

퍼지 추론을 이용한 적조 발생 예측

박선*, 이성로*, 박석천**, 임양섭***, 신준우***, 권장우***

*목포대학교

**경원대학교

***정보통신산업진흥원

e-mail:sunpark@mokpo.ac.kr

Red Tide Blooms Prediction using Fuzzy Reasoning

Sun Park*, Seong Ro Lee*, Seokcheon Park**, Yangseop Lim***, Jun Woo

Sin***, Jangu Kwuan**,

*Mokpo National University

**Kyungwon University

***NIPA

요 약

적조란 유해조류의 일시적인 대 번식으로 바다물의 색깔이 변하는 자연현상으로 어패류를 집단 폐사 시킨다. 적조에 의한 양식어업의 피해가 증가함에 따라서 적조에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 적조 발생을 미리 예측할 수 있으면 적조에 대한 피해를 최소화 시킬 수 있다. 그러나 국내의 적조 현상 예측에 대한 연구는 단순히 적조발생 판별에 그치는 등 미흡한 실정에 있다. 본 논문은 퍼지 추론을 이용한 새로운 적조발생 예측 방법을 제안한다.

1. 서론

적조는 발생 범위가 다양하고 발생해역으로부터 해류를 따라서 이동하기 때문에 직접 적조를 탐지하여 빠른 대처를 통한 피해를 최소화하기에는 한계가 있다[1]. 그러므로 이전의 해양환경을 이용하여 적조 발생 예측을 통한 적조 피해를 최소화 시킬 수 있도록 적조발생 예측방법에 대한 연구가 필요하다. 이 등[2, 3]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. 이러한 전제하에서 각 해역별로 적조가 발생하기 전 10일 동안의 표층 수온, 강수량 및 일사량을 조사하여 적조가 어떠한 환경에서 발생하는지를 조사하였다. 김 등[4]의 연구에서는 국내에 가장 피해를 많이 준 유해적조인 *cochlo-dinium p.*의 발생은 주로 고수온과 저 염분에 의해 지배되는 것으로 보이고, 적조 발생 전 집중 호우가 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. 제안방법은 통영지역에서 발생한 *cochlo-dinium p.*의 적조 발생정보 및 해양환경자료에 퍼지추론을 이용하여서 적조 발생을 예측한다.

2. 퍼지추론

퍼지추론(fuzzy reasoning)은 애매하게 표현된 지식과 정보를 사용해 다른 정보를 찾아내는 방법이다. 퍼지이론에서 추론은 몇 개의 퍼지명제에서 연역적으로 각각 하나의 근사적인 퍼지명제를 유도하는 것을 기본으로 한다. 이때문에 퍼지추론 또는 근사적 추론(approximate reasoning)이라한다[5].

퍼지집합은 단위구간 $[0, 1]$ 사이의 실수 값을 멤버십(소속) 정도로 취하는 원소들로 구성된 집합으로 식(1)과 같이 나타낸다.

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

여기서 A 를 X 의 퍼지부분집합 또는 퍼지집합이라 하고, μ_A 는 전체집합 X 에 대한 멤버십함수(membership function)이며, 퍼지집합 A 의 $\mu_A(x)$ 값을 $x \in X$ 에 있어서 멤버십 값(membership value) 또는 등급(grade)으로 원소 x 가 퍼지집합 A 에 속하는 정도이다.

퍼지추론은 사실 A 와 규칙 $A \rightarrow B$ (A 이면 B 이다)일 때, 결론 B 가 사실임을 얻는 분리규칙(modus ponens)에 기초를 두며, 퍼지조건문으로 멤버십을 이용한 함위규칙은 식(2)과 같다.

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

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.

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B) \quad (3)$$

퍼지추론을 위한 추론규칙은 IF-THEN 형식으로 기술된다.

3. 제안방법

본 논문에서 제안한 적조 발생 예측 과정은 그림1과 같이 전처리, 퍼지추론 단계로 구성된다. 전처리 단계에서는 과거 적조발생시의 해양환경자료를 퍼지추론에 적합한 학습 자료로 가공한다. 퍼지추론 단계에서는 학습 자료를 이용하여 퍼지추론 규칙을 생성하고 생성된 규칙을 이용하여 적조발생을 예측한다.

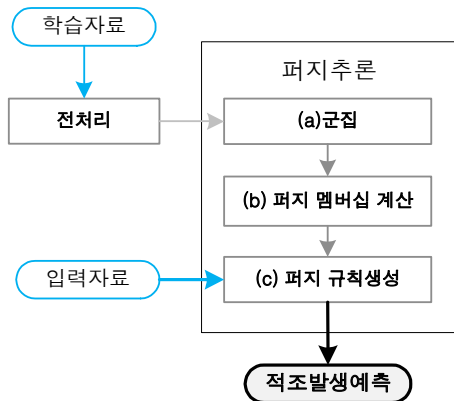


그림 1. 제안된 적조 발생 예측 블록도

퍼지 추론은 그림1(a)의 군집, 그림1(b)의 퍼지 멤버십 계산, 그림1(c)의 퍼지 규칙 생성단계로 구분된다. 퍼지 추론을 이용하여서 적조발생을 예측하기 위해서는 입력자료가 적조발생인지 아닌지를 판단해야할 규칙이 필요하다. 이를 위해서 학습자료를 유사한 특징을 갖는 집단으로 군집하고, 군집된 자료의 퍼지 멤버십을 계산하여 규칙을 생성해야 한다.

