

다목적댐의 실시간 물수지 운영방안

박 명 기 (한국수자원공사 댐관리처)
 최 영 송 (한국수자원공사 총주권관리단장)
 안 경 수 (인천대학교 토목공학과 교수)

1. 서 론

수자원 문제에 있어서 당면한 중요한 사안은 용수 공급량 증가로 인한 하천수의 부족과 수량확보를 위한 댐건설 여건이 날로 여의치 못한 것에서 비롯된다. 일반적으로 연간 총 강우량의 2/3가 홍수기에 집중되고, 지역간 계절간의 수자원 편차가 심한 우리나라의 하천은 자연유량에 의해서만 하천수의 공급이 이루어지는 경우에 장기간의 갈수상태를 면하기 어렵고 이러한 경우에 댐 및 저수지 등 저류시설물의 개발은 필수적이며, 이러한 이유로 물이 어디에 얼마나 부족하가 등을 평가하여 계량화시키는 과정이 종래 수자원 개발에 있어서 물수지 분석이 가지는 역할이었다.

그러나 수량확보를 위한 댐 개발이 최근 환경인식의 제고와 함께 과거처럼 용이치 못하여 심지어 가까운 장래에 용수의 절대수량마저 부족하게 되는 사태에 직면해 있다. 따라서, 부족량 해결을 위한 수자원의 효율적 관리에 있어 필수적인 '구체적이고도 실제 적용가능한 기법'의 개발이 요구되고 있는 실정이다. 즉, 무효방류량을 최소화하고 한정된 물자원의 배분을 합리화 할 수 있는 유역물관리 시스템의 방법론적 완성을 위해서도 실시간 물수지분석 방법을 댐연계운영모형과 조합한 실시간 저수지 운영관리 기술을 확보하는 것은 물관리에 있어 하나의 주요한 진전이라고 사료된다.

따라서 본 고에서는 물수지 분석을 실시간으로 수행할 수 있는 프로그램을 개발하여 기존 최적화 댐군

연계운영모형에서의 시스템 방정식과 조합하여 종래 물수지 분석과 최적화 모형과의 접목을 시도코자한다.

저수지 계의 최적관리란 수계를 일관한 적정 장소에 필요한 시기별로 적절한 용수를 공급해주는 것을 말하며, 아울러 용수 및 수력 에너지를 최대로 공급할 수 있도록 저수지를 조작하는 것 등을 뜻한다. 저수지 조작문제는 근본적으로 유입량 또는 강수량 예측이 실제적으로 거의 불가능하고 물수요가 시간과 지역적으로 변동되며, 더구나 물수급 구조가 복잡해지고 저수지가 직렬 및 병렬 구조로 다원화되어 있는 시스템을 형성하고 있는 경우에 종래의 Ripple의 Mass curve 방법 또는 기타 해석적 방법만으로는 그 해답을 얻을 수 없는 다차원 벡터공간에서의 최적화 문제이다.

이에 따라 본 고에는 기존의 물수지 분석방법을 정리하고 이 방법을 MIP(혼합정수계획법)에 의하여 댐군 연계운영을 위한 최적화 모형으로 정식화하였으며, 이를 cplex s/w를 이용하여 해석하도록 기본모형을 제시하였다. MIP모형을 이용한 국내 댐군 연계운영을 위한 모형은 "기존댐 용수공급능력조사(낙동강·금강)" 연구에서의 입력자료를 상당부분 인용하였음을 밝혀둔다.

2. 실시간 물수지 분석모형의 개발방안

기존에 사용되어온 우리나라의 물수지 분석방법은

NEDECO방법을 중심으로 한 것이다. 그러나 이 방법은 당시 우리나라의 한정된 수문관측자료 를 이용할 수밖에 없었던 상황에서 다목적댐의 건설이나 운영이 본격화되기 이전에 개발되고 적용된 기법이므로, 현재의 기술개발이나 복잡화된 물관련 문제를 해결하는 데는 그 한계성을 가지고 있다.

따라서 물수지 분석모형의 개선필요성은 수자원의 개발과 보존에 있어 최근에 강조되고 있는 운영시 예상되는 문제점들에 대한 적용성 여부에서 찾아볼 수 있다. 즉, 관련 수자원 시설이 설계되고 계획될 시점부터 미래에 예상되는 운영시의 문제점을 최대한 반영해야 한다는 점이며, 이러한 관점에서 수자원 계획 및 조사에 전용하는 물수지 분석이 아닌 운영시에도 적용될 수 있는 물수지 분석의 모형이 요구되고 있다고 하겠다.

그러므로 우선 주로 실시간 물수지 분석의 도입 및 여기에 시스템 분석기법이 도입된 방법들을 중심으로 개선방안을 모색하고자 한다.

