제한급수 계획을 위한 수리계획 모형의 기본 설계

An Exploratory Development of a Mathematical Programming Model for Planning of Restricted Water Supply

김재희* · 전환돈**

Kim, Jaehee · Jun, Hwandon

Abstract

In order to reduce the damages of water shortages, it is important to allocate water resources efficiently. Therefore, we present a prototype of the mathematical model for optimal allocation of water resources among blocks in a water supply network for situations where restricted water supply planning is inevitable. The model is a goal programming model that does not minimize the total amount of water shortages but the total weighted penalties considering the importance of water demands partitioned into smaller blocks according to their importances. With the model, we can meet the demands with higher priorities and mitigate the severity of water shortages by minimizing the maximum of water shortages of each block.

Key words : Controlled Water Allocation, Goal Programming, Optimization, Water Supply Network

요 지

용수 부족과 같은 재난 상황 시 상수도 관망의 블록별 용수공급량을 배분하는 것은 매우 중요한 과제다. 이에 본 연구에서는 용수 부족 상황 시 상수관망의 블록별 공급량을 배분할 수 있는 수학적 모형을 제시하였다. 이 모형에서는 용수 공급량을 단순히 최대화하거나 부족량을 최소화하는 대신, 각 블록의 목표치에 따른 총 벌점을 최소화하는 목표 계획 모형은 근간으로 하였다. 즉, 블록 내 용수 수요를 그 중요도에 따라 세분화하고 용수 공급이나 부족이 편중되지 않도록 설계하였다. 제시된 모형을 적용한 결과 세분화한 수요의 중요도를 반영하여 물 부족 상황 시 우선순위가 높은 용수를 우선적으로 충족하고, 특정 블록에 물 부족이 편중되는 결과를 막을 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 제한급수, 목표계획법, 최적화, 상수관망

1. 서 론

상수관망은 인간의 삶을 영위할 수 있게 해주는 사회기반 시설이다. 상수관망의 주된 목적은 깨끗하고 안전한 물을 필요로 하는 곳에 안정적으로 공급하는 것이다. 따라서 이와 같은 상수관망의 본래 목적을 달성하기 위해서는 각 단계마다 적절한 조건이 만족되어야 한다. 이중 취수를 위한 하천 수나 댐 등의 저류수가 충분한 수량을 확보해야만 하는데 최근의 기후변화, 오염에 따른 수질저하와 같은 사건에 의해서 충분한 수량을 확보하는 것이 어렵다. 특히 기후변화와 이에 따른 이상기후의 잦은 발생은 안정적인 수량 확보를 어렵게 하고 있다. 이와 같은 기후변화에 따른 가뭄의 발생은 도시 지역의 용수공급을 어렵게 했고 제한급수를 실시하게 되었다. Kim and Buen (2003)에 의하면 1994년에서 1996년 3년

동안 총 52개 시군에서 134만 명이 제한급수를 경험하였다. 2000년 이후에 발생한 가뭄 또는 물 부족에 의한 제한급수는 2001년도 86개 시군에서 30만 명이 영향을 받았으며 2008년과 2009년 사이에 77개 시군에서 약 28만 명이 피해를 겪었다. 이중 2009년의 태백지역의 극심한 가뭄에 의한 취수량 부족으로 인한 장기 제한급수는 해당 지역 주민 뿐 아니라 국가적으로 상수관망의 용수공급 부족에 의한 피해를 널리 알리는 계기가 되었다. 또한, 가뭄이 아니어도 상수관망의 제한급수나 단수피해는 여러 가지 원인으로 발생할 수 있다. 2011년의 구미시의 단수사태는 취수장의 임시제방의 유실로 발생하였으며 이전 1991년의 낙동강 폐놀오염에 의한 단수사태도 경험하였다.

