韓國水資源學會論文集
第40卷 第12號 · 2007年 12月
pp. 931~941

DOI: 10.3741/JKWRA.2007.40.12.931

AHP기법을 이용한 최적 계획하폭 선정-입천에의 적용 사례연구

Optimal Decision of River Width Work Using Analytic Hierarchy Process-Case Study of IP-Chon

이 재 문* / 이 상 일**

Lee, Jae Mun / Lee, Sang Il

Abstract

Traditionally, the decision of river width has aimed majorly at flood control and good river conveyance. And the river width has been decided by practitioner's subjective and empirical opinion. Recently, however, there is a need for more objective and thus quantitative decision method for decision of river width considering not only economical aspect but also social or environmental aspect. This study adopts the analytic hierarchy process (AHP) to improve the objectiveness in the decision of river width. Criteria and a standardized process are presented for field application. Using the proposed method, one can prioritize various river width and make the optimal decision. We believe that the method can serve as a useful tool for river engineers in practice.

keywords : River width, Decision of river width, Bank design, Analytic hierarchy process

요 지

과거 대부분 하천에 적용된 계획하폭의 결정은 통수단면적 확보 등의 치수적인 목적만 갖고 경험공식과 기술자의 주관이나 경험적 판단으로 계획하폭을 선정하여 왔다. 그러나 현재에는 사회적, 경제적, 기술적, 환경적 요소를 종합적으로 고려된 최적의 계획하폭 선정이 요구되고 있으며, 또한 계획하폭의 계산결과에 따른 하폭거리의 다양성으로 확폭 결정시 객관적이며 정량적인 해석방법이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 계획하폭 선정시 문제가 되는 주관적, 경험적 요소를 해결하기 위해 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 이용하여 최적 계획하폭을 선정하기 위한 기준 및 표준화된 절차를 제시하였다. 이는 기술자가 계획하폭을 설계함에 있어 합리적인 판단을 할 수 있도록 의사결정의 근거 자료로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 하폭, 계획하폭, 제방설계, 계층분석

1. 서 론

하천의 최적하폭의 결정은 하천이 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 대상지역의 사회적, 경제적, 기술적, 환경적 조건을 고려하여 가장 적합한 법선 위치를 결정하는 과정을 말하며, 기존의 하천형태와 홍수량, 하도형태를 기초로 법선이 통과해야 할 위치와 구조를 결정해야 하므로 공학적 판단뿐만 아니라 행정적 판단이

* 동국대학교 토목환경공학과 박사수료, 현 현대엔지니어링(주) 수자원부
Ph.D. Candidate, Dept. of Civil and Environment Eng., Dongguk Univ., Seoul 100-715 Korea
(e-mail: muni@dongguk.edu)
** 동국대학교 사회환경시스템공학과 교수, Corresponding author
Professor, Dept. of Civil and Environment Engrg., Dongguk Univ., Seoul 100-715 Korea
(e-mail: islee@dongguk.edu)

요구된다, 현재까지의 법선의 위치선정은 하천에 영향을 미칠 수 있는 다양한 사회·경제적 조건들과 공간적 분포, 그리고 제방의 신설 또는 확장이 가져올 공간적 영향에 대한 엄밀한 분석 없이 계획수립 시점에서 평면 지형도, 종·횡단도의 일부 자료에 의존하여 주관적 판단과 경험적 판단으로 계획하폭을 선정하여 왔다.

그러나 현재에는 사회적, 경제적, 기술적, 환경적 요소를 종합적으로 고려된 최적의 계획하폭 선정이 요구되고 있으며, 또한 계획하폭의 계산결과에 따른 하폭거리의 다양성으로 확폭 결정시 객관적이며 정량적인 해석방법이 필요하게 되었다.

이러한 해석방법, 즉 최선으로 만족시키는 대안을 찾기 위해서는 여러 인자들의 기준을 고려하여 다기준 의사결정 방법(Multi Criteria Decision Making, MCDM)이 이용되며, 그 중에서도 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP) 기법이 많이 사용된다.

계층분석과정은 수학적인 이론보다는 직관을 바탕으로 하기 때문에 논리가 쉽고 객관적인 평가요인 뿐만 아니라 주관적인 평가요인도 수용하는 매우 유연한 의사결정기법으로 큰 장점을 가지고 있다(Saaty, 1977). 그렇기 때문에 사업측면의 의사결정이 많은 경영학 분야에 계층분석과정이 이용되어 왔다(Zahedi, 1985; Min, 1994; 윤재곤, 1996; 정병호와 조권익, 1999). 한편 공학분야에 있어서는 Drake(1998)가 공학교육에 계층분석과정을 적용시키는 문제에 대하여, Bevilacqua와 Braglia(2000)는 정유공장에서의 유지관리 정책을 결정하는데 계층분석과정 기법을 이용했다. 수자원 분야에서는 외국의 경우, Ridgley(1993)가 가뭄시 효율적인 용수배분에, Jandric과 Srdjevic(2000)이 유고슬라비아의 Novi Sad시에 최적의 지하수 저장 공간을 찾는데, Jaber와 Mohsen(2001)이 수자원 공급에 있어서의 최적화 계층분석과정에 사용하였다.

최근에는 GIS와 계층분석과정을 통합하여 적지분석을 하는 사례들을 다수 찾아볼 수 있다(Thirumalaivasan and Karmegam, 2001).

