

퍼지 추론을 이용한 적조 발생 예측

박 선[†] · 이 성 로^{**}

요 약

적조란 유해조류의 대 번식으로 바다물의 색깔이 변하는 일시적인 자연현상으로 어패류를 집단 폐사 시킨다. 유해 적조류에 의한 국내 수산업 피해가 증가함에 따라서 적조에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 적조 발생 예측은 적조에 대한 피해를 최소화 시킬 수 있다. 그러나 국내의 적조 현상 예측에 대한 대부분의 연구는 단순히 적조 분류에 집중되어 있어서 적조발생 예측에는 미흡하다. 본 논문은 퍼지 추론을 이용한 새로운 적조발생 예측 방법을 제안한다.

키워드 : 적조 발생, 적조 예측, 퍼지 추론

Red Tide Blooms Prediction using Fuzzy Reasoning

Sun Park[†] · Lee Seong Ro^{**}

ABSTRACT

Red tide is a temporary natural phenomenon to change sea color by harmful algal blooms, which finfish and shellfish die en masse. There have been many studies on red tide due to increasing of harmful algae damage of fisheries in Korea. Particularly, red tide damage can be minimized by means of prediction of red tide blooms. However, the most of red tide research in Korea has been focused only classification of red tide which it is not enough for predicting red tide blooms. In this paper, we proposed the red tide blooms prediction method using fuzzy reasoning.

Keywords : Red Tide Blooms, Red Tide Prediction, Fuzzy Reasoning

1. 서 론

적조(red tide)란 플랑크톤의 일시적인 대량 번식으로 바다물의 색깔이 적색이나 황색으로 변하여서 생태계를 파괴시키는 현상이다. 국내에서는 90년대 이후부터 근해의 오염이 증가 하면서 양식장 등 수산업에 큰 피해를 주고 있다. 특히 95년에는 764억 원의 역대 최대 피해액을 보이며 매년 국내 수산업에 피해를 미치고 있었으나 최근 3년간은 큰 피해를 보이지 않고 있다. 그러나 언제 적조의 피해가 다시 발생할 지는 아무도 예측할 수 없다. 국내에서는 60여 종의 적조 생물들이 발견되고 있다. 이중 어류 치사 종이 4종, 설사성 패독종 4종, 신경성 패독종 및 마비성 패독종이 각각 1종으로 수산업에 피해를 미치는 유해적조가 총 9종이 있다. 이들 유해 적조들 중에서 특히 *cochlo-dinium polykrikoides*

에 의한 수산업의 피해가 가장 크게 발생하고 있다[1].

이미 최근 연구들은 주요 적조원인 생물의 생리적 특성 부분을 많이 파악하고 있으며, 환경변화에 대한 생물의 반응도 상당부분 파악하여 활용하는 수준에 있다[2]. 그러나 적조발생시 피해를 최소화하기 위한 다양한 자동화 방법에 대한 연구는 아직 미흡하다. 우리나라의 적조정보처리에 대한 연구로는 적조 생물종의 지리적 분포 특성을 분석하기 위한 적조데이터베이스[3], 적조 발생 시기 및 위치 분석을 위한 적조정보시스템[4], 지리 공간 정보시스템을 이용한 적조발생지의 공간결정연구[5], 조류 측정 장치[6], 사례 기반 추론을 이용한 적조 예측[7], 위성영상을 이용한 적조탐지[8] 등이 있다. 그러나 이들 연구는 대부분 기존 적조 발생 정보를 기반으로 적조의 영향을 분석 하거나 유해 적조 분류를 연구하고 있으며, 위성으로부터 수신되는 해양 자료를 이용하여서 적조분포 및 영향을 연구하는 등 아직은 초보적인 수준에 있다.

적조는 발생 범위가 다양하고 발생해역으로부터 해류를 따라서 이동하기 때문에 직접 적조를 탐지하여 빠른 대처를 통한 피해를 최소화하기에는 한계가 있다[2]. 그러므로 이전의 해양환경을 이용하여 적조 발생 예측을 통한 적조 피해

* 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2010-0028295).

