

수량과 수질을 고려한 낙동강 수계 댐-보 연계운영

Coordinated Operation of Weirs and Reservoirs of Nakdong River Basin considering River Water Quality¹⁾

김승권²⁾
Sheung-Kown Kim

요 지

2012년 상반기를 기점으로 '4대강 살리기 사업' 1 단계가 완료 되었다. 추후 안동댐과 임하댐의 연결 사업과 낙동강 상류 내성천의 영주 댐과 금호강 상류에 보현 댐 건설이 예정 되어 있지만, 낙동강 수계에는 8개 보 건설이 완료되어 하천의 물리적 환경이 바뀌었다. 따라서 앞으로는 보의 유지 및 운영 관리(주로 수질관리, 어도관리, 토사퇴적 및 세굴관리)가 중요하게 될 것이므로 기존의 상류 댐 운영 목표와 방식도 변해야 한다. 낙동강 수계는 11월부터 다음해 6월 까지가 갈수기에 해당한다. 따라서 갈수기에 수질을 담보할 유량이 실제로 흐를 수 있는지를 낙동강 유역 총체적인 관점에서 분석을 하고, 방류계획을 세울 필요가 있다. 수량이 수질을 항상 보장해 주지는 못하지만, 용수공급 목표를 저해할 환경과 생태계를 위한 무리한 초과 방류를 해야만 할 경우가 발생한다면, 그로 인한 기존의 농업, 공업 및 생활용수 공급에 미칠 영향을 가늠해서 대책을 세워야 한다. 본 연구에서는 좀 더 정교한 수질사고 시뮬레이션 모형, Water Pollution Accident Response Management System (WARMS)과, 하천수질예측시스템(Water Quality Forecasting System)모형 등, 수질을 고려한 3차원 모형과의 연동 및 연계를 염두에 두고, 시스템적 측면에서 수질과 수량을 한꺼번에 고려함으로써 궁극적으로 시간과 비용을 절약한다는 점에서 효율이 높을 것으로 생각되는 댐-보 연계운영을 위한 분석 방법을 제안한다.

핵심용어 : 댐 보 연계운영, 하천 수질관리, 용수공급

1. 서론

2012년 상반기를 기점으로 '4대강 살리기 사업' 1 단계가 완료 된다. 4대강 사업은 1) 강바닥 준설을 통해 통수능력을 높여서 홍수 범람의 위험을 줄이고, 2) 하천 수위를 일정하게 유지하도록 4대강의 주요 지점에 여러 개의 보를 만들어 방치되고 있던 하천의 기능을 살리고, 3)하천에 최대한 정화된 물이 유입되도록 수질 정화 설비를 구축하고, 4)농업용 저수지 독 높임 사업과 댐 건설 등을 통해 유역 내 저수능력을 확충시켜 극심한 가뭄에 대비하며, 5)하천의 주변 환경을 개선시켜 새로운 생태환경을 조성하고, 유역 개발을 통한 지역경제 활성화를 목표로 진행된 사업이다. 그러나 강바닥 준설을 통한 하천 개선사업은 보 시설 운용이 안정을 찾아 가기 전까지는 하천 생태계에 충격을 줄 수밖에 없다. 따라서 생태계를 교란시키고, 자연 하천을 가로막아서 발생할 역기능이 큰 사업이라 주장하는 반대 의견이 극심했던 사업이다. 우여곡절 끝에 4 대강 중에서도 낙동강 수계에 8개 보 건설이 완료되었고, 추후 안동댐과 임하댐의 연결 사업과 낙동강 상류 내성천의 영주 댐, 금호강 상류에 보현댐 건설이 예정 되어 있다. 낙동강 수계의 경우 하천의 물리적 환경이 바뀌었고, 4 대강 사업을 통해 강바닥에 그리고 강 주변에 은밀히 묻혀 있었던 폐기물과 수질 오염원을 제거하는 부수적 효과도 있어서 단기적으로 사업 전보다는 낙동강의 수질을 개선하는 효과가 분명 있을 것으로 생각된다. 하지만 개선된 수질을 중-장기적으로 유지 관리하기 위해서 앞으로는 댐 및 보의 운영 관리(주로 수질관리, 어도관리, 토사퇴적 및 세굴관리)가