국내 경우에는 지하댐 적지분석을 위해 댐건설 지연과 물부족을 겪고 있는 네 지역을 선정하여, 갈등을 해결하고 대안의 우선순위를 결정하는데 (이상일과 김병찬, 2003), 그리고 지표수-지하수 연계이용을 위한 적지분석에(이상일과 손상철, 2002), 하수관거 결함항목별 가중치 산정하는데(김응석 등, 2003) 계층분석과정 기법이 사용되었다. 그러나 계층분석과정이 의사결정을 지원하는 방법론으로써 매우 유용한 기법임이 입증되고 여러 학문 분야에서 다양하게 활용되고 있지만, 우리나라의 수자원분야에선 사업의 우선순위 및 적지분석에 국한되어 연구되었고 하천을 설계함에 있어 적용된 논문은 찾아보기 힘들다.

본 연구는 하천의 하폭결정시 경험적 방법과 주관적 요소 문제들을 객관적이고 정량적으로 해결하기 위하여, 다중의사결정을 지원하는 계층분석과정을 이용, 최적 계획하폭 선정을 위한 절차의 표준화 및 기준을 제시하는 것이 목적이다.

2. AHP 기법

2.1 AHP의 개념

의사결정자는 의사결정시 판단기준이 서로 상충되는 대안을 선택하여야 할 때가 있는데, 이때 AHP기법은 다수의 목적을 포함하는 의사결정시 사용되는 유용한 기법이다. 또한 판단기준이 많을 경우, 상위계급과 하위계급의 연계가 이루어질 때 주로 쓰이는 방법이다. 또한 AHP기법은 이론적 기초를 가진 경험 있는 전문가의 지도에 따라 적용될 경우에는 바람직한 의사결정 기법이 된다. AHP에 있어서 위계란 전체를 구성하는 인자들의 상호작용과 이들 인자들이 미치는 영향을 파악하기 위하여 전체구조를 추상화한 것으로써 전반적 대안으로부터 하위 단계의 대안으로 다시 하위 단계의 대안에 영향을 미치는 인자로 연결되는 형태를 갖는다. 따라서 위계구조화를 위해서 구성하는 인자들을 배열하고, 계층 내 인자 사이의 상대적 중요성을 측정하여야 한다.

2.2 의사결정 과정

2.2.1 계층도작성

AHP기법을 이용하여 문제를 해결하려면 우선 문제의 계층적 구조화, 쌍대비교, 최종 종합의 관계를 취하여 평가목표·평가기준·대안을 상호 연관되게 계층구조를 만들어야 한다(Fig. 1 참조).

계층도 작성에는 맨 위에 평가의 목표를 위치시키고, 그 아래로 대체안을 평가하기 위한 평가기준을 횡으로 나열한 다음, 평가 목표와 선으로 연결한다. 그리고 평가기준의 아래에 대안을 나열하여 평가기준의 각 요소와 선으로 연결한다.

2.2.2 쌍대비교와 선호지수 산정

쌍대비교는 "요소 i는 요소 j와 비교하여 어느 정도 중요한가?"에 대한 답으로 Table 1과 같이 보통 똑같다(equal), 약간(weak), 꽤(strong), 상당히(very strong), 절대적으로(absolute) 등으로 구별을 할 수 있다. 그러므로 설계 대안들의 평가기준 선호도를 산정할 때에는

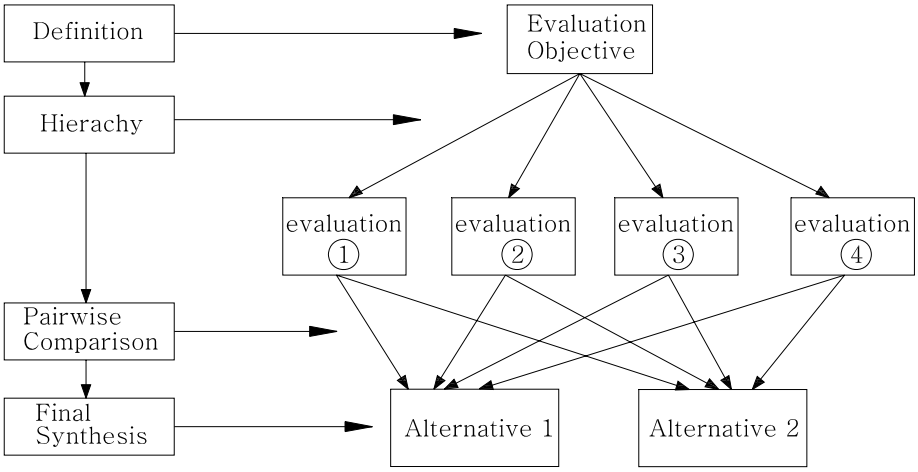

Fig. 1. Hierarchy Diagram

Table 1. Pairwise comparison

Relative Importance between elelment i & j	Intensity of importance(a_{ij})
i & j is equally important	1
i is less more important than j	3
i is strongly more important j	5
i is very more important j	7
i is absolutely more important j	9
Intermediate values between two adjacent judgements	2, 4, 6, 8

Table 2. Pairwise comparison Matrix A(a_{ij})

Item	A	B	C	D
A	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}
B	$1/a_{12}$	1	a_{23}	a_{24}
C	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	a_{34}
D	$1/a_{14}$	$1/a_{24}$	$1/a_{34}$	1

한꺼번에 전체 비교를 하기 어렵기 때문에 쌍대비교를 이용한다.

또한 좀더 정확함이 요구될 때에는 중간값을 이용할 수 있으며, 이와 같은 비교 행렬은 상황에 따라 “좋다”, “만족스럽다”, “가능성 있다”, 등으로 대체될 수 있다. 각 요소에 대한 쌍대비교 행렬은 Table 2에 나타내었다.