† 정 회 원 : 목포대학교 정보산업연구소 연구교수

** 정 회 원 : 목포대학교 정보전자공학과 교수

논문접수: 2011년 4월 5일
수정일: 1차 2011년 5월 20일
심사완료: 2011년 5월 21일

를 최소화 시킬 수 있도록 적조발생 예측방법에 대한 연구가 필요하다. 이 등[9][10]은 적조 생물에 따라 다르지만 규조류나 편모조류는 1일 1회 2분열을 하므로 10일 정도 지나면 적조를 인식할 수 있는 적조기준밀도(1,000cells/ml)에 도달하는 것을 보고, 적조발생 전 10일 동안의 해양환경조건이나 기상조건이 우리나라 적조발생의 해명에 중요하다고 보았다. 김 등[13]의 연구에서는 국내에 가장 피해를 많이 준 유해적조인 *cochloclodium p.*의 발생은 주로 고수온과 저염분에 의해 지배되는 것으로 보이고, 적조 발생 전 집중호우가 관측된 후 염분농도가 급격히 감소한 경우에 많이 발생하는 것을 보였다.

이러한 적조와 환경인자의 관계에 대한 연구를 기반으로 본 논문에서는 적조발생 10일전의 해양환경자료를 이용하여서 적조 발생을 예측할 수 있는 방법을 제안한다.

2. 관련 연구

2.1 적조 발생예측

송 등은 사례기반 추론을 이용한 적조 예측 모니터링 시스템을 제안하였다. 이들 방법은 추론을 위한 사례베이스를 생성하고, kNN알고리즘을 이용하여 가장 유사성이 높은 적조 사례를 검색하였다[7]. 그러나 이들의 방법은 단순히 기존 적조발생 사례를 기반으로 입력 자료가 적조인지만을 분류하였다. Fdez-riverola 등은 적조 예측을 위해서 신경망과 퍼지의 혼합방법에 기반을 둔 사례기반 방법을 제안하였다[12]. 그러나 이들의 방법은 한 가지 적조만을 처리하도록 되어 있다. 김 등은 원격탐측을 이용한 여수만 일대의 유해적조발생 예측기법을 제안하였다. 이들의 방법은 기존자료와 위성의 원격탐측 자료, 현장조사 등의 자료를 분석함으로써 기존의 흐름과 이동경로를 기반으로 적조의 발생과 이동경로를 개략적으로 예측할 수 있었다[13]. 이들의 방법은 사람이 직접 자료를 분석하고 적조를 예측 하였다. 저자의 이전 연구에서는 신경망과 SVM을 이용하여서 적조 발생을 예측할 수 있는 방법을 제안하였다. 적조 발생 예측을 위하여 역전파 신경망, 회귀 신경망, SVM을 각각 이용하여 비교하였으며 이중 SVM의 정확률이 가장 높음을 보였다[14].

2.2 퍼지추론

퍼지추론(fuzzy reasoning)은 퍼지이론을 기반으로 애매하게 표현된 지식과 정보를 사용해 다른 정보를 찾아내는 방법이다. 퍼지이론에서 추론은 몇 개의 퍼지명제에서 연역적으로 각각 하나의 근사적인 퍼지명제를 유도하는 것을 기본으로 한다. 이 때문에 퍼지추론 또는 근사적 추론(approximate reasoning)이라한다[15]. 퍼지집합은 단위구간 [0, 1] 사이의 실수 값을 멤버십(소속) 정도로 취하는 원소들로 구성된 집합으로 식(1)과 같이 나타낸다.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, \mu_A(x) \in [0, 1]\} \tag{1}$$

여기서 A를 X의 퍼지부분집합 또는 퍼지집합이라 하고,

μ_A 는 전체집합 X에 대한 멤버십함수(membership function)이며, 퍼지집합 A의 $\mu_A(x)$ 값을 $x \in X$ 에 있어서 멤버십 값(membership value) 또는 등급(grade)으로 원소 x가 퍼지집합 A에 속하는 정도이다. 퍼지추론은 사실 A와 규칙 $A \rightarrow B$ (A이면 B이다)일 때, 결론 B가 사실임을 얻는 분리규칙(modus ponens)에 기초를 두며, 퍼지조건문으로 멤버십을 이용한 함위규칙은 식(2)과 같다.

