



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](#)

이학석사 학위논문

중서부태평양 수역 우리나라 다랑어
선망 어업의 시계열에 의한 어획
효율 분석



2022년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 물 리 학 과

하 영 신

이학석사 학위논문

중서부태평양 수역 우리나라 다랑어
선망 어업의 시계열에 의한 어획
효율 분석

지도교수 이 춘 우

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함.

2022년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 물 리 학 과

하 영 신

하영신의 이학석사 학위논문을 인준함.

2022년 2월 25일

주 심 이 학 박 사 류 경 진



위 원 이 학 박 사 이 미 경



위 원 수 산 학 박 사 이 춘 우



목 차

Table of contents	i
List of figures	ii
List of tables	vi
Abstract	vii
I. 서 론	1
II. 자료 및 방법	
1. 자료	5
2. 방법	5
III. 결과 및 고찰	
1. 연대별 어획 변동 분석	9
2. 어획 성공률	18
3. 시계열에 의한 어획 효율 분석	21
IV. 결론 및 요약	40
참고문헌	41
감사의 글	45

List of figures

- Fig. 1. Moon phase (A) New Moon (B) First quarter (C) Full Moon
(D) Third quarter 8
- Fig. 2. The number of vessels belonging to the Korean tuna purse
seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1980
~2019. 9
- Fig. 3. The proportion of efforts(No. of set/No. of vessels) by set type
of the Korean tuna purse seine fishery operating in the
WCPFC Conventional area, 1990~2019. 10
- Fig. 4. The number of efforts(No. of sets and vessels) by (A) whole
and (B) set type of the Korean tuna purse seine fishery
operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019. 10
- Fig. 5. The CPUE(Catch per vessel) by set type ((A) Aggregated (B)
Separate by set type) of the Korean tuna purse seine fishery
operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019. 11
- Fig. 6. The catch proportion by set type of the Korean tuna purse seine
fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019. 12
- Fig. 7. The catch proportion of Skipjack tuna and Yellowfin tuna by set
type ((A) Aggregated (B) Unassociated set (C) Associated set)
of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC
Conventional area, 1980~2019. 13
- Fig. 8. The CPUE(Catch per set) by set type ((A) Aggregated (B)
Separate by set type) of the Korean tuna purse seine fishery
operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019. 14

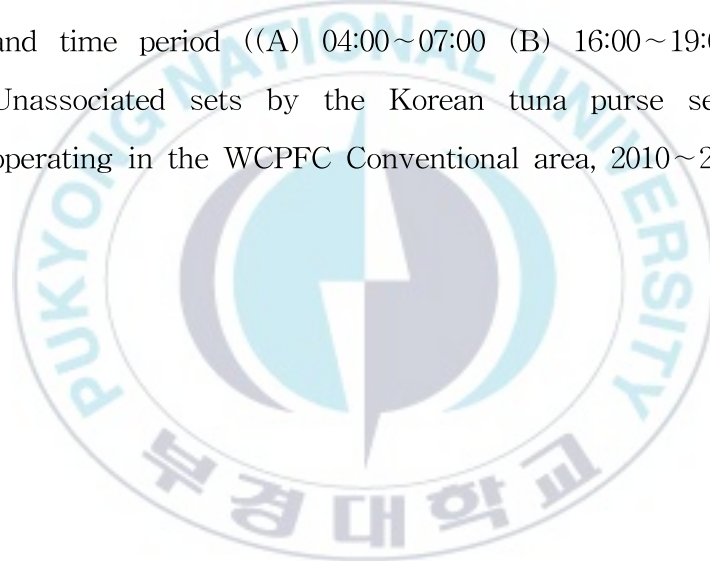
- Fig. 9. The CPUE of Skipjack tuna by set type ((A) Aggregated (B) Seperate by set type) of the Korean tuna purse seine fishery operating in WCPFC Conventional area, 1980~2019. 15
- Fig. 10. The CPUE of Yellowfin tuna by set type ((A) Aggregated (B) Seperate by set type) of the Korean tuna purse seine fishery operating in WCPFC Conventional area, 1980~2019. 16
- Fig. 11. Success catch proportion by set type ((A) Unassociated (B) Associated) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1990~2019. 20
- Fig. 12. The number of set by the time of day and set type ((A) Unassociated (B) Associated) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 22
- Fig. 13. The catch by the time of day and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated set by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 23
- Fig. 14. The CPUE by the time of day and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated set by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 24
- Fig. 15. The success catch proportion by the time of day and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated set by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 25

- Fig. 16. The number of effort by moon phase and set type ((A) Unassociated (B) Associated) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 28
- Fig. 17. The catch per days by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 29
- Fig. 18. The catch per days by moon phase and species group ((A) Unclassified (B) Skipjack tuna (C) Mix) for the Associated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 30
- Fig. 19. The CPUE by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 31
- Fig. 20. The CPUE by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Associated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 32
- Fig. 21. The success catch proportion by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. .. 33
- Fig. 22. The success catch proportion by moon phase and species

group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Associated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 34

Fig. 23. The CPUE of species group(Skipjack tuna) by moon phase and time period ((A) 04:00~07:00 (B) 16:00~19:00) for the Unassociated sets by The Korean tuna purse seine fishery Operating in the WCPFC Conventional area, 2010 ~2019. · 37

Fig. 24. The CPUE of species group(Yellowfin tuna) by moon phase and time period ((A) 04:00~07:00 (B) 16:00~19:00) for the Unassociated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019. 38



List of Table

Table 1. A group of Moon phase by lunar calender	8
Table 2. The number of success sets and success proportions by set type according to the level of standard tonnage	18
Table 3. The success catch amount and success proportion by species group according to the level of standard tonnage	19



The catch efficiency analysis by the time series of Korean tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean

Youngshin Ha

*Department of Fisheries Physics,
Pukyong National University*

Abstract

Korean tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean accounts for the largest portion in the Korean distant water fisheries. The need to increase the fishing efficiency of the purse seine fishery is growing due to not only the continuous increase in fishing costs including fishing fee (license fee) but also the strengthening of regulatory measures by the Regional Fisheries Management Organizations. Based on the catch report data, the catch efficiency of tuna purse seine fishery was analyzed in a time series based on the specific criteria for a time of day and the moon phase by each school type. As a result for a time of day, fishing efficiency were good during the sunrise and sunset for skipjack and around 4 PM for yellowfin tuna. In consequence for a moon phase, it showed better fishing

efficiency during the new moon for skipjack tuna and the full moon for yellowfin tuna in the free school sets. As for the FAD sets, it was better during the full moon in the most of case. Especially, there was a large deviation in the fishing efficiency by moon shape between 4 PM and 7 PM, which is affected by the lunar illuminance (or moonlight). The results of this paper are intended to be used as a preliminary research to improve the fishing efficiency of the Korean tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific ocean.



I. 서론

원양산업은 수산자원 확보를 통한 동물성 단백질 공급 등과 같은 단순한 1차 산업의 의미 뿐만 아니라 대량 어획을 통한 국민 식량 안보 및, 외화 획득 등 국가 차원에서 중요한 의미를 가진다. 우리나라 원양어업은 2020년 기준 총 7개 어업이 전 대양을 대상으로 조업하고 있으며, 이중 다랑어 어업(선망, 연승)은 원양 어업의 총 생산량의 약 70%를 차지하는 매우 중요한 어업이다. 다랑어 어업은 우리나라 원양어업의 초석을 다진 어업으로, 1957년 다랑어 연승어선인 지남호의 첫 출어를 시작으로 점차 규모가 확대되어 원양산업으로 생산된 수산물의 수출액은 1970년대 초 우리나라 총 수출액의 5%를 차지했다. 1990년에는 생산량 100만 톤, 어선 척수는 810 척까지 성장했으나, 이후 감소하여 2020년 기준 총 생산량 44만 톤, 어선 척수 210 척을 기록하였다 (Kostat, 2021).

우리나라 다랑어 선망어업은 1972년 제동산업이 미국 중고선 3척을 인수하여 조업을 시작했으나, 부족한 어로 기술과 어선 노후화로 인해 어획 실적을 올리지 못했다. 이후 동원산업이 1979년 미국으로부터 헬리콥터 탐재식 선망어선을 인수하여 본격적인 선망선단 조업이 이루어 졌다 (해양수산부, 2018).

우리나라 다랑어 선망어업의 생산량은 1980년대 33,811 톤, 1990년대 173,280 톤, 2000년대 217,576 톤 2010년대 274,994 톤, 2020년 263,449 톤을 생산하여, 원양어업 총 생산량에 대한 어업 비중이 1980년대 4.8%에서 2020년 60.3%로 지속적으로 증가하고 있으며, 특히, 중서부태평양 수역은 2020년 기준 우리나라 다랑어 선망어업의 생산량의 약 95%를 차지하고 있다 (Kostat, 2021).

중서부태평양수산위원회(Western and Central Pacific Fisheries Commission,

WCPFC)는 전 세계 다랑어 생산량의 64%를 차지하는 중서부태평양 수역의 고도회유성 어종을 보존·관리하기 위해 설립된 국제수산물관리기구로, 관리대상 수산자원을 보호하기 위해 다양한 보존관리조치(Conservation and Management measures, CMMs)를 설정하고, 이를 회원국에 의무적으로 이행하도록 규정하고 있다. 특히 선망어업은 가장 강력한 규제조치가 적용되는 어업 중 하나로, 2010년부터 키리바시, 나우루, 마셜 제도, 미크로네시아, 파푸아뉴기니, 솔로몬제도, 피지, 투발루의 EEZ(Exclusive Economic Zone, 배타적 경제 수역)로 막혀있는 Pocket high-sea를 금어구역으로 지정하고 다랑어 선망 어선에 오퍼버 승선을 의무화 시켰으며 조업일수규제(Vessel Day Scheme, VDS)가 시행되었다 (CCM2008-01). 또한 어군집어장치(Fish Aggregating Device, FAD)를 이용한 조업 활동의 증가로 주요 다랑어종의 소형 개체의 어획 비율이 높아지고 있어 어족 자원 보호를 위해 FAD 금어기 설정, FAD 개수 제한 등의 조치가 추가되었다(Lee, 2016).

2008년 원양산업 발전법의 시행(법률 제8626호)으로 국제기구의 보존관리조치를 이행함으로써 자원을 보존·관리하며 불법·비보고·비규제(Illegal Unreported And Unregulated, IUU)어업을 근절하기 위한 노력을 계속해왔다. 또한, 원양산업발전기본계획을 수립하여 원양산업 육성을 통한 국제 경쟁력 강화를 도모해오고 있다. 미국 등에서 도입된 노후된 중고선으로만 이루어진 우리나라 초기 다랑어 선망어업은 2006년 횃감용 처리가 가능한 신조선을 도입 하였고, 2011년 정부의 한국형 원양 다랑어 선망 선형 개발과 원양선사의 추가적인 신조선 건조로 인하여 평균 선령이 낮아졌으며 어획 능력이 향상 되었다.

다랑어 선망어업은 긴 사각형 모양의 그물에 줍고리(Purse ring)를 달아 어군을 둘러싼 후 고리를 조아 어군을 가두어 잡는다. 하지만 목표종

인 다랑어류의 1분간 지속가능한 최대속도는 12 knot로 매우 빠르기 때문에 어획성공률이 낮다 (Hyun, 1992). 따라서 어획 성능을 결정하는 요소는 선박 능력(vessel capacity)뿐만 아니라 선장의 어로기술 또한 중요한 요소로 작용한다 (Ryu, 2015). 선장은 어획량과 어획 성공 확률, 대상 어군의 어가 등을 고려하여 어획효율이 높은 방향으로 조업 여부를 결정한다.

