

2차원 전기비저항 탐사에 사용되는 ROLL-ALONG 기법에 대한 고찰

한원석* · 윤종렬**

*(주)엑스지오

**(주)삼보지오텍

A Study on the Roll-Along Technique used in 2D Electrical Resistivity Surveys

Won-Seok Han · Jong-Ryeol Yoon

요 약

2차원 전기비저항 탐사자료의 획득에 널리 사용되는 roll-along 기법의 타당성과 효율성을 현재 통용되고 있는 쌍극자-쌍극자 배열법(dipole-dipole array)과 베너-슐럼버저 배열법(Wenner-Schlumberger array)의 경우에 대하여 수치 모델링을 통해 분석하였다. 천부 정보를 상대적으로 많이 포함하고 있는 가단면도 상부에 위치한 자료들은 roll-along 기법에 의한 자료의 누락이 없으므로 천부의 전기비저항 이상대는 두 배열법에서 모두 성공적으로 영상화되었다. 그러나 비교적 심부에 위치한 이상대는 roll-along 기법으로 야기되는 자료의 누락으로 인해 왜곡된 형태로 나타날 수 있으며, 이 현상은 자료획득의 수평 범위가 상대적으로 빈약한 베너-슐럼버저 배열법에서 더 크게 나타나는 것으로 확인되었다. 또한 실제 탐사에서 쌍극자-쌍극자 배열법은 S/N비가 낮아 유한한 전극 개수로 구현할 수 있는 최대전극전개계수(n_{max})까지 전극을 전개할 수 없는 경우가 많은 이유로 roll-along 기법으로 인한 자료의 누락이 적게 나타나지만, 베너-슐럼버저 배열법의 경우에는 S/N비가 높아 n_{max} 까지 전극을 전개하게 되어 자료의 누락이 커지므로 역산 단면의 왜곡이 야기될 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 동일한 기본전극간격(a)과 n 을 사용하였을 때 쌍극자-쌍극자 배열법보다 깊은 median depth(Edwards, 1977)를 제공하는 베너-슐럼버저 배열법의 경우 roll-along 기법에 의한 자료의 왜곡을 줄이고 효율적인 현장 작업을 위하여 n_{max} 보다는 자료의 누락이 무시될 수 있는 n_{prop} 을 기준으로 가탐심도에 적합한 a 를 결정한 후, 축선 중첩구간이 전체 축선 길이의 3/4이 되도록 전극을 전진 배치하는 전극배열 방식이 추천되며 이는 수치 모델링을 통해 확인되었다.

주요어

Roll-along 기법, 쌍극자-쌍극자 배열법, 베너-슐럼버저 배열법, 수치 모델링

ABSTRACT

The validity and efficiency of the roll-along technique widely used in 2-D electrical resistivity survey are analyzed in case of the dipole-dipole and the Wenner-Schlumberger arrays by numerical modelling. The shallow anomalous resistivity bodies are successfully inverted both in the dipole-dipole and in the Wenner-Schlumberger arrays because the shallow data of pseudosection are not omitted by the roll-along technique. However, the deep anomalous resistivity bodies can not be well resolved due to the skip of observed data which is more significant in the Wenner-Schlumberger array having relatively poor horizontal coverage of obtaining data. Carrying out electrical survey adopting the dipole-dipole array, the skip of data is insignificant because it is unfeasible to expand the electrodes to the maximum electrode separation coefficient(n_{max}) owing to low S/N ratio. In case of the Wenner-Schlumberger array, however, because it is generally feasible to expand the electrodes to the n_{max} owing to high S/N ratio, it is highly possible that skip of data from the roll-along technique causes significant distortion of inversion results. Therefore, adopting the Wenner-Schlumberger array having deeper median depth(Edwards, 1977) than do the dipole-dipole array on condition of the same unit electrode spacing(a) and n_{max} , it is recommended to determine a based on not n_{max} but n_{prop} free from the skip of

observing data and forward electrodes with keeping overlap interval 3/4 of the survey line length in order to reduce the distortion of resistivity structure and perform resistivity survey efficiently. These results are confirmed by numerical modelling.

Key words Roll-along technique, dipole-dipole array, Wenner-Schlumberger array, numerical modeling

1. 서론

전기비저항 탐사는 토목 및 환경, 지하수와 관련된 지반조사에 있어 가장 널리 적용되는 지구물리탐사법의 하나이다. 이는 전기비저항 탐사가 다른 탐사법에 비해 자료 획득이 용이하고 외부의 잡음에 비교적 강하기 때문이며, 이러한 장점들로 인해 점점 그 적용 범위가 확대되는 추세이다. 특히 터널 등의 지반조사에 활용되는 빈도가 증가하게 되면서 전기비저항 탐사의 측선 길이나 가탐 심도의 연장이 요구되는 실정이다.

그러나 실제 전기비저항 탐사를 수행하는데 있어 대부분의 경우 한 측선 당 20~30개의 유한한 전극을 사용하므로, 수 km의 연속적인 측선 전개를 위해 roll-along 방식이 일반적으로 사용되고 있다. 이와 같이 roll-along 기법을 사용하여 긴 측선의 전기비저항 탐사를 수행하게 되면 배열법이나 전극전개수(n)에 따라 자료의 누락이 다소 다른 양상으로 발생하게 되며, 이러한 자료의 누락은 필연적으로 역산 과정에서 오류를 야기할 것으로 보인다.

또한 가탐심도는 지하 매질의 전기비저항에 비례하나 전극배열법이나 기본전극간격(a), n 에 따라서도 달라지므로(Edwards, 1977), 전기비저항 탐사의 설계에 있어 탐지하고자하는 이상대의 심도뿐만 아니라 roll-along 기법에 따른 자료의 누락과 그에 따른 전기비저항 역산의 왜곡도 고려하여 이러한 요소들을 적절히 결정해야 한다.

