

# 다기준의사결정기법을 이용한 안동다목적댐의 수문학적 안정성 증대방안 결정

Determination of Hydrologic Stability Increase Alternative  
for Andong Multi-Purpose Reservoir Using Multi-Criteria Decision Analysis

이재응 아주대학교 환경건설공학부 교수(제1저자)

남동성 아주대학교 환경건설공학부 석사과정

※ 주요단어: 가능최대홍수량, 다기준의사결정기법, 다목적댐, 치수능력

## 목 차

- I. 서론
- II. 다기준의사결정기법
- III. 안동댐 수문학적 안정성 증대방안
  - 1. 안동댐 현황
  - 2. 안동댐 치수능력 증대
  - 3. 안동댐 수문학적 안정성 평가기준
  - 4. 다기준의사결정기법의 적용
- IV. 결론

## I. 서론

최근 전 세계적으로 엘니뇨 또는 라니냐와 같은 이상기후로 인해 홍수가 빈번하게 발생하고 있다. 우리나라에서도 1984년, 1990년 홍수 시에는 소양강댐의 수위가 계획홍수위에 육박하였고, 1996년, 1999년 경기도 북부의 홍수 시에는 연천댐이 붕괴되는 사태까지 발생하였다. 또한 2002년 태풍 ‘루사’와 2003년 태풍 ‘매미’의 연속적인 집중호우에 의해 전국적으로 막대한 인명 및 재산 피해가 발생하였다. 특히, 2002년 8월 31일~9월 1일 강릉지방에 발생한 태풍 ‘루사’로 인해 이 지역의 농업용댐인 장현댐과 동막댐이 붕괴되었다.

수해 시 댐 붕괴가 동반될 경우, 가중되는 인명 및 재산피해는 붕괴되지 않을 경우와는 비교할 수 없을 정도로 막대하므로, 댐의 수문학적 안정성을 위한 대책 마련이 필요하게 되었다. 이와 같은 점을 고려하여 우리나라에서도 가능최대강수량<sup>1)</sup>(PMP: Probable Maximum Precipitation)의 증대 및 댐설계기준이 보장됨에 따라 기준에 운영 중인 댐에 대한 재검토와 이에 따른 대처방안이 필요하게 되었다.

댐의 수문학적 안정성을 증대시키기 위해 크게 비구조적 방안과 구조적 방안을 고려할 수 있다. 비구조적 방안으로는 댐의 계획홍수위 조절, 구조적 방안으로는 기존댐 증고, 기존 여수로 확장, 여수로 신설 등을 고려할 수 있다. 댐의 수문학적 안정성을 증대시키기 위한 방안을 결정하기 위해서는, 각각의 방안에 대하여 여유고 확보, 안정적인 용수공급, 안정성, 환경성, 사업비, 시공의 용이성

및 운영유지관리의 효율성 등과 같은 다양한 기준들을 고려하여 최적의 방안을 선정해야 한다. 현재 다목적댐이나 용수전용댐의 수문학적 안정성 증대를 위해서 대부분 모의기법, 혹은 최적화기법이 사용되고 있지만, 이들 방법으로부터 각 수문학적 안정성 증대방안이 이러한 다양한 기준에 영향을 포괄적으로 분석할 수 있는 기법은 아직 제시되고 있지 않다. 따라서 본 연구의 목적은 다양한 방안들과 기준들을 포괄적으로 분석하여 최적의 의사결정을 지원할 수 있는 다기준의사결정기법을 제시하는 데 있다.

다기준의사결정기법은 여러 개의 대안과 기준을 가지고 있는 문제에 적용하기 적합한 방법이나, 문제구성 시 의사결정자의 주관적인 판단이 개입할 여지가 있고 사용된 의사결정기법에 따라 문제의 해가 변경될 수 있다는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 다양한 전문가들의 의견을 반영하여 가능한 한 객관적으로 문제를 구성하였고, 다양한 다기준의사결정기법을 이용하여 최종결론을 유도함으로써, 단일 다기준의사결정기법으로부터 발생할 수 있는 결과의 왜곡문제를 해결하려고 하였다. 이러한 목적을 위하여 본 연구의 내용을 다음과 같이 구성하였다.

첫째, 기존 다목적댐의 건설 당시와 비교하여, 댐 주변의 수문상황이 변화하였거나 수문학적 안정성이 확보되지 못하여 댐의 치수능력을 제고할 필요가 있는 댐을 선정한다.

둘째, 선정된 다목적댐의 수문학적 안정성 증대를 위해 다양한 기준들을 고려하고, 여러 가지 대

1) 일년 중 특정 시간에 특정 지리학적 위치에서 주어진 크기의 면적에 대해 주어진 지속기간 동안 물리적으로 가능하고 이론적으로 가장 큰 강수의 깊이.

안들 중에서 최선의 대안을 찾기 위해 다기준의사결정기법을 적용한다.

셋째, 보다 합리적이고 객관적인 결론을 도출하기 위하여 다기준의사결정기법 중 가중평균기법 (Weighted Average), ELECTRE(Elimination and (et) Choice Translating Algorithm) I·II, PROMETHEE(Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) I·II, Compromise Programming, AHP(Analytical Hierarchical Process) 기법 등 다양한 기법들을 적용한다. 이 중에서 ELECTRE I 기법은 각 대안의 전체적인 순위를 결정하거나 최적 대안을 도출해낼 수 있는 기법이 아니기 때문에 선호도가 높은 대안을 선정하고, 전체적인 순위를 결정하기 위해서는 ELECTRE II 기법을 적용한다. 이렇게 다양한 다기준의사결정기법들을 동일한 문제에 적용한 이유는 다기준의사결정기법의 특성상, 하나의 기법의 결과에만 의존하는 것은 객관성이 결여될 염려가 있기 때문이다(Abrishamchi et al. 2005).

일반적으로 세 가지 이상의 기법을 이용한 결과를 조합하여 의사결정에 참조하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 6개의 다기준의사결정기법을 적용하고, 결과의 차이점을 비교, 검토하였다.

넷째, 다양한 다기준의사결정기법으로부터 획득한 해로부터 최적방안을 선정한다.

