

# 소형 통발어선의 안전조업을 위한 로프 권양장치 연구

김대진\* · 장덕종\*\*† · 박주삼\*\*\*

\* 전남대학교 선박실습센터 교수, \*\* 전남대학교 해양경찰학과 교수, \*\*\* 전남대학교 해양경찰학과 강사

## Development of Rope Winding Device for Safety Fishing Operation of Small Trap Fishing Vessel

Dae-Jin Kim\* · Duck-Jong Jang\*\*† · Ju-Sam Park\*\*\*

\* Professor, Training Center of Ship Operation, Chonnam National University Yeosu 59626, Korea

\*\* Professor, Department of Marine Police Science, Chonnam National University Yeosu 59626, Korea

\*\*\* Lecture Professor, Department of Marine Police Science, Chonnam National University Yeosu 59626, Korea

**요 약** : 연안통발 어민에 대한 설문조사 결과, 통발 투하 및 인양 중 로프 걸림에 따른 전도사고가 42.1%로 가장 높았고, 갑판에서 미끄러짐과 통발 권양장치의 신체 협착사고가 각각 21.1%를 차지하였다. 또한 가장 위험한 작업은 전체 조사대상의 53.2%가 통발 인양과정을 들었고, 어종선별 33.8%, 통발 투하 9.1% 순으로 응답하였다. 어민들은 통발 권양장치의 주요 개선 요구사항으로 응답자의 36.8%와 31.6%가 통발을 수중에서 작업갑판까지 수월하게 인양하는 방안과 통발 인양 시 로프 장력 극복과 슬립 방지 등 사고저감 방안을 언급하였다. 본 연구에서 소형 통발어선 권양장치는 구동롤러와 로프 간의 적절한 접촉각을 통해 로프의 접촉면적과 마찰계수를 증가시킴으로써 권양력을 높이는 것이다. 구동롤러와 로프 간의 접촉각이 1°, 5°, 9°, 14° 및 19°일 때 로프 장력은 각각의 접촉각에 따라 차이를 보였으며, 9°일 때 가장 높은 392.62 kgf까지 측정되었다. 이러한 실험결과를 반영하여 시제품 권양장치를 제작하고 총 길이가 100m인 로프에 4m 간격으로 총 25개의 통발을 해상에 설치한 후 인양에 따른 로프 장력을 측정하였다. 그 결과, 로프 장력은 통발 인양작업 초기에 급격히 증가하여 가장 높은 31.89 kgf로 측정되었으며, 이후에는 크게 낮아졌다. 따라서 소형 통발어선 권양장치의 권양력은 인양작업 초기에 부여되는 최대 로프 장력 값을 기준으로 설계하는 것이 타당하다.

**핵심용어** : 통발, 통발어선, 권양장치, 권양력, 로프장력, 접촉각

**Abstract** : The result of a questionnaire survey conducted on fishermen using coastal fish traps shows that fall accidents during trap dropping and pulling constitute the highest proportion of accidents at 42.1%, whereas slipping accidents on the deck or stricture accidents to the body due to the trap winding device constitute 21.1% each. In addition, 53.2% of all surveyed subjects responded that trap pulling is the most dangerous task, followed by fish sorting 33.8%, and trap dropping 9.1%. As for the main items requested by fishermen for improving the trap winding device, 36.8% indicated a method to easily lift the trap from the water to the work deck, and 31.6% indicated a method to overcome the rope tension and prevent slip when pulling the trap to reduce the accidents. The small trap fishing vessel winding device proposed herein can increase the winding force by strengthening the rope contact area and friction coefficient via an appropriate contact angle between the driving roller of the winding device and the rope. When the contact angles between the driving roller and the rope are 1°, 5°, 9°, 14° and 19°, the rope tension showed a difference according to each contact angle. When the contact angle is 9°, the rope tension is the highest at 392.62 kgf. Based on these experimental results, a prototype winding device is manufactured, and 25 traps are installed on a rope with a total length of 100 m at 4 m intervals in the sea, and then the rope tension is measured during trap pulling. As a result, the rope tension increases rapidly at the initial stage of trap pulling and shows the highest value of 31.89 kgf, which subsequently decreases significantly. Therefore, it is appropriate to design the winding force of a small trap fishing vessel winding device based on the maximum tension value of the rope specified at the beginning of the trap pulling operation.

**Key Words** : Trap, Trap fishing vessel, Winding device, Winding force, Rope tension, Contact angle

\* First Author : djkim@jnj.ac.kr, 061-659-7116

† Corresponding Author : jdj@jnu.ac.kr, 061-659-7182

## 1. 서론

국내 연안어업은 수산자원의 감소와 인건비 등의 생산비용 증가, 조업인력 부족 등으로 어업환경을 쉽게 개선하기 어려운 실정이다. 특히, 어선원의 고령화와 인력부족은 무경험의 외국인 선원 증가와 함께 조업사고로 이어지고 있어 어업의 생산성과 경쟁력 저하를 초래하고 있다. 조업 중에 발생하는 어업의 안전사고는 농업이나 건설업 등 타 산업에 비해 발생빈도나 그에 따른 재해율이 훨씬 높게 나타나고 있으며, 유사 사고의 중복률도 높기에 사회적인 문제로 대두되고 있다(NIFS, 2017; KOSIS, 2021).

2016년도 수협이 정책보험인 수산인 안전공제보험 및 어선원 안전보험 가입대상자를 기준으로 산정한 어업재해율은 약 5.56%로 전체산업 재해율의 평균값인 0.50%보다 약 10배 이상 높고 사망률도 높은 것으로 보고되고 있다. 특히, 어선의 규모가 소형인 연안어업은 근해어업에 비해 사용하는 어로장비나 작업공간 등의 조업환경이 더욱 열악한 수준으로, 전체 어업의 조업사고 발생률을 높이는 요인이 되고 있는데, 어로장비의 운용과정에서 발생하는 기계적 요인이 전체의 70.6%로 대다수를 차지하고 환경적 요인에 의한 사고가 27.0%를 차지하는 것으로 조사되고 있다(Kim et al., 2008; NIFS, 2017; Jung, 2018).

국가도 이러한 문제점을 인식하고 2016년도부터 어업인의 안전재해 예방과 대응차원에서 “농어업인의 안전보험 및 안전재해 예방에 관한 법률”을 마련하여 시행하고 있으며, 2018년도 관련 법률 개정에 따라 어업작업 안전재해 예방 5개년 기본계획을 수립하는 등 국가차원에서 어업작업 안전재해 예방관리 체계를 구축하기 위한 다양한 노력이 진행되어 왔다(NIFS, 2018). 이를 통해 어업질서 확립과 국민의 생명·신체·재산 보호를 목적으로 어선의 안전조업과 안전행위에 필요한 사항을 규정한 “어선 안전조업 법률”이 2020년부터 시행되고 있으며, 이를 근거로 조업어선의 위치파악과 조업정보제공, 안전조업지도, 어업인 안전조업교육, 어선 안전조업 시행계획 수립 등 어선의 조업사고를 예방하기 위한 다양한 정책이 추진되고 있다. 그러나 조업사고 예방 정책이 사고발생 원인으로 가장 높은 기계적 위험요인을 우선적으로 해결하기 보다는 조업어선의 동태 관리, 사후보상과 치료 등 간접적인 사업 위주로 추진되고 있어 그 실효성은 여전히 미흡한 실정이다.