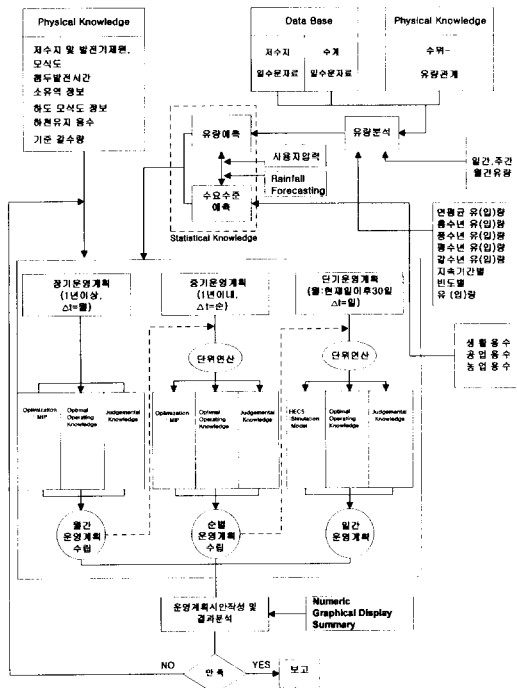


그림 1. 댐군 최적 관리를 위한 물관리모형

2.1 실시간 물수지 분석 모형의 필요성

실시간 물수지 분석 기법이란 운영모형으로서의 물수지 분석을 말하며, 이 분야에 대한 국내의 연구는 아직 정립되지 못한 실정에 있다. 1992년도에 시행한 “낙동강 수계 다목적댐 최적 연계운영을 위한 종합물 관리 시스템개발” 과 1995년도에 시행한 “낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템 개발(분석모형 부분)”에서는 물수지 분석 기법을 도입한 것이 아니고, 연속유출모형인 SSARR(Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation)모형을 이용해서 일별 수계 유출량의 모의모형을 저수지군의 방류량 결정모형과 연계시킨 시스템개발이었다. SSARR모형 등 외국의 연속유출모형들은 우리나라의 수계 특이인 농업용수에 대한 수용능력을 확장하여 사용해야하는 문제를 가지고 있다.

그러나 우리나라의 경우 수계의 용수이용 패턴 중 45~50%정도를 농업용수로 사용하고 있기 때문에 농업용수가 차지하는 물리적인 패턴 중 특히 논농사에 관련된 용수심을 각 시기별로 파악하고 이에 대한 용수 공급 상황을 고려할 수 있는 연속유출모형의 도입이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 이번에 제시하고자하는 모형은 이러한 연속유출모형에서 시도된 일별 유출량의 수계 모의능력을 수계 내 농업용 저수지 및 답에 대한 운영특성을 고려하여 확장된 물수지 매커니즘과 유출모형을 결합하는데 그 중요성이 있다고 하겠다.

그림 1은 댐군 최적관리를 위한 물관리 모형을 나타낸 것이며 다목적댐 관리모형을 설명한 것으로써 이러한 모형은 일단위 하류 유황의 모의 및 하류 유황 조건의 예측을 필요로 한다.

2.2 실시간 물수지 분석의 고려사항

수자원을 계획 및 조사하는 차원에서 물수지 분석을 할 때에는 수문조건으로 유역권의 대표적인 수문 조건 내지는 기준 수문조건들이 고려되어 진다. 그러나 운영모형에서의 수문조건은 대표적인 조건이 아닌 실제 수문조건이 고려되어야 하며, 실제 수계의 상황

을 반영하기 위해서는 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다.

첫째, 댐운영률과 연계된 하류의 실시간 물수지 분석 모형의 연계 방안 그리고 댐방류량과 함께 고려되어야 할 도달시간에 대한 고려 문제

둘째, 기존의 물수지에서 채택되어 왔던 순물소모량 개념이 아닌 취수량(공급량) 개념의 물수지 관계

셋째, 취수량 개념을 고려한 회귀수의 올바른 산정 기법과 이러한 과정을 고려한 실시간 자연유량 산정 방법에 대한 정립

넷째, 이러한 물수지 과정을 집중형 모형과 연계할 때 유출모형과 함께 고려되어야 할 논(답)에 대한 물

표 1. 동적계획법과 LP계열 최적화 모형간 장단점 비교

구분	MIP (Mixed Integer Programming) 모형
장점	<ul style="list-style-type: none"> ○ LP의 비선형 제약을 Piecewise Linear Approximation 기법을 통해 근사화 ○ 해석할 시스템 차원수가 많은 경우 유리 ○ 입력자료 처리를 통해 시스템 해석이 완료 가능 ○ 분석시간이 수초 이내, 빠르다
단점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 장기간 목적함수, 제약조건에 적용하는 경우 용량에 제약을 받음 (최근 H/W 발달로 많은 해결) ○ 선행 함수에 대한 제약이 완전히 해결되지는 않았음. (Successive Linear Programming, SLP 병행 필요) ○ 입력파일 작성에 많은 경험의 요구 (사용자의 시스템 정식화능력이 중요한 역할)