이와 같이 다양한 원인으로 발생할 수 있는 상수관망의 단수나 제한급수에 의한 피해는 자연적인 요인과 인적 요인에

*정회원. 전북대학교 경영학부 부교수(E-mail: jheekim@jbnu.ac.kr)

Member. Researcher, Chonbuk National University, Division of Business Administration

**교신저자. 정회원. 서울과학기술대학교 건설시스템디자인공학과 조교수(Tel: +82-2-970-6570, Fax: +82-2-948-0043, E-mail: hwjun@seoultech.ac.kr)

Corresponding Author: Member. Seoul National University of Science and Technology

Fig. 1. Integrated Modelling Framework for Water Resources Planning and Management (George *et al.*, 2011)

의해서 피할 수 없는 재해이다. 따라서 이와 같은 재해가 발생할 경우 피해를 최소화할 수 있는 방안이 연구되어야 할 것이다.

제한된 용수공급량을 바탕으로 피해를 최소화할 수 있는 방법은 공급 가능한 용수를 가장 필요한 지역에 우선적으로 선택적으로 공급하는 것이다. 이에 관련한 선행 연구는 주로 농업용수 분야에서 이루어져 왔다. 최근의 대표적인 연구로는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 물공급과 수요를 함께 고려하여 물 분배를 실시하여 수문-경제(Hydro-Economic) 효과를 최대화하는 시나리오 기반의 모델이 있다. 그리고 Manchikanti (2009)는 물 분배와 공급시점을 최적화하는 방법을 공간 및 시점으로 분석한 연구를 실시하였다. 그 밖에도 선형계획, 동적계획, 비선형계획, 또는 발견적 기법 등이 활용되고 있다 (Lansley, 2008).

국내의 경우 광역상수도를 담당하고 있는 수자원공사에서 몇 개의 단위 광역상수도를 1개 용수체제로 통합하여 운영하는 방안을 제시하여 용수공급의 신뢰성을 제고할 수 있도록 하였다(Kim and Buen, 2003). 또한, 비상급수 시설(도시인구 1인 1일 25리터 공급가능 시설로 정의)의 수질을 관리할 수 있는 방안을 제시하였다(Kim *et al.*, 2004). 그리고 제한급수의 실시를 위한 수량적인 측면뿐 아니라 배수관망을 통한 공급개시 또는 강제 제한급수에 따른 수리학적 영향을 평가한 방안을 제시한 연구사례도 제시되었다(Yang, 2013).

그러나 이와 같은 선행연구는 주로 농업용수의 공급이나 광역상수도과 같이 일정 규모 이상의 지역에 물 공급을 위한 방안이며 상수관망의 개별 블록에 제한급수를 실시하기 위한 방법으로는 적합하지 않다. 즉, 블록 내에 존재하는 다양한 수요(생활용수, 상업용수, 비상용수 등)에 따른 용수공급을 고려하기 어렵고 비슷한 중요도 및 수요량을 가지는 소 블록의 특성을 반영하기 어려운 문제점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 용수가 부족한 상황에서 상수관망의 블록별 공급량을 배분할 수 있는 수학 모델을 제시하였다. 이 모형에서는 용수 공급량을 단순히 최대화하거나 부족량을

최소화하는 대신, 각 블록의 목표미달에 따른 총 벌점을 최소화하는 목표 계획 모형을 근간으로 하였다. 즉, 블록 내 용수 수요를 그 중요도에 따라 세분화하고 용수 공급이나 부족이 편중되지 않도록 설계하였다. 제시된 모형을 적용한 결과 세분화한 수요의 중요도를 반영하여 물 부족 상황 시 우선순위가 높은 용수를 우선적으로 충족하고, 특정 블록에 물 부족이 편중되는 결과를 막을 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구의 이후 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 연구 방법인 목표계획 모형의 개념을 설명한다. 3장에서는 제한 급수 상황 하에서 블록별 용수공급량을 배분할 수 있는 수학 모형의 기본 형태를 제시하고, 간단한 예제를 통해 모형에 대한 타당성 검토를 수행한 결과를 소개한다. 그리고 마지막 4장에서는 결론 및 추후 연구 과제를 제시한다.

