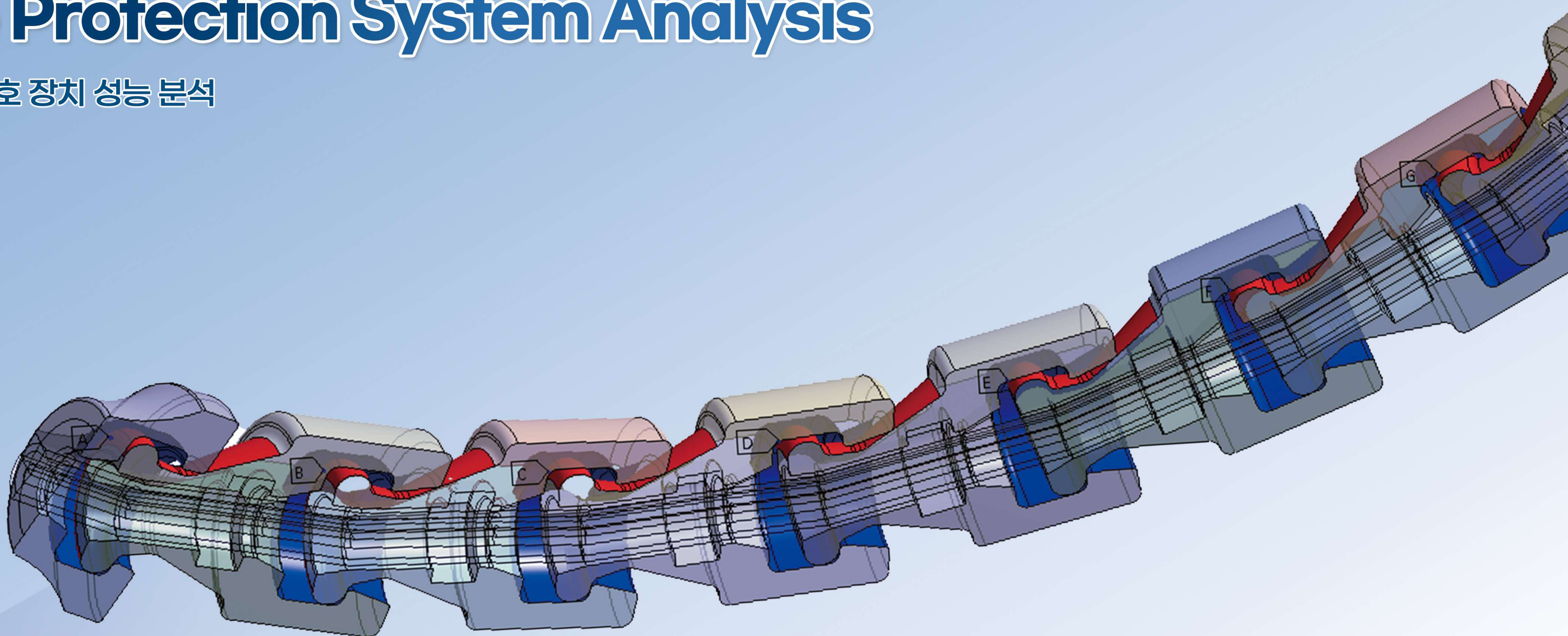
SEHO ENGINEERING
Lifting and Moving Technology

PROJECT WORK REPORT

Cable Protection System Analysis

해저 케이블 보호 장치 성능 분석



SEHO ENGINEERING Co., Ltd.
Ulsan City, South Korea
+82-52-223-3221
seho@sehoenc.co.kr
+82-52-223-3558
www.sehoenc.co.kr

SEHO ENGINEERING
Lifting and Moving Technology

해저케이블 보호장치 (CPS)

해상풍력에 설치 되는 케이블 보호용 CPS 장치의 특성을 분석하기 위하여 검토 되었습니다. 해상풍력 발전기에는 발전된 전기를 육지로 보내는 전력 케이블이 있는데 파도와 조류로 인해 하루에 수십만 번 움직임을 일으키다보니 전력 케이블이 피로현상으로 인해 끊어질 위험이 많아집니다. 또한 전력 케이블이 쓸려나가면서 상부의 발전기 쪽과 해저의 매설된 케이블에 손상을 일으킬 위험이 있습니다. 따라서 해수에 의하여 일어나는 전력 케이블의 움직임을 방지하고 최대한 케이블 손상으로부터 보호할 수 있는 장치로 해상 풍력 발전기에 CPS(Cable Protection System)을 설치하는 것을 권고하고 있습니다. 고정식 해상풍력 발전기에는 케이블의 움직임이 한정적이므로 한정된 위치에 CPS를 설치하여 케이블을 보호하도록 설치 시공이 이루어집니다.