공급 및 소모과정에 대한 모의 방법

다섯째, 하천수의 취수 및 물사용에 따른 회귀수의 양적 시간적 배분 방법

여섯째, 농업용수의 물리적인 물사용 패턴에 대한 모형의 고려 능력

이러한 고려사항들은 실제 운영에 적용하기 위해서는 많은 매개변수 및 기초자료의 정리가 선행되어야 하는 등 운영에 앞서 많은 노력이 필요하다.

그림 2는 낙동강 수계의 기존 물수지모형 모식도에 도달시간을 고려한 하도를 삽입한 형태이며, 이러한 하도의 모형에 입·출력구조에 대한 일반성을 기하기 위해 필요한 경우의 가상하도를 추가한 경우이다. 이렇게 구성한 그림 2와 같은 모식도는 시스템 분석기법을 도입함으로써 "물평형(water balance)"에 대한 해석을 수행할 수 있다.

2.3 물관리 모형의 구성

실시간 물수지 분석에 의한 물관리 모형의 구성은 크게 2가지로 구성된다. 첫째는 일유출모형을 통한 자연유량 산정모형이고 둘째는 최적화 모형에 의한 최적의 댐군 방류량을 결정하는 모형이다.

2.3.1 개발 모형의 선정

최근에는 컴퓨터 기술의 발달로 기존의 LP, MIP 기법이 가지는 컴퓨터 용량의 문제가 상당부분 해결되어, 대규모 시스템(낙동강수계, 4차원)의 경우 MIP기법이 DP보다 효율적이라는 판단에서 기본 구

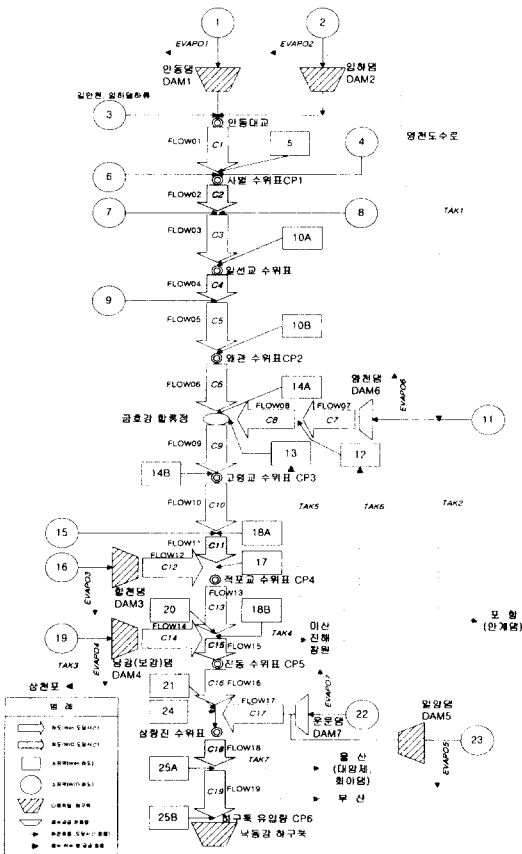


그림 2. 낙동강수계의 실시간 물관리 모식도

조를 MIP모형으로 선정하였으며 또한, 발전함수의 비선형성을 고려하여 SLP(Successive Linear Programming)기법을 병행 적용토록 하였다.

2.3.2 댐군 최적 연계운영 모형의 개발 방향

여기서의 최적 물관리 모형은 용수공급과 수력발전 에 대한 최적화를 추구하는 형태를 제시하는데 목적을 두었으며, 이 때의 고려사항은 다음과 같다.

가. 목적함수의 적용방법

본 모형의 목적함수에서 고려되어야 할 사항들은 용수공급 부족량의 최소화, 하류 하천수 보장유량의 최대화, 발전량의 최대화, 보장 발전량의 최대화 등이 있다.

이 모형에서는 기존의 연구방법들과는 달리 단순 최적화 모형 방안을 지양하고, 앞서 언급한 다양한 목적함수 조건들에 대하여 적절한 벌점(penalty) 또는 가중치(weight)를 부여하여 상충되는 목적들간에 서로 타협을 이룰 수 있는 목적함수를 제시하고, 분석하고자 하는 상황에 맞는 적절한 목적들에 따른 가중치 선정을 통하여 효과적인 운영방안을 도출해 내하고자 한다.

