

의사결정 나무 기법을 이용한 양식넙치의 에드워드병 증상 패턴 분석

김경임* · 정성주** · 김성현*** · 한순희**** · 정희택**** · 김태호**** · 박정선****†

Pattern Analysis of Clinical Signs in Cultured Olive Flounder, *Paralichthys Olivaceus*, with Edwardsielosis using the Decision Tree Technique

Kyeong-Im Kim* · Sung-Ju Jung** · Sung-Hyun Kim*** · Soon-Hee Han**** · Hee-Taek Ceong**** · Tae-Ho Kim**** · Jeong-Seon Park****†

요약

에드워드병은 양식넙치에 있어 치료가 어렵고, 모든 성장 단계에서 지속적으로 장기간에 걸쳐 어체 내에 존재하면서 대량 폐사까지 이어지는 경우가 많다. 본 논문에서는 의사결정 나무 기법을 이용하여 발병한 양식넙치의 다양한 증상 데이터를 기반으로 전체 수온 구간 및 저수온, 저-고수온, 고수온, 고-저수온 구간으로 나누어 에드워드병의 증상 패턴을 분석하였다. 실험을 통해 분석된 의사결정 나무의 증상 패턴에는 간 결절을 비롯하여 간 출혈, 간 조직 변성 등 간의 증상이 에드워드병의 판별 기준으로 선택되었다. 선택된 증상은 에드워드병의 주요한 증상으로 알려진 것이며, 분석된 결과가 에드워드병의 증상 패턴을 성공적으로 찾아주고 있음을 수산질병전문가의 자문을 통해 확인하였다.

ABSTRACT

Edwardsielosis is difficult to treat in cultured olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. It is present in the fish for a long period during all growth stages, and it often leads to mass mortalities. In this paper, the clinical patterns of Edwardsielosis were analyzed by dividing the data into the whole-water temperature, low-water temperature, low-high water temperature, high-water temperature, and high-low water temperature groups based on various clinical signs of diseased cultured olive flounder using a decision tree technique. In the clinical sign patterns in the decision trees analyzed in the experiment, clinical signs in the liver, such as liver nodules, liver hemorrhages, and liver degeneration, were selected as the criteria for determining Edwardsielosis. The selected clinical signs were known as the major clinical signs of Edwardsielosis, and through consultation with fishery disease experts, the analysis confirmed that the clinical signs of Edwardsielosis were successfully found in this study.

키워드

Edwardsielosis, *Paralichthys olivaceus*, Decision tree, Pattern analysis
에드워드병, 양식 넙치, 의사결정 나무, 패턴 분석

* 스마트수산양식연구센터 연구원(insungup@hanmail.net) · Received : May. 07, 2021, Revised : Jun. 27, 2021, Accepted : Aug. 17, 2021
** 전남대학교 수산생명의학과 교수(sungju@chonnam.ac.kr) · Corresponding Author : Jeong-Seon Park
*** 수산질병관리진단전문연구소 피쉬케어 소장
(sunghyun.kim@live.co.kr) · Division of Culture Contents, Chonnam National University
**** 전남대학교 문화콘텐츠학부 교수
(shhan@chonnam.ac.kr, hiteong@chonnam.ac.kr) · Email : jpark@jnu.ac.kr
***** 전남대학교 해양기술학부 교수(kimth@chonnam.ac.kr)
† 교신저자 : 전남대학교 문화콘텐츠학부 교수
· 접수일 : 2021. 05. 07
· 수정완료일 : 2021. 06. 27
· 게재확정일 : 2021. 08. 17

I. 서론

4차 산업혁명의 도래로 우리 사회 전반에 걸쳐 많은 변화와 발전이 이루어지고 있으며 스마트 수산양식도 미래 산업의 하나로 주목받고 있다[1]. 스마트 수산양식을 발전시키기 위해서는 안전하고 건강한 양식 어류의 효율적인 생산 및 관리가 필요하며, 특히 대량 폐사를 예방하기 위한 질병 관리가 매우 중요하다.

양식 어류에서 발생하는 질병을 원인으로 구분해 보면 병원체에 의한 세균성 질병, 기생충성 질병, 바이러스성 질병, 영양결핍 또는 사료산패에 의한 영양성 질병, 환경의 악화와 급격한 환경 변화에 의한 환경성 질병으로 나눌 수 있는데, 이들은 각각 독립적으로 또는 서로 연관되어 복합적으로 일어나는 경우가 대부분이다[2-3].

1980년대 후반부터 우리나라에 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 양식이 보급되면서 양식 초기에는 별다른 질병 증상을 찾아볼 수 없었으나 양식 횟수가 거듭되고 사육밀도가 높아지면서 비브리오팀, 연쇄구균증 및 에드워드병 등이 발생하여 많은 피해를 입고 있다. 특히, 에드워드병은 양식넙치에 있어 치료가 어렵고 성육 도중 모든 성장 단계에서 지속적으로 장기간에 걸쳐 어체 내에 존재하면서 폐사가 일어나는 특성이 있으며, 누적폐사량이 심한 양식장은 70~80%에 이르는 경우도 있어 양식넙치의 중요한 질병 중의 하나가 되고 있다[4].

양식넙치에서 에드워드병이 발생하는 가장 큰 이유는 밀식 사육하였을 때로 배설물과 먹이 찌꺼기가 잘 배출되지 못하여 사육 수조에 많은 세균이 증식하게 되는데 에드워드균은 증식 속도가 빨라 감염의 기회가 높기 때문이다[5]. 따라서 양식넙치의 성육 환경 개선 및 에드워드병에 대한 신속한 진단이 필요하다.

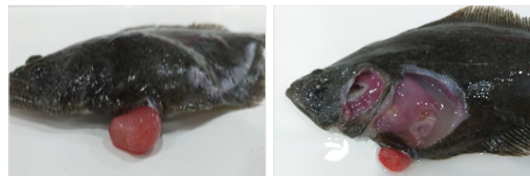
본 연구에서는 양식넙치의 에드워드병에 대한 신속한 진단을 위하여, 의사결정 나무(Decision tree) 분석 기법을 이용하여 양식넙치의 에드워드병에 대한 증상 패턴을 분석함으로써 진단 초기에 활용할 수 있는 의미 있는 증상 패턴을 찾고자 한다.

II. 관련 연구

2.1 양식넙치의 에드워드병

양식넙치의 에드워드병¹⁾은 세균성 질병 중의 하나로 *Edwardsiella piscicida*라는 그람음성 간균에 의하여 발생되며 사육밀도가 높아지고 수질이 악화되면 에드워드균이 급격히 증식하여 폐사의 주요 원인이 될 수 있다. 주로 수온이 23℃ 이상이 되는 5월에서 10월 사이의 고수온에서 유행되지만 해수를 가온시키는 순환수조에서는 연중 발생되는 경우도 있다[3]. 양식넙치에서 발생하는 에드워드병의 외부증상으로는 체색 흑화, 지느러미나 복부 발적 및 충혈, 복부 팽만, 탈장 등이 있으며, 해부 시에는 간장, 장, 복부 궤양과 악취가 나며 농이 나온다[6].

그림 1은 피쉬케어연구소에서 수집한 에드워드병의 증상을 보이는 양식넙치의 사진을 보여준다. 그림에서 (a)는 탈장(Intestine hernia), 체표 흑화(Skin darkening)와 복부 팽만(Abdominal distension)의 증상을 보이는 사진이며, (b)는 탈장, 체표 흑화, 복수(Ascites)와 간 출혈(Liver hemorrhages)의 증상을 보이는 사진이다.



