



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](#)

경 영 학 박 사 학 위 논 문

WCPFC 수역 원양연승어업의
눈다랑어 생산함수 추정 및
생물경제학적 분석



2020년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 수 산 경 영 학 과

조 헌 주

경 영 학 박 사 학 위 논 문

WCPFC 수역 원양연승어업의
눈다랑어 생산함수 추정 및
생물경제학적 분석

지도교수 김 도 훈

이 논문을 경영학박사 학위논문으로 제출함.



2020년 2월

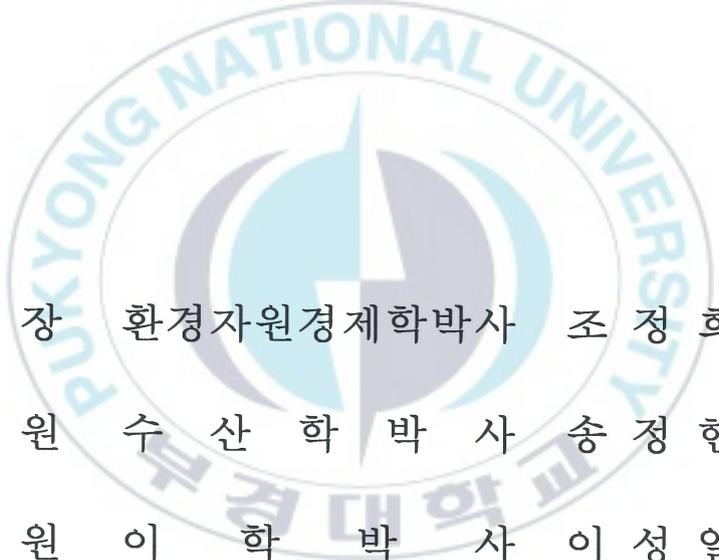
부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 수 산 경 영 학 과

조 헌 주

조헌주의 경영학박사 학위논문을
인준함.

2020년 2월



위 원 장 환경자원경제학박사 조 정 희 (인)
위 원 수 산 학 박 사 송 정 현 (인)
위 원 이 학 박 사 이 성 일 (인)
위 원 이 학 박 사 이 미 경 (인)
위 원 경 영 학 박 사 김 도 훈 (인)

목차

I. 서론	1
1-1. 연구배경 및 목적	1
1-2. 연구방법 및 내용	4
II. 선행연구	7
2-1. WCPFC 눈다랑어 자원평가	7
2-2. Bayesian state-space surplus 자원평가	9
2-3. 어업생산함수	12
2-4. 원양산업 경영분석	17
2-5. 선행연구와의 차별성	22
III. WCPFC 일반 현황	25
3-1. WCPFC 수역 어업의 종류	27
3-2. WCPFC 생산 현황	29
3-3. WCPFC 어선세력 현황	33
IV. 우리나라의 WCPFC 원양연승어업 현황	36
4-1. 생산 현황	36
4-2. 조업 현황	38
4-3. 승선원 현황	44
4-4. 입어료 지불 현황	47
V. 분석 방법 및 추정 모형	49
5-1. CPUE 표준화	49
5-2. Bayesian state-space surplus 모델	51
5-3. 패널 분석 모형	56
5-4. Cobb-Douglas 함수 및 규모수익	60
5-5. 민감도 분석	63

VI. 실증분석	65
6-1. WCPFC 수역 눈다랑어 자원평가 결과	65
6-2. 생산함수 추정 결과	80
6-3. 경영분석 결과	88
VII. 결론	102
7-1. 연구 및 분석결과 요약	102
7-2. 고찰	105
7-3. 정책적 시사점 및 향후 과제	108
참고문헌	113
부록	122



표 목 차

<표 1-1> 연구체계도	6
<표 2-1> Bayesian state-space surplus를 통한 자원평가 선행연구	12
<표 2-2> 어업생산함수 관련 선행연구	17
<표 2-3> 원양산업대상 경영분석 선행연구	21
<표 2-4> 기존연구와의 차별성	23
<표 3-1> WCPFC 주요 회의	26
<표 3-2> WCPFC 국가별 눈다랑어 어획한도량(연승어업)	27
<표 3-3> WCPFC 어업의 종류	28
<표 4-1> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 투입 어선	39
<표 4-2> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어선 기초통계량	41
<표 4-3> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어선 선령 기초통계량	41
<표 4-4> 우리나라 WCPFC 수역 원양연승어선 선원 구성	44
<표 4-5> 우리나라 원양연승어선 선원 월평균 임금	46
<표 4-6> WCPFC 수역 국별 연승어업 입어료 지불 현황	47
<표 4-7> WCPFC 수역 국별 연승어업 입어료 지불 현황(척당 평균)	48
<표 5-1> 하우스만 검정에서 각 모델의 가정	59
<표 6-1> WCPFC 수역 2013-2018년 어법별, 주요국별 분석 자료	66
<표 6-2> 투입 요소별 GLM 모델 AIC 비교	69
<표 6-3> GLM 모델 결과	70
<표 6-4> 추정된 변수의 몬테카를로 오차 대비 표준오차	73
<표 6-5> Bayesian state-space surplus 자원평가 결과	75
<표 6-6> WCPFC 평가와 Bayesian state-space surplus 평가의 비교	76
<표 6-7> 어획한도량 설정 시나리오별 자원량 예측	78
<표 6-8> 어획노력량 제한 시나리오별 자원량 예측	79
<표 6-9> 생산함수 추정에 사용된 변수들의 기초통계량	81
<표 6-10> Bayesian state-space surplus 모델에 의해 추정된 눈다랑어 자원량	82
<표 6-11> WCPFC 수역 우리나라 연승어업에 의한 눈다랑어 어획비율	83
<표 6-12> Cobb-Douglas 생산함수 합동 OLS 자기상관, 이분산 검정 결과	84
<표 6-13> Cobb-Douglas 생산함수 GLS 추정 결과	85
<표 6-14> Cobb-Douglas 생산함수 패널회귀분석 결과	87
<표 6-15> WCPFC 수역 원양연승어업 어업비용 기초통계량	91

<표 6-16> WCPFC 수역 원양연승어업 생산금액 기초통계량	92
<표 6-17> 현재 상황에서 WCPFC 수역 원양연승어업 경영분석 결과	94
<표 6-18> 원양산업 매출이익율 비교	94
<표 6-19> 한·일 다량어 연승어업 매출이익율 비교	95
<표 6-20> WCPFC 원양연승어업 손익분기점	95
<표 6-21> 눈다량어 어가 변화에 따른 민감도 분석 결과	97
<표 6-22> 눈다량어 어획한도량 변화에 따른 민감도 분석 결과	98
<표 6-23> 연료비 변화에 따른 민감도 분석 결과	98
<표 6-24> 선원 감축에 따른 민감도 분석 결과	100
<표 6-25> 신조선 구입비용에 따른 민감도 분석 결과	101



그림 목 차

<그림 1-1> 우리나라 원양산업 생산비중	2
<그림 1-2> 우리나라 다량어 원양어업의 조업척수 추이	3
<그림 3-1> WCPFC 관할 수역	25
<그림 3-2> WCPFC 수역 국가별 1980-2017년 생산량 합계	29
<그림 3-3> WCPFC 수역 국가별 연도별 전체 어종 어획량	30
<그림 3-4> WCPFC 수역 국가별 연도별 눈다량어 어획량	31
<그림 3-5> WCPFC 수역 어법별 1980-2017년 생산량 합계	32
<그림 3-6> WCPFC 수역 어법별 연도별 전체 어종 어획량	32
<그림 3-7> WCPFC 수역 어법별 연도별 눈다량어 어획량	33
<그림 3-8> WCPFC 수역 1980-2017년 활동 어선 합계	34
<그림 3-9> WCPFC 수역 연도별 국별 어선 세력 추이	35
<그림 3-10> WCPFC 수역 연도별 어법별 어선 세력 추이	35
<그림 4-1> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 어획비율	36
<그림 4-2> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 어획비율 추이	37
<그림 4-3> WCPFC 수역 우리나라 원양 연승어업 조업 어선 추이	38
<그림 4-4> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 투입 어선 척수	40
<그림 4-5> 원양어업 어선 선령 비중	42
<그림 4-6> WCPFC 수역 우리나라 연승어업 어획 분포도(1)	43
<그림 4-7> WCPFC 수역 우리나라 연승어업 어획 분포도(2)	43
<그림 4-8> WCPFC 수역 우리나라 원양연승 어업 선원 국적 비율	45
<그림 4-9> WCPFC 수역 우리나라 원양연승 어업 선원구성 비율	45
<그림 4-10> WCPFC 수역 국별 연승어업 임어로 지불 추이(척당 평균)	48
<그림 6-1> WCPFC 수역 어법별 어획노력량과 CPUE 변화 추이	67
<그림 6-2> WCPFC 수역 주요국 어획노력량과 CPUE 변화 추이	68
<그림 6-3> 눈다량어 어획패턴과 CPUE, 표준화된 CPUE의 패턴비교	71
<그림 6-4> 추정된 변수들의 시도표 검정	72
<그림 6-5> 추정된 변수들의 분위수 그림	73
<그림 6-6> Bayesian state-space surplus 모델에 의해 추정된 CPUE의 95% 사후예측분포와 실측 CPUE	74
<그림 6-7> 추정된 변수들의 사후추정분포	76
<그림 6-8> 어획한도량 설정 시나리오별 자원량 예측	78
<그림 6-9> 어획노력량 제한 시나리오별 자원량 예측	78

<그림 6-10> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 비용항목별 비중 91
<그림 6-11> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 어종별 생산금액 비중 92
<그림 6-12> 눈다랑어 어가 변화 93



Production Function Estimation and Bioeconomic Analysis of Bigeye Tuna Distant Water Longline Fisheries in WCPFC Water

Heon-ju Jo

*Department of Marine Business and Economics, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

The number of Korean fishing vessels operating in distant water longline fisheries has been decreasing over the years due to the difficulties surrounding the fishing environment. The purpose of this study is to identify the cause of and provide a solution to this phenomenon.

The model used for the stock assessment of bigeye tuna—a target species of the longline fisheries in WCPFC waters—was a Bayesian state-space surplus model, which has its strength in accounting for both observation and process errors, and the obtained results were compared to those of a Multifan-CL model used by WCPFC.

This study also made an estimation of a Cobb-Douglas form of production function with output variable productivity of bigeye tuna fisheries and input variables the number of crew, vessel tonnage, number of hooks, and biomass of bigeye tuna, with further attempt to

conduct returns to scale analysis. Biomass estimates produced from the Bayesian state-space surplus model were used in this process.

In the business analysis perspective, a sensitivity analysis was conducted of the changes in bigeye tuna quota and in the number of crew. Specifically, the study focused on conducting a break-even analysis under the current management status to provide an estimate of the minimum quota and fish price to be guaranteed.

The analyzed results are as follows:

Firstly, the result of the bigeye tuna stock assessment using the Bayesian state-space surplus model suggests an MSY of 157,100 tonnes, which is similar to 158,551 tonnes endorsed by WCPFC. The analysis of the effectiveness of TAC and fishing effort management, conducted based on the stock assessment, demonstrates that the status quo of the bigeye quota and fishing effort will have positive impact on the restoration of the bigeye tuna resources.

Secondly, the result of the estimated production function indicates that number of hooks, vessel tonnage, and biomass of bigeye tuna, with the exception of the number of crew, have positive impact on the productivity of bigeye tuna fisheries. The use of a dummy variable showed that joining WCPFC has led to a 0.085% decrease of bigeye tuna catch. And as the analysis estimated increased returns to scale, it may be necessary to establish a strategy to receive bigeye tuna quota from other countries.

Thirdly, the business analysis of Korean longline fisheries in WCPFC waters has produced a profit margin ratio = 18.6%, NPV = KRW 214.1

billion, and IRR = 40.7%, indicating the fishery has investment potential. According to the break-even analysis result, the minimum quota and fish price Korea needs to secure are 8,828 tonnes and KRW 6,332/kg. Considering the sensitivity analysis result which notes the uncertainties in bigeye tuna price and expenses which fluctuate due to external factors, an effective means to achieve management improvement would be to reduce the number of crew.



1. 서론

1-1. 연구배경 및 목적

지구상에 주어진 여러 가지 자연자원들 중 지속가능한 자원이라고 하면 대표적인 자원이 수산자원이다. 즉, 자연환경에서 주어진 수산자원에 대해 인간의 어업활동에 어떤 관리 전략을 실행하느냐에 따라 고갈될 수도 혹은 무한히 사용 가능하게 될 수도 있는 것이다.

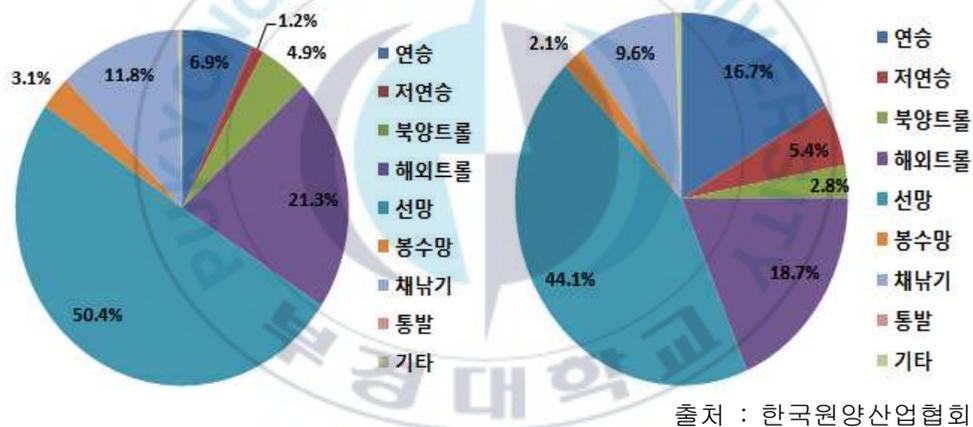
하지만 수산자원은 공유재이기 때문에 이를 사용하는 어민들은 어업활동을 최대한으로 활용하여 어업자원을 선점하고자 한다(허수진, 2013). 이는 단기적으로는 어획량이 늘어남에 따라 어업 수익성이 늘어나는 효과를 누리지만, 장기적으로는 수산자원의 고갈을 야기할 뿐 아니라 경쟁적으로 어업활동을 늘린데 비해 어획량이 줄어들기 때문에 어업 수익성이 악화된다.

특히, 태평양, 인도양, 대서양 공해에서 다양한 국가에 의한 어업활동은 그 수산자원보존에 관한 강제성이 자국 EEZ 내의 어업활동보다 낮아 과도한 어업 경쟁이 이루어 질 가능성이 있다. 이를 인지하고, ‘공해상 경계왕래성어족과 고도회유성어족의 보존 및 관리를 위한 기본 원칙 수립, 지역수산관리구가 가입 및 타국 선박 승선 검색 관련사항 규정’을 목적으로 유엔공해어업협정 협약이 01년 12월 11일 발효 되었다(해양수산부, 2019).

이러한 태평양, 인도양, 대서양의 공해를 대상으로 조업활동을 통해 어획물을 생산하는 우리나라의 원양어업은 원양산업통계상 어업 방식에 따라 연승어업, 선망어업, 채낚기어업, 봉수망어업, 트롤어업, 저연승어업 그

리고 통발어업등으로 나누고 있다(조현주 외, 2019). 그리고, 대양별로는 중서부태평양, 동부태평양, 대서양, 인도양, 남빙양등을 대상으로 하여 목표어종에 따른 적합한 어법을 선택하여 조업하고 있다(조현주 외, 2017).

<그림 1-1>은 2012~2017년 기준으로 우리나라 원양산업 생산비율을 정리한 것이다. 생산량기준으로 선망(50.4%), 해외트롤(21.3), 채낙기(11.8%), 연승(6.9%)순으로 많은 비중을 나타내고 있지만, 생산금액기준으로는 선망(44.1%), 해외트롤(18.7%), 연승(16.7%)순으로 많은 비중을 차지하고 있다(한국원양산업협회, 2018). 특히, 연승어업에서의 생산량대비 생산금액비중이 타 업종보다 훨씬 높은 점을 확인 할 수 있다(6.9% 대비 16.7%).



<그림 1-1> 우리나라 원양산업 생산비중(2012-2017)
(좌 : 생산량, 우 : 생산금액)

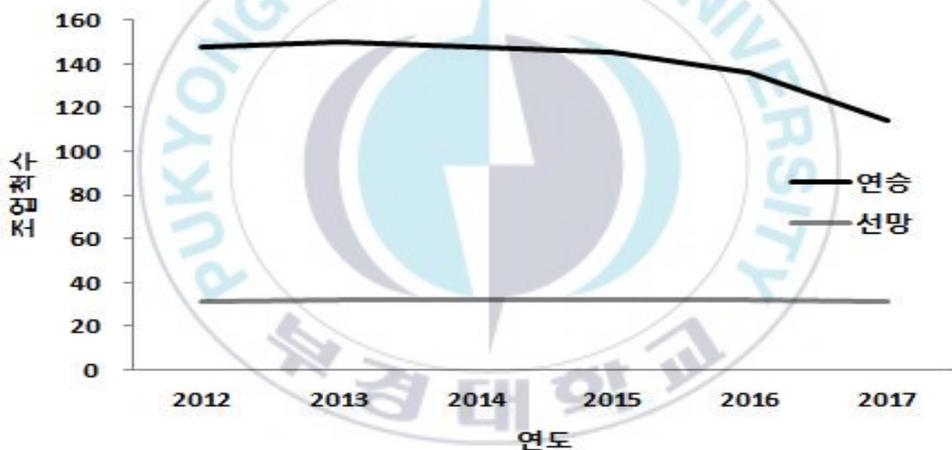
이는 고가의 어종인 횡감용 다랑어류를 생산하는 조업특성을 반영한 것으로, 생산량 대비 생산금액이 월등히 높아 수산자원의 지속성과 어업 경영적인 측면에서 적합한 어법이라고 할 수 있다.

우리나라 원양연승어업은 약 90~120km의 거리에 낚시를 투승하고, 투승한 낚시를 양승하여 다랑어류 및 다랑어유사종을 어획하는 어업이다. 목

표종은 눈다랑어로써 어획 시기는 연중 이루어진다(해양수산부, 2019).

주요 어장은 중서부태평양(이하 WCPFC) 수역으로 2017년 기준으로 전세계의 눈다랑어 어획비중이 해당 지역에서 33.8%를 차지하고(WCPFC, 2018; IATTC, 2018; IOTC, 2018; ICCAT, 2018), 우리나라의 경우 55.3%를 차지하고 있어(국립수산과학원, 2018), 그 지역적 중요성이 부각된다.

다랑어류를 목표종으로 조업을 실시하고 있는 다랑어연승어업과 선망어업의 최근의 조업척수 변화를 살펴보면, 선망어업의 조업척수는 변화가 거의 없는데 비해서 연승어업의 조업척수는 지속적으로 감소하고 있는 상황을 <그림 1-2>에서 확인 할 수 있다(한국원양산업협회, 2018).



출처 : 한국원양산업협회

<그림 1-2> 우리나라 다랑어 원양어업의 조업척수 추이(2012~2017)

특히, 연승어선의 선령이 30년 이상 노후화된 비중이 95.6%으로 다랑어류를 목표종으로 하는 선망어업의 노후화 비중인 41.9%보다 훨씬 높음에도 불구하고(한국원양산업협회, 2018), 신조선 도입등과 같은 추가적인 투자가 전혀 이루어지지 않고 있다.

이는 현재 연승어업 경영활동에 조업 환경을 둘러싼 자연환경적 측면에서 목표종인 눈다랑어 자원량 감소, 수온 변화에 따른 서식지 이동 등과 같은 문제점과 어업 경영적 측면인 국제 유가와 환율 변동, 그리고 연안국의 입어료 상승 등과 같은 여러 가지 복합적인 문제점에 직면하고 있음을 예상할 수 있다.

이에 본 연구에서는 위의 현상을 정확하게 파악하고 해결방안에 대해 제시하고자 한다. 본 연구의 목적은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 우선, 자연환경적 측면에서 우리나라뿐만 아니라 전 세계 눈다랑어 최대 어장이라고 할 수 있는 WCPFC 수역의 눈다랑어 자원평가를 실시하여 현재의 어획량 수준과 어획노력량 수준을 자원의 지속성 관점에서 진단한다. 그 후 자원평가 결과 추정된 연도별 눈다랑어 자원량과 연승어업에서 조업활동에 직접적인 영향을 미치는 선원수, 낚시수, 어선톤수를 투입요소로 하고, 연도별 눈다랑어 생산량을 산출요소로 하는 생산함수 분석을 통한 규모에 대한 수익 분석을 실시하여 현재 WCPFC 수역 연승어업의 눈다랑어 쿼터전배 전략의 기준점을 제시한다. 마지막으로, 연승어업의 어선별 조업 비용 자료와 눈다랑어 어가 자료 그리고 눈다랑어 쿼터변화 예측을 통해 향후 조업 상황에 따른 매출액 예측을 실시하여 경영측면에서 분석을 실시하고, 손익분기점 분석을 통해 우리나라가 최소한으로 확보해야 할 눈다랑어 쿼터량을 예측한다. 이를 통해 우리나라 원양연승어업에 관한 정책 수립 및 원양어업경영 의사결정에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

1-2. 연구방법 및 내용

본 연구의 진행은 크게 세 가지로 이루어진다. 첫 번째는 Bayesian state-space surplus 모델을 통한 WCPFC 수역의 눈다랑어 자원평가이다.

수산자원평가 방법에는 크게 잉여생산량 모델과 체장기반 평가 방법이 있는데, WCPFC는 눈다랑어 자원평가를 체장 기반 연령구조 모델인 MULTIFAN-CL 모델을 활용하고 있다(WCPFC, 2018). 하지만, 최근 다랑어류 자원평가에서 Meyer and Millar (2000)가 대서양날개다랑어 자원평가에 Bayesian state-space surplus 모델을 적용한 이후로, 여러 연구가 진행 중에 있다(Brodziak and Ishimura, 2012; Valpine and Hilborn, 2005; Lioa et al., 2017). 이에 본 연구에서 Bayesian state-space surplus 모델을 통해 자원량 수준, MSY 수준 그리고 여러생물학적 변수를 추정하여 기존 WCPFC 자원평가 결과와 비교를 한다. 그리고, 추정된 생물학적 변수를 통해 어획한도량 변화와 어획노력량 제한 등과 같은 자원 관리 효과를 분석하여 향후 우리나라 어획한도량에 어떠한 영향을 미칠 것 인지 예측한다.

두 번째는 WCPFC 수역 원양연승어업의 생산함수를 추정하는 것이다. 어업생산함수는 어업에 투입된 요소들과 생산량의 관계를 의미하며, 생산함수 추정에는 생산량에 영향을 미치는 투입요소의 선정이 매우 중요하다(심성현·남종오, 2017). 본 연구에서는 선원수, 낚시수, 어선톤수와 눈다랑어 자원량을 투입요소로 그리고 눈다랑어 생산량을 산출요소로 선정하여, Cobb-Douglas 형태의 생산함수를 추정하였다. 그리고 생산함수에서 더미변수를 활용하여 우리나라가 WCPFC 에 가입전과 후의 눈다랑어 어획량에 변화를 파악한다. 어업생산 요소들 중 중요한 요소인 눈다랑어 자원량은 Bayesian state-space surplus 모델을 통해 추정하였다. 추정된 생산함수의 생산요소를 바탕으로 규모의 수익 분석을 통해 연승어업이 처한 현실을 파악한다.

세 번째는 WCPFC 수역 원양연승어업의 경영분석을 시도하는 것이다. 특히, 개별 어선의 조업활동에 대한 매출원가자료와 눈다랑어 어가와 생

산량자료를 확보하여 매출액을 파악 한 후에 매출총이익 분석, 수익분기점 분석, 그리고 IRR (NPV)분석을 진행하여 현재 처해진 연승어업의 경영 상황을 정확하게 파악한다. 그리고 앞서 이루어진 Bayesian state-space surplus 자원평가 및 생산함수 분석을 통한 향후 쿼터 변화에 따른 생산량 변화 및 선원수 감소에 대한 경영성과 시나리오별 분석, 눈다랑어 어가 변화에 따른 분석 그리고 유가변화에 따른 분석을 각각 시도하여 향후 연승어업의 경영적 지속성을 확보한다.

연구의 구성은 다음과 같다. 다음 2장에서 본 연구와 관련성이 존재하는 수산자원 자원평가, 어업생산함수, 어업경영분석에 관한 선행연구에 대한 요약을 진행한다. 3장에서는 연구대상지역인 WCPFC 수역의 일반현황에 대해 설명하고, 4장에서는 WCPFC 수역에서의 우리나라 원양연승어업의 경영현황에 대해 설명한다. 5장에서는 분석방법과 추정모형에 대해서 설명하였다. 6장에서 각각의 분석결과를 제시한 후, 7장에서 연구요약과 연구자 고찰 그리고 연구자의 정책적 제언을 작성 후 연구를 마무리 한다.

<표 1-1> 연구체계도

구성	서론	선행연구	분석자료 및 이론연구	분석결과	결론
자원평가		국내·외 연구	GLM Bayesian state-space surplus	CPUE 표준화 MSY 자원관리효과분석	
생산함수		국내·외 연구	패널분석 Cobb-Douglas 생산함수	규모수익분석 WCPFC 가입 전후 비교	
경영분석		국내·외 연구	매출총이익율 IRR, NPV	손익분기점 민감도분석	

II. 선행연구

2-1. WCPFC 눈다랑어 자원평가

MULTIFAN-CL (Multiple length frequency + FA model (by Fournier and Archibald); MFLC) 모델은 WCPFC 수역에 서식하는 다랑어류의 자원평가에 사용되는 체장을 기반으로 하는 연령구조 모델이다(권유정 외, 2007). 사용되는 자료는 어획량 노력량, 체장조성 및 표지-재포 자료가 사용된다(권유정, 2007).

MULTIFAN-CL 모델은 각 어종에 대한 생태학적 자료 및 파라메타 추정에서 필요한 가정들을 설정할 수 있도록 구성되어 있기 때문에 다른 자원평가 방법에 비해 종에 대한 특성치를 잘 나타낼 수 있다(장창익, 2010).

WCPFC에서 MULTIFAN-CL을 활용한 자원평가를 진행시 자료구축은 공간, 기간, 어법, 어획량과 노력량, 체장-체중, 표지-재포 자료를 이용하여 재가입량, 산란자원량, 성장률, 회유경로, 자연사망률, 어획사망률, 성별 성숙도를 분석 후 자원평가 결과로 제시될 변수들의 관측오차와 과정오차를 고려하여 모델을 실행한다(WCPFC, 2018).

최근 평가 결과 MSY 수준은 최소 약 13만 톤에서 최대 약 18만 톤으로 평균은 약 15만8천톤을 제시하였다(WCPFC, 2018).

위와 같이 진행되는 MULTIFAN-CL의 장점은 다른 자원평가 방법과는 달리 다랑어류의 특성상 고려되어야 하는 회유에 대해서 유일하게 공간적 분포의 개념을 포함하고 있다는 점이다(권유정 외, 2007).

하지만, 자원평가지 모델분석에 필요한 자료 종류가 많아 측정오차범위가 넓을 수도 있다. 그리고, 공간 분할의 조건이 변한다거나, 재가입량과

성장을 곡선 분석시 재가입을 가정을 달리 하였을 때 평가 결과의 차이가 있다는 단점이 존재한다.

수산자원 평가 모델들 중 잉여생산량 모델은 어획량과 어획노력량의 시계열 자료를 바탕으로 자원을 평가하는 자원동태 모델로 Schaefer (1954), Pella and Tomlison (1969), Fox (1970), Schnute (1977) 등에 의해 체계적으로 발전 되었다. 그 이후 Polacheck et al.(1993)은 기존평가방법들에서 몬테카를로 기법을 통해 관측오차, 과정오차를 포함한 불확실성을 고려한 방법이 가장 우수하다는 것을 제시하였다.

관측오차, 과정오차를 포함한 불확실성을 고려한 State-space 모델은 자원동태 모델들 중 가장 강력한 예측력을 가진 모델이다(Fahrmeir and Tutz, 1994; Meyer and Millar, 1999).

State-space 모델은 관측오차와 과정오차를 현실적으로 설명할 수 있기 때문에 수산자원평가에 적용되기 시작하였다(Sullivan 1992; Pella 1993; Gudmundsson 1994; Schnute 1994; Freeman and Kirkwood 1995; Kinas 1996; Reed and Simons 1996; Meyer and Millar 1998,1999; Millar and Meyer 2000).

다랑어류 자원평가에서는 Meyer and Millar (2000)가 대서양날개다랑어 자원평가에 베이지안 잉여생산량 모델에 State-space 모델을 적용한 이후로, 최근에는 인도양 날개다랑어 자원평가(IOTC, 2016), 남대서양 날개다랑어 자원평가(Liao et al., 2017), 대서양눈다랑어 자원평가(Winker et al., 2019)에 적용되고 있다.

IOTC와 ICCAT에서는 체장 기반 연령구조 모델인 SS3를 사용하여 다랑어류 자원평가를 실시하고 있다(IOTC, 2018; ICCAT, 2018). 하지만, IOTC(2016), Winker et al.(2019)에서 SS3의 자원평가 결과와 베이지안 잉여생산량 State-space 모델의 평가 결과와 비교하였다는 점에서 그 활용

도와 정확도는 증가하고 있다고 판단된다. 그렇기 때문에, 본 연구를 통해 Bayesian state-space surplus 모델을 통한 WCPFC 수역 눈다랑어 자원 평가를 실시하여 MUTIFAN-CL 평가 결과와 비교 및 검토를 실시해 보고자 한다.

특히, 잉여생산량 모델에 필요한 자료는 체장 기반 연령구조 모델에 비해 비교적 획득하기 쉬운 어획량과 어획노력량 자료이므로 자료수집 측면에서는 장점을 지니고 있고, 현재 WCPFC에서 어획량과 어획노력량 자료는 충분히 수집되어 있어 Bayesian state-space surplus 모델을 통한 자원 평가가 가능하다. 그리고, 기존 잉여생산량 모델과는 달리 관측오차와 과정오차를 모두 고려할 수 있어 현실성 있는 평가 결과를 도출할 수 있다.

이에 본 연구에서는 현재 WCPFC에서 택하고 있는 MULTIFAN-CL 평가 방법과는 달리 Bayesian state-space surplus 모델로 눈다랑어 자원평가를 실시하고, 기존 결과와 비교·검토한다. 그리고 그 결과로 추정된 생물학적 변수를 통해 어획량제한과 어획노력량 제한 등과 같은 자원관리 효과를 분석하여 향후 WCPFC의 눈다랑어 자원량 변화를 예측하고자 한다.

