

PE1) 형산강 하구 적조발생시의 수질변화

이창수*, 구봉현¹, 전봉준¹
 위덕대학교 건축학부, ¹(주)세기기술단

1. 서 론

하천 주변에 인구가 집중되고 산업이 발달되어 갈수록 물 소비량은 증가하고 이로 인한 생활하수와 폐수 등은 점차 증가하게 된다. 특히 근래 들어 갑자기 규모가 증가한 도시주변의 경우 수질 악화 등으로 인해 수자원 오염이 가중되고 있는 현실이다.

다량의 오염물질이 하천에 유입될 경우 수질악화와 함께 적조가 발생할 수 있으며, 이로 인해 심리적 거부감과 함께 다양한 피해를 유발시킬 수 있다. 특히 적조의 발생은 수생태계의 급격한 변화 또는 수질의 급격한 변동을 의미하는 것으로 결코 유익한 현상은 아니다. 현재까지 적조의 원인은 영양물질 즉, T-N과 T-P의 유입으로 인해 부영양화 현상이 원인이라고 알려져 있다.

이에 본 연구에서는 근래 들어 도시화로 인해 산업단지가 조성되어 생활하수와 폐수로 인해 하천오염이 우려되는 형산강을 연구지역으로 선정하여 적조발생 전후의 수질변화를 조사하여 향후 적조 영향을 물질을 파악하는데 도움을 주고자 한다.

2. 연구 지역 및 방법

형산강 유역 중 본 연구 대상지역은 최근 적조발생이 빈번하게 발생되며, 오염물질에 의한 영향이 다른 유역에 비해 높다고 판단되는 하류지역을 연구지역으로 선정하였다. 이에 유강대교를 기점으로 하여 형산교 까지를 연구지역으로 선정하였다. 이는 최근 형산강의 적조발생 영향을 조사한 이창수(2005)의 연구에서도 적조가 주로 발생된다고 언급한 지점으로 형산강 유역 중 연구에 적합한 지점이라 판단된다.

Table 1. 현장 조사 위치 및 설명

| 구 분 | 위치설명 | 시료종류 | 비 고 |
|-----|-------|---------|---------------------|
| P1 | 유강대교 | 형산강 하천수 | 조사지점 (1~8차 현장조사) |
| P2 | 연일대교 | 형산강 하천수 | |
| P3 | 섬안큰다리 | 형산강 하천수 | |
| P4 | 형산교 | 형산강 하천수 | |

현장조사는 다음 Table 2와 같이 실시하였다. 1차 현장조사를 통해 분석항목을 결정한 후 4차 조사 이후부터 적조영향물질의 정확한 분석을 위해 22개 항목으로 분석항목을 최종 결정하였다.

수질분석은 현장조사를 통해 4계절 동안 실시하였으며 총 9회 분석을 실시하였다. 분석항목은 11개~22개 항목으로 BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, T-P, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄⁻, NH₃⁺, SS, 색차, 전기전도도, Cl, 수온, DO, Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K 등의 항목을 분석하였다. 수질 분석결과는 크게 3개 부분 즉, 전체 수질 분석, 적조 발생 전후 비교분석 및 계절별 분석을 실시하였다. 수질 분석 항목 중, 중요 분석항목인 BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, T-P, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄⁻, NH₃⁺ 등은 그래프화하여 분석하였으며, 기타 무기성분(금속 이온) 등을 포함한 일반항목들은 표로 도식화하였다.

수질분석의 경우 Table 3과 같이 BOD₅, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, T-P, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄⁻, NH₃⁺, SS 의 경우 수질공정시험법 상의 분석방법을 적용하여 측정하였으며, 색차의 경우 Minolta 의 CM-3500D를 사용하여 분석하였다. 전기전도도와 Cl의 경우 CST Monitor(ACT20-D, Alec Electronic)을 이용하여 분석하였으며, 수온과 DO의 경우 HACH사의 DO-2Z를 이용하여 분석하였다. 무기성분인 이온항목 Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K은 ICP(38S, Jovin Yvon)를 이용하여 분석하였다.

