

수질오염사고를 위한 지능형 경보 기법

The intelligent warning method for the water pollution accident

연인성*, 이재경**, 이재관***, 안상진****

In Sung Yeon, Jae Kyung Lee, Jae Kwan Lee, Sang Jin Ahn

요 지

수질오염사고로 발생할 수 있는 시나리오를 통해서 스스로 수질오염사고를 판단할 수 있는 지능형 알고리즘들을 검토하였다. 지능형 알고리즘의 학습을 위해 개발된 기준축과 학습지표는 적절한 결과를 유도하는데 유용하였다. 다층신경망, 뉴로-퍼지 알고리즘은 TOC와 DO의 이상 수질에 대하여 안정, 주의, 경고 상태를 적합하게 구별하는 것으로 나타났으며, 다중퍼셉트론 알고리즘은 모호한 자료에 대해서는 판단능력이 부족한 것으로 나타났다. 구조가 단순하지만 양방향 연산을 수행하는 BAM(Bidirectional Associative Memory) 알고리즘은 다층신경망과 뉴로-퍼지 알고리즘과 비교할 때, 학습 및 구동시간이 짧을 뿐만아니라 결과 또한 안정적인 것으로 나타났다.

핵심용어 : 수질오염사고, 지능형, 경보, 자동측정망

1. 서 론

수질오염 사고에 대비하여 현재 주요 하천에서 운영되고 있는 수질 자동측정시설의 효과적인 활용 방안으로서 생물학적 감시망과 더불어 관리자의 판단에 기여할 수 있는 감시 기법이 요구되는 시점이다. 이번 연구에서는 그림 1에 나타난 바와같이 지능형 알고리즘을 적용하고, 취득되는 자료의 이상수질 여부에 대해 자가 판단할 수 있는 기법을 검토하고자 한다.

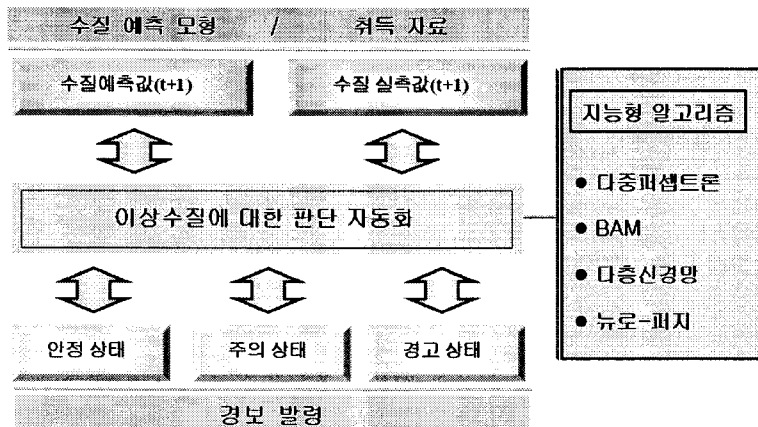


그림 1. 지능화된 경보 과정

* 정회원 · 충북대학교 건설기술연구소 학술연구교수 · E-mail : isyeon@chungbuk.ac.kr
 ** 정회원 · 대원과학대학 토목과 교수 · E-mail : jklee@mail.daewon.ac.kr
 *** 국립환경과학원 연구관
 **** 정회원 · 충북대학교 명예교수 · E-mail : hydrosys@chungbuk.ac.kr

지능형 모형은 숫자나 문자인식에 활용(Jang 등, 1997)되는 바와같이 어떠한 패턴을 인식하여 구분할 수 있어서 이상수질에 대한 판단 목적으로 효과적이며, 학습을 통해 변화에 잘 적응(Haykin, 1999)함으로 자료 취득이 용이하지 않은 실시간 운영 및 관리에 적합한 모형이라 판단된다.

