

OE2) 오염원 유입에 의한 형산강 수질변화

이창수, 구봉현^{1*}, 박승철¹

위덕대학교 건축학부, ¹(주)세기기술단

1. 서 론

수질오염의 주요 원인은 생활하수, 공장폐수, 축산폐수 등이며 이러한 폐수에는 합성세제, 유기물을 비롯해 난분해성 물질까지 포함되어 있다. 이러한 물질들이 처리되지 못한 채 방류되면 수질오염을 발생시키게 되고, 주변하천의 환경에 심각한 영향을 끼칠 수 있다. 근래 들어 이와 같은 문제점을 인식하여 생활하수와 폐수 등을 정화처리하여 방류하고자 하고 있으며, 이러한 노력으로 인해 하천 수질이 예전에 비해 다소 개선되었다.

그러나 도시의 인구증가 및 집중으로 인해 상수사용량과 폐수발생량 등이 증가하면서 서서히 도시주변 하천의 오염이 가중되고 있다. 이러한 현상은 좁은 방류수역에 다량의 오염물질이 유입됨으로 인해 하천의 자정능력을 초과하기 때문이다.

이에 본 연구에서는 형산강 유역을 연구대상으로 하여 유입오염원에 의한 수질변화를 파악하여 형산강 본류에 주는 영향을 분석하고자 한다.

2. 연구 지역 및 방법

2.1. 연구 대상 지역 선정 및 방법

형산강 유역 중 본 연구 대상 지역은 평소에 적조 발생 등으로 많은 연구가 이루어지고 있는 지점으로 이창수(2005) 등의 연구에 의해 적조가 주로 발생된다고 보고된 지점인 연일지구를 기점으로 하여 형산교 하단까지를 주 연구대상 지역으로 선정하였다.

오염물질 유입 후의 수질과 비교 대상이 되는 원 수질은 오염원이 유입되기 전인 유강대교 부근에서 채수하여 분석하였고, 유량은 국당 2교 부근에서 수위와 유속을 측정하여 산정하였다. 연일지구 무처리 방류수, 효자지곡 지구 무처리 방류수 및 하수처리장 방류수를 주 오염원으로 선정하였다. 이론적 분석결과와 실제 형산강 수질변화를 비교분석하기 위해 유강대교 부분은 P1으로 표시하여 분석하였고, P2 지점은 연일대교 지점이며, P3 지점은 섬안큰다리, P4는 형산교 지점으로 오염원이 유입되는 지점의 상류와 하류지점이다.

오염물질의 영향을 파악하기 위한 수질분석 항목은 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P를 중점으로 분석하였으며, 분석방법은 수질공정시험법(1997)에 따라 분석하였다. 형산강의 수질과 유량은 적조발생 월별 분포를 조사한 결과, 강우사상이 적은 건기에 60~70%정도 발생하였기에 겨울철에 측정하여 검토하였다. 각각의 유입되는 오염원은 미처리 방류되는 하수나 폐수이므로 계절에 따른 유량의 변화는 있지만 수질 변화는 비교적 적게 받는다고 볼 수 있다.

2.2. 분석 방법

오염원 유입으로 인한 영향을 검토하기 위해 수질과 유량분석을 이용하여 물질수지분석

을 실시하였다. 본 연구에 사용된 물질수지 방정식은 다음 식1과 같다. 물질수지 방정식은 오염물질 유입전의 수질과 유입 후 완전 혼합에 의한 수질 거동을 분석할 수 있는 방법으로 오염물의 농도와 유량, 본류의 농도와 유량을 분석 및 계산하여 간단하게 산정할 수 있는 방법으로 많이 사용되고 있는 방식이다.

$$C(mg/l) = \frac{C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2}{Q_1 + Q_2} \quad (1)$$

여기서, C : 오염원 혼합 후 하천수의 오염물질 농도(mg/l)

