

델파이 기법과 AHP를 이용한 중력식 사방댐 준설 평가지표 및 조사야장 개발*

서준표¹⁾ · 이창우¹⁾ · 우충식¹⁾ · 이현호²⁾

¹⁾ 국립산림과학원 산림방재연구과 · ²⁾ 영남대학교 산림자원학과

Development of Indicators for Dredging Evaluation and Form on Erosion Control Dam Using the Delphi Technique and AHP Analysis*

Seo, Junpyo¹⁾ · Lee, Changwoo¹⁾ · Woo, Choongshik¹⁾ and Lee, Heonho²⁾

¹⁾ Department of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute,

²⁾ Department of Forest Resources, Yeungnam University.

ABSTRACT

A dredging on erosion control dam has been enforced without evaluation the factors that affect the dredging. In addition, there is the negative effect much more than positive effect by dredging on erosion control dam. Therefore, this study was carried out to develop evaluation indicators and to suggest fieldbook in order to determine whether sand deposits at erosion control dam should be dredged up or not. The most important six evaluation indicators that can decide to dredge up at erosion control dam were obtained from three round delphi technique and were selected in the following order: the current sand deposit ratio(0.339), existence of cultivated land and house downstream(0.276), the slope of streambed(0.162), the amount of movable soil and gravel(0.118), the history of any disasters(0.063), the basin area(0.043). The weighted score for each evaluation indicator were acquired from AHP analysis with respect to the degree of importance and then the modified weighted score for actual measurements were classified as three categories: large(2.53), medium(1.60) and small(1.01).

* 본 논문은 2011~2012년도 국립산림과학원 위탁과제의 지원으로 작성되었음.

First author : Seo, Junpyo, Dept. of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea,

Tel : +82-2-961-2692, E-mail : utklove@hanmail.net

Corresponding author : Lee, Heonho, Dept. of Forest Resources, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea,

Tel : +82-53-810-3801, E-mail : hhlee@ynu.ac.kr

Received : 4 August, 2014. **Revised** : 9 December, 2014. **Accepted** : 11 November, 2014.

Based on delphi technique, erosion control dam dredging evaluation fieldbook introduced the four evaluation indicators out of the total six evaluation indicators and two low effected evaluation indicators were excluded. This results showed that the values for reliability analysis and consistency ratio were acceptable.

Key Words : *Erosion control dam, Dredging, Delphi technique, AHP analysis, Evaluation indicators.*

I. 서 론

중력식사방댐(이하 ‘사방댐’)은 산지토사재해를 가장 효과적으로 저감하고 방지할 수 있는 사방구조물이다. 이러한 사방댐은 산지계류의 물매를 완화시켜 침식을 방지하고, 계상을 높여 산각을 고정한다. 또한 상류에서 내려오는 토석·유목 등을 차단하고 하류지역을 보전하기 위하여 계류를 횡단하여 시공하는 소규모 댐이다. 우리나라에서는 1986년 최초의 사방댐을 시공한 후 현재까지 지속적인 사방댐 시공사업을 실시하여 2013년 약 6,300개소의 사방댐이 있다(Korea Forest Service, 2007). 최근에는 이상 기후 현상으로 인하여 태풍, 국지성 호우 등이 증가하여 자연재해와 더불어 산지 토사재해에 더욱 노출될 것이라는 우려가 제기되고 있다. 또한 산사태 및 토석류의 발생증가로 인하여 사방댐 시공과 시공 후의 관리에 대한 중요성이 부각될 것으로 예측된다.

사방댐과 관련하여 시공 효과(Ryu and Jang, 1998; Jang, 2003)와 재료 개발(Park et al., 2011), 기능 증진(Korea Forest Service, 2011) 등 다양한 연구가 이루어져 왔다. 그러나 사방댐의 시공 후 관리에 대한 연구는 미진하다. 우리나라에서 시행되고 있는 사방댐 시공 후의 유지관리 방법은 파손된 일부를 보수하는 것과 저사된 토사를 준설하는 것이 유일하다. 노후 사방댐의 열화정도를 파악하여 안전성을 평가할 수 있는 방법을 최근 연구(Lee et al., 2012; Park et al.,

2013)를 통해 수행된바 있으나, 사방댐 준설시행 여부를 판단할 수 있는 명확한 기준은 없는 실정이다. 일본의 경우에는 추가 재해의 위험이 높다는 전문가 판단에 의해 준설사업의 여부를 결정하고 있지만, 우리나라는 이를 체계적으로 판단할 수 있는 기준 등이 부족하다.

따라서 최근 사방댐 관리방안에 대한 제도적 기준마련의 필요성이 대두되고 있다(Kim et al., 2011; Lee et al., 2012; Korea Forest Research Institute, 2012). 준설에 관해 활발한 연구가 수행되고 있는 해안의 경우에는 Lee et al.(2004)에 의해 준설시행 여부를 판단할 수 있는 준설 판단지수 개발의 필요성을 지적하고, 이에 관한 연구를 수행한바 있었다.

산지계류에 시공되어 만사된 사방댐은 계상 물매를 완화시키고 시공 후 오랜 시간이 경과한 경우에는 주변 환경과 조화되어 생태·경관적으로 긍정적인 효과가 크다. 이러한 사방댐에 준설을 시행한다면, 안식각으로 고정되어 있는 산각을 붕괴시켜 물리적 교란을 야기할 수도 있다(Seo, 2012). 또한 작은 강우에도 토사유출의 피해 가능성이 높아져 재해위험을 증가시킬 수 있다는 견해(Lee et al., 2012)도 있기 때문에 사방댐 준설에 대한 명확한 기준마련이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 사방댐 준설 시행여부를 판단할 수 있는 평가지표를 개발하고, 사방댐 준설 평가 조사야장을 제시하여 사방댐 유지관리 사업의 정책수립과 이와 관련된 기초연구에 도움이 되고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 평가지표 선정 및 설문지 구성

