

다기준의사결정을 통한 물부족 해소방안 제시

Evaluation of Supply Alternatives of Water Shortage based on Multi-criteria Decision Analysis

최시중*, 김종훈**, 이동률***

Si-Jung Choi, Joong-Hoon Kim, Dong-Ryul Lee

요 지

많은 지역이 수자원 관리와 계획에 있어 많은 문제점을 가지고 있으며 우리나라의 경우 장래에 물 부족이 전망되고, 하천 수질과 생태환경의 개선은 국민이 바라는 만큼 기대 수준에 미치고 있지 못하고 있어 우리 삶의 질을 저해하고 있다. 따라서 수자원 계획이나 개발에 있어서 기존의 공급 차원만을 고려하기보다는 수질과 생태환경, 수요적 측면을 함께 고려하는 통합적인 접근 방법들이 시도되고 있다.

점점 증가하는 물수요 때문에 장래에 물 부족이 발생할 것으로 예상되며 이를 해소시킬 수 있는 대안들이 제시되어야 할 것으로 판단된다. 하지만 미래에 발생할 수 있는 다양한 상황들을 예측하고 분석하기는 쉽지 않으며, 물 부족을 해소시킬 수 있는 다양한 대안 중에 최적대안을 찾는 것 또한 쉬운 일이 아니다.

본 연구에서는 한국건설기술연구원과 SEI-US(Stockholm Environment Institute-US Center)가 공동으로 개발한 통합수자원평가계획모형인 K-WEAPq(Korea-Water Evaluation And Planning System Linked QUAL2K) 모형을 이용하여 미래에 발생할 수 있는 다양한 물 수급 전망을 분석하였으며, 물 부족을 해소시킬 수 있는 여러 대안에 따른 물 수급 변화를 분석하였다. 또한 수자원 계획 및 개발 분야에서 여러 상반된 기준들에 대해 최적의 대안들을 찾고 이를 결정하기 위해 다기준의사결정 분석(MCDA: Multicriteria Decision Analysis)을 이용하였다. 낙동강 권역에 대해 2011년 물 수급 전망을 분석한 후 물 부족이 예상되는 지역에 대한 물 부족 해소 정책으로 7가지 대안을 제시하였으며, 사회·경제·환경적 기준에 대해 각각의 대안을 분석하여 최적의 대안을 제시하였다.

핵심용어 : 수요관리, K-WEAP, 수자원계획

1. 서론

세계적으로 현재와 미래에 예상되는 물 부족과 수질 및 생태계환경 악화에 대한 우려가 커지고 있다. 우리나라의 경우도 2011년에 약 8억톤의 물 부족이 전망되고 있다. 이에 따라 한정된 수자원의 효율적 배분, 깨끗한 수질 개선, 지속가능한 물 사용 정책 등에 대한 국내외적인 관심이 날로 증가하고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 대책의 기본방향으로 통합수자원관리가 자리 잡아가고 있으며 수량만을 고려한 수자원계획과 관리에서 사회, 경제, 환경적 측면을 고려한 통합적인 접근 방법으로 바뀌어가고 있다. 하지만, 여러 부분에 대해 고려가 되더라도 수자원계획과 관리에 있어서 최적의 대안을 결정하는 것은 쉬운 일이 아니다. 이런 문제들을 해결하기 위해 최근에 많은 연구자들이 다기준의사결정기법(MCDA)에 대해 연구하고 있다. 국외의 많은 연구자들에 의해 물공급 시스템 설계, 유역관리, 수요관리, 가뭄시 물 공급 방안, 댐 운영, 지속가능한 발전, 물분쟁해소, 하수처리, 지하수 등과 같은 많은 분야에 다기준의사결정기법을 적용한 사례가

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : sjchoi@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : jsseo@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 책임연구원·E-mail : dryi@kict.re.kr

있으며, 국내에서도 수도산업의 민영화 정책들에 대한 여러 시나리오에 대해 다기준의사결정기법을 사용하여 비교하였으며, 하천별 중요도라는 계량화된 평가지표를 제시하기 위해 다기준분석법 중의 하나인 계층분석법(AHP; Analytical Hierarchy Process)을 이용하였고, 가뭄시 한정된 물을 공급할 때 발생하는 분쟁을 해결하기 위한 사회적 합의를 도출할 수 있는 용도별 용수 우선순위에 대한 의사결정을 위해 계층분석법을 사용한 사례가 있다.