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x) \rightarrow \mu_B(y) \tag{2}$$

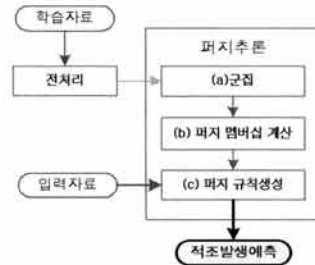
퍼지추론의 합성규칙은 퍼지규칙 $A \rightarrow B$ 는 퍼지관계로 식(3)의 결론 B'는 퍼지집합 A'와 퍼지관계 $A \rightarrow B$ 와의 합성(\circ)에 의해 얻는다.

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B) \tag{3}$$

퍼지추론을 위한 추론규칙은 IF-THEN 형식으로 기술된다.

3. 제안방법

본 논문에서 제안한 적조 발생 예측 과정은 그림1과 같이 전처리, 퍼지추론 단계로 구성된다. 제안방법은 통영지역에서 발생한 *cochloclodium p.*의 적조발생정보 및 해양환경자료에 퍼지추론을 이용하여서 적조발생을 예측한다.



(그림 1) 제안된 적조 예측 방법

3.1 전처리

(그림 1)의 전처리에서는 적조발생예측을 위해서 학습 자료를 가공한다. 학습 자료는 2002년부터 2007년까지의 통영 지역에서 발생한 유해적조인 *cochloclodium p.* 발생자료 및 관련 지역의 수온, 기온, 강수량을 이용하였다. <표 1>은 학습 자료에 대한 2005년도의 적조 생물밀도와 이와 관련된 적조가 발생하기 전의 10일간의 수온, 기온, 강수량 정보의 일부이다. <표 2>는 적조발생 건수, 적조 발생 전 수온 및 기온의 일수, 강수 횟수를 나타낸다.

<표 1> 적조 발생 전 10일간 해양환경

월	일	적조밀도	수온		기온		강수량		
			C°	10일평균	C°	10일평균	량	10일총량	횟수
7	24		26.8	-	30.4	-	-	-	
	25		27.2	-	30.7	-	-	-	
	26		27.5	-	29.4	-	-	-	
	27		26.3	-	28.8	-	-	-	
	28		26.5	-	27.6	-	-	-	
	29(적)	640	26.4	26.1	28.2	29.3	5.5	0	0
	30(적)	300	25.5	26.2	26.5	28.9	-	5.5	1
	31		26	-	27	-	-	-	-

<표 2> 적조 발생 및 해양환경 통계자료

구분	적조발생수	수온/기온 일수	강수 횟수
2002	27	41	16
2003	23	35	10
2004	21	33	9
2005	5	31	8
2006	3	13	5
2007	17	33	17

<표 1>에서 학습 자료를 위한 전처리로 수온 및 기온은 적조발생 전 10일간의 평균값을 계산하고, 강수량은 적조발생 전 10일간의 총 강수량을 계산한다. 또한 적조밀도를 1,000으로 나누어 정규화하여서 적조율을 계산한다. 이들 중에서 10일평균수온, 10일평균기온, 10일총강수량은 입력 학습 자료이고, 적조율을 출력 학습 자료이다.

3.2 퍼지 추론

퍼지 추론은 (그림 1(a))의 군집, (그림 1(b))의 퍼지 멤버십 계산, (그림 1(c))의 퍼지 규칙 생성단계로 구분된다. 퍼지 추론을 이용하여서 적조발생을 예측하기 위해서는 입력 자료가 적조발생인지 아닌지를 판단해야할 규칙이 필요하다. 이를 위해서 학습 자료를 유사한 특징을 갖는 집단으로 군집하고, 군집된 자료의 퍼지 멤버십을 계산하여 규칙을 생성해야 한다.

