

농업수자원의 이/치수 안전도 및 수질 평가 지표



박진석
서울대학교/학사과정
oneland111@snu.ac.kr



송인홍
서울대학교/조교수
inhongs@snu.ac.kr



김해도
농어촌연구원/책임연구원
searoad@ekr.or.kr



신형진
농어촌연구원/주임전임연구원
shjin@ekr.or.kr

1. 서론

최근 지구온난화의 영향으로 기후변화가 빠르게 진행됨에 따라 범지구적으로 이상기후 현상이 증가(IPCC, 2013)하고 있다. 우리나라에서 또한 이상기후의 영향으로 강수사상의 극한현상으로 가뭄과 홍수가 빈번하게 발생하고, 평균 기온이 빠르게 상승하는 등의 변화가 나타나고 있는 추세이다.

이상기후 현상으로 인해 적도부근에서 더욱 강한 상승기류를 통해 많은 수분량 및 강풍을 동반한 거대하고 강력한 태풍의 발생빈도가 증가하고 있으며 이로 인한 피해가 증가하고 있다. 손해보험협회에 따르면 2016년 태풍 차바의 영향으로 인해 약 268억 원의 농작물 피해액을 포함하여 총 1,433억의 피해 금액이 접수되었다(Lee, 2016).

가뭄의 경우 2010년 이후 2017년까지 매년 발생하고 있으며, 그 발생빈도와 강도가 점차 증가하고 있다. 특히, 충남지역의 경우 몇 년간 이어진 강수량 부족으로 인해 농업용수 공급에 큰 차질을 겪고 있다. 17년 6월 말 기준 충남지역의 평균 강수량은 평년의 45%에 그쳤고, 농업용수가 집중적으로 필요한 5~6월은 평년의 30%도 채 미치지 못하였다.

농어촌 연구원에 따르면 평균기온의 상승으로 이앙기 조한일이 당겨지고 수확기 만한일이 늦춰지며 논벼의 재배가능기간이 늘어날 것으로 예측되었다(RRI, 2010). 그림 1의 그래프를 통해 포항과 진주지역의 미래 작부체계의 변화 예상도를 볼 수 있다. 공통적으로 이앙기 조한일이 앞당겨지고 수확기 만한일이 늦춰짐에 따라 재배가능 기간이 각각 182일, 170일에서 231일, 240일로 늘어날 것으로 분석되었다.

이러한 기후변화에 의한 농작물피해에 근본적으로 대응하기 위해 저수지, 보 등 추가적인 용수공급시설의 신설을 통해 수자원의 관리범위 확대를 통해 해결할 수 있다. 하지만 이 같은 추가적인 용수공급시설의 신설은 사회경제적

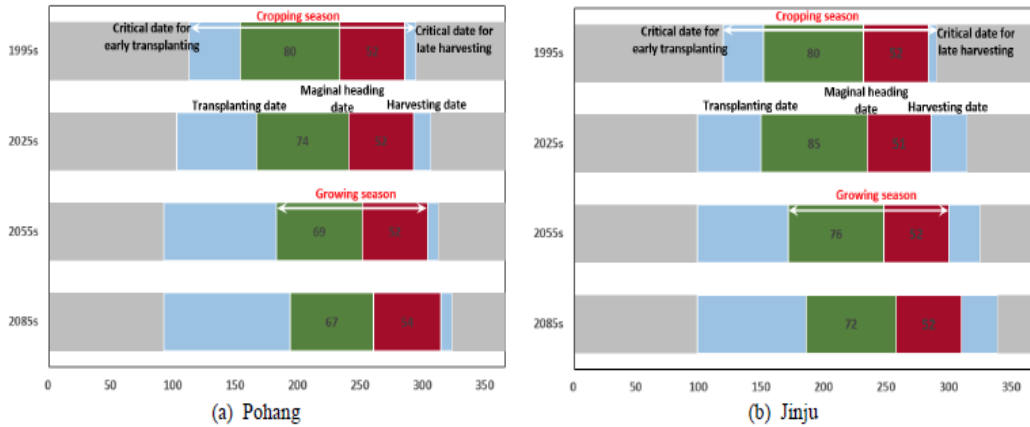


그림 1. 포항, 진주 지역의 논벼 작부체계 변화 (RRR, 2010)

여건상 많은 논의가 필요하고, 지역사회의 발달, 환경과 생태계에 미치는 영향 등에 의해 많은 제약이 발생한다. 따라서 새로운 용수시설의 추가신설이 아닌, 기존의 용수공급시설의 효율적 이용을 통한 수자원 관리에 관심이 집중되고 있다.