2. 경보 기법

지능형 알고리즘들로 진행되는 경보 과정은 수질예측 모형의 출력값을 받아들여 자동측정망에서 취득된 실측값과 비교하고, 이상치의 발견시 경고의 메시지를 전달하는 과정을 거친다. 현재의 수질은 이전 수질과 관련성이 많으므로 이상치의 판단과정에 수질 자료의 시간당 변화폭과 발생 확률을 활용하였다. 이상 수질의 판단을 위해 그림 2와 그림 3의 기준을 설정하였다.

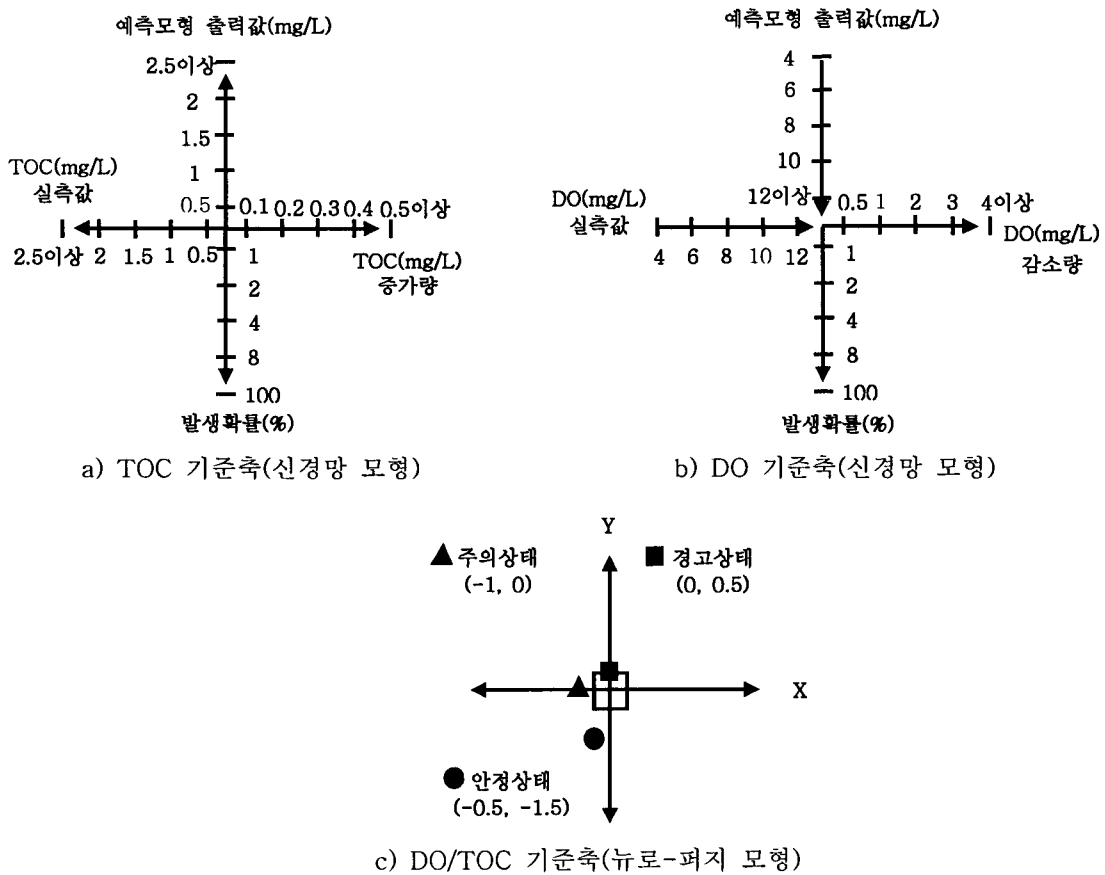


그림 2. 지능형 알고리즘의 학습을 위한 기준축 설정

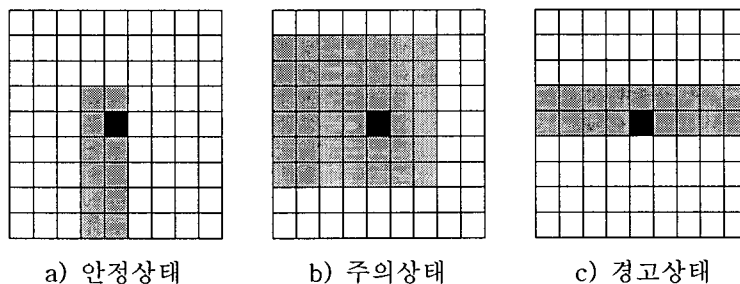


그림 3. 경보를 위한 학습지표

그림 2는 지능형 알고리즘의 학습을 위해 설정한 기준축이며, 그림 3은 기준축으로부터 형성된 안정, 주의, 경고 상태의 학습지표이다. 이상치의 판단을 위해 9×9 형태의 행렬을 이용하였으며, 원소 (5, 5)의 위치로부터 항목별로 5등급으로 나누어진 상하좌우 4개의 축을 구성하였다. 4개의 축을 통해서 이진수나 양극성 데이터가 활용된다면 안전한 수질 상태는 행렬 평면상에서 숫자 “1”과 같은 모양을 가지게 된다. TOC 항목의 경우, 수질예측 모형의 출력값과 TOC 실측값이 모두 작고 발생확률은 높을 것이며, 이전 값에 비해 갑작스러운 증가폭이 적거나 없는 경우이다. DO 항목의 경우, 수질예측 모형의 출력값과 DO 실측값이 모두 크고 발생확률은 높을 것이며, 이전 값에 비해 감소폭이 적거나 없는 경우이다. 