본 연구는 연안의 소형 통발어업을 대상으로 안전사고를 줄이면서 작업의 편의성도 높일 수 있는 새로운 구조의 통발 권양장치를 개발하는 것이다. 보통 통발어업은 정착성 어종이나 미끼에 대한 반응이 민감한 생물을 어획대상으로 삼고 있으며, 다양한 형태의 고정 틀에 그물감을 씌우거나

플라스틱으로 제작된 통발을 기다란 로프에 다수 연결하여 수중에 투하 및 인양하는 로프 작업이 대부분을 차지한다. 따라서 통발어업은 통발이 연결된 로프를 감아들이는 권양장치가 가장 중요하며 조업 중에 발생하는 안전사고와도 관련성이 높다. 현행 연안 통발어선의 로프 권양기는 모릿줄만을 감아올리고 통발이 부착된 아릿줄은 별도의 보조장치로 인양하여 어획물을 수거하는 복잡한 방식이기에 사고의 위험성이 높고 노동력도 줄이기 어려운 구조이다.

지금까지 통발어업에 관한 연구는 대부분 통발어구의 개량이나 미끼투입 및 통발 탈착 자동장치 연구(Jung et al., 2000; Jung, 2007; MOF, 2008) 등 대상생물의 어획성능을 높이거나 생력화에 주안점을 두었고, 조업사고를 줄이는 것을 목표로 진행된 연구는 미미한 수준이다.

본 연구에서 제안하는 통발 권양장치는 로프에 작용하는 장력을 충분히 극복하면서 통발의 모릿줄과 아릿줄을 동시에 선내로 감아드리는 통합형 구조로, 소형 어선에서 운용이 가능하도록 설치공간은 적으면서 로프의 권양력은 높게 유지되도록 구성된다. 이를 위해 먼저 로프 권양기의 권양력에 미치는 인자들을 해석하고 모형실험을 통해 권양장치 구동드럼의 접촉각에 따른 로프 장력 값을 측정하여 최적의 로프 접촉각을 도출하였다. 이를 통해 로프 권양장치의 시제품을 제작하고 해상에서 통발 조업에 따른 로프 장력 변화를 파악함으로써 현장 적용 가능성을 검토하였다.

## 2. 장치 및 방법

연안통발어업의 조업사고를 줄이기 위해서는 어민들의 애로사항과 조업과정 등 통발어업의 특성을 파악하여 사고 발생의 위험요인을 해결하는 것이 합리적인 방안일 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 연안통발어업에 종사하는 어민들을 대상으로 설문조사와 현장 대면조사를 실시하였다. 설문조사는 연안통발어업이 허가된 전국 16개 기초지자체를 대상으로 84인의 어업인을 층화추출법으로 표본을 선정하여 진행하였고, 설문 문항은 연안통발어업의 기본사항과 조업 특성, 필수 조업장비인 권양기의 이용실태를 파악하는 것으로 구성하였다. 또한 현장 대면조사는 서해, 남해, 동해 해역을 기준으로 연안통발어업의 세력이 우세한 여수, 통영, 보령, 포항 등 4개 지역에서 총 58명의 어민들과 인터뷰를 진행하였고 각 지역별로 1척씩의 통발어선에 승선하여 통발어업의 조업공정을 파악하였다. 설문 및 현장 대면조사의 세부 내용은 Table 1과 같다.

연안통발 어업인들의 설문조사와 현장 대면조사 결과를 분석한 결과, 조업과정 중 위험도가 가장 높은 작업은 수중에 설치된 통발을 인양하는 단계로 나타났으며, 안전조업을

소형 통발어선의 안전조업을 위한 로프 권양장치 연구

Table 1. The classifications of a survey and face to face interviews targeting coastal trap fisherman

Performing method	Classification	Investigating target and items	Others	
Questionnaire Survey	Target regions	① Incheon Junggu ② Incheon Ongjin ③ Chungnam Taean ⑤ Jeonbuk Gunsan ⑥ Jeonnam Mokpo ⑦ Jeonnam Yeosu ⑧ Gyeongnam Gosung ⑨ Gyeongnam Sacheon ⑩ Gyeongnam Tongyeong ⑪ Ulsan Ulju ⑫ Ulsan Bukgu ⑬ Ulsan Donggu ⑭ Gyeongbuk Uljin ⑮ Gyeongbuk Pohang ⑯ Gangwon Gangneung	16 Local government	
	Responded persons	84 fishermen	-	
	Survey date	2019. 11. 15 ~ 2019. 12. 14	-	
	Basic items	Address location		Open-ended questionnaire
		Weight of trap in total fisheries		
		Tons/Hp/Ship age/Ship material		
		Main target fish species		
		Fishing depth/ Number of fishing days(Year)		
	specified items	Types of fishing gear		Multinomial choice type
		Risk of fishing operation		
Importance of trap winding device				
Satisfaction of trap winding device				
Intension of purchase on the new trap winding device		Multinomial choice type		
Face to face interviews	Target regions	Responded persons	Interview date	Field survey
	East sea Pohang	12	2020. 10. 26. ~ 2020. 11. 16	
	Southern sea Tongyeong	14		
	Southern sea Yeosu	19		
	West sea Boryeong	13		
	Total	58		

위해서는 현행 권양장치가 우선적으로 개선되어야 할 과제로 제기되었다. 현행 연안통발어선의 권양기는 로프를 감아들일 때 발생하는 로프 장력과 슬립 등의 허용치를 사전에 고려하여 설계되기도는 대부분 소규모 철공소 등에서 어민들의 경험치를 이용하여 제작한 것을 사용하는 것으로 나타났다. 따라서 통발 조업 시 권양장치의 권양능력에 영향을 미치는 요인을 면밀히 검토하여 충분한 권양력과 통발 인양작업의 편의성을 동시에 발휘할 수 있는 통발 권양기를 개발할 필요가 있다.

Fig. 1은 로프 권양장치 구동롤러와 로프의 접촉각에 따른 로프 장력 차이를 측정하고자 제작된 실험장치로, 로프를 권양하는 V형의 주 롤러를 중심으로 상하방향에 2개의 보조롤러가 설치되며 각 롤러에 직경 12 mm의 로프를 연결하여 두 개의 로드셀에 체결하고 로프와 롤러의 접촉각을 1°, 5°, 9°, 14°, 19°로 변화시키면서 접촉각에 따른 로프 장력의 변동 값을 측정하였다. 이때 주 롤러의 회전속도와 작동압력은 모든 접촉각에서 동일하게 36 rpm과 25 bar로 고정하였으며, 로프 장력 실험장치의 세부 구성항목의 사양은 Table 2와 같다.

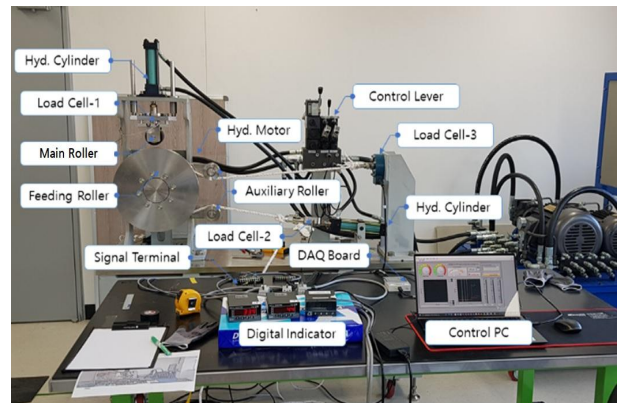


Fig. 1. The experimental system for measurement of rope tension.