기존댐을 효율적으로 이용하기 위해서는 과거 설계당시와 비교하여 변화된 자연·사회 환경을 고려한 댐 능력의 재평가가 필요하다. 하지만 각 댐별로 용수공급능력 산정방법이 상이하여 댐 능력을 동일한 기준으로 파악하는데 어려움이 있다.

이에 현재 사용되고 있는 이수, 치수 및 수질에 관한 지표들을 정리하여 제시함으로써 다양한 지표의 종류 및 장단점을 파악하는데 도움을 주고, 추후 연구 및 입법과정 등을 통해 통합 지표를 내는데 기초자료를 제공하고자 한다. 또한 궁극적으로 수자원현황을 일관된 기준에 맞추어 진단함으로써, 수자원의 효율적 활용을 도모하고자 한다.

2. 이수 및 치수 안전도 지표

2.1 이수 안전도 지표

우리나라는 수리시설의 용수수요 능력을 평가하는 이수 안전도(Water Supply Reliability) 지표로, 계획하는 수공구조물의 설계빈도에 해당하는 ‘갈수기준년도’를 이용하는 방법과 용수공급 부족 발생빈도를 이용하는 ‘신뢰도 기준’을 활용하는 방법이 널리 이용되고 있다(양소열, 2016). 이를 통계적 방법, 경험적 방법으로 구분할 수 있다.

가. 통계적 이수 안전도 지표

통계적 방법을 이용하여 안전도를 판단한 이수 안전도 지표에는 Hashimoto등(1982)이 제안한 신뢰도, 회복도, 취약도가 있다.

신뢰도란 주어진 계획 기간 동안 정상적으로 용수공급을 수행할 수 있는 확률로 용수수요량을 공급할 수 있는 확실성, 용수공급 부족의 발생빈

표 1. 통계적 이수 안전도 평가 지표의 종류

구분	지표의 정의
신뢰도	주어진 계획 기간 동안 정상적으로 용수공급을 수행할 수 있는 확률 $\alpha = \text{Prob}[Xt \in S]$ α : 신뢰도, S : 용수수요의 충족상태
회복도	용수공급을 할 수 없는 상황이 발생했을 때 이로부터 얼마나 빠르게 회복하는지를 나타내는 지표 $\gamma = \text{Prob}[Xt+1 \in NF Xt+1 \in F]$ γ : 회복도, F : 실패상태
취약도	정상적인 용수공급을 할 수 없는 상황이 발생 했을 경우 부족량의 심도 $v = \sum_{j \in F} s_j e_j$ v : 취약도, s_j : 실패상태의 심각성 e_j : 실패지속기간 중 부족심도가 큰 값일 확률

도로 표시한다. 이는 표 1과 같이 구할 수 있다. 신뢰도는 운영 및 평가 단위에 따라 발생신뢰도(HR), 기간신뢰도(TR), 공급신뢰도(SR)로 아래의 식과 같이 구할 수 있다.

$$HR(\%) = 1 - \frac{T_{s1}}{T_{n1}} \times 100(\%)$$

HR: 발생신뢰도, T_{s1} : 용수부족년수, T_{n1} : 총 분석년수

$$TR(\%) = 1 - \frac{T_{s2}}{T_{n2}} \times 100(\%)$$

TR: 기간신뢰도, T_{s2} : 용수 부족 기간, T_{n2} : 총 분석 기간

$$SR(\%) = 1 - \frac{Q_s}{Q_p} \times 100(\%)$$

SR: 공급신뢰도, Q_s : 공급부족량, Q_p : 계획공급량

회복도란 용수공급을 할 수 없는 상황이 발생했을 때 이로부터 얼마나 빠르게 회복하는지를 나타내는 지표이다. Hashimoto등(1982)은 표 1과 같이 조건 확률로 회복도를 정의했다.