## II. 다기준의사결정기법

수자원과 관련된 사업을 위해서는 이미 널리 고려되고 있는 기술적 성능과 경제적 효율성뿐만 아니라 환경과 사회적 공평성이라는 새로운 개념도 포함되어야 한다. 특히 상이한 많은 대안들의 다차원적 영향을 비교하고 우선순위를 결정할 수 있도록 의사결

정 과정을 지원할 수 있는 다기준의사결정기법과 같은 좀 더 포괄적 관점에서의 접근방법이 필요하다. 다기준의사결정기법을 이용하여 각각의 다양한 대안이 다른 대안들과 관련되어 어떻게 거동하는가를 판단하고 대안들 사이의 절충을 통해 선택할 수 있는 대안들에 대한 이해도를 높일 수 있다면 수자원 계획의 효율적 시행이 가능할 것이다.

다기준의사결정기법이란 어떤 문제의 최적 대안을 찾고자 할 때, 고려해야 할 여러 기준들이 상충되어 의사결정이 쉽지 않은 경우, 비지배해 (nondominated solution)의 집합이라는 개념을 도입하여 최적대안을 찾아내는 기법이다. 비지배해란 어떤 문제의 해가 다른 어떤 해에 의해서도 지배되지 않을 때, 이를 비지배해 또는 파레토(pareto) 최적해라고 한다.

예를 들어, 다목적댐의 운영에서 농업용수, 생활용수, 공업용수의 공급, 수력발전, 홍수조절, 저수지의 수위 유지, 환경보호와 여가활동을 위한 하천수위 유지 등의 목적을 만족시켜야 할 경우, 이러한 목적들을 만족시키기 위한 해는 상호 종속 또는 지배되지 않고 상충되는데, 각각의 해를 비지배해라 한다.

다기준의사결정기법의 활용성은 수자원 개발 및 관리 분야에서 높이 평가되어 왔다. 다기준의사결정기법을 활용한 연구에는 수자원 시스템의 운영에서 의사결정을 지원하기 위한 연구(Flug et al. 2000)와, 상이한 운영정책을 평가하기 위한 연구 등이 있다(Yin et al. 1999). 이충성 등(2005a, b)은 치수사업의 투자우선순위 결정을 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법과 MAUT(Multi-Attribute Utility Theory)기법을 이용하였다. 김우구(2006) 등은 다기준의사결정기법을 이용하여 사업투자우선

순위를 결정하였다.

다기준의사결정기법에는 다양한 기법들이 존재하는데, 그 중에서 본 연구에서 사용된 가중평균기법, ELECTRE I·II, PROMETHEE I·II, Compromise Programming, AHP 방법들을 간단히 소개하면 다음과 같다. 이들에 대한 상세한 설명은 남동성(2007)에 제시되어 있다.

가중평균기법은 비교분석 평가절차에서 가장 널리 사용되는 기법으로, 각각의 기준에 부과된 가중치에 의해서, 각 대안이 수치로 산정되어 가장 큰 가치를 갖는 대안을 찾을 수 있다(Einhorn and McCoach. 1977).

ELECTRE I은 비지배해 집합의 크기를 줄이는 기법으로, 특히 제한된 수의 대안을 갖는 문제에 적합하다. 이 기법은 최초 Benayoun·Roy·Sussman(1966)에 의해 제안되었으며, Roy(1971)에 의해 발전되었다. ELECTRE II는 ELECTRE I의 확장으로써, Roy(1968)와 Roy and Bertier(1971)에 의해 발전되었다. ELECTRE I이 비지배해 집합의 부분적인 순위만을 결정할 수 있는데 반하여, ELECTRE II는 비지배해 집합의 완전한 순위를 결정할 수 있다.

PROMETHEE는 Roy(1968)에 의해 소개되었으며, 대안의 부분적인 순위를 결정할 수 있는 PROMETHEE I과 전체적인 순위를 결정할 수 있는 PROMETHEE II가 있다.

Compromise Programming은 복합적인 선형 목적항에서 적절하게 사용되는 상호작용 기법(Zeleny. 1973)으로, 이상해에 가장 근접한 해를 발견하기 위해 사용된다.

AHP는 계층분석과정 또는 계층분석방법이라고 불리며, 1970년대 Saaty에 의하여 개발되었다. AHP는 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소 간의 쌍대비교를 통해 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하는 의사결정방법론 중 하나다. 의사결정의 전 과정을 여러 단계로 나눈 후, 이를 단계별로 분석, 해결함으로써 최종적인 의사결정에 이르는 방법이다.

다기준의사결정기법을 사용하기 위해서는 payoff 행렬을 구성해야 하는데, 이 과정이 의사결정 결과에 큰 영향을 미치기 때문에 다기준의사결정기법의 적용에서 가장 어려운 과정 중의 하나다. 본 연구에서는 객관적으로 payoff 행렬을 구성하기 위하여 건설교통부 및 수자원공사의 의사결정자, 운영자 및 전문가와 지속적인 의견교환을 통해 주관적 판단에 의한 결과 왜곡을 최소화하려고 노력하였다.

또한 다양한 다기준의사결정기법을 적용하여 단일 기법만을 적용하여 발생할 수 있는, 기법에 따른 주관적 왜곡을 감소시켰다.

본 연구에서는 다기준의사결정기법을 적용하기 위해 낙동강 유역에 위치한 안동다목적댐의 수문학적 안정성 증대방안을 검토하였다. 안동다목적댐은 1976년 준공되어 운영된 지 30년이 경과하여 댐 주변의 수리, 수문학적 상황이 변화되었으며, 가능최대홍수량(PMF)<sup>2)</sup>의 재산정 결과, 댐 설계 시 PMF가 8,350m<sup>3</sup>/s이던 것이 1만 5,100m<sup>3</sup>/s로 약 81% 증가하였다. 따라서 이에 대처하기 위한 안동댐의 치수능력 증대방안으로 제시된 다양한 대안들을 다기준의사결정기법을 적용하여 평가하였다.

2) 유역에서 합리적으로 가능한 최악의 수문학적 조건과 기상학적 조건이 동시에 발생했을 때 이론적으로 최대의 유출.