(a) Intestine hernia, Skin darkening, Abdominal distension
(b) Intestine hernia, Skin darkening, Ascites, Liver hemorrhages

그림 1. 에드워드균에 감염된 양식넙치의 예
Fig. 1 Examples of olive flounder infected with *Edwardsiella piscicida*

2.2 IT 기반 넙치의 질병 진단 사례

IT를 접목하여 어류의 질병을 진단하는 연구 사례로는 어류에 질병이 발생하면 신속한 진단과 정확한 처방 정보를 제공하기 위하여 개발된 진단 도우미와 전문가로 구성된 2단계 어류 질병 진단 시스템이 있다[7].

이 시스템은 양식넙치에서 관찰되는 증상들을 바탕으로 후보 질병 이름과 확정 진단 방법을 제시하는 진단 도우미 시스템과 병원체의 현미경 영상으로부터 확정 진

1) <https://www.nifs.go.kr/fishguard/disease01.do/>

단된 질병명과 이에 맞는 약품 정보를 제공하는 진단 전문가 시스템으로 구성되어 있으며, 14종의 질병에 대하여 수온 및 어체의 성장 단계, 외부 관찰 증상, 내부 관찰 증상, 현미경 관찰 증상을 순차적으로 선택하면 후보 질병과 확정 진단을 위한 방법을 제시한다. 다음으로 도우미 단계에서는 정밀 현미경 관찰을 통한 확정 진단을 하도록 관정이 나면 병원체를 관찰한 정밀 현미경 영상으로부터 패턴 인식 기술을 활용하여 3종의 기생충성 병원체를 판별함으로써 정확한 질병을 진단한다. 마지막으로 진단된 질병에 맞는 처방과 약제 정보를 SMS를 통하여 양식 어민에게 알려주는 시스템이다.

그러나 이 시스템은 질병 진단 전문가의 진단 과정을 토대로 구축한 것이 아니라 질병 진단 사례 데이터를 통해서 진단 시스템을 구축한 것이다.

2.3 의사결정 나무의 적용 사례

의사결정 나무(Decision tree) 분석 기법은 통계학과 데이터 마이닝, 기계학습에서 주로 사용하는 예측 모델링 방법 중 하나로 의사결정 규칙(Decision rule)을 트리 구조로 표현하여 분류(Classification) 또는 예측(Prediction)을 수행하는 분석 방법으로 이해와 설명이 쉽다는 장점이 있다[8].

의사결정 나무 분석 기법이 적용된 사례로는 국민건강 영양조사 자료를 이용하여 한국 우울 노인의 자살 예방을 위한 교육 및 중재를 위해 자살 위험이 높은 집단의 특성을 규명하고자 하는 연구[9]와 우리나라 심혈관질환자의 재입원에 대한 위험 요인을 통합적으로 분석하여 심혈관 질환자의 재입원을 감소하고자 하는 연구[10]가 있다.

또한, 날씨 정보를 바탕으로 화재 발생 확률을 예측하여 막대한 재산과 인명 피해에 대비하기 위한 연구[11]와 남조류의 발생이 대량 번성 및 사멸에 따라 수체 내 산소 고갈 및 유기물 증가와 같은 문제를 야기하고 있어 낙동강 본류 구간의 선제적 녹조관리를 위한 연구[12] 등이 있다.

이처럼 의사결정 나무는 대용량 데이터로부터 숨겨진 유용한 정보를 시각적이고 명시적으로 표현하여 다양한 의사결정에 도움을 줄 수 있으므로 위험 요소를 예측하고 예방하고자 하는 연구 분야에 많이 활용되고 있다.

III. 실험 데이터

3.1 데이터 수집 및 전처리

의사결정 나무 분석 기법을 이용하여 양식넙치의 에드워드병에 대한 증상 패턴을 분석하기 위해 피쉬케어연구소²⁾에서 2016년부터 2018년까지 수집한 양식넙치의 질병진단 데이터를 사용하였다. 이 데이터는 제주지역 39곳의 양식장을 매주 1회 정기적으로 방문하여 질병 모니터링을 실시하고 대량 폐사가 발생하지 않은 상황에서도 외관상 건강상태가 상대적으로 나빠 보이는 개체를 1회당 5마리씩 채취하여 증상을 검사하고 질병을 진단한 데이터이다[13].

수집한 질병진단 데이터에는 현미경 검경 등 여러 증상에 결측치를 포함하고 있어 전처리를 통해서 결측치 데이터를 제거하였다. 결측치를 제거한 후 실험에 사용한 데이터는 2016년은 301개, 2017년은 1,933개, 2018년은 3,514개로 총 5,748개이다(표 1).

표 1. 실험 데이터
Table 1. Experimental data

Year	Source data(n)	Used data(n)
2016	709	301
2017	2,180	1,933
2018	3,558	3,514
Total	6,447	5,748

실험 데이터는 양식넙치의 증상과 질병 진단 정보로써 수온과 체표 흑화(Skin darkening), 두부 염증(Head inflammation), 안구 염증(Eye inflammation), 복부 팽만(Abdominal distension), 탈장(Intestine hernia) 등 50개의 외부 증상(External clinical signs)과 간 출혈(Liver hemorrhages), 간 결절(Liver nodule), 간 조직변성(Liver degeneration), 신장 비대(Kidney enlargement), 복수 증중(Severe ascites) 등 45개의 내부 증상(Internal clinical signs)을 포함한다. 그리고, 진단한 질병에는 넙치에서 자주 검출되며 폐사를 일으키는 비브리오팀(Vibrio spp.), 슈도모나스균(Pseudomonas spp.), 에드워드균(Edwardsiella piscicida), 연쇄구균(Streptococcus parauberis), 스쿠티카충(Scuticociliatida), 아메바(Amoeba), 익티오보도충(Ichthyobodo sp.)의 7개의 주요

2) <http://www.fishcare.kr/>

병원체(major pathogens)와 넙치에서 주요 폐사 원인으로 작용하지 않거나 낮은 빈도로 검출되는 트리코디나(*Trichodina* sp.), 백점충(*Cryptocaryon irritans*), 선충(Nematoda), 촌충(Tapeworm), 포자충(Sporozoa), 흡충(Trematoda)의 6개의 기타 병원체(minor pathogens)로 구성된다. 이외에도 극히 드문 경우의 병원체가 있지만 본 논문의 분석에서는 제외하였다.

또한, 세균성 질병 진단 방법으로는 에드워드균을 선택 배양할 수 있는 SS한천배지(*Salmonella Shigella* agar)를 사용하였으며 에드워드균은 그림 2와 같이 검은 색의 콜로니를 형성한다. 추가 동정이 필요한 경우는 GSPs(gene specific primers)를 사용한 직접 콜로니 PCR(polymerase chain reaction)법을 사용하였다[13].

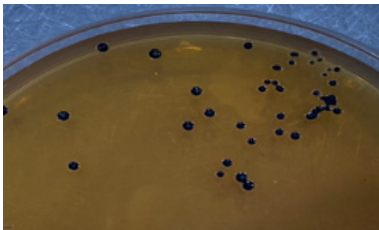


그림 2. 에드워드균의 콜로니
Fig. 2 Colonies of *Edwardsiella piscicida*

양식넙치의 에드워드병은 치어에서 성어에 이르기까지 모든 성장 단계에서 발생되며, 보통 수온이 23℃ 이상이 되는 5월에서 10월 사이에 주로 발생한다[5]. 따라서, 수온 환경의 변화에 따라 세균성 질병인 에드워드병의 분포를 알아보기 위하여 양식넙치의 질병진단 데이터를 수온과 계절을 함께 적용하여 수온 구간을 구분하였다.