반면 Moy등(1986)은 용수부족사상 중 최대 연속 용수부족기간이 저수지운영 평가에 더 합리적이라 판단하여 아래와 같이 정의한다.

$$\gamma = \max_j d(j)^{-1}$$

γ : 회복도, $d(j)$: 용수부족기간

취약도란 용수공급을 실패했을 경우 부족량의 심도를 판단할 수 있는 지표다. Hashimoto등(1982)은 정상적인 용수공급을 할 수 없는 상황이 발생 했을 경우 부족량의 심도로 취약도를 표 1과 같이 정의했다. 이러한 취약도 정의는 사상별 최대값의 평균으로 나타낸 반면, Moy 등(1986)은 최대 부족량을 기준으로 다음과 같이 지표를 산정하였다.

$$v = \max_j v(j)$$

v : 취약도, $v(j)$: 실패지속기간 중 부족량

나. 경험적 이수안전도 지표

통계적 지표는 물 부족의 피해규모를 평가하는데 한계가 있다. 이에 피해사례를 바탕으로 경험적 용수이용 지표를 산정하였다. 경험적 이수안전도 지표로는 SI (Shortage Index), DPD (Water Deficit Per Day), GSI (Generalized Shortage Index) 등이 있다. 이는 표 2와 같이 각각을 정의한다.

경험적 이수안전도 지표는 통계적 지표와 달리 피해유발기준과 물 부족사상의 지속기간, 크기를 경험을 바탕으로 상대적으로 비교할 수 있는 장점이 있다.

표 2. 경험적 이수 안전도 평가 지표의 종류

구분	지표의 정의
SI (Shortage Index) -미공병단	$SI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{AWD_i}{DAWS} \right)^2$ N: 표본년의 수, AWD: 연간 물 부족량 DAWS: 연간 기본계획공급량
DPD (Water Deficit Per Day) -일본수자원개발공단	$DPD = \sum [DDR(\%) \times NDCD]$ DDR: 일 물부족률 NDCD: 물 부족 지속기간
GSI (Generalized Shortage Index) -Hsu	$GSI = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{DPD_{a_i}}{100 \times DY_i} \right)^k$ k: 상수, DY _i : i 번째 해의 날짜 수 DPD _{a_i} : i 번째 년의 DPDs의 합

경험적 이수안전도 지표 또한 이수안전도를 평가하는 갈수기준년도, 신뢰도기준의 큰 두 가지 기준을 활용한 방법이다. 이에 각 지표 산정 시, 자료 선정에 있어 다음을 고려하여야 할 필요성이 있다.

갈수기준년도를 설정하는 방법은 특정기간 동안 최대 갈수년을 채택하거나 갈수의 재현기간을 기준으로 기준년도를 채택하는 방법으로 구분할 수 있다. 최대 갈수년은 기록상의 최저 유량이 지속된 해로 갈수기준년도의 가뭄은 하천유역마다 큰 편차를 보이는 특징이 있다. 이를 기준으로 용수공급량이 결정될 경우, 분석기간이 길수록 보다 심한 갈수가 포함될 가능성이 커진다. 이에 용수공급량의 축소가 생겨 수자원의 효율적 이용에 어려움이 있을 수 있다.

신뢰도를 기준으로 이수 안전도를 평가하는 방법은 주로 일정 기준에 공급량을 만족시키지 못하는 용수 부족현상이 발생하는 빈도를 분석하는 신뢰도로 평가하는 방법이다. 전체 기간에 대해 저수지 물 수지 분석을 통해 보장공급량을 결정할 때, 신뢰도 100%의 보장공급량은 용수 공급계획량을 과소평가하게 되어 수자원 이용효

율을 지나치게 저하시킬 위험이 있다.