(1) 군집

본 논문에서는 퍼지추론을 위해서 Chiu의 군집방법[18]을 이용한다. 이 방법은 식(4)을 이용하여서 군집의 잠재적인 중심을 추정하고, 추정된 군집 중심을 이용하여서 군집하는 방법이다.

$$P_i = \sum_{j=1}^n e^{-\frac{4}{r^2} \frac{\|x_i - x_j\|^2}{0.5}} \quad (4)$$

여기서, F_i 는 i 번째 군집을 위한 추정된 잠재 군집의 중심이고, e 는 지수함수로 약 2.7183이며, r 은 추정 군집 주변 반지름으로 정의된 양수, x_i 는 i 번째 군집에 속하는 잠재적 자료, x_j 는 j 번째 학습 자료, n 은 학습 자료의 수이다.

(2) 퍼지 멤버십 계산

본 논문에서는 세밀한 퍼지 멤버십을 표현하기 위해서 가우시안 함수(gaussian function)를 사용한다. 가우시안 멤버십 함수[15]는 다음 식(5)과 같이 계산할 수 있으며 계산된 멤버십은 (그림 2)와 같이 범종형 곡선을 나타낸다.

$$f(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

여기서 x 는 학습 자료이고, σ 는 가우시안 곡선의 폭을 결정하는 상수이며, c 는 가우시안 곡선의 중심을 결정하는 상수이다. 본 논문에서는 $\sigma=2$, $c=5$ 를 사용해서 가우시안 곡선의 폭은 2로, 곡선의 중심은 중앙에 위치하도록 초기 값을 설정하였다.

(3) 퍼지 규칙 생성

본 논문에서는 퍼지 규칙 생성을 위하여서 퍼지 추론에서 많이 사용하는 sugeno 퍼지 모델[19]을 이용한다. 다음 <표 3>은 sugeno 퍼지 모델을 이용하여 생성한 퍼지 규칙이다.

<표 3> 학습 자료의 sugeno 퍼지 모델을 이용한 퍼지 규칙

1. if (10일평균수온 군집1) and (10일평균기온 군집1) and (10일총강수량 군집1) then (적조율 군집1)
2. if (10일평균수온 군집2) and (10일평균기온 군집2) and (10일총강수량 군집2) then (적조율 군집2)
3. if (10일평균수온 군집3) and (10일평균기온 군집3) and (10일총강수량 군집3) then (적조율 군집3)
4. if (10일평균수온 군집4) and (10일평균기온 군집4) and (10일총강수량 군집4) then (적조율 군집4)
5. if (10일평균수온 군집5) and (10일평균기온 군집5) and (10일총강수량 군집5) then (적조율 군집5)
6. if (10일평균수온 군집6) and (10일평균기온 군집6) and (10일총강수량 군집6) then (적조율 군집6)

sugeno 퍼지 모델의 출력 규칙의 최종 출력 값인 적조율은 식(6)과 같이 계산한다.

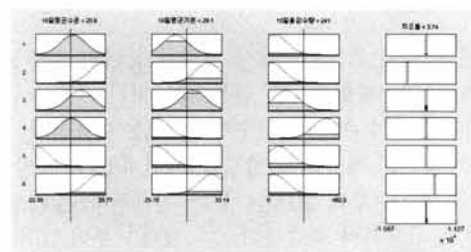
$$final\ out = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (6)$$

여기서 w 는 퍼지 규칙에 대한 가중치로 식(7)과 같으며, z 는 식(4)에 의해 계산된 적조율 멤버십에 대한 군집, N 은 규칙의 수이다.

$$w_i = \prod_{k=1}^n f_k^i(x_k) \quad (7)$$

여기서 w_i 는 i 번째 함의의 가중치이고, f)는 식(5)의 가우시안 멤버십 함수이다.