Fig. 2는 본 연구에서 해상 실험용으로 고안한 소형 통발어선용 권양장치 시제품으로, 로프 권양장치의 권양능력 결정요인에 대한 해석과 Fig. 1의 실험을 통해 파악한 가장 이상적인 로프 접촉각 및 현장 어업인들의 의견을 고려하여 제작한 것이다.

Table 2. Specification of experimental system for measurement of rope tension

Device	Specification
Hydraulic tank	300 L
Hydraulic pump	21 MPa, 36.9 cm <sup>3</sup> /rev
AC motor	220/380 V, Three-phase 60 HZ, 11 kw, 1740 rpm
Hydraulic cylinder	70 ~ 140 kgf/cm <sup>2</sup>
Hydraulic motor	230 cm <sup>3</sup> /rev
Load cell	10 Vdc, 2 mV/V, 0 ~ 4,537 kg
	10 Vdc, 2 mV/V, 0 ~ 2,000 kg
	10 Vdc, 3 mV/V, 0 ~ 5,000 kg
DAQ board	4-ch, 24-bit, 60 Vdc (NI 9237)
S/W	Labview 2020
Measure of rope tension	Main roller rpm : 36 Operating pressure : 25 bar
	Contact angle 1°, 5°, 9°, 14°, 19°

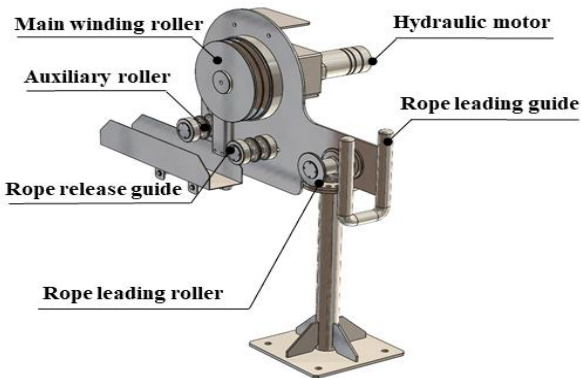


Fig. 2. A prototype winding device for field experiments.

주요 구성 장치는 구동 시 로프의 자체중력에 의한 끼임력으로 로프 권양이 원활하게 이루어질 수 있도록 유압구동식 주 드럼을 V형의 홈 형태로 제작하고 로프 유입부와 배출부에 로프 접촉각을 조절할 수 있는 보조 롤러를 장착하

여 로프의 슬립을 방지하고 높은 권양력을 발휘하도록 구성하였다. 또한 모릿줄은 권양장치로 감아들이고 통발이 부착된 아릿줄은 인력으로 인양하기에 사고 위험이 상존하는 현행 통발조업의 문제점을 개선하고자 주 드럼을 2중의 V형으로 구성하여 모릿줄과 아릿줄을 동시에 자동으로 감아들이도록 하였다.

해상실험은 수심이 20 m 정도인 전남 여수시 돌산읍 울림리 소울 방파제 부근에서 시제품인 권양장치를 바지선에 설치한 후 V형의 주 드럼과 로프와의 접촉각을 9°로 고정시키고 총 100 m의 로프(φ 12 mm)에 4 m 간격으로 25개의 통발을 해상에 투하한 후 차례대로 인양하면서 로프에 부과되는 장력 변화를 측정하여 적용 가능성을 검토하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 연안통발어업의 위험요인

연안통발어업의 특성과 조업과정에서 오는 위험요인을 파악하고자 Table 1과 같이 어민들을 대상으로 설문과 현장 대면조사를 실시하여 분석한 결과는 Fig. 3~Fig. 7과 같다. Fig. 3은 현행 연안통발어업에서 발생한 주요사고의 유형을 나타낸 것으로, 통발 투하 및 인양작업 중 작업자가 로프에 걸려 넘어지는 전도사고가 42.1%로 가장 높은 비율을 보이고, 갑판에 존재하는 물기 및 어획물 잔해에 의해 미끄러지거나 통발 권양기에 신체의 일부가 협착하는 사고가 각각 21.1%, 인양과 동시에 갑판에 쌓이게 되는 통발이 무너져 신체의 일부가 깔리는 사고가 15.8%를 차지하는 것으로 나타났다.

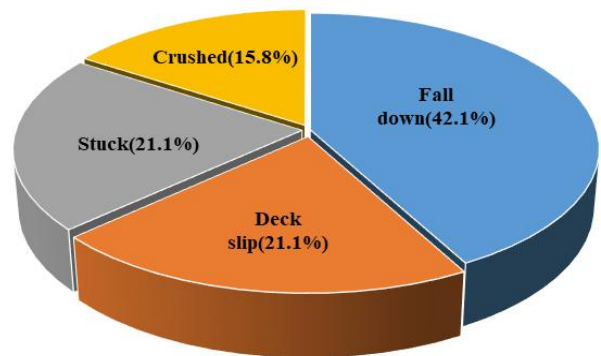


Fig. 3. A kind of fishing operation accident in the coastal trap vessel.

특히 현장 대면조사에 참여한 58명의 어민들 중 작업자가 로프에 걸려 수중으로 추락하는 경우도 2건이 있었는데 작업공간이 협소한 소형어선에 다수의 통발을 신고 어장을 이

## 소형 통발어선의 안전조업을 위한 로프 권양장치 연구

동하면서 투하와 인양을 반복하는 통발조업의 특성상 로프를 다루는 작업의 비중이 높기에 로프에 의한 사고위험이 높다고 볼 수 있다. 또한 통발 인양 후 어획물을 갑판에 쏟아내기에 작업갑판은 해수와 어획잔존물이 상시 존재하여 작업자의 미끄러짐 사고가 빈번하고 로프를 감아들이는 과정에서 권양장치에 손이나 어깨 등의 신체 일부분이 끼이는 사고가 발생하는 것으로 조사되었다.

Fig. 4는 현행 연안통발어업의 조업 중 위험도가 높은 공정에 대한 설문조사 결과로, 전체 응답자 중 53.2%가 인양작업이 가장 위험도가 높다고 응답하였고, 선별작업 33.8%, 투망 9.1%, 어장이동 2.6%, 위판 작업 1.3% 순으로 나타났다.

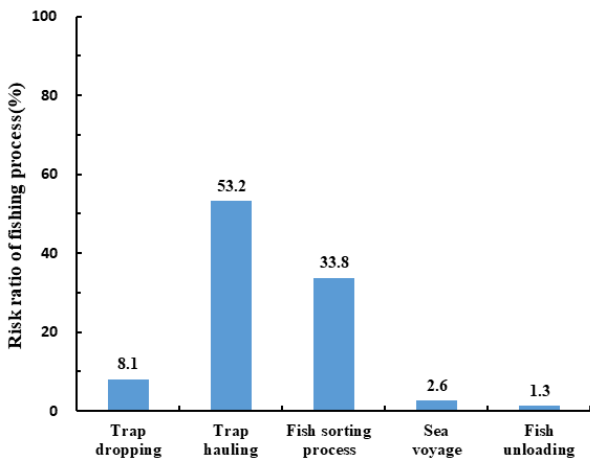


Fig. 4. The risk difference by fishing process of the coastal trap vessel.