다랑어 선망어업은 조업 결정 시 어군 형태에 따라 부상군 조업과 FAD 조업으로 나뉜다. 부상군 조업은 표층에서 유영하거나 먹이를 먹고 있는 어군을 대상으로 조업하며 FAD 조업은 자연 부유물(Log)이나 인공 집어장치에 집어 된 어군을 대상으로 조업한다 (Lee, 2016). 부상군 조업은 FAD 조업에 비해 황다랑어 어획 비율이 높고 해뜨기 전에 제한적으로 조업하는 FAD 조업에 비해 상대적으로 조업 빈도 또한 높다. FAD 조업은 부유물체에 집어 된 정지상태의 다랑어를 어획하기 때문에 단위노력당어획량(Catch Per Unit Effort, CPUE) 및 어획 성공률이 부상군 조업에 비해 높다 (Moon, 2005; Lee, 2016).

다랑어의 행동에 관한 연구로 FAD에 집어된 가다랑어와 황다랑어의 주·야별 유영 수심에 관한 연구 (Matsumoto, T. et al, 2006), 가다랑어의 수직 운동 패턴에 관한 연구 (Kurt M. Schaefer et al, 2007), 집어 여부에 따른 가다랑어의 유영 수심 및 속력에 관한 연구 (Takayuki Matsumoto et al, 2014), 황다랑어 유영수심의 장기적인 관찰에 관한 연구 (Kurt M. Schaefer et al, 2007)등이 이루어 졌으며, 다랑어의 유영수심은 시간별로 달라지며 어종별로 다른 특징을 보이는 것으로 나타났다.

다랑어 선망어업과 유사한 정어리 선망어업의 어획 효율에 관한 최근 연구에서는 기존의 요인들에 더해 장기적인 관점에서 시간적 요인(달의 형상)에 의한 어획 변동 분석의 중요성이 강조되었다 (Zafer Tosunoglu

at et al, 2021).

다랑어 선망어업의 어획 효율성에 영향을 주는 요인에는 물리적 요인, 환경적 요인, 시간적 요인 등이 거론되어 왔다 (Adam Langley, 2004; Tiffany Vidal et al, 2020; G. Habib et al, 1980).

다랑어 선망어업의 물리적 요인에 관한 연구로는 선박 능력이 어획에 미치는 영향에 관한 연구 (Lee, 2017)와 어구 구성의 변화에 관한 연구 (Ryu, 2015), 환경적 요인인 기후가 어장형성에 미치는 영향에 관한 연구 (An, 2003)가 있었으나, 시간적 요인에 관한 어획 효율 분석 등에 관한 연구는 없었다.

어획 효율에 영향을 미치는 요인 중 물리적 요인은 가장 쉽게 조정이 가능하지만 매우 큰 경제적 비용을 요구하며, 환경적 요인은 해역이나 계절에 따른 가변성이 매우 클뿐만 아니라 여러 요소별 상호작용의 관계가 복잡하여 각 요소의 인과관계를 규명하기 어렵다. 하지만 시간적 요인은 언제 어디서든 일관적인 기준으로 분석이 가능하다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 중서부태평양 수역 다랑어 선망어업의 어획 변동을 연도별로 분석하여 어획동향을 파악하고, 어획 성공률에 대한 기준을 설정하여, 일별 시각과 달의 형상 등 시간의 변화에 따른 어획량 변동을 분석하여 어종별 어군 형태별 어획 효율이 높은 시간대를 분석하였다.

현재 다랑어 선망어업은 조업 규제의 강화 및 입어 경비 상승 등으로 어획 효율을 높이는 당면 과제에 봉착하고 있다. 따라서 본 연구는 어획 효율이 높은 시간대를 파악하여 어장의 선택과 조업 시기를 판단하고 어획 효율을 향상 시키기 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

II. 자료 및 방법

1. 자료

본 연구에서는 중서부태평양 수역에서 조업하는 우리나라 다랑어 선망어업의 역사적인 어획 동향과 어군 형태 및 어종 별 어획량 및 CPUE, 어획 성공률 등을 분석하기 위하여, 조업선박이 국립수산물과학원으로 보고한 1980년부터 2019년까지의 어획실적보고 자료를 사용 하였다. 보고 내용에는 선박명, 선박 활동(조업, 어탐 등), 조업 일시 및 위치, 어군 형태 및 어종 별 어획량 등의 정보가 포함되어 있다.

연도별 조업 선박 척수는 조업 일지 보고율이 100% 미만인 경우가 있어 통계청 자료를 사용하여 분석하였다.

2. 방법

2.1 연도별 어획 동향 분석

본 연구에서는 중서부태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업의 어획량 변동을 분석하기 위하여 목표종인 가다랑어(Skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*, SKJ)와 황다랑어(Yellowfin tuna *Thunnus albacare*, YFT)의 어획량과 노력량(조업횟수) 및 조업 선박 척수 자료를 사용 하였다. 눈다랑어(Bigeye tuna *T.obesus*) 역시 선망어업에 의해 혼획되지만, 어획 비율이 부상군 조업의 경우 0.3%, FAD 조업에서 0.6%로 매우 낮아(Lee, 2016) 분석에서 제

외하였다.

태평양 선망어업의 어획 동향에 대한 연도별 분석은 1980년~2019년간의 자료를 사용했으며 어군 형태 별 분석을 위해 어군 형태를 부상군(Unassociated) 조업과 FAD(Associated) 조업으로 구분 하였고, 부상군 조업(부상군, 섬이군)과 FAD 조업(자연 유목, 인공 유목)으로 명확하게 명시 되어 있는 1990년~2019년간의 자료를 사용 하였다.

어획 변동은 노력량, 어획량, CPUE, 어획 성공률을 분석 하였다. 조업 일지 보고율이 100%가 되지 않는 경우를 고려하여 노력량과 어획량은 선박 1척당 값으로 분석하였으며 CPUE는 1회 조업당 어획량으로 산출하였다.

2.2 어획 성공 기준 설정을 위한 분석

다랑어 선망어업은 조업 대상 어군을 눈으로 직접 목격하거나 소나(SONAR)등과 같은 어업계측 장비로 어군의 크기를 가늠한 뒤 조업여부를 결정하기 때문에 어획량이 미미할 경우 성공한 조업이라 하기 어렵다. 실제 현장에서도 선장은 일정 톤수(10~20톤)를 최소 투망기준 톤수로 한다. 본 연구에서는 어획 성공에 대한 기준 톤수를 확인하기 위해 0 톤 초과, 5 톤 이상, 10 톤 이상, 15 톤 이상, 20 톤 이상으로 구분하여 분석하였다.

어군 형태별 분석에서는 부상군 및 FAD 조업별로 종 조성이 다르며 (Lee, 2016) 잡어 되지 않은 가다랑어와 황다랑어의 유영 습성이 다르기 때문에 (Takayuki Matsumoto et al, 2014; Kurt M. Schaefer et al, 2007) 조업형태별 어군의 행동에 관한 분석을 위해 부상군 조업의 경우 혼합군, 가다랑어 어군, 황다랑어 어군의 경우로 분석 하였고, FAD 조업의 경우 황다랑어만 어획되는 경우가 거의 없으며 혼획된 소형 개체는 가다랑어를 제외하고는 어종 구별이 어렵기 때문에 가다랑어 군과 혼합군의 경우에 대해서만 분석하였다.

2.3 시계열 어획 효율 분석

중서부 태평양 수역의 다랑어 선망어업은 2010년 이후 신조선의 도입, 읍서버 100% 승선, 금어구역 설정 및 FAD금어기, FAD개수 제한 등의 규제로 인해 조업의 특성과 형태가 바뀐에 따라 본 분석에서는 2010년~2019년간의 자료를 사용하였다.

시간대별 어획 변동을 분석하기 위하여 세계표준시(Greenwich Mean Time, GMT)로 보고된 조업 시간 자료를 현지시간(Local Mean Time, LMT)으로 전환하였다. 정도 높은 시계열 분석을 위해 조업시작 시간이 명확히 명시된 자료만 활용하였다.

또한 달의 형상(음력 일)에 따른 어획 변동을 분석하기 위하여 현지 시간으로 전환된 조업 일(양력)을 음력 일로 전환하였다.

달의 위상을 변수로 다랑어 연승어업의 어획변동을 분석한 연구에서는 음력 일(Lunar day)을 묶어서 신월, 만월, 상현 및 하현으로 구분하였다. 하지만 연구마다 달 형상을 구분하는 기준일이 만월·신월 전후 4.9일(Xi he et al, 1997), 2일(Francois Poisson et al, 2010), 3일(Sajeevan et al, 2015)로 달랐고 만월과 신월을 제외한 나머지 음력 일을 통합하여 상현과 하현을 구분하지 않고 분석하였다.

달의 위상을 변수로 다랑어 선망어업의 어획변동을 분석한 연구에서는 만월과 신월에 대한 언급만 하거나 (Adam Langly, 2004), 음력 일을 고려하지 않고 달의 형상만 구분하였다 (G. Habib et al, 1980; Tiffany Vidal et al, 2020).

본 연구에서는 음력일 별로 관측 가능한 달의 면적이 15% 미만일 경우 신월(New Moon; 음력 1~3일, 27~30일), 85% 이상 일 경우 만월(Full Moon; 음력 12~18일), 15% 이상 85% 미만일 때를 상현(First quarter; 음력 4~11일)과 하현(Third quarter; 음력 12~18일)으로 구분하였다 (Table

1). 상현달과 하현달의 경우 육안으로 보이는 면적은 50%로 동일하지만, 하현달의 어두운 크레이터 부분으로 인해 상현달과 조도가 달라 이를 구분하여 분석하였다 (Fig. 1). 달의 형상별로 날짜가 다르므로 비교 분석을 위해 평균값을 사용하였다.

Table 1. A group of Moon phase by lunar calender

Group	Lunar days
New Moon	1 ~ 3, 27 ~ 30
First quarter	4 ~ 11
Full Moon	12 ~ 18
Third quarter	19 ~ 26

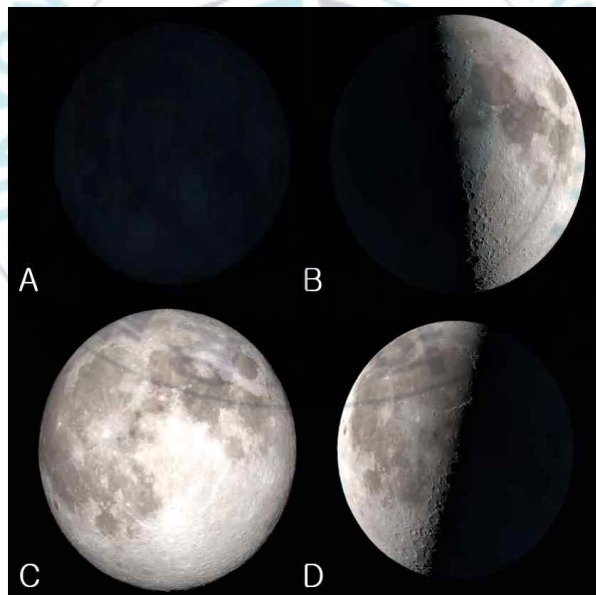


Fig. 1. Moon phase (A) New Moon (B) First quarter
(C) Full Moon (D) Third quarter

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 연도별 어획 변동 분석

1.1 어획 노력량

중서부태평양 수역에서 조업하는 우리나라 다랑어 선망어업의 조업선 척수는 조업이 시작된 이후 점차 증가하여 1990년도 39척을 기록한 후 점차 감소하여 최근 29척 이내의 수준을 유지하고 있다. 연대별 분석은 1980년대 평균 13.6척, 1990년대 31.4척, 2000년대 27.6척, 2010년대 30.6척으로 나타났다 (Fig. 2).