현재까지는 효과적인 전기비저항 탐사를 위한 전극 배열법의 특성(Yoon and Lee, 1996; 김정호 외, 2001a)이나 변형된 배열법의 개발(김정호 외, 2001b)과 같은 연구가 주로 이루어져왔으나, 실제 전기비저항 탐사의 수행과정에서 발생하는 roll-along 기법에 의한 자료의 누락이 역산에 미치는 영향에 대해서는 간과되어온 측면이 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 2차원 전기비저항 탐사에서 널리 사용되고 있는 쌍극자-쌍극자와 베너-슐럼버저 배열법에 대하여 roll-along 기법 적용 시 발생할 수 있는 자료의 누락과 그로 인한 역산과정의 왜곡을 수치 모델링을 통해 비교 분석함으로써 역산 결과의 왜곡을 최소화하고 작업의 효율성을 높일 수 있는 대응 방안을 제시하고자 하였다.

2. 수치 계산 개요

2.1 Roll-along 기법 적용 시 배열법에 따른 관측값의 누락

Fig. 1에는 42개의 전극이 필요한 측선에서 14개의 전극을 연결할 수 있는 2조의 케이블을 이용하여 roll-along 기법을 통해 측정되는 쌍극자-쌍극자 배열법의 가단면도(pseudosection)를 도시하였다. 그림과 같이 28개의 전극을 사용할 경우 최대전극전개계수(n_{max})는 25가 되나, 쌍극자-쌍극자 배열법은 S/N비가 낮아 실제로는 n_{max} 에 이르기 전에 측정이 불가능한 경우가 대부분이며, 아래 언급될 베너-슐럼버저 배열법과 비교의 편의를 위해 여기서는 $n_{max}=13$ 으로 가정하였다. Fig. 1에서는 쌍극자-쌍극자 배열법의 경우 위와 같은 형태의 roll-along 기법에 의해서는 넓은 자료 획득의 수평 범위로 인해 측정 불가능한 자료가 1점에 불과하다는 것이 잘 도시되어 있다.

한편 Fig. 2에는 roll-along 기법을 통해 측정되는 베너-슐럼버저 배열법의 가단면도를 도시하였다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 14개의 전극을 연결한 2조의 케이블을 이용하여 roll-along 방식으로 탐사를 수행할 경우 '○'과 '✕'로 표시된 상당수의 자료들이 측정 불가능하게 되며, 만약 7개의 전극을 연결한 4조의 케이블을 이용하여 roll-along 방식으로 탐사를 수행

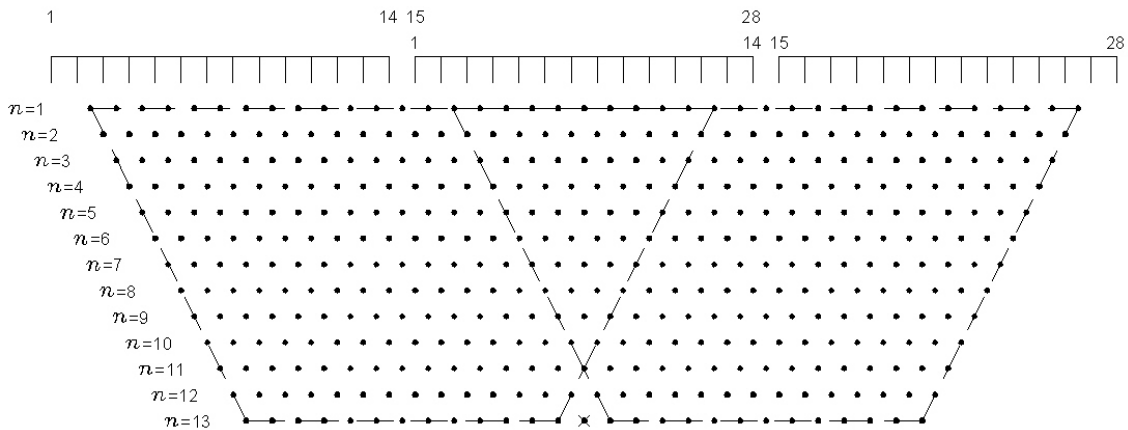


Fig. 1 The pseudosection resulting from the roll-along method with a pair of 14-electrode cables for dipole-dipole array using $n_{max} = 13$. Note that feasible n_{max} is 25 for 28-electrode system and the number of omitted datum points caused by the roll-along method is negligible. Solid circles: observable datum points; solid circles with cross: datum points omitted by the roll-along method.

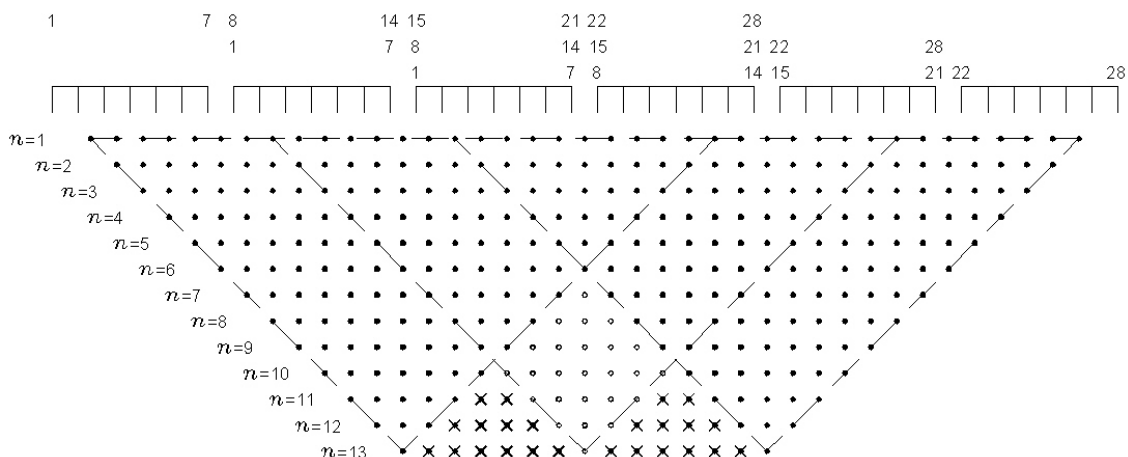


Fig. 2 The pseudosection resulting from the roll-along method with 28-electrode system for Wenner-Schlumberger array. Solid circles: observable datum points for the roll-along method with a pair of 14-electrode cables; open circles: additional observable datum points for the roll-along method with a quartet of 7-electrode cables; solid circles with cross: datum points omitted by the roll-along method.