Table 2. 현장조사 날짜 및 분석항목

| 횟수 | 날짜 | 장소 | 분석항목 | 비고 |
|----|---------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1차 | 2005년 03월 26일 | P1-P2 R1-R2 (총 13개 지점) | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , NH ₃ ⁺ , SS, Cl, 수온, DO, Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K (20개 항목) | 초기 조사 |
| 2차 | 2005년 05월 07일 | P1, P2, P3, P4 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, SS, 색차, 전기전도도, Cl, 수온, DO (11개 항목) | 정기조사 |
| 3차 | 2005년 05월 24일 | P1, P2, P3, P4 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , NH ₃ ⁺ , SS, 색차, 전기전도도, Cl, 수온, DO, Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K (22개 항목) | 적조 발생 |
| 4차 | 2005년 06월 04일 | P1, P2, P3, P4 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, SS, 색차, 전기전도도, Cl, 수온, DO (11개 항목) | 정기조사 |
| 5차 | 2005년 08월 18일 | P1, P2, P3, P4 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , NH ₃ ⁺ , SS, 색차, 전기전도도, Cl, 수온, DO, Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K (22개 항목) | 정기조사 |
| 6차 | 2005년 10월 12일 | P1, P2, P3, P4 경주하수처리장 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , NH ₃ ⁺ , SS, 색차, 전기전도도, Cl, 수온, DO, Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K (22개 항목) | 정기조사 |
| 7차 | 2005년 12월 02일 | P1, P2, P3, P4 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , NH ₃ ⁺ , SS, 색차, 전기전도도, Cl, 수온, DO, Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K (22개 항목) | 적조 발생 |
| 8차 | 2005년 12월 07일 | P1, P2, P3, P4 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , NH ₃ ⁺ , SS, 색차, 전기전도도, Cl, 수온, DO, Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K (22개 항목) | 정기조사 |
| 9차 | 2006년 01월 26일 | P1, P2, P3, P4 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , NH ₃ ⁺ | 적조 발생 |

Table 3. 시료 분석 방법

| 분석개수 | 분석항목 | 측정방법 | 비고 |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------|
| 10개 항목 | BOD ₅ , COD _{Mn} , COD _{Cr} , T-N, T-P, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , PO ₄ ⁻ , NH ₃ ⁺ , SS | 수질공정 시험법 | 수작업에 의한 측정법 |
| 1개 항목 | 색차 | Spectrophotometer (CM-3500D, Minolta) | 기기에 의한 자동 분석 |
| 2개 항목 | 전기전도도, Cl | CST Monitor (ACT20-D, Alec Electronic) | 기기에 의한 자동 분석 |
| 2개 항목 | 수온, DO | 전극 측정기 (DO-2Z, HACH) | 기기에 의한 자동 분석 |
| 7개 항목 | Fe, Si, Mn, Mg, Cu, Ca, K | ICP (38S, Jovin Yvon) | 기기에 의한 자동 분석 |

3. 결과 및 결론

Figure 2와 같이 과거(1996~2004)월별 적조 발생빈도를 분석한 결과 2월과 4월 및 6월이 발생빈도가 높게 분석되었으며, 2월의 경우 6회로 발생빈도가 가장 높게 분석되었다. 4월과 6월은 각각 3회로 분석되었다. 이는 과거 형산강 유역의 월별 클로로필a의 월별 발생빈도 및 농도(figure 1)와 일치하는 결과이다.

연구 기간내 수질분석 결과는 지면 관계상 분석자료 중 유기물과 영양물질을 대표할 수 있는 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P를 대표(Figure 3~6)로 나타내 보았다.

BOD₅와 COD_{Mn} 모두 봄철인 2005년 5월 7일에 일시적으로 농도가 증가하였다가 여름(2005년 8월)과 가을(2005년 10월)에는 비슷한 농도를 나타내며, 겨울인 2005년 12월에 급격히 농도가 증가하는 현상이 나타난다. BOD₅와 COD_{Mn} 모두 P3와 P4지점의 농도가 P1과 P2 지점보다 상당히 높게 분석되었으며 특히 겨울철 P4지점의 농도는 급격하게 증가하였다. T-N과 T-P도 역시 봄철(2005년 5월)과 여름(2005년 8월)의 경우 P1과 P2지점의 농도가 높게 분석되었고, 가을(2005년 10월)과 겨울(2005년 12월)의 경우 P3지점의 농도가 다른 지점에 비해 월등히 높게 분석되었다. P2지점은 봄에서 가을로 갈수록 T-N의 농도가 감소하며, T-P의 경우 증가하는 현상이 나타나고, P4지점의 경우 T-P는 농도가 봄~겨울로 갈수록 점차적으로 증가함을 볼 수 있었다.

