

# 해양부유구조물용 신장률 250% 탄성로프의 기초기술 연구

엄재인\* · 김민철\*\* · 김민재\*\*\*

\*(주)대성화학 상무, \*\*(주)아이플러스원 연구소장, \*\*\*한국섬유개발연구원

**요 약** : 기존에 부유 해양구조물을 바다에서 고정시키기 위하여 수심의 2배 이상의 길이를 사용하는 잉어 계류로프는 해저바닥에서 유동하게 되어 해저 자연환경을 훼손하고, 해저바닥과 잦은 접촉으로 인해 마모로 손상되어 태풍 등 자연재해에서 부유구조물과 양식어장 등의 유실 등 잦은 피해 발생과 유동으로 부유물의 정확한 위치파악이 어려워 안전사고의 원인이 된다. 현재 계류로프로 사용되는 섬유로프와 쇠사슬(Chain)의 단점(전단 취약, 고중량, 부식, 내마모, 해양어패류 부착 등)을 개선하며, 수심의 길이만 연결 할 수 있어 정해진 위치를 이탈하지 않고 쇠사슬이 가지고 있는 장점(고인장력)을 지닌 계류로프에 대해 연구 하였다.

**핵심용어** : 계류로프, 탄성고무, 친환경 계류, 슈퍼섬유, 탄성계류로프

## 1 | 서론

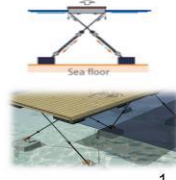
### 연구 배경

- 해양구조물 고정 계류로프는 수심 2.5배 이상의 길이 사용
- 해양구조물의 유동으로 인한 정확한 위치 표시 어려움
- 체인의 유동으로 인한 사고 발생 가능성
- 해저면과의 접촉에 의한 자연환경 훼손
- 부표 유동거리를 감안한 항로 폭 확대로 준설공사비가 더 소요개발



### 필요성

- 기존 섬유 로프, 쇠사슬(Chain)의 단점 개선 필요
- 고 인장력, 고 탄성의 탄성계류로프 개발 필요
- IALA 국제권고, 환경단체 Eco-Mooring운동 전개



1

## 2 | 탄성로프 연구 개발

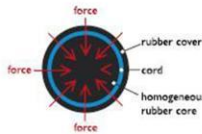
### 기존 로프 사용 현황

- 어장, 양식장 : Nylon, PET, PP 등 일반섬유 로프 & 케이블 사용
- 등부표, 대형 부유 해양구조물, 선박 : 주강 Chain 사용
- 심해저 해양자료 수집 부표 (ODAS) : 일반 섬유로프 + 슈퍼섬유 사용



### 탄성 로프

- 정의
  - 탄성고무, 슈퍼섬유(아라미드 섬유, 탄소섬유 등) 결합
  - 고탄성, 고강도 로프 제조가능
  - 부유(浮游) 해양구조물과 해저 고정 구조물을 연결
- 특징
  - 경량 : 취급의 용이성
  - 직경 小 : 물의 저항 최소화
  - 항상 인장 상태 유지, 높은 수준의 위치 정밀도
  - 해저 면과의 접촉으로 인한 손상 無
  - 유지보수 불필요, 오래 사용 가능
  - 해저자원 보호형 친환경 계류 암카



2

## 3 | IALA GUIDELINE 1066 (부유항로표지 계류설계)

### 탄성계류로프의 Advantage

1. 무게가 가볍고, 상황에 따라 절단 및 취급이 용이
2. 항상 적당한 인장 상태를 유지하기 때문에 해저 면과 접촉으로 인한 손상을 받지 않음.
3. 쇠 체인과 비교하여 직경이 훨씬 작아서 체인보다 물의 저항을 훨씬 적게 받음.
4. 쇠 체인으로 사용이 불가능한 열은 물속에서나 쇠파가 일어나는 해역에서도 사용 가능
5. 매우 가벼워서, 부표의 부력에 거의 영향을 주지 않으며, 항상 인장 상태에 있어, 매우 높은 위치 정밀도를 가짐.
6. 에너지를 부드럽게 흡수하므로 계류 체인의 약 절반 정도의 길이만 사용하여도 그 역할을 함.
7. 탄성계류라인이 항상 인장을 받고 있기 때문에 거의 유지보수를 하지 않아도 되며, 금속 체인에 비해 약 2배의 수명을 가짐.