하게 되면 'o'로 표시된 자료가 추가로 측정 가능해 짐을 알 수 있다.

Figs. 1과 2에서 살펴본 바와 같이, roll-along 기법으로 인한 자료의 손실은 n_{max} 까지 전극을 실제로 전개하기 어려운 쌍극자-쌍극자 배열법의 경우에는 대부분 미미하지만 베너-슐럼버저 배열법의 경우에는 오해석을 야기할 가능성이 높을 것으로 직관적으로 추측되며 쌍극자-쌍극자 배열법의 경우에도 만약 큰 n 값을 사용할 수 있는 지역에서는 해석 결과에 영향을

미칠 가능성이 존재한다. 따라서 roll-along 기법을 이용하여 전기비저항 탐사를 수행할 경우 발생할 수 있는 여러 상황에 대한 수치 모델링을 통한 정량적인 분석은 정확하고 효율적인 탐사를 위해 매우 중요하다고 할 수 있다.

2.2 모델 설정

Fig. 3과 같이 10 ohm-m의 전기비저항값을 갖는

3개의 정방형 저비저항 이상체가 100 ohm-m의 전기 비저항값을 갖는 모암에 위치하는 모델을 설정하였다. Fig. 3과 같은 모델에서 여러 roll-along 기법의 상황에 맞도록 쌍극자-쌍극자 배열법과 베너-슬럼버저 배열법에 해당하는 수치 모델링을 수행한 후에, 그 결과를 역산의 입력 자료로 이용하여 역산을 수행한 후 그 결과를 원래 모델과 비교하는 방식으로 연구를 수행하였다.

수치모델링을 수행하는데 있어 전체 전극 개수는 28개, $a=10$ m로 모두 동일하게 설정하였다. 이상체의 심도는 8 m와 36 m로 달리 설정하여 각각 천부와 심부에 위치하는 이상체에 대한 roll-along의 효과를 분석하였다.

Edwards(1977)는 median depth라는 용어를 사용하여 여러 전극 배열법의 n 에 따른 가탐심도를 추정하였고 그 내용을 Table 1에 정리하였다. 이 심도는 반무한 균질한 모델에만 정확히 적용될 수 있는 것이

지만, 대략적인 가탐심도 추정에는 무리 없이 사용될 수 있다(Loke, 1999). Table 1에 의하면 $a=10$ m이고 $n=13$ 일 때 쌍극자-쌍극자 배열법과 베너-슬럼버저 배열법의 대략적인 가탐심도는 각각 33 m와 52 m 정도이다. 이 경우 위에서 언급한 천부 이상체는 두 배열법에서 모두 가탐심도 내에 위치하지만 심부 이상체 모델은 그렇지 아니하다. 이러한 사항을 염두에 두고 앞으로 소개될 결과들을 분석하는 것이 필요하다.

3. 수치 계산 결과 분석

3.1 천부 이상체 모델

저비저항 이상체가 심도 8~28 m에 위치하는 모델에 대한 역산 결과를 Figs. 4~6에 도시하였다. 쌍극자-쌍극자 배열법과 베너-슬럼버저 배열법에서 모두 n_{max}

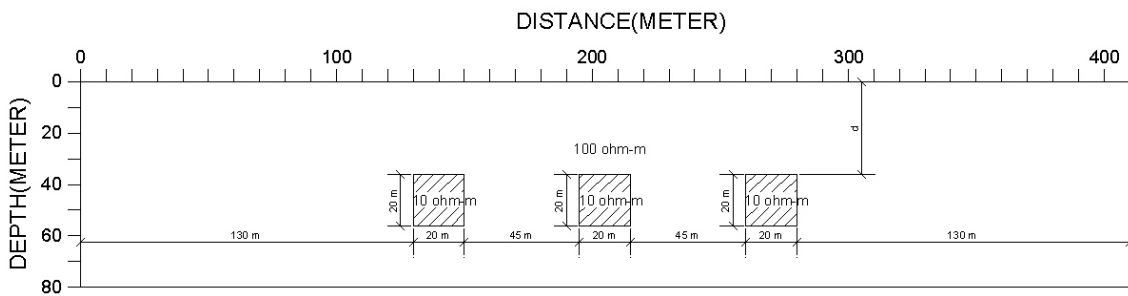


Fig. 3 A 2-D subsurface resistivity model with three low resistivity rectangular bodies in homogeneous earth. The depths of "d" in the figure are 8 or 36 m.

Table 1 The ratio of median depth to a for the dipole-dipole and the Wenner-Schlumberger arrays(after Edwards, 1977). 'Dp-Dp' and 'W-S' denote the dipole-dipole and the Wenner-Schlumberger arrays, respectively.

n	Array type		n	Array type		n	Array type	
	Dp-Dp	W-S		Dp-Dp	W-S		Dp-Dp	W-S
2	0.70	0.93	10	2.72	4.02	18	4.26	7.04
3	0.96	1.32	11	2.94	4.40	19	4.44	7.40
4	1.22	1.71	12	3.19	4.78	20	4.62	7.77
5	1.48	2.09	13	3.30	5.17	21	4.80	8.13
6	1.73	2.48	14	3.50	5.55	22	4.98	8.49
7	1.98	2.86	15	3.70	5.93	23	5.16	8.86
8	2.24	3.25	16	3.90	6.32	24	5.34	9.22
9	2.49	3.63	17	4.08	6.68	25	5.52	9.58