수자원관리와 계획에 대해 다기준의사결정기법을 적용하기 위해서는 장래에 발생할 수 있는 수자원시스템에 대한 여러 가지 상황을 시나리오로 구성하여 이를 평가해야만 하며, 이를 위해 많은 모형들이 개발되어 왔다. 각각의 모형들은 나름대로의 장점을 가지고 있으며 많은 연구자들에 의해 지속적으로 모의되고 수정, 보완되고 있다.

본 연구에서는 장래에 발생할 수 있는 여러 수자원현황을 평가하기 위해 한국건설기술연구원과 SEI-US가 공동으로 개발한 K-WEAPq 모형을 이용하였으며, 여러 대안을 비교, 분석하여 순위를 결정하기 위해 다기준의사결정기법을 이용하여 낙동강권역의 장래 발생할 수 있는 물 부족을 해소시키기 위한 최적의 대안을 제시하였다.

2. K-WEAPq 모형

K-WEAP(Korea-Water Evaluation And Planning System) 모형은 한국건설기술연구원과 SEI-US와의 공동연구로 기존의 WEAP(Water Evaluation And Planning System) 모형의 기능을 개선하여 우리나라 여건에 적합하도록 수정하여 개발한 통합수자원평가계획모형이다. K-WEAP 모형은 국내에서 사용이 적합하도록 WEAP 모형의 모의형태 개선과 평가방법 개선, 한글화 등을 이룩하였으며, 기존의 WEAP 모형에 없는 하천수질 모의 기능을 개발하여 추가하였다. 하지만 K-WEAP 모형에 내장되어 있는 수질관련 함수들은 BOD 모형, DO 모형, 1차감소함수, 수온모의, 보존성 물질에 대한 것이기 때문에 보다 정확하고 다양한 수질 분석을 위해서는 여러 오염원(pH, 질소, 인, 수온, BOD, 병원균, 조류 등)을 고려해야만 한다. 따라서 최근 수질 모의 모형인 QUAL2E 모형을 업그레이드시킨 QUAL2K 모형을 기존의 K-WEAP 모형과 연계시킨 K-WEAPq 모형을 개발하였다. K-WEAPq 모형은 기존의 K-WEAP 모형의 기능을 그대로 유지하면서 수질 모의를 강화시킨 모형으로써 보다 통합적인 수자원평가 및 계획에 유용할 것으로 기대된다.

3. 다기준의사결정기법

다기준의사결정분석(MCDA)은 상충되는 복수의 기준이 존재하는 상황에서 최적 대안을 선택하는 의사결정을 말하며 최대의 과제는 상충하는 기준들간의 절충(trade-off)이다. 그러므로 광범위하고 복잡한 다기준의사결정문제에서 최적의 의사결정을 내리기 위해서는 여러 가지 분석이 행해져야 한다. 다기준 의사결정 분석의 단계는 8단계로 이루어진다. 1단계는 의사결정 상황에 대해 서로 공유된 이해를 확립하는 것이다. 다시 말해, 목적을 결정하고, 의사결정자와 Key player를 결정한다. 2단계에서는 의사결정에 필요한 여러 대안을 설정한다. 3단계는 각 대안의 결과에 관련된 가치를 반영하는 기준들을 설정한다. 4단계에서는 해당 기준에 대한 각 대안의 기대 성능을 기술한다. 각 대안의 결과값들을 평가하기 위해 대안들에 대한 점수를 부여한다. 5단계에서는 의사결정에 대한 상대적 중요도를 반영하기 위해 각각의 기준들에 가중치를 할당한다. 6단계는 각 대안의 점수와 가중치를 결합하여 전체 결과값을 유도한다. 7단계에서는 6단계에서 유도된 값들, 즉 결과를 검토한다. 마지막 단계에서는 점수와 가중치의 변화에 대한 결과의 민감도 분석을 수행하게 된다.

