한국환경과학회지 제18권(제10호), 1155~1162, 2009
Journal of the Environmental Sciences

형산강 하류 적조발생시 수질 및 수문학적 특성 검토

이 창 수
위덕대학교 건축공학과
(2009년 6월 3일 접수; 2009년 6월 22일 수정; 2009년 7월 24일 채택)

Investigation of Water Quality and Hydrological Characteristic When Red Tide Develop in the Mouth of Hyeongsan River

Chang-Soo Lee
Department of Architectural Engineering, Uiduk University, Kyongju 780-713, Korea
(Manuscript received 3 June, 2009; revised 22 June, 2009; accepted 24 July, 2009)

Abstract

To investigate the influence of water area calmness on the red tide development, runoff phenomena due to antecedent precipitation of red tide development day were analyzed. There were examined the water quality variation properties at about the same time of the red tide develop. The red tide was developed when the stage and discharge nearly had not changed. It was estimated that the stability of particle behavior in the mouth of river effected on the red tide develop. Also, the concentrations of COD_{Mn} were increased about 241~629% when the red tide developed.

Key Words : Red tide, Calmness, Antecedent precipitation, Water quality variation

1. 서 론

산업의 급속한 발달에 따른 도시의 팽창은 주변 환경을 악화시켜 각종 환경오염을 유발시킨다. 국가 주도형 개발과 지방자치단체가 주도하는 각종 공업단지개발, 택지개발 및 위락단지 등의 조성은 주변의 환경오염을 가속화시키는 결과를 초래하게 되었다.

수질오염은 자연수역의 물이 인간생활과 산업활동 등에 의해 발생되는 각종 오염물질의 영향으로 용수로 사용할 수 없는 상태를 말한다. 특히 도시주변의 하천은 주변도시의 생활하수와 공단주변의 방류수에 포함되어 있는 유기물질 및 유해물질로 인해 오염되기 쉬우며 이로 인해 수질변화 및 수생태계의 구성요소인 생산자, 소비자 및 분해자들의 개체수를 변화시켜 수환경의 파괴를 가속화시키게 된다. 특히 적조의 발생은 수생태계의 급격한 변화 또는 수질의 급격한 변동을 의미하는 것으로 결코 유익한 현상은 아니다.

적조에 대한 효과적인 대처 방안과 관리를 위해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 손 등[1]은 남조류 발생이 빈번한 낙동강 하류에서 남조류 발생시의 현장 변화를 정량·정성적으로 분석한 결과와 현장 시료를 현광분석 및 유도현광 분석을 통해 남조류 발생시기를 조기에 포착할 수 있는 방법을 개발하고자 하였다. 이 등[2]은 한국연안에 출현하는 주요

Corresponding Author : Chang-Soo Lee, Department of Architectural Engineering, Uiduk University, Kyongju 780-713, Korea
Phone: +82-54-760-1701
E-mail: cslee@uu.ac.kr

적조 생물의 적조 발생 특성을 분석하기 위해 편모조류 10종을 대상으로 하여 수온과 염분, 광도의 특성에 따른 종의 성장특성을 분석한 후 과거 13년 자료와 비교 분석하여 그 특성을 분석하였다. 이와 같이 적조 발생 억제 및 제거를 위한 연구 외에도 정[3]은 GIS분석 기법에 의해 적조 발생시기와 생물학적, 해양학적인 인자를 통해 적조의 발생 가능한 시-공간적인 분포를 분석하는 적조정보시스템을 개발하여 적조를 효과적으로 관리 하여 효율적으로 대처할 수 있도록 하고자 하였다. 이와 같이 현재까지 적조의 처리와 관리를 위해 다양한 연구가 이루어졌다.