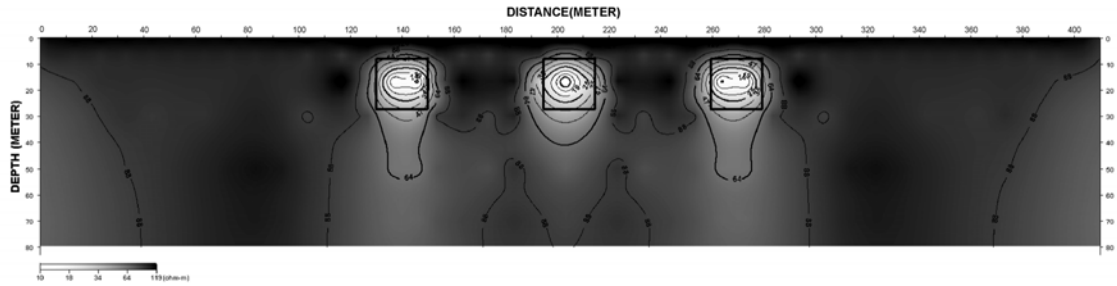


Fig. 4 Inverted resistivity model for dipole-dipole array($a=10$ m, $n_{\max}=13$) from all feasible datum points of Fig. 1. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

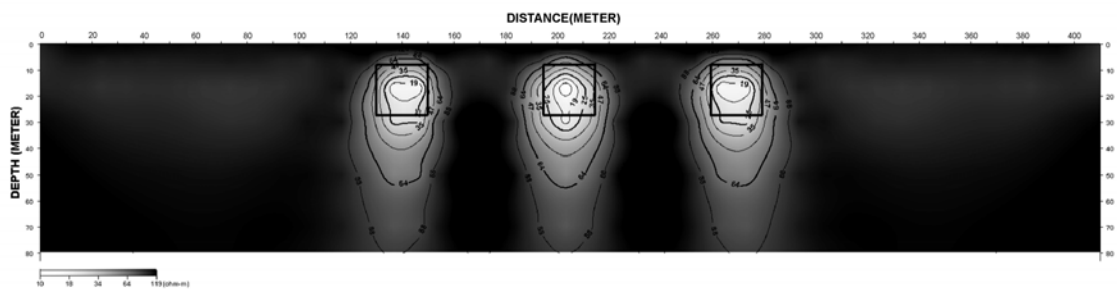


Fig. 5 Inverted resistivity model for Wenner-Schlumberger array($a=10$ m, $n_{\max}=13$) from all feasible datum points of Fig. 2. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

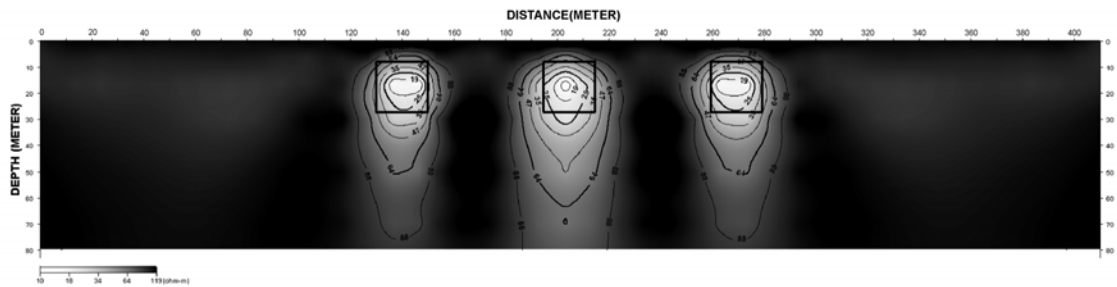


Fig. 6 Inverted resistivity model for Wenner-Schlumberger array($a=10$ m, $n_{\max}=13$) from datum points denoted by ‘●’ of Fig. 2 obtained by roll-along method with 14 electrodes among 28 electrodes. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

=13으로 설정하여 탐사를 수행하였을 경우 이상체가 훌륭히 영상화되었으며(Figs. 4, 5), 28개의 전체 전극 중 절반을 이동하는 roll-along 방법을 적용하여도 베너-슐럼버저 배열법에서 성공적으로 영상화됨을 알 수 있다(Fig. 6). 쌍극자-쌍극자 배열법은 전체 전극 중 절반을 이동하는 roll-along 방법에 의해 누락되는 자료가 1점에 불과하므로(Fig. 1) 역산 결과는 따로 수록하지 않았다. 그러므로 주 관심대가 비교적 천부이고 신속한 작업이 필요할 경우에는 전체 전극의 절반

을 이동하는 roll-along 방법을 사용하여 탐사를 수행하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

3.2 심부 이상체 모델

Figs. 7, 8에 전기비저항 이상체가 심도 36~56 m에 위치하는 모델에 대한 쌍극자-쌍극자 배열법과 베너-슐럼버저 배열법의 역산 결과를 각각 도시하였다 [이후 삽도(Figs. 7~14)의 전기비저항값 범례의 최

소·최대값은 역산 단면에 나타나는 각 배열법의 특성을 효율적으로 도시하기 위하여 역산된 블록의 최소·최대값과 가까운 값으로 설정하였음]. Figs. 7, 8은 $n_{\max}=13$ 으로 설정하여 측정 가능한 모든 자료를 역산한 결과이며 Figs. 4, 5와 상당한 차이를 갖는다. 즉, Figs. 4, 5에서는 이상체의 전기비저항값이 10~30 ohm-m 정도로 비교적 정확한 값을 나타내며 세 개의 저비저항체들이 명확히 구분되지만, 심부 이상체 모델의 역산 단면을 도시한 Figs. 7, 8은 역산된 이상체의 전기비저항값이 실제와 상당히 다른 값을 가지며 역산 단면의 분해능도 떨어짐을 보여준다. Figs. 4, 5와 7, 8의 차이점은 오직 이상체의 심도에 기인하므로 동일한 a 를 사용하여 심부에 위치하는 이상체를 정확하게 영상화하기 위해서는 이상체의 규모가 커야한다는 것을 추론할 수 있다.