적조 전과 후로 각각의 수질 변동을 살펴보면 Figure 7~10과 같이 분석되었다. 유기물 성분인 BOD₅와 COD_{Mn} 경우 봄철적조 발생시기 보다 겨울철에 다소 높은 농도를 나타냈으며, 이는 수온 및 계절과 관계있다고 판단된다. 부영양물질(T-N, T-P)은 유기물(BOD₅, COD_{Mn})에 비해 상대적으로 일정한 농도로 유지된다. 그러나 과거에 비해 최근 경우 높은 농도로 일정하게 유지되며, 이로 인해 다른 유기물의 농축현상이 증가하는 겨울철에 수온이 상승하여 일정한 환경조건에 도달하면 적조를 유발시키는 원인 물질이 될 수 있다.

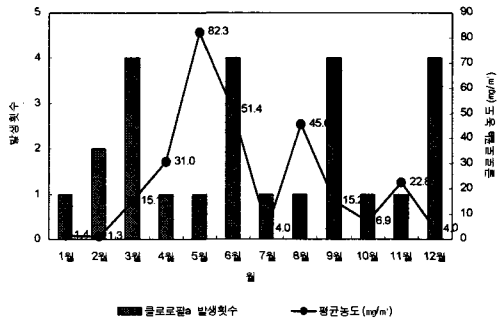


Fig. 1. 형산강 클로로필a 월별 발생빈도 및 농도. (2000년~2004년)

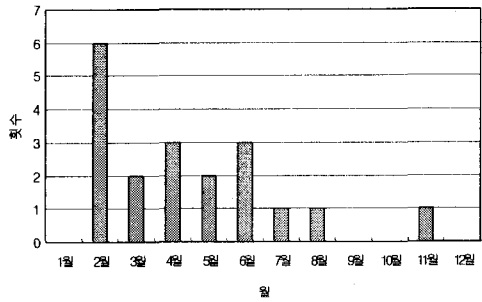


Fig. 2. 과거 형산강의 월별 적조 발생 횟수. (1996년~2004년)

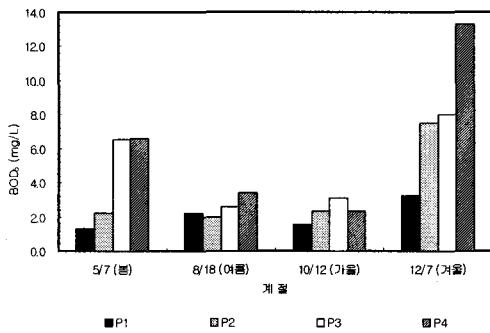


Fig. 3. BOD₅의 계절적 변화.

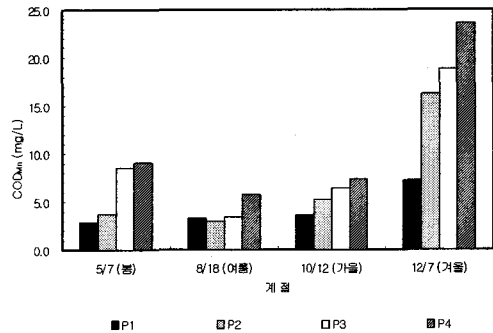


Fig. 4. COD_{Mn}의 계절적 변화.

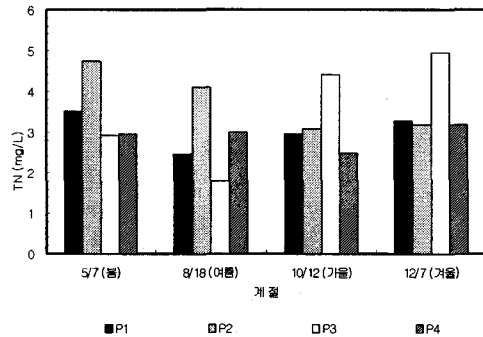


Fig. 5. T-N의 계절적 변화.