일반적으로 적조발생은 T-N과 T-P가 주요원인으로 알려져 있으며, 이 외에도 수온, 수역의 정온도, 유입수의 수질 등 여러 가지 조건에 영향을 받는다. 형산강 유역에는 매년 2월초부터 11월까지 강물이 검붉어지는 적조현상이 최근 빈번히 발생하고 있어 발생 원인에 대한 조사가 시급한 실정이다[4]. 형산강 하류 지역은 지형특성상 하상경사가 매우 완만하여 형산강 유역에 강우가 발생하지 않을 경우 하천의 유속이 거의 0에 가까워 수역의 정온도가 높아지게 된다. 이에 본 논문에서는 유량의 감소로 인한 수역의 정온도가 적조발생에 미치는 영향을 검토하기 위하여 형산강 하구의 실측 적조발생자료를 바탕으로 적조발생일의 선행강우조건에 대해 조사하고 이에 대한 형산강 하구의 유출현상 및 적조발생 전후의 수질변화특성에 대해 검토하여 보았다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구지역

형산강 유역 중 본 연구 대상지역은 최근 적조발생이 빈번하게 발생되며, 오염물질에 의한 영향이 다른 유역에 비해 높다고 판단되는 하류지역으로 연일대교에서 형산교까지를 연구지역으로 Fig. 1과 같이 선정하였다. Fig. 1에서 표시한 바와 같이 적조발생전·후의 수질변화 특성을 파악하기 위해 실시한 수질조사지점은 연일대교 지점(W1), 섬안 큰다리 지점(W2), 형산교 지점(W3) 등 3개 지점에 대해 수질분석을 실시하였으며, 수위 및 유량자료는 포항수위표지점(S1)자료를 이용하였다.

2.2. 분석방법

적조발생 전·후의 수질특성을 검토하기 위해 실시한 수질분석 항목은 COD_{Mn}, T-N, T-P를 중심으로 분석하였으며, 분석방법은 수질공정시험법[5,6]에 따라 분석하였다. 형산강 하구 적조발생일의 선행강

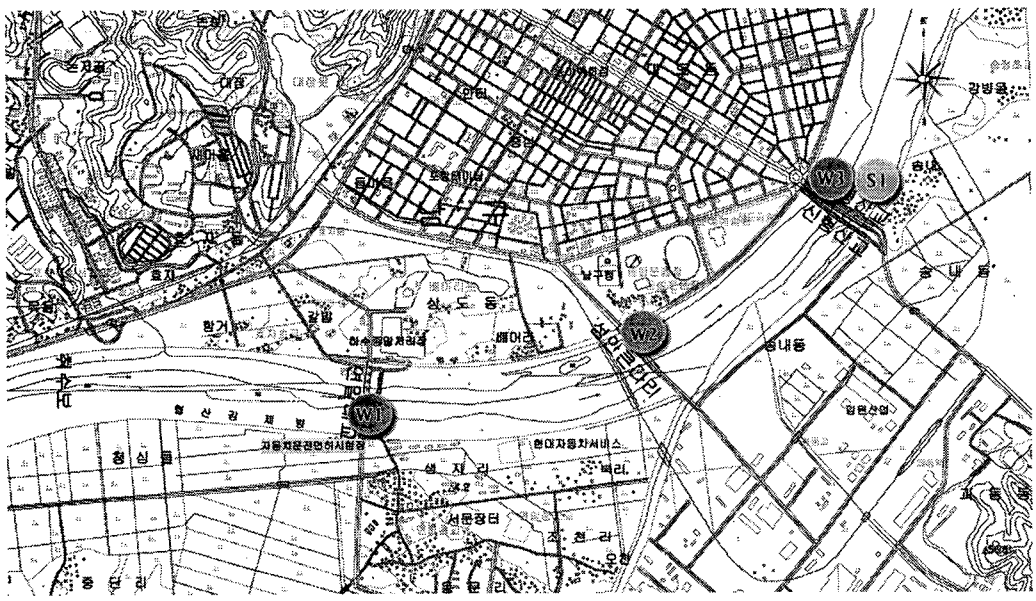

Fig. 1. Research area.

우조건 및 형산강 하구의 유출현상은 낙동강 홍수통제소가 운영하는 포항수위표지점(S1)의 수위 및 유량자료[7]를 이용하였다.

3. 결 과

3.1. 선행강우조건 및 수위, 유량조건의 검토

본 연구에서는 선행강우조건에 따른 적조발생의 영향성 유무를 검토하기 위해 형산강 실측 강우자료를 바탕으로 적조발생일 및 적조발생일 기준 30일 선행강우에 대해 조사하였으며, 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 또한 선행강우에 의한 형산강 하구의 수위 및 유량의 변화에 대해 조사하였으며, 그 결과를 Fig. 2.1~2.14에 도시하였다. 그림에서 수위 및 유량측정 시각은 당일 0시 0분을 기준으로 하였다.