### III. 안동댐 수문학적 안정성 증대방안

#### 1. 안동댐 현황

낙동강 유역도 최근에 발생하고 있는 집중호우로 인하여 연속적인 인명과 재산 피해를 겪고 있다. 낙동강 유역에는 현재 안동, 임하, 합천, 남강 등 네 개의 다목적댐이 홍수조절을 담당하고 있는데, 본 연구에서는 이 중에서 안동댐의 수문학적 안정성을 증대시키기 위한 다양한 구조적 및 비구조적 대안을 다기준의사결정기법을 이용해 검토하고 최적대안을 선정하였다.

안동댐이 위치한 낙동강유역은 우리나라 제2의 유역으로, 강원도 태백시의 태백산 황지천에서 발원하여 남류하면서 안동댐에 유입된다. 안동다목적댐은 낙동강 하구에서 약 345km 상류지점에 위치하고 있으며, 안동시로부터는 북동쪽으로 4km 떨어진 낙동강 본류 계곡에 설치되어 있다. 안동댐의 규모는 높이 83m, 길이 612m로 우리나라에서 소양강댐 다음으로 규모가 큰 댐이다. 안동다목적댐은 생활, 공업, 농업용수, 하천 유지용수의 공급, 수력발전 및 홍수조절 등의 목적을 가지고 있다.

#### 2. 안동댐 치수능력 증대

‘안동댐 치수능력증대사업 기본계획보고서(2005. 건설교통부)’에 따르면, 안동댐에 대한 확률홍수량 및 PMF를 재산정하여 치수능력을 검토한 결과, 현재 안동댐의 여수로 능력으로는 재산정한 PMF를 안전하게 처리할 수 없는 것으로 분석되었다. 따라서 크게 증가한 PMF의 규모와 지역여건 및 댐 특성 등을 감안하여 <표 1>과 같은 다양한 구조적 및 비구조적 대안들이 제시되었다. 본 연구에서는 다양한 다기준의사결정기법을 이용하여 8개의 대안들 중 최적의 대안을 찾으려 하였다.

#### 3. 안동댐 수문학적 안정성 평가기준

각 대안을 평가하기 위한 기준은 수문학적 안정성 증대를 목적으로 각 대안이 적용되었을 때 경제학적, 환경적, 사회적, 공학적 결과를 평가하기 위해 선정되었다. 각각의 대안들에 대한 기준으로 우선 치수능력 증대가 기본목적이므로 첫 번째 기준으로 댐의 여유고 확보(C1)를 고려하였다. 치수능력 증대를 고려하더라도, 그 댐에서 이미 계획된 용수공급량을 고려해야 하기 때문에 용수공급량(C2)을 두 번째 기준으로 고려하였다. 다음으로 안정

<표 1> 안동댐의 수문학적 안정성 증대대안

비구조적 방안				구조적 방안			
N1	N2	N3	N4	S1	S2	S3	S4
160m 홍수기 제한수위 설정	155m 홍수기 제한수위 설정	151.8m 홍수기 제한수위 설정	150m 홍수기 제한수위 설정	기존댐 증고	기존 여수로 확장	터널식 여수로 신설	개착식 여수로 신설

성(C3), 공사 중에 발생하는 환경성(C4), 사업비(C5), 시공의 용이성(C6), 운영유지관리(C7) 등도 각각 평가기준들로 고려하였다. 여기서 사업비란 기존 시설물의 보수, 보강비는 제외한 순수 사업비를 의미한다(2005. 건설교통부).

<표 1>에서 제시되었듯이 안동댐의 수문학적 안정성을 증대하기 위해 제안된 방안에는 구조적 방안과 비구조적 방안이 모두 포함되어 있다. 구조적 방안과 비구조적 방안은 근본적으로 치수능력 증대 방안을 위해 접근하는 개념이 상이하기 때문에 직접 비교하는 것은 논란의 여지가 있을 수 있다. 하지만, 댐의 수문학적 안정성을 제고하기 위해서는 어차피 두 방안이 모두 선택될 수 있는 대안이므로, 댐의 여유고 확보, 용수공급량, 안정성, 환경성, 사업비, 시공의 용이성, 운영유지관리 등의 다양한 기준들을 이용하여 객관적으로 평가하였다.

### 1) 비구조적 방안

비구조적 방안으로 고려한 홍수기 제한수위 변경 대안으로 현 상태인 160m(N1)와 수위를 일부 낮춘 155m(N2), 151.8m(N3), 150m(N4)를 검토하였다. HEC-5(U.S. Army Corps of Engineers, 1988)를 이용하여 안동댐의 제한수위를 변경시키면서 제한수위가 없는 현 상태의 용수공급 신뢰도와 동일한 조건으로 용수공급 가능량을 산정하였다. 제한수위를 낮춤에 따라 현 상태보다 연간 2,220만<sup>3</sup>(2.4%)~1억 4백만<sup>3</sup>(11.2%)의 용수공급량이 감소되었다. 제한수위를 설정하는 비구조적 방안은 용수공급량은 감소하는 반면에, 안정성, 환경성, 사업비, 시공의 용이성, 운영유지관리 등의 기준에

대해서는 변화가 없는 방안이다.

### 2) 구조적 방안

#### (1) 기존댐 증고(S1)

기존댐 증고 방안은 재산정한 PMF와 같은 큰 규모의 홍수가 댐으로 유입되더라도 현재 설치되어 있는 기존 여수로로 그대로 두면서 댐이 월류되지 않도록 댐을 증고하는 방안이다. 댐 증고 방안은 홍수위 상승에 따른 댐체 증고뿐만 아니라 기존 여수로 시설의 개량공사가 필요하다. 댐 증고를 위해서는 댐마루부 및 댐사면부의 굴착이 선행되어야 하는데, 작업 시의 안전성이 우려된다. 또한 댐 증고를 위한 건설로 환경훼손, 소음 및 진동 등의 발생이 예상되며, 소요되는 총 사업비는 약 1,426억 원 정도로 예상된다.

#### (2) 기존 여수로 확장(S2)

기존 여수로 확장 방안은 신설 여수로와의 연결을 위해 기존 여수로 좌안의 구조물을 모두 철거하고 재설치해야 한다. 사업비는 약 1,382억 원으로 예상된다.

#### (3) 비상여수로 신설(S3와 S4)

비상여수로 신설 방안은 기존 여수로 확장 방안과 마찬가지로 기존 댐마루표고가 증가되지 않도록 하는 치수능력 증대방안으로서 기존 여수로 확장과는 달리 댐체 및 기존 여수로에 미치는 영향을 최소화하기 위해 기존 구조물로부터 충분한 거리를 확보하여 비상여수로를 신설하는 방안이다.