이때, 수온은 양식장 내부에서 측정된 양식 수조의 사육 수온이라는 것을 고려하여 계절에 상관없이 수온이 22℃ 이상일 때를 고수온 구간(Temp.H)으로 구분하고, 연중 1월에서부터 5월까지의 저수온 구간(Temp.L), 수온이 22℃ 미만이면서 6월에서부터 8월까지의 수온이 점차 높아지는 시기이므로 저-고수온 구간(Temp.LH), 22℃ 미만이면서 9월에서부터 12월까지의 여름철의 높은 수온에서 점차 낮아지는 시기이므로 고-저수온 구간(Temp.HL)으로 정의하였다.

이 기준에 따라 5,748개의 양식넙치 데이터를 양식 수조의 사육 수온에 따라 정해진 4개의 수온 구간별로 구분하였으며, 저수온 구간 2,074개, 저-고수온 구간 1,059개, 고수온 구간 547개, 고-저수온 구간 2,068개로 분류하였

다. 그리고, 4개의 수온 구간별로 7개의 주요 병원체 그룹과 6개의 기타 병원체 그룹, 어떤 질병에도 감염되지 않은 그룹으로 다시 분류하였다.

각 수온 구간에 대해서 7개의 주요 병원체와 6개의 기타 병원체에 감염된 비율을 비교한 결과 그림 3과 같은 질병 분포를 보였다. 종묘 넙치를 입식하여 기간이 얼마 지나지 않은 저-고수온 구간(Temp.LH)에서는 질병 분포가 22%로 가장 낮았으며, 고수온 구간(Temp.H)과 고-저수온 구간(Temp.HL) 그리고 저수온 구간(Temp.L)에서는 각각 25%, 27%, 26%로 지속적으로 질병이 발생하고 있음을 보여준다.

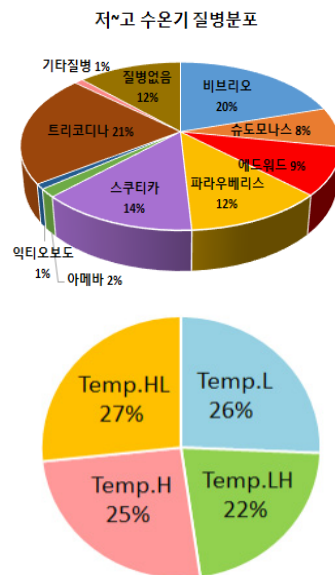


그림 3. 수온 구간에 따른 양식넙치의 단독감염 분포

Fig. 3 Distribution of single infections of cultured olive flounder according to water temperature groups

3.2 수온 구간별 단독감염 질병 분포

실험 데이터에서 에드워드병이 차지하는 분포를 확인하기 위하여 수온 구간별로 7개의 주요 병원체인 비브리오균(*Vib.*), 슈도모나스균(*Pse.*), 에드워드균(*Edw.*), 연쇄구균(*Str.*), 스쿠티카충(*Scu.*), 아메바(*Amo.*), 익티오보도충(*Ich.*)과 기타 병원체(*Minor*), 그리고 주요 병원체와 기타 병원체 모두 검출되지 않은 데이터(*None*)의 비율을 비교하였다 (그림 4).

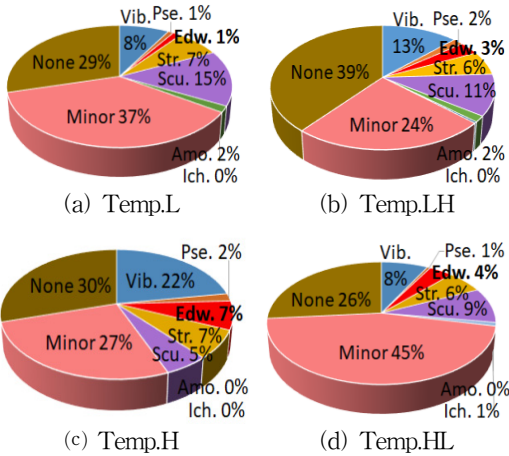


그림 4. 수온 구간별 병원체 각각의 단독감염 분포
Fig. 4 Distribution of single infections with each pathogen by water temperature group

에드워드균은 1월에서 5월까지의 저수온 구간(Temp.L)에서는 1.32%, 6월에서 8월까지의 저-고수온 구간(Temp.LH)에서는 3.33%, 22°C 이상의 고수온 구간(Temp.H)에서는 7.14%, 9월에서 12월까지의 고-저수온 구간(Temp.HL)에서는 3.91%로 분류되었다. 이 결과에서 알 수 있듯이 에드워드균은 주로 고수온 구간(Temp.H)과 고-저수온 구간(Temp.HL)에서 검출률이 높아지는 것을 확인하였다.

3.3 질병 간의 상관관계

에드워드병과 다른 질병 사이의 상관성을 알아보기 위하여 파이 계수(Phi coefficient)³⁾를 측정하였다. 이 계수는 두 변수 모두 질적으로 양분되는 이산적인 경우에 상관 정도를 파악할 수 있는 계수이다.

표 2. 에드워드균과 다른 병원체와의 상관관계
Table 2. Correlation between *Edwardsiella piscicida* and other pathogens

Pathogens	Phi Coef.
<i>Vibrio</i> spp.	0.21646860
<i>Pseudomonas</i> spp.	0.14022000
<i>Ichthyobodo</i> sp.	0.05003377
<i>Streptococcus parauberis</i>	0.01023207
Amoeba	-0.03613051
Scuticociliatida	-0.09599483

표 2를 보면 에드워드균과 비브리오균이 가장 높은 상관관계를 가지고 있어서 주요 병원체 중에서 비브리오병이 에드워드병과의 복합감염이 가장 많이 발생하는 것으로 나타났다. 하지만, 에드워드균과 비브리오균에 대한 파이 계수의 값이 약 0.216으로 0.3 미만이므로 상관관계가 높다고 할 수는 없다.

IV. 실험 및 결과 분석

본 연구에서는 의사결정 나무 분석 기법으로 에드워드병의 증상 패턴을 분석하기 위하여 R 언어를 사용하였으며, 에드워드병의 증상 패턴을 분류하고 분석할 때는 rpart() 함수를, 의사결정 나무를 시각화할 때는 rattle() 함수를 이용하였다. rpart() 함수를 사용할 때 에드워드균의 단독감염 여부를 의사결정 나무의 종속변수로 설정하고, 양식넙치의 외부증상(ES: External clinical signs)과 내부증상(IS: Internal clinical signs)은 독립변수로 설정하였으며, 독립변수와 종속변수를 범주화하여 분석을 수행하였다. 그리고 CP(complexity parameter)값과 의사결정 나무의 최대 깊이(maxdepth), 노드에서의 최소 관측치 개수(minsplit)의 조절을 통해 의사결정 나무를 최적화하였다[14].

또한, 앞에서 설명한 바와 같이 양식넙치의 에드워드병이 수온 환경에 따라 증상이 다르게 나타나는 특성이 있는지를 확인하기 위하여, 전체 수온 구간과 저수온 구간(Temp.L), 저-고수온 구간(Temp.LH), 고수온 구간(Temp.H), 고-저수온(Temp.HL)으로 나누어서 의사결정 나무 분석을 수행하였다.