C₁ : 유입 오염물질 농도 (mg/l) Q₁ : 유입수의 유량 (m³/day)

C₂ : 하천 본류의 오염물질 농도 (mg/l) Q₂ : 본류의 유량 (m³/day)

3. 결 과

오염물질 유입으로 인한 영향을 분석하기 위해 오염물질이 유입되는 지점보다 상류(유강대교)의 형산강 하천수를 채수하여 분석한 결과 Table 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 1. 형산강 본류 수질(유강대교 부근)

| 지 역 | 항 목 | | 유량 및 농도 | 비 고 |
|--------|-------------------|-----------------------|---------|-----|
| 형산강 수질 | 유량 | (m ³ /day) | 323,049 | |
| | BOD ₅ | (mg/l) | 4.730 | |
| | COD _{Mn} | (mg/l) | 8.360 | |
| | T-N | (mg/l) | 2.848 | |
| | T-P | (mg/l) | 0.119 | |

오염물질(점오염원) 유입원인 연일지구 무처리 방류수, 효자지곡 지구 무처리 방류수 및 하수처리장 방류수를 채수하여 분석하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 유입 오염원의 유

Table 2. 조사지점내 형산강 유입 오염원의 특성

| 지 역 | 항 목 | | 유량 및 농도 | 비 고 |
|--------------------|-------------------|-----------------------|---------|-----|
| 연일지구 무처리 방류수 | 유량 | (m ³ /day) | 8,075 | |
| | BOD ₅ | (mg/l) | 45.600 | |
| | COD _{Mn} | (mg/l) | 56.700 | |
| | T-N | (mg/l) | 12.340 | |
| | T-P | (mg/l) | 2.200 | |
| 효자 지곡지구 무처리 방류수 | 유량 | (m ³ /day) | 22,206 | |
| | BOD ₅ | (mg/l) | 11.120 | |
| | COD _{Mn} | (mg/l) | 17.870 | |
| | T-N | (mg/l) | 9.233 | |
| | T-P | (mg/l) | 0.895 | |
| 하수처리장 방류수 | 유량 | (m ³ /day) | 76,905 | |
| | BOD ₅ | (mg/l) | 15.600 | |
| | COD _{Mn} | (mg/l) | 15.800 | |
| | T-N | (mg/l) | 14.844 | |
| | T-P | (mg/l) | 1.400 | |

량은 해당 구역내 하수 및 폐수 배수구역내 인구자료(2004년 포항시 환경백서)와 1일 급수량(475ℓ, 2004년 포항시 환경백서)을 사용하여 추정하였으며, 하수전환율은 85%로 산정하였다.

효자지곡지구의 경우 무처리 수가 방류됨에도 불구하고 비교적 양호한 수질을 나타내는데, 이는 시료 채수시 하수 저수구역 내에서는 채수가 어려워 무처리수 방류구 부분에서 채수하였다. 이에 형산강 하천수와 혼합됨으로 인해 다소 희석된 것으로 판단된다.

이상과 같이 형산강 원수와 유입오염원의 농도와 유량을 분석하여 물질수지 방정식을 적용하여 오염물질 가중치를 계산하였다. 그 결과 Table 3과 같다.

Table 3의 계산값은 각각의 유입오염원이 형산강 본류에 미치는 영향을 분석한 것으로, 연일지구 오염물질유입으로 인한 오염가중은 BOD₅는 17.40% 증가(9.967×10⁻¹mg/ℓ), COD_{Mn}은 12.36% 증가(11.788×10⁻¹mg/ℓ), T-N은 7.52% 증가(2.315×10⁻¹mg/ℓ), T-P는 29.90% 증가(5.070×10⁻²mg/ℓ)할 것으로 예측된다.