2.2 치수 안전도 지표

강우 등이 발생하였을 때 수리시설의 홍수에 대한 안전도를 평가하는 방법으로 홍수 안전도 지표(FRI, Flood Risk Index), 치수 안전도 지표(FSI, Flood Safety Index), 홍수 피해 지표(FDI, Flood Damage Index), 서울시 안전도 지수 등이 있다. 각 지표들을 정리하면 표 3과 같다.

홍수안전도 지표(FRI, Flood Risk Index)는 홍수에 대한 압력(P), 현상(S), 대책지표(R)를 표 3의 인자를 사회적 합의나 이론적 연구를 통해 도출된 가중치를 부여하여 산정한다. 홍수안전도 지표를 통해 치수상태를 정량화 하고 홍수 피해 해결의 우선순위를 부여하는 척도로 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한 지역치수사업에서 홍수대응지역, 유역의 현 상태 정부의 대응정책 평가에 유용한 수단이다.

치수안전도 지표 (FSI, Flood Safety Index)는 홍수량, 홍수위의 명확실성과 인구밀집도, 사

표 3. 차수 안전도 평가 지표의 종류

구분	지표의 정의
홍수 안전도 지표 (FFR)	<p>홍수에 대한 입력(P), 현상(S), 대책지표(R)를 사회적 합의나 이론적 연구를 통해 도출된 기준치를 부여하여 산정함</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 입력(P) - (화물)강우량, 인구밀도, 경사, 사회기반시설 등을 고려 2. 현상(S) - 홍수피해 침수면적, 우심피해횟수, 피해차수 등을 고려 3. 대책(R) - 하수도, 저수지, 홍수예보시스템, 기상관측소밀도 등을 고려
차수 안전도 지표 (FSI)	<p>홍수량, 홍수위의 불확실성과 인구밀집도, 사회기반시설의 중요도 등을 고려하여 홍수로 인한 피해에 자선의 방어 수준을 평가하는 지표임</p> $FSI = (1 - \frac{L_T}{P}) \times 100(\%)$ <p>L_T = 기대 연 피해비용 P = 차수단위구역의 총 자산액</p>
홍수 피해 지표 (FDI)	<p>홍수피해를 자연적, 사회적, 정책적, 시설적 요인 등 홍수피해 요인에 따라 지표를 산정하여 피해유발 인자별로 평가가 가능함</p> $FDI_i = \sum_{j=1}^n (W_j \times Z_{ij})$ <p>FDI_i: i지역에 대한 홍수피해지표, W_j: 가중치, Z_{ij}: 표준화 값</p> <p>표준화 값(Z-score): $Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \mu_j}{\sigma_j}$</p> <p>$X_{ij}$: i 자구 j인자 값, μ_j와 σ_j: 평균치와 표준편차</p>
서울시 안전도 지수	<p>서울시의 홍수피해의 주요 원인 분석에 따른 결과를 평가요인으로 표준화한 지표이다. 각 주요원인에 대해 전문가와 GIS를 이용해 가중치를 두어 지역안전도를 평가함</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 위험지수 = $\alpha_1 \times$자연적요인 + $\alpha_2 \times$과거피해요인 + $\alpha_3 \times$사회적요인 2. 저감성지수 = $\alpha_4 \times$시설적요인 + $\alpha_5 \times$행정적요인 3. 안전도지수 = $\alpha \times$위험성지수 - $\beta \times$행정적요인 + γ

회기반시설의 중요도 등을 고려하여 홍수로 인한 피해에 자선의 방어 수준을 평가하는 지표다. 차수안전도 지표를 통해 기존의 하천중심의 선 개념 차수계획을 유역 측면에서 홍수량 부담하는 면 개념으로 평가하여 지역단위의 종합적인 차수사업계획을 마련할 수 있는 특징이 있다.

홍수피해 지표 (FDI, Flood Damage Index)는 홍수피해를 자연적, 사회적, 정책적, 시설적 요인 등 홍수피해 요인에 따라 지표를 산정한다. 자연적 요인은 연강우량과 하천 밀도, 사회적 요인에는 인구밀도, 제조업생산액, 불투수 지역의 면적, 정책적 요인은 재정자립도, 제방연장, 하천관리 인력을, 시설적 요인은 총 주택 수, 투수 지역의 면적, 관공서 및 주요 기관의 수 등을 고려하여 산정한다. 이에 홍수 피해유발 인자별로

평가가 가능하다.