문헌조사와 전문가 의견을 통하여 사방댐 준설에 영향을 미칠 수 있는 지표를 사방댐 설치지점, 상류지역, 하류지역, 생태·경관의 4개 카테고리 구분하였다. 사방댐 설치지점은 계곡과 사방댐으로 나누어 14개 지표, 상류지역은 산지사면과 계곡으로 나누어 16개 지표, 하류지역은 재해발생 및 피해환경으로 나누어 4개 지표, 생태·경관 4개 지표로 구분하였다. 총 38개 지표에 대해 Likert 5점 척도(1점-매우 부적합, 2점-부적합, 3점-보통, 4점-적합, 5점-매우 적합)를 활용하여 중요도를 체크하고, 적합이상의 지표항목에 대한 의견을 기술하도록 하였다. 또한 지표의 적정 개수에 대한 의견도 포함시켜

설문 조사지를 구성하여 1차 델파이 조사에 사용하였다. 2차 설문지는 1차 설문결과를 토대로 적합판정을 받은 지표와 전문가 의견에 따른 지표의 재평가와 적정지표수에 대하여 재조사를 실시하였다. 3차 설문지는 1, 2차 조사에서 도출된 적정지표수와 사방댐 준설여부의 의사결정 등급 수(준설 필요·불필요(2등급), 준설 시급·필요·불필요(3등급)), 평가기준에 대한 전문가 선호도와 의견을 조사하였다(Table 1). 3차 조사결과를 바탕으로 각 지표들의 중요도에 따른 가중치 점수부여를 위해 최종적으로 AHP 조사를 실시하였다.

2. 전문가 집단 선정

사방댐 준설 시행여부를 판단할 수 있는 다양하고 효과적인 평가 지표를 개발하기 위하여 전

Table 1. System of delphi questionnaire configuration.

	The first round survey	The second round survey	The third round survey
Form	Likert 5 scales + Narrative summary	Likert 5 scales + Narrative summary	Likert 5 scales + Narrative summary
Contents	<ul style="list-style-type: none"> The appraisal of 38 indicator items The appropriate number and items of indicators 	<ul style="list-style-type: none"> The reappraisal of 15 indicator items The appropriate number and items of indicators suggested by panel 	<ul style="list-style-type: none"> The preference of panel on weights of indicator items

Table 2. The organization of the panel, survey period and recovery ratio.

Expert group	Number of object	Percent	The recovery ratio of 1st survey	The recovery ratio of 2nd survey	The recovery ratio of 3rd survey
Academic circles	7	16	26/43 people (60.5%)	24/26 people (92.3%)	20/24 people (83.3%)
Technicians	7	16			
Sabang association	6	14			
Public officials	12	28			
Engineering	3	7			
Forest unions	8	19			
Total	43	100			
Survey period			May 31th to Sep. 23th, 2011		

문가 집단은 대표성, 적정성, 전문적 지식 능력, 참여의 성실성을 고려하여 총 43명의 전문가를 선정하였다. 전문가 집단의 구분과 대상자수, 조사 차수별 회수율, 조사기간은 Table 2와 같다.

3. 델파이 기법

델파이 기법은 한 가지 주제에 대하여 여러 전문가의 독립적인 의견과 직관을 수렴하고, 해당 분야 전문가 의견을 종합하여 집단적 의사소통의 과정을 체계화 하고, 미래를 예측하는 기법으로 많은 나라에서 기술예측조사를 위해 유용하게 사용하고 있는 방법이다(Linstone and Turoff, 1975; Hsu and Sandford, 2007; Jung et al., 2012). 델파이 기법은 문제의 정의, 전문 집단 구성, 설문지 작성, 설문 배부 및 회수, 문항별 빈도, 의견 일치 확인의 절차 등을 통해 이루어진다. 본 연구에서는 델파이 조사를 이용하여 사방댐 준설 시행여부를 판단할 수 있는 평가지표를 선별하고, 지표의 적정 개수 및 등급을 구분하기 위해서 3차에 걸친 델파이 조사를 실시하였다.

본 연구에서는 통계분석 프로그램인 SPSS 12.0 과 Microsoft Excel 2010을 이용하여 결과를 분석하고 신뢰도 분석을 실시하였다.

설문지의 신뢰도 검증은 내적 일치도를 평가할 수 있는 Cronbach's α 를 이용하여 분석하였다(Tak, 2007; Jung et al., 2012). 신뢰도 분석은 0.6 이상일 경우 사회과학분야에서 신뢰도가 높은 것으로 판단한다(Chaib, 2004; Park et al., 2008).

또한, 델파이 1, 2차에 대해서 적절한 대표성을 나타내고 있는지를 알아볼 수 있는 내용타당도 검증인 Content Validity Ratio(CVR)은 아래 식 1을 통해 산출하였다.

$$CVR = \frac{n_e - N/2}{N/2} \quad (\text{식 1})$$

n_e : Likert 5점 척도의 '적합'과 '매우적합'으로 응답한 수

N : 델파이 전문가의 수

전문가 수에 따라 결정되는 CVR 값이 유의도 0.05수준에서 전문가 수에 따른 최소허용값보다 높으면 내용 타당성이 있다고 판단할 수 있다(Lawshe, 1975; Kim and Choi, 2012). 본 연구의 1차 조사에서는 설문에 응답한 26명을 기준으로 0.36, 2차 조사에서는 24명을 기준으로 0.38 이상이면 내용타당성이 있다고 판단하였다(Lawshe, 1975).