Fig. 5는 작업의 위험도가 가장 높다고 응답한 통발 인양작업의 필수장비인 현행 권양장치의 개선이 필요한 항목을 응답비율로 정리한 것으로, 수중의 통발을 선내 작업갑판까지 쉽게 유도할 수 있도록 구조개선을 통한 작업의 편의성 확보가 36.8%를 차지하고, 통발 인양 시 로프의 장력을 극복하고 슬립을 방지하여 로프 권양에 따른 위험요인을 줄이는 항목이 31.6%, 제품구입 및 설치비용 절감이 21.1%, 고장수리 등 관리의 편의성을 위한 내구성 증대가 10.5%를 차지하고 있다.

Fig. 6은 현재 사용 중인 통발 권양장치에 대해 가격, 안전성, 편리성, 자동화, 설치위치, 사후서비스 등에 대한 어업인의 만족도와 연구개발 시 중요도에 대한 설문조사를 통해 우선순위를 분석한 것으로, 5점 만점을 기준으로 6개 항목에 대한 평균 만족도는 3.56점이고 평균 중요도는 3.79점으로 나타났다. 각 항목에 대한 만족도와 연구개발의 중요도는 4개의 사면으로 분할하여 해석할 수 있는데, 1사분면에 포함

되는 항목은 중요도는 높지만 만족도는 떨어지는 약점항목으로 집중적인 개선이 요구되는 것이며, 2사분면에 포함되는 항목은 중요도와 만족도가 높은 강점항목으로 지속적인 유지강화가 필요한 것이다. 또한, 3사분면에 포함되는 항목은 중요도와 만족도가 모두 낮아 점진적인 개선이 필요한 항목이며 4사분면에 포함되는 항목은 중요도는 낮지만 만족도가 높아 지속적으로 유지해야 할 항목으로 구분할 수 있다.

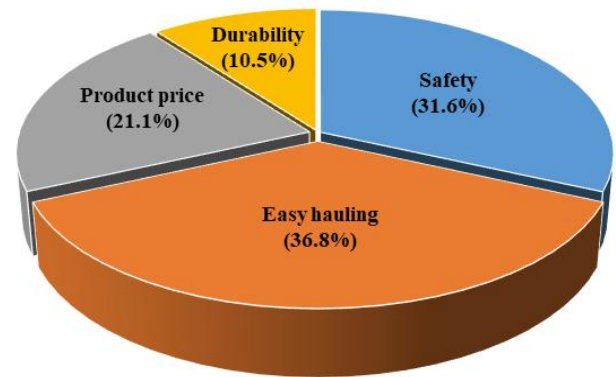


Fig. 5. The main items requested by fishermen for improvement of the trap winding device.

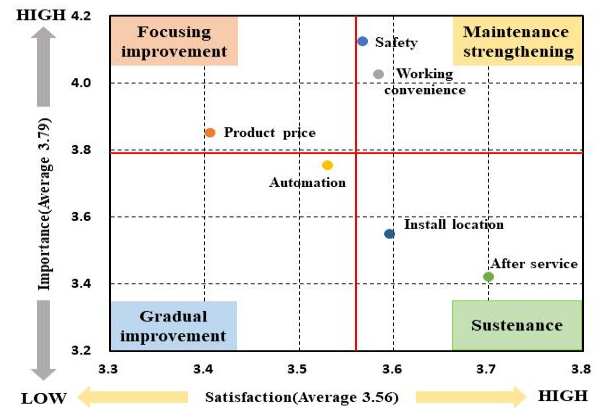


Fig. 6. The satisfaction and importance of fishermen on the trap winding device.

Fig. 6에서 1사분면의 비용과 2사분면의 안정성은 서로 상반되는 결과로, 현행 통발 권양장치의 구입비용의 경우 만족도는 낮지만 중요도는 높게 나타나고, 안전성의 경우 만족도는 보통이고 중요도는 매우 높게 나타나고 있다. 이러한 결과는 비용부담에 대한 어민들의 현실적인 측면이 반영되었다고 볼 수 있다. 따라서 어민들은 현행 통발 권양장치의 비용적인 측면과 안전성 및 편리성을 우선적인 개선항목

으로 생각하고 있으며, 가격이 저렴하면서 안전하고 수월하게 조업이 가능한 권양장치를 요구하는 것으로 해석할 수 있다.

### 3.2 조업사고 저감형 통발 권양장치 개발

4톤 미만의 소형어선이 전체의 73.1%를 차지하는 연안통발어업의 권양장치는 작업공간을 고려하여 규모는 작지만 충분한 권양능력과 작업의 편이성을 높일 수 있는 구조가 요구된다. 또한 현장 어업들의 설문조사에서도 사고위험이 가장 높은 통발 인양작업의 안전성을 확보하기 위해서는 현행 권양장치의 구조와 기능을 개선해야 한다는 의견이 제시되었다.

현행 연안통발어선의 권양장치는 대부분 드럼의 마찰력이나 압착력을 이용하여 로프를 감아올리는 구조로, 모릿줄만을 권양기로 인양한 후 통발이 부착된 아릿줄은 현측에서 사람이 직접 들어올리는 방식으로 조업이 수행되고 있다. 이로 인해 작업자의 노동력이 과도하게 요구되어 재해의 원인이 되고 있다. 따라서 수중에 설치된 통발의 모릿줄과 아릿줄을 동시에 감아올릴 수 있고 현측에 설치된 어획물 수거용 작업대까지 통발을 자동으로 끌어올리는 구조의 통합형 권양장치를 개발할 필요가 있다.

#### 3.2.1 로프 권양기의 권양능력 결정요인에 대한 해석

권양장치에서 로프를 감아들이는 드럼과 로프에 작용하는 힘의 평형관계를 파악하고자 권양능력에 영향을 미치는 주요 변수와 인자를 Fig. 7과 같이 나타내었다. 권양장치 드럼의 구동으로 통발이 인양되기 위해서는 초기에 통발 로프에 적절한 인장력이 필요하며, 이때 초기장력  $T_0$ 는 로프가 드럼에 접촉한 면에서 마찰력이 발생하면서 드럼에 감기게 되어 생성된다. 여기에서  $T_1$ 과  $T_2$ 의 간의 초기장력  $T_0$ 는

$$T_0 = (T_1 + T_2) / 2 \text{ 이고,} \quad (1)$$

로프를 감아들이기 위한 유효장력  $F$ 는 식(2)와 같다.

$$F = T_1 - T_2, \quad F + T_2 = T_1 \quad (2)$$

여기에서,  $T_1$ 과  $T_2$ 는 일정한 인장력이 있어야 하는데,  $T_1$ 은 수중의 통발 무게(부하력)에 의해서 발생하고,  $T_2$ 는 선박 갑판에 놓아둔 통발 무게이기에 장력을 발생시키는 요소가 없어  $T_2$ 의 인장력은 0으로 볼 수 있다. 따라서 통발 인양에 필요한 로프 권양력은 드럼이 로프에 작용하는 힘, 즉 드럼과 로프와의 마찰력이 큰 영향을 미치게 되며 로프를 감아

들이기 위한 권양장치의 유효장력  $F$ 는  $T_1$ 과 같거나 더욱 큰 값을 가져야 한다.

