



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 박 사 학 위 논 문

트롤어구의 소형어류 탈출장치 개발

2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 물 리 학 과

조 삼 광

이 학 박 사 학 위 논 문

트롤어구의 소형어류 탈출장치 개발

지도교수 이 주 희

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 물 리 학 과

조 삼 광

조삼광의 이학박사 학위논문을 인준함

2007년 2월 일

주 심 수산학박사 정 의 철 인

위 원 수산학박사 김 형 석 인

위 원 수산학박사 신 종 근 인

위 원 수산학박사 정 순 범 인

위 원 수산학박사 이 주 희 인

목 차

List of Figures	iv
List of Tables	vii
Abstract	viii
제1장 서론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구의 목적 및 내용	4
1.2.1 연구 목적	4
1.2.2 연구 내용	5
제2장 트롤 어선에서 투기된 어류의 생존율	7
2.1 재료 및 방법	8
2.2 결과 및 고찰	12
2.3 요약	17
제3장 탈출어류의 생존율	18
3.1 재료 및 방법	20
3.1.1 시험 어구	20
3.1.2 원격 분리 가두리 시스템	21
3.1.3 탈출 행동 및 생존율 수조 실험	23
3.1.4 시험 해석 및 조사 방법	25

3.2 결과 및 고찰	27
3.2.1 덮망 가두리 분리 수조 실험	27
3.2.2 탈출 행동 모니터링 수조 실험	29
3.2.3 분리가두리에 수용된 탈출어류의 생존 시간	31
3.2.4 양망 후 시간 경과에 따른 혈당 분석	39
3.2.5 분리 수용된 가두리 내에서의 어군 행동	41
3.3 요약	42
 제4장 고품체 탈출장치의 성능	44
4.1 재료 및 방법	46
4.1.1 탈출장치 재질 선정	46
4.1.2 탈출장치 Bar 간격	47
4.1.3 시험 어구	48
4.1.4 탈출장치 설계 및 제작	51
4.1.5 시험 해석 및 어획물 조사	53
4.2 결과 및 고찰	55
4.2.1 어류의 탈출률	55
4.2.2 탈출장치 재질별 성능	57
4.2.3 탈출장치별 탈출어류의 수 및 탈출률	59
4.2.4 탈출장치 Bar 간격별 탈출률	61
4.3 요약	63

제5장 망지를 이용한 탈출장치 개발	65
5.1 재료 및 방법	66
5.1.1 시험 어구 및 탈출장치	66
5.1.2 시험 해역 및 조사 방법	72
5.2 결과 및 고찰	75
5.2.1 탈출장치의 망목 크기에 따른 해상 시험	75
5.2.2 탈출장치 형태별 해상 시험	77
5.3 요약	79
제6장 종합고찰	80
감사의 글	85
참고 문헌	87



List of Figures

Fig. 2.1. Layout of the bottom trawl net used for investigating the survival rate of discarded fishes after hauling.	9
Fig. 2.2. Schematic view of escapement device cover-net and codend cover-net attached to trawl.	10
Fig. 2.3. Sea experiment areas for the investigation of survival rate for discarded fishes after hauling.	11
Fig. 2.4. Survival rate of Tiger shark (n=32), Conger eel (n=18) and Blotched eelpout (n=10) escaped from the escapement device (bar space 35mm).	15
Fig. 2.5. Survival rate of Red skate (n=4), Octopus (n=4) and Black scrapper (n=2) escaped from codend.	15
Fig. 2.6. Survival rate of Rosefish escaped from the escapement device (n=12) and the codend (n=4).	16
Fig. 2.7. Survival rate of Japanese fan lobster escaped from the escapement device (n=9) and the codend (n=16).	16
Fig. 3.1. Schematic view of Trawl Escapement Device (TED) for Grid panel type.	20
Fig. 3.2. The view of Acoustic Releaser attached to the trawl.	22
Fig. 3.3. Schematic view of escapement device fish cage and codend fish cage attaching to the trawl.	22

Fig. 3.4. A water tank for the experiment of the escapement behavior and survival rate.	24
Fig. 3.5. Sea experiment areas for the investigation of the survival rate of fishes escaped from TED and codend, and fish cage site.	26
Fig. 3.6. Gradual separation process of the model fish cage.	28
Fig. 3.7. Escapement time of Oblong rockfish (24.0mm, n=27).	30
Fig. 3.8. Escapement time of Oblong rockfish (29.0mm, n=27).	30
Fig. 3.9. Survival rate of Horse mackerel escaped from TED and codend according to the time elapse.	33
Fig. 3.10. Survival rate of Mackerel escaped from TED and codend according to the time elapse.	35
Fig. 3.11. Survival rate of Red seabream escaped from TED and codend according to the time elapse.	36
Fig. 3.12. Survival rate of Rock bream escaped from TED and codend according to the time elapse.	36
Fig. 3.13. Survival rate of Korean pomfret escaped from TED and codend according to the time elapse.	37
Fig. 3.14. Survival rate of Redlip croaker escaped from TED and codend according to the time elapse.	38
Fig. 3.15. Blood sugar level variation of Horse mackerel after hauling.	40
Fig. 3.16. Fish cage installed on the sea bottom after separating.	41
Fig. 4.1. Layout of the bottom trawl net used for the materials test of Trawl Escapement Device.	49

Fig. 4.2. Layout of the bottom trawl net used for the sea experiment	50
of grid bar space decision.	
Fig. 4.3. Schematic view of Trawl Escapement Device (TED).	52
Fig. 4.4. Sea experiment areas for the test of TED materials, TED	54
bar space and TED practicalization.	
Fig. 5.1. Layout of the bottom trawl net used for the sea experiment	68
of Trawl Escapement Net.	
Fig. 5.2. Schematic view of Trawl Escapement Net of V shape	69
(A type).	
Fig. 5.3. Schematic view of Trawl Escapement Net of V shape	70
having a protector on the guiding net (B type).	
Fig. 5.4. Schematic view of Trawl Escapement Net of panel shape	71
having a protector on the guiding net (C type).	
Fig. 5.5. Sea experiment areas for investigating the escapement rate	73
of fishes escaped from Trawl Escapement Net.	
Fig. 5.6. Photo of underwater camera and lights attached to the	74
Trawl Escapement Net.	
Fig. 6.1. Photos of undersized fishes escaping from Trawl	84
Escapement Net.	

List of Tables

Table 2.1. Fishes died within 30 minutes and survived over 30 minutes	13
Table 3.1. Survived number of fishes escaped from codend according to the time elapse (Unit: Number)	32
Table 3.2. Survived number of fishes escaped from TED according to the time elapse (Unit: Number)	33
Table 4.1. Physical efficiency and price of the TED materials	46
Table 4.2. Average head width by 50% maturity length of main species in Korean coastal and offshore waters	47
Table 4.3. Number of catches escapement rate of fishes escaped from trawl codend and TED	56
Table 4.4. Number of fishes and weighted catches by TED materials	57
Table 4.5. Number of fishes and escapement rate by TED materials	58
Table 4.6. Number of catches and escapement rate by TED type	61
Table 4.7. Escapement rate of main species by TED bar space	62
Table 5.1. Escapement rate and length of main catch species in the sea experiment of May, 2005	76
Table 5.2. Escapement rate and length of main catch species in the sea experiment of November, 2005	78

Development of an escapement device for undersized fishes in trawls

Sam-Kwang CHO

Department of Fisheries Physics, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The aims of this study were to develop a Trawl Escapement Device (TED) to improve the survival rate of undersized fishes that escape from trawls. The first sea experiments were conducted to investigate the survival rate of fishes discarded after hauling and to develop fishing gears and methods for fisheries management which can improve the survival rate of undersized fishes escaping from the grid and codend. The trials were carried out in offshore waters of the Korean southern sea and off Jeju Island. Fish were placed in a fish cage on board to measure the sustainable survival time. Japanese flying squid (*Todarodes pacificus*), mitra squid (*Loligo chinesis*), large-head hairtail (*Trichiurus lepturus*), john dory (*Zeus japonicus*), Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*), redlip croaker (*Pseudosciaena polyactis*) and blackthroat seaperch (*Doederlinia berycoides*) were found to be dead immediately after hauling. Survival rates of tiger shark (*Scyliorhinus torazame*), conger eel (*Conger myriaster*), red skate (*Dasyatis akajei*), black scraper (*Navodon modestus*) and Japanese fan lobster (*Ibacus ciliatus*) were

estimated to be higher after discarding because they survived for long hours in the fish cage. Blotched eelpout (*Zoarces gilli*) escaped from the escapement device (Grid) were dead within 6 hours in the water tank but 97% of tiger sharks and 72% of conger eels survived over 72 hours. Red skate that escaped from trawl codend were dead within 60 hours in the water tank but 25% of octopus (*Paroctopus dofleini*) and all black scrapers survived over 72 hours. All rosefish (*Helicolenus higendorfi*) that escaped from the codend were dead within 72 hours but 8.3% of the rosefish that escaped from the escapement device survived over 72 hours.

A second set of sea experiments was carried out to investigate the survival rate of the fishes that escaped from the TED and codend in off Geomundo and in the Korean southern sea. A cover-net fish cage was designed and manufactured to collect fishes that escaped from the TED and codend. The fish cage was installed at a shallow site where a scuba diver could observe the surviving fishes in a fish cage separated from the trawl net. The survival rate of horse mackerel escaped from the TED was 85.5% after 96 hours while the survival rate for fish from the codend showed a rapid decrease according to the time elapsed as follows: 85.0% survival after 24 hours, 76.4% after 48 hours, 62.7% after 72 hours and 56.1% after 96 hours. Over 90% of red seabream (*Pagrus major*) and rock bream (*Oplegnathus fasciatus*) that escaped from the TED survived 96 hours and the survival rate of those fishes was excellent compared with the other fish species. All Korean pomfret that escaped from both TED and codend died within 48 hours. Most of redlip croaker also died within 12 hours because of their limited physiological ability to

withstand water pressure change. The survival rate of fishes such as horse mackerel with hard skin was high while survival was low for soft-skinned species like the Japanese flying squid and large-head hairtail.

A third set of sea experiments was conducted to develop a Trawl Escapement Device (TED) which can improve the escapement rate of undersized fishes that pass through a trawl net. The sea experiments involved varying the bar space of the device and the bar materials to identify the best bar space and materials. Trials were carried out in the Korean southern sea and off Jeju island. Stainless steel pipes and four kinds of plastics were used to examine the efficiency of different escapement device materials. Although escapement rates from the MC bar for the main species were a little higher compared with those stainless steel pipes, stainless steel pipe was chosen as the material for the TED. The escapement rate for sort-x type and grid panel type were also compared. Escapement rates of red-lip croaker, black-throat seaperch and finespotted flounder (*Pleuronichthys cornutus*) were 61.7%, 2.0% and 2.7% respectively for the sort-x type and 69.9%, 1.1% and 2.0% for the grid panel type, a relatively small difference. Escapement rates in relation to the bar space were estimated using the grid panel type. The survival rates for redlip croaker for the bar space of 20mm, 25mm, 35mm were 60.3%, 61.0% and 77.8% respectively, and 9.8%, 16.4% and 45.6% for horse mackerel (*Trachurus japonicus*).

The fourth set of experiments for the study was carried out to develop a Trawl Escapement Net (TEN) using net material in the

Korean southern sea in May and November, 2005. Three kinds of Trawl Escapement Net (TEN) were examined to improve the escapement rate for undersized fishes escaped from the TEN, and catch numbers of escaped fishes were investigated. The main catch species in the experimental fishing trials using a V shape TEN (A type) in May were Korean pomfret (*Pampus echinogaster*), slimy (*Leiognathus nuchalis*), gizzard shad (*Konosirus punctatus*), white croaker (*Pennahia argentata*) and smelt (*Sillago sihama*). In the experimental fishing trials using a V shape TEN with a protector for undersized fishes (B type) and a panel shape TEN with a protector (C type) in November, the main catch species were horse mackerel, sea pike (*Sphyræna japonica*), large-head hairtail, kammal thryssa (*Thryssa kammalensis*), white croaker, butterfish (*Psenopsis anomala*) and red gurnard (*Lepidotrigla microptera*). Most of large-sized fish species like Korean pomfret and Spanish mackerel could not escape through the TEN in the B type and C type. Catches of horse mackerel were highest in the experimental fishing of November and the escapement rate of horse mackerel was also highest, at 38.3%, and escapement rates for most fish species were higher in the C type compared with B type.

제1장 서론

1.1 연구 배경

트롤어업은 전 세계적으로 사용되고 있는 가장 발달된 어업 중의 하나로써 오랜 역사와 더불어 여러 방면에 걸쳐 많은 연구가 진행되어 왔으며, 다른 어업에 비하여 어로장비와 조업방법의 기계화 및 자동화가 많이 이루어졌다. 우리나라에서는 1950년대 후반 동해안 새우트롤 어업의 도입과 더불어 트롤어업이 시작되어, 1970년대 후반부터 근해에서 대형 트롤어업이 본격적으로 조업하였고, 전체 어업 생산량에 있어서도 점점 큰 비중을 차지하는 어업으로 발전하였다.

그러나 트롤어업은 어획성능이 지나치게 고도화되어 있을 뿐만 아니라 불특정 다수 어종을 일시에 어획하는 등 자원관리면에서 많은 문제점을 내포하고 있다. 최근 들어 새로운 유엔 해양법의 발효와 책임있는 어업에 대한 본격적인 논의가 진행되면서 트롤에 어획되는 자치어와 비목표어의 어획 및 투기 문제에 대한 새로운 문제제기가 범지구적인 차원에서 일어나고 있다. 우리나라에서도 조업어장의 축소와 어자원감소가 심각해지면서 트롤어업의 관리 방안에 대해서 보다 심도 있는 논의가 진행되고 있다.

한편, 트롤어구에 대한 지금까지 연구 현황을 살펴보면, 트롤어구의 모형 실험을 통한 어구 역학적인 분야에 관한 연구(예 등, 1993; 이 등, 1995; 박, 1999; 유, 2001; 박, 2006), 트롤어구 전개판의 형상에 따른 전개 성능에 관한 연구(권 등, 1994; 박, 2003) 등이 주로 수행되었으며, 이러한 연구들은 모두 어획량의 증대를 목적으로 이루어졌다.

그리고 저층 트롤 어구를 이용하여 연안 어장에서의 자원량 및 종 다양성을 조사하기 위한 연구(정 등, 2005)와 소형어류의 보호를 통한 자원관리형 어업의 전환을 위하여 트롤어구의 망목선택성에 관한 연구(이 등, 1992; 정 등, 1993; 김 등, 1994) 등이 많은 연구자들에 의하여 수행되었다.

그러나 이러한 연구는 현행 어구의 망목에 의한 미성어의 어획에 대한 검토를 주로 하고 있어서, 상업적인 가치가 적은 비목표종의 어획과 이들 어종에 대한 어획강도를 감소시키고 미성숙 소형어를 보호하기 위한 국제적인 요구에 부응하기 위하여 새로운 연구의 필요성이 제기되었다. 따라서 성숙한 목표종 이외의 치어를 보호하고 어획 후 선상에서 투기되는 비율을 감소시킬 수 있는 자원관리형 트롤어구의 개발과 해양 생태계에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는 저층 트롤 어구의 개발이 요구되고 있다.

어업에서는 근본적으로 비목표종의 혼획이 발생하며, FAO의 보고서에 의하면 전 세계 어획량의 약 22%가 법률적·경제적 이유로 인하여 선상에서 투기되고 있는 것으로 알려져 있다(Kelleher, 2005). 하지만 우리나라 연근해에서 조업하고 있는 상업 어선에 대해서는 시장에서 상업적으로 판매 가치가 없는 어종과 어획금지 체장 이하의 개체 또는 어획물만이 해상에서 투기되는 것으로 추정되고 있을 뿐, 혼획 투기에 관한 통계 자료가 없는 것이 현실이다. UN 환경개발회의(1992)에서 선언된 'Agenda 21(21세기를 향한 행동지침)'에서는 어업이 지구 환경에 영향을 주는 산업으로 인지되었으며, FAO 총회(1995)에서 채택된 '책임 있는 수산업 규범'에서는 세계의 각 어업국에 공해상에서 뿐만 아니라 자국의 연근해에서 어획되는 비목표 어종에 대해서도 혼획 및 미성숙 소형어의 투기 감소를 촉구하고 있다.

이러한 국제적인 요구에 대응하여, 유럽 및 북미 각국에서는 트롤어구를

탈출한 소형어류의 탈출률 및 생존율에 관한 연구(Soldal 등, 1993; Jacobsen, 1994; Misund and Beltestad, 1995; Soldal and Engas, 1997), 선택적 어구어법 개발에 관한 연구를 활발히 진행하고 있으며(Main and Sangster, 1985; Broadhurst and Kennelly, 1996a; Engas 등, 1998; Broadhurst 등, 1999), 이들 결과들 중 몇몇은 어업관리에 적용되고 있다(트롤에서의 사각망목 부착, 1992, 영국; 트롤망의 Sorting Grid 부착 의무화, 1994, 노르웨이; 새우트롤의 거북 탈출장치 부착, 1996, 미국; 명태트롤의 치어 보호망 부착, 2000, 러시아). 우리나라에서도 트롤어구에서 소형어류 탈출장치 부착의 의무화를 추진하기 위하여 상업선 적용을 위한 해상시험을 추진하고 있다.

어업에 관한 법률과 규정에서는 어구에 사용되는 망목 크기를 제한함으로써 자원의 보호를 꾀하고 있지만, 어업에서의 경제적인 문제를 등한시 할 수 없으므로 일정 수준 이상의 어획과 자원의 지속적인 유지라는 두 가지 목적을 달성하기 위한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

따라서 본 논문에서는 우리나라 트롤어업에서 발생되고 있는 비목표종의 혼획과 미성숙 소형어의 어획 등과 같은 문제점들을 해결하기 위한 방안을 제시하기 위하여 트롤어구에 있어서 소형어류 탈출장치를 설계·제작하여 해상시험을 수행하였으며, 그 결과를 고찰하였다.

1.2 연구의 목적 및 내용

1.2.1 연구 목적

트롤어업은 오랜 역사와 더불어 수산자원이 풍부한 시기에는 어획성능의 증대를 목적으로 어구 개량 및 개발이 이루어져 왔으나, 과잉 어획으로 인한 자원 감소가 문제시 되는 오늘날에 있어서는 어획강도가 높은 어구 사용 및 해양환경의 변화로 인하여 자원이 감소함에 따라 소형어류를 보호하고 자원을 지속적으로 유지하기 위한 자원관리형 트롤 어구의 개발이 요구되고 있고, 그에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

어구의 선택성은 현재 수산과학 분야에서 커다란 관심사 중의 하나이며, 트롤 어업에서 선택성에 대한 연구는 특정 개체만을 선별하여 어획하는 것과 어획된 개체 가운데 상품으로서의 가치가 없거나 낮은 소형 개체는 어구로부터 탈출할 수 있도록 하는 연구로 나눌 수 있다. 어구로부터 탈출한 어류의 경우는 생존하여 자원에 재 가입 한다는 것을 전제로 하기 때문에 탈출한 어류의 생존율을 높이는 것이 중요한 과제 중의 하나이다.

이를 위해 많은 연구자들이 새로운 형태의 탈출장치를 개발하여 적용시험을 수행하였다(Mounsey 등, 1995; Robbins-Troger 등, 1995; Grimaldo and Larsen, 2005). 지금까지 많은 연구들은 트롤에서 선택적인 시스템의 실행을 증가시켜 미성숙한 소형어류의 어획을 감소시키고, 목표종만을 어획하기 위하여 많은 노력을 기울여 왔으며, 여러 종류의 트롤 어업에 있어서 소형어 및 혼획어종의 탈출장치를 개발해 왔고, 효과적인 자원관리를 위해서 탈출한 어류의 생존과 사망에 관한 연구가 이루어지고 있다. 현재 트롤 탈출장치에 대한 연구 개발 동향은 좀더 가벼운 재질의 탈출장치를 개발하

고 목표 어종의 손실을 감소시키기 위하여 Grid를 통한 물의 흐름을 증가시키는 연구에 역량이 집중되고 있다(Grimaldo and Larsen, 2005).

본 연구 논문은 우리나라 근해 트롤선에서 사용하고 있는 트롤어구의 소형어류 탈출장치를 개발하기 위하여 투기어 및 트롤 탈출어류의 생존율 그리고 고행체 및 유연체 탈출장치에 대한 어종별 탈출률을 조사한 후 상업선에서도 이용 가능한 탈출장치를 개발하는 것을 목적으로 하였다.

1.2.2 연구 내용

본 논문의 내용은 다음과 같이 구성하였다.

제1장 서론에서는 트롤 탈출장치 개발을 위한 연구배경 및 목적 그리고 자원관리형 트롤어구에 관한 연구 사례를 소개하였다.

제2장 트롤 어선에서 투기된 어류의 생존율에서는 트롤 어선에서 어획된 후 선상에서 투기되는 각종 어류의 생존율에 관한 기초적인 자료를 얻기 위하여 탈출장치와 끝자루를 빠져 나온 어류를 양망 후 선상에 비치된 수조에 수용하여 어종별로 생존시간을 조사하였다.

제3장 탈출어류의 생존율에서는 트롤망을 빠져나온 소형어류의 생존율을 향상시킬 수 있는 자원관리형 트롤어구를 개발하기 위한 연구로서, 트롤 그물에 부착된 탈출장치와 끝자루를 탈출한 어류의 생존율을 탈출장치와 끝자루에 부착된 덮망을 양망 전에 수중에서 분리하여 해저에 설치한 후, 잠수부를 활용한 수중 조사를 실시하여 그 결과를 비교·분석하였다.

제4장 고행체 탈출장치의 성능에서는 트롤 탈출장치를 개발하기 위한 기초 연구로서 어구의 끝자루와 자루그물 사이에 연장망을 부착한 후 연장망의 윗부분에 Grid형 탈출장치를 장착하여 해상시험을 실시하고 트롤 탈출장

치의 재질 비교시험과 탈출장치의 Bar 간격에 따른 소형어류의 탈출률을 조사하였다.

제5장 망지를 이용한 탈출장치 개발에서는 4장에서 연구 개발된 고품체 탈출장치의 효과는 입증되었지만 재질의 과중한 무게와 선상에서 교체시 다루기가 불편하여 어민들이 사용하기에 다소 불편한 점 등이 제기되었으므로, 선상에서 취급이 용이한 유연성 있는 재료인 직사각 망지(PE ultracross)를 사용하여 탈출장치를 제작하였다. 4장의 실험방법과 같이 탈출망의 Bar 간격에 따른 소형어류의 탈출률을 조사하였으며, V자 모양의 탈출장치와 평판형 탈출장치에 대한 탈출률과 탈출행동을 비교·분석하였다.

제6장 종합고찰에서는 이상의 연구 결과에 대해 고찰하고, 탈출장치의 효율성에 대하여 검토함으로써 어업자원의 효율적인 이용과 대상자원의 지속적인 생산을 도모하고자 하였다.