3.1 군집

퍼지규칙을 생성하기 위해서는 학습 자료를 각 특성에 맞는 집단으로 구분할 필요가 있다. 이를 위해서 본 논문은 퍼지추론에서 많이 사용하는 감산 군집(subtractive clustering)방법을 이용한다. 감산 군집방법은 자료집합으로부터 유사한 특징을 갖는 집단을 추정하여 군집하는 방법이다. 본 논문에서는 군집추정을 위해서 Chiu의 방법[6]을 이용하며 다음 식(4)를 이용하여서 군집의 잠재적인 중심을 추정하여 군집에 이용한다.

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

여기서, P_i 는 i 번째 잠재 군집의 중심이고, r 은 주변 반지름으로 정의된 양의 계수, x_i 는 i 번째 군집에 속하는 잠재적 자료, x_j 는 j 번째 학습 자료이다.

3.2 퍼지 멤버십 계산

본 논문에서는 퍼지 멤버십 함수로 가우시안 함수(gaussian function)를 사용한다. 기본적인 퍼지 멤버십 함수는 삼각형(triangular), 가우시안(gaussian), 사다리꼴형(trapezoid)이 있다. 이들 중에서 본 논문은 세밀한 멤버십을 표현하기 위해서 가우시안 멤버십 함수를 이용한다. 가우시안 멤버십 함수[5]는 다음 식(5)과 같이 계산할 수 있으며 계산된 멤버십은 그림2와 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 초기값을 설정하였다.

3.3 퍼지 규칙 생성

본 논문에서는 퍼지 규칙 생성을 위하여서 퍼지 추론에서 많이 사용하는 sugeno 퍼지 모델[9]을 이용한다. 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 적조율 멤버십에 대한 군집, N 은 규칙의 수이다.

$$w_i = f(10일평균수온\ 군집) \text{ and } f(10일평균기온\ 군집) \text{ and } f(10일총강수량\ 군집) \quad (7)$$

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

4. 실험 및 평가

본 논문에서는 국립수산과학원의 적조정보시스템[4]으로부터 가져온 통영지역의 3년간의 자료를 이용하여 제안방법의 성능을 평가하였다. 평가 자료는 2008년부터 2010년 동안 발생한 coclodinium p. 적조경보 및 주의보 38건을 이용하였으며, 같은 년도의 해양수산연구정보포털[7]의 연안정리관측정보로부터 121일간의 수온정보, 기상청[8] 관측 자료로부터 수집한 121간의 기온정보와 29건의 강수정보를 이용하였다. 다음 표5는 실험에 사용한 입력 자료의 통계자료이다.

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.

통영지역에서 3년간 발생한 적조 *Coccolodinium 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.

5. 결론

적조의 피해가 증가함에 따라서 국내에서는 적조에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으나, 대부분 생물학적 관점에서 연구되고 있기 때문에 적조정보를 처리할 수 있는 자동화 방법에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 논문은 국내 적조연구에서 취약한 분야인 적조발생 예측에 대한 연구하였다. 본 논문에서 퍼지 추론과 10일간의 수온/기온/강수량 정보를 이용하여서 미래에 발생할 적조를 예측하는 방법에 대하여 제안하였다. 제안방법은 통영지역의 2002년부터 2007년 동안 발생한 *Coccolodinium p.* 적조 정보를 이용하여 학습하였으며, 2008년부터 2010년간의 정보를 이용하여서 제안방법을 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.

Acknowledgment

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2011-C1090-1121-0007), 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2010-0028295)

참고문헌

- [1] 김용민, 변영기, 허용, 유기윤, “MODIS Level 2 Data를 이용한 *Coccolodinium Polykrikoides* 적조 탐지”, 대한토목학회논문지, pp.535-540, 2007.
- [2] 이문옥, 김평주, 문진한, “진해만의 해양환경이 적조발생에 미치는 영향”, 한국해양환경공학회 2006년도 춘계학술대회 논문집, pp.177-183, 2006.
- [3] 이문옥, 김평주, “진해만의 해양환경과 적조발생의 특징”, 2006 대한토목학회 정기학술대회, pp.2173-2176, 2006.
- [4] 국립수산과학원 적조정보시스템, “<http://portal.nfrdi.re.kr/redtide/index.jsp>”, 2011.

- [5] 오성권, “프로그래밍에 의한 컴퓨터지능(퍼지, 신경회로망 및 진화알고리즘을 중심으로)”, 내한출판사, 2002.
- [6] S. L. Chiu, “Fuzzy Model Identification based on Clustering Estimation”, *Journal of Intelligent and Fuzzy System*, Vol. 2, pp.267-278, 1994.
- [7] 해양수산연구정보포털, “http://portal.nfrdi.re.kr/page?id=pr_index”, 2011.
- [8] 기상청, “<http://www.kma.go.kr/index.jsp>”, 2011.
- [9] M. Sugeno, “Industrial Applications of Fuzzy Control”, Elsevier Science Publishers, 1985.