(그림 2)는 식(4)을 사용하여서 수온/기온/강수량/적조율에 대한 학습 자료를 각각 6개의 집단으로 군집한 결과를 식(5)와 식(6)을 이용하여 계산된 멤버십 값을 도식으로 나타낸 것이다.



(그림 2) 학습 자료의 군집에 대한 퍼지 멤버십

4. 실험 및 평가

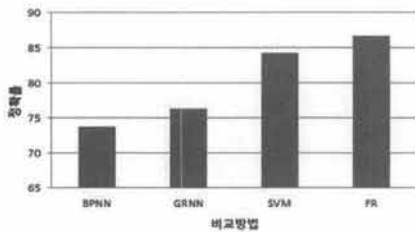
본 논문에서는 국립수산과학원의 적조정보시스템[11]으로부터 가져온 통영지역의 9년간의 자료를 이용하여 제안방법의 성능을 학습 및 평가하였다. 평가 자료는 2008년부터 2010년 동안 발생한 cochlodinium p. 적조정보 및 주의보를 이용하였으며, 같은 년도의 해양수산연구정보포털[16]의 연안정지관측정보로부터 수온정보를, 기상청[17] 관측 자료로부터 수집한 기온정보와 강수정보를 이용하였다. 평가방법은 평가 자료를 생성한 퍼지 규칙에 입력하여서 출력 값이 0 이상이면 적조발생을 예측하고, 0 이하의 값을 출력하면 적조가 발생하지 않는 것을 예측하여서 평가 자료의 실제 발생결과와 비교하여서 정확률을 평가한다.

<표 4>은 통영지역에서 3년간 발생한 적조 *cochlo-dinium p.*에 대한 적조발생예측의 정확률 평가결과이다. 평가결과를 보면 2008년 23건에 대한 정확률은 78.3%, 2009년 4건에 대한 정확률은 100%, 2010년 11건에 대한 정확률은 81.8%로 단순히 10일 평균 수온과 기온 및 10일 총강수량만 가지고 높은 결과가 나오는 것을 알 수 있다. 여기에 정확한 염도를 추가 하면 더 높은 정확률이 나올 것으로 예상된다.

<표 4> 평가결과

구분	2008	2009	2010
정확률	78.3	100	81.8

(그림 3)은 신경망과 SVM을 이용한 방법[14]과의 비교결과이다. (그림 3)에서 BPNN은 역전파 신경망이고, GRNN은 회귀 신경망, SVM는 SVM, FR은 제안방법이다. 제안방법인 FR이 BPNN에 비해서는 13%가 GRNN에 비해서는 10.4%, SVM에 비해서는 2.5%의 정확률이 더 높다. 퍼지추론을 이용한 방법이 좋은 성능을 나타내는 것은, 학습 자료에 안정적인 분류자(stable classifier)인 신경망이나 SVM에 비해서 유사한 특징으로 군집(clustering)후에 퍼지규칙을 이용하여 분류하는 퍼지추론 방법이 적조자료의 특성을 더 잘 반영하여 분류하는 것으로 생각할 수 있다.



(그림 3) 정확률의 비교결과

5. 결 론

본 논문은 국내 적조연구에서 취약한 분야인 적조발생 예측에 대하여 연구하였다. 본 논문에서 퍼지 추론과 적조발생 전 10일간의 수온/기온/강수량 정보를 이용하여서 미래에 발생할 적조를 예측하는 방법을 제안하였다. 제안방법은 통영지역의 2002년부터 2007년 동안 발생한 *cochlo-dinium p.* 적조 정보를 이용하여 학습하였으며, 2008년부터 2010년간의 정보를 이용하여서 평가하였다. 평가결과 3년간 평균 예측 정확률이 86.7%로 좋은 결과를 보였다. 본 논문에서 평가한 지역은 통영지역에 한정되어 있으나 앞으로는 국내 전 해역과 다양한 적조생물을 대상으로 실험을 진행할 예정이다. 또한 예측 정확률을 더욱 높일 수 있는 방법에 대해서 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 국립수산과학원 적조정보 홈페이지 <http://portal.nfrdi.re.kr/redtide/index.jsp>
 [2] 김용민, 변영기, 허용, 유기운, "MODIS Level 2 Data를 이용한 *Cochlo-dinium Polykrikoides* 적조 탐지", 대한토목학회논문지, pp.535-540, 2007.
 [3] 정종철, "GIS를 이용한 적조의 시공간적 분포 분석", 한국GIS학회지 제13권 제3호, pp.253-260, 2005.
 [4] 정종철, "적조정보시스템의 GIS데이터베이스화 연구", 한국GIS학회지 제12권 제3호, pp.36-38, 2004.

