

MODSIM을 이용한 물수지 분석 시스템 구축

윤석영*, ○유주환**

1. 서 론

1.1 연구목적 및 배경

본 연구는 댐 계획, 유역계획, 전국계획 등 각 단계별 수자원 계획을 경제적, 사회적, 환경적인 면에서 최적화시키기 위한 관련기법을 지속적으로 연구·개발하고, 각종 수자원 제도의 개선방안을 연구하여 국가 수자원 정책에 반영하고자 하는 연차 사업의 일환으로 각종 수자원계획을 수립함에 있어 기본자료를 효과적이고 체계적으로 제공하기 위해서 기존의 물수지 분석 방법을 검토하고 보다 적용 편리하고 체계화된 물수지 분석 시스템을 구축하는 연구에 기반을 둔다. 수자원을 가장 효율적이고 합리적으로 이용하기 위해서는 시간적 탄력성과 지역적 편차를 갖는 용수수요에 대응하여 시기적절하고 지역 균형을 갖도록 하는 최적의 물 공급 관리 체계가 필요하다. 이를 위해 선행적으로 물수지 분석이 필수적으로 요구된다. 현재 우리나라의 물수지 분석은 NEDECO 방법으로 알려진 방법이 실무에서 많이 적용되고 있다. 그러나 이 방법은 물 수요 증가에 따른 수자원 이용의 지역적 수리권 등을 포함할 수 있도록 하는 수자원 개발 계획의 다양한 조건, 즉 설계자에 의한 수자원 개발지의 복합적인 대안 제시, 유역간 물 이동, 물수지 계산 시간단위의 선정 등 수자원 계획을 최적화할 수 있는 대안을 각 경우별로 반영할 수 없는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 이와 같은 문제를 많은 부분 해결할 수 있고 복잡한 유역과 용수공급 시스템을 도식적으로 표현할 수 있는 최적 네트워크 알고리즘을 갖는 MODSIM을 물수지 분석 시스템에 도입하여 보다 분석 편리하고 유연성있는 체계를 구축하는데 그 목적을 둔다.

1.2 연구범위 및 가정사항

본 체계는 수자원 계획 차원에서 물수지 분석 시스템으로 구축된 것이기 때문에 물관리 모형으로 직접 운영될 수는 없다. 다만 현재 물수지 분석 시스템내에서 시간축을 월단위를 5일 또는 일 단위로 바꾸고 자료를 입력한다면 물관리 체계로 전환하여 운영도 가능하다. 그리고 체계는 수자원장기계획을 기준으로 하여 대권역, 중권역별 소유역 단위로 구축된다. 만일 대상 영역이 변경될 경우 구축된 체계를 적절하게 축소 및 확장할 수 있다. 본 체계를 통하여 보다 신뢰성있는 물수지 분석을 하기 위한 선행조건으로 첫째 물수지의 기본이 되는 수자원 부존량 파악 측면에서 신뢰성 있는 유출량 자료와 지하수 유출 및 사용에 대한 자료 체계가 구축되어야 한다. 본 연구에서는 지하수는 별도로 고려하지 않고 자연유량에 포함된 것으로 간주한다. 둘째로는 물공급에 따른 회귀 수량은 또다른 하류의 수원이 되는 것으로 생활용수, 공업용수, 관개용수 등 용수목적별로 적정 회귀율에 대한 연구가 필요하다. 본연구에서는 생활용수 및 농업용수에 대한 회귀율을 65%, 35%로 각각 가정하여 적용하였다. 셋째로 본 연구에서 생활 및 공업용수의 수요패턴은 일정하게 하고 농업용수는 수요량의 월별비를 권역별로 적용한다. 보다 엄밀한 분석을 위해서는 정확한 수요패턴에 대한 영역별 또는 소유역별 연구가 요구된다. 넷째로 현재 전반적인 댐조작 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 댐별 공칭 용수공급량을 만큼을 댐이 공급하는 것으로 하였으나 장래 저수지 조작기준이 마련된다면 이를 적용할 수 있다. 다섯째 본 물수지 체계를 이용할 경우 소유역별 물공급 우선순위 및 유역간의 수리권 등에 대한 기준정립이 필요하다. 본연구에서는 우선순위를 균일하게 부여하였다. 마지막으로 본 체계에서는 수자원 계획 차원의 월단위 조작이기 때문에 유출의 시간적 지체는 고려하지 않지만 경우에 따라서 일관리 모형 등에 하도추적이 필요하고 용수목적별로 회귀 시간에 대한 연구도 요구된다. 즉 하도유출 및 수요에 따른 지체 계수 및 회귀 시간에 대한 자료체계도 요구된다. 이와 같이 본 체계에 입력되는 매개변수에 대한 선행연구가 필요하다. 본 연구에서는 물수지 계산에 매개변수에 대한 가정치를 적용하였으나 보다 정확한 매개변수 자료 체계가 확립되면 이를 보완, 적용할 수 있을 것이다.