프로젝트 수행기간

2022년 04월 ~ 2022년 10월 1차 계약 / 2023년 05월 ~ 2023년 06월 1차 개발 계획

용역 범위

- CPS 장치의 피로해석, 구조해석, 운동특성 해석 등
- CPS 장치의 형상설계
- 설계 조건 및 범위(보완)

(1) Capacity Test Equipment for Electric Wire
- Safety Working Load (SWL)
- Over Load Test for FAT : SWL * 1.3
- 인장장치 : 유압실린더
- Load Cell : ton

(2) Strength Test Equipment for Cable Protector (CPS장치)
- Safety Working Load (SWL)
- Over Load Test for FAT : SWL * 1.3
- 인장장치 : 유압실린더 or Winch
- Load Cell : ton

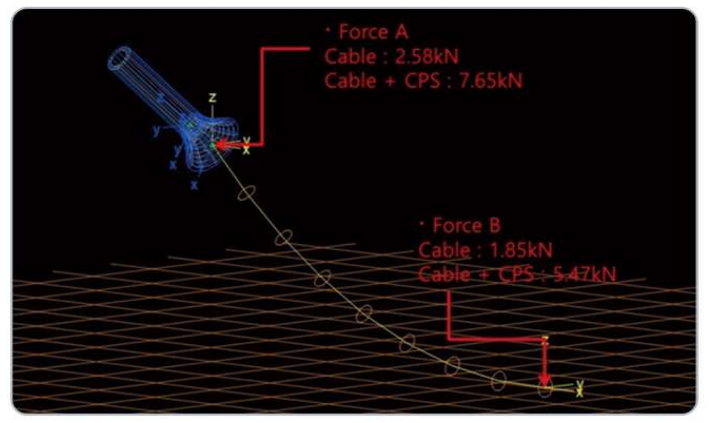
(3) Drop Test 장치
- 테스트용량 : 300Kg
- 구동장치 : 윈치

(4) 설계 항목
- 테스트장비 기본설계 : 3건
- 테스트장비 구조해석
- 케이블의 피로(Fatigue)해석
- 케이블의 유동해석(CFD Analysis)

Structure Analysis

● 해석 결과 - 환경하중 해석

J-Tube Seal의 OrcaFlex 수치모델



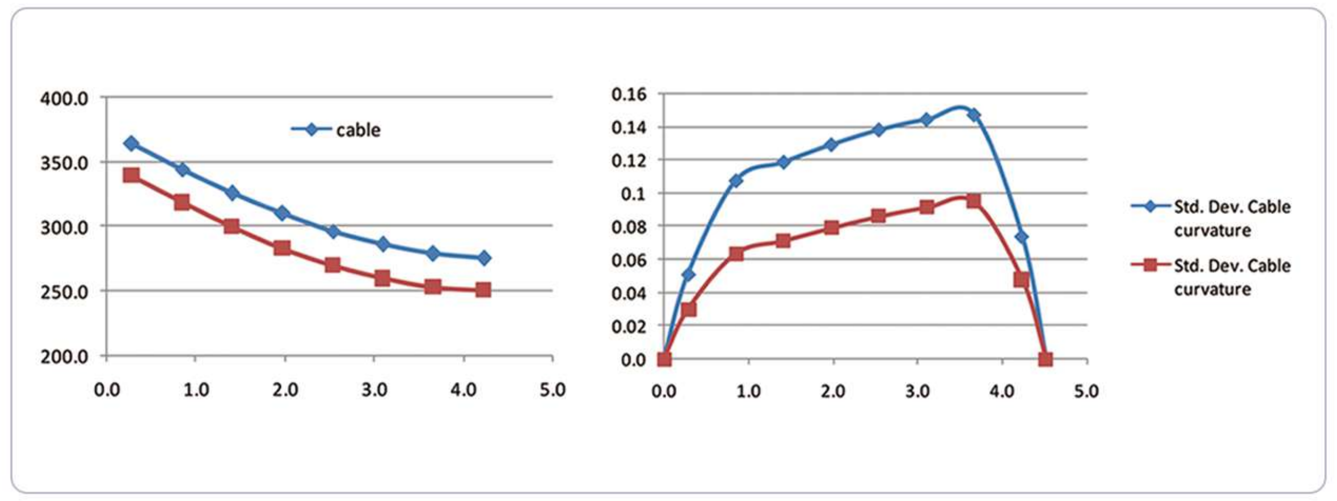
외력에 대한 분석 결과

	Cable	Cable + CPS	Increase (%)
Mass per unit length (t/m)	0.05	0.15	300
Force A (kN)	2.58	7.65	297
Force B (kN)	1.85	5.47	296