2. 연구방법

상수관망의 용수공급량 결정을 위한 문제와 같이 대다수의 현실 의사결정 문제들은 반드시 준수해야 하는 제약뿐 아니라, 가급적 준수하는 것이 바람직한 목표를 포함하는 경우가 많다. 이러한 상황에 적합한 기법으로 목표계획(Goal Programming)모형을 들 수 있다. 목표계획 모형은 선형계획(Linear Programming)을 기반으로 하지만, 훨씬 유연한 방법으로 보다 복잡한 상황까지 고려할 수 있다는 장점이 있다. 즉, 선형계획법은 달성하고자 하는 목표치 없이 목적함수에 부여된 가중치를 고려하여 목적함수를 최대화 최소화하는 반면, 목표 계획법은 목표 달성 여부를 최우선으로 고려할 수 있다 (Taha, 2011).

다음의 모형 (1)은 목표계획 모형의 일반적 형태를 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_j c_j x_j + \sum_i (p_i y_i^+ + q_i y_i^-) \\ & \text{s.t.} \sum_j a_{ij} x_j - (y_i^+ - y_i^-) = b_i \forall i \\ & x_j \geq 0, y_i^+ \geq 0, y_i^- \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

이 모형은 $\sum_j a_{ij} x_j$ 로 계산되는 값의 목표치가 b_i 인 경우를 가정한 것으로, 그 목표치와의 차이를 y_i 라 한다면 $y_i = A_i X - b_i$ 로 표현할 수 있을 것이다. 그러면 y_i 는 부호를 자유롭게 취할 수 있으므로 $y_i = y_i^+ - y_i^-$, $y_i^+ \geq 0$, $y_i^- \geq 0$ 와 같이 변환할 수 있고, 이때 y_i^+ 는 목표 초과량, y_i^- 는 목표 미달량을 뜻하게 된다. 가령, 상수도 공급 문제에서 목표 공급량이 130 m^3 이고 실제 공급량이 120 m^3 라면 $y^+ = 0$, $y^- = 10$ 이 된다. 이러한 편차 변수가 포함된 목표 제약조건은 목표계획 모형을 구현하는 핵심이라 할 수 있다. 예를 들어 어느 블록으로의 공급량을(X_1)를 최소 5 m^3 이상으로 하는 경우, 선형계획법의 관점에서는 $x_1 \geq 5$ 이라는 절대적인 제약식으로 표현하지만 목표 계획 모형에서는 $x_1 - (y_1^- - y_1^+) = 5$ 이라는 목표 제약으로 모형화한다.

목적함수는 각 목표에 해당하는 편차변수들의 합을 최소화하도록 구성한다. 이때 목표의 성격상 설정된 값보다 크거나

같이야 바람직한 경우는 미달을 나타내는 편차 변수(y^-)를 최소화하며, 설정된 목표 값보다 작거나 같이야 바람직한 경우는 초과를 나타내는 편차 변수(y^+)를 최소화하도록 한다. 목적함수의 최적화를 위해서는 편차 변수에 적절한 계수치를 부여해야 하는데, 목표들 간에 우선순위가 있는 경우 선취적 우선순위가 반영되도록 순차적으로 풀거나, 우선순위가 높은 목적에 월등히 높은 가중치를 부여하는 방식으로 문제를 해결할 수도 있다.

앞서 살펴본 바와 같이 각 목표치와의 차이에 대한 벌점(p_i, q_i)들의 가중합의 형태로 목적함수를 정의함으로써 목표 제약식에서 만족하고자 하는 목표치를 정확히 만족시키지 못한다 하더라도 가급적 목표를 만족시킬 수 있는 결정변수를 찾게 된다. 따라서 단순한 선형계획 모형에서는 실행 불가능(infeasible)해로 치부되어 논의조차 해볼 수 없는 해를 의사 결정 토론선상에 올려놓을 수 있게 한다. 바로 이점이 목표 계획법의 장점이라 할 수 있다.