선호도 지수를 구하는 알고리즘은 Eq. (1)~(3)으로 설명할 수 있다. 우선, Table 2와 같이 만들어진 쌍대비교 행렬 A(a_{ij})에서 각 열에 대한 합을 구한다. 각각의 열에 대한 합을 S_i로 나타내면 Eq. (1)로 표현된다.

$$S_i = \sum_{i}^{n} a_{ij} \tag{1}$$

둘째, 열 A에서 각 요소값 a_{ij}들을 열의 합인 S_j로 나누면 Eq. (2)와 같이 V_{ij}인 행렬이 계산되며, 이를 정규화된 쌍비교 행렬 또는 정규화된 행렬이라 부른다.

$$V_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j} \tag{2}$$

셋째, 상대적 가중치를 구하기 위해 각 행별로 정규화된 가중평균을 구하면 Eq. (3)과 같다.

$$P_i = \sum_{i}^{n} \frac{V_{ij}}{n} \tag{3}$$

여기서, P_i 는 요소 i의 선호도지수라 하고, P_i 값들을 모두 더하면 ‘1’이 되어야 한다. 그리고 P_1 , P_2 , … P_i 는 선호도벡터(Priority Vector, PV)를 구성한다.

2.2.3 적합성 평가

선호도 지수를 계산하려면 일련의 쌍대비교에 일관성이 있어야 한다. 즉, 주어진 요소값에 대하여 논리적 일관성이 있는가를 조사하기 위해 일관성비율(Consistency Ratio, CR)을 평가해야한다. Saaty (1980)에 의하면 CR은 일관성지수(Consistency Index, CI)를 무작위지수(Random Index, RI)로 나눔으로써 계산되며 Eq. (4)와 같다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4}$$

여기서, CI는 행렬의 최대고유치 λ_{max}와 행렬의 크기 n으로부터 얻어지는 것으로 Eq. (5)로 나타낼 수 있다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (5)$$

또한 RI는 무작위 지수라고 하며, 1에서 9까지 정수들을 무작위로 추출하여 상반행렬을 작성한 후 일치지수를 구한 것으로, N×N 쌍대비교행렬의 무작위 지수값은 Table 3에 나타냈다. 기준에 대한 의사결정자의 판단은 일관성 비율이 10% 이하일 경우에는 양호한 결과이며, 기준에 대한 우선순위 평가는 신뢰성이 매우 높다고 볼 수 있다.

3. 적 용

3.1 최적하폭 선정 기준작성

계획하폭의 최적화 절차에서 검토되어져야 할 기준의 평가항목은 계획홍수량, 홍수위, 유속, 소류력을 만족하는 하폭의 범위내에서 사회성, 경제성, 기술성, 환경성의 1단계 평가항목을 단계별 속성으로 세분화하여 Fig. 2의 단계별 속성도에 따라 총 3단계의 최적계획하폭 선정시 고려할 평가 기준을 Table 4와 같이 유도하였으며 추후 세부 항목의 인자에 대한 연구가 필요하다.

하천의 지구별 계획하폭이 적용될 대상의 속성값을 기준으로 하여 하천의 제방별 계획하폭이 적용될 대상의 속성값을 Table 4와 Fig. 2의 평가기준 3단계를 적용하면 최적계획하폭을 결정할 수 있다. Table 4에서 제시된 인자들은 실무에 있어서 각 하천별로 조사된 세부속성 자료가 확보된다면 적용할 수 있으며, 이를 통해 제방의 최적 계획하폭을 선정할 수 있다.

최적의 계획하폭을 선정하기 위한 의사결정과정을 요약하면 Fig. 3과 같다.

3.2 상대적 중요도 작성

최적 계획하폭을 결정함에 있어 기존의 연구에서 할 수 없었던 인자간의 평가항목들을 보다 합리적이며 객관적으로 결정할 수 있었다. 따라서 하폭 선정시 선호도를 산정하여 적용하면 최적 계획하폭 선정에 효과적으로 사용 가능하다.

3.2.1 이원비교법(pairwise comparison)

이원비교법은 최적 계획하폭 선정 인자간의 상대적 중요도(Relative Importance Weights, RIW)를 산정하기 위해 모든 관련된 속성 값들에 대한 상호순위를 비교하는 방법이다. 또한 의사결정자는 상위목표, 한 단계 위의 인자와 이에 대한 속성값을 조합하여 각각의 그룹을 결정하며 결정된 모든 조합에 대하여 이원비교법을 적용한다.

3.2.2 계획하폭 선정인자간의 상대적 중요도

각각의 계층조직 요소에 지정된 상대적 중요도는 의사결정 매트릭스의 고유요소를 표준화함으로써 결정된다. 고유요소 산정(Estimated Eeigenelement, EE)은 매트릭스의 열에 해당하는 모든 요소를 곱하여 열의 요소의 개수만큼의 제곱근을 함으로써 얻어지며 Eq. (6)으로 표현된다.

