

K-WEAPq를 통한 유역관리

Water Resources Management based on K-WEAPq

최시중*, 서재승**, 문장원***, 이동률****, 강성규*****

Si Jung Choi, Jae Seung Seo, Jang Won Moon, Dong Ryul Lee, Seong Kyu Kang

요 지

유역관리를 위해서는 수량뿐만 아니라 수질에 대한 분석이 동반되어야 한다. 최근 한국건설기술연구원과 SEI-US(Stockholm Environment Institute-US Center)가 공동으로 개발하고 있는 통합수자원평가계획모형으로서 K-WEAPq(Korea-Water Evaluation And Planning System linked Qual2K)는 기존의 K-WEAP 모형의 기능을 그대로 유지하면서 보다 정확하고 다양한 오염원에 대한 하천수질모의를 하기 위해 Qual2K 모형을 연계시킨 모형으로써 유역관리를 위한 수량-수질 연계모의가 가능한 모형이다.

본 연구에서는 K-WEAPq 모형을 이용하여 낙동강 유역의 물수지 및 수질을 동시에 분석하였다. 낙동강 권역의 물수지 분석을 위해 월별 모의를 수행하였으며 각각의 중권역별 배출부하량을 산출하여 Qual2K와의 연계시스템을 통해 하천수질모의를 수행하였다. 낙동강뿐만 아니라 11개의 지류들에 대한 수질 분석을 수행함으로써 본류 수질에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 다양한 시나리오를 구축하여 오염총량제와 같은 여러 가지 정책에 대한 수질 개선효과를 살펴보았다. 또한 한강권역의 지류 하천에 대한 하천유지유량을 설정하였을 경우 예상되는 영향을 검토하였다.

핵심용어 : K-WEAPq, Qual2K, 목표수질평가, 오염총량제, 하천유지유량평가

1. 서 론

최근 생태계는 물론 인류를 위해 안전하고 충분한 물 공급을 목표로 하는 수자원계획수립에 있어 수질에 대한 관심은 점점 증대되고 있는 실정이며, 수질이 악화된 풍부한 수량은 물이용과 하천 생태계 등에 악영향을 끼치기 때문에 이에 대한 대책이 시급하다. 따라서 한 유역을 관리하기 위해서는 수량, 수질을 동시에 모의하고 그에 따른 대책을 수립해 줄 수 있는 모형이 필요하다. 또한, 최근 들어 청계천 복원 및 도시하천 복원사업이 활발하게 추진되면서 하천유지유량에 대한 사회적인 관심이 크게 증가하고 있으며, 하천유지유량에 대한 정량적인 평가 틀 또한 그 중요성이 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 수량-수질 연계모의가 가능한 K-WEAPq 모형을 이용하여 유역관리 및 하천유지유량 평가에 대한 방법을 제시하고자 한다.

2. K-WEAPq 모형

한국건설기술연구원과 SEI-US의 공동연구로 개발된 K-WEAPq 모형은 기존의 K-WEAP에서도 수량-수질을 동시에 모의할 수 있지만 K-WEAP에 내장되어 있는 수질합수로는 모의할 수 있는 오염성분이 한계가 있다고 판단되어 Qual2e 모형을 업그레이드시킨 Qual2K 모형을 K-WEAP과 연계시켜 개발한 모형이다.

- * 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : sjchoi@kict.re.kr
- ** 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : jsseo@kict.re.kr
- *** 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : jwmoon@kict.re.kr
- **** 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원-E-mail : dryi@kict.re.kr
- ***** 정회원-한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원-E-mail : skkang@kict.re.kr

K-WEAPq 모형은 기존의 K-WEAP 모형의 기능을 그대로 유지하면서 수질모의 시 기존의 내장함수를 이용하거나 혹은 Qual2K와의 연계를 통해 모의할 수 있도록 옵션을 첨가한 모형이다. K-WEAP에서 입력되고 계산된 오염발생량과 하천유량자료 및 수질관련 기초자료(기후자료, 하도구간 수질 매개변수자료 등)가 Qual2K의 입력 자료로 모의시간별로 제공되며, K-WEAP으로부터 제공된 자료를 바탕으로 Qual2K에서 하천수질을 모의하여 그 결과를 다시 K-WEAP으로 보내지는 과정을 거쳐 수량-수질을 동시에 모의하게 된다.