각 구간별로 에드워드균에 단독감염된 데이터와 어떤

3) https://en.wikipedia.org/wiki/Phi_coefficient

질병에도 감염되지 않은 데이터를 사용하여 분석을 수행하였으며, 여기에서 어떤 질병에도 감염되지 않은 데이터의 의미는 임상 증상은 있지만 주요 병원체와 기타 병원체가 모두 검출되지 않은 데이터를 의미한다.

의사결정 나무에서 노드(Node) 색상의 진하기로 이 노드가 얼마나 순수한지를 확인할 수 있다. 즉, 의사결정 나무의 파란색 노드와 연두색 노드들이 1.00(100%)에 가까울수록 진한 농도로 보이며, 이는 판정의 정확도로 간주할 수 있다. 그리고 전체 관측치 중에서 각 노드에 속하는 비율을 넘치의 해당 임상에 대한 증상이 “있음(Y)”과 “없음(N)”으로 구분하고, 맨 아랫줄에 위치한 터미널 노드(Terminal node)의 백분율은 전체 관측치 중에서 노드

에 포함된 관측치의 비율을 나타낸다. 또한, 분류 결과는 “감염이다(Infected)”와 “감염이 아니다(Uninfected)”로 판정하며, 연두색 노드가 “감염이다(Infected)”로 판정되는 경우이다.

4.1 전체 수온 구간에서의 에드워드병 단독감염 분석

전체 수온 구간에서 에드워드병의 단독감염을 분석하기 위해서 5,748개의 전체 양식넙치 데이터 중 에드워드균에 단독감염된 84개의 데이터와 어떤 질병에도 감염되지 않은 822개의 데이터로 의사결정 나무를 구성하였다 (그림 5).

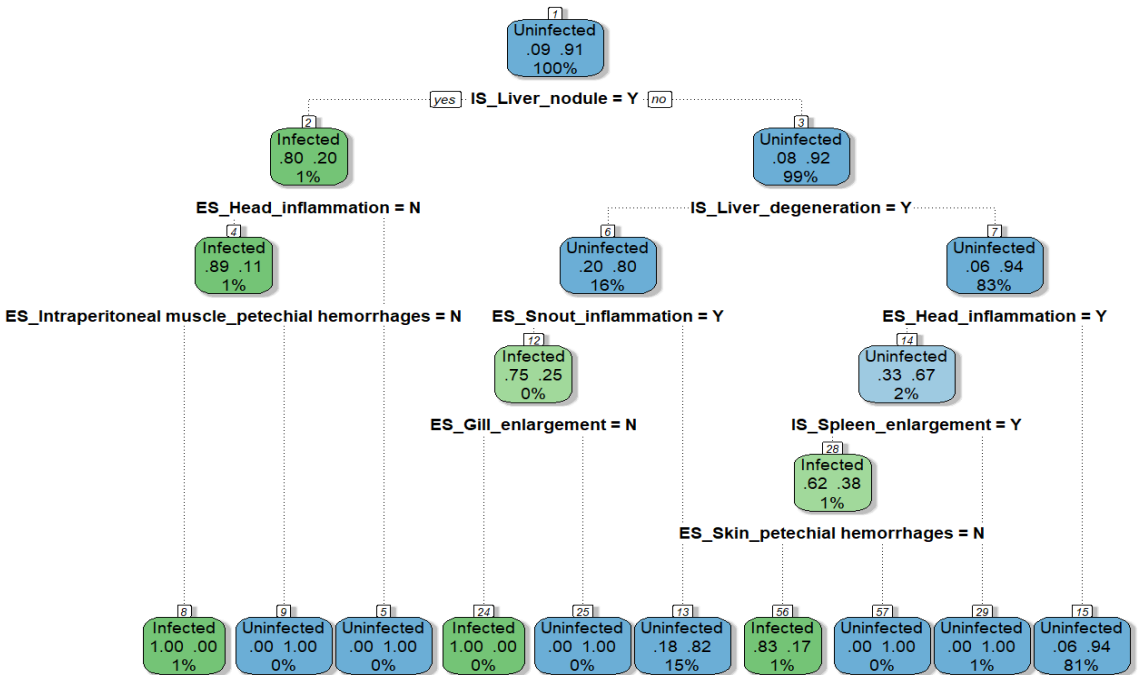


그림 5. 전체 수온 구간에서 에드워드 단독감염의 증상 패턴을 찾기 위한 의사결정 나무

Fig. 5 Decision tree to identify the clinical sign patterns of a single infection with *Edwardsiella* in the whole-water temperature group

그림 5를 보면 전체 수온 구간에서 에드워드병의 단독 감염은 뿌리 노드(Root node)에 명시된 바와 같이 분석 데이터 중에서 약 9%에 해당하며, 에드워드병의 단독 감염을 판정할 수 있는 경우는 맨 아랫줄의 세 가지 경우이다. 첫 번째는 노드 8번의 경우로, 간 결절(Liver nodule)이 있으며 두부에 염증(Head inflammation)이 없고 복강

내근에 점상출혈(Petechial hemorrhages of Intraperitoneal muscle)이 없을 때 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 두 번째는 노드 24번의 경우로, 간 결절은 없으나 간 조직변성(Liver degeneration)이 있고 주둥이 염증(Snout inflammation)이 있으며 아가미는 비대(Gill enlargement)하지 않을 때 “에드워드균 단독

감염이다”라고 판정할 수 있다. 마지막으로 세 번째는 노드 56번의 경우로, 간 결절이 없고 간 조직변성은 없으나 두부 염증(Head inflammation)이 있고 비장이 비대(Pale spleen)하고 체표 점상출혈(Skin petechial hemorrhages)이 없으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다.

전체 저수온 구간의 패턴 분석에서는 첫 번째로 간 결절이, 두 번째로 간 조직변성이 주요한 판별 기준으로 판별되었다. 이는 에드워드병의 주요한 임상 증상으로 알려져 있으므로 의미있는 증상 패턴 분석이라고 볼 수 있다.

4.2. 저수온 구간별 에드워드병의 단독감염 분석

가. 저수온 구간의 에드워드병 단독감염 분석

1월부터 5월에 해당하는 저수온 구간의 양식넙치 데이터 2,074개 중에서 에드워드균에 단독감염된 데이터 13개와 어떤 질병에도 감염되지 않은 데이터 287개로 의사결정 나무를 구성하였다(그림 6).