Table 3. RI of N×N Pairwise comparison Matrix

N	2	3	4	5	6	7	8
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

Table 4. Evaluation Criterion for definition of optimum river width

Step 1	Sociality								Economy						Technique						Environment					
Step 2	NO. of damage for recent 5 years(time)				Distance from farmland or dwelling site(m)				Cost per 1㎡(billion)			Maintenance Cost			Shape of levee line			environment			damage or nature			damage or ecosystem		
Step 3	< 1	1 ~ 3	3 ~ 5	> 5	< 10	10 ~ 30	30 ~ 50	> 50	> 40	30 ~ 40	< 30	Unnecessariness	Ordinary	Necessariness	Reinforcement	Extension	Embankment	City	Middle	Farmland, Highland	High	Ordinary	Low	High	Ordinary	Low

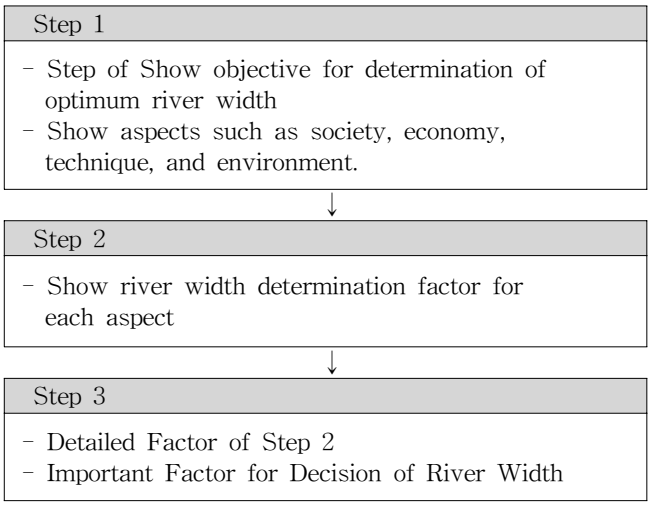

Fig. 2. Phasal Properly Diagram

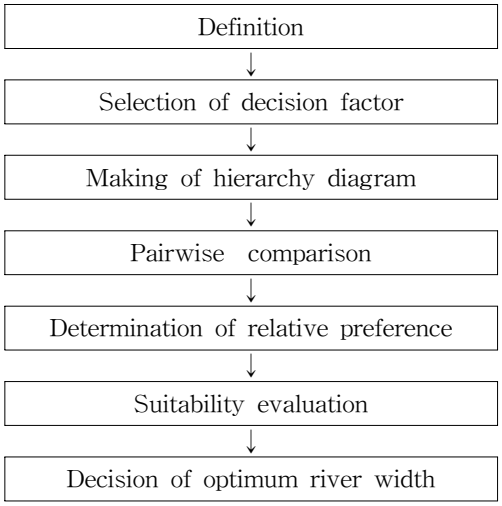

Fig. 3. Flow diagram of decision

$$EE = \sqrt[n]{A_{i1} \times A_{i2} \times \cdots \times A_m} \quad (i = 1, \cdots, n) \quad (6)$$

이때, 변수 n은 각 매트릭스 내에서 고려되는 최적 계획하폭 선정인자의 개수이며, A_m은 계획하폭 선정 인자간의 선호도이다. 계획하폭 선정 인자간 선호도의 부여는 주관적 요소를 최소화하기 위하여 하천설계기준·해설 및 수자원설계에 종사하는 35명을 선정하여 Table 5와 같이 설문조사를 실시하였으며 설문결과는 Fig. 4와 같다.

하천의 하폭을 넓힘으로써 발생할 수 있는 여러 인자들은 첫째 수리적 안정성으로 세부항목으로는 계획홍수량, 유속, 소류력, 만곡도, 계획홍수위가 있으며, 둘째 사회적으로 최근 피해횟수, 하폭되는 주변의 현황이 있으며, 경제적으로 사업비, 유지관리 필요성 유무가 있으며, 기술성으로 법선계획의 형태, 환경적으로 자연훼손, 생태계 파괴 등이 있다. 이중 첫 번째 수리적 안정성 세부항목은 계획하폭 선택의 단계 이전에 결정되어 만족하는 인자들이며, 사회성, 경제성, 기술성, 환경성의 세부항목들은 하폭을 넓힘으로써 기준이 모호하여 정량적으로 기술자가 판단이 힘든 항목들이다. 그러나 세부항목들은 하폭을 결정하는 중요한 인자이므로 본 연구에서는 이런 단점을 보완하여 세부항목의 모호성을 명확성과 객관성을 제시하기 위해 판단기준을 낮음, 보통, 높음 등으로 구분하여 설문을 통하여 인자의 객관성을 검증하였으며 세부항목의 각 인자를 평균하여 중요도 Table 6, 7, 8로 나타내었으며, 중요도를 이용하여 *EE*를 계산하였다. *EE* 값은 Table 6, 7, 8에 나타내었다. *EE*값의 표준화 방법은 *EE*요소들의 합으로 각각의 요소를 나누어 얻어진다. 상대적 중요도는 *EE*의 합에 대한 각 고유요소의 비가 각 인자의 상대적 중요도가 되며, 선호도가 좋을수록 해당인자의 상대적 중요도는 높아진다.

Table 5. Questionnaire for Relative Importance evaluation

Item	Absolute		Very strong		Strong		Weak		Equal		Weak		Strong		Very strong		Absolute	Item
Society	⑨	⑧	❼	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Economy
Society	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Technique
Society	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Environment
Economy	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Technique
Economy	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Environment
Technique	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	Environment

※ 하천정비시 계획하폭을 선정할 때의 사회성과 경제성을 비교하여 사회성이 경제성 보다 매우 중요하다고 생각하시면 위와 같이 기입하면 됩니다.