3. 낙동강 유역의 유역관리

3.1 낙동강 유역의 물수지 분석

K-WEAPq를 이용하여 낙동강 유역의 물수지 및 수질을 동시에 분석하였다. 낙동강 유역의 물수지 분석을 위해 2006년 수자원장기종합계획과 같이 낙동강 유역을 33개의 중권역으로 구분하였으며 기초자료를 그대로 이용하였다. 분석에 이용했던 용수수급 네트워크는 그림 1과 같다. 수질 분석을 동시에 수행하기 위해 본 연구에서는 반순별 모의가 아닌 월별 모의를 수행하였으며 목표연도는 2011, 2016년을 설정하였다. 본 연구의 분석결과는 2006년 수자원장기종합계획과는 차이를 보이고 있으며 이는 모의시간 단위가 서로 다른 것에 의한 것이다. 하지만 최대가뭄년과 평균년은 수자원장기종합계획 분석결과와 같은 것으로 나타났다. 본 연구에서 수행한 물수지 분석은 목표연도별 이수안전도를 평가할 뿐만 아니라 각각의 목표연도에 대한 하천유량을 분석함으로써 Qual2K와의 연계시스템을 위한 입력 자료를 제공하고자 함이다. 앞에서도 언급하였듯이 K-WEAP에서 분석한 하천유량 자료를 이용하여 Qual2K에서 하천 수질을 분석하기 때문이다.

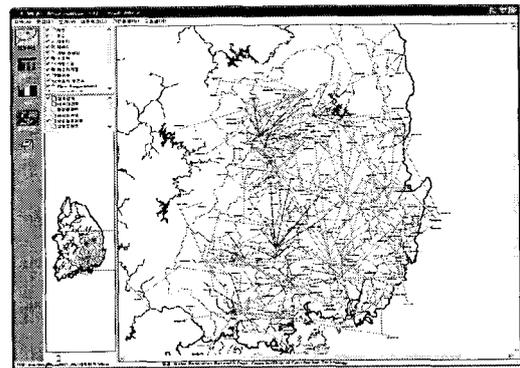


그림 1. K-WEAPq를 이용한 낙동강권역 용수수급 네트워크

3.2 낙동강 유역의 수질 분석

K-WEAPq를 이용하여 낙동강 유역의 수질을 분석하기 위해서는 물수지 분석 시 구분했던 각각의 중권역별 배출부하량 또는 배출농도를 알아야 한다. 이를 위해 우선적으로 인구, 축산, 산업, 양식장, 토지에 대한 현황을 조사하여 각각의 요소에 대한 발생부하량, 배출부하량을 산정한 후 산정된 결과를 중권역별로 변환시켜야 한다. 각각의 요소에 대한 현황, 발생부하량 및 배출부하량 산정방법과 표준유역, 행정구역별 발생부하량 및 배출부하량 자료는 각종 통계자료와 수계오염총량관리지침(국립환경연구원, 2002) 등을 이용하였으며 자세한 내용 및 산정결과는 웹사이트(www.drought.re.kr)에서 현재 제공하고 있다.