* 한국건설기술연구원 수자원환경부 수석연구원

** 한국건설기술연구원 수자원환경부 선임연구원

2. 물수지 분석 시스템

2.1 물수지 분석 방법 검토

2.1.1 분석 방법의 적정 기준

본 연구에서 구축되는 물수지 분석 체계는 우선 실무에서의 적용이 쉽고 편리해야 하고, 우리 나라의 기존 물수지 분석의 관행을 반영할 수 있어야 하고, 대상 유역의 물수지 분석 시스템을 쉽게 구성하여 표현할 수 있어야 하고, 자료의 입력과 출력에 편리성을 가져야 하고, 장래 물수요 증가, 수리권 등에 의한 수자원 시스템 복잡성을 수용할 수 있어야 할 것이다.

2.1.2 기존 방법 검토

과거에 적용되어 왔던 물수지 분석은 낙동강 유역 조사 사업(국제연합 식량 농업기구, 한국 수자원 개발 공사, 1971) 및 낙동강 유역 하구조사 기술보고서(건설부, 산업기지개발공사, UNDP/FAO/NEDECO, 1977)에서 도입된 방법이 오늘날까지 이용되고 있는 실정이다. 이 방법은 자연유량과 유역의 생활 및 공업, 농업 용수 수요량을 순물 소모량을 비교하여 물 부족량을 계산하게 된다. 이 방법은 물수지의 기본 개념을 도입하여 전자계산기를 이용한 계산이 가능하나 유역 분할 등의 계산 시스템에 변화가 왔을 때 유연하게 대처할 수 없고 유역간 물이동 등을 유연성있게 반영하기 힘든 단점이 있다. 또한 낙동강유역 하구조사 기술보고서에 제시되어 있는 물수지 방법의 문제점은 대상 유역의 물 공급 시스템의 변화와 댐 등 신규 수자원 개발 사업의 효과를 신속히 계산할 수 없기 때문에 정책 결정자에게 신속한 정보를 제공할 수 없을 뿐만 아니라 용수공급 우선권 부여 및 수리권의 적용이 불가능한 점이라 할 수 있다. 그리고 유역의 물수지 프로그램을 수자원 계획 때마다 작성하여야 하는 불편함이 있고 프로그램을 작성한 사람 외에는 전반적인 시스템의 구성을 파악하기 어렵고, 수자원 계획 시 필연적으로 발생하는 수정 사항에 대해 효과적으로 대응할 수 없다. 또한 유역이 크고 물 이동이 복잡한 유역은 계산의 오류를 찾기가 어려울 뿐만 아니라, 입력 및 출력자료의 구성이 쉽지 않은 단점이 있다.

2.1.3 MODSIM의 도입

따라서 이와같은 기존방법을 탈피하고 장래 물 수요 증가 등에 따라 수리권 문제가 야기될 수 있는 경우 수자원 계획과 관리 측면에서 가용 수자원을 효율적으로 배분할 수 있는 저수지 하천 시스템 운영 모형인 MODSIM을 도입하여 물수지 분석체계를 구축한다. MODSIM은 원래 Texas Water Development Board에서 개발한 SIMYLD-II를 콜로라도 주립 대학교(Labadie)에서 개선한 모형이다. MODSIM의 최근 버전으로 지표수와 지하수의 상호 연계 및 수질을 고려한 종합 모형이다.

장기(월단위), 중기(주단위), 단기(일단위)로 유역시스템 운영할 수 있는 MODSIM을 물수지 적용에 할 경우 갖는 특징으로 우선 지표수와 지하수를 연계하여 모형화 할 수 있고 용수배분의 제도적, 법적인 구조를 직접 상호 연계시킬 수 있으며 자연유량 사용권, 계절적 지류권을 분리하여 분석할 수 있고, 수리권의 교환, 매매 등 복합적인 수요 양상을 반영시킬 수 있다. 그리고 시스템 형상의 도안과 편집을 위한 GUI뿐만 아니라, 객체 지향적인 데이터 베이스 관리시스템을 지원하는 스프레드시트형 자료편집 능력을 내장하고 있기 때문에 체계 구축에 유연성과 편리성을 갖는다.

