

계층분석과정을 이용한 최적 호안공법 선정

Optimal Design of Bank Protection Work Using Analytic Hierarchy Process

이재문* / 이상일**

Lee, Jae Mun / Lee, Sang Il

Abstract

Bank protection is a structure constructed to protect directly embankment breakage and erosion by river flow. Traditionally, the type of bank protection has been decided by practitioner's subjective and empirical judgement, which often causes problems after construction. Recently, however, it becomes important to consider not only physical protection but also environment. Various types of bank protection for environment-friendly river are now available. Thus, there is a need for more objective and quantitative decision method for bank protection work. This study adopts the analytic hierarchy process (AHP) to improve the objectiveness in the decision of bank protection work. Criteria for stability, economy, construction, environment are identified and a standardized process is presented for field application. With the proposed method, one can prioritize various bank protection works and make the optimal decision. We believe that the method can serve as a useful tool for river engineers in practice.

keywords : Revetment, Bank protection work, Levee, AHP

요지

하천의 호안은 제방 또는 호안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 보호하기 위한 구조물로서 과거에는 치수 목적만 갖고 기술자의 주관이나 경험적 판단에 기초해 공법을 선정함으로써 시공 후 여러 문제점들이 발생하였다. 그러나 현재는 치수뿐만 아니라 환경적 측면이 강조되면서 자연형 호안이 필요하게 되고, 호안종류가 다양해져 호안 공법 선정시 보다 객관적이고 정량적인 해석방법이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 호안공법 선정시 기존의 방법에서 문제가 되었던 주관적, 경험적 요소를 최대한 배제하기 위해 안정성, 경제성, 시공성, 친환경성에 대한 세부기준 및 표준화 절차를 제시하고, 최적호안공법 선정에 계층분석과정을 도입하였다. 이로써 실무에서 최적의 호안공법을 선택함에 있어 보다 객관적이고 합리적인 판단의 수단을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 호안, 호안공법, 제방, 계층분석과정

* 동국대학교 토목환경공학과 박사수료, 현 현대엔지니어링(주) 수자원부 과장
Ph.D. Candidate, Dept. of Civil and Environment Engrg., 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)

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

호안은 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위해 제방 앞비탈에 설치하는 구조물이다. 과거 우리나라의 대부분 하천에서는 호안 공법 선정 시에 제방붕괴 방지 등의 치수목적만 갖고 사용재료의 확보 및 구입 용이성, 공사기간 단축 및 공사비의 절감, 호안공법의 시공상 용이성, 유수에 의한 조도, 세굴에 대한 탄력성, 내마모성, 내구성 등을 고려하여 기술자의 주관적 판단과 경험적 판단으로 호안을 선정하여 왔다. 그러나, 현재의 호안은 치수목적만 만족하는 기존의 콘크리트 호안이 아닌 친수성, 생태계 보전, 경관보전의 목적을 만족시킬 수 있는 자연형 호안의 선정이 요구되고 있다. 또한 호안의 종류가 다양해져 호안공법을 선정하는 과정에서 객관적이고 정량적인 해석방법이 필요하게 되었다. 최근 호안공법에 관한 연구를 살펴보면 치수 안정성과 환경성을 고려한 새로운 식생호안 공법의 적용(이동섭 등, 2007), 전과정 평가에 의한 하천호안공법의 환경성 평가(김국일과 안원식, 2007), 자연친화적 하천정비를 위한 호안평가 기법 개발(김윤환 등, 2007) 등의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 연구는 해석적 설계방법의 일환으로 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 적용해 최적 호안공법을 찾는 방법에 관한 것이다.

1.2 AHP의 연구동향

Saaty(1977)에 의해 처음 소개된 계층분석과정은 논리가 쉽고 객관적 평가요인뿐 아니라 주관적 요인도 포함하는 편리한 의사결정방법으로, 외국에서는 의사결정이 많이 필요한 경영학 및 경제학 분야에 많이 이용되었다(Zahedi, 1985). 수자원 분야에서도 가뭄시 효율적 용수배분에(Ridgley, 1993), 최적의 지하수 저장공간 확보(Jandric and Srdjevic, 2000), 수자원 공급방식의 최적화(Jaber and Mohsen, 2001) 등에 계층분석과정을 사용하였다.

국내 수자원 분야의 경우에는 가뭄시 용수배분의 우선순위 결정(이현재와 심명필, 2002), 하천의 중요도 판단(박태선, 2002), 지하댐 적지분석(이상일과 김병찬, 2003), 도시유출시스템에서 불명수량 산정(이정호 등, 2004), 하천의 최적하폭을 결정(이재문과 이상일, 2007) 등에 계층분석과정이 이용되었다.