Figs. 7, 8에서 베너-슐럼버저 배열법을 이용한 단면에서는 세 개의 저비저항체가 어느 정도 분해되었으나 쌍극자-쌍극자 배열법의 역산 결과는 그렇지 않은데, 이는 이 경우 쌍극자-쌍극자 배열법의 median depth가 베너-슐럼버저 배열법의 median depth에

비해 이상체의 심도 보다 더 작은 것에도 원인이 있는 것으로 판단된다. 그러므로 쌍극자-쌍극자 배열법과 베너-슐럼버저 배열법과의 공정한 비교를 위해서는 쌍극자-쌍극자 배열법의 median depth가 이상체의 심도에 가깝도록 n 의 값을 증가시켜 획득된 단면을 필요로 하게 된다. 실제 탐사에서는 쌍극자-쌍극자 배열법의 경우 28개의 전극을 사용할 때 최대 측정 가능한 $n_{\max}=25$ 까지의 자료 획득이 낮은 S/N 비로 인해 거의 불가능하지만 베너-슐럼버저 배열법과의 비교를 위하여 $n_{\max}=25$ 까지 탐사를 수행한 경우의 모든 쌍극자-쌍극자 배열법 자료를 역산하여 획득한 단면을 Fig. 9에 도시하였으며 이 경우 median depth는 55m 정도이다(Table 1).

Figs. 8, 9를 통해 쌍극자-쌍극자 배열법이 베너-슐럼버저 배열법에 비해 실제 전기비저항값에 더 가깝게 역산된 이상체를 제공하고 높은 수평 분해능을 갖는다는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 장점을 고려할 때 쌍극자-쌍극자 배열법이 베너-슐럼버저 배열법보다 2차원 구조 규명에 좀 더 적합한 방법이라고 할 수 있다. 그렇지만 쌍극자-쌍극자 배열법을 이용한 탐사의

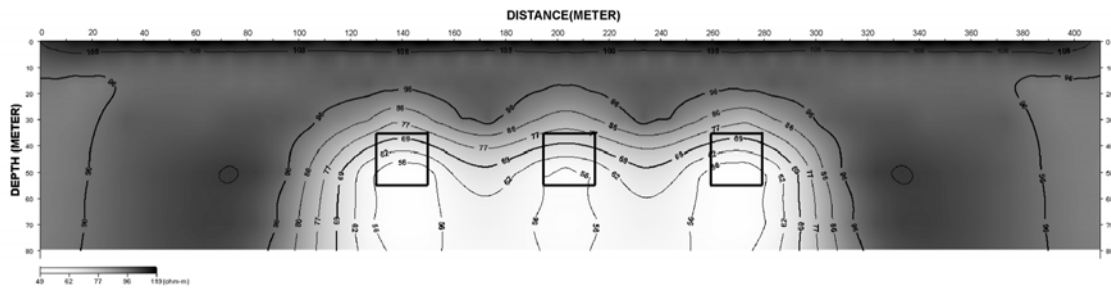


Fig. 7 Inverted resistivity model for dipole-dipole array($a=10$ m, $n_{\max}=13$) from all feasible datum points of Fig. 1. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

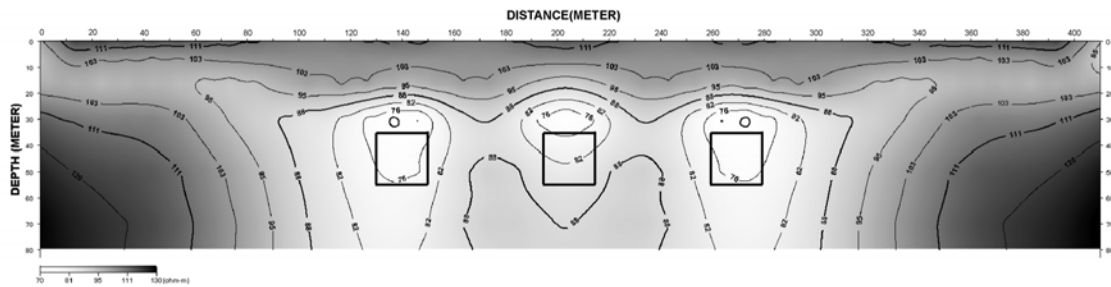


Fig. 8 Inverted resistivity model for Wenner-Schlumberger array($a=10$ m, $n_{\max}=13$) from all feasible datum points of Fig. 2. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

경우 위의 경우처럼 $n_{\max}=25$ 까지의 자료 획득이 실제로는 거의 불가능하고, 이상체가 심부로 연장되는 형태로 영상화된 쌍극자-쌍극자 배열법보다 베너-슬럼버저 배열법이 수치 분해능 면에서 다소 우월하다고 할 수 있으며, 역산에 사용된 겉보기비저항 자료의 수는 Fig. 8이 Fig. 9의 52%에 불과하다는 점 등을 고려할 때 보다 정확하고 효율적인 현장 작업을 위해 두 가지 배열법 중 어느 것이 우월하다고 단정하기는 어려우며 각각의 장단점을 고려하여 탐사 현장에 더 적합한 배열법을 사용하는 것이 타당하다고 판단된다.