본 연구에서는 상수관망의 운영 과정에서 공급량을 단순히 최대화하거나 부족량을 최소화하는 대신, 각 블록별로 일정한 공급 목표를 가진다는 가정 하에 목표미달에 따른 총 벌점을 최소화하는 방법을 사용하였다. 이 과정에서 각 블록별 용수 공급이나 부족이 편중되지 않도록 할 수 있는 모형을 제시하였다.

3. 제한급수 상황 하에서 블록별 용수공급량 결정을 위한 수확 모형

3.1 수리모형

3.1.1 상수 정의

L_i : i 시점의 중앙배수지의 저수 하한

U_i : i 시점의 중앙배수지의 저수 상한

$D_{i,l,t}$: i 시점의 l 블록의 t 순위 용수 수요량

$D_{i,t}$: i 시점의 l 블록의 총 용수 수요량

TN_i : 노드 i 의 상위 노드(여기서 노드는 배수지 또는 블록을 의미)

HN_i : 노드 i 의 하위노드

$c_{i,l,t}$: i 시점의 l 블록의 t 순위 수요의 미충족에 대한 벌점

ρ : 1보다 매우 작은 양의 상수

3.1.2 변수 정의

S_i : i 시점의 중앙배수지의 저수량

R_i : i 시점의 중앙배수지의 총 공급량

$W_{i,l,t}$: i 시점의 l 블록의 t 순위 수요에 대한 공급량

$H_{i,l,t}$: i 시점의 l 블록의 t 순위 수요에 대한 미충족량

$F_{i,j,t}$: i 시점의 l 블록에서 j 블록으로의 흐름량

3.1.3 제약식

· 중앙 배수지의 저수 상하한 제약

식 (2)는 중앙 배수지의 저수 상하한 제약을 의미한다. 여기서 하한 값은 장래 수요를 대비하여 최소한으로 유지해야 하는 수준이며, 상한 값은 물리적인 제약에 해당한다.

$$L_i \leq S_i \leq U_i \forall i \quad (2)$$

· 중앙 배수지의 저수량 보존식

중앙배수지의 저수량은 이전 기간의 저수량에 유입량을 더하고 하위 블록으로의 공급량을 뺀 값이 된다.

$$S_{i+1} = S_i + I_i - R_i \forall i \quad (3)$$

· 공급량과 미충족량의 정의

식 (4)는 수요량이 공급량과 미충족량의 합과 같음을 뜻한다.

$$W_{i,l,t} + H_{i,l,t} = D_{i,l,t} \forall i, l, t \quad (4)$$

· 수요의 세분화

식 (5)는 해당 블록의 총 수요량($D_{i,t}$)이 우선순위가 다른 다수의 수요($D_{i,l,t}$)로 구분됨을 의미한다.

$$\sum_l D_{i,l,t} = D_{i,t} \forall i, t \quad (5)$$

· 중앙배수지의 물 공급

최상위 블록으로의 유입량의 합은 중앙배수지에서 공급되는 물의 양에 의해 결정된다. 여기서 노드 번호 0은 중앙배수지를 의미하고, HD_i 는 중앙배수지(노드 i)에서 직접 용수가 공급되는 블록의 집합에 해당한다.

$$\sum_{j \in HN_i} F_{i,j,t} = R_i \text{ for } i = 0 \quad (6)$$

· 흐름량 보존 제약

각 블록으로 유입된 물의 양은 해당 블록의 사용량과 이 블록을 거쳐 공급된 물의 양의 합과 동일하다. 이때, TL_j 는 블록 j 로 물을 공급하는 블록의 집합을 의미한다.

$$\sum_{i \in TN_j} F_{i,j,t} - \sum_l W_{j,l,t} = \sum_{k \in HN_j} F_{j,k,t} \forall j, t \quad (7)$$

· 물 부족의 평준화

식 (8)은 물 부족이 어느 한 쪽에 편중되는 결과를 방지하기 위한 제약으로, 목적함수에서 Y 를 최소화함에 따라 Y 는 가장 물 부족이 심한 블록의 부족량 값과 같아진다.

