육상 수조식 양식장 수질 환경의 통계적 분석

김해란* · 정희택*

Statistical Analysis of Water Quality in a Land-based Fish Farm

Hae-ran Kim* · Hee-taek Ceong*

요 약

본 연구는 양식장의 수질 환경 인자의 특성을 과학적으로 분석 요약하여 데이터에 의미를 부여하고자 하는 의도와 주기적 교체가 필요한 용존산소 센서에 대한 비용 절감 차원에서 용존 산소 예측을 위한 다중 회귀 모형식을 개발하는데 목적을 두었다. 고흥 거금도에 위치한 두 양식장의 2008.11월~2009.1월 동절기 데이터의 상관성 분석에서 수온은 용존산소와 pH에서는 음의 상관성을 나타냈고 pH는 염도와 용존산소에서 양의 상관성을 나타냈다. 2009년 금호수산 양식장의 수질인자에 대한 월별 통계량 값과 계절별 수질인자 간 차이를 표로 제시하였고 용존산소 예측을 위한 다중회귀 모형식을 개발하여 실제 관측치와 추정치와의 결과를 그래프로 제시하였다. 개발 된 다중 회귀식은 수온이 용존산소에 음의 영향을 주고 pH는 용존산소에 양의 영향을 준다. 또한 수온이 pH에 비해 용존산소 예측에 월등하게 큰 영향을 미치는 걸로 나타났다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze characteristics of water quality factor scientifically and develop the multiple regression model predicting dissolved oxygen to save periodic replacement costs for dissolved oxygen sensor. Correlation analysis using the environmental data obtained from 2 different land-based fish farms of the Geogeum-do, Geheung-gun coastal area during the periods from November 2008 to January 2009 shows that water temperature was negatively correlated with dissolved oxygen and pH but pH was positively correlated with salinity and dissolved oxygen. The information of Keumho fish farm in 2009 is presented by the tables which are monthly statistics of water quality factors and seasonable difference by the Duncan's post-test. Also we developed multiple regression model predicting dissolved oxygen, the usefulness of which was verified by the comparison graph between estimates and actual observations. The developed regression model shows that seawater temperature and salinity give negative affect to dissolved oxygen while pH gives positive affect to it. Lastly the seawater temperature has much higher explanatory power than pH factor.

키워드

다중회귀분석, 육상수조식 양식장, 수질 환경, 환경정보모니터링

Ⅰ. 서 론

폐 공간에 해수를 유입하여 순환시킨 수조식 구조에서 어류를 대량 양식하는 육상 수조식 양식장들은 수조 내 수질 환경에 대해 관심이 많다. 수조 내의 실시간 환경 정보를 모니터링 할 수 있는 것으로 제주자치도의 '양식지능화 시스템(u-fishfarm)'의 USN을 활용한 수조정보 실시간 모니터링 서비스 사업과 전

* 전남대학교 디지털컨버전스(hrankim@jnu.ac.kr)
* 전남대학교 디지털컨버전스(htceong@chonnam.ac.kr)
접수일자 : 2010. 09. 28 심사(수정)일자 : 2010. 10. 29 게재확정일자 : 2010. 12. 10

남대 친환경어류양식연구센터의 '환경정보 모니터링 시스템' 시범 사업 등에서 최적의 양식장 환경 유지를 위한 일련의 노력들을 찾아볼 수 있다.

특히 '환경정보 모니터링 시스템' 시범 사업은 친환경 수산물을 위한 생산 이력 자료의 근거로 상품의 신뢰성을 확보하고자 하는 생산자의 의도와 어업에서 IT 기술을 활용하여 생산성 향상에 도움을 주고자 하는 연구자들의 의도가 어울려 시작 된 것으로 전라남도고흥군 거금도에 위치한 경호수산과, 금호수산에 시스템을 각각 설치 운영 하였다. 현재는 2차 시범 양식장인 금호수산에서만 시스템이 가동 중에 있다.