2-2. Bayesian state-space surplus 자원평가

가. 국내연구

최지훈(2019)은 Bayesian state-space surplus 모델을 이용하여 우리나라 눈볼대의 자원평가를 실시하였다. 우리나라 눈볼대는 외끌이대형저인망, 서남해구외끌이중형저인망에 의해 어획되고 있으므로 두 어업의 CPUE를 GLM모형으로 표준화 하였다. 그리고, 추정된 생물학적 변수를 통해 정책 효과 분석을 실시하였다. 분석 결과, 최대지속적생산량(MSY) 는 3,013 ton

을 제시하였다. 그리고 정책분석결과 TAC를 2,300톤으로 설정할 경우와 어획노력량을 50,000 HP로 감소시킬 경우에 눈볼대의 자원량 회복에 긍정적인 것으로 예측되었다.

최민제(2019)는 Bayesian state-space surplus 모델을 이용하여 우리나라 서해안 수산자원의 잠재생산량을 평가하였다. 그 분석 결과를 Fox, CYP, ASPIC, Maximum entropy, Observation error, Bayesian state-space surplus 모델과 비교하였다. 이를 통해 Bayesian state-space surplus 모델의 우수성을 입증하였으며, 서해 어획대상 잠재생산량에 대한 MSY를 231,949 ton으로 제시하였다.

정유리(2019)는 Bayesian state-space surplus 모델을 이용하여 우리나라 고등어의 자원평가를 실시하였다. 1976년부터 2017년도까지의 시계열 자료를 바탕으로 Fox, Yoshimoto-Clarke, Schnute, ASPIC, 관측오차, Bayesian state-space surplus 모델들의 평가 결과와 비교하였으며, 이들 중 Bayesian state-space surplus 모델이 우리나라 고등어 자원평가에 가장 적합한 것으로 제시하였다.

나. 국외연구

Meyer and Millar (1999)는 Bayesian state-space surplus 모델을 이용하여 남대서양의 날개다랑어 자원평가를 실시하여 기존의 Polacheck et al.(1993)의 관측오차모델, 과정오차모델의 결과를 적용한 자원평가 결과들과 비교하였다. Schaefer (1954) 모델을 관측오차와 과정오차를 모두 포함한 형태로 변경하고 추정할 변수들의 사전분포를 적용하였다. 분석결과 자원량 측면에서는 기존의 Polacheck et al.(1993)이 제시한 관측오차모델과 과정오차모델의 결과(관측오차모델 : 755,100 ton, 과정오차모델 :

500,400 ton) 보다는 큰 값(839,700 ton)을 제시하였지만, MSY 는 기존에 제시된 방법들(관측오차모델 : 196,500 ton, 과정오차모델 : 237,800 ton) 보다는 낮은 값(192,600 ton)을 제시하였다.

Brodziak and Ishmura (2012)는 Bayesian state-space surplus 모델을 이용하여 북태평양의 황새치자원평가를 실시하였다. 황새치의 자원 분포를 0° 이상의 단일분포, 그리고 기존연구들에서 제시된 북태평양 황새치의 두 가지 구역의 분포 기준으로 나눈 총 3 가지 시나리오를 가정하고, CPUE를 일본연승, 대만연승 그리고 (미국)하와이연승의 각각 적용하여 자원평가를 실시하였다. 연구결과 3 가지 시나리오에서 추정된 생물학적 변수 값들은 비슷한 결과를 가지는 것으로 나타났고, 현재 자원수준은 양호한 것으로 제시하였다.

Bai et al.(2016)는 Bayesian state-space surplus 모델을 이용하여 인도양의 날개다랑어 자원평가를 실시하였다. Schaefer (1954) 모델을 관측오차와 과정오차를 모두 포함한 형태로 변경하고 추정할 변수들의 사전분포를 적용하였고, CPUE는 고려된 기간에 따라 두 가지 시나리오(1979~2014, 1979~2005)를 고려하여 연구를 진행하였다. 연구결과 MSY 값이 평균 약 48,500톤으로 두 가지 시나리오에서 큰 차이가 없었다.

Winker et al.(2019)는 Bayesian state-space surplus 모델을 이용하여 대서양의 눈다랑어 자원평가를 실시하였다. CPUE를 Dakar baitboat, 일본연승, 대만연승 그리고 미국연승을 각각 적용하여 4가지 시나리오별 자원평가 결과를 제시하였다. Pella-Tomlinson (1959) 이 제시한 자원동태모형을 관측오차와 과정오차를 모두 포함한 형태로 변경하고 추정할 변수들의 사전분포를 적용하였다. 연구결과 MSY값이 모든 시나리오를 고려하였을 때, 약 78,000 ton으로 제시하였고, 추정된 생물학적 변수들도 모든 시나리오를 고려하였을 때, 비슷한 범위를 나타내어 모델의 우수성을 입증하였다.

<표 2-1> Bayesian state-space surplus를 통한 자원평가 선행연구

연구 분야	국내· 외	연도	저자	분석내용
베 이 지 안	국내	2019	최지훈 외	우리나라 눈볼대 자원평가
		2019	최민제 외	우리나라 서해안 잠재생산량평가
		2019	정유리	우리나라 고등어 자원평가
잉 여 생 산 자 원 평 가	국외	1999	Meyer, Millar	남대서양 날개다랑어 자원평가
		2011	Brodziak, Ishmura	북태평양 황새치 자원평가
		2016	Bai 외	인도양 날개다랑어 자원평가
		2019	Winker 외	대서양 눈다랑어 자원평가

2-3. 어업생산함수

WCPFC 수역 눈다랑어 자원의 지속적인 이용과 생산성을 높이기 위해서는 원양연승어업의 생산함수 추정을 통한 생산구조를 파악하는 것은 가장 기본적이면서도 중요한 일이다. 수산업에 있어 국내·외 연구는 연근해어업 및 양식업에 국한되어 있는 실정이다.

가. 국내 연구

김원재(1992)는 어장행사 인원수, 어장면적을 생산요소로 하는 Cobb-Douglas 형태의 생산함수를 추정하여 경기도 화성군의 바지락양식 어업과 건강망어업의 어업의 규모수익 분석을 통해 어업생산성을 분석하였다. 어업생산성 분석결과, 바지락양식어업은 규모수익이 체증(IRS, Increasing Return to Scale)하는 것으로, 건강망어업은 규모수익이 체감(DRS, Decreasing Return to Scale)하는 것으로 나타났다. 그리고 바지락양식어업과 건강망어업의 어업생산은 어장면적에 의해 결정되는 것으로 분석되어 어장면적의 확대 및 관리에 대한 방안을 제시하였다.

김기주·강용주(1993)는 인천소래어촌계의 낭장망어업과 연안통발어업을 대상으로 생산요소로는 조업인원수, 사용 어구수로 하는 Cobb-Douglas 형태의 생산함수를 추정하였다. 분석 시 단일어업의 경우와 복수어업의 경우를 고려하여 분석을 실시하였으며, 단일어업과 복수어업의 모든 경우에서 낭장망어업과 연안통발어업은 규모수익이 체감하는 것으로 나타났다. 그리고 낭장망어업의 노동생산성이 연안통발어업보다 낮게 나타나 노동생산성 개선이 시급함을 확인하였다.

조정희·이정삼·남종오(2009)는 Cobb-Douglas 생산함수와 생물경제학적 분석을 통해 우리나라 대형선망어업의 고등어와 전갱이의 최적생산량을 추정하였다. 자유입어(OA, Open Access)와 단독소유(SO, Sole Owner)의 경우를 각각 고려하여 분석을 실시하고 그 결과를 바탕으로 어획물의 가격과 어업 비용 변화에 따른 시나리오별 최적생산량을 분석하였다. 분석 결과, 최적생산량 수준은 현재 TAC 수준보다 높은 것으로 추정되었으나, 대형선망어업의 최적어획노력량은 현재 수준보다 낮은 것으로 나타나 현재 수준에서의 감척 필요성을 제시하였다.

김우경(2011)은 연안복합어업을 대상으로 생산함수를 추정하였다. 김기주와 강용주(1993) 연구를 참고하여 진행하였는데, 참고연구와는 달리 종속변수를 톤당 어업생산금액으로 하고, 생산요소는 톤당 연료비, 톤당 임금비, 톤당 어구비로 하였다. 생산함수 추정 결과, 연료비가 어업생산금액에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 나타나 연료비가 상승에 따른 어업생산성 증가를 제시하였다. 추가적으로 WTO/DDA 협상 체결시 면세유 지급이 없어진다는 가정 후 연안어업의 경영수지를 시나리오별로 분석하여 면세유 미지급이 경영수지에 악영향을 미치는 것을 확인하였다.

허수진(2013)은 Cobb-Douglas 생산함수와 패널 자료를 이용한 분석을 이용하여 15개 근해어업의 생산함수를 추정하였다. 생산요소로는 어선톤수, 어선마력수, 종사자수, 어로일수를 이용하였다. 분석 시 종속변수가 어업생산량인 모형과 어업생산금액인 모형 2개로 나누어 분석하였으며, 각 근해어업에 대한 다중회귀분석과 근해어업 전체의 패널 분석으로 구분하여 분석을 실시하였다. 각 근해어업의 규모수익 분석 결과, 대형트롤어업만이 규모수익이 체감함을 확인하였고, 전체 근해어업은 규모수익이 체증함을 확인하였다.

심성현·남종오(2017)은 Cobb-Douglas 생산함수와 Translog 생산함수를 이용하여 13개 근해어업의 생산함수를 추정하였다. 생산요소로는 어업별 선원수, 어선척수, 각 어업의 대상 자원량으로 종속변수로는 각 어업별 생산량인 패널 자료를 구축하여 적용하였다. 근해어업 생산함수 추정 결과, Hausman 검정에 의해 고정효과모형이 적합한 것으로 나타났으며, 우도비 검정을 통해 Cobb-Douglas 생산함수보다 Translog 생산함수가 적합도 측면에서 더 우수한 모형으로 분석되었다. Translog 생산함수 추정결과 근해어업 생산량에는 어선척수가 가장 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 어업별 근해어업의 규모수익 분석 결과, 대형선망어업, 근해자

망어업은 규모수익이 불변(CRC, Constant Return to Scale), 근해채낚기어업, 기선권현망어업, 잠수기어업은 규모수익이 체감, 이외 어업들을 규모수익이 체증하는 것으로 분석되었다.

나. 국외 연구

Nahrstedt et al.(2002) 는 덴마크 트롤 선단어업을 대상으로 생물경제모형을 이용한 생산함수를 추정하였다. 이 때, 고정 대체탄력(CES, Constant Elasticity of Substitution) 생산함수, Translog 생산함수, Cobb-Douglas 생산함수를 추정하였다. 생산요소는 마력수, 선원수, 자원량으로 하였다. 분석시 자기상관(Auto-correlation)과 이분산(Heteroscedasticity), 다중공선성(Multicollinearity)을 고려한 모형을 추정하였다. 생산함수 추정 결과, 모든 생산함수에서 생산요소가 유의하게 추정되었다. 그리고, 모형적합도를 통해 Dynamic Shaefer모형이 가장 적합한 것으로 제시하였다.

Jahanifer et al.(2010) 는 카스피 해(Caspian Sea) 남동부 연안 생산함수를 다중회귀분석으로 추정하여 경골어류(Osteichthyes) 협동조합의 성과를 평가하였다. 생산함수 추정시, 생산요소는 환경변수, 어업인수, 어업인의 숙련도를 포함한 14개를 사용하였고 종속변수로는 어업생산량으로 하였다. 생산함수 추정 결과, 어업생산량에 어업인의 숙련도와 어업인 수가 긍정적인 영향을 미치는 반면, 환경변수인 기상조건은 부정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 분석 결과에 따라 인적 요소가 어업생산량에 가장 큰 영향으로 나타나, 어업인을 대상으로 훈련의 필요성을 제시하였다.

Crentsil and Ukpong (2014) 는 가나 Amansie-West 지역 양식어업 생산함수를 추정하였다. 생산요소는 치어(Fingerlings)입식량, 사료량, 양식장

(Pond)면적 으로 하고 종속변수로는 생산량으로 하는 Cobb-Douglas 생산 함수를 추정하였다. 생산함수 추정 결과, 양식장의 면적, 치어 입식량, 사료량이 생산량에 긍정적인 요소로 나타나 이들 생산요소에 대한 관리와 정책이 중요함을 제시하였다.

Kateregga and Sterner (2014)는 빅토리아 호수(Victoria Lake)의 Nile Perch어업과 Tilapia어업의 생산함수를 추정하였다. 생산요소로 선령, 어구 수, 선원수 등 5개로 하고, 자극변수로(Motivational Variable)로 선장의 교육수준, 어구의 종류 등 7개로 하는 Translog 함수 형태의 생산함수를 추정하였다. 해당 지역 어업인을 대상으로 설문 조사를 실시하여 분석 자료를 확보하였다. 생산함수 추정시 Translog 함수의 교차항(Interaction Term)은 제외한 조건에 대한 F-검정을 실시하여 제약조건을 반영하지 않은 형태의 함수와 비교하였다. 생산함수 추정결과, 제약조건을 반영한 Translog 생산함수가 유의하게 추정 되었고, 어업생산량에 선령, 어선 크기가 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고, 어업일수는 Nile Perch어업에서는 부정적인 영향을 미치는 반면, Tilapia어업에서는 긍정적인 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 규모수익 분석을 실시한 결과는 두 어업 모두 규모수익체감(DRS : Deceasing return to scales)의 성격인 것으로 나타났다.

<표 2-2> 어업생산함수 관련 선행연구

연구 분야	국내·외	연도	저자	분석내용
어업 생산 함수	국내	1992	김원재	경기도 화성군 바지락양식, 건강망어업의 어업생산함수 추정을 통한 어업생산성 및 규모수익 분석
		1993	김기수, 강용주	인천 소래어촌계 낭장망어업, 연안통발어업의 어업생산함수 추정을 통한 규모수익 분석
		2009	조정희 외	대형선망어업의 고등어와 전갱이 생산함수 추정을 통한 최적생산량 추정
		2011	김우경	연안복합어업의 생산함수 추정을 통해 연료비가 어업경영에 미치는 영향 분석
		2013	허수진	근해어업 생산함수 추정을 통한 규모수익분석
	국외	2017	심성현, 남종오	근해어업 생산함수 추정을 통한 규모수익분석
		2002	Nahrstedt 외	덴마크 트롤선당어업 생산함수 추정
		2010	Jahanifar 외	카스피 해 남동부 연안 경골어류 협동조합의 생산함수 추정
		2014	Crentsil, Ukpong	가나 Amansie-West 지역 양식 생산함수 추정
		2014	Kateregga, Sterner	우간다 빅토리아 호수 Nile Perch 어업과 Tilapia 어업 생산함수 추정

2-4. 원양산업 경영분석

WCPFC 수역 원양연승어업이 지속적으로 유지·발전하기 위해서는 주요 목표종인 눈다랑어의 자원 보존 조치를 이행하는 것은 물론이고, 개별 원양연승어선이 직면하고 있는 경영적 문제를 정확히 진단하고 이에 초점을

맞추어 앞으로 경영적 전략을 수립하는 것이 중요하다.

하지만, 우리나라의 원양어업경영과 관련한 연구는 부족한 실정이다. 특히, 특정수역에서의 개별 어선별 조업활동에 의한 경영 분석 연구는 전무한 실정이다. 뿐만 아니라 원양어업을 대상으로 하는 국외 연구 또한 전체 산업적 분석 접근에 국한되어 있는 한계점이 있다.

가. 국내 연구

장수호(1969)는 한국원양어업의 발전과정과 자원분석, 선박조업현황, 생산추이와 판매 및 원양수산 기업의 동향 등 우리나라 초기의 전반적인 원양어업에 관해 분석을 실시하여 당시의 급격한 원양어업 발전요인을 정부의 강력한 지원정책, 해외자본의 활발한 도입, 고급어업기술의 잠재력과 시장의 존재를 지적하였다. 이어 1973년과 1974년에 북양어업과 대서양 기지조업을 주로 하는 원양트롤어업을 대상으로 어업노무관리에 관해 연구를 진행하였다. 이 연구는 우리나라 원양어선의 노무관리와 경영전반에 관해 그 실태와 문제점을 제시하고 있어 우리나라 원양어업 초기 경영실태를 이해하는데 유익한 자료가 되고 있다.

최정윤(1996)은 UN해양법 협약의 발효로 200해리 배타적 경제수역 체제가 고착화 된다는 전제에서 우리나라 원양어업경영에 미치는 영향을 조업 제한과 어장협소화, 입어로 등 어로 경비의 상승을 지적하였으며, 대서양을 위시한 4개 수역에 진출해 있는 3종의 트롤어업경영과 원양다랑어연승어업 등의 어로경비구성을 비교 분석하고 최초로 입어료가 원양어업 어로 경비 구성의 주요 비용항목으로 등장하게 된 것을 제시하였다.

김창환·정형찬·장영수(2000)는 기존 원양산업에 대한 분석들이 그 대상이 산업에만 치우쳐져 있고, 분석 방법이 정성적으로만 이루어졌던 사

실을 지적하고, 각 원양업체별 경쟁력 분석을 위해 가치사슬을 토대로 원양어업의 경쟁력 결정에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 분석결과 우리나라 원양업체는 비용요인과 어장확보를 가장 중시하는 반면 설비투자, 기술개발 등과 같은 생산성과 같은 요인이나 고부가가치화가 가능한 가공 및 제품화에 소홀하고 있음을 지적하여 고부가가치부분의 투자방안을 촉구하였다. 그리고, 단일 업종에 종사하는 업체에 비해 여러 업종을 동시에 수행하고 있는 복합 업종의 경우 상대적으로 경쟁력이 높다는 사실을 지적하였다.

성락근(2003)은 우리나라 원양트롤어업의 어업사와 경영발전과정을 정리하고, 트롤어업의 경영분석을 실시하여 경쟁력 확보 방안에 대해 논의하였다. 당시의 우리나라 원양트롤어업 경영은 대외적 경쟁력을 유지하고 있는 것처럼 보이지만, 이는 일본 등 원양어업 주요국들과 비교하여 세계 각 수역으로부터의 어장 철수가 상대적으로 지연되고 있어 일시적인 현상임을 지적하였다. 특히, 대서양트롤어업과 남태평양트롤어업의 과도한 어선세력 증가를 지적하고 소규모 회사들의 합병, 경영체당 어업규모를 적정수준 이상으로 높이지 않아야 한다고 주장하였다. 그리고, 향후 어업 및 어장규제에 대비하여 정부주관의 구조조정 사업과 업계의 강력한 자구노력을 촉구하였다.

김재희(2009)는 교차효율분석을 활용하여 원양어업의 업종별 경쟁력을 추정하였다. 12개 업종을 대상으로 입력요소를 FTA피해, 연안국규제, 입어료부담, 조업경쟁여건으로 출력요소를 경영수익성, 어족자원으로 하여 교차효율분석과 DEA분석을 시도 후 효율성을 비교하였다. 각 분석방법에서 도출된 순위 값에 대한 차이를 분산분석 결과 F비율 검정 및 상관관계 분석을 통해 교차효율성이 DEA 분석보다 정확한 효율성 순위를 제시할 수 있음을 확인하였다. 교차효율분석 결과 참치선망, 인도네시아트롤,

포클랜드트를 업종의 순서로 타 업종에 비해 상대적으로 양호한 여건에 있는 것으로 나타났고, 대서양트를, 북양트를, 콩치붕수망, 인도양트의 순서로 열악한 상황에 있는 것으로 분석하였다.

나. 국외 연구

WCPFC (2017)에서는 WCPFC 관할 수역중 서부태평양 수역(W 150° 기준 우리나라 측 태평양 수역)의 어업에 대한 경제적 상황을 분석하였다. 온대성 다랑어 연승어업(Southern longline fishery), 열대성 다랑어 연승어업(Tropical longline fishery), 선망어업(Purse seine fishery) 세 가지 어업을 나누고, 각 어업에 대한 어업생산금액, 어업비용, CPUE 자료를 바탕으로 경제적 상황에 대한 분석을 실시하였다. 이때, 어업생산금액과 어업비용에 CPUE를 가중요소로 하였는데, 이유는 각 어업의 조업환경 및 패턴이 상이하기 때문이다. 분석 결과, 분석대상의 모든 어업에서 어업비용은 점차 증가하는 것으로 나타났다. 어획동향은 두 가지 연승어업에서는 점차 감소하는 패턴으로 분석되었지만, 선망어업은 상승하는 것으로 나타나 어업비용 대비 선망어업의 경제성이 우수한 것으로 나타났다.

IOTC (2019)에서는 IOTC 관할수역의 조업에서 고려해야 할 사회경제적 지표를 개발하기 위한 연구를 진행하였다. 이를 위해 IOTC 에 가입한 회원국 및 인도양 주변국의 주요 다랑어류 어획량 및 어가분석을 진행하여, 어법별, 어종별 이익과 국별 이익을 분석하였다. 뿐만 아니라, 어획물의 주요 수출 루트를 파악하여 무역 이익 분석을 시도하였다. 그리고, 회원국 및 주변국의 일인당 수산물 소비량을 제시하여 IOTC 수역의 어획물이 각 회원국의 수산물 소비 비중 분석을 실시하여 그 중요성을 부각하였다. 이와 같은 분석을 통해 생태계 기반 관리의 사회경제적 지표 마련의 기초

자료를 마련하였고, 지속적인 연구의 필요성을 제시하였다.

Sara et al.(2018)은 전해역의 공해상 어업의 경제성을 분석하였다. 순이익을 기준으로 국가별로는 일본, 스페인, 한국, 미국, 프랑스 순으로 높았으며, 어법별로는 연승어업, 선망어업, 트롤어업, 채낚기어업 순으로 높은 것으로 분석되었다. FAO 해역 기준으로 공간적인 순이익 분석을 진행하였는데, 중서부태평양어장, 대서양어장, 인도양남부어장의 어업이익이 높은 것으로 나타났다. 특히, 주요국별 분석에서 우리나라의 주요 어장은 중서부태평양 수역으로 제시하고 있다.

<표 2-3> 원양산업대상 경영분석 선행연구

연구분야	국내 외	연도	저자	분석내용
원양산업 경영분석	국내	1969	장수호	우리나라 초기 원양산업 분석
		1996	최정운	UN해양법이 우리나라 원양산업에 미치는 영향 분석
		2000	김창환 외	우리나라 원양산업의 업체별 경쟁력 분석
		2003	성락곤	우리나라 원양트롤어업 어업사 정리와 경영분석
		2009	김재희	교차효율 분석을 통한 원양어업 어법별 경쟁력 분석
		2017	WCPFC	WCPO 수역 경제성분석
	국외	2019	IOTC	IOTC 수역 경제성분석
		2018	Sara et al.	전해역 순이익 분석

2-5. 선행연구와의 차별성

가. WCPFC 눈다랑어 자원평가

체장기반 자원평가 모델인 Multifan-CL에 의한 WCPFC 눈다랑어 자원평가는 연승어업에 의한 CPUE만을 고려하고 있다. 1980년 이후부터 최근까지 눈다랑어는 선망어업에서 대략 35%에 육박하는 어획량을 기록하고 있고, 최근 3년(2015~2017년)은 선망어업에 의해 대략 45%정도 어획량을 기록하고 있음에도, 연승어업에 의한 CPUE만을 고려하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 어획량과 어획노력량 자료만으로 자원평가가 가능한 Bayesian state-space surplus 모델로 눈다랑어 자원평가를 실시하였는데, 기존 연구와의 차별성은 다음과 같다.

첫째, 자원평가 실시 전 Gavaris (1980)에 의해 제시된 GLM 모형을 통해 어법, 연도, 국가 요인을 고려하여 CPUE 표준화를 실시하였는데, 이때 어법요인에서 연승어업 뿐만 아니라 선망어업, 그리고 채낚기어업을 고려하였다.

둘째, Bayesian state-space surplus 모델 결과로 추정된 생물학적 계수를 통해 어획한도량 설정 및 어획노력량 제한 설정별 미래 눈다랑어 자원량을 예측하였다.

나. 어업생산함수

기존 어업생산함수 관련 연구들에서는 어업 생산량과 관련된 여러 투입요소를 고려하여 생산함수를 추정하였다. 본 연구에서는 1992년에서 2017년까지의 우리나라 WCPFC 연승어업과 관련된 패널 자료를 확보하여 생

산함수 추정을 시도하였다. 이때, 어업생산함수 분야의 기존연구들과 가지는 차이점은 다음과 같다.

첫째, 어업생산 요소들 중 중요한 요소인 자원량을 베이지안 접근법인 Bayesian state-space surplus 모델을 활용하여 직접 추정하였다.

둘째, 우리나라가 WCPFC 에 가입한 2004년 11월 25일 이후인 2005년 기준으로 더미 변수를 활용하여 WCPFC 가입으로 인해 눈다랑어 어획량에 대한 변화가 존재하는지 여부를 파악하였다.

셋째, 추정된 생산함수를 바탕으로 규모수익 분석을 통해 WCPFC 수역 원양연승어업에 할당된 눈다랑어 쿼터에 관한 전배전략을 제시하였다.

다. 원양산업경영분석

현재까지의 원양산업에 대한 경영, 경제학적 연구는 산업 전반적인 분석에 그치고 있다. 하지만, 본 연구에서는 특정수역, 어법에 관한 정밀한 경영분석을 시도하였다. 기존연구와의 차별성은 다음과 같다.

첫째, WCPFC 수역 우리나라 연승어업 개별어선의 사업계획서 자료를 확보하여 각 어선별 어업활동에 의한 경영분석을 시도하였다.

둘째, 민감도 분석 진행시 자원평가 결과와 생산함수 분석을 고려한 시나리오 분석을 실시하였다. 또한, 신조선 도입 최소비용을 제시하였다.

셋째, 손익분기점 분석을 통해 향후 우리나라가 최소한 확보해야할 눈다랑어 쿼터량과 눈다랑어 어가를 제시하였다.

<표 2-4> 기존연구와의 차별성

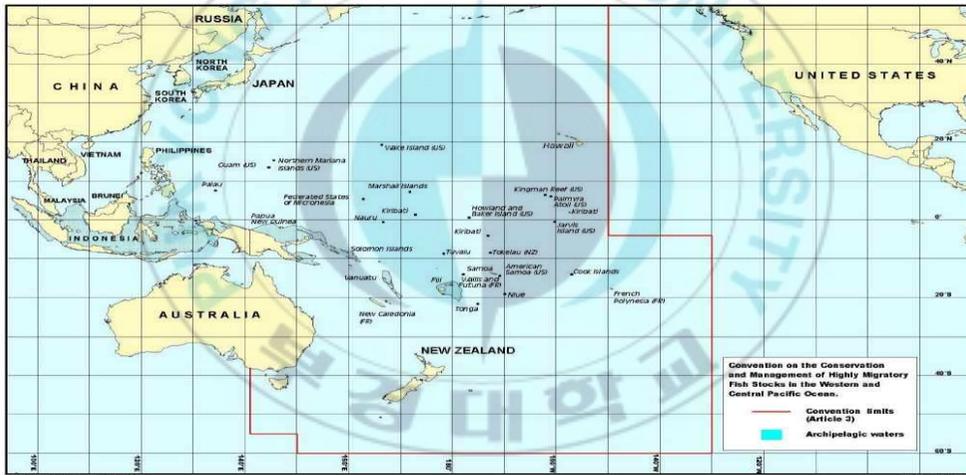
분야	차별성
자원평가	Bayesian state-space surplus 에 의한 WCPFC 눈다랑어 자원평가

	GLM 모형에 의해 어법별, 국별, 연도별 CPUE 표준화
	자원평가 결과에 의한 자원관리효과 분석
	투입요소 중 눈다랑어 자원량을 Bayesian state-space surplus 모델로 직접 추정
생산함수	더미변수 활용을 통한 WCPFC 가입 효과 분석
	규모수익 분석을 통한 WCPFC 눈다랑어 쿼터 전배 전략 제시
	원양어업대상 특정 수역(WCPFC), 특정 어법(연승)의 개별어선 자료 확보를 통한 정밀 분석 실시
경영분석	자원평가 결과 및 생산함수 추정 결과 바탕 눈다랑어 생산량 시나리오 별 민감도 분석 실시
	손익분기점 분석으로 눈다랑어 확보 최소 쿼터량과 어가 제시



III. WCPFC 일반 현황

WCPFC는 “고도회유성어족의 장기적 보존과 지속적 이용”을 목적으로 2004년 6월 19일 설립된 국제 수산 기구이며, 2018년 현재 한국, 일본, 미국 등 회원국 26개국과 협력적 비회원국 7개국, 그리고 해외속령 7개가 가입되어 있다(해양수산부, 2019). 관리 대상 수역은 S4°이하, W130°~W150°, 그리고 W150°이상에서 인도양까지 경계선으로 우리나라와 일본측 쪽의 서부태평양 해역이다(그림 3-1).



출처 : WCPFC

<그림 3-1> WCPFC 관할 수역

관리 어종은 관할수역내에 공치류를 제외한 고도회유성 어족이다. 사무국소재지는 마이크로네시아 폰페이에 위치하고 있으며, 총회의장단 구성은 총 6명으로 한국, 일본, 파푸아뉴기니등 다양한 국적을 가진 의장으로 구성되어 있다.

회원국들은 관리 어종의 지속가능한 개발을 위한 공동연구와 회의를 통해 주요종 및 부수어획종 보존 관리조치 개정 및 이행사항 마련, 자원평가등이 이루어지는데(<표 3-1>), 이를 위해 회원국은 해당 수역 내의 어업 자료를 제공하여야 한다.

제출 자료는 어업별 연간 실조업척수, 어업별· 어종별 연간 총어획량(폐기량 포함), 어업별 어종별 체장(체중)자료, 생태계 관련종(상어, 바닷새, 바다거북)부수어획량 등이다. 이를 토대로, 주요종 자원평가, 부수어획종 및 생태계 보호종의 자원동태파악 등의 여러 연구가 진행된다.

<표 3-1> WCPFC 주요 회의

회의명	주기	시기	회의 내용
북방위원회	연1회	8~9월경	북위 20도 이북 수역의 다량어 자원 보존을 위한 보존관리조치 개정 및 이행사항 논의
과학위원회	연1회	8월경	주요종에 대한 자원평가 결과 검토 및 보존관리 조치 권고안 마련
이행위원회	연1회	9월경	국별 보존관리조치 이행사항 평가
연례회의	연1회	12월경	과학위원회 및 이행위원회 권고안 검토 및 보존 관리조치 제· 개정

출처 : 해양수산부

위의 주요 회의들을 통해 제정된 보존관리 조치 중 어획한도량이 설정된 어법과 어종은 본 연구 대상인 연승어업에 의해 어획되는 눈다랑어가 유일하다. 눈다랑어의 어획한도량은 2019년 현재 주요 회원국에게 60,355톤이 배정되어 있으며, 이외에 2004년 당시 어획량이 2,000톤 이하인 회원국은 2,000톤 미만으로 배정되어 있다. 2019년 기준 일본(18,265톤), 한

국(13,942톤), 대만(10,481톤)순으로 많은 물량이 배정되어 있다(<표 3-2>).