4. AHP 분석

Analytic Hierarchy Process(AHP)는 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교를 통해 전문가 집단의 지식, 경험, 직관 등을 포착하는 의사결정기법이다. 또한 명확성, 적용의 편의성, 범용성의 장점을 가지고 있어 다양한 분야에서 폭넓게 사용되고 있다(Cho et al., 2003; Song et al., 2009). AHP는 1단계 의사결정 계층 설정, 2단계 쌍대비교, 3단계 가중치 추정, 4단계 가중치 종합과 같이 일반적으로 4단계의 분석과정으로 이루어진다. 본 연구에서와 같이 다수의 전문가가 참여하는 다차원적 의사결정의 경우에는 평가 항목 전체에 대한 일반적인 가중치 산정보다는 아래 식 2와 같이 항목 간 단순비교 결과를 쌍대비교 행렬화 하고, 행렬 곱을 연산하여 상호 중요도를 산정하는 AHP기법을 통해 정확한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 AHP 기법을 적용하여 사방댐 준설 평가 지표의 항목 간 가중치 부여 점수를 산정하였다.

$$(AB)_{ij} = \sum_k A_{ik} B_{kj} \quad (\text{식 2})$$

AHP는 전문가의 주관적인 판단에 의해 결과가 도출되기 때문에 신뢰성 평가가 중요하다(Song et al., 2009). 신뢰도 분석은 일관성 비율인 CR((In)consistency ratio)로 평가할 수 있는데, Saaty(1990)의 판단기준에 따랐다(Park et al., 2008; Park, 2012; Yun, 2013). CR이 0.1 미만이

면 만족스러운 수준, 0.2 미만이면 허용할 만한 일관도이고, 산출식은 아래 식 3과 같다.

$$\begin{aligned} \text{일관성지수(CI)} &= (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \\ \text{일관성비율(CR)} &= (CI / RI) \times 100\% \end{aligned} \quad (\text{식 3})$$

λ_{\max} : 최대고유치

n : 한 계층에서 비교 대상이 되는 개수

RI : 난수지수

본 연구에서 일관성지수인 CI(Consistency Index)는 0.1853, 난수지수인 RI(Random Index)는 Wharton School에서 개발하고 Saaty(1990)가 제안한 행렬차원에 따라 6행렬의 1.24를 적용하였다. 이 값들은 1에서 9까지 정수들 집합의 역수 행렬에서 무작위로 500개 표본을 추출하고, 이 무작위지표를 평균하여 산출된 지수이다.

III. 결과 및 고찰

1. 델파이 1차 설문 결과

1차 델파이조사의 결과를 분석해 본 바, 평균 점수 2.65~4.23, 표준편차 0.67~1.16의 범위로 나타났고, 사방댐 현재 저수량이 가장 높은 점수를 받았다(Table 3). 전체적으로 생태·경관의 카테고리 순위가 하위권을 차지하고 있었는데, 이는 사방댐의 순수한 기능인 토사유출 방지 및 재해예방 기능을 중요하게 생각하는 전문가들의 의견이 반영된 것으로 판단된다.

내용타당도 검증 결과, ‘재해발생이력(상류)’, ‘잠재토사침식량’, ‘잠재토사유출량’, ‘재해발생이력(계곡)’, ‘퇴사선 상류계상물매’, ‘계상의 이동가능토석량’, ‘사방댐 현재저수량’ 7개 항목이 최소허용값 이상의 CVR 비율 0.38~0.62 범위로 나타났다(Table 3). 사방댐 준설사업에 대한 전문가들의 인식이 일반적으로 재해와 상관성이 높은 것으로 알려진 지표들에 대한 중요도가 높았으며, 임상을 비롯한 사방댐 주변 환경

및 생태는 사방댐 준설과의 직접적인 연관성이 낮다고 인식하는 것으로 판단된다.

델파이 설문조사의 항목 간 일치 정도를 분석하기 위해서 Cronbach's α 계수를 이용하여 신뢰도 검증을 실시한 결과 모든 항목이 0.9 이상으로 나타났다(Table 3). 따라서 본 연구의 델파이 1차 항목의 신뢰도 분석결과 신뢰성이 높은 것으로 나타났다.

사방댐 준설시행 여부를 판단할 수 있는 지표의 적정 개수에 대한 분석결과는 4개~25개 까지 다양한 의견이 있었지만, 10개가 적절하다는 의견이 37.5%로 가장 높게 나타났다. 각 지표의 적정 개수에 대한 평균값은 10.8로 산출되어 11개가 지표의 적정 개수로 나타났다(Table 4). 본 연구의 1차 조사결과 CVR 비율 상위 7개를 포함하고 평균 점수가 높은 총 11개 인자를 선별하였다.

델파이 1차 조사의 전문가 추가의견을 집단별로 구분되었을 때, 학계에서는 상관성이 높은 지표에 대한 개념 정리가 필요하다는 의견이 있었고, 공무원 집단에서는 지역주민의 민원 및 하류지역 민가시설 유·무 의견을 제시 하였다. 다른 집단에서는 상류의 사방댐 설치공간이 있을 경우 준설의 필요성 여부, 준설 진입로, 사방댐 파손 여부 등의 의견을 제시 하였다.

2. 델파이 2차 설문 결과

델파이 2차 설문조사에서는 1차 상위 11개 인자와 전문가들의 추가의견 중에서 반드시 검증이 필요하다고 판단된 지표를 고려하여 ‘재해발생이력(하류)’, ‘상시유수’, ‘사방댐 추가 설치공간’, ‘사방댐 저사층 약취’에 대한 4가지 인자를 추가하여 총 15개 인자를 구성하였다. 또한 15개 인자에 대한 세부평가 기준을 제시하고 이들 기준의 채택 또는 새로운 기준 제시를 요구하였다. 또한 적정지표 개수의 의견을 5~11개 사이의 4등급으로 분류하여 2차 델파이 설문지를 구성하였다.

Table 3. Result of descriptive statistics on the first round delphi survey.