수조 내에 설치된 지능형 센서로부터 매분 간격으로 관측 수집된 수질인자에 대해 인과관계, 상관성 등 통계적 분석 및 집계가 요구되어진다. 따라서 본 연구에서는 양식장에서 축적된 자료를 이용하여 과학적 방법에 의한 수질 분석의 통계 자료를 제시하고 양식장에 설치된 센서의 정기적인 보정 및 교체는 양식어민에게 비용문제를 발생시키므로 이를 해결하도록 용존산소 센서 없이 용존산소를 예측할 수 있는 다중회귀모형식을 제안하고 실제 데이터와의 적합성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장의 관련 연구로 환경정보 모니터링시스템과 통계분석을 이용한 실증 논문 사례들에 대해 기술하고 3장에서는 연구 방법에 대한 것으로 대상 양식장의 수집된 자료의 형태와 SAS를 이용한 통계분석 관련 내역을 기술한다. 4장에서는 결과 및 고찰로 통계 분석을 통한 동절기 두 양식장의 수질 데이터 비교와 금호수산의 월별 계절별 변화 분석, 연간 수질 데이터 차이 분석, 용존산소 예측을 위한 다중회귀 모형식에 대해 기술한다. 마지막으로 5장에서 결론과 향후 연구로 끝을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. 환경정보 모니터링 시스템

전라남도와 전남대학교 친환경어류양식연구센터의 주관 하에 시작 된 '환경정보 모니터링 시스템' 시범 사업은 시스템을 양식장 내 설치하여 어업생산자가 생산 현장에서 수조 내 수온, 염분 등의 수질 환경 정보를 모니터링 할 수 있게 하여 빠른 조치 및 대응을 할 수 있게 하여 줌으로써 양식어민에게 유용성과 편리함을 주고 있다.

환경정보 모니터링 시스템은 양식장 수조에 설치된 센서로부터 환경정보인 해수온도, 염분, 용존산소, pH, 클로로필 정보를 자동 수집하여 LCD 모니터에 시각적으로 표시하고 로컬 장비에 저장함은 물론 수집된 정보를 CDMA 통신을 이용하여 서버로 전송해 주는 기능을 한다[1].

그림 1. 센서 및 환경정보모니터링시스템
Fig. 1 Sensor and Environmental Information Monitoring System

또한 각종 모니터링 데이터를 기반으로 정상범위를 벗어난 요소에 대하여 SMS 경고 알람 기능도 제공한다. 이는 자연적, 인위적 해양환경 변화에 따른 조기 예측 및 사전조치가 가능하고 원거리에서 양식 환경 모니터링이 가능한 특징이 있다[1].

그림 2는 환경정보 모니터링 시스템을 위해 사용된 센서모듈 YSI-6920V2 이다.

그림 2. YSI-6920V2 센서 모듈 및 센서 외관
Fig. 2 Module and exterior of YSI-6920V2 sensor

초기에 사용된 센서는 멤브레인 방식의 센서모듈 YSI-600XL이였다. 그러나 이 센서는 넙치에서 분비되는 점액질과 육상 수조 양식장의 특성상 침전조에서 침전되지 않고 급수 펌프를 통하여 흘러나온 미세

한 뻘, 패류, 수중식물 포자 등이 수조로 바로 유입되어 멤브레인 조기 손상을 발생시켰다. 그리고 용존산소, 염도 센서에 의해 측정되는 용존산소와 염도 등의 데이터를 지속적으로 감소시키고 허용 범위치를 벗어나는 등의 문제점을 낳았다. 따라서 이를 해결코자 셀프 클리닝이 가능한 광학방식의 센서 모듈 YSI-6920V2 으로 교체하였고 그 후 안정적 동작을 하였다.

2.2. 통계 분석을 이용한 실증 사례

통계 분석을 통해 원시 데이터에 대해 과학적 의미를 부여한 논문의 실증 사례들이다.

먼저, 양식장 환경 특성에 관한 연구로 수질 등급 1등급을 유지하는 제주 지역의 제주 동원 양식장이 위치한 연안역에서 3,5,8월 그리고 11월에 해양 관측을 실시한 자료에 따르면 염분의 경우는 수온과 달리 균일한 분포를 보이며 염분 농도 폭은 3.5psu로 최고 35psu, 최저 31.psu로 나타났고 온도는 최고 26.7도, 최저 13.2도로 변동 폭이 13.5도를 나타냈다[2]. 그리고 동해 강릉 연안에서 30분 간격으로 측정된 수온, 염분, 용준산소, 수소이온농도에 대한 실시간 서비스를 제공하는 동해안 양식어장 정보 시스템에서 월 평균 수온 및 변동을 그래프로 제시하고 있다[3].