본 연구는 여러 학문분야에서 다양하게 활용되고 의사결정을 지원하는 방법론으로 매우 유용한 기법으로

입증된 계층분석과정을 이용하여 종래 호안공법 선정시 경험□주관적 방법으로 선택되던 문제점들을 보완하고 최적의 호안공법을 선정하기 위한 절차를 표준화하고 및 기준을 제시하고자 한다.

2. 계층분석과정기법의 이론적 고찰

2.1 AHP의 개념

AHP는 의사결정의 모든 과정을 단계별로 분류 한후 판단기준이 서로 상충되는 대안을 분석함으로써 다수의 목적을 포함하는 의사결정시 최적의 의사결정을 할 수 있는 기법이다. 또한 판단기준이 많을 경우, 각 기준별로 위계, 즉 상위계층과 하위계층의 연계가 이루어질 때 주로 쓰이는 방법이다. AHP에 있어서 위계란 전체를 구성하는 인자들의 상호작용과 이들 인자들이 미치는 영향을 파악하기 위하여 전체구조를 추상화한 것으로서, 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 AHP의 분석과정

AHP 해석과정은 4단계로 구분할 수 있다. 첫 번째 단계는 최적의 목표값에 관계되는 중요한 요소들을 찾아내어 동일한 집단끼리 분류하고 구분하여 보다 논리적으로 계층을 구성하는 일이다. 두 번째 단계는 문제별 쌍대비교, 세 번째 단계는 요소들 간의 비교를 통하여 동일 계층내에 있는 요소들의 중요도를 산출하는 과정이다. 마지막 단계는 선호도 지수를 산출하여 논리적 일관성을 검증하는 과정이다.

2.2.1 문제설정 및 계층도 작성

의사결정을 해야 할 문제를 계획하고 각 문제의 구성요소를 계층화하는 단계로, 문제의 계층적 구조화, 쌍대비교, 최종 종합의 관계를 취하여 서로 비슷한 특징끼리 묶고 또는 분류하여 평가목표□평가기준□대안을 상호 연관되게 Fig. 1과 같이 계층화하여 계층도를 만들어야 한다.

2.2.2 요소별 쌍대비교

쌍대비교(Pairwise Comparison)는 구성요소의 특징별로 상대적 영향측면에서 한 쌍씩 비교되는데 두 요소를 비교하는 방법은 요소 i 는 요소 j 와 비교하여 어느 정도 중요한가?에 대한 답으로 Table 1과 같이 보통 똑같다(equal), 약간(slight), 꽤(quite), 매우(very),

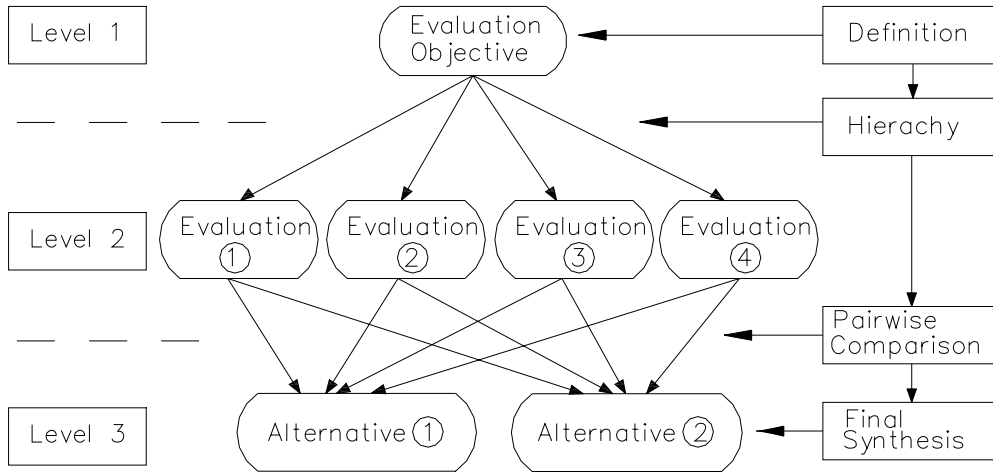


Fig. 1. Hierarchy Diagram

Table 1. Pairwise Comparison

Relative importance between element i & j	Intensity of importance(a_{ij})
i and j are equally important	1
i is slightly more important than j	3
i is quite 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

절대적으로(absolute) 등으로 구별된 척도로 1에서 9까지의 점수를 사용한다. 더욱 정확함이 요구될 때에는 중간값을 이용할 수 있으며, 이와 같은 비교 행렬은 상황에 따라 좋다, 만족스럽다, 가능성 있다 등으로 표현될 수 있다.