본 연구에서의 수질 분석 항목은 BOD, 질소, 인이기 때문에 K-WEAP 내장함수로는 이를 분석할 수 없어 Qual2K와의 연계를 통해 분석을 수행하였다. 2001년 각종 자료(하도구간 자료, 점오염원 및 비점오염원 관련 자료, 하천유량자료 등)를 산정하여 Qual2K를 실행시킨 후 관측된 수질자료와의 비교를 통해 각 하도구간의 매개변수를 산정하였다. 매개변수 산정을 위한 Qual2K 분석을 통해 생성된 .q2k 파일을 K-WEAPq에서 모의하고자 하는 각각의 하천과 연결시켜 수질을 모의하였다. 수질 분석 결과는 낙동강 본류뿐만 아니라 지류

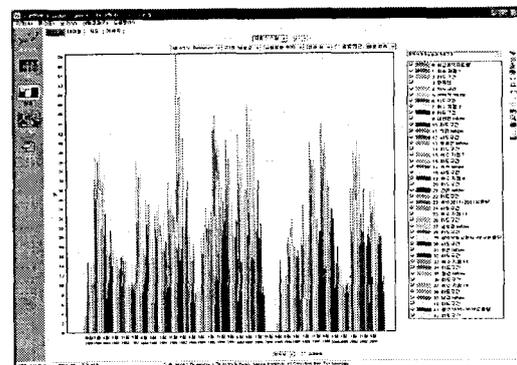


그림 2. K-WEAPq를 통한 낙동강 본류의 수질분석 결과

에 대한 결과를 연도별 월별로 도출하였다. 그림 2는 K-WEAPq를 통해 분석된 낙동강 본류의 수질분석 결과를 도시한 것이다. 분석결과 하천유량이 풍부한 7~9월이 모든 오염원 항목에서 보다 좋은 수질을 나타내고 있으며 다른 연도에 비해 유출이 적었던 2001년에 나쁜 수질결과를 나타내고 있다. 따라서 수질에 많은 영향을 주는 유량의 분석이 없이는 수질에 관한 분석을 수행할 수 없으며 하나의 이벤트성이 아닌 지속적인 모의시간별 수량-수질 연계분석을 통해 수질을 분석해야 한다. 각각의 하천의 연도별 월별 수질변화를 분석함으로써 하천의 목표수질을 평가할 수 있으리라 판단된다. 또한, 11개의 지류들에 대한 수질 분석을 수행함으로써 본류 수질에 각각의 지류가 어떤 영향을 미치는지도 분석하였다. 분석결과를 살펴보았을 때, 낙동강 본류의 수질개선을 위해서는 낙동강 본류만이 아닌 본류에 영향을 미치는 지류에 대한 지속적인 분석도 동반되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

3.3 다양한 시나리오 분석을 통한 오염총량제 평가

오염총량관리 목표는 수계구간별 목표수질을 설정함으로써 정해질 수 있다(국립환경연구원, 2002). 본 연구에서는 기 분석된 결과와 오염총량제에 대한 내용과 수량 확보라는 두 가지 차원에서 5개의 시나리오를 만들어 분석해 봄으로써 오염총량제와 수량 확보가 낙동강 본류에 어떤 영향을 미치는지 확인해보았다. 시나리오 1은 물수지 분석결과 저수량의 여유가 있는 안동댐에서 지속적으로 수질개선을 위해 10cms를 방류할 경우로 정하고, 시나리오 2는 안동댐에서 100cms 방류할 경우, 시나리오 3은 중대규모 도시를 포함한 4개 중권역에 대한 오염총량제를 실시할 경우, 시나리오 4는 낙동강 전 유역에 대해 오염총량제를 실시할 경우, 마지막으로 시나리오 5는 시나리오 2와 4를 동시에 실시하였을 경우로 정하고 분석을 수행하였다. 그림 3은 목표연도 2011년일 경우 2003년 4월에 대한 시나리오별 수질변화를 도시한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 적은 유량으로는 수질개선에 큰 효과가 없으며, 오염총량제를 실시할 경우 수질개선의 효과가 있는 것으로 분석되었다. 시나리오 4의 경우는 시나리오 3과 큰 차이를 보이고 있지 않기 때문에 배출부하량이 큰 몇 개의 중대규모 도시에 대해 오염총량제를 실시하더라도 효과를 얻을 수 있음을 암시한다. 또한 오염총량제를 실시하더라도 비점오염원에 대한 대책이 동반되지 않는다면 수질개선에 큰 효과가 없음을 나타낸다. 시나리오 5의 경우 가장 좋은 수질개선 효과를 나타내고 있다. 따라서 오염총량제 뿐만 아니라 수원확보를 통해 보다 효율적인 대책을 수립하여야 할 것으로 판단된다.

