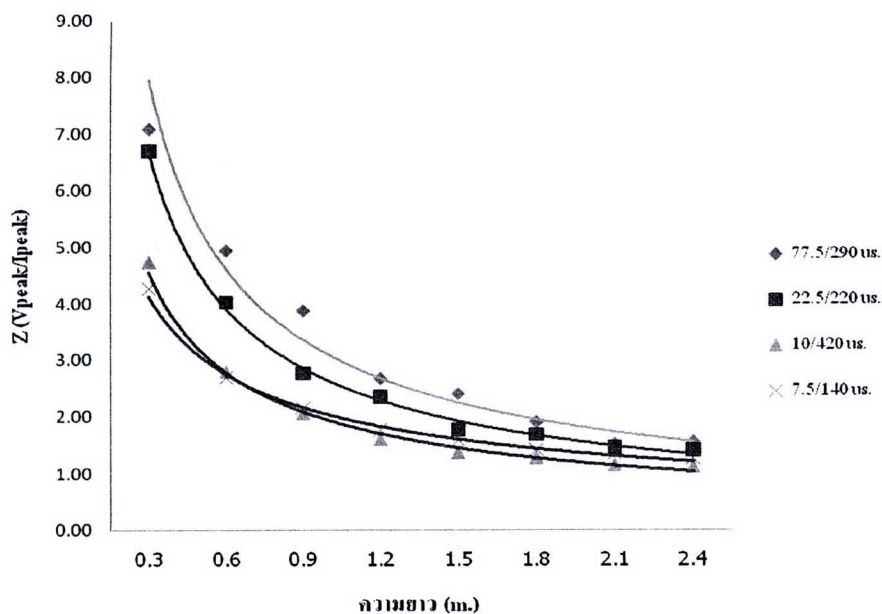
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 8.3795L^{-0.863}$	10.69
22.5/220	$Z = 6.6325L^{-0.814}$	9.70
10/420	$Z = 4.5728L^{-0.738}$	8.18
7.5/140	$Z = 4.0611L^{-0.616}$	7.96

4.2.4 กรณีกระแสอิมพัลส์ชั่วคราว (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 757 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.19 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 757 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	7.07 ± 0.09	6.70 ± 0.07	4.73 ± 0.39	4.26 ± 0.15
0.6	4.93 ± 0.08	4.02 ± 0.35	2.78 ± 0.37	2.68 ± 0.04
0.9	3.86 ± 0.04	2.76 ± 0.22	2.04 ± 0.14	2.14 ± 0.08
1.2	2.66 ± 0.03	2.35 ± 0.03	1.59 ± 0.13	1.76 ± 0.03
1.5	2.39 ± 0.04	1.76 ± 0.06	1.36 ± 0.06	1.58 ± 0.04
1.8	1.89 ± 0.04	1.68 ± 0.09	1.27 ± 0.11	1.40 ± 0.04
2.1	1.50 ± 0.02	1.45 ± 0.04	1.14 ± 0.06	1.35 ± 0.02
2.4	1.54 ± 0.02	1.40 ± 0.03	1.11 ± 0.05	1.25 ± 0.12



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (V_{peak}/I_{peak}) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดยสารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน $757 \Omega \cdot \text{cm}$. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ $757 \Omega \cdot \text{cm}$. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