4. 물부족 평가

K-WEAPq 모형을 통해 수량-수질을 연계하여 낙동강유역을 모의하였다. 목표연도는 2011년으로 하였으며, 각종 수요량, 공급시설, 하천유출량 자료 등은 수자원장기종합계획(2006-2020)에서 사용하였던 자료를 그

대로 이용하였다. 수질모의를 위해 사용된 각종 수질 관련 자료는 유역조사사업보고서(2004)에 수록된 자료를 이용하여 분석하였다. 1967~2003년에 대해 반순별로 모의한 결과 1994년(최대갈수년)에 물이 가장 많이 부족한 것으로 분석되었으며, 목표연도 2011년에 대한 낙동강유역의 물부족량은 그림 1과 같이 나타났다. 2006 중권역에서 15백만 m³/년, 2402 중권역에서는 13백만 m³/년, 2015 중권역에서는 7백만 m³/년의 물부족이 예상되었고 2504, 2008 중권역에서는 각각 2백만 m³/년, 1백만 m³/년의 물부족이 예상되었으며 이 양은 수요관리를 통해 충분히 해소 가능하다고 판단된다.

5. 물부족 해소 방안 및 기준 설정

물부족 해소를 위해서는 여러 가지 방안이 제시될 수 있다. 하지만 본 연구에서는 2011년 낙동강유역 물부족을 해소하기 위해 실제 수자원시스템에 적용가능한 방안만을 고려하여 8가지 방안을 제시하였다. 제시된 물부족 해소를 위한 방안으로 ① 안동댐, 합천댐에서의 도수, ② 대청댐, 임하댐으로부터의 광역상수도 신설, ③ 소규모 농업용저수지 건설, ④ 지하수 개발, ⑤ 수요관리 정책, ⑥ 농지 감소, ⑦ 현재 시스템 유지, ⑧ 정부 지원 등 총 8가지 방안을 제시하였으며, 물부족 해소를 위한 대안으로는 제시된 8가지 방안 중 몇 개씩을 결합하여 결정하였다. 대안 A는 현재시스템(⑦)과 정부지원(⑧), 대안 B는 수요관리(⑤)와 정부지원(⑧), 대안 C는 도수(①)와 수요관리(⑤)와 정부지원(⑧), 대안 D는 광역상수도신설(②)와 수요관리(⑤)와 정부지원(⑧), 대안 E는 농업용저수지건설(③)과 수요관리(⑤)와 정부지원(⑧), 대안 F는 지하수개발(④)과 수요관리(⑤)와 정부지원(⑧), 대안 G는 수요관리(⑤)와 농지감소(⑥)와 정부지원(⑧)의 결합으로 구성하였다. 제시된 7가지 대안 이외에도 여러 방안의 결합을 통해 더 많은 대안을 제시할 수 있지만 본 연구에서는 7가지 대안만으로 분석을 수행하였다. 다기준의사결정분석을 위해서는 각 대안의 결과에 관련된 가치를 반영하는 기준들을 설정해야 하며 본 연구에서는 사회, 경제, 환경 3가지 분야에 대한 기준을 고려하였고, 각각의 분야에 대한 세부기준을 제시하였다. 여러 세부기준 중 정성적인 분석의 어려움 때문에 정량적인 분석이 가능한 기준만을 제시하였다. 경제 분야에서는 건설비용(기준 a)과 예상피해액(기준 b), 환경 분야에 대해서는 지표수 수질(기준 c), 마지막으로 사회 분야에 대해서는 물부족기간(기준 d)만을 고려하였다. 그림 2는 본 연구를 통해 최적의 물부족 해소대안을 제시하기 위해 수행된 다기준의사결정분석에 대한 가치구성도를 나타내었다. 다기준의사결정을 위한 최종 목적은 물부족 해소이며, 기준으로는 경제, 환경, 사회 분야에 대해서 고려하였고, 세부 기준으로는 건설비용, 예상피해액, 지표수 수질, 물부족기간을 선정하였으며, 대안으로는 7가지를 제안하였다.