Roll-along 기법에 의해 각 배열법에서 발생하는 효과는 Figs. 10, 11, 12를 통해 분석하였다. 쌍극자-쌍극자 배열법의 경우 $n_{\max}=25$ 로 설정하여 전체 전극(28개)의 절반을 재배치하는 roll-along 방법에 의해 획득된 역산 단면을 Fig. 10에 도시하였다. 상용되는 전극 배열법 중 가장 뛰어난 자료의 수평 범위를 제공하는 쌍극자-쌍극자 배열법의 특성으로 인해 roll-along 기법으로 인해 많은 자료가 누락되었음에도 불구하고 실제 모델이 비교적 정확히 영상화되었음을 알 수 있다. Figs. 11과 12에는 전체 축선의 1/2과 1/4을 전진 배치하는 roll-along 방법으로 획득된

베너-슬럼버저 배열법의 역산 결과를 각각 도시하였다. Roll-along 방법에 의한 자료의 누락으로 분해능이 감소되어 결과적으로 역산 자료가 왜곡되었음을 Figs. 8, 11, 12의 비교를 통해 알 수 있다. Fig. 11의 결과는 심부의 자료가 상당 부분 누락되어 어느 정도 예상된 결과이기는 하나(Fig. 2), Fig. 12의 결과는 전체 측정될 수 있는 자료의 7% 정도만이 누락되었음에도 분해능이 상당히 떨어질 수 있음을 보여준다.

위에서 살펴본 바와 같이 쌍극자-쌍극자 배열법은 자료의 높은 수평 범위로 인해 전체 전극 개수의 절반을 이동하는 roll-along 방식에 의해서도 해상도 높은 단면을 제공할 수 있지만 베너-슬럼버저 배열법은 자료의 수평 범위 면에서 베너 배열법보다 우월하기는 하나 쌍극자-쌍극자 배열법에 비해 빈약하여 전체 축선 거리의 1/4을 재배치하는 roll-along 방식에 의해서도 역산 단면의 왜곡 현상이 발생할 수 있음이 수치 모델링을 통해 확인되었다. 또한, 쌍극자-쌍극자 배열법은 실제 탐사 시 n_{\max} 까지 전극을 전개할 수 없는 경우가 빈번하여 roll-along 기법에 의한 자료의 누락이 없거나 상대적으로 적은 반면, 베너-슬럼버저 배열법은 높은 S/N비로 인해 대부분의 경우 n_{\max} 까지

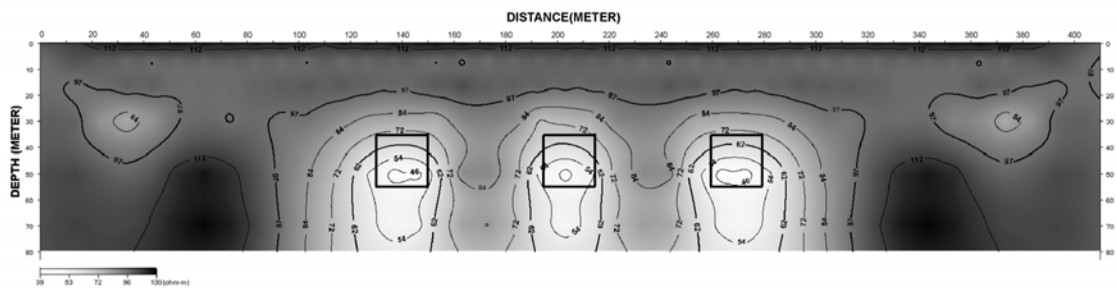


Fig. 9 Inverted resistivity model for dipole-dipole array($a=10$ m, $n_{\max}=25$) from all feasible datum points. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

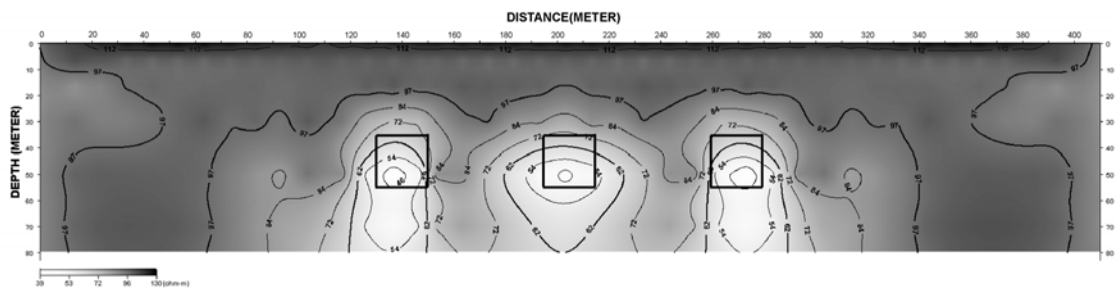


Fig. 10 Inverted resistivity model for dipole-dipole array($a=10$ m, $n_{\max}=25$) from roll-along method with 14 electrodes among 28 electrodes. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

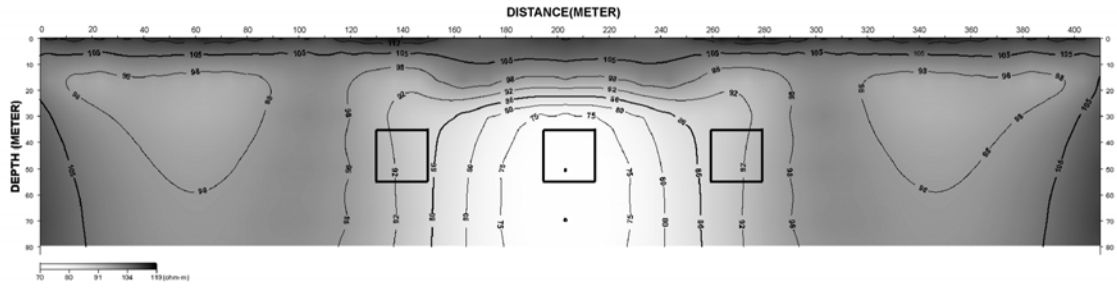


Fig. 11 Inverted resistivity model for Wenner-Schlumberger array ($a=10$ m, $n_{max}=13$) from datum points denoted by ‘●’ of Fig. 2 obtained by roll-along method with 14 electrodes among 28 electrodes. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