- 1) 본 논문의 내용은 2012 3.28., 서울, 역삼동 한국기술센터 16층 대회의실 한국수자원학회 “4대강 사업 후 새로운 하천 관리방향 토론회”에서 발표한 내용을 요약한 것으로 “물과 미래” 6월호 특집호에 게재 될 내용입니다.
- 2) 고려대학교 기술경영전문대학원 교수, 산업경영공학부 겸임교수, e-mail: kimsk@korea.ac.kr, Tel: 02-924-3864, 02-3290-3385

중요한 이슈로 대두될 것이고, 그에 따른 기존의 상류 댐 운영 목표와 방식도 변해야 한다. 경제와 산업이 발전함에 따라서 상류의 수질이 좋다고만 여길 수 없는 시대에 우리가 살고 있다. 지역별로 오염정도가 다르고 또, 시기별로 변한다. 그러므로 갈수기 댐-보 연계 운영시 수질관리와 용수공급을 최상의 목표로 설정해서 용수공급 가능량을 높이면서 지역별로 오염정도가 다른 수질의 희석효과를 활용하여 댐 및 보의 저수량을 배분하여 수질과 수량을 관리하는 것이 비용적인 면에서 효과적인 전략이 될 것이다. 특히 갈수기에는 오염원과 영양물질 체류시간을 증가시킬 보로 인해 촉발될 보 저수지 수질저하에 대한 우려가 있다. 하지만, 그 우려 때문에 거꾸로 수질에 대한 주의를 기울이게 되므로 수질개선을 위한 역발상의 촉매가 될 수도 있다. 그리고 현 시점에서 낙동강 유역 내 주요 지점의 갈수기의 수질 환경을 살펴보면, 낙동강 중-하류는 물론이고, 저수지 상류 유입수의 수질관리의 시급성과 중요성을 인식하게 된다. 따라서 낙동강 유역에 사는 전 주민들의 수질관리를 위한 하수 방류에 대한 인식의 전환과 그를 위한 물 환경에 대한 교육도 시급하다.

2. 수량 확보 측면의 댐 보 연계운영

'4대강 살리기 사업'을 통하여 건설된 낙동강 8개 보와 기존의 댐군의 연계운영을 위해서 기존의 CoMOM 모형은 확장되었고, CoWMOM (Coordinated Weirs & Multi-Reservoir Operating Model)으로 발전되었다. (Kim S.K. et al. 2011; Kim, S.K., Kim, J.H., 2010). 그러나 확장된 CoWMOM 모형은 용수 공급을 위한 댐 저수지 간의 수량 배분 중심의 댐 보 연계운영 모형으로서 보 지점들에 대한 특정 시점에 특정 수질 요건을 충족시키고자 하는 제약 식들은 적용되고 있지 않다. 어차피 4 대강 사업이 완료된 이후에는 각 수계에서 수질사고관리시스템 (Water Pollution Accident Response Management System: WARMS)과 하천수질예측시스템 (Water Quality Forecasting System: WQFS)이 가동되게 될 것이다(Dong-II Jung, 2011). 왜냐하면, '4대강 살리기 사업' 이후에는 보의 유지 및 운영 관리가 중요하게 될 것이기 때문이다. 특히 수질 사고 관리와 건기에 녹조 관리가 중요하므로 결국, 실시간 하천 수질 관리가 중요한 이슈로 대두될 것이다. 따라서 이미 수립된 CoWMOM을 수질과 수량을 함께 고려한 실시간 연계운영 모형으로 발전시킬 필요가 있다.

3. 부영양화 관리 (Eutrophication Control)