2.2 MODSIM 개요

2.2.1 개발 배경 및 사례

MODSIM은 미국 텍사스의 수자원개발부(1972)가 개발한 SIMYLD 네트워크 모의 모형을 수정하게 됨에 따라 모형 명칭을 MODified SIMYLD(MODSIM)으로 하였다. 이 알고리즘은 하천유역 관리에 있어서 물리적, 수문학적, 제도적인 측면에서 물이 배분될 수 있도록 구축되어 있으며, 복합적인 하천 유역의 물 이동을 모의할 수 있으므로 적용성이 높다. 그 적용 사례로는 Rio Grande River Basin(Graham, et al., 1986), the Poudre River Basin in Colorado (Labadie, et al., 1986a), the Upper Colorado River Basin(Law and Brown, 1989) 그리고 the Upper Snake River Basin(Frevert, et al., 1994) 등이 있다.

2.2.2 MODSIM 알고리즘

MODSIM은 완전한 동적 최적화 과정(dynamic optimization process)이라고 할 수 없지만 네트워크 흐름의 질량보존(mass balance)을 유지하는 범위에서 전기간의 비용을 최소화시키는 네트워크 흐름 최적화(network flow optimization) 알고리즘화를 갖는다. 여기서 네트워크는 노드와 링크로 구성된다. 여기서 노드는 물수요 또는 공급의 단위가 될 것이고 링크는 이를 연결하는 유동 통로가 된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\minimize \sum_{i \in A} C_i q_i \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in O_i} q_j - \sum_{k \in I_i} q_k = 0, \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$l_l \leq q_l \leq u_l, \quad \forall l \in A \quad (3)$$

여기서, A 는 네트워크의 모든 링크의 집합체이며, N 은 모든 노드의 집합체이다. O_i 는 노드 i 에서 시작하는 모든 유출 링크의 집합체이며, I_i 는 노드 i 에서 끝이 나는 모든 유입 링크의 집합체이다. q_l 은 링크 l 에서 정수 값의 유출이며, c_l 은 링크 l 에서 단위 유출당 비용, 가중치 혹은 우선 순위를 나타낸다. l_l 은 링크 l 에서 흐름의 하한 값, u_l 은 링크 l 에서 흐름의 상한 값을 나타낸다. 식 (2)는 노드에서 유입 총량과 유출 총량은 같다는 노드 제약조건(node constraint)이다. 식 (3)은 모든 링크 흐름의 상한값과 하한값이다. 순환적인 네트워크 구조를 갖는 MODSIM을 도식화하면 그림 1과 같다. 노드 1, 2와 3은 실제 유역의 상황을 나타내는 물리적인 시스템 노드이다. 노드 1은 저수지이고 노드 2는 중간 노드이고 노드 3은 수요 또는 취수를 나타낸다. 점선으로 표시된 노드와 링크는 가상적인 계산 노드와 링크를 나타낸다. 여기서 I는 가상적인 계산상 유입량 노드, D는

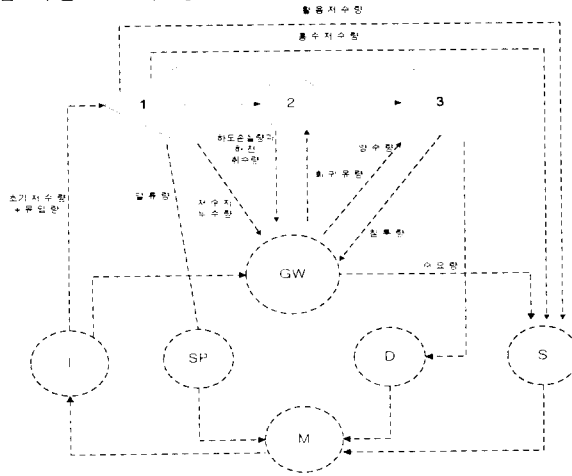


그림 1 MODSIM의 네트워크 구조

수요 노드, S는 저수량 노드, SP는 일류(spill) 노드, M는 질량균형 노드, GW는 지하수 노드이다.