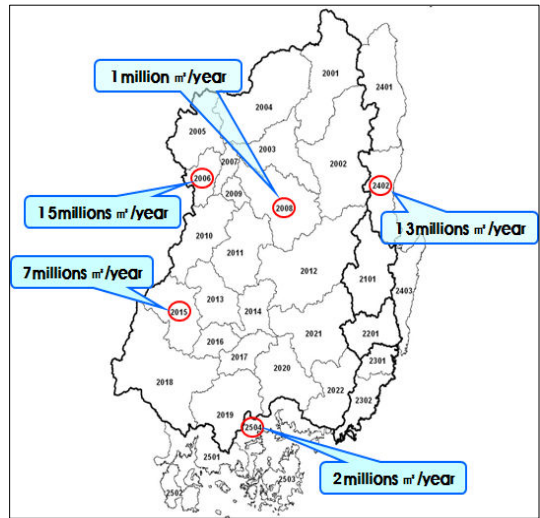


그림 1. 물부족량평가(낙동강권역, 2011)

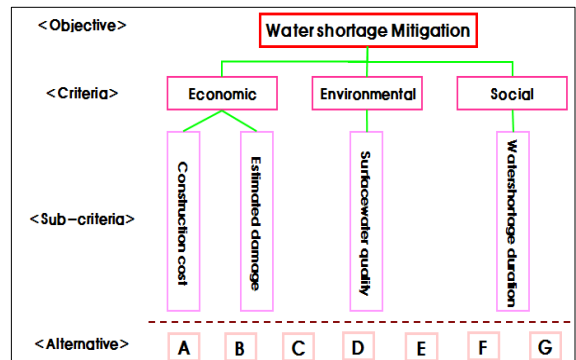


그림 2. 가치구성도

6. 대안 평가 및 최적 대안 결정

앞에서 제시한 4개의 기준에 대한 7가지 대안들의 기대 성능을 분석하였다. 이는 각 대안의 결과값들을 평가하기 위해 대안들에 대한 점수를 부여한 것이다. 표 1은 대안들의 기준에 대한 영향 평가 결과를 제시하고 있다. 영향 평가 결과 기준 a(건설비용)에 대해서는 대안 C가 가장 높게 평가되었으며, 기준 d(물부족기

간)에 대해서는 대안 A가 가장 큰 값을 얻었다. 다기준의사결정을 위해서는 이들 영향평가 결과에 대해서 각각의 가치를 평가해야 한다. 가치 평가를 위해 서로 단위가 틀린 영향평가 결과들을 무차원화할 필요가 있다. 무차원화를 위해서 원자로 및 대수값을 최대값으로 나누는 방법, 표준화를 이용하여 산정하는 방법, 확률분포형의 누가확률밀도함수를 추정 한 무차원화 방법이 있으며, 본 연구에서는 표준화를 이용하여 각각의 영향평가 결과를 무차원화 하였다.

표 1. 대안들에 대한 영향평가

Criteria Alternatives	a (10 ⁹ won)	b (10 ⁹ won)	c (BOD, mg/l)	d (months)
A	0	1.90	34.17	11
B	517.40	1.73	33.57	8
C	1198.31	0.03	34.73	1
D	645.01	1.26	41.62	6
E	697.40	1.42	33.19	6
F	829.82	0.04	33.71	1
G	517.40	1.41	31.99	6

각각의 기준에 대한 영향평가 결과치는 물부족 해소를 위한 최적대안 선정에 악영향을 미치기 때문에 (예를 들어, 기준 a, b, c, d는 건설비용, 예상피해액, 수질, 물부족기간이기 때문에 크면 클수록 나쁜 영향을 줌) 무차원화를 위해 $100 \times (z_{\max} - z_i) / (z_{\max} - z_{\min})$ 식을 이용하였으며, z_{\max} 와 z_{\min} 은 각각의 기준에 대한 영향평가 결과치의 최대치와 최소치이고, z_i 는 각각의 기준에 대한 대안들의 영향평가 결과치를 나타낸다. 위 식을 통해 각 기준별로 대안들에 대한 점수를 부여하였다. 대안들에 대한 점수를 부여한 후에는 의사결정에 대한 상대적 중요도를 반영하기 위해 각각의 기준들에 가중치를 할당해야 한다. 가중치를 부여하는 방법에는 여러 가지가 있으며, 본 연구에서는 부적절한 가중치의 적용으로 인해 평가결과의 왜곡을 초래할 수 있다는 판단하에 동일한 가중치를 적용하였다. 각각의 기준에 대한 각 대안의 점수와 동일한 가중치를 곱하여 전체 결과값을 유도하였다. 그림 3은 각 대안들의 점수와 가중치를 결합한 전체 결과값을 도시한 결과이다. 결과적으로는 대안 F(지하수개발(④)과 수요관리(⑤)와 정부지원(⑧)가 최적의 대안으로 선정되었다. 그 다음으로는 대안 C, 대안 G 순으로 결정되었다.