부영양화란 인이나 질소 같은 영양물질이 저수지나 하천으로 유입되어 적절한 햇빛 조건만 맞으면 녹조의 발생을 일으키고, 그의 성장을 촉진시킴으로써 용존산소(DO)의 고갈을 야기하고, 어류의 질식사 등을 유발하는 현상이다. 따라서 부영양화를 막기 위한 여러 가지 조치를 취한다. 부영양화를 막기 위해서 통상, 1) 수초를 심어서 토양 유실을 막고 영양물질을 흡수시킨다. 2) 비료 주는 시기를 조정한다. 3) 농지로부터의 회귀 수 유입시기 조절한다. 4) 미생물연구를 통해 질산염제(nitrate) 분해 박테리아 생성 연구를 한다. 여기에 한 가지 방법론을 추가한다면, 수질 관리를 유역 총체적 관점에서 수량관리와 병행하여 특정 수질 조절 지점에서 부영양화가 이루어지는 조건이 형성되지 않도록 한다. 즉, 큰 틀에서 볼 때 부영양화의 주요인이 되는 총인과 총질소의 농도가 부영양화 기준에서 도달 하지 않도록 댐 및 보 연계운영을 하는 것이다. 물론 이 같은 운영이 항상 가능한 것은 아니다. 상류 댐의 원수의 수질이 처음부터 정해진 기준을 초과하고 있다면가 아니면 상류 댐 방류량의 총인, 총 질소 농도가 양호할 경우라 할지라도 하류 지천 유입량의 총인, 총질소의 농도가 이미 기준을 초과한다거나, 또는 지천 유입량을 통해 유입되는 총인, 총 질소 농도가 상류 댐 방류량에 비해서 상대적으로 커서 원하는 농도 배합을 구하기 어렵게 된다면, 부영양화를 막을 수 없다. 하지만, 총인(TP)과 총 질소(TN)의 농도가 적은 물이 상류에 존재하고 있다면, 그 물을 더 많이 흘려서 희석하여 주요 관리지점의 총인과 총질소의 농도가 특정 기간 동안에는 정해진 기준을 초과하지 않도록 관리할 필요가 있다. 미국 환경보호청(EPA)에 의하면 부영양화가 우려되는 총인의 농도는 0.05 mg/l 이상이므로 녹조 현상이 우려되는 지점의 총인의 농도가 그 보다 낮게 유지 되도록 댐-보 연계운영을 하는 것이다.

그러나 여기서 반드시 고려되어야 할 점은 수질 유지를 위한 상류 댐으로 부터의 희석 방류가 가능하다 할지라도 전 유역내의 현재와 가까운 장래의 용수 수요를 맞출 수 있을 경우에 국한되어야 한다. 다시 말하면 수질유지를 위한 댐 방류가 중-장기적인 용수공급 노력을 저해 하지 않

을 경우에 희석 방류도 가능할 것이다. 이 부분은 통상 우리가 사용하는 전 유역관점에서 수질관리를 위해 이미 구축된, 중요한 시물레이션 모형들이 간과하는 부분이기도 하다. 이 부분은 시스템적 측면에서 볼 때 용수 공급 목적과 수질 환경 유지 목적 사이의 타협 조정(trade-off)을 해서 의사결정이 이루어져야 하는 부분이므로, 시물레이션 모형 보다는 최적화 모형과 같은 의사결정 모형이 더 적합하다. 이 같은 타협조정에 따른 댐-보 연계운영을 “수질을 고려한 전략적인 운영”이라 칭한다. 따라서 희석도 부영양화 예방을 위한 전략이다. “희석도 전략이다”란 말은 국부적인 수질 관리를 위해서 희석에 의존하라는 의미는 아니다. 숨은 뜻은 미래 특정 지점, 특정 조절 지점에서 부영양화의 조건이 성숙되지 않도록 희석을 전략적으로 활용하여 유역 전체적 측면에서 수량관리와 병행하여 미리 예상 가능한 댐 보 저수지 운영을 해야 한다는 뜻이다. 그러므로 댐과 보 운영 계획 수립 시에 고려되어야 할 큰 윤곽 이므로, 단위 분석기간 중 시시각각으로 일어날 영양 물질이나, 오염원(pollutant)들 간의 미세한 생화학적 반응이나 확산효과들은 당분간 생략하여 생각할 수 있음을 뜻한다.

4. 희석을 활용한 낙동강 수계 예비 분석 모형

수질 관리를 위해서는 이미 개발된 낙동강 수계의 댐-보 연계운영 모형에 영양 물질이나, 오염원(pollutant)들 간의 희석효과를 관장하는 식이 있어야 한다. 그 식의 모양은 다음과 같다. 예를 들어서 하류 특정지점의 수질은 그 지점 물에 포함된 오염물질 총량(mix)에 의해 결정되므로 지점 S의 지류 유입량을 X_1 , 상류댐 방류량을 X_2 , 저수량을 X_3 라 하고, 각각에 포함된 오염물 A와 B의 농도가 아래 표 1과 같다고 할 때,

