

KIOST-TR-2023-0407

연구선 윈치 케이블 손상 원인 및 방지법

Causes and Prevention of Damage
on the Winch Cable of the Research Vessel

KIOST

KOREA INSTITUTE OF
OCEAN SCIENCES & TECHNOLOGY

2023. 09. 30.

한 국 해 양 과 학 기 술 원

요 약

제 목	국 문	연구선 윈치 케이블 손상 원인 및 방지법
	영 문	Causes and Prevention of Damage on the Winch Cable of the Research Vessel
관련과제명	이사부호 운영 (PO01440) 해양연구선 운영 (PO01431)	
저 자 명	강한구	
작성일자	2023년 09월 30일	
유 형	기술동향자료(), 기술업무매뉴얼(), 특허허지적재산권(), 결함보고서(O)	
주제분야	해양물리(), 해양화학(), 해양생물(), 해양지질(), 해양공학(O) 해양정책(), 융복합(), 기타()	
Keyword	연구선, 연구장비, 윈치, 윈치 케이블	
초 록	<p>본 기술보고서는 연구선에서 사용하는 연구 장비 운용에 필요한 윈치 케이블 손상 원인 및 방지법에 관하여 기술한다. 윈치 케이블은 연구선과 연구 장비를 연결하는 유일한 장치로 케이블에 손상이 발생하여 절단되는 경우 연구 장비를 유실하는 치명적인 문제가 발생한다. 따라서 연구선 윈치 케이블의 유지보수 및 관리는 철저히 수행되어야 한다. 윈치 케이블 손상은 윈치 케이블 사용 기한에 따라서 자연 발생하는 부식에 의한 손상, 해상 상황에 따라 발생하는 환경적 요인에 의한 손상, 윈치 시스템의 기계적 결함에 의해 발생하는 손상 및 사용자의 착오로 발생하는 사용자 오류 손상 원인에 의해 발생한다. 본 기술보고서는 윈치 케이블의 손상 원인과 방지법을 공유하기 위한 목적으로 기술하였다.</p>	

목 차

1. 서론	1
2. 연구선 원치 케이블 종류	2
3. 원치 케이블 손상 원인 및 방지법	4
4. 결론 및 토의	15
5. 참고문헌	16



CTD	Conductivity-Temperature-Depth system
DTW	Deep Tow Winch
GPC	Giant Piston Core
UCC	Ultra Clean CTD

1. 서론

본 기술보고서는 연구선에서 사용하는 원치 케이블의 손상 원인 및 방지법에 관하여 기술한다. 6종의 원치 케이블을 보유한 이사부호의 손상 사례를 다루며 우리원(KIOST)이 보유 기타 연구선(온누리호, 이어도호, 장목1호, 장목2호; 그림 1 참조)에서 발생한 케이블 손상 사례 또한 일부 기술하고 손상 방지를 위한 방지법을 기술한다.

원치 케이블은 연구선과 연구 장비를 기계적으로 연결하여 구속하고 통신 및 전원 공급을 위한 매우 중요한 장치로 정상 상태를 유지하는 것이 매우 중요하다. 원치 케이블이 손상되면 케이블의 단면 안쪽에 있는 광케이블 및 전선이 단선되거나, 케이블 바깥쪽의 와이어 부분이 손상되면 연구 장비 또는 중량물에 의해 발생하는 장력으로 인하여 최악의 경우 절단되어 장비가 유실되거나, 안전사고가 발생할 가능성이 있어 매우 주의하여 관리하여야 한다.

따라서, 본 기술보고서는 우리원이 보유한 연구선에서 발생한 과거의 원치 케이블 손상 원인과 상황별 손상 방지법을 공유하여 연구선을 활용한 해양 과학 조사 시 원치 케이블을 사용한 안전한 작업이 가능하도록 정보를 제공하는 것이 주요 목적이다.