[5] 김진기, "GSIS를 이용한 적조발생지의 공간결정 연구", 한국지형공간정보학회지, 제15권 제2호, pp.51-57, 2007.
 [6] B. C. Kim, H. W. Kang, Y. H. Kim, "Measurement of Algae Population for Red-Tide Prediction", SICE-ICASE Internation Joint Conference, pp.4684-4687, 2006.
 [7] 송병호, 정민아, 이성로, "사레 기반 추론을 이용한 적조 예측 모니터링 시스템 구현 및 설계", 한국통신학회논문지, 제35권 제12호, pp.1819-1826, 2010.
 [8] 김용민, 변영기, 허용, 유기운, "MODIS Level 2 DATA를 이용한 *Cochlo-dinium Polykrikoides* 적조 탐지", 대한토목학회논문지, 제27권 제4D호, pp.535-540, 2007.
 [9] 이문옥, 김평주, 문진한, "진해만의 해양환경이 적조발생에 미치는 영향", 한국해양환경공학회 2006년도 춘계학술대회 논문집, pp.177-183, 2006.
 [10] 이문옥, 김평주, "진해만의 해양환경과 적조발생의 특징", 2006 대한토목학회 정기학술대회, pp.2173-2176, 2006.
 [11] 국립수산과학원 적조정보시스템, "<http://portal.nfrdi.re.kr/redtide/index.jsp>", 2011.
 [12] F. Fdez-Riverola, J. M. Corchado, "FSfRT: Forecasting System for Red Tides", Applied Intelligence 21, pp.251-264, 2004.
 [13] 김진기, 윤홍주, "원격탐측을 이용한 여수만일대의 유해적조발생 예측기법", 한국GIS학회 춘계학술대회, pp.47-57, 2001.
 [14] 박선, "신경망을 이용한 적조발생 예측", 제21회 통신정보 합동 학술대회, pp.66, 2011.
 [15] 오성권, "프로그래밍에 의한 컴퓨터지능(퍼지, 신경회로망 및 진화알고리즘을 중심으로)", 내한출판사, 2002.
 [16] 해양수산연구정보포털, "http://portal.nfrdi.re.kr/page?id=pr_index", 2011.
 [17] 기상청, "<http://www.kma.go.kr/index.jsp>", 2011.
 [18] S. L. Chiu, "Fuzzy Model Identification based on Clustering Estimation", Journal of Intelligent and Fuzzy System, Vol. 2, pp.267-278, 1994.
 [19] M. Sugeno, "Industrial Applications of Fuzzy Control", Elsevier Science Publishers, 1985.

박 선



e-mail : sunbak@jbnu.ac.kr
 1996년 전주대학교 전자계산학과(이학사)
 2001년 한남대학교정보산업대학원 정보통신학과(공학석사)
 2007년 인하대학교 컴퓨터정보공학과 (공학박사)
 2008년~2009년 호남대학교 컴퓨터공학과 전임강사
 2009년~2010년 11월 전북대학교 전기전자정보인력양성사업단 박사후과정
 2010년~현 재 목포대학교 정보산업연구소 연구교수
 관심분야: 정보검색, 데이터마이닝, 데이터베이스, 해양생물 IT 정보융합

이 성 로



e-mail : srlee@mokpo.ac.kr
 1987년 고려대학교 전자공학과
 1990년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (석사)
 1996년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (박사)
 1997년 9월~현 재 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수
 관심분야: 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템