Fig. 2. The number of vessels belonging to the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019.

어군 형태별 조업 비율은 2000년대를 기점으로 FAD 조업의 비율이 커졌다. 연대별 부상군 조업과 FAD 조업의 노력량 비율 변동은 1990년대 각각 81.8%, 18.2%, 2000년대 78.2%, 21.8%, 2010년대 76.5%, 23.5%로 나타났다 (Fig. 3).

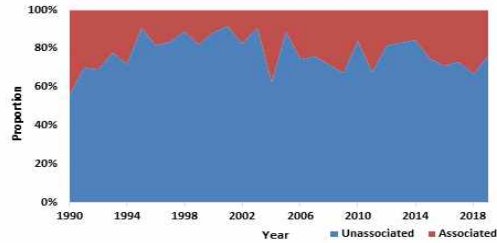


Fig. 3. The proportion of efforts(No. of set/No. of vessels) by set type of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1990~2019.

조업선 1척당 노력량은 부상군 조업과 FAD 조업 모두에서 점차 증가하는 추세를 보였다. 전체 조업을 기준으로 연대별 평균 노력량은 1980년대 147회, 1990년대 171회, 2000년대 218회, 2010년대 234회로 나타났다 (Fig. 4A). 부상군 조업의 경우 1990년대 35회, 2000년대 165회, 2010년대 178회로 나타났으며, FAD 조업은 1990년대 8회, 2000년대 46회, 2010년대 55회로 나타났다 (Fig. 4B).

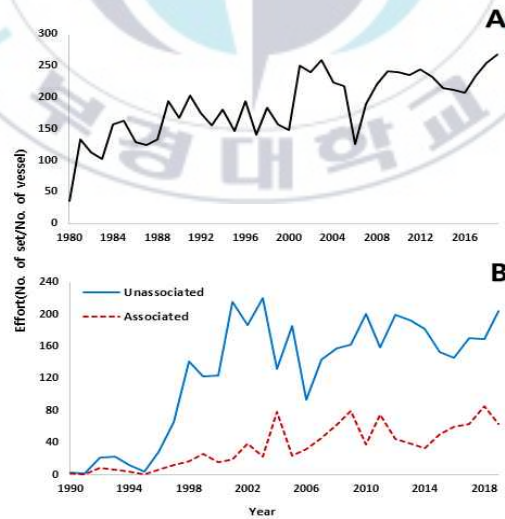


Fig. 4. The number of efforts(No. of sets and vessels) by (A) whole and (B) set type of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019.

1.2 어획량

중서부태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업에서 척당 어획량은 부상군 조업과 FAD 조업에서 모두 점차 증가하는 추세를 보였으며 연대별 어획 동향은 1980년대 3,111 톤, 1990년대 4,412 톤, 2000년대 6,950 톤, 2010년대 8,868 톤으로 나타났다 (Fig. 5A). 부상군 조업에서 척당 어획량은 1990년대 832 톤, 2000년대 4,524 톤, 2010년대 5,673 톤으로 나타났으며, FAD 조업은 1990년대 300 톤, 2000년대 2,272 톤, 2010년대 3,154 톤으로 나타났다 (Fig. 5B).

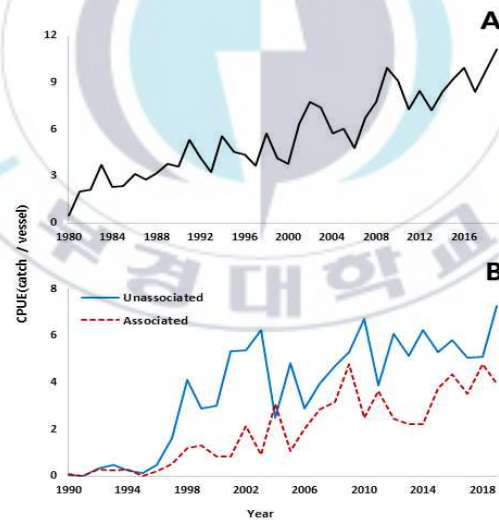


Fig. 5. The CPUE(Catch per vessel) by set type ((A) Aggregated (B) Seperate by set type) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019.

어군 형태 별 어획량 변동은 노력량 변동과 마찬가지로 2000년대를 기점으로 FAD 조업의 어획량 비율 증가폭이 더 커졌다. 부상군 조업과 FAD 조업 간의 어획 비율의 연대별 분석은 FAD 조업을 기준으로 1990년대 18% 2000년대 22%, 2010년대 24%로 나타났다 (Fig. 6).

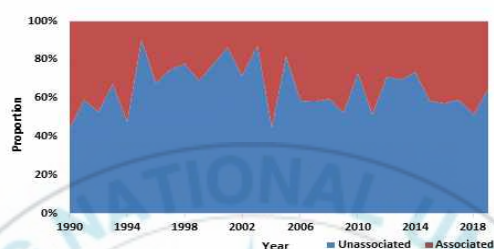


Fig. 6. The catch proportion by set type of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019.

가다랑어와 황다랑어의 어획 비율은 어군 형태를 구분하지 않을 경우 황다랑어의 비율이 점차 감소했고, 부상군 조업의 경우 뚜렷한 변동 추세가 보이지 않았으나, FAD 조업의 경우 황다랑어의 어획 비율 감소의 폭이 컸다. 연대별 어획 비율은 어군 형태를 구별하지 않을 경우 황다랑어를 기준으로 1980년대 26%, 1990년대 26%, 2000년대 17%, 2010년대 16%로 나타났다 (Fig 7A). 부상군 조업에서 황다랑어의 어획 비율은 1990년대 28%, 2000년대 23%, 2010년대 22%로 나타났다 (Fig. 7B). FAD 조업에서 황다랑어의 어획 비율은 각각 1990년대 18%, 2000년대 5%, 2010년대 5%로 나타났다 (Fig. 7C).

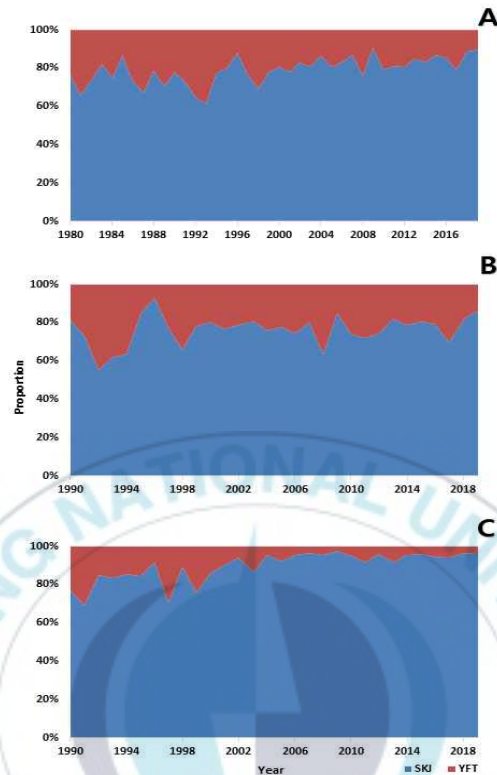


Fig. 7. The catch proportion of Skipjack tuna and Yellowfin tuna by set type ((A) Aggregated (B) Unassociated set (C) Associated set) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019.

1.3 단위노력당 어획량 (CPUE)

중서부태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업의 CPUE는 지속적인 상승 추세를 보였으며, FAD 조업에서 부상군 조업보다 더욱 큰 상승폭을 보였다. 연대별 CPUE는 어군 형태를 구분하지 않았을 경우 1980년대 21.1, 1990년대 25.8, 2000년대 31.9, 2010년대 38.0으로 나타났다 (Fig. 8A). 부상군 조업의 경

우, 1990년대 24.1, 2000년대 27.4 2010년대 24.9로 나타났으며, FAD 조업은 1990년대 39.0, 2000년대 49.5, 2010년대 54.7로 나타났다 (Fig. 8B).

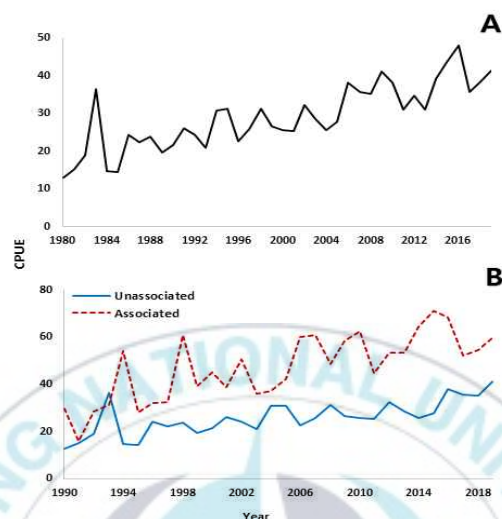


Fig. 8. The CPUE(Catch per set) by set type ((A) Aggregated (B) Seperate by set type) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1980~2019.

어종별로는, 가다랑어의 경우 CPUE가 지속적으로 상승하는 추세를 보였으며, 특히 부상군 조업 대비FAD 조업의 CPUE가 더욱 크게 상승했다. 어종별 연도별 CPUE에서 가다랑어는, 어군 형태를 구분하지 않은 경우 1980년대 16.0, 1990년대 19.2, 2000년대 26.5, 2010년대 31.9로 나타났다 (Fig. 9A). 부상군 조업에서는 1990년대 17.3, 2000년대 21.2, 2010년대 24.9로 나타났으며, FAD 조업에서는 1990년대 32.0, 2000년대 47.1, 2010년대 54.7로 나타났다 (Fig. 9B).

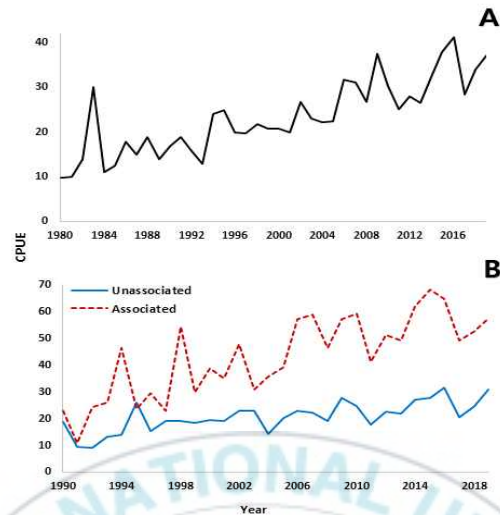


Fig. 9. The CPUE of Skipjack tuna by set type ((A) Aggregated (B) Seperate by set type) of the Korean tuna purse seine fishery operating in WCPFC Conventional area, 1980~2019.

반면, 황다랑어는 연대별 CPUE에서 특별한 증감 추세를 보이지 않았다. 어군 형태를 구분하지 않은 경우 황다랑어의 CPUE는 1980년대 5.3, 1990년대 6.6, 2000년대 5.4, 2010년대 6.0으로 나타났다 (Fig. 10A). 부상군 조업에서는 1990년대 6.8, 2000년대 6.2, 2010년대 7.0으로 나타났으며, FAD 조업에서는 1990년대 7.0, 2000년대 2.4, 2010년대 2.9로 나타났다 (Fig. 10B).