수집 축적 되어진 관측 수질 자료의 환경적 특성 파악을 위해 과학적인 통계적 분석 기법들이 활용되고 있다. 이를 이용한 예로는 군산 연안 해역의 관측 자료를 이용하여 수질 변동 특성을 조사하고 다변량통계 분석 기법인 요인분석과 시계열분석을 적용하여 군산 연안 해역의 시 공간적 특성에 따른 수질을 결정하는 주요인을 제시하고 수질 관리를 위한 기초 자료를 제공한 경우이다[4].

다중 회귀분석을 이용한 사례로는 지표 수리지질 인자, 관정제원 인자. 현장 수질등을 변수로 하고 천부 지하수와 암반 지하수 각각에 대해 다중 회귀 분석을 실시 하여 질산소 오염 평가에 어떤 변수가 중요한 정보를 제공하는 가를 입증하고 있다[5]. 그리고 자연휴양림이 가진 공통된 속성을 추출하여 어떠한 자연 휴양림의 물리적 환경적 속성들이 이용객의 확대에 영향을 미치는지 최적의 모형식을 제시하여 신설, 시설보수와 관리, 수익개선을 위한 기초 자료로 활용될 수 있게 한 사례도 있다[6].

전남서부해역 대상 수질 환경 및 영암염류 항목을 분석하여 양식어장의 환경 특성을 알리는 논문[7]은 평균, 표준편차, 최대, 최소인 기초 통계 자료와 항목 간 상관 분석을 통해 상관성을 제시하였고 지역별 정점 간 유사성을 알기 위해 군집분석을 통한 유사도 특성을 위해 나무 다이어그램(Dendrogram)을 제시 하였다.

III. 연구 방법

3.1. 대상 양식장 및 자료 수집

수집된 양직장 환경 정보 데이터는 전라남도 고흥군 거금도에 위치한 육상 수조식 양식장으로 유자 넙치 양식이 주 업종인 금호수산과 경호수산이다.

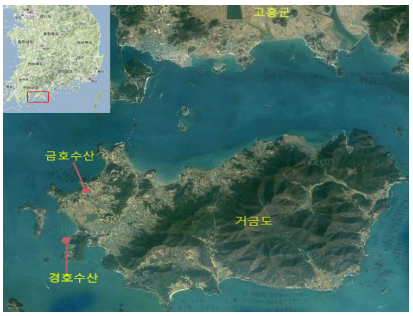

그림 3. 전남 고흥 연안지역 시범 양식장
Fig. 3 Map of sampling fish farms in coastal sea of Goheung-gun Jeollanam-do

양식장에서 수집된 데이터의 항목 및 기간은 표 1과 같다.

표 1. 측정 항목 및 기간
Table 1. Measurement item and period

구분	항목	기간	비고
경호수산	온도, 염도, DO, pH, 클로로필, 산소포화도	2008.2월 ~ 2009.1월	7월 미 관측, 8.13 이후 클로로필 관측.
금호수산	위와 동일	2008.11월 ~ 2010.1월	
	위와 동일, 전도도, 위도, 경도	2010.2월 ~ 2010.9월	위·경도, 전도도 관측값 추가 됨

환경정보모니터링 시스템에 의해 측정 항목이 매분 간격으로 로컬 장비에 저장되는 데 정기 점검 차 방문 시 취합된 것을 이용 하였다. 모니터링 시스템 프로그램 수정으로 2010년 2월 이후 금호수산의 데이터는 측정항목으로 위·경도, 전도도 값이 추가 되었다.

3.2. SAS 이용한 통계 분석

본 연구의 통계 분석을 위해 대표적 통계패키지인 SAS 9.2를 이용하였다. 활용된 SAS 프러시저는 관측치가 다른 집단 간의 차이 검정을 위해 proc glm, 상관 분석을 위해 proc corr, 정렬을 위해 proc sort, 수질 인자별 집계표를 위한 proc tabulate와 proc means, 단순 회귀 및 다중 회귀를 위한 proc reg, 그래프를 위해 proc gplot을 이용했다. 그리고 산점도 행렬을 위해선 솔루션-분석-대화식 데이터분석 메뉴를 선택하여 사용했다.

둘 이상의 설명변수들이 모형에 포함되는 다중회귀분석(multiple regression)은 설명변수 들 간의 상관성이 강하면 설명변수들이 종속 변수에 의외의 영향을 미칠 가능성이 높아 추정되는 회귀계수의 정확도를 떨어 뜨려 분석의 결과를 왜곡할 수 있다. 이는 다중공선성 문제로 다중공선성 진단을 통해 문제를 해결해야 한다.