표 1. 오염물질 별 수체내의 농도 (단위: mg/Liter)
(Concentrations of pollutants in water volume)

설 명	오염물질A 농도	오염물질B농도
X_1 : t 기간에 보,S로 유입되는 지류 유입량 (상수)	P_{A1}	P_{B1}
X_2 : t 기간에 보,S로 유입되는 상류댐 방류량 (결정변수)	P_{A2}	P_{B2}
X_3 : t 기간 초 보,S의 저수량 (결정변수)	P_{A3}	P_{B3}

특정지점 S(보 또는 저수지) 에서의 두 오염물질 A, B 의 허용한계가 L_A 와 L_B 라 가정할 경우, 그림 1의 오염 물질의 희석을 위한 식은 다음과 같은 형태를 가진다.

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 \mathbf{X_1} \\
 \mathbf{P_{A1}, P_{B1}}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \mathbf{X_2} \\
 \mathbf{P_{A2}, P_{B2}}
 \end{array}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{수질 측정지점에서 각 오염물질의 총량은} \\
 \text{단위 기간 말에 저수량, S 에 포함된 오염물질 A:} \\
 (P_{A1} X_1 + P_{A2} X_2 + P_{A3} X_3) / (X_1 + X_2 + X_3)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{S (X_3)} \\
 \mathbf{P_{A3}, P_{B3}}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{단위 기간 말 저수량, S 에 포함된 오염물질 B:} \\
 k_B (P_{B1} X_1 + P_{B2} X_2 + P_{B3} X_3) / (X_1 + X_2 + X_3)
 \end{array}$$

그림 1. 농도 혼합 그림

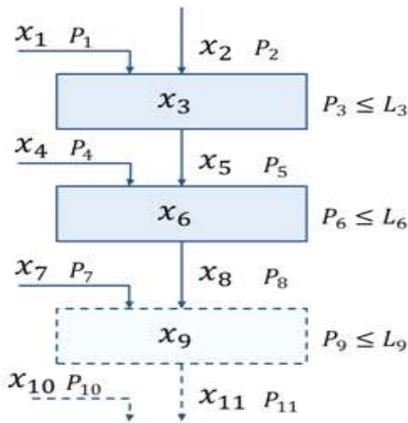
여기서, k_A, k_B 는 단위 보-저수지 운영 분석 기간 중 보 S 내의 오염물질 A와B의 오염감소 지수 이다. L_A, L_B 는 수질관리 지점에서 오염물질 A, B의 허용 총량 이다. 따라서 수질 관리 지점에서의 오염 물질 A, B의 허용 총 농도는 다음 식 (1), (2) 와 같다. 수질을 고려하기 위해서는 다음의 (1), (2) 식과 같은 식을 시기별, 지역별로 CoWMOM 모형에 추가하여 구성한다.

$$k_A (P_{A1} X_1 + P_{A2} X_2 + P_{A3} X_3) / (X_1 + X_2 + X_3) \leq L_A \quad \text{---(1)}$$

$$k_B (P_{B1} X_1 + P_{B2} X_2 + P_{B3} X_3) / (X_1 + X_2 + X_3) \leq L_B \quad \text{---(2)}$$

유역 내 댐과 보는 그림 3 에서와 같이 병렬과 직렬로 늘어서 있다. 따라서 상류 특정 지점에서 희석된 물은 하류로 내려감에 따라서 희석되었던 물이 추가 유입되는 물의 오염농도에 따라서 다시 희석되거나 농도가 진해 지거나 한다. 이같이 희석된 물이 혼합되어 정해지는 방류량이 결정 변수인데, 그림 2 에서와 같이 하류로 갈수록, 자연스레 결정 변수간의 곱으로 표현되어 비

