

유역단위의 치수사업을 위한 의사결정모형

The Decision Making Model for Basin Wide Flood Control Projects

이충성* / 최승안** / 이상철*** / 심명필**** / 김형수*****

Yi, Choong Sung / Choi, Seung An / Lee, Snag Cheol / Shim, Myung Pil / Kim, Hung Soo

요 지

우리나라에서는 이제까지 치수사업의 타당성 분석시 경제성 분석에 너무 치우쳐 사업에 대한 의사결정과정 이 단편적으로 진행되어 왔다. 이러한 문제를 개선하고자, 본 연구는 AHP(Analytic Hierarchy Process)과 효용 함수(utility function)를 이용하여 대안의 수립, 평가, 선정, 우선순위 결정에 이르는 치수사업 의사결정과정을 모형화 하였다. 모형의 적용결과, 최선대안의 선정시 경제성 기준이 여전히 큰 비중을 차지하고 있었으나 단위 사업안의 투자우선순위 결정에는 위험성, 지속가능성 기준의 영향도 상당부분 있었다. 그러나 대안들 간에 변별력을 높이기 위해서는 경제성 이외 기준들의 속성에서 공간적 정밀도를 높이는 추가연구는 필요한 것으로 판단 되었다. 본 연구는 치수사업 계획이 유역 내 단위사업안들로 조합된 대안들의 평가를 통해 이루어져야 한다는 점을 보여주고 있으며, 향후 점차로 유역단위의 치수계획이 정립됨에 따라 본 연구를 바탕으로 보다 구체적인 연구가 수행되리라 기대된다.

핵심용어 : 치수사업, 의사결정모형, 대안, 단위사업안, 투자우선순위, AHP, utility function

1. 서 론

의사결정모형(decision making model)은 복잡한 의사결정문제의 최적화 과정으로서 의사결정의 복잡성을 감소시키고 다루기 쉬운 문제로 정의하기 위해 의사결정론(decision making theory)을 모형화 하는 것을 말한다. 미국은 하구 복원 및 기능향상을 통한 치수 및 환경관리를 목적으로 1987년부터 국가연안계획(National Estuary Program)을 수행하고 있다. 이 계획에서는 다속성효용함수(MAUT: Multi-Attribute Utility Theory)를 이용한 의사결정모형을 사용하고 있으며, 인문·사회·경제적 요소가 의사결정 과정의 주된 요소가 되고 있다. 영국환경부(DEFRA: Department for Environment Food and Rural Affairs)에서는 평점모형(scoring method)을 홍수와 해안방어 정책을 위해 필요한 사업의 우선순위평가에 활용하고 있다. 즉, 경제성(economics), 환경성(environment), 인명성(people)을 주요 평가기준으로 이용하고 있다(DEFRA, 2002).

국내의 경우 하천시설기준(건설부, 1985, 1993)에 제시된 치수사업 경제성분석방법을 이용해 사업별로 경제성을 분석하여 그 결과를 곧바로 투자우선순위를 결정하는데 사용하였다. 그러나 하천이나 수계 전체의 입장을 고려하지 못한다는 문제점이 제기되어 건설교통부(2001)에서는 효율성, 형평성, 일관성을 평가하여 통합지표를 도출하고, 이에 의해 치수사업의 투자우선순위를 결정하도록 하였다. 그러나 지나치게 하천(제방)사업 위주여서 치수사업 전반에 적용하기에는 논리적으로 부합되지 않는 측면이 존재하였다(이충성 등, 2004).

본 연구는 대안의 수립, 대안의 평가를 통한 최선대안 선정, 단위사업안간 우선순위 결정 등 치수사업을 위한 의사결정의 전 과정을 모형화 하였다. 특히, 하천사업 위주의 기존 방식을 보완하여 유역중심의 치수사업을 고려하는 데에 중점을 두었다.