환경하중 해석 (Environmental Condition Analysis)

모델링에 같은 방향으로 환경조건을 적용시킨 후, Cable과 Cable+CPS 두 가지 경우 외력에 대한 분석 결과와 케이블의 형상을 나타내는 Curvature 결과를 함께 분석하면, Damping 특성이 다음과 같이 확인됩니다. 분석 결과에 의하면 J-Tube 끝단의 힘은 약 0.78톤 정도가 작용하는 것으로 보이며 CPS 설치 전과 후를 비교해보면 케이블의 형상 특성인 Curvature가 5.12° 감소한 것을 볼 수 있습니다. 이는 전력 케이블의 변형 특성을 전력선의 보호 제한 반경 안에서 유지될 수 있도록 하는 데 충분히 기여하고 있음을 확인할 수 있습니다.

응력분포 분석 결과



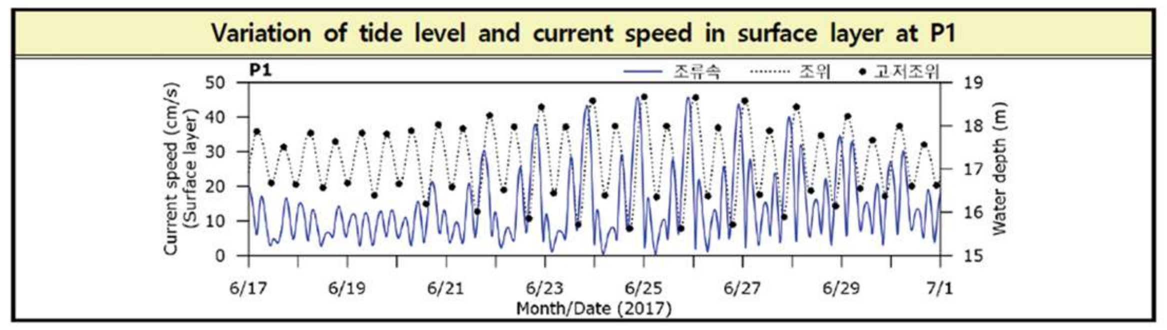
Mid Segment	Max von Mises stress (kPa)		
Arc length (m)	cable	c+CPS	Reduced ratio
0.2823	364.0	339.2	6.8%
0.8468	344.0	318.5	7.4%
1.4113	325.9	299.7	8.0%
1.9758	310.0	283.3	8.6%
2.5403	296.5	269.8	9.0%
3.1048	286.1	259.5	9.3%
3.6693	278.9	253.0	9.3%
4.2338	275.5	250.4	9.1%

두 가지 OrcaFlex 모델링 결과의 케이블에 작용하는 응력분포 특성을 분석하여 보면, CPS 장치를 포함하는 케이블에서 약 8.4% 정도의 낮은 응력이 발생하는 것을 확인할 수 있습니다. 또한, 1분 동안 환경에 의하여 작용한 외력의 표준편차를 분석해 보면 CPS를 장착한 케이블이 케이블 단독설치에 비하여 약 1/2 정도의 표준 편차를 보이고 있습니다. 이는 케이블이 일반 환경 하중 상태에서 피로에 의한 케이블의 응력집중이 적어지므로 장기간의 피로 하중에서 케이블이 보호되는 특성이 강화되는 것으로 분석됩니다.

구조 해석 (FE Analysis)

CPS의 응력집중은 CPS에 반복적으로 가해지는 하중에 의해 마모와 파손에도 영향을 미치므로 CPS의 형상을 2차 모델로 변경하여, CPS 간의 접촉면적을 늘려서 하중을 감소시키고 늘어난 면적의 저항으로 케이블의 곡률반경을 감쇄하는 효과를 기대합니다. 수정된 CPS 모델을 기준으로 해저 2m의 높이에 설치되는 구조적 특성과 케이블의 최소 회전 반경에 따라 7개의 CPS를 연결하는 것으로 변경되었는데 이때, 반경에서 케이블의 최소 회전 반경인 3m까지는 약 400mm의 거리가 있습니다. 이에 따라 50mm씩 강제변위를 증가시키며 적용하고 그 결과를 CPS가 설치된 모델과 케이블만 설치된 모델을 비교하였습니다. 최종 형상에 대하여 하중 분석결과는 약 4% 정도의 감쇄특성이 있는 것으로 확인하였습니다.