<표 3-2> WCPFC 국가별 어획한도량(연승어업)

(단위 : 톤)

연도	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
어획한도량	66,297	65,022	60,355	60,355	55,687	60,355	60,355
한국	15,014	15,014	13,942	13,942	12,869	13,942	13,942
중국	10,673	9,938	8,224	8,224	7,049	8,224	8,224
인도네시아	5,889	5,889	5,889	5,889	5,889	5,889	5,889
일본	19,670	19,670	18,265	18,265	16,860	18,265	18,265
대만	11,288	11,288	10,481	10,481	9,675	10,481	10,481
미국	3,763	3,763	3,554	3,554	3,345	3,554	3,554

출처 : 해양수산부

이외 WCPFC의 주요 보존 관리 조치는 부록 1에 수록하였다.

3-1. WCPFC 수역 어업의 종류

WCPFC에서 제공된 자료를 기준으로 총 8개 어업(기타어업을 포함하면 9개)이 있다(WCPFC_Yearbook_2017). 대부분 어업에서의 목표종은 다량어류이며, 새치류, 상어류 등이 부수 어획된다(<표 3-3>).

Gillnet은 가다랑어를 주로 생산하고, Handline은 인도네시아, 일본, 대만에서 황다랑어를 주로 생산한다. Small-scale hook-and-line은 인도네시아,

필리핀에서 황다랑어와 가다랑어를 주로 생산하고, Longline은 태평양 공해상에서 눈다랑어와 황다랑어를 주로 생산한다. Pole-and-line은 일본과 도서국에서 가다랑어와 날개다랑어를 주로 생산하고, Ringnet은 필리핀, 대만에서 가다랑어와 황다랑어를 주로 생산한다. Purse Seine은 한국, 일본, 대만, 미국등이 도서국과 태평양 공해상에서 가다랑어와 황다랑어를 주로 생산하고, Troller는 일본, 미국(하와이), 뉴질랜드등에서 다랑어류등이 부수적으로 어획된다(<표 3-3>).

<표 3-3> WCPFC 어업의 종류

어업의 종류	주요국	목표종
Gillnet	인도네시아, 일본, 대만 등	가다랑어
Handline	인도네시아, 필리핀	황다랑어
Small-scale hook-and-line	인도네시아, 필리핀	황다랑어, 가다랑어
Longline	한국, 일본, 대만, 중국등	눈다랑어, 황다랑어
Pole-and-line	일본, 인도네시아, 미국, 도서국 등	가다랑어, 날개다랑어
Ringnet	필리핀, 대만	가다랑어, 황다랑어
Purse Seine	한국, 일본, 대만, 미국등	가다랑어, 황다랑어
Troller	일본, 미국, 뉴질랜드	
Other	호주, 일본, 도서국등	

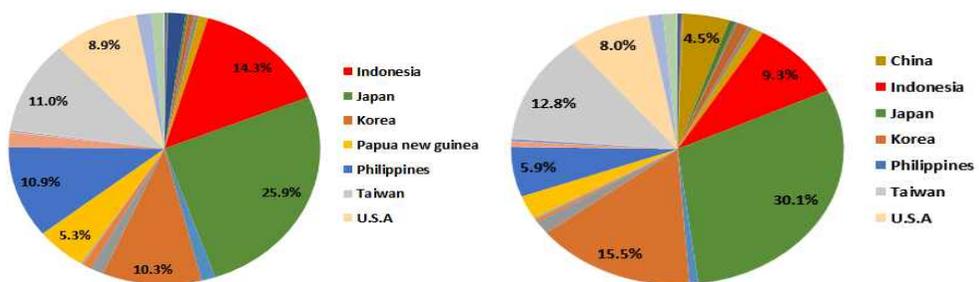
출처 : WCPFC

3-2. WCPFC 생산 현황

WCPFC는 회원국 26개국과 협력적 비회원국 7개국, 그리고 해외속령 7개가 가입되어있다(해양수산부, 2019). 2019년 현재 WCPFC에서 제공하는 자료는 38개국의 1950년부터 어획량 및 활동어선수 자료가 존재 하지만, 1980년 이전 자료는 다수의 결측치 문제와 이상치 문제가 있다고 판단하여 본 연구에서는 1980년 이후 자료를 적용하였다.

가. 국별 생산량

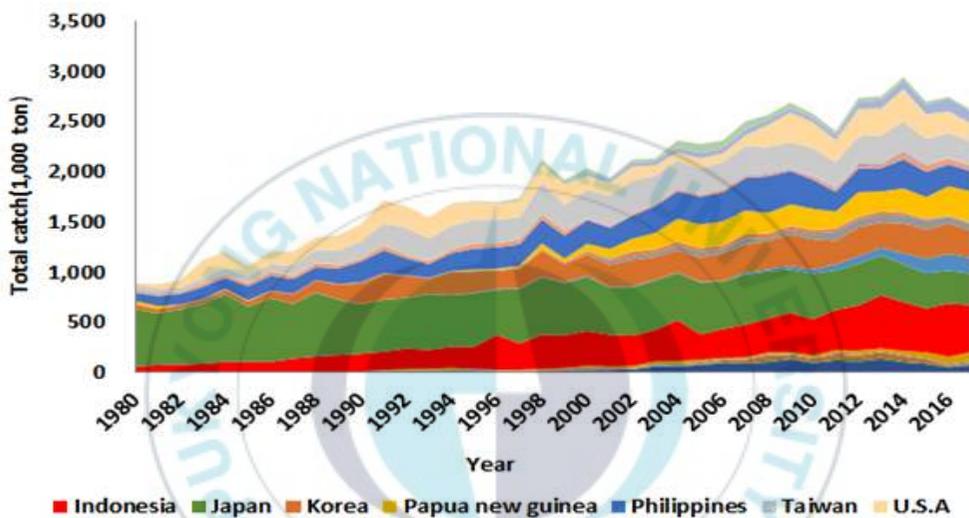
WCPFC 수역에서의 전체어종을 대상으로 1980년부터 2017년까지 주요국별 어획량 합계의 비중을 살펴보면, 일본(25.9%), 인도네시아(14.3%), 대만(11.0%), 필리핀(10.9%), 한국(10.3%), 미국(8.9%)순으로 높았고, 눈다랑어를 대상으로 비중을 살펴보면, 일본(30.1%), 한국(15.5%), 대만(12.8%), 인도네시아(9.3%), 미국(8.0%), 필리핀(5.9%), 중국(4.5%)순으로 비중이 높았다(그림 3-2).



출처 : WCPFC

<그림 3-2> WCPFC 수역 국가별 1980-2017년 생산량 합계
(좌 : 전체어종, 우 : 눈다랑어)

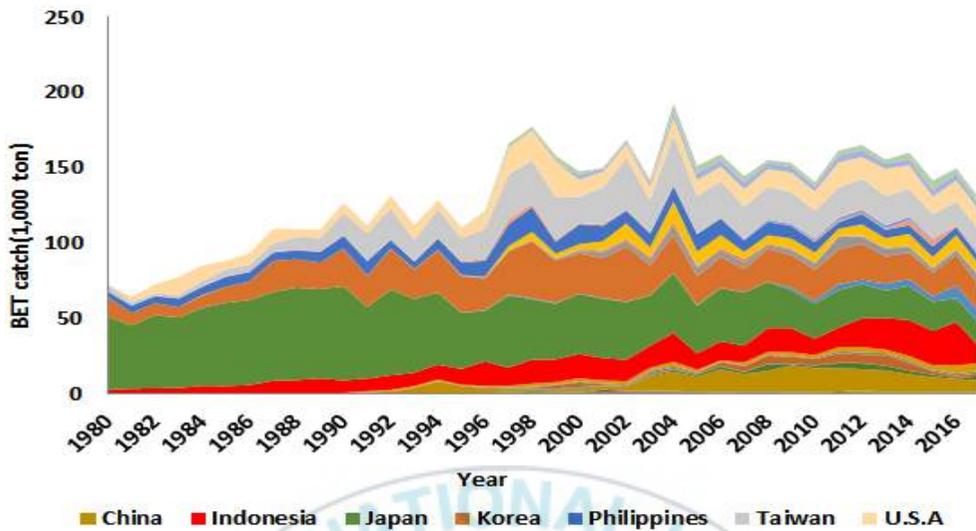
WCPFC 수역에서의 전체어종 어획량은 1980년부터 2017년까지 꾸준히 증가하는 추세를 보인다. 1980년 약 88만 톤으로 최저 어획량으로 시작하여 2014년 약 290만 톤으로 최고 어획량을 기록하였고 2017년 약 260만 톤을 어획 중에 있다. 시간의 흐름에 따라 국가별로 어획량을 차지하는 비율 변화는 크지 않다(<그림 3-3>).



출처 : WCPFC

<그림 3-3> WCPFC 수역 국가별 연도별 전체 어종 어획량

WCPFC 수역에서의 눈다랑어 어획량은 1980년부터 1998년까지 꾸준히 증가하다가 그 이후 등락을 반복하면서 어획량이 약 15만 톤 내외를 유지하고 있다. 1980년 약 7만 톤으로 최저 어획량으로 시작하여 2004년 약 19만 톤으로 최고 어획량을 기록하였고 2017년 약 12만 톤을 어획 중에 있다. 시간의 흐름에 따라 일본의 어획량 비중은 점차 감소하는 추세이며, 중국의 어획량 비중은 점차 증가하는 추세에 있다(<그림 3-4>).

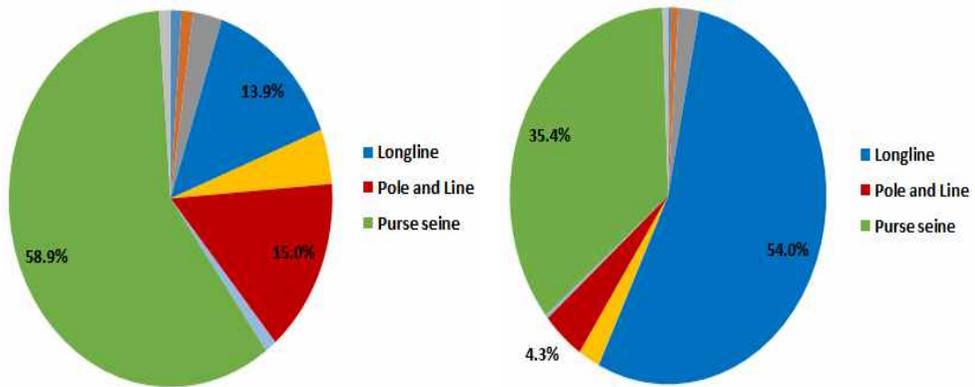


출처 : WCPFC

<그림 3-4> WCPFC 수역 국가별 연도별 눈다랑어 어획량

나. 어법별 생산량

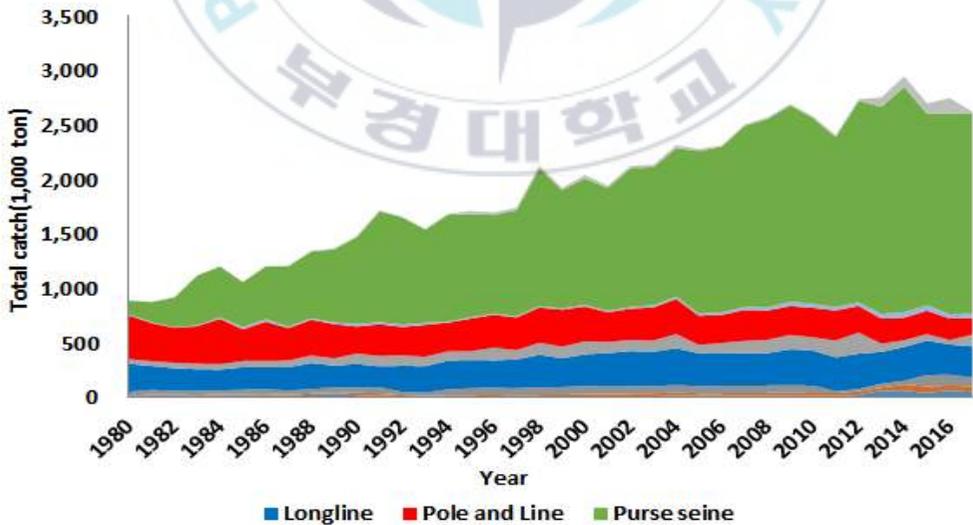
WCPFC 수역에서의 전체어종을 대상으로 1980년부터 2017년까지 어법별 어획량 합계의 비중을 살펴보면, 선망어업(58.9%), 채낚기어업(15.0%), 연승어업(13.9%)순으로 높았고, 눈다랑어를 대상으로 비중을 살펴보면, 연승어업(54.0%), 선망어업(35.4%), 채낚기어업(4.3%)순으로 비중이 높았다 (<그림 3-5>).



출처 : WCPFC

<그림 3-5> WCPFC 수역 어법별 1980-2017년 생산량 합계
(좌 : 전체어종, 우 : 눈다랑어)

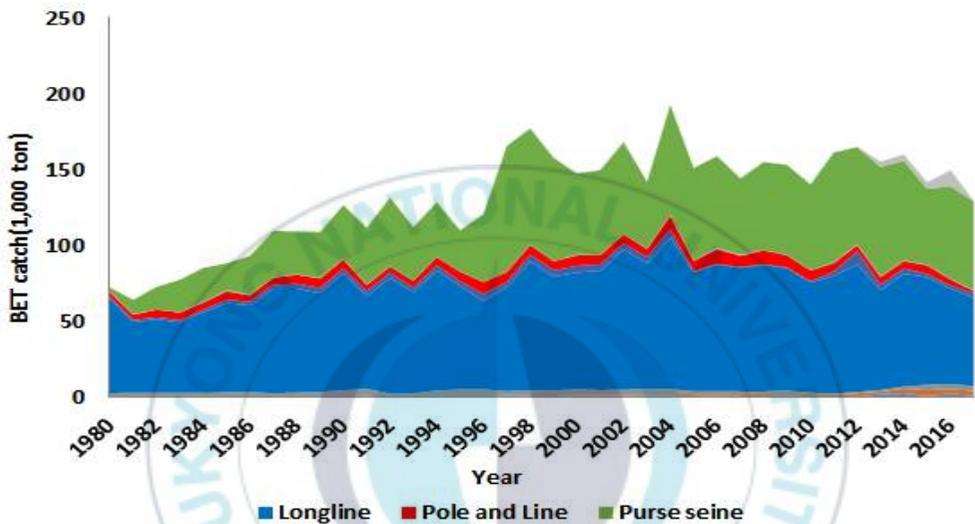
WCPFC 수역에서 1980년부터 2017년까지의 어법별 전체어종 어획량 비중은 연승어업, 채낚기 어업, 기타어업등을 큰 변동이 없다. 그러나, 선망 어업에 의한 어획 비중은 큰 폭으로 증가하는 추세에 있다(<그림 3-6>).



출처 : WCPFC

<그림 3-6> WCPFC 수역 어법별 연도별 전체 어종 어획량

WCPFC 수역에서 1980년부터 2017년까지의 어법별 눈다랑어 어획량 비중은 연승어업, 채낚기 어업, 기타어업등을 큰 변동이 없다. 그러나, 선망어업에 의한 어획 비중은 1998년까지 지속적으로 증가하다가 그 이후 변동이 없는 추세에 있다(<그림 3-7>).

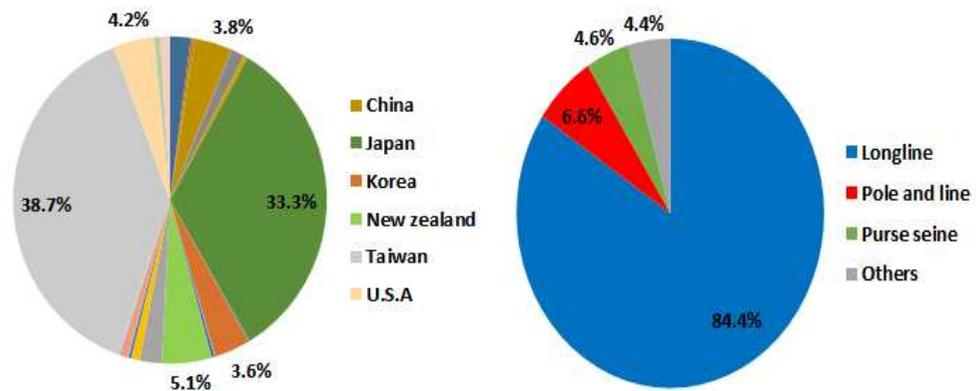


출처 : WCPFC

<그림 3-7> WCPFC 수역 어법별 연도별 눈다랑어 어획량

3-3. WCPFC 어선세력 현황

WCPFC 수역에서 활동한 어선세력을 살펴보면, 1980년부터 2017년까지 투입 어선 전체 합계를 기준으로 국별로는 대만(38.7%), 일본(33.3%)순으로 많았고, 어법별로는 연승어업(84.4%), 채낚기어업(6.6%), 선망어업(4.6%) 순으로 많았다(<그림 3-8>).

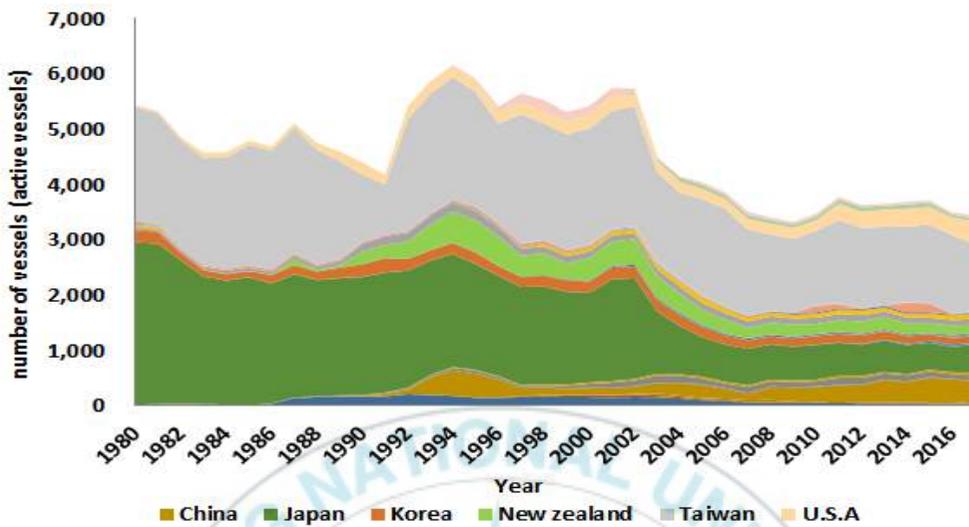


출처 : WCPFC

<그림 3-8> WCPFC 수역 1980-2017년 활동 어선 합계
(좌 : 국별, 우 : 어법별)

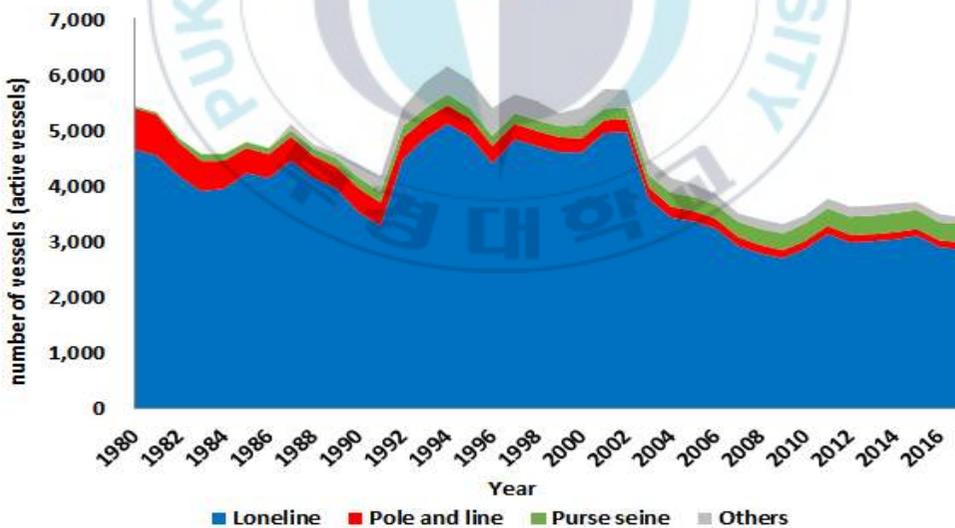
WCPFC 수역에서 1980년부터 2017년까지 투입된 어선 세력은 1980년 약 5,400척에서 1991년 약 4,100척으로 감소하였다가 이후 3년 동안 급격하게 증가하여 1994년에 약 6,100척으로 최대치를 기록하였다. 그리고 그 이후 전체적으로 감소추세에 있으며, 2017년 현재 약 3,400척이 조업 중이다(<그림 3-9>, <그림 3-10>).

국별로는 일본의 어선세력은 시간이 지남에 따라 감소추세에 있으며, 중국의 어선세력은 시간이 지남에 따라 증가추세에 있다(<그림 3-9>). 어법별로는 연승어업과 채낚기어업의 어선세력은 시간이 지남에 따라 감소추세에 있으며, 선망어업의 어선세력은 시간이 지남에 따라 증가추세에 있다(<그림 3-10>).



출처 : WCPFC

<그림 3-9> WCPFC 수역 연도별 국별 어선 세력 추이



출처 : WCPFC

<그림 3-10> WCPFC 수역 연도별 어법별 어선 세력 추이

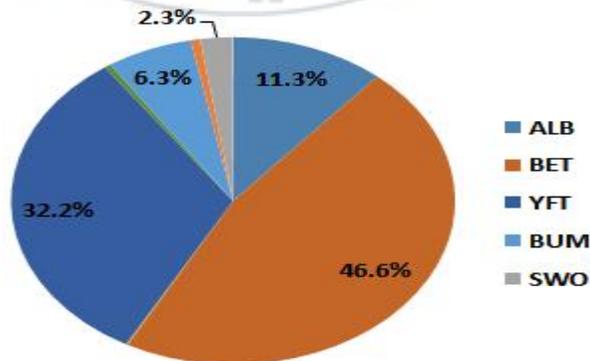
IV. 우리나라의 WCPFC 원양연승어업 현황

우리나라의 WCPFC 수역에 투입되는 원양연승어선은 총 13개 선사가 각 선사의 실정에 맞게 어선을 투입하고 있으며, 어선규모는 통상 400톤 내외의 크기 선박에 약 23-25명의 선원이 승선하여 연중 어획하고 있다(한국원양산업협회, 2018).

어획물들은 모두 급냉 처리 하여 횡감용으로 고가에 거래 되고 있으며, 목표종은 눈다랑어와 황다랑어이고 부수어획종은 기타다랑어(날개다랑어, 가다랑어등)와 새치류(황새치, 녹새치등)등이다.

4-1. 생산 현황

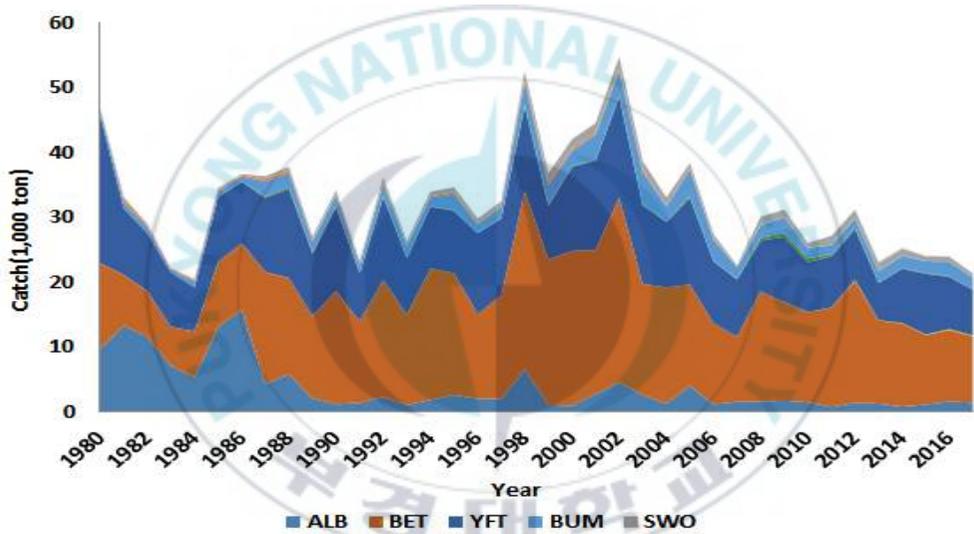
1980년부터 2017년의 기간 동안 WCPFC 수역에서 우리나라 연승어업으로 어획된 어종비율을 눈다랑어(46.6%)가 가장 높은 비율을 차지하였으며, 황다랑어(32.2%), 날개다랑어(11.3%), 녹새치(6.3%)순이었다(<그림 4-1>).



출처 : 국립수산과학원

<그림 4-1> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 어획 비율

1980년에서 2017년까지 어획량 추이를 살펴보면, 전체어종은 1984년 약 2만 톤의 최소어획량을 기록한 뒤 등락을 반복하다가, 1998년 약 5.2만 톤, 2002년 약 5.5만 톤의 최고어획량을 기록한 후 지속적으로 감소하여 2017년 기준 약 2.1만 톤을 어획하였다. 이 중 눈다랑어는 1983년 약 6천 톤의 최소어획량을 기록한 뒤 등락을 반복하다가 1998년에서 2002년 기간 동안 평균 약 2.5만 톤의 높은 어획량을 기록한 후 지속적으로 감소하여 2017년 기준 약 1만 톤을 어획하였다(<그림 4-2>).



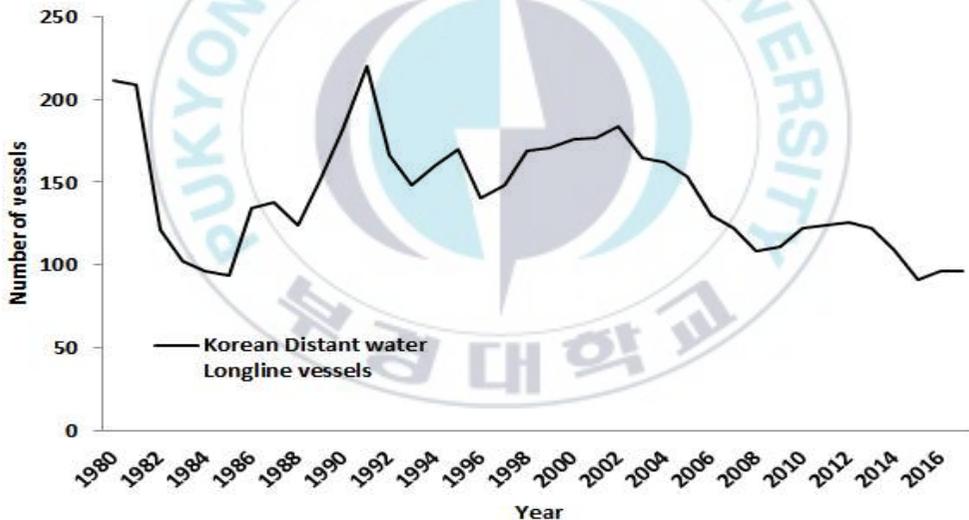
출처 : 국립수산과학원

<그림 4-2> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 어획비율 추이

4-2. 조업 현황

가. 어선 세력

1980년에서 2017년까지 조업한 연승어선 세력을 살펴보면, 1980년(211척), 1981년(209척), 1991년(220척)으로 200척 이상 WCPFC 수역에서 조업을 하였다. 1991년을 기점으로 점점 조업어선수가 감소하고 있으며, 최근 5년 동안(2013-2017)투입된 어선 수는 평균 약 100척이고 2017년 기준으로 96척이 조업활동을 하고 있다(<그림 4-3>).



출처 : 국립수산과학원

<그림 4-3> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 조업 어선 추이

최근 5년간 WCPFC 수역의 우리나라 원양연승어업 투입은 2013년 122척에서 2017년 96척으로 줄어들고 있다(<표 4-1>, <그림 4-4>). 하지만, 전체 선사에서 꾸준히 조업어선수가 줄어드는 것이 아니라 총 13개 선사 중에

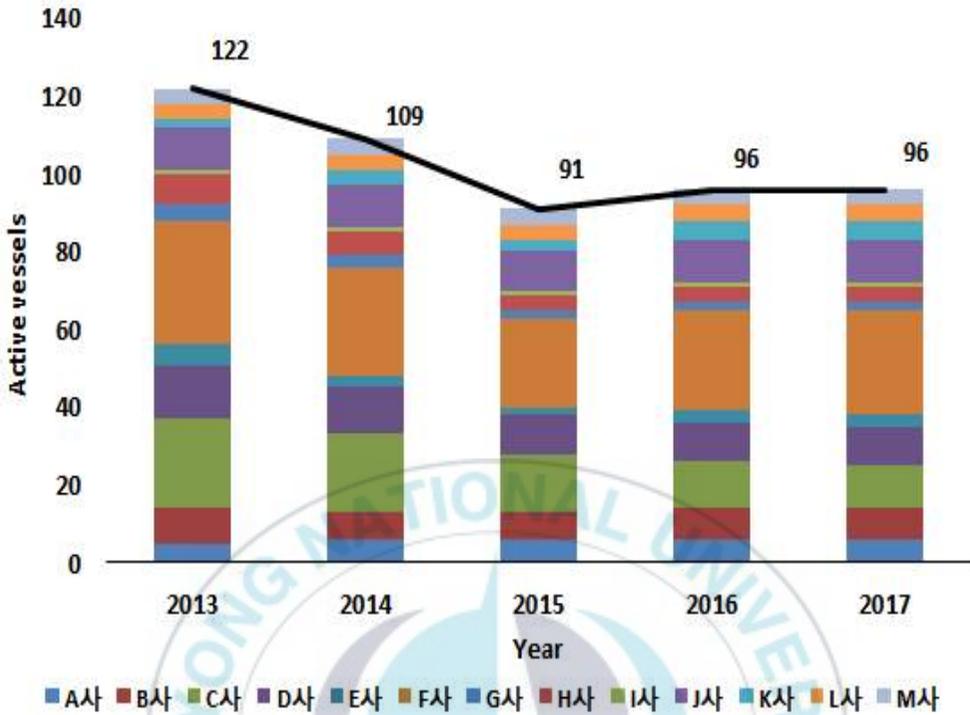
서 상대적으로 어선 투입 규모가 큰 F사와 C사의 투입 어선수가 F사 : 32척(2013) - 27척(2017), C사 : 23척(2013) - 11척(2017)로 감소폭이 크므로, 이들로 인한 우리나라 WCPFC 수역의 전체 연승어업 조업 척수가 감소하는 것을 알 수 있다.

<표 4-1> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 투입 어선

(단위 : 척수)

	2013	2014	2015	2016	2017
A사	5	6	6	6	6
B사	9	7	7	8	8
C사	23	20	15	12	11
D사	14	12	10	10	10
E사	5	3	2	3	3
F사	32	28	23	26	27
G사	4	3	2	2	2
H사	8	6	4	4	4
I사	1	1	1	1	1
J사	11	11	10	11	11
K사	2	4	3	5	5
L사	4	4	4	4	4
M사	4	4	4	4	4
TOTAL	122	109	91	96	96

출처 : 국립수산과학원, 한국원양산업협회



<그림 4-4> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 투입 어선 척수

나. 원양연승어선 정보

1) WCPFC 원양연승어선 규모

2017년 기준 WCPFC 수역에서 조업 중인 우리나라 연승어선의 정보를 <표 4-2>와 같이 정리 하였다. 승선원수는 최소 20명에서 최대 27명, 평균 24.3명이고, 어선톤수는 최소 353톤에서 최대 488톤, 평균 407.8톤으로 조사되었다.