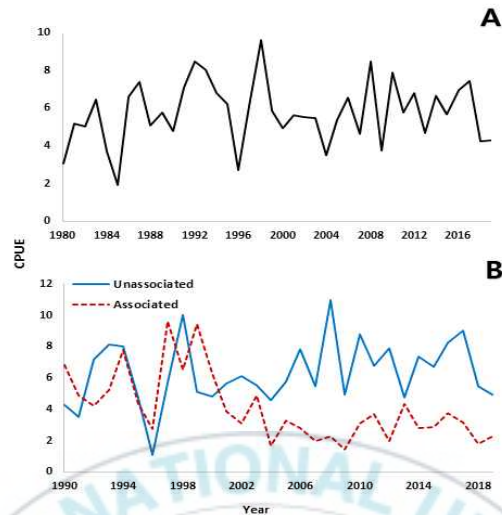


Fig. 10. The CPUE of Yellowfin tuna by set type ((A) Aggregated (B) Seperate by set type) of the Korean tuna purse seine fishery operating in WCPFC Conventional area, 1980~2019.

중서부태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업의 변동을 연대별로 관찰한 결과 2000년대에 조업 선박 척수가 감소되었음에도 불구하고 전체적인 어획량과 척당 노력량, CPUE가 증가했으며 우리나라 다랑어 선망어업의 어획 효율이 시간에 따라 개선되고 있는 현상은 다음과 같은 이유로 보인다.

첫 번째 물리적 요인의 발전이다. 2000년대 후반 대형 신조선이 도입된 이후 (Lee, 2016), 2008년 원양산업발전종합계획수립을 시작으로 2011년 한국형 차세대 원양어선의 선형이 개발 되어 노후 된 조업선이 대형 신조선으로 교체되기 시작하였다. 어구 또한 대형화 및 재질과 구조의 개선이 이루어져(Ryu, 2015), 어획 성능이 향상되어 빠른 속도로 다랑어를 대량 어획하는 것이 가능해 졌다.

두 번째로 어장 정보 분석능력의 발전이다 어선에 탑재된 레이더, 소나, 수중 어탐기, 위성 부이 등 조업 결정에 필요한 정보를 수집하는 보조 장비의 발전과 함께 2000년대 중반 상업위성정보 서비스(Orb map 등)가 도입되어(Lee, 2016), 선장은 조업에 필요한 해황 정보를 빠르고 정확하게 수신할 수 있게 되었다. 선장은 목표종인 다랑어의 어장 형성에 밀접한 영향을 미치는 해황 정보와 주요 어장에 광범위하게 투척 되어 있는 FAD 아래 어군 형성 유무와 규모에 대한 정보를 신속하게 수신하여 보다 효율적으로 조업할 수 있게 되었다.

세 번째로 기술의 축적이다. 중서부 태평양 수역에서 조업이 시작된 이래 동 어장에서 조업을 이어오고 있는 선장들의 어로기술은 계속해서 축적되고 있다. 또한 FAD 도입 이후, FAD 조업 비율이 지속적으로 증가하고 있으며, FAD 조업의 노력량, CPUE 또한 모두 증가하는 경향을 보인다. 자연 유목군 조업(해상에서 떠내려 온 나무, 야자수 잎 및 해양쓰레기 등)과 달리 인공 FAD 조업은 선장이 FAD를 조류 방향과 표류 시간을 고려하여 투척한다 (Lee, 2016). 2016~2020년간 중서부 태평양에 투척 된 FAD는 총 96,599 개로 10만개에 육박한다 (원양어업지, 1138호). 따라서 중서부태평양수역 우리나라 다랑어 선망어업의 CPUE 증가는 FAD 도입 및 보조 장비 등 조업 기술의 발전이 크게 이바지 한 것으로 볼 수 있다.

위와 반대로 조업환경의 부정적 변화 역시 어획 효율 상승에 일조 했다. 이 중 선원의 인건비 상승과 함께 입어로 인상이 대표적인 원인으로 조업선의 일일 어획 경비가 상승하였다. 따라서 어장 이동을 하며 조업을 하던 예전과는 달리 최근에는 어장 이동 시에는 어장까지 조업이나 어탐을 하지 않고 직선 항로로 통항하며 풍부한 어장을 찾는데 더욱 집중하게 됨에 따라 어탐과 조업 형태에 변화가 나타났고, 이를 통해 어획 경비 절감 및 어획효율 향상 등의 긍정적인 결과가 나타난 것으로 판단된다.

2. 어획 성공률

2.1 어획 성공률 기준 정의

중서부태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업의 어획 성공률은 부상군 조업에서 어획량이 0 톤 초과인 경우 55%, 5 톤 이상 55%, 10 톤 이상 51%, 15 톤 이상 45%, 20 톤 이상 42%으로 나타났으며, FAD 조업에서는 0 톤 초과인 경우 92%, 5 톤 이상 91%, 10톤 이상 86%, 15 톤 이상 75%, 20 톤 이상 69%로 나타났다 (Table 2).

Table 2. The number of success sets and success proportions by set type according to the level of standard tonnage

Standard tonnage	Unassociated			Associated		
	Total set	No. of success set	Proportion (%)	Total set	No. of success set	Proportion (%)
0		53,612	55.11		25,716	91.72
5		53,109	54.59		25,471	90.84
10	97,290	50,099	51.49	28,039	24,029	85.70
15		44,155	45.38		21,132	75.37
20		40,479	41.61		19,461	69.41

부상군 조업에서 가다랑어를 기준으로 한 어획 성공률은 어획량이 있을 경우 (> 0 톤) 31%, 5 톤 이상 31%, 10 톤 이상 30%, 15 톤 이상 26%, 20 톤 이상 24%이고, 황다랑어는 각각 13%, 12%, 16%, 9%, 8%이며, 혼합군의 경우 각각 11%, 11%, 11%, 11%, 10%로 나타났다 (Table 3).

Table 3. The success catch amount and success proportion by species group according to the level of standard tonnage

Standard tonnage	Total set	Success catch(M/T)			Proportion(%)		
		SKJ	YFT	MIX	SKJ	YFT	MIX
0		41,362	12,252	10,870	42.51	12.59	11.17
5		41,007	11,876	10,818	42.15	12.21	11.12
10	97,290	38,437	10,372	10,707	39.51	10.66	11.01
15		33,777	8,487	10,230	34.72	8.72	10.51
20		30,866	7,366	9,758	31.73	7.57	10.03

기준 톤수가 15 톤일 때 각 기준 간 조업 성공률 차이가 상대적으로 크기 때문에 본 논문에서는 조업 성공률 기준 톤수를 15 톤으로 정하였다.

FAD 조업의 경우 황다랑어의 1회 평균 어획량이 8 톤으로 기준 톤수 보다 작기 때문에 황다랑어군을 제외하였다.

2.2 연도별 어획 성공률 변동

어획량이 15 톤 이상인 경우를 어획 성공으로 간주했을 때 부상군 조업에서는 특별한 동향이 관찰되지 않았다. FAD 조업은 어군 종류를 구분하지 않을 경우 어획 성공률이 전체적으로 증가 추세를 보였지만, 가다랑어군과 혼합군의 경우 변동의 추세가 보이지 않았다. 어군 종류별 연도별 분석에서, 가다랑어군의 어획 성공률은 1990년대 25%, 2000년대 27%, 2010년대 26%로 나타났으며 황다랑어군은 1990년대 10%, 2000년대 9%, 2010년대 9%로 나타났다. 혼합군의 경우 1990년대 8%, 2000년대 7%, 2010년대 13%로 나타났다 (Fig. 11A). FAD 조업에서 어종을 구분하지 않았을 때의 어획 성공률은 1990년대 66%, 2000년대 73%, 2010년대 78%로 나타났다. 가다랑어군은 1990년대 34%, 2000

년대 55%, 2010년대 38%로 나타났으며, 혼합군은 1990년대 27%, 2000년대 17%, 2010년대 40%로 나타났다 (Fig. 11B).

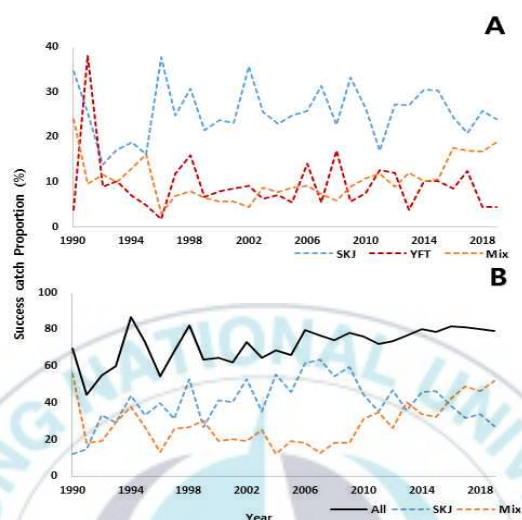


Fig. 11. Success catch proportion by set type ((A) Unassociated (B) Associated) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 1990~2019.

어획 성공과 실패를 판단하는 기준 톤수로, 기준별 어획 성공률 변동 폭이 상대적으로 크게 나타난 15 톤으로 정하였다. 하지만 기준 톤수는 시대별, 조업 상황별로 달라질 수 있다. 입어료가 점차 상승하는 상황에서 어가와 유가는 시장 경제의 상황에 따라 달라지며, 어황 또한 환경적 요인의 변동에 따라 달라지기 때문이다. 어가가 높을 경우 같은 소형 어군이라도 가치가 높아 때에 따라서는 시간과 경비를 들여 조업을 할 수 있다. 반면, 어황이 좋지 않아 중·대형 어군이 없을 경우에는 소형 어군을 대상으로 조업할 수 밖에 없다.

본 연구에서 사용된 자료는 조업선에서 보고한 어획 실적 보고 정보에 한정되어 있어, 동 연구에서는 기준 톤수별 어획 성공률만을 이용하여 어획 성공 기준을 산정했지만, 어가와 유가, 어황 등 세부적인 추가 자료를 수집·보완한 어획 성공률 기준 산정을 위한 추가 연구가 필요하다.

3. 시계열에 의한 어획 효율 분석

3.1 시간별 분석

가. 노력량

부상군 조업의 어획 노력량은 해가 뜨기 시작하는 오전 5시부터 오전 7시까지 급격히 상승한 후, 해가 뜬 오전에는 일정 수준을 유지했다. 이후 오후 3시부터 해가 지기 시작하는 오후 5시 경까지 점차 증가하다가 이후 급감했다 (Fig. 12A). FAD 조업의 어획 노력량은 해가 뜨기 직전인 오전 4시에서 5시에 대부분 이루어졌다 (Fig. 12B).

부상군 조업의 경우 야간 조업인 0시~3시와 20시~23시에는 조업이 거의 이루어지지 않아 CPUE와 조업성공률 분석 결과의 정확성이 떨어지므로 이를 제외하였다.

FAD 조업의 경우 오전 4시~5시의 노력량이 전체 노력량의 약 94%로 조업의 대부분을 차지하므로 시간별 분석에서 제외하였다.