구분	현행		개선	비고
	Life Cycle	10년	20년(2배)	
Chain VS. 계류로프	위치고정(정밀도)	선회(旋回)로 부정확	정확	O 사용 빈도가 많은 금속 CHAIN과 비교
	직경	35m/m	25m/m 이내로 축소	
	길이	수심의 2.5배	수심과 일치(축소)	O IALA 검증 결과
	유지보수	무겁고 취급이 어려움	가볍고 절단 취급 용이	
설치 위치	깊은 수심에 사용	얕은 물속이나 쇠파 해역에서도 사용 가능		

3

## 4 | 탄성계류 로프의 개발

### 개발 목표

- 고탄성 고무 : 기존 대비 신장률 2.5배 이상
- 혼합탄성로프 : 약 55톤 무게 지지 가능
- 내후성, 방오성 외피 : 부식 및 오염 방지
- 부유물 - 해저 고정물 간 연결이 용이한 계류부품장치

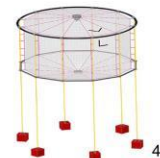


### 적용 대상

- 해양 : 등부표, 가두리양식장, 선박 계류용 로프 등
- 낙하산 로프, 등산캠핑용품 등 기타 안전 용품 응용 가능



“ 고탄성, 고강도, 환경 친화적 탄성계류로프 개발 ”



4

\* 교신저자 : jium@dsci.co.kr  
\*\* kimmc561@naver.com  
\*\*\* mjkim@textile.or.kr

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 외국의 사례 분석

- 개발 초기에는 탄성고무에 링을 부착 하여 슈퍼섬유를 끼워 사용
- 부착된 슈퍼섬유의 꼬임 등 불편을 해소 위해 탄성고무 내에 슈퍼섬유를 넣어 일체화
- 부유 구조물의 중량에 따라 슈퍼섬유를 여러 가닥을 묶어 용도별로 사용할 수 있도록 개발



네덜란드 Datawell 제품



미국 Hazelett 제품



미국 SeaFlex 제품



일본 모어타이트 제품

5

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 재료 선정 비교

재료	연장강도	신장률	경도	내수성	내오존성	비고
EPDM	9.8N	370%	75Hs	이상무	이상무	
CR	16N	420%	54Hs	이상무	이상무	경도미달
SBR	18N	380%	78Hs	이상무	크랙발생	크랙발생

##### 장점

EPDM : 천수성 및 기계적 성질이 우수함  
 CR : 기계적 성질이 우수함 내구성 뛰어나  
 SBR : 신축성 우수함

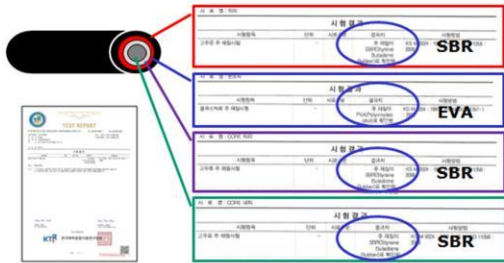
##### 단점

EPDM : 기름 성분에 취약함  
 CR : 비중이 높아 가공이 어려움  
 SBR : 내오존성이 취약함

8

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 외국 제품의 분석



6

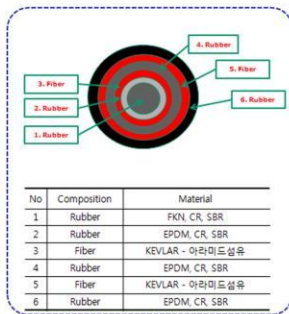
#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 재료 물성평가 (EPDM)

9

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 1차 개발 목표



7

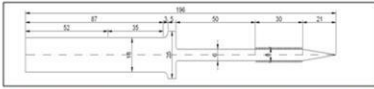
#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 재료 물성평가 (CR)

10

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 고정핀 제작 설계 (연결 부분)