<표 4-2> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어선 기초통계량

	최소값	최대값	평균	표준편차
선원	20	27	24.3	0.6
어선톤수	353	488	407.8	20.7

출처 : 한국원양산업협회, WCPFC

2) WCPFC 원양연승어선 선령 정보

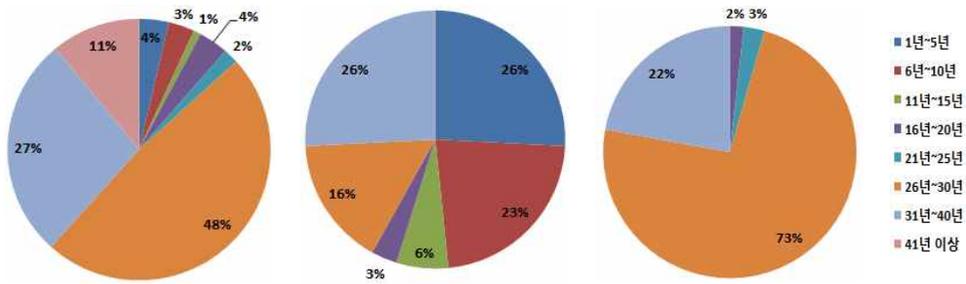
WCPFC 수역에서 조업 중인 우리나라 연승어선의 선령은 최소 19년에서 최대 33년, 평균 29.2년으로 조사 되었다(<표 4-3>).

<표 4-3> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어선 선령 기초통계량

	최소값	최대값	평균	표준편차
선령	19	33	29.2	2.1

출처 : 한국원양산업협회, WCPFC

특히, WCPFC 수역에서 조업 중인 우리나라 연승어선의 30년 이상 노후화 된 비중이 95.6%에 달해, 원양산업전체의 86.8%, 원양선망어업의 41.9%와 비교하여 심각한 노후화 현상을 파악할 수 있다(<그림 4-5>, 한국원양산업협회, 2018; WCPFC, 2018).



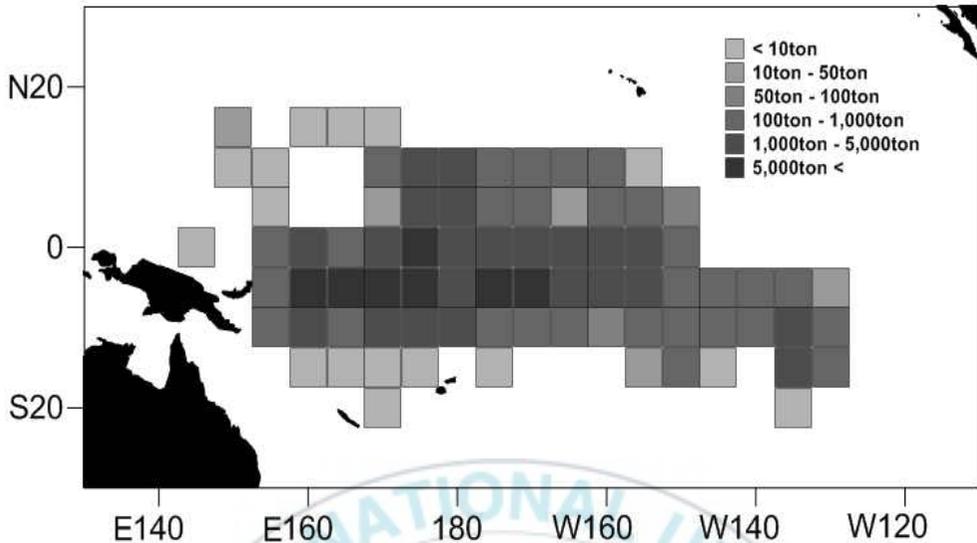
<그림 4-5> 원양어업 어선 연령 비중

(좌 : 원양산업전체, 중 : 원양선망어업, 우 : WCPFC 원양연승어업)

출처 : 한국원양산업협회, WCPFC

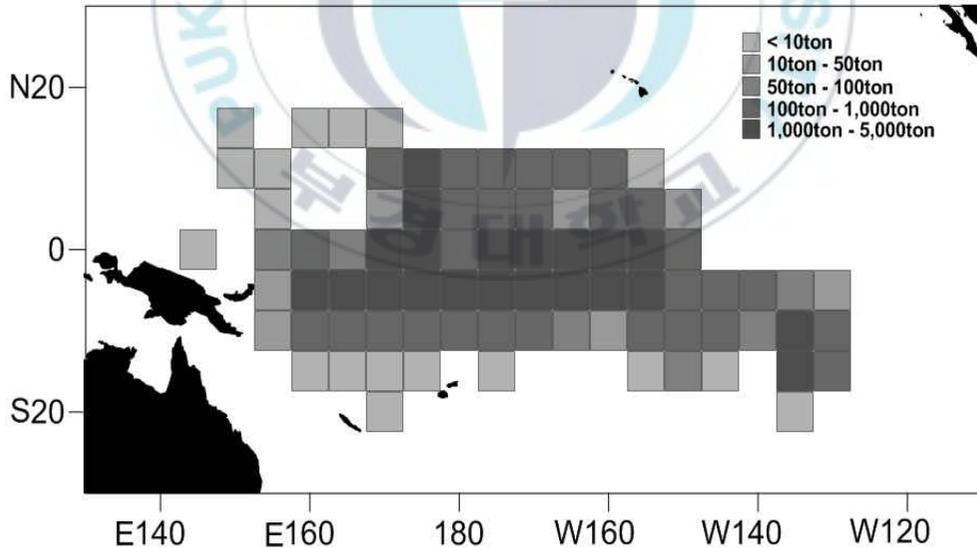
다. 조업패턴현황

<그림 4-6>과 <그림 4-7>은 최근 5년 동안(2013년~2017년) 우리나라 다랑어 연승어업의 어획분포를 나타낸 것이다. 구역을 살펴보면 N15°~S15°, E150°~W130° 구역이 WCPFC 수역에서 우리나라가 주로 조업하고 있는 어장으로 나타났다. 전체 어종 어획량 기준으로 S2.5°~S7.5°, E157.5°~W167.5° 구간에서 가장 높은 어획량을 기록하고 있어 우리나라 연승어업 기준 주요 어장이라고 볼 수 있으며, 눈다랑어 어획량을 기준으로 하면 S2.5°~S7.5°, E157.5°~W157.5° 구간이 주요 어장이라고 볼 수 있다. 즉, WCPFC 수역에서의 우리나라 연승어업 주요 어장은 적도를 기준으로 S5°부근, 그리고 180° 기준으로 E160°~W160° 부근에서 가장 많은 조업 활동이 이루어지고 있다(국립수산과학원, 2013~2017).



출처 : 국립수산과학원

<그림 4-6> WCPFC 수역 우리나라 연승어업 어획 분포도(1)
(2013-2017년 전체 어획량 기준)



출처 : 국립수산과학원

<그림 4-7> WCPFC 수역 우리나라 연승어업 어획 분포도(2)
(2013-2017년 눈다랑어 어획량 기준)

4-3. 승선원 현황

가. 승선원 구성 현황

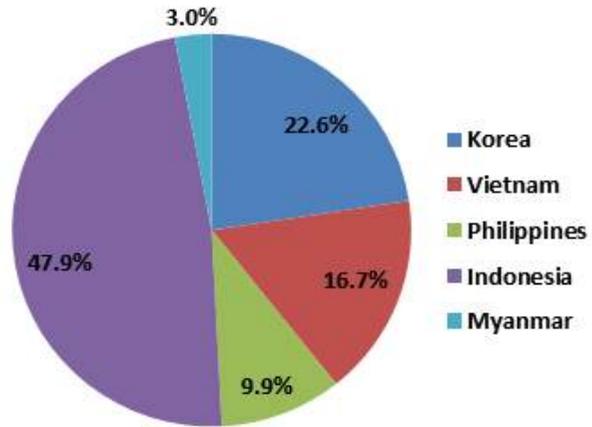
연승어선의 선원구성은 크게 선장, 해기사 그리고 부원으로 구분되는데, 전자를 간부선원 후자를 일반선원이라고 한다. 해기사는 항해사 기관사 통신사를 의미하며, 일반선원은 갑판부, 처리부, 조리부등으로 크게 나눈다(성락근, 2002). 우리나라의 연승어선의 승선원은 각 어선별로 차이점이 존재하지만 일반적으로 선장, 항해사, 기관사, 통신사, 갑판장, 조리장, 처리사, 급냉사, 갑판원, 선원 등으로 구성되어있다.

우리나라 대부분 연승어선에서 선장, 항해사(때에 따라서 1,2,3 항해사로 구분), 기관사, 통신사로 총 4~6명의 간부선원을 두고, 일반선원을 14~20명을 배치하고 있는 상황이다(국립수산과학원, 2015~2017). 여기서 간부선원은 모두 한국인으로 구성되어 있고, 일반선원은 모두 외국인으로 구성되어 있는 상황이다. 그 국적은 인도네시아(약 47.9%), 베트남(약 16.7%), 필리핀(약 9.9%), 미얀마(약 3.0%) 등으로 구성되어 있다(<표 4-4>, <그림 4-8>).

<표 4-4> 우리나라 WCPFC 수역 원양연승어선 선원 구성

구분	직책	국적	총 20~27명
간부 선원	선장, 항해사, 기관사, 통신사	한국	4~6명
	갑판장, 1갑원, 조리장, 급냉사	외국인	4~6명
일반 선원	2항사, 조기장, 실항사, 실기사	외국인	4~6명
	처리사 및 선원	외국인	4~6명
	선원	외국인	3~6명

국립수산과학원(2015~2017) : 국제옵서버 과학조사 자료를 바탕으로 재구성



국립수산과학원(2015-2017) : 국제옵서버 과학조사 자료를 바탕으로 재구성
 <그림 4-8> WCPFC 수역 우리나라 원양연승 어업 선원 국적 비율



국립수산과학원(2015-2017) : 국제옵서버 과학조사 자료를 바탕으로 재구성
 <그림 4-9> WCPFC 수역 우리나라 원양연승 어업 선원구성 비율

나. 승선원 임금 현황

우리나라 원양연승어선의 월평균 임금실태를 표 4-5에 정리하였다. 원양연승 전체의 선원 1인당 월평균 임금은 5,504천원으로 이중 41.2%인 2,265천원은 기본임금이고, 53.5%인 2,947천원은 시간외수당, 나머지는 상여금으로 구성되어있다(한국원양산업협회, 2018).

직급별로는 선장이 월평균 10,502천원으로 가장 높은 반면, 갑판부원은 월평균 3,826천원으로 가장 낮다. 해기사들의 직급별 임금수준은 선장이 2항사의 2.6배인데 비해, 기관장은 2항사의 2.1배로 선장 임금이 기관장 임금보다 높은 것을 알 수 있다(<표 4-5>). 이와 같은 차이는 시간외수당의 격차도 누적적으로 계상되어 있어 어업활동으로 인한 매출액이 증가함에 따라 선장과 기관장의 격차는 크게 나타난다. 부원들의 직급별 임금수준은 갑판장이 갑판원의 1.2배로 나타나 해기사들의 직급별 임금수준 차이보다는 크지 않은 것으로 나타났다. 그리고 해기사의 임금수준이 부원들 보다 1.4배로 높게 나타났다(<표 4-5>).

<표 4-5> 우리나라 원양연승어선 선원 월평균 임금

(단위 : 천원)

구분	기본임금 (통상임금)	시간외수당 (생산수당)	상여금	계
선장	2,543	7,663	296	10,502
1항사	2,223	2,148	296	4,667
2항사	2,193	1,567	296	4,057
해 기 사 기관장	2,443	5,837	296	8,576
1기사	2,223	2,003	296	4,522
통신장	2,323	2,601	296	5,220
해기사 평균	2,325	3,637	296	6,257

연 부	관	장직	2,223	2,143	296	4,662	
	기	관	원직	2,193	1,337	296	3,826
			장직	2,193	2,083	296	4,527
	조	리	장직	2,093	2,088	296	4,477
	부						
부원 평균			2,176	1,913	296	4,373	
전체 평균			2,265	2,947	296	5,504	

출처 : 한국원양산업협회

4-4. 입어료 지불 현황

WCPFC 수역 우리나라 원양연승어선 입어료 지불 현황을 <표 4-6>에 정리 하였다. 키리바시 입어척수와 입어료가 감소하고 있으며, 투발루 입어척수와 입어료는 증가하는 경향이 있다. 솔로몬제도는 2013년~2015년 까지 점차 감소하다가 2016년 1척으로 급감하였으며 2017년에는 입어 조업이 존재 하지 않는다.

<표 4-6> WCPFC 수역 국별 연승어업 입어료 지불 현황

(단위 : 1,000 US\$)

국별	2013		2014		2015		2016		2017	
	입어척수	입어료								
키리바시	101	3,140	93	2,662	71	2,205	77	2,780	59	1,207
투발루	11	220	32	510	17	295	42	357	49	517
솔로몬제도	23	333	20	300	21	585	1	16		

출처 : 한국원양산업협회

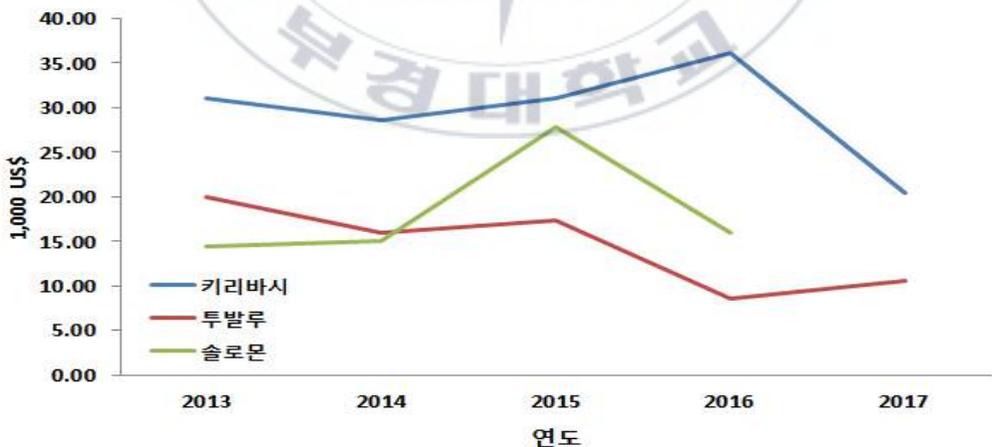
WCPFC 수역 우리나라 원양연승어선 척당 평균 입어료 지불 현황을 <표 4-7>과 <그림 4-10>에 정리 하였다. 키리바시의 경우 2016년도에 36,100 달러로 가장 높았으나, 2017년에 20,460 달러로 급감하였다. 투발루의 경우 2013년도에 20,000달러로 가장 높았으나, 2016년도에 8,500달러로 급감하였고, 2017년에 10,550달러를 지불 중이다.

5년 동안 WCPFC 수역 국별 척당 평균 입어료는 키리바시, 솔로몬제도, 투발루 순으로 높았으며, 각각 29,910달러, 18,980달러, 12,580달러를 지불 하였다.

<표 4-7> WCPFC 수역 국별 연승어업 입어료 지불 현황(척당 평균)

(단위 : 1,000 US\$)						
국별	2013	2014	2015	2016	2017	전체평균
키리바시	31.09	28.62	31.06	36.10	20.46	29.91
투발루	20.00	15.94	17.35	8.50	10.55	12.58
솔로몬제도	14.48	15.00	27.86	16.00		18.98

출처 : 한국원양산업협회



출처 : 한국원양산업협회

<그림 4-10> WCPFC 수역 국별 연승어업 입어료 지불 추이(척당 평균)

V. 분석 방법 및 추정 모형

5-1. CPUE 표준화

수산자원해석에서 하나의 중요한 개념으로서 단위노력당어획량(catch per unit effort, CPUE)지표는 일반적으로 어업에서 식 (1)과 같이 정의 된다(장창익, 2010).

$$CPUE = \frac{Catch}{Effort} \quad (1)$$

여기서 *Catch*(어획량)은 단일어종의 어획량이나 어획미수로 생각할 수 있고, *Effort*(노력량)으로는 연승어업에서는 낚시수, 조업일수 등으로 선망어업에서는 조업일수, set수 등이 이용된다(이동우 외, 2008).

일반적으로 CPUE는 자원밀도에 비례하고 있는 것으로 보고 있으므로 특별한 계산 없이 CPUE의 연도별 경향을 보는 것만으로 상대자원량의 증가 또는 감소 경향을 파악할 수 있다(Shono, 2004; 유준택 외, 2010). 그리고, CPUE는 미분방정식을 베이스로 개체군 동태를 표현한 잉여생산량 모델(Pella and Tomlison, 1969)이나 연도별 연령별 어획량을 사용하는 VPA (virtual population analysis) 등의 자원평가 모델에 있어 튜닝인덱스로 많이 사용되고 있어, 수산자원평가에 있어 아주 중요한 의미를 지니고 있다(이동우 외, 2008).

그러나, 일반상업어선의 조업데이터에 의한 가공되지 않는 CPUE는 자원 밀도 외에 계절, 해역, 어구, 조업위치 등의 다른 요인을 포함하고 있어,

자원의 변동을 정확히 파악하기 위해서는 이러한 영향을 제거할 필요성이 있다. Gavaris (1980) 는 이러한 자원 변동에 대응하는 부분을 제거하는 작업을 CPUE 표준화라고 하였다.

Gavaris는 GLM (generalized linear model)의 통계모델을 사용하여, CPUE 표준화를 실행하였으며, CPUE를 식 (2)와 같이 정의하였다(Gavaris, 1980; Shono, 2004).

$$U = U_p \prod_m \prod_n P_{mn}^{X_{mn}} e^\epsilon, U = CPUE \quad (2)$$

여기서, U_p 는 연도, 국가, 어법 등 요인변수의 기준 CPUE 이다. m 은 요인변수를 의미하고, n 은 각 요인변수 내의 수준을 의미하며, P_{mn} 은 요인변수 m 의 n 수준의 상대적 어업생산 능력이다. 각각의 요인변수 기준 수준인 P_{mn} 은 1로 보유한 자료가 요인변수 m 의 n 수준을 의미할 때 X_{mn} 은 1이고, 그렇지 않을 경우 X_{mn} 은 0이다(Gavaris, 1980; Shono, 2004; 최지훈 외, 2019). Gavaris가 제시한 CPUE 일반모형은 로그정규분포를 따르며, ϵ 는 정규확률변수(normal random variable)로 평균이 0이고 분산은 σ^2 이다. 식 (2)를 로그로 변환하면 식 (3) 또는 식 (4)와 같다(Gavaris, 1980).

$$\ln U = \ln U_p + \sum_m \sum_n X_{mn} \ln P_{mn} + \epsilon, U = CPUE, \epsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (3)$$

$$Y = \beta_0 + \sum_l \beta_l X_l + \epsilon, l = m \cup n, \epsilon \sim N(0, \sigma^2) \quad (4)$$

여기서, 상수항인 β_0 는 기준 로그 CPUE를, β_l 은 로그로 변환된 어업생산 능력 계수를 의미하며, l 은 m 과 n 을 포함한다(Gavaris, 1980; 최지훈 외, 2019).

본 연구에서는 1980~2017년까지의 시계열 자료를 바탕으로 8개 국가(한국, 일본근해, 일본원양, 미국사모아령, 미국하와이령, 대만근해, 대만원양, 중국), 3가지 type의 어법별 어획노력량을 동일한 단위로 표준화하기 위해 연도, 국가 그리고 어법을 요인변수로 사용하였다. 요인변수인 연도, 어법, 국가의 조합(combination)을 통해 가변수를 선정하고, 선정된 가변수와 회귀모형을 이용하여 8개국, 3가지 어법의 CPUE와 각 어업의 어획노력량을 표준화 할 수 있다(Quinn and Deriso, 1999; 심성현, 2017).

회귀모형을 통해 추정된 8개국, 3가지 어법의 표준화된 어획노력량은 추정된 각 어업의 CPUE(\hat{U})와 국가별 어법별 어업생산량(Q)에 의해 도출된다. 따라서 표준화한 어획노력량(\hat{F}_A)은 추정된 각국별 어법별 어획노력량의 합으로 도출된다.

$$Q_{A_t} = \sum_m^3 \sum_n^8 Q_{mn_t}, \quad \hat{F}_{A_t} = \sum_m^3 \sum_n^8 Q_{mn_t}, \quad \hat{U}_{A_t} = \sum_m^3 \sum_n^8 \hat{U}_{mn_t} \quad (5)$$

$$\hat{F}_{mn_t} = \frac{Q_{mn_t}}{\hat{U}_{mn_t}}, \quad \hat{F}_{mn_t} = \frac{Q_{mn_t}}{\hat{U}_{mn_t}}, \quad (m = 1, 2, 3), \quad (n = 1 \cdots 8) \quad (6)$$

5-2. Bayesian state-space surplus 모델

수산자원평가에 있어 자료 확보의 한계성이 존재할 때, 주로 사용되는 모델은 잉여생산량 모델이다(Hilborn and Walters, 1992). 본 연구에서는 1980년부터 2017년까지의 중서부태평양수역 눈다랑어 어획량과 국별, 어법별 어획노력량(어선척수)의 시계열자료 확보하고 있는 상황에서 적합한 평가모델이라고 할 수 있다.

State-space 접근법은 베이지안 추론(Bayesian inference)을 통해 자원평가 모델에서 발생할 수 있는 과정오차(process error)와 관측치인 CPUE에서 발생할 수 있는 관측오차(observation error)를 동시에 고려할 수 있기 때문에 시간의 변화에 따른 자원량 변동을 추정하는 효과적인 방법이다(조현주 외, 2019).

베이지안 모델은 아래 식 (7), (8), (9)와 같은 확률밀도함수(PDF : Probability Density Function)으로 구성된다(Chaloupka and Balazs, 2007).

$$g_t(B_t|B_{t-1}, \theta) \text{ 모델의 과정오차 PDF} \quad (7)$$

$$g_0(B_0, \theta) \text{ 최초 눈다랑어 자원량 PDF} \quad (8)$$

$$f(I_t|B_t, \theta) \text{ CPUE 관측오차 PDF} \quad (9)$$

여기서, B_t 는 관찰 불가능한 중서부태평양수역 눈다랑어의 t 연도의 자원량이고($t = 1980, \dots, 2017$), I_t 는 관찰 가능한 눈다랑어의 t 연도의 단위노력당어획량(CPUE : catch per unit effort) 이다. 그리고, θ 는 모형의 추정변수의 벡터를 뜻한다(Chaloupka and Balazs, 2007).

모델의 과정오차는 다음 식 (10)과 같은 연속적 이산 형태의 자원동태모델로 정의 될 수 있다(Chaloupka and Balazs, 2007; Hilborn and Walters, 1992).

$$B_t = B_{t-1} + f(B_{t-1}) - H_{t-1} \quad (10)$$

B_t 는 t 년도의 눈다랑어 자원량이고(1980~2017), H_t 는 t 년도의 눈다랑어

어획량이다(1980~2017). 그리고 $f(B_{t-1})$ 는 $t-1$ 년도의 성장량이다. 이 때, 주어진 자원의 잉여생산함수의 가정에 따라 자원동태 모델의 형태가 결정되는데, 본 연구에서는 아래 식 (11)과 같이 Sheaffer (1954) 함수를 가정하였다(Meyer and Millar, 1999; Millar and Meyer, 2000).

$$f(B_t) = rB_t \left(1 - \frac{B_t}{K}\right) \quad (11)$$

여기서, r 과 K 는 해당 자원의 생물계수로 r 은 자원의 본원적 성장률이고, K 는 환경수용력을 나타낸다(Sheafer, 1954).

잉여생산량 모델에서는 식(12)와 같이 어획능률과 자원량의 관계는 일정하다고 가정한다.

$$I_t = qB_t \quad (12)$$

여기서 I_t 는 자원의 상대적 밀도지수, q 는 어획능률계수를 나타낸다. 일반적으로 수산자원의 평가에는 자원밀도지수로 CPUE($I_t = \text{CPUE}_t$)를 사용한다.

베이지안 추론은 관측된 자료와 모수 모두에 확률 모형을 사용하여 추론하는 방법으로 베이지안 추론을 위해 식 (11)과 (12)의 식을 재구성 하면 아래 식 (13)과 (14)로 나타낼 수 있다(Meyer and Millar, 1999). 표본추출의 과정에서 생물계수 간의 상관관계를 감소시키기 위해 자원량(B_y)을 자원량의 비율($P_t = B_t/K$)로 수정하여 추정하였다(Millar and Meyer, 2000).

$$P_1 | \sigma^2 = e^{u_0}$$

$$P_t | P_{t-1}, K, r, \sigma^2 = \left(P_{t-1} + rP_{t-1}(1 - P_{t-1}) - \frac{C_{t-1}}{K} \right) e^{u_t} \quad (13)$$

$$I_t | P_t, q, r^2 = qKP_t e^{u_t} \quad (14)$$

위의 식에서 u_t 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 을 따르는 정규분포를 따르는 독립사건이고, ν_t 는 평균이 0이고 분산이 τ^2 을 따르는 독립사건이다.

베이지안 모델은 관측불가능한 변수인 $K, r, q, \sigma^2, \tau^2$ 과 알려지지 않은 P_1, \dots, P_N 의 확률 그리고 관측 가능한 CPUE의 I_1, \dots, I_N 의 사전결합분포 (joint prior distribution)로 구성된다(Meyer and Millar, 1999).

추정되어야 할 변수 $K, r, q, \sigma^2, \tau^2$ 이 사전적으로 독립이라고 가정하고, 이를 베이즈정리와 사후사건(subsequent states)의 조건부독립을 연속적으로 적용하면 추정되어야 할 변수의 확률분포는 아래 식 (15)과 같이 나타낼 수 있다(Meyer and Millar, 1999). 본 연구에서 적용한 생물학적 변수에 대한 사전분포는 K 에 관해서는 Winker et al.(2019), r 은 Myers et al.(1999), 그리고 σ^2 과 τ^2 은 Millar and Meyer(2000)을 참조하였다. 어획능률변수인 q 는 CPUE와 관련이 있으므로, 사전분포는 주어지지 않는다고 가정하였다(Meyer and Millar, 1999a; Winker et al., 2019). 그리고 과정보차에 관한 분산은 역감마분포(inverse-gamma distribution)를 따른다고 가정하였다(Brodziak and Ishimura, 2012; Meyer and Millar, 1999; Winker et al., 2019). 본 연구에서 사용한 변수들에 대한 사전분포는 부록 3에 수록하였다¹⁾.

1) 본 연구에서는 추정변수별로 선행연구 이외 다른 사전분포를 반복적으로 사용하여 분석에 적합한 사전분포를 제시하려 하였으나, 그 결과들이 유의하지 않아 선행연구의 사전분포를 따르기로 하였음.

$$\begin{aligned}
& p(K, r, q, \sigma^2, \tau^2, P_1, \dots, P_N) \tag{15} \\
& = p(K)p(r)p(q)p(\sigma^2)p(\tau^2)p(P_1|\sigma^2) \times \prod_{y=1}^N p(P_{y+1}|P_y, K, r, \sigma^2)
\end{aligned}$$

각 변수가 독립적으로 특정한 값을 가진다고 가정하면, 관측된 CPUE의 확률분포는 아래 식 (16)과 같다(Meyer and Millar, 1999).

$$p(I_1, \dots, I_N | K, r, q, \sigma^2, \tau^2, P_1, \dots, P_N) = \prod_{y=1}^N p(I_y | P_y, q, \tau^2) \tag{16}$$

베이즈정리에 의해 사전확률분포 (15)과 관측된 CPUE의 확률분포 (16)을 이용하여, 관측불가능한 변수들과 관측가능한 변수들의 비율로 인한 사전 결합분포는 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다(Meyer and Millar, 1999).

$$\begin{aligned}
& p(K, r, q, \sigma^2, \tau^2, P_1, \dots, P_N, I_1, \dots, I_N) \tag{17} \\
& = p(K)p(r)p(q)p(\sigma^2)p(\tau^2)p(P_1|\sigma^2) \times \prod_{y=2}^N p(P_y|P_{y-1}, K, r, \sigma^2) \prod_{y=1}^N p(I_y|P_y, q, \tau^2)
\end{aligned}$$

하지만, 추정해야 될 모수가 많을 경우에는 적분등과 같은 수치적 계산은 불가능하다. 이를 김스샘플링 마코브체인몬테카를로(MCMC : markov chain monte carlo)기법을 통해 해결하였다.

이때, 초기값 설정의 문제가 발생하여 사후분포에 수렴하지 않는 표본은 burn-in 과정을 거친후, 사후 평균을 계산하여 초기값 영향을 최소화 하였다(Bolker, 2008).

Bayesian state-space surplus 모델에 의한 평가는 Winbug 프로그램을 통해 실시하였다.

5-3. 패널 분석 모형

가. 패널 분석의 특성

시계열자료(Time-series data)는 어떤 특정 개체(개별 연승 어선)의 특성 혹은 현상을 시간 순서로 기록해 놓은 것이고, 횡단면자료(Cross-sectional data)는 특정시점(특정년도)의 여러 개체의 특성 혹은 현상의 자료를 말한다. 즉, 시계열자료는 개별 연승 어선에 대한 자료가 시간별로 여러 개 존재하고, 횡단면자료는 특정시점에 있어 관측 되는 연승 어선이 여러 개이다.

패널 자료(Panel data)는 위와 같은 시계열자료와 횡단면자료의 특성을 모두 가진 자료를 뜻한다. 본 연구에서는 WCPFC 수역에서 조업을 진행한 개별 원양연승어선 1992년에서 2017년까지의 패널자료를 구축하여 생산함수분석에 사용하였다.

패널 분석에는 다양한 장점이 존재한다. 첫째, 횡단면자료는 특정 시점에서 여러 개체에 대한 조사이기 때문에 변수들 간 정적(Static) 관계만 추정할 수 있다(민인식· 최필선, 2017). 반면에, 패널 분석은 동적(Dynamic) 관계의 추정이 가능하다. 둘째, 개체들의 관찰되지 않는 이질성(unobserved heterogeneity) 요인을 모형에서 고려할 수 있다(민인식· 최필선, 2017). 셋째, 패널 분석은 횡단면자료 또는 시계열자료에 비해서 많은 정보와 변수의 변동성(variability)을 제공하여 효율적인 추정량(efficient estimator)을 얻을 수 있다(민인식· 최필선, 2017). 이를 통해, 선형모형의 다중공선성(multi-collinearity)을 완화시킬 수 있다.