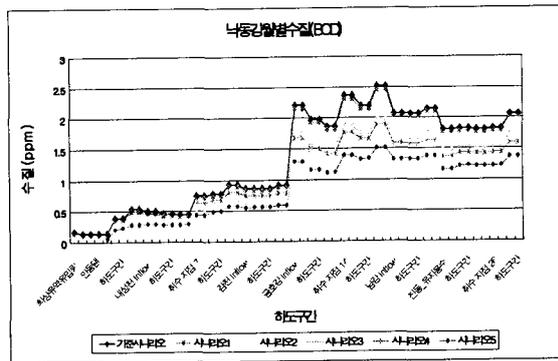


그림 3. 낙동강 본류 시나리오별 수질변화

4. K-WEAPq를 이용한 하천유지유량 평가

K-WEAPq에서는 하천유지유량에 대한 정량적인 평가가 가능하며, 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 사용자 편의성을 제공하고 있다. 또한 K-WEAPq는 수량과 수질의 모의가 동시에 가능하다는 장점을 가지고 있으므로 하천에서의 유지유량을 설정함으로써 얻을 수 있는 수질 개선효과를 정량적으로 확인할 수 있다. K-WEAPq를 이용하여 하천유지유량을 평가하기 위한 절차는 크게 기초자료의 입력과 분석, 그리고 결과 출력의 세 가지 과정을 통해 수행할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 기능을 갖는 K-WEAPq를 이용하여 한강권역의 지류 하천에 대한 하천유지유량을 설정하였을 경우 예상되는 영향을 검토하였다. 표 1은 6개 지류

표 1. 한강권역의 하천유지유량 고시계획(안)

하천명	중권역번호	유지유량(m ³ /sec)		지점명
		대안1	대안2	
평창강	1002	7.10	7.10	영월
달천	1004	3.50	4.20	달천
섬강	1006	4.20	4.20	분막
소양강	1012	8.00	8.00	소양강댐
홍천강	1014	2.80	4.00	서면
경안천	1016	0.90	1.70	경안

하천에 대해 검토된 하천유지유량 고시(안)을 나타내고 있다. 분석을 위한 기초자료는 2006년 수자원장기종합계획에서 이용된 자료와 조건을 동일하게 적용하였다. 분석을 위한 목표연도는 2016년을 고려하였으며, 고수요 시나리오에서의 수요량을 적용하여 분석을 수행하였다.

대안 1을 적용하였을 경우 권역의 총 물수요량은 836백만 m^3 /년이 증가하였으며, 이로 인한 물부족량 증가는 약 69백만 m^3 /년인 것으로 분석되었다. 중권역별 변화 양상을 살펴보면 평창강유역에서 연 38백만 m^3 의 물부족이 증가하는 것으로 나타나 가장 큰 영향을 받게 되는 것으로 나타났으며, 지류에 대한 하천유지유량을 설정함에 따라 해당 유역에서의 회귀수가 감소하여 한강하류 지역에서도 그 영향을 받고 있는 것으로 나타나고 있다. 대안 2의 경우 지류 하천에 대한 유지유량 설정에 따라 권역의 총 물수요량은 921백만 m^3 /년이 증가하였으며, 이로 인한 물 부족량 증가는 약 62백만 m^3 /년 인 것으로 나타났다. 중권역별 변화 양상을 살펴보면 평창강유역에서 연 38백만 m^3 의 물 부족이 증가하는 것으로 나타나 대안 1의 결과에서와 마찬가지로 가장 큰 영향을 받게 되는 것으로 나타났다. 그러나 상류에 위치한 지류 하천에 대해 대안 1보다 많은 양의 하천유지유량을 설정함으로써 인해 해당 유역의 회귀수 감소로 인한 하류 지역 물 부족량 증가가 대안 1보다는 적은 것으로 나타나고 있다.