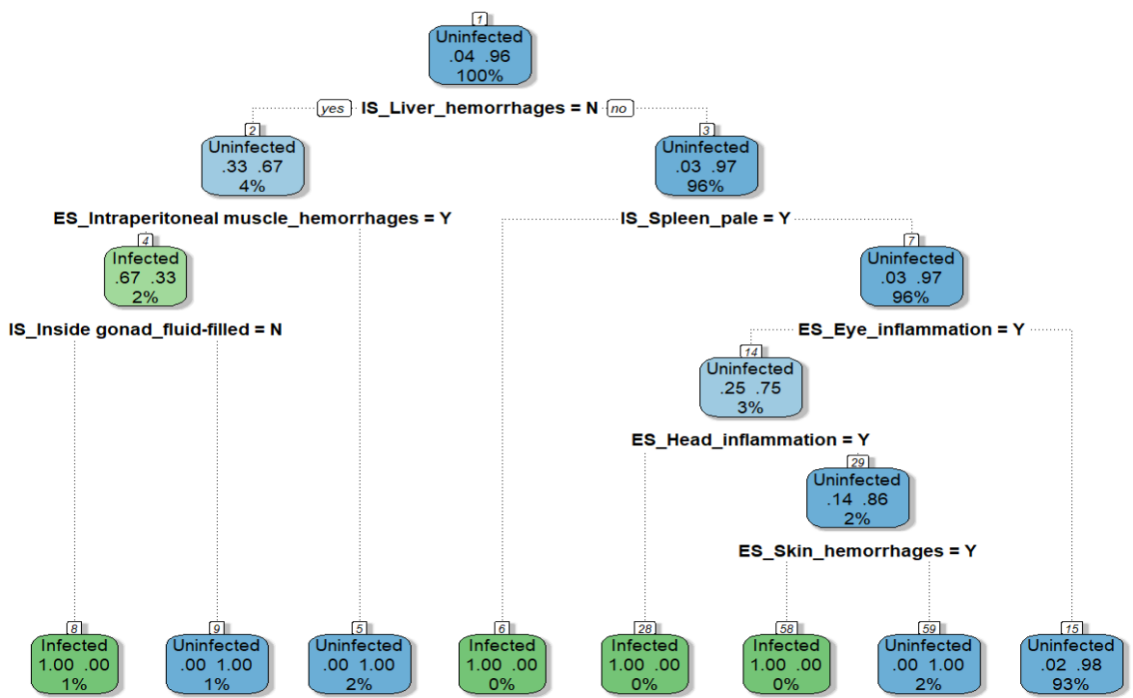


그림 6. 저수온 구간에서 에드워드 단독감염의 증상 패턴을 찾기 위한 의사결정 나무

Fig. 6 Decision tree to identify the clinical sign patterns of a single infection with *Edwardsiella* in low-water temperature group

그림 6을 보면 저수온 구간에서 에드워드병의 단독감염은 뿌리 노드에 명시된 바와 같이 분석 데이터 중에서 약 4%에 해당하며, 에드워드병의 단독감염을 판정할 수 있는 경우는 네 가지가 있다. 첫 번째는 노드 8번의 경우로 간 출혈(Liver hemorrhages)은 없으나 복강내근의 출혈(Hemorrhages of Intraperitoneal muscle)이 있으며 생식소내 물참(Fluid-filled inside gonad)은 없을 때 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 두 번째는 노

드 6번의 경우로, 간 출혈이 있고 비장이 창백(Pale spleen)하면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 세 번째는 노드 28번의 경우로, 간 출혈이 있고 비장은 창백하지 않으나 안구 염증(Eye inflammation)이 있고 두부 염증(Head inflammation)도 있으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 마지막으로 네 번째는 노드 58번의 경우로, 간 출혈이 있고 비장은 창백하지 않고 안구 염증이 있으나 두부 염증은 없고 체표 출혈

(Skin hemorrhages)이 있으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다.

그러나, 그림 6에서는 에드워드병의 주요한 증상이 판별 기준으로 나타나지 않았다. 이는 저수온 구간에서는 에드워드균이 분리되더라도 에드워드병의 주요 증상이 나타나지 않을 수 있기 때문이다. 즉 에드워드균이 고수온성 세균이므로 저수온 구간에서는 폐사를 일으킬만한 주요 증상이 거의 나타나지 않았다고 해석할 수 있다.

나. 저-고수온 구간의 에드워드병 단독감염 분석
 저-고수온 구간은 연중 수온이 대체로 낮은 1월에서 5월까지의 저수온기를 지나 수온이 상승하는 6월부터 8월까지이며 22℃ 미만의 양식넙치 데이터 1,059개 중에서 에드워드균의 단독감염 19개와 어떤 질병에도 감염되지 않은 데이터 223개로 의사결정 나무를 구성하였다(그림 7).

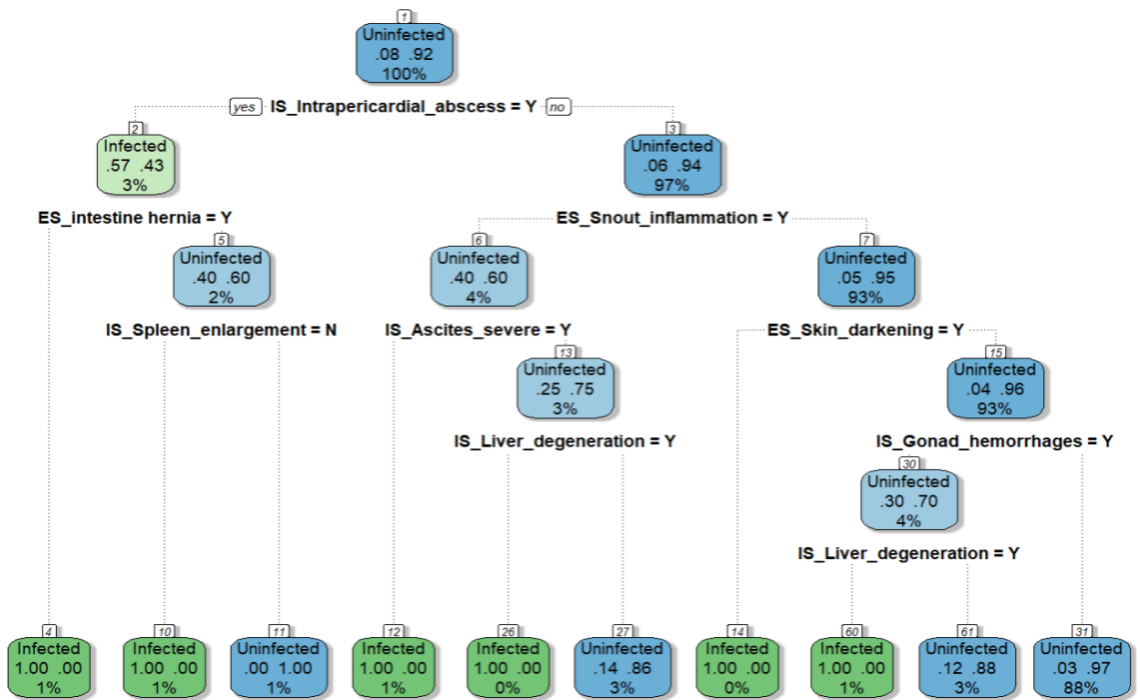


그림 7. 저-고수온 구간에서 에드워드 단독감염의 증상 패턴을 찾기 위한 의사결정 나무

Fig. 7 Decision tree to identify the clinical sign patterns of a single infection with *Edwardsiella* in low-high water temperature group

그림 7의 뿌리 노드에 명시된 바와 같이 저-고수온 구간에서 에드워드병의 단독감염은 분석 데이터 중에서 약 8%에 해당하며, 에드워드병의 단독감염을 판정할 수 있는 경우는 여섯 가지가 있다. 첫 번째는 노드 4번의 경우로, 심막내 고름(Intrapericardial abscess)이 있고 탈장(Intestine hernia)이면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 두 번째는 노드 10번의 경우로, 심막내 고름이 있고 탈장이 아니며 비장이 비대(Spleen enlargement)하지 않으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 세 번째는 노드 12번의 경우로, 심막내

고름은 없으나 주둥이 염증(Snout inflammation)이 있고 복수가 중증(Severe ascites)이면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 네 번째는 노드 26번의 경우로, 심막내 고름은 없으나 주둥이 염증이 있으며 복수 중증은 아니지만 간 조직변성(Liver degeneration)이 있으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 다섯 번째는 노드 14번의 경우로, 심막내 고름도 없고 주둥이 염증도 없으나 체표 흑화(Skin darkening)이면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 마지막으로 여섯 번째는 노드 60번의 경우로, 심막내 고름도 없고 주둥

이 염증도 없고 체표 흑화도 아니지만 생식소 출혈(Gonad hemorrhages)이 있고 간 조직변성이 있으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다.