* 정회원.인하대학교 환경토목공학부 박사과정-E-mail : sung@inhavision.inha.ac.kr
** 정회원.인하대학교 환경토목공학부 박사과정-E-mail : cachoi@inhavision.inha.ac.kr
*** 정회원.한국건설기술연구원 연구원-E-mail : tokebio@hotmail.com
**** 정회원.인하대학교 환경토목공학부 부교수-E-mail : sookim@inha.ac.kr
***** 정회원.인하대학교 환경토목공학부 교수-E-mail : shim@inha.ac.kr

2. 모형의 개발

2.1 대안의 수립

대안을 수립할 때 가장 중요한 문제는 계획 또는 단위사업안 중에서 가장 최적의 안을 선택하고, 선택된 단위사업안 (investment proposal)의 최적규모를 결정하여 합리성을 부여하는 것이다. 여기서 단위사업안이란 기술적으로 타당한 범주 안에서 특정 목적을 달성하기 위한 공학적 사업안과 현금 흐름에 의해 기술되는 경제적인 투자를 포함하는 투자 가능성이 있는 사업안 또는 투자계획을 의미한다(Thuesen과 Fabrycky, 1993). 따라서 하나의 대안은 하나의 단위사업안으로 선정될 수도 있고 여러 단위사업안의 조합으로 구성될 수도 있다. 즉, 대안은 의사결정의 목적을 위한 수단인 단위사업안의 집합이라고 할 수 있으며 선택 가능한 의사결정안이다.

여러 종류의 단위사업안들을 개발한 후에는 이들을 조합하여 상호 배타적인 대안들을 작성하게 된다. 또한 작성된 대안들은 최적규모에 대한 검토과정을 거쳐 논리적 정밀도를 높이고 경제적 효율성, 정치·사회적 수용성 등을 합리적으로 고려할 수 있다. 그림 1은 단위사업안 집합의 구성에서부터 최적규모의 결정에 이르는 일반적인 유역단위 치수사업의 대안수립 과정을 나타내고 있다.

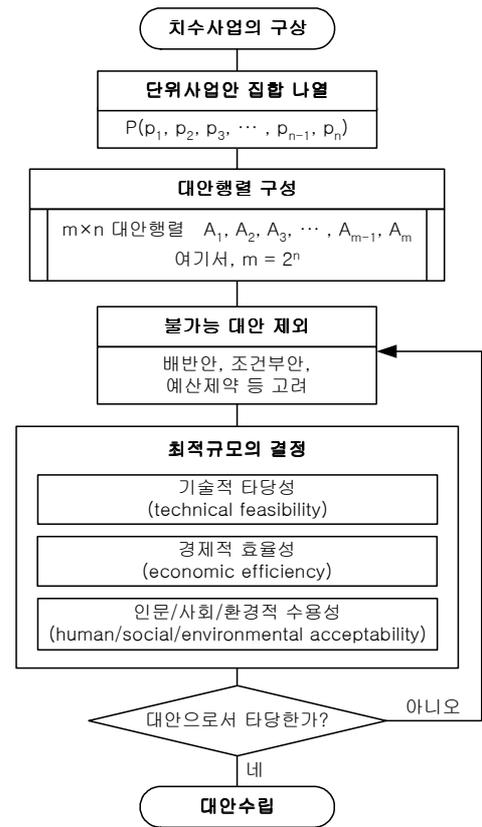


그림 1. 대안수립의 흐름도

2.2 대안의 평가

대안평가를 위한 여러 기준을 종합하는 것은 간단한 문제가 아니다. 일부의 평가결과는 계량화되는 반면, 일부는 비계량화되어 있기 때문에 양자를 종합하여 하나의 결론을 도출하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 따라서 다양한 평가기준들을 하나로 묶는 체계적인 방안이 강구되어야 한다. 경제성 분석을 포함한 여러 측면의 분석 결과를 종합하기 위해 이제까지 다양한 방안이 시도되어 왔으며 최근에는 다속성의사결정(Multi-Attribute Decision Making)이 많이 연구되고 있다. 본 연구에서는 다속성의사결정 중 대표적으로 많이 사용되는 AHP(Analytic Hierarchy Process)와 효용함수(utility function)를 이용하였다. AHP의 계층구조는 건설교통부(2004)의 연구에 따라 그림 2와 같이 설계하였다.