위와 같은 장점으로 패널 분석은 제조업, 서비스업, 농업, 수산업 등 여러 분야에서 사용되고 있다. 하지만, 자료 수집의 어려움으로 인한 다수

의 결측치 발생 문제, 패널 집단 간의 상관관계(Group-wise correlation), 시간변수의 길이가 짧을 경우의 계산비용(Computational cost) 발생 문제 등과 같은 단점들 또한 존재한다(민인식· 최필선, 2017).

나. 패널 모형의 유형

1) 고정효과 모델

고정효과 모델은 개체들이 가지고 있는 고유한 시간불변적인 특성이 설명변수에 영향을 주는 것으로 전제하고 있다(이희연· 노승철, 2013). 이런 경우 각 개체들의 특성에 따른 영향력을 통제하여야만 설명변수가 종속변수에 미치는 영향력을 정확하게 추정할 수 있다(이희연· 노승철, 2013). 따라서 고정효과 모델이란 설명변수가 종속변수에 미치는 순 효과(net effect)를 추정하기 위해 시간불변적인 개체특성 효과를 통제하는 모델이라고 볼 수 있다.

절편이 모집단의 평균치를 나타내는 합동 모델은 식 (18) 과 같으며, 시간불변적인 개별특성 효과를 고려한 고정효과 모델은 식 (19)과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 식 (19)는 식 (20)과 같이 변형 할 수 있다. 여기서 $i = 1, 2, \dots, n$, $T_i \leq T$, $X = x_1, x_2, \dots, x_K$, (K : 설명변수)이고 α_i 는 알려지지 않은 각 개체의 절편이다.

$$y_{it} = \alpha + X_{it}'\beta + \varepsilon_{it} \quad (18)$$

$$y_{it} = \alpha_i + X_{it}'\beta + \varepsilon_{it} \quad (19)$$

$$y_{it} = X_{it}'\beta + (\alpha_i + \varepsilon_{it}) \quad (20)$$

고정효과 모델의 가장 큰 특징은 α_i 와 X_{it} 가 상관성을 갖고 있다고 전제한다(이희연·노승철, 2013). 또한 개체특성 효과가 고정된 모수(fixed parameter)이며 남은 오차항 ε_{it} 는 평균 0이며 σ_ε^2 으로 일정하고 독립적이며 동일한 분포를 가진다($e_{it} \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2)$). 또한 설명변수 X_{it} 와 e_{it} 은 서로 독립적이다(이희연·노승철, 2013).

2) 확률효과 모델

확률효과 모델은 개체특성 효과를 고정된 모수로 보는 것이 아니라 확률 변수로 보는 모델이다(이희연·노승철, 2013).. 확률효과 모델의 경우 모든 오차항은 독립적이고 등질적으로 분포(IID : independent and identically distributed) 되어있다고 식 (21)과 같이 가정한다.

$$u_i \sim IID(0, \sigma_u^2), \gamma_t \sim IID(0, \sigma_\gamma^2), e_{it} \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (21)$$

시간불변적인 개체특성 효과를 설명변수(X_{it})와는 상관성이 없다는 점이 고정효과 모델과 비교해 볼 때 가장 두드러진 차이점이다(이희연·노승철, 2013). 따라서 확률효과 모델은 일반 선형회귀모델에서 산출되는 오차를 세분화한 것으로 생각할 수 있다(이희연·노승철, 2013). 이를 식 (22)과 정리 할 수 있다.

$$y_{it} = \alpha + \beta x + u_{it} \quad (22)$$

여기서, $u_{it} = \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it}$ ($\mu, \gamma, \varepsilon, x$ 간에는 독립적임)

확률효과 모델은 표본의 크기가 증가하더라도 모수의 수가 일정하다는

점과 그룹 내와 그룹 간의 분산을 다 사용하므로 효율적인 모수 추정이 가능한 점, 그리고 시간불변적인 변수의 영향력을 추정 할 수 있다(이희연·노승철, 2013). 따라서 확률효과 모델은 추정 모수의 수만큼 자유도가 줄어드는 고정효과 모델의 한계점을 극복해주는 모델이라고 볼 수 있다. 하지만 개체특성 효과와 설명변수간의 상관성 없다는 가정을 가지고 있는 단점이 있다.

3) Hausman Test

하우스만 검정방법(Hausman Test)은 패널 분석 결과를 바탕으로 패널 자료의 오차항이 고정효과 모델인지 확률효과 모델인지 판별하는 것이다 (<표 5-1>).

<표 5-1> 하우스만 검정에서 각 모델의 가정

귀무가설 (확률효과모델)	연구가설 (고정효과모델)
개체특성 효과와 설명변수와 상관관계가 없음	개체특성 효과와 설명변수 간의 상관관계 인정
$H_0 : Cov(\alpha_i, x_{it}) = 0$	$H_A : Cov(\alpha_i, x_{it}) \neq 0$

만일 $Cov(\alpha_i, x_{it}) = 0$ 이라는 귀무가설이 수용된다면 확률효과 모델에 의한 GLS (Generalized Least Squares) 추정량은 일치성과 효율성을 가지며, 따라서 더 적합함을 말해준다. 그러나 만일 이 둘이 독립적이지 않고 상관성이 있어서 $Cov(\alpha_i, x_{it}) \neq 0$ 이라는 연구가설이 채택된다면 확률효과 모델은 일치 추정량이 될 수 없으며, 따라서 고정효과 모델이 더 적합함을 말해준다.

하우즈만 검정 통계량은 χ^2 분포를 따르며 자유도(Degree of Freedom)는 $k-1$ 이다. 하우즈만 검정 통계량 식은 식 (23)과 같이 나타낸다.

$$H = (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})' [Var(\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE})]^{-1} (\hat{\beta}_{FE} - \hat{\beta}_{RE}) (\sim \chi_{k-1}^2) \quad (23)$$

$\hat{\beta}_{RE}$: 확률효과 모델에 의해 추정된 모수 값들의 행렬

$\hat{\beta}_{FE}$: 고정효과 모델에 의해 추정된 모수 값들의 행렬

$Var(\hat{\beta}_{FE}), Var(\hat{\beta}_{RE})$: 고정효과 모델과 확률효과 모델에서의 분산행렬

5-4. Cobb-Douglas 함수 및 규모의

생산함수는 주어진 시간 동안 사용한 여러 가지 생산요소의 양과 이를 통해 그 기간 동안 생산할 수 있는 최대한의 산출량 사이의 관계를 나타내는 함수이다(이준구, 2007). 경제학에서 생산함수의 생산요소는 노동과 자본만으로 이루어짐을 가정한다. 이를 함수형태로 나타내면 $Q = f(L, K)$ 이며, 이는 $Q = AL^\alpha K^\beta$ 와 같은 형식인 Cobb-Douglas 생산함수로 나타낼 수 있다. Cobb-Douglas 함수는 동차함수 이므로 오일러 정리에 의해 아래 식 (24)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = f(L, K) = L(\partial Q / \partial L) + K(\partial Q / \partial K) \quad (24)$$

식 (24)에서 $\partial Q / \partial L$ 과 $\partial Q / \partial K$ 는 각각 노동과 자본의 한계생산인 MP_L 과 MP_K 를 의미하며 노동과 자본의 투입량이 변해도 산출량에 변화가 없다면 한계기술대체율($MRTS_{L,K}$)은 MP_L / MP_K 가 성립한다(이준구, 2007). 이

를 식 (25)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \Delta K(MP_K) + \Delta L(MP_L) \\ \text{if, } \Delta Q &= 0 \\ 0 &= \Delta K(MP_K) + \Delta L(MP_L) \\ -\frac{\Delta K}{\Delta L} &= \frac{MP_L}{MP_K} = MRTS_{L,K} \end{aligned} \quad (25)$$

α 와 β 계수를 추정하기 위해 Cobb-Douglas 생산함수 $Q = AL^\alpha K^\beta$ 의 양변에 로그를 취하면 아래 식 (26)과 같다.

$$\ln Q = \ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K + \varepsilon \quad (26)$$

위 식 (26)에서 α 와 β 는 각각 노동요소와 자본요소의 탄력성을 의미한다. 생산요소의 탄력성은 생산요소를 1% 증가시켰을 경우 발생하는 생산량의 % 변화율을 뜻한다(이준구, 2007). α 와 β 는 $MRTS_{L,K}$ 를 이용하면 $\frac{MP_L}{MP_K} = \frac{\alpha(Q/L)}{\beta(Q/K)}$ 이므로, 식 (27)과 같이 도출 된다.

$$\alpha = \left(\frac{\partial Q}{\partial L} \right) \left(\frac{L}{Q} \right), \beta = \left(\frac{\partial Q}{\partial K} \right) \left(\frac{K}{Q} \right) \quad (27)$$

Cobb-Douglas 생산함수의 지수변수인 α 와 β 는 0에서 1의 값이다. 이 때, $\alpha + \beta < 1$ 이면, 규모수익체감(DRS)의 성격이라 말하고, 생산에서 투입되는 생산요소가 γ 배 증가 할 때 산출량이 γ 배 보다 작게 증가한다. 이와 반대로 $\alpha + \beta > 1$ 이면, 규모수익체증(IRS)의 성격이라 말하고, 생산요

소를 γ 배 증가 할 때 산출량이 γ 배 보다 크게 증가한다. $\alpha + \beta = 1$ 인 경우, 규모수익불변(CRS)이고, 생산요소를 γ 배 증가 시키면, 산출량이 동일하게 γ 배 늘어난다(식 28).

$$Q_2 = A\gamma L^\alpha \gamma K^\beta = \gamma^{\alpha+\beta} AL^\alpha K^\beta = \gamma^{\alpha+\beta} Q_1 \quad (28)$$

여기서, 생산요소를 γ 배 할 때, 산출량은 Q_2 이며 이는 $\alpha + \beta$ 값이 1이면 규모수익불변(CRS), 1보다 크면 규모수익체증(IRS), 1보다 작을 때 규모수익체감(DRS)의 특성이 있다고 한다.

본 연구에서는 1992년에서 2017년까지의 연승선박별 패널자료를 활용하여 우리나라 WCPFC 수역 원양연승어업의 생산함수를 추정하기 위해 종속변수로 눈다랑어 생산량(Q), 설명변수로 선원수(X_{crew}), 선박톤수(X_{ton}), 투입낚시수(X_{hooks}), 눈다랑어자원량($B_{biomass}$)을 선정하여 분석을 실시하였고, 이는 식 (29)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = f(X_{crew}, X_{ton}, X_{hooks}, B_{biomass}) \quad (29)$$

위의 식 (29)를 Cobb-Douglas 생산함수 형태인 식 (30)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = AX^{acrew} X^{\beta ton} X^{\gamma hooks} B^{\delta biomass} \quad (30)$$

이를 분석이 용이한 자연로그 형태로 변환하면 식 (31)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln Q = \alpha_0 + \alpha_{crew} \ln X_{crew} + \beta_{ton} \ln X_{ton} + \gamma_{hooks} \ln X_{hooks} + \delta_{biomass} \ln B_{biomass} + D_{wcpfc} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (31)$$

여기서, 각 변수의 계수는 그 변수에 해당되는 생산요소의 탄력성을 의미하고, μ_i 는 패널 개체의 이질성, ε_{it} 는 일반적인 오차항을 의미한다. 패널 개체의 이질성이란 각 개별어선이 지니고 있는 시간의 영향을 받지 않는 고유한 특성을 의미한다. D_{wcpfc} 는 WCPFC 가입 여부 가변수를 의미하는데, 우리나라는 WCPFC에 2004년 11월 25일에 가입하였으므로(MOF, 2019), 2005년 이전과 이후로 나누었다. 더미 변수를 포함하여 분석한 목적은 WCPFC 가입으로 인해 눈다랑어 어획량에 대한 변화가 존재하는지 파악하기 위함이다.

그리고, 추정된 생산요소의 변수, 즉 탄력성을 이용하여 규모수익 지표 분석이 가능하다. 각 생산요소 탄력성의 합이 1보다 클 경우에 규모수익 체증(*IRS*), 1일 경우에 규모수익불변(*CRS*), 1보다 작을 경우에 규모수익체감(*DRS*)의 성격을 가진다. 위의 식 (31)의 추정된 변수를 통한 *RS* 지표를 도출하는 방법은 식 (32)과 같다.

$$RS = \alpha_{crew} + \beta_{ton} + \gamma_{hooks} + \delta_{biomass} \quad (32)$$

5-5. 민감도 분석

민감도 분석이란 어떤 투자안이 있을 때, 특정 투입 요소의 변화에 대한 그 투자안의 순현재가치 변화를 분석하는 방법으로 내부수익율 분석을 통해 이루어진다.

내부수익률은 투자비용과 예상수익이 같아지는 시점인 투자의 현재가치가 0이 되는 수익률을 뜻한다.

투자안의 현재가치가 식 (33)과 같다고 하면,

$$PV = C - \frac{R_1}{(1+i)} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (33)$$

(PV : 투자의 현재가치, C : 투자비용, R_n : n 기의 예상수익)

이 때, 시장이자율(i)보다 내부수익률(IRR)이 높은 경우 이 투자안은 투자 가치가 있고, 시장이자율(i)보다 내부수익률(IRR)이 낮은 경우 투자 가치가 없는 것이다. 또한 여러 가지의 투자안이 있을 때, 내부수익률이 높은 순서대로 투자 가치를 판단 할 수 있다. 이 때, 내부수익률(IRR)은 순현재가치(NPV)가 0이 되는 경우의 수익률이다.

본 연구에서는 향후 10년의 현금흐름에 대한 내부수익률과 순현재가치를 분석할 것이다. 이때 시장이자율은 한국개발연구원이 제시한 사회적 할인율 4.5%를 적용한다(한국개발연구원, 2017).

구체적으로 비용항목에서 많은 비중을 차지한 연료비, 급료 항목의 변화에 대한 투자비용 변화와 눈다랑어 어가와 쿼터량 변화에 대한 예상수익 변화에 따른 내부수익률과 순현재가치 분석을 실시한다.

VI. 실증분석

6-1. WCPFC 수역 눈다랑어 자원평가 결과

가. 자료구성

1) 자료 출처

Bayesian state-space surplus 모델을 적용하여 WCPFC 눈다랑어 자원평가를 진행하기 위해서는 눈다랑어 어획량과 눈다랑어 어획을 위해 투입된 어획노력량 자료가 필요하다. 본 연구에서는 어획노력량 자료를 활동어선 척수로 하여 분석에 사용하였다.

이를 위해 연도별 눈다랑어 어획량, 조업어선수를 ‘WCPFC’ 홈페이지에서 제공하는 ‘YEARBOOK_2017’ 자료를 통해 확보하였다. 제공되는 자료는 연도별로 1950년부터 2017년까지, 어법별로 8가지, 그리고 총 38개국의 자료를 제공하고 있다.

1980년 이전의 자료는 어획량과 조업어선수의 결측치와 이상치가 다수 존재하여 본 연구에서 제외하였다. 어법은 연승어업, 선망어업, 채낚기어업 3가지를 고려하였고, 이들 어법에 의해 약 94%가 어획되었다. 국가는 눈다랑어 어획량과 노력량(활동어선수)이 모두 보고된 국가들 중 가장 눈다랑어 어획량이 많은 한국, 일본, 미국, 대만, 중국 5개국을 고려하였고, 이들 국가에 의해 약 71%가 어획되었다(<그림 3-4>, <그림 3-7>).

인도네시아, 필리핀의 어획량 비중이 높지만 분석에서 제외 한 이유는 제공된 자료 중 자원평가에 반드시 필요한 어획노력량인 척수 정보가 제

공되지 않고 있기 때문이다.

2) 어법별 국가별 CPUE 분석

본 연구에서는 Bayesian state-space surplus 모델을 통해 WCPFC 수역 눈다랑어 자원량을 추정하기 위한 어획노력량을 어선척수로 선정하였고, 적당 눈다랑어 어획량을 CPUE 값으로 분석에 이용하였다. 이를 <표 6-1>에 정리 하였다.

분석대상국의 최근 5개년 기준 어법별로는 어획노력량은 연승어업이 평균 2,469척으로 가장 많았으며, 어획량 또한 연승어업이 평균 44,859톤으로 가장 많았다. CPUE는 선망이 149톤으로 가장 높은 수치를 나타냈다.

국가별로는 어획노력량은 대만이 1,361척으로 가장 많이 투입되었으며, 어획량은 한국이 17,970톤으로 가장 많았다. CPUE는 한국이 141톤으로 가장 높은 수치를 나타냈다.

이는 어법별 국가별 어획 능률이 각각 다르며, 눈다랑어 자원밀도 외에 어법, 국가 요인만으로도 CPUE에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

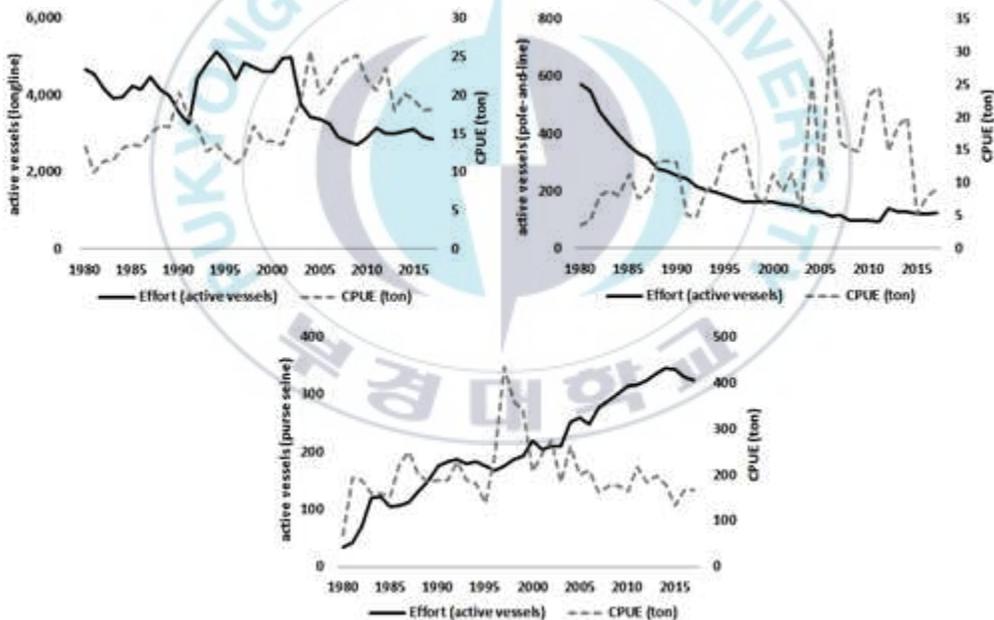
<표 6-1> WCPFC 수역 2013~2017년 어법별, 주요국별 분석 자료

어법	눈다랑어 어획량(ton)	어선수	CPUE
연승어업	44,859	2,469	18
채낚기어업	1,509	78	19
선망어업	27,024	182	149
국가	눈다랑어 어획량(ton)	어선수	CPUE
대한민국	17,970	129	141
일본	17,958	508	35
대만	13,628	1,361	10
중국	10,603	402	27
미국	13,628	328	42

시간에 따른 어법별 어획노력량과 CPUE 변화 추이를 살펴보면(<그림 6-1>), 연승어업에서는 선박척수가 증가하면, CPUE가 감소하고, 반대로 선박척수가 감소하면, 어획량이 증가하는 음의 상관관계가 있음을 알 수 있다.

채낚기어업에서도 이와 비슷한 경향이 존재하지만, 2000년대 중반에는 CPUE 변화가 심해 자원밀도 이외에 시간요인을 CPUE 표준화에 고려해야 한다.

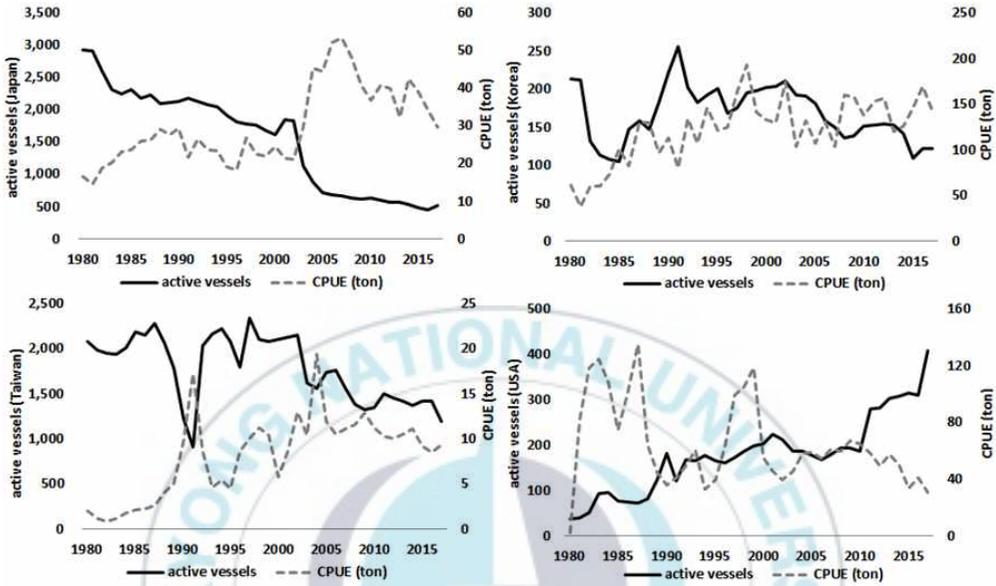
선망어업에서는 어선척수 투입이 점점 늘어나고 있지만, CPUE 변화는 일정 패턴 (일정하게 감소하고 있는 등의)을 보이지 않고 있다.



<그림 6-1> WCPFC 수역 어법별 어획노력량과 CPUE 변화 추이

주요국별 어획노력량과 CPUE 변화 추이를 살펴보면(<그림 6-2>), 한국, 일본, 대만은 어획노력량과 CPUE의 음의 상관관계가 존재 하는 것을 알

수 있다. 미국의 경우 1980년 초반에서 1990년 후반 기간 까지 CPUE 변화가 심한 것을 알 수 있다.



<그림 6-2> WCPFC 수역 주요국 어획노력량과 CPUE 변화 추이

분석 자료를 정리한 <표 6-1>과 <그림 6-1>, <그림 6-2>의 결과는 WCPFC 수역에서 조업하는 개별 선박들이 어법별, 국가별, 그리고 연도별 요인이 자원밀도 이외에 CPUE 에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이들 요인들을 제거하기 위해 CPUE 표준화 작업을 진행하였다.

나. CPUE 표준화 결과

WCPFC 수역 눈다량어 자원량을 추정하기 위해 자원밀도 변화 이외 연도(Year), 국가(Flag), 어법(Type)이 CPUE 변화에 영향을 미친다고 가정하였다. 앞선 분석 자료에서 설명하였듯이, 1980년부터 2017년까지 시계열

자료와 어법 중 약 94%의 어획량을 기록한 연승어업(L), 선망어업(S), 채낚기어업(P)의 3개 더미변수, 그리고 29개국 자료 중 약 71%의 어획량을 기록한 한국(KR), 일본근해(JPCS), 일본원양(JPDW), 대만근해(TWOD), 대만원양(TWDW), 중국(CN), 미국하와이령(USHW), 미국사모아령(USAS)의 8개 더미변수를 활용한 GLM (General Linear Model) 모형을 통해 CPUE 표준화를 실시하였다.

우선, 눈다랑어 CPUE 표준화에 가장 적합한 모델을 선택하고자 투입변수를 각각 달리한 GLM 추정 결과에 대해 AIC (Akaike Information Criterion) 기준을 비교하였다. AIC가 가장 낮은 Case 3을 표준화를 위한 모델로 선정하였다(<표 6-2>).

Case 3의 GLM 모델 추정 결과, 미국의 하와이 어업 이외의 모든 변수에서 1% 또는 10% 유의수준 하에서 통계적으로 추정되었다. 그리고 조정된 R^2 값이 0.8135로 나타나 모형의 설명력이 높게 나타났으며, GLM의 F 통계량 또한 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의하게 분석되었다(<표 6-3>).

<표 6-2> 투입 요소별 GLM 모델 AIC 비교

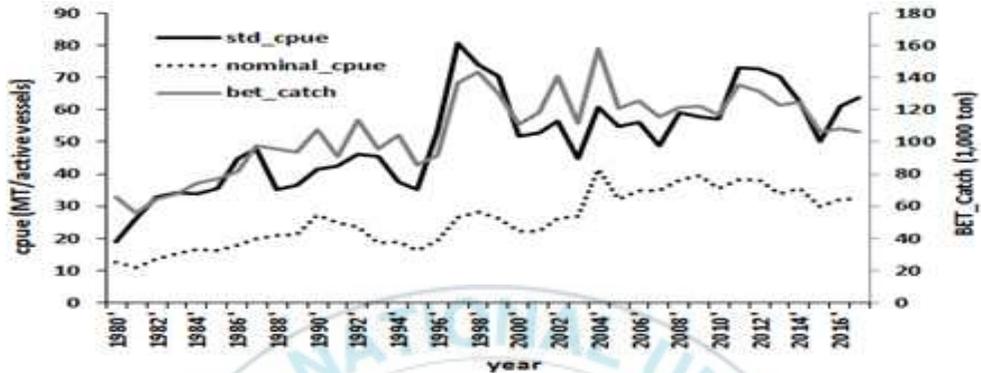
GLM models	AIC
Case 1 : $\text{Ln}(\text{CPUE} + c) \sim \text{year} + \text{type} + \text{error}$	977.23
Case 2 : $\text{Ln}(\text{CPUE} + c) \sim \text{year} + \text{flag} + \text{error}$	1171.60
Case 3 : $\text{Ln}(\text{CPUE} + c) \sim \text{year} + \text{type} + \text{flag} + \text{error}$	659.75

<표 6-3> GLM 모델 결과

Estimate	coefficient	std.error	t-value	P>t
Year	0.0169 ***	0.0020	8.273	0.0000
Type P	-0.6078 ***	0.0970	-6.263	0.0000
Type S	1.3560 ***	0.0501	26.659	0.0000
FlagJPCS	-0.3409 **	0.1051	-3.242	0.0012
FlagJPDW	0.1619 *	0.0888	1.824	0.0689
FlagKR	0.7070 ***	0.0888	7.966	0.0000
FlagTWDW	0.3811 ***	0.0891	4.275	0.0000
FlagTWOD	-1.1373 ***	0.1052	-10.814	0.0000
FlagUSAS	-0.8378 ***	0.1214	-6.901	0.0000
FlagUSHW	0.1149	0.0888	1.295	0.1961
Intercept	-30.1626 ***	4.0926	-7.370	0.0000
R^2	0.8173			
$Adj-R^2$	0.8135			
$F-stat.(P-value)$	212.08 *** (0.0000)			

*,**,*** : 각각 10%, 5%, 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의함

위의 추정된 결과를 가지고 CPUE를 표준화 하고, 눈다랑어 어획패턴과 비교한 결과는 <그림 6-3>에서 보는 바와 같다.



<그림 6-3> 눈다랑어 어획패턴과 CPUE, 표준화된 CPUE의 패턴 비교

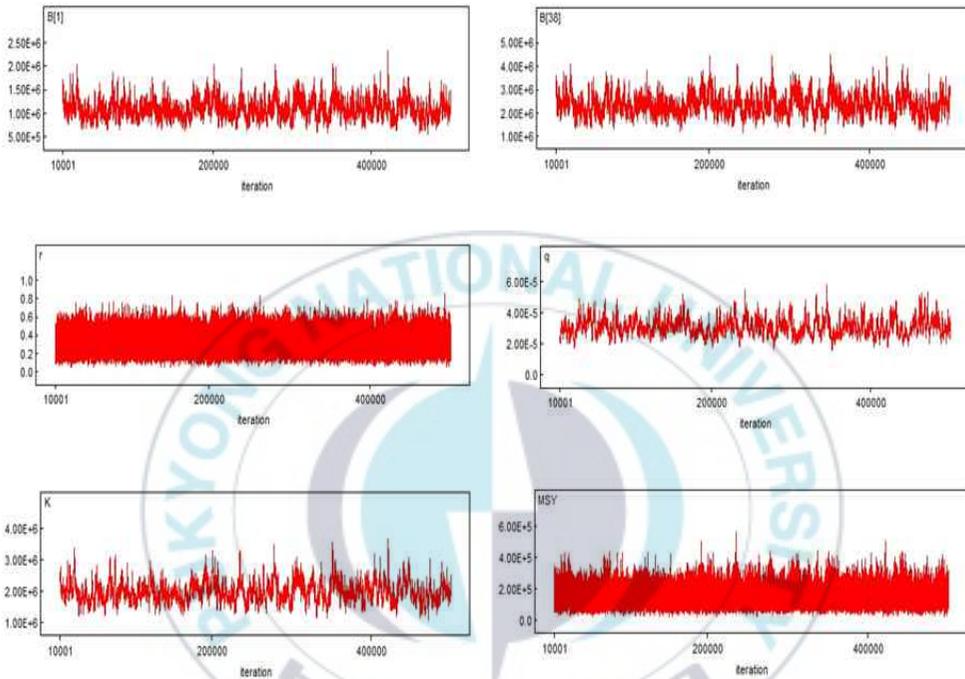
다. Bayesian state-space surplus 모델 결과

1) Bayesian state-space surplus 모델 수렴 여부 확인

WinBUGS (Bayesian inference Using Gibbs Sampling) 프로그램을 활용하여, Bayesian state-space surplus 모델을 통해 눈다랑어 자원의 자원량(B), 내적성장률(r), 어획능률계수(q), 환경수용력(K) 그리고 최대지속적생산량(MSY)의 변수를 도출하였다. 모델의 분석을 위해 500,000번의 표본 추출을 실시하였고, 이중 사후분포에 수렴하지 못하는 초기샘플 10,000번의 표본을 번인(Burn-in) 과정을 통해 제외 시켰다.

State-space 모델의 수렴여부를 확인하는 첫 번째 방법은, 추정된 결과의 시도표를 확인하는 것이다. 추정된 값들이 특정 패턴 또는 경향성을 띄지 않으면 모델이 수렴한다고 판단한다(김달호, 2013).

논다랑어 자원평가에 대한 State-space 모델 추정결과 모든 변수들의 시도표가 특정한 경향을 띄지 않으며, 수렴하고 있는 것으로 나타났다(<그림 6-4>).