저-고수온 구간에서 에드워드병과 관련된 증상의 첫 번째 인자로 심막내 고름이 판별되었는데 이는 연쇄구균의 감염증상이다. 수온이 상승하는 시기에는 연쇄구균도 발병하는 시기이므로 항생제(베타락탐계)를 사용한다. 베타락탐계(beta-lactam) 항생제는 연쇄구균(그람양성)에 맞춰진 항생제이므로 에드워드균에는 그 효과가 미비하다. 따라서 항생제 사용으로 심막내 고름은 보이나 연쇄구균이 검출되지 않아 에드워드균 단독감염으로 확인된 경우라고 판단된다. 즉, 저-고수온 구간의 증상 패턴

분석에서는 연쇄구균과 에드워드균의 임상 증상이 함께 나타난 것이라 볼 수 있다.

다. 고수온 구간의 에드워드병 단독감염 분석

고수온 구간은 전체 데이터 중에서 계절에 상관없이 양식넙치의 환경 수온이 22℃ 이상에 해당하는 양식넙치 547개의 데이터 중에서 에드워드균의 단독감염 15개와 어떤 질병에도 감염되지 않은 데이터 62개로 의사결정 나무를 구성하였다(그림 8). 고수온에서는 양식넙치의 질병이 복합감염의 형태로 많이 발생하고 있어서 단독감염 데이터의 수와 어떤 질병에도 감염되지 않은 데이터의 수가 상대적으로 적다.

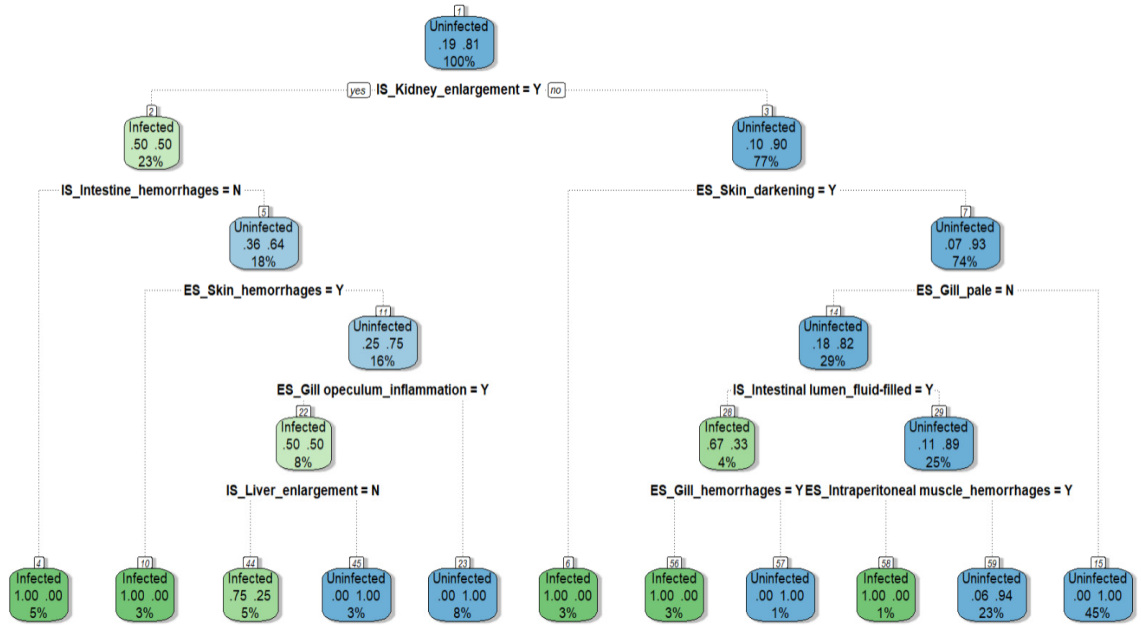


그림 8. 고수온 구간에서 에드워드 단독감염의 증상 패턴을 찾기 위한 의사결정 나무

Fig. 8 Decision tree to identify the clinical sign patterns of a single infection with *Edwardsiella* in high-water temperature group

그림 8의 뿌리 노드에 명시된 바와 같이 고수온 구간에서 에드워드병의 단독감염은 분석 데이터 중에서 약 19%에 해당하며, 에드워드병의 단독감염을 판정할 수 있는 경우는 여섯 가지가 있다. 첫 번째는 노드 4번의 경우로, 신장이 비대(Kidney enlargement)하고 장 출혈(Intestine hemorrhages)이 없으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 두 번째는 노드 10번의 경우로, 신장이 비대하고 장 출혈이 있고 체표 출혈(Skin hemorrhages)

이 있으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 세 번째는 노드 44번의 경우로, 신장이 비대하고 장 출혈이 있고 체표 출혈은 없고 아가미뚜껑 염증(Gill opeculum inflammation)이 있으나 간이 비대(Liver enlargement)하지 않으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 네 번째는 노드 6번의 경우로, 신장이 비대하지 않고 체표 흑화(Skin darkening)이면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 다섯 번째는 노드

56번의 경우로, 신장이 비대하지 않고 체표 흑화도 아니고 아가미가 창백(Gill pale)하지 않지만 장내 물참(Fluid-filled Intestinal lumen)이 있고 아가미 출혈(Gill hemorrhages)이 있으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 마지막으로 여섯 번째는 노드 58번 경우로, 신장이 비대하지 않고 체표 흑화도 아니고 아가미가 창백(Gill pale)하지 않고 장내에 물참이 없지만 복강내근 출혈(Hemorrhages of Intraperitoneal muscle)이 있으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다.

고수온 구간에서 에드워드병과 관련된 증상의 첫 번째

인자로 신장 비대가 판별되었는데 이는 에드워드균 감염이 급성으로 이루어질 때 나타나는 임상 증상이라고 할 수 있다.

라. 고-저수온 구간의 에드워드병 단독감염 분석

고-저수온 구간은 수온이 점차 낮아지는 9월부터 12월 까지이며 22℃ 미만에 해당하는 양식업치 2,068개의 데이터 중에서 에드워드균의 단독감염 데이터 37개와 어떤 질병에도 감염되지 않은 데이터 250개로 의사결정 나무를 구성하였다(그림 9).