No.	Classification	Indicators	Mean value	Standard deviation	CVR	Cronbach- α
1	Upper stream	Basin area	3.6923	1.08699	0.08	.907
2		Forest type	2.6923	.67937	-0.85	.909
3		Soil texture	3.6538	.93562	0.15	.907
4		Coverage ratio	3.6154	.89786	0.00	.908
5		Average length of hillslope	3.1154	.81618	-0.31	.908
6		The average angle of hillslope	3.6538	1.09334	0.23	.910
7		The whether of forest management prescription	3.3077	1.04954	-0.23	.906
8		The history of any disasters at upper stream	3.9615	.95836	0.38	.906
9		The ratio of land-use change	3.1923	.93890	-0.38	.909
10		The potential amount of soil erosion	4.1154	.90893	0.46	.905
11		The length of forest road	2.8462	1.08415	-0.69	.908
12		The construction year of forest road	2.6538	1.16421	-0.38	.907
13		The average slope of streambed	3.7600	.92556	0.15	.909
14		The channel length	3.3077	.83758	-0.23	.904
15		The potential amount of soil runoff	4.1538	.73170	0.62	.907
16		The history of any disasters at valley	3.9615	.87090	0.38	.906
17	The installation spots of debris barrier	The existence of flowing water	3.0385	.95836	-0.38	.905
18		The valley width	3.0000	.74833	-0.62	.906
19		The slope of streambed at upper of reservoir deposits line	3.9615	.82369	0.46	.910
20		The length of bank erosion	3.6538	.93562	0.08	.910
21		The streambed material	3.6538	.93562	0.00	.906
22		The amount of movable soil and gravel at the mountain streams	4.0769	.97665	0.46	.906
23		The type of debris barrier	3.4231	1.13747	0.15	.909
24		The construction number of debris barrier	3.3846	.89786	0.00	.907
25		The construction site of debris barrier	3.3462	.97744	-0.15	.906
26		The access road toward debris barrier	3.4615	1.10384	-0.08	.913
27		The scale of debris barrier	2.7692	.95111	-0.69	.910
28		The construction year of debris barrier	2.6923	.92819	-0.62	.908
29	The dredging record of debris barrier	3.5000	1.10454	-0.08	.906	
30	The current sand deposit ratio of debris barrier	4.2308	.90808	0.54	.907	
31	Down stream	The existence of reservoir	3.3846	.94136	-0.38	.907
32		Existence of cultivated land and house downstream	3.7308	1.00231	0.00	.909
33		The existence of road	3.1923	1.02056	-0.46	.907
34		The history of disasters at downstream	3.6538	1.01754	0.00	.906
35	Ecosystem and landscape at valleys	The existence of flowing water	3.0385	.95836	-0.31	.909
36		The aquatic ecology	2.9615	.95836	-0.38	.905
37		The vegetation structure and diversity	2.8462	.83390	-0.69	.907
38		The debris barrier surrounding landscape	2.7308	.82741	-0.69	.906

Table 4. The number of applicability indicator on the first delphi survey.

Number of applicability indicator	Frequency	Ratio(%)	Mean value	Standard deviation
4	1	4.2	10.8	5.728
5	5	20.8		
6	1	4.2		
8	1	4.2		
9	1	4.2		
10	9	37.5		
15	1	4.2		
16	1	4.2		
20	3	12.5		
25	1	4.2		
Total	24	100.0		

Table 5. Result of descriptive statistics on the second delphi survey.

No.	Indicators	Mean value	Standard deviation	CVR	Cronbach- α
1	The current sand deposit ratio of debris barrier	4.4286	.87014	0.71	.795
2	The potential amount of soil runoff	4.1429	1.01419	0.52	.825
3	The potential amount of soil erosion	4.0526	.62126	0.68	.812
4	The amount of movable soil and gravel at the mountain streams	4.2000	.95145	0.50	.795
5	The history of any disasters at valley	3.8947	1.14962	0.37	.789
6	The history of any disasters at mountain slope	3.8000	1.15166	0.20	.794
7	The slope of streambed at upper of reservoir deposits line	3.4737	.84119	-0.05	.811
8	The average slope of streambed	3.5000	1.00000	-0.10	.823
9	Existence of cultivated land and house downstream	4.1364	.88884	0.55	.826
10	Basin area	3.6500	.98809	0.00	.801
11	Streambed material	3.5263	.96427	-0.16	.803
12	The history of disasters at downstream	3.3000	.97872	-0.40	.811
13	The existence of flowing water	3.2105	.91766	-0.05	.805
14	The another to construction space of debris barrier	3.5000	.68825	-0.20	.829
15	The stench of debris barrier	3.2500	1.29269	0.00	.786

지표 항목들의 평균점수는 3.21~4.43으로 나타났다. 1차에서 가장 높은 점수인 ‘사방댐 현재 저수량’이 2차에서도 가장 높은 점수로 나타났다(Table 5). 이러한 결과는 준설(浚渫, dredging)

의 사전적 의미가 ‘바닥에 쌓인 흙이나 암석을 파헤쳐 바닥을 깊게 하는 일’ 이기 때문에 무엇보다도 사방댐 바닥으로부터 퇴적된 정도를 나타내는 ‘사방댐 현재 저수량’이 준설시행 여부를

판단하기 위해서는 가장 중요한 지표라고 생각한 전문가들의 의견이 반영된 결과로 판단된다. 내용타당도 검증 결과, ‘사방댐 현재 저수량’, ‘잠재토사유출량’, ‘잠재토사침식량’, ‘계상의 이동가능토석량’, ‘경작지 및 민가’ 5개 항목이 최소허용값 0.38 이상의 CVR 비율 0.50~0.71 범위로 나타났다(Table 5). 그러나 CVR 0.37로 나

타난 ‘재해발생이력’은 전문가 집단과 연구진의 반드시 포함되어야 한다는 의견을 수렴하여 본 연구에서 내용타당성이 있다고 판단하였다.

Cronbach's α 계수를 활용한 신뢰도 검증에서 모든 항목이 0.7이상으로 나타나 2차 델파이 결과도 신뢰도가 높은 것으로 나타났다(Table 5). 델파이 2차의 전문가 추가의견에 대한 학계

Table 6. Integration of similar indicator items.