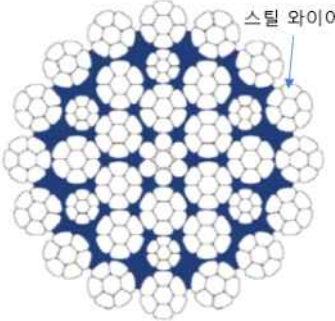
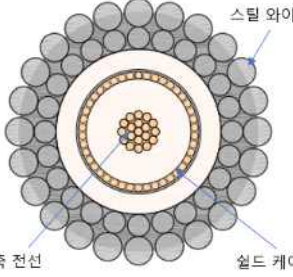
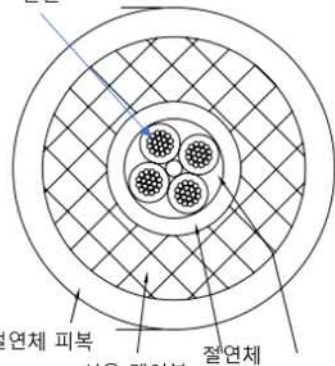

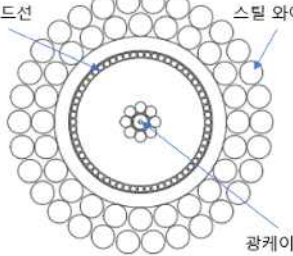
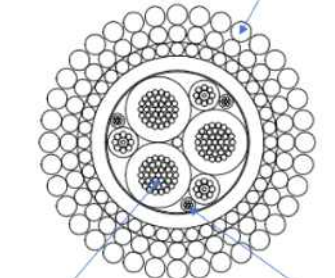
그림 1. 우리원 보유 연구선의 선명 및 건조 시기

2. 연구선 원치 케이블 종류

우리원이 보유한 연구선은 다양한 종류의 각기 다른 원치 케이블을 보유하고 있다. 이 사부호는 6종, 온누리호는 3종, 이어도호, 장목1호 및 장목2호는 각각 2종의 원치 케이블이 설치되어 있다. 이 사부호의 경우 나머지 4척의 연구선에 설치된 원치 케이블 종류를 모두 보유하고 있다. 설치된 원치 케이블의 종류는 표 1과 같이 a) 일반 목적 원치 케이블, b) Conductivity- Temperature-Depth system (CTD) 원치 케이블, c) Ultra Clean CTD (UCC) 원치 케이블, d) Giant Piston Corer (GPC) 원치 케이블, e) Deep Tow Winch (DTW) 원치 케이블 1, f) DTW 원치 케이블 2가 있다. 본 장에서는 이 사부호가 보유한 원치 케이블 자료를 활용하여 연구선에서 사용되는 원치 케이블의 종류 및 특징을 기술한다.

a) **일반 목적 원치 케이블**은 스틸 와이어 재질로 만들어진 케이블로 다목적 용도로 사용된다. 연구조사 작업 시 통신 및 전원 공급이 불필요한 연구 장비 운용 시 사용된다. 일반 목적 원치 케이블이 사용되는 대표적인 연구 장비로는 퇴적물 그랩, 플랑크톤 네트, 피스톤 코어러, 박스 코어러, 멀티 코어러, 드렛지 등이 있으며, 무어링 부이 설치 및

표 1. 이 사부호 보유 원치 케이블 (참조 자료: 각 원치 케이블 사양서)

 <p>스틸 와이어</p>	 <p>스틸 와이어 동축 전선 섀드 케이블</p>	 <p>전선 절연체 피복 섀드 케이블 절연체</p>
<p>a. 일반 목적 원치 케이블</p>	<p>b. CTD 원치 케이블</p>	<p>c. UCC 원치 케이블</p>
 <p>섀드 케이블</p>	 <p>섀드선 스틸 와이어 광케이블</p>	 <p>스틸 와이어 전선 케이블 광케이블</p>
<p>d. GPC 원치 케이블</p>	<p>e. DTW1 케이블</p>	<p>f. DTW2 케이블</p>

회수 작업, 중량물 설치 및 회수 작업 시 활용된다. 일반 목적 원치 케이블은 우리원 모든 연구선에 설치되어 있다.

b) **CTD 원치 케이블**은 스틸 와이어, 동축 케이블 및 션드 케이블로 구성되어 있다. CTD를 운용하기 위한 전용 케이블로 사용되며, 우리원이 보유한 모든 연구선에 설치되어 있다.