제2장 트롤 어선에서 투기된 어류의 생존율

FAO의 보고서에 의하면 전체 어업에 있어 전 세계 어획량의 약 22%가 법률적 또는 경제적 이유로 인하여 선상에서 투기되고 있다고 알려져 있다 (Kelleher, 2005). UN 환경개발회의(1992)에서 선언된 'Agenda 21(21세기를 향한 행동지침)'에서는 어업이 지구환경에 영향을 주는 산업으로 인지되었으며, FAO 총회(1995)에서 채택된 '책임있는 수산업 규범'에서는 세계의 각 어업국에 비목표 어종의 혼획 및 미성숙 소형어의 투기 감소를 촉구하고 있다. 여기에 부응하여 유럽 및 북미 각국에서는 트롤어구의 선택적 어구어법 개발에 관한 다양한 연구(Armstrong 등, 1998, Broadhurst 등, 1999) 및 수중에서 트롤 끝자루를 탈출한 어류의 생존율에 관한 연구(Main and Sangster, 1990; Otterlind, 1960; Sangster 등, 1989, 1992, 1996) 등이 활발하게 진행되고 있으며, 최근 이들 결과들이 어업 관리에 적용되고 있다 (Madsen 등, 1998). 따라서 우리나라에서도 조업 중 해상 투기어의 생존율에 관한 연구는 효과적인 자원관리를 위해서 반드시 이루어져야 할 것으로 생각된다. 그러나 연안 자원의 조성, 어구에 대한 어획선택성 연구 등은 다양하게 수행되고 있으나, 투기된 어류의 생존율을 고려한 자원관리 등에 관한 연구는 아직 미미한 수준에 있다.

본 연구에서는 우리나라 근해 수역에서 조업하고 있는 트롤 어선에서 어획된 후 선상에서 투기되는 각종 어류의 생존율에 관한 기초적인 자료를 얻기 위하여 남해안 및 제주도 주변 수역에서 해상 시험을 행하고 투기어의 생존율을 조사하였다.

2.1 재료 및 방법

본 연구에 사용한 트롤어구는 Fig. 2.1과 같이 뜰줄길이 58.6m, 발줄길이 77.9m 그리고 끝자루를 제외한 그물의 총 길이는 66.4m이다. 끝자루 앞쪽에 Bar 간격 35mm인 탈출장치(스테인리스 스틸제, 크기 1,013mm×883mm×4개)를 설치하여 소형 어류가 용이하게 탈출할 수 있도록 하였고, Fig. 2.2에서 보여주는 바와 같이 탈출장치와 끝자루(망목 54mm) 상부에는 각각 망목 30mm인 덮망을 부착하여 탈출장치 및 끝자루를 빠져나온 어류가 수집되도록 하였다. 해상 시험은 1998~1999년 사이에 국립수산물과학원 시험연구선 부산 851호(G/T 1,126tons, 2,600HP) 및 탐구 1호(G/T 2,180tons, 7,500HP)를 사용하여 수행하였으며, Fig. 2.3과 같이 남해안 일원 및 제주도 주변 해역(수심 50~100m)에서 4항차 51회에 걸쳐 실시하였고, 예망 시간은 1시간으로 하였다.

트롤 어구에 어획되어 투기되는 어류의 생존율을 조사하기 위하여 트롤 어구가 선상에 양망되면 각 부분의 어획물을 수거한 후 미리 준비하여 놓은 선내 사육수조에 수용하였다. 사육수조는 직경 약 1m, 높이 약 0.3m인 플라스틱으로 만들어진 원형수조를 사용하였으며, 해수와 공기를 지속적으로 공급하면서 시간 경과에 따른 어종별 생존 지속시간을 조사하였다. 양망 후 어류를 사육수조에 이송하여 수용하는데 소요되는 시간은 약 10분 이내였으며, 생존시간은 수조에 들어간 어류의 생사여부를 1~2시간 단위로 확인하여 측정하였으며, 사망한 어류는 어획미수, 전장, 체장 및 체중을 측정하였다.

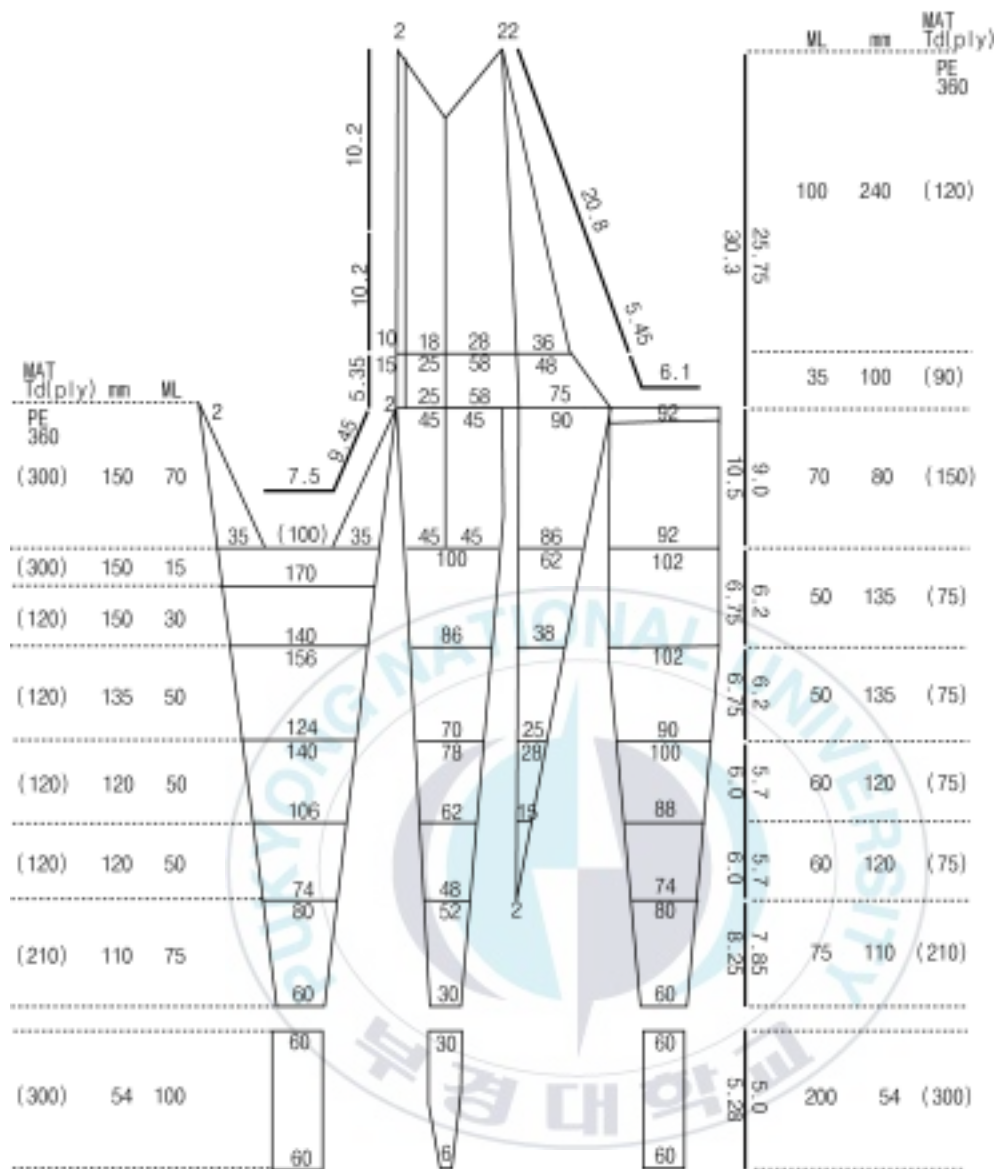


Fig. 2.1. Layout of the bottom trawl net used for investigating the survival rate of discarded fishes after hauling.

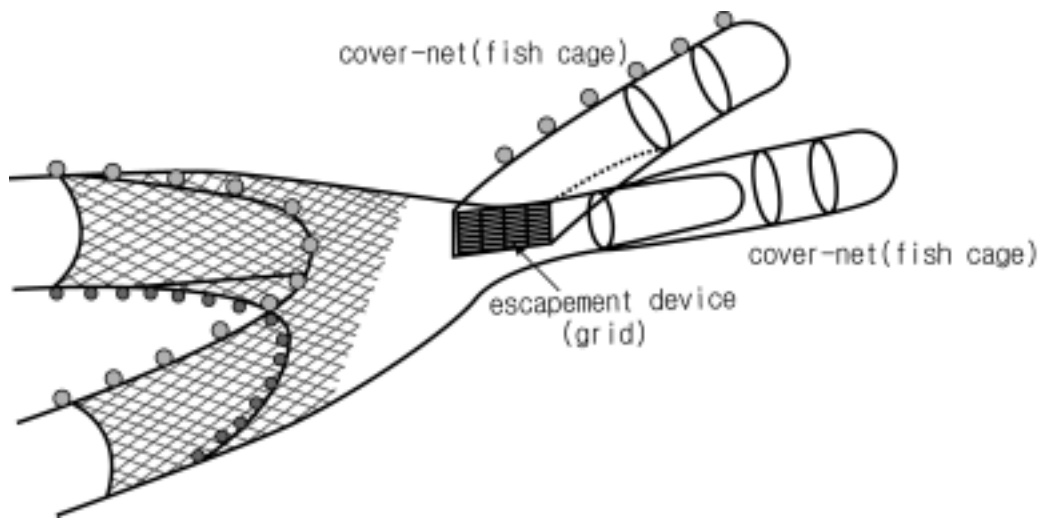
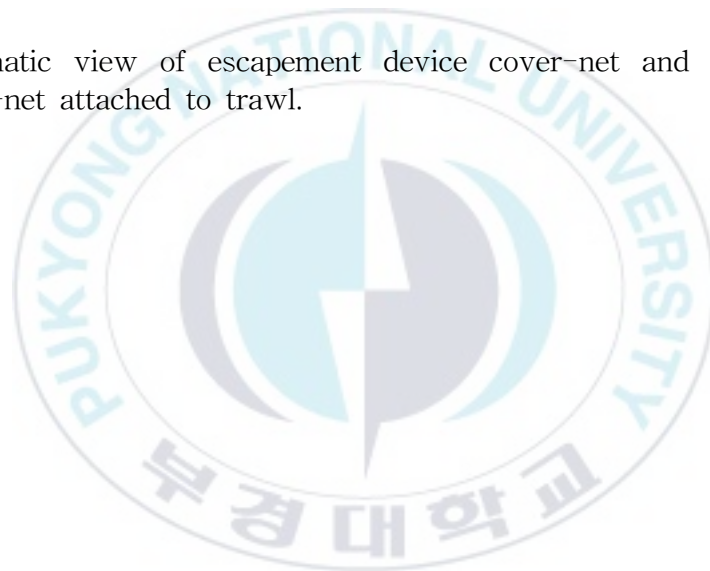


Fig. 2.2. Schematic view of escapement device cover-net and codend cover-net attached to trawl.



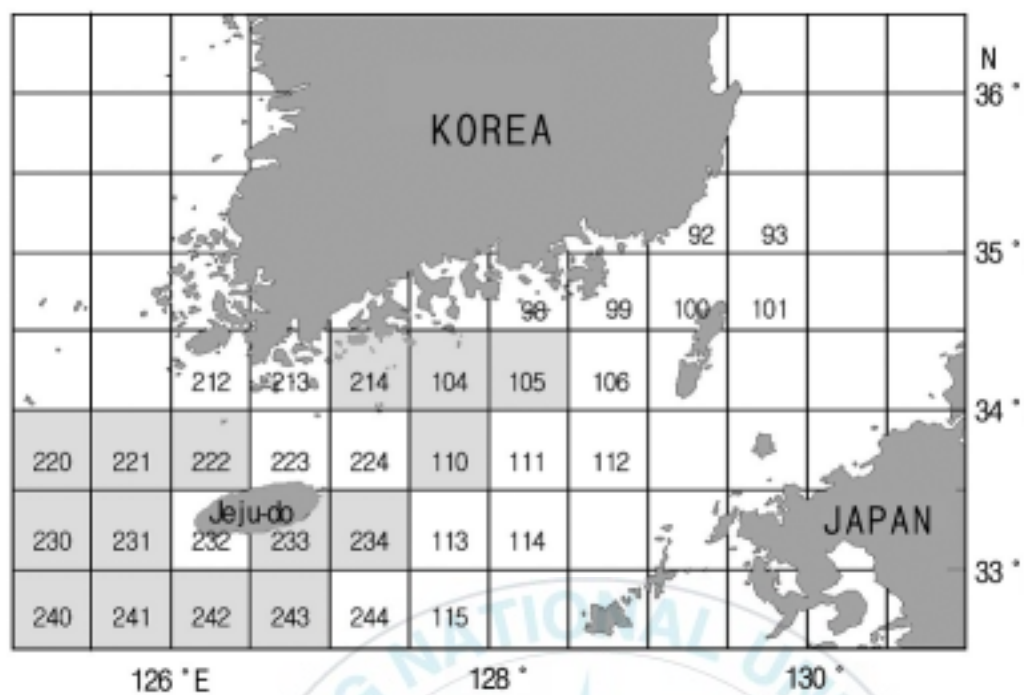


Fig. 2.3. Sea experiment areas for the investigation of survival rate for discarded fishes after hauling.

2.2 결과 및 고찰

투기어의 생존율을 조사하기 위하여 양망 직후 끝자루 덮망, 탈출장치 덮망에 있는 어획물을 각각 구분하여 선내에 비치된 수조에 넣어 시간 경과에 따른 생존율을 조사한 결과를 Table 2.1 및 Fig. 2.4, Fig. 2.5, Fig. 2.6, Fig. 2.7에 나타내었다.

또한 트롤어구의 자루그물에 어획된 어류의 생존율을 동일한 방법으로 조사한 결과, 살오징어(Squid, *Todarodes pacificus*), 창오징어(Squid, *Loligo chinensis*), 갈치(Large-head hairtail, *Trichiurus lepturus*), 달고기(John dory, *Zeus japonicus*), 삼치(Spanish mackerel, *Scomberomorus niphonius*), 참조기(Red-lip croaker, *Pseudosciaena polyactis*) 및 눈볼대(Blackthroat seaperch, *Doederleinia berycoides*) 등 대부분의 어류는 수조에 들어간 후 30분 이내에 전부 사망하였으나, 두툽상어(Tiger shark, *Galeocerdo cuvier*), 붕장어(Conger eel, *Conger myriaster*), 노랑가오리(Red skate, *Dasyatis akajei*), 문어(Octopus, *Paroctopus dofleini*), 말쥐치(Black scraper, *Navodon modestus*) 및 부채새우(Japanese fan lobster, *Ibacus ciliatus*) 등 일부 어종은 수조 내에서 장시간 생존하는 것으로 나타났다(Table 2.1.).

Table 2.1. Fishes died within 30 minutes and survived over 30 minutes

Survival time	Fish species
Within 30 minutes	Squid, Large-head hairtail, John dory, Spanish mackerel, Redlip croaker, Blackthroat seaperch
Over 30 minutes	Tiger shark, Conger eel, Red skate, Octopus, Black scraper, Japanese fan lobster

Fig. 2.4와 Fig. 2.5는 탈출장치와 끝자루를 빠져나온 두툽상어, 붕장어, 등가시치(blotched eelpout, *Zoarces gilli*), 노랑가오리, 문어, 말쥐치의 시간 경과에 따른 생존율을 나타낸 것이다. Fig. 2.4에서와 같이 등가시치는 사육 수조에 수용된 지 6시간 이내에 전부 사망하였으나, 두툽상어는 97%, 붕장어는 72%가 72시간 이상 생존하는 것을 보여 줌으로서 어획후 바다에 투기 되었을 경우 생존율이 높을 것으로 판단된다. 끝자루를 빠져나온 노랑가오리, 문어, 말쥐치의 생존율은 Fig. 2.5에 나타내었다. 노랑가오리는 선내 수조에 수용된지 60시간 이내에 모두 사망하였으나, 말쥐치와 문어의 약 25%는 72시간 이상 생존하였다.

Fig. 2.6과 Fig. 2.7은 탈출장치와 끝자루를 탈출한 홍감팽(Rosefish, *Helicolenus higendorfi*)과 부채새우의 생존율을 비교한 것이다. Fig. 2.6에서 탈출장치와 끝자루를 빠져나온 홍감팽의 생존율을 비교하여 보면, 끝자루를 탈출한 홍감팽은 72시간 이내에 모두 사망하였으나, 탈출장치를 빠져나온 홍감팽의 8.3%는 72시간 이상 생존함으로서, 탈출장치를 빠져나온 홍

갑쟁의 생존율이 끝자루를 빠져나온 홍갑쟁의 생존율보다 높은 것을 보여주었다. 그러나 Fig. 2.7에 보여진 것처럼, 탈출장치와 끝자루를 빠져나온 부채새우의 경우를 비교해 보면, 72시간 이상 생존한 새우의 생존율은 각각 33%와 75%로서 끝자루를 탈출한 부채새우의 생존율이 훨씬 높은 것으로 나타났다. 두툽상어, 붕장어, 말쥐치 등은 어획된 후 사육수조에서도 상당시간 생존하는 것을 보여주었으므로, 선상에서 공기중 노출시간을 단축하고 어획 후 바다에 투기 된다면, 투기어의 생존율을 향상시킬 수 있으므로 자원으로의 재가입이 가능할 것으로 생각된다.

이상의 결과로부터, 트롤 어구에서 어획된 후 해상으로 투기되는 어류 중에서 대부분의 어종은 즉시 사망하므로 수산 자원으로서 가입 효과를 기대하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 어업자원의 효율적 관리 및 지속적 유효이용을 위해서는 비목표 어종 및 소형어류가 선상에 양망되기 전에 수중에서 트롤 어구를 빠져나갈 수 있도록 하여 투기어를 감소시킬 수 있는 선택적 어구어법의 개발이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한 양망되어 선상에 올라온 미성숙 소형어 또는 비목표 어종의 투기 후 생존율을 향상시키는 연구가 병행되어야 한다. 이러한 연구로서 일본의 소형저인망에서는 투기어의 생존율을 향상시키기 위하여 갑판상에 유수식 수조를 만들거나 샤워 시설을 설치하여 어획물 선별과정에서 어류가 공기중에 폭로되는 것을 방지하는 연구가 수행되고 있으며, 이들 방식으로 투기어의 생존율을 크게 향상시킨다고 보고하고 있다(大谷 등, 1997, 香川, 1997). 우리나라의 트롤 어선에서도 투기어의 생존율을 향상시키기 위해서는 이와 같은 방식의 도입에 관한 검토가 필요하다고 생각된다.

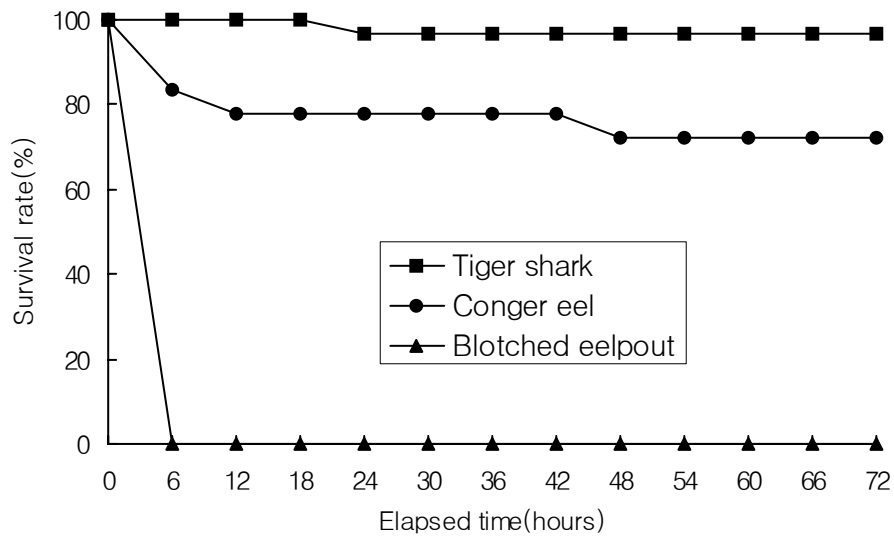


Fig. 2.4. Survival rate of Tiger shark (n=32), Conger eel (n=18) and Blotched eelpout (n=10) escaped from the escapement device (bar space 35mm).

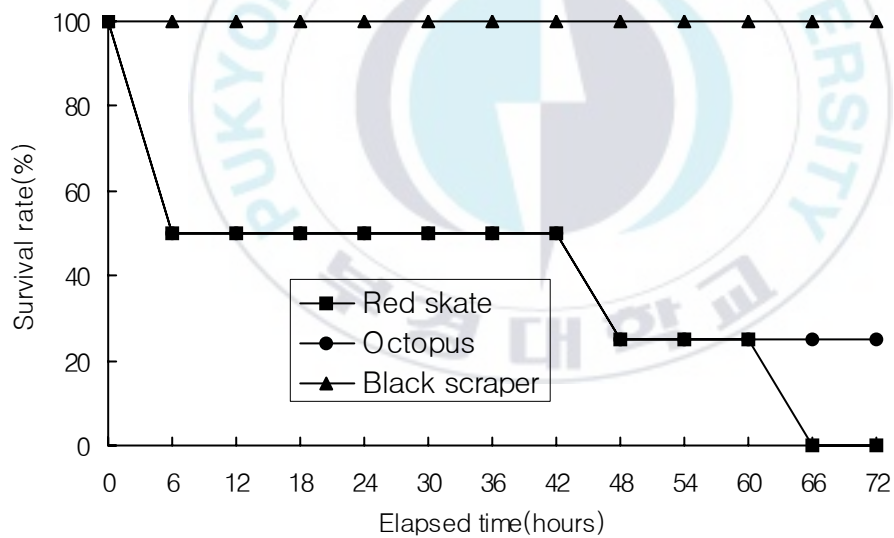


Fig. 2.5. Survival rate of Red skate (n=4), Octopus (n=4) and Black scraper (n=2) escaped from codend.