AHP의 쌍대응비교를 위해서는 대학 및 연구기관의 수자원 전문가와 실무의 기술자 및 대학원생들을 대상으로 총 70명에게 1:1 대인면접법에 의한 설문조사를 실시하였으며, 응답에 일관성이 결여된 32명을 제외한 응답자에 대해 분석하였다. 각 평가기준에 대한 쌍대응비교는 Saaty(1977, 1980)가 제안한 9점 척도로 중요도를 부여하였다. 개별 구성원들의 평가자료를 종합하는 방법으로는 기하평균을 이용하였으며, 가중치를 도출하기 위하여 고유벡터법을 사용하였다. 표 1은 AHP에 의해 최종적으로 도출된 가중치를 설문집단별로 나타내고 있다.

표 1의 평가기준들은 비교대상이 정성적으로 상대비교가 가능하였으므로 쌍대응비교를 통해 가중치를 도출하면 되었다. 그러나 최하위 계층인 대안은 정량적 속성이기 때문에 이들의 중요성을 상대적으로 비교하지 않고 속성값을 직접 비교하여야 한다. 그러나 정량적 속성인 대안의 척도가 정성적 속성인 평가기준과 다르기 때문에 이를 동일한 척도로 변환하는 작업이 필요하다. 또한 같은 정량적인 속성들의 비교에 있어서도 비교되는 각 속성들은 동일한 척도로 변환되어야 한다.

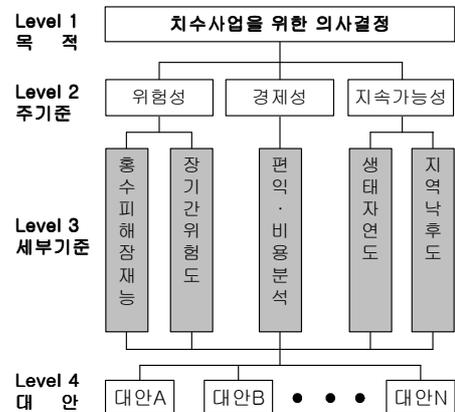


그림 2. 치수사업을 위한 AHP계층도

표 1. 평가기준간 상대적 가중치

평가기준	가중치	
경제성	0.212	
B/C	1.000	
위험성	0.603	
PFD	0.545	
장기간위험도	0.455	
계	1.000	
지속가능성	0.185	
생태자연도	0.574	
지역낙후도	0.426	
계	1.000	
계	1.000	
누적가중치	B/C	0.212
	PFD	0.329
	장기간위험도	0.274
	생태자연도	0.106
	지역낙후도	0.079
계	1.000	

주) 누적가중치는 세부기준에 주기준의 가중치를 곱하여 산정

표 2. 개별속성효용함수의 도출

평가속성	효용함수	의사결정변수(x)
B/C	$U(x) = \frac{1}{5.066} \left(\frac{1 - e^{-0.1812x}}{1 - e^{-0.1812}} \right)$	$x = B/C \text{ ratio}$
위험도	$U(x) = \frac{1 - e^{-2.7858x}}{1 - e^{-2.7858}}$	$x = R/R_{\max}^{1)}$
생태자연도	$U(x) = \frac{1}{43.9635} \left(\frac{1 - e^{-0.0171(x-20)}}{1 - e^{-0.0171}} \right)$	$x = \text{생태자연도 상위 등급비율 표준점수}^{2)}$
지역낙후도	$U(x) = \frac{1}{565.1337} \left(\frac{1 - e^{0.0123(x-1)}}{1 - e^{0.0123}} \right)$	$x = \text{지역낙후도 순위}$

주1) R은 PFD나 장기간위험도, R_{\max} 는 대안중에서 가장 큰 R값

주2) 생태자연도 권역별 전체면적에서 1,2등급 면적이 차지하는 비율의 표준점수

그런데, 이러한 정량적 속성들을 단순히 정규화(normalization)하여 사용하거나 비율척도(ratio scale)로 나타내는 경향이 있는데 이렇게 할 경우 설문을 실시하지 않아도 되는 장점은 있지만 정량적 값들에 대한 의사결정자들의 선호의 정도를 반영할 수 없는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 정량적 척도들에 정성적 가치개념을 반영하기 위하여 대안계층의 평가에

효용함수(utility function)를 이용하였다.