c) **UCC 원치 케이블**은 절연체 피복, 섬유질 와이어 및 전선 케이블로 구성되어 있으며, UCC 장비 전용으로 사용된다. UCC 원치 케이블은 이사부호에만 설치되어 있다.

d) **GPC 원치 케이블**은 섬유질 케이블로 만들어졌으며, 중성 부력 특성이 있다. GPC, 플랑크톤 네트 및 무어링 부위 설치에 사용되며 이사부호에만 설치되어 있다.

e) **DTW1** 및 f) **DTW2** 케이블은 스틸 와이어, 광케이블 및 전원 케이블로 구성되어 있다. **DTW1**은 1개의 광케이블과 1개의 동축 케이블로 구성되어 있으며, **DTW2**은 3개의 광케이블과 3개의 전원 케이블로 구성되어 있다. DTW 케이블은 광케이블 통신 또는 전원 공급이 필요한 연구 장비에 사용되며, 사용되는 대표적인 연구 장비로는 무인 잠수정 (ROV), TV grab, 심해저 카메라 및 모크네스 등이 있다. 이사부호에 DTW1 및 DTW2 원치 케이블이 설치되어 있으며, 온누리호에 DTW2 원치 케이블이 설치되어 있다.



3. 윈치 케이블 손상 원인 및 방지법

윈치 케이블 손상 원인은 i) 사용 기한에 따라서 자연 발생하는 부식에 의한 손상, ii) 해상 상황에 따라 발생하는 환경적 요인에 의한 손상, iii) 윈치 시스템의 기계적 결함에 의해 발생하는 손상 증상 및 iv) 사용자의 착오로 발생하는 사용자 오류 손상이 있다.

i) 사용 기한에 따라서 자연 발생하는 부식에 의한 손상은 그림 2와 같이 윈치 케이블에 도포된 그리스가 오랜 사용 기간 및 많은 사용 횟수로 인하여 제거되어 금속 재질로 이루어진 와이어 부분이 그림 3과 같이 녹이 발생하고 부식되어 그림 4와 그림 5와 같이 손상되는 경우이다. 그리스는 윈치 케이블 전체에 도포되어 있으며 윈치 케이블 간 또는 다른 물체와 마찰로 발생하는 마모 손상과 해수에 의해 발생하는 부식 증상을 방지하는 목적으로 사용된다. 도포된 그리스는 윈치 케이블의 사용량에 따라서 점차 자연 감소되어 그리스가 완전히 소실되어 와이어 케이블의 부식이 시작되고 윈치 케이블 전체 수명이 급속도로 감소하게 된다.

윈치 케이블의 부식에 의한 손상은 사용량이 가장 많은 CTD 윈치 케이블에서 발생하거나, 다음으로 사용량이 많은 일반 목적 윈치 케이블에서 발생한다. 2022년 10월 15일 이사부호를 활용한 서태평양 탐사에서 해수 및 해양 물리 프로파일을 취득하기 위해서 CTD 운용하는 과정에 윈치 케이블이 수심 5,855m 부근에서 절단된 사고로 CTD 시스템 장비를 유실한 사고가 보고 되었다. 또한, 2023년 9월 이어도호 울릉도 인근 해역에서 저질 시료 채취를 위한 그랩을 이용하여 해저면 퇴적물을 취득하는 과정에서 일반 목적 윈치 케이블이 절단되어 해당 장비를 유실한 사고가 보고되었다. 윈치 케이블 부식에 의한 손상은 윈치 케이블에만 영향을 미치는 것이 아니라 해당 윈치 케이블을 사용하는 연구 장비가 함께 유실되는 치명적인 문제를 유발한다. 따라서, 윈치 케이블 손상 원인 중 가장 주의를 기울여야 할 문제점이라고 볼 수 있다.

부식에 의한 윈치 케이블의 손상을 방지하는 방법은 아래와 같으며, 연구선의 청수 용량, 연구선 운항 일정 및 운영 예산을 고려하여 수행된다.