표 2. SAS 예제 코드
Table 2. Example code of sas

```
proc reg data=set2;
      model do=tp ph sa cp/stb;
      reweight obs.= 133; reweight obs.= 139;
      plot student. * p. /vref=-2 2;
      output out=out1 student=sres;
proc univariate data=out1 normal plot;
      var sres;
```

보통 SAS의 다중공선성의 진단은 분산팽창 지수(VIF:Variance Inflation Factor), 상태지수(Condition Index)를 사용하여 평가하며 진단 결과 일반적으로 VIF 값이 10이상이면 설명변수가 다중 공선성 문제를 발생한다고 판단하고 해당 설명 변수를 모형에서 제거하는 과정이 수반된다.

표 2는 데이터 셋 set2에서 tp, ph, sa, cp를 이용하여 do 예측을 위한 다중회귀 분석을 위한 예제 코드이다

예제 코드에서 reweight문은 관측치 133, 139를 제외함을 의미하고 stb 옵션은 표준화 회귀계수를 출력하라는 것이다. 또한 plot 문에 의해 스튜던트 잔차와 예측값 산점도를 표시하여 등분산성을 검정할 수 있고 vref 옵션은 수평 참조선을 긋는 옵션이다. 그리고 스튜던트 잔차를 sres 변수로 따로 저장하여 univariate 문에 의해 잔차의 정규성 검증을 수행한 것이다. 또한 SAS의 다중 회귀분석에서 다중공선성 체크를 위해 옵션으로 vif와 collin을 사용하고 독립변수 선택 및 투입 순서 결정을 위해서는 selection=stepwise 옵션을, 이상치, 영향치 진단은 r와, influence 옵션을 사용한다.

Ⅳ. 결과 및 고찰

4.1. 동절기 두 양식장의 수질 데이터 비교

동절기 두 데이터의 특성을 비교 분석하기 위해 각 양식장의 2008.11월부터 2009년 1월 사이에 측정된 데이터를 분석에 이용하였다. 그러나 수조 청소 등 양식장 별 상황에 의해 관측수가 동일하지는 않다.

센싱 되어 분 단위로 기록되는 데이터를 일별 평균한 값을 이용하여 분석하여 양식장 별 월별 평균과 분산 값을 표 3에 나타내었다. A는 경호수산, B는 금호수산을 의미한다. 수질환경 데이터는 동절기 계절적 요인으로 11월에서 1월로 갈수록 낮은 온도를 유지하고 있다.

표 3. 경호수산, 금호수산 동절기통계량
Table 3. Statistics of water season in Kyungho and Keumho

월 \ 변수		Temp.		Sal.		DO		Chl.		pH		AS	
		Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
11	A	14.43	1.05	29.88	0..62	7.45	0.31	2.30	0.13	7.65	0.17	87.77	4.44
	B	13.86	1.20	31.17	0.34	8.16	0.26	1.20	0.35	7.83	0.10	95.66	2.36
12	A	11.88	1.65	29.797	0.92	8.10	0.69	2.01	0.13	7.67	0.34	90.22	4.86
	B	10.67	1.31	29.35	1.20	8.92	0.48	1.14	0.22	7.77	0.19	96.65	2.40
01	A	7.99	0.47	30.81	0.69	9.72	0.21	1.94	0.59	8.11	0.17	100.22	1.40
	B	7.37	0.52	30.75	0.56	10.05	0.24	1.31	0.52	8.14	0.06	102.15	1.51

변수 간 선형 상관성을 알아보기 위해 5 개 수질 항목에 대한 상관분석을 실시한 결과가 표 4이다. 계절적 인자인 수온은 용존산소(r=-0.95), pH(r=-0.60)와 음의 상관성을 보이고 염도와 pH(r=0.65), 용존산소와

pH(r=0.68)는 양의 상관성을 나타내었다.

표 4. 수질 환경 인자 간 상관행렬
Table 4. Correlation matrix of water quality factors

변수	수온	염도	용존산소	클로로필	pH
수온	1.000				
염도	-0.08	1.000			
용존산소	-0.95	0.15	1.000		
클로필.	0.12	0.13	-0.23	1.000	
pH	-0.60	0.65	0.68	-0.14	1.000

두 양식장 간 수질 환경 특성 차이를 비교하기 위한 분산분석의 결과는 표 5와 같다. F 검정통계량의 유의확률이 유의수준 0.05 보다 작은 값을 가지는 것이 용존산소, 클로로필, 이다. 이는 두 양식장간 수온, 염도, Ph는 차이가 없지만 용존산소, 클로로필은 차이가 있음을 의미한다. 이는 1차 시범 실시 지역인 경호수산의 센서 장비가 2차 시범 실시 지역인 금호수산 센서 장비에 비해 해수에 포함되어 있는 뻘, 기타 오염물질들에 장기간 노출된 점이 거금도라는 좁은 지역 내에서 용존산소, 클로로필 부분에서 차이가 존재하는 이유 중에 하나로 판단된다.