일반적으로 수자원분야에서 적용되는 목적함수의 구성은 홍수관리 부분에서는 극대치의 유입량 및 방류량 자료를 최소화할 수 있는 패턴을 요구하게 되는데 이때, 주로 MIN-MAX의 방법을 사용하나, 용수공급측면에서는 주어진 목적값들 중 보장유량 또는 보장 공급량치인 최소 값을 최대화 할수 있는 MAX-MIN의 형태를 취하게 된다. 본 모형에서도 목적함수의 구성시는 MAX-MIN의 형태를 취하였으며, 보장유량의 최대화를 유도하기 위해서 하류 주요지점의 보장유량 및 보장 발전량의 고려에 MAX-MIN 방법을 적용하였다.

나. 제약조건 적용방법

제약조건이란 목적함수와 함께 최적화 하고자 하는 모형의 구성을 대상 시스템에 부합되게 특성화 시켜주는 내용을 말하며, 그 구성은 각 시기별 시스템의

상황을 연결시켜주는 연속방정식인 등호제약조건식을 비롯한, 각 용량제약, 하류 보장유량의 제약 등에 연결된 부등호 제약조건식으로 구성되어진다.

본 모형에서 고려되어지는 사항은 다음과 같다.

(1) 각 댐에서 하천유지용수량은 반드시 방류되어야 한다.

(2) 기존댐을 이용하여 용수를 공급하고자 할 때 각 댐에 대한 용수수요량이 용수 공급량을 초과하여 용수부족 현상이 발생할 경우 중요 제어지역에는 높은 벌점(penalty)을 부여하여 그 지역의 수요량을 우선적으로 충족시키도록 한다.

(3) 홍수기에는 각 댐에서 가급적 주어진 제한수위를 유지하도록 한다.

(4) 주요 하류지점에 미치는 영향을 고려한다.

(5) 각 댐의 용수수요에 대한 용수부족량을 고려하여 댐별 용수부족현상을 파악할 수 있어야 한다

3. 이수목적 물관리 모형의 개선방안

시뮬레이션을 포함한 어떤 수학적인 모형도 실제상황을 완전하게 표현할 수 있는 모형은 없다고 보아도 무방할 것이며, 어떤 컴퓨터 모형이건 분석의 틀로 사용하기에는 부족한 점이 항상 존재한다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 수 많은 입력력 자료를 처리하여 의미있는 결론을 도출하기 위해서는 어떤 형태로든지 최선의 모형을 활용하여야 한다. 즉, 그 같은 단점을 최대한 극복하고 실제 상황 및 장래의 계획수립을 위한 분석의 틀을 제시한다는 것은 사용하고자 하는 최적화 모형의 한계에 대한 철저한 이해 아래 실제 분석 대상에 대한 경험과 통찰력에서 비롯된 모형을 구성하는 각 요소 입력자료의 적절한 선택에 의하여 극복되어야 한다.

3.1 수계 단위 이수 연계운영 분석을 위한 시스템 정의

앞서 그림 2에서 언급된 실시간 물관리모형에 대한 내용전개를 위해 고려되어진 낙동강 수계 수자원 시스템에 대한 모식도는 그림 3과 같으며, 전체 소유역

표 2. 낙동강 수계 제어지점 선정

제어 지점	안동대교	사벌	왜 관	고령교	황강합류부	적포교
선정 이유	안동·임하 합류	본류제어점	본류제어점	본류제어점	합천댐 합류	본류제어점
제어 지점	남강합류부	마산취수전	진 동	창원취수후	밀양강 합류전	삼랑진
선정 이유	남강댐 합류	가상 NODE	본류제어점	가상 NODE	본류제어점	본류제어점
제어 지점	원동 취수후	낙동강하구둑		비 고		
선정 이유	가상 NODE	본류제어점				

을 25개, 물관리의 효율성 제고를 위한 제어지점 14 개소를 정리하였다. 제어지점의 선정(선정 현황은 표 2 참조)은 낙동강 유역조사결과에 따라 기준이 마련 된 안동댐 운영유지 지침서에서 지정한 5개 수위표 지 점과 안동댐, 임하댐의 합류지점인 안동대교와 합천 댐 직하류인 적포교, 남강댐 직하류인 진동수위표를

고려하여 구성하였다.