- 사용 후 청수를 사용하여 윈치 케이블의 세척 방법 (해수 제거)
- 그리스 (윤활유)를 정기적으로 바르는 방법
- 윈치 케이블의 절단 하중을 정기적으로 확인하는 방법
- 윈치 케이블 전체를 정기적으로 교체하는 방법



그림 2. 이사부호 CTD 원치 케이블 신품에 도포된 부식 손상 방지용 그리스(윤활유)



그림 3. 이사부호 CTD 원치 케이블 와이어에 발생한 산화 부식(녹) 현상



그림 4. 이사부호 CTD 원치 케이블 터미네이션 부분에 발생한 외부 와이어 절단 증상



그림 5. 이사부호 CTD 원치 케이블 내부 와이어 부식으로 인한 절단 증상

ii) 해상 상황에 따라 발생하는 환경적 요인에 의한 손상은 해수면 표층의 너울과 해수 중층의 강한 해류와 관계가 있다. 이 증상은 그림 6의 해수면 높이와 같이 해상 상황 악화로 너울이 발생하면 연구선의 선수와 선미가 위아래로 움직이는 피칭 움직임에 의해서 크레인의 높이가 변화하며 윈치 케이블에 킹크 (Kink, 그림 8 참조)를 유발한다. 또한, 그림 7의 정상 상태와 같이 연구 장비 진수 및 회수 시 윈치 케이블의 회전수를 추종해야 하지만 강한 해류 환경에서는 연구 장비의 모양 및 무게에 따라서 윈치 케이블의 회전수를 추종하지 못하는 경우 윈치 케이블 킹크 현상이 발생한다. 킹크는 윈치 케이블 손상 증상 중 가장 많이 발생하는 사례로 연구 사업에 가장 많은 지장을 주었다. 킹크로 인하여 케이블이 절단된 사례는 보고되지 않았다. 하지만 CTD 윈치 케이블, DTW1 (그림 9-12 참조) 및 DTW2 케이블의 경우 통신용 전선 및 광케이블이 단선된 문제점이 보고된 바 있다.