MODSIM은 Bertsekas에 의하여 개발된 Lagrangian relaxation에 기초한 쌍대절차(dual procedure)를 통합한 효율적인 Primal-Dual 네트워크 최적알고리즘의 원리를 채택하여 개발되었다. 비교 연구결과, Lagrangian relaxation 알고리즘이 out-of-kilter(OKM) 알고리즘보다 우세할 뿐만 아니라, Primal에 기초한 네트워크 알고리즘보다도 우수한 것으로 나타났다(Bertsekas, 1988).

2.2.3 물수지 계산 적용성 검토

MODSIM은 노드의 우선권 또는 편익을 최대화하는 모형으로서 수요중심의 물수지 분석을 할 수 있으므로 물수요 증가에 따른 지역간 수리권 등을 반영하는데 적합하다. 그리고 기존 방법과는 달리 도식 등의 사용자 편의를 제공토록 되어 있고 우선 물수지 분석 시스템을 구축하기 편리하고 수정,보완이 편리하여 실무자가 접근하기 쉽다. 이에 본 연구에서는 물수지 분석 시스템을 구축하는데 MODSIM을 적용한 것이다.

2.3 물수지 계산 시스템 구축

2.3.1 적용대상

전국 규모의 수자원 계획을 고려하여 전국의 5대강 유역을 기본으로 하고 용수 공급 지역 범위 등 용수 수요를 감안한 수자원장기종합계획을 기준으로 하여 전국을 한강권역, 낙동강권역, 금강권역, 영산강 및 섬진강권역으로 구분하고 권역별로 물수지 체계를 구축한다. 본 발표에서는 3개 권역에 의하여 둘러싸여 중앙에 위치한 금강권역의 물수지 체계를 중심으로 설명한다.

2.3.2 시스템 개요

본 연구에서 구축한 물수지 시스템은 그림 2와 같이 전처리(pre-process)와 후처리(post-process) 과정을 통하여 물수지 계산을 수행한다. 여기서 전처리는 MODSIM의 입력 형식으로 만드는 과정이고 후처리는

는 MODSIM의 결과 파일로부터 물수지 분석 결과 형식으로 전환하는 과정이다.

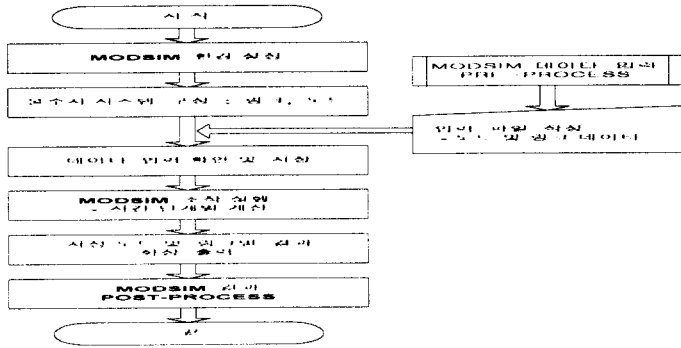


그림 2 시스템 구축 개요

2.3.3 시스템 구축

권역상으로 한강권은 한강유역, 안성천유역, 임진강유역 및 서해권 등으로 구분되고 낙동강권은 낙동강유역, 태화강유역, 형산강유역, 동해권, 남해권 유역 등으로 구분되고 영산강 및 섬진강권역은 영산강유역, 섬진강유역, 동진강유역, 탐진강유역과 서해권 및 남해권 유역으로 구분되고 유역간 또는 권역간 물이동 등을 고려하여 권역별로 물수지 분석시스템을 구축한다. 특히 금강권은 그림 3과 같이 금강유역(그림3, 1~16번 소유역), 삼교천유역(17번), 만경강유역(18번) 및 서해권(91~93번) 등으로 구성된다. 금강유역에서 중앙에 위치한 대청댐에서는 대전, 청주는 물론 주변 시군 등의 용수공급에 크게 기여하고 있다. 금강광역상수도를 통하여 전북과 충남일원에 생공용수를 공급하고 있다. 금강상류 용담댐에서는 호남평야 지대로서 농업용수 수요가 큰 만경강유역으로 유역변경하여 용수를 공급할 계획에 있다. 그밖에 보령댐계통광역상수도, 군장공업용수도 등에 의하여 유역간 물이동이 이뤄진다. 대청광역상수도에 의하여 한강권으로 용수공급되고 또 아산공업용수도에 의해 한강권으로부터 물 이동되기도 한다. 이를 포함한 물수지 계산 시스템을 구축하면 그림 4와 같다.

