

해저케이블 매설심도 측정오차 저감 방법에 관한 연구

안용호, 김용학, 한정열, 이유진, 심은보
한전전력연구원

Study on the Method to minimize Measuring Burial Depth Error for Submarine Cable

Yong-Ho An, Yong-Hak Kim, Jeong-Yeol Han, You-Jin Lee, Eung-Bo Shim
KEPCO Research Institute

Abstract - 우리나라의 도서지역 전력공급을 담당하고 있는 배전 해저케이블은 대부분 남해안에 설치되어 있으며, 그 다음으로 서해안 그리고 제주도에도 설치되어 있다. 해저케이블 설치방법은 매설방식에 따라 매설방식과 비 매설방식으로 분류되는데 한국전력공사에서는 배전 해저케이블의 경우 2003년부터 전량 매설방식으로 시공하고 있다. 매설방식으로 해저케이블을 시공할 경우 매설상태의 적합성 여부 판단은 '매설심도'로 판단할 수밖에 없으며, 특히 해저면에 매설된 해저케이블의 매설심도를 어떻게 정확하게 측정해 내느냐가 중요한 Issue로 대두되고 있다. 본 논문에서는 전기적인 탐사방법 중 자기검출방식을 이용하여 해저케이블 매설심도를 측정할 경우 해저케이블 접지환경 등 전기적인 요인에 의해 매설심도의 측정오차가 발생할 수 있는 것과 측정오차를 저감할 수 있는 방법 및 특성에 대해 연구하였다.

1. 서 론

우리나라의 도서지역 전력공급을 담당하고 있는 배전 해저케이블은 대부분 남해안에 설치되어 있으며, 그 다음으로 서해안 그리고 제주도에도 설치되어 있다. 또한 제주와 육지간 전력공급을 담당하고 있는 송전급해저케이블로는 제주와 해남간 설치 운전 중인 HVDC 해저케이블로 제주지역 전력의 40%를 담당하고 있다.

해저케이블 설치방법은 매설방식에 따라 매설방식과 비 매설방식으로 분류되는데 한국전력공사에서는 배전 해저케이블의 경우 2003년부터 전량 매설방식으로 시공하고 있다. 그리고 송전급 HVDC 해저케이블은 전 구간 매설방식을 채택하여 시공하고 있다. 매설방식을 채택하고 있는 주된 이유는 태풍, 지형영향 등으로 인한 자연 재해적 요인과, 선박의 어로행위 또는 정박시 투묘(뚝 내림) 등의 인위적 위해요소로부터 해저케이블을 완전히 보호하여 도서지역 고객에 대한 안정적인 전력공급을 확보함으로써, 국민편익을 도모하는 데 목적이 있으며, 해저케이블의 경우 고장이 발생하면 고장복구에 막대한 비용이 발생하므로 이를 미연에 방지하고자 하는 데 그 목적이 있다.

매설방식으로 해저케이블을 시공할 경우 매설상태의 적합성 여부 판단은 '매설심도'로 판단할 수밖에 없으며, 특히 해저면에 매설된 해저케이블의 매설심도를 어떻게 정확하게 측정해 내느냐가 중요한 Issue로 대두되고 있다. 해저케이블 매설심도 측정방법으로는 물리적인 탐사방법과 전기적인 탐사방법으로 나눌 수 있는데, 물리적인 탐사방법은 매질의 영향을 받으므로 제한적으로 적용할 수 있다. 반면, 전기적인 탐사방법에 의해서 매질 또는 매설심도 등의 물리적인 요소들에 대한 매설심도 측정오차는 물리적 특성에 따라 영향을 미치지 않거나 아니면 영향이 없든지 정해진 값이라는 것은 그간 연구를 통해 밝혀진바 있다[1][2].

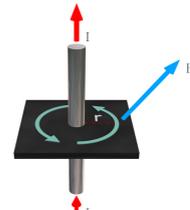
본 논문에서는 전기적인 탐사방법 중 자기검출방식을 이용하여 해저케이블 매설심도를 측정할 경우 해저케이블 접지환경 등 전기적인 요인에 의해 매설심도의 측정오차가 발생할 수 있는 것과 측정오차를 저감할 수 있는 방법 및 특성에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경

2.1.1 해저케이블 추적 기본원리

해저케이블 탐지 및 추적은 암페어의 오른나사법칙에 의해 발생하는 자계에 있어서, 지구자기장과 케이블 고유자기장의 변화를 Innovatum Ultra #44 센서에 의해 X, Y, Z 성분의 자기장과 dZ의 매설깊이 변화를 측정하여 추적할 수 있게 되며, Magnetic Flux Gate를 이용한 그림 1의 자기검출방식을 기본원리로 하고 있다[3].