Table 1에서와 같이 단순하게 30일 선행 총 강우량의 크기만으로는 적조발생에 미치는 영향을 명확히 추론하기는 힘들었다. 그러나 적조발생 30일 전까지 1시간 단위로 수위-유량자료를 확보하고 검토해 본 결과 Fig. 2.1~Fig 2.14와 같이 형산강 하구지역의 적조현상은 선행강우가 발생하여 수위와 유량의 증가로 인한 입자 교란시에는 발생하지 않고 강우 종료 후, 수위와 유량의 변화가 거의 없어져 정온도가 높은 상태에서 이루어지고 있는 것으로 나타났다. Fig. 2.5에서는 수위가 0 m로 나타나 있으나 이는 당시 수위계의 고장으로 인한 결측자료로 판단된다. 수위와 유량의 변화에 따른 월별 적조발생 현황의 차이점을 검토하기 위해 형산강 하구의 적조발생현황을 월별로 구분하여 적조발생 당시의 형산강 하구 수위와 유량에 대해 조사하고 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서와 같이 하절기(6, 7, 8월)에 발생한 적조 당시 형산강 하구의 평균수위는 1.67 m로 그 외의 기간에 발생한 적조 당시의 평균수위 1.63 m와 크게 차이가 없었으며, 하절기 가운데 7월을 제외한 나머지 관측자료의 평균수위는 1.61 m로 나타났다. 또한 적조발생 당시의 형산강 하구의 평균유량은

Table 1. Red tide develop day and AP_{30}

Year	Month	Day	AP_{30}(mm)	Year	Month	Day	AP_{30}(mm)
1998	7	10	170.0	2002	2	15	0.0
2000	2	17	0.0	2002	3	11	0.0
2000	4	1	17.0	2002	4	12	27.0
2000	6	19	15.0	2002	5	24	130.0
2001	3	19	0.0	2003	2	7	0.0
2001	6	4	63.0	2004	2	9	0.0
2001	8	14	16.0	2004	11	19	52.0

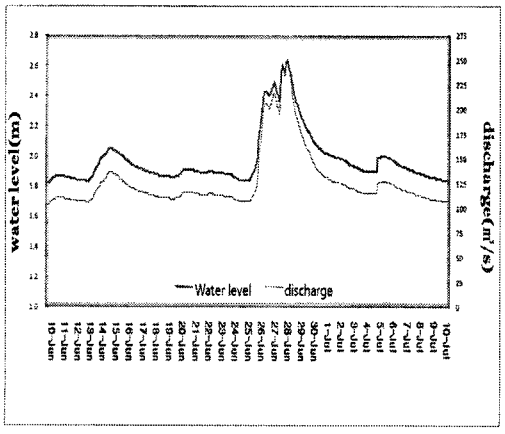

Fig. 2.1. Variation of stage and discharge(1998. 6. 10. - 7.10).

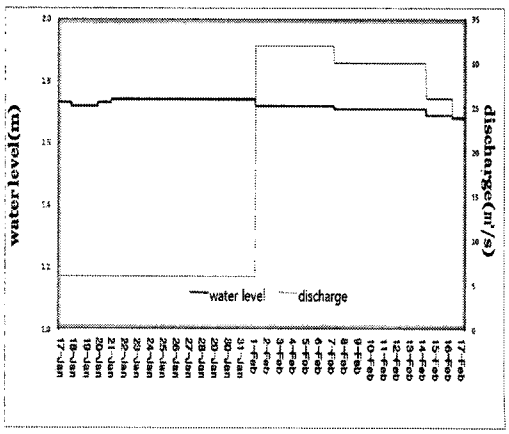

Fig. 2.2. Variation of stage and discharge(2000. 1. 17. - 2.17).