댐 좌안에 비상여수로를 설치할 경우 지형적 여건상 여수로 연장이 비교적 짧고 비상여수로가

<표 2> 수문학적 안정성 증대방안 비교

방안	기준	여유고 (m) (C1)	용수공급량 (백만 <sup>3</sup> /년) (C2)	안정성 (C3)	환경성 (C4)	사업비 (억 원) (C5)	시공성 (C6)	운영유지관리 (C7)
비구조적 방안	160m(N1)	월류	926.4	-	-	-	-	유지관리 용이
	155m(N2)	1.06	852.0	-	-	-	-	유지관리 용이
	151.8m(N3)	2.12	802.3	-	-	-	-	유지관리 용이
	150m(N4)	2.77	774.5	-	-	-	-	유지관리 용이
구조적 방안	기존댐 증고 (168.82m) (S1)	2.1	926.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 댐과 관련 시설물의 하중이 설계 시보다 크므로 이에 대한 안정성 검토 필요</li> <li>• 구조적 안정성 측면에서 가장 불리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 석산개발, 공사용도로 건설로 환경훼손</li> <li>• 석산개발 시 소음, 진동, 먼지 발생</li> </ul>	1,426	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 구조물과의 간섭사항으로 시공 난이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존구조물 보강으로 운영 및 유지관리 용이</li> </ul>
	기존 여수로 확장 (S2)	2.1	926.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 여수로 좌측 측벽 철거, 신설구조물 접합 등으로 구조적 안정성에서 불리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경훼손이 큼</li> <li>• 여수로 확장부 발파 작업 시 소음, 진동 및 비산먼지 발생</li> </ul>	1,382	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 발파 작업 시 기존구조물에 영향</li> <li>• 기존 여수로 좌측 측벽 철거 후 신설 구조물 접합으로 시공 복잡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 여수로 확장으로 운영 및 유지관리 용이</li> </ul>
	터널식 여수로 (S3)	2.1	926.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널식으로 입구부 단면 변화구간의 수리적 불안정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경훼손이 상대적으로 적음</li> <li>• 굴착 작업 시 소음, 진동, 비산먼지 발생</li> </ul>	1,671	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 구조물과 간섭사항 없음</li> <li>• 개착식보다 시공불리</li> <li>• 터널 내 단면 변화부의 시공이 복잡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개착식보다 운영 및 유지관리 불리</li> </ul>
	개착식 여수로 (S4)	2.1	926.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 직선형 도수로이므로 수리적으로 유리</li> <li>• 터널식보다 구조물 안정성측면에서 유리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전 구간 개착식으로 환경훼손 큼</li> <li>• 굴착 작업 시 소음, 진동, 비산먼지 발생</li> </ul>	1,542	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 구조물과 간섭사항 없음</li> <li>• 전 구간 지상공사로 터널식보다 시공용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터널식보다 운영 및 관리용이</li> </ul>

<표 3> 가중평균기법 Payoff 행렬

Criteria 방안		여유고 (m) (C1)	용수공급량 (백만m³/년) (C2)	안정성 (C3)	환경성 (C4)	사업비 (억 원) (C5)	시공성 (C6)	운영유지 관리 (C7)
가중치		10	10	5	5	3	1	1
비구 조적 방안	160m(N1)	1	8	8	8	8	8	8
	155m(N2)	3	1	8	8	8	8	8
	151.8m(N3)	6	1	8	8	8	8	8
	150m(N4)	8	1	8	8	8	8	8
구 조적 방안	기존댐 증고 (S1)	6	8	5	5	6	4	8
	기존 여수로 확장(S2)	6	8	7	5	7	4	8
	터널식 여수로 (S3)	6	8	5	6	3	2	6
	개착식 여수로 (S4)	6	8	7	4	5	4	8

지나가는 지점의 지형이 높지 않기 때문에 터널식(S3) 또는 개착식(S4) 두 가지 형식 모두 설치가 가능하다.

터널식 여수로는 공사 중 댐의 홍수조절기능 및 이수기능을 그대로 유지하면서 공사가 가능하여 댐증고 방안이나 기존 여수로 확장 방안에 비하여 공사추진은 용이하나 환경적인 측면에서 불리하다. 또한, 터널규모가 크기 때문에 시공성 측면에서 불리하다. 소요되는 총 사업비는 약 1,671 억 원으로 예상된다.

개착식 비상여수로 방안은 앞의 터널식 비상여수로와 마찬가지로 공사 중 댐의 홍수조절기능 및 이수기능을 그대로 유지하면서, 기존 여수로에 인접하여 별도로 개착식 비상여수로를 설치하는 방안이다. 전 구간 개착식 여수로는 환경훼손이 터널식 여수로에 비해 크고, 소음, 진동, 먼지 등이 가

장 많이 발생하며, 소요되는 총 사업비는 약 1,542 억 원으로 예상된다. 이를 모두 정리하면 <표 2>와 같다.

#### 4. 다기준의사결정기법의 적용

##### 1) 가중평균(Weighted Average)기법

최적대안을 도출하기 위해 각 기준들의 중요도에 따라 1에서 10 사이의 상대 가중치를 부과하였다. 가능한 한 객관적으로 가중치를 부과하기 위하여 건설교통부 및 수자원공사의 의사결정자, 운영자 및 전문가와의 토의과정을 거쳤다.