$$Y \geq \sum_l H_{i,l,t} \forall i, t \quad (8)$$

3.1.4 목적함수

다음은 미충족에 따른 벌점의 총합과 물 부족 최대치를 최소화하도록 하는 목표계획을 위한 목적함수식이다.

$$\text{Min} \sum_i \sum_l \sum_t c_{i,l,t} \cdot H_{i,l,t} + \rho \cdot Y \quad (9)$$

이때 목적함수의 벌점(가중치), $c_{i,l,t}$ 은 원칙적으로 용수 공급 시 물 부족에 따른 피해 크기, 즉 심각도나 급수 대상 지역의 특성을 고려하여 개략적으로 그 우선순위를 부여할 수 있다. 따라서 선취적 목표 계획(Preemptive Goal Programming)의 개념에 입각해서 가중치를 부여한다. 이때 물 부족에 따른 피해는 1인당 물 공급량, 또는 물 부족량을 기준으로 하며, 하나의 수요처라도 Fig. 3과 같이 다수의 소규모 수요로

구분하고 차등화한 가중치를 부여할 수도 있다.

아울러 목적함수의 마지막 항은 식 (8)에서 계산된 물 부족량의 최대치 I 를 최소화하는 역할을 한다. 즉, ρ 에 매우 작은 가중치를 부여함에 따라, 우선적으로 물 부족을 최소화한 이후 작은 영향이긴 하지만 물 부족량의 최대치를 최소화하는 역할을 한다.

3.2 예제

앞서 제시한 모형을 활용하여 Fig. 2와 같은 가상의 상수 관망을 대상으로 한 예제를 수행하고 모형의 타당성을 검토해 보았다. 그림에서 보는 바와 같이 중앙배수지에서 블록 1과 블록 2로 용수를 공급하고, 블록 2로 공급된 물은 이 블록에서 사용되기도 하지만 일부는 블록 3과 블록 4로 공급된다.

모형 적용을 위한 예제로는 두 가지 경우를 상정하였다. 먼저 Case A에서는 제시된 모형과 달리 수요 세분화를 하지 않은 상황을 다루었다. 이 사례는 앞서 제시한 모형에서 수요의 순위를 나타내는 첨자 i 이 빠진 형태이며, 물 부족 평준화를 위한 맨 마지막 제약식을 제외한 모형으로 이해하면 된다. 그리고 Case B는 앞서 제시한 모형 그대로 적용한 것이다.

원칙적으로 목적함수의 별점은 앞서 제시한 바와 같이 입력할 수 있다. 그러나 본 예제에서는 본 연구의 목적이 모형에 대한 검증임을 고려하여 최대한 단순화하였다. 즉, 블록 내 우선순위를 고려할 수 있도록 1순위부터 5순위 수요에 대하여 각각 5, 4, 3, 2, 1의 가중치를 부여하였으며 이를 모든 블록에 공통적으로 적용하였다. 그리고 ρ 는 물 부족량 평준화 목적의 중요도가 물 부족 최소화 목적보다는 훨씬 작음을 고려하여 매우 작은 상수인 0.001로 부여하였다. 아울러 중앙배수지의 초기 저수량은 150, 그리고 중앙배수지가 최소한으로 유지해야 하는 저수량은 150, 상한값은 300으로 가정하였다.

3.2.1 Case A: 수요 세분화를 하지 않은 경우

먼저 Table 1에서 보는 바와 같이 각 블록의 수요를 세분화하지 않은 상태를 전제로 모형을 수행하였다. 또한 미충족

Fig. 2. Network Configuration of a Sample Water Distribution Network

Table 1. Demand Data

	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$
Block1	60	70	65	60
Block2	20	30	30	20
Block3	40	45	45	30
Block4	36	40	36	30

Table 2. Results of Case A

$t \backslash$	Supply				Deficiency			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Block1	45	50	53	60	15	20	12	0
Block2	20	30	30	20	0	0	0	0
Block3	40	45	45	30	0	0	0	0
Block4	36	40	36	30	0	0	0	0

에 대한 별점은 모든 블록에 동일하게 부여하였다. 이 표의 자료는 10^3 톤(10^3 ton)단위, 그리고 기간은 일(day)을 의미한다고 가정하였다.