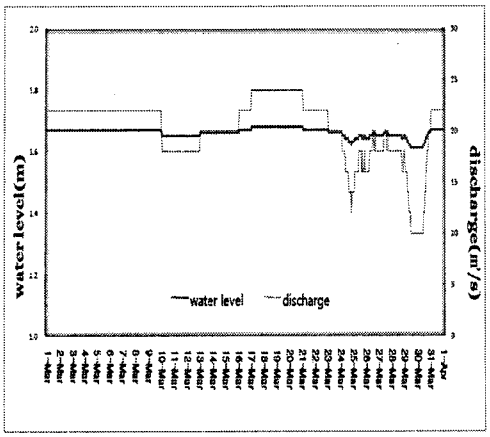

Fig. 2.3. Variation of stage and discharge(2000. 3. 1.~4. 1).

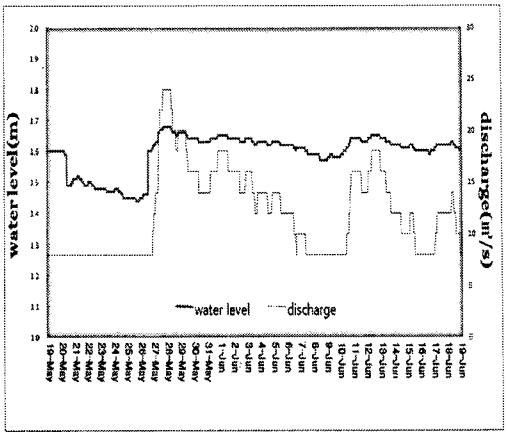

Fig. 2.4. Variation of stage and discharge(2000.5.19.~6.19).

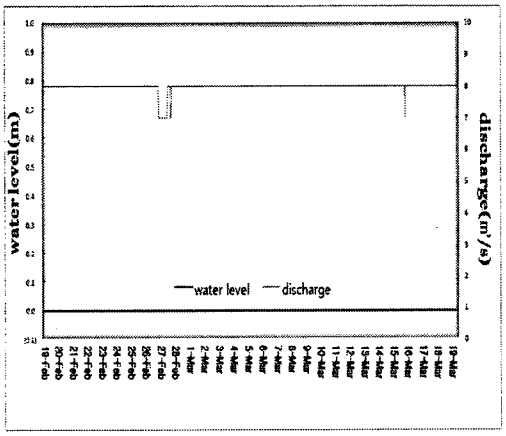

Fig. 2.5. Variation of stage and discharge(2001.2.19.~3.19).

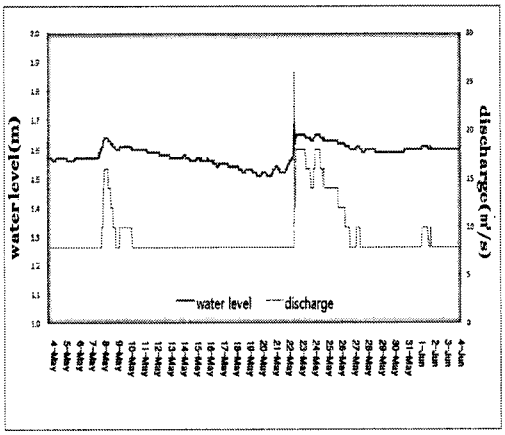

Fig. 2.6. Variation of stage and discharge(2001.5.4.~6.4).

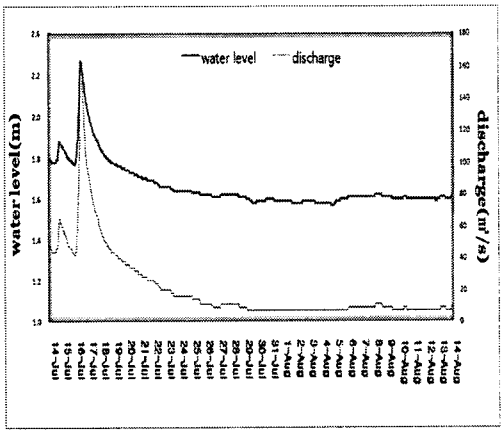

Fig. 2.7. Variation of stage and discharge(2001.7.14.~8.14).