표 5. 양식장 간 차이 검정
Table 5. Analysis of variance of two fish farms

종속변수	제 Ⅲ유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
수온	11.96	1	11.96	1.49	0.22
용존산소	6.69	1	6.69	7.63	0.01
염도	0.05	1	0.05	004	0.84
클로로필	20.22	1	20.22	170.46	<.0001
pH	0.18	1	0.18	3.10	0.08

4.2. 금호수산의 월별 계절별 변화 분석

년 간 한 양식장의 수질 환경 데이터의 추이를 분석할 수 있는 자료인 표 6에서 수온은 계절적 요인에 의해 1월이 가장 낮고 8월이 가장 높게 나타났으며 어류의 생존에 필요한 용존산소의 농도는 4ppm 이상인데 6.3 이상으로 관측되었다.또한 수소이온농도(pH)는 대부분 pH 7.0 이상으로 알칼리성을 나타내었고 다량의 영양염이 유입되는 경우 클로로필은 농도가 높게 나타나지만 큰 변동은 없으며 다만, 7월, 10월, 11월, 12월이 다른 달에 비해 조금 높게 관측되었다.

표 6. 2009년 금호수산 수질 통계량
Table 6. Water quality statistics of Keumho fish farm in 2009

변수 / 월	Temp.		Sal.		DO		Chl.		pH		AS	
	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
1	7.37	0.52	30.75	0.56	10.05	0.24	1.31	0.52	8.14	0.06	102.15	1.51
2	8.82	0.42	30.08	0.93	9.78	0.16	1.22	0.33	8.18	0.03	102.29	0.82
3	10.26	0.94	29.14	0.85	9.40	0.34	1.64	0.50	8.19	0.04	100.83	2.15
4	12.92	0.94	30.02	1.48	8.33	0.40	1.51	0.55	7.99	0.20	95.12	2.50
5	14.88	0.86	27.50	0.18	8.21	0.15	1.28	0.32	8.18	0.07	96.10	0.41
6	22.07	1.53	29.54	0.36	6.26	1.26	1.48	0.66	8.18	0.08	84.691	15.28
7	21.55	0.50	27.99	0.78	6.86	0.27	2.91	1.37	7.98	0.13	91.53	3.50
8	24.69	1.87	28.44	0.81	6.31	1.15	1.06	0.22	8.27	0.17	88.77	14.43
9	24.10	0.70	30.57	0.62	6.41	0.20	1.68	0.79	8.29	0.05	90.90	3.19
10	20.32	1.65	30.17	0.48	7.24	0.33	2.98	0.47	8.17	0.06	95.62	1.79
11	14.80	1.97	28.60	0.87	8.09	0.38	3.30	0.68	7.97	0.13	95.13	2.98
12	10.62	1.29	28.50	0.77	9.26	0.66	2.85	0.39	8.19	0.08	99.58	4.26

그림 4의 수질 인자 간 산점도 행렬을 통해 인자들 간의 상관성을 알 수 있다. 대각선을 기준으로 우 상단 삼각형과 좌 하단 삼각형은 동일한 내역이다.

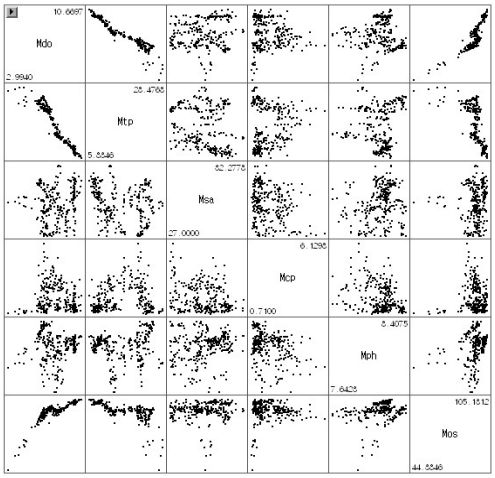

그림 4. 수질 인자간 산점도 행렬
Fig. 4 Scatter plot matrix of water quality factors

상관관계가 높은 것은 용존산소(Mdo)와 수온(Mtp)이 음의 상관성, 용존산소와 산소포화도(Mos)가 양의 상관성을 나타내고 있다. 즉 용존산소의 양이 수온의 상승과 더불어 감소한다는 것이고 앞 절의 동절기 상관분석에 의해 나타났던 수온(Mtp)과 pH, 염도(Msa)

와 pH의 상관성은 나타나지 않았다.