경고의 상태는 한일자 “-”에 가깝게 된다. TOC 항목의 경우, 신경망 모형의 출력값에 비해 TOC 실측값이 매우 크고, 발생확률은 작으며, TOC의 증가가 크게 발생하였을 것이다. DO 항목의 경우, 신경망 모형의 출력값에 비해 DO 실측값이 매우 작거나 발생확률이 작고, DO의 감소폭이 크게 나타날 것이다(연인성 등, 2005). 또한 잦은 경고를 방지하기 위해 주의상태를 두었다. 신경망 모형의 출력값과 실측값의 오차는 있으나, 증가량이나 발생확률이 극단적이지 않은 경우이다. ANFIS(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems) 뉴로-퍼지 모형은 X, Y축에 대한 안정, 주의, 경고 상태의 center 값을 사용하였다.

3. 적용 및 결과

불규칙한 TOC와 DO의 이상수질이 발생하였을 때에 학습된 지능형 알고리즘이 이를 해석할 수 있는지 검토하였다. TOC는 평창강 수질자동측정망 지점에서 수질예측 모형으로부터 예측된 자료(2003년 7월 24일)를 바탕으로 가상시나리오가 작성되었다. DO는 급격하게 저하한 실측자료(2003년 7월 10일)가 사용되었으며, 기기의 오작동으로 판단되는 시점이나 수질오염사고를 가정한 시나리오로 사용하였다. 그림 4와 5에 작성된 시나리오를 나타내었다.