No.	Indicators	Representative indicator items	Integrated indicator items	Former number	Etc.
1	The current sand deposit ratio of debris barrier	Current sand deposit ratio of debris barrier	Current sand deposit ratio	1	
2	The amount of movable soil and gravel at the mountain streams	Amount of movable soil and gravel at the mountain streams	Amount of movable soil and gravel	4	
	The potential amount of soil runoff at valley			2	
	The potential amount of soil erosion at mountain slope			3	
	Streambed material			11	
3	Existence of cultivated land and house downstream	Existence of cultivated land and house downstream	Existence of cultivated land and house downstream	9	
4	The history of any disasters at valley	History of any disasters at valley	History of any disasters	5	
	The history of any disasters at mountain slope			6	
	The history of disasters at downstream			12	
5	Basin area	Basin area	Basin area	10	
6	The average slope of streambed	Average slope of streambed	Slope of streambed	8	
	The slope of streambed at upper of reservoir deposits line			7	
7	The another to construction space of debris barrier	Another to construction space of debris barrier	Another to construction space of debris barrier	14	
8	The stench of debris barrier	Stench of debris barrier	Stench of debris barrier	15	
9	The existence of flowing water	Existence of flowing water	-	13	Drop out

의 의견은 유사 또는 대체 가능한 항목의 명확화가 필요하다는 의견과 수생태에 대한 지표가 없다는 의견이 나왔다. 공무원 집단에서는 하류 지역의 피해 및 수질영향, 산사태위험지도의 활용방안을 제시 하였다. 현장실무 전문가 집단에서는 저수 기능의 사방댐은 준설을 시행하고, 상류의 추가 사방댐 설치공간이 있을 경우에는 준설을 시행하지 않고 추가로 사방댐을 설치해야 한다는 의견이 많이 나왔다. 따라서 유사 또는 대체 가능한 지표항목들을 Table 6에서와 같이 순위별로 통합하여 8개 인자에 대한 세부평가 기준의 결과를 분석하고 3차 델파이 조사에 활용하였다.

통합한 8개 인자에 대한 세부평가 기준은 ‘사방댐의 현재 저수량’은 50~70% 까지 4등급으로 구분하자는 의견이 많았다. ‘계상의 이동가능 토석량’은 소·중·대 3등급 구분, ‘재해발생이력’은 없음·1회 이상·3회 이상 3등급 구분, ‘유역면적’은 50~100ha 까지, ‘계상물매’는 5~10% 까지 각각 4등급으로 차등을 주자는 의견이 많았다. ‘경작지 또는 민가’, ‘사방댐 추가 설치공간’, ‘사방댐 저사층 악취’ 항목은 각각 유·무의 2등급으로 구분하자는 의견이 많이 나타났다.

지표의 적정 개수에 대한 선호도는 지표수 5개, 6~7개, 8~9개, 10~11개 4가지를 제시한 결과, 6~7개가 39.1%로 가장 높게 나타났고, 각 지표의 적정 개수에 대한 평균값은 7.6으로 산출되었다(Table 7). 본 연구의 3차 조사에서

는 적정 지표개수의 선호도 빈도와 평균값을 고려하여 6개 지표와 8개 지표의 두 항목을 제시하여 최종지표 개수를 결정하도록 하였다.

3. 델파이 3차 설문 결과

델파이 3차 설문조사에서는 지표의 적정 개수에 대한 문항과 그에 따른 각 지표에 대한 가중치 점수를 요구하였다. 또한 사방댐 준설의 의사결정 척도를 2등급(준설필요·불필요)과 3등급(준설시급·필요·불필요)으로 나누어 전문가 집단의 의견을 물었다.

지표의 적정 개수에 대한 전문가 집단의 선호도는 6개 지표가 8개 지표보다 더 높은 12회 빈도, 60%로 나타났고, 사방댐 준설의 의사결정 등급을 구분하는 문항에서는 3등급(준설시급·필요·불필요)이 2등급(준설필요·불필요) 보다 더 높은 17회 빈도, 85%로 나타났다(Table 8). 본 연구에서는 최종적으로 6개의 대표 인자와 3등급(준설시급·필요·불필요)으로 구분하는 의사결정 등급을 선정 하였다.

지표의 적정 개수로 결정된 6개 인자에 대한 가중치 평균점수 결과는 11.79~25.71의 범위에서 나타났다(Table 9). 1, 2차 조사에서 가장 높은 점수를 받은 ‘사방댐 현재 저사율’이 3차 조사에서도 가장 높은 점수로 나타났다.

델파이 3차 조사에서 도출된 6개 지표항목의 가중치 부여에 대해 Table 9에서와 같이 각 항목의 중요도를 산정할 수 있었다. 이러한 결과는 간단한 수학적 개념만으로 도출이 가능하다

Table 7. The number of applicability indicator on the second round delphi survey.

Number of applicability indicator	Frequency	Ratio(%)	Mean value	Standard deviation
Indicator of five unit	3	13.1	7.6	1.790
Indicator of six to seven unit	9	39.1		
Indicator of eight to nine unit	7	30.4		
Indicator of ten to eleven unit	4	17.4		
Total	23	100.0		

Table 8. The preference to number of indicator and class for decision making.

		Frequency	Ratio(%)
Number of indicator	Indicator of six unit	12	60
	Indicator of eight unit	8	40
Number of class for decision making	Class-2	3	15
	Class-3	17	85
Total		20/20	100/100

Table 9. The weighted score on the third round delphi survey.

Indicator of six unit	Average score
The current sand deposit ratio	25.71
The amount of movable soil and gravel	18.93
Existence of cultivated land and house downstream	16.43
The history of any disasters	12.86
Basin area	11.79
The slope of streambed	14.29
Total	100

는 용이성과 모든 변수가 균등하게 반영되므로 공평성을 가질 수 있는 장점이 있다. 그러나 쌍대비교를 통한 각 항목별 산출이 아니고, 전체 지표항목에 대한 전문가의 일반적 의견을 주관적으로 점수화 한 것이기 때문에 한 두 사람의 편향된 의견이 결과에 크게 영향을 미칠 수 있는 단점이 있다(Cho et al., 1998).

본 연구에서는 이러한 단점을 최소화 시키고, 객관적이고 일관성 있는 판단과 가중치를 산출하기 위해서 AHP를 이용한 최종 설문조사를 실시하였다.