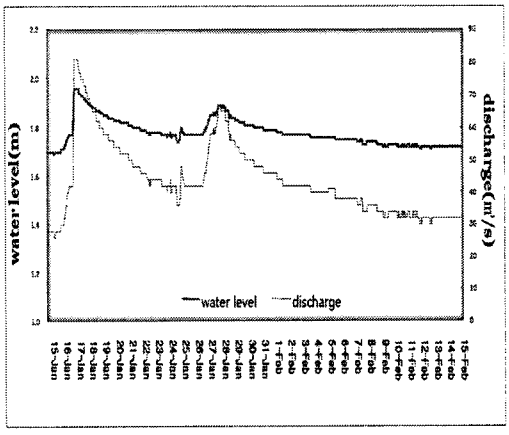

Fig. 2.8. Variation of stage and discharge(2002.1.15.~2.15).

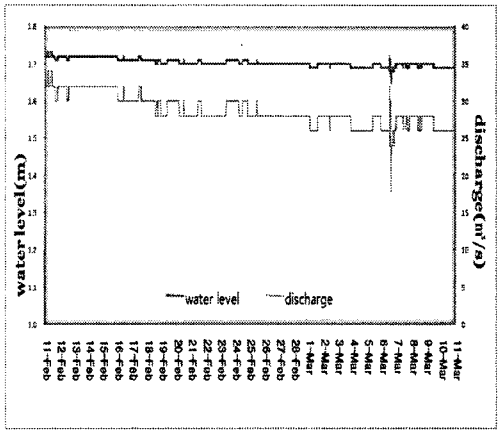

Fig. 2.9. Variation of stage and discharge(2002.2.11.~3.11).

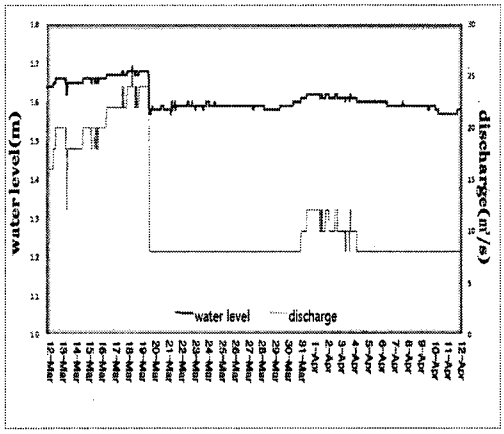

Fig. 2.10. Variation of stage and discharge(2002.3.12.~4.12).

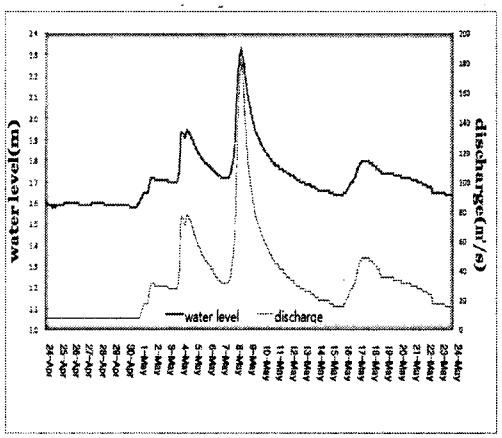

Fig. 2.11. Variation of stage and discharge(2002.4.24.~5.24).

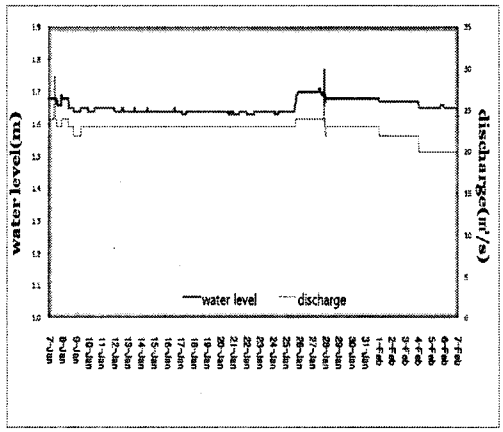

Fig. 2.12. Variation of stage and discharge(2003.1.10.~2.9).