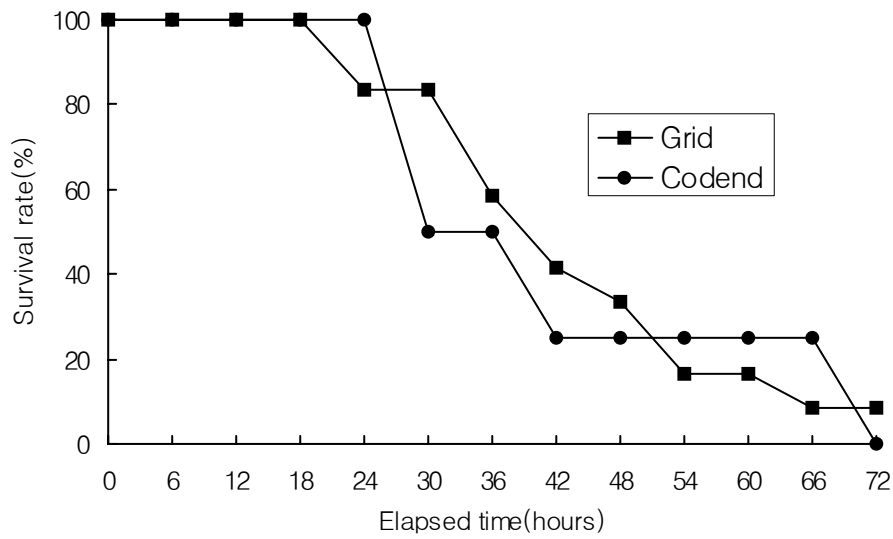


Fig. 2.6. Survival rate of Rosefish escaped from the escapement device (n=12) and the codend (n=4).

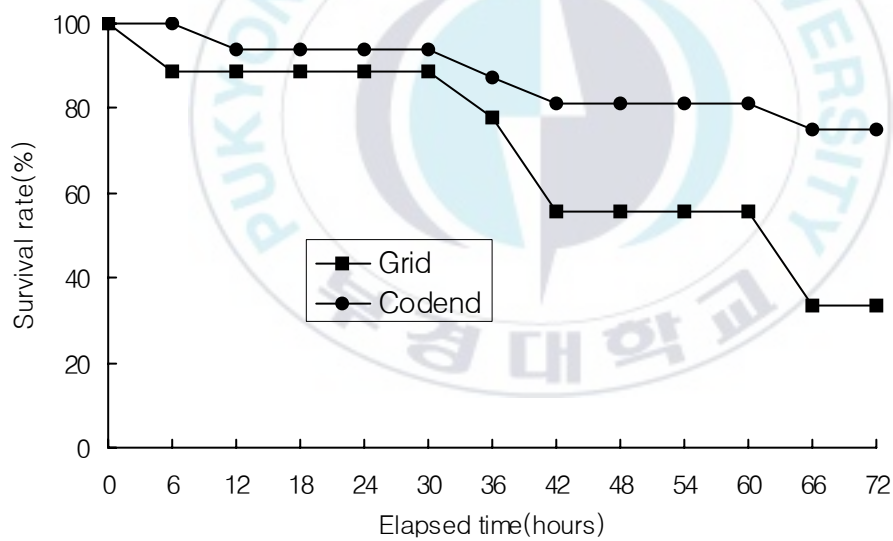


Fig. 2.7. Survival rate of Japanese fan lobster escaped from the escapement device (n=9) and the codend (n=16).

2.3 요약

트롤 어구로부터 탈출한 소형어류의 생존율을 향상시킬 수 있는 자원관리형 어구어법을 개발하기 위한 기초 조사로서, 트롤에서 양망 후 투기되는 어류의 생존율을 조사하기 위한 시험조업이 한국 남해안 및 제주도 근해에서 이루어졌다. 트롤의 탈출장치와 끝자루를 탈출한 소형어류를 선내에 비치된 사육수조에 수용하여 시간대별로 생존지속 시간을 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

트롤 끝자루에 어획된 어류를 선상에 비치된 사육수조에 넣어 생존율을 조사한 결과 살오징어, 창오징어, 갈치, 달고기, 삼치, 참조기 및 눈볼대 등 대부분의 어종은 양망 후 선별과정에서 즉시 사망하였으며, 두툽상어, 봉장어, 노랑가오리, 말쥐치, 부채새우 등은 수조내에서 장시간 생존하였으므로 이들 어종은 투기된 후에도 생존할 확률이 높을 것으로 생각된다.

한편 탈출장치를 빠져나온 등가시치는 수조에 수용된지 6시간 이내에 전부 사망하였으나, 97%의 두툽상어와 72%의 봉장어는 72시간 이상 생존하였고, 끝자루를 빠져나온 가오리는 수조에 수용된지 60시간 이내에 모두 사망하였으나, 25%의 말쥐치와 문어는 72시간 이상 생존하였다.

또한 홍감팽의 경우 탈출장치와 끝자루를 빠져나온 개체간의 생존율을 비교해보면, 끝자루를 빠져나온 홍감팽은 72시간 이내에 전부 사망하였으나, 탈출장치를 빠져나온 것의 8.3%는 72시간 이상 생존하는 것을 보여줌으로써, 탈출장치를 빠져나온 개체의 생존율이 다소 높았다.

제3장 탈출어류의 생존율

트롤 선택성의 향상은 탈출어류의 생존이라는 가정을 바탕으로 하고 있으며, 자원학자들은 최소한의 망목 크기만을 허용하기 때문에 트롤 탈출어류의 생존율 문제는 그 중요성이 점점 증가되고 있다(Suuronen 등, 2005). 좀더 큰 망목은 더 많은 양의 어류가 트롤망을 빠져나갈 수 있다는 것을 의미하지만, 만약 탈출한 어류의 생존이 저조하다면, 망목크기를 증가시킴으로써 얻어지는 장점들이 없어질 수도 있을 것이다(Kuikka 등, 1996; Breen and Cook, 2002). 지금까지 세계 각국에서는 트롤에서 소형어류의 어획과 목표종 이외 어종의 혼획을 줄이기 위하여 많은 노력을 기울여왔으며, 여러 종류의 트롤 탈출장치들이 개발되었다. 또한 효과적인 자원관리를 위해서 탈출한 어류의 생존과 사망에 관하여 연구해왔다.

우리 나라 근해에서 조업하고 있는 대표적인 어업인 트롤어업은 타 어구에 비하여 어획성능이 매우 우수하여 과도어획의 소지가 많고, 다이아몬드형 망목 끝자루의 구조적 특성으로 인해 소형어류의 탈출이 어렵고, 탈출한 어류도 탈출시의 어체 손상으로 생존율이 극히 저조할 것으로 추정되어 자원관리의 주 대상 어업으로 등장하고 있는 실정이다. 따라서 수산자원의 효율적인 관리를 위해서 트롤어업 뿐만 아니라 모든 어업에서 목표종 이외의 부수 어획종과 소형어류의 어획을 감소시킬 수 있는 방법을 강구하여야 할 것이다.

이를 위하여 Broadhurst 등(1999b)과 Liggins 등(1997)은 부수 어획과 투기어를 감소시키고 가입이전 미성숙어를 어획단계 이전에 탈출시킬 수 있는

방법을 연구하였고, 특히 Watson 등(1986)은 거북 탈출장치, Otterlind(1990)은 대구류 소형어류 탈출장치, Stergiou 등(1997)은 새우류 혼획 방지장치 그리고 Cho 등(2005)은 트롤망의 소형어류 탈출장치 등 각종 탈출장치를 고안하여 실용화 시험을 실시하고 있으며, 이와 동시에 Sangster(1989)와 Main and Sangster 등(1990, 1991)은 트롤어구에서 탈출한 소형어류가 자원으로 재가입될 수 있는 확률을 증가시키기 위한 생존율 향상에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 트롤망으로부터 탈출한 소형어류의 생존율을 조사하기 위하여 남해안 및 거문도 근해에서 해상시험을 실시하였으며, 트롤망에 부착된 탈출장치 및 트롤 끝자루를 탈출한 어류의 개체수와 생존율을 조사하여 그 결과를 비교·분석하였다.



3.1 재료 및 방법

3.1.1 시험 어구

본 연구에 사용된 어구는 제2장의 연구에서 사용된 것과 동일한 저층 트롤어구를 사용하였다(Fig. 2.1). 자루그물과 끝자루 사이에는 탈출장치 부착에 따른 어구의 안정성을 확보하기 위하여 망목 54mm 길이 약 5m의 연장그물을 부착하고, 연장그물의 등판에 탈출장치를 부착하였다. 부착된 탈출장치는 Bar 간격이 35mm인 Grid panel형으로 1개의 크기가 1,013×883mm인 Frame 4개를 연결하는 구조로 구성되었다(Fig. 3.1). 또한 입망된 어류 중 트롤어구를 빠져나간 어류를 수용하기 위해 탈출장치와 끝자루의 바깥쪽에 망목내경 30mm인 덮망을 부착하여 탈출장치와 끝자루를 통해 빠져나온 어류를 수용할 수 있도록 하였다.



Fig. 3.1. Schematic view of Trawl Escapement Device (TED) for Grid panel type.

3.1.2 원격 분리 가두리 시스템

트롤을 탈출한 어류의 생존율을 조사하기 위해서는 탈출한 어류를 수중 채집 후 수압 변화에 따른 영향을 최소화할 수 있도록 적응시키면서 관측이 가능한 지역으로 이동하여 일정기간 사육하며 관찰할 필요가 있다. 이를 위해 트롤 본체와 탈출 어류 수집용 가두리의 수중 분리가 원활하게 이루어질 수 있도록 하고, 분리된 가두리는 가두리와 연결된 뜬의 부력에 의해 일정 수심까지 서서히 부상하도록 설계, 제작하였다.

탈출어류 수집용 가두리의 분리는 선박에서 발사되는 음향신호를 덮망 분리부 앞부분에 부착된 음향분리장치(Fig. 3.2)로 수신하여 음향분리장치가 작동됨으로써 조업시험 중 수중에서 분리될 수 있도록 구성되어 있는데, 분리 부분 및 닫히는 부분에는 링을 부착하였고, 각 링을 연결한 줄이 뜬의 부력에 의해 가두리가 분리되고 분리된 부분이 닫힐 수 있도록 만들어졌다.

트롤 끝자루의 규모(길이 5m, 직경 2m)와 시험선의 갑판규모 등을 고려하여 탈출어류 수집용 가두리의 규모는 길이 8m, 직경 2.5m가 되도록 설계, 제작하였다(Fig. 2.2, Fig. 3.3).



Fig. 3.2. The view of Acoustic Releaser attached to the trawl.

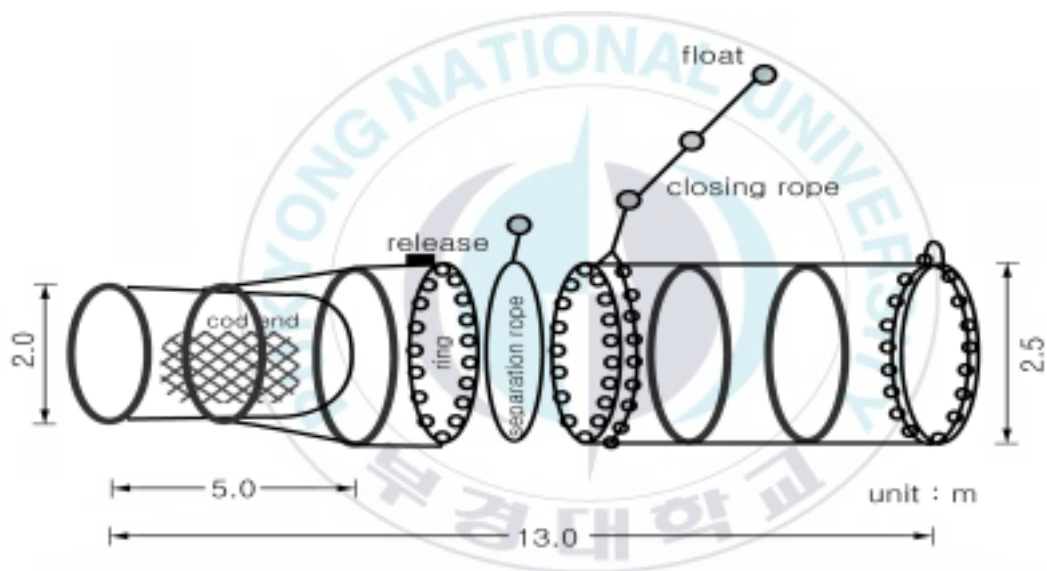


Fig. 3.3. Schematic view of escapement device fish cage and codend fish cage attaching to the trawl.

3.1.3 탈출 행동 및 생존율 수조 실험

실험수조는 Fig. 3.4와 같이 두께 20mm의 아크릴 판을 이용하여 내경 770mm, 높이 300mm의 원기둥형으로 제작하였다. 수조는 원기둥 속에 두께 7mm의 아크릴 판을 이용하여 내경 290mm의 실린더를 제작하고 탈출장치를 예인하기 위한 모터를 설치하기 위하여 파이프를 이용하여 지지대를 설치하였다. 수조 실험에 사용된 탈출장치는 망목 24.0mm 및 29.0mm의 PE 사각 망지를 이용하여 길이 240mm, 높이 280mm의 스테인리스로 만든 직사각형 틀 속에 부착하였다. 예인속도를 조절하기 위하여 모터에는 감속장치를 설치하였으며, 황점볼락 58마리(망목 24.0mm) 및 32마리(망목 29.0mm)에 대한 탈출률 및 생존율 실험을 위하여 0.7 노트의 속도로 예인하였다.

실험에 사용된 시험어들은 양식장에서 사육된 황점볼락(Oblong, *Sebastes oblongus*)을 이용하였으며, 실험 전 2주간 실내수조에 순치 시켰으며, 실험 후 생존율 측정을 위하여 개체별로 분리하여 관찰하였다. 실험에 사용된 시험어들의 어체조성은 평균전장 81mm, 평균체장 69mm, 평균체고 22mm, 평균체폭 10mm 그리고 평균체중은 8.5g 이었다.

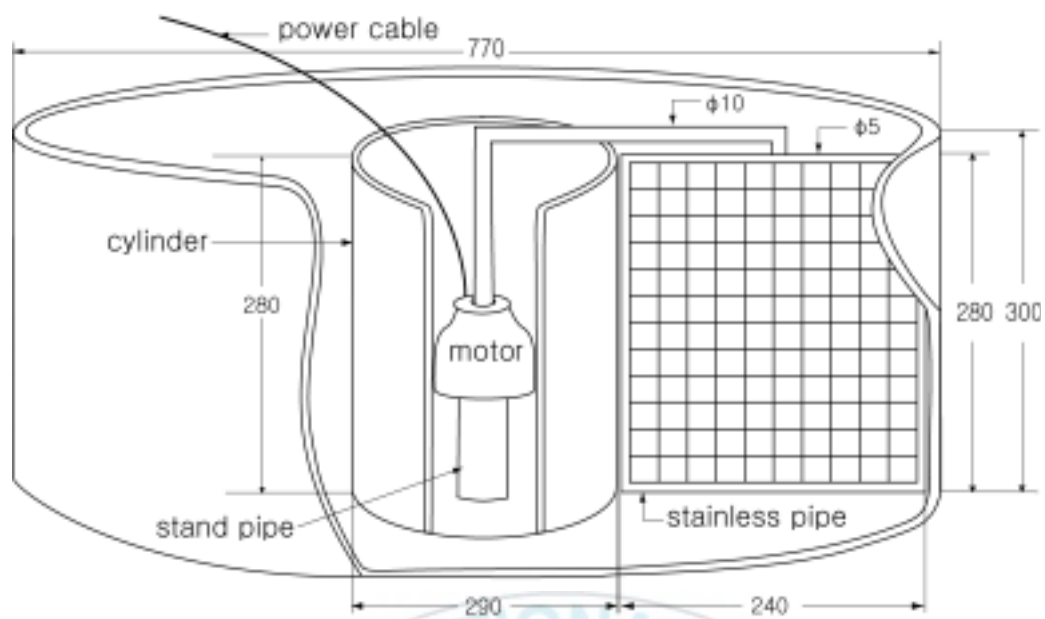


Fig. 3.4. A water tank for the experiment of the escapement behavior and survival rate.

3.1.4 시험 해역 및 조사 방법

해상시험은 2000년 4월에서 2001년 4월 사이에 국립수산물과학원 시험조사선 탐구 1호(G/T 2,180tons, 7,500HP)를 이용하여 남해안 일원 및 거문도 주변해역에서 4항차 33회에 걸쳐 실시하였다(Fig. 3.5). 주요 어종별 어체 조성 및 생존율 분석은 일반적인 어획방법에 의한 시험어구를 매회 약 1시간 예망 후 트롤어구의 끝자루, 끝자루 덮망 및 탈출장치 덮망에 어획된 어류를 분리 수집하여 전량 측정을 원칙으로 어종별로 어획마리수, 전장, 가랑이 체장 또는 체장 및 체중을, 두족류는 동장과 체중을 측정하였으며, 어획량이 아주 많은 경우는 어종별 무작위로 50-100마리를 추출하여 측정하였다.

이와 함께 각 실험별로 끝자루와 탈출장치를 통해 탈출한 어류는 원격분리 가두리에 수용된 상태에서 Fig. 3.5에 나타낸 가두리 설치 해역까지 소형선박을 이용하여 1-2노트 속도로 약 2시간 예인하였고, 예인된 가두리는 각각 10kg의 닻 3개를 가두리 밑부분에 연결, 고정한 후 설치하였다. 이때 가두리 설치장소의 수심은 약 30m 내외였으며, 저질은 사니질이었고, 설치수심은 약 20m 수층을 유지하도록 하였다. 그리고 어류 수용 가두리 설치 후 매일 2회씩 잠수조사를 통하여 각 가두리별 어류의 생존상태를 조사하고, 사망한 개체는 수거하여 어체측정을 실시하였으며, 탈출위치별 시간경과에 따른 어종별 생존율을 조사하였다.

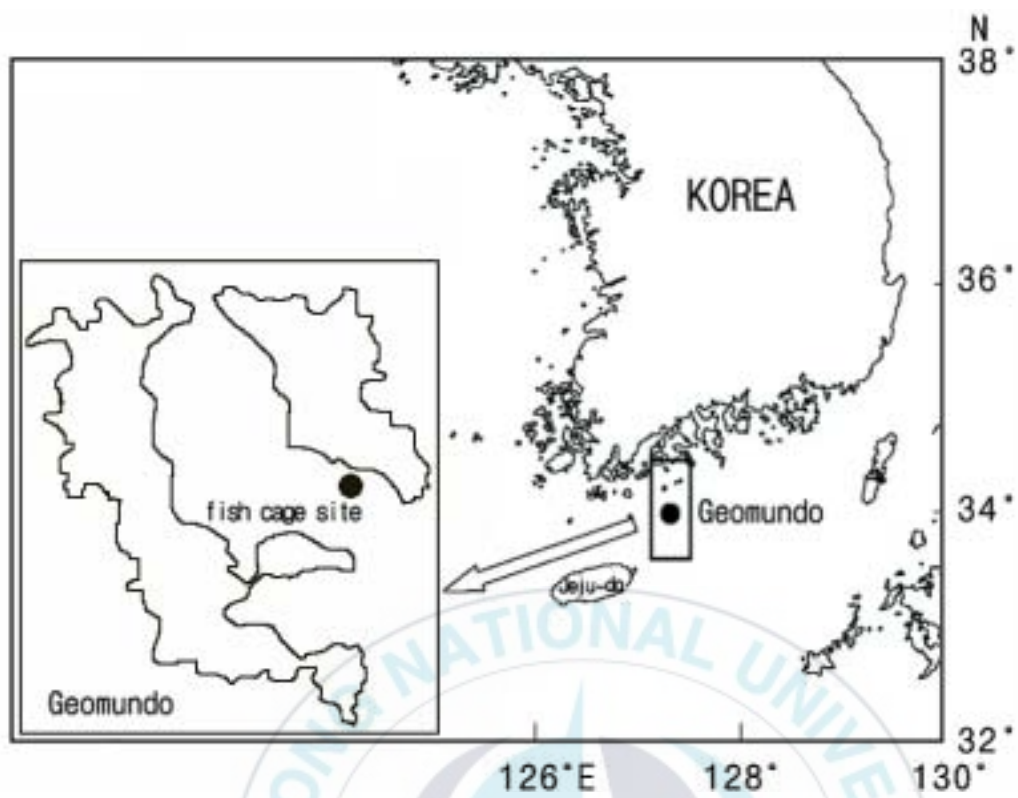
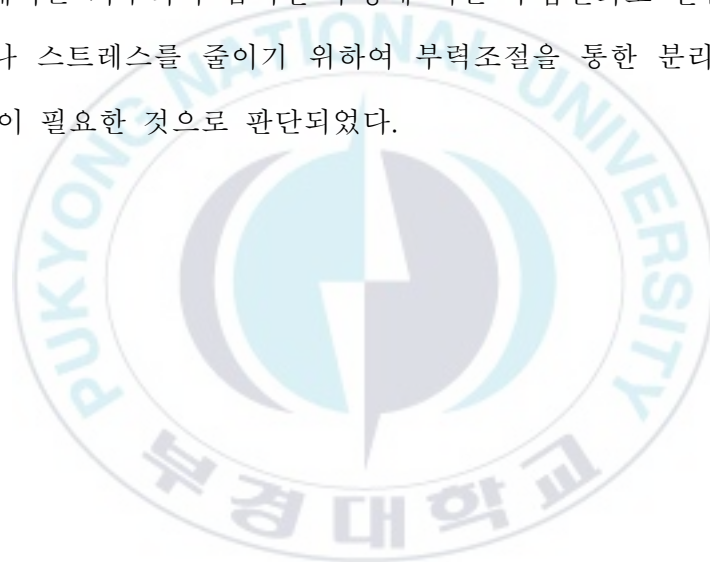


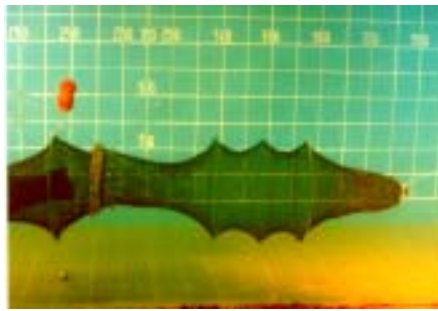
Fig. 3.5. Sea experiment areas for the investigation of the survival rate of fishes escaped from TED and codend, and fish cage site.

3.2 결과 및 고찰

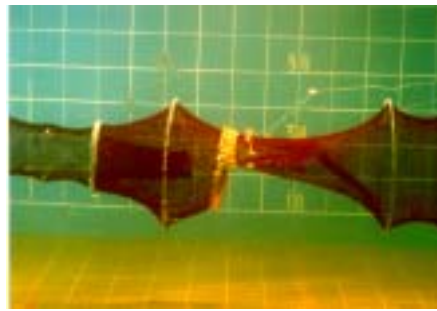
3.2.1 뿔망 가두리 분리 수조 실험

해상에서 분리가두리의 원활한 분리를 위하여 수조에서 모형 분리장치의 분리과정을 Fig. 3.6에 나타내었다. 분리가두리 분리 작동실험 결과, 그림과 같이 끝자루 뿔망을 분리하기 위하여 여러 개의 링을 이용하여 분리부분을 로프로 고정시켜 두었다가, 분리로프의 잠금장치가 해제되어 풀려 올라가면서 단계적으로 분리되는 과정과 완전히 분리된 가두리의 입구가 조임줄에 의해 입구가 닫히는 작동은 양호하게 이루어졌다. 그러나 이것을 해상시험에 사용하기 위해서는 가두리의 급격한 부상에 따른 수압변화로 인한 어류의 어체 손상이나 스트레스를 줄이기 위하여 부력조절을 통한 분리가두리 부상속도의 조절이 필요한 것으로 판단되었다.