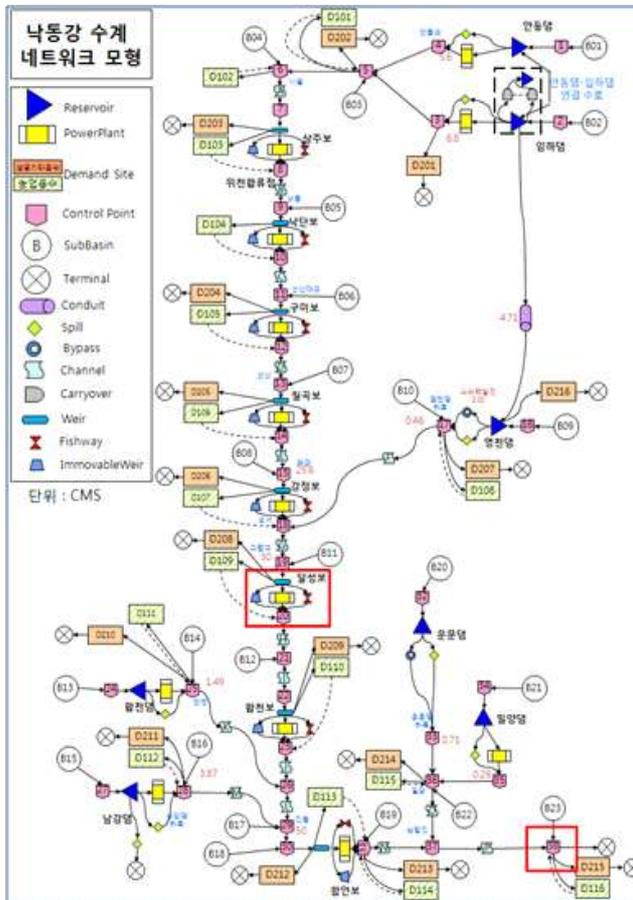
선형적인 관계식으로 변하므로 선형화시켜서 반복적으로 풀어야 한다. (김승권, 2012).



시점 t 에서의 댐 또는 보 j 에서의 방류량을 $I_{j,p}(k) = f[S_j^{t-1}(k-1), R_{r,j}^t(k-1)]$ 이라 할 때, 방류량은 상류 댐 r 에서 직전 시점 $(t-1)$ 에서의 저수량 S 와 t 시점에서의 유입량 I , 방류량 R 의 함수로 다음과 같이 표시된다. 따라서 다음 식 (3) 에 식 (1), (2) 에서와 같이 각 오염물질의 총 허용농도 L, L_B 를 부과시켜서 모형을 구성한다.

$$f[S_j^{t-1}(k-1), R_{r,j}^t(k-1)] = \frac{P_{j,p}^t S_j^{t-1}(k-1) + \sum_i P_{ij,p}^t I_{ij}^t + \sum_r P_{r,j,p}^t(k-1) R_{r,j}^t(k-1)}{S_j^{t-1}(k-1) + \sum_i I_{ij}^t + \sum_r R_{r,j}^t(k-1)} \quad (3)$$

그림 2. 직렬로 이루어진 댐 또는 보 그림



다음 그림 3 은 낙동강 수계의 댐 보 연계운동을 위한 네트워크 그림이다. 박스로 표시된 부분이 수질 관리지점으로서, 상류에서부터, 달성 보와 금산 지역을 표시한다.

다음에 보여줄 예비 분석 결과는 수질 관리 지점인 달성 보와 금산 지역에서 달성되어야 할 수질조건 (BOD와 TP)을 달성해야 할 목표로 부여해서 댐-보 연계운동을 하는 것과 그렇게 하지 않을 경우를 상정해서 운영한 결과를 서로 비교한 것이다. 2011.1.1 ~ 2011.4.30 까지 일별 댐-보 연계운영의 결과로서 초기 저수량은 2010.12.31 일 실적 저수량을 사용했다. 실적 강수량 기반의 SSARR 유입량과, 용수 수요는 홍수통제소 허가 용수 사용량을 활용했고 보 운영은 관리수위 유지를 목표로 했다.

그림 4 는 비선형 문제를 풀기 위해서 반복 계산에 따른, 구미 칠곡, 강정보의 월별 TP 농도 변화량이 3회 반복에 수렴하고 있음을 보여주고 있다. 이 실험에서 보여주고자 한 것은 희석을 활용하여 실시간 수질 관리가 가능할지를 가늠해 보기 위한 예비분석이므로 향후 희석을 현실에 적용하여 실시간 운영에 활용하려면 목적별 운영 가중치 조정 등, 현실에 맞게 변수 조정 (calibration)을 거쳐 모형을 검증해야 함을 밝혀 둔다.