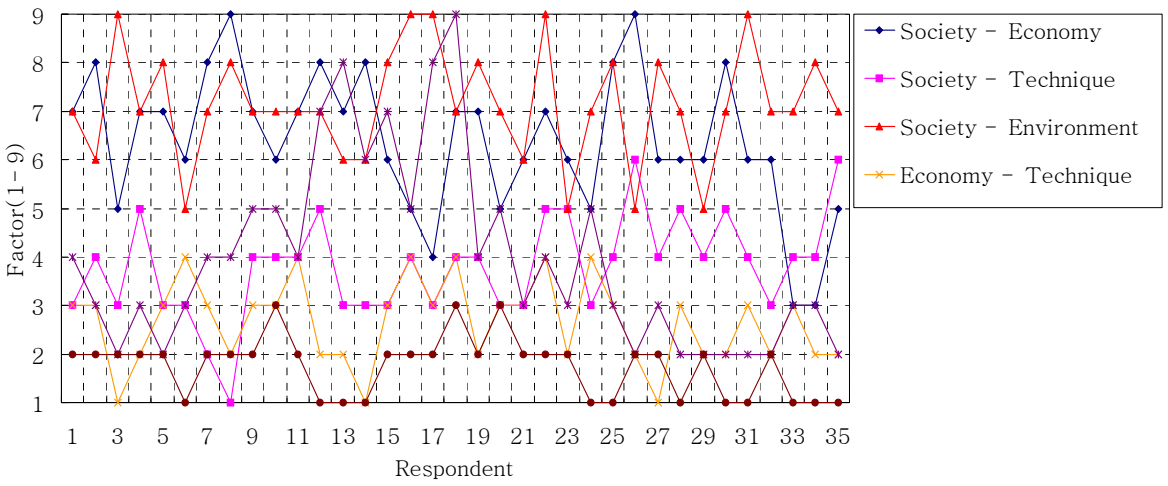

Fig. 4. Survey results of preference to the aspect of Sociality, Economy, Technique, Environment

계획하폭 선정인자간의 상대적 중요도를 산정하기 위해 쌍대비교를 통해 인자들 간의 선호도를 계량화된 수치로 Table 6, 7, 8에 단계별 선호도 매트릭스에 표현하였으며, 최적 계획하폭 선정시 기준이 된다.

Table 6. Preference or Relative Importance of 1st step factor

Step 1-Factor		Pairwise Comparison Matrix				*EE*	*RIW*
Weighty		Society	Economy	Technique	Environment		
	Society	1.00	6.40	3.80	7.14	3.63	0.628
	Economy	0.16	1.00	2.66	3.97	1.13	0.196
	Technique	0.26	0.38	1.00	1.74	0.64	0.111
	Environment	0.14	0.25	0.57	1.00	0.38	0.065

Table 7. Preference or Relative Importance of 2nd step factor

Step 2-Factor		Pairwise Comparison Matrix		*EE*	*RIW*
Society		No. of damage for recent 5years	Distance from farmland or dwelling site		
	No. of damage for recent 5years	1.00	0.18	0.43	0.154
	Distance from farmland or dwelling site	5.50	1.00	2.35	0.846
Economy		Cost per 1㎡	Maintenance Cost		
	Cost per 1㎡	1.00	0.17	0.41	0.145
	Maintenance Cost	5.92	1.00	2.43	0.855
Technique		Shape of levee line	Environment		
	Shape of levee line	1.00	5.40	2.32	0.844
	Environment	0.19	1.00	0.43	0.156
Environment		Damage of nature	Damage of ecosystem		
	Damage of nature	1.00	0.19	0.44	0.158
	Damage of ecosystem	5.40	1.00	2.32	0.842

Table 8. Preference or Relative Importance of 3nd step factor

Step 3-Factor	Pairwise Comparison Matrix				*EE*	*RIW*
No. of damage for recent 5years	< 1(Time)	1 ~ 3(Time)	3 ~ 5(Time)	> 5(Time)		
< 1(Time)	1.00	0.28	0.19	0.13	0.29	0.047
1 ~ 3(Time)	3.57	1.00	0.22	0.14	0.58	0.095
3 ~ 5(Time)	5.26	4.55	1.00	0.35	1.70	0.279
> 5 (Time)	7.69	7.00	2.86	1.00	3.52	0.578
Distance from farmland or dwelling site	< 10 m	10 ~ 30	30 ~ 50	> 50 m		
< 10 m	1.00	0.27	0.18	0.13	0.28	0.046
10 ~ 30	3.70	1.00	0.21	0.14	0.57	0.094
30 ~ 50	5.56	4.76	1.00	0.36	1.76	0.287
> 50 m	7.69	7.14	2.78	1.00	3.51	0.574
Cost per 1㎡	> 4(Billion)	3 ~ 4(Billion)	< 3(Billion)			
> 4(Billion)	1.00	0.39	0.23		0.45	0.115
3 ~ 4(Billion)	2.56	1.00	0.26		0.87	0.225
< 3(Billion)	4.35	3.85	1.00		2.56	0.659
Maintenance Cost	Unnecessariness	Ordinary	Necessariness			
Unnecessariness	1.00	0.50	0.22		0.48	0.119
Ordinary	2.00	1.00	0.21		0.75	0.187
Necessariness	4.55	4.76	1.00		2.79	0.694
Shape of levee line	Reinforcement	Extension	Embankment			
Reinforcement	1.00	0.37	0.23		0.44	0.111
Extension	2.70	1.00	0.23		0.85	0.216
Embankment	4.35	4.35	1.00		2.66	0.673
Environment	City	Middle	Farm land, Highland			
City	1.00	0.40	0.19		0.42	0.099
Middle	2.50	1.00	0.18		0.77	0.179
Farm land, Highland	5.26	5.56	1.00		3.08	0.721
Damage of nature	High	Ordinary	Low			
High	1.00	0.44	0.19		0.44	0.103
Ordinary	2.27	1.00	0.18		0.74	0.174
Low	5.26	5.56	1.00		3.08	0.723
Damage of cosystem	High	Ordinary	Low			
High	1.00	0.38	0.50		0.57	0.177
Ordinary	2.63	1.00	0.56		1.14	0.351
Low	2.00	1.79	1.00		1.53	0.472