2.2.3 문제별 가중치의 산정

문제별 쌍대비교값을 행렬로 배열하고 이로부터 문제별 가중치를 산정하는 과정으로 Table 2와 같이 만들어진 쌍대비교 행렬 $A(a_{ij})$ 을 작성하고 행렬의 최대고유치 λ_{max} 를 구한다.

즉, Eq. (1)와 같이 $n \times n$ 정방행렬 $[A]$ 와 $n \times 1$ 가중치행렬 $[W]$ 를 곱하면 새로운 $n \times 1$ 벡터행렬 $[Y]$ 가 얻어지며

$$[A] \times [W] = [Y] \quad (1)$$

Eq. (2)와 같이 $[Y]$ 의 구성요소 $Y_1 \dots Y_n$ 과 가중치 $W_1 \dots W_n$ 을 이용하여 λ_{max} 를 구한다.

$$\begin{aligned} & (Y_1/W_1 + Y_2/W_2 + Y_3/W_3 + \dots + Y_n/W_n)/n \\ & = \lambda_{max} \end{aligned} \quad (2)$$

2.2.4 일관성의 평가

선호도 지수의 값이 객관성이 갖기 위해서는 일련의 쌍대비교에 일관성이 있어야 한다. 즉, 주어진 요소값에 대하여 논리적 일관성이 있는가를 조사하기 위해 일관

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

	Element 1	Element 2	Element 3	Element 4
Element 1	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}
Element 2	$1/a_{12}$	1	a_{23}	a_{24}
Element 3	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	a_{34}
Element 4	$1/a_{14}$	$1/a_{24}$	$1/a_{34}$	1

Table 3. Random Index (*RI*) of $n \times n$ Pairwise Comparison Matrix

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8
<i>RI</i>	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41

성비율(Consistency Ratio, *CR*)을 평가해야 한다. *CR*를 구하는 방법은 일관성지수(Consistency Index, *CI*)로부터 시작한다. *CI*는 행렬의 최대고유치 λ_{max} 와 행렬의 크기 *n*으로부터 얻어지는 것으로 Eq. (3)로 나타낼 수 있다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

다음, *CR*은 *CI*를 무작위지수(Random Index, *RI*)로 나눔으로써 계산되며 Eq. (4)와 같다.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

여기서, *RI*는 1부터 9까지 정수들을 무작위로 추출하여 상반행렬을 작성한 후 일치지수를 구한 것으로, $n \times n$ 쌍대비교행렬의 무작위지수는 Table 3에 나타났다.

기준에 대한 의사결정자의 판단은 일관성 비율이 10% 이하일 경우에는 양호한 결과이며, 기준에 대한 우선순위 평가는 신뢰성이 매우 높다고 볼 수 있다.

3. 호안공법 선정에의 적용

3.1 호안공법 선정 기준작성

호안공법의 최적화 절차 중 제일 중요한 것은 평가 기준을 작성하는 것이다. 본 논문에서는 실무에서 호안공법을 선정시 중요시되는 안정성, 경제성, 시공성, 친환경성을 단계별 속성으로 세분화하여 Fig. 2의 단계별 속성도에 따라 Table 4와 같이 유도하였다.

하천의 지구별 속성값을 기준으로 하여 하천의 제방별 속성값을 Table 4에 의거하여 판단한다. Table 4에서 제시된 인자들은 실무에 있어서 각 하천별로 조사된 세부속성 자료가 확보된다면 알 수 있으며, 이를 통해 제방의 최적 호안공법을 선정할 수 있다.

3.2 상대적 중요도 작성

앞서 호안공법 선정을 위해 기존의 관례에서는 고려할 수 없었던 평가항목들을 보다 합리적이며 객관적으로 포함할 수 있음을 보였다. 이제 인자들 간의 상대적

중요도를 결정하는 방법에 대해 논하기로 한다.