효용함수를 도출하기 위하여는 응답자들의 확실등가를 측정하는 방식으로 설문을 실시하였으며 개인별 효용함수는 기하평균으로 합성하였다. 분석 결과 B/C, 위험도, 생태자연도 등에서 위험회피성향이 우세하게 나타났으며, 특히 위험도 항목은 높은 위험회피를 나타내었다(PFD와 장기간위험도는 '위험도'로 통일하여 측정). 표 2와 그림 3은 효용곡선과 효용함수를 나타내고 있다. 그림 3의 수평축은 속성의 상·하한 범위를 나타낸다.

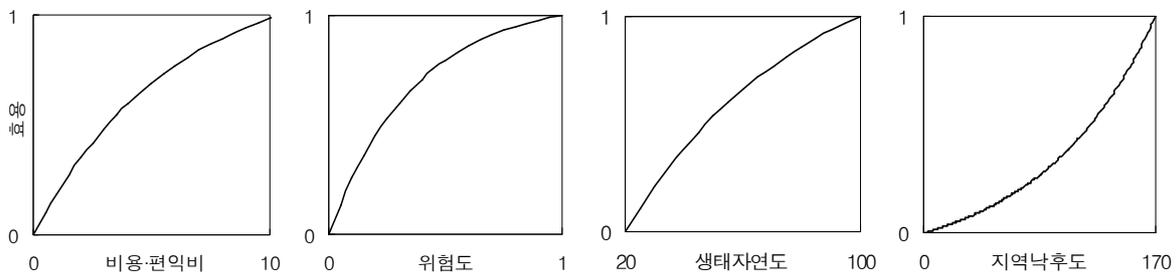


그림 3. 속성별 효용함수 곡선

3. 모형의 적용 및 결과

본 연구에서는 치수사업 의사결정모형을 「안양천유역종합치수계획(건설교통부, 2003.12)」의 유역분담 홍수방어대안들에 적용하였다. 「안양천유역종합치수계획」에서는 총 9개의 홍수방어 단위사업안을 제시하고 있으며 그림 4는 각 단위사업안들의 유역 내 위치를 나타내고 있다.

3.1 배타적 대안의 작성

유역 내 단위사업안들은 표 3과 같은 관계를 가지고 있으며, 단위사업안들의 조합으로 작성된 대안행렬로부터 상호관계를 고려하여 실행 불가능한 대안들을 제외하면 표 4와 같은 대안행렬이 구성된다. 대안행렬에서 1은 사업실행을, 0은 미실행을 나타낸다.

표 3. 단위사업안들의 상호관계

단위사업	단위사업명	사업안간 관계	사업비* (백만원)
p_1	백운저수지 홍수조절	전체와 조건부	2,666
p_2	시흥천 복개단면 확장	p_3 와 배반	2,310
p_3	시흥대로 지하저류	p_2 와 배반	7,731
p_4	목감천 방수로	p_5 와 배반	185,134
p_5	목감천 홍수조절지	p_4 와 배반	254,360
p_6	개봉2펌프장 증설	p_7 와 배반	27,204
p_7	오류IC 지하저류	p_6 와 배반	94,441
p_8	도림천 지하하천	전체와 조건부	64,200
p_9	대방천 복개단면 확장	전체와 조건부	4,813