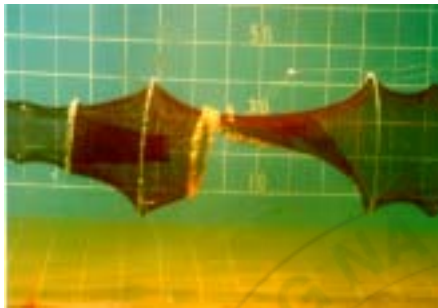




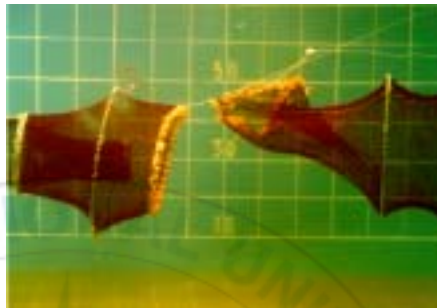
(I)



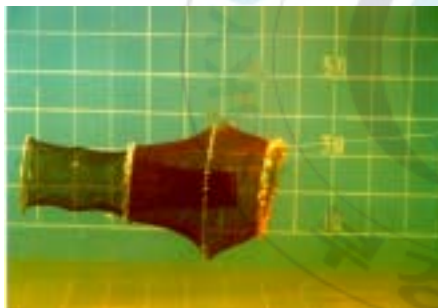
(II)



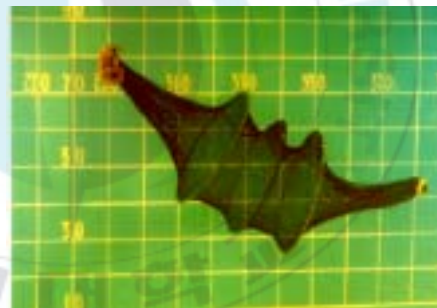
(III)



(IV)



(V)



(VI)

Fig. 3.6. Gradual separation process of the model fish cage.

3.2.2 탈출 행동 모니터링 수조 실험

24.0mm 및 29.0mm인 사각망목에 대한 탈출 실험 후, 표피손상으로 인한 시험어의 사망은 관찰되지 않았으며, 어체 손상 및 비늘 손실은 거의 없었다. 두 종류의 망목에 대한 탈출률을 살펴보면 24.0mm 망목에 대하여 59% 그리고 29.0mm에 대하여 84%의 황점볼락이 탈출장치의 망목을 통과하여 탈출하였다. Fig. 3.7 및 Fig. 3.8는 각각의 망목에 대한 황점볼락의 탈출시간을 비교하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 탈출한 어류의 탈출시간을 분석해보면 29.0mm 망목에 대한 실험에서 탈출한 시험어들의 평균 탈출 시간은 약 1분 8초였으며, 24.0mm 망목에 대해서는 약 3분이 소요되었다.

사각망목 탈출어의 생존율 수조실험에 있어서 탈출장치에 대한 황점볼락의 반응을 보면 대부분의 시험어들은 예인장치의 예인시작과 동시에 약 30초 정도의 빠른 도피 유영행동을 보이다가, 장치에 몸을 비스듬이 기댄 채로 그대로 밀리는 행동을 반복하였다. 그리고 머리 부분부터 사각망목을 통과하면서 탈출에 성공하였으며, 반대로 탈출에 성공하지 못한 시험어들의 도피행동을 보면 도피하기 위한 유영행동을 거의 보여주지 못하고 장치에 몸을 의지한 채로 지속적으로 밀리는 행동을 보였다. 또한 어체 크기가 망목보다 다소 작은 어류들은 유영속도가 느려지고 예인장치의 예인속도에 의해 추월당하면서 꼬리 부분부터 자연스럽게 빠지는 경우도 관찰되었다. 몇몇 시험어들은 예인 중 장치를 피하기 위하여 장치와 같은 방향으로 도피 유영행동을 보이다가 갑자기 예인장치를 향하여 돌진하면서 사각망목 탈출장치를 통과할 듯한 행동을 보이다가 장치 바로 앞에서 다시 역유영하는 도피 행동을 보여 주었다.

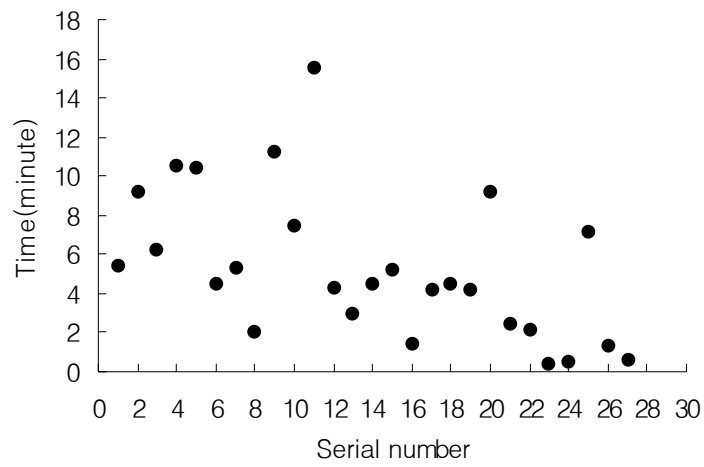


Fig. 3.7. Escapement time of Oblong rockfish (24.0mm, n=27).

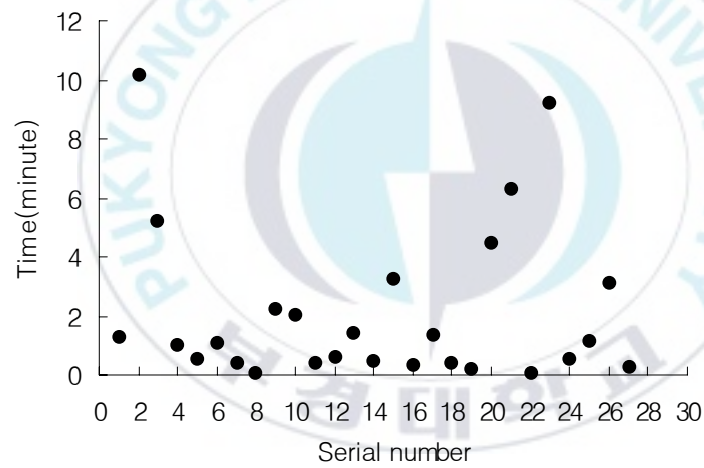


Fig. 3.8. Escapement time of Oblong rockfish (29.0mm, n=27).

3.2.3 분리가두리에 수용된 탈출어류의 생존 시간

탈출장치와 끝자루를 통해 탈출한 어류가 들어 있는 분리가두리를 음향 분리장치에 의해 원격 분리시킨 후 끝자루 덮망 분리가두리와 탈출장치 덮망 분리가두리에 나누어 수용한 후, 시간 경과에 따른 어류의 생존 지속시간을 잠수조사를 통하여 측정하였다. 끝자루와 탈출장치를 통해 탈출한 어류의 시간경과에 따른 생존율을 Table 3.1, Table 3.2 그리고 Fig. 3.9-Fig. 3.14에 나타내었다.

시험기간 중 가장 많이 어획된 전갱이(Horse mackerel, *Trachurus japonicus*)의 생존 지속시간은 Fig. 3.9에서 알 수 있듯이, 탈출장치를 통해 탈출한 개체와 끝자루를 탈출한 개체 모두 12시간까지는 대부분의 탈출어류가 생존하였으며, 12시간 경과 후부터 그 차가 벌어지기 시작하는 것을 알 수 있었다. 탈출장치를 탈출한 전갱이의 경우 96시간이 경과한 시점에도 85.5%의 높은 생존율을 나타내었으나, 끝자루를 통해 탈출한 전갱이는 24시간 경과시 85.0%, 48시간 경과시 76.4%, 72시간 경과시 62.7%, 96시간 경과시 56.1%로 시간의 경과에 따라 생존율이 급속히 감소하는 것을 보여주었다. 이것은 전갱이가 끝자루를 탈출하는 과정에서 표피 손상이나 비늘손실로 인하여 상처를 입었기 때문으로 생각된다.

Table 3.1. Survived number of fishes escaped from codend according to the time elapse (Unit: Number)

Time (hour)	Fishes escaped from codend						
	Horse mackerel	Mackerel	Red seabream	Rock bream	Korean pomfret	Redlip croaker	White croaker
0	8,373	267	9	6	137	1	14
12	7,815	263	9	6	9	0	0
24	7,115	252	9	6	4	0	0
48	6,396	229	9	4	0	0	0
72	5,250	221	7	4	0	0	0
96	4,697	214	6	3	0	0	0

Table 3.2. Survived number of fishes escaped from TED according to the time elapse (Unit: Number)

Time (hour)	Fishes escaped from TED						
	Horse mackerel	Mackerel	Red seabream	Rock breem	Korean pomfret	Redlip croaker	White croaker
0	440	138	9	4	725	14	11
12	428	133	9	4	187	2	0
24	419	125	9	4	18	0	0
48	399	107	9	4	2	0	0
72	386	97	9	4	2	0	0
96	376	92	8	4	2	0	0

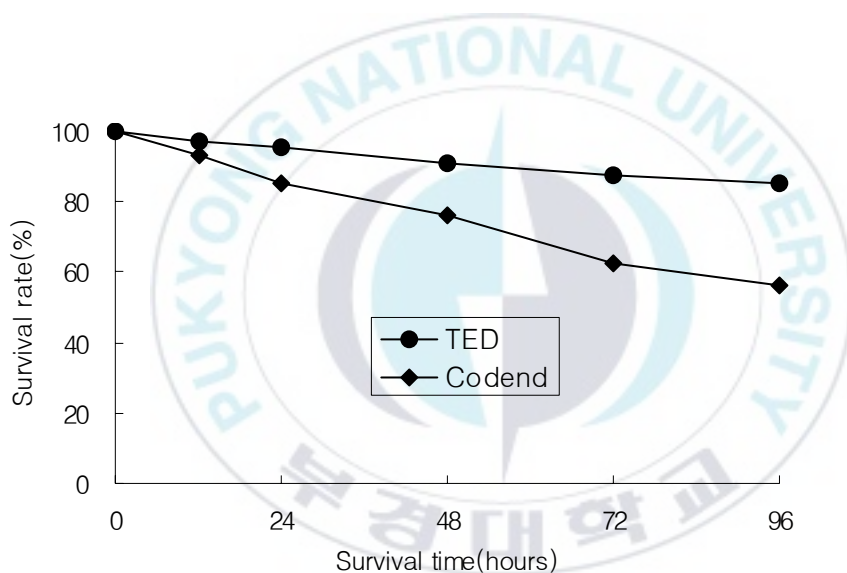


Fig. 3.9. Survival rate of Horse mackerel escaped from TED and codend according to the time elapse. ● Fishes escaped from TED (n=440) ◆ Fishes escaped from codend (n=8,373)

한편, 탈출어의 생존율 어획시험 중 선박에서 음향신호를 보냈을 때, 분리가두리가 수중에서 원활하게 분리된 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 전갱이를 대상으로 시간의 경과에 따른 생존율을 비교 조사하였다. 음향분리 장치에 의하여 수중에서 분리가 이루어진 경우 가두리를 수중에서 예인한 후 가두리 설치지역에서 생존율을 조사하였으며, 수중에서 분리가 되지 않은 경우는 선상에 가두리를 끌어올린 후 수동으로 분리하여 조사하였다.

전갱이의 경우 수중에서 분리가 이루어진 경우, 탈출장치를 탈출한 전갱이는 96시간 경과 후에도 거의 대부분이 생존해 있었으며, 끝자루를 탈출한 전갱이도 87.0%의 높은 생존율을 나타내었다. 그러나 원격분리가 제대로 이루어지지 않아 선미 갑판으로 가두리를 끌어올린 후 수동 분리한 경우 24시간 경과 후 생존율이 급격히 떨어져 15.4%의 생존율을 나타낸 것으로 보아, 양망 후 해상에 투기된 전갱이의 경우 생존율이 극히 저조할 것으로 추정된다. 따라서 트롤 탈출어류의 생존율을 높이기 위해서는 어획단계 이전에 어류가 수중에서 상처없이 자연스럽게 탈출될 수 있어야 탈출한 어류가 생존하여 자원으로 재가입 될 수 있는 확률이 높을 것으로 생각된다.

고등어(Mackerel, *Scomber japonicus*)의 생존 지속시간은 Fig. 3.10에 나타낸 것과 같이 끝자루를 통해 탈출한 개체와 탈출장치를 통해 탈출한 개체 모두 96시간이 경과한 시점에서도 70% 이상의 높은 생존율을 나타내었는데, 이것은 고등어의 체형이 방추형이고 체표면이 미끄러우므로 끝자루나 탈출장치를 빠져나가는 과정에서 어체의 손상이 거의 없었던 것이 그 원인으로 판단된다.

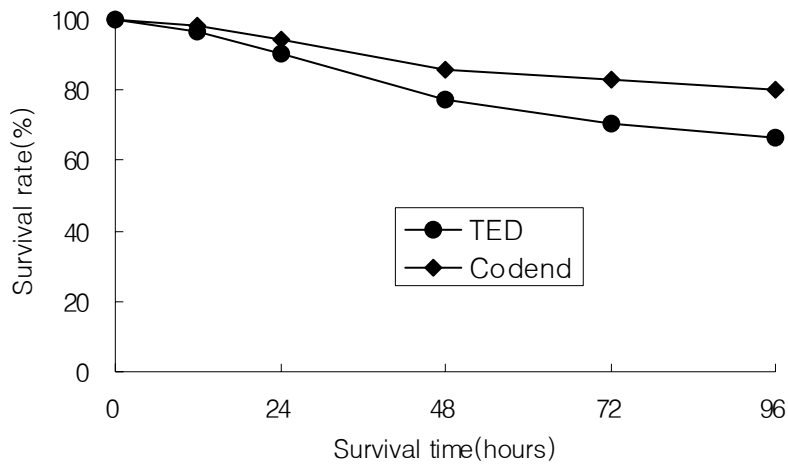


Fig. 3.10. Survival rate of Mackerel escaped from TED and codend according to the time elapse. ● Fishes escaped from TED (n=138) ◆ Fishes escaped from codend (n=267)

Fig. 3.11과 Fig. 3.12에 나타낸 것과 같이, 탈출장치를 탈출한 참돔(Red seabream, *Pagrus major*)과 돌돔(Rock bream, *Oplegnathus fasciatus*)의 생존율은 88.9% 및 100%의 어류가 96시간 이상 생존하는 것으로 나타났으며, 끝자루를 탈출한 참돔 및 돌돔의 생존율도 66.7% 및 50.0%로서 타 어종에 비하여 높은 생존율을 나타내는 것을 알 수 있었다.

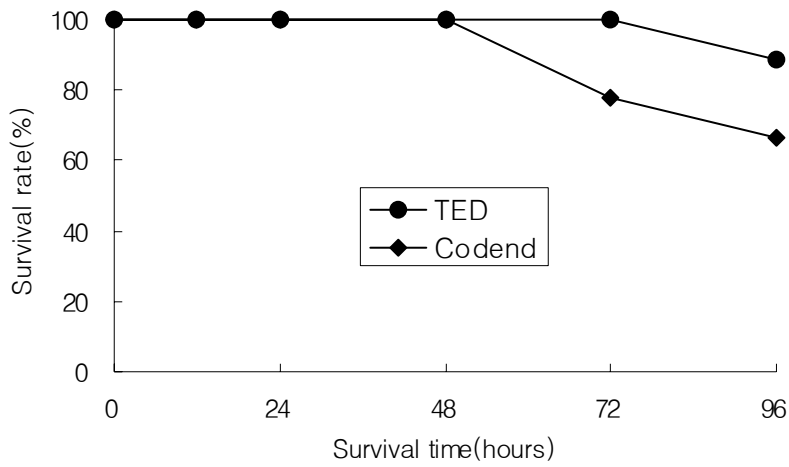


Fig. 3.11. Survival rate of Red seabream escaped from TED and codend according to the time elapse. ● Fishes escaped from TED (n=9) ◆ Fishes escaped from codend (n=9)

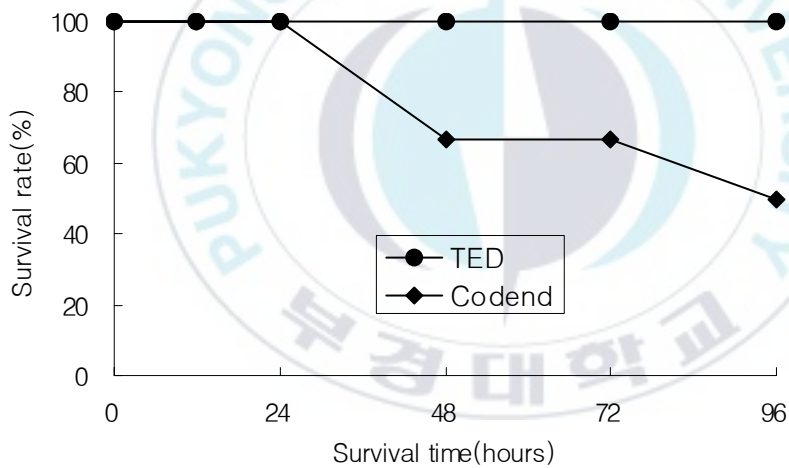


Fig. 3.12. Survival rate of Rock bream escaped from TED and codend according to the time elapse. ● Fishes escaped from TED (n=4) ◆ Fishes escaped from codend (n=6)

Fig. 3.13은 덕대의 시간경과에 따른 생존율을 나타낸 것으로, 덕대의 경우 탈출 위치에 관계없이 48시간이 경과하면 대부분의 개체가 사망하는 것으로 나타났으며, 끝자루를 탈출한 어류의 경우 12시간 경과 후 6.6%의 생존율을 나타낸 반면, 탈출장치를 탈출한 어류의 경우 25.8%를 나타내었다. 이러한 결과는 사망개체를 수거하여 어체조사를 실시한 결과, 어획수심과 가두리 설치수심이 서로 달라 수압차에 따른 내장돌출, 항문돌출, 안구파열 등의 어체손상이 나타났으며, 이러한 손상이 일부어종의 생존율에 크게 영향을 미친 것으로 판단된다.

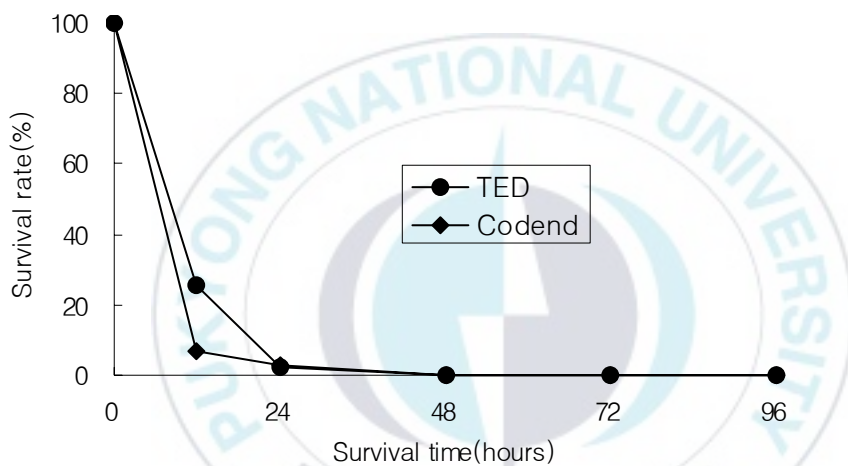


Fig. 3.13. Survival rate of Korean pomfret escaped from TED and codend according to the time elapse. ● Fishes escaped from TED (n=725) ◆ Fishes escaped from codend (n=137)

Fig. 3.14는 참조기의 시간경과에 따른 생존율을 나타낸 것으로, 참조기의 경우 탈출위치에 관계없이 전 개체가 12시간 이내에 사망하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 참조기가 어획과정에서 급격한 수압변동에 따른 부레돌출로 인하여 사망하는 것으로 판단된다.

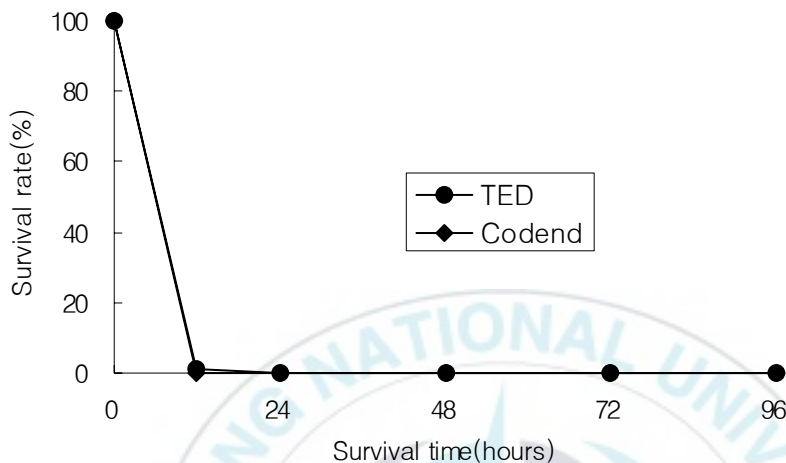


Fig. 3.14. Survival rate of Redlip croaker escaped from TED and codend according to the time elapse. ● Fishes escaped from TED (n=14) ◆ Fishes escaped from codend (n=1)

전갱이, 고등어 등과 같이 어체 표피가 경질부로 구성된 어류의 생존율은 높은 반면 참조기, 덕대, 보구치 등 수압변화에 민감한 어류와 살오징어 (Squid, *Todarodes pacificus*), 갈치 등 표피가 연질부로 구성되어 있는 어종은 어류수용 가두리를 해저에 설치 완료한 후 12시간 이내에 전량 사망하는 것으로 나타나 어종간 생존율 차이가 심한 것으로 나타났다. 따라서 탈출한 어류의 생존율을 높이기 위해서는 양망이전 단계에서 자연스럽게 트롤어구로부터 탈출할 수 있도록 하는 방안을 강구하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

3.2.4 양망 후 시간 경과에 따른 혈당 분석

선상으로 양망 후 갑판상의 공기 중에 폭로된 상태에서 시간경과에 따른 어류 사망 메카니즘을 해석하기 위하여 스트레스 지수 중 가장 기본적인 요소인 혈당 분석 결과를 Fig. 3.15에 나타내었다. 어획된 전갱이는 양망 후 최초 13분까지는 스트레스 반응에 의해 증가된 혈중 Catecholamine에 의해 간에 저장된 Glycogen이 Glucose로 분해되는 Glycogenolysis 현상 때문에 혈당농도가 203mg/dl에서 470mg/dl로 급속히 증가하고 있어, 충분한 스트레스 자극요인이 되고 있는 것으로 나타났다. 추후 예인시간 변화에 따른 스트레스 지수 분석과 호르몬 등 다른 인자를 이용한 스트레스 분석도 수행되어야 할 것으로 판단된다.