한편 통발 인양작업이 진행 중일 때는 권양장치 구동드럼을 기준으로 양측을 당기는 힘  $T_1 + T_2$ 에서  $T_1$ 은 통발에 작용하는 부하에 의해 결정되고,  $T_2$ 는 구동드럼의 견인력에 의해 결정되므로  $T_1$ 에 작용하는 총 부하를 산정하여 구동드럼의 형상과 구조를 설계해야 한다. Fig. 7에서 로프가 접촉되는 빗금친 부분은 구동드럼에 의해 로프로 전달되는 견인력이 결정되는 수직압력이 작용하는 부분으로, 힘의 평형 관계식을 산정하기 위해 미소부분  $R d\theta$  부분(반지름 방향)에 작용하는 변수의 관계를 나타내면, 미소부분에서 장력  $T$ 는  $T + dT$ 로 증가하고, 이 부분에서 원심력  $dC$ , 수직압력  $dN$ , 마찰력  $\mu dN$ 이 작용하게 된다. 이때 반지름 방향에서의 각 힘의 평형 조건식은

$$dN = T \sin \frac{d\theta}{2} + (T + dT) \sin \frac{d\theta}{2} - dC \text{ 이며,} \quad (3)$$

식(3)에서 수직압력  $dN$ 을 결정하는 변수는 장력, 접촉각, 원심력이며 원심력은 통발 권양장치의 드럼속도가 낮기에 무시할 수 있으므로 반지름 방향의 힘의 평형조건은

$$dN = T \sin \frac{d\theta}{2} + (T + dT) \sin \frac{d\theta}{2} \text{ 이고,} \quad (4)$$

접선방향의 평형조건으로부터의 힘의 평형조건은 식(5)와 같다.

$$\mu dN = (T + dT) \cos \frac{d\theta}{2} - T \cos \frac{d\theta}{2} \quad (5)$$

여기에서,  $\mu dN$ 은 마찰력으로 접선방향의 장력은, 장력  $T$ 가  $T + dT$ 와 같이 변화량에 비례하므로 장력은 식(6)과 같고,

$$dT = \mu dN \quad (6)$$

식(4)에서 식(5)와 (6)을 고려하여 각 변수를 대입하고 정리하면, 장력, 마찰계수, 접촉각에 대한 관계식은 식(7)과 같다.

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta}, \quad T_1 = T_2 e^{\mu\theta} \quad (7)$$

따라서 식(7)에서 나타낸 것과 같이 통발 권양장치의 로프

권양력을 발생시키는 결정변수는 장력  $T$ , 마찰계수  $\mu$ , 접촉각  $\theta$ 이며 각 변수들의 값에 따라 권양력이 좌우된다고 할 수 있다. 즉, 권양장치 드럼구동을 통한 로프 권양력이 최대가 되기 위해서는 장력  $T$ 와 접촉각  $\theta$ 를 증가시켜야 하며 로프와 드럼 간에 작용하는 압착력으로 권양력을 유지하기 위해서는 접촉각과 마찰계수가 일정 이상으로 유지되어야 한다. 또한  $T_1$ 과  $T_2$ 에 일정한 힘이 작용하고 일정한 접촉각에서 드럼의 회전에 의해 로프가 견인되기 시작되면,  $T_1$ 과  $T_2$ 의 변화량에 따라 접촉각에 의한 모릿줄과 드럼의 접촉면적을 변화시킴으로써 권양력을 유지할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 로프와 드럼의 접촉면적이 증가함에 따라 마찰면적이 증가하는 것으로서 마찰계수가 증가하는 것과 동일한 결과를 나타낸다고 할 수 있다.

현장에서 통발 권양장치는 스테인리스 몸체에 고무재질의 패드를 부착한 드럼과 합성섬유 로프가 사용되고 있는데,  $T_1$ 과  $T_2$ 에 동일한 장력이 작용할 때, 접촉각과 마찰계수의 두 변수 중 권양력에 영향을 미치는 변수는 접촉각이 더 크다고 할 수 있다. 즉 마찰계수는 두 재질 간의 거칠기와 점성에 의해 결정되고, 마모와 마멸의 영향으로 재질과 표면의 형상 변화를 통해 마찰계수를 무한대로 증가시키는 것은 한계가 있지만 드럼의 배치에 따라 로프의 접촉각 범위(약  $90^\circ \sim 300^\circ$ )를 넓게 할 수 있기에 접촉각의 크기로 권양력을 증대시키는 것이 현장 적용성 측면에서 유리할 것이다.

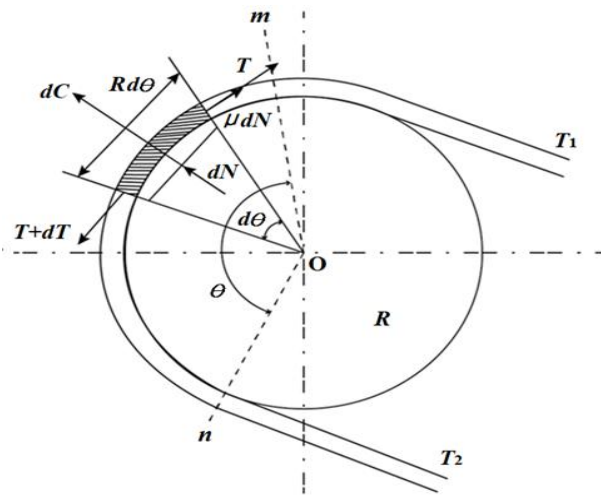


Fig. 7. The equilibrium relation of force on operating drum and rope of winding device.

본 연구에서는 위와 같은 사항을 고려해 로프 접촉각과 마찰면적을 높여 권양력을 높이고 로프 슬립을 줄일 수 있는 통발 권양장치를 설계하였는데 Fig. 8과 같이 1개의 구동

드럼과 3개의 보조드럼으로 구성된다. 여기에서  $R_3$ 은 구동 드럼이고  $R_2, R_4, R_1$ 은 보조드럼과 로프 가이드 드럼이며,  $\theta$ 는 해당 드럼을 중심으로 드럼 간의 로프 각도,  $S$ 는 드럼과 로프의 접촉면적을 나타낸다. 로프의 견인은 최초  $T_1$ 의 장력에 따라 구동드럼에 로프의 압착력이 발생하면서 시작되며, 견인이 시작될 때 각각의 드럼에서는 일정한 모릿줄의 접촉각을 유지하고 이때 접촉면에서 일정한 접촉면적을 갖게 된다. 이후 접촉면에서는 장력의 크기에 따라 수직압력에 따른 마찰력이 발생하고 이 힘을 이용하여  $T_2$  방향으로 견인이 시작된다. 이때  $\theta_1$ 은 수면상의 로프 위치와 권양기가 설치되는 선박 위치에 따라 결정되고 통발 인양 시 변화되는 로프의 방향에 따라  $S_1$ 의 접촉면적은 변화하게 된다. 또한  $\theta_2, \theta_3, \theta_4$ 는 각 드럼의 위치에 맞춰 고정되어 있기에 접촉면적은 일정하므로  $\theta_1$ 에 영향을 미치는  $T_1$ 측의 로프의 위치에 따라 변화하는 접촉면적에 대한 해석이 필요하며, 로프의 접촉면적은 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$S = \Delta d \cdot r \theta \quad (8)$$

여기서,  $d$ 는 로프의 직경,  $r$ 은 드럼의 반지름,  $\theta$ 는 드럼과 로프의 접촉각을 의미한다.