서울시 안전도 지수는 서울시의 홍수피해의 주요 원인 분석에 따른 결과를 평가요인으로 표준화한 지표이다. 각 주요원인에 대해 전문가와 GIS를 이용해 가중치를 두어 지역안전도 평가를 수행했다. GIS를 이용하여 지표를 산정하기 때문에 데이터가 있는 최소단위까지 홍수피해 위험성 지표를 산정할 수 있고 지역적인 특성을 반영한 선택적 홍수방어전략을 수립할 수 있다.

3. 수질 평가 지표

3.1 수질등급 평가지표

가장 일반적인 수질지표는 환경정책기본법

표 4. 수질평가 지표의 종류 및 정의

(농축산식품부, 2013)

수질지수	등급	특징
호소 수질등급	7단계 (Ia~VI)	pH, COD, TOC, SS, DO, T-P, T-N, Chl-a, 대장균군의 9개 항목별로 수질등급을 판단함. 각 항목별 판단된 등급이 서로 달라 종합적인 수질평가가 어렵다. 농업용저수지는 주로 COD기준으로 수질등급을 적용함
Vollenweider 영양상태	5단계 (극빈~부)	T-N과 T-P의 농도를 기준으로 등급을 산정한다. 전체 저수지의 약 81%가 중영양과 중부영양으로 분류되어 변별력이 부족함
TSI	100단계 (0~100)	SD, TP, Chl-a를 기준으로 각각의 지수를 산정한 후, 각 지표를 산술평균하여 통합 지수를 산정하는데, 1977년 개발이후 세계 여러 나라에서 적용되고 있으나 수환경이 크게 달라 직접 적용에 한계가 있음
LQI (TSIko)	100단계 (0~100)	우리나라 호소에 적합하도록 개발 중인 지수로서, COD, TP, Chl-a 항목에 가중치를 적용하여 통합지수 산정하는 종합 수질지수임
K-WQI (K-CWQI)	100단계 (100~0)	델파이조사기법을 적용한 종합수질 지수로 수질항목별로 별도의 부지수함수를 적용하고, 이에 가중치를 적용하여 산정한 값임. K-WQI는 10개 항목, K-CWQI는 8개 수질항목을 사용하는데, 지수가 높을수록 수질이 양호함을 의미함

시행령에 규정한 수질환경기준이다. 수질환경 기준은 이수목적과 연계하여 크게 5개의 수질 등급으로 하천수, 호소수, 지하수로 구분하고 있다 (http://www.wamis.go.kr/wke/wke_wqbase_lst.aspx). 더불어 생활환경과 사람의 건강 보호 목적으로 유해물질관리와 생물학적 지표를 추가로 규정하고 있다.

본고에서는 저수지가 농업용수의 실질적인 대표자원이라는 측면에서 호소를 대상으로 수질 평가지표에 대해 살펴보고자 한다. 표 4에 정리된 바와 같이 우선 호소수 수질환경기준이 있고, 추가로 호소의 영양물질 수준을 평가하는 지표로 Vollenweider 지수, TSI (Trophic State Index), LQI (Lake Water Quality Index), K-CWQI 등이 있다.

국내에서 수질지수로 가장 널리 활용되는 지표로 호소수질 등급이 있다. 호소 수질등급은 유기물의 정도를 나타내는 COD를 중심으로 평가하는 것이 일반적이다. 하지만 이는 저수지 수질상태를 종합적으로 반영하기에 어려움이 있고, 이를 보완하고자 TOC 기준으로 지표를 이

용하려는 노력이 있다.

Vollenweider 영양상태지수는 농업용저수지에서 많이 이용되고 있는 지표이다. 하지만 이 지표를 통해 경지의 약 90%가 중영양 또는 중부영양으로 분류되어 변별력이 없는 문제가 있다.