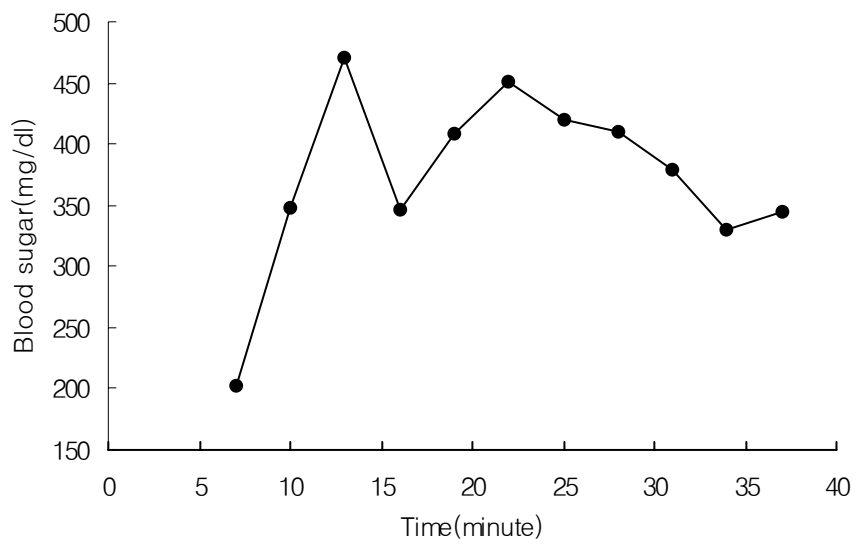
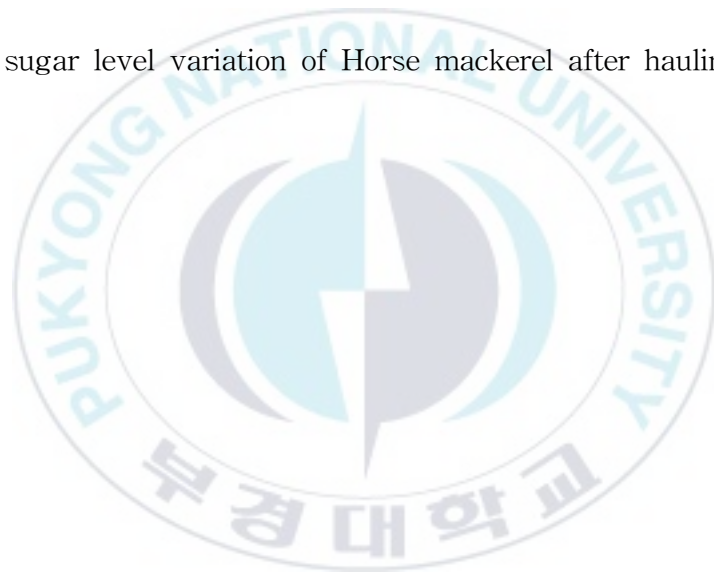


Fig. 3.15. Blood sugar level variation of Horse mackerel after hauling.



3.2.5 분리 수용된 가두리 내에서의 어군 행동

어류수용 가두리 내에 수용된 어류의 행동을 잠수조사를 통하여 관찰한 결과, 가두리내의 어군행동은 군을 이루어 동일하게 좌선회 혹은 우선회 유영을 하는 것으로 나타났으며, 고등어와 전갱이가 혼획된 경우에는 전갱이보다 고등어가 더 상층부에 군을 이루어 유영 선회하는 것으로 나타났다 (Fig. 3.16).

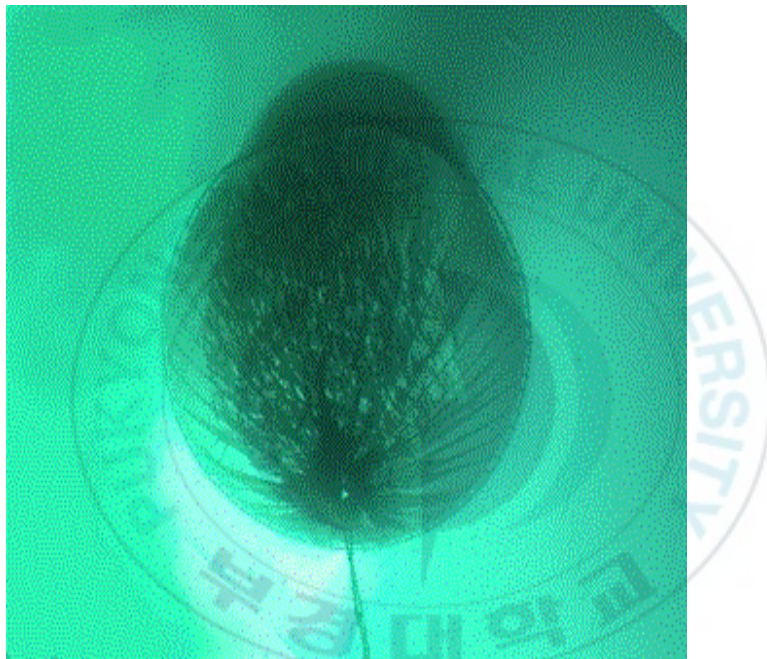


Fig. 3.16. Fish cage installed on the sea bottom after separating.

3.3 요약

트롤망으로부터 탈출한 소형어류의 생존율을 향상시킬 수 있는 자원관리형 어구어법 기술개발을 위한 기초 조사로서 트롤망에서 탈출한 어류를 수중에서 수집할 수 있는 원격분리형 가두리를 설계·제작하여, 거문도 주변 해역 및 남해안에서 트롤망에 의한 시험조업을 행하고 양망 후 소형어류 탈출장치 및 끝자루를 탈출한 어류를 수중 가두리에 수용한 후 어종별 생존율을 조사하였다.

원격분리된 끝자루 덮망 분리가두리와 탈출장치 덮망 분리 가두리 내에 어획된 어종 가운데 가장 많이 어획된 전갱이의 생존 지속시간은 탈출장치를 통해 탈출한 개체의 경우 96시간이 경과한 시점에서 85.5%의 높은 생존율을 나타내었으나, 끝자루를 통해 탈출한 개체는 24시간 경과시 85.0%, 48시간 경과시 76.4%, 72시간 경과시 62.7%, 96시간 경과시 56.1%로 시간의 경과에 따라 급속히 감소하는 경향을 보였다. 탈출장치를 탈출한 참돔 및 돌돔은 약 90% 이상이 96시간 이상 생존하는 것으로 나타나 타 어종에 비하여 생존율이 매우 우수하였으며, 덕대의 경우 탈출장치나 끝자루에 관계없이 48시간이 경과하면 대부분의 개체가 사망하는 것으로 나타났고, 참조기의 경우는 대부분의 개체가 12시간 이내에 사망하는 것으로 나타났다.

전갱이 등과 같이 어체 표피가 경질부로 구성된 어류의 생존율은 높은 반면 참조기, 덕대, 보구치 등 수압변화에 민감한 어류와 살오징어, 갈치 등 표피가 연질부로 구성되어 있는 어종은 어류수용 가두리를 해저에 설치한 후 12시간 이내에 전량 사망하는 것으로 나타나 어종간 생존율 차이가 심한 것을 알 수 있었다. 어류수용 가두리 내에 수용된 어류의 행동은 동일한 어군

이 군을 이루어 좌선회 혹은 우선회 하는 행동을 보였으며, 고등어와 전갱
이가 혼획된 경우에는 전갱이보다 고등어가 더 상층부에 군을 이루어 유영
선회하는 행동을 보였다.



제4장 고품체 탈출장치의 성능

트롤어업에 있어서 어구어법 기술의 발달은 지속적으로 어업생산량을 증대시켜 인류의 식량 자원 증대에 많은 기여를 하여 왔으나, 근래에 이르러 첨단화된 어구는 결국 수산자원의 과잉어획으로 인한 자원의 부족이라는 결과를 낳게 되어 수산물의 지속적 생산에 새로운 문제점으로 대두되고 있다. 더구나 해양오염의 가속화와 어업기술의 발달에 따른 자원의 과도어획, 불법어업의 성행으로 어업자원이 급격한 감소현상을 나타내고 있어 수산자원의 지속적인 생산을 유지하고, 자원을 효율적으로 관리할 수 있는 새로운 자원관리형 어업의 필요성이 전 세계적인 관심사로 떠오르기 시작하였다.

이러한 문제점들을 해결하기 위한 외국의 자원관리형 어업기술 개발의 구체적인 사례를 살펴보면, 트롤 끝자루에서의 사각망목 부착에 관한 연구(Broadhurst and Kennelly, 1996a; Broadhurst 등, 1996b), 트롤 탈출장치의 설계 및 개발에 관한 연구(Mounsey 등, 1995; Robbins-Troeger 등, 1995), 새우트롤에서의 거북 탈출장치 개발(Kendall, 1990; Andrew 등, 1993; Robbins-Troeger, 1994) 등 많은 연구가 있으며, 우리나라에서도 선택적 어구어법 등 자원관리형 어구어법 개발을 위하여 많은 연구를 수행하고 있다.

우리나라 연근해에서 조업하고 있는 여러 가지 어업 중 대표적인 어업 가운데 하나인 트롤어업은 타 어구에 비하여 저층에서의 소해면적이 넓고 목표 어종의 분리어획이 어려워 목표종 이외의 어종에 대해서도 과도어획의 소지가 많고, 예망시 다이아몬드 망지의 구조적 특성으로 인해 소형 어류의 탈출이 어려우며, 또한 끝자루를 빠져나온 어류도 심한 어체 손상으로 생존

율이 매우 저조한 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 트롤망에서 소형 어류가 원활하게 탈출할 수 있는 장치를 개발하기 위하여 끝자루 앞쪽 천장망에 Grid형 탈출장치를 부착하여 끝자루와 탈출장치를 통하여 탈출한 소형 어류의 탈출률을 조사하였다.



4.1 재료 및 방법

4.1.1 탈출장치 재질 선정

탈출장치는 어구에 부착하여 해수에서 사용되므로 내부식성과 고강도일 것이 요구된다. 따라서 트롤어구에 부착이 쉽고, 어로작업 운용 및 조작에 적합한 탈출장치를 제작하기 위하여 4종의 공업용 플라스틱과 스테인리스 파이프의 물리적 성능을 조사하였다. 그 결과는 Table 4.1과 같이 인장강도, 굴곡강도 및 열변형 온도 등 성능면에서는 스테인리스 파이프와 Mono Cast Nylon을 재질로 한 MC봉이 우수한 것으로 나타났으므로, 시험용 탈출장치의 재질을 MC봉과 스테인리스 파이프 2종으로 선정하여 탈출장치를 제작하였다.

Table 4.1. Physical efficiency and price of the TED materials

Items	Materials of bar				Stainless pipe
	MC	PE	PP	POM	
Tension strength (kg/cm ³)	850	250	410	620	5,300
Bending strength (kg/cm ³)	1,050	30	492	980	2,100
Thermal change (°C)	200	140	132	110	1,100
Specific gravity	1.15	0.92	1.25	1.41	8.97
Price (won/m)	1,500	1,000	1,300	1,800	1,500

※ MC: Mono Cast Nylon, PE: Polyethylene, PP: Polypropylene, POM: Polyoxymethylene

4.1.2 탈출장치 Bar 간격

탈출장치의 제작에 있어서 가장 중요한 요소는 대상어류가 탈출과정에서 어체 손상 없이 원활하게 탈출할 수 있는 적정 Grid bar의 간격을 결정하는 일이다. 대부분의 어종은 어체 각 부위 중 머리부분이 경질부로 구성되어 있으며, 다른 부위에 비해 유연운동 및 각종 동작에 따른 변화의 폭이 좁아 두폭의 대소에 따라 탈출장치를 통한 탈출 가능 여부가 결정되게 된다.

따라서 각 어종별 성숙체장에 대한 두폭을 조사한 결과 Table 4.2와 같이 탈출장치의 목표 어종인 참조기(Redlip croaker, *Larimichthys polyactis*)가 20.1mm, 보구치(White croaker, *Pennahia argentata*)가 20.7mm로 나타났으므로, 예비시험용 탈출장치의 Bar 간격을 20mm로 제작하였다.

Table 4.2. Average head width by 50% maturity length of main species in Korean coastal and offshore waters

Species	50% maturity length (mm)	Average head width (mm)
Redlip croaker	191(Total Length)	20.1
Hair tail	257(Anal Length)	16.6
Red seabream	260(Folk Length)	32.6
White croaker	200(Total Length)	20.7

4.1.3 시험 어구

본 연구에 사용된 시험어구는 탈출장치 재질별 성능시험 및 탈출장치 Bar의 간격별 해상시험을 위하여 뜰줄 길이 28.7m, 발줄 길이 33.9m, 끝자루를 제외한 그물 길이는 32.5m인 저층 트롤어구(Fig. 4.1)를, 탈출장치 Bar 간격별 실용화 시험에는 뜰줄길이 37.6m, 발줄길이 49.4m, 끝자루를 제외한 그물 길이가 48.3m인 저층 트롤어구(Fig. 4.2)를 사용하였다. 끝자루에 들어온 어류가 빠져나가는 것을 방지하기 위하여 끝자루 안쪽에 망목 내경이 30mm인 내망을 부착하였고, 예인시 어구의 안정성을 높이기 위해 끝자루와 자루그물 사이에 연장 그물을 달았으며, 연장 그물의 상부에 탈출장치를 부착하였다.

또한 어류의 탈출률을 조사하기 위하여 탈출장치 상부에 망목 30mm인 덮망을 부착하여 탈출장치를 통해 빠져나온 어류의 어체조성을 조사하였으며, 덮망의 크기는 Main과 Sangster(1990, 1991)의 연구 자료를 바탕으로 Masking 효과를 방지하기 위하여 탈출장치 보다 약 2.5배의 크기가 되도록 설계·제작하여 부착하였다.

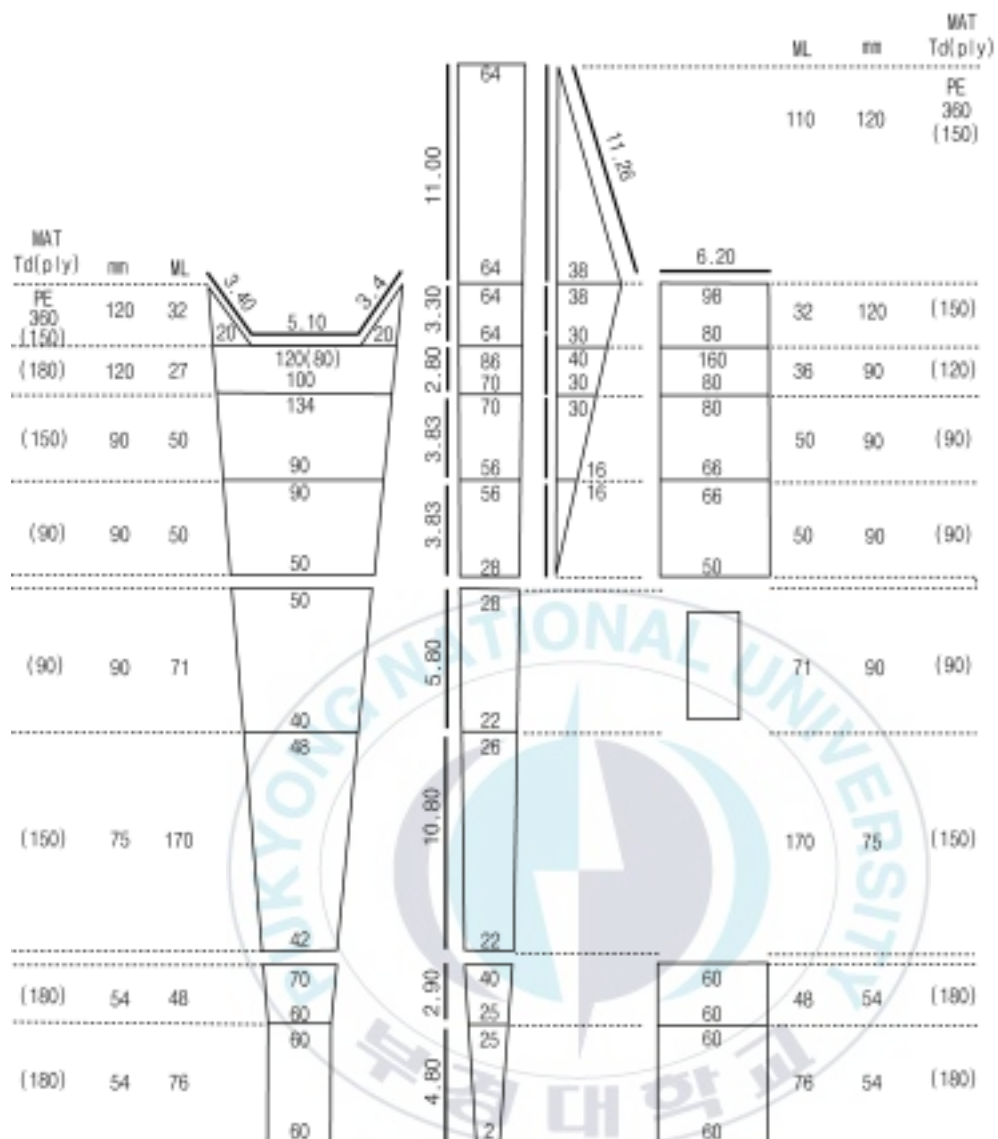


Fig. 4.1. Layout of the bottom trawl net used for the materials test of Trawl Escapement Device.

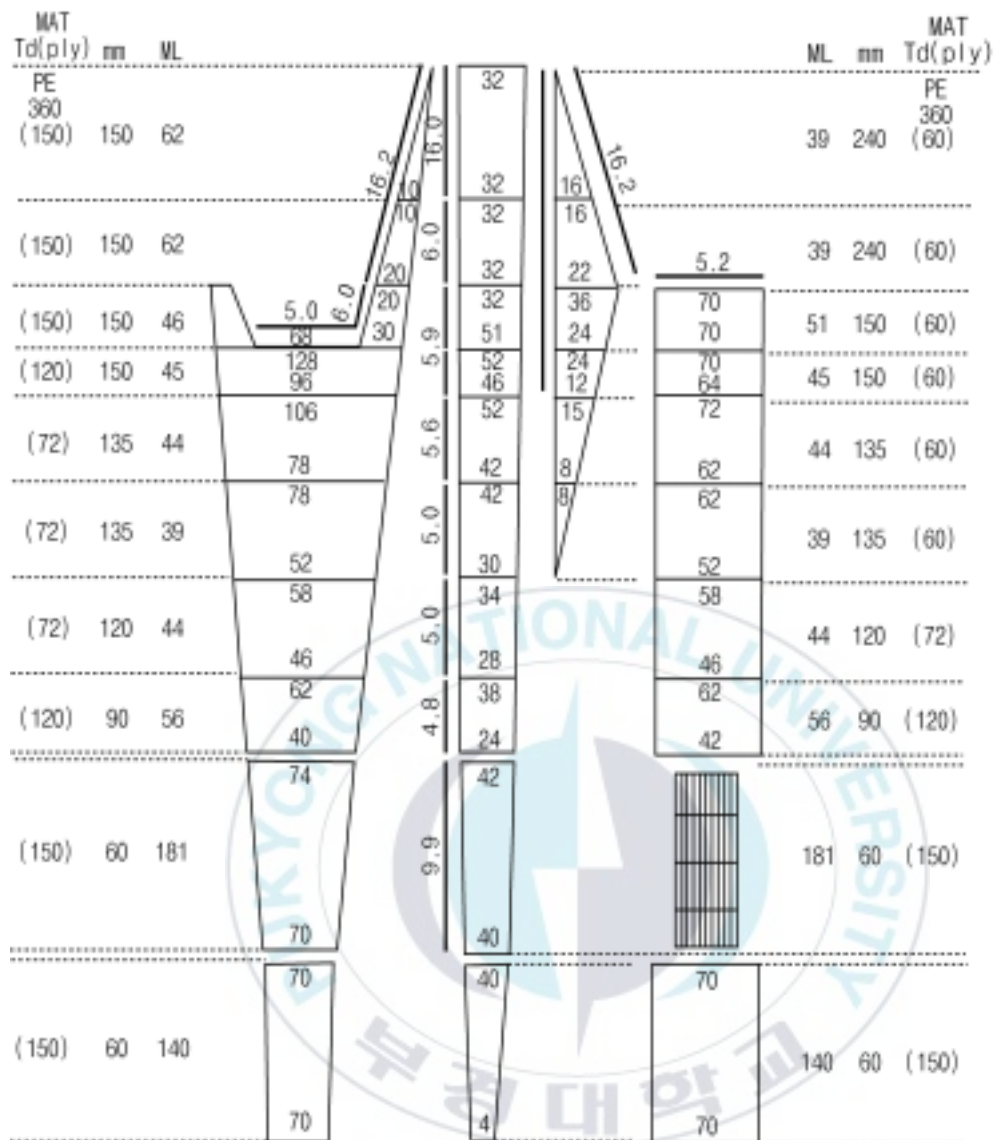
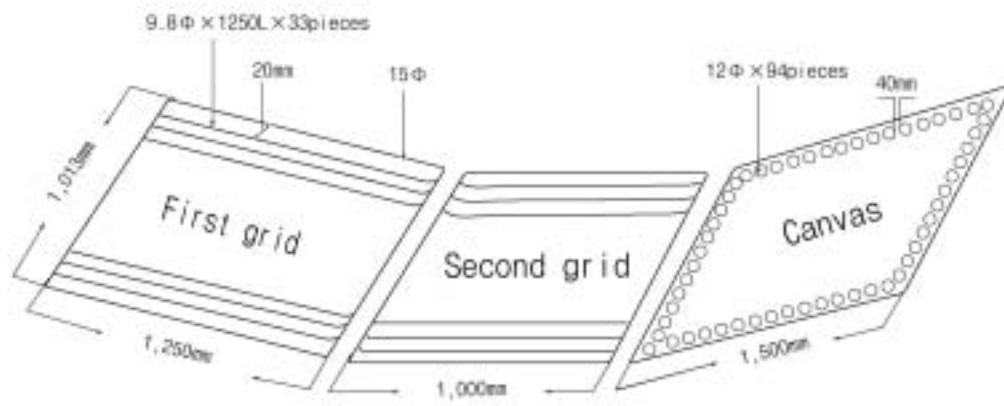


Fig. 4.2. Layout of the bottom trawl net used for the sea experiment of grid bar space decision.