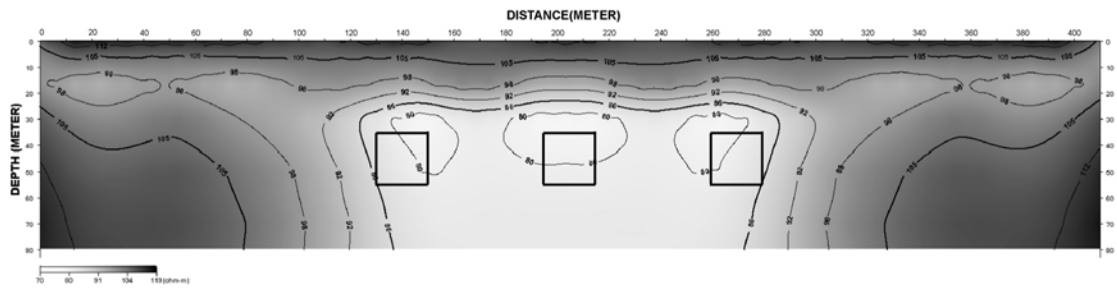


Fig. 12 Inverted resistivity model for Wenner-Schlumberger array ($a=10$ m, $n_{max}=13$) from datum points denoted by ‘●’ and ‘○’ of Fig. 2 obtained by roll-along method with 7 electrodes among 28 electrodes. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

전극을 전개할 수 있어 roll-along 기법을 사용할 때 누락되는 자료가 역산 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 적용 시 각별한 주의가 요구된다고 하겠다.

4. 토 의

전기비저항 탐사를 roll-along 방법을 사용하여 수행할 경우 베너-슐럼버저 배열법이 쌍극자-쌍극자 배열법에 비해 역산 결과가 왜곡될 가능성이 큰 것으로 확인되었다. 이는 획득되는 자료의 수평 범위가 상대적으로 빈약한 베너-슐럼버저 배열법의 단점과 높은 S/N 비로 인해 대부분의 경우 큰 n 까지 측정 가능한 베너-슐럼버저 배열법의 장점에 원인이 있다. 물론 전극 한두 개를 전진 재배치하는 roll-along 방식에 의해서는 상기한 문제점이 발생하지 않으나 이러한 방식은 실제 현장에서는 효율 면에서 거의 사용 불가능하므로 상당수의 전극을 이동하는 roll-along 방식에 대해 논하기로 한다.

취득되는 자료의 수평 범위는 각 배열법이 갖는 고유의 특성이므로 상기한 베너-슐럼버저 배열법의 문제점을 극복하기 위해서는 roll-along 방식에 의해 누락되는 자료의 개수를 줄여야만 한다. 쌍극자-쌍극자 배열법과 같이 베너-슐럼버저 배열법도 n_{max} 까지 전극을 전개하지 않고 자료를 획득한다면 roll-along 방식으로 인한 자료의 누락을 줄일 수 있을 것이다. 예로 Fig. 2에서 n 을 11까지만 전개하고 전체 전극의 1/4를 재배치하는 roll-along 방식을 택한다면 4점만이 측정 불가능하다. 그렇지만 이 방법은 측정 가능한 심부의 자료를 측정하지 않음으로써 베너-슐럼버저 배열법의 장점을 배제하는 형태가 되어 바람직하지 않을 뿐만 아니라, n 을 11까지만 전개한다 해도 전체 전극의 1/4을 재배치하는 roll-along 방식으로 측정 가능한 측정점보다 불과 12 점이 적게 되므로 n_{max} 를 아주 작게 하지 않는 한 효율 면에서도 크게 우월하지 않다.

위와 같이 심부 자료의 획득을 위해 n 을 증가시키면 roll-along 방식에 의한 자료의 누락이 반드시 발

생하므로, roll-along 방식에 의해 자료의 누락이 별로 없는 적절한 n 값(n_{prop})으로 탐사 심도를 추정하여 문제점을 해결하려는 시도가 타당할 것으로 보인다. 즉, 예를 들어 Fig. 2에서 가능한 $n_{max}=13$ 이지만 $n=12, 13$ 의 자료들은 대부분이 축선의 1/4을 재배치하는 roll-along 방식에 의해 측정 불가능하므로 이 경우 측정 가능한 최대 n 값을 $n_{max}=13$ 이 아닌 $n_{prop}=11$ 로 간주하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

Edwards(1977)의 median depth를 고려하여 상기 방법의 타당성을 수치모델링을 통해 확인하였다. 기본전극간격이 10 m이고 $n=11, 13$ 일 때 베너-슬럼버저 배열법의 median depth는 각각 44, 52 m 정도이다(Table 1). 상기 심부 이상체 모델의 경우 이상체는 심도 36~56 m에 위치하므로 $n_{max}=13$ 일 경우에는 가탐 심도가 이상체의 심도를 거의 포함하여 어느 정도 정확한 결과가 도출되었으나(Fig. 8), $n=11$ 일 경우에는 가탐심도가 44 m에 불과하여 그렇지 않은 것으로(Fig. 12) 판단된다. 그러므로 Fig. 3과 같은 모델에서 이상체가 심도 20~40 m에 위치할 경우에는 $n_{max}=11$ 로 설정하여 전체 전극의 1/4를 이동하는 roll-along 방식에 의해서도 훌륭한 역산 결과가 기대되며 그 결과를 Fig. 13에 도시하였다.

한편, $n_{max}=11$ 일 경우 심부 이상체 모델을 영상화하기 위하여 가탐심도가 56 m 정도 되려면 기본전극간격이 약 13 m가 되어야 하므로($56/4.4 \approx 13$), 심부 이상체 모델에서 $a=13$ m, $n_{max}=11$ 로 설정하여 전극 전체의 1/4을 이동하는 roll-along 방식으로 획득한 자료로 역산한 결과를 Fig. 14에 도시하였다. Fig. 14는 사용된 기본전극간격이 Fig. 8의 기본전극간격 보다 크기 때문에 Fig. 8에 비해 해상도가 떨어지는 편이지만 Fig. 12 보다 분해능 높은 단면을 보여주고 있다.