TSI는 Carlson (1977)이 투명도(SD)와 Chl-a 농도(Chl)의 상관관계, Chl과 TP의 상관관계를 연결지어 SD, Chl, TP를 사용하여 부영양화도를 정량적으로 나타낸 지표이다. 특히 수중에 무기부유물이 적은 호수의 경우 부유물은 주로 식물플랑크톤으로 구성되어 있다. 식물플랑크톤은 호수의 투명도에 직접적인 영향을 미치며 TSI를 부영양화 지표로 유용하게 활용 할 수 있다.

LQI는 우리나라 자연환경 특성과 외부기원 유기물 특성을 고려하여, 한국에 500여개 호수를 대상으로 계절에 따른 수질 변동의 median의 분포확률을 조사하여 산정한 지수이다. 한국 호소의 다양한 수질항목을 고려하여 개발되었고 장기간의 연구를 통해 이론적 근거가 명확하지만, 수질등급이 0.0부터 100.0까지 매우 세분화 되어 있어 실무적용에 불편함이 있다.

K-CWQI는 1996년에 개발된 기존 K-WQI가 지녔던 문제점과 한계를 보완하고, 10여 년간 변화한 국내 실정을 반영하여 개발된 종합 수질지표이다. 이는 전문가 의견을 반영하여 pH, COD, SS, DO, TP, TN, Chl-a, 분원성대장균수의 8가지 항목을 수질환경기준에 맞게 산정하고, 각 항목별 중요도를 계층분석과정(AHP)을 통해 정량화하여 가중치를 결정한다. 이에 K-CWQI의 부지수 함수를 감소형 지수로 선정하여 가중된 곱의 형태로 종합화 하여 산정한다.

3.2 목표수질달성 평가 지표

수질을 관리하여 목표수질에 도달했는지 여부를 판단하기 위해 연 평균 수질법과 과거 3년 평균 수질법을 통한 방법이 있다. 하지만 단순히 수질자료만으로 평가하는 위 방법들은 극심한 기뻐, 홍수와 같은 특이조건에 의한 수질영향을 고려할 수 없어 최근 오염부하속곡선(LDC)를 이용하는 방법이 주목받고 있다.

연평균 수질법은 환경부 장관이 고시한 “중권역별 수질 및 수생태계 목표기준과 달성기간”의 하천 및 호소지점에서, 환경기준 중 사람의 건강보호기준 전항목과 생활환경기준 중 생물화학적 산소 요구량(BOD) 및 화학적 산소 요구량(COD)을 평가한다. 하천의 경우 수질측정망의 중권역 대표지점별 수질측정 자료의 연간 산술평균값으로 하며, 호소의 경우 수질측정망 중 해당 호소내 모든 측정지점의 연간 산술평균값으로 한다. 다만 자연재해, 인근지역공사 등에 의해 일시적으로 나타난 특이 측정값과 275일 이상 유지되는 저수위보다 낮은 수위에서 측정된 하천의 수질자료는 제외한다.

$$\text{평균수질} = \frac{\text{연간측정수질}(\text{측정수질1} + \text{측정수질2} + \dots)}{\text{연간측정횟수}}$$

과거 3년 평균 수질법은 48일 간격으로 연간 30회 이상 측정된 자료로 아래의 식을 통해 수질을 평가하여 수질변동을 확인한다. 측정수질은 산정시점으로부터 과거 3년간 측정된 자료를 이용한다.

$$\text{평균수질} = e^{\left(\frac{\text{변환평균수질} + \frac{\text{변환분산}}{2}}{\dots}\right)}$$

$$\text{변환평균수질} = \frac{\ln(\text{측정수질1}) + \ln(\text{측정수질2}) + \dots}{\text{측정횟수}}$$

$$\text{변환분산} = \frac{\ln(\text{측정수질}) - \text{변환평균수질}^2 + \dots}{\text{측정횟수} - 1}$$

오염부하속곡선(Load Duration Curve, LDC)으로 다양한 유량 조건의 수질 모니터링 자료를 이용하여 부하속곡선에 해당 관측 수질 및 유량자료를 도식하여 전체 유량규모에 대한 분포를 확인 할 수 있다. 이를 이용하여 하천 및 유역관리를 위한 최적의 유량 및 수질 모니터링 계획을 수립하기 위한 방안을 제시하는데 활용할 수 있다.

