

하천방재

계층화분석기법(AHP)을 이용하여 유역의 특성을 고려한 홍수피해잠재능(PFD) 산정기법연구 Evaluation of Potential Flood Damage with Basin Characteristics Using Analytical Hierarchy Process

김인동* · 안원식** · 안재현*** · 이채영****

Kim, Indong*, Ahn, Wonsik**, Ahn, Jaehyun***, and Lee, Chaeyoung****

Abstract

Potential flood damage (PFD) assessment should consider the weighting and items properly depending on the characteristics of the region where each basin belongs to. However, the characteristics of the region are not considered carefully due to the pre-set determination process. It means that the applications do not reflect the field. For example, external hydropower or the uninstalled storm sewer percent of an urbanized region is not considered. Therefore, this study was performed to standardize the result of a survey of an expert group including the characteristics of the region by using analytic hierarchy process (AHP) and to suggest more accurate PFD process by applying the standardized results to PFD items assessment.

Key words : Analytical Hierarchy Process (AHP), Basin, External Hydropower, Potential Flood Damage (PFD), Storm Sewer

요 지

홍수피해잠재능(PFD) 산정은 지역별 유역의 특성에 따라 가중치와 항목을 적절하게 고려해야 한다. 그러나 정해진 기준의 산정절차에 의해 이루어져 이를 제대로 반영하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 외수력 또는 도시화 진행지역의 우수관 미설치율 등 유역별 특성을 고려한 전문가 집단의 설문결과를 계층화분석기법(AHP)을 이용하여 표준화하고자 한다. 또한 표준화된 결과를 PFD 항목 산정에 반영하여 보다 정확한 홍수피해 잠재능 산정기법을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 홍수피해잠재능(PFD), 계층화분석기법(AHP), 우수관미설치비율, 유역

1. 서 론

현재 우리나라는 산업화와 더불어 도시화가 급진전되면서 인구 또는 재화의 밀집도가 기하급수적으로 증가하고 있다. 특히 최근에는 기상이변이 급증하고 있음에도 홍수의 피해가 자주 발생할 수 있는 하천변에 대규모의 도시가 형성되어 홍수피해의 잠재성이 매우 커지고 있다. 또한 도시화가 진행되

면서 홍수의 크기 자체가 커지는 경향도 뚜렷하게 나타나고 있다. 이러한 현상은 도시에 발달된 지하공간이 홍수에 매우 취약하다는 것을 나타내는 것으로 최근의 홍수피해에서도 확인할 수 있다. 하지만 현재 도시지역에서 발생하는 홍수 방지 대책이 매우 제한적이고 홍수로 인한 피해를 줄이기 위한 대책도 많은 한계를 드러내고 있어 이에 대한 방안이 시급한 실정이다. 따라서 향후 치수대책의 주요 초점은 도시지역에서

*정회원. 현대엔지니어링(주), 수자원개발 기술사, 박사(E-mail: kid7411@hec.co.kr)
Member. Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

**정회원. 수원대학교 토목공학과 명예교수
Member. Honorary Professor, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

***정회원. 서경대학교 토목공학과 교수
Member. Professor, Department of Civil Engineering, Seokyeong University.

****교신저자. 정회원. 수원대학교 토목공학과 교수. 하천환경기술연구소장(Tel: +82-31-220-2470, Fax: +82-31-220-2522, E-mail: chaeyoung@suwon.ac.kr)
Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, The University of Suwon

발생하는 홍수의 메커니즘을 규명하고 이에 적절한 홍수대책을 수립하는 것이라고 할 수 있다(Ahn et al., 2007).

홍수에 대한 방어는 하천 양안 배후지의 특성에 따라 결정되어야 하는 것으로, 하천에 의해 피해를 입을 가능성이 있는 하천 제내지 중심의 홍수방어계획이 필요하다. 이 때 동일 하천이라 하더라도 좌안 및 우안의 제내지 특성에 따라 홍수방어대책은 다르고, 상류지역의 하천이라 하더라도 농경지 및 시가지 등의 특성에 따라 홍수방어대책은 다르게 수립되게 된다. 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage)은 이러한 점을 감안하여 종합적인 치수계획을 수립할 때 전체적인 틀을 세우고 수계 단위의 일관성을 유지하며 지역적 특성을 살린 계획이 가능하도록 고안된 지표이다. 그리고 수문요소뿐만 아니라 사회경제적인 요소까지 포괄하여 특정 치수 단위구역의 홍수에 대한 잠재적인 피해 취약도를 나타내는 지수이다.