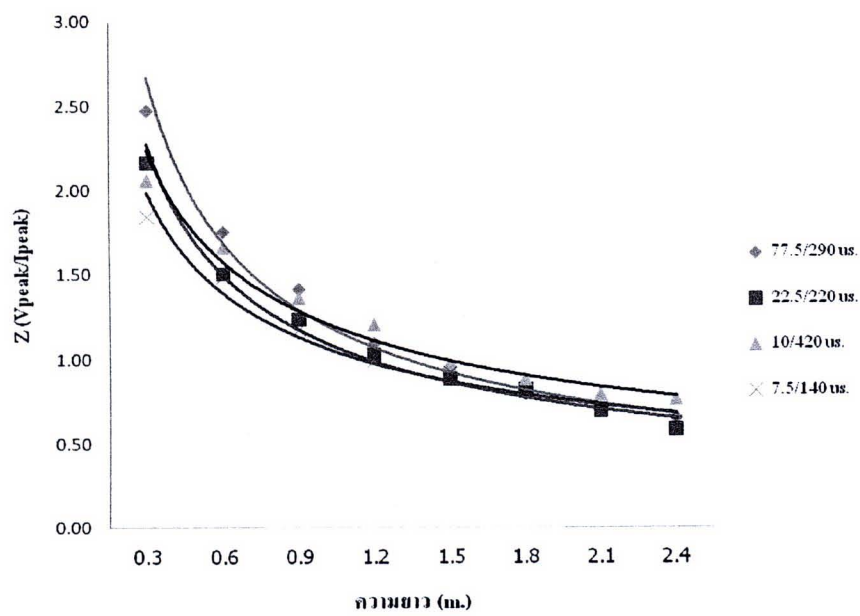
รูปคลื่น (μs)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 7.9355L^{-0.787}$	10.90
22.5/220	$Z = 6.6875L^{-0.778}$	9.95
10/420	$Z = 4.5638L^{-0.717}$	8.24
7.5/140	$Z = 4.1216L^{-0.589}$	8.10

4.2.5 กรณีกระแสिमพัลส์ชั่ววอก (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.21 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 367 Ω.cm. กระแสिमพัลส์ชั่ววอก

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	2.47 ± 0.00	2.16 ± 0.08	2.06 ± 0.05	1.84 ± 0.01
0.6	1.75 ± 0.01	1.50 ± 0.06	1.66 ± 0.05	1.48 ± 0.02
0.9	1.41 ± 0.00	1.23 ± 0.01	1.36 ± 0.02	1.17 ± 0.01
1.2	1.09 ± 0.02	1.02 ± 0.03	1.20 ± 0.03	0.99 ± 0.04
1.5	0.95 ± 0.01	0.88 ± 0.03	0.97 ± 0.05	0.92 ± 0.03
1.8	0.79 ± 0.01	0.82 ± 0.06	0.88 ± 0.03	0.80 ± 0.10
2.1	0.70 ± 0.01	0.69 ± 0.04	0.79 ± 0.04	0.71 ± 0.07
2.4	0.65 ± 0.00	0.58 ± 0.02	0.76 ± 0.05	0.63 ± 0.10



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดย สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสिमพัลส์ชั่ววอก

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสอิมพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

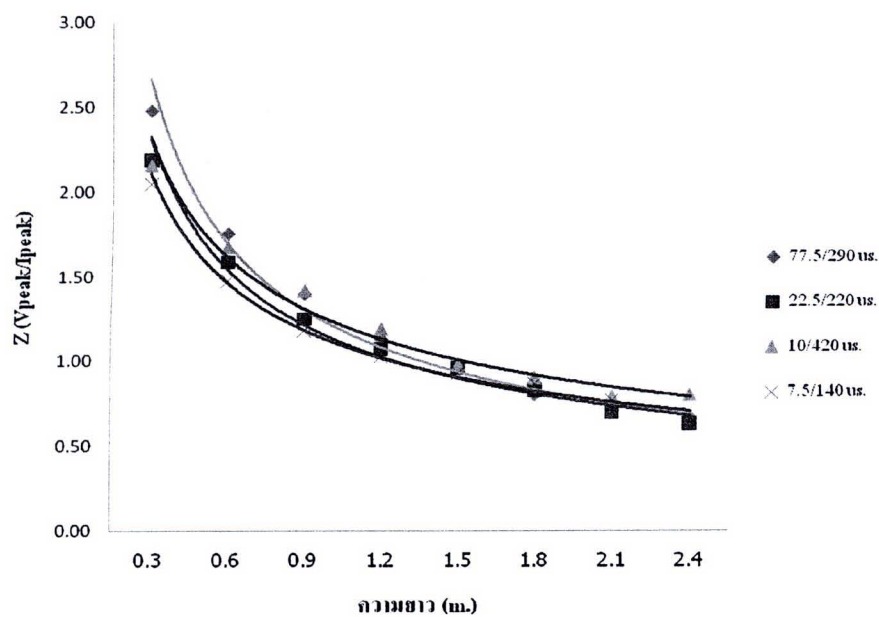
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 2.6637L^{-0.661}$	6.09
22.5/220	$Z = 2.2707L^{-0.603}$	5.56
10/420	$Z = 2.2323L^{-0.507}$	5.47
7.5/140	$Z = 1.9855L^{-0.513}$	5.06

4.2.6 กรณีกระแสอิมพัลส์ชั่วคราว (ความต้านทานจำเพาะสารละลายน้ำเกลือ 367 Ω.cm.)