4. AHP 분석 결과

3차까지의 델파이 조사 결과를 바탕으로 도출된 사방댐 준설 평가지표의 항목 간 가중치 부여를 위한 설문조사를 실시하여 각 항목별 비교우위를 파악함으로써 이를 가중치로 산출하였다.

평가영역 및 평가항목별 가중치 결정을 위한 AHP 분석모형의 최상위 계층인 계층 1에는 본

연구의 목적 ‘사방댐 준설 평가 조사’의 가중치 도출이라는 최종목표를 설정하였으며, 이를 판단할 지표항목인 ‘사방댐 현재 저수량’, ‘계상의 이동가능 토석량’, ‘경작지 또는 민가’, ‘재해발생이력’, ‘유역면적’, ‘계상물매’ 6가지 지표항목을 계층 2로 구성하였다. 이에 대한 실제 측정치인 각 항목별 대, 중, 소를 계층 3으로 설정하였다(Figure 1).

AHP분석은 총 6개 지표항목과 3개 실측항목에 대하여 수행하였다. 이를 기준으로 계층 2에 대한 기하평균된 항목별 결과는 Table 10과 같다.

이를 바탕으로 지표간 쌍대비교 행렬화를 하고, 행렬곱을 연산하여 가중치 점수를 산정하였다. AHP분석결과 사방댐 준설여부를 판단할 때 가장 중요한 지표항목은 현재 저수량으로 가중치 0.339, 민가의 유·무 0.276, 계상물매 0.162, 이동가능 토석량 0.118, 재해발생 이력 0.063, 유역면적 0.043으로 나타났다(Table 11).

AHP의 신뢰도 평가인 일관성비율(CR)을 산

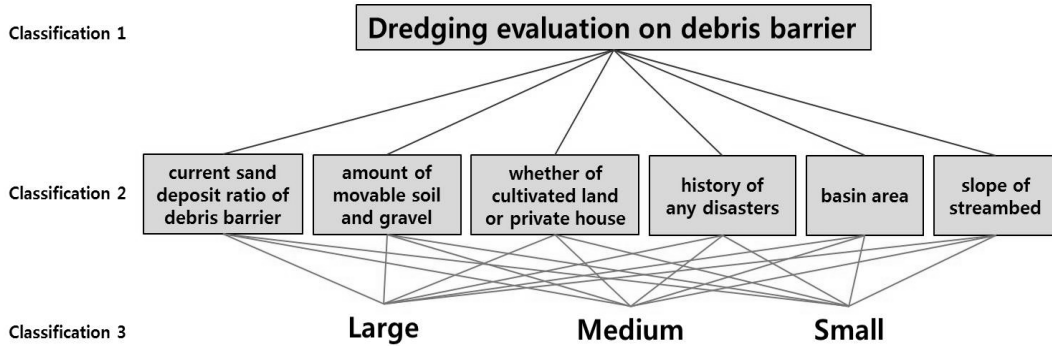


Figure 1. The AHP model for the weighted score of indicators for dredging evaluation on debris barrier.

Table 10. The comparison matrix in regard to result of panel response about classification 2.

	The current sand deposit ratio	Existence of cultivated land and house downstream	The slope of streambed	The amount of movable soil and gravel	The history of any disasters	Basin area
The current sand deposit ratio	1	2.924	3.219	3.220	3.403	3.006
Existence of cultivated land and house downstream	0.341	1	3.832	3.550	3.605	3.766
The slope of streambed	0.310	0.260	1	2.944	3.277	3.145
The amount of movable soil and gravel	0.310	0.281	0.339	1	3.926	3.966
The history of any disasters	0.293	0.277	0.305	0.254	1	3.347
Basin area	0.332	0.265	0.317	0.252	0.298	1

Table 11. Result of AHP analysis for weighted score about indicators.

	The current sand deposit ratio	Existence of cultivated land and house downstream	The slope of streambed	The amount of movable soil and gravel	The history of any disasters	Basin area	Total
Weighted score	0.339	0.276	0.162	0.118	0.063	0.042	1.000

출한 결과 0.15(15%)로 나타나 허용할 만한 일 관성을 유지하였다고 판단된다. 또한 이러한 최종 결과는 사방댐 설치목적과 재해예방이라는 본 기능에 대한 전문가들의 의견이 잘 반영된 결과로 판단된다.

계층 3은 '사방댐 준설 평가 조사야장'을 활용하여 현장에서 측정되는 실측값에 따라 가중치 점수를 부여하기 위하여 실시하였다. 대, 중, 소로 구분하기 때문에 전문가들의 의견이 모두 동일하다고 가정하였다. 예를 들어, '대'가 '중'보다 중요하고, '중'이 '소'보다 중요하기 때문에 '대'는 '소'보다 중요하다는 전제가 아무런

의의 없이 수용할 수 있다고 판단하였다. 그러나 실측항목의 현장 평가요소에 대한 가중치에서 5점 척도를 적용하였을 때 2가지 안이 있을 수 있다. 본 연구에서는 CR비율이 높고, 대, 중, 소 각 등급 간의 점수 차이가 낮은 값을 기준으로 적용하였다.

실측항목의 가중치 결과 '대' 6.40, '중' 2.57, '소' 1.03으로 나타났다. '대'의 경우, 가중치 값이 너무 높아 등급간 차이가 많이 나기 때문에 평가 결과에 미치는 영향이 절대적이라고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 각각의 항목에 제공근을 적용하여 수정가중치를 나타내었다(Table 12).

Table 12. Result of AHP analysis for weighted score about classification 3.

Measured value	Weighted score	The modify of weighted score ($\sqrt{\text{Weighted score}}$)
Large	6.40	2.53
Medium	2.57	1.60
Small	1.03	1.01
Total	10.00	

Table 13. The form for dredging evaluation on debris barrier.