그림 3. 낙동강 수계 네트워크

5. 입력 자료 및 예비 분석 결과

2011년도 1월부터 4월까지의 실적 수질 입력 자료는 물 환경 정보 시스템 (<http://water.nier.go.kr/front/waterQuality/waterQualityInfo.jsp>) 에서 구한 것이다. 2월의 칠곡보, 영천, 남강, 운문, 밀양댐, 3-4월에 영천댐의 수질이 미국 EPA에서 발표한, 녹조가 우려되는 총인의 농도인

0.05 mg/l 이상이고 BOD 가 4.5 mg/l 이상인 경우도 있다. 댐 유입수의 수질정화가 필요하다.

Table 2. 유역 내 주요 지점 별 월별 평균 수질 입력 자료

JAN 2011

지점명	BOD (ppm, kg/TCM)	TP (ppm, kg/TCM)
안동댐	0.600	0.013
임하댐	2.700	0.021
예천	0.900	0.017
상주보	0.900	0.021
위천	1.100	0.029
낙단보	0.600	0.053
구미보	0.800	0.062
감천	1.400	0.182
칠곡보	1.000	0.145
백천	1.500	0.038
강정보	1.000	0.071
영천댐	0.700	0.018
영천댐 상류	0.700	0.018
달성보	1.400	0.214
합천보	1.000	0.050
합천댐	0.700	0.077
남강댐	0.800	0.016
함안보	1.300	0.102
운문댐	1.100	0.109
밀양댐	1.100	0.102

FEB 2011

지점명	BOD (ppm, kg/TCM)	TP (ppm, kg/TCM)
안동댐	0.700	0.029
임하댐	1.500	0.020
예천	0.800	0.047
상주보	1.000	0.045
위천	1.200	0.031
낙단보	1.100	0.073
구미보	0.900	0.107
감천	1.800	0.048
칠곡보	1.300	0.199
백천	1.900	0.052
강정보	0.600	0.042
영천댐	1.200	0.156
영천댐 상류	1.200	0.156
달성보	1.900	0.244
합천보	1.000	0.050
합천댐	0.900	0.016
남강댐	2.800	0.098
함안보	1.400	0.122
운문댐	4.200	0.109
밀양댐	4.200	0.109

March 2011

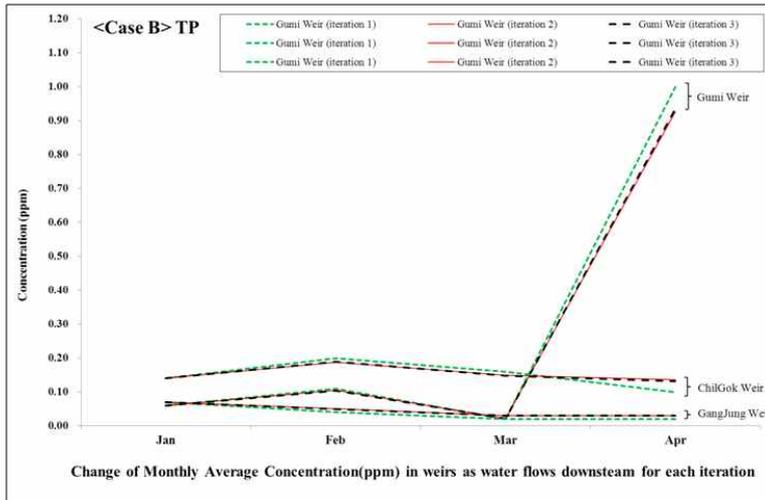
지점명	BOD (ppm, kg/TCM)	TP (ppm, kg/TCM)
안동댐	0.700	0.018
임하댐	2.200	0.020
예천	1.300	0.025
상주보	1.200	0.047
위천	1.100	0.029
낙단보	1.200	0.054
구미보	1.000	0.018
감천	1.700	0.115
칠곡보	1.500	0.158
백천	1.400	0.037
강정보	0.900	0.021
영천댐	1.500	0.067
영천댐 상류	1.500	0.067
달성보	2.100	0.225
합천보	1.000	0.050
합천댐	1.200	0.016
남강댐	1.800	0.128
함안보	1.600	0.140
운문댐	2.700	0.087
밀양댐	2.700	0.087