표 7. 다변량 분산분석
Table 7. Multivariate analysis of variance

개별 분산분석	F	유의 확률
수온	445.18	<.0001
용존산소	295.81	<.0001
염도	27.41	<.0001
클로로필	21.98	<.0001
pH	1.98	0.1165
다변량 분산분석 Wilk's Lambda F(p) = 78.56(<.0001)		

계절별 수질인자 차이를 알아보기 위해 관측치가 12,1,2월은 겨울, 3,4,5월은 봄, 6,7,8월은 여름, 9,10,11월은 가을로 분류해 다변량 분산분석을 수행 하였다.

그 결과 윌콕스의 람다 검정 통계량의 유의 확률이 .0001 미만 이므로 유의수준 5%에서 모든 수질 인자의 계절간 차이는 유의하다. 또한 5개 수질인자에 대한 개별 분산분석 결과도 pH를 제외한 나머지 인자도 유의수준 5%에서 계절 간 차이가 존재한다.

표 8. Duncan 사후 검정
Table 8. Duncan's post test

수질 인자	Duncan Grouping	평균	N	계절
수온	A	22.94	68	summer
	B	19.97	85	fall
	C	11.78	61	spring
	D	8.59	71	winter
용존산소	A	9.79	71	winter
	B	8.85	61	spring
	C	7.21	85	fall
	D	6.52	68	summer
염도	A	30.03	71	winter
	A	29.83	85	fall
	B	29.38	61	spring
	C	28.47	68	summer
클로로필	A	2.62	85	fall
	B	1.87	68	summer
	B	1.60	71	winter
	B	1.56	61	spring
pH	A	8.17	71	winter
	B A	8.15	85	fall
	B A	8.14	68	summer
	B	8.10	61	spring

개별 분산분석에 대한 다중 비교를 위해 던컨 다중 비교를 실시한 결과가 표 8이다. 염도, 클로로필, pH에 비해 수온, 용존산소는 계절별 차이가 뚜렷함을 알 수 있다. 같은 문자로 표시됨은 계절 간에 차이가 없음을 의미한다.

4.3 금호수산 년간 수질 환경 변화 추이

금호수산의 2009년, 2010년 데이터 중 관측일이 비슷하게 구성된 2월~8월 사이의 데이터를 이용하여 수질인자별 년간 차이 검정을 실시하였다. 그 결과 유의 수준 0.05에서 년간 수온, 용존산소, 염도, 산소포화도는 각각 유의 확률이 0.81, 041, 0.12, 0.04 으로 유의한 차이가 없었고 반면, 클로로필(p<.0001), pH(p<.0001)는 유의한 차이가 있었다.

그림 5는 좌 상단 왼쪽부터 수온, 염도, 클로로필, pH 변화 추이를 나타낸 그래프로 구분선은 3월, 4월, 5월, 6월, 7월, 8월 시작 일을 표시한다. 붉은 색은 2010년, 파란색은 2009년 데이터를 나타낸다. 특히, 클로로필은 2010년 7,8월 부분에서 높은 값을 나타내고 있는데 이 시기에 적조가 발생하였음을 알 수 있고 pH는 전반적으로 2010년이 2009에 비해 높음을 알 수 있다.

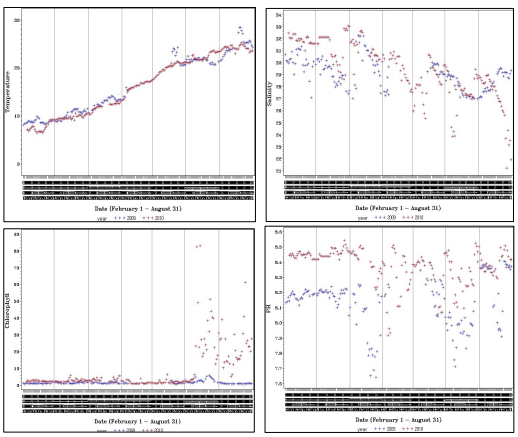

그림 5. 수온, 염도, 클로로필, pH 변화 추이
Fig. 5 Trend of seawater temperature, salinity, chlorophylls and pH

4.4 용존산소 예측을 위한 다중 회귀 모형

2009년 금호수산의 수질환경 데이터를 이용하여 용존산소 예측을 위한 다중 회귀분석을 수행했다. 다중 회귀분석의 단계삽입 방법(stepwise)과 수정 결정 계

수를 이용하여 수온, 염도를 설명변수로 최종 선정하였고 이를 적용한 다중회귀 분석 결과가 표 9이다.