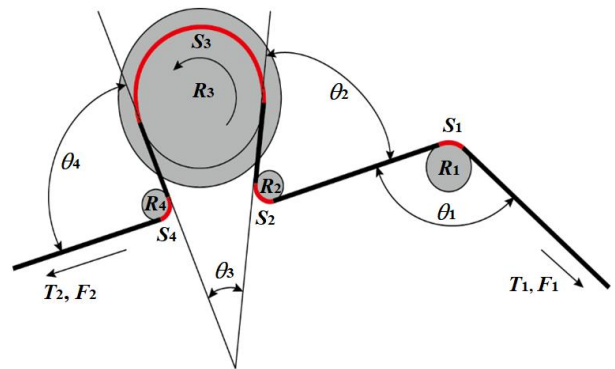


Fig. 8. The schematic design on operating of the trap winding device.

Fig. 9는 통발어업 권양장치에서 로프의 장력과 슬립의 조정방안을 도식화한 것으로, 로프의 드럼 접촉면적을 증가시켜 마찰계수를 증가시키는 방법을 그림으로 나타낸 것이다. 본 연구에서 제안한 통발어업 권양장치의 로프 슬립방지과 장력 유지는 앞서 언급한 것처럼 로프 접촉각과 마찰계수를 조정함으로써 얻을 수 있다. 즉, 권양력이 일정할 때 드럼에서 로프 슬립이 발생할 경우, 구동드럼의 일정한 압착력 상태에서 로프 장력을 증가하거나 감소시키기 위해서

는 로프의 드럼 접촉면적을 증가시켜 마찰력을 증가시켜야 하고, 장력의 부하변동에 따라 이를 유지하기 위해서도 동일한 방법을 적용할 수 있다.

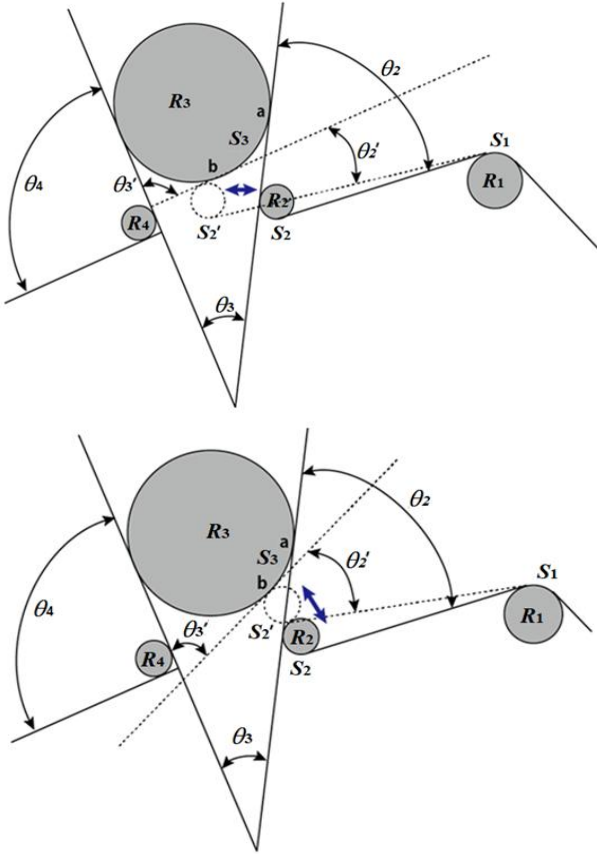


Fig. 9. The schematic design on expansion method of winding force.

Fig. 9에서 장력을 결정하는 것은  $R_3$ 의 권양력과  $T_1$ 측의 부하량이며,  $R_3$ 와  $T_1$ 의 힘의 평형 여부에 따라 로프 권양력과 슬립 그리고 장력이 결정되고, 평형상태에서의 힘의 균형은  $R_2$ 의 위치에 따라 결정된다. 또한  $R_2$ 는 구동드럼  $R_3$ 의 권양력을 좌우하는 접촉각을 결정하기 때문에 힘의 평형 상태에서  $R_2$ 의 위치 변화를 통해  $R_3$ 의 접촉각을 변화시킴에 따라  $R_3$ 의 접촉면적  $S_3$ 를 변화시킬 수 있으므로 슬립과

장력을 조절할 수 있게 된다. Fig. 9는 이러한 관계를 도식한 것으로  $R_2$ 의 위치 변화를 수평과 수직으로 구분하여  $S_3$ 의 변화를 볼 수 있는데,  $\theta_2'$ 에서  $R_2$ 의 위치를 수평으로 변화할 때 각도 변화가 더 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 슬립과 장력을 조절하기 위해서는  $R_2$ 의 위치를 변화하는 방안을 적용할 필요가 있으며 슬립과 장력의 관계는 Table 3과 같이 정리할 수 있다. 여기에서 ㉠은 수면측 부하와 선내측 부하(통발어구 무게 + 권양력)가 같을 경우이며, ㉡는 수면측 부하가 선내측의 부하(통발 무게 + 권양력)보다 큰 경우로 권양기 드럼의 슬립이 발생하여 마찰력 과다로 인한 로프 과단이 발생할 수 있는 상태이다. 또한 ㉢는 수면측 부하가 선내측 부하(통발 무게 + 권양력)보다 작은 경우로 로프의 접촉면적이 없거나 작게되어 로프 슬립이 발생한 상태를 의미한다.

한편 권양장치의 로프 권양력은 드럼의 구조에 따라서도 차이가 발생하는데, 드럼 가운데에 로프가 끼이는 V자 구조의 홈형 드럼은 평형 드럼에 비해 높은 권양력을 유지할 수 있다. 즉, 드럼의 경사면에서 부가된 수직압력에 의해 로프 끼임력이 유지되고 로프 끼임력은 로프의 수직압력에 재질 자체의 탄성력이 부가되면서 배가되기에 로프의 마찰면적이 증가함으로써 나타나는 정지마찰력이 유지되는 힘이라 할 수 있다. 따라서 통발 인양 시 로프의 슬립방지와 장력 유지를 극대화하는 방안에서 권양기의 드럼구조를 홈형으로 채택하는 것이 유리하다.

### 3.2.1 로프 권양기의 구동드럼과 로프 접촉각에 따른 장력 변화

Fig. 10은 권양장치의 구동드럼과 로프의 접촉각에 따른 로프 장력변화를 파악하고자 Fig. 1의 실험장치를 주 롤러와 로프의 접촉각이 변화되도록 2개의 보조롤러 위치를 조정하면서 로프 장력변화를 측정된 결과이다. 이것에서 보면, 주 롤러 구동 시 로프 장력 값은 전단부와 후단부가 큰 차이를 보이는데, 주 롤러 전단부에서는 모든 접촉각에서 20 초 전후에 최댓값을 보이지만 후단부에서는 각 접촉각별로 최대 값의 시간이 차이를 보이는 것을 볼 수 있다. 특히, 2개의 보조롤러를 조정하여 주 롤러와 로프간의 접촉각이 90°가 되도록 하였을 때 로프 장력 값은 주 롤러 전단부에서

Table 3. The relationship between the rope tension and slip of the winding device

㉠	$T_1 = T_2(e^{\mu\theta} - 1)$	Maintaining tension	No slip	Fine state of winding force
㉡	$T_1 \gg T_2(e^{\mu\theta} - 1)$	Excessive tension	Drum slip	Excessive of winding force
㉢	$T_1 \ll T_2(e^{\mu\theta} - 1)$	No tension	Rope slip	No winding force



소형 통발어선의 안전조업을 위한 로프 권양장치 연구

최대 392.62 kgf, 후단부에서 최대 90.89 kgf까지 증가하여 가장 높게 나타나고 있다.