APRIL 2011

지점명	BOD (ppm, kg/TCM)	TP (ppm, kg/TCM)
안동댐	0.700	0.018
임하댐	2.900	0.030
예천	1.100	0.021
상주보	1.100	0.045
위천	1.700	0.045
낙단보	1.600	0.045
구미보 (fictitious) Accident happened!	20*	1.0*
감천	1.500	0.240
칠곡보	2.100	0.100
백천	2.700	0.025
강정보	1.000	0.023
영천댐	2.700	0.059
영천댐 상류	2.700	0.059
달성보	3.700	0.180
합천보	1.000	0.050
합천댐	1.300	0.019
남강댐	6.800	0.148
함안보	3.900	0.117
운문댐	2.300	0.091
밀양댐	2.300	0.091

2011년 4월에 구미 보에 가상의 수질 사고가 난 것을 상정하여 의도적으로 나쁜 수질 조건을 부여해서 모형에 미치는 충격을 분석하고자 했다. 그 결과, 그림 4에서 매달 구한 수질이 수렴되고, 4월에 구미보 수질이 갑자기 악화 되고 있음을 보여준다. 지면계약 상 TP 만 보여준다.

그림 4. 월별 구미 칠곡, 강정 보의 반복 계산에 따른 월별 TP 농도 변화량



다음 표 2의 case A 와 case B는 수질관리를 하기 전과 회석을 통한 수질관리 후의 결과를 비교하여 보여준다.

표 2. 수질 조건 (BOD, TN)을 부여 안한 경우(Case A) 와 부여 한 경우(Case B) 의 비교*

	Case A				Case B			
	Dalsung Weir		GeumSan		Dalsung Weir		GeumSan	
	BOD	TP	BOD	TP	BOD	TP	BOD	TP
2011-01	1.3619	0.2000	1.2087	0.1600	1.2587	0.1684	1.2290	0.1568
2011-02	1.7825	0.2243	2.1982	0.1771	1.5046	0.1846	1.6807	0.1768
2011-03	1.9968	0.2058	1.9061	0.1619	1.6897	0.1519	1.8884	0.1419
2011-04	3.4693	0.1653	3.5520	0.1490	3.0613	0.1380	2.4750	0.1013

* BOD 경우 생화학 반응이 고려되어야 하지만, 실험 목적상, 일반 영양원처럼 취급함.

Case B의 결과를 통하여 회석전략을 활용해서 수질을 고려하면 더 개선된 결과를 보여 주는 것을 알 수 있다.

6. 결론

농업용 댐 독을 높이고, 상류 댐을 건설하므로 용수 공급 가능량은 과거에 비해 어느 정도 증가할 것이다. 그럼에도 불구하고, 낙동강 수계 댐-보 연계 운영의 주목적이 용수 공급이라는 사실에 변함은 없다. 즉, 갈수기에 보 또는 댐 건설 지역마다 총 수계의 관점에서 계약된 용수 수요량을 충족시킬 만큼의 유량이 충분하게 흐를지가 중요하다. 더욱이 보 건설로 하천유량의 흐름지체 시간이 늘어날 것이므로 수량은 물론 수질을 함께 고려한 운영이 되어야 한다. 특히 갈수기에는 녹조 현상의 예방도 중요하므로 총 질소와 총 인의 관리가 중요해진다.

4 대강 사업이 완료된 이후에는 각 수계에서 수질사고관리시스템 (Water Pollution Accident Response Management System: WARMS)과 하천수질예측시스템 (Water Quality Forecasting System: WQFS)이 가동되게 될 것이다. 그러므로 시공간을 고려한 수요와 공급 간의 균형을 찾는 수자원 할당 (spacio-temporal water resource allocation)의 관점에서 수질을 추가로 감안하여 분석하는 것이 더욱 중요해진다. 낙동강 수계는 11월부터 다음해 6월 까지가 갈수기에 해당한다. 따라서 그 기간 중 흘러야 할 유량이 실제로 흐를 수 있는지를 낙동강 유역 총체적인 관점에서 분석하고, 확인할 필요가 있다. 수량이 수질을 보장해 주지는 못하지만, 갈수기에 가정했던 유량이 흘러야 수질 문제도 어느 정도 자신할 수 있을 것인바, 적절한 유량이 흐르지 않을 경우는

수질 보전을 위해서 용수공급 목표를 저해할 무리한 저수지 방류를 해야 하게 될 가능성도 있다. 환경과 생태계를 위한 무리한 초과 방류를 해야만 할 경우가 발생한다면 그로 인한 기존의 농업, 공업 및 생활용수 공급에 미칠 영향을 가늠해서 대책을 세워야 한다.