<그림 6-4> 추정된 변수들의 시도표 검정

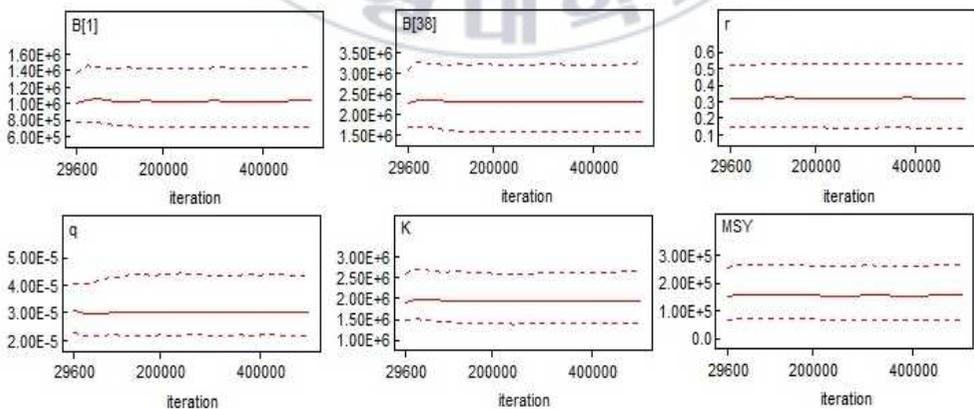
두 번째 방법은 추정값 들의 몬테카를로 오차가 작을수록 추정된 값이 높은 정확도를 가지고 있다고 판단하는 것이다. 특히 추정값의 몬테카를로 오차가 사후표준오차의 5% 수준 미만일 경우 모델이 수렴한다고 판단할 수 있는데, State-space 모델 추정 결과 추정된 모든 변수들의 몬테카를로 오차가 사후표준오차의 5% 수준보다 작은 것으로 나타나 모델이 수렴하고 있는 것으로 나타났다(<표 6-4>).

<표 6-4> 추정된 변수의 몬테카를로 오차 대비 표준오차

Parameter	Biomass (1980)	Biomass (2017)	Intrinsic growth	Catchability coefficient	Carrying capacity	Maximum sustainable yield
Standard Error	196,700	465,300	0.0776	4.44E-06	370,200	50,620.0
MC Error	5,820	13,860	6.74E-04	1.35E-07	11,170	802.9
MC Error / SE	3.0%	3.0%	0.9%	3.0%	3.0%	1.6%

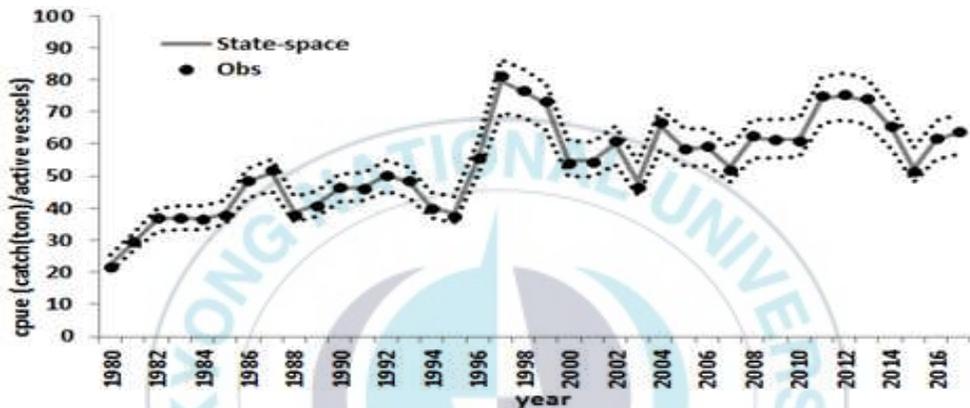
세 번째 방법은 분위수 그림(quantile plot)을 통해 판단하는 것이다. 분위수 그림은 MCMC 알고리즘의 중앙값, 2.5% 그리고 97.5%의 분위수를 나타내는 그림이다. 분위수 그림이 눈에 띄는 변동 없이 안정적이라면, MCMC로 인해 추정된 모수들이 수렴한다고 할 수 있다(김달호, 2013).

아래 <그림 6-5>과 같이 추정된 모든 변수들의 분위수 그림이 눈에 띄는 변동 없이 안정적인 것을 알 수 있다.



<그림 6-5> 추정된 변수들의 분위수 그림

특히, 연도별 실제 CPUE 와 Bayesian state-space surplus 모델을 통한 사후분포에 의해 예측된 CPUE 를 비교해 본 결과, 모든 CPUE 의 실제 관측치가 사후예측분포의 95% 구간 내에 포함되어 있는 것으로 나타났다 (<그림 6-6>). 이에 따라 Bayesian state-space surplus 모델이 연도별 CPUE 의 관측치들을 잘 반영하고 있는 것으로 나타났다.



<그림 6-6> Bayesian state-space surplus 모델에 의해 추정된 CPUE의 95% 사후예측분포와 실측 CPUE

2) Bayesian state-space surplus 자원평가 결과

잉여생산 모델을 이용한 자원량 추정에 있어 유의해야 할 점은 어획량과 CPUE 자료만으로 다양한 생물계수들이 추정되므로 생물계수 간 높은 상관관계가 발생한다는 점이다(최민제 외, 2019). 특히, 자원의 환경수용력과 내적성장률의 값이 높은 음의 상관관계를 가지게 되는데 환경수용력 값이 과대추정 되면 내적성장률이 과소추정 되고 환경수용력이 과소추정 되면 내적성장률이 과대추정 됨으로써 최대지속적생산량은 상대적으로 정확한 값을 가지게 되지만 개별 생물계수 추정은 유의해야 한다(Hilborn and

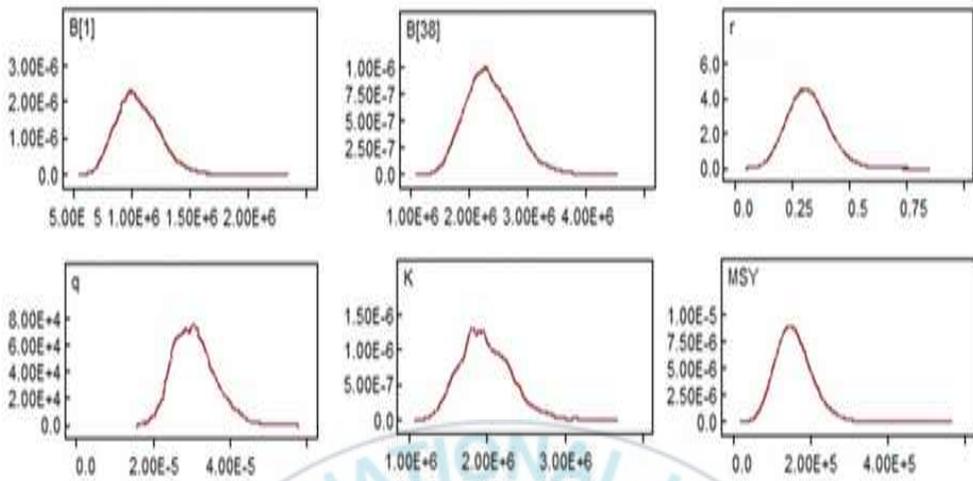
Walter, 1992).

Bayesian state-space surplus 모델의 경우 추정 모델의 자원량을 환경수용력에 대한 자원량의 비율로 재구성함으로써 생물계수 간의 상관관계를 감소시킬 수 있고(Millar and Meyer, 2000), 추정과정에서 설정한 생물계수에 대한 사전분포로 생물계수 추정에 있어서의 불확실성을 감소시킬 수 있다(McAllister et al., 2001). 그리고 각각의 생물 계수에 대한 분포를 추정함으로써 생물계수들의 상관관계로 인한 변화의 범위를 고려할 수 있다(최민제 외, 2019).

Bayesian state-space surplus 모델로 인한 눈다량어 자원평가 결과, 생물계수들의 97.5% 신뢰구간 범위는 본원적 성장률인 경우 0.16 ~ 0.51, 환경수용력은 1,592,000 ~ 3,018,000, 어획능률은 0.00002 ~ 0.00004, 그리고 MSY는 76,100 ~ 259,200 의 범위를 가지는 것으로 나타났다. 자원량은 1980년 739,900 ~ 1,464,000, 2017년 1,634,000 ~ 3,292,000 의 범위를 가지는 것으로 나타났다. 그리고 추정된 모든 변수들의 사후추정분포는 정규분포 형태를 띄는 것으로 나타났다(<표 6-5>, <그림 6-7>).

<표 6-5> Bayesian state-space surplus 자원평가 결과

Parameter	Mean	2.5%	Median	97.5%	start	sample
B[1980]	1,054,000	739,900	1,036,000	1,464,000	10,001	490,000
B[2017]	2,362,000	1,634,000	2,324,000	3,292,000	10,001	490,000
K	2,226,000	1,592,000	2,193,000	3,018,000	10,001	490,000
MSY	157,100	76,100	153,500	259,200	10,001	490,000
q	0.00003	0.00002	0.00002	0.00004	10,001	490,000
r	0.31960	0.16040	0.31520	0.50500	10,001	490,000



<그림 6-7> 추정된 변수들의 사후추정분포

특히, WCPFC에서 Multifan-CL 모델에 의한 눈다랑어 자원평가 결과로 제시한 MSY 평균값은 158,551, 중앙값은 159,020 이고, Bayesian state-space surplus 모델에서 제시한 MSY 평균값 157,100, 중앙값 153,500 은 그 차이가 1% 미만으로 두 가지의 평가결과 간에 비슷한 수치를 제시 하고 있다(<표 6-6>).

<표 6-6> WCPFC 평가(MULTIFAN-CL) 와 Bayesian state-space surplus 평가의 비교

	MUTIFAN-CL	Bayesian state-space surplus
CPUE series	Standardzation CPUE LL only	Standardzation CPUE (LL&PS&PL)
CPUE period	1950-2017	1980-2017
Uses Catch-at-length (weight)/age	Yes	No
Age-structured	Yes	No

	MUTIFAN-CL	Bayesian state-space surplus
Sex-structured	Yes	No
Stochastic Recruitment	Yes	No
Uses Tagging data	Yes	No
h(steeptness)	0.65,0.80,0.95	n.a
MSY (1,000 ton)	158,551 (133,520 ~ 180,120)	157,100 (76,100 ~ 259,200)
SB _{MSY} or *B _{MSY} (1,000 ton)	471,956 (340,700 ~ 614,200)	*1,113,000 (796,000 ~ 1,509,000)

3) 자원관리 효과 분석 결과

Bayesian state-space surplus 모델 결과 생물학적변수인 r, q, K 와 식 (13) 과 (14)를 통해, 눈다랑어 어획량 변화와 어획노력량(출어척수) 변화에 대한 자원량 수준 변화에 대해 향후 10년에 대해 눈다랑어 자원량을 예측해 보았다.

10년 동안 현재 어획량을 어획한도량으로 설정한다면 자원량은 지속적으로 증가 하는 것으로 예측된다. MSY 수준을 어획한도량으로 설정한다면, 자원량이 약 236만톤으로 지속적으로 유지가 될 것으로, MSY 수준 이상의 어획량을 어획한도량으로 설정한다면 자원량은 감소할 것으로 예측된다(<표 6-7>, <그림 6-8>).

<표 6-7> 어획한도량 설정 시나리오별 자원량 예측

어획한도량	Biomass (2017)	Biomass (2022)	Biomass (2027)
현수준어획량	2,362,000	2,469,485	2,504,159
10%증가	2,362,000	2,425,832	2,447,427
MSY	2,362,000	2,374,268	2,378,657
30%증가	2,362,000	2,336,760	2,327,357
40%증가	2,362,000	2,291,318	2,263,670

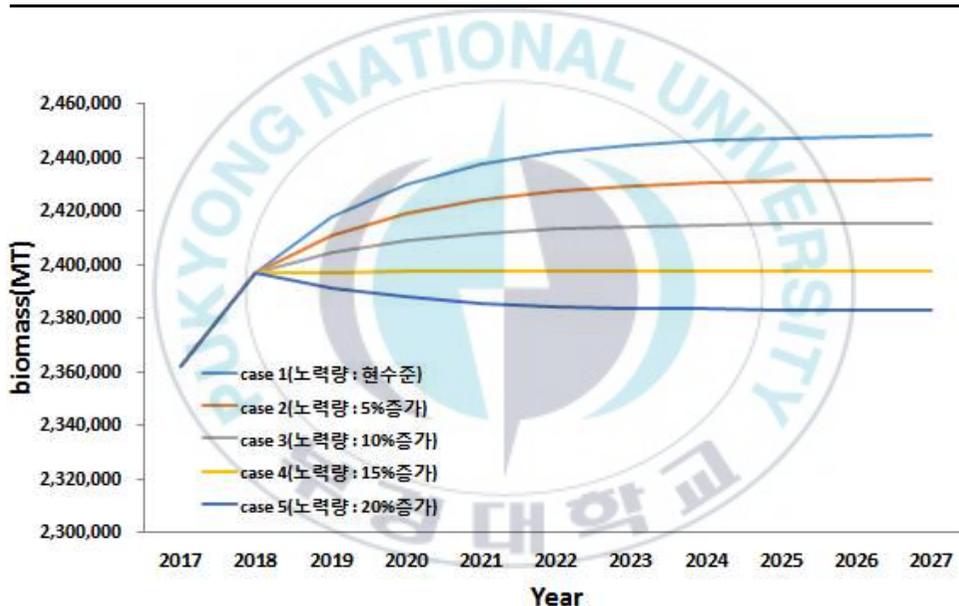


<그림 6-8> 어획한도량 설정 시나리오별 자원량 예측

10년 동안 현재 활동 어선수를 제한 노력량으로 설정한다면 자원량은 지속적으로 증가 하는 것으로 예측된다. 현재 어선수 보다 15%증가된 어선수를 제한 노력량으로 설정한다면 자원량은 지속적으로 감소 할 것으로 예측된다(<표 6-8>, <그림 6-9>).

<표 6-8> 어획노력량(어선수) 제한 시나리오별 자원량 예측

Active vessels	Biomass (2017)	Biomass (2022)	Biomass (2027)
현수준	2,362,000	2,442,112	2,448,160
5% 증가	2,362,000	2,427,695	2,431,836
10% 증가	2,362,000	2,413,309	2,415,519
15% 증가	2,362,000	2,397,582	2,397,523
20% 증가	2,362,000	2,384,635	2,382,913



<그림 6-9> 어획노력량(어선수) 제한 시나리오별 자원량 예측

즉, 현재 수준의 어획량과 투입어선척수를 유지한다면 눈다랑어 자원량 회복에는 긍정적 영향을 미치는 것으로 예측된다.

6-2. 생산함수 추정 결과

가. 자료 구성

어업생산함수는 어업에 투입된 노력량과 생산량의 관계를 의미하며, 생산함수 추정에는 생산량에 영향을 미치는 생산요소 선정이 매우 중요하다(심성현, 2017; 심성현·남종오, 2017). 본 연구에서는 어획노력량인 선원수, 어선톤수, 투입된 낚시수와 눈다랑어 자원량을 생산요소로 선정하여 생산함수를 추정하였다.

선원수와 어선톤수는 한국원양산업협회에서 제공하는 2018 원양산업통계 연보와 WCPFC의 등록어선 자료를 활용하였다(한국원양산업협회, 2018). 낚시수와 눈다랑어 어획량은 우리나라 원양어업의 어획량 및 어획노력량 실시간 보고체계인 국립수산과학원 입력교열지 자료를 사용하였다(국립수산과학원, 1992-2017).

국립수산과학원 입력교열지 자료는 어선별 신호부자, 투입낚시수, 어획위치, 어획량등만 제공하고 있고, 한국원양산업협회와 WCPFC의 등록선박 자료는 어선별 어선톤수, 어선마력수, 어선길이, 승선원수 등을 제공하고 있어 상호간 자료를 확보하여 매칭 작업 후 사용하였다.

구체적으로 선원수와 어선톤수 자료는 한국원양산업협회와 WCPFC 등록어선 자료를 서로 대조하여 일치하지 않는 정보를 가진 어선 자료는 제외하고 일치하는 정보를 가진 어선 자료를 사용하였다.

그리고, 낚시수와 어획량은 선원수와 어선톤수 자료를 확보한 어선의 신호부자를 활용하여 국립수산과학원 입력교열지 자료의 신호부자와 매칭 후 그 어선이 투입한 낚시수 자료와 어획량 자료를 사용하였다.

이렇게 확보된 투입요소인 선원수, 어선톤수, 낚시수 자료와 산출요소인

눈다랑어 어획량은 1992년부터 2017년도 까지 자료가 사용 가능하여 동기간동안의 패널자료를 구축하였다.

그리고, 어업생산함수의 투입요소들 중 중요한 요소인 자원량은 Bayesian state-space surplus 모델로 추정된 자원량을 사용하였는데, 자원량은 1980년부터 2017년 까지 추정가능 하였으나, 위의 투입 변수자료가 1992년부터 2017년 까지 사용가능하였으므로 자원량 또한 그 기간의 자료만을 확보하여 패널자료를 구축하여 Cobb-Douglas 생산함수 분석에 사용하였다.

나. 자료 분석

분석에 사용된 눈다랑어 어획량(Catch), 선원수(Crew), 어선톤수(Tonnage), 그리고 투입낚시수(Hook) 자료들에 관한 기초통계량은 아래 <표 6-9>과 같다.

<표 6-9> 생산함수 추정에 사용된 변수들의 기초통계량

변수	평균	표준편차	최소값	최대값
Catch(kg)	102,169.0	54,167.1	42.0	309,329.0
Crew(person)	25.2	0.6	24.0	27.0
Tonnage(ton)	410.3	35.3	353.0	617.0
Hook(unit)	489,902.8	265,127.7	1,870.0	1,337,921.0

출처 : 국립수산과학원, 한국원양산업협회, WCPFC 등록선박자료

<표 6-10>는 Bayesian state-space surplus 모델로 추정된 생산함수 분석에 사용될 기간의 눈다랑어 자원량 정보이다. 생산함수 분석에는 평균값을 사

용하였다.

<표 6-10> Bayesian state-space surplus 모델에 의해 추정된 눈다랑어
 자원량(1992-2017)

단위 : 1,000톤

Year	Mean	2.5%	Medi	97.5%	Year	Mean	2.50%	Medi	97.5%
1992	1,771	1,224	1,742	2,465	2005	1,977	1,366	1,945	2,753
1993	1,668	1,154	1,641	2,323	2006	1,914	1,324	1,883	2,668
1994	1,692	1,170	1,665	2,357	2007	1,915	1,325	1,884	2,667
1995	1,655	1,145	1,628	2,306	2008	2,097	1,450	2,065	2,922
1996	1,841	1,274	1,811	2,565	2009	2,154	1,488	2,120	3,002
1997	2,039	1,409	2,006	2,838	2010	2,166	1,497	2,131	3,017
1998	2,026	1,401	1,993	2,822	2011	2,290	1,582	2,253	3,190
1999	2,127	1,469	2,093	2,961	2012	2,234	1,544	2,198	3,113
2000	1,938	1,340	1,906	2,699	2013	2,445	1,688	2,406	3,408
2001	1,945	1,346	1,914	2,709	2014	2,368	1,636	2,329	3,298
2002	2,048	1,415	2,016	2,854	2015	2,269	1,569	2,232	3,163
2003	1,779	1,231	1,750	2,478	2016	2,406	1,662	2,368	3,353
2004	1,944	1,344	1,913	2,707	2017	2,360	1,630	2,322	3,290

WCPFC 수역에서는 눈다랑어만 어획되는 것이 아니라 황다랑어, 새치류 등 다양한 어종이 어획되고 있으므로, 설명변수에 해당 연도별로 총어획량에 대비 눈다랑어 어획량에 대한 가중치를 적용하여 분석을 실시하였다. 연도별 총어획량에 대한 눈다랑어 어획비율은 아래 <표 6-11>과 같다.

<표 6-11> WCPFC 수역 우리나라 연승어업에 의한 눈다랑어 어획비율
(1992-2017)

단위 : 톤

Year	BET	TOTAL	ratio	Year	BET	TOTAL	ratio
1992	18,089	36,100	0.50	2005	15,622	38,276	0.41
1993	13,912	26,253	0.53	2006	12,489	27,303	0.46
1994	20,241	33,854	0.60	2007	10,054	22,479	0.45
1995	18,849	34,571	0.55	2008	17,001	30,000	0.57
1996	13,006	29,686	0.44	2009	15,231	31,098	0.49
1997	15,891	32,388	0.49	2010	13,914	25,953	0.54
1998	27,429	52,443	0.52	2011	15,282	27,060	0.56
1999	22,387	36,719	0.61	2012	18,823	31,152	0.60
2000	23,867	41,959	0.57	2013	12,818	23,043	0.56
2001	22,172	44,450	0.50	2014	12,779	25,231	0.51
2002	28,533	54,628	0.52	2015	10,689	23,953	0.45
2003	17,151	38,571	0.44	2016	11,018	23,852	0.46
2004	17,941	32,975	0.54	2017	10,220	21,245	0.48

출처 : WCPFC ' Yearbook_2017'

다. 생산함수 추정 결과

앞서 설명한 바와 같이, 본 연구에서는 WCPFC 수역 원양연승어업의 눈다랑어 생산함수 추정을 위해 식 (31)과 같은 Cobb-Douglas 생산함수를 추정하였다. 종속변수로는 눈다랑어 생산량(Q), 그리고 설명변수로는 생산

요소 중 노동요소에 해당하는 선원수(X_{crew}), 어업활동에 있어 자본요소와 밀접한 관계가 있는 선박톤수(X_{ton}), 투입낚시수(X_{hooks}), WCPFC 수역 원양연승어업의 생산에 직접적인 영향을 미치는 눈다랑어자원량($B_{biomass}$)을 사용하였다.

그리고, 우리나라는 WCPFC에 2004년 11월 25일 가입하였으므로(해양수산부, 2019), 2005년 이전과 이후를 나누는 더미변수(D_{wcpfc})를 추가하여 WCPFC 가입여부에 관한 눈다랑어 어획량에 미치는 영향 또한 분석하였다.

생산함수 추정에 앞서 패널 개체의 특성을 고려하지 않는 합동 OLS 를 추정하였다. 합동 OLS 추정은 식 (31)의 “ $u_i + \varepsilon_{it}$ ”에서 “ $\mu_i = 0$ ” 임을 가정하고 추정한 것으로, 패널 개체의 이질성을 고려하지 않는 모형이다. 합동 OLS 추정 시 패널개체의 이질성이 오차항에 포함되면 오차항과 독립변수 간 상관관계가 존재할 가능성이 있다(민인식과 최필선, 2017). 이를 고려하고자 합동 OLS 추정 전 효율적인 추정량 추정을 위해 오차항의 자기상관과 이분산 문제 해결을 시도 하였다.

<표 6-12>와 같이 Cobb-Douglas 생산함수의 합동 OLS 자기상관, 이분산 검정 결과를 정리하였다. 자기상관 검정에서는 “1차의 자기상관이 존재하지 않는다.” 라는 귀무가설을 기각하여 자기상관이 존재하는 것으로 나타났고, 이분산 검정에서는 “오차항이 동분산이다.” 라는 귀무가설을 채택하여 이분산이 존재하지 않는 것으로 나타났다.

<표 6-12> Cobb-Douglas 생산함수 합동 OLS 자기상관, 이분산 검정 결과

구분	자기상관	이분산
Stat. (Prob.)	210.03*** (0.0000)	18.4609 (0.3787)

*** : 1% 유의수준에서 귀무가설이 기각됨

<표 6-12>의 결과를 토대로 자기상관을 고려한 GLS 모형으로 Cobb-Douglas 생산함수를 추정한 결과를 <표 6-13>과 같이 정리하였다.

<표 6-13> Cobb-Douglas 생산함수 GLS 추정 결과

	coef.	SD.Err	Z-stat	P-value
<i>Constant</i>	-6.7543***	1.7271	-3.91	0.000
<i>lncrew</i>	-0.0219	0.3313	-0.07	0.947
<i>ln ton</i>	0.1880**	0.0967	1.95	0.052
<i>lnhooks</i>	0.9345***	0.0076	123.73	0.000
<i>lnbiomass</i>	0.3448***	0.0901	3.83	0.000
<i>D_{wcpfe}</i>	-0.1285***	0.0198	-6.49	0.000
<i>Waldchi²</i> (<i>P-value</i>)		15,619.35*** (0.0000)		

*,**,*** : 각각 10%, 5%, 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의함

추정 결과, 추정모형은 1% 유의 수준 하에서 유의하게 추정되었다. 눈다랑어 생산량에는 선박톤수(x_{ton}), 투입낙시수(x_{hooks}), 그리고 눈다랑어 자원량($B_{biomass}$)이 통계적으로 유의하게 추정되었다. 하지만 선원수(x_{crew})는 통계적인 유의성을 가지지 못하는 것으로 평가되었다. 투입요소 중 투입 낙시수가 눈다랑어 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었는데, 투입낙시수가 1% 증가할 경우 눈다랑어 생산량은 0.9345% 증가하는 것으로 추정되었다. 선박톤수와 눈다랑어 자원량이 각각 1% 증가할 경우에는 눈다랑어 생산량이 각각 0.1880%와 0.3448% 증가하는 것으로 추정되었다.

WCPFC 가입이 논다랑어 생산에 미치는 영향을 파악하기 위해 투입된 더미변수인 D_{wcpfc} 는 논다랑어 생산량에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 즉, WCPFC 가입 이후 논다랑어 생산량이 0.1285% 정도 감소된 것으로 추정되었다.

<표 6-14>는 Cobb-Douglas 생산함수 추정하기 위해 패널회귀분석을 실시한 결과이다. 고정효과모형과 확률효과모형을 모두 분석하였으며, 그 후 하우스만 검정을 통해 확률효과 모형과 고정효과 모형 중 분석에 적합한 모형을 선정하였다.

패널회귀분석 시 Within, Between, Overall 3가지 R^2 값을 제시하고 있는데, Within은 패널 개체 내의 R^2 값, Between은 패널 개체 간의 R^2 값, 그리고 Overall은 전체 대상의 R^2 값을 의미한다(심성현과 남종오, 2017).

고정효과 모형과 확률효과 모형 모두 3가지 R^2 값이 0.8753 이상으로 나타나 모형의 설명력이 높은 것으로 분석되었다. 그리고 고정효과 존재 여부에 관한 u_i 검정 결과 귀무가설을 기각하여 고정효과 모형이 유의하였고, 확률효과 존재 여부에 관한 Breusch & Pagan LM 검정 결과 귀무가설을 기각하여 확률효과 모형 또한 유의하였다. 하지만, 하우스만 검정 결과 “ X_{it} 와 u_i 간에는 상관관계가 존재하지 않는다.”라는 귀무가설을 기각하여 고정효과 모형이 생산함수 추정에 보다 적합한 것으로 추정되었다.

<표 6-14> Cobb-Douglas 생산함수 패널회귀분석 결과

	Fixed effect				Random effect			
	coef.	SD.Err	Z-stat	P-value	coef.	SD.Err	Z-stat	P-value
<i>Constant</i>	-1.9124 ***	0.6532	-2.93	0.0030	-2.9830 **	1.4906	-2.00	0.0450
<i>lncrew</i>	-0.0017	0.3326	-0.01	0.9960	-0.0587	0.0389	-0.15	0.8800
<i>ln ton</i>	0.1843 *	0.9696	1.90	0.0570	0.2001 *	0.1122	1.78	0.0750
<i>lnhooks</i>	0.9460 ***	0.0080	118.54	0.0000	0.9391 ***	0.0076	122.88	0.0000
<i>lnbiomass</i>	0.0745 *	0.0441	1.69	0.0920	0.0843 *	0.0438	1.92	0.0540
<i>D_{wcpcf}</i>	-0.0850 ***	0.0153	-5.54	0.0000	-0.0853 ***	0.0151	-5.64	0.0000
<i>R²</i>								
<i>Within</i>			0.8753				0.8753	
<i>Between</i>			0.9366				0.9382	
<i>Overall</i>			0.8795				0.8797	
<i>F-Stat.</i>		4690.33	***					
<i>(P-value)</i>		(0.0000)						
<i>u_itest</i>		1.58	***					
<i>(P-value)</i>		(0.0001)						
<i>Waldchi²</i>						15329.57	***	
<i>(P-value)</i>						(0.0000)		
<i>Breusch and Pagan LMtest</i>						12.81	***	
<i>(P-value)</i>						(0.0002)		
<i>Hausman</i>				11.20	**			
<i>(P-value)</i>				(0.0107)				

*,**,*** : 각각 10%, 5%, 1% 유의수준 하에서 통계적으로 유의함

생산함수 추정 결과 선박톤수(X_{ton}), 투입낚시수(X_{hooks}), 그리고 눈다랑어 자원량($B_{biomass}$) 등이 통계적으로 유의하게 추정되었다. 하지만 선원수(X_{crew})는 통계적인 유의성을 가지지 못하는 것으로 평가되었다(표 6-14). 투입요소 중 투입낚시수가 눈다랑어 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었는데, 투입낚시수가 1% 증가할 경우 눈다랑어 생산량은 0.9460% 증가하는 것으로 추정되었다. 선박톤수와 눈다랑어 자원량이 각각 1% 증가할 경우에는 눈다랑어 생산량이 각각 0.1843%와 0.0745% 증가하는 것으로 추정되었다.

WCPFC 가입이 눈다랑어 생산에 미치는 영향을 파악하기 위해 투입된 더미변수인 D_{wcpfc} 는 눈다랑어 생산량에 음(-)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 즉, WCPFC 가입 이후 눈다랑어 생산량이 0.0850% 정도 감소된 것으로 추정되었다.

식 (32)을 통한 규모수익 분석 결과에서는 RS 지표가 1.2031로 나타나 WCPFC 수역 원양연승어업으로 인한 눈다랑어 생산은 규모수익체증(IRS)의 성격을 가지는 것으로 추정되었다.

패널회귀분석을 통해 고정효과 모델이 채택됨에 따라 분석 개체 간 차이점이 존재하는 것으로 나타나, WCPFC 수역 원양연승어선 간 생산 특성이 다른 것으로 분석 되었다.

6-3. 경영분석 결과

가. 자료 구성

WCPFC 연승어업의 정밀한 경영분석을 위해서는 비용자료와 생산금액

자료가 필요하다. 비용자료 구축을 위해서 본 연구자가 직접 원양연승어업 업체를 방문하여 자료를 확보한 후, 국립수산과학원 원양연승조업일지 자료를 활용하여 사용하였다. 생산금액 자료는 한국원양산업협회와 업계에서 제공한 주요종별 어가와 국립수산과학원 원양연승조업일지 자료를 활용하여 구축하였다. 구체적으로 자료를 구축한 방법은 아래와 같다.

비용자료는 업체에서 제공한 연승어선의 해당 사업계획서 자료를 바탕으로 추정하였다. 총 2개 선사 6척의 사업계획서를 확보하였는데, 우리나라 원양연승어업 특성상 그 어선 규모가 비슷하여 투입 비용의 차이는 크지 않았다. 이 자료는 18개월의 계약기간을 가지고 있어, 2/3의 가중치를 적용하여 1년 단위의 비용으로 환산하였다.

그 후 조업률(조업일수/365일)을 구해 조업일당 평균비용을 구한 뒤, 국립수산과학원의 원양연승조업일지 자료를 바탕으로 WCPFC 수역의 전체 조업일수를 구한 후 곱하여 1년 간 해당수역에서 사용한 비용자료를 구축하였다.

$$TC_{12month} = \frac{2TC_{18month}}{3} \quad (34)$$

* $TC_{18month}$: 18개월 비용(척당)

$$TC_{days} = TC_{12month} \cdot \frac{IFD_{WCPFC}}{365} \quad (35)$$

* TC_{days} : 1일당 비용, IFD_{WCPFC} : 척당 WCPFC 조업일수

$$TC_{WCPFC} = TC_{days} \cdot TFD_{WCPFC} \quad (36)$$

* TC_{WCPFC} : WCPFC 수역 어업비용, TFD_{WCPFC} : WCPFC 전체 조업일수

생산금액은 업체에서 제공한 WCPFC 연승어업 어종별 가격자료와 국립수산과학원의 원양연승조업일지 자료 그리고 국립수산과학원의 국제옵서버 어종별 생물학적 조사자료를 활용하여 추정하였다.