หลังจากนำค่าผลการทดลองที่ได้มาเปลี่ยนเป็นค่าจริงดังตารางที่ 4.23 นำไปสร้างกราฟระหว่าง Z (Vpeak/Ipeak) กับความยาวของรากสายดินได้ดังรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองรากสายดินแนวนอน ความต้านทาน 367 Ω.cm. กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

ความยาวรากสายดิน (m.)	รูปคลื่น (μs.)			
	77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak	Vpeak/Ipeak
0.3	2.48 ± 0.08	2.19 ± 0.08	2.16 ± 0.09	2.05 ± 0.12
0.6	1.76 ± 0.01	1.59 ± 0.07	1.68 ± 0.04	1.48 ± 0.01
0.9	1.40 ± 0.02	1.25 ± 0.07	1.42 ± 0.06	1.18 ± 0.03
1.2	1.13 ± 0.01	1.07 ± 0.06	1.19 ± 0.04	1.03 ± 0.05
1.5	0.96 ± 0.02	0.96 ± 0.03	0.98 ± 0.08	0.93 ± 0.05
1.8	0.80 ± 0.00	0.83 ± 0.04	0.90 ± 0.04	0.87 ± 0.06
2.1	0.72 ± 0.00	0.70 ± 0.02	0.79 ± 0.03	0.77 ± 0.03
2.4	0.67 ± 0.01	0.63 ± 0.03	0.80 ± 0.07	0.63 ± 0.05



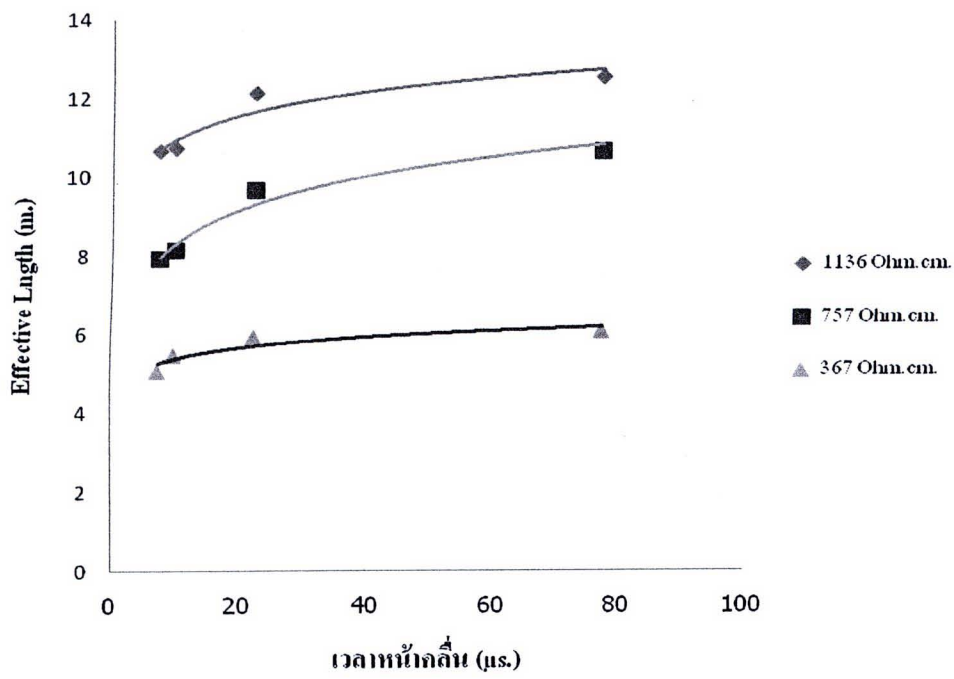
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Z (Vpeak/Ipeak) และความยาวของรากสายดินแนวนอนโดย
สารละลายน้ำเกลือมีความต้านทาน 367 Ω.cm. ภายใต้กระแสพัลส์ซ้ำกลับ

ทำการประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันยกกำลัง (Power function) จะได้สมการความสัมพันธ์
ของแรงดันที่เกิดขึ้นต่อกระแสพัลส์ (Z) กับความยาวของรากสายดิน (L) และคำนวณหาความ
ยาวประสิทธิผลตามสมการที่ (3.6) ได้ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 สมการแสดงความสัมพันธ์ Z และ L ของรากสายดินแนวนอน ความต้านทานน้ำเกลือ
367 Ω.cm. ภายใต้กระแสพัลส์ซ้ำกลับ

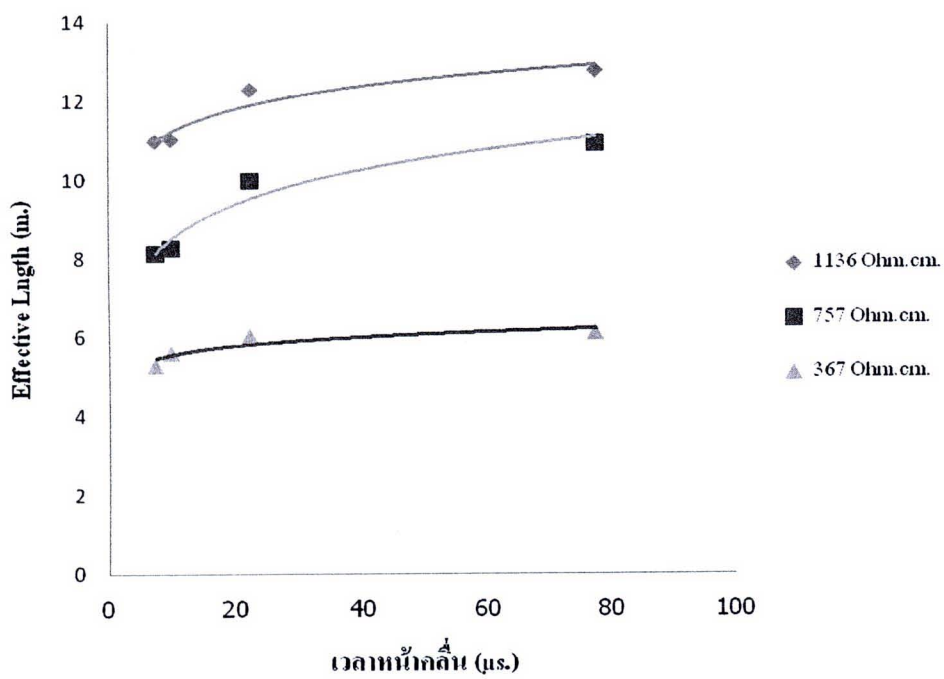
รูปคลื่น (μs.)	สมการแสดงความสัมพันธ์	ความยาวประสิทธิผล (m.)
77.5/290	$Z = 2.6676L^{-0.651}$	6.11
22.5/220	$Z = 2.3286L^{-0.59}$	5.65
10/420	$Z = 2.3128L^{-0.516}$	5.60
7.5/140	$Z = 2.1096L^{-0.528}$	5.29

นำข้อมูลรากสายดินแนวนอนภายใต้กระแสพัลส์ซ้ำบวกมาสร้างกราฟความสัมพันธ์
ระหว่างเวลาหน่วงคลื่นกับความยาวประสิทธิผลได้ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอน กับเวลาหน่วงภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราว

นำข้อมูลรากสายดินแนวนอนภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วคราวมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหน่วงกับความยาวประสิทธิผลได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอน กับเวลาหน่วงภายใต้กระแสอิมพัลส์ชั่วพล