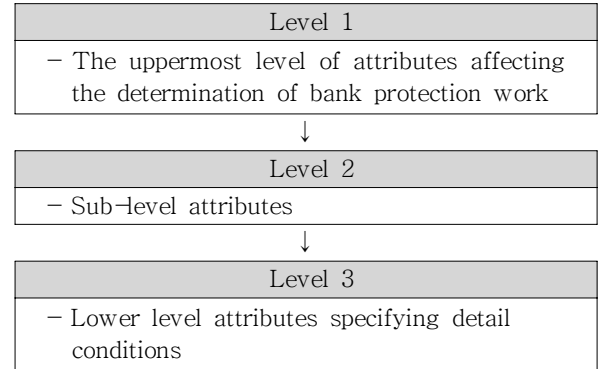


Fig. 2. Phase Property Diagram

3.2.1 쌍대비교

호안공법 선정 인자간의 상대적 중요도(Relative Importance Weights, *RIW*)를 산정하기 위해 모든 관련된 속성 값들에 대한 상호순위를 비교하기 위해 쌍대비교를 수행한다. 의사결정자는 상위목표, 한 단계 위의 인자와 이에 대한 속성값을 조합하여 각각의 그룹을 결정하며 결정된 모든 조합에 대하여 쌍대비교를 적용한다.

3.2.2 호안공법 선정인자간의 상대적 중요도

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

$$EE = \sqrt[n]{A_{i_1} \times A_{i_2} \times \dots \times A_{i_n}} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (6)$$

이때, 변수 *n*은 각 매트릭스 내에서 고려되는 호안공법 선정인자의 개수이며, A_{i_n} 은 호안공법선정 인자간의 선호도이다. 선호도의 부여에는 주관적 요소를 최소화하기 위해 하천설계에 종사하는 전문가 35명을 대상으로 한 설문조사(Table 5) 결과를 반영하였다. 시공성, 경제성 보다는 안정성을 중요시하며, 안정성보다는 친환경성을 더 선호하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

Table 4. Criteria for Evaluation of Optimal Bank Protection Work

Level 1	Level 2	Level 3
Stability	Allowable water velocity (m/sec)	< 1
		1 ~ 3
		3 ~ 5
		> 5
	Permissible tractive force (kg/m ²)	< 10
		10 ~ 30
		30 ~ 50
		> 50
Economy	Construction cost per 1m ² (Won)	> 100,000
		50,000 ~ 100,000
		< 50,000
	Maintenance & management	Necessary
		Moderate
		Unnecessary
Construction	Ease of material acquisition	Within 10 km
		10 ~ 20 km
		More than 20 km
	Construction work	Complex
		Moderate
		Simple
Environment	Landscape	Bad
		Fair
		Good
	Use of environment-friendly material	Bad
		Fair
		Good

Table 5. Questionnaire for Relative Importance Evaluation

Item	Absolute	Very	Quite	Slight	Equal	Slight	Quite	Very	Absolute	Item
Stability	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	Economy
Stability	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	Construction
Stability	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	Environment
Economy	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	Construction
Economy	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	Environment
Construction	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	Environment

호안공법 선정인자간의 상대적 중요도를 산정하기 위해 쌍대비교를 통해 인자들 간의 선호도를 계량화된 수치로 Table 6~8에 단계별 선호도 매트릭스에 표현하였으며, 최적호안공법 적용시 기준이 된다. 설문 자료를 분석하여 각 level별로 EE를 계산하였으며 같은 표

에 나타내었다. EE의 표준화 방법은 EE 요소들의 합으로 각각의 요소를 나누어 얻어진다. 상대적 중요도는 EE의 합에 대한 각 고유요소의 비가 각 인자의 상대적 중요도가 되며, 선호도가 좋을수록 해당인자의 상대적 중요도는 높아진다.