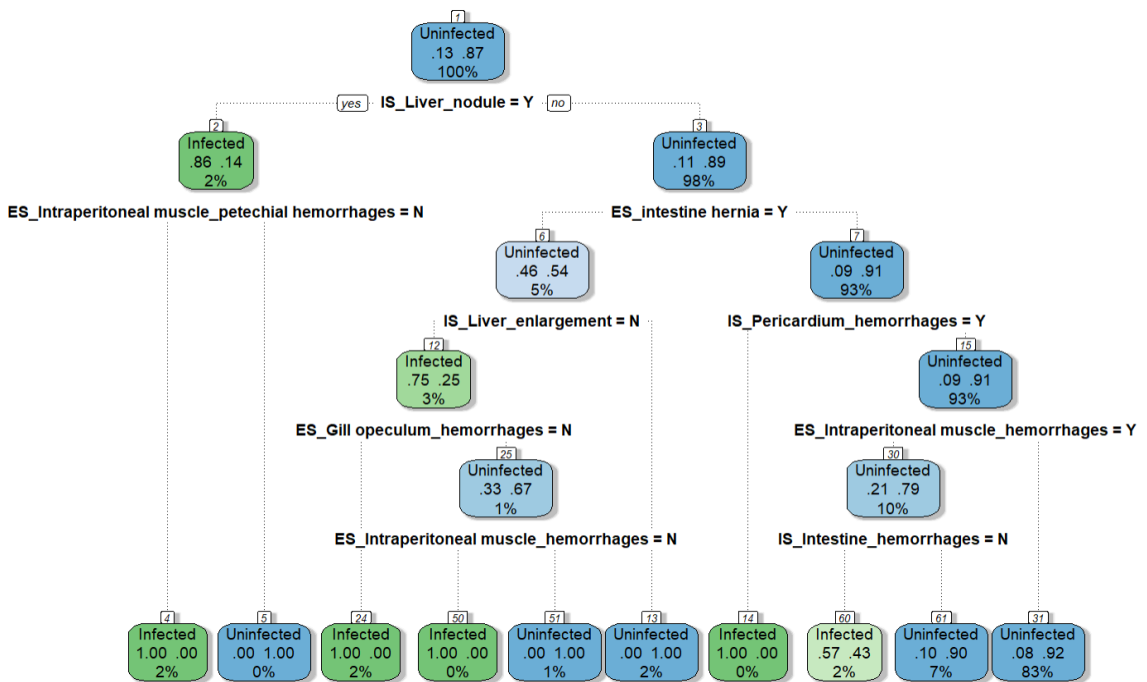


그림 9. 고-저수온 구간에서 에드워드 단독감염의 증상 패턴을 찾기 위한 의사결정 나무

Fig. 9 Decision tree to identify the clinical sign patterns of a single infection with *Edwardsiella* in high-low water temperature group

그림 9의 뿌리 노드에 명시된 바와 같이 고-저수온 구간에서 에드워드병의 단독감염은 분석 데이터 중에서 약 13%에 해당하며, 에드워드병의 단독감염을 판정할 수 있는 경우는 다섯 가지가 있다. 이 중에서 첫 번째는 노드 4번의 경우로, 간 결절(Liver nodule)이 있고 복강내근 점상출혈(Petechial hemorrhages of Intraperitoneal muscle)이 없으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 두 번째는 노드 24번의 경우로, 간 결절은

없으나 탈장(Intestine hernia)이 있고 간이 비대(Liver enlargement)하지 않고 아가미뚜껑 출혈(Gill opeculum hemorrhages)이 없으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 세 번째는 노드 50번의 경우로, 간 결절은 없으나 탈장이 있고 간이 비대하지 않고 아가미뚜껑 출혈이 있지만 복강내근 출혈(Hemorrhages of Intraperitoneal muscle)이 없으면 “에드워드균 단독감염이다”라고 판정할 수 있다. 네 번째는 노드 14번의 경우

로, 간 결절이 없고 탈장은 아니지만 심장막 출혈(Pericardium hemorrhages)이 있으면 “에드워드균 단독 감염이다”라고 판정할 수 있다. 마지막으로 다섯 번째는 노드 60번의 경우로, 간 결절이 없고 탈장이 아니며 심장막 출혈이 없지만 복강내근 출혈이 있고 장 출혈(Intestine hemorrhages)이 없으면 “에드워드균 단독 감염이다”라고 판정할 수 있다.

고-저수온 구간에서 에드워드병과 관련된 증상으로 첫 번째로 간 결절 증상이, 두 번째로 탈장 증상이 판별되었다. 이는 에드워드병의 주요한 임상 증상으로써 의미 있는 증상 패턴 분석 결과라고 볼 수 있다.

4.3 실험 결과 고찰

본 연구에서는 의사결정 나무 분석 기법을 이용하여 발병한 양식넙치의 다양한 증상과 진단에 대한 데이터를 기반으로 에드워드병의 증상 패턴을 분석하고자 하였으며, 에드워드병이 주로 고수온에서 발병하는 특징이 있어서 수온과 증상과의 관계를 확인하기 위하여 전체 수온 구간 및 4개의 수온 구간으로 나누어 에드워드병의 증상 패턴을 분석하였다. 분석을 통해 찾은 에드워드병의 주요 증상 패턴은 표 3과 같다.

표 3. 수온 구간별로 찾아진 에드워드병의 증상 패턴의 예

Table 3. Examples of Edwardsielliosis's clinical sign patterns found in each water temperature group

Group	Decision Tree rule
Temp.All	IS_Liver_nodule = Y & ES_Head_inflammation = N & ES_Intraperitoneal muscle _petechial hemorrhages = N
Temp.L	IS_Liver_hemorrhages = Y & IS_Spleen_pale = Y
Temp.LH	IS_Intrapericardial_abscess = Y & ES_intestine hernia = Y
Temp.H	IS_Kidney enlargement = N & ES_Skin darkening = Y
Temp.HL	IS_Liver_nodule = Y & ES_Intraperitoneal muscle _petechial hemorrhages = N

넙치에서 에드워드균에 감염된 초기에는 출혈과 각 장기의 크기가 커지는 증상이 나타나고 증상이 심해지면 복수와 탈장 그리고 간의 농양과 결절이 생기게 된다. 체표를 비롯한 각 장기의 출혈이나 비장과 신장의 종대, 탈장은 연쇄구균과 바이러스성 출혈성 패혈증 등에서도 공통적으로 나타나는 증상이지만 간 결절은 에드워드병의 특징적인 증상으로 다른 질병과 구분되는 증상이다. 간 결절은 에드워드병이 치료가 되지 않고 오랫동안 체내에서 질병을 일으키는 상태인 만성 질병의 특이적 형태이다.

분석된 결과를 살펴보면, 전체 수온(Temp.All) 구간의 에드워드병 감염어로 분석한 결과와 고-저수온(Temp.HL) 구간을 에드워드병 감염어로 분석한 결과에서 간 결절이 에드워드병 판별을 위한 주요 증상으로 선택된 것으로 보아 의사결정 나무를 이용한 분석법이 양식넙치의 에드워드병 증상 패턴을 분석하는데 이용될 수 있음을 확인하였다. 또한 간 결절을 비롯하여 간 출혈, 간 조직변성, 간 비대 등 간의 증상이 에드워드병의 주요한 판단 기준으로 분석되었는데 이는 에드워드병의 특징을 잘 반영하고 있는 것으로 보인다.

넙치 양식장들은 수산질병관리사들이 정기적으로 방문하여 질병의 발생을 관리하고 있다. 이번 연구의 데이터는 정기검진의 결과를 수집한 것으로 양식장을 방문하여 상태가 나빠 보이는 것을 골라 검사에 사용한 것이다 [13]. 즉, 질병이 발생하지 않은 건강한 개체의 수가 상대적으로 적었으며, 반대로 감염이 되었지만 아직 초기 단계여서 임상 증상이 심하게 나타나지 않은 개체가 다수 분석 대상에 포함되었다. 따라서 각 질병의 특이적인 증상을 나타내지 않는 경우가 많았다.

그럼에도 불구하고 의사결정 나무로 분석한 결과에서 에드워드병의 판정을 위한 주요한 인자를 찾아낸 것으로 판단되며, 추후 의사결정 나무 분석에 사용할 수 있는 데이터를 더 많이 수집하고 이를 활용한다면 어류의 다른 질병의 분석 및 복합감염의 분석에도 적용이 가능할 것으로 보인다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문은 양식넙치에 있어 치료가 어렵고 성육 도중 모든 성장 단계에 지속적으로 장기간에 걸쳐 어체 내에 존재하면서 폐사를 일으키고 증식 속도가 빠르게 확산하

는 에드워드병에 대한 의미 있는 증상 패턴을 찾기 위해 의사결정 나무 분석 기법을 사용하였다. 분석에 사용한 데이터는 에드워드병이 수온에 따라 발병 패턴이 달라지므로 외부증상, 내부증상, 현미경 검사, 질병 진단 등을 포함한 질병진단 데이터와 수온 정보를 사용하여 수온 구간별로 에드워드병에 대한 증상 패턴을 분석하였다.