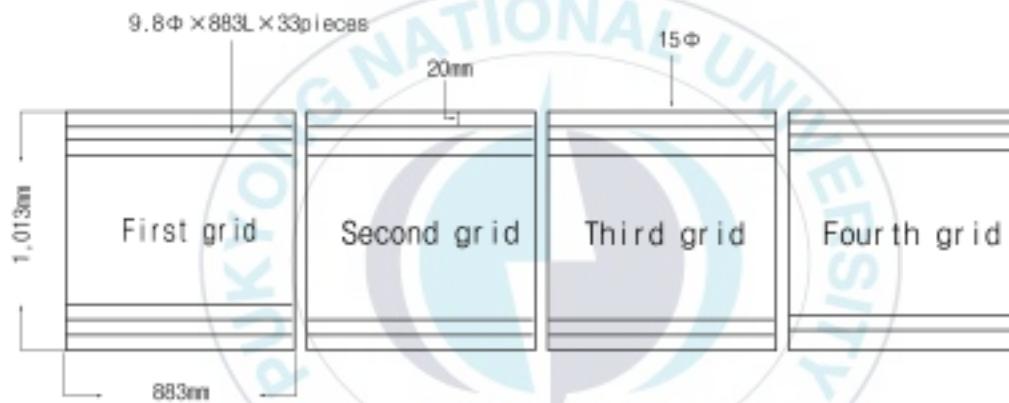
4.1.4 탈출장치 설계 및 제작

본 연구에서 사용된 트롤 탈출장치는 Sort-X형(Fig. 4.3(a))과 Grid panel형(Fig. 4.3(b)) 탈출장치를 각각 시험용 트롤어구의 끝자루 앞쪽 연장부분에 적합하도록 설계·제작하여 해상시험을 실시하였다. Sort-X형은 3개의 프레임으로 구성되어 있으며, 그 크기가 1,013×1,250mm(First frame), 1,013×1,000mm(Second frame), 1,013×1,500mm(Third frame)가 되도록 제작하였으며, 첫 번째와 두 번째 프레임 안쪽에는 스테인리스 파이프를 20mm 간격을 유지하면서 창살모양으로 파이프를 설치하여 대상어류가 Grid bar 사이로 빠져나갈 수 있도록 하였고, 세 번째 프레임에는 캔버스를 장착하여 탈출한 어류가 어구내로 다시 유입되는 것을 방지할 수 있도록 하였다. Grid panel형 탈출장치는 크기가 1,013×883mm인 프레임 4개를 연결하여 장치를 구성하였으며, Sort-X형과 트롤어구에서의 부착 단면적이 같도록 설계하였다.

또한 탈출장치 재질 성능시험에는 Bar의 재료가 MC봉과 스테인리스 파이프인 탈출장치를 각각 사용하였고, 탈출장치 Bar 간격별 탈출효과 비교시험에는 스테인리스 봉으로 Bar의 간격이 각각 20mm, 25mm 및 35mm인 3 종류를 사용하였다.



(a) Sort-X type TED.



(b) Grid panel type TED.

Fig. 4.3. Schematic view of Trawl Escapement Device (TED).

4.1.5 시험 해역 및 어획물 조사

탈출장치 Bar 간격 결정을 위한 주요 어종 두폭조사, 재질 비교시험 및 탈출장치 실용화 시험을 위한 해상시험은 1996년 7월에서 11월 사이에 시험 조사선 전남 881호(G/T 262tons, 1,600HP) 및 부산 851호(G/T 1,126tons, 2,600HP)를 이용하여 Fig. 4.4에 나타난 것과 같이 남해안 일원 및 제주도 주변 해역에서 실시되었다. 탈출장치 Bar 재질별 비교시험 20회, 탈출장치 Bar 간격별 탈출효과 비교시험을 위하여 20mm형 스테인리스 탈출장치 28회, 25mm형 탈출장치 32회, 35mm형 탈출장치 29회 등 총 89회의 해상시험을 실시하였으며, 해상시험시 평균 예상시간은 1시간으로 하였다.

탈출장치 Bar 간격 결정을 위한 주요 어종 두폭조사 해상시험은 일정 체장의 어류가 탈출과정에서 어체 손상없이 원활하게 빠져나갈 수 있는 적정 Grid bar 간격 결정을 위하여 통상의 어획방법에 의한 트롤어구의 끝자루에 어획된 어종과 끝자루를 빠져나가 덮망에 어획된 어종을 대상으로 각각 탈출상태 및 두폭을 조사하였고, 탈출장치 재질 비교시험에서는 재질의 적정성, 조업시 장치의 안정성, 어획효과 등을 종합해 재질의 적정성을 판단하였다. 또한 탈출장치 Bar 간격별 탈출효과 비교시험은 조업시 끝자루 내망에 어획된 어류와 탈출장치를 통해 빠져나가 덮망에 어획된 어류를 비교하여 탈출상태를 조사하였다.

어획물의 측정은 끝자루 내망과 탈출장치 덮망의 것을 분리하여 전수 측정을 원칙으로 하였으며, 어획량이 아주 많은 경우는 어종별 무작위로 50-100마리를 추출하여 전장, 가랑이 체장, 체고, 두폭 및 체중을 조사하였다.

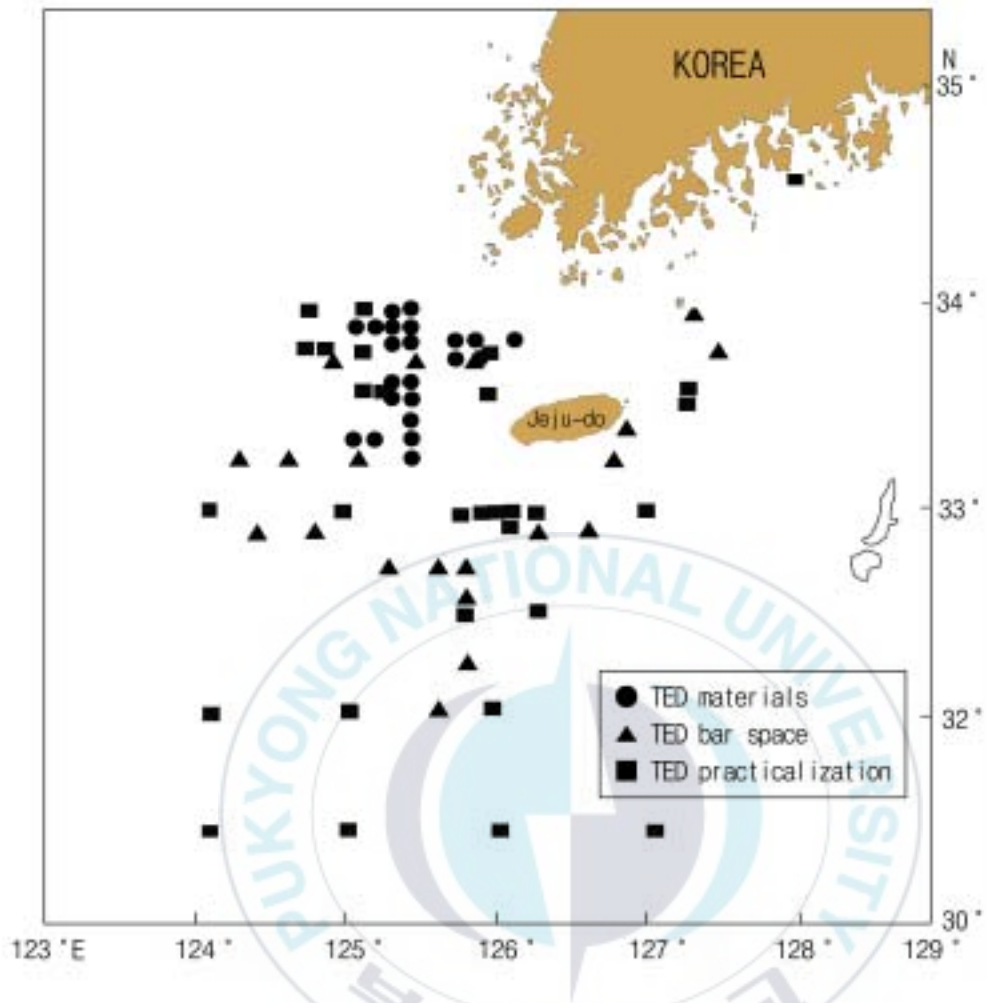


Fig. 4.4. Sea experiment areas for the test of TED materials, TED bar space and TED practicalization.

4.2 결과 및 고찰

4.2.1 어류의 탈출률

탈출장치(Bar간격 35mm)와 끝자루(망목 54mm)를 통해 빠져나간 어류의 탈출률을 조사하여 비교한 결과를 Table 4.3에 나타내었다. Table 4.3에서 알 수 있듯이 고등어를 제외한 참조기, 갈치, 덕대, 청보리멸, 애꼬치 등 대부분의 어종이 탈출장치를 통하여 더 용이하게 탈출하는 것으로 나타났다으며, 이 가운데 참조기는 끝자루를 통하여 4.3%가 빠져나가는데 반하여, 73.9%가 탈출장치를 통해 빠져나가는 것으로 나타나, 끝자루와 탈출장치 간에 상당한 차이가 있음을 보여주었다.



Table 4.3 Number of catches and escapement rate of fishes escaped from trawl codend and TED

Fish species	Number of catches				Escapement rate(%)	
	Number of total catches	Codend	Codend cover-net	TED cover-net	Codend cover-net	TED cover-net
Redlip croaker	23	5	1	17	4.3	73.9
White croaker	146	106	25	15	17.1	10.3
Largehead hairtail	2,370	1,965	–	405	–	17.1
Korean pomfret	1,965	941	167	857	8.5	43.6
Horse mackerel	11,276	7,041	3,983	252	35.3	2.2
Mackerel	2,110	1,179	919	12	43.5	0.5
Squid	300	242	18	40	6.0	13.3
Butterfish	582	556	6	20	1.0	3.4
Silver whiting	1,699	630	149	920	8.8	54.1
Red gurnard	436	421	–	15	–	3.4
Seapike	52	34	6	12	11.5	23.1

※ Escapement rate (%) = $\frac{\text{Catch number of cover-net}}{\text{Number of total catches}} \times 100$

4.2.2 탈출장치 재질별 성능

Bar 간격 20mm인 스테인리스 탈출장치와 MC봉 탈출장치의 해상 성능 시험은 MC봉 탈출장치로 11회, 스테인리스 탈출장치로 9회 실시하였다. 어획된 전체 어종은 46종으로서 어류 36종, 두족류 4종, 갑각류 6종이었다.

Table 4.4는 시험조업한 결과를 나타낸 것으로서, MC봉 탈출장치에서 총어획량 2,999마리(158.9kg) 중 15.2%인 456마리(11.7kg), 스테인리스 탈출장치에서 총어획량 1,586마리(160.0kg) 중 11.5%인 182마리(9.1kg)가 탈출장치를 통해 빠져나가 뿔망에 어획되었다.

Table 4.4 Number of fishes and weighted catches by TED materials

TED materials	Number of experiment	Number of fishes		Catches(g)	
		Codend	Cover net	Codend	Cover net
MC bar	11	2,543	456	147,204	11,710
Stainless bar	9	1,404	182	150,872	9,114
Total	20	3,947	638	298,076	20,854

$$\text{탈출률 (\%)} = \frac{\text{뿔망어획마리수}}{(\text{뿔망어획마리수} + \text{끝자루어획마리수})} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

탈출장치별 탈출률은 식 (1)과 같이 뿔망에서의 어획마리수를 총 어획마리수로 나눈 값을 말하며, 탈출장치 종류별 주요 어종의 탈출률은 Table 4.5에서 보여주는 바와 같이, MC봉 탈출장치에서 물가자미(Shotted halibut, *Eopsetta grigorjewi*), 등가시치(Blotched eelpout, *Zoarces gilli*), 눈볼대

(Blackthroat seaperch, *Doederleinia berycoides*), 달강어(Red gurnard, *Lepidotrigla microptera*)가 각각 42.3%, 39.0%, 32.2%, 20.6%로 다소 높게 나타났다. 스테인리스 탈출장치에서는 눈볼대, 붕장어(Conger eel, *Conger myriaster*), 살오징어(Squid, *Todarodes pacificus*), 전갱이(Horse mackerel, *Trachurus japonicus*)가 각각 28.3%, 29.1%, 19.0%, 8.1%로서, MC봉 탈출장치는 스테인리스 탈출장치보다 다소 높은 탈출률을 나타내었다.

Table 4.5. Number of fishes and escapement rate by TED materials

Fish species	MC bar			Stainless bar		
	Codend	Cover net	ER(%)	Codend	Cover net	ER(%)
Blackthroat seaperch	373	177	32.2	190	75	28.3
Shotted halibut	101	74	42.3	5	—	—
Squid	92	25	21.4	149	35	19.0
Blotched eelpout	36	23	39.0	61	1	1.6
Red gurnard	77	20	20.6	34	1	2.9
Horse mackerel	24	9	27.3	192	17	8.1
Conger eel	31	5	13.9	22	9	29.0

※ ER: Escapement Rate

그러나 MC봉 탈출장치는 용접이 불가능하여 제작이 불편하고, 유연성이 있어 어류가 탈출을 시도할 때 어류의 탈출 행동으로 인해 Bar의 간격이 다소 이완되거나 예망과정에서 변형이 생겨 간격이 균일하게 유지되지 않는

점 등의 문제점이 나타나 탈출장치의 재질로는 부적합하고, 스테인리스 파이프가 보다 적합한 것으로 판명되었다.

4.2.3 탈출장치별 탈출어류의 수 및 탈출률

탈출장치 종류별로 어획된 어종 중 비교 가능한 어종에 대한 탈출률, 탈출가능한 어류의 어획마리수 및 어획률은 Table 4.6과 같으며, 여기서 어획마리수는 끝자루와 덮망에 어획된 총 어획마리수를, 탈출률은 덮망에 어획된 마리수를 총 어획마리수로 나눈 값을, 탈출가능어류의 어획률은 식 (2)에 나타낸 것과 같이 두폭 20mm 미만인 어류의 어획마리수를 끝자루에 어획된 마리수로 나눈 값을 말한다.

$$\text{탈출 가능 어류의 어획률 (\%)} = \frac{\text{두폭 } 20\text{mm 미만 어류 어획마리수}}{\text{끝자루 어획마리수}} \times 100 \dots\dots (2)$$

탈출장치 종류별 주요 어종의 탈출률은 Sort-X형 탈출장치에서 참조기가 61.7%로 높은 탈출률을 나타내었고, 눈볼대, 도다리가 각각 2.0, 2.7%의 낮은 탈출률을 나타내었다. Grid panel형 탈출장치에서도 참조기가 69.9%의 높은 탈출률을 나타내었고, 눈볼대, 도다리(Finespotted flounder, *Pleuronichthys cornutus*)가 1.1%, 2.0%의 낮은 탈출률을 나타내었으며, 어종에 따라 다소의 탈출률이 차이가 있으나 두 탈출장치간에 차는 거의 없음을 알 수 있었다.

또한 측편형 어류인 도다리와 유영능력이 타 어종에 비해 상대적으로 낮은 어종으로 판단되는 갈치(Largehead hairtail, *Trichiurus lepturus*), 눈볼

대, 민태(Belanger's jewfish, *Johnius grypotus*) 등의 탈출률이 낮게 나타나 대상어종의 유영능력이 탈출장치의 Bar 결정에 매우 중요한 요소임을 알 수 있다. Sort-X형 및 Grid panel형 탈출장치에서 Bar 간격이 20mm 보다 작은 두폭을 갖는 어류가 탈출하지 못하고 끝자루에 어획된 어획률은 참조기, 애꼬치(Seapike, *Sphyraena japonica*), 고등어(Mackerel, *Scomber japonicus*)가 22.9~33.3%로 다소 낮게 나타났으며, 황돔(Yellow seabream, *Dentex tumifrons*), 민태 등 체장에 비하여 유영능력이 상대적으로 낮은 어종은 거의 탈출하지 못하고 있음을 알 수 있었다.



Table 4.6. Number of catches and escapement rate by TED type

Fish species	Sort-X type					Grid panel type				
	Escapement rate			Catch rate		Escapement rate			Catch rate	
	Catch number	Cover net	ER (%)	Under 20mm head width	CR (%)	Catch number	Cover net	ER (%)	Under 20mm head width	CR (%)
Redlip croaker	60	37	61.7	11	22.9	372	260	69.9	95	26.8
Yellow seabream	348	-	-	299	100	33	-	-	14	100
Mackerel	42	-	-	1	100	366	46	12.6	17	27.0
Largehead hairtail	35	7	20.0	26	78.8	246	51	20.7	181	78.0
Blackthroat seaperch	99	2	2.0	83	97.6	265	3	1.1	248	98.8
Finespotted flounder	374	10	2.7	354	97.3	459	9	2.0	433	98.0
Sea pike	13	2	15.4	1	33.3	351	54	15.4	152	30.2
Croaker	66	-	-	65	100	16	2	12.5	14	87.5

※ ER: Escapement Rate, CR: Catch Rate

4.2.4 탈출장치 Bar 간격별 탈출률

Bar의 간격이 20mm, 25mm 및 35mm인 3종의 Grid형 탈출장치의 탈출 효과 성능 시험을 실시한 결과, 참조기의 탈출률은 탈출장치 Bar 간격이 20mm에서 25mm, 35mm로 증가함에 따라 탈출률도 60.3%에서 61.0%, 77.8%로 증가하였는데, 이 결과는 기존의 다이아몬드형 망지에 의한 참조기의 탈출률 4.3%에 비해 18.1배 증가한 것으로 나타났다. 전갱이의 탈출률도 Bar의 간격이 20mm에서 25mm, 35mm로 점차 증가함에 따라 탈출률도

9.8%에서 16.4, 45.6%로 증가하였고, 고등어의 탈출률은 탈출장치 Bar의 간격이 25mm에서는 4.5%로 나타났지만, 20mm에서 35mm로 증가함에 따라 11.2%에서 45.0%로 크게 증가하였다(Table 4.7).

Table 4.7. Escapement rate of main species by TED bar space

Fish species	TED bar space								
	20mm			25mm			35mm		
	Codend	Cover net	ER (%)	Codend	Cover net	ER (%)	Codend	Cover net	ER (%)
Redlip croaker	361	549	60.3	292	456	61.0	268	937	77.8
Horse mackerel	2,215	242	9.8	1,948	383	16.4	782	463	37.2
Mackerel	430	54	11.2	444	21	4.5	393	321	45.0

4.3 요약

본 연구에서는 트롤어업에서 소형 어류의 탈출을 증대시키고 탈출어류의 생존율도 높일 수 있는 탈출장치를 제작하기 위하여 재질과 Bar의 간격에 따른 소형 어류의 탈출성능 및 해상시험을 제주도를 중심으로 한 남해안에서 실시하여 어종별 크기별 어획마리수와 탈출마리수를 비교한 후 실용화의 가능성을 조사하였다.

탈출장치 재질을 스테인리스 파이프와 MC봉을 이용한 성능시험 결과, 탈출장치 종류별 주요 어종의 탈출률은 MC봉 탈출장치가 스테인리스 탈출장치보다 다소 높은 탈출률을 보였으나, MC봉 탈출장치는 재질의 특성상 Bar 간격이 균일하게 유지되지 않는 점 등의 문제점이 나타나 탈출장치의 재질로는 스테인리스 파이프가 적절한 것으로 판단되었다.

또한 탈출장치 종류별 주요 어종의 탈출률을 보면, Sort-X형 탈출장치에서는 참조기가 61.7%로 가장 높은 탈출률을 나타내었으며, 눈볼대 및 도다리는 각각 2.0%, 2.7%의 낮은 탈출률을 나타내었고, Grid panel형 탈출장치에서도 참조기가 69.9%로 가장 높은 탈출률을 나타내었고, 눈볼대 및 도다리가 각각 1.1, 2.0%의 낮은 탈출률을 보였다. 이와 같은 결과로 부터 어종에 따른 탈출률은 다소 차이가 있으나 두 탈출장치간 탈출률의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. Sort-X형 및 Grid panel형 탈출장치에서 Bar 간격 20mm 보다 작은 두폭인 어류가 거의 탈출하지 못하였고, 끝자루에 어획된 탈출가능 어류의 어획률은 참조기, 애꼬치, 고등어가 22.9~33.3%로 다소 낮게 나타났으며, 황돔, 민태 등 큰 체장에 비하여 유영능력이 상대적으로 낮은 어종은 거의 탈출하지 못하고 있음을 알 수 있었다.

Bar 간격이 20mm, 25mm 및 35mm인 3종의 Grid형 탈출장치의 탈출효과 성능 비교시험 결과, 참조기의 탈출률은 탈출장치의 Bar 간격이 20mm에서 25mm, 35mm로 증가함에 따라 탈출률도 60.3%에서 61.0%, 77.8%로 증가하였고, 또한 전갱이의 탈출률도 Bar 간격이 점차 증가함에 따라 9.8%에서 16.4%, 45.6%로 증가하였다. 따라서 탈출장치의 Bar 간격은 35mm가 적절할 것으로 판단되었다.



제5장 망지를 이용한 탈출장치 개발

지금까지 개발된 고품체의 탈출장치는 끝자루의 탈출성과 비교하여 그 탈출효과는 입증되었지만, 현장에서의 사용을 위해서는 선박에서 취급이 용이하고 선상에서 탈·부착이 쉬운 유연성 있는 재질의 탈출장치가 요구되었다. 고품체 탈출장치의 문제점을 개선하기 위하여, Andrew 등(1993)은 호주의 남부 해역에서 Morisson soft TED의 적용 시험을 실시하였고, Angel and Lilleng(2001)은 플라스틱과 고무로 만들어진 새로운 형태의 선택 시스템에 대한 연구를 수행하였지만, 우리나라에서는 제4장에서의 고품체를 이용한 탈출장치 개발 이외에는 이와 같은 연구가 없었다.

기존의 연구에서 개발된 탈출장치와 동일한 탈출효과를 가지면서 선박에서의 사용이 용이한 탈출장치를 제작함으로써 일반적인 상업 어선에서도 사용할 수 있는 소형어류 탈출장치를 개발하기 위하여 본 연구를 수행하게 되었다. 이 연구를 통해 개발하고자 하는 탈출장치는 기존의 스테인리스 혹은 플라스틱 재질과는 달리 유연성이 있는 직사각망지(PE Ultracross)를 사용하여 소형어류 탈출장치를 제작하였다. 트롤에 입망된 어류가 소형어류와 성어로 분리되도록 유도 장치를 탈출장치 부착 그물의 아랫부분에 부착하였으며, 특히 소형어류가 끝자루로 들어가는 것을 막기 위하여 프로텍터를 추가하였다. 프로텍터는 풀어헤친 로프를 사용하여 제작하였으며, 유도 그물의 상부에 부착하여 자루그물 속으로 입망된 소형어류에 위협을 가함으로써 소형어류가 끝자루 속으로 들어가기 전에 위협을 느껴 탈출장치를 통하여 빠져나가도록 하는 원리로 제작하였다.