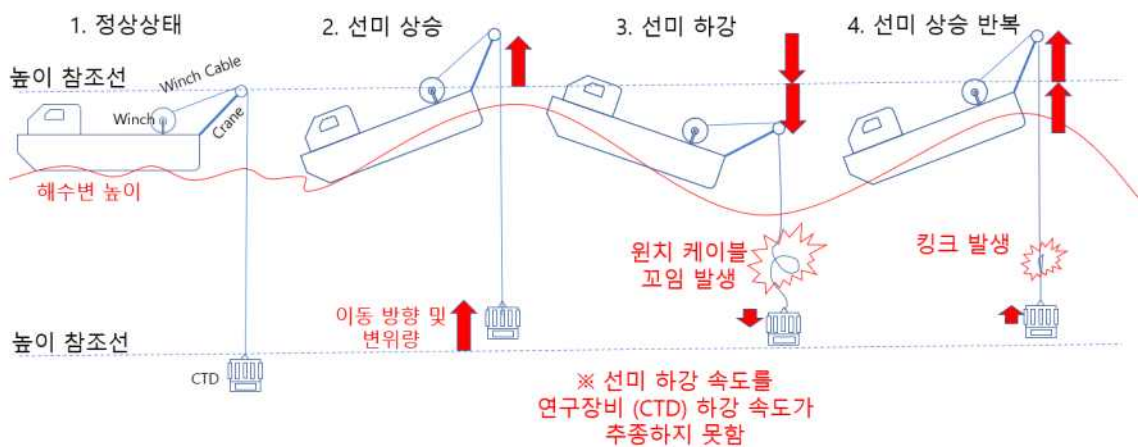


그림 6. 너울에 의해 발생하는 윈치 케이블 킹크 발생 상황 개념도

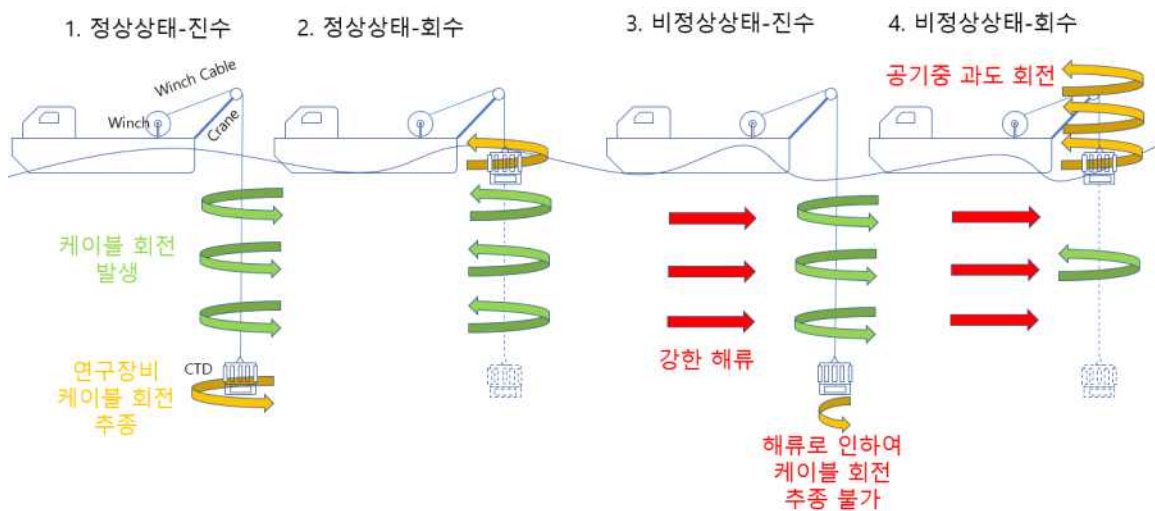


그림 7. 강한 해류에 의해 발생하는 윈치 케이블 킹크 발생 상황 개념도



그림 8. 윈치 케이블 킱크의 예시(좌측, 참조 자료: 서교알엔피, 와이어로프 사용시 주의사항) 및 2023년 4월 이사부호에서 ROV 운영 시 발생한 윈치 케이블 킱크 실제 장면 (우측)

윈치 케이블에 킱크가 발생하는 경우 절단 하중 감소율이 발생하며, + 킱크 케이블의 경우 20~50%, - 킱크 케이블의 경우 35~60% 및 킱크된 윈치 케이블을 직선화한 로프의 경우 약 20%로 연구 장비 운영 시 치명적인 문제가 발생할 수 있다 (참조 자료: 서교알엔피, 와이어로프 사용시 주의사항). 따라서 윈치 케이블 킱크를 예방하는 것이 무엇보다 중요하며, 해상 상황에 따라 발생하는 환경적 요인에 의한 킱크에 의한 손상을 방지하는 방법은 아래와 같다.

- 너울이 크거나 해류가 강한 경우 윈치 케이블 사용을 자제 (파고 높이 및 해류의 강도에 따라 운영 가능 여부를 결정해야 함)
- 너울이 큰 경우에도 윈치 케이블을 사용해야 하는 경우 연구 장비에 중량물을 추가로 설치하여 선미 하강 시 (그림 6.3 참조) 연구 장비가 윈치 케이블 변위를 빠르게 추종하도록 운영
- 너울이 크거나 해류가 강한 경우 윈치 케이블을 사용해야 하는 경우 윈치 속도를 평상시 대비 50% 이상 감소하여 운영
- 해류가 강한 경우 회수 시 (그림 7.4 비정상상태-회수) 표층에서 연구 장비를 바로 공기 중으로 올리지 않고 누적된 윈치 케이블 회전수를 보상하도록 일정 시간 표층 대기 후 장비를 회수