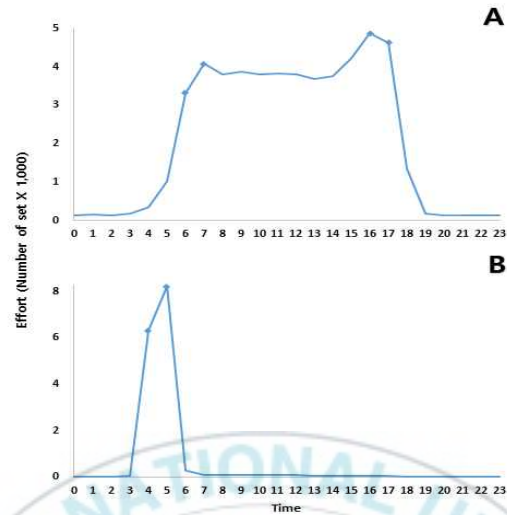


Fig. 12. The number of set by the time of day and set type ((A) Unassociated (B) Associated) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

나. 어획량

부상군 조업에서 가다랑어군의 어획량은 해가 뜨는 오전 6시~7시 사이에 가장 높았으며 이후 점차 감소하다가 오후 2시부터 해가 지기 시작하는 오후 5시 까지 증가한 이후 급감했다 (Fig. 13A). 황다랑어군의 경우 오전 6시부터 오후 4시까지 점차 증가하다가 오후 5시 이후 급감하였으며 (Fig. 13B), 혼합군은 오전 6시에 가장 많았으며 이후 일정 수준을 유지하다가 오후 5시 이후 급감했다(Fig. 13C).

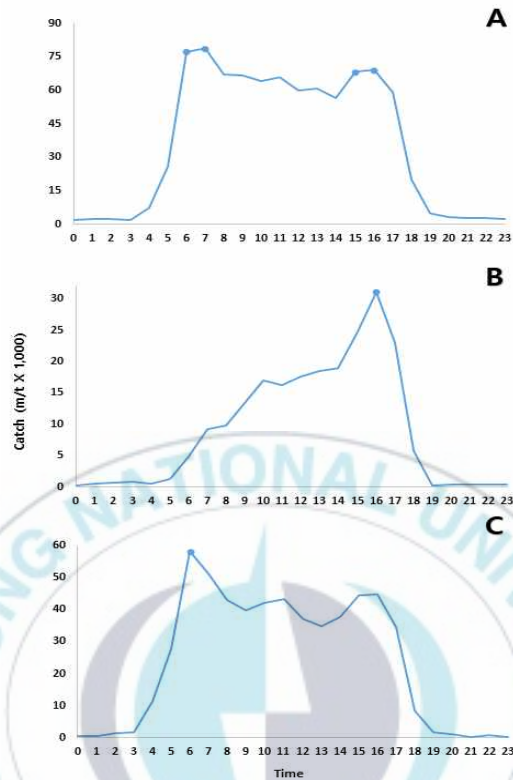


Fig. 13. The catch by the time of day and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated set by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

부상군의 일별 시각에 따른 어획 변동 분석에서 어획량은 가다랑어군과 혼합군의 경우 해가 뜨는 시간에 가장 많았으며 다음으로 오후 3시~4시에 많았다. 황다랑어군의 경우 오후 4시~5시에 가장 많았다. 이는 해가 뜨고 질 때 어군이 수면으로 올라온다는 어업인들의 통념과 일치하며, 본 논문의 노력량 분석 결과 또한 해가 뜨고 지는 시간에 상대적으로 조업이 많이 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

다. CPUE

부상군 조업에서 가다랑어군의 CPUE는 오전 5시와 오후 7시에 가장 높았으며, 오전 5시 부터 오후 5시 까지 점차 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 14A). 황다랑어군의 경우 오전 5시 부터 오후 4시까지 점차 증가하다가 이후 급감하였으며 (Fig. 14B), 혼합군은 오전 4시에 가장 높았으며 이후 점차 감소했다 (Fig. 14C).

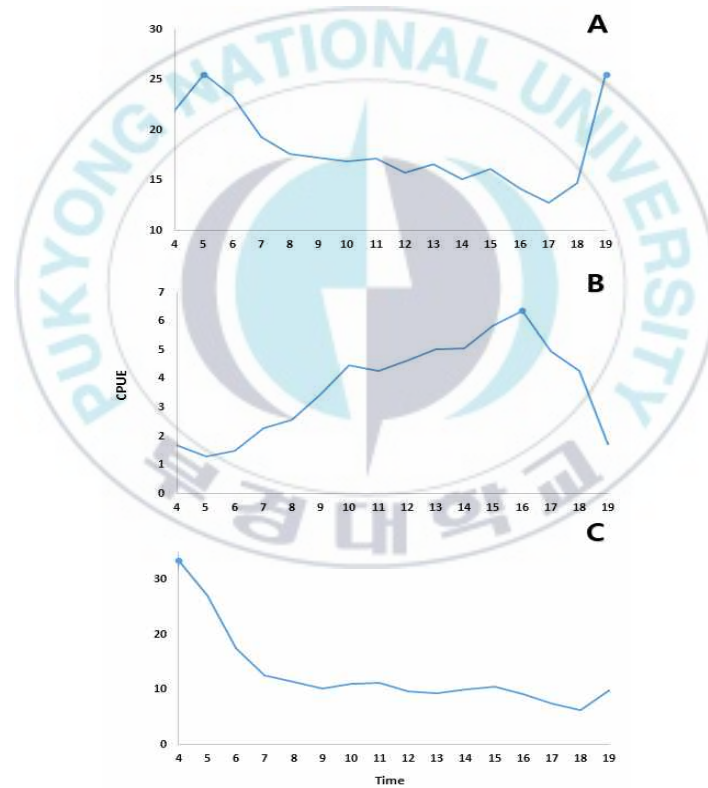


Fig. 14. The CPUE by the time of day and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated set by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

라. 어획 성공률

부상군 조업에서 가다랑어군의 어획 성공률은 오전 5시 부터 오후 5시 까지 점차 감소 하다가 해가 진 오후 7시에 가장 높게 나타났다 (Fig. 15A). 황다랑 군에서는 오전 4시부터 오후 4시까지 꾸준히 증가 한 이후 급격히 감소하였으며 (Fig. 15B), 혼합군의 경우 오전 4시와 5시에 가장 높았으며 이후 점차 감소하였다 (Fig. 15C).

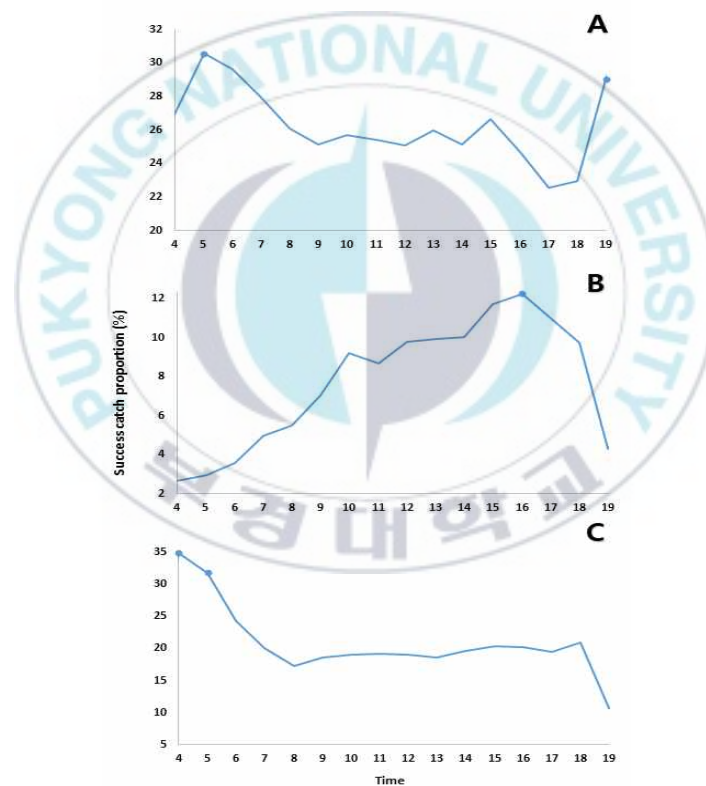


Fig. 15. The success catch proportion by the time of day and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated set by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

가다랑어와 혼합군의 CPUE와 어획 성공률은 해가 뜨기 직전인 오전 4시~5시에 가장 높았는데, 이는 집어등을 켜 채 밤새 표박한 본선에 집어된 어군을 어획한 이유로 보인다. 다랑어는 어군을 이룬 채로 자유로이 유영하다 야간에 집어등을 켜서 빛을 밝히는 본선을 FAD와 같은 집어체로 여겨 집어 되는 경우가 있다. 이때, 본선에서는 FAD 조업과 같은 방식으로 해가 뜨기 전에 조업을 시작한다. 이와 같은 조업 방식은 표류하는 집어체(자연 및 인공 유목)에 집어된 어군을 어획한 것이 아니기 때문에, 어획 실적 보고 시 해당 어업을 부상군 조업으로 보고한다. 따라서 조업 형태는 부상군으로 보고되었으나, 본선의 집어등이 집어체 역할을 하였기 때문에 어획 성공률과 CPUE가 상대적으로 높은 것으로 보인다.

가다랑어와 황다랑어의 유영수심에 관한 선행 연구에서는 두 종 모두 깊은 수심으로의 Bounce Diving을 보였는데, 황다랑어의 경우 Bounce Diving을 보이는 날의 빈도와 Bounce Diving을 하지 않을 때의 평균 유영수심 또한 확인할 수 있었으나 (Kurt M. Schaefer, 2007), 가다랑어에 대한 관련 연구에서 가다랑어는 매일 Bounce Diving을 하였다 (Kurt M. Schaefer, 2009).

가다랑어는 해가 뜨기 시작하는 오전 5시~6시와 해가 지는 오후 6시~7시에 50m~150m대 수심에서 유영했으며, 해가 뜬 오전에는 200~350m까지 Bounce Diving 하는 모습을 보였다 (Kurt M. Schaefer, 2009). 가다랑어 군의 어획 성공률이 오전 5시~6시와 오후 7시에 높은 것은 시간의 변화에 따른 유영 수심의 변동과 관련이 있어 보인다.

황다랑어의 경우, Bounce Diving을 보이는 날의 빈도는 20%로 낮았으며, Bounce Diving을 하지 않을 경우 일별 유영 수심 변동은 해가 뜬 이후부터 해가 질 때까지 점차 표층에 가깝게 유영하였다 (Kurt M. Schaefer et al, 2007; R. W. Brill et al, 1999). 이와 같이 황다랑어의 시간

대별 어획 효율(어획량, 어획성공률, CPUE)는 유영수심과 상관관계가 있는 것으로 판단된다.

다랑어의 유영수심이 해가 뜨고 지는 시간에 알아지는 이유는 주광성 때문이라는 견해가 있다. 태양의 고도가 낮을 때 태양은 수면을 비춘다. 이때 수면은 상대적으로 밝아지며, 빛을 좋아하는 다랑어가 수면 가까이에서 유영한다는 원리인데, 아직까지 다랑어와 주광성 간 상관관계 분석에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

다랑어의 먹이생물인 *Vinciguerrria nimbaria*의 일주운동에 관한 연구에서 *V.nimbaria*는 밤 동안 수온약층 아래에 머무르다가 해가 뜨기 전인 새벽 시간에 수면위로 올라와서 어군을 형성하며, 해가 떠 있는 낮 동안 다시 수온약층 아래에 머무르다 오후에 다시 부상하는 것으로 나타났다. 따라서 다랑어류의 일별 유영수심 변동은 섭이를 위해 먹이생물의 일주 운동을 따른다는 견해도 있다 (Marchal&Lebourges, 1996).

3.2 달의 형상별 분석

가. 어획 노력량

달 형상별 일평균 어획 노력량은 부상군 조업의 경우 신월 14.5회, 상현 14.3회, 만월 14.6회, 하현 13.6회로 달 형상별 일평균 어획 노력량의 변동은 크지 않았다 (Fig. 16A). FAD 조업의 경우 신월 4회, 상현 3.9회, 만월 4.6회, 하현 4.7회로 차는 달 보다 기우는 달에 어획 노력량이 상대적으로 많았다 (Fig. 16B).