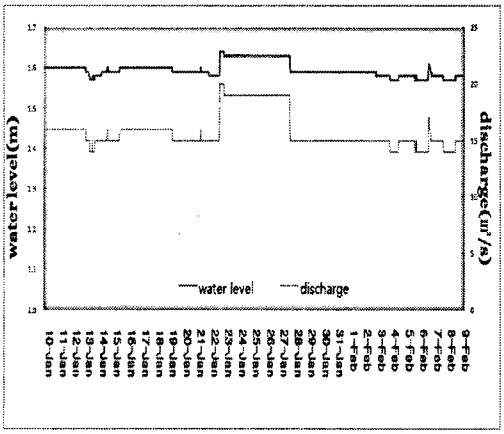

Fig. 2.13. Variation of stage and discharge(2004.1.10.~2.9).

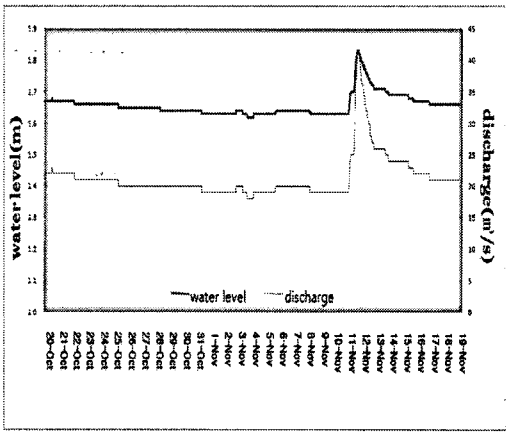

Fig. 2.14. Variation of stage and discharge(2004.10.20.~11.19).

Table 2. Stage and discharge when red tide develop

Month	AP_{30}(mm)	Stage(m)	Discharge (m^3/sec)	Month	AP_{30}(mm)	Stage (m)	Discharge (m^3/sec)
98. 7	170.0	1.84	107.0	02. 2	0.0	1.72	32.0
00. 2	0.0	1.68	24.0	02. 3	0.0	1.68	24.0
00. 4	17.0	1.67	22.0	02. 4	27.0	1.58	8.0
00. 6	15.0	1.61	9.0	02. 5	130.0	1.63	16.0
01. 3	0.0	0.00	8.0	03. 2	0.0	1.64	20.0
01. 6	63.0	1.60	8.0	04. 2	0.0	1.58	15.0
01. 8	16.0	1.63	14.0	04. 11	52.0	1.66	21.0

23.4 m^3/sec로 전체 적조발생 건수의 85.7%가 형산강 하구의 유량이 25 m^3/sec 이하인 경우에 발생한 것으로 나타났다. 하절기(6, 7, 8월)에 발생한 적조 당시 형산강 하구의 평균유량은 34.5 m^3/sec였으며, 하절기 가운데 7월을 제외한 나머지 관측자료의 평균유량은 10.3 m^3/sec로서 그 외의 기간에 발생한 적조 당시의 평균유량 18.0 m^3/sec 보다 오히려 더 작은 것으로 나타나 형산강 하구의 적조발생은 계절적 영향보다 유량의 크기에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 실제로 형산강 하구지역은 하상경사가 매우 완만하여 유량이 25 m^3/sec인 경우의 유속은 거의 0에 가까워지므로 선행강우의 부재로 인한 하구지역의 입자거동의 안정한 정도가 적조발생에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3.2. 적조발생 전후의 수질특성

적조 발생 전·후의 수질특성을 파악하기 위하여 형산강 하구에서 2005년도에 적조가 발생한 5월 24일(1차) 및 12월 2일(2차)의 수질 및 발생일 전·후의 수질을 조사하여 그 결과를 Fig. 3.1~3.6과 같이 나타내었다.