그러나 현재 우리가 알고 있는 기존의 홍수피해잠재능의 세부항목은 사회, 경제적인 항목들이 대부분으로 유역의 수문학적 특성을 반영할 수 있는 외수력이나, 우수관 미설치 비율 등 방어취약성 항목에 대한 수문학적 요소들의 추가 반영이 필요하다고 볼 수 있다.

또한 홍수피해잠재능의 항목을 반영하는 과정에서 유역이 속한 지역의 특성에 맞게 가중치와 항목이 적절하게 고려되어야 함을 명시하고 있는데도 불구하고 세부항목별 가중계수/값을 정해두고 산정 절차를 따르다 보니 지역별 특성을 고려하는 세심함이 부족해져서 현장적용에 있어 유연성이 부족한 실정이다.

따라서 현재에는 홍수피해잠재능의 항목을 선정함에 있어 기존의 항목에 수문학적인 요소들을 추가하고 더불어 유역의 특성에 따른 객관적이고 전문적인 해석과 동시에 유연성을 가질 수 있는 방법이 필요하게 되었다.

이렇듯 다양한 기준의 요소들을 최선으로 만족시키는 대안을 찾기 위해서는 여러 인사들의 기준을 고려한 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)이 주로 이용되며, 그 중에서도 Saaty(1977, 1980)가 개발한 계층화분석기법(Analytic Hierarchy Process, AHP)이 많이 사용된다.

계층화분석기법에 의한 연구는 수자원 분야에서도 1990년대 이후 꾸준히 진행되어 오고 있는데 이는 사용의 편리함과 언어적 상대비교(linguistic pairwise comparison)를 통한 정량화가 가능하기 때문으로 보인다.

그동안 국내의 연구로는 Lee and Shim(2002)이 가뭄 시 용수배분의 우선순위 결정, Park(2002)의 하천중요도 판단과 Lee and Kim(2003)의 AHP기법을 이용한 최적의 지하함의 적지분석이 있다. 그리고 Park (2006)이 안양천 유역에 대해 홍수피해발생 잠재위험도 산정식의 가중계수를 결정하기 위해서 전문가의 의견을 통한 계층화분석기법(AHP)을 이용하였다. Lee(2012), Lee and Lee(2007, 2008)은 하천의 최적하폭과 최적 호안공법을 결정하기 위해 계층화분석기법을 이용

하였고, Byeon (2008)의 구조적 홍수방어 대안의 AHP를 위한 정책성 평가방법을 위한 연구가 있다. 이상의 연구들을 볼 때에도 계층화분석기법은 경제, 경영분야 뿐만 아니라 수자원 분야에서도 유용한 기법임이 입증되었다고 할 수 있다. 하지만 아직 그 방법과 절차가 분명하지 않아 현장 적용이 이루어지지 않고 있는 것이 사실이다.

본 연구에서는 추후 홍수피해잠재능을 현장에 적용하는 데 있어 보다 합리적인 결정을 하기 위한 방법으로 유역별 특성을 고려한 전문가집단의 설문결과를 계층화분석기법(AHP)을 이용해 표준화 하고 이를 PFD 항목 산정에 반영하여 보다 구체적이고 객관적인 결과를 얻는 절차를 제시하고자 한다.

2. AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법

2.1 AHP의 개념

계층화분석기법(Analytic Hierarchy Process, AHP)은 의사결정의 전 과정을 여러 단계로 나눈 후 이를 단계별로 분석해결함으로써 합리적인 의사결정에 이를 수 있도록 지원하는 방법으로 현존하는 의사결정방법 중 과학적이고 합리적인 의사결정방법중 하나라고 할 수 있다.