CPS 설치되는 해역의 조류 데이터



Sub-surface current speed of 1 and 50 years return period (P1)					
Return period	Tidal range (cm)	Current speed (cm/s)	return period	Tidal range (cm)	Current speed (cm/s)
1 year	317	38	50year	352	42

CPS가 설치되는 해역의 조류의 영향에 따른 응력변화는 우측 표와 같이 발생하였으며, CPS7에서 약 31 Pa의 응력이 발생하였습니다.

CPS의 J-tube설치 시 발생하는 최대응력은 31.5950 Pa로 CPS7에서 발생했으며, 최대 응력은 CPS7, CPS8, CPS1의 순서로 발생합니다. 조류로 인한 응력의 변화는 크지 않으며, 자중으로 인한 하중이 응력의 주요인자인 것으로 분석되었습니다.

본 해석은 2D 해석으로 Z방향에 대한 흔들림 해석은 고려되지 않으므로 앞의 OrcaFlex를 활용한 해석결과를 참조하여 복합 평가가 되어야 합니다.

하중조합에 따른 CPS 변위 및 응력변화

Load case	Applied load		Deformation [mm]	Remarks
LC01		- Fy	6.7200	
LC02	- Fx	- Fy	6.6777	
LC03	+ Fx	- Fy	6.7624	

Load case	Applied load		Max. stress		Remarks
LC01		- Fy	CPS1	10.5710	
			CPS2	2.2119	
			CPS3	1.9892	
			CPS4	4.1213	
			CPS5	5.9524	
			CPS6	5.0126	
			CPS7	**31.3900**	**Max**
			CPS8	24.742	
LC02	- Fx	- Fy	CPS1	10.9100	
			CPS2	2.2053	
			CPS3	1.9287	
			CPS4	3.8976	
			CPS5	5.6396	
			CPS6	4.8781	
			CPS7	**31.1900**	**Max**
			CPS8	24.4210	
LC03	+ Fx	- Fy	CPS1	10.2330	
			CPS2	2.2210	
			CPS3	2.0513	
			CPS4	4.3454	
			CPS5	6.2718	
			CPS6	5.1440	
			CPS7	**31.5950**	**Max**
			CPS8	25.0660	

Work Performance Records for the last 3-years

No.	Project Name	Company / Contractor	Duration	Remarks
14	ITER - VS - Coil in Situ Winding Work - Staging & Prototype Design	IO / Yujin MS	2022~2023	On-going
13	Vacuum Insulated Pipe Design & Analysis	DuckCheun	2022~2023	On-going
12	Artificial Structure for Display	Government / GSI	2023	On-going
11	HD-10,000 F/C Mooring Design & Analysis	SK Ocean Plant	2023	On-going
10	Consulting of Method Statement for FOWT	SK Ecoplant	2022	Finish
9	Design of Special Lifter for Ship's Propulsion	Zvezda / DH Ent	2021~2023	Finish
8	Barossa FPSO - Structural Analysis	BWO / FG Ind.	2021~2022	Finish
7	Mumbai Trans Harbour Link Project - Marine Work & Installation Analysis	Daewoo TATA / DWST	2021~2023	Finish
6	Cable Protection System(CPS) Design Analysis	DWNT / Panduite	2022	Finish
5	ITER - Bracing Tools Manufacturing Design	IO / Yujin MS	2022	Finish
4	Lifting Work Procedure for Floating Crane	Kumyong	2022	Finish
3	Vibration Analysis for SCR	WK Industry	2021	Finish
2	Power System Design of Air Boat	Government / KUMHA	2021~2022	Finish
1	Development of Mine Laying System Design	Government / KUMHA	2020~2022	Finish

Software & Tools

ANSYS
Structural Analysis

ENGYS
Applications by Industry
CFD & Optimisation

Orca3D
Orca3D
Marine Design for
Rhinoceros

OrcaFlex
Dynamic Analysis Software
for Offshore Marine Systems

SACS
Structure Analysis
Computer System for
Offshore Plant

PATRAN & FEA2007
Hull and General
Structural Analysis
Program

Rhino
Geometric
Modeling

MIDAS-NFX
Structural Analysis
& Civil Engineering

MOSES
Multi-Operational Structural
Engineering Simulator,
Motion & Stability Analysis

OPTI-MOOR
Mooring Analysis

NASTRAN
Analysis Solver

AUTO-CAD
2D & 3D Drawing

3D MAX
3D Drawing

IN-HOUSE SOFTWARE
Ballasting Calculation,
Towing Calculation,
Lug Calculation,
Welding Calculation and Etc.

SEHO ENGINEERING Co., Ltd.
Ulsan City, South Korea
+82-52-223-3221
seho@sehoenc.co.kr
+82-52-223-3558
www.sehoenc.co.kr

Lifting and Moving Technology
SEHO ENGINEERING