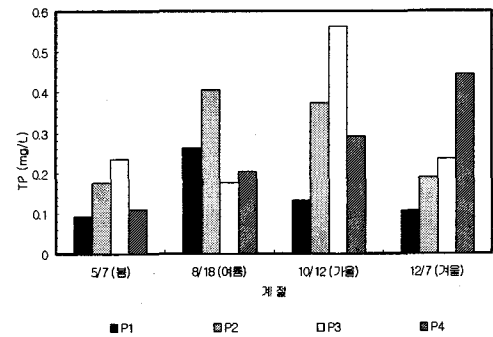


Fig. 6. T-P의 계절적 변화.

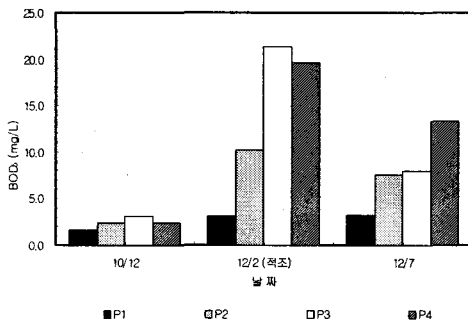


Fig. 7. BOD₅의 적조 발생시 변화.

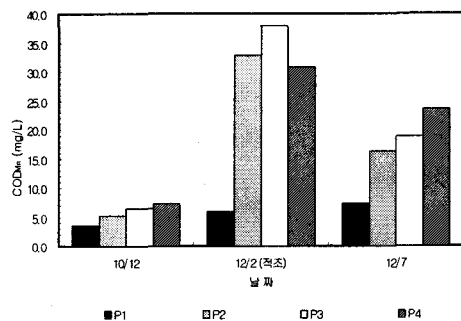


Fig. 8. COD_{Mn}의 적조 발생시 변화.

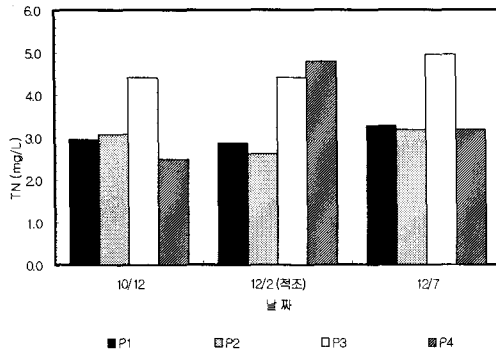


Fig. 9. TN의 적조 발생시 변화.

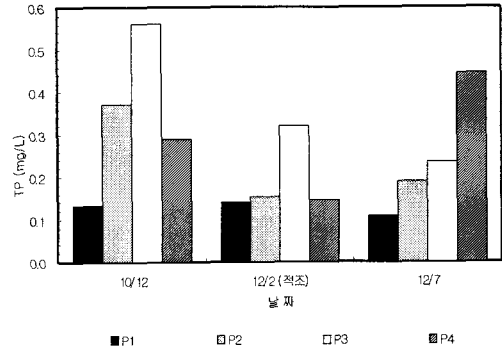


Fig. 10. TP의 적조 발생시 변화.

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

참 고 문 헌

- 이창수, 2005, 형산강 하류에서의 수생생태 및 적조발생 조사연구, 경북지역환경기술개발센터.
- 이정호, 2004, 댐저수지의 담수적조 발생의 위해성 및 생태기작에 관한 연구, 경북지역 환경기술개발센터.
- 동화기술, 1997, 수질오염공정시험방법주해.
- 남선미, 2001, 영일-온산만 기수역에서의 용존 유,무기물 및 다환 방향족 탄화수소의 분포 특성, 인하대학교 석사논문.
- 과학기술처, 1991, 연안오염의 진행과정 및 변화예측연구, 한국해양연구소, BSPG 00138-381-4.