* 연평균 사업비, 잔존가치, 연평균유지관리비를 합한 연평균 비용을 현재가치화 한 액수

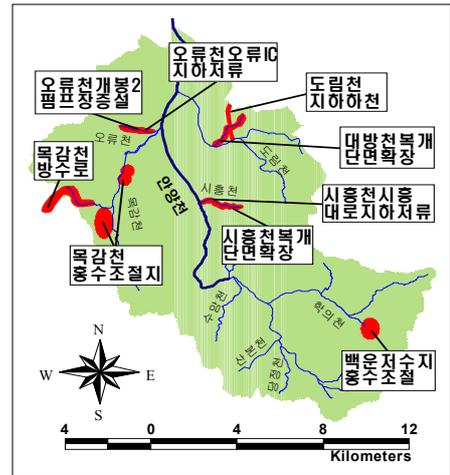


그림 4. 유역내 단위사업안 현황

표 4. 단위사업안에 의한 대안행렬 구성

대안	단위사업안									총사업비* (백만원)
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	
A_1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	396,311
A_2	1	1	0	1	0	0	1	1	1	398,543
A_3	1	1	0	0	1	1	0	1	1	399,225
A_4	1	1	0	0	1	0	1	1	1	401,457
A_5	1	0	1	0	1	0	1	1	1	401,457
A_6	1	0	1	0	1	1	0	1	1	399,225
A_7	1	0	1	1	0	0	1	1	1	398,543
A_8	1	0	1	1	0	1	0	1	1	396,311

* 대안에서 채택된 단위사업안의 사업비 합

3.2 대안의 평가

표 5는 9개의 단위사업안들의 세부평가기준별 속성값들을 나타낸 것이다. 다만 B/C는 개별 단위사업안에 대하여 구하는 것이 아니라 대안 전체의 B/C를 구하여야 하므로 편익과 비용으로 나타내었다. 표 5의 속성값들은 정량적인 값들이지만 그 자체가 선호의 정도를 나타내지는 않는다. 따라서 표 2의 효용함수에 대입하여 선호의 강도를 반영하고자 하였다.

표 5. 세부평가기준에 대한 단위사업안별 속성값

기준 \ 단위사업안	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9
편익(현재가치) ¹⁾	20,346	13,072	13,072	188,229	191,143	76,777	79,009	74,873	23,014
비용(현재가치) ²⁾	2,666	2,310	7,731	185,134	254,360	27,204	94,441	64,200	4,813
PFD ³⁾	0.520	0.600	0.600	0.670	0.670	0.630	0.630	0.740	0.550
장기간위험도	0.395	0.636	0.636	0.636	0.636	0.923	0.923	0.636	0.816
생태자연도	77	77	77	99	99	99	99	77	77
지역낙후도	33	1	1	28	18	1	1	1	1

주 1) 경제성 평가기간동안의 사업안별 연평균 피해경감기대액을 현재가치화 한 액수
 주 2) 연평균 사업비, 잔존가치, 연평균유지관리비를 합한 연평균 비용을 현재가치화 한 액수
 주 3) 안양천유역종합치수계획(건설교통부, 2003.12)에서 산정한 수정 PFD.

표 6은 이렇게 효용함수에 대입하여 계산된 부분가중치행렬 W_m 으로서 세부평가기준에 대한 대안간 가중치를 의미한다. 표 6에 의해 8개의 대안들 중에서 최선대안을 결정하기 위해서는 각 계층별로 산정한 가중치를 합성하여야 한다. 대안들의 합성가중치(composite relative weights)는 식(1)에 의해 계산되어진다.

표 6. 대안의 부분가중치행렬

기준 대안	B/C	PFD	장기간 위험도	생태 자연도	지역 낙후도
A_1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A_2	0.833	1.000	1.000	1.000	1.000
A_3	0.830	1.000	1.000	1.000	0.816
A_4	0.713	1.000	1.000	1.000	0.816
A_5	0.704	1.000	1.000	1.000	0.816
A_6	0.819	1.000	1.000	1.000	0.816
A_7	0.821	1.000	1.000	1.000	1.000
A_8	0.984	1.000	1.000	1.000	1.000

$$\vec{w}_t = W_m \vec{w}_c \quad (1)$$

여기서, \vec{w}_t : 대안들의 합성가중치 벡터

W_m : 부분가중치행렬(표 6)

\vec{w}_c : 누적가중치 벡터(표 2)