오염부하속곡선은 다음의 과정을 통해 도시화 한다. 일유량 자료를 이용하여 유향곡선을 작성한 후, 이전의 유향곡선을 바탕으로 기준 부하속곡선 또는 허용 부하속곡선을 작성한다. 기준 오염부하는 단위 유역별로 설정된 목표수질에 유향곡선의 유량을 곱하고 안전율을 고려(오염부하(L) = 유량(Q) × 목표수질(Cs) × 안전율(MoS))하여 계산한다.

기준(또는 허용)부하속곡선 상에 실제 측정된 유량-부하량 관계 자료를 추가하여 목표수질에 달성했는지 여부를 판단 할 수 있다. 오염

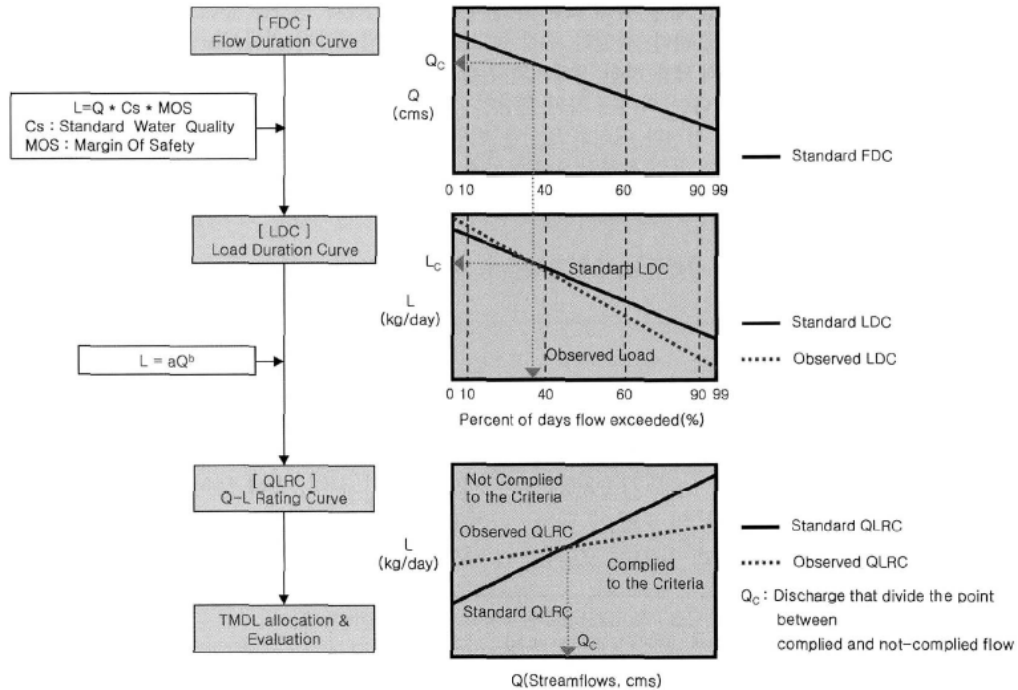


그림 2. 부하지속곡선을 이용한 오염총량평가기법 (손태석 등, 2011)

부하지속곡선을 이용하는 방법은 그림 2에 나타내었다. 기준(또는 허용)부하지속곡선과 실제 부하곡선을 비교하여 관측부하곡선이 기준(또는 허용)부하지속곡선 위에 있으면, 이 구간에서 수질을 만족하지 못하고 있음을 의미한다.

4. 결론

본고에서는 수자원을 관리하는데 필요한 이수, 치수 및 수질에 관한 다양한 지표들을 소개하였다. 이러한 지표는 일반적으로 수자원을 다양한 목적으로 관리하기 위한 용도로 개발된 지표들이다. 농업용수는 생활용수나 공업용수와는 수자원이 이용 형태가 달라 측정 자료의 형태가 모든 지표에 적용이 가능할지는 추가적인 검

토가 필요할 것이다. 실제로 농업용수의 특성을 반영한 관리지표가 개발될 필요가 있고, 이수 측면에서는 일부 연구가 진행되고 있는 것으로 알고 있다. 더불어 각각의 수자원 관리에서 여러 지표들의 장점과 단점을 고려하여 하나로 통합된 지표를 개발하는 노력도 필요할 것으로 생각된다.