본 연구에서는 탈출장치의 망목 크기에 따른 소형어류의 탈출률을 조사하였으며, V자 모양 탈출장치와 평판형 탈출장치의 비교 시험을 통하여 탈출률과 탈출행동을 비교·분석하였다.

5.1 재료 및 방법

5.1.1 시험 어구 및 탈출장치

본 연구에 사용된 선박은 국립수산물과학원 소속의 탐구 3호(G/T 369tons, 1600HP)를 이용하였으며, 시험어구는 Fig. 5.1과 같이 탈출장치의 해상시험을 위하여 뜰줄 길이 37.5m, 밧줄 길이 45.1m, 끝자루를 포함한 그물 길이가 43.1m인 저층 트롤어구를 사용하였다. 끝자루에 들어온 어류가 빠져나갈 수 없도록 끝자루 안쪽에 망목 내경이 30mm인 내망을 부착하였고, 예인시 어구의 안정성을 높이기 위해 끝자루 앞부분에는 연장 그물을 달았으며, 연장 그물의 상부에 탈출장치를 부착하였다.

또한 어류의 탈출률을 조사하기 위하여 탈출망의 상부에 내경 30mm인 덮망을 부착하여 탈출장치를 통해 빠져나온 어류의 체중 및 어체조성을 조사하였으며, 폭 및 길이 방향이 끝자루와 같은 크기가 되도록 설계 제작하여 부착하였다. 탈출장치의 제작은 철제 그리드 등과 같은 고형체를 사용하지 않고 그물망과 같은 직사각망지(PE Ultracross)를 사용함으로써 선상에서의 어로작업 및 탈출장치의 교체시 위험을 줄이고 다루기 편리하도록 하였다.

본 연구에서 사용된 탈출장치는 3가지 형태(A, B, C)의 탈출장치를 비교 시험용으로 제작하여 해상시험을 실시하였다. A형은(1,370mm×1,130mm) V

자 모양으로서 망목 크기를 결정하기 위하여 15mm, 24mm, 30mm 세 종류의 망목에 대하여 시험조업을 실시하였고(Fig. 5.2), B형은 A형과 같은 크기에 24mm의 망목 간격으로 하였으며, 어린고기의 탈출을 도울 수 있도록 풀어헤친 로프를 이용한 프로텍터를 부착하여 조업하였다(Fig. 5.3). B형은 어민들이 사용하기에 다소 구조가 복잡하고 해파리 등이 함께 입망하였을 때 어류가 어구 내에서 회피할 수 있는 공간이 부족하여 작은 어류와 함께 끝자루로 휩쓸려 들어갈 우려가 있어 그것을 방지하기 위하여 탈출장치의 크기가 1,370×2,750mm이고 망목 크기가 24mm인 평판형 탈출장치인 새로운 C형을 제작하였다(Fig. 5.4)



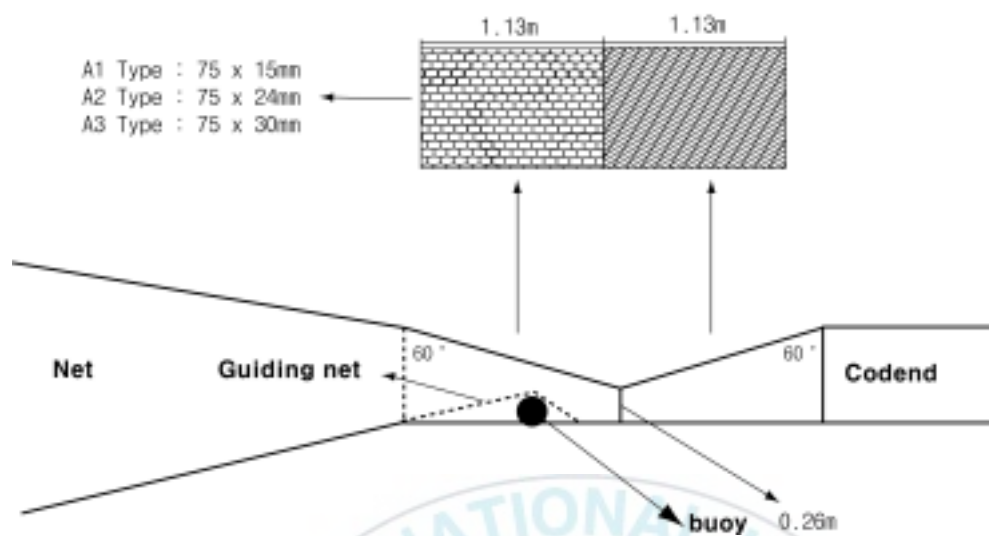


Fig. 5.2. Schematic view of Trawl Escapement Net of V shape (A type).

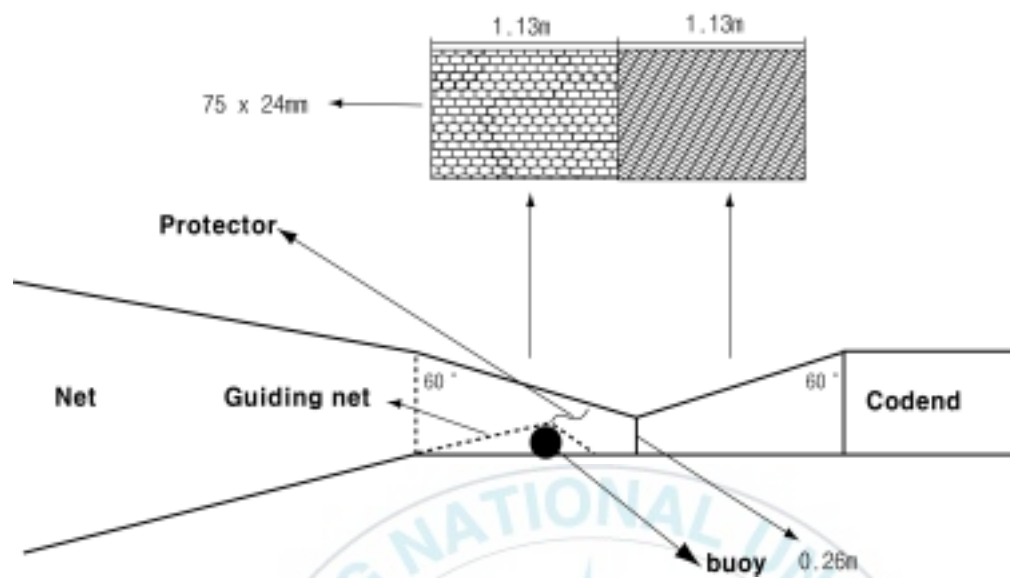


Fig. 5.3. Schematic view of Trawl Escapement Net of V shape having a protector on the guiding net (B type).

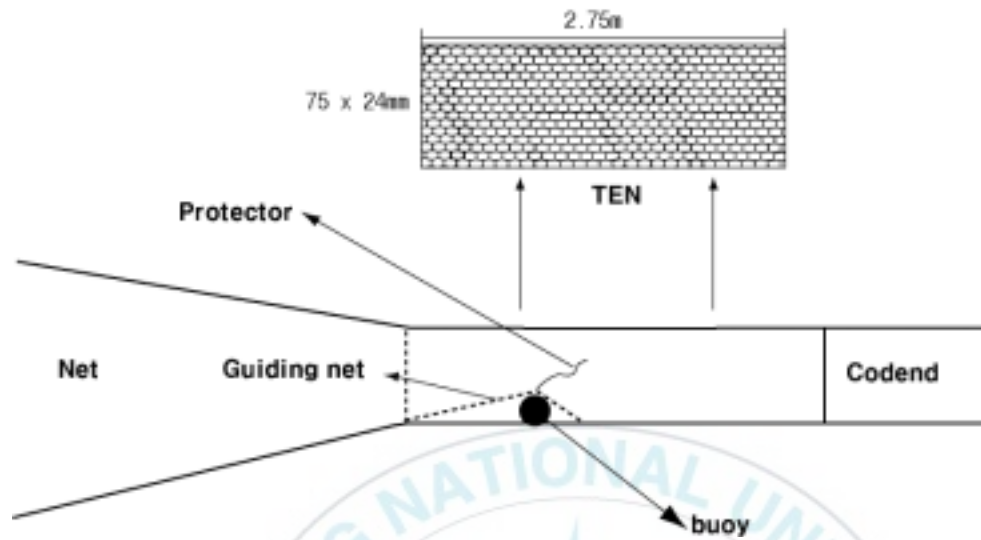


Fig. 5.4. Schematic view of Trawl Escapement Net of panel shape having a protector on the guiding net (C type).

5.1.2 시험 해역 및 조사 방법

Fig. 5.5는 시험해역을 나타내는 것으로서 해상시험은 97, 98, 99 해구에 서 수행되었으며, 망목 크기(75mm×15mm, 75mm×24mm, 75mm×30mm)가 서로 다른 V자 모양의 A형 탈출장치를 사용하여 총 9회의 해상시험을 2005년 5월에 실시하였다. 그리고 B형과 C형의 탈출장치를 이용하여 각각 7회 및 8회의 해상시험을 2005년 11월 동 해역에서 실시하였으며, 해상 시험시 평균 예상시간은 1시간으로 하였다. A형을 이용한 해상시험에서는 망목 크기에 따라 각 3회씩 해상시험을 실시하였으며, B형과 C형의 경우에 있어서는 선상에서 탈출장치가 부착된 연장 그물의 교체에 따른 시간을 줄이기 위하여 각각 2회씩 교대로 해상시험을 실시하였다. 또한 탈출어류의 어군행동을 관찰하기 위하여 탈출장치에 부착된 덮망을 제거한 후 Fig. 5.6과 같이 탈출장치 상부에 수중카메라를 부착하여 탈출장치를 탈출하는 어류의 탈출 장면을 촬영하였다.

어획물 조사는 끝자루 내망과 탈출장치 덮망의 것을 분리하여 전수 측정을 원칙으로 하였으며, 어획량이 아주 많은 경우는 어종별 무작위로 50~100마리를 추출하여 체장 및 체중을 조사하였다.

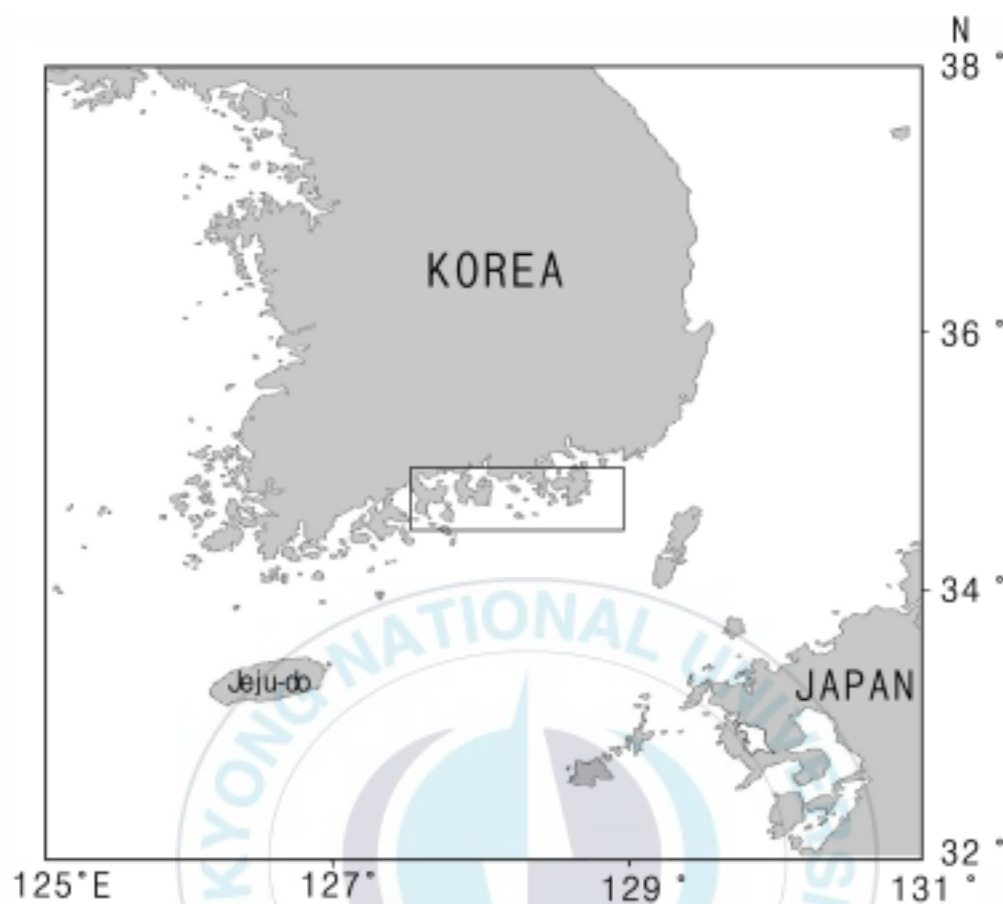
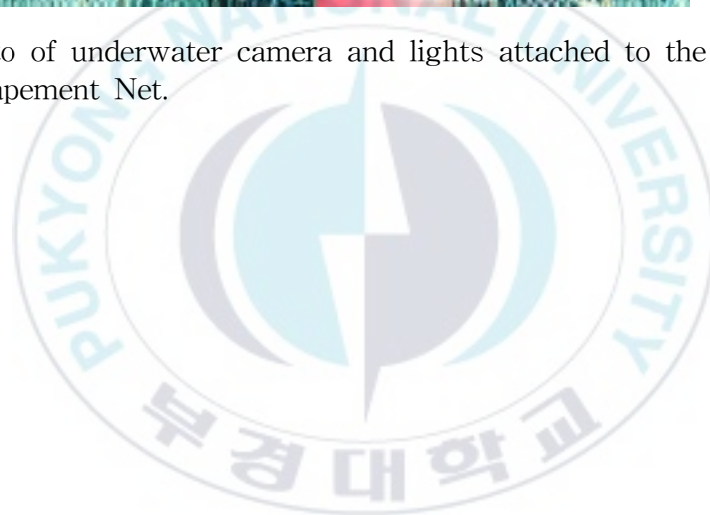


Fig. 5.5. Sea experiment areas for investigating the escapement rate of fishes escaped from Trawl Escapement Net.



Fig. 5.6. Photo of underwater camera and lights attached to the Trawl Escapement Net.



5.2 결과 및 고찰

5.2.1 탈출장치의 망목 크기에 따른 해상 시험

PE 무결절 망지로 만들어진 탈출장치(망목 크기 15mm(A1), 24mm(A2), 30mm(A3))를 통해 빠져나간 소형어류의 어종별 탈출률을 조사하여 비교한 결과를 Table 5.1에 나타내었다. Table 5.1에 나타난 것처럼 탈출장치를 빠져나가 덮망에 어획된 주 어획종은 덕대(Korean pomfret, *Pampus echinogaster*), 주둥치(Slimy, *Leiognathus nuchalis*), 전어(Gizzard shad, *Konosirus punctatus*) 등이었으며, 그 외 보구치(White croaker, *Pennahia argentata*), 보리멸(Smelt, *Sillago sihama*), 밴댕이(Bigeyed herring, *Sardinella zunasi*), 준치(Chinese herring, *Ilisha elongata*), 달강어(Red gurnard, *Lepidotrigla microptera*) 등이 어획되었다. 탈출장치의 망목 크기에 따라 각각 3회씩의 어획시험을 실시한 결과를 살펴보면, A2형의 3차 시험에서 주둥치의 대부분이 탈출하지 못해 탈출률이 낮게 나온 것을 제외하고 대부분 어종의 탈출률이 A3형에서 높게 나타났다.

덕대의 경우, 탈출장치의 망목이 15mm, 24mm, 30mm로 증가함에 따라 각각 31.3%, 50%, 60%로 증가하였으며, 그 외 어종들도 망목 크기가 증가함에 따라 탈출률도 증가 하였으므로 A형 탈출망의 탈출성능을 결정하는 중요한 요인은 탈출장치의 망목 크기인 것으로 확인되었다.

Table 5.1. Escapement rate and length of main catch species in the sea experiment of May, 2005

Fish species	V shape (A1)			V shape (A2)			V shape (A3)		
	Codend (cm)	TEN (cm)	ER (%)	Codend (cm)	TEN (cm)	ER (%)	Codend (cm)	TEN (cm)	ER (%)
Korean pomfret	9-15		31.3	9-15		50	9-15		60
Slimy	5-7		35	5-7		89.5	5-7		93
Gizzard shad	-		-	10-20		68	10-20		88.1
White croaker	12-15		18.5	12-15		14	-		-
Smelt	-		-	-		8.7	-		-
Bigeyed herring	9-12		4.2	9-12		-	9-12		95.2
Chinese herring	9-12		5.7	9-12		-	9-12		94.8
Red gurnard	25-30		0	25-30		0	25-30	15-30	11.4

※ TEN: Trawl Escapement Net, ER: Escapement Rate

5.2.2 탈출장치 형태별 해상 시험

5월 해상시험과 마찬가지로 한국 남해안에서 해상시험을 실시한 결과, 어획된 주 어종은 전갱이(Horse mackerel, *Trachurus japonicus*), 애꼬치(Seapike, *Sphyræna japonica*), 갈치(Largehead hairtail, *Trichiurus lepturus*), 청멸(Kammal thryssa, *Thryssa kammalensis*), 보구치 등이었으며, 그 외 샛돔(Butterfish, *Psenopsis anomala*), 달강어, 열동가리돔(Cardinal fish, *Apogon lineatus*), 덕대, 삼치(Spanish mackerel, *Scomberomorus niphonius*), 까지가자미(Rock sole, *Lepidopsetta bilineata*), 도다리(Finespotted flounder, *Pleuronichthys cornutus*), 황아귀(Yellow goosefish, *Lophius litulon*) 등이 어획되었다(Table 5.2). V자 모양과 평판형 탈출장치 모두 덕대, 삼치, 까지가자미, 황아귀 등 대형어의 경우 대부분 탈출하지 못하였다. 본 시험조업에서 어획이 가장 많았던 가랑이 체장 12cm 내외인 전갱이(성숙 체장 20cm)의 탈출률이 평판형에서 38.3%로 가장 높게 나타났으며, 갈치를 제외한 애꼬치 등 대부분의 어종이 평판형에서 탈출률이 높게 나타났다. 이러한 현상은 11월의 해상시험에서 해파리의 혼획이 많아 평판형에 비하여 유입되는 해파리에 대한 도피행동을 하기 협소한 구조를 가진 V자 모양 탈출장치의 구조적 문제인 것으로 사료된다.

Table 5.2. Escapement rate and length of main catch species in the sea experiment of November, 2005

Fish species	V shape with a protector (B type)			Panel type with a protector (C type)		
	Codend (cm)	TEN (cm)	ER (%)	Codend (cm)	TEN (cm)	ER (%)
Horse mackerel	12-17		28.2	12-17		38.3
Sea pike	20-25		19.7	20-25		30.7
Largehead hairtail	6-10		30.8	6-10		30.4
Kammal thryssa	12-20		11.7	12-20		76.9
White croaker	19-24		8.6	19-24		24.9
Butterfish	-		16.8	12-13		38.3
Red gurnard	-		8.4	19-22		8.5
Cardinal fish	-		5.0	-		44.8
Korean pomfret	12-25		0	12-25		0.4
Spanish mackerel	37-50		0	37-50		3.6
Rock sole	-		0.5	-		0
Finespotted flounder	-		2.3	-		0
Yellow goosfish	-		0	-		0.6

5.3 요약

트롤어업에서 소형 어류의 탈출효율을 극대화시키고 탈출어류의 생존율도 높일 수 있는 3종의 탈출장치를 제작하여 소형 어류의 탈출성능에 관한 해상시험을 한국 남해안에서 2005년 5월과 11월 두차례 실시하여 어종별 탈출률을 비교하여 실용화의 가능성을 조사하였다.

V자 모양의 탈출장치를 부착한 5월 시험조업에서의 주 어획종은 덕대, 주둥치, 전어 등이었으며, 그 외 보구치, 보리멸 등이 어획되었다. 프로텍터를 부착한 V자 모양의 탈출장치와 프로텍터를 부착한 평판형 탈출장치를 이용한 11월의 해상시험에서 주 어획 종은 전갱이, 애꼬치, 갈치, 청멸, 보구치 등이었으며, 그 외 셋돔, 달강어 등이 어획되었다. V자 모양과 평판형 탈출장치 모두 덕대, 삼치 등 대형어의 경우 대부분 탈출하지 못하였다.

본 시험조업에서는 어획이 가장 많았던 가랑이 체장 120mm 내외인 전갱이(성숙 체장 200mm)의 탈출률이 38.3%로 가장 높게 나타났으며, 애꼬치 등 대부분의 어종이 프로텍터를 부착한 평판형에서 탈출률이 높게 나타났다. 이러한 현상은 11월의 해상시험에서 해파리의 혼획이 많아 평판형에 비하여 탈출장치와 유도 그물 사이의 간격이 좁아 유입되는 해파리에 대한 회피행동을 하기 협소한 구조를 가진 V자 모양 탈출장치의 구조적 문제인 것으로 생각된다.

제6장 종합고찰

본 연구에서는 트롤에서 소형어류를 보호하고 수산자원을 효율적으로 이용하기 위한 탈출장치를 개발하기 위하여 어획 후 투기된 어류의 생존율과 탈출장치 및 끝자루를 빠져나온 어류의 생존율에 대한 조사를 실시하였고, 고품체 탈출장치에 대한 기초적인 시험을 행한 후 선상에서의 취급이 용이하도록 직사각 망지로 만든 탈출장치의 해상시험을 실시하였다.

첫 번째로, 어획 후 투기된 어류의 사망을 조사하기 위한 선내 수조 실험결과를 보면 두툽상어와 붕장어를 제외한 대부분의 어종은 어획 후 30분 이내에 사망하였다. 실험 결과에서처럼, 어획된 후 해상으로 재 방류되는 대부분의 어류들은 양망 즉시 사망하였으므로 어업 자원으로 재 가입되기 어렵다는 것을 알 수 있었다.

따라서 어업자원의 효율적 관리 및 지속적 이용을 위해서는 비 목표 어종 및 소형어류가 선상에 양망되기 이전에 수중에서 트롤 어구를 빠져나갈 수 있도록 하여 해상 투기어를 감소시킬 수 있는 환경친화적인 선택적 어구 어법의 개발이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 또한 양망되어 선상에 어획된 소형어류 또는 비목표 어종의 생존율을 향상시키는 연구가 병행되어야 하며, 어획된 어종에 따라 사망률이 다르므로 어종별 생존특성에 대해서도 보다 많은 연구가 필요할 것으로 본다.