<그림 1> 자기검출 원리(암페어의 오른나사 법칙)

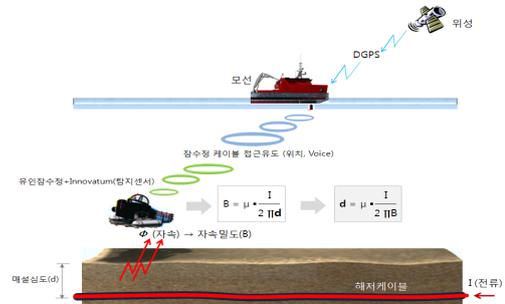
$$H = I/2\pi r \text{ [AT/m]}$$

$$B = \mu H = \mu I/2\pi r = 200I/2\pi r \text{ [nT]}$$

B : 자속밀도[nT], H : 자계의 세기[AT/m], μ : 투자율,
I : 전류[A], r : 도체중심과의 거리[m]

2.1.2 매설심도 측정원리

해저케이블 위치추적 및 매설심도 측정임무를 수행하는 핵심장비인 Innovatum Ultra #44 시스템은 활성화된 교류전류에 의해 발생하는 자계를 감지하여 측정하는 Active AC Mode를 기본 운영방법으로 하며, 실제 현장에서는 그림 2와 같이 Innovatum Ultra #44 시스템을 유인잠수정에 탑재하여 매설심도를 측정하게 된다.

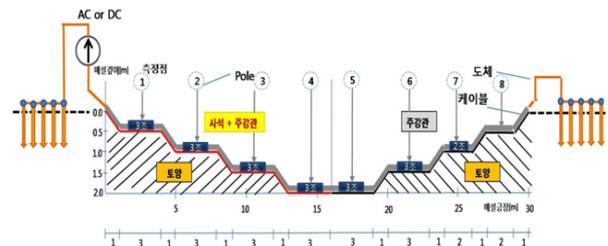


<그림 2> 유인잠수정에 의한 매설심도 측정 개념도

2.2 실험장치 구성

2.2.1 육지실험장 구축

해저환경에서 실험시 막대한 비용, 기간, Data의 측정 정밀도 확인 등 불리한 점을 고려하여, 해저환경과 가장 유사한 육지에 실험장을 그림 3과 같이 구축하였다.



<그림 3> 육지실험장 구축 단면도

육지시험장의 구축 규모는 공장 30m, 매설심도 0.5m, 1.0m, 1.5m, 2.0m 로 구분하여 설치하였다[4][5].

2.2.2 실험장비

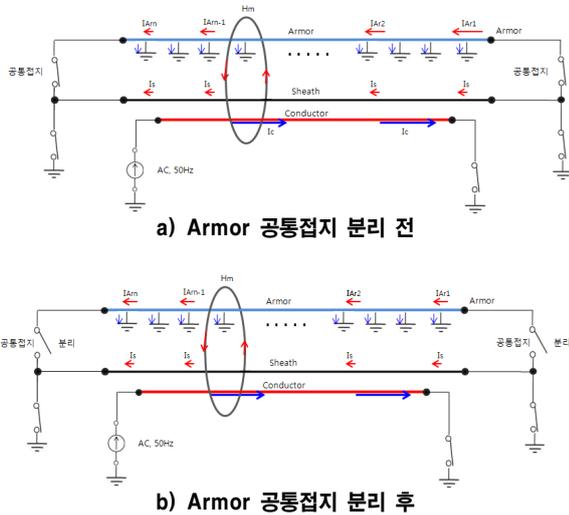
매설심도 측정에 사용한 장비는 Innovatum Ultra #44 시스템을 탑재한 그림 4의 육상 케이블 탐지장치를 사용하였다.



<그림 4> 육상 케이블 탐지장치

2.2.3 실험조건 및 회로구성

매설심도 측정에 사용한 육상 케이블 탐지장치는 해저에서 매설심도 측정에 사용하는 유인잠수정 운용조건과 동일한 조건으로 Setting 하여 Active AC 모드에서 매설심도를 측정하였다. 측정 시스템 조건은 센서 높이는 0.5m, 센서 폭은 1.5m로 하였으며, Armor와 시스칸 공통접지 영향검토 실험을 위하여 그림 5와 같이 실험회로를 구성하였다[4].

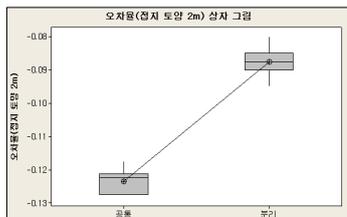


<그림 5> 실험회로 구성

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과 분석

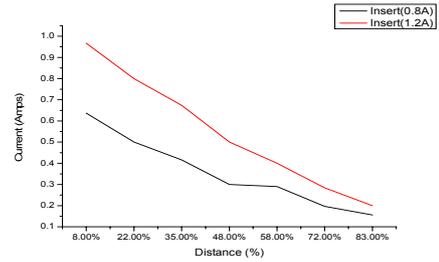
동일한 측정환경 하에서 매설심도를 측정할 경우 외장강대(Armor)와 시스칸 공통접지 또는 분리 여부에 따라 매설정확도에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하기 위하여 Minitab 프로그램을 사용하여 분석한 결과를 그림 6에 나타내었다. 본 실험에서 매설환경은 매설심도 2.0m, 매질은 토양인 조건으로 하였으며, 측정 결과 외장강대(Armor)와 시스칸 공통접지 하였을 경우 평균 오차율은 -12.4%를 보였으며, 외장강대(Armor)와 시스칸 분리하였을 경우 평균 오차율은 8.8%를 나타내었다.