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอนกับเวลาหน้าคลื่นภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งประมาณเชิงเส้นด้วยฟังก์ชันลอการิทึม ดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่า เมื่อเวลาหน้าคลื่นลดลงทำให้ความยาวประสิทธิผลลดลงด้วย และเมื่อพิจารณาที่ความต้านทานสารละลายน้ำเกลือที่ลดต่ำลงก็จะพบว่า เป็นผลทำให้ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินลดต่ำลงเช่นกัน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวประสิทธิผลกับเวลาหน้าคลื่นของรากสายดินแนวดิ่งกับรากสายดินแนวนอน ที่ค่าความต้านทานสารละลายน้ำเกลือและเวลาหน้าคลื่นเดียวกัน ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอนจะสั้นกว่ารากสายดินแนวดิ่ง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนที่ค่าความต้านทานสารละลายน้ำเกลือมีค่าสูง

ตารางที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบความยาวประสิทธิผล

รายการ \ รูปคลื่น (μs.)				77.5/290	22.5/220	10/420	7.5/140
ความยาวประสิทธิผล (m.)	รากสายดินแนวดิ่ง	1136 Ω.cm.	+	13.89	12.74	12.55	11.77
			-	14.04	12.99	12.72	12.19
		757 Ω.cm.	+	10.80	9.93	9.84	8.26
			-	10.96	10.10	10.03	8.69
		367 Ω.cm.	+	6.17	5.94	5.59	5.44
			-	6.19	6.03	5.65	5.51
	รากสายดินแนวนอน	1136 Ω.cm.	+	12.56	12.14	10.75	10.68
			-	12.73	12.26	11.02	10.98
		757 Ω.cm.	+	10.69	9.70	8.18	7.96
			-	10.90	9.95	8.24	8.10
		367 Ω.cm.	+	6.09	5.56	5.47	5.06
			-	6.11	5.65	5.60	5.29

จากตารางที่ 4.25 ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวดิ่งภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วบวกและขั้วลบที่ค่าความต้านทานสารละลายน้ำเกลือเดียวกัน พบว่า ค่าความยาวประสิทธิผลภายใต้กระแสอิมพัลส์ขั้วลบยาวกว่าขั้วบวก และเมื่อความต้านทานสารละลายน้ำเกลือ หรือเวลาหน้าคลื่นลดลงจะเป็นผลทำให้ความยาวประสิทธิผลลดต่ำลง

ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวนอนภายใต้กระแสไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบที่ค่าความต้านทานสารละลายน้ำเกลือเดียวกัน พบว่า ค่าความยาวประสิทธิผลภายใต้กระแสไฟฟ้าขั้วลบยาวกว่าขั้วบวกเช่นกัน และเมื่อความต้านทานสารละลายน้ำเกลือ หรือเวลาหน้าคลื่นลดลงจะเป็นผลทำให้ความยาวประสิทธิผลลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบความยาวประสิทธิผลรากสายดินแนวดิ่งกับรากสายดินแนวนอน พบว่า ความยาวประสิทธิผลของรากสายดินแนวดิ่งยาวกว่ารากสายดินแนวนอน ที่ทุกเวลาหน้าคลื่นทั้งภายใต้กระแสไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบ

นำความยาวประสิทธิผลภายใต้กระแสไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบของรากสายดินแนวดิ่งและรากสายดินแนวนอนมาเปรียบเทียบความแตกต่าง เพื่อสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบรากสายดิน ได้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงความแตกต่างของความยาวประสิทธิผลภายใต้กระแสไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบ

รูปคลื่น (μ s.)	ความแตกต่าง (%)					
	รากสายดินแนวดิ่ง			รากสายดินแนวนอน		
	ความต้านทานจำเพาะ (Ω .cm.)			ความต้านทานจำเพาะ (Ω .cm.)		
	1136	757	367	1136	757	367
77.5/290	1.07	1.47	0.32	1.34	1.95	0.33
22.5/220	1.94	1.70	1.50	0.98	2.54	1.61
10/420	1.35	1.91	1.07	2.48	0.73	2.35
7.5/140	3.51	5.07	1.28	2.77	1.74	4.44