그림 9. 킹크가 발생한 이사부호 DTW1 원치 케이블 샘플



그림 10. 이사부호 DTW1 원치 케이블 킹크 경증상(벌어짐 증상) 확대 사진



그림 11. 이사부호 DTW1 원치 케이블에 발생한 +킹크 증상 확대 사진



그림 12. 이사부호 DTW1 원치 케이블에 발생한 -킹크 증상 확대 사진

iii) 원치 시스템의 기계적 결함에 의해 발생하는 손상 증상은 주로 원치 케이블 드럼용 레벨 와인더의 오작동으로 유발된다. 그림 13은 이사부호 CTD 원치 시스템 중 원치 케이블 보관 장치인 케이블 드럼, 원치 케이블이 원치 드럼에 일정한 간격을 유지하면 감기도록 가이드 역할을 하는 레벨 와인더 및 원치 케이블을 보여준다. 원치 케이블이 드럼에 감기거나 풀리는 과정에 레벨 와인더가 적절한 위치를 계속해서 유지해야 한다. 하지만 레벨 와인더를 좌우로 이동시키기 위한 기계 장치에 결함이 발생하는 경우 적절한 위치를 유지하지 못하며 원치 케이블이 설계된 해당 적층에 감기지 않고 불규칙한 패턴으로 감기면서 원치 케이블 킁크 또는 그림 14와 같이 케이블 와이어가 마모되며 손상되는 증상이 발생한다.

원치 시스템의 기계적 결함에 의해 발생하는 손상 증상 방지 방법은 아래와 같다.

- 원치 시스템 운용 시 CCTV를 이용하여 케이블 드럼에 대한 지속적인 모니터링
- 원치 시스템 운용 시 케이블에 걸리는 장력을 계속해서 감시하여 장력 변화가 발생하는 경우 원치 케이블 드럼 부분의 육안 점검 실시
- 원치 시스템 운용 시 알려지지 않은 소음이 발생하면 운영을 중단하고 원치 케이블 드럼부를 점검
- 원치 케이블 운용 방향 전환 시 레벨 와인더의 작동 상태를 확인



그림 13. 이사부호 CTD 원치 시스템의 케이블 드럼과 레벨 와인더



그림 14. 레벨 와인더 오작동으로 손상된 이사부호 CTD 원치 케이블

iv) **사용자의 착오로 발생하는 사용자 오류 손상**은 해저에 착저하여 운용하는 연구 장비 운용 시 과도하게 윈치 케이블을 많이 푸는 경우 발생한다. 그림 15, 16과 같이 윈치 케이블이 연구 장비를 휘감아 올라오는 경우 윈치 케이블에 킁크가 발생하며, 그림 17과 같이 연구 장비에 손상을 끼칠 수 있다. 또한, 다수의 윈치 시스템을 보유한 연구선의 경우 하나의 제어 장치를 통하여 윈치 시스템을 제어한다. 이런 경우 여러 종류의 윈치 중 사용하고자 하는 윈치 선택 착오로 인하여 이외의 윈치 시스템이 활성화된 상태에서 제어 입력이 전달되어 착오로 선택된 윈치 케이블이 풀리거나 감기면서 드럼 내부에서 손상되는 경우가 보고된 바 있다.

사용자의 착오로 발생하는 사용자 오류 손상 방지 방법은 아래와 같다.

- 해저면 착저 연구 장비 운용 시 연구선의 피칭 운동을 고려하여 적정 길이의 케이블을 풀어 사용함
- 해상 상황 악화로 너울이 심한 경우 연구 장비 위쪽 윈치 케이블에 부이를 충분히 설치하여 윈치 케이블을 과도하게 풀더라도 케이블이 해저에 쌓이지 않도록 운용
- 연구 장비의 외부 형상을 최대한 간결하게 설계하여 과도하게 풀린 윈치 케이블이 연구 장비를 휘감아 올리지 못하도록 설계
- 특정 윈치 시스템을 선택하여 운용 경우 2인 이상이 작업에 참여하여 장치를 제어하는 운용자 1명 및 윈치 드럼부 작동 상태를 확인하는 현장 확인자 1명이 작업을 수행하며, 윈치 제어 명령 입력 즉시 윈치 시스템이 가동하지 않으면 바로 정지하여 윈치 시스템 선택 오류 유무를 파악함
- 특정 윈치 시스템을 선택하여 운용 시 해당 장치의 모니터링 값(윈치 케이블 길이, 장력 등) 및 CCTV를 활용하여 윈치 시스템의 응답성을 확인