3.2.1. COD_{Mn}

COD_{Mn}의 경우, 1차 적조 발생 전 P1, P2, P3의 농도는 각각 3.70 mg/l, 8.56 mg/l, 9.12 mg/l이며, 적조 발생시에는 P1, P2, P3지점의 농도가 15.83 mg/l, 20.63 mg/l, 30.87 mg/l로 각각 428%, 241%, 295% 크게 증가하였고, 적조발생 후 P1, P2, P3의 농도는 5.30 mg/l, 11.79 mg/l, 13.56 mg/l로 분석되어 적조 발생 전의 수질상태와 큰 변화는 발견할 수 없었다. 2차 적조 발생 전 P1, P2, P3의 농도는 각각 5.24 mg/l, 6.40 mg/l, 7.32 mg/l이며, 적조 발생시에는 P1, P2, P3지점의 농도가 32.94 mg/l, 37.92 mg/l, 30.93 mg/l로 각각 629%, 593%, 423% 증가하였으며. 적조 발생 후의 P1, P2, P3의 농도는 7.22 mg/l, 16.20 mg/l, 18.80 mg/l, 23.60 mg/l로 분석되었다. 따라서 적조발생시 COD_{Mn}의 농도는 241~629% 크게 증가하였음을 알 수 있었고, 적조 발생 후 각 지점의 농도는

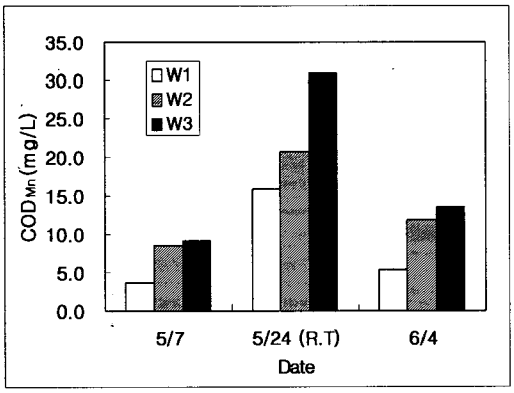

Fig. 3.1. COD_{Mn} changes of the several days before and after red tide developed(2005. 5.24).

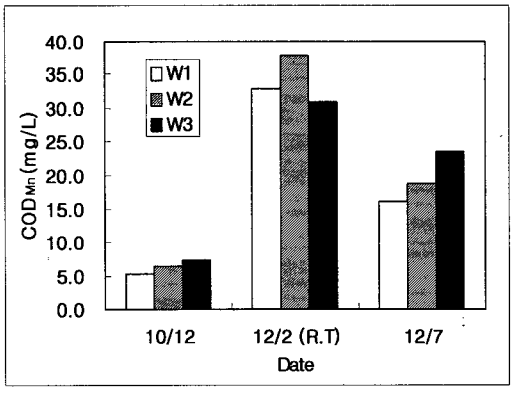

Fig. 3.2. COD_{Mn} changes of the several days before and after red tide developed(2005.12.2).

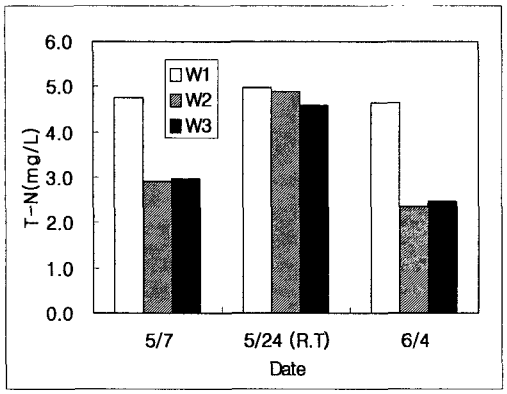

Fig. 3.3. T-N changes of the several days before and after red tide developed(2005. 5.24).

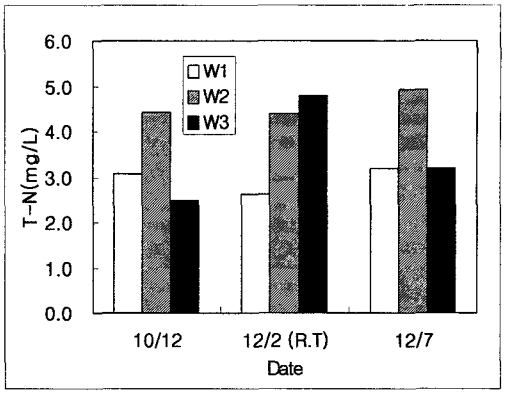

Fig. 3.4. T-N changes of the several days before and after red tide developed(2005.12.2).