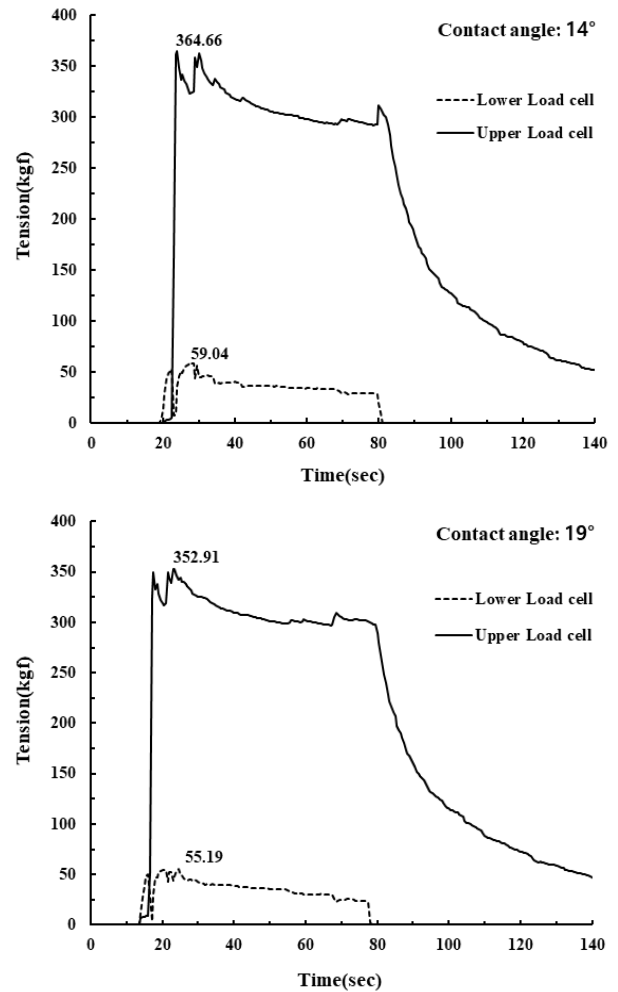
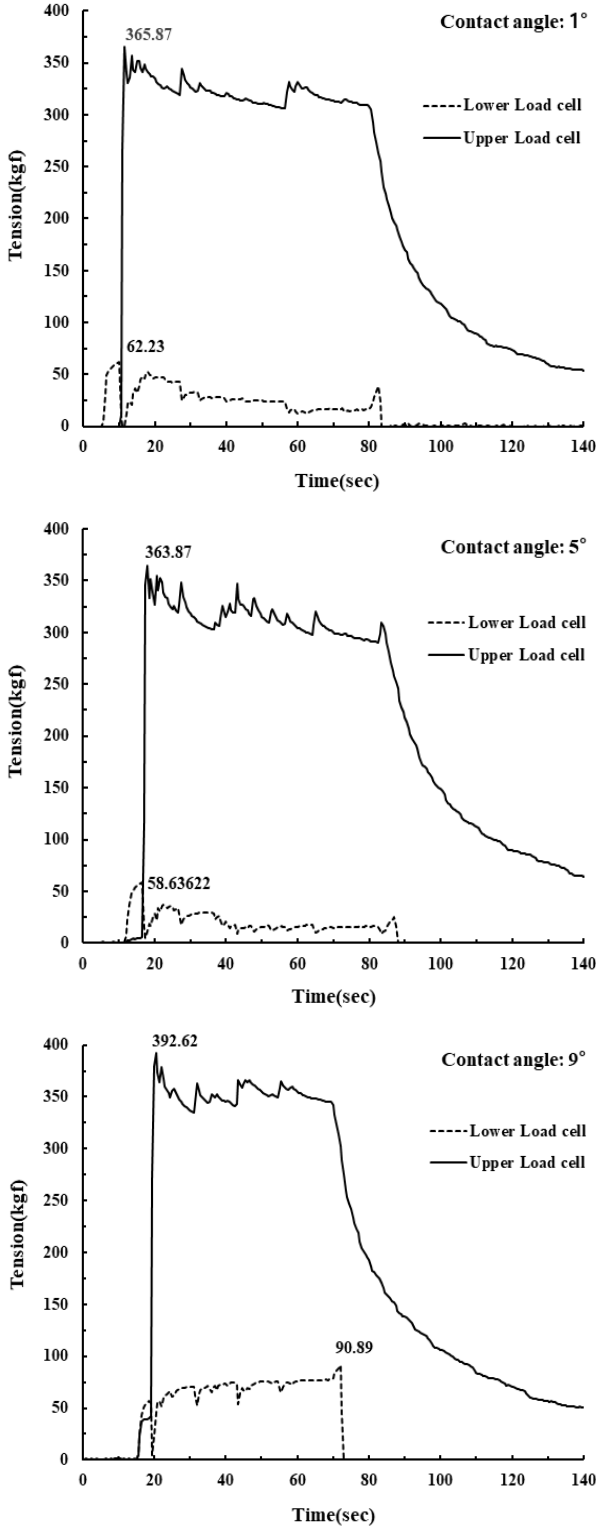


Fig. 10. Variation of the rope tension between the main roller and rope by contact angle.

이것은 주 롤러와 로프의 접촉각이 1°나 5°일 때 보다 접촉각이 9°일 때 주 롤러와 로프간의 마찰면적과 압착력이 증가하므로 로프의 장력이 증가하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 주 롤러와 로프의 접촉각이 14°와 19°일 때는 로프의 마찰면적과 압착력이 더욱 커지지만 로프에 작용하는 장력 값은 접촉각이 1°일 때와 비교했을 때 큰 차이가 없는 것으로 나타난다. 이와 같은 결과는 주 롤러와 로프의 접촉각을 적정하게 부여했을 때 로프 마찰면이 동시에 변화되어 로프 장력이 증가하는 것을 의미하는 것으로, 권양기의 유압력 증가없이 로프 마찰면의 접촉각 변화만으로도 권양력을 충분히 높이는 효과를 얻게 되는 것이다. 그러므로 연안의 소형어선에서 운용되는 통발 권양장치는 규모는 작지만 높은 권양력을 발휘할 수 있도록 주 롤러의 전단부와 후단부에 2개의 보조 롤러를 동시에 사용하고 주 롤러와 로프

의 접촉각은 9°가 되도록 구성하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

Fig. 11은 전체 길이 100m의 로프에 4m 간격으로 총 25개의 통발을 해상에 설치한 후 차례로 인양하면서 Fig. 2의 시제품 권양장치에 작용하는 로프 장력을 조사한 것이다. 그 결과, 통발 로프의 장력은 권양장치 구동 초기에 급격히 증가하여 가장 높은 31.89 kgf로 측정되었으며 이후 통발이 계속 인양되면서 장력 값은 급격히 낮아지는 형태를 보였다. 즉, 권양장치가 구동되어 통발이 인양되는 초기에만 로프 장력이 급증하고 일단의 통발이 인양되기 시작하면 해저에 설치된 통발이 연이어 수면으로 부상하면서 인양되기에 권양장치에 작용하는 로프의 장력이 크게 낮아지는 것으로 볼 수 있다.