Table 2는 Case A의 수행 결과다. 이 결과를 보면, 물 부족이 블록 1에만 집중되었으며, 특히 기간 2에는 그 크기가 20에 달할 정도의 심한 물 부족이 나타났다. 이러한 결과는 수요를 세분화하지 않고 제약식 (8)을 제외했기 때문에 나타난 결과로, 공간 및 시간적인 물 공급 불균형의 예를 단적으로 보여준다. 즉, 제약식 (8)이 없고 수요를 세분화하지 않는다면, 모형은 단순히 물 부족량의 합계만을 최소화하도록 함으로써 일부 블록에 미충족이 집중되는 결과를 방지할 수 없다.

3.2.2 Case B: 수요를 세분화한 경우

이번에는 각 블록의 수요를 그 중요도에 따라 Fig. 3과 같이 세분화한 후 모형을 수행하였다. 즉, 블록 1과 블록 4에는 1,2,3순위에 해당하는 비교적 우선순위가 높은 수요가 있으며, 블록 2에는 1,3,4,5순위의 수요, 그리고 블록 3에는 1,2,3,5순위의 수요가 있어 전체적으로 블록 2와 블록 3에 상대적으로 낮은 우선순위의 용수 수요가 있음을 알 수 있다.

Table 3은 세부 입력 자료를 보여주며, Table 4는 모형을 수행한 결과다. 이 결과를 보면, 이전의 Case A에서 블록 1에 물 부족이 집중되었던 것과 달리 물 부족이 블록 2와 블록 3로 나뉘고 있으며, 그것도 주로 우선순위가 낮은 5순위에서 발생하는 것으로 나타났다. 아울러, 블록별 미충족의 크기도 그 최대치가 10에 그쳐 앞선 Case A보다 훨씬 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 즉, Case B에서 활용한 모형을 활용할 경우 물 부족의 편중을 막고 용수수요의 특성을 고려해서 보다 합리적인 의사결정을 할 수 있음을 확인할 수 있었다. 아울러, 이 결과는 Fig. 3과 Table 3의 입력 자료에 대한 하나의 결과일 뿐이며, 블록을 어떻게 세분화하느냐에 따라 그 결과가 얼마든지 달라질 수 있음을 주지해야 할 것이다. 따라서 실제 활용 과정에서는 블록의 수요를 정교하게 세분화하고 그 중요도를 합리적으로 부여하는 데 많은 노력을 기울일 필요가 있다.

Fig. 3. Graphical Representation of Demands Partitioning

Table 3. Water Demands Partitioned into Smaller Blocks According to their Priorities

		$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$
Block1	1 st Priority	15	20	20	15
	2 nd Priority	30	35	30	30
	3 rd Priority	15	15	15	15
	4 th Priority	-	-	-	-
	5 th Priority	-	-	-	-
	Sum	60	70	65	60
Block2	1 st Priority	5	5	5	5
	2 nd Priority	-	-	-	-
	3 rd Priority	5	10	10	5
	4 th Priority	5	10	10	5
	5 th Priority	5	5	5	5
	Sum	20	30	30	20
Block3	1 st Priority	10	15	15	5
	2 nd Priority	10	10	10	5
	3 rd Priority	10	10	10	10
	4 th Priority	-	-	-	-
	5 th Priority	10	10	10	10
	Sum	40	45	45	30
Block4	1 st Priority	20	20	20	20
	2 nd Priority	8	10	8	5
	3 rd Priority	8	10	8	5
	4 th Priority	-	-	-	-
	5 th Priority	-	-	-	-
	Sum	36	40	36	30