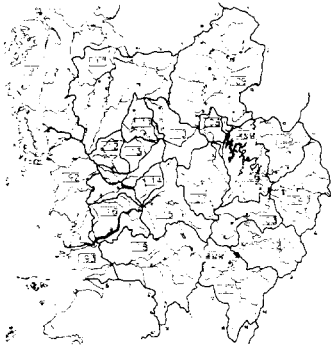


그림 3 금강권역

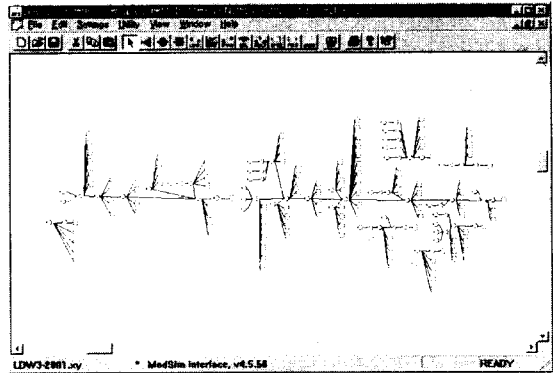


그림 4 물수지 분석 시스템 구축

2.3.4 주요 입력자료

주요 입력자료에는 유입량, 용수 수요량 및 수요패턴, 회귀수량, 유역간 물이동량, 댐별 용수공급량 또는 조작기준, 지하수 이용량 등이 요구된다. 여기서 지하수량과 유입량인 자연유량을 분리하기가 현재 자료 체계상 어려움이 있으므로 지하수는 고려치 않고 자연유량에 포함된 것으로 간주하였다.

3. 물수지 계산 시스템 적용

3.1 물수지 분석

각 구축한 물수지 계산 시스템을 검증하기 위한 입력자료 및 분석방향 등은 최근 수자원장기종합계획(1996.12)의 물수지 분석에 준하여 분석한다 수자원 계획상의 물수지 분석에는 댐공급 가능 영역 미고려한 경우와 댐공급 가능 영역 고려한 경우로 구분하여 분석하였다. 댐공급 가능영역 미고려한 경우는 댐이 없다

고 보고 권역별 물수지 계산하고 이로부터 계산된 물 부족량과 댐 공급량을 총량적으로 비교하여 물수지 분석하는 것으로 댐공급 지역 및 경로가 배제된 것이다. 댐공급 가능 영역 고려한 경우는 댐의 공칭공급량을 공급하도록 댐을 물수지 계산에 포함시키고 이로부터 계산된 물수지 결과로 물수지 분석하는 것이다. 이에 준하여 우선 댐공급 가능영역을 미고려한 경우를 분석하면 다음과 같다. 댐을 포함하지 않은 물수지 계산 시스템에서 수요기준 연도별 하천수 공급량과 물부족량을 구하여 권역별로 합산한다. 이때 공급측면을 고려하여 물부족량은 실제 계산치에 20%의 조작손실을 감안하였다. 이렇게 계산된 물부족량에 대하여 댐의 용수공급량을 공급하여 채운다고 하면 댐용수공급 능력이 소진되는 목표년도를 알 수 있다. 이때 내포된 것은 댐용수공급량은 지형적인 제약없이 어떤 소유역이고 공급가능하다는 것이다. 즉 광역상수도 사업을 기반을 둔 분석이라고 할 수 있다. 두 번째 댐공급 가능 영역을 고려한 경우에 댐의 공칭용수공급량 만큼을 댐에서 공급한다고 하여 물수지를 계산한 것이다. 여기서는 댐의 저류량의 시간적인 최적배분 조치가 고려되지 않고 단지 용수공급량을 월별 용수수요비로 배분한 것이므로 실제 저수지 조작과는 차이가 있다. 이와 같은 방법으로 금강권역에 대하여 분석해 보면 다음과 같다.