Indicators	Measured value	Weighted score	The dredging evaluation score of the debris barrier*
The current sand deposit ratio	Large(80% over) Medium(50% to 79%) Small(50% below)	0.365	
Existence of cultivated land and house downstream	Large(300m under) Medium(301m to 499m) Small(500m over)	0.302	
The slope of streambed	Large(10% over) Medium(5% to 9%) Small(5% below)	0.188	
The amount of movable soil and gravel	Large(70% over) Medium(30% to 69%) Small(30% below)	0.145	
Total		()	(Score)

※ *The dredging evaluation score of the debris barrier = Measured value \times Weighted score

Large 2.53
Medium 1.60
Small 1.01

5. 사방댐 준설 평가 조사야장 제시

지금까지의 연구결과를 바탕으로 사방댐 준설 시행여부를 판단할 수 있는 ‘사방댐 준설 평가 조사야장’을 Table 13에 제시 하였다. 조사야장에는 인자에 대한 가중치 점수가 0.1 이하인 ‘재해발생이력’과 ‘유역면적’은 실측치가 ‘대’일 경우에 점수가 각각 0.1594, 0.1088으로 평가에 대한 영향이 극히 미비 하다고 판단되어 제외시켰다. 또한 상위 4개 인자의 합이 1.0이 되도록 균등분배하고, 최종적으로 총 4개 인자를 사용하여 간단한 조사만으로 사방댐 준설 시행여부를 판단함으로써 현장조사의 효율성을 높였다.

본 야장을 이용한다면 사방댐 준설 시행여부 결정에 대한 판단기준 제시가 가능하다. 그러나 현 단계에서는 의사결정을 할 수 있는 정확한 기준값의 제시는 힘든 상황이다.

IV. 결론 및 제언

우리나라의 사방댐 준설사업은 1999년 사방댐 14개소를 대상으로 처음 시작하여 2012년에는 ‘사방댐 관리사업’으로 명칭이 변경되었다. 그러나 사방댐이 만사되었다는 것은 사방사업법에 명시되어 있는 재해예방이라는 큰 목적을 이미 달성한 것이다. 만사된 사방댐은 계상 물매를 완화시켜 물리적 안정화를 이루고 있다. 이러한 계류에 퇴적 공간 확보를 위한 준설 또는 예산절감이라는 단순한 효과만을 위한 준설은 안식각으로 고정되어 있는 산각을 붕괴 시켜 물리적 교란을 야기할 수 있다. 따라서 작은 강우에도 토사유출의 피해 가능성이 높아져 재해위험을 증가시킬 수 있기 때문에 충분한 검토가 필요하다.

현재까지 사방댐 준설작업은 악취·민원·접근로 등 일부 요인만을 고려하여 시행되고 있어 사방댐 준설 시행여부에 대한 명확한 판단기준이 부족한 실정이다. 또한 최근 사방댐 관리에

대한 기준마련의 필요성이 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 사방댐 준설 시행여부를 판단할 수 있는 인자를 개발하고 각 인자별 중요도에 따른 가중치 점수를 산출하기 위하여 델파이 기법과 AHP 분석을 실시하였다.

델파이 1차 조사결과, 총 38개 지표 항목 중에서 CVR 비율이 최소허용값 이상인 7개 항목과 기술평가 결과 평균점수가 높은 4개 항목을 포함한 총 11개 인자를 1차로 선정하였다. 또한 전문가들의 추가의견 및 연구진의 제안을 고려하여 ‘재해발생이력(하류)’, ‘상시유수’, ‘사방댐 추가설치공간’, ‘사방댐 저사층 악취’ 4개 인자를 추가하여 델파이 1차 조사결과 총 15개 인자를 선정하였다. 설문조사의 Cronbach's α 계수 신뢰도 검증을 실시한 결과 모든 항목이 0.9 이상으로 신뢰성이 높은 것으로 나타났다. 전체적으로 생태·경관의 지표가 하위권을 차지하고 있었고, 사방댐의 기능과 직접연관이 있는 지표들은 상위권에 나타났는데, 이는 사방댐의 순수한 기능인 토사유출 방지 및 재해예방 기능을 중요하게 생각하는 전문가들의 의견이 반영된 것으로 판단된다.

2차 델파이 조사에서는 ‘사방댐 현재 저사량’, ‘잠재토사유출량’, ‘잠재토사침식량’, ‘계상의 이동가능토석량’, ‘경작지 및 민가’ 5개 항목이 최소허용값 이상의 CVR 비율로 나타났고, ‘재해발생이력’은 전문가와 연구진의 의견을 수렴하여 최종 선택하였다. 또한 Cronbach's α 계수가 모든 항목에서 0.7이상으로 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. 지표의 적정 개수는 6~7개가 적절하다는 의견이 39.1%로 가장 높았다. ‘사방댐 현재 저사량’은 1, 2차 조사 모두 가장 높은 점수로 나타났는데, 이는 준설의 사전적 의미와 퇴적물이 많이 축적된 사방댐을 대상으로 하기 때문에 사방댐 현재 저사량이 준설시행 여부를 판단하기 위해서는 가장 중요한 인자라고 판단된다.

3차 델파이 조사결과, 지표의 적정 개수는 6개 지표가 선호도 60%, 의사결정 등급은 3등급(준

설시급·필요·불필요)이 85%로 나타났다. 또한 지표항목의 가중치 평균점수 결과 ‘사방댐 현재 저사율’이 가장 높았으며, 11.79~25.71의 범위에서 나타났다.

델파이 조사 결과 최종적으로 6개 인자와 3등급으로 구분하는 의사결정 등급을 선정 하였다.

평가영역 및 평가항목별 가중치 결정을 위한 AHP 분석결과, 현재 저사량 0.339, 민가의 유·무 0.276, 계상물매 0.162, 이동가능 토석량 0.118, 재해발생 이력 0.063, 유역면적 0.043으로 나타났다. 또한 일관성비율(CR)이 0.15(15%)로 나타나 허용할 만한 일관성을 유지하였다. 실측항목의 수정가중치 결과 ‘대’ 2.53, ‘중’ 1.60, ‘소’ 1.01로 나타났다.