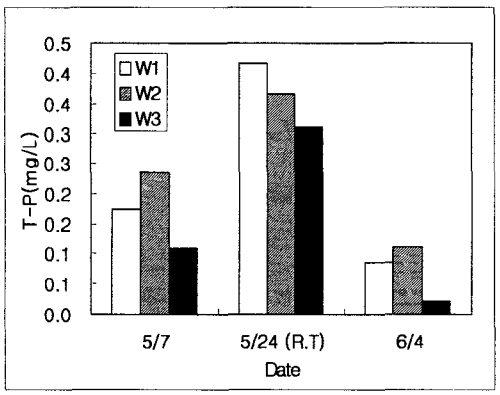

Fig. 3.5. T-P changes of the several days before and after red tide developed(2005. 5.24).

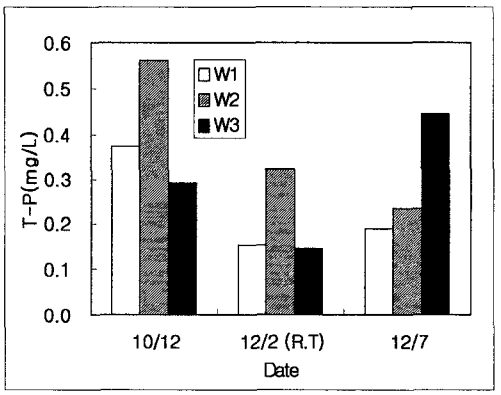

Fig. 3.6. T-P changes of the several days before and after red tide developed(2005.12.2).

적조 발생 전과 비교해 큰 변화는 없는 것으로 분석되었다.

3.2.2. T-N, T-P

각 지점 P1, P2, P3에서 적조발생시의 T-N, T-P농도는 적조발생전후의 농도보다 반드시 높게 나타나지는 않았다. 이는 자연하천의 조건에서 적조발생에 따른 수질측정시점 선정 및 유입오염원 등의 영향에 기인한 것으로 사료된다.

4. 결 론

유량의 감소로 인한 수역의 정온도가 적조발생에 미치는 영향을 검토하기 위하여 형산강 하구의 실측 적조발생자료를 바탕으로 적조발생일의 선행강우조건에 대해 조사하고 이에 대한 형산강 하구의 유출현상 및 적조발생 전후의 수질변화특성에 대해 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 적조발생 30일 전까지 1시간 단위로 수위-유량자료를 검토해 본 결과, 형산강 하구지역의 적조현상은 선행강우가 발생하여 수위와 유량의 증가로 인한 입자 교란시에는 발생하지 않고 강우 종료 후, 수위와 유량의 변화가 거의 없어져 정온도가 높은 상태에서 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

2) 형산강 하구지역은 하상경사가 매우 완만하여 유량이 25 m^3/sec인 경우의 유속은 거의 0에 가까워지므로 선행강우의 부재로 인한 하구지역의 입자거동의 안정한 정도가 적조발생에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3) 적조발생시 COD_{Mn}의 농도는 241~629% 크게 증가하였고, 적조 발생 후 각 지점의 농도는 적조 발생 전과 비교해 큰 변화는 없는 것으로 분석되어 적조발생시의 수질환경조건으로서 유기물의 농도가 크게 기여한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 경북지역 환경기술개발센터의 2005년 연구개발지원사업의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1) 손문호, Ismayil S. ZulFugarov, 권오섭, 문병용, 정익교, 이춘환, 이진애, 2005, 수종 담수적조 원인종들의 형광특성과 적용연구, 한국조류학회, 20(2), 113-120.
2) 이창규, 이옥희, 이심근, 2005, 한국연안에서 분리된 적조형성 미세조류 10종의 성장에 미치는 온도, 염분, 광도의 영향, 한국해양학회, 10(1), 79-91.
3) 정종철, 2004, 적조정보시스템의 GIS데이터베이스화 연구, 한국GIS학회, 12(3), 263-274.
4) 이창수, 2005, 형산강 하류에서의 수생생태 및 적조발생 조사연구, 경북지역환경기술개발센터.
5) 최규철 등 5인, 1997, 수질오염공정시험방법주해, 동화기술, 710pp.
6) APHA, AWWA, WPCF, 1995, Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed., APHA, Washington, DC.
7) http://www.nakdongriver.go.kr.