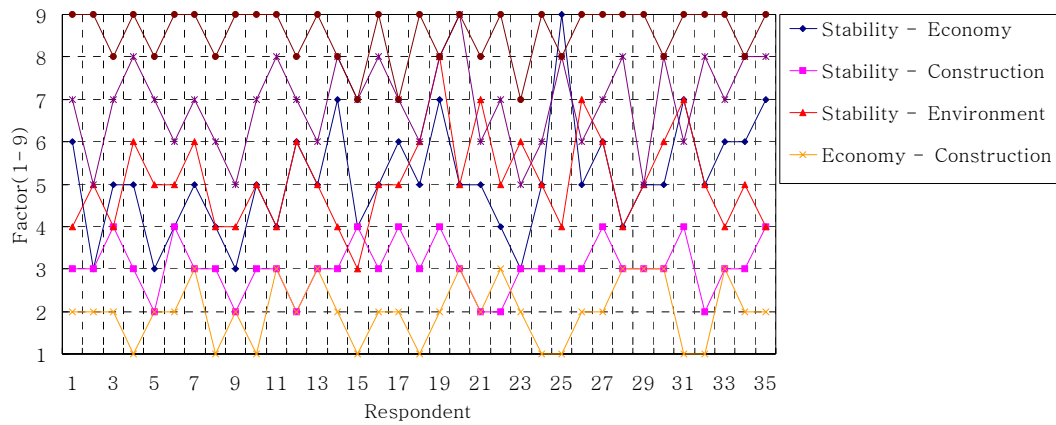


Fig. 3. Survey Result

Table 6. Relative Importance of Level 3 Elements

Level 2	Pairwise Comparison Matrix					EE	RIW
Allowable water velocity (m/sec)	< 1	< 1	1 ~ 3	3 ~ 5	> 5		
	< 1	1	2.94	5	7.69	3.26	0.557
	1 ~ 3	0.34	1	3.03	7.14	1.65	0.281
	3 ~ 5	0.2	0.33	1	2.94	0.66	0.113
Permissible tractive force (kg/m ²)	> 5	0.13	0.14	0.34	1	0.28	0.048
	< 10	< 10	10 ~ 30	30 ~ 50	> 50		
	< 10	1	2.97	5	8.31	3.33	0.550
	10 ~ 30	0.34	1.00	5	6.66	1.83	0.303
Construction cost per 1m ² (Won)	30 ~ 50	0.2	0.20	1	4.00	0.63	0.104
	> 50	0.12	0.15	0.25	1	0.26	0.043
	> 100,000	> 100,000	50,000 ~ 100,000	< 50,000			
	> 100,000	1	0.50	0.33	0.55	0.163	
Maintenance & management	50,000 ~ 100,000	2	1.00	0.50	1.00	0.297	
	< 50,000	3	2.00	1.00	1.82	0.540	
	Necessary	Necessary	Moderate	Unnecessary			
	Necessary	1	0.33	0.2	0.41	0.101	
Ease of material acquisition (km)	Moderate	3	1	0.24	0.90	0.223	
	Unnecessary	5	4	1	2.71	0.676	
	Within 10 km	Within 10 km	10 ~ 20 km	More than 20 km			
	Within 10 km	1	0.24	0.18	0.35	0.086	
Construction work	10 ~ 20 km	4	1	0.25	1.00	0.246	
	More than 20 km	5	4	1	2.71	0.668	
	Complex	Complex	Moderate	Simple			
	Complex	1	0.32	0.19	0.39	0.102	
Landscape	Moderate	3	1.00	0.33	1.00	0.258	
	Simple	5	3	1	2.47	0.640	
	Bad	Bad	Fair	Good			
	Bad	1	0.25	0.12	0.31	0.065	
Use of environment-friendly material	Fair	4	1	0.14	0.82	0.173	
	Good	8	6	1	3.63	0.762	
	Bad	Bad	Fair	Good			
	Bad	1	0.25	0.15	0.33	0.077	
Use of environment-friendly material	Fair	4	1	0.2	0.93	0.212	
	Good	6	5	1	3.11	0.711	

Table 7. Relative Importance of Level 2 Elements

Level 1	Pairwise Comparison Matrix			EE	RIW
Stability		Allowable water velocity (m/sec)	Permissible tractive force (kg/m ²)		
	Allowable water velocity (m/sec)	1	3	1.73	0.750
	Permissible tractive force (kg/m ²)	0.33	1	0.58	0.250
Economy		Construction cost per 1m ² (Won)	Maintenance & management		
	Construction cost per 1m ² (Won)	1	2	1.41	0.667
	Maintenance & management	0.5	1	0.71	0.333
Construction		Ease of material acquisition	Construction work		
	Ease of material acquisition	1	2	1.41	0.667
	Construction work	0.5	1	0.71	0.333
Environment		Landscape	Use of environment-friendly material		
	Landscape	1	3	1.73	0.750
	Use of environment-friendly material	0.33	1	0.58	0.250

Table 8. Relative Importance of Level 1 Elements

	Pairwise comparison Matrix				EE	RIW
	Stability	Economy	Construction	Environment		
Stability	1.00	0.20	0.33	5.11	0.76	0.132
Economy	5.00	1.00	2.00	6.91	2.88	0.499
Construction	3.03	0.50	1.00	8.54	1.90	0.328
Environment	0.20	0.14	0.12	1.00	0.24	0.042

호안공법 평가시 주관적 선호도를 정성적이고 정량적으로 표현하기 위해 각 인자들을 쌍대비교 행렬을 이용하였다. 행렬의 대각선 요소는 모두 "1"이 되며, 대각선을 기준으로 위아래의 상대적 중요도가 역수로 상반되는 선호도를 갖는다. 이렇게 결정된 호안공법 선정 인자와 계층적 구조를 표현하면 Table 9와 같다.