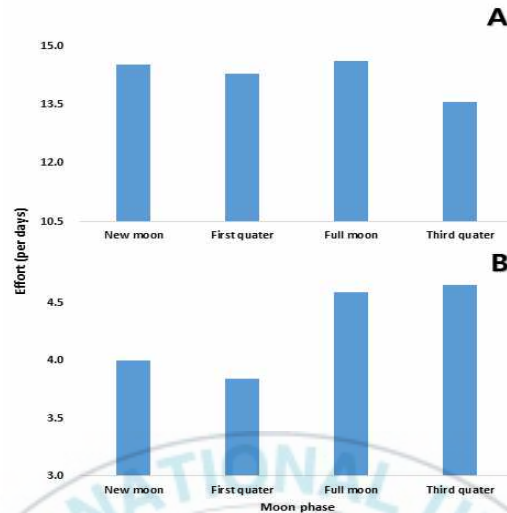


Fig. 16. The number of effort by moon phase and set type ((A) Unassociated (B) Associated) of the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

나. 어획량

부상군 조업에서 달 형상별 일평균 어획량은 가다랑어 군의 경우 신월 245.2톤, 상현 244.5톤, 만월 224.4톤, 하현 241.1톤으로 달 형상에 따른 변동의 패턴이 일정하지 않았다 (Fig. 17A). 황다랑어 군의 경우 신월 54.2톤, 상현 53.0톤, 만월 76.2톤, 하현 55.2톤으로 만월에서의 어획량이 높았다 (Fig. 17B). 혼합군의 경우 신월 58.6톤, 상현 54.7톤, 만월 47.1톤, 하현 47.2톤으로 신월에서의 어획량이 높았다 (Fig. 17C).

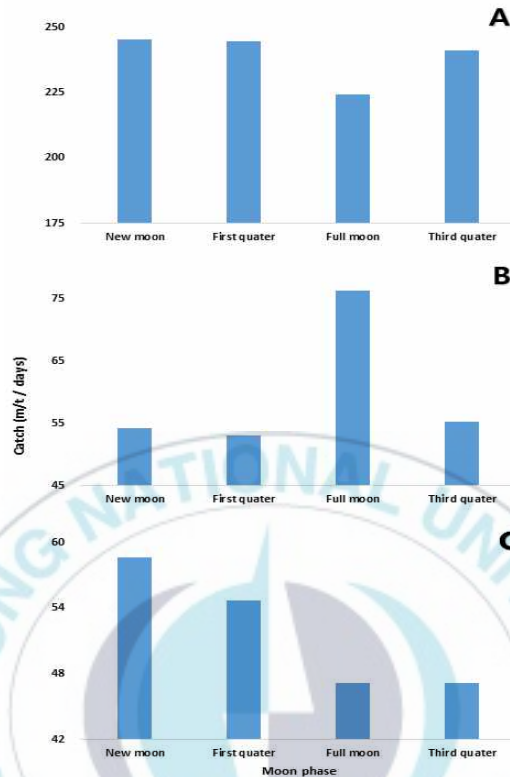


Fig. 17. The catch per days by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

FAD 조업에서 달 형상별 일평균 어획량은 노력량 변동과 유사하게 기우는 달에서 높았으며, 전체 어획량에 대해 신월 224.4톤, 상현 220.8톤, 만월 284.1톤, 하현 278.4톤으로 나타났다 (Fig. 18A). 가다랑어 군의 경우 신월 102.6톤, 상현 104.1톤, 만월 141.5톤, 하현 133.2톤으로 나타났으며 (Fig. 18B), 혼합군의 경우 신월 40.3톤, 상현 38.5톤, 만월 47.1톤, 하현 48.2톤으로 나타났다 (Fig. 18C).

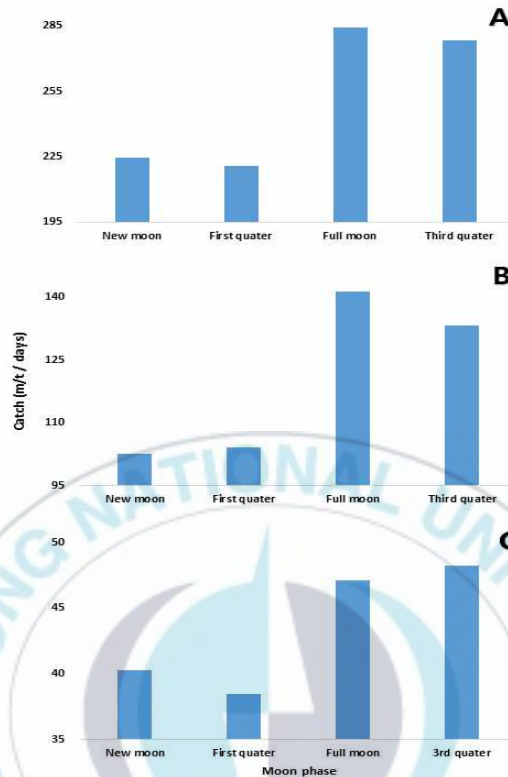


Fig. 18. The catch per days by moon phase and species group ((A) Unclassified (B) Skipjack tuna (C) Mix) for the Associated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

다. CPUE

부상군 조업의 달 형상별 CPUE는 어획량 변동 패턴과 유사하게 나타났다. 가다랑어 군의 경우 신월 16.9, 상현 17.1, 만월 15.4, 하현 17.8으로 나타났다 (Fig. 19A). 황다랑어 군의 경우 신월 3.7, 상현 3.7, 만월 5.3, 하현 4.1으로 나타났으며 (Fig. 19B), 혼합군의 경우 신월 12.1, 상현 11.5, 만월 9.7, 하현 10.4로 나타났다 (Fig. 19C).

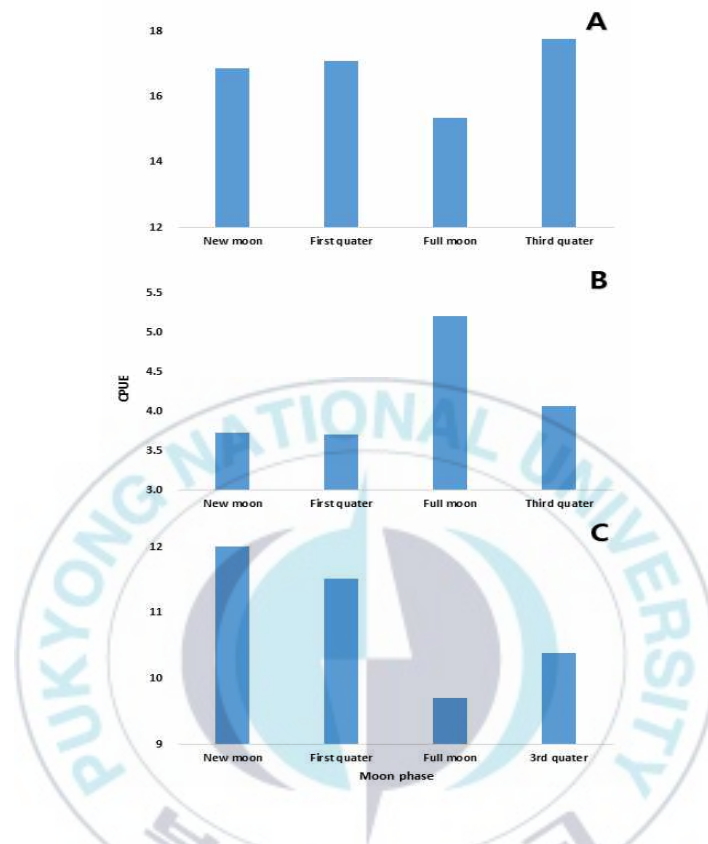


Fig. 19. The CPUE by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

FAD 조업에서 어군 형태를 구분하지 않은 달 형상별 CPUE는 신월 56.1, 상현 57.4, 만월 61.8, 하현 59.7로 나타났다 (Fig. 20A). 가다랑어 군의 경우 신월 25.6, 상현 27.1, 만월 30.8, 하현 28.6로 나타났으며 (Fig. 20B), 혼합군의 경우 신월 30.1, 상현 30.1, 만월 30.9, 하현 30.9로 달의 형상에 따른 변동이 나타나지 않았다 (Fig. 20C).

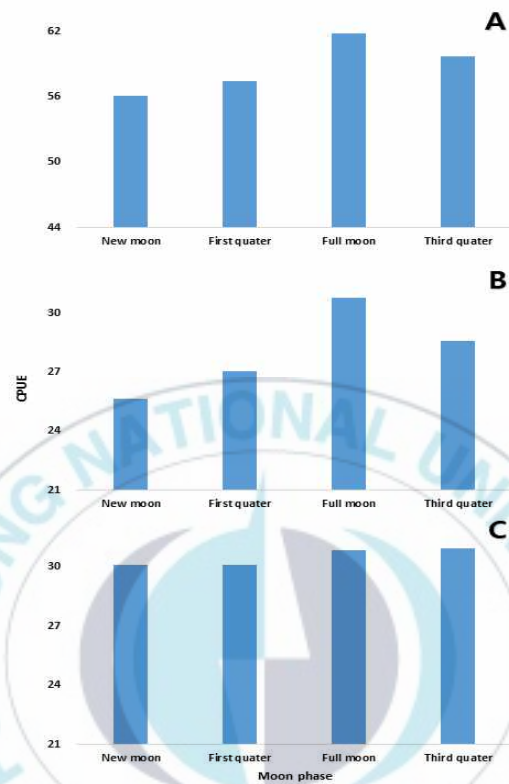


Fig. 20. The CPUE by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Associated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

라. 어획 성공률

부상군 조업에서 가다랑어군의 달 형상별 어획 성공률은 신월 25.4%, 상현 25.7%, 만월 23.5%, 하현 27.5%로 나타났다 (Fig. 21A). 황다랑어군의 경우 신월 7.3%, 상현 8.3%, 만월 11.5%, 하현 7.18%로 나타났으며 (Fig. 21B), 혼합군의 경우 신월 13.9%, 상현 13.8%, 만월 12.4%, 하현 13.1%로 나타났다 (Fig. 21C).