즉, 의사결정자가 의사결정을 할 때, 판단기준이 서로 상충되는 대안을 선택해야 할 때 AHP는 매우 유용하며, 이론적 기초를 가진 경험 있는 전문가의 지도를 바탕으로 적용이 되면 바람직한 의사결정을 할 수 있게 된다는 것이다.

2.2 계층화분석기법(AHP)

2.2.1 계층구조화(Hierarchy Structuring)

계층화분석기법 과정을 이용하여 계획대안을 선택하거나 우선순위를 설정하기 위해서는 먼저 현안문제를 계층구조로 전환하여야 한다.

여기서 계층이란 시스템의 특수형태로서, 계층구조를 설정한다는 것은 해결하고자 하는 문제의 요소를 먼저 파악하고, 요소(element)를 동질적인 집합으로 군집화하여 이 집합을 상이한 수준에 배열하는 것을 의미한다. 당면한 문제를 계층이나 네트워크 형태로 구조화하는 과정에서는 동일성의 원리와 분해의 원리를 이용하게 된다. 일반적으로 하나의 계층은 최상위계층, 몇 개의 중간계층, 그리고 최하위계층 등으로 구성되게 된다.

2.2.2 요소의 이원비교와 중요도 설정

계층화분석기법에서는 요소들 간의 우선순위 설정을 위한 가중치 산정을 위하여 문제의 체계에 포함된 각각의 하위목표들이나 평가기준 요소들을 둘씩 짝을 지어 바로 상위계층의 어떤 한 목표 혹은 평가 기준에 비추어 평가하는 이원비교(Pairwise Comparison)를 실시한다.

계층화분석기법에서는 이원비교는 “요소 A는 요소 B와 비교

Table 1. Pairwise Comparison

Relative Importance between element 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

시 상대적인 중요도”에 대한 답으로 상대평가를 위하여 9점 척도를 사용하고 있으며 Table 1과 같이 어의적 판단(Verbal Judgement)을 내린다.

그리고 가중치 산정과정에서 각각의 어의적 판단에 상응하는 수치적 판단(Numerical Judgement)으로 변환하여 입력자료로 사용한다. 각 요소에 대한 이원비교 행렬은 Table 2에 나타내었다.

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

$$S_i = \sum_j a_{ij} \quad (1)$$

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

$$V_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_j} \quad (2)$$

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

$$P_i = \sum_j \frac{V_{ij}}{n} \quad (3)$$

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

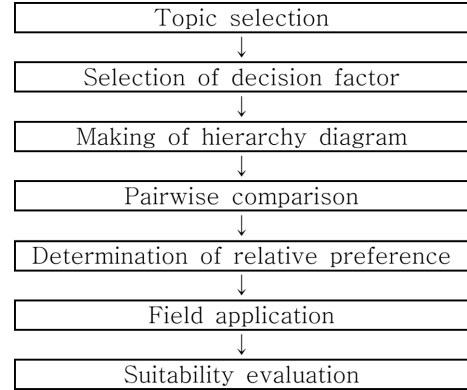


Fig. 1. Flow Diagram of Decision

2.2.3 적합성평가

계층화분석기법에서는 주관적인 판단에 의한 이원비교에 그 기초를 두고 있다. 여기서 문제가 되는 것은 요소간의 중요성이나 선호도를 비교할 때, 전이적 일관성(Transitive Consistency)이 얼마나 유지될 수 있느냐 하는 것이다. 전이적 일관성은 Eq. (4)와 같이 응답의 일관성지수(Consistency Index: CI)를 경험적 자료에서 얻은 무작위지수(Random Index: RI)로 나눈 일관성 비율(Consistency Ratio: CR)을 통해 파악할 수 있다.

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

여기서 CI 는 행렬의 최대고유치 λ_{\max} 와 행렬의 크기 n 으로부터 얻어지는 것으로 Eq. (5)로 나타낼 수 있다.

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

일관성 비율(CR)은 값이 작을수록 전이적 일관성이 높은 것으로 볼 수 있다. Saaty(1980)는 일관성 비율(CR)이 10%(0.1) 이내이면 응답자가 상당히 일관성 있게 이원비교를 수행한 것으로 판단하고, 20%(0.2) 이내일 경우 용납할 수 있는 수준의 비일관성을 갖고 있으나, 20%(0.2) 이상이면 일관성이 부족한 것으로 재조사가 필요하다고 제안하였다

이 모든 일련의 과정들을 정리하면 Fig. 1과 같다.