여유고의 확보가 안동댐 치수능력증대계획의 가장 중요한 목적이고, 치수를 위하여 기존의 용수공급을 감소시킬 수 없으므로 두 기준에 대해서는 가

<표 4> 가중평균기법 결과

방안		Criteria		여유고	용수 공급량	안정성	환경성	사업비	시공성	운영 유지 관리	총평
		상대적 중요도									
		상대적 중요도		10	10	5	5	3	1	1	
비구조 적 방안	160m (N1)	평가		1	8	8	8	8	8	8	
		통합평가		10	80	40	40	24	8	8	210
	155m (N2)	평가		3	2	8	8	8	8	8	
		통합평가		30	20	40	40	24	8	8	170
	151.8m (N3)	평가		6	1	8	8	8	8	8	
		통합평가		60	10	40	40	24	8	8	190
	150m (N4)	평가		8	1	8	8	8	8	8	
		통합평가		80	10	40	40	24	8	8	210
구조적 방안	기존댐 증고 (S1)	평가		6	8	5	5	6	4	8	
		통합평가		60	80	25	25	18	4	8	220
	기존 여수로 확장 (S2)	평가		6	8	7	5	7	4	8	
		통합평가		60	80	35	25	21	4	8	233
	터널식 여수로 (S3)	평가		6	8	5	6	3	2	6	
		통합평가		60	80	25	30	9	2	6	212
	개착식 여수로 (S4)	평가		6	8	7	4	5	4	8	
		통합평가		60	80	35	20	15	4	8	222

주: 위에 음영으로 표시된 대안이 선택됨.

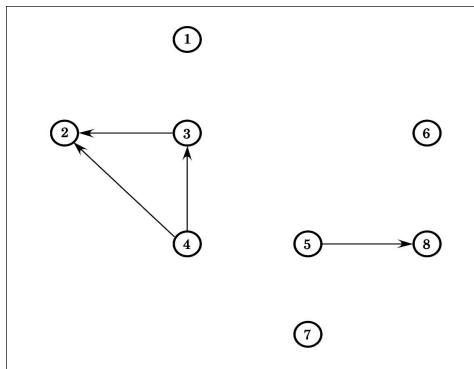
장 큰 가중치 10을 적용하였다. 또한 댐의 안정성과 환경에 대한 중요성이 대두되는 현재의 시점에서 공사로 인한 환경파괴에 대해서도 그 중요성이 인정되어 가중치 5를 적용하였다. 사업의 경제성을 고려하기 위하여 공사에 소요되는 사업비에는 가중치 3을 적용하였다. 마지막으로 시공성 및 운영·유지관리와 관련해서는 다른 기준들에 비해 상대적 중요도가 낮다고 판단되어 가중치 1을 적용하였다. 이를 각 기준에 대하여 척도 1에서 8까지의 평가치를 결정하여 정리하면 <표 3>과 같다.

가중평균기법을 적용하여 각 대안들을 평가한 결과 기존 여수로 확장이 가장 높은 값을 얻어 <표 4>와 같이 최적 대안으로 선정되었다. 이어 개착식 여수로 증설, 기존댐 증고, 터널식 여수로 증설 등의 구조적 방안들이 높은 순위를 차지하였고, 비구조적인 방안들은 상대적으로 낮은 결과의 값을 얻었다. 이는 상대적으로 중요도를 인정받은 용수공급 측면에서 비구조적인 방안들이 구조적인 방안들에 비해 낮게 평가되었기 때문인 것으로 판단된다.

## 2) ELECTRE I

평가의 일관성을 유지하기 위하여 각 기준에 대한 가중치는 앞서 가중평균기법에서 적용한 값을 그대로 사용하였다. ELECTRE I의 적용 결과를 그림으로 나타내면 <그림 1>과 같다.

<그림 1> ELECTRE I 결과



<그림 1>에서 알 수 있듯이 node 2(N2)와 3(N3)은 node 4(N4)에 의해 지배되고, node 8(S4)은 node 5(S1)에 의해 지배된다. 따라서 어느 대안도 다른

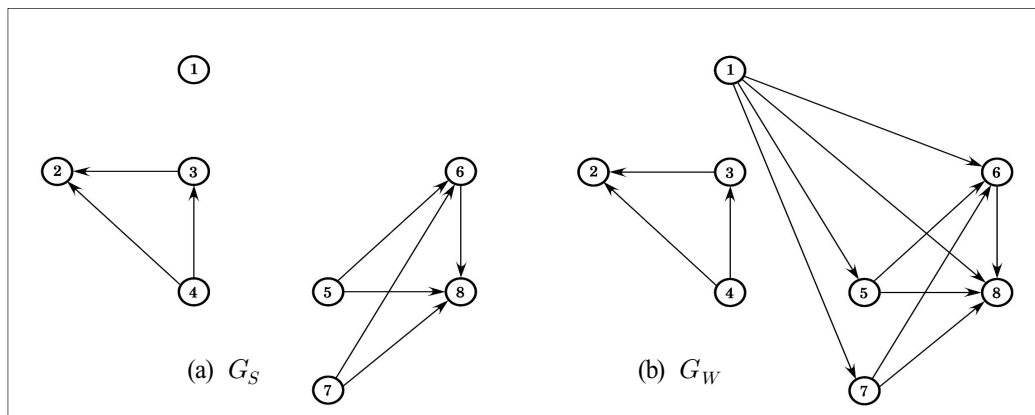
대안과 지배관계가 없는 부분집합인 kernel을 찾으면 node 1(N1), 4(N4), 5(S1), 6(S2), 7(S3)이 되므로, 최종적으로 비지배 집합은 8개의 대안에서 5개의 대안으로 축소되었다. 즉, 160m 홍수기 제한수위 설정, 150m 홍수기 제한수위 설정, 기존 댐 증고, 기존 여수로 확장, 터널식 여수로 신설이 선정되었다.

그러나 ELECTRE I 기법은 각 대안의 전체적인 순위를 결정하거나 최적대안을 도출해낼 수 있는 기법이 아니기 때문에, 이 기법으로 최적대안을 찾아낼 수는 없다. 따라서 전체적인 순위를 결정하기 위해서 ELECTRE II를 적용한다.