요소값에 대하여 논리적 일관성이 있는가를 조사하기 CR을 평가했으며, 그 결과는 Table 10에서 보는 바와 같이 안정성, 경제성, 시공성, 친환경성의 CR값이 모두 10% 이내의 값으로 나타나 논리적으로 일관성이 있는 것으로 분석되었다.

3.3 적합도

적합도(Suitability Index, SI)는 하천제방에 호안을 설치할 때 가장 최적의 호안공법이 적합한 정확도를 종합적으로 나타낸다. 적합도 산정식은 계층조각이 3단계이므로 Eq. (7)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 RIW_i 는 1단계, RIW_j 는 2단계, RIW_k 는 3단계의 상대적 중요도를 나타내며, n 는 1단계의 인자의 개

Table 9. Hierarchy of Relative Importance

Level 1		Level 2		Level 3	
Element	<i>RIW</i>	Element	<i>RIW</i>	Element	<i>RIW</i>
Stability	0.132	Allowable water velocity (m/sec)	0.750	< 1	0.557
				1 ~ 3	0.281
				3 ~ 5	0.113
				> 5	0.048
		Permissible tractive force (kg/m ²)	0.250	< 10	0.550
				10 ~ 30	0.303
				30 ~ 50	0.104
				> 50	0.043
Economy	0.499	Construction cost per 1m ² (Won)	0.667	> 100,000	0.163
				50,000 ~ 100,000	0.297
				< 50,000	0.540
		Maintenance & management	0.333	Necessary	0.101
				Moderate	0.223
				Unnecessary	0.676
Construction	0.328	Ease of material acquisition	0.667	Within 10 km	0.086
				10 ~ 20 km	0.246
				More than 20 km	0.668
		Construction work	0.333	Complex	0.102
				Moderate	0.258
				Simple	0.640
Environment	0.042	Landscape	0.750	Bad	0.077
				Fair	0.212
				Good	0.711
		Use of environment-friendly material	0.250	Bad	0.065
				Fair	0.173
				Good	0.762

Table 10. Consistency Check using *CI* and *CR*

Item	Stability		Economy		Construction		Environment		Remarks
	Allowable water velocity (m/s)	Permissible tractive force (kg/m ²)	Construction cost per 1m ² (Won)	Maintenance & management	Ease of material acquisition	Construction work	Landscape	Use of environment-friendly material	
<i>CI</i>	0.038	0.083	0.005	0.038	0.046	0.002	0.056	0.039	Satisfaction
<i>CR</i>	0.042	0.093	0.008	0.065	0.080	0.004	0.097	0.068	< 0.1

수, *m*은 2, 3단계의 인자의 개수를 나타낸다. 적합도는 그 값이 높을 수록 최적호안공법에 적합함을 의미한다.

3.4 호안공법의 최적선정

앞서 개발한 AHP를 이용한 최적호안 공법선정 방법을 실제 제방인 전라남도 나주에 위치한 지석천의 남평제 구간에 적용하여 사용가능한 호안공법들의 적합도를 산정하여 보았다.

3.4.1 적용대상 위치

적용대상은 전라남도 나주시에 위치한 국가하천인

지석천 하류구간 남평제로 위치도 및 계획평면은 Fig. 4와 같다. 지석천의 계획홍수량은 3,120m³/sec 이며, 유속은 1m/sec ~ 2m/sec 이하, 소류력이 10kg/m² 이하이며, 재료의 운반거리가 15km 이내이다. 남평제 제방에 적용 가능한 호안공법은 식생호안(평매), 식생매트, 돌망태, 돌붙임, 돌쌓기, 콘크리트블럭공(무공), 식생블럭공(유공) 등으로 판단되었다.

3.4.2 분석

지석천의 남평제에 대한 최적호안공법 선정을 위한 공법별 속성값을 Table 11에 나타내었다.