고정핀 삽입 - 스크류방식  
고정핀 압착  
- 오일 호스압착기

11

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 시제품 제작



부속품 제작



부속품 결합 및 압착

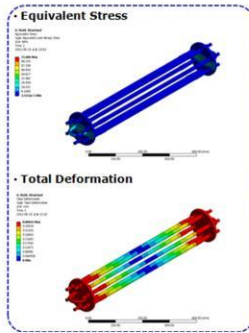


시제품 제작

14

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 유한 요소(FEA) 해석



EPDM 두께 분포 및 해석 결과

NO	EPDM_2 EPDM W(mm)	EPDM_3 EPDM W(mm)	Equivalent Stress Maximum (MPa)	Total Deformation Maximum (mm)
1	1.75	2	73.48915	0.404144
2	1.575	2	73.49121	0.404197
3	1.925	2	73.47008	0.404085
4	1.75	1.8	73.49008	0.404106
5	1.75	2.2	73.48471	0.404089
6	1.575	1.8	73.49438	0.404156
7	1.925	1.8	73.47277	0.404052
8	1.575	2.2	73.48714	0.404143
9	1.925	2.2	73.46722	0.404031

EPDM\_2 : 1.75mm ~ 1.925mm  
 EPDM\_3 : 2.00mm ~ 2.200mm  
 Equivalent Stress Maximum : 73.467MPa ~ 73.490MPa  
 Total Deformation : 0.404031mm ~ 0.404197mm

12

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 시험 평가

평가항목	단위	전체항목에서 차지하는 비중 (%)	세계최고 수준 보유국/보유 기업 성능수준	연구개발 전 국내수준 성능수준	개발 목표지		평가 방법
					시험결과	시험결과	
인장강도 (파단강도) (고무)	kN	20%	일본/Moretite 12kN	0	15kN	24kN	공인기관
신장률 (고무)	%	20%	일본/Moretite 80%	0	76%	79%	공인기관
경도 (고무)	HS	5%	일본/Moretite 85 HS	0	75이상	75HS	공인기관
용력 (70%신장) (고무)	kN	25%	일본/Moretite 10kN	0	9.5 kN (66.5%신장)	20kN	공인기관
내열성시험 (열수침지) 고무/시스템	육안	10%	일본/Moretite 기준 없음 화학시험연구원 기준에 준함	0	균열없음	균열없음	공인기관
내오존성 시험 (고무)	육안	15%	일본/Moretite 기준 없음	0	균열없음	균열없음	공인기관
조인트타일강도 (시스템)	kN	15%	일본/Moretite 12kN	0	11.4 kN 이상	24kN 이상	공인기관

15

#### 4 | 탄성계류 로프의 개발

##### 최적 설계점 선정

Component	Design point #1	Design point #2	Design point #3
EPDM_2(mm)	1.575	1.627	1.677
EPDM_3(mm)	1.864	1.864	1.857
Equivalent Stress(MPa)	73.493	73.494	73.493
Deformation(mm)	0.404	0.404	0.404

- 총 3개의 Design Point 도출
- 인장 강도 : 73.46 MPa ~ 73.494 MPa
- 변위 : 0.404mm
- Design Point #1 최적의 설계점으로 선정

13

#### 5 | 결론

##### 연구 개발 성과 및 향후 추진 계획

- 우리나라 최초의 탄성 계류로프를 연구개발로 당초 계획 목표를 달성
- 해수조건 Test와 내구성 시험 결과, 인장강도 등의 성능은 외국 제품 이상의 성능
- 대체적으로 수입품 대비 90% 이상의 성능
- 2019년까지 신장률 250% 이상 등 외국제품과 동등이상 성능을 가지도록 연구 개발
- 등부표 제안을 대체할 수 있는 맞춤형 탄성계류 로프를 연구 개발

#### 6 | 후기

이 논문은 2018년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(과제명 : 해양 부유구조물용 신장률 250% 이상의 탄성 로프 연구 개발)

#### 7 | 참고 문헌

- IALA Guideline No. 1066 (The Design of Floating Aid to Navigation Moorings), 2010
- The Determination of the Elastic Modulus of Rubber Mooring Tethers and their use in Coastal Moorings, James D. Irish 1, Walter Paul and David M. Wyman, December 2005
- Conservation Mooring Study, Produced by the Urban Harbors Institute, University of Massachusetts Boston With funding from The Nature Conservancy and the Massachusetts Bays Program, January 2013

16