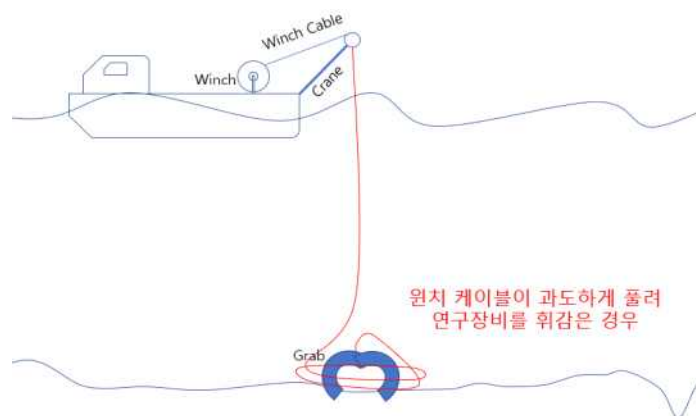


그림 15. 해저면 시료 채취 장비 운영 시 과도하게 윈치 케이블을 푸는 경우 발생하는 문제점



그림 16. 윈치 케이블이 박스코어를 휘감아 회수된 장면



그림 17. 박스코어 정상 회수 및 비정상 회수 (윈치 케이블 킥 발생) 비교

5. 결론 및 토의

본 기술보고서는 연구선 원치 시스템 운용하는 경우 발생하는 원치 케이블의 손상 원인과 방지법을 기술하였다. 원치 케이블은 연구선과 연구 장비를 연결하여 연구 장비를 진수하고 회수할 수 있는 유일한 장치로 연구선을 활용한 연구 사업 수행에 반드시 요구되는 장치이다. 2022년 10월 서태평양에서 이사부호를 활용한 연구조사 작업 시 원치 케이블이 손상되며 절단되어 CTD 수중 유닛을 유실한 사고가 보고되었다. 2023년 9월 울릉도 인근 해역에서 이어도호를 활용한 연구조사 작업에서 해저면 퇴적물 채취용 그랩을 망실한 사고가 보고되었다. 또한 2020년 서태평양에서 이사부호를 활용한 심해저 탐사 시 용역 업체의 심해 무인잠수정이 원인 불명의 이유로 연구선과 심해 무인잠수정을 연결하는 케이블이 절단되어 해당 장비를 망실한 사고가 보고되었다. 앞서 언급한 사례와 같이 원치 케이블 절단에 의한 연구 장비 유실로 연구조사 작업이 중단되어 연구 사업에 많은 지장이 있었다.

원치 케이블 손상 및 절단으로 발생하는 연구 장비 사용 불가 및 유실은 매우 치명적인 문제로 이미 설치되어 사용 중이 원치 케이블의 유지보수 및 철저한 관리가 필요하다. 현재 우리원 및 국내외 기관에서 원치 케이블의 상태 모니터링은 노동집약적으로 인력에 의해 수행되고 있다. 따라서, 추후 광학 카메라, 레이저 스캐너 등을 활용한 원치 케이블 모니터링 시스템 개발을 시도할 계획이다.



KIOST
KOREA INSTITUTE OF
OCEAN SCIENCE & TECHNOLOGY

참고문헌

[Specification]

JULI SLING CO., LTD., 일반 목적 원치 케이블 wtc-20mm 35(W)*K7 사양서
TE connectivity, CTD 원치 케이블 Rochester 11.43mm_A302799 사양서
Cortland Cable Company, UCC 원치 케이블 도면 DWG NO. EV103141
TE connectivity, DTW1 원치 케이블 Rechester 17.27mm_A304097 사양서
TE connectivity, DTW1 원치 케이블 Rochester 17.35mm_A306100 사양서
HAMPIDJAN BALTIC, GPC 원치 케이블 Dynlce Warps 28mm 12 strand 사양서

[Online document]

서교알엔피, 와이어로프 사용시 주의사항, http://seokyo14.com/wire_03.html

The logo for KIOST (Korea Institute of Ocean Science & Technology) features the acronym 'KIOST' in a large, light blue, sans-serif font. To the right of the text is a stylized graphic of a blue leaf or wave with multiple curved lines radiating from its base.

KOREA INSTITUTE OF
OCEAN SCIENCE & TECHNOLOGY