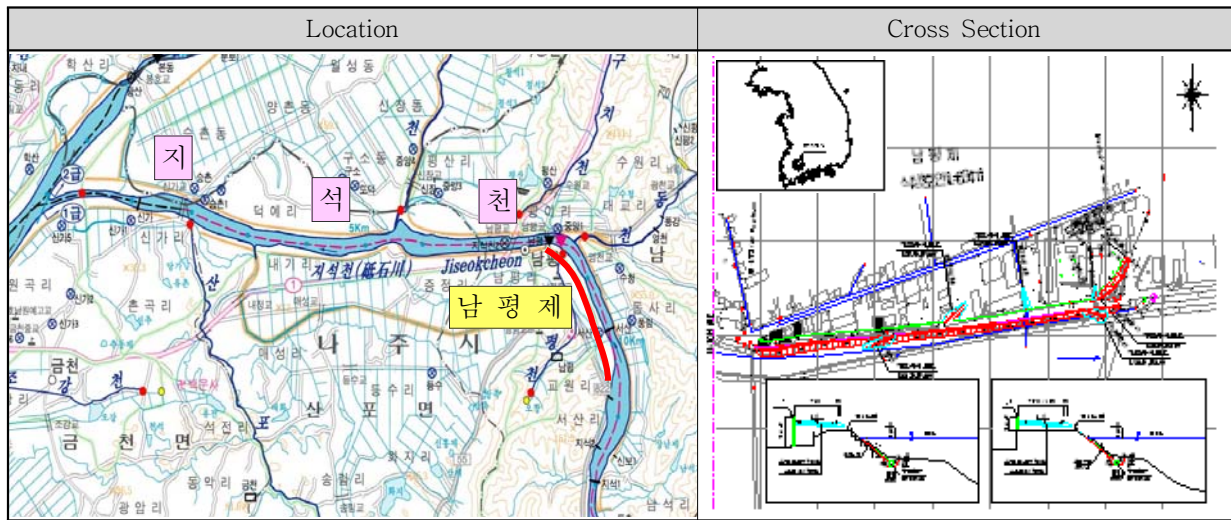


Fig. 4. Study Area and River Cross Section

Table 11. Values used for Analysis of Nam-pyeong Bank

Bank Protection Work	Stability		Economy		Construction		Environment	
	Allowable water velocity (m/sec)	Permissible tractive force (kg/m ²)	Construction cost per 1m ² (Won)	Maintenance & management	Ease of material acquisition	Construction work	Landscape	Use of environment-friendly material
Vegetative Cover	2.0	2.0	8,400	Moderate	< 10km	Moderate	Good	Good
Vegetative Mat	3.0	8.0	28,000	Necessary	< 20km	Moderate	Good	Good
Gabion Cover	5.0	25.0	28,000	Moderate	< 20km	Moderate	Fair	Fair
Rock Attachment	6.0	50.0	47,000	Unnecessary	< 20km	Complex	Bad	Bad
Rock Work	7.0	70.0	68,000	Unnecessary	< 20km	Moderate	Bad	Bad
Concrete Block	4.0	20.0	10,000	Necessary	< 10km	Simple	Bad	Bad
Vegetative Block	4.0	15.0	40,000	Unnecessary	< 10km	Simple	Good	Good

호안공법별로 대상지구인 지석천 남평제 제방에 Table 8에서 제시했던 3단계 인자의 *RW*를 적용한 결과, 각 호안공법별 적합도 계산식 및 적합도가 Table 12와 같이 얻어졌다.

적합도 값이 클수록 더 나은 호안공법이라고 생각할 수 있으므로 적용대상 지구인 지석천 남평제의 경우에는 적합도가 가장 높은 식생블럭(유공)이 가장 적합한 호안공법으로 분석되었다.

4. 결 론

하천의 최적호안공법 선정시 필요한 자료들의 선호도를 산정하기 위해 AHP기법을 이용하여 다중인자들

을 정량화한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 과거 기술자의 주관적 판단으로 결정하던 호안공법을 다중인자들의 선호도를 산정하여 보다 합리적으로 객관화함으로써 최적호안공법을 선정할 수 있다.
- 2) 호안의 안정성, 경제성, 시공성, 친환경성을 체계적인 방법에 의해 수치화하여 호안 최적화시 고려되어야 할 총 3단계 8가지 인자를 도출하였다.
- 3) 전라남도 나주시 지석천의 남평제에 개발된 방법을 적용한 결과, 설치 가능한 호안공법인 평매, 식생매트, 돌망태, 돌붙임, 돌쌓기, 식생블럭공(무공)