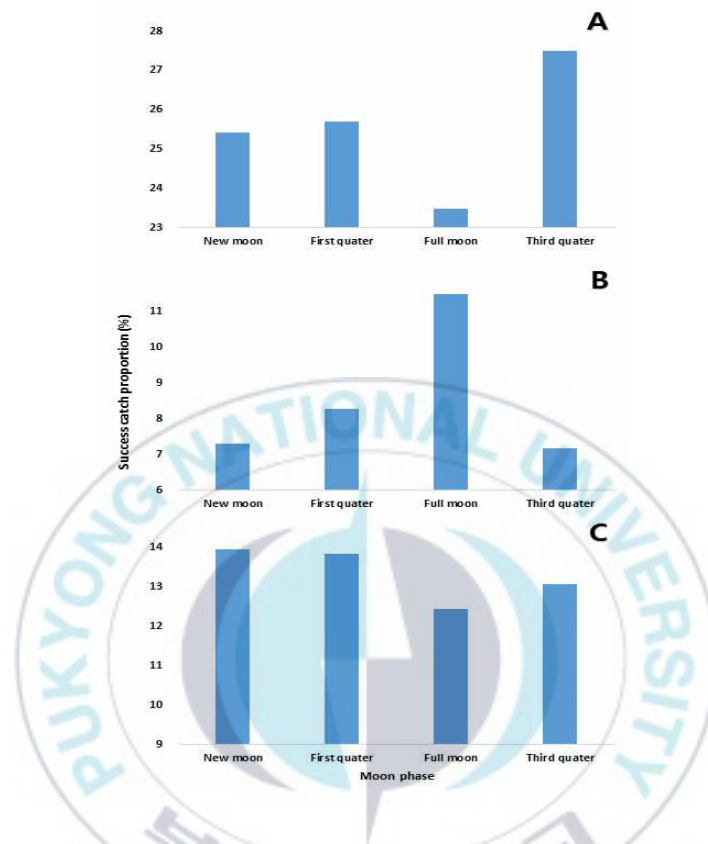


Fig. 21. The success catch proportion by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Unassociated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

FAD 조업에서 어군형태를 구분하지 않았을 경우 달 형상 별 어획 성공률은 신월 78.3%, 상현 79.3%, 만월 81.3%, 하현 80.2%로 나타났다 (Fig. 22A). 가다랑어군의 경우 신월 37.1%, 상현 37.2%, 만월 40.0%, 하현 39.2%로 나타났으며 (Fig. 22B), 혼합군의 경우 신월 40.6%, 상현 41.6%, 만월 41.0%, 하현 40.6%로 나타났다 (Fig. 22C).

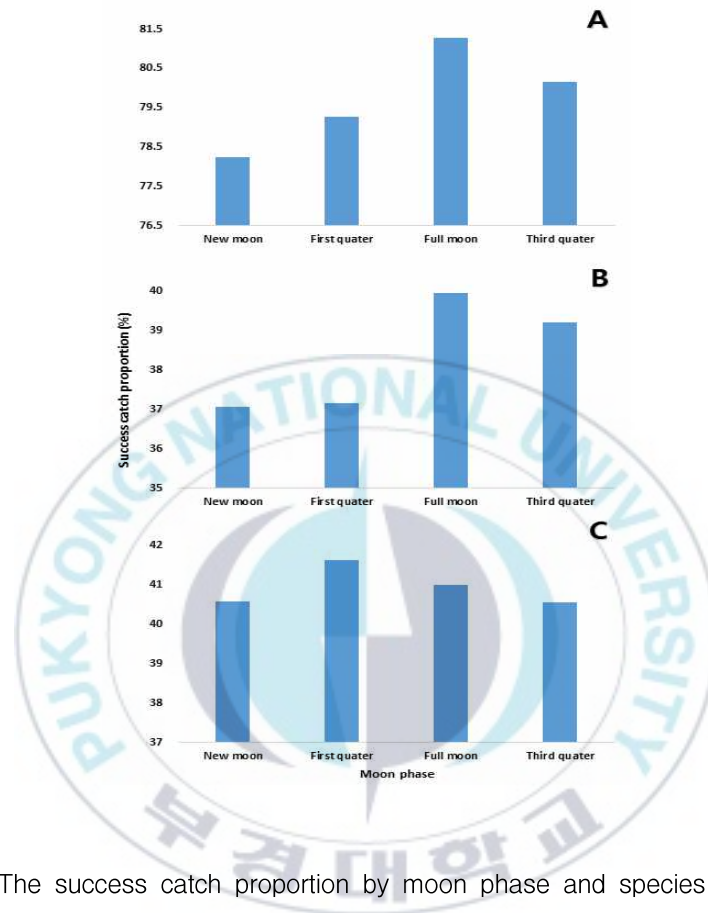


Fig. 22. The success catch proportion by moon phase and species group ((A) Skipjack tuna (B) Yellowfin tuna (C) Mix) for the Associated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

부산군 조업에서 가다랑어군의 어획 변동은 달의 형상과 유의한 관련이 없는 것으로 보인다. 하지만 황다랑어군은 만월에 가까울수록, 혼합군은 신월에 가까울수록 어획량과 CPUE가 높으며 어획 성공률 또한 좋은 것으로 나타났다. 혼합군의 경우 신월에서 좋은 어획 효율을 보이거나 형상별 변동

성이 상대적으로 낮다.

FAD 조업의 경우 가다랑어의 어획량과 CPUE, 어획 성공률이 만월에 가까울수록 높게 나타났으나, 혼합군에서는 달의 형상에 따른 변동을 보이지 않았다. 하지만 전체 어획 변동은 가장 큰 어획량을 차지하는 가다랑어의 변동과 같이 만월에 가까울수록 높은 어획을 보였다. 이것은 만월에 FAD 조업이 좋지 못하다는 어업인들의 통념과 상반된다.

FAD 조업은 해가 뜨기 1~2시간 전 조업 보조선(Net Boat)이 FAD 가까이 집어등을 내려 FAD 주변의 어군을 더 높은 밀도로 집어 시킨 다음 투망 한다. 어업인들의 주장은 달이 밝을수록 집어등의 효과가 떨어지기 때문에 FAD 근거리 내 밀집 집어가 되지 않기 때문에 어획 효율이 떨어진다는 것이다. 하지만 달이 밝은 만월에 어군이 투망 범위 안에서 낮은 밀도로 넓게 퍼져있음에 따라 어군탐지거나 소나 등 보조 장비가 제대로 탐지하지 못하는 등의 요인 작용을 추정할 수도 있다. 따라서 집어체에 유집된 개체의 운동 특성 및 경향에 관한 추가 연구가 필요하다.

황다랑어가 가다랑어를 따라 유영한다는 어업인들의 통념과 본 논문의 결과를 비교한 결과, 혼합군과 가다랑어군의 어획 변동은 다르게 나타났으며, 혼합군은 혼합군만의 어획 변동 패턴을 보였다. 따라서 어종별 유영습성 간 상관관계를 설명하기 위한 추가 연구 역시 필요하다.

다랑어의 유영수심에 관한 연구 중 FAD에 집어된 가다랑어의 야간 유영수심은 만월에 가까울수록 표층에 가까워지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전자 표지를 이용한 관련 선행 연구 결과와 일치하였다(Matsumoto, T. et al, 2006). FAD 조업에서 가다랑어의 어획 효율이 만월에 가까울수록 높은 이유는 평균 유영 수심의 변동과 관련 있어 보인다.

다랑어 선망어업의 달의 형상에 따른 어획 변동에 관한 선행 연구와 관련, 가다랑어 CPUE 변동은 달의 형상과 관련이 없고 (Tiffany Vidal,

2020), 부상군 조업에서 가다랑어 어획량은 만월일 때 가장 높았으며 (G. habib et al., 1980), FAD 조업에서 가다랑어 어획량은 만월 전후 2일간 가장 높았고 신월일 때 가장 낮은 것으로 나타났다 (Adam Langley, 2004).

본 연구의 결과와 비교해 보았을 때, Tiffany Vidal(2020)의 연구는 가다랑어의 어군 형태를 구분하지 않았기 때문에 달의 형상과 가다랑어 어획량 간의 관계를 규명하지 못한 것으로 보인다. G. habib et al(1980)의 결과는 주로 오전에 조업을 하는 중서부태평양 수역과 달리, 오후에 조업하는 뉴질랜드 연안의 어업 자료를 사용 함에 결과가 다른 것으로 보인다. 중서부태평양 수역의 자료를 사용한 Adam Langley(2004)의 연구와 본 연구의 결과는 FAD 조업에서 가다랑어 CPUE는 만월을 전후로 가장 높게 나타나 본 연구 결과와 같았다.

3.3 4시~7시 경 달 형상별 CPUE 변동 분석

일별 시각에 따른 분석에서 우리나라 다랑어 선망어업은 해가 뜨는 시간과 지는 시간에 어획 변동의 폭이 크게 나타났다. 또한 오전·오후 4시~7시가 해가 완전히 뜬 시간대에 비해 달의 조도의 영향을 상대적으로 많이 받는다. 따라서 부상군 조업에서 해가 뜨고 지는 오전·오후 4시~7시경 달 형상별 CPUE를 어군 별로 분석 하였다. 혼합군의 경우 큰 변동을 나타내지 않아 분석에서 제외하였다.

가. 가다랑어군

부상군 조업에서 가다랑어군 CPUE는 오전 4시~7시경 만월 시 높게 나타났으며, 오후 4시~7시경 신월 시 높게 나타났다 (Fig. 23).

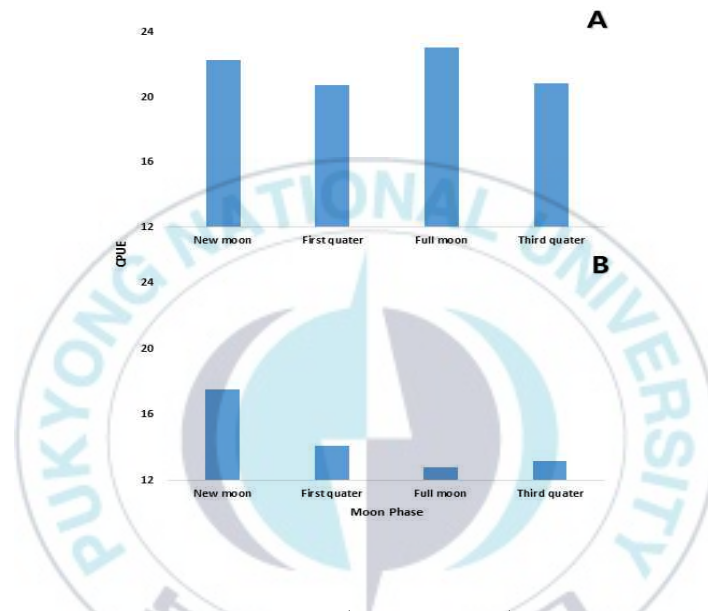


Fig. 23. The CPUE of species group(Skipjack tuna) by moon phase and time period ((A) 04:00~07:00 (B) 16:00~19:00) for the Unassociated sets by The Korean tuna purse seine fishery Operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

나. 황다랑어군

부상군 조업에서 황다랑어군 CPUE는 오전 4시~7시경과 오후 4시~7시경 모두 만월 시 가장 높게 나타났다 (Fig. 24).

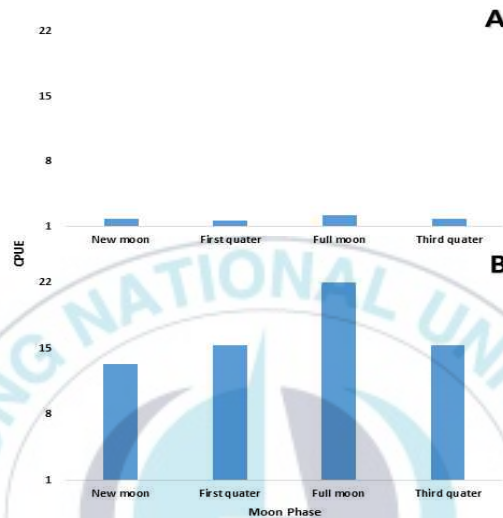


Fig. 24. The CPUE of species group(Yellowfin tuna) by moon phase and time period ((A) 04:00~07:00 (B) 16:00~19:00) for the Unassociated sets by the Korean tuna purse seine fishery operating in the WCPFC Conventional area, 2010~2019.

부상군 조업에서 황다랑어군의 경우 달 형상별 어획량, CPUE, 어획 성공률 변동이 만월 시 높은 것으로 나타났으며, 오후 4시~7시 사이에 더 명확한 변동을 보였다. 가다랑어군의 경우 오후 4시~7시 사이에만 달의 형상에 따른 어획 변동 차이를 보였으며 전체적인 시간대에서는 어획 변동 차이를 보이지 않았다. 가다랑어의 유영 수심이 황다랑어 보다 상대적으로 얇기 때문에 달의 조도가 가다랑어 유영 수심에 영향을 미치지 않기 때문인 것으로 보인다.