## 3) ELECTRE II

ELECTRE II의 결과로 강한 관계곡선  $G_s$ 와 약한 관계곡선  $G_w$ 를 작성하면 <그림 2>와 같다. <그림 2>를 이용하여 산정한 강한 순위와 약한 순위를 평균하여 평균 순위를 산정하면 <표 5>와 같다. ELECTRE II에 의해 결정된 순위는 비구조적인 대안들이 우선순위로 결정되었는데, 이는 용수공

<그림 2> 강한 관계곡선과 약한 관계곡선

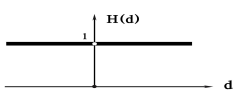
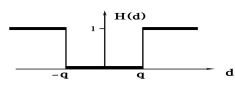
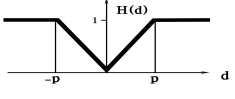
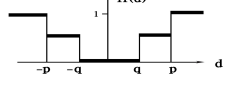
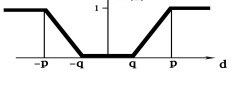
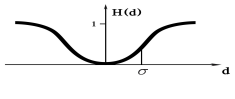


<표 5> ELECTRE II 평균 순위

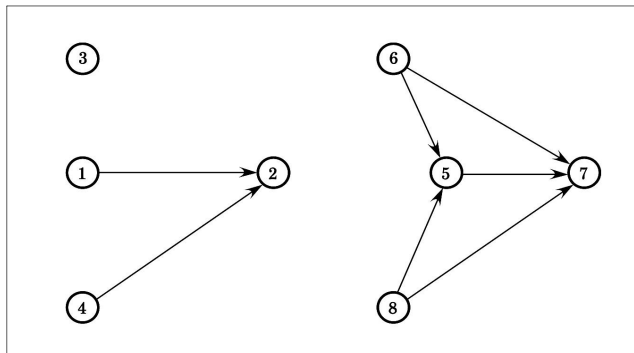
순위	160m (N1)	155m (N2)	151.8m (N3)	150m (N4)	기존댐 증고 (S1)	기존여수로 확장 (S2)	터널식 여수로 (S3)	개착식 여수로 (S4)
강한 순위	1	5	2	1	2	3	2	4
약한 순위	1	4	3	2	2	3	2	4
평균 순위	1	4.5	2.5	1.5	2	3	2	4

주: 위에 음영으로 표시된 대안이 선택됨.

<그림 3> 선호도 함수

Types of Generalized Criteria		Parameters
I. Usual Criterion		-
II. Quasi-Criterion		q
III. Criterion with Linear Preference		p
IV. Level Criterion		q, p
V. Criterion with Linear Preference and Indifference		q, p
VI. Gaussian Criterion		$\sigma$

<그림 4> PROMETHEE I 기법에 의한 부분 순위



<표 6> Compromise Programming의 결과

방안 \ Criteria	절대값 함수	Euclidean Norm	Chebychev 함수
160m(N1)	0.286	0.082	0.286
155m(N2)	0.315	0.050	0.176
151.8m(N3)	0.302	0.059	0.233
150m(N4)	0.286	0.082	0.286
기존 댐 증고(S1)	0.372	0.115	0.286
기존 여수로 확장(S2)	0.260	0.096	0.286
터널식 여수로(S3)	0.426	0.199	0.286
개착식 여수로(S4)	0.330	0.108	0.286

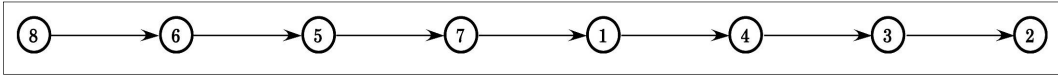
주: 위에 음영으로 표시된 대안이 선택됨.

급량을 제외한 다른 모든 부분에서 비구조적인 방안이 구조적인 방안과 비슷한 평가를 받았거나 우수한 평가를 받았기 때문이다. 즉, 각 기준에 주어진 가중치보다는 각 항목 간의 평가값의 차이가 순위결정에 보다 더 영향을 미치는 것으로 판단된다.

#### 4) PROMETHEE

PROMETHEE 기법을 적용하기 위해서는 우선, <그림 3>에서 제시된 각 기준의 선호도 함수(Roy, 1968)의 형태를 결정해야 한다. 본 연구에서 제시된 기준들인 여유고, 안정성, 환경성, 사업비, 시공성의 경우, 어느 정도 차이가 증가할수록 그 선호도가 선형 증가하다가 한계값 이상의 차이가 있을 경우, 절대 선호를 보이므로 type III 선호도 함수를 선택하였다. 용수공급량과 운영유지관리는 최대값만을 선호하고 다른 값들은 불만족도가 매우 크

<그림 5> PROMETHEE II의 순위



<표 7> AHP의 결과

대안 \ 기준	여유고 (C1)	용수 공급량 (C2)	안정성 (C3)	환경성 (C4)	사업비 (C5)	시공성 (C6)	운영유지 관리 (C7)	순위
가중치	0.286	0.286	0.143	0.143	0.086	0.029	0.029	
160m(N1)	0.024	0.186	0.143	0.154	0.151	0.174	0.129	0.127
155m(N2)	0.071	0.023	0.143	0.154	0.151	0.174	0.129	0.097
151.8m(N3)	0.143	0.023	0.143	0.154	0.151	0.174	0.129	0.115
150m(N4)	0.190	0.023	0.143	0.154	0.151	0.174	0.129	0.127
기존댐 증고(S1)	0.143	0.186	0.089	0.096	0.113	0.087	0.129	0.133
기존 여수로 확장(S2)	0.143	0.186	0.125	0.096	0.132	0.087	0.129	0.141
터널식 여수로(S3)	0.143	0.186	0.089	0.115	0.057	0.043	0.097	0.128
개착식 여수로(S4)	0.143	0.186	0.125	0.077	0.094	0.087	0.129	0.134

주: 위에 음영으로 표시된 대안이 선택됨.

<표 8> 다기준의사결정기법 적용 결과

방안 \ 적용 기법	가중평균 기법	ELECTRE II	PROMETHEE II	Compromise Programming			AHP
				절대값 함수	Euclidean Norm	Chevychev 함수	
160m(N1)	5순위	1순위	4순위	2순위	3순위	3순위	5순위
155m(N2)	7순위	7순위	7순위	4순위	1순위	1순위	7순위
151.8m(N3)	6순위	4순위	6순위	3순위	2순위	2순위	6순위
150m(N4)	5순위	2순위	5순위	2순위	3순위	3순위	5순위
기존댐 증고(S1)	3순위	3순위	3순위	6순위	6순위	3순위	3순위
기존 여수로 확장(S2)	1순위	5순위	2순위	1순위	4순위	3순위	1순위
터널식 여수로 (S3)	4순위	3순위	4순위	7순위	7순위	3순위	4순위
개착식 여수로 (S4)	2순위	6순위	1순위	5순위	5순위	3순위	2순위

주: 위에 음영으로 표시된 대안이 선택됨.

로 type I 선호도 함수를 선택하였다. PROMETHEE I 기법에 의해 각 대안들의 부분 순위를 결정하면 <그림 4>와 같다.