Table 12. Suitability of Seven Different Works

Bank Protection Work	Calculation	SI
Vegetative Cover	$[(0.750 \times 0.281) + (0.250 \times 0.550)] \times 0.132 + [(0.667 \times 0.540) + (0.333 \times 0.223)] \times 0.499 + [(0.667 \times 0.083) + (0.333 \times 0.258)] \times 0.328 + [(0.750 \times 0.714) + (0.250 \times 0.772)] \times 0.042 =$	0.76
Vegetative Mat	$[(0.750 \times 0.281) + (0.250 \times 0.550)] \times 0.132 + [(0.667 \times 0.540) + (0.333 \times 0.101)] \times 0.499 + [(0.667 \times 0.236) + (0.333 \times 0.258)] \times 0.328 + [(0.750 \times 0.714) + (0.250 \times 0.772)] \times 0.042 =$	0.84
Gabion Cover	$[(0.750 \times 0.113) + (0.250 \times 0.303)] \times 0.132 + [(0.667 \times 0.540) + (0.333 \times 0.223)] \times 0.499 + [(0.667 \times 0.236) + (0.333 \times 0.258)] \times 0.328 + [(0.750 \times 0.218) + (0.250 \times 0.172)] \times 0.042 =$	0.82
Rock Attachment	$[(0.750 \times 0.048) + (0.250 \times 0.043)] \times 0.132 + [(0.667 \times 0.297) + (0.333 \times 0.676)] \times 0.499 + [(0.667 \times 0.236) + (0.333 \times 0.102)] \times 0.328 + [(0.750 \times 0.068) + (0.250 \times 0.056)] \times 0.042 =$	0.74
Rock Work	$[(0.750 \times 0.048) + (0.250 \times 0.043)] \times 0.132 + [(0.667 \times 0.163) + (0.333 \times 0.676)] \times 0.499 + [(0.667 \times 0.188) + (0.333 \times 0.258)] \times 0.328 + [(0.750 \times 0.068) + (0.250 \times 0.056)] \times 0.042 =$	0.72
Concrete Block	$[(0.750 \times 0.113) + (0.250 \times 0.303)] \times 0.132 + [(0.667 \times 0.540) + (0.333 \times 0.101)] \times 0.499 + [(0.667 \times 0.083) + (0.333 \times 0.640)] \times 0.328 + [(0.750 \times 0.068) + (0.250 \times 0.056)] \times 0.042 =$	0.82
Vegetative Block	$[(0.750 \times 0.113) + (0.250 \times 0.303)] \times 0.132 + [(0.667 \times 0.297) + (0.333 \times 0.676)] \times 0.499 + [(0.667 \times 0.083) + (0.333 \times 0.640)] \times 0.328 + [(0.750 \times 0.714) + (0.250 \times 0.772)] \times 0.042 =$	0.86

식생블럭공(유공) 중에서 식생블럭(유공)이 최적의 호안공법인 것으로 나타났다.

- 4) 다른 지역의 제방에서도 본 연구에서 제시된 절차를 이용하여 주민들을 포함하여 설문조사한 결과를 반영하여 적용하면 최적의 호안공법이 채택될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-3)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

김국일, 안원식 (2007). 천과정 평가에 의한 하천 호안 공법의 환경성 평가에 관한 연구.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제6호, pp. 485-494.

김윤환, 박남희, 진영훈, 김철 (2007). 차연 친화적 하천정비를 위한 호안평가기법의 개발 및 적용.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제12호, pp. 1007-1014.

박태선 (2002). 계층분석법을 이용한 하천의 중요도 평가기법.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 685-692.

이동섭, 안홍규, 우효섭, 권보애 (2007). 치수 안전성과 환경성을 고려한 새로운 식생호안 공법의 적용 및 평가.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제2호, pp. 125-134.

이상일, 김병찬 (2003). 계층분석과정을 이용한 지하담

적지분석.” **한국지하수토양환경학회지**, 한국지하수토양환경학회, Vol. 8, No. 4, pp. 36-44.

이재문, 이상일 (2007). AHP기법을 이용한 최적 계획하폭 선정-입천에의 적용 사례연구.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제40권, 제12호, pp. 931-941.

이정호, 김중훈, 김형수, 김응석, 조덕준 (2004). 최적 도시유출시스템의 개발 : I. 도시유출시스템에서의 AHP를 고려한 불명수량 산정에 대한 연구.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제37권, 제3호, pp. 195-206.

이현재, 심명필 (2002). 계층분석과정(AHP)에 의한 가뭄시 용수배분 우선순위 의사 결정.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 703-714.

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). *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.

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

(논문번호:07-123/접수:2007.11.21/심사완료:2008.04.11)