계획하폭 평가시 주관적 선호도를 정성적이고 정량적으로 표현하기 위해 각 인자들을 쌍대비교 행렬을 이용하여 이원 비교하였다. 행렬의 대각선 요소는 모두 "1"이 되며, 대각선을 기준으로 위아래의 상대적 중요도가 역수로 상반되는 선호도를 갖는다. 이렇게 결정된 계획하폭별 선정 인자의 *RIW* 값을 계층적 구조로 표현하면 Table 9와 같다.

주어진 요소값에 대하여 논리적 일관성이 있는가를 조사하기 *CR*을 평가했으며, 그 결과는 Table 10와 같이 안정성, 경제성, 기술성, 친환경성의 *CR*값이 모두 10% 이내의 값으로 나타나 논리적으로 일관성이 있는 것으로 분석되었다.

Table 9. RIW Value for Each Step

Step 1		Step 2		Step 3	
Item	RIW	Item	RIW	Item	RIW
Society	0.628	No. of damage for recent 5years	0.333	< 1(Time)	0.047
				1 ~ 3(Time)	0.095
				3 ~ 5(Time)	0.279
				> 5 (Time)	0.578
		Distance from farmland or dwelling site	0.667	< 10 m	0.046
				10 ~ 30	0.094
				30 ~ 50	0.287
				> 50 m	0.574
Economy	0.196	Cost per 1㎡	0.800	> 4(Billion)	0.115
				3 ~ 4(Billion)	0.225
				< 3(Billion)	0.659
		Maintenance Cost	0.200	Unnecessariness	0.119
				Ordinary	0.187
				Necessariness	0.694
Technique	0.111	Shape of levee line	0.667	Reinforcement	0.111
				Extension	0.216
				Embankment	0.673
		Environment	0.333	Downtown	0.099
				Middle	0.179
				Farm land, Highland	0.721
Environment	0.065	Damage of nature	0.667	High	0.103
				Ordinary	0.174
				Low	0.723
		Damage of ecosystem	0.333	High	0.177
				Ordinary	0.351
				Low	0.472

Table 10. CI & CR Value for Each River Width

Item	Society		Economy		Technique		Environment		Remarks
	No. of damage for recent 5years (time)	Distance from farmland or dwelling site(m)	Cost per 1㎡ (billion)	Main-tenance Cost	Shape of levee line	Environment	Damage of nature	Damage of ecosystem	
CI	0.074	0.079	0.037	0.031	0.055	0.053	0.032	0.041	Satisfaction
CR	0.082	0.088	0.065	0.053	0.096	0.091	0.056	0.070	< 0.1

3.3 적합도

적합도(Suitability Index, SI)는 하천제방에 법선을 계획할 때 가장 최적의 계획하폭이 적합한 정확도를 종합적으로 나타낸다. 적합도 산정식은 계층조직이 3단계이므로 Eq. (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SI=\sum_{i=1}^{n}[RIW_i \cdot \sum_{j,k=1}^{m}(RIW_j \cdot RIW_k)] \quad (7)$$

적합도는 그 값이 높을수록 최적 계획하폭에 적합함을 의미한다. 여기서 RIW_i는 1단계, RIW_j는 2단계, RIW_k는 3단계의 상대적 중요도를 나타내며, n는 1단계의 인자의 개수, m은 2, 3단계의 인자의 개수를 나타낸다.

3.4 계획하폭의 최적선정 적용

전절에서 설명한 AHP기법을 이용한 최적계획하폭을 선정하기위한 절차는 첫째 적용하기 위한 대상을 선정,

둘째 하폭을 결정하는 인자들에 대한 설문조사 및 통계, 셋째 각각의 계층의 고유요소 산정, 넷째 각 인자간의 상대적 중요도 및 경중률 산정, 다섯째 주여진 요소값에 대한 논리적 일관성 검증, 여섯째 최적화할 하천의 하폭별의 인자값을 구함, 일곱째 하폭별 적합도를 계산하여 순위를 결정한다.

3.4.1 적용대상 위치

AHP기법을 이용한 최적 계획하폭을 결정하기 위한 절차를 제시하기 위한 대상은 전라남도 장성군에 위치한 입천으로 섬진강 합류점을 기점으로 상류로 1,457m의 축제구간으로 위치도와 계획단면은 Fig. 5와 같다.

3.4.2 계획하폭별 선정인자 결정 및 결과

입천 종점의 유역면적은 33.22 ㎢ , 하상경사는 0.0027, 개수전 하폭은 45 m ~ 53 m, 계획홍수량은 374 ㎥/sec 이다. 입천 하류의 제방에 적용 가능한 계획하폭을 하천설계기준의 홍수량에 따른 계획하폭 기준과 대하천공식, 중소하천공식을 이용하여 계산한 결과 홍수량, 유속, 소류력, 계획홍수위 등의 수리적으로 안정한 하폭을 60 m(A안), 68 m(B안), 75 m(C안)의 3가지 안으로 구분하였으며, 각 계획하폭별 공사비, 계획홍수위 및 계획제방고는 Table 11과 Table 12에 나타내었다.