Table 4. Results of Case B

		Supply				Deficiency			
		$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$
Block 1	1 st Priority	15	20	20	15	0	0	0	0
	2 nd Priority	30	35	30	30	0	0	0	0
	3 rd Priority	15	15	15	15	0	0	0	0
	4 th Priority	-	-	-	-	-	-	-	-
	5 th Priority	-	-	-	-	-	-	-	-
Block 2	1 st Priority	5	5	5	5	0	0	0	0
	2 nd Priority	-	-	-	-	-	-	-	-
	3 rd Priority	5	10	10	5	0	0	0	0
	4 th Priority	5	10	10	5	2	0	0	0
	5 th Priority	5	5	5	5	5	5	5	0
Block 3	1 st Priority	10	15	15	5	0	0	0	0
	2 nd Priority	10	10	10	5	0	0	0	0
	3 rd Priority	10	10	10	10	0	0	0	0
	4 th Priority	-	-	-	-	-	-	-	-
	5 th Priority	10	10	10	10	10	10	10	0
Block 4	1 st Priority	20	20	20	20	0	0	0	0
	2 nd Priority	8	10	8	5	0	0	0	0
	3 rd Priority	8	10	8	5	0	0	0	0
	4 th Priority	-	-	-	-	-	-	-	-
	5 th Priority	-	-	-	-	-	-	-	-

4. 결 론

본 연구에서는 제한 급수가 불가피한 상황에서 상수관망의 블록별 공급량을 배분할 수 있는 목표계획 기반의 수학 모형을 제시하였다. 제시된 모형을 가상의 예제에 적용한 결과 물 부족 상황 시 우선순위가 높은 용수를 우선적으로 충족하고, 특정 블록에 물 부족이 편중되는 결과를 방지할 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구는 제한급수에 따른 손실을 최소화하는 최적의 용수 공급 계획을 수립할 수 있는 의사결정 도구를 제시했다는 점에서 의의가 있다. 그러나 실제 현실 문제가 아닌 가상의 예제를 대상으로 한 관계로, 실제 활용 과정에서의 발생할 수 있는 문제점들을 충분히 검토하지 못했다는 한계가 있다. 따라서 추후 연구를 통해 실제 상수 관망에 적용하고 그 결과를 통해 모형의 실용성을 검증할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No. 20110027622)에 의하여 연구되었음.

References

George, B., Malano, H., Davidson, B., Hellegers, P., Bharati, L., and Massuel, S. (2011) An Integrated Hydro-Economic Modelling

Framework to Evaluate Water Allocation Strategies I: Model Development, *Agricultural Water Management*, Elsevier, Vol. 98, pp. 733-746.

Kim, B.S. and Buen, D.K. (2003) Improvement of the Water Supply System's Availability by Constructing an Integrated Water Supply System for Large Water Supplied Areas, *Proceedings of the Annual Conference of Korean Society of Environmental Engineers*, pp. 846-852.

Kim, E.H., Kim, C.J., and Baek, K.J. (2004) A Study on Effective Management Plan of Emergency Facilities of Water Supply In Gwangju Area, *Proceedings of the Annual Conference of Korean Society of Environmental Engineers*, pp. 1405-1408.

Lansley, K.E. (2006) The Evolution of Optimizing Water Distribution System Applications, *Proceeding of the 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium*, Cincinnati, Ohio, USA, August 27-30.

Manchikanti, K. (2009) *Optimizing Allocation and Scheduling for Irrigation Systems-Spatial/Temporal Optimization for Center Pivot Irrigation Systems*, Ph.D. Dissertation, University of Wisconsin-Madison.

Taha, H.A. (2011) *Operations Research: An Introduction*, Pearson.

Yang, G.S. (2013) *A Study on Hydraulic Response and Control of a Water Supply Network due to Limited Water Supply*, Master Thesis, Chungnam National University.

© Received July 15, 2013

© Revised July 16, 2013

© Accepted August 13, 2013