3. 적 용

3.1 홍수피해잠재능(PFD) 항목 선정기준 작성

홍수피해잠재능 평가 시 유역 특성을 반영하기 위해서는 피해대상(잠재성), 피해 가능성, 방어 취약성 등을 고려하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Table 3과 같이 기존 수정 PDF에 외수력 취약성과 우수관로 미설치 비율을 추가한 보완 PFD를 작성하였다.

Table 3. Complementary PFD

Division	Element	Details
Modified PFD	Damage destination (Potential)	Assets, population density, importance facility, natural culture resource
	(Damage) Possibility	Probable rainfall, density of the flood damage, area ratio of imperviousness (urbanization rate), geomorphic feature (mean river bed slope)
	Defensive vulnerability	Defensive vulnerability of external water, Defensive vulnerability of internal water, Dam and reservoir
↓		
Complementary PFD	Defensive vulnerability of external water (The finished levee), Dam and reservoir, defensive vulnerability of internal water + storm sewer uninstillation rate, vulnerability external hydropower	

그동안 하천의 주요 피해는 개수율 뿐만 아니라, 외수력에 의해 발생하는 것으로 조사되었다. 그리고 최근 10년간의 피해 양상에서 보듯이 대부분 하천의 주요 피해는 하천 만곡부 외측의 우수력에 의해 기인함으로 Lee(2012) 하천의 만곡율을 외수력의 취약성의 요소로 추가하였다. 또한 우수관로 미설치율은 도시유역의 경우 우수관로가 효과적으로 설치되어 있을 경우 그렇지 않은 유역에 비해 침수위험이 낮아짐을 고려한 것이다(Ahn *et al.*, 2007).

3.2 상대적 가중치 작성

본 연구에서는 유역의 특성에 적합한 최적의 항목 결정을 위하여 안양천 유역과 만경강 유역의 치수계획에 참여했던 전문가 40인에 대한 설문 조사를 실시하였다.

3.2.1 이원비교(Pairwise Comparison)

방어취약성에 포함된 항목인 외수방어취약성(완성제방), 우수관 미설치율, 외수력취약성, 댐 및 저수지, 내수방어취약성 약성을 사회성, 경제성, 기술성, 환경성에 비추어 평가하는 이원비교(Pairwise Comparison)를 실시한다. 이때의 이원비교는 요소들간의 우선순위 설정을 위한 상대적 중요도(Relative Importance Weights, RIW) 산정을 위함이다.

3.2.2 방어취약성 항목간의 상대적 중요도

상대적 중요도는 의사결정 행렬의 고유요소를 표준화함으로써 결정한다. 고유요소 산정(Estimated Eigenelement, EE)은 행렬의 열에 해당하는 모든 요소를 곱하여 열의 요소의 개수

만큼 제곱근을 하여 얻어지며 그 식은 Eq. (6)으로 나타낸다.

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

이때, 변수 n 은 각 행렬 내에서 고려하는 방어취약성 항목의 개수이며, A_m 은 방어취약성 항목의 선호도이다.

PFD 항목 선정을 할 때 방어취약성 부분에서 고려하는 인자들은 사회성(홍수피해밀도, 피해현황), 경제성(1 m²당 공사비, 유지관리), 기술성(유역 계획의 형태, 주변 환경), 환경성(자연훼손, 생태계파괴) 등이 있다. 이 항목들은 방어취약성에 포함된 세부항목을 결정하기 전 고려할 항목들이나 그에 따른 기준이 모호하여 기술자들이 판단하기 힘든 부분이다. 이런 단점을 보완하기 위해 각 인자들에 대한 설문을 통해 객관성을 검증하였으며, Table 4와 같이 세부항목의 각 인자를 평균하여 중요도를 나타내고, 중요도를 이용하여 EE값을 계산하였다.