그림 3은 현재 하도추적 부분에 대한 고려가 안된 상태의 낙동강수계의 시스템 구성도이다. 수계 물관 리의 회귀수에 대한 시공간적 배분 및 물 사용에 대한 자료가 정비된 상태에서는 Convolution방법에 의한 Muskingum Routing의 형태로 댐 방류수의 도달시 간에 고려되어질 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 댐군 연계운영 모형의 정식화

3.2.1 목적함수(object function)

앞서 언급된 그림 3을 기준으로 한 목적함수의 설 정은 각 소유역 구간별 생공·농업 용수공급 부족량 의 최소화, 댐 방류량 및 주요 제어지점의 하천수 보 장유량의 최대화, 발전량의 최대화, 보장 발전량의 최 대화 등으로, 여기서는 이러한 다양한 목적함수 조건 들에 대하여 적절한 벌점(penalty) 또는 가중치 (weight)를 부여하여 상충되는 목적들간에 서로 타협 을 이룰 수 있도록 아래와 같이 구성하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max} \quad & \sum_{i=1}^{Npoint} WCoef_i Q_{min_i} + \sum_{i=1}^{NDAM} ECoef_i \sum_{i=1}^{Ntime} ENG_{ij} \\
 & + \sum_{i=1}^{NDAM} RCoef_i R_{min_i} \\
 & + \sum_{i=1}^{Npoint} MCoef_i \sum_{i=1}^{Ntime} Sht1_{ij} \\
 & + \sum_{i=1}^{Npoint} ACoef_i \sum_{i=1}^{Ntime} Sht1_{ij}
 \end{aligned}$$

여기서,

Npoint : 댐하류에서의 주요 Control point의 개수

NDAM : 수계내 검토대상 댐의 개수

Ntime : 모형에서 계산될 계산기간의 수

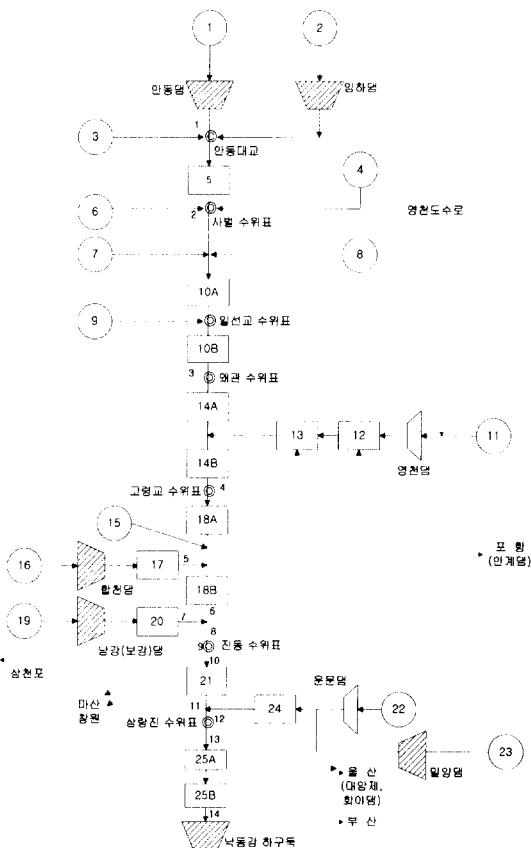


그림 3. 낙동강수계의 시스템 구성도

- WCoef_i : i번 Control point에 대한 최소 유량
가중치
- ECoef_i : i번째 댐에 대한 에너지 가중치
- RCoef_i : i번째 댐에 대한 최소방류량의 가중치
- MCoef_j : i번째 구간에 대한 생공용수 물부족량
penalty
- ACoef_j : i번째 구간에 대한 관개용수 물부족량
penalty
- Q_{min i} : i번 Control point에서의 minimum flow
- ENG_{i,j} : i번 댐에서의 j기간 동안 발생된 전력
에너지
- R_{min i} : i번 댐에서의 minimum flow
- Sht1_{i,j} : i번 구간에서의 j기간 생공용수 물부족량
- Sht2_{i,j} : i번 구간에서의 j기간 관개용수 물부족량

3.2.2 제약조건 (constraints)

본 모형에서 고려될 제약조건은 다음과 같이 크게 4가지로 구분되어 진다. 그 제약조건은 저수지의 제원 등 저수지 조작관련 제약조건, 하류 제어지점에서의 연속방정식을 설명하는 제약조건, 그리고 제어구간에서의 용수목적별 우선 순위를 고려하기 위한 MIP모형으로의 정식화 관련 제약조건과, 마지막으로 발전량 선형화를 위한 댐별 사용수량의 상한치 및 SLP모형으로 발전량을 산정하기 위한 발전식에 대한 제약조건 등 4가지이다.

(1) 저수지 조작 관련 제약조건

저수지의 이수목적 운영에 적용되는 제약조건은 크게 용량제약과 최소 방류량 제약 그리고 저수지의 유입량-방류량-저수량간의 물리적 보존관계를 나타내는 등호제약으로 구성된다.