3.1.1 수요 기준년도별 물수지 분석

금강권역내 용수수요 기준년도별 물수지 계산 총괄표는 67/68년 정도의 갈수가 금강권에 도래하는 경우 공칭 용수공급량 만큼을 댐이 공급할 경우에 금강권에 물부족이 발생하는 정도를 나타내고 있다. 수요기준년이 증가할수록 물부족의 감소정도는 둔화됨을 보이고 있다. 이 경우 댐조작 없이 다만 공칭 공급량만큼이 댐에서 水源과 같이 공급된다고 보았다. 이는 유입량 패턴이 고려되지 않은 것이므로 계절별 댐조작기준(operation rule)이 반영되면 개선될 수 있다. 그리고 소유역 공급우선권과 회귀율에 가정이 포함된 것이다.

표 1 물수지 계산 결과 단위 : MCM

구분	수요기준년도					비고
	1996	2001	2006	2011	2016	
용수 수요량	4976	5348	5178	5573	5716	5734
생활용수	439	495	601	702	761	811
공업용수	377	533	590	616	731	731
농업용수	3647	3808	3776	3744	3712	3680
하천유지용수	512	512	512	512	512	512
댐/하천수 공급량	3936	4264	4381	4448	4552	4565
총 부족량	1040	1084	1097	1126	1163	1169

3.1.2 권역내 지역 물수지 분석

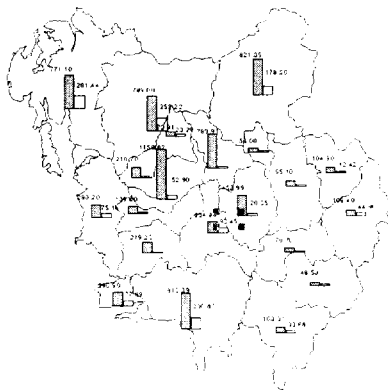


그림 5 소유역별 물부족현황

중권역별로 물부족 발생 상황은 댐공급을 고려하지 않으면 물 수요에 대하여 물 부족이 상대적으로 심한 중권역으로부터 순서대로 살펴보면 대전권, 충남북부권, 충남남부권, 충북중부권, 충남북부권, 충북남부권, 삼교천서해권, 금강서해권, 만경강서해권, 전북동부권, 충남중부권 순으로 이때 수요에 대한 물부족 비율은 53%~33%로 나타난다. 댐 공급량을 고려하면 수요에 대한 물부족 비율은 삼교천서해권, 충남북부권, 전북북부권, 금강서해권, 만경강서해권, 전북동부권, 충북중부권, 충북남부권, 충남남부권, 충남중부권, 대전권 순으로 각각 43%~3%로 댐공급으로 물부족이 감소함을 보인다. 특히 대전권, 충남남부권, 충북남부권은 댐공급으로 수요에 대한 부족 비율이 50%, 29%, 24%가 감소하는 바와 같이 물수요에 댐공급이 큰 역할을 하고 있음을 보인다. 물수지 결과는 그림 5와 같이 소유역별로 GIS 체계를 통하여 속성 정보화하여 보여 준다. 그림에서 검은색 및 흰색 바는 수요 및 물부족을 보여주고 수치의 단위는 $10^6 m^3$ 이다.

3.2 비교 검토

본 연구의 물수지 결과는 개발한 물수지 계산 시스템의 검증차원에서 적용하여 나온 것이기 때문에 수자원장기종합계획(1996.12)의 결과와는 차별되어야 한다. 소유역별 물부족량 분포는 권역내 물부족 발생 정도를 보여준다. 수자원계획 참고자료가 될 수 있을 것이다. 본 연구와 수자원장기종합계획의 기초가 된 과제 「수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사(1996.4)」의 물수지 분석은 다음 표 2와 같은 측면에서 대별된다.

표 2

기존성과 비교

구분	본 과제	기 존 (수자원장기종합계획)
기본가정	<ul style="list-style-type: none"> - 물수지 계산시 자연유량에 수요량을 대비시킴 - 용수공급 우선순위 : 지역 간등 	<ul style="list-style-type: none"> - 물수지 계산시 자연유량에 순물소모량을 대비시킴 - 용수공급 우선순위: 상류/광역 우선
방법상	<ul style="list-style-type: none"> - 수요량의 회귀율 고려 <ul style="list-style-type: none"> · 생활용수 회귀율 65% · 농업용수 회귀율 35% - 용수공급 목적별로 불부족 산정, 동등한 우선순위 적용함 - 시간단위 : 월 단위 - 수리권 또는 시스템 변동에 대처가 빠름. 	<ul style="list-style-type: none"> - 순물소모량 고려 <ul style="list-style-type: none"> · 생활용수 물소모율 35% · 농업용수 물소모율 62% - 용수공급 목적별 합산한 순물소모량에 대한 부족량 산정 - 시간단위 : 5일 단위 - 수리권 또는 시스템 변동시에 프로그램 수정 분석에 시간 소요.
결과	<ul style="list-style-type: none"> - 소유역별 불부족 화면도시 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 소유역별 불부족 도표상 확인가능