Figs. 13, 14에서 살펴본 바와 같이 roll-along 방식에 의한 베너-슬럼버저 배열법의 경우 원하는 탐사 심도까지 조사가 가능한 기본전극간격 a 를 설정할 때, n_{max} 가 아니라 자료의 누락이 거의 없는 n_{prop} 값(상기 예에서 $n=11$)을 고려해야 roll-along 기법에 의해 야기될 수 있는 왜곡의 가능성을 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

2차원 전기비저항 탐사에서 널리 사용되는 roll-along 방식에 의한 자료의 왜곡 가능성을 쌍극자-쌍극자와

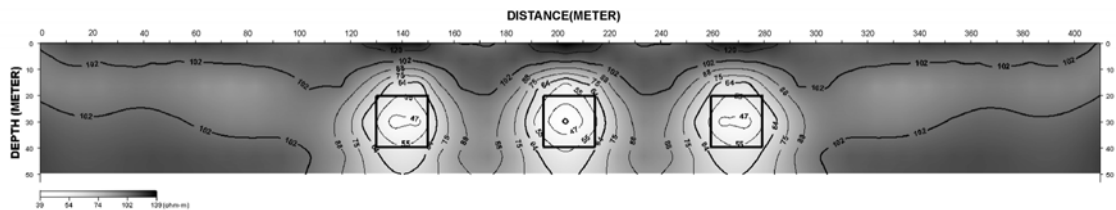


Fig. 13 Inverted resistivity model for Wenner-Schlumberger array($a=10$ m, $n_{max}=11$) from datum points denoted by ‘●’ and ‘○’ of Fig. 2 obtained by roll-along method with 7 electrodes among 28 electrodes. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

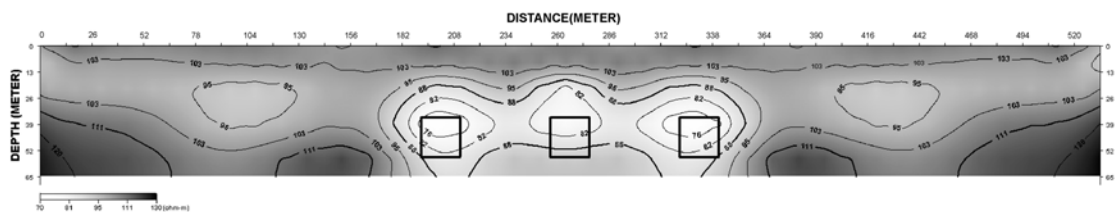


Fig. 14 Inverted resistivity model for Wenner-Schlumberger array($a=13$ m, $n_{max}=11$) from datum points denoted by ‘●’ and ‘○’ of Fig. 2 obtained by roll-along method with 7 electrodes among 28 electrodes. Three anomalous bodies are depicted by rectangles in the figure.

베너-솔럼버저 배열법에 대하여 수치모델링을 통해 분석하였다. 두 배열법은 가탐심도와 수평·수직적 분해능 등에 있어 각각의 고유한 장점과 단점을 갖고 있음이 수치 계산을 통해 확인되었으며, 따라서 탐사 여건과 탐사 대상체에 따라 상호보완적으로 운용되어야 한다.

쌍극자-쌍극자 배열법의 경우 S/N비가 낮아 n_{\max} 에 비해 상대적으로 작게 설정되는 n 값과 자료 취득의 넓은 수평 범위로 인하여 roll-along 방식에 의한 자료의 누락이 실제 상황에서 별로 발생하지 않으며, 자료가 누락되더라도 자료의 수평 범위가 넓은 배열법의 특성으로 인해 roll-along 방식에 의한 결과의 왜곡 가능성이 적은 것으로 나타났다. 따라서 쌍극자-쌍극자 배열법의 경우 전체 측선의 절반을 전진 배치하는 roll-along 방식에 의해서도 좋은 결과가 기대된다고 할 수 있다.

그러나, 베너-솔럼버저 배열법은 S/N 비가 높아 측정 가능한 최대 n 값이 n_{\max} 와 동일하게 설정되는 경우가 대부분이며 자료 취득의 수평 범위가 상대적으로 빈약하므로 roll-along 방식으로 탐사를 수행할 경우 쌍극자-쌍극자 배열법에 비해 역산 결과가 왜곡될 가능성이 높은 것으로 확인되었다. 이와 같은 역산 결과의 왜곡은 측정 가능한 최대 n 값을 크게 설정하여 roll-along 방식에 의해 누락되는 자료들에 기인하므로, 자료의 누락이 무시될 수 있는 n_{prop} 값을 고려하

여 가탐심도에 적합한 a 를 선택하여야 역산단면의 왜곡을 최소화 할 수 있는 것으로 분석되었다. 기본전극 간격 a 를 작게 설정하고 n_{prop} 를 증가시켜 해상도 높은 역산 결과를 얻기 위해서는 roll-along 방법에 의해 전진 이동하는 전극의 개수를 줄일수록 좋으나, 작업의 효율성과 역산 결과의 신뢰도를 고려할 때 측선의 중첩구간을 전체 측선 길이의 3/4으로 유지하며 전극을 전진 이동하는 방식이 현실적으로 적합할 것으로 보인다.

참고문헌

- 김정호, 이명중, 송윤호, 정승환, 2001a, 2차원 전기비저항탐사를 위한 전극배열법의 비교, 한국자원공학회지, 38, 116-118.
- , 2001b, 2차원 전기비저항탐사를 위한 변형된 전극 배열법에 관한 연구, 물리탐사, 4, 59-69.
- Edwards, L. S., 1977, A Modified Pseudosection for Resistivity and IP, Geophysics, 42, 1020-1036.
- Loke, M. H., 1999, Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering studies - A Practical guide to 2-D and 3-D Surveys.
- Yoon, J. R. and Lee, K., 1996, Effectiveness of the electrode arrays for delineating 2-D subsurface structure, J. of Kor. Eco. Geol., 29, 345-355.