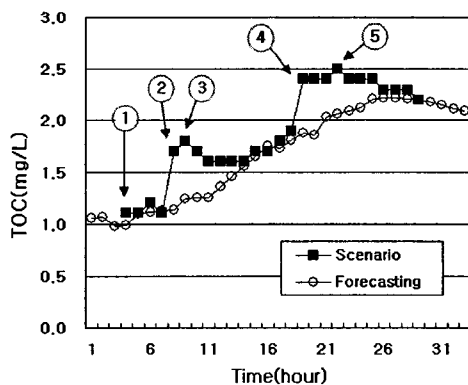


그림 4. TOC 시나리오

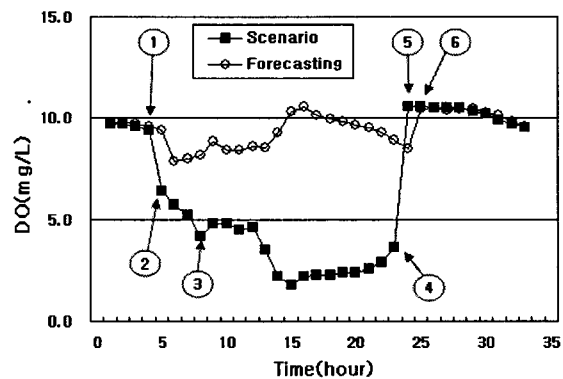


그림 5. DO 시나리오

작성된 시나리오 중 TOC는 ①~⑤의 경우, DO는 ①~⑥의 경우를 선택하여 안정, 주의, 경고 상태에 대해 학습한 지능형 알고리즘들이 어떻게 반응하는지를 확인하였다. 행렬로 변환된 시나리오의 학습된 연결강도 행렬에 의해 계산값으로 출력되었으며, 임계치인 0을 기준으로 임계치보다 작으면 -1, 크면 1로 Output이 출력되었다.

TOC의 시나리오에 대한 지능형 알고리즘들의 적용결과는 표 1과 같다. 다중퍼셉트론, BAM, 다층신경망과 뉴로-퍼지 알고리즘은 모두 ②와 ④의 경우를 이상치로 판단해 내는 좋은 결과를 보였다. 또한 TOC의 시간당 증가량은 크지 않으나, 예측 모형의 출력값과 차이를 보인 ③과 ⑤의

경우에 주의 및 경고를 전달하였으며, 안정적인 ①의 경우를 잘 판단하였다.

DO 시나리오에 대한 지능형 알고리즘들의 적용결과는 표 2와 같다. 다중퍼셉트론, BAM, 다층신경망과 뉴로-퍼지 알고리즘은 모두 수질예측 모형의 출력값과 실측치가 근사한 ①, ⑤, ⑥의 경우를 안정상태로 판단하였다. 또한 DO가 급격히 감소한 ②와 수질예측 모형의 출력값과 실측값이 큰 차이를 보인 ③의 경우를 이상치로 판단해 내었다.

DO 농도가 3.6 mg/L로 매우 낮았으나 시간당 변화량이 0.7 mg/L 증가한 ④의 경우에 BAM, 다층신경망과 뉴로-퍼지 알고리즘은 경고상태를 전달하였으며, 다중퍼셉트론은 오류가 발생하는 부적절한 결과를 보였다. 단순한 구성으로 학습절차를 마친 다중퍼셉트론은 DO의 감소를 위험상태로 학습하였으나, ④의 경우는 DO가 증가한 상태이므로 판단이 모호하였을 것으로 판단된다.

4. 결론

실제 수질오염사고로 발생할 수 있는 시나리오를 통해서 스스로 수질오염사고를 판단할 수 있는 다중퍼셉트론, BAM, 다층신경망, 뉴로-퍼지 알고리즘을 검토하였다. 지능형 알고리즘의 학습을 위해 개발된 기준축과 학습지표는 적절한 결과를 유도하는데 유용하였다. BAM, 다층신경망, 뉴로-퍼지 알고리즘은 TOC와 DO의 이상 수질에 대하여 안정, 주의, 경고 상태를 적합하게 구별하는 것으로 나타났다. 다중퍼셉트론 알고리즘은 구조가 간단하여 학습시와 유사한 패턴의 자료를 구분하는데 빠르고 유용하였으나, 모호한 자료에 대해서는 판단능력이 부족한 것으로 나타났다. 구조가 단순하지만 양방향 연산을 수행하는 BAM 알고리즘은 다층신경망 및 뉴로-퍼지 알고리즘과 비교할 때, 학습 및 구동시간이 짧을 뿐만 아니라 결과 또한 안정적인 것으로 나타났다. 이상수질의 판단을 위해서는 수질의 변화가 복잡한 상황이나 오염사고에 대비할 수 있는 선행 가용시간을 고려하여 현장 여건에 맞는 모형 및 알고리즘을 선택하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