효자지곡 지구 오염물질유입으로 인한 오염가중은 BOD₅는 7.99% 증가(4.110×10⁻¹mg/ℓ), COD_{Mn}은 6.82% 증가(6.117×10⁻¹mg/ℓ), T-N은 12.60% 증가(4.107×10⁻¹mg/ℓ), T-P는 29.55% 증가(4.990×10⁻²mg/ℓ)할 것으로 예측된다.

하수처리장 방류수의 오염물질유입으로 인한 오염가중은 BOD₅는 30.65%증가(20.901×10⁻¹mg/ℓ), COD_{Mn}은 14.61% 증가(14.306×10⁻¹mg/ℓ), T-N은 44.75% 증가(23.066×10⁻¹mg/ℓ), T-P는 67.43% 증가(2.463×10⁻¹mg/ℓ)할 것으로 예측된다.

Table 3. 오염물질 유입에 의한 형산강 본류의 오염 가중치

| 지 역 | 항 목 | 유입 오염 농도 | 형산강 본류의 농도 | 오염물질 유입후의 형산강 농도 | 오염물질 유입후의 형산강 농도 증감 (%) | | 가중치 |
|--------------|--------------------------|-------------|------------------|---------------------------|----------------------------------|----|------------------------------|
| | | | | | 증가 | 증가 | |
| 연일지구 | BOD ₅ (mg/ℓ) | 45.6000 | 4.7300 | 5.7267 | 17.40 % | 증가 | 9.967×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | COD _{Mn} (mg/ℓ) | 56.7000 | 8.3600 | 9.5388 | 12.36 % | 증가 | 11.788×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | T-N (mg/ℓ) | 12.3400 | 2.8480 | 3.0795 | 7.52 % | 증가 | 2.315×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | T-P (mg/ℓ) | 2.2000 | 0.1190 | 0.1697 | 29.90 % | 증가 | 5.070×10 ⁻² mg/ℓ |
| 효자 지곡지구 | BOD ₅ (mg/ℓ) | 11.1200 | 4.7300 | 5.1410 | 7.99 % | 증가 | 4.110×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | COD _{Mn} (mg/ℓ) | 17.8700 | 8.3600 | 8.9717 | 6.82 % | 증가 | 6.117×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | T-N (mg/ℓ) | 9.2330 | 2.8480 | 3.2587 | 12.60 % | 증가 | 4.107×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | T-P (mg/ℓ) | 0.8950 | 0.1190 | 0.1689 | 29.55 % | 증가 | 4.990×10 ⁻² mg/ℓ |
| 하수처리장 방류수 | BOD ₅ (mg/ℓ) | 15.6000 | 4.7300 | 6.8201 | 30.65 % | 증가 | 20.901×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | COD _{Mn} (mg/ℓ) | 15.8000 | 8.3600 | 9.7906 | 14.61 % | 증가 | 14.306×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | T-N (mg/ℓ) | 14.8440 | 2.8480 | 5.1546 | 44.75 % | 증가 | 23.066×10 ⁻¹ mg/ℓ |
| | T-P (mg/ℓ) | 1.4000 | 0.1190 | 0.3653 | 67.43 % | 증가 | 2.463×10 ⁻¹ mg/ℓ |

Table 4는 상류측 부터 각각의 유입오염원이 형산강 본류에 유입됨으로 인해 하류의 유입오염원과 혼합되어 농축된 결과로, Table 3이 각각의 유입오염원 영향을 나타낸 반면

Table 4는 전체 유입오염원으로 인한 연구지역 전 수역의 오염원 농축 현상을 분석한 결과이다.

유입오염원에 의한 상류측 부터의 누적 오염 증가예상량을 분석한 결과 연일지구의 오염물질 유입후의 형산강 농도는 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P가 각각 17.40%, 12.36%, 7.52%, 29.90% 증가하는 것으로 산정되었다. 연일지구와 효자지곡지구의 유입 오염물질에 의한 누적 증가량은 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P가 각각 22.02%, 19.92%, 17.84%, 44.74% 증가하는 것으로 산정되었다.

연일지구, 효자지곡지구 및 하수처리장 방류수 유입후의 오염물질 누적 증가량은 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P가 각각 39.12%, 24.60%, 48.22%, 72.14% 증가하는 것으로 산정되었다.

이상과 같이 가장 많이 증가하는 항목은 T-P로써 72.14%로 가중치는 $3.081 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ 로 하류로 갈수록 상당량 증가하는 것으로 산정되었다. 이외에 T-P역시 48.22%로 상당량 증가하는 것으로 산정되었다. 이와 같이 하류로 갈수록 오염물질 유입에 의해 BOD₅, COD_{Mn}과 같은 유기물질을 비롯하여 T-N과 T-P와 같은 영양염류의 양도 증가하는 것으로 분석되었다.

Table 4. 오염물질 합류의 누적 오염물질 농도 변화

| 지역 | 항목 | 유입 오염농도 | 형산강 본류의 농도 | 오염물질 유입후의 형산강 누적 농도 | 유입후의 농도 증감 (%) | | 가중치 |
|--------------|--------------------------|------------|------------------|------------------------------|-------------------|----|-------------------------------------|
| | | | | | 증감률 | 방향 | |
| 연일지구 | BOD ₅ (mg/l) | 45.6000 | 4.7300 | 5.7267 | 17.40 % | 증가 | $9.967 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | COD _{Mn} (mg/l) | 56.7000 | 8.3600 | 9.5388 | 12.36 % | 증가 | $11.78 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | T-N (mg/l) | 12.3400 | 2.8480 | 3.0795 | 7.52 % | 증가 | $2.315 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | T-P (mg/l) | 2.2000 | 0.1190 | 0.1697 | 29.90 % | 증가 | $5.070 \times 10^{-2} \text{mg/l}$ |
| 효자 지곡지구 | BOD ₅ (mg/l) | 11.1200 | 4.7300 | 6.0656 | 22.02 % | 증가 | $13.356 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | COD _{Mn} (mg/l) | 17.8700 | 8.3600 | 10.0624 | 16.92 % | 증가 | $17.024 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | T-N (mg/l) | 9.2330 | 2.8480 | 3.4662 | 17.84 % | 증가 | $6.182 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | T-P (mg/l) | 0.8950 | 0.1190 | 0.2153 | 44.74 % | 증가 | $9.630 \times 10^{-2} \text{mg/l}$ |
| 하수처리장 방류수 | BOD ₅ (mg/l) | 15.6000 | 4.7300 | 7.7699 | 39.12 % | 증가 | $30.399 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | COD _{Mn} (mg/l) | 15.8000 | 8.3600 | 11.0880 | 24.60 % | 증가 | $27.280 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | T-N (mg/l) | 14.8440 | 2.8480 | 5.5000 | 48.22 % | 증가 | $26.520 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |
| | T-P (mg/l) | 1.4000 | 0.1190 | 0.4271 | 72.14 % | 증가 | $3.081 \times 10^{-1} \text{mg/l}$ |

오염물질에 의한 수질변화 계산 값을 비교하기 위해 연구지역 실측값을 분석한 결과 Table 5와 같이 계산되었다. 실측값의 경우 T-P가 아닌 COD_{Mn}이 가장 높게 계산된 것을 제외하곤 하류로 갈수록 오염물질 증가율이 계산 값과 유사한 경향을 나타냈다.

Table 5. 실측에 의한 지점별 수질 농도 증가율

| 구 분 | | BOD ₅ | | COD _{Mn} | | T-N | | T-P | | 비 고 |
|-------|----|------------------|------------|-------------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-----|
| | | 농도 (mg/ℓ) | 변화율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 변화율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 변화율 (%) | 농도 (mg/ℓ) | 변화율 (%) | |
| 취수보 | P1 | 2.102 | - | 3.540 | - | 2.85 | - | 0.154 | - | - |
| 연일대교 | P2 | 3.835 | 45.20 | 16.200 | 78.15 | 3.180 | 10.35 | 0.189 | 18.43 | * |
| 섬안큰다리 | P3 | 5.992 | 64.92 | 18.800 | 81.17 | 4.939 | 42.28 | 0.235 | 34.40 | * |
| 형산교하단 | P4 | 6.460 | 67.47 | 23.600 | 85.00 | 3.186 | 10.56 | 0.445 | 65.37 | |

참고) * : 오염물질 유입 구간

이는 겨울철 형산강 본류의 유량은 감소하나 유입오염원에 의한 오염물질 유입량은 4계절 유사하게 유입된다. 이에 겨울철에는 유기물질, 영양염류 등의 농도가 타계절에 비해 상대적으로 높아져 적조가 발생되기 좋은 환경이 조성됨으로 인해 겨울철 및 강우량이 적은 시기에 적조의 발생빈도가 높아지는 것으로 판단된다.

4. 결 론

유입오염원에 의한 형산강 수질변화를 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 각각의 유입오염원에 의한 오염가중은 연일지구 무처리 방류수에 의해 BOD₅, COD_{Mn}, T-N T-P가 각각 17.40%, 12.36%, 7.52%, 29.90%증가 한다. 효자지곡 지구 오염물질 유입으로 인한 오염가중은 BOD₅, COD_{Mn}, T-N T-P가 각각 7.99%, 6.82%, 12.60%, 29.55%증가한다. 하수처리장 방류수의 오염물질유입으로 인한 오염가중은 BOD₅, COD_{Mn}, T-N T-P가 30.65%, 14.61% 44.75%, 67.43% 증가할 것으로 예측된다.
- 2) 유입오염원에 의한 상류측 부터의 누적 오염 증가예상량을 연일지구의 오염물질 유입 후의 형산강 농도는 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P가 각각 17.40%, 12.36%, 7.52%, 29.90% 증가하며, 연일지구와 효자지곡지구의 유입 오염물질에 의한 누적 증가량은 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P가 각각 22.02%, 19.92%, 17.84%, 44.74% 증가한다. 연일지구, 효자지곡지구 및 하수처리장 방류수 유입후의 오염물질 누적 증가량은 BOD₅, COD_{Mn}, T-N, T-P가 각각 39.12%, 24.60%, 48.22%, 72.14% 증가하는 것으로 산정되었다.
- 3) 유입오염원에 의한 형산강 수질 변동은 실측자료와 동일한 변화값(Table 5)을 가진다.
- 4) 겨울철 형산강 본류의 유량감소로 인해 오염물질의 농축량이 증가한다. 이에 겨울철 및 강우량이 적은 시기에 적조 발생빈도가 높아지는 것으로 판단된다.

이상과 같이 형산강의 경우 유입오염원의 영향으로 하류로 갈수록 오염물질의 농도가 증가하게 되며 이로 인해 하천 수질뿐만 아니라 생태계에도 부정적인 영향을 줄 수 있다. 이에 적절한 점오염원 관리 대책이 필요하며, 무처리 방류되는 하수와 폐수의 시급한 관리가 필요할 것이라 판단된다.

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

참 고 문 헌

- 이창수, 2005, 형산강 하류에서의 수생생태 및 적조발생 조사연구, 경북지역환경기술개발센터.
- 동화기술, 1997, 수질오염공정시험방법주해.
- 포항시, 2004, 환경백서.
- 이정호, 2004, 댐저수지의 담수적조 발생의 위해성 및 생태기작에 관한 연구, 경북지역 환경기술개발센터.
- 남선미, 2001, 영일-온산만 기수역에서의 용존 유,무기물 및 다환 방향족 탄화수소의 분포 특성, 석사논문, 인하대학교.
- 박준건, 1998, 시화호 산화-환원 환경에서의 생지화학 특성 연구, 인하대학교 대학원, 석사논문.