본 조사는 총 길이가 100m인 모릿줄에 단지 25개의 통발만을 해저에 투하하여 장력 값을 측정된 것으로, 수백 개의 통발을 사용하는 조업현장의 로프 장력과는 현저히 차이가 날 수밖에 없다. 그러나 통발 인양작업 초기에 모릿줄의 장력이 가장 높게 나타나는 것은 본 실험과 조업현장 모두 동일한 형태로, 실제 조업현장에서도 수중에 설치된 통발 방향으로 선박을 이동시키면서 통발을 인양하기 때문에 권양장치에 작용하는 장력은 본 실험에서와 같이 통발 인양작업 초기에 가장 높다고 볼 수 있다. 따라서 통발 조업에 사용되는 권양장치의 권양력은 인양작업 초기에 부여되는 로프의 최대 장력 값을 기준으로 설계되는데 실제 연안의 소형 통발어선에 설치되는 권양장치의 권양력은 대부분 300 kgf 내외로 운용되고 있다. 그러므로 본 연구의 개발 대상인 소형 통발어선용 권양기의 권양력도 최대 300 kgf 정도를 설정하여 설계한다면 충분할 것으로 사료된다.

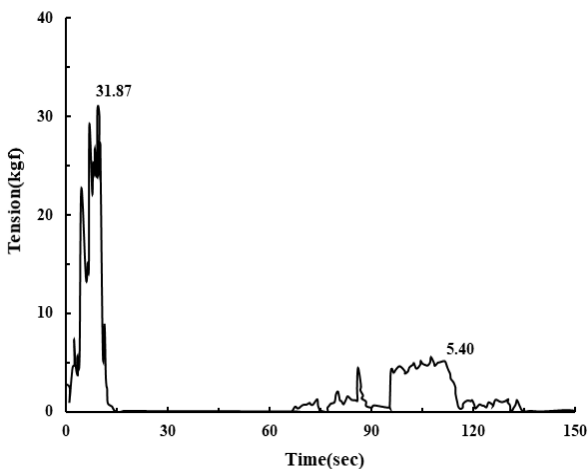


Fig. 11. Variation of the rope tension by the trap pulling at sea.

#### 4. 결 론

본 연구는 소형 통발어선의 조업사고 저감과 작업의 편의성 증대를 목적으로 수중에 설치된 통발을 안전하고 수월하게 인양할 수 있는 권양장치를 고안하는 것이다. 연안통발어업에 종사하는 142명의 어민들을 대상으로 설문과 현장대면조사를 실시한 결과, 통발 투하 및 인양 중 로프에 걸려 넘어지는 전도사고가 42.1%로 가장 높았고, 갑판에서 미끄러지거나 통발 권양장치에 신체 일부가 협착하는 사고가 각각 21.1%, 갑판에 쌓아둔 통발이 무너져 신체 일부가 깔리는 사고가 15.8%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한 조업공정상의 위험도는 전체 응답자 중 53.2%가 통발 인양작업이 가장 높고, 선별작업 33.8%, 투망 9.1%, 어장이동 2.6%, 위판 작업 1.3% 순으로 응답하였다.

어민들의 통발 권양장치의 개선 요구항목은, 통발을 수중에서 선박 작업갑판까지 쉽게 인양하는 방안이 36.8%를 차지하고, 통발 인양 시 로프 장력을 극복하고 슬립을 방지하여 사고위험을 줄이는 항목이 31.6%, 제품구입 및 설치비용 절감이 21.1%, 고장 방지 등 내구성 증대가 10.5%를 차지하였다. 현행 통발 권양장치에 대한 어민들의 평가는, 구입비용의 경우 만족도는 낮지만 중요도는 높게 나타나고, 안전성의 경우 만족도는 보통이고 중요도는 매우 높게 나타났다. 따라서 어민들은 통발 권양장치의 비용적인 측면과 안전성 및 편리성을 우선적인 개선항목으로 생각하고 있었다.

본 연구에서 제안하는 통발 권양장치는 크거나 유압력 증가없이 권양장치의 구동롤러와 로프 간의 접촉각을 적절하게 부여하여 접촉면적과 마찰계수의 증가를 통해 권양력을 높이는 것이다. 주 롤러와 로프간의 접촉각을 1°, 5°, 9°, 14° 및 19°로 부여하면서 로프에 작용하는 장력 변화를 측정된 결과, 로프 장력은 각각의 접촉각에 따라 차이를 보였으며 9°일 때 가장 높은 392.62 kgf까지 측정되었다. 따라서 소형 통발어선 권양장치의 권양력은 주 롤러와 로프의 접촉각이 9°일 때 가장 높다고 할 수 있다.

이러한 실험결과를 반영하여 시제품 권양장치를 제작하고 총 길이가 100m인 로프에 4m 간격으로 총 25개의 통발을 해상에 설치한 후 차례로 인양하면서 로프에 작용하는 장력 변화를 측정하였다. 그 결과, 모릿줄의 장력은 권양장치가 구동되어 통발이 인양되는 초기에 급격히 증가하여 가장 높은 31.89 kgf로 측정되었으며, 이후에는 해저에 설치된 통발이 연이어 수면으로 부상하면서 인양되기 때문에 모릿줄의 장력이 크게 낮아지는 것으로 나타났다. 따라서 소형 통발어선 권양장치의 권양력은 통발 인양작업 초기에 부여되는 로프의 최대 장력 값을 기준으로 설계하는 것이 적합하며, 기존의 소형 통발어선이 1일 조업에 보통 250~300개

정도의 통발을 사용하는 것과 본 연구의 실험결과를 반영했을 때 최대 약 300 kgf 정도를 설정하면 충분할 것으로 판단된다.

## References

- [1] Jung, C. H.(2018), A Study on the Improvement of Safety by Accidents Analysis of Fishing Vessels, The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 30, No. 1, pp. 176-186.
- [2] Jung, Y. G.(2007), Automatic Operating System for the Sea Eel Pots Fisheries, proceedings of the Korean Society of Fisheries Technology 2007 Autumn Conference, pp. 14-19.
- [3] Jung, Y. G., Y. H. Kim, and G. B. Yoo(2000), Development of Automatic Operating System for the Sea Eel Pots Fisheries (1) coupling device for sea eel pot and separating system, The Journal of the Korean Society of Fisheries Technology, Vol. 36, No. 2, pp. 126-131.
- [4] Kim, W. R., K. G. Chong, and K. D. Lee(2008), Research in the improvement of safety management system for the fishing vessel, Korea Ship Safety Technology Authority, pp. 47-59.
- [5] KOSIS(2021), Korean Statistical information service, [https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT\\_OTITLE&menuId=M\\_01\\_02#content-group](https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_OTITLE&menuId=M_01_02#content-group) (Accessed: May, 2021).
- [6] MOF(2008), Development of automatic throws equipment and bait automatic supplies on eel pot, Ministry of Oceans and Fisheries, p. 96.
- [7] NIFS(2017), A comprehensive plan and the survey of real state for the prevention of fishing operation safety accidents, National Institute of Fisheries Science, p. 140.
- [8] NIFS(2018), The mediumterm plan for the prevention of fishing operation safety accidents, National Institute of Fisheries Science, p. 80.

---

Received : 2021. 12. 17.

Revised : 2022. 01. 17.

Accepted : 2022. 02. 25.