또한, 이를 이용하여 사방댐 준설 평가 조사 야장을 제시 하였다. 제시된 야장을 이용한다면 불필요한 사방댐 준설작업을 방지하고, 준설이 꼭 필요한 적지에 준설을 시행하여 국가의 예산 절감 및 생태계보호는 물론 나아가 국토보전에 이바지할 것으로 기대된다. 향후, 사방댐 준설 평가 기준표를 바탕으로 준설 시행여부를 결정할 점수의 범위를 결정하기 위해 야장의 현장 적용성 검토와 적절한 의사결정 판단 기준에 관한 연구가 지속되어야 할 것이다.

References

- Chaib SI. 2004. Social research method and analysis. 3rd ed. Seoul: Hak hyun sa. (in Korean)
- Cho KT · Cho YG and Kang HS. 2003. The analytic hierarchy process. Seoul: Dong hyun publisher. (in Korean)
- Cho SH · Kim TS and Lee YC. 1998. A Study on the Aggregation of Multi-Experts Priorities Using Compatibility in the AHP. Journal of the Korean Operations Research and Management Science Society. 23(4): 131-140. (in Korean with English summary)
- Hsu, C. C and Sandford, B. A. 2007. The Delphi Technique: Making Sense of Consensus. Practical Assessment, Research & Evaluation 12(10): 1-8.
- Jang JC. 2003. Effect of debris barrier. Journal of Korean Forest Society. Seoul: Korean Forest Society. pp.61-81. (in Korean with English summary)
- Jung YG · Lee JH and Lee HH. 2012. The Effect of the Dredge of Debris barrier on Forest Recreation. Journal of the Korea Institute of Forest Recreation. 16(4): 1-8. (in Korean with English summary)
- Kim KD and Choi K. 2012. A Study on the Policy of Sustainable Domestic Timber Supply Using Delphi Technique and AHP. Korean Forest Society. 101(3): 434-442. (in Korean with English summary)
- Kim MI · Lee MS and Chang BS. 2011. Improvement of Domestic Debris Facility and Maintenance System. Korea institute for Structural Maintenance Inspection. 15(1): 400-405. (in Korean with English summary)
- Korea Forest Research Institute. 2012. Investigation & Analysis for Dredging Standard of Debris Barrier. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2007. The history of 100 years of erosion control works in Korea. (in Korean)
- Korea Forest Service. 2011. Developing on the types of specific multi-functional debris barrier. (in Korean)
- Lawshe, C. H. 1975. A QUANTITATIVE APPROACH TO CONTENT VALIDITY. Personnel Psychology 28(4): 563-575.
- Lee CW · Joh SH · Park KH · Kim MS · Yoon HJ and Hassanul RA. 2012. Quality Grading

- of Concrete Soil Erosion Control Dam in the Aspect of Unconfined Concrete Strength by Surface-Wave Technique. *Journal of Korean Forest Society*. 101(3): 412-425. (in Korean with English summary)
- Lee CW · Kwon YT and Yun JH. 2004. Development of Dredging Index for the Rational Remediation of Polluted Coastal Sediments. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*. 7(2): 70-74. (in Korean with English summary)
- Lee SH · Jung CS · Kim JS · Jung HJ and Kim MS. 2012. A Study on the Management Guidelines of Erosion Control Facilities in National Forest(I) -The Inspection Results of Erosion Control Facilities from 2009 to 2011-. *Journal of Korean Forest Society*. 101(2): 251-258. (in Korean with English summary)
- Linstone, H. A and Turoff, M. 1975. *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Addison Wesley.
- Park JD. 2012. Analysis of Relative Importance and Priority of Civil Servant's Education Training Policy: Using Analytic Hierarchy Process (AHP) Method. *The Korea Contents Society*. 12(4): 263-272. (in Korean with English summary)
- Park JH · Ma HS · Kim KH and Youn HJ. 2011. Influences of the Construction of the Torrent Control Structure using Customized Tetrapods on the Stream Water Quality at Valley. *Journal of Korean Forest Society*. 100(1): 105-111. (in Korean with English summary)
- Park KH · Kim MS · Joh SH · Lee CW · Youn HJ and Kim K. H. 2013. Study on the Stability Evaluation of Concrete Erosion Control Dam by using Non-destructive Test for Compressive Strength. Jeju: Korean Forest Society. pp. 90-96. (in Korean with English summary)
- Park MB · Nam EW · Lee HJ and Shin TS. 2008. A Study of Priority Setting of Healthy City Project Indicators with the use of AHP Model. *KOREAN JOURNAL OF HEALTH EDUCATION AND PROMOTION*. 25(3): 139-151. (in Korean with English summary)
- Park YK · Song JE · Kwon SD · Kim EH and Chung JS. 2008. Evaluation of Permission Standards for Forest Land-use Conversion using Delphi Technique. *Journal of Korean Forest Society*. 97(6): 617-626. (in Korean with English summary)
- Ryu TK and Jang KK. 1998. Effect of Soil Erosion Control Dam. *Journal of Life Science and Natural resources Research*. 20: 42-47. (in Korean with English summary)
- Saaty, T. L. 1990. *The Analytic Hierarchy Process: Planing, Priority Setting, Resource Allocation*. RWS Publications.
- Seo JP. 2012. Assessment of Topographical Changes in a Dredged Area of a Debris Barrier by Using Terrestrial LiDAR. M.phil. dissertation, Yeungnam University. (in Korean)
- Song SH · Gwon SH · Park JB and Hong SK. 2009. Application of the Delphi Technique in Modifying AHP Method. *Korea Management Science Review*. 26(1): 53-64. (in Korean with English summary)
- Tak JK. 2007. *Psychological Testing*. Seoul: Hak ji sa. (in Korean)
- Yun JS. 2013. Determining the Priority of Lifelong Education Promotion Policy in Gyeongsangnam-do through AHP Analysis. *The Korea Contents Society*. 13(5): 517-526. (in Korean with English summary)