또한 유역의 특성을 반영하기 위하여 세부항목에 대한 중요도 값은 안양천과 만경강 유역으로 구분하여 설문을 실시하였으며 그에 대한 EE값과 RIW값은 Table 5와 6에 나타내었다. EE값의 표준화방법은 EE요소들의 합으로 각각의 요소를 나누어 얻어진다. 상대적 중요도는 EE의 합에 대한 각 고유요소의 비가 각 인자의 상대적 중요도가 되며, 선호도가 좋을수록 해당인자의 상대적 중요도는 높아진다.

이 때 나타난 선호도는 PFD 항목을 선정하는 기준이 되며 유역별 특징에 따른 홍수소통능력을 검증하는데 지표가 된다고 할 수 있다. 그리고 항목을 선정하기 위해 각 인자들은 이

Table 4. Relative Importance of 1st Step Factor

	Pairwise Comparison Matrix				EE	RIW
	Society	Economy	Technique	Environment		
Society	1.000	5.000	0.500	7.000	2.050	0.361
Economy	0.200	1.000	0.200	4.000	0.630	0.106
Technique	2.000	5.000	1.000	7.000	2.890	0.490
Environment	0.143	0.250	0.143	1.000	0.270	0.043

Table 5. Relative Importance of 2nd Step Factor (AnYang-Chon)

Society	D.EW	VEH	D.R	D.IW	SSUR
D.EW	1.000	0.200	0.160	4.000	5.000
VEH	0.250	1.000	0.330	3.000	5.000
D.R	3.030	4.000	1.000	6.000	7.000
D.IW	0.500	0.333	0.167	1.000	2.000
SSUR	0.167	0.250	0.200	0.500	1.000
EE	0.915	1.044	3.478	0.561	0.334
RIW	0.144	0.165	0.549	0.089	0.053
Economy	D.EW	VEH	D.R	D.IW	SSUR
D.EW	1.000	3.000	0.330	2.000	3.000
VEH	0.333	1.000	0.500	2.000	2.000
D.R	3.030	2.000	1.000	2.000	3.000
D.IW	0.500	0.500	0.500	1.000	2.000
SSUR	0.333	0.500	0.333	0.500	1.000
EE	1.428	0.922	2.052	0.758	0.488
RIW	0.253	0.163	0.363	0.134	0.086
Technique	D.EW	VEH	D.R	D.IW	SSUR
D.EW	1.000	0.330	0.250	3.000	6.000
VEH	3.030	1.000	0.330	4.000	7.000
D.R	4.000	3.030	1.000	5.000	8.000
D.IW	0.333	0.250	0.200	1.000	1.000
SSUR	0.167	0.143	0.125	1.000	1.000
EE	1.082	1.947	3.444	0.441	0.312
RIW	0.150	0.269	0.477	0.061	0.043
Environment	D.EW	VEH	D.R	D.IW	SSUR
D.EW	1.000	0.330	0.500	0.500	3.000
VEH	3.030	1.000	0.500	3.000	2.000
D.R	2.000	2.000	1.000	2.000	4.000
D.IW	2.000	0.333	0.500	1.000	0.500
SSUR	0.333	0.50	0.250	1.000	1.000
EE	0.756	1.555	2.000	0.699	0.530
RIW	0.137	0.281	0.361	0.126	0.096

원비교행렬을 이용하여 이원비교를 하였고, 행렬의 대각선 요소는 모두 “1”이 된다. 또한 대각선을 기준으로 위아래의 상대적 중요도는 역수로 상반되는 선호도를 갖는다.

또한 주어진 항목의 값에 대해 논리적 일관성이 있는가를 조사하기 위한 CR값을 산정하였으며, 그 결과는 Table 7과 같이 각 항목의 값이 모두 10% 이내의 값으로 나타나 논리

Table 6. Preference or Relative Importance of 2nd Step Factor (ManKyung-River)