두 번째로, 탈출장치와 끝자루를 빠져나온 어류를 수중에서 분리한 후 분리가두리를 해저에 설치하여 생존율을 조사한 결과에서 전갱이와 같은 어종은 탈출장치를 빠져나온 전갱이의 생존율이 끝자루 탈출어의 생존율보다 약 29.4% 정도 높은 것을 보여 탈출장치가 수중에서 트롤어구를 빠져나온

어류의 생존율에 많은 영향을 미친다는 것이 입증되었다. 또한 수중가두리의 분리가 수중에서 원활하게 이루어진 경우와 수중 분리에 실패하여 선미갑판으로 분리가두리를 끌어올려 선상에서 분리 후 재 방류되는 전갱이의 생존율을 비교한 해상시험 결과를 보면 어획된 후 투기되는 어류의 생존율이 수중에서 트롤어구를 빠져나간 전갱이보다 매우 낮은 것으로 나타났다.

따라서 탈출어류의 생존율을 향상시키기 위해서는 어류가 트롤어구를 빠져나가는 과정에서 어류의 표피 손상이나 비늘 손실을 줄이는 방법에 대해서도 연구되어야 할 것으로 보여 진다. Main 등(1990)의 연구에 의하면 스코틀랜드 어장에서 어획되는 대구의 경우 어획과정에서의 비늘 손실은 약 20% 혹은 그 이상인 것으로 나타났으며, 어체의 크기와는 상관관계가 많지 않다는 것을 보고하였다. 또한 다이아몬드 망지와 사각망지를 빠져나온 유사한 체장의 대구에서도 상이한 점은 거의 발견되지 않았다. 그러나 이러한 결과는 수중에서 트롤어구를 탈출한 후 잠수부에 의해 채포된 어류만을 대상으로 하였으므로 전체적인 어류에 대해서는 좀더 관찰이 필요하다는 의견을 제시하였다.

탈출장치는 어획단계 이전에 수중에서 자연스럽게 빠져나갈 수 있도록 설계하여야 트롤 탈출장치를 빠져나간 어류가 생존하여 자원으로 재 가입될 수 있는 확률을 높일 수 있을 것으로 판단되었으므로, 탈출장치의 재질이 고형체인 금속이나 플라스틱 보다는 유연성이 있는 재질이 탈출장치의 재질로서 우수할 것으로 생각된다.

세 번째로, 탈출장치 Bar 재질 선정을 위한 해상시험 결과를 보면 물성조사를 통하여 채택된 MC 봉과 스테인리스 파이프간의 탈출률에서는 MC 봉을 이용한 탈출장치의 탈출률은 15.2%로서 스테인리스 파이프를 이용한

탈출장치의 11.5% 보다 약 3.7% 높은 것으로 나타났으나, MC 봉 탈출장치는 제작상의 불편함과 예인 중 수중에서 봉의 휨 현상으로 Bar 간격의 변화가 심한 것으로 나타나 스테인리스 파이프가 고품체 탈출장치의 재질로서 적합하다고 판단하여 스테인리스 파이프가 탈출장치의 재질로 선정되었다.

또한 탈출장치의 Bar 간격 결정을 위한 해상시험에서는 Bar 간격이 넓어질수록 어류의 탈출률이 높은 것으로 나타났으나, 탈출률만 증가시키는 것이 트롤 탈출장치의 목적이 아니므로, 성숙체장 이상의 주요어종의 어획을 높이기 위하여 두폭 측정을 실시한 후 탈출장치의 Bar 간격은 35mm 전후가 적정한 것으로 판단되었다.

이상의 결과를 바탕으로 하여, 고품체 탈출장치는 장치의 과중한 무게로 인하여 어업인들이 사용 및 취급에 어려운 점이 많아 상업적인 트롤어선에서 사용하기가 불편할 것으로 사료된다. Coreil(1985)은 새우 트롤 어선에서 철제 그리드의 재질을 알루미늄으로 교체하여 탈출장치의 무게를 줄일 수 있었으며, Angel과 Lilleng(2001)은 저층 트롤에서 성숙 체장 이하의 어류를 탈출시키기 위하여 탈출장치의 재질을 플라스틱과 고무로 제작하여 장치의 개선에 관하여 연구하였다. 이외에, Mounsey 등(1995)과 Robbins-Troeger 등(1995)은 호주의 새우 트롤 어업에서 그리드 Bar의 재질을 고품체가 아닌 유연체인 로프 등으로 교체하여 기존의 고품체와 비교 연구를 한 결과 새우의 어획에 큰 차이가 없음을 증명하였다. 그리고 Andrew 등(1993)은 새우 트롤 어업에서 탈출장치를 그물감으로 사용되는 망지를 이용하여 제작한 거북 탈출장치 시험결과 거북의 혼획이 감소한 결과를 얻었다.

본 연구에서, 유연성이 있는 그물감을 이용하여 V자 모양 및 평판형 탈출장치를 제작하여 어종별 탈출률을 비교하기 위한 해상시험을 실시한 결과

를 고찰해 보면 망지를 이용한 트롤 탈출장치는 고품체 탈출장치와 마찬가지로 탈출장치의 망목 크기가 커질수록 대부분의 어종에 있어 탈출률도 증가하는 것으로 나타났다.

또한 어린고기가 자루그물 속에서 끝자루 속으로 들어가는 것을 막기 위하여 V자 모양 탈출장치에 유도 그물의 상부에 프로텍터를 부착한 V자 모양과 프로텍터를 부착한 평판형 탈출장치의 어종간 탈출률 비교에서는 대부분의 어종이 평판형에서 높은 탈출률을 나타내었다. 이것은 2005년 11월의 해상시험에서 해파리의 혼획이 많았는데 V자 모양 탈출장치의 구조가 평판형 탈출장치에 비하여 해파리에 대한 도피행동을 하기에 협소한 구조를 가졌기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 해파리나 대형어류의 유입시에도 소형어류의 탈출이 원활하게 이루어질 것으로 기대되는 평판형의 구조가 탈출장치의 형태로 적합할 것으로 사료된다.

Suuronen 등(1991)이 연구한 표층트롤을 탈출한 발틱산 청어의 탈출행동을 연구한 결과를 보면, 빠른 예인속도에서 그리드형 탈출장치를 빠져나간 소형 청어는 그리드 앞쪽의 두 번째 Bar를 통해서 빠져나가는 것이 보여졌고, 또한 체장이 큰 청어들은 어구를 탈출하기 위한 시도로서 머리부분이 탈출장치의 Bar 사이를 향하여 유영하는 것도 관찰되었다.

이러한 결과는 2006년 8월의 해상시험에서 탈출어류의 어군행동을 관찰하기 위하여 수중카메라를 이용하여 분석한 결과에서 보여준 탈출행동과 유사한 것으로 나타났다. Fig. 6.1은 탈출장치를 탈출하는 어류의 탈출 직후의 모습을 수중에서 촬영한 사진을 보여주고 있으며, 추후 탈출 이전의 어군행동에 대해서도 수중카메라를 활용하여 구명함으로써 탈출장치를 개선하고 장치의 활용도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

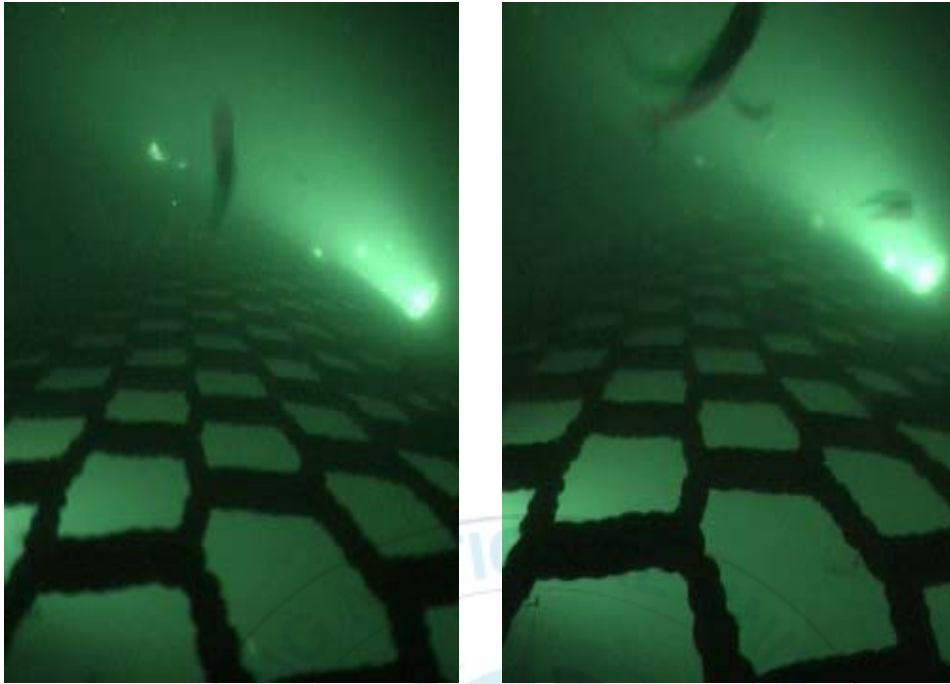


Fig. 6.1. Photos of undersized fishes escaping from Trawl Escapement Net.

감사의 글

본 연구를 수행함에 있어 시종일관 지도하여 주시고 부족한 저를 세심한 배려와 조언으로 이끌어 주신 이주희 지도교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 아울러 본 논문을 정성껏 다듬어 주시고 많은 조언과 격려를 하여 주신 정의철 연구관님, 김형석 교수님, 정순범 교수님, 신종근 팀장님에게도 깊은 감사를 드립니다.

언제나 따뜻한 마음으로 격려해 주시고 도움을 주신 신형일 교수님, 강일권 교수님, 권병국 교수님, 홍철훈 교수님, 이대재 교수님, 장창익 교수님, 신현옥 교수님, 이춘우 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

논문이 완성되기까지 과중한 업무 속에서도 아낌없는 배려와 관심을 가져주신 서해수산연구소 손상규 소장님, 최낙중 팀장님, 강영실 팀장님, 특히 논문을 쓸 수 있도록 시간적으로 많은 배려를 해주신 박창두 연구관님, 김현영 연구사님께 감사드립니다.

본 논문에 해상시험 자료를 사용할 수 있도록 배려해주신 국립수산과학원 수산공학팀 안희춘 연구관님, 양용수 연구관님 그리고 많은 관심과 격려를 보내주신 박성욱 연구관님, 박해훈 연구사님, 김인옥 연구사님, 손병규 연구사님, 정성재 연구사님 그리고 후배이자 동료이면서 제게 큰 힘이 되어준 동해수산연구소 배봉성 연구사님께 진심으로 감사드립니다.

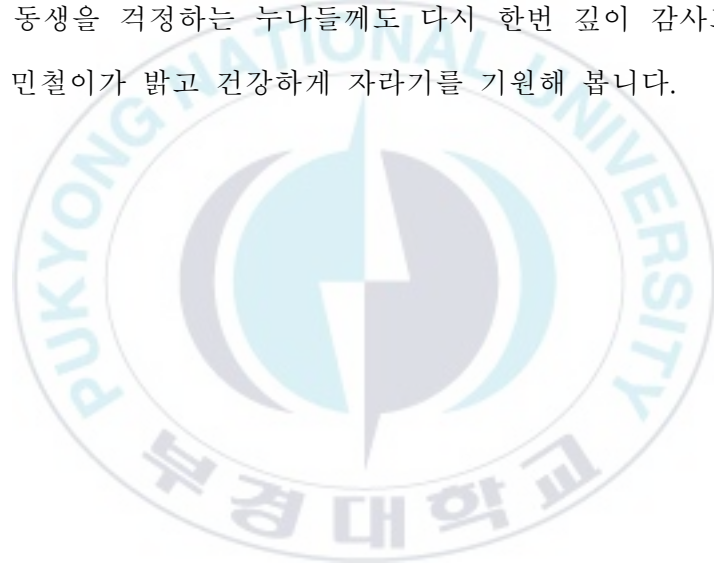
또한 논문을 쓸 수 있도록 못한 선배를 격려해 준 부경대학교 이유원 박사님, 해상시험 수행과 자료정리에 도움을 준 차봉진 연구사님, 가끔씩 격려 전화를 잊지 않았던 배재현 연구사님, 이경훈 연구사님께 감사드립니다.

그리고 부경대학교 실험실의 유제범 후배님, 김부영 후배님, 김병수 후배

님, 이해옥 후배님, 함께 대학원 과정을 지낸 선·후배님들 고맙습니다.

영국 유학시절 많은 도움을 주신 애버딘 대학교 Peter Boyler 교수님, 본
논문의 영문 요약을 수정해 주신 Graham Pierce 전 지도교수님, Heather
Daly 박사님, 경상대학교 김용해 교수님, 애버딘에 머무르는 동안 가족처럼
대해주신 애버딘 시티교회의 Melvyn과 Millie 부부, Ann 등 하우스그룹 가
족들에게 감사드립니다.

마지막 순간까지 절 걱정하면서 떠나신 아버지, 지금은 몸도 마음도 온
전치 못하지만 항상 자식들을 위해 평생을 희생하신 어머니, 집안의 기둥이
신 용인대학교 조판래 교수님, 아버지의 자랑이었던 조진래 변호사님, 조동
화 박사님, 항상 동생을 걱정하는 누나들께도 다시 한번 깊이 감사드리며,
끝으로 사랑하는 민철이가 밝고 건강하게 자라기를 기원해 봅니다.



참고 문헌

- Andrew, N.L., S.J. Kennelly and M.K. Broadhurst, 1993. An application of the Morisson soft TED to the offshore prawn in New South Wales, Australia. Fisheries Research, 16, pp. 101-111.
- Angel, S. and d. Lilleng, 2001. New type of size selective system made of plastic and rubber: The "Flexgrid". Technical Regulations and By-catch criteria in the Barents Sea Fisheries, pp. 108-113.
- Armstrong, M.J., R.P. Briggs and D. Rihan, 1998. A study of optimum positioning of square-mesh escape panels in Irish Sea Nephrops trawls. Fisheries Research, 34, pp. 179-189.
- Breen, M. and R. Cook, 2002. Inclusion of discard and escape mortality estimates in stock assessment models and its likely impact on fisheries management. ICES CM 2002/V:27.
- Broadhurst, M.K. and S.J. Kennelly, 1996a. Effects of the circumferences of codends and a new design of square-mesh panel in reducing unwanted bycatch in the New South Wales oceanic prawn-trawl fishery, Australia. Fisheries Research, 27, pp. 203-214.
- Broadhurst, M.K., S.J. Kennelly and S.J. O'Doherty, 1996b. Effects of square mesh panels in codends and of haul back delay on bycatch reduction in the oceanic prawn trawl fishery of New South Wales, Australia. Fisheries Bulletin, 94, pp. 412-422.

- Broadhurst, M.K., R.B. Larsen, S.J. Kennelly and P.E. McShane, 1999. Use and success of composite square-mesh codends in reducing bycatch and in improving size-selectivity of prawns in Gulf St. Vincent, South Australia. *Fish. Bull.* Vol. 97, No. 3, pp. 434-448.
- Cho, S.K., H.C. An, J.K. Shin, Y.S. Yang and C.D. Park, 2005. Study on the development of trawl escapement device. *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 41(4), pp. 241-247.
- Coreil, P.D., 1985. Trawling Efficiency Device acceptance and use by Louisiana commercial shrimpers. *Int. Symp. on Kemp's Ridley Sea Turtle Biology, Conservation and Management*, Galveston, TX(USA), 1-4 Oct 1985.
- Engas A., T. Jorgensen and C.W. West. 1998. A species-selective trawl for demersal gadoid fisheries. *ICES J. Mar. Sci.* 55, pp. 835-845.
- Grimaldo, E. and R.B. Larsen, 2005. The cosmos grid: A new design for reducing by-catch in the Nordic shrimp fishery. *Fisheries Research* 76, pp. 187-197.
- Jacobsen, J.A., 1994. Survival experiments of fish escaping from 145 mm diamond cod-end trawl meshes at Faroes in 1992 and 1993. *ICES FTFB. Fish Capt. Cttee.*
- Kelleher, K., 2005. Discards in the world's marine fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper*, No. 470. FAO. Rome.

- Kendall, D., 1990. Shrimp retention characteristics of the Morisson soft TED: a selectivity webbing exclusion panel inserted into a shrimp trawl net. *Fisheries Research*, 9, pp. 13-21.
- Kuikka, S., P. Suuronen, R. Parmanne, 1996. The impacts of increased codend mesh size on the northern Baltic Sea herring fishery: ecosystem and market uncertainties. *ICES J. Mar. Sci.* 53, pp. 723-730.
- Liggins G.W., M.J. Bradley and S.J. Kennelly, 1997. Detection of bias in observed-based estimates of retained and discarded catches from a multi species trawl fishery. *Fisheries Research* 32, pp. 133-147.
- Madsen, N., T. Moth-Poulsen and N. Lowry, 1998. Selectivity experiments with window codends fished in the Baltic Sea cod(*Gadus morhua*) fishery. *Fisheries Research*, 36, pp. 1-14.
- Main J. and G.I. Sangster. 1985. Trawling experiments with a tow-level net to minimize the undersized gadoid bycatch in a Neprups fishery. *fisheries Research*, 3, pp. 131-145.
- Main J. and G.I. Sangster, 1990. An assessment of the scale damage to and survival rate of young gadoid fish escaping from the codend of a demersal trawl. *Scottish fisheries working paper* No 46/90, pp. 28.
- Main J. and G.I. Sangster, 1991. Do fish escape from cod-ends survive?. *Scottish fisheries working paper* No 18/91.

- Mounsey, R.P., G.A. Baulch and R.C. Buckworth, 1995. Development of a trawl efficiency device for Australian prawn trawl fisheries, I. The AusTED design. *Fisheries Research*, 22, pp. 99–105.
- Misund, O.A. and A.K. Beltestad, 1995. Survival of herring after simulated net bursts and conventional storage in net pens. *Fisheries Research*, 22, pp. 293–297.
- Otterlind, G., 1990. Some observation on the survival of released trawl-caught cod. ICES Comparative Fishing Committee C.M., No 204, pp. 12.
- Robbins-Troeger, J.B., 1994. Evaluation of the Morisson soft TED: prawn and bycatch variation Moreton Bay, Queensland. *Fisheries Research*, 19, pp. 205–217.
- Robbins-Troeger, J.B., R.C. Buckworth, and M.C.L. Dredge, 1995. Development of a trawl efficiency device (TED) for Australian prawn fisheries II: Field evaluations of the AusTED. *Fisheries Research*, 22, pp. 107–117.
- Sangster I., 1989. Techniques for assessing fish damage and survival after escape from trawl codend. Scottish fisheries working paper No. 9/89, pp. 7.
- Sangster, G.I., 1992. : The survival of fish escaping from fishing gears. ICES CM. 1992/B: 30.

- Sangster, G.I., K. Lehmann and M. Breen, 1996. Commercial fishing experiments to assess the scale damage and the survival of haddock and whiting after escape from four sizes of diamond mesh codends. Fisheries Research, 25, pp. 323-345.
- Soldal, A.V., B. Isaksen, J.E. Marteinson and A. Engas, 1991. Scale damage and survival of cod and haddock escape from a demersal trawl. ICES CM/B: 44
- Soldal, A.V., A. Engas and B. Isaksen, 1993. Survival of gadoids that escape from a demersal trawl. ICES mar. Sci. Symp., 196, pp. 122-127.
- Soldal, A.V. and A. Engas, 1997. Survival of young gadoids excluded from a shrimp trawl by a rigid deflecting grid. ICES Journal of Marine Science, 54, pp. 117-124.
- Stratoudakis, Y., R.J. Fryer, F.M. Cook and G.J. Pierce, 1999. Fish discarded from Scottish demersal vessels: Estimators of total discards and annual estimates for targeted gadoids. ICES Journal of Marine Science. Vol. 56. No.5, pp. 592-605.
- Stergiou K.I, G. Petrakis, and Ch.-Y. Politou, 1997. Size selectivity of diamond and square mesh cod-ends for *Nephrops norvegicus* in the aegean sea. Fisheries research, 29, pp. 203-209.

- Suuronen, P., E. Lehtonen, V. Tschernij and A. Orrensalo, 1991. Behaviour and survival of Baltic herring(*Clupea harengus*) escaping from a pelagic trawl and possibilities to increase survival. Nordisk Ministerrad, Project No. 660701(1991-1992).
- Suuronen, P., E. Lehtonen and P. Jounela, 2005. Escape mortality of trawl caught Baltic cod(*Gadus morhua*) - the effect of water temperature, fish size and codend catch. Fisheries Research, 71, pp. 151-163.
- Tamsett, D., G. Janacek and M.A. Emberton, 1999. Comparison of methods for onboard sampling of discards in commercial fishing. Fisheries Research, 42, pp. 127-135.
- Watson J.W., J.F. Mitchell and A.K. Shah, 1986. Trawling efficiency device: A new concept for selective shrimp trawling gear. Marine Fisheries Review, pp. 9.
- 大谷 徹也, 反田 實, 西川 哲也, 佐藤 泰弘, 1997. 小型底曳網混獲幼稚魚の生存率を高めるための流水式選別水槽の使用例とその効果. 月刊海洋, 東京, 海洋出版株式會社, Vol.29, No. 6, pp. 380-384.
- 香川 哲, 1997. シャワー 方式による小型底曳網漁業での再放流シャコの生存率の向上. 月刊海洋, 東京, 海洋出版株式會社, Vol.29, No. 6, pp. 385-388.
- 權炳国・高冠瑞, 1994 : 附属具를 부착한 슬롯만곡형전개관의 性能에 관한 模型實驗. 어업기술학회지, 30(2), pp. 71-77.

- 김삼곤 · 이주희 · 박정식, 1994 : 다수어중에 대한 적정어획망목의 추정. 어업기술학회지, 30(2), pp. 86-96.
- 朴璟鉉, 2003. 이중슬롯 만곡형 전개판의 유제역학적 특성에 관한 연구. 박사학위논문.
- 박광제, 2006. 심해 저층 트롤망의 수중형상에 관한 모형실험. 석사학위논문.
- 박진영, 1999. 중층 트롤 그물의 저항분포 해석. 석사학위논문.
- 예영희 · 이병기, 1993. 로프 트롤그물의 기본성능에 관한 모형실험. 어업기술학회지, 29(3), pp. 200-213.
- 유제범, 2001. 무부자 쌍끌이 중층망의 전개성능에 관한 모형실험. 석사학위논문.
- 이병기 · 김기윤 · 이대재 · 장충식, 1995. 쌍끌이 중층트롤어법의 연구-I, 모형어구의 망구형상에 관하여. 어업기술학회지, 31(1), pp. 29-44.
- 이주희 · 김삼곤 · 김진건, 1992. 동지나해 저서 어자원에 대한 트롤어구의 어획선택성에 관한 연구-I. 어업기술학회지, 28(4), pp. 365-368.
- 정순범 · 이주희 · 김삼곤, 1993. 측편형어류에 대한 트롤끝자루의 망목선택성. 어업기술학회지, 29(4), pp. 254-259.
- 정순범 · 황두진 · 김용주 · 신형호 · 손용욱, 2005. 2004년 하계 한국 남해에 있어서 저층 트롤 어획물의 종조성. 어업기술학회지, 41(1), pp. 35-45.