본 연구에서는 좀 더 정교한 수질시물레이션 모형, WARMS, WQFS, WASP 등, 수질 고려한 3차원 모형과의 연계를 염두에 두고, 시스템적 측면에서 수질과 수량을 함께 고려하는 댐-보 연계운동을 위한 방법을 제안한다. 일차 예비분석 결과, 수량과 함께 수질을 고려한 연계운영의 타당성이 충분히 있으며, 향후 실시간 수질 자료 획득이 가능하다면 수질을 고려한 실시간 운영도 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 갈수기 댐-보 연계운영시 수질관리와 용수공급을 최상의 목표로 설정해서 용수공급 가능량을 높이면서 지역별로 오염정도가 다른 수질의 희석효과를 활용하여 수질과 수량을 한꺼번에 관리하여 1차 방류 계획을 수립하고, 추후 생화학 반응을 고려할 수 있는 세밀한 모형의 초기 조건으로 그 결과를 사용하게 한다면, 시간과 비용을 절약한다는 점에서 희석도 효과적인 전략이 될 수 있음을 보여준다. 본 예비 분석을 통해 밝혀진 또 하나의 사실이 있다. 갈수기에 특히, 낙동강 유역 내 주요 지점의 수질 환경을 살펴볼 때, 낙동강 중-하류는 물론이고, 저수지 상류 유입수의 수질관리의 시급함이다. 4 대강 사업을 통해서 강바닥이나 강 주변에 은밀히 묻혀 있었던 폐기물과 수질 오염원을 제거한 부수적인 효과지만, 일시적으로 개선된 수질을 중-장기적으로 유지 관리하기 위해서는 낙동강 유역에 사는 전 주민들을 대상으로 하는 지속적인 물 환경 교육활동이 필요하다. 수질 보전을 위한 환경관리는 각 개인의 환경의식과 실천을 통해서 달성될 수 있다는 인식의 전환을 유도하고, 손쉬운 하수처리를 위한 샴푸, 합성세제 사용자제, 쓰고 남은 식용유 처리방법, 축산폐수 처리방법, 고랭지 채소 시비시기 조정 등 등, 물 환경에 대한 유역 전 주민에 대한 교육과 실천이 절대적으로 중요하다.

감 사 의 글

본 연구에서 제안된 '수질을 고려한 CoWMOM' 예비모형의 코딩 수정과 수치실험에 많은 수고를 해준 Syslab 연구실, 석사 대학원생 최지윤양 에게 감사한다.

참 고 문 헌

1. 김승권 (1988), 저수지 운영방안의 방법론적인 개괄, 한국수문학회지(특집 저수지), 21(1), pp. 16-25.
2. Kim, S.K., Kim, J.H.(2010). "Nakdong River Restoration Project from the perspective of Systems Thinking", 2010 13th International Riversymposium, Perth, Australia, 11-14 October 2010, Power Point Presentations A3E-Kim, Accessed on May 11, 2011 <http://www.riversymposium.com/index.php?page=2010#%23PowerPoint>.
3. Dong-Il Jung,(2011), "Operational Water Quality Forecast and Preventive Water Management for the Four Major Rivers", International Conference on River Restoration for Green Growth, Oct. 7-8, 2011.
4. Kim Sheung-Kown, Kim Jaehee, Choi, JiYoon (2011), "Real-Time Reservoir Operation Simulation for the Han River Basin in Korea," Proc. Of American Water Resources Association 2011 Summer Specialty Conference on Integrated Water Resources Management, June 27-29, 2011 in Snowbird, Utah, USA,<http://www.awra.org> Accessed on Oct11,2011.
5. 김승권 (2012) "수질을 고려한 낙동강 수계 댐-보 연계운영 (Coordinated Operation of Weirs & Multiple Reservoirs of Nakdong River Basin considering River Water Quality)" 한국수자원학회 4대강 사업후 새로운 하천관리방향 토론회 발표집, p29-54, 2012 3.28., 장소 한국기술센터 16층 대회의실.