<그림 6> Armor 시스칸 공통접지 분리 전·후 특성 비교

그림 7은 해저케이블 외장강대(Armor)와 시스칸 공통접지 시에 해저케이블 외부, 즉 자계검출센서에서 측정된 Pick-up 전류 패턴을 주입지점을 중심으로 거리에 따라 측정된 특성곡선이다. 전류주입 지점의 거리율을

0%로, 말단 지점을 거리율을 100%로 하였을 때, 그림 7에서 보이는 바와 같이 말단 지점으로 갈수록 급격한 전류의 감쇄가 나타남을 알 수 있다.



<그림 7> Armor와 시스칸 공통접지 시 Pick-up 전류 특성

이러한 현상은 자계검출센서의 감지 특성에 영향을 미치는 요인이라고 볼 수 있으며, 그 원인은 해저케이블 구성요소 중 Armor의 경우 해수가 침투할 수 있는 구조로 되어있기 때문에 앞서 기술한 그림 5-a)와 같이 Armor가 접지된 형태로 되어 차폐역할을 하고, 시스와 공통접지를 할 경우 말단 지점에서 가장 큰 전류 감쇄가 발생한다. 따라서, 매설심도의 측정오차를 저감시켜주기 위해서는 앞서 언급한 전류주입 지점의 말단으로 갈수록 감쇄되는 특성을 제거시켜 주면 되는데, 그림 5-b)와 같이 Armor를 시스와 공통접지로부터 분리시켜 주면 가능하며, 그 특성을 비교 실험한 결과는 그림 6에 나타낸 바와 같다.

3.2 실험결과 고찰

전기적인 환경이 매설심도 측정오차에 미치는 영향을 Minitab 일원분산 분석 기법을 이용하여 분석한 결과 외장강대(Armor)와 시스칸 분리하였을 경우 평균 오차율은 8.8%로 외장강대(Armor)와 시스칸 공통접지 하였을 경우 보다, 절대 값을 기준으로 3.6% 향상된 것으로 나타났다.

따라서, 매설심도의 측정오차를 저감시켜주기 위해서는 Armor를 시스와 공통접지로부터 분리시켜 주면 가능하다고 할 수 있다. 또한 본 실험에 사용된 Innovatum Ultra #44 시스템의 보증오차가 10%인 것[3]을 고려할 때, 외장강대(Armor)와 시스칸 분리한 상태에서 매설심도를 측정하여야 센서가 보충하는 허용치 범위 내의 신뢰성을 얻을 수 있다.

그리고 자계검출 방식에 있어서 측정오차는 매설깊이 또는 매질 등의 물리적 매설환경보다는 측정시스템의 전기회로 구성 등 전기적 측정환경에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

전기적인 탐사방법 중 자계검출방식을 이용하여 해저케이블 매설심도를 측정할 경우 해저케이블 접지환경 등 전기적인 요인에 의해 매설심도의 측정오차가 발생할 수 있는 것과 측정오차를 저감할 수 있는 방법 및 특성에 대하여 육지 실험장을 구축하여 매설깊이 측정이 가능한 Innovatum Ultra #44 시스템을 탑재한 육상 케이블 탐지장치를 사용하여 실험하고, Minitab 프로그램으로 분석하고 고찰한 결과는 다음과 같다.

외장강대(Armor)와 시스칸 분리하였을 경우 평균 오차율은 8.8%로 외장강대(Armor)와 시스칸 공통접지 하였을 경우 보다, 절대 값을 기준으로 3.6% 향상된 것으로 나타났다. 매설심도의 측정오차를 저감시켜주기 위해서는 Armor를 시스와 공통접지로부터 분리시켜 주면 가능하다.

즉 본 측정시스템을 현장에 적용 시 매설깊이 또는 매질 등의 물리적 매설환경보다는 측정시스템의 전기회로 구성 등 전기적 측정환경에 의한 영향이 크며, 외장강대(Armor)와 시스칸 분리한 상태에서 매설심도를 측정하여 매설심도 측정오차를 저감시킬 수 있다는 것을 본 연구를 통해 입증하였다. 이러한 결과는 앞으로 해저케이블 매설심도 측정 시 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 안용호 외, “자계검출방식에 의한 해저케이블 매설깊이 측정시 매질에 따른 영향 연구”, 대한전기학회 2010년 하계학술대회 논문집, 2010. 7
- [2] 김인환 외, “해저케이블 매설깊이가 매설정확도에 미치는 영향 연구”, 대한전기학회 2010년 하계학술대회 논문집, 2010. 7
- [3] Innovatum, INC. Innovatum Ultra 시스템 Manual, Spec, Revision 2.1, August 8. 2003
- [4] 한국전력공사 전력연구원 안용호, 김인환, 송택호 “배전 해저케이블 매설 정확도 향상을 통한 비용절감”, 최종보고서, TDR.K02.B110.0088, 2010. 1
- [5] 한국전력공사 전력연구원 안용호, “배전해저케이블 진단결과” 기술지원보고서, TM.N04.S2009.0119, 2009. 1