사업비 및 개수후 수위를 근거로 작성한 각 안별 속성값은 Table 13에 나타내었다.

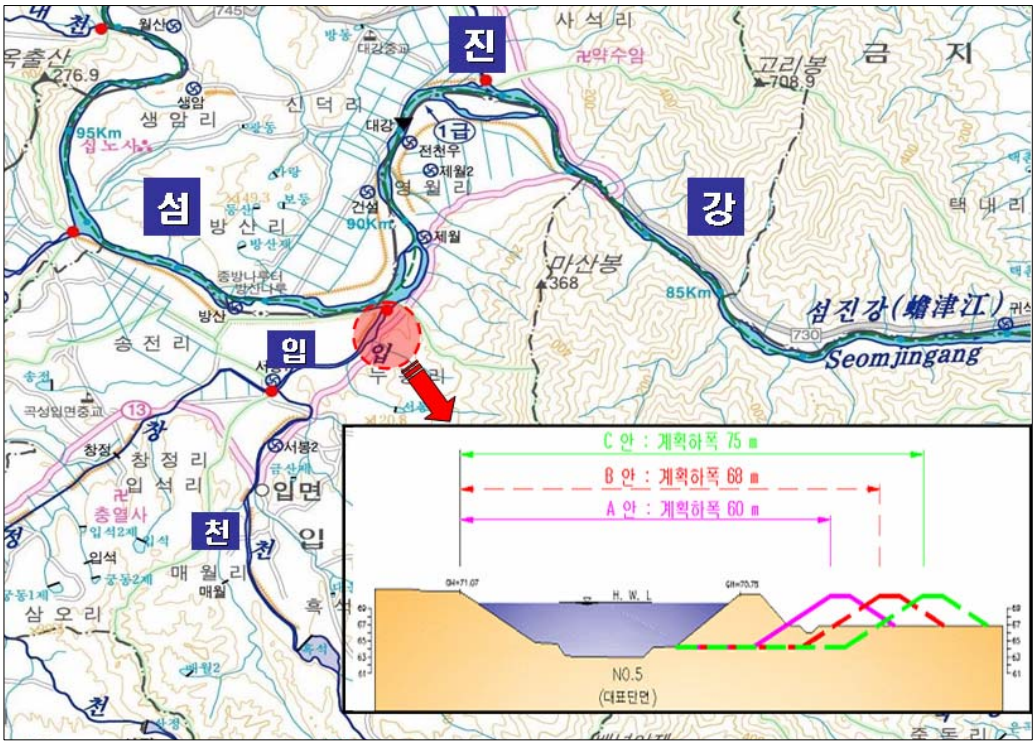

Fig. 5. Location and Cross Section

Table 11. Cost Calculation for Each River Width

Unit(One Million Won)

Item	River Width 60 m (Case A)	River Width 68 m (Case B)	River Width 75 m (Case C)
Cost of Banking	241.7	231.9	231.9
Cost of Cutting	166.4	214.0	259.0
Cost of Land Compensation	1,797.9	2,963.5	3,983.4
Summation	2,206.0	3,409.4	4,474.4

※ 성토단가(4,200 원/㎥), 절토단가(1,700 원/㎥), 용지보상비(100,000 원/㎡)

Table 12. H.W.L. & F.H. for Each River Width

Number (No.)	River Width 60 m(Case A)		River Width 68 m(Case B)		River Width 75 m(Case C)	
	H.W.L.(EL.m)	F.H.(EL.m)	H.W.L.(EL.m)	F.H.(EL.m)	H.W.L.(EL.m)	F.H.(EL.m)
0	69.21	70.01	69.21	70.01	69.21	70.01
1	69.21	70.01	69.21	70.01	69.21	70.01
2	69.21	70.01	69.21	70.01	69.21	70.01
3	69.24	70.04	69.24	70.04	69.24	70.04
4	69.25	70.05	69.25	70.05	69.25	70.05
5	69.32	70.12	69.32	70.12	69.30	70.10
6	69.38	70.18	69.38	70.18	69.34	70.14
7	69.43	70.23	69.43	70.23	69.38	70.18
7+10	69.53	70.33	69.52	70.32	69.47	70.27

※ H.W.L. : High Water Level, F.H. : Formation Height

Table 13. Preperty Value of Factor for Each River Width

River Width	Society		Economy		Technique		Environment	
	No. of damage for recent 5years	Distance from farmland or dwelling site	Cost per 1㎡	Main-tenance Cost	Shape of levee line	Environ ment	Damage of nature	Damage of ecosystem
Case A	2.0	< 10 m	< 30(Billion)	Necessari ness	Embankment	Middle	Low	Low
Case B	2.0	10m ~ 30m	30 ~ 40	Ordinary	Embankment	Middle	Ordinary	Ordinary
Case C	2.0	10m ~ 30m	> 40(Billion)	Ordinary	Extension	Middle	High	High

최적 계획하폭에 필요한 인자로써 Table 9에서 제시했던 1, 2, 3단계 인자의 *RIW*를 각 하폭의 안별 속성값(Table 13)을 Eq. (7)에 적용한 결과, 각 계획하폭별 적합도 계산식 및 적합도는 Table 14와 같다.