의사결정 나무로 분석한 결과에서 간 결절을 비롯하여 간 출혈, 간 조직 변성 등 간의 증상이 에드워드병의 판별 기준으로 선택되었다. 즉, 에드워드병을 판정하기 위한 주요한 인자를 찾아낸 것으로 보아 어류의 다른 질병의 분석에도 적용할 수 있음을 수산질병전문의가의 자문을 통하여 확인하였다.

추후, 의사결정 나무 분석에 사용할 수 있는 데이터를 더 많이 수집하고 이를 활용한다면 에드워드병의 증상 패턴 분석의 신뢰도가 높아질 것이며, 다른 질병에 단독 감염된 어류뿐만 아니라 복합감염된 어류에 대한 증상 패턴 분석에도 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (스마트 수산양식 연구센터).

References

- [1] I. Kwon, H. Ceong, J. Lee, E. Kim, W. Kim, S. Kang, M. Hwang, and T. Kim, "Establishment of a development direction for smart aquaculture technology through patent analysis and a demand survey of experts and fishermen," *J. of the Korean Society of Fisheries Technology*, vol. 55, no. 4, Nov. 2019, pp. 378-391.
- [2] M. Kim, "Disease management of aquaculture animals," *Report*, 2014.
- [3] J. Shim, S. Hwang, S. Jang, T. Kim, and J. Jeong, "Monitoring of the mortalities in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) farms of Korea," *J. Fish Pathol*, vol. 32, no. 1, June 2019, pp. 29-35.
- [4] J. Bang, S. Chun, S. Park, and Y. Choi, "Studies on the biochemical and serological characteristics of *Edwardsiella tarda* isolated from cultured flounder, *Paralichthys olivaceus*," *J. Fish Pathol*, vol. 5, no. 1, 1992, pp. 29-35.
- [5] National Institute of Fisheries Science, "Standard Manual of Olive Flounder Culture," *Manual*, Apr. 2006.
- [6] M. Kwon and S. Jung, "Comparative Study of Pathogenicity Following Single or Coinfection with *Edwardsiella tarda* and *Streptococcus iniae* in Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*," *J. of fisheries and marine sciences education*, vol. 24, no. 4, Mar. 2012, pp. 591-601.
- [7] C. Han and J. Park, "Two-Stage Fish Disease Diagnosis System Comprised of a Diagnosis Guide and a Diagnosis Expert," *J. of Korean Institute of Next Generation Computing*, vol. 7, no. 5, Oct. 2011, pp. 54-61.
- [8] E. Unuzaya, S. Bak, D. Hwang, M. Jeong, N. Kim, and H. Yoon, "Study on Detection for *Cochlodinium polykrikoides* Red Tide using the GOCI image and Machine Learning Technique," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 06, Dec. 2020, pp. 1089-1098.
- [9] S. Hong and D. Lee, "Identification of High-risk Groups of Suicide from the Depressed Elderly using Decision Tree Analysis," *J. of Korean Academy of Community Health Nursing*, vol. 30, no. 2, June 2019, pp. 130-140.
- [10] H. Kim, "Convergence Analysis of Risk factors for Readmission in Cardiovascular Disease : A Machine Learning Approach," *J. of Convergence for Information Technology*, vol. 9, no. 12, Dec. 2019, pp. 115-123.
- [11] Y. Kim, J. Ryu, W. Song, and M. Kim, "Fire Probability Prediction Based on Weather Information Using Decision Tree," *J. of Korean Institute of Information Scientists and Engineers : Software and Applications*, vol. 40, no. 11, Nov. 2013, pp. 705-715.
- [12] W. Jung, B. Jo, Y. Kim, and S. Kim, "A

study on the characteristics of cyanobacteria in the mainstream of Nakdong river using decision trees," *J. of Wetlands Research*, vol. 21, no. 4, Nov. 2019, pp. 312-320.

- [13] H. Kim, S. Jung, S. Kim, J. Park, H. Ceong, and S. Han, "Data Mining for Scuticociliatosis Outbreak Patterns in Cultured Olive Flounder *Paralichthys olivaceus* in Jeju, Korea," *Korean J. Fish Aquat Sci*, vol. 53, no. 5, 2020, pp. 740-751.
- [14] M. Cho, "A Comparative Study on the Accuracy of Important Statistical Prediction Techniques for Marketing Data," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 4, 2019, pp. 775-780.

저자 소개



김경임(Kyeong-Im Kim)

1993년 전남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)

2013년 전남대학교 디지털컨버전스협동과정 졸업(이학석사)

2019년~현재 스마트수산양식연구센터 연구원
※ 관심분야 : 빅데이터 분석, ICT융합



정성주(Sung-Ju Jung)

1992년 부경대학교 수산생명의학과 졸업(이학학사)

1994년 미에(三重)대학교 대학원 생물자원학부 졸업(이학석사)

1997년 미에(三重)대학교 대학원 생물자원학부 졸업(수산학박사)

1997년~1998년 코치(高知)대학 조수
1998년~현재 전남대학교 수산생명의학과 교수
※ 관심분야 : 어류질병예방, 스마트양식



김성현(Sung-Hyun Kim)

2007년 부경대학교 수산생명의학과 졸업(이학사)

2009년 노르웨이수의과학대학 대학원 Aquatic Medicine학과 졸업(이학석사)

2015년 노르웨이생명과학대학교 대학원 Aquatic Medicine 졸업(이학박사)

2015년~현재 ㈜피슈케어 대표이사 겸 연구소장
2018년~현재 제주특별자치도 보건환경위원회
※ 관심분야 : 수산양식, 수산질병, 스마트양식



한순희(Soon-Hee Han)

1983년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1985년 광운대학교 전자계산학과 졸업(이학석사)

1993년 광운대학교 전자계산학과 졸업(이학박사)

1998년~현재 전남대학교 문화콘텐츠학부 교수
※ 관심분야 : 이동통신, 임베디드시스템, ICT융합



정희택(Hee-Taek Ceong)

1992년 2월 전남대학교 전산통계학과 학사

1995년 2월 전남대학교 전산통계학과 석사

1999년 8월 전남대학교 전산통계학과 박사

1999년~현재 전남대학교 문화콘텐츠학부 교수

※ 관심분야 : 데이터마이닝, 기계학습, 분산처리시스템, 빅데이터 분석



김태호(Tae-Ho Kim)

1991년 전남대학교 어업학과 졸업(수산학사)

1993년 부경대학교 대학원 수산물리학과 졸업(수산학석사)

2000년 부경대학교 대학원 해양공학과 졸업(공학박사)

1993년~2004년 국립수산과학원 수산연구사, 수산연구관

2004년~현재 전남대학교 해양기술학부 교수

2020년~현재 전남대학교 수산해양대학장 (스마트수산양식연구센터장)

※ 관심분야 : 어구공학, 스마트양식



박정선(Jeong-Seon Park)

1992년 충북대학교 컴퓨터과학과 졸업(이학사)

1994년 충북대학교 전산학과 졸업(이학석사)

2005년 고려대학교 컴퓨터학과 졸업(이학박사)

1994년~1999년 현대정보기술 선임연구원

2005년~현재 전남대학교 문화콘텐츠학부 교수

※ 관심분야 : 컴퓨터비전, 영상처리, ICT융합