달의 형상이 어획에 영향을 미치는 요인은 크게 달의 조도와 기조력으로

인한 조석 두 가지로 볼 수 있다. 달의 조도의 관점에서 분석한 본 논문에서는 달의 조도의 영향을 더 받는 FAD 조업의 어획 효율이 만월 시 더욱 좋았다는 것과 오후 4시~7시경에 부상군 조업의 가다랑어군 CPUE가 신월에 높은 것, 황다랑어군의 CPUE가 만월 시 높은 것은 달의 조도가 어획 효율에 대해 정의 관계 혹은 역의 관계로 영향을 미친다는 것을 나타낸다고 볼 수 있다.

본 논문에서 분석한 달의 형상별 어획 효율 변동은 달의 조도에 대한 영향만 다루었다는 한계가 있다. 따라서 달의 기조력에 의한 조석의 영향을 함께 반영하여, 달의 형상이 다랑어 선망어업에 미치는 영향을 더욱 면밀히 파악하기 위한 추가 연구가 필요하다.

조업 일지 자료 중 1980년부터 2014년 까지 조업 자료는 조업선 선장이 고시에서 지정한 서식에 수기로 작성하여 우편 등으로 보고한 자료이며, 2015년부터 2019년 까지의 조업 자료는 선박에 설치된 전자보고시스템의 단말기를 이용하여 보고하고 있는 조업별 어획실적 정보이다. 2015년 전자 조업 보고 시스템이 구축되면서 우리나라 원양어업에 등록된 모든 어선들은 각 선박의 어업 정보를 기존 월 단위에서 일 단위로 보고주기를 변경하여 보고하고 있다. 따라서 본 논문의 시계열에 의한 분석은 정밀성과 신뢰성이 높은 자료를 사용했다고 할 수 있으며 앞으로의 추가 연구에서는 자료의 신뢰성과 정도가 더욱 개선될 것으로 기대된다.

수온, 염도, 용존 산소량 등 많은 요소가 다랑어의 유영수심에 영향을 주며 이는 곧 다랑어 선망어업의 어획 효율과 직결되는 것으로 보인다. 일반적으로 다랑어 선망어업은 표층에서 최대 150m의 수심에서 유영하는 어군을 대상으로 어획한다. 따라서 다랑어의 유영수심에 대한 장기적인 관찰과 연구로 다랑어 종별 유영수심의 변화 요인을 파악하여 조업이 유리한 조건을 확인하는 것이 선망어업의 어획을 발전시킬 수 있는 또 하나의 방법이라고 생각한다.

IV. 결론 및 요약

중서부태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업은 2010년 원양어선 현대화 사업으로 한국형 선형을 개발하여 조업선의 대형화, 고속화, 현대화가 이루어지고 있으며 어구 및 보조 장비 또한 지속적으로 발전하고 있다.

우리나라 다랑어 선망어업은 지속적으로 발전하지만 어종별 CPUE 변동을 분석한 결과 가다랑어의 경우 증가하는 추세를 보였지만, 황다랑어는 증가하는 추세를 보이지 못했다.

시간 별 어획 변동 분석에서 부상군 조업의 경우 가다랑어는 해가 뜨는 오전 6시~7시와 해가 진 오후 7시에 어획 효율이 좋았으며 황다랑어는 오후 4시에 가까워 질수록 어획 효율이 좋았다. 달 형상별 분석에서 부상군 조업의 경우 가다랑어는 오후 4시~7시에만 신월에 따른 어획 효율이 좋았으며 황다랑어는 모든 시간대에서 만월에 어획효율이 좋았으며 오후 4시~7시에서는 더욱 좋게 나타났다. FAD 조업의 경우 만월에서 어획 효율이 좋았다.

어획 변동은 다랑어류의 유영 수심 변화에 따르는 것으로 보이며 향후 이에 대한 장기적인 관찰과 연구가 필요해 보인다.

본 논문에서는 어군 형태별, 어종 별로 달의 형상과 시간에 따른 어획 효율이 다른 것으로 나타났다. 점차 비싸지는 연안국 입어료와 인건비 등으로 선망어업의 효율성이 갈수록 중요해지는 현 상황에 본 논문의 결과가 다랑어 선망어업의 어획 효율을 높이는데 도움이 되고자 한다.

참고문헌

- 류경진, 이유원, 김형석 (2015). 중서부태평양 한국 다랑어 선망어업에서의 어구 구성의 변화, 한국어업기술학회지, 51(1), 50-60.
- 문대연, 양원석, 김순송, 고정락, 김은정 (2005). 중서부태평양 한국 다랑어 선망어업의 조업 특성, 한국어업기술학회지, 41(4), 263-270.
- 안두해, 문대연, 고정락, 조규대, 김동선 (2003). 엘리뇨 현상에 의한 중서부 태평양 한국 다랑어 선망어업 어장 변동, 한국수산자원학회지, 6(1), 32-40.
- 이미경 (2016). 중서부태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업의 조업 특성 및 대응방안 연구, 부경대학교 박사학위논문.
- 이미경, 이성일, 김두남, 구정은, 권유정 (2017). 태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업의 선박 역량에 따른 조업 효율성 분석, 한국어업기술학회지, 53(2), 169-176.
- 현종수, 이병기, 김형석, 예영희 (1992). 한국 및 관련각국의 다랑어 선망어업 발전과정, 수산해양교육연구, 4(1), 30-46.
- 해양수산부 (2018). 원양산업 60년 발전사, 문중기획. 47-48, 393-398.
- 한국원양어업협회 (2021). 원양어업지, 1138호
- Xi He, Keith A. Bigelow, Christofer H. Boggs (1997). Cluster analysis of longline sets and fishing strategies within the Hawaii-based fishery, Fisheries Research 31, 147-158.
- Adam Langley (2004). A standardised analysis of skipjack tuna CPUE from the WCPO drifting FAD fishery within skipjack assessment area 6 (MFCL 6), SCTB17 Working paper SA-5.

- Francois Poisson, Jean-Claude Gaertner, marc Taquet, Jean-Pierre Durbec, Keith Bigelow (2010). Effects of Lunar cycle and fishing operations on longline-caught pelagic fish: fishing performance, capture time, and survival of fish, *Fishery Bulletin* 108(3), 268-281.
- G. Habib, I.T. Clement, K.A. Fisher (1980). The 1979-80 Purse-seine Skipjack Fishery in New Zealand Waters, Fisheries Research Division Occasional Publication No.29.
- Emile Marchal & Anne Lebourges (1996). Acoustic evidence for unusual diel behaviour of a mesopelagic fish (*Vinciguerria Nimbaria*) exploited by tuna, *ICES Journal of Marine Science*, 53: 443-447.
- Kurt M. Schaefer, Daniel W. Fuller, Barbara A. Block (2007). Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the northeastern Pacific Ocean, ascertained through archival tag data, *Springer-Verlag Mar Biol* 152, 503-525.
- Kurt M. Schaefer, Daniel W. Fuller (2007). Vertical movement patterns of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the eastern equatorial Pacific Ocean, as revealed with archival tags, *Fishery Bulletin* 105(3), 379-389.
- Kurt M. Schaefer, Daniel W. Fuller, Barbara A. Block (2009). Vertical Movements and Habitat Utilization of Skipjack (*Katsuwonus pelamis*), Yellowfin (*Thunnus albacares*), and Bigeye (*Thunnus obesus*) Tunas in the Equatorial Eastern Pacific Ocean, *Ascertained Through Archival Tag data*, Springer Vol.9, 121-144.

- Matsumoto, T., H. Okamoto, M. Toyonaga (2006). Behavioral study of small bigeye, yellowfin and skipjack tunas associated with drifting FADs using ultrasonic coded transmitter in the central Pacific Ocean, WCPFC-SC2-2006/FT IP-7.
- R. W. Brill, B. A. Block, C. H. Boggs, K. A. Bigelow, E. B. Freund, D. J. Marcinek (1999). Horizontal movement and depth distribution of large adult yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) near the Hawaiian Islands, recorde using ultrasonic telemetry: implications for the physiological ecology of pelagic fishes, Marine Biology 133: 395-408
- Sajeevan, M. K., Rajashree B. Sanadi (2015). Evaluation of the effect of lunar cycle and Monsoon on the distribution and abundance of Skipjack tuna around Andaman&Nicobar islands, Journal of Aquatic Biology&Fisheries Vol.3, 74-79.
- Takayuki Matsumoto, Keisuke Satoh, Mikio Toyonaga (2014). Behavior of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) associated with a drifting FAD monitored with ultrasonic transmitters in the equatorial central Pacific Ocean, Fisheries Research 157, 78-85.
- Tiffany Vidal, Paul Hamer, Lauriane Escalle, Graham Phlling (2020) Assessing trends in skipjack tuna abundance from purse seine catch and effort data in the WCPO.
WCPFC-SC-16-2020/SA-IP-09
- WCPFC (2008). Conservation and management measure for Bigeye and Yellowfin tuna in the Western And Central pacific Ocean. CMM 2008-01

Zafer Tosunoglu, Tevfik Ceyhan, Ozlem Gulec, Faik Ozan Duzbastilar, Muharrem Hakan KayKac, Celalettin Aydin, Glnur Metin (2021). Effects of Lunar Phases and Other Variables on CPUE of European Pilchard, *Sardina Pilchardus*, Caught by Purse Seine in the Eastern Mediterranean, Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 21(6), 283-290.



감사의 글

많은 분들의 도움으로 학자의 길을 걸을 수 있게 되었으며, 공부를 하는 게 행복하다는 것을 깨달은 석사과정이었습니다. 먼저, 석사학위의 길을 열어주신 이춘우 교수님께 감사드립니다. 학부생 시절부터 공부에 대한 중요성을 일깨워 주시며 바른 사람이 되도록 지도해주신 강일권 교수님께도 감사드립니다. 또한 많은 관심으로 따뜻하게 지도해 주신 류경진 교수님께도 감사드립니다. 학문적 가르침을 주신 신현옥 교수님, 김형석 교수님, 김성훈 교수님께도 감사의 인사드립니다.

바쁘신 와중에도 언제나 가장 가까운 곳에서 학문적으로, 인성적으로 바른 길을 걷도록 지도해주신 이미경 박사님 진심으로 감사드립니다. 앞으로도 우직하게 연구하는 학자가 될 것을 약속드립니다. 연구의 옳은 방향을 짚어 주시고 제가 몸소 깨우칠 수 있도록 지도해주신 이성일 연구관님께도 감사 인사드립니다.

대학원 입학과 함께 근무를 시작한 원양자원과에서도 업무를 하며 많은 것을 배웠습니다. 지도해주신 원양자원과 박사님들께 감사드리며, 함께 일하며 데이터 다루는 법을 알려준 예지와 민희에게도 감의 말씀 전합니다. 또한, 도움이 필요할 때 언제나 나서서 도와준 동기 다영이에게도 감사인사 드립니다.

같은 시기에 같은 사무실에서 각자의 논문 작성을 하며 서로에게 큰 힘이 되어준 권유정 박사님께도 축하와 함께 감사인사 드립니다. 멀리서나마 서로 응원해준 남구선배에게도 감사드립니다.

마지막으로 언제나 내편이 되어주고 응원해준 어머니, 아버지, 누나, 이모들에게도 감사드립니다.