이와 같이 하천유지유량에 대한 평가는 하천유지유량 독립적으로 이루어질 수 없으며, 해당 유역의 물 수급 상황을 함께 고려하여 이루어져야 한다. 하천유지유량의 설정은 해당 유역뿐만 아니라 하류에 위치한 지역까지 그 영향을 미치게 되므로 보다 신중한 검토가 필요할 것으로 판단되며, 수질에 대한 동시 고려가 가능한 K-WEAP_q를 이용하여 분석을 수행함으로써 하천유지유량에 대한 물 부족량과 그에 따른 수질 변화를 체크해 봄으로써 명확한 평가가 가능할 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서는 최근 개발된 K-WEAP_q 모형을 이용하여 유역관리에 필요한 물수지 분석 및 목표수질 평가, 오염총량제와 같은 환경정책을 통한 수질 개선 효과, 그리고 하천유지유량을 평가하였다. 한 유역 또는 지역의 수자원계획을 수립하거나 유역관리를 위해서는 최근에 이슈가 되고 있는 수량뿐만 아니라 수질에 대한 분석이 수행되어야 함을 알 수 있다. 수량-수질을 연계한 분석을 통해 해당 유역 또는 지역의 목표수질을 설정할 수 있을 것이다. 지금까지의 수질 분석은 하나의 사상에 대한 기준갈수량에 대한 분석만이 주를 이루었기 때문에 본 연구에서처럼 모의시간별 지속적인 분석을 통해 목표수질을 설정해야 할 것으로 판단된다. 또한 모의시간별 수질변화를 살펴봄으로써 수량이 풍부한 홍수기보다는 갈수기에 보다 효율적인 하수 및 폐수 처리와 같은 유역관리가 필요함을 알 수 있으며 이런 유역관리는 강우로 인한 비점오염원 유출에 대한 관리가 반드시 동반되어야 한다고 판단된다. 목표수질 달성을 위해 여러 대안을 제시할 수 있는 기초적인 데이터를 K-WEAP_q를 통해 제시할 수 있으며, 최근에 환경정책으로 대두되고 있는 오염총량제는 K-WEAP_q에서 여러 시나리오로 개발되어 그 효율성을 평가할 수 있다. 어느 정도의 오염총량제가 필요하며 어느 정도 양의 수원을 확보해야 되는지를 분석할 수 있으며 분석 결과를 토대로 목표수질 달성여부를 알 수 있다. 또한 하천에 설정되어 고시될 하천유지유량에 대한 평가도 K-WEAP_q를 통해 분석함으로써 그 타당성을 입증할 수 있을 것으로 판단된다.

어떤 유역을 관리하기 위해서는 K-WEAP_q 모형을 통해 수량-수질을 연계 분석함으로써 물 부족에 대한 대처방안으로서의 수원확보 대책뿐만 아니라 과거 자료를 이용하여 목표수질을 평가하고 이를 달성하기 위한 오염총량제와 같은 수질개선 대책 등을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위한 하천에서 필요로 하는 최소한의 유량인 하천유지유량에 대한 물 부족량과 그에 따른 수질 변화를 K-WEAP_q를 통해 체크해 볼 수 있을 것이다. K-WEAP_q를 통해 구축되고 분석된 수량-수질 연계자료는 누구나 쉽게 수정, 보완할 수 있도록 데이터베이스로 제공된다는 장점도 가지고 있다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 #1-5-2)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2006). 수자원장기종합계획(2006 ~ 2020).
2. 국립환경연구원(2002). 금강·영산강수계 오염총량관리제 시행방안 연구.
3. 국립환경연구원(2002). 수계오염총량관리기술지침.
4. <http://www.drought.re.kr>