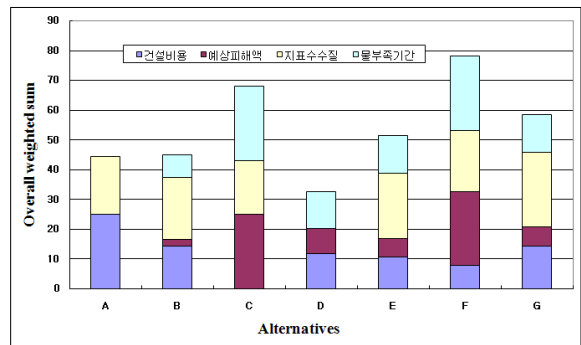


그림 3. 물부족 해소를 위한 최적대안 선정

7. 결론

본 연구에서는 통합수자원평가계획모형인 K-WEAPq 모형을 이용하여 미래에 발생할 수 있는 다양한 물수급 전망을 분석하였으며, 물 부족을 해소시킬 수 있는 여러 대안에 따른 물 수급 변화를 분석하였다. 또한 수자원 계획 및 개발 분야에서 여러 상반된 기준들에 대해 최적의 대안들을 찾고 이를 결정하기 위해 다기준의사결정 분석을 이용하였다. 장래 2011년에 낙동강 유역에 발생할 수 있는 물부족을 해소하기 위해 8가지 방안을 제시하였으며, 이들 대안들의 조합으로 7가지의 대안을 제시하였다. 각각의 대안을 평가하기 위해 3분야(경제, 환경, 사회)에 대해 4가지 기준에 따라 각각의 대안의 영향을 평가하였으며, 이를 무차원화 시키고 합산함으로써 최적의 대안을 제시하였다. 분석을 통해 제시된 대안은 물부족이 예상되는 지역에 지하수개발을 하고 수요관리를 통해 물부족을 해소해야 하며, 만약 물부족이 발생할 경우는 정부에서 지원해 주어야 한다는 대안이었다. 본 연구를 통해 제시된 대안은 최적의 대안이라고 말할 수는 없다. 보다 많은 대안들이 제시되어야 하며, 보다 많은 기준에 대해 분석을 수행해야 하고, 기준들 간의 중요도를 고려하여 가중치를 산정해야 하며 여러 사람들(정책결정자, 일반대중 및 전문가 등)의 의견을 수렴해야 하기 때문이다.

본 연구에서는 수자원 개발 및 관리를 위한 여러 대안들을 평가할 수 있는 분석도구로서 수량-수질을 동시에 모의할 수 있는 K-WEAPq 모형의 활용성을 제시하였으며, 물부족 해소를 위한 대안들의 직관적이고 투명한 비교를 수행할 수 있는 다기준의사결정분석 방법론을 제안하였다. 또한 지금까지의 수자원계획 및 평가가 주로 경제적인 분야만을 고려하여 수행되었기 때문에 앞으로는 경제 분야 이외에도 사회, 환경 분야에

대한 고려가 필요하다는 점을 언급하였다. 앞으로 수자원계획과 관리에 관한 정책 수립 시 최적의 방안을 제시하기 위해서 다기준의사결정기법은 정책결정자에게 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(2006). 수자원장기종합계획(2006 ~ 2020).
2. 건설교통부, 한국수자원공사(2004). 낙동강유역조사.
3. 과학기술부(2004). 21세기 프론티어 연구개발사업 - 수자원의 지속적 확보기술개발사업 -, 수자원분야 다기준의사결정분석 지침서.
4. 과학기술부(2007). 21세기 프론티어 연구개발사업 - 수자원의 지속적 확보기술개발사업 -, K-WEAPq 통합수자원평가계획모형 사용자 안내서.