<그림 4>에서 대안 3(N3)은 비교 가능한 대안이 없는 것으로 나타났으며, 또한 비구조적인 방안들과 구조적인 방안들이 서로 나누어져 비교되었음을 알 수 있다. 우선 비구조적인 방안에서는 대안 1(N1)과 대안 4(N4)가 가장 우선순위가 큰 것으로 나타났으며, 구조적인 방안에서는 대안 6(S2)과 대안 8(S4)이 우선순위가 큰 것으로 나타났다. PROMETHEE I 기법은 부분적인 순위만을 결정할 수 있으므로, 완전한 순위를 결정하기 위해서는 PROMETHEE II 기법을 적용해야 한다. PROMETHEE II 기법을 적용한 결과는 <그림 5>와 같다. <그림 5>에서 나타났듯이 대안 8(P4)이 최적대안으로, 대안 2(N2)가 가장 좋지 않은 대안으로 선정되었다.

#### 5) Compromise Programing

Compromise programming에서는 절대값 함수, Euclidean norm, Chebychev 함수 등 세 가지 모형을 사용할 수 있다. 여기서, 최적 대안은 각각 절대값 함수를 사용할 때는 기존 여수로 확장(S2), Euclidean 함수를 사용할 때는 155m 홍수기 제한수위 설정(N2), Chebychev 함수를 사용할 때도 155m 홍수기 제한수위 설정(N2)으로 평가되었다. 이 기법에서는 비구조적 대안이 보다 높게 평가가 되었는데, 이것은 ELECTRE II에서와 마찬가지로 비구조적 방안이 구조적 방안보다 여러 기준들에서 높은 평가를 받은 것이 최적대안 결정에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다. compromise programming

기법에서는 가중치보다는 평가값의 차이가 순위결정에 보다 더 큰 영향을 미친다.

#### 6) AHP

일반적으로 AHP 기법의 적용을 위해 평가 축척은 1~9로 제시되고 있으나 본 연구에서는 평가의 일관성을 위하여 앞서 제시한 기법들의 평가값을 동일하게 적용하였다. 이에 따라 상대 선호도를 정리하여 최종 순위를 결정하면 <표 7>과 같다. AHP에 의해 결정된 최적 대안은 기존 여수로 확장(S2)으로 선정되었고, 이어 개착식 여수로 신설(S4), 기존댐 증고(S1), 터널식 여수로 신설(S3) 등의 구조적인 방안들이 우선순위가 높았고, 비구조적인 방안들은 상대적으로 낮은 결과를 얻었다. 이 결과는 앞선 ELECTRE II와 compromise programming의 결과와는 다른 양상을 보이는데, 이것은 AHP 기법이 두 기법들과 달리 각 요소 간의 평가값 차이보다 각 기준에 부여된 가중치가 최종 순위에 보다 더 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

#### 7) 최종 결과

지금까지 적용했던 기법들에 의한 순위의 최종 결과를 정리하면 <표 8>과 같다. ELECTRE I 기법과 PROMETHEE I 기법은 대안들의 순위를 완전히 결정하지 못하기 때문에 <표 8>에 포함시키지 않았다.

### IV. 결론

본 연구에서는 최근 빈번히 발생하는 이상홍수에

대한 대책으로 안동댐 수문학적 안정성 증대방안에 대하여 6개의 다기준의사결정기법들을 적용하여 최적 대안을 도출하였다. 본 연구를 통해 얻은 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

가중평균기법 적용 시, 최적 대안은 기존 여수로 확장(S2)으로 선정되었다. 또한 비구조적인 방안보다 구조적인 방안이 보다 더 높은 순위를 얻었는데, 비구조적인 방안들이 가중치가 가장 큰 여유고와 용수공급측면에서 구조적인 방안에 비해 대체적으로 낮은 평가를 받아 나타난 결과로 판단된다.

ELECTRE I 기법 적용 시, 160m 홍수기 제한수위 설정(N1), 150m 홍수기 제한수위 설정(N4), 기존 댐 증고(S1), 기존 여수로 확장(S2), 터널식 여수로 신설(S3)이 선정되었다.

ELECTRE II 기법 적용 시, 최적 대안은 160m 홍수기 제한수위 설정(N1)이 선정되었다. 또한 구조적인 방안보다 비구조적인 방안이 높은 순위를 얻었는데, 이것은 용수공급량을 제외한 다른 모든 부분에서 비구조적인 방안이 구조적인 방안과 비슷한 평가를 받았거나 우수한 평가를 받았기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 기준에 주어진 가중치보다는 각 항목 간의 평가값의 차이가 순위결정에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

PROMETHEE I 기법에서는 비구조적인 방안과 구조적인 방안이 서로 상관관계 없이 분리되어 각각 순위가 결정되었다. 비구조적인 방안에서는 160m 홍수기 제한수위 설정(N1)과 150m 홍수기 제한수위 설정(N4)이 우선순위로 선정되었고, 구조적인 방안에서는 기존 여수로 확장(S2)과 개착식 여수로 신설(S4)이 우선순위로 나타났다.

PROMETHEE II 기법에서는 최적 대안으로 개

착식 여수로 신설(S4)이 선정되었다. 이 대안의 경우 다른 대안에 비해 좋지 않은 부분이 상대적으로 적었기 때문에 최적 대안으로 선정된 것으로 판단된다. 가중평균기법에서 최적 대안으로 선정되었던 기존 여수로 확장(S2)은 두 번째로 좋은 평가를 받았다.

Compromise programming 기법 적용 시, 최적 대안은 각각 절대값 함수를 사용할 때 기존 여수로 확장(S2), Euclidean norm을 사용할 때 155m 홍수기 제한수위 설정(N2), Chebychev 함수를 사용할 때 역시 155m 홍수기 제한수위 설정(N2)으로 나타났다. 이 기법에서는 비구조적인 대안이 보다 높게 평가가 되었는데 이것은 ELECTRE II에서와 마찬가지로 비구조적인 방안이 구조적인 방안보다 여러 기준들에서 높은 평가를 받은 것이 최적 대안 결정에 많은 영향을 미친 것으로 판단된다. 이것은 이 기법에서는 가중치보다는 평가값의 차이가 순위결정에 보다 더 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

AHP 기법 적용 시, 최적 대안은 기존 여수로 확장(S2)이 선정되었다. 또한 구조적인 방안들이 높은 순위로 나타났는데, 이것은 각 요소 간의 평가값의 차이보다 각 기준에 부여된 가중치가 최종 순위에 더 큰 영향을 미치기 때문으로 판단된다.