식(1)에 의해 합성가중치를 계산하면, 최선대안은 아래와 같이 A_1 임을 알 수 있다.

$$\vec{w}_t = \{1.000, 0.965, 0.949, 0.925, 0.923, 0.947, 0.962, 0.997\}$$

최선대안 A_1^* 의 단위사업안들에 대한 투자우선순위 결정 절차는 최선대안 선정의 경우와 동일하며 표 7에 계산된 우선순위를 나타내었다. 표 7에서 보면 B/C 이외의 기준들의 영향으로 투자우선순위는 B/C의 순위와 다르게 나타남을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구는 치수사업계획에 다속성의사결정기법을 도입하여 대안의 수립, 평가를 통한 최선대안 선정 및 단위사업 투자우선순위 결정을 위한 의사결정모형을 제시한 것으로 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 기존의 치수사업계획에서는 단위사업안을 조합한 대안수립의 개념이 정립되지 못하였으며, 사업의 경제성 분석에 너무 치우쳐 사회적, 정책적, 환경적인 여러 기준에 대한 평가가 고려되지 못하였다. 특히 하천(제방)사업 위주로 계획되어 유역중심 치수관리의 개념에 적합하지 않았다. 본 연구는 치수계획이 유역 내 단위사업안들로 조합된 대안들의 평가를 통해 이루어져야 한다는 점을 보여주고 있다.

2) 본 연구에서 개발한 의사결정모형은 치수사업계획시 의사결정의 전 과정을 명확히 구분함으로써 절차상으로 체계적이고 논리적인 정밀도가 높다고 할 수 있으며, 이러한 합리성이 의사결정 결과에 타당성과 신뢰성을 부여할 것이다.

3) 다속성의 평가기준에 의한 의사결정이 합리적이지만 그중 경제성분석은 여전히 중요한 부분이다. 유역단위의 치수계획을 수립하기 위해서는 다양한 단위사업안의 복합적인 경제성 평가방안에 대한 연구가 필요하다. 홍수피해를 방지하기 위해서는 구조물적 방안뿐만 아니라 비구조물적 방안을 조합하여 대안을 수립할 수 있으며, 치수경제성분석도 다양한 단위사업안과 다수의 대안을 복합적으로 고려하는 방식으로 확장하여야 한다.

4) 경제성분석 이외의 평가기준이 될 수 있는 지표에 대한 지속적 연구가 필요하며 공간적인 정밀도도 높여서 소단위유역 내에서도 대안간에 변별력을 갖게 하는 것이 중요하다. 특히, 지리정보시스템과 연계한다면 활용성을 높일 수 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 “치수사업 경제성분석 방법 연구(2004)”의 일부로서 수행되었으며 건설교통부의 지

표 7. 단위사업안간 투자우선순위

단위사업	단 위 사 업 명	가중치	우선순위	B/C 순위
p_1	백운저수지 홍수조절	0.208	1	1
p_2	시흥천 복개단면 확장	0.167	3	2
p_4	목감천 방수로	0.170	2	6
p_6	개봉2펌프장 증설	0.157	5	4
p_8	도림천 지하하천	0.134	6	5
p_9	대방천 복개단면 확장	0.164	4	3

원에 감사드립니다.

참고 문헌

건설부(1985) **하천시설기준 1985.**

건설부(1993) **하천시설기준 1993.**

건설교통부(2001) **치수사업 경제성 분석 개선방안 연구.**

건설교통부(2003) **안양천유역종합치수계획.**

건설교통부(2004) **치수사업 경제성분석 방법 연구.**

이충성, 최승안, 심명필, 김형수 (2004) 치수사업 투자우선순위 결정을 위한 의사결정모형의 개발. **2004년도 대한토목학회 정기 학술대회 논문집**, 대한토목학회.

DEFRA(2002) *Grant Aid for Flood and Coastal Defence Capital Projects.*

Goodman, A.S.(1984) *Principles of water resources planning.* Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey, U.S.A.

Thuesen, G.J., Fabrycky, W.J. (1993). *Engineering Economy.* Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey, U.S.A.