본 정식화 단계에서는 고려된 보장유량의 개념에서 정식화의 일반성을 기하기 위하여 최소 방류량 제약을 Hard bound와 Soft bound로 구분하여 수립하였다. 여기서 Hard bound란 제약조건에서 일정한 기준치인 값을 입력시키는 형태를 의미하며, 댐에서 현재 비용배분되어 있는, 또는 운영부서에서 유지용수라는

형태로 운영중인 방류량 부분을 의미한다. 또한 Soft bound란 목적함수에서 일정한 증분에 대한 기대식을 설정해두고 이 계산식을 최대화시키는 과정에서 제약조건에 최대화시키고자 하는 값을 적용하여 원하는 값까지 하한치 또는 상한치를 올리거나 내려주는 효과를 위하여 적용하는 값을 말한다. 일반적으로 이렇게 Soft bound를 설정하여 목적함수 및 제약조건식을 구성하면, 그 결과 댐별 최소 방류량이 최대화되어지는 효과를 얻을 수 있게 된다.

$$Sto_{i,j} \leq Smax_{i,j} \text{ (상위만수위, 홍수기 하계 제한 수위 고려)}$$

$$Sto_{i,j} \geq Smax_{i,j} \text{ (저수위 : LWL)}$$

$$Rel_{i,j} \geq Rel_{min_{i,j}} \text{ (최소 방류량 제약 : Hard bound)}$$

$$Rel_{i,j} \geq Rmin_{i,j} \text{ (최소 방류량 제약 : Max-Min고려)}$$

$$Sto_{i,j+1} = Sto_{i,j} + I_{i,j} - Rel_{i,j} - EVP_{i,j}$$

여기서,

$$Sto_{i,j} : i\text{번 } j\text{기간 초 저수량}$$

$$I_{i,j} : i\text{번 } j\text{기간 중 유입량}$$

$$Rel_{i,j} : i\text{번 } j\text{기간 중 방류량}$$

$$EVP_{i,j} : i\text{번 } j\text{기간 중 증발손실(본 과업에서는 고려하지 않음)}$$

$$Rel_{min_{i,j}} : i\text{번 } j\text{기간 중 최소방류량}$$

(2) 제어점 (control point)에서의 연속 방정식

하류의 제어지점에 대하여 연속방정식을 적용하기 위하여 본 모형에서 적용된 식은 다음과 같으며, 그 적용에 있어 본류 구간별로 용수수요량을 생공용수와 농업용수로 수요를 구분하였고, 여기에 용수수요목적별로 회귀율이 별도로 고려되었다.

$$Q_{i,j} = \sum_{i=1}^{N_R} Q_{ii,j} + \sum_{K=1}^{N_B} Tri_{Kj} + \sum_{L=1}^{N_R} Rel_{Lj} - \sum_{M=1}^{N_B} (DATK_{MI_{Mj}} + DATK_{AG_{Mj}}) + \sum_{M=1}^{N_B} (DATK_{MI_{Mj}} \times Coef_{MI} + DATK_{AG_{Mj}} \times Coef_{AG})$$

여기서,

$$Q_{ii,j} : i\text{지점 } j\text{기간 중의 유하량(대상구간의}$$

말단에서 산정)

- DATK_{MI, L, J}: i구간에서의 j기간 생공용수 취수량
- DATK_{AG, L, J}: i구간에서의 j기간 관개용수 취수량
- N_{Qi}: i지점 상류에 있는 제어지점 수
- N_{Ti}: i지점 상류에서 유입되는 구간 지류의 수(지류 유입수 고려)
- N_{Ri}: i지점 상류에 댐의 수(방류량 영향 고려)
- N_{Di, j}: i지점 상류에서 취수되는 물수요자료의 수(생공용수(MI) 및 관개용수(AG) 수요 자료)
- Tri_{K, i}: K번 지류로부터의 j기간 유하량

또한 제어점(control point)에서의 물수지 고려시 하류 구간별 물수지는 각 구간의 말단지점(제어점)에서 발생하게 되고, 본류 유역에서의 물수지 및 광역권 물공급의 물수지는 별도로 산정하였다. 하류 구간별 물수지의 계산은 회귀수 유입이전에서 물수요가 발생하게 되고, 물부족은 이때 산정(회귀수 유입분은 제외)되도록 하여 구성하였으며, 각 제어지점에 대한 최소 유량의 경우도 앞서 언급한 댐 최소 방류량에 대하여 고려한 MAX-MIN 최적화 방안을 고려할 수 있도록 하였다.