눈다랑어와 황다랑어는 어체 크기별, 상품 상태별로 구분하여 일본 엔화 가격으로 거래가 되고 있고, 그 외 부수어획 종은 미국 달러로 거래가 되고 있다.

국립수산과학원의 원양연승조업일지 자료를 바탕으로 월별 어종별 어획량을 구하고, 국제옵서버 자료를 바탕으로 어획물의 크기별, 상품 상태별(어획물 손상여부) 비중을 구하여 가중적용한 후 어종별 어가를 곱하여 추정하였다. 이 때, 어가 자료는 한국은행 경제통계시스템의 환율 정보를 활용하여 각각 한국 원화로 환산하였다.

나. 경영 자료 분석

1) 어업비용

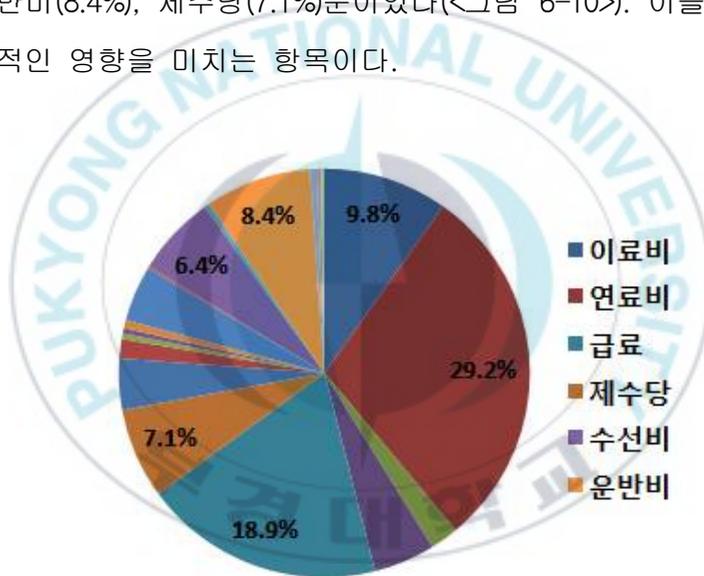
WCPFC 수역 원양연승어업 어업비용 기초통계량을 <표 6-15>과 같이 정리 하였다. 평균 매출원가는 22.5억 원이 소요되며, 재료비는 10.4억, 노무비는 7.1억 원, 어로경비는 5.0억 원이 소요 되는 것으로 분석되었다. 여기서 재료비는 이료비, 연료비를 포함한 4개 항목이며, 노무비는 급료를 포함한 4개 항목, 어로 경비는 수선비(수리비), 입어료, 감가상각비를 포함한 15개 항목이다. 어업비용 항목에 관한 자세한 내용은 부록 2에 수록하였다.

<표 6-15> WCPFC 수역 원양연승어업 어업비용 기초통계량

단위 : 억원

	매출원가	재료비	노무비	어로경비
평균	22.5	10.4	7.1	5.0
표준편차	6.8	3.2	2.2	1.6

2017년 기준 WCPFC 수역에서 우리나라 연승어업 조업 활동의 비용부
 에서 많은 비중을 차지한 항목은 연료비(29.2%), 급료(18.9%), 이료비
 (9.8%), 운반비(8.4%), 제수당(7.1%)순이었다(<그림 6-10>). 이들 항목은 조
 업에 직접적인 영향을 미치는 항목이다.



<그림 6-10> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 비용 항목별
 비중(2017년)

2) 생산금액

WCPFC 수역 원양연승어업 생산금액 기초통계량을 <표 6-16>와 같이 정

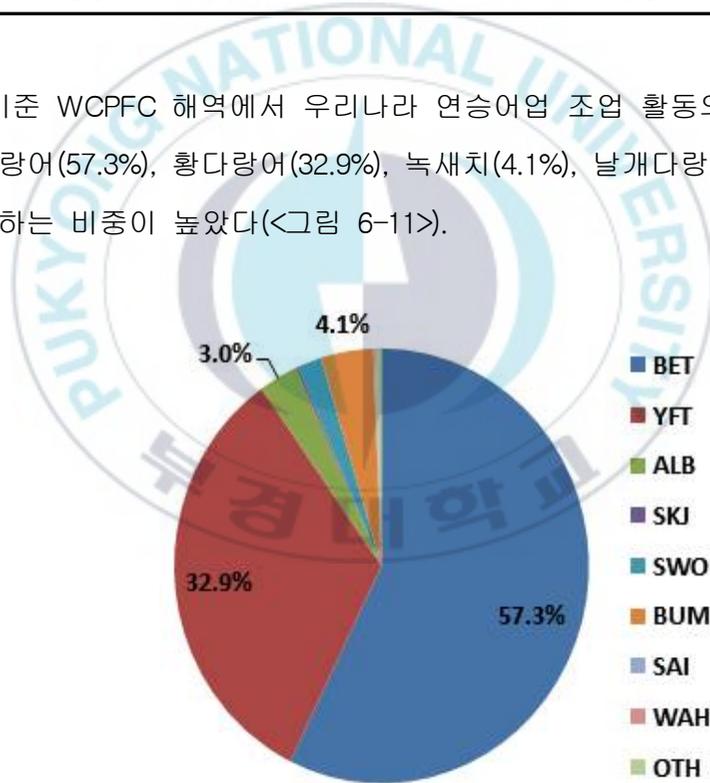
리 하였다. 총 생산금액은 26.7억 원으로 조사되었으며 어업비용과는 달리 표준편차가 크게 조사되어 어선별 투입비용 대비 생산금액 차이가 많이 존재하는 것 나타났다.

<표 6-16> WCPFC 수역 원양연승어업 생산금액 기초통계량

단위 : 억원

	생산금액	눈다랑어	황다랑어	녹새치	날개다랑어	기타어종
평균	26.7	15.3	8.8	1.1	0.8	0.7
표준편차	13.8	6.3	4.9	1.1	0.9	0.2

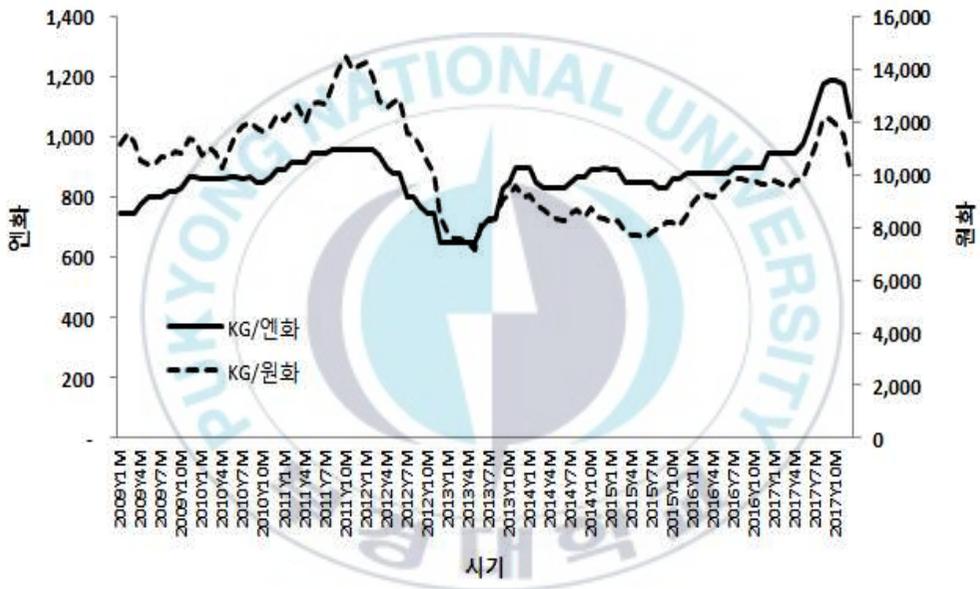
2017년 기준 WCPFC 해역에서 우리나라 연승어업 조업 활동의 생산금액에서 눈다랑어(57.3%), 황다랑어(32.9%), 녹새치(4.1%), 날개다랑어(3.0%) 순으로 차지하는 비중이 높았다(<그림 6-11>).



<그림 6-11> WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업 어종별 생산금액 비중(2017년)

3) 눈다랑어 가격

눈다랑어는 어획물의 크기와 어획물 상태에 따라 그 가격이 다르다. 업계에서는 40kg이상 상급 하급, 25kg이상 상급 하급, 15kg 이상 상급 하급, 10kg 이하로 나누고 있다. 그리고, 눈다랑어는 엔화로 거래 되고 있어 그 가치가 환율에 연동되어 큰 폭으로 변화하는 특징이 있다.



<그림 6-12> 눈다랑어 어가 변화(2009~2017)

<그림 6-12>를 살펴보면 어가가 엔화보다 원화의 변동이 큰 것을 알 수 있는데, 이는 환율의 변동이 반영 된 것이다. 원화 기준 최근 3년 (2015~2017년)동안 최소가격은 약 7,600원선이며 최대가격은 약 12,000원 선에서 거래가 되었다.

다. WCPFC 수역 원양연승어업 경영분석 결과

1) 현재 상황에서의 경영분석 결과

WCPFC 수역 원양연승어업에서의 어획량과 어가를 바탕으로 총수익을 산출하였으며, 직접 조사하여 확보한 어선별 비용자료를 바탕으로 매출이익률을 구하고, 향후 10년의 현금흐름에 대한 NPV와 IRR에 대해서 한국 개발연구원에서 제시한 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 분석하였다(한국 개발연구원, 2017). 추가적으로 할인율이 3%, 6%일 때 각각 할인율의 변동에 대한 차이도 분석을 실시하였다. 다음 <표 6-17>는 현재 상황에서의 WCPFC 수역 원양연승어업의 경영분석 결과를 정리한 것이다.

<표 6-17> 현재 상황에서 WCPFC 수역 원양연승어업 경영분석 결과

매출이익률(%)	NPV(억원)			IRR(%)
	할인율 3%	할인율 4.5%	할인율 6%	
18.6%	2,415	2,141	1,900	40.7

우리나라 WCPFC 수역의 원양연승어업 조업활동으로 인한 매출이익률은 18.6%로 나타나고, NPV를 사회적 할인율인 4.5%로 분석한 결과 2,141억원의 매출이익을 달성할 것으로 예상된다. 그리고, 할인율을 6%로 분석한 결과에도 NPV는 0보다 크게 나타나고 있고, IRR 이 40.7%로 분석되어 연승어업에 대한 투자요인은 충분하다고 할 수 있다.

<표 6-18> 원양산업 매출이익률 비교

	원양산업전체	다랑어 선망어업	WCPFC 연승어업
매출이익률(%)	17.2	24.7	18.6

출처 : 원양어업통계조사(2018), 경영실태조사 부분

원양산업 전체의 매출이익률과 다랑어 선망어업, WCPFC 연승어업의 매출이익율을 <표 6-18>과 같이 비교하였다. 원양산업 전체의 매출이익율이 약 17.2%로 분석되어 18.6%의 매출이익율을 기록 중인 WCPFC 원양연승어업은 뛰어난 경영성과를 보이고 있다고 판단 할 수 있다(원양어업통계조사, 2018).

<표 6-19> 한· 일 다랑어 연승어업 매출이익율 비교

	일본 원양&근해 다랑어 연승	WCPFC 연승어업
매출이익율(%)	15.6%	18.6

출처 : 원양어업통계조사(2018), 경영실태조사 부분

특히, 일본의 다랑어 연승어업의 매출이익율인 15.6%(원양어업통계조사, 2018)와 비교 하였을 때, 우리나라 WCPFC 연승어업의 경영성과는 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

다음은 현재 경영상황에서 눈다랑어 쿼터량과 어가에 대한 손익분기점 분석을 <표 6-20>에 작성하였다.

<표 6-20> WCPFC 원양연승어업 손익분기점

쿼터량	눈다랑어 어가(원화가치)
약 8,828 ton	약 6,332원/1kg
(현재 13,942 ton)	(분석시점 어가 : 약 10,000원/1kg)

손익분기점 분석 결과 현재 수준의 경영상황에서 눈다랑어 어획한도량이 약 8,828 ton을 확보하지 못하거나, 눈다랑어 어가가 1kg당 6,332원 수준(2019년 어획한도량 : 13,942 ton 기준) 이하로 떨어지게 되면 WCPFC 연승어업에서의 눈다랑어에 대한 경영악화로 이루어지게 되어 경제성을 확보하지 못하는 것으로 분석되었다.

2) 민감도 분석 결과

생산부분에서 눈다랑어 어가와 눈다랑어 어획한도량 변화와 비용부분에서 연료비와 급료 변화는 수익을 결정하는 주된 요소이다.

눈다랑어의 어가는 환율변동, 월별 어가 변화에 따른 큰 변화를 보이고 있어 불안정한 가격을 보이고 있다(<그림 6-12>). 하지만, 눈다랑어 생산은 어획한도량 설정으로 인해 생산량이 일정하다.

WCPFC 수역 원양연승어업에서는 통상 약 1.5개월에서 3개월 사이에 연료수급이 이루어지는데, 이때 유가는 국제유가와 연동이 되어 있어 그 변동 폭이 다른 비용부분보다 큰 변화가 있다. 하지만, 급료 수준은 조업 기간 동안(통상 18개월 ~ 24개월 단위로 계약)계약이 되어있어 그 수준은 일정한 특징이 있다.

이러한 현재의 경영환경에서 민감도 분석을 통해 눈다랑어 어가와 쿼터량 변화, 그리고 연료비 변화와 급료 변화에 따른 경영성과의 확인은 필수적이다.

또한, 민감도 분석을 통해 WCPFC 원양연승어업에서의 신조선 구입 비용별 경영 분석을 시도하였다.

ㄱ. 눈다랑어 어가 변화에 따른 민감도 분석 결과

눈다랑어는 어획물의 크기에 따라 어가가 달라지며, 월별 변동이 크게 이루어진다. 특히, 엔화로 거래되고 있는 특성상 환율 변화에 대응하여 민감하게 변화하는 특징이 있다. 최근 3년 동안 눈다랑어 어가 변동 및 엔화 환율 변동에 따른 생산물의 원화가치가 7,600원에서 12,000원 까지 변화함에 따라 이에 대응하여 민감도 분석을 실시하였다.

<표 6-21> 눈다랑어 어가 변화에 따른 민감도 분석 결과

시나리오	7,600원	9,000원	10,000원	11,000원	12,000원
매출이익율(%)	4.4	12.7	18.6	24.6	30.5
NPV(억원)	-198	1,167	2,141	3,116	4,090
IRR(%)	-0.1	25.8	40.7	54.8	68.5

눈다랑어 어가 변화에 따른 민감도 분석 결과는 위의 <표 6-21>에 정리하였다. 눈다랑어 어가가 높을수록 경영성과에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 어가가 감소함에 따라 경영악화가 나타날 것으로 나타났다.

특히, 최근 3년 동안 거래된 눈다랑어 어가 중 최소금액인 7,600원 어가가 유지가 된다면, NPV가 0 이하로 분석되어 WCPFC 수역에서의 원양연승어업에 대한 투자요인은 없는 것으로 나타났다.

ㄴ. 눈다랑어 어획한도량 변화에 따른 민감도 분석 결과

Bayesian state-space surplus 자원평가 결과에 따른 어획한도량 설정에 따른 자원량 예측 결과(<표 6-6>, <그림 6-8>) MSY 수준까지 어획한도량이 증가하여도 눈다랑어 자원회복에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고, 생산함수 분석(<표 6-12>)에 따른 규모에 대한 수익 분석 결과 RS 지표가 10이상으로 나타나 쿼터 전배 전략 등으로 인한 우리나라의 눈다랑어 어획한도량 증가에 관한 긍정적 요인이 존재한다.

이에 따라, 눈다랑어 자원회복이 확보되는 어획한도량을 가정한 우리나라의 어획한도량이 14,500 ton 수준이 되는 시점까지의 시나리오 별 민감도 분석을 실시하였다.

<표 6-22> 눈다량어 어획한도량 변화에 따른 민감도 분석 결과

시나리오	12,869 (2017 어획한도량)	13,942 (2018-2019 확정 어획한도량)	14,500 (자원회복수준 어획한도량)
매출이익율(%)	18.6	23.6	26.1
NPV(억원)	2,141	2,954	3,376
IRR(%)	40.7	52.5	58.5

눈다량어 어획한도량에 따른 민감도 분석 결과는 위의 <표 6-22>에 정리하였다. 눈다량어 어획한도량이 높을수록 매출이익율, NPV, IRR 이 모두 개선되는 것으로 나타나 투자요인이 충분한 것으로 나타났다.

Bayesian state-space surplus 모델에 의한 평가 결과와 생산함수 추정 결과 우리나라의 눈다량어 쿼터가 증가할 가능성이 높기 때문에 WCPFC 원양연승어업의 눈다량어생산에 의한 경영성과 개선 여지는 존재한다.

㉔. 연료비 변화에 따른 민감도 분석 결과

<그림 6-10>과 같이 연료비는 비용전체 부분에서 29.2%를 차지하고 있다. 연료비는 국제유가 및 환율에 민감하게 변화하는 항목이므로 현재 수준에서 50% ~ 150% 까지 변화하는 시나리오를 가정하고 민감도 분석을 실시하였다.

<표 6-23> 연료비 변화에 따른 민감도 분석 결과

시나리오	50%수준	75%수준	현재수준	125%수준	150%수준
매출이익율(%)	38.9	28.0	18.6	10.6	3.5
NPV(억원)	4,540	3,340	2,141	942	258
IRR(%)	74.8	58.0	40.7	22.1	-1.7

연료비 변화에 따른 민감도 분석 결과는 위의 <표 6-23>에 정리하였다. 연료비 변동에 따른 민감도 분석 결과 연료비가 감소함에 따라 비용절감에 따른 높은 경영성과를 보이며, 연료비가 증가함에 따라 비용증가에 따라 경영이 악화될 것으로 나타났다.

하지만, 연료비가 150% 수준까지 증가하여도 NPV 기준 0 이상으로 분석되어 투자요인은 존재한다.

ㄹ. 급료 변화에 따른 민감도 분석 결과

<그림 6-10>과 같이 급료는 비용전체 부분에서 18.9%를 차지하고 있다. 생산함수 추정 결과, 선원 수는 논다량어 생산에 영향을 미치지 못하므로 (<표 6-13>, <표 6-14>), 선원수 변화에 따른 민감도 분석을 실시하였다.

WCPFC 원양연승어업에서 현재 수준의 선원수는 조업활동에 있어 최소한의 인원이라고 할 수 있고, 실제 조업을 실시하는 선원급 에서의 인력 감소는 심각한 조업 능률 감소를 야기할 가능성이 있다.

하지만, 경영 분석 자료 확보를 위해 업계 관계자와 접촉으로 선원수를 감소시킬 방안을 확인하였다.

첫 번째는 사관급 인력인 통신장 인원 감축이다. 통신장 인원은 항해사 중 전파전자 자격증 중, GOC(전파전자 3급 통신사), ROC(전파전자 4급 통신사)를 보유하고 있는 인원이 탑승시에는 통신장이 탑승을 하지 않아도 조업이 가능하다.

두 번째는 선원급 인원 감축이다. SPOOL 기계(자동 모릿줄 양승기)를 선박에 장착 시에 실제 조업에 참가하는 선원급 인원 2명이 감소되어도 조업 능률에 문제점이 없음을 확인하였다.

이에 각각의 시나리오별 민감도 분석을 실시하였다. 이 때, 통신장 인원

감축시에는 사관급 평균 급여를 감소시키고, 선원급 인원 감축시에는 SPOOL 기계 장착 비용을 추가 후 선원급 평균 급여를 감소시키는 방식으로 분석을 진행하였다.

<표 6-24> 선원 감축에 따른 민감도 분석 결과

시나리오	통신장 1명	선원 2명	통신장 1명	통신장 1명
	감축	감축	선원 1명 감축	선원 2명 감축
매출이익율(%)	19.4	20.1	20.9	21.7
NPV(억원)	2,245	2,321	2,425	2,528
IRR(%)	42.4	42.5	43.9	45.3

선원 감축에 따른 민감도 분석결과를 <표 6-24>과 같이 정리하였다. 통신장을 1명 감축하는 것 보다 SPOOL 기계를 장착하고 선원 2명을 감축하는 방안이 경영성과가 더 좋을 것으로 분석되었다.

통신장 1명과 선원 2명을 동시에 감축하고, SPOOL 기계를 장착하는 것이 매출이익율, NPV, IRR분석 결과를 바탕으로 비용 절감에 따른 높은 경영성과를 보이며 이에 따라 투자가치도 높은 결과를 가져올 것으로 나타났다.

㉠. 신조선 구입비용에 따른 민감도 분석

<그림 4-5>와 같이 WCPFC 수역 연승어선 선령은 30년 이상 노후 비중이 95.6%에 달해 신조선 도입이 요구된다. 자료 수집시 신조선 구입비용에 관해 구두 조사 결과 30억원에서 50억원까지 범위 내로 추정할 수 있었는데, 이를 바탕으로 신조선 구입비용에 따른 민감도 분석을 실시하였다.

<표 6-25> 신조선 구입비용에 따른 민감도 분석 결과

시나리오	30억원	31.97억	35억원	40억원	45억원	50억원
NPV(억원)	189	0	-290	-768	-1,246	-1,725
IRR(%)	5.8	4.5	2.7	0.2	-1.9	-3.7

신조선 구입비용에 따른 분석결과를 <표 6-25>과 같이 정리하였다. NPV 분석을 바탕으로 신조선 구입비용이 척당 31.97억원 이상 투입된다면, 투자요인이 없는 것으로 분석되었다. IRR기준 신조선 구입비용이 척당 40억원 이상 투입된다면 0%이하로 떨어지는 시점이 되는 것으로 분석되었다.



Ⅶ. 결론

7-1. 연구 및 분석 결과 요약

가. 연구 요약

원양연승어업은 고가의 어종인 횡감용 다랑어류를 생산하고 있어 다른 원양어업에 비해 생산량 대비 생산금액이 높아 수산자원의 지속성과 어업 경영적 측면에서 적합한 어법이라고 할 수 있다. 하지만, 최근 5개년 동안 다랑어 선망어업의 어선척수 변화가 없는데 반해, 다랑어 연승어업의 경우 지속적인 감소 현상을 보이고 있다. 특히, 다랑어 연승어선의 선령이 30년 이상 노후화된 비중이 95.6%으로, 선망어업의 노후화 비중인 41.9% 보다 훨씬 높음에도 신조선 도입과 같은 추가적인 투자가 전혀 이루어지지 않고 있다. 이는 현재 연승어업의 경영활동을 둘러싼 자연환경적, 경제적 측면의 어려움을 예상 할 수 있게 한다.

이에 본 연구에서는 위의 현상을 정확하게 파악하고자 원양연승어업 최대어장인 WCPFC 수역, 그리고 목표종인 눈다랑어 조업에 대한 분석을 수산자원적 측면, 경제학적 및 경영학적 측면에서 분석을 실시하였다.

WCPFC 수역 연승어업의 목표종인 눈다랑어 자원평가는 과정오차와 관측오차를 모두 고려한 장점이 있는 Bayesian state-space surplus 모델을 적용하였다. 자원평가 실시전 Gavaris (1980)가 제시한 GLM 모델을 통해 국별, 어법별, 연도별 요인에 대한 CPUE를 표준화 하였다. 그리고 자원평가 결과를 기존 WCPFC에서 사용하는 Multifan-CL 모델과 비교, 검토 하였다.

생산함수 추정을 위해 산출변수는 눈다랑어 생산량, 투입변수는 선원수, 어선톤수, 낚시수 그리고 눈다랑어 자원량으로 설정한 Cobb-Douglas 형태의 생산함수를 추정하고, 규모수익 분석을 시도하였다. 이때, 자원량은 Bayesian state-space surplus 모델에 의해 추정된 결과치를 사용하였다. 그리고, 더미변수 활용을 통해 WCPFC 가입이 눈다랑어 어획에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다.

경영분석은 눈다랑어 자원평가 결과를 바탕으로 어획한도량 변화, 그리고 생산함수 추정 결과 승선원 변화에 대한 민감도 분석을 실시하였다. 특히, 현재 수준의 경영상태 하에서 손익분기점 분석을 통해 우리나라가 최소 확보해야 할 눈다랑어 쿼터량과 눈다랑어 어가 분석을 시도하였다. 그리고, 현재수준의 경영상태 하에서 적정 신조선 구입비용을 추정하였다.

나. 분석 결과 요약

WCPFC 수역에서는 여러 국가가 다양한 어법으로 눈다랑어를 어획하고 있으므로, 자원밀도 변화 이외 연도, 국가, 어법에 의해 CPUE 변화가 미칠수도 있다. 이 영향을 제거하기 위해 GLM 분석 결과 AIC값 기준 모든 변수를 포함한 모형을 통해 CPUE를 표준화 하였다. 이를 통해 눈다랑어 어획패턴과 비슷한 패턴의 표준화된 CPUE를 추정하였고, 표준화된 CPUE를 Bayesian state-space surplus 평가에 적용하였다.

자원평가 결과 MSY 값은 157,100 톤으로 기존 Multifan-CL 에 의한 평가 결과인 158,551 톤과의 차이는 거의 없었다. 이를 바탕으로 어획한도량 정책 및 어선척수 제한 정책 효과에 대해 분석한 결과 현재 수준의 어획량을 어획한도량으로 설정하거나, 어선 투입 척수를 제한한다면 눈다랑

어 자원회복에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 분석되었다.

WCPFC 원양연승어업 눈다랑어 생산함수 추정 결과, 고정효과모형에 대한 u_i 검정, Hausman test 에 의해 고정효과 모형이 선정되었다. 생산요소들 중 선원수를 제외한 어선톤수, 투입낙시수, 눈다랑어 자원량이 모두 통계적으로 유의하게 나타났으며 이들 중 투입낙시수가 1%증가할 때, 눈다랑어 생산량이 0.9460% 증가하는 것으로 가장 큰 영향을 미치는 것으로 추정되었다. 어선톤수와 눈다랑어 자원량은 각 1% 증가할 경우 눈다랑어 생산량이 각각 0.1843%와 0.0745% 증가하는 것으로 나타났다.

WCPFC 가입이 눈다랑어 생산에 미치는 영향을 파악하기 위해 투입된 더미변수를 통해 WCPFC 가입에 따라 눈다랑어 생산이 0.0850% 감소하였음을 알 수 있었다.

특히, RS 지표 분석결과 1.20으로 나타나 WCPFC 원양연승어업에 의한 눈다랑어 생산은 규모수익체증 성격으로 나타났다.

현재 수준의 경영상태에서 향후 10년 동안 KDI에서 제시한 사회적 할인율인 4.5%를 적용한 경영분석 결과, 매출이익율은 18.6%, IRR은 40.7%, NPV는 2,141억원으로 분석되어 연승어업에 대한 투자요인이 있는 것으로 분석되었다.

손익분기점 분석 결과 현재 수준의 경영활동이 지속된다는 가정하에 최소한 확보해야할 눈다랑어 쿼터는 약 8,828톤, 그리고 눈다랑어 어가는 약 6,332원으로 나타났다.

눈다랑어 자원량 추정 및 생산함수 추정 결과에 따라 눈다랑어 쿼터량 증가가 예상되므로 생산부에서 생산량 증가와 어가 변화에 따른 민감도 분석을 시도하였다. 비용부에서 많은 비중을 차지하는 연료비와 급료 변화에 대한 분석을 실시하였다. 민감도 분석 결과 생산적 측면에서 눈다랑어 쿼터 및 어가가 증가할수록, 비용적 측면에서 연료비와 급료가 감소

할수록 경영상태가 개선되는 것으로 나타났다.

7-2. 고찰

현재 WCPFC에서는 체장 기반 자원평가 모델인 Multifan-CL을 활용하여 눈다랑어 자원평가를 실시하고, 어획한도량 설정에 활용하고 있다. 이 모델의 장점은 고도회유성 어종인 눈다랑어의 특징인 공간개념을 포함하고 있는데 있다. 하지만, 포함되어야 할 자료가 많아 측정 오차와 관측 오차가 크게 존재할 가능성을 내포하고 있다. 뿐만 아니라 분석기간 동안 선망어업으로부터 대략 35%에 육박하는 눈다랑어 어획량을 기록하고 있음에도 연승어업으로 구성된 CPUE만을 고려하는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 연승어업 뿐만 아니라 선망어업과 채낚기 어업의 CPUE를 표준화하여 자원평가를 진행하였다.

대서양과 인도양의 다랑어 관련 국제기구에서 또한 체장 기반 자원평가 모델인 SS3 모델을 활용하여 다랑어류를 평가하고 있지만, 최근 여러 학자들에 의해 State-space 모델에 의한 자원평가가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 Meyer and Millar (1999, 2000)가 제시한 Bayesian state-space surplus 평가 기법을 통해 WCPFC 눈다랑어 자원평가를 최초로 실시하였고, 평가 결과 현재 WCPFC에서 제시하고 있는 MSY 결과와 비슷한 결과를 제시할 수 있었다. 추가적인 자료 확보에 용이한 장점이 있고, 현재 WCPFC에서 확보하고 있는 자료만으로도 충분히 자원평가가 가능하기 때문에, Multifan-CL 평가와 Bayesian state-space surplus 평가를 동시에 진행하여 평가 결과 간 상호 보완하는 방안이 필요하다고 생각한다.

그리고, 평가결과의 차이가 존재 하지 않는 점을 들어, 향후 WCPFC 다

랑어류 자원평가지 기존에 고려되었던 연승어업의 낚시수에 의한 CPUE에 추가하여 본 연구에서 적용한 연승어업, 선망어업, 채낚기어업의 척수에 의한 CPUE를 표준화 하여 평가 결과를 도출해 보는 방안을 제시한다.

Bayesian state-space surplus 평가 결과에 의한 어획한도량 설정별, 투입 어선 척수별 자원관리 방안 분석 결과 현재 수준의 어획량과 어선수를 유지할 때, 눈다랑어 어획량에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 나타났다. 이를 통해 WCPFC 주요국들이 눈다랑어 자원보존조치 이행을 잘 하고 있는 것으로 판단 할 수 있다.

생산함수 추정 결과 낚시수가 눈다랑어 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이는 연승어업의 특성을 잘 반영하고 있는 결과라고 판단된다. 달리 생각하면, WCPFC 눈다랑어 자원량 감소가 이루어지고 있다고 판단되면, 연승어업의 어획한도량 설정과 추가적으로 연승어업의 낚시수 제한정책을 고려해 볼 수 있다고 생각한다.