회귀 모형의 적합성은 유의수준 0.05보다 F=11487.1(p<.0001)이 작아 회귀식이 유의한 것으로 나타났다. 또한 수정 결정계수 값도 0.94로 1에 가까워 회귀모형이 전체 변량의 대부분을 설명하고 있다.

회귀 계수에 대한 t검정 결과도 유의수준 0.05에서 유의하고 다중공선성 진단 지표인 VIF 값도 1에 가까워 다중공선성 영향이 없다고 할 수 있다. 표준화 회귀 계수 값에 의해 수온이 -0.979, pH는 0.171로 용존산소 예측에 수온이 음의 방향으로 98%, pH는 양의 방향으로 17% 정도를 설명한다. 또한 수온이 pH에 비해 영향력이 큼을 의미한다.

표 9. 용존산소 추정 위한 다중 회귀 분석
Table 9. Multiple regression analysis for estimation of dissolved oxygen

항목	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	VIF
	β	Std. Error	Beta			
상수	-1.909	1.159		-1.657	<.0001	
수온	-0.227	0.003	-0.979	-66.60	<.0001	1.021
Ph	1.669	0.143	0.171	11.66	<.0001	1.021
Adjusted R^2 = .94, F(p) = 2219.81(<.0001)						

따라서 다중 회귀 분석을 통한 용존산소량 예측식은 다음과 같다.

용존산소 = -1.909 - 0.227*수온 + 1.669*Ph

즉 수온 값이 낮을수록 pH 값이 높을수록 용존산소 값은 증가함을 알 수 있다.

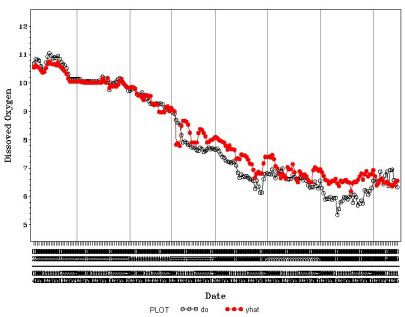

그림 6. 용존산소 추정 값과 실제 관측 값 plot
Fig. 6 Plot of estimates and actual observations of dissolved oxygen

그림 6은 추정된 회귀 식을 이용 산출되는 용존산소 추정 값과 실제로 관측된 용존산소 값을 그래프로 표시 하였다. 구분선은 각각 3월, 4월, 5월, 6월, 7월, 8월, 9월 시작일을 나타내고 검정색은 2010년 2월4일부터 9월 15일 사이에 관측된 실측 용존산소 값이고 빨간색은 회귀 식에 의해 추정된 용존산소 값이다.

그림 6을 통해 회귀식이 잘 적합 되고 있음을 알 수 있고 다른 수질 환경 특성으로 용존 산소를 예측함으로써 정기적 보정 및 교체가 필요한 용존산소 센서 비용을 지불할 필요가 없는 장점이 있다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구

수집 된 두 양식장의 수질 인자 데이터가 동일한 시기에 관측된 것은 2008.11월 ~ 2009.1월 사이의 데이터뿐이고 최초 시범 양식장인 경호수산은 센서 오염 문제, 수조 청소 등의 문제로 월별 데이터가 일관성 있게 관측 되지 못했던 것과, 금호수산도 2009년 데이터 중 5, 6월 데이터 관측일이 적어 대표성이 부족한 부분은 통계분석을 수행하며 아쉬운 사항이였다.

그러나 본 연구를 통해 육상 수조식 양식장의 수질 환경 인자 데이터에 대한 인과 관계 및 특성을 요약하였고 주기적 교체가 필요한 용존산소 센서에 대한 비용 절감 차원에서 용존산소 예측을 위한 다중 회귀 모형 식을 개발한 것은 의의가 있다.