표 1. 지능형 경보 기법에 의한 TOC 시나리오 판단 결과

구분	실측 TOC값 (mg/L)	예측모형 출력값 (mg/L)	시간당 변화폭 (mg/L)	발생확률 (%)	적용 알고리즘	Output	판단상태
①	1.1	1.0	+0.1	8	다중퍼셉트론	1 1 -1	안정
					BAM	1 1 -1	안정
					다층신경망	1 1 -1 -1	안정
					뉴로-퍼지	1	안정
②	1.7	1.2	+0.5	1.5	다중퍼셉트론	-1 1 1	경고
					BAM	-1 1 1	경고
					다층신경망	-1 -1 1 1	경고
					뉴로-퍼지	-1	경고
③	1.8	1.3	+0.1	1.2	다중퍼셉트론	1 -1 1	주의
					BAM	1 1 1	주의
					다층신경망	1 -1 -1 1	주의
					뉴로-퍼지	0	주의
④	2.4	1.9	+0.5	0.1이하	다중퍼셉트론	-1 1 1	경고
					BAM	-1 1 1	경고
					다층신경망	-1 -1 1 1	경고
					뉴로-퍼지	-1	경고
⑤	2.5	2.0	+0.1	0.1이하	다중퍼셉트론	-1 1 1	경고
					BAM	-1 1 1	경고
					다층신경망	-1 -1 1 1	경고
					뉴로-퍼지	-1	경고

표 2. 지능형 경보 기법에 의한 DO 시나리오 판단 결과

구분	실측 DO값 (mg/L)	예측모형 출력값 (mg/L)	시간당 변화폭 (mg/L)	발생확률 (%)	적용 알고리즘	Output				판단상태
①	9.4	9.5	-0.2	16.6	다중퍼셉트론	1	1	-1		안정
					BAM	1	1	-1		안정
					다층신경망	1	1	-1	-1	안정
					뉴로-퍼지	1				안정
②	6.4	8.2	-3.0	0.3	다중퍼셉트론	-1	1	1		경고
					BAM	-1	1	1		경고
					다층신경망	-1	-1	1	1	경고
					뉴로-퍼지	-1				경고
③	4.2	8.9	-1.1	0.1	다중퍼셉트론	-1	1	1		경고
					BAM	-1	1	1		경고
					다층신경망	-1	-1	1	1	경고
					뉴로-퍼지	-1				경고
④	3.6	8.6	+0.7	0.1이하	다중퍼셉트론	1	1	1		판단오류
					BAM	-1	1	1		경고
					다층신경망	-1	-1	1	1	경고
					뉴로-퍼지	-1				경고
⑤	10.6	8.5	+7.0	52.2	다중퍼셉트론	1	1	-1		안정
					BAM	1	1	-1		안정
					다층신경망	1	1	-1	-1	안정
					뉴로-퍼지	1				안정
⑥	10.5	10.5	-0.1	46.1	다중퍼셉트론	1	1	-1		안정
					BAM	1	1	-1		안정
					다층신경망	1	1	-1	-1	안정
					뉴로-퍼지	1				안정

* 다중퍼셉트론 (안정 목표치 : 1 1 -1, 주의 목표치 : 1 -1 1, 경고 목표치 : -1 1 1)
 * BAM (안정 목표치 : 1 1 -1, 주의 목표치 : 1 1 1, 경고 목표치 : -1 1 1)
 * 다층신경망 (안정 목표치 : 1 1 -1 -1, 주의 목표치 : 1 -1 -1 1, 경고 목표치 : -1 -1 1 1)
 * 뉴로-퍼지 (안정 목표치 : 1, 주의 목표치 : 0, 경고 목표치 : -1)

감 사 의 글

이 논문은 2006년도 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-D00036)

참 고 문 헌

1. 연인성, 안상진(2005). 유량과 수질을 연계한 실시간 인공지능 경보시스템 개발 (II) 경보시스템 구축, 한국수자원학회논문집, 제38권 제7호, pp. 575-584.
2. Haykin, S.(1999). Neural Networks A Comprehensive Foundation - Second Edition, Prentice Hall International, Inc. pp. 1-6.
3. Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E. (1997). Neuro-Fuzzy and soft computing, Prentice Hall International, Inc. pp. 540-548.