더미 변수 활용을 통해 WCPFC 가입이 눈다랑어 생산량에 0.0850% 감소 되는 영향이 있는 것으로 나타났는데, 이는 우리나라 원양어선들이 WCPFC에서 제시하는 눈다랑어 자원보존조치(어획량 제한 등) 이행을 위해 눈다랑어 어획량을 감소시키고 있는 현실을 반영한 결과라고 생각한다.

RS에 의한 규모 수익 분석 결과, WCPFC 수역의 눈다랑어 생산에 있어서는 규모 수익 체증(IRS)의 성격을 가지는 것으로 나타나 눈다랑어 쿼터를 타국에 양도하는 것 보다 가능하면 타국으로부터 양수하는 전략이 주효 할 것으로 생각한다.

특히, 2017년 기준 쿼터가 주어진 주요국들 중 쿼터량 대비 생산량이 작은 국가들을 파악 후 쿼터 양수 방안을 모색할 필요성이 존재한다. 뿐만 아니라, WCPFC 조업 주요국들의 생산함수를 동시에 추정하여 국가별 상

황에 맞는 쿼터 전배 전략을 수립하는 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

현재 상황에서 경영분석을 실시한 결과 WCPFC 원양연승어업의 매출이익률은 18.6%로 원양어업 전체 평균인 17.2%보다 높고, NPV와 IRR 분석 결과 투자요인이 충분한 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 보다 더 정밀한 자료 확보를 바탕으로 우리나라 원양연승어업에 대한 다각적인 투자방안에 관한 연구를 진행해야 한다고 생각한다.

자원평가 결과 눈다랑어 쿼터 증가가 예상되며, 규모 수익 체증 성격이기 때문에 쿼터 양수 전략을 통해 쿼터 확보가 용이하다. 이는 눈다랑어 생산량 증가를 예상할 수 있는데 민감도 분석 결과 생산량 증가에 따라 원양연승어업의 경영 개선이 예상된다.

현재 경영 상황 하에서 손익분기점 분석 결과 눈다랑어 쿼터량은 약 8,828톤, 어가는 약 6,332원을 유지해야 한다. 이를 확보하지 못하는 경우 우리나라 연승어업은 적자 상황을 맞이하게 되므로, WCPFC와 관련된 우리나라 의사결정자 및 정책입안자들에게 좋은 기준점이 될 것이라 판단한다.

생산함수 분석 결과 선원수는 눈다랑어 생산에 영향을 미치지 못하므로 선원수 감소를 통해 경영개선이 가능하다. 현재 WCPFC 수역 우리나라 원양연승어업의 조업인원수는 20명에서 27명이다. 여기서 사관급인원은 5명에서 7명 정도이고 일반 선원급 인원은 대략 16명 전후 이다. 이는 현재 조업 상황 상 최소한의 인원이라 볼 수 있지만, 사관급인 통신장 1명과 일반 선원 2명 정도를 줄일 수 있는 방법이 있는 것을 현장 조사를 통해 확인하였다. 이는 전파 관련 자격증을 보유한 항해사 인원 승선을 통한 통신장 인원 1명 감축, SPOOL(자동모릿줄양승기) 기계 장착을 선원급 인원 2명 감소이다. 민감도 분석을 통해 이와 같은 선원수 감소를 통해

상당한 경영개선이 가능한 것으로 분석되었다. 특히, 이 방안은 원양연승 업계에서 바로 적용할 수 있는 부분이므로 전략적인 검토가 필요해 보인다.

환율, 수요 변화 그리고 계절적 요인으로 인해 변화하는 어가와 국제유가와 연계되어 변화폭이 심한 어가와 연료비 변화에 따른 민감도 분석 결과에서는 어가가 높게 유지될수록 국제유가가 낮게 유지될수록 경영개선 여지가 있는 것으로 분석되었다. 환율 및 유가에 변화에 적절히 대응하지 못하면 경영악화가 이루어져 연승어업 경제성을 잃어버리는 큰 요인이 될 수도 있기 때문에 환율 및 유가 안정화 정책은 필수적이라고 할 수 있다.

7-3. 정책적 시사점 및 향후 과제

가. 정책적 시사점

본 연구의 결과를 바탕으로 다음과 같은 정책적 시사점을 제시한다.

첫째, 비용절감 측면에서 인건비 감소와 연료비 감소 대책 마련이 필요하다. 생산함수 분석 결과 선원수는 눈다랑어 생산에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타남에 따라 선원수 감축을 통한 경영상태 개선이 충분해 보인다. 특히, 민감도분석을 통해 조업효율을 감소시키지 않는 선에서의 인력 감축시 경영성과가 증가하는 것으로 분석되었다. 이때, 사관급 인력인 통신장 인원 감축은 전파전자 관련 자격증을 보유한 항해사 인력 탑승시에 가능한데, 항해사 인력에 대한 상기의 자격증 취득을 위한 정책적인 유도가 이루어진다면, 연승어선 경영체 들이 선원수급을 유연하게 대처할 것으로 보인다. 그리고, 연료비 감소를 위해 연료효율성 증가 장치 개

발, 연료 선물거래 정책 개발, 고성능 어탐기술 개발을 통한 연료효율성 증가와 같은 방안 마련등과 같은 대책 마련이 필요하다.

둘째, 눈다랑어 생산량 증가 측면에서 쿼터 전배 전략과 WCPFC에서 제시한 보존조치 이행을 통한 자원량 증가 방안이 필요하다. 우리나라 WCPFC 연승어업은 규모수익체증 성격을 가지고 있으므로, 타국으로부터 쿼터를 양수해오는 전략을 취하는 것이 주요할 것으로 보인다. 그렇기 때문에, 눈다랑어 쿼터량 대비 생산량이 작은 국가들에 대해 눈다랑어 쿼터 양수 방안을 적극적으로 할 필요성이 있다. 그리고 생산함수 추정 결과 눈다랑어 자원량 요소가 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 WCPFC에서 제시하는 보존조치(어획한도량 준수)를 성실히 이행하여 눈다랑어 자원량을 꾸준히 증가시키는 것이 중요한 조업 전략이라고 판단된다. 이 때, 낚시수가 눈다랑어 생산에 가장 큰 영향을 미치므로 조업시 낚시수 제한등과 같은 추가적인 조치를 보조적으로 마련하여 눈다랑어 자원량 증가에 앞장설 필요성이 있다.

마지막으로, 안정적인 눈다랑어 어가 확보 방안이 필요하다. 눈다랑어 조업 특성상 어획량의 한계가 존재하므로, 어가 변화에 대해 경영성과가 악화 되거나 개선될 여지가 있다. 이 때, 눈다랑어 어가는 엔화 환율과 연동하여 더 큰 폭으로 변화하는 특징이 있으므로 환율부분에서 안정화 대책마련이 필요하다. 환차손 피해의 최소화를 위한 환율 선물 거래 활성화 방안과 같은 금융적 측면에서의 정책 제도 마련이 필요할 것이다. 또한 계절적 요인으로 인한 어가 변동에 대비하여 원양연승어업 업계에서 수출 주도적인 경영 방식에서 국내 수요 증가 방안을 마련해 나가는 것이 안정적인 어가 확보에 도움이 될 것으로 보인다.

나. 연구의 한계점 및 향후 과제

본 연구는 다음과 같은 한계점이 존재한다. 첫째, Bayesian state-space surplus 자원평가 진행시 WCPFC 수역에서 조업을 진행하고 있는 모든 국가와 모든 어법에 대한 어획노력량 자료를 확보하지 못하였다. 특히, 인도네시아와 필리핀에 의한 눈다랑어 어획량은 분석기간 동안 각각 9.3%, 5.9%로 많은 비중을 차지하는데, 조업 어선 척수 자료 확보가 되지 않아 불가피 하게 제외 하였다. 현재 WCPFC의 Multifan-CL 평가 모델을 위한 자료구축에도 몇몇 국가 및 어법에 관한 어획량 및 노력량 자료의 제한적 활용에 대해 고려한다면 자원평가 진행상 자료 구축에 관한 논의는 지속적으로 해야 할 것이다. 그리고, 정밀한 자료를 요구하는 기존 WCPFC 평가 방법과 어획량과 어획노력량 자료만을 가지고 진행한 Bayesian state-space surplus모델 평가 결과의 차이가 크지 않다는 점을 고려할 때, 어획량 자료를 제출하고 있는 국가의 어선척수 자료를 우선 확보하여 Bayesian state-space surplus 모델에 의한 자원평가를 진행해 볼 필요성이 있다고 판단한다.

둘째, 생산함수 추정 시 Cobb-Douglas 형태의 생산함수만을 추정한 것이다. 최근 경제학에서의 생산함수 추정은 Cobb-Douglas 생산함수의 불변 대체탄력성이란 강한 가정의 한계점으로 제약조건으로부터 비교적 자유로운 탄력적인 Diewert (1971)에 의해 제안된 Translog 함수를 통한 생산함수를 동시에 추정하여 적합한 함수형태를 제시하는 것이 일반적이다. 본 연구에서도 자원평가 결과 및 어선별 자료 수집에 의해 구축된 패널 자료를 바탕으로 Translog 함수 형태의 생산함수를 추정하였으나, 각 투입요소의 통계적 유의성을 확보하지 못하여 분석에서 제외하였다. 추후 연구에서는 보다 더 장기간의 시계열자료 확보 및 다양한 생산요소 자료 확보

를 통해 여러 가지 생산함수를 추정하고, 가장 적합한 분석결과를 제시할 필요성이 있다.

셋째, 우리나라 연승어업에 의한 생산함수 추정 및 규모수익 분석만이 이루어진 점이다. WCPFC 수역에서 우리나라 연승어업은 규모수익체증의 성격을 띄고 있어 생산량이 늘어날수록 어선 경영체의 경제성 확보에 용이하지만, 동수역에서 여러 주요국들이 조업하고 있는 환경에서 우리나라만의 규모수익 분석을 통한 쿼터전배 전략 제시는 분명한 한계점이 존재한다. WCPFC 주요 조업국들의 생산요소 자료 확보를 통한 생산함수를 추정해 봄으로써 국가별 상황에 맞는 쿼터 전배 전략을 수립하는 연구가 지속적으로 이루어져야 한다고 생각한다.

넷째, 매출이익률 분석을 통한 경영성과 분석에서 선망어업 외의 업종 분석을 실시하지 못한 점이다. 원양어업의 평균치를 제시하였으나, 업종별 정밀한 분석결과를 바탕으로 비교를 실시하였다면, WCPFC 수역 원양 연승어업이 처한 현실을 정확하게 파악할 수 있었을 것이다. 향후 연구에서는 저연승, 공기봉수망, 오징어채낚기, 트롤어업 등 모든 원양어업을 대상으로 경영분석을 실시하여 정확한 경영실태를 분석해볼 필요성이 있다.

다섯 번째, 수산업 분야에서 어획량이 증가하면 어가는 감소하고, 어획량이 감소하면 어가는 증가하는 경향이 있다. 이에 어획량과 어가에 관한 단순회귀분석을 시도하여 어획량과 어가의 관계를 파악한 후 민감도 분석을 시도하였다. 눈다랑어 생산량과 어가는 시계열자료로 구성되어 있어, 가성회귀(Spurious Regression) 문제 등을 고려하기 위해 단위근 검정(Unit root test)을 실시 후, 1차 차분 형태의 시계열 자료를 통한 회귀분석 결과 어획량과 어가간의 관계는 통계적 유의성이 확보되지 않아 분석결과에서 제외하였다. 추후 연구에서는 원양어업의 목표종에 대한 어획량과 어가간

의 관계에 추가적인 변수들을 고려한 분석결과를 바탕으로 최적생산량 도출 연구를 진행해 나가야 할 것이다.

마지막으로, 신조선 건조에 대한 민감도 분석시 정확한 자료 확보에 대한 아쉬움이다. 신조선 도입시 연료 효율 상승에 의한 연료비 감소분, 어업 기술 확보로 인한 인건비 감소분, 감가상각비 및 수리비 감소분에 대한 정확한 자료가 확보 가능하다면 현 수준의 경영상황과 신조선 도입에 대한 경영상황에 대한 정확한 비교가 가능하고, 분석결과를 통한 신조선 도입에 관한 저금리 정책 혹은 자금지원 정책 마련의 기초가 될 만한 결과 도출이 가능했었을 것이다. 향후 신조선 건조에 대한 정확한 자료 확보를 통해 현재 극도로 노후화 되어 있는 원양연승어선의 현대화에 관한 연구를 진행은 필수과제 임에 분명하다.



참고문헌

[국내문헌]

국립수산과학원, (2015-2017), 국제읍서버과학조사 자료(각 년도).

국립수산과학원, (1992-2017), 원양어업조업정보시스템(각 년도).

권유정, (2007), 연령구조모형을 사용한 남방참다랑어(*Thunnus maccoyii*)의 자원평가, 부경대학교, 이학석사학위논문, 102p.

권유정· 문대연· 장창익· 고정락, (2007), MULTUFAN-CL 모형을 이용한 남방참다랑어 *Thunnus maccoyii*의 자원평가, 한국수산학회, 한국수산과학회지, 40(6), 367-373.

김기수· 강용주, (1993), 연안어선어업의 생산함수추정, 한국수산경영학회, 수산경영론집, 24(2), 69-82.

김도훈, (2003), 자원회복계획 하에서의 총허용어획량(TAC) 어업정책 효과에 관한 생물경제학적 분석 : 미국 멕시코만의 Yellowedge Grouper 어업을 사례로, 한구자원경제학회, 자원환경경제연구, 12(4), 663-686.

김원재, (1992), 어업생산성 추정을 위한 통계적 응용에 관한 실증 연구, 한국수산경영학회, 수산경영론집, 23(2), 91-99.

김재희, (2009), 교차효율분석을 활용한 원양어업의 업종별 경쟁력 추정, 한국해양수산개발원, 해양정책연구, 24(1), 57-76.

김창완· 정형찬· 장영수, (2000), 우리나라 원양업체의 경쟁력 분석 : 정성적 분석을 중심으로, 한국수산경영학회, 수산경영론집, 31(1), 95-113.

민인식· 최필선, (2017), STATA 패널 데이터 분석 Version15 2판, 지필미디어, 264p.

박경일, (2017), 우리나라 송어양식업의 경쟁력에 관한 연구, 부경대학교, 경영학박사학위논문, 138p.

성락근, (2003), 한국원양트롤어업의 발전과 경영구조에 관한 연구, 부경대학교, 경영학박사학위논문, 234p.

심성현· 남종오, (2017), 근해어업 생산함수 추정을 이용한 규모수익 및 한계생산성 분석, 한국해양과학기술원, Ocean and Polar Research, 39(4), 301-318.

유준택· 황선재· 안두해· 김종빈· 김장근, (2010), 한국 다랑어 연승어업에 의한 태평양해역 눈다랑어 자원의 단위노력당어획량 (CPUE)의 표준화, 한국수산학회, 한국수산과학회지, 43(6), 740-746.

이동우· 이재봉· 김영혜· 정석근, (2008), 동중국해 참조기자원에 대한 단위노력당어획량 (CPUE)의 표준화, 한국수산학회, 한국수산과학회지, 41(5), 346-352.

이미경, (2016), 중서부태평양 수역 우리나라 다랑어 선망어업의 조업 특성 및 대응방안 연구, 부경대학교, 이학박사학위논문, 161p.

이준구, (2013), 미시경제학, 문우사, 783p.

이희연· 노승철, (2013), 고급통계분석론(이론과실습), 문우사, 828p.

장창익, (2010), 해양수산자원생태학, 부경대학교출판부, 561p.

정유리, (2019), 고등어(*Scomber japonicus*) 개체군 자원평가를 위한 베이지안 상태 공간 잉여생산량 모델, 부경대학교, 이학석사학위논문, 86p.

조현주· 김도훈· 김두남· 이성일· 이미경, (2019), 국제 유가 변동과 원양선망어업 가다랑어 가격 간의 인과성 분석, 한국수산해양기술학회, 수산해양기술연구, 55(3), 264-272. [Http://dx.doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.3.264](http://dx.doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.3.264)

조현주· 김도훈· 김두남· 이성일· 이미경, (2019), WCPFC 수역 원양연승어업의 눈다랑어 생산함수 추정, 한국자원경제학회, 자원·환경경제연구, 28(3), 415-435. <https://doi.org/10.15266/KEREA.2019.28.3.415>

조현주· 김두남· 김도훈· 이성일· 권유정· 구정은, (2017), SFA를 이용한 태평양 원양연승어업의 어선별 생산효율성 분석, 한국수산해양기술학회, 수산해양기술연구, 53(4), 357-362. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2017.53.4.357>

최민제· 김도훈· 최지훈, (2019), 서해 어획대상 잠재생산량 추정을 위한 자원평가모델의 비교 분석, 한국수산해양기술학회, 수산해양기술연구, 55(3), 206-216. [Http://dx.doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.3.206](http://dx.doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.3.206)

최지훈· 김도훈· 최민제· 강희중· 서영일· 이재봉, (2019), 베이지안 State-space 모델을 이용한 눈볼대 자원평가 및 관리방안, 한국수산해양기술학회, 수산해양기술연구, 55(2), 095-104. [Http://dx.doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.2.095](http://dx.doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.2.095)

한국원양산업협회, (2018), 원양산업통계연보, 352p.

해양수산부, (2019), 국제수산기구 업무 편람, 302p.

해양수산부, (2014-2018), 원양어업 통계조사 결과(2013-2017, 각 년도).

해양수산부, (2019), 중서부태평양수산위원회 보존관리조치, 59-92.

허수진, (2013), 패널회귀분석을 이용한 연근해어업 생산함수 추정, 부경대학교, 경제학석사학위논문, 70p.

국외문헌

Bai, L., Cao, J., and Jiangfeng, Z. (2016), Analyzing population dynamics of Indian Ocean albacore (*Thunnus alalunga*) using Bayesian state-space production model, IOTC-2016-WPTmT06-24, 2016.7.24., 1-10.

Brodziak, J., and G, Ishimura. (2012), Development of Bayesian production models for assessing the North Pacific swordfish population, Fish. Sci, 77, doi:10.1007/s12562-010-0300-0

Chaloupka, M., and Balazs, G., (2007), Using Bayesian state-space modelling to assess the recovery and harvest potential of the Hawaiian green sea turtle stock, ECOLOGICAL MODELLING, 205, 93-109.

Crentsil, C., Ukpong, IG. (2014), Production function analysis of fish production in Amansie-West district of Ghana, West Africa Am J Exp Agr, 4(7), 817- 835.

Fahrmeir, L., and Tutz, G. (1994), *Multivariate statistical modelling based on generalized linear models*, Springer, New York.

Fox, W.W. Jr., (1970), An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations, *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 90, 80–88.

Freeman, S.N., and Kirkwood, G.P., (1995), On a structural time series method for estimating stock biomass and recruitment from catch and effort data, *Fish. Res.*, 22, 77–98.

Gavaris, S., (1980), Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 2272–2275.

Geiger, H.J., and J.P. Koenings., (1991), Escapement goals for sockeye salmon with informative prior probabilities based on habitat considerations, *Fisheries Res.*, 11, 239–256.

Gudmundsson, G., (1994), Time series analysis of catch-at-age observations, *Appl. Stat.*, 43, 117–126.

Hilborn, R., and C. J. Walters., (1992), Quantitative fisheries stock assessment: choice dynamics and uncertainty, *Review in Fish Biology and Fisheries*, 2(2), 177–178.

ICCAT, (2018), *Stock Assessments and Executive Summaries*, ICCAT REPORT 2018–2019, 9.2.

IOTC, (2016), Report of the Sixth Session of the IOTC Working Party on Temperate Tunas, Shanghai, People' s Republic of China, 18–21 July 2016, IOTC–2016–WPTmT06–R[E], 1–58.

IOTC, (2018), Status summary for species of tuna and tuna-like species under the IOTC mandate as well as other species impacted by IOTC fisheries, Status of the Indian Ocean bigeye tuna (BET: *Thunnus obesus*) resource.

IOTC, (2019), Scoping study of socio-economic data and indicators of IOTC fisheries, IOTC–2019–S23–13, 1–62.

Jahanifar, K., Abedi, Z., and Zeraatkish, Y., (2010), Estimation of production function in fishery on the coasts of Caspian Sea, Int J Biol Biomol Agr Food Biotech Eng, 4(5), 276–279.

Kinas, P.G., (1996), Bayesian fishery stock assessment and decision making using adaptive importance sampling, Can. J. Fish. Aquat. Sci, 53, 414–423.

Liao, B., K. Zhang., X. Shan., X. Chen., A. Baset., K.H. Memon., and Q. Liu., (2017), Application of Bayesian surplus production model and traditional surplus production model on stock assessment of the southern Atlantic albacore (*Thunnus alalunga*), Indian Journal of Geo Marine Sciences, 46(05), 922–928.

McAllister, M.K., E.K. Pikitch., and E.A. Babcock., (2001), Using demographic methods to construct Bayesian priors for the intrinsic rate of increase in the Schaefer model and implications for stock rebuilding, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 58(9), 1871–1890.

Meyer, R., and Millar, R.B., (1998), Bayesian stock assessment using a state-space implementation of the delay difference model, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56(1), 37–52. doi: 10.1139/cjfas-56-1-37

Meyer, R., and Millar, R.B., (1999), BUGS in Bayesian stock assessments, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56(6), 1078–1087.

Millar, R.B., and R. Meyer., (2000), Non linear state space modelling of fisheries biomass dynamics by using Metropolis Hastings within Gibbs sampling. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 49(3), 327–342.

Myers, R.A., Bowen, K.G., and Barrowman, N.J., (1999), Maximum reproductive rate of fish at low population sizes, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56, 2404–2419. DOI:10.1139/f99-201.

Pella, J.J., (1993), Utility of structural time series models and the Kalman filter for predicting consequences of fishery actions. In *Proceedings of the International Symposium on Management Strategies for Exploited Fish Populations*. **Edited by** G. Kruse, D.M. Eggers, R.J. Marasco, C. Pautzke, and T.J. Quinn II. Alaska Sea Grant College Program Rep. 93-02, University of Alaska, Fairbanks, Alaska, 571–593.

Pella, J.J. and P.K. Tomlison. (1969). A generalized stock production model. *Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 13, 419–496.

Polacheck, T., R. Hilborn., and A.E. Punt., (1993), Fitting surplus production models: comparing methods and measuring uncertainty, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50(12), 2597–2607.

Quinn, T.J., and Deriso, R.B., (1999), *Quantitative Fish Dynamics*, University of Oxford, 560p.

Reed, W.J., and Simons, C.M., (1996), Analyzing catch–effort data by means of the Kalman filter, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53, 2157–2166.

Sala, E., Mayorga, J., Costello, C., Kroodsma, D., Palomares, M.D., Pauly, D., Sumaila, U.R., and Zeller, D., (2018), The economics of fishing the high seas, *Sci. Adv.*, 4(6), eaat2504, DOI: 10.1126/sciadv.aat2504.

Schaefer, M.B., (1954), Some aspects of the dynamics populations important to the management of the commercial marine fisheries, *Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, 1(2), 23–56.

Schnute, J.T., (1994), A general framework for developing sequential fisheries models, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51, 1676–1688.

Shono, H., (2004), A review of some statistical approaches used for CPUE standardization, *Bull Jpn Soc Fish Oceanogr* 68, 106–120.

Sullivan, P.J., (1992), A Kalman filter approach to catch-at-length analysis, *Biometrics*, 48, 237–257.

Valpine, P., and Hilborn, R., (2005), State-space likelihoods for nonlinear fisheries time-series, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(9), 1937–1952.

Walters, C.J., and J. Ludwig., (1994), Calculation of Bayes posterior probability distributions for key population parameters, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51(3), 713–722.

WCPFC, (2017), Analyses and projections of economic conditions in WCPO fisheries, WCPFC-SC13-2017/ST-WP-08, 1–34.

WCPFC, (2018), Bigeye Tuna(*Thunnus obesus*) Stock Status & Trends plus Management Advice and Implications.

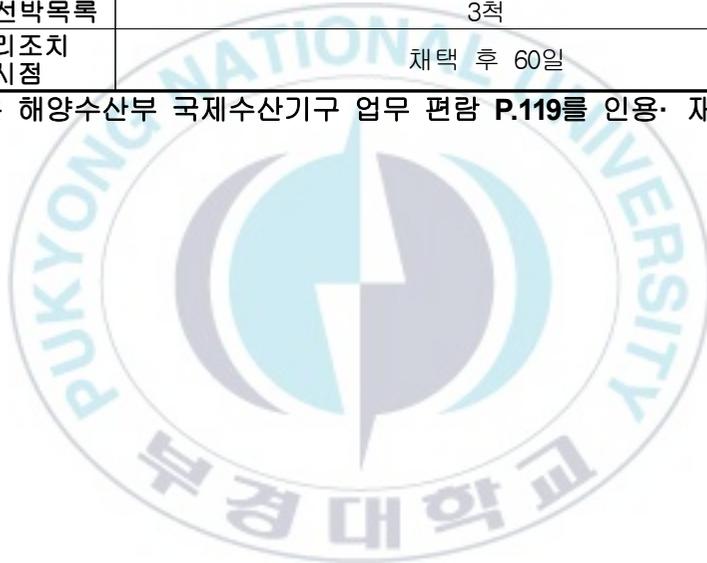
Winker, H., S. Kerwath., G. Merino., M. Ortiz., (2019), Bayesian State-space surplus production model JABBA assessment of Atlantic Bigeye tuna (*Thunnus obesus*) Stock, ICCAT SCRS/2018/110, DOI: 10.13140/RG.2.2.25367.83363

부록 1. WCPFC 보존관리조치 주요 내용(2019년 기준)

구분	주요내용				
어획할당량 (조업쿼터)	설정방식	국가별 할당			
	대상어종, 우리측 쿼터	눈다랑어 13,942톤, 참다랑어 671톤			
	쿼터이전	가능	미소진량 이월	불가	
어획증명제도	규정 없음				
옵서버	승선을	연승9%선망100%	역할	과학/이행	
	지역옵서버 도입 여부	O(해상전재 시 탑승)			
선박 위치추적장치 (VMS)	보고주기	4시간 (FAD 금지기간은 30분)	보고대상	기국(FMC), 사무국	
	고장 시 조치사항	30일 동안 6시간마다 수동 보고, 필요시 추가로 15일 동안 4시간 마다 수동 보고 (기간 경과 시 입항)			
검색	공해상 승선검색		실시		
	항구검색	적용대상	외국선 박	입항신고	규정 없음
		검색율	규정 없음	보고서 제출	15일 내
해상전재	허용여부	허용	적용대 상	연승선, 채낚기	
	전재보고	36시간 전 사전신고, 완료 후 15일 이내 사무국 제출			
선망선 어류군집장치 (FAD) 규제	개수제한	척당 350개 (열대다랑어)	금어기/금어 수역	남위20°~북위20° 수역(EEZ 포함) 3개월(7-9월) / 공해상 2개월 추가(4-5월 또는 11-12월)	
	친환경 FAD	사용 권고	FAD 관리계획	규정 없음	
치어보호	규정 없음				
상업어종 부수어획	선망선은 폐기금지 (마지막 항차 시 저장공간 부족, 심각한 장비 고장, 식용불가 제외)				
생태계 관련종 부수어획 저감조치	바닷새	남위 30°이남 : 무계추 사용, 야간조업 시 조명 최소화, 토리라인 가운데 2가지 시행 북위 23°이북 : 무계추 사용, 야간조업시 조명 최소화, 토리라인, 파란색 염색 미끼, 투승장치 사용, 찌꺼기 관리 중 2가지 시행 기타 수역 : 부수어획 저감조치 시행 권고			

	상어	피닝 허용, 5% rule(지느러미 보유량이 상어 총 중량의 5% 이하), 어획량 등 보고장완홍상어, 미흑점상어는 즉시방류, 고래상어 발견시 투망금지 및 가능한 한 생존방류
	바다거북	가능한 한 생존방류, 황새치 어획 연승선들은 대형환형낙시, 생선 통째로 미끼 사용, 기타 위원회가 승인한 조치 가운데 1가지 시행
	해양포유류	고래류 발견 시 투망 금지, 가능한 한 생존방류
취약해양생태계 (VME) 보호	규정 없음	
선박등록	선박 목록 제출, 변경 시 조업시작 15일 전 또는 72시간 내 통보	
IUU어업 선박목록	3척	
보존관리조치 발효시점	채택 후 60일	

*본 내용은 해양수산부 국제수산기구 업무 편람 P.119를 인용·재작성하였음



부록 2. 회계개정 설명

항목	상세내용	
재 료 비	이료비	조업활동에 필요한 미끼 구입비
	연료비	어선운용을 위한 항해용(중유, 경유, 윤활유 등), 취사용, 난방 용 유류 및 가스구입비
	어구비	어선의 어구(낙시) 신규구입 및 각종 부속구(부자, 아릿줄, 모릿 줄등), 집어 등의 구입비
	선용품비	이료비, 어구비를 제외한 조업활동에 필요한 선용품 구입비
노 무 비	급료	고정급, 상여금 등 선원에게 지급한 임금
	제수당	직급수당, 연장수당 등 급료를 제외하고 선원에게 지급한 임금
	주부식대	쌀, 부식비, 간식, 식수 등의 구입비
	퇴직충당 금	선원의 퇴직금
어 로 경 비	복리후생 비	조업활동의 능률 향상(작업복, 장갑, 휴지등)을 위해 선원에게 지급한 비용
	통신비	조업활동에 사용하는 위성통신 및 인터넷 비용
	소모품비	어구비, 이료비에 포함되지 않는 선박소모품 등의 구입비
	여비교통 비	어기교체시 선원들 교체에 필요한 비용
	보험료	조업 활동에 필요한 보험비용
	지급수수료	수출지 은행의 서류매입시 부과되는 수수료
	대리점비	-
	수선비	어선 수리 비용
	세금과공과	조업활동과 관련하여 납부한 각종 세금과 공과금
	운반비	어획물 해상 전재 및 항구로의 운반비용
	입어료	FFA 등록비 및 해상전재 프로그램비용
	항만비	항만비용
	작업비	하역비용
감가상각비	어선의 잔존가치	
지금임차료	-	
잡비	-	

*본 내용은 해양수산부 2018 원양어업통계조사 p.134의 내용을 인용하고

각 선사의 의견을 수렴하여 재작성하였음

부록 3. State-space 모델에 사용된 추정변수에 대한 정보

변수	내용	출처
$CPUE$	8개의 국가코드, 3가지 어법, 1980-2017 연도 고려 어획량(kg), 노력량(어선수)	방법론: Gavaris (1980) 자료: WCPFC (2018)
K	500,000 ~ 5,000,000 균등분포	Winker et al., (2019)
r	$lnorm(\log(1.77), 1.66)$ with 0.20th = 0.3 0.80th = 0.72	Myers et al., (1999) Winker et al., (2019)
q	$CPUE$ 와 관련이 있으므로 사전분포는 주어지지 않음	Myers et al., (1999) Winker et al., (2019)
σ^2	$inverse - gamma(3.79, 0.0102)$	Bodjak and Istimure (2012) Meyer and Millar (1999) Winker et al., (2019)
τ^2	$inverse - gamma(1.71, 0.0086)$	Meyer and Millar (1999)