두 양식장의 2008.11월 ~ 2009.1월 동절기 데이터의 상관성 분석에서 수온과 용존산소, 수온과 pH는 음의 상관성을 나타냈고 염도와 pH, 용존산소와 pH는 양의 상관성을 나타냈다. 또한 2009년 금호수산 수질인자에 대한 월별 평균, 표준편차를 표로 제시하고 계절별 수질인자 간 차이 검정에서 pH를 제외한 나머지 수질 인자간 차이가 존재했으며 던컨 사후 검정에 의해 계절별 차이를 표로 제시 했다. 금호수산의 2009년과 2010년의 2월부터 8월까지 년간 수질인자 차이를 분석한 결과 수온, 용존산소, 염도, 산소포화도는 차이가 없었고 반면 pH, 클로필은 유의한 차이가 존재 했다. 클로로필이 2010년 7월 8월 부분에 높은 값을 나타내 이 시기에 적조가 발생하였음을 알 수 있었고 pH는 전반적으로 2010년이 2009년에 비해 높게 나타났다.

용존산소 예측 다중 회귀식에서 수온은 음의 방향으로 pH는 양의 방향으로 반응하고 특히 수온이 pH에 비해 월등히 큰 영향을 줌을 알 수 있었다. 또한 실제 관측치와 추정치와의 결과를 그래프로 나타내고 회귀식이 잘 적합 되고 있음을 입증하였다.

추후 연구로는 신뢰성이 좀 더 담보된 해양 관측 전문기간의 데이터를 활용하여 양식장 수질 인자 들 간의 특성을 요약 분석할 계획이며 또한 동일 양식장의 데이터가 2년 이상 축적되면 시계열 분석을 통한 수질 인자의 예측도 수행할 예정이다.

감사의 글

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-C1090-1021-0012)

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고 문헌

[1] 정희택, 예성빈, 김해란, 한순희 "고품질 수산물 생산지원시스템 설계," 한국해양정보통신학회, 제12권, 제9호, pp.1623-1632, 2008
[2] 조규대,이충일,김동선,양윤정, '육상 양식장 인접 해역의 해양학적 환경특성', 한국환경과학회지, 2002년
[3] 이주 外 8인,, '동해 강릉 연안의 계절적 환경 변화', 한국해양환경공학회지, 2006년
[4] 이남도,김종구, '통계분석 기법을 이용한 군산 연안 해역의 수질평가', 한국환경과학회지, 16권 3호, 2007
[5] 김은영, 고동찬, 고경석, 여인욱, '다중 회귀 분석을 이용한 논산 북부 지역 지하수의 질산성 질소 오염 예측', 한국지하수토양환경학회지, 13권 5호, pp.57-73, 2008
[6] 강기래,이기철,이준철, '다중회귀분석에 의한 자연휴양림 이용객 수요 예측 모형 구축', 관광레저연구지 22권 1호, 2010
[7] 조은섭, 김상수, 이상용, 정희동, 김숙양, '전남 서부 해역의 수질 환경 특성', 해양환경안전학회, 15권 3호, pp.187-203, 2009
[8] 김화수,이두진,박노석,정관수, '가정용수 용도별 사용량의 통계적 특성 분석', 대한토목학회, 28권 5B호, 2008
[9] 박병수,안영섭 'ANOVA에 의한 해양 사고의 통계적 분석', 해양환경안전학회, 13권 3호, 2007
[10] 강태승,엄정기, '다중회귀분석을 통한 경남 지방도로 절취사면의 안전성평가', The Journal of Engineering Geology, 17권 3호, pp.393-404, 2007
[11] 권세혁, '다변량데이터 분석과 활용', 자유아카데미, 2008
[12] 권세혁, '회귀분석', 자유아카데미, 2010
[13] 조인호, 'SAS 강좌와 통계 컨설팅', 영진닷컴, 2007
[14] http://ufish.jeju.go.kr

저자 소개

김해란(Hae-ran Kim)

1993.2 전남대학교 전산통계학과 학사
1996.2 전남대학교 전산통계학과 석사
2008년 3월 ~ 현재 전남대학교 디지털컨버전스 박사과정
※ 관심분야 : IT 융합, 시맨틱 웹, 디지털 영상처리

정희택(Hee-taek Ceong)

1992.2 전남대학교 전산통계학과 학사
1995.2 전남대학교 전산통계학과 석사
1999.8 전남대학교 전산통계학과 박사
1999년 9월 ~ 현재 전남대학교 디지털컨버전스 부교수
※ 관심분야 : 멀티미디어, 데이터마이닝, IT융합