표 3. 구간별 하도망의 구성(예)

구간번호	소유역 수	해당 소유역 번호					비고
1	2	21	22	0	0	0	
2	1	1	0	0	0	0	
3	1	2	0	0	0	0	
4	1	3	0	0	0	0	
5	1	23	0	0	0	0	
6	2	4	5	0	0	0	
7	1	24	0	0	0	0	
8	2	6	7	0	0	0	
9	1	8	0	0	0	0	
10	1	9	0	0	0	0	
11	1	10	0	0	0	0	
12	1	11	0	0	0	0	
13	1	12	0	0	0	0	
14	1	13	0	0	0	0	

* 단, 21, 22, 23, 24는 각기 안동, 임하, 합천, 남강댐의 본류 측 방류량 node

(3) 제어점에서의 용수목적별 우선순위 고려를 위한 MIP모형의 정식화

하류 본류구간 별 물수지는 용수목적별 우선 순위가 고려되어야 하며, 유역 물관리에 있어 물 부족이 발생할 경우 생공용수 공급이 우선적으로 고려되고, 이후에 관개용수가 고려되어야 한다. 이러한 경우는 이번에 개발된 모형을 이용한 용수공급 검토시 발생하지는 않았으나, 실제 운영모형의 경우에 발생할 수 있는 극한 가뭄의 시나리오를 분석하는 경우에 대비하여 목적별 용수공급 우선 순위의 고려가 필요하다. 그리고, 하류의 물수지를 분석하는 과정에서 댐의 방류수가 하류부에 도달하는 과정에서의 하천 손실의 문제에 대한 해석이 필수적인 문제이나, 월 또는 순간위의 운영을 고려하는 모형에서는 적절한 검정자료의 확보가 어려운 실정이기 때문에 이를 고려하지 못 하였다.

극한 가뭄에 대한 물수요의 우선 순위를 부여하기 위하여 본 모형에서는 MIP모형을 사용한 2가지 단계의 용수공급상황을 모형화 하였다. 본 모형에서는 용수공급 상황 중 공급수량이 적어져 생공용수만 공급하는 경우와 생공용수 수요량 이상의 공급수량이 있어 생공용수와 농업용수가 함께 공급되는 경우의 2가지의 경우를 설정하여 모형화할 수 있다.

(4) 발전량 산정 관련자료 및 발전함수의 정식화

대부분의 수자원 문제는 본래 구조면에서 비선형이기 때문에 LP기법을 직접 적용할 수 없다. 이러한 형태의 문제에 표준 LP를 적용하기 위해서는 적당한 선형화 기법이 필요하며, 비선형 문제를 선형화시키는 기법에는 두 가지 방법이 있다. 첫째는 본래 비선형 함수를 추가 변수개념을 도입하여 일련의 선형함수로 바꾸는 Piecewise Linearization으로 알려진 방법이고, 둘째는 본래의 목적함수나 제약조건을 선형화시킨 일련의 근사문제를 풀기 위해 LP를 반복적으로 적용하는 방법이다.

일반적으로 SLP기법이라고 알려진 두 번째 방법이 반복회수의 증가에 따라 비선형성을 의도하는 정도까지 반영할 수 있고 접근이 용이하기 때문에 보편적으로

로 이용되고 있다. 이런 기법은 Sequential Linear Programming이라고도 하는데, 이 SLP는 비선형 목적함수를 초기해에 대하여 Taylor 급수전개에 의해 얻은 1차항을 이용하여 비선형항을 근사 선형화시킴으로써 일련의 선형문제를 가지고 비선형 최적화 문제를 축차적으로 반복하여 해석하는 방법이다. Taylor 급수 전개는 초기해에 대하여 전개하고 축차적 반복은 해의 결과가 지정된 수렴범위 내에 들 때까지 반복하게 된다.

3.3 하류 모식도 파일의 구성

일반적인 사용자가 LP, MIP 모형에 대해 적절한 수준까지 항시 이해하고 있다고는 볼수 없다. 더우기 본 개발 모형은 LP 및 MIP모형으로 구성되어 있어 입력자료의 구성을 파악하기는 쉬우나, 식의 구성에 약간의 착오가 있더라도 "infeasible or unboundness"의 Error 메시지가 출력되고, 제약조건의 수가 많기 때문에 이에 대한 정식화 내용의 오류 수정(debugging) 또한 쉽지 않게 된다. 강우-유출모형에 익숙한 사람이라면 다 알듯이 유역이나 수계의 상황은 유역과 하도로 구성된다. 본 개발모형에서도 추가되는 취수점이나 계측 또는 점검되어야할 유량제어 지점 등을 고려하기 위하여는 가상의 하도구분 등을 필요로 하게 된다.

4. 결론 및 향후 연구과제

수자원 개발에 있어서의 당면한 중요한 문제점은 용수수요 증가에 따른 하천수 고갈과 수질악화, 그리고 환경의식 제고와 연관된 개발기회 현상에 따른 물의 양적 확보 면에서의 어려움으로부터 야기된다. 이러한 경우에 댐 및 저수지 등의 수공구조물을 통한 수자원의 효율적 관리기술은 반드시 확보되어야 하며, 필자 등은 물수지 분석과 최적화 댐군 연계운영모형을 조합하여 종래 물수지분석 기법과 최적화 모형의 접목을 시도함으로써 평수 및 갈수시 물 관리의 효율화와 실시간 운영관리 기법을 확보코자 한다.