Society	D.EW	VEH	D.R	D.IW	SSUR
D.EW	1.000	0.200	0.330	1.000	0.330
VEH	5.000	1.000	5.000	5.000	3.000
D.R	3.030	0.200	1.000	3.000	0.330
D.IW	1.000	0.200	0.333	1.000	0.330
SSUR	3.030	0.333	3.030	1.000	1.000
EE	0.465	3.272	0.903	0.466	1.251
RIW	0.073	0.515	0.142	0.073	0.197
Economy	D.EW	VEH	D.R	D.IW	SSUR
D.EW	1.000	4.000	0.330	2.000	6.000
VEH	0.250	1.000	0.250	3.000	4.000
D.R	3.030	4.000	1.000	6.000	5.000
D.IW	0.500	0.333	0.167	1.000	1.000
SSUR	0.167	0.250	0.200	0.500	1.000
EE	1.738	0.944	3.252	0.488	0.334
RIW	0.257	0.140	0.481	0.072	0.049
Technique	D.EW	VEH	D.R	D.IW	SSUR
D.EW	1.000	0.500	0.330	0.500	0.250
VEH	2.000	1.000	0.330	0.330	0.500
D.R	3.030	3.030	1.000	0.500	2.000
D.IW	2.000	3.030	2.000	1.000	0.500
SSUR	4.000	2.000	0.500	1.000	1.000
EE	0.460	0.642	1.558	1.434	1.320
RIW	0.085	0.119	0.288	0.265	0.244
Environment	D.EW	VEH	D.R	D.IW	SSUR
D.EW	1.000	3.000	0.250	3.000	6.000
VEH	0.333	1.000	0.250	3.000	7.000
D.R	4.000	4.000	1.000	5.000	8.000
D.IW	0.333	0.333	0.200	1.000	0.250
SSUR	0.167	0.143	0.125	1.000	1.000
EE	1.683	1.118	3.641	0.354	0.312
RIW	0.237	0.157	0.512	0.050	0.044

적으로 일관성이 있는 것으로 분석되었다.

3.3 가중치 산정

가중치는 Eq. (7)에 따라 각 항목에 EE값과 RIW값을 바탕으로 우선순위(Priorities)를 산정한 후, Table 8과 같이 가중치값을 부여하였다.

Table 7. CI&CR Value

AnYang	Society	Economy	Technique	Environment	ManKyung	Society	Economy	Technique	Environment
CI	0.026	0.081	0.074	0.084	CI	0.032	0.080	0.053	0.087
CR	0.023	0.073	0.066	0.075	CR	0.029	0.072	0.047	0.078

Table 8. Weight Calculation

AnYang	D.EW	V.EH	D.R	D.IW	SSUR	ManKyung	D.EW	V.EH	D.R	D.IW	SSUR
Weight	0.200	0.196	0.195	0.203	0.204	Weight	0.189	0.196	0.192	0.212	0.209
Rank	3.000	4.000	5.000	2.000	1.000	Rank	5.000	3.000	4.000	1.000	2.000
Result	0.200	0.100	0.100	0.300	0.300	Result	0.100	0.200	0.100	0.300	0.300

$$P = \frac{\Sigma(RIW)}{\Sigma(EE)} \quad (7)$$

P: 가중치, RIW: 상대적 중요도, EE: 고유요소

가중치 산정결과 Table 8과 같이 외수방어와 외수력항목에 대해 안양천과 만경강의 구역별 차이가 있음을 확인할 수 있다.

3.4 보완 가중치값을 통한 보완 PFD산정

앞서 설명한 AHP기법을 이용한 가중치값의 대입을 통해 PFD를 산정하기 위하여 첫째, 대상구역의 시군별 자료를 수집하였다. 그리고 둘째, 각기 다른 단위를 가진 PFD 세부항목

들을 하나의 산정식에서 다루기 위해서 세부항목들의 무차원화가 필요한데, 이를 위해 세부항목별로 구축된 자료에 대하여 확률분포형을 추정하고, 누가확률밀도함수를 이용하여 자료를 Table 9, 10과 같이 무차원화 하였다. 즉, 세부항목 x를 누가확률밀도함수 F(x)로 변환함으로써 각 세부항목을 0과 1 사이의 값을 갖도록 무차원화 하였다. 적합성 검정을 통해 선정된 세부항목들의 적정 분포형인 3-parameter log normal (LN3) 분포형을 이용하여 각 세부항목을 무차원화 하였다. 그리고 마지막으로 무차원화된 세부항목들을 이용하여 PFