'94 낙동강 수질사고시 댐방류 효과 검토

우 효섭[1], 김 연주[2], 이 진원[3]

1. 서 론

'94년 초 낙동강 수질이상현상을 하천수질사고로 볼 수 있는가에 대한 기본적인 의문이 있으나 여기서는 편의상 수질사고라 표현한다.

문제의 발단은 1월 3일 금호강 합류점 하류 낙동강 본류에 위치한 고령교 부근(그림 1 참조)에서 기름유출사고가 발생하여 하천에 기름띠가 형성됨으로서 시작되었다. 이 사고의 여파인지 분명하지 않으나 고령교 부근에 있는 달성군 논공정수장에서 원수에 냄새가 나는 문제가 발생하였다. 이러한 사실이 지역신문에 게재되기 시작하였다. 이에 따라 1월 6일 달성군 논공수도사업소에서 안동댐 관리사무소에 전화를 하여 갈수기 물오염 증가에 따른 안동댐 추가 방류를 요청하였다. 논공수도사업소측은 다시 1월 7일 정식공문으로 안동다목적댐 관리사무소측에 초당 40~50 톤 정도를 3일간 방류할 것을 요청하였다.

안동댐과 합천댐을 관리하는 수자원공사측은 1월 8일 오전 11시부터 추가방류를 시작하여, 안동댐은 20에서 40 cms로, 합천댐도 20에서 40 cms로 방류량을 증가시켰다. 이 때 임하댐과 남강댐은 각각 15 cms와 9 cms을 유지하였다.

1월 8일부터 3월10일까지 62일 동안의 비상방류기간중 수자원공사가 관리하는 4개 댐에서의 총방류량은 650 백만m^3으로서, 추가방류량은 약 300 백만m^3에 달하였다. 한편, 이 기간중의 총방류량은 평상시 4개댐 총방류량 65 cms에서 80~170 cms로 증가하였으며, 보통 15~105 cms가 추가로 방류된 셈이다.

2. 댐방류 및 하천유량

낙동강 수질사고시 댐방류에 의한 대처 효과를 검토하기 위하여 먼저 사고기간중 4개 댐 및 하구둑의 방류량과 주요 지점에서의 하천유량의 변화를 조사하였다.

1) 안동댐

그림 2에서 보는 바와 같이 이 댐은 낙동강 수질사고가 시작되자 추가방류를 시작하여, 1월 8일부터 댐방류량을 평상시 방류량 20 cms에서 40 cms로 증가시켰으며, 1월 9일에는 다시 68 cms로 증가시켰다. 2월 18일까지 댐방류량은 60 cms 정도를 유지하였으며, 그 이후 상황이 종료된 3월 10일까지 40 cms 정도를 유지하였다. 이렇게 하여 사고기간 62일간 추가로 방류된 양은 약 185 백만m^3 로서, 이 양은 평균 34.5 cms에 해당한다.

안동댐은 추가방류가 시작된 1월 8일에 유효저수율이 64 %였으나 추가방류가 끝난 3월 10일

1) 한국건설기술연구원 수자원연구실 실장
2) 한국건설기술연구원 수자원연구실 위촉연구원
3) 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

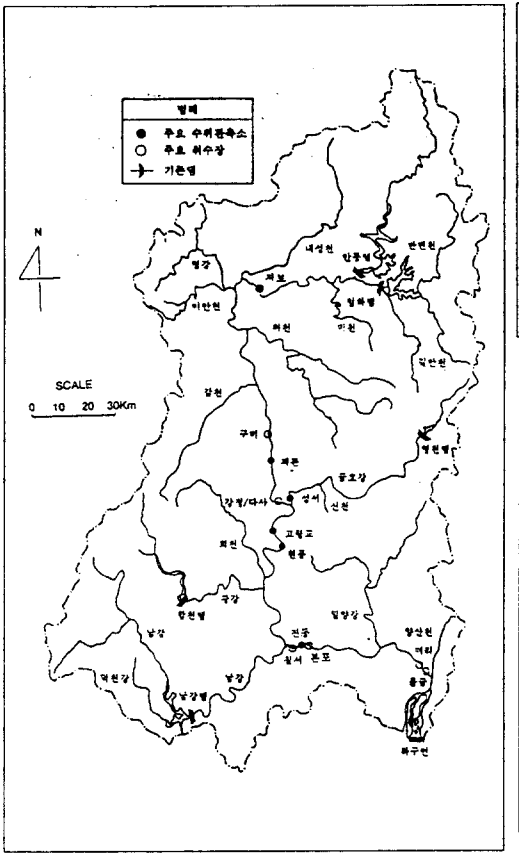

그림 1 낙동강 유역도

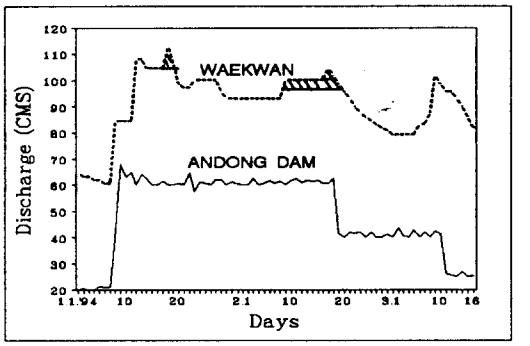

그림 2 하천 유량의 변화

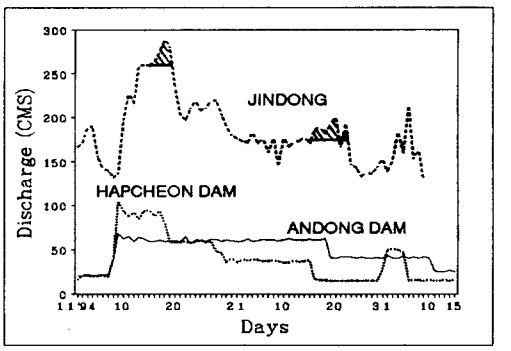

그림 3 하천 유량의 변화

에 39 %로 떨어졌다. 수질사고로 인한 추가방류가 없었을 경우 안동댐은 3월 10일에 57 %를 유지하였을 것으로, 추가방류로 인하여 유효저수율이 18 % 정도 더 떨어진 셈이다.

2) 합천댐

그림 3에서 보는 바와 같이 이 댐은 낙동강 수질사고가 시작되자 추가방류를 시작하여, 1월 8일에 댐방류량을 평상시 방류량 20 cms 에서 40 cms로 증가시켰으며, 1월 9일에는 다시 106 cms로 증가시켰다. 그 이후 1월 18일까지 댐방류량은 대략 90 cms를, 19일부터 1월 27일까지는 대략 60 cms를, 28일부터 다음달 2월 15일까지는 대략 36~47 cms를 유지하였다. 그 이후 2월 28일까지는 오히려 15 cms로 내려갔으나, 3월 1일부터 3월 5일까지 다시 50 cms까지 올라갔다가 6일부터 상황이 종료된 3월 10일까지 15 cms를 유지하였다. 이렇게 하여 사고기간 62일간 추가로 방류된 양은 약 128 백만m^3으로서, 이 양은 평균 24 cms에 해당한다.

합천댐은 추가방류가 시작된 1월 8일에 유효저수율이 61 %였으나 추가방류가 끝난 3월 10일에 27 %로 떨어졌다. 수질사고로 인한 추가방류가 없었을 경우 합천댐은 3월 10일에 50 %를 유지하였을 것으로, 추가방류로 인하여 유효저수율이 23 % 정도 더 떨어진 셈이다.

3) 왜관지점 하천유량

그림 2는 사고기간중 왜관지점의 유량변화를 안동댐 방류량 변화와 같이 도시한 것이다. 이 그림에서 왜관지점의 수문곡선중 빗금친 삼각형들은 그 때의 강우에 의한 하천유출 수문곡선으로 본 비교에서는 제외시킨다.

이 그림에서 관심있게 볼 곳은 2월 19일에 안동댐 방류가 60 cms에서 40 cms 정도로 급격히 줄어들었으나 하류의 왜관지점은 그 영향이 서서히 나타나 유량이 서서히 줄어드는 것이다. 이 현상은 하도에 저류된 물이 서서히 빠져나옴으로써 나타나는 것으로 사료된다.

4) 진동지점 하천유량

그림 3은 사고기간중 진동지점의 유량변화를 안동댐, 합천댐의 방류량 변화와 같이 도시한 것이다. 이 그림에서 진동지점의 수문곡선중 빗금친 삼각형들은 그 때의 강우에 의한 하천유출 수문곡선이다.

5) 임하댐, 남강댐, 하구둑

사고기간중 임하댐과 남강댐의 추가방류는 초기에 일부 있었으나 기여도가 작았기 때문에 본 논문에서 생략한다. 사고기간중 하구둑의 운영은 하천 수질 개선에 상당한 영향을 줄 수 있으나 구체적인 검토는 본 논문에서 제외한다.

3. 댐방류 효과 검토

'94년 낙동강 수질사고는 아직 정확한 사고원인이나 오염물질이 확인되지 않은 사고이다. 다만, 사고기간중 주요 관심 대상이 된 오염물질은 암모니아성 질소(NH_3-N)로서, 본 연구에서도 이 물질의 농도변화에 초점을 맞추었다. 암모니아성 질소는 주로 사람이나 가축의 배설물 등에서 나오는 물질로서 호기성 조건의 물속에서 박테리아에 의해 아질산과 물로 분해된다. 참고로, 우리나라의 수질환경기준에 의하면 암모니아성 질소의 허용 농도는 0.5 mg/l이다.

'94년 낙동강 수질사고시 댐방류에 의한 희석 및 세척효과를 검토하기 위하여 사고기간중 주요 지점에서의 수질자료를 수집하였다. 수집된 수질항목은 주로 암모니아성 질소이다.

3.1 암모니아성 질소의 농도 변화

먼저 사고기간중 낙동강 유역중에서 문제의 암모니아성 질소의 주요 공급원으로 추정되는 금호강 합류부 주위 지점에서의 농도변화를 검토하였다. 그림 4~5는 각각 금호강 하류의 강창교, 금호강 합류점 직상류 달성군 강정취수장, 금호강 합류점 하류의 고령교, 남강 합류후의 진동지점에서의 암모니아성 질소 농도 변화를 보여준다. 이 그림들에서 농도변화선이 끊기는 날들은 자료가 없는 날들이다.

금호강이 낙동강에 합류하기 직전에 위치한 강창교에서의 수질은 그림 4에서와 같이 1월 15일 16 mg/l를 넘었으나 그 이후 계속 떨어져 3월 16일에는 9 mg/l까지 떨어졌으며, 보통 10~14 mg/l 정도를 유지하였다. 이 그림에서 강창교에서의 암모니아성 질소 농도가 1월 15일 이후 급속히 감소된 이유중 하나는 낙동강 수질문제가 사회문제로 비등해지기 시작하면서 대구시 공단 등 오염원 배출자들이 오염배출을 자제했기 때문인 것으로 추정된다.

여기서 중요한 사실은 낙동강 수질사고 상황이 공식적으로 종료된 3월 10일 이후에도 강창교지점에서의 암모니아성 질소의 농도는 사고기간중에 비하여 개선되지 않았다는 점이다. 이러한 사실은 '94년 낙동강 수질사고가 실질적인 의미의 사고(accident)라기 보다는 갈수시 고령교 유류배출사고와 칠서취수장 부근의 기름띠 및 축산폐수사고 등 몇가지 우발적인 오염배출사고가 발생함으로써 파생된 일종의 지역사회 환경정서의 폭발이라는 것을 뒷받침하고 있다.

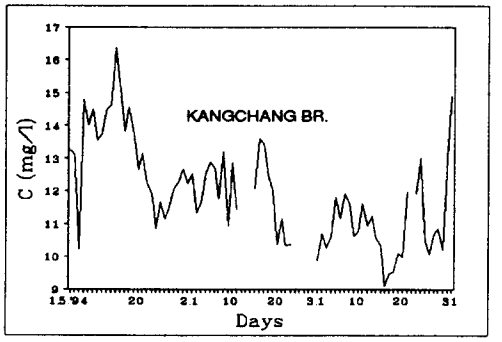

그림 4 암모니아성 질소 농도의 변화
(강창교)

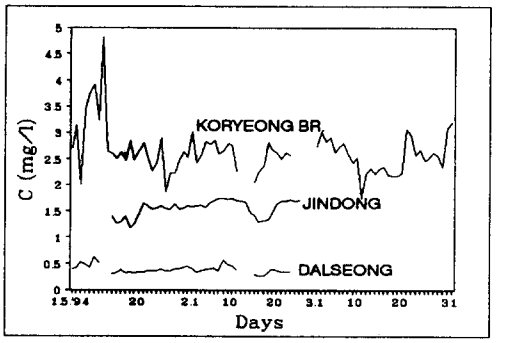

그림 5 암모니아성 질소 농도의 변화
(달성, 고령, 진동)

3.2 희석 및 세척효과

안동댐 방류에 의한 금호강 합류점 하류의 암모니아성 질소의 희석효과를 검토하기 위하여 그림 6과 같이 강창교와 고령지점에서의 농도와 왜관지점에서의 유량변화를 함께 도시하였다. 이 그림에서 보면 금호강에서의 암모니아성 질소의 유입은 1월 15일 16 mg/l를 최고로 이후 계속 떨어져 보통 10~14 mg/l 정도를 유지하였으나 하류 고령교 지점에서의 농도는 1월 12일 4.8 mg/l를 최고로 그 이후 2.6 mg/l로 급격히 좋아진 것을 알 수 있다.

사고 기간중(62일) 금호강의 유출량을 평균적으로 20 cms로 보면 금호강에서 낙동강으로 유입된 암모니아성 질소의 총량은

$$\Sigma\ C\,Q \times 86{,}400 \times 10^{-6} \approx\ 1{,}300\ (\text{톤})$$

으로 추정된다.

사고기간중 안동댐 방류가 없었을 경우 달성(강정) 지점의 오염도를 0.5 mg/l이라 하면, 금호강 직하류에서의 암모니아성 질소 농도는 평균적으로

$$0.5 \times 60 + 12 \times 20 \ =\ C \times 80 \qquad (2)$$

$$\therefore\ C \ =\ 3.4\ mg/l$$

이 되었을 것이며, 이 값을 고령교 지점에서의 평균 농도 2.5 mg/l와 비교하면 암모니아성 질소 농도는 평균적으로 36 % 증가했을 것이다.

물금지점에서의 암모니아성 질소 농도는 1월 14일 이후에나 가용하기 때문에 초기에 상류댐의 최대방류량이 도달한 시점에서의 최대 희석효과는 알 수 없다.

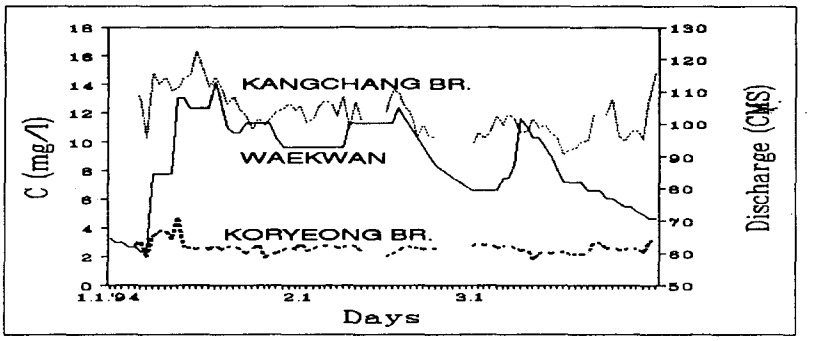

그림 6 하천 유량과 오염 농도의 변화

사고기간중 댐방류에 의한 진동지점에서의 평균적인 희석효과를 검토하면 다음과 같다. 먼저 합천댐은 방류량을 20에서 최고 106 cms로, 안동댐은 20에서 최고 68 cms로 방류하였다. 이에 따라 낙동강 하류인 진동지점에서 하천유출량은 135에서 최고 260 cms 정도로 되었다. 사고기간중 두 댐에서의 평균적인 추가방류량은 56 cms이므로 방류에 의해 증가된 하천유량의 농도를 0.4 mg/l이라 가정하고 이 지점에서 희석효과를 계산하면,

$$(1.0 \sim 1.7) \times (135+56) - 0.4 \times 56 = C \times 135 \qquad (3)$$

$$C = 1.3 \sim 2.2 \text{ mg/l}$$

따라서, 두 댐의 방류가 없었다면 진동지점에서 암모니아성 질소 농도는 평균적으로 30 % 증가하였을 것이다.

이번 사고기간중 금호강 합류점부터 진동지점 구간에서의 하천자정효과를 검토하기 위하여 금호강 합류전 본류(달성)에서의 암모니아성 질소 유입량과 금호강에서의 유입량, 그리고 진동지점에서의 암모니아성 질소 유출량을 추정하였다. 대상기간은 댐방류 시작인 1월 8일부터 각 지점의 수질자료가 모두 가용한 2월 20일까지이다.

대상기간중 이 구간내의 암모니아성 질소의 총 유입량은 1,270 (본류 유입 140 + 금호강 1,000 + 황강과 남강 100 + 측방 유입 30) 톤 정도이며, 진동지점에서의 유출량은 1,200 톤 정도로서, 계산에 이용된 자료의 신뢰도한계를 고려하면 유입·유출량은 개략적으로 균형이 맞는다. 여기서 중요한 것은 사고기간중 하천자정효과는 거의 없었다는 것이다. 이 계산결과에서 알 수 있듯이, 금호강에서 유입한 암모니아성 질소는 유하도중 자정에 의한 소멸없이 거의 그대로 하류에 도달한 것으로 보인다. 이 결과는 겨울철에 수온이 10℃ 이하로 내려가면 하천내 암모니아성 질소의 자정효과는 사실상 없다는 것[1]을 뒷받침하고 있다.

4. 종합검토

이상과 같은 '94년 낙동강 수질사고시 댐방류에 의한 수질개선효과의 개략적인 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 이번 낙동강 수질이상현상의 주요인으로 부각된 암모니아성 질소의 주 유입원은 금호강이었다. 댐 추가방류 기간인 62일간 이 하천에서 나온 암모니아성 질소의 총량은 약 1,300 톤 정도로서, 낙동강 본류 및 지류 전체 유입량의 80 % 정도를 차지하였다. 낙동강 하류인 진동지점을 기준으로 금호강 유량이 전체 유량의 10 % 이하인 것을 고려하면 사실상 금호강이 이번 수질이상현상의 주요인이었음을 알 수 있다.

(2) 사고기간 초기에 안동댐과 합천댐의 추가방류에 의한 하류지역의 수질개선효과는 있었다. 즉, 안동댐에 의해 금호강 하류의 암모니아성 질소의 농도는 평균적으로 26 % 정도 감소하였으며, 안동과 합천 두 댐에 의한 낙동강 하류의 오염농도는 20 % 감소하였다.

(3) 그러나, 금번 '94년 낙동강 수질사고는 갈수기에 기름유출, 축산폐수 유출, 분뇨처리수 유출 등 몇가지 수질사고가 한 수계 상·하류에서 연속적으로 발생하여 취수장 원수에서의 냄새문제가 지역 홍보매체를 타고 확산되면서 장기화된 성격이 강하다. 그 근거로서 금호강에서 문제의 암모니아성 질소 농도는 1월 16일을 고비로 감소추세에 있었고, 그 이후 금호강 합류점 하류인 고령, 칠서, 물금지점에서의 수질농도도 더 이상 감소하지 않고 대략 일정했었다는 사실을 들 수 있다. 더구나 상황이 끝난 후인 3월 31일에 강창교지점의 암모니아성 질소 농도가 다시 15 mg/l까지 올라간 것을 보면 '94년 낙동강 수질사고가 단순히 암모니아성 질소 농도의 이상 증가에 의한 것이라기 보다는 이 기간중 기름유출, 축산폐수유출, 착수정에서의 냄새발생 등 일련의 수질사고로 지역 주민들의 물에 대한 불신감이 증폭된 것도 한 몫을 한 것이라 할 수 있다.

한편, 겨울 1, 2월 갈수기에 수온이 내려가 암모니아성 질소의 분해박테리아 활동이 둔화되어 하류로 내려감에 따른 수질자정효과가 여름에 비해 월등히 작다는 것은 이미 알려져 있으며, 본 연구에서도 증명되었다. 이러한 하천수질자정능력의 감소도 '94년 낙동강 수질사고에 다른 한 몫을 했을 것이다.

(4) 금번 수질문제로 1월 8일~3월 10일 기간에 안동댐과 합천댐 추가방류에 의한 유효저수율 저하는 약 20 % 정도로, 이러한 저수율 저하는 결과적으로 '95년 겨울과 봄 갈수기에 낙동강 유역의 용수부족현상을 가속화시킬 수 있다.

감사의 글

이 연구는 1994년 건설부 하천계획과에서 한국건설기술연구원에 의뢰한 "하천환경관리기법 개발·연구('94)"사업의 일환으로 수행된 것으로, 이 연구에서 필요한 자료를 제공하여 준 환경부, 수자원공사 담당관들에게 심심한 사의를 표한다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원공사 수도운영처, 댐방류량이 하천수질에 미치는 영향에 관한 연구, 1993.12.