사사

본 원고는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업(316034-3)의 지원을 받아 연구한 결과를 일부 발췌·수정한 것입니다.

참고문헌

1. Lee D. G., Jeju Farmers, "Special Damage Compensation Against The Typhoon Chaba is Required", Jejuori, 2016
2. 최시중, 강성규, 이동률, 최진용, 이성학, 2017, 기후변화에 따른 논벼 작부체계 변화가 미래 용수공급에 미치는 영향 분석, 한국방재학회논문집, 17(2), 439-448.
3. 권태영, 2014, 다목적댐 이수안전도 평가지표 개선 방안연구
4. 농림축산식품부 & 한국농어촌공사, 2013, 인공지능기법을 이용한 농업용저수지 수질지표 및 관리모델 개발
5. 박나영 · 최진용 · 유승환 · 이상현, 2013, RCP 시나리오 기반 농업용 저수지의 내한능력 평가, 한국농공학회논문집 55(3), pp.13-24.
6. 박석근(2006), 홍수 피해발생 잠재위험도 산정 방안 연구, 인천대학교, p4~23
7. 박태선 외 3명(2005), 홍수 피해 특성 분석 및 홍수 피해 지표 개발에 관한 연구, p59~84
8. 손태석, 주재승, 박재범, 신현석, 2011, 부하지속곡선과 유량-부하량 상관곡선을 이용한 낙동강 유역의 오염총량평가, 한국토목학회논문집, 31(5B), 475~481.
9. 양소열, 2016, 수혜권역의 여건 변화를 고려한 농업용저수지의 농어촌용수 공급능력 평가, 전남대학교 공학박사 학위논문
10. 이동률 외 3명, 치수관리지수의 비교평가, 한국수자원학회
11. 이주현, 조동진, 박두호, 최동진, 박성제, 2009, 국가치수안전도 평가를 위한 치수지표의 개발, 한국수자원학회지, 1748-1753.
12. 유승환, 최진용, 이상현, 오윤경, 박나영, 2012, 한국농공학회논문집, 54(2), 15-26.
13. 윤동근, 2010, 저수지 홍수배제능력증대 방안 검토, 한국관개배수학회지 10월호, 37-42
14. 차상화 · 박기범, 2004, 다목적댐의 용수공급능력 평가지표 산정에 관한 연구, 한국환경과학회지 13(3), pp.197-204.
15. 차형선 외 3, 2011, 수자원계획에서 이수안전도 기준의 적정성 평가
16. 한국농어촌공사 농어촌연구원, 2015, 농업용저수지 수질정보시스템 구축방안 연구
17. 환경부, 2014, 생물학적 수질평가제도 개선방안 연구 최종보고서
18. 황현동, 2013, 수문-수질모델을 이용한 호소 오염총량제 수질 평가 방법에 관한 연구, 충남대학교 박사학위 논문
19. Dandy, G.C., Connarty, M.C., Loucks, D.P., 1997, Comparison of Methods for Yield Assessment of Multiple Reservoir Systems, Journal of Water Resources and Management 123(6), pp.350-358.
20. Hashimoto, T., Stedinger, J.R., and Loucks, D.P. (1982) Reliability, Resiliency, and Vulnerability Criteria for Water Resources System Performance Evaluation. Water Resources Research, Vol. 18, No. 1, pp. 14-20.
21. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), 1999. Comprehensive plan for agricultural and rural water. Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea.
22. Moy, W.S., Cohon, J.L., ReVelle, C., 1986, A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir, Water Resources Research 22, pp.489-498.
23. RRI(Rural Research Institute) (2010) Climate Change Impacts Assessments on Agricultural Water Resources, KRC (Korea Rural Community Corporation).