4. 결론

기존 물수지 계산 방법과 달리 최적 네트워크 모형인 MODSIM을 이용해서 물수지 분석 체계를 구축하면 보다 사용자가 편리하게 운영할 수 있음은 물론 장래 다변하는 물수요 및 물 분장에 대처할 수 있는 체계를 구성할 수 있다. 이에 대한 결론을 요약하면 다음과 같다.

- ◆ 네트워크 GUI를 결합시킨 모형으로 우선 모형 구성이 편리하고 자료 입력 전처리 과정을 통하여 물수지 분석에 쉽게 접근할 수 있다. 따라서 장래 구축될 자료체계에 따라 적절하게 대응하는 전처리 과정이 보장된다면 분석에 편리함을 얻을 것이다.
- ◆ 구축 체계가 갖는 유연성 때문에 수자원 분체가 복합적인 경우에도 여러 가지 대안에 대하여 다각적으로 편리하게 접근할 수 있다.
- ◆ 물수지 계산에 물리적인 제약조건은 물론, 지역적인 수리권, 용수별 우선순위 등 의사결정 사항을 포함할 수 있다.
- ◆ 각 소유역별 물 부족현황을 GIS 체계를 통하여 속성정보화하여 필요한 정보를 제공토록 한다. 그리고 도표를 통하여 소유역 또는 중권역별로 총 수요량에 대한 하천수 공급 및 불부족 상황을 나타내 준다.

본 연구에서는 회귀율, 수리권, 용수 우선 순위, 수요 패턴 등에 대하여 가정치를 적용하여 시스템 체계를 검증하기 위한 물수지 분석으로 장래 본 시스템에 적절한 입력 자료체계가 구축되고 연계되어 분석된 경우, 보다 효율적이고 정확성과 유연성을 갖는 물수지 분석이 가능할 것이다.

참고문헌

건설교통부(1996). 수자원장기종합계획(1997~2011).

건설부/산업기지개발공사(1977). 낙동강유역하구조사기술보고서 1-5권, UNDP/FAO/NEDECO.

윤용남, 김태관(1993). "외부공급을 공간적으로 고려한 물수지 분석." 대한토목학회 논문집 제13권 제1호, pp.89-96.

이광만, 이재웅(1997). "물 수지분석을 위한 대규모 저수지 시스템 해석." 한국수자원학회 논문집, 제30권, 제6호, pp.629-639.

한국수자원개발공사(1971). 낙동강유역조사사업보고서(제XI:4권), 국제연합식량농업기구.

한국수자원공사(1990). 수자원장기종합계획('91-2011년).

Bertsekas, D. P. and Tseng, P.(1988). "Relaxation Methods for Minimum Cost Ordinary and Generalized Network Flow Problems." Operation Research, Vol.36, No.1, pp.93-114.

Bertsekas, D. P. and Tseng, P.(1994). RELAX-IV : A Faster Version of the RELAX Code for Solving Minimum Cost Flow Problem, Research Support by NSF under Grant CCR-9103804 and Grant CCR-9311621.

Fredericks, J. W. and Labadie, J. W. Decision Support System for Conjunctive Stream-Aquifer Management. Colorado Water Resource Research Institute(Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Graham, L.P., J.W. Labadie, Hutchison, I.P. and Ferguson, K.A.(1986). "Allocation of Augmented Water Supply under a Priority Water Rights System." Water Resources Research, Vol. 22, No. 7, pp.1083-1094.

Labadie, J. W.(1997). International School for Water Resources, MODSIM Training Course. for Personnel from Kowaco and Kict.

Labadie, J. W., Bode, D. and Pineda, A.(1986a). "Network Model for Decision-Support in Municipal Raw Water Supply." Water Resources Bulletin, Vol. 22, No. 6, pp.927-940.

Law, J. and Brown, M.(1989). "Development of a Large Network Model to Evaluate Yield of a Proposed Reservoir." in Computerized Decision Support Systems for Water Managers, ASCE, New York, 62J-631.