이를 위해 기존의 물수지분석 방법을 정리하고 이 방법을 MIP(혼합정수계획법)에 의하여 댐군 연계운영을 위한 최적화 모형으로 정식화하였으며 이를 cplx s/w를 이용하여 해석하도록 모형을 구성하였다.

개발모형에 대한 적용성 검토를 위하여 우리나라의 대표적인 갈수기간인 '67~'68년, 갈수를 포함한 '66~'70년 기간에 적용해본 결과 각 댐별 유입량의 갈수 조건을 상당부분 개선시켜 하류보장수량을 증대시키는 효과를 볼 수 있었으며, 용수공급부분과 병행하여 댐의 방류량 결정시 발전부분에 대한 고려도 함께 하도록 모형을 구성하였다.

모형의 입력매개변수인 목적함수의 제반 계수 결정을 위한 이행도 분석을 총 30년간('66~'95년)의 월별단위 운영을 통하여 4개댐 연계운영 조건을 선택하여 수행하였다. 목적함수 계수는 여러 가지 변동을 주어 가며 검토하여 최종적으로 용수부분과 발전부분에 대한 가중치가 동일해 지는 경우를 기준으로 목적함수 계수치를 설정하였다.

향후 미 계측 유역의 유출량 보정 및 하류유량에 대한 모의를 위한 일단위 유출모형을 개선하여 기존 저류함수법을 기초로 한 단기유출모형을 보완하게 되면 장기간 자연유량 산정과 농업용수 및 생공용수 순물소모량 산정 Module들을 포함한 유역 물수지 분석 프로그램과 MIP 모형을 이용한 댐군 연계운영 프로그램과 연계시킨 통합모형을 개발하게 된다.

개발된 통합모형은 국내 대상유역에 적용하여 시스템의 가용성 및 이행도를 평가한 후 실제 물관리에 적용하게된다.

Deficit-Supply 개념을 수학적 모형으로 구현하여 실수요량을 감안한 유역 수자원 시설물(댐저수지군) 운영을 통하여 무효방류량의 감소가 가능하며 수량관리를 위한 한정된 물자원 배분의 합리성을 높일 수 있다. 그 동안 수자원 계획단계에 주로 적용되어온 물수지분석 기법을 유역물관리 측면에서 댐군 연계운영모형과 기술적 접목을 도모하여 수자원의 이용을 극대화 할 수 있는 광역 물관리 방법론을 제시, 유역 물관리 시스템의 방법론적(s/w적) 완성을 추구하고자 한다. ●

참고 문헌

1. UNDP/FAO, "Land and Water Resources Planning in the Nakdong River Basin", 1971.
2. NEDECO, "Nakdong River Basin Delta Study", 1976.
3. JICA, "Pre-feasibility Report on the Long-term Multi-purpose Dam Scheme", 1979.
4. 한국수자원공사, "낙동강 유역조사 보고서", 1990.
5. 한국수자원공사, "수자원 개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사", 1996.
6. 한국수자원공사, "수자원 장기개발계획", 1996.
7. 한국수자원공사, "하천유지유량결정 방법의 개발 및 적용", 1996.
8. 한국건설기술연구원, "수자원계획의 최적화 연구(용수수요측정 시스템 개발)", 1997.
9. 한국수자원공사, "낙동강 수계 실시간 최적 저수관리 시스템", 1996.
10. 이광만, 이재웅, "물수지 분석을 위한 대규모 저수지 시스템 해석", 한국수자원학회 논문집 30권 6호, pp.629~639, 1997.
11. 황만하, "금강하구호의 물수지에 관한 연구", 한국수자원학회 논문집 30권 3호, pp.293~301, 1997.
12. 연규방, 심순보, "Network 모형에 의한 수자원의 최적배분", 한국수문학회지 27권 1호, pp.111~121, 1994.
13. 김승권, "저수지 운영 방안의 방법론적 개괄", 한국수문학회지, 제21권 제1호, 16-24, 1988.
14. Grygier, J. C. and J. R. Stedinger, "Algorithms for Optimizing Hydropower System Operation of Continuous Processing Systems", Management Science, Vol. 7, pp. 1-10, 1985.
15. Labadie, J. H., "Dynamic Programming with the Microcomputer : Program CSUDP", Civil Engineering department, Colorado State University, Fort Collins, Co., 1990.
16. Ripple, W., "Capacity of storage reservoirs for water supply", Proceed. of the Institute of Civil Engineers(Brit), Vol. 71, 1883.
17. Yeh, W, W-G, "Reservoir Management and Operations Models : A State of the Art Review", Water Resources Research, Vol, 21, No. 12, pp. 1797-1818, 1985.