이상의 결과를 종합하면 기존 여수로 확장(S2) 대안이 검토한 총 7개 기법 중 3개의 기법에서 최적 대안으로 선정되었고 PROMETHEE II 기법에서는 2번째 대안으로 선정되었다. 따라서 안동댐 치수능력 증대방안으로는 기존 여수로 확장 방안이 가장 타당하다고 할 수 있겠다.

그러나 본 연구에서 수행한 다기준의사결정기법을 적용한 안동댐 치수능력 증대방안은 모든 대안과 기준을 검토한 것은 아니며, 또한 각 기준에

대한 검토결과도 정밀한 연구결과를 분석의 바탕으로 한 것이 아니므로 선정된 최적대안이 최종 대안이라 단정지을 수 없다. 160m 홍수기 제한수위 설정(N1), 155m 홍수기 제한수위 설정(N2), 150m 홍수기 제한수위 설정(N4), 개착식 여수로 신설(S4)과 같은 대안들도 기법에 따라 최적의 대안으로 선정되었으므로, 이들 대안에 대해서도 추가적인 검토가 필요하다.

최종적으로 다기준의사결정기법은 치수능력 증대방안 선정 분야뿐만 아니라, 여러 가지 대안 중에서 최적 대안을 선정하는 많은 수자원 관련 분야에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

건설교통부·한국수자원공사. 2005. 안동댐 치수능력증대사업 기본계획보고서.

김우구·이광만·박두호. 2006. “MCDA 기법을 이용한 댐사업의 투자우선순위 결정”. 한국수자원학회논문집 제39권 제173호 : pp1067-1080.

남동성. 2007. “다기준 의사결정기법을 이용한 다목적댐 치수능력 증대방안 선정”. 아주대학교 석사학위 논문.

이충성·이상철·김형수·심명필. 2005a. “치수사업을 위한 다기준의사결정모형 개발 1. AHP와 MAUT의 비교분석”. 대한토목학회논문집 제25권 제5B호 : pp337-346.

이충성·최승안·심명필·김형수. 2005b. “치수사업을 위한 다기준의사결정모형 개발 2. 최선대안 선정 및 투자우선순위 결정”. 대한토목학회논문집 제25권 제5B호 : pp347-354.

Abrishamchi, A., Ebrahimi, A., Tajrishi, M., and Marino, M. A. 2005. “Case Study: Application of Multicriteria Decision Making to Urban Water Supply”. *J. Water Resour. Plan. Manage* 131(4) : pp326-457.

Benayoun, R., Roy, B. and Sussman, B. 1966. “ELECTRE: Une Methode

Pour Guider le Choix en Presence de Points de Vue Multiples”. *Sema(Metra International), Direction Scientifique, Note de Travail* 49. Paris.

Einhorn, H. J. and McCoach, W. 1977. “A Simple Multiattribute Utility Procedure for Evaluation”. *Behavioral Science* 22 : pp270-282.

Flug, M. P. E., Seits, H. L. H., and Scott, J. F. 2000. “Multicriteria Decision Analysis Applied to Glen Canyon Dam”. *J. Water Resour. Plan. Manage* 126(5) : pp270-276.

Roy, B. 1968. “Classement et Choix en Presence de Criteres Multiples”. *Riro 2 Annee* 8 : pp57-75.

Roy, B. 1971. “Problems and Methods with Multiple Objective Functions”. *Mathematical Programming* 1(2) : pp239-266.

Roy, B., and Bertier, B. 1971. “La Methode ELECTRE II: Une Methode de Classement en Presence de Criteres Multiples”. *Note de Travail* 142. Direction Scientifique. Groupe Metra. Avril.

U.S. Army Corps of Engineers. 1998. *Simulation of Flood Control and Conservation Systems, User’s Manual Version 8.0*. October, 1998.

Yin, Y. Y., Huang, G. H., and Hipel, K. W. 1999. “Fuzzy Relation Analysis for Multicriteria Water Resources Management”. *J. Water Resour. Plan. Manage* 125(1) : pp41-47.

Zeleny, M. 1973. “Compromise Programming” in J. L. Cochrane and M. Zeleny(eds.). *Multiple Criteria Decision Making*. Univ. of South Carolina Press. Columbia.

- 논문 접수일 : 2007. 4. 6
- 심사 시작일 : 2007. 4. 9
- 심사 완료일 : 2007. 6. 14

**ABSTRACT**

**Determination of Hydrologic Stability Increase Alternative  
for Andong Multi-Purpose Reservoir  
Using Multi-Criteria Decision Analysis**

**Jaeeung Yi** Associate Professor, Div. of Env., Civil and Trpt. Engr., Ajou Univ.(Primary Author)  
**Dong-Seong Nam** Graduate Student, Div. of Env., Civil and Trpt. Engr., Ajou Univ.

※ Keywords: Hydrologic Stability, Multi-Criteria Decision Analysis, Multipurpose Dam, PMF

Due to recent heavy storms in Korea, the amount of PMP is increased than when most reservoirs were originally designed. Also, since the design flow for multi-purpose reservoir has been strengthened to PMF, the stability of dam for PMF is required. Though it is necessary to analyze as many stability increase alternatives and criteria as possible, it is not easy to analyze them with the present available simulation or optimization techniques. Therefore, this research introduces the method of selecting the most suitable alternative by applying a number of multi-criteria decision analysis techniques to the decision making process of increasing the flood control capability for multi-purpose dam. Seven techniques including the weighted average, ELECTRE I • II, PROMETHEE I • II, compromise programming, AHP are applied to Andong multi-purpose dam to support decision makers for selecting the most suitable alternative. Eight structural and nonstructural alternatives are evaluated by seven criteria, and the best alternative is provided. The alternative of extending the existing spillway is selected as the best alternative for Andong dam in this study. It is expected that the multi-criteria decision analysis can be applied to many water related areas in addition to determining the hydrologic stability increase alternative which often need to select the best one from many alternatives.