적합도 값이 클수록 최적의 계획하폭이므로 적용대상인 입천의 최적계획하폭은 Table 15와 같이 적합도의 최우선 순위인 하폭 68 m(B 안)가 가장 적합하고 최적의 계획하폭으로 분석되었다.

Table 14. Suitability of Three Cases

Item	Calculation	*SI*
Case A	[{(0.154×0.095)+(0.846×0.046)}×0.628]+[{(0.145×0.659)+(0.855×0.119)}×0.196]+ [{(0.844×0.673)+(0.156×0.179)}×0.111]+[{(0.158×0.723)+(0.842×0.177)}×0.065]=	0.80
Case B	[{(0.154×0.095)+(0.846×0.094)}×0.628]+[{(0.145×0.225)+(0.855×0.187)}×0.196]+ [{(0.844×0.673)+(0.156×0.179)}×0.111]+[{(0.158×0.174)+(0.842×0.351)}×0.065]=	0.83
Case C	[{(0.154×0.095)+(0.846×0.094)}×0.628]+[{(0.145×0.115)+(0.855×0.187)}×0.196]+ [{(0.844×0.216)+(0.156×0.179)}×0.111]+[{(0.158×0.103)+(0.842×0.472)}×0.065]=	0.44

Table 15. Ranking List(*SI*) for Each River Width

Item \ River Width	River Width 60 m (Case A)	River Width 68 m (Case B)	River Width 75 m (Case C)
SI	0.80	0.83	0.44
Rank	2	1	3

4. 결 론

하천의 최적계획하폭 선정시 필요한 자료들의 선호도를 산정하기 위해 AHP기법을 이용하여 다중인자들을 정량화한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 과거 기술자의 주관적 판단으로 결정하던 계획하폭을 다중인자들의 선호도를 산정하여 보다 합리적으로 객관화함으로써 최적 계획하폭을 선정할 수 있었다.

2) 계층으로 조직화된 최적계획하폭 선정은 다중인자들을 하폭의 사회성, 경제성, 기술성, 환경성을 고려하여 수학적이고 체계적인 방법에 의해 수치화하여 계획하폭 최적화시 고려되어져야 할 총 3단계 8가지 인자를 도출하였다.

3) 전라남도 장성군 입천의 계획하폭을 분석한 결과, 확폭 가능한 60 m(A안), 68 m(B안), 75 m(C안)가 있으며, AHP기법을 적용한 결과 68 m(B안)가 최적의 계획하폭으로 선정되었다.

4) 본 연구의 평가기준 및 항목으로 하천 전체의 계획하폭을 선정하기 어려우며, 본론에서 제시된 절차를 이용하여 설문조사를 충분히 한다는 전제하에 입천이 아니 다른 하천에 적용하면 최적의 계획하폭이 채택될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(3-4-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

김응석, 이정호 김중훈 (2003), 계층분석기법을 이용한 하수관거 결함항목별 가중치 산정, **상하수도학회지**, Vol. 17, No. 2, pp. 277-290.

윤재곤 (1996). AHP 기법의 적용효과 및 한계 점에 관한 연구(MIS 성공요인평가를 위한 3가지 통계기법 비교중심), **한국경영과학회지**, 제21권, 제3호, pp. 109-124.

이상일, 김병찬 (2003). 계층분석과정을 이용한 지하댐 적지분석, **한국지하수토양환경학회지**, Vol. 8, No. 4, pp. 36-44

이상일, 손상철 (2002). 계층분석과정에 의한 지표수-지하수 연계이용 적지분석, **한국지하수토양환경학회 춘계학술대회논문집**, pp. 307-310.

정병호, 조권익 (1999). 대형공사의 최적입찰자선정을 위한 계층분석과정(AHP) 모형의 개발, **경영과학**, 제16권, 제1호, pp. 75-85.

한국수자원학회 (2005). **하천설계기준 · 해설**

Bevilacqua M. and Braglia, M. (2000). "The Analytic Hierarchy Process Applied to Maintenance Strategy Selection." *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 70, pp. 71-83.

Drake, P. R. (1998). "Using the Analytic Hierarchy Process in Engineering Education." *Int. J. Engng. Ed.,* Vol. 14, No. 3, pp. 191-196.

Min, H. (1994). "Location Analysis of International Consolidation Terminals Using the Analytic Hierarchy Process," *Journal of Business Logistics,* Vol. 15, No. 2, pp. 25-45.

Jaber, J. O. and Mohsen, M. S. (2001). "Evaluation of Non-conventional Water Resources Supply in Jordan." *Desalination*, Vol. 136, No. 1-3, pp. 83-92.

Jandric, Z. and Srdjevic, B. (2000). "Analytic Hierarchy Process in Selecting Best Groundwater Pond," *Proc. of 31st International Geological Congress, Riode Janeiro, Brasil.*

Ridgley, M. A. (1993). "A Multicriteria Approach to Allocation Water During Drought." *Resource Management and Optimization*, Vol. 9, No. 2, pp. 135-149.

Saaty, T. L. (1977). "A scaling method for priorities in hierarchical structures." *Journal of Mathematical Psychology*, Vol.15, pp.234-281.

Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.

Thirumalaivasan, D. and Karmegam, M. (2001). "Aquifer Vulnerability Assessment Using Analytic Hierarchy Process and GIS for Upper Palar Warershed." *The 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore.*

Zahedi, F. (1985). "Data-Base Management System Evaluation and Selection Decision." *Decision Science,* Vol. 16, No. 1, pp. 91-109.

(논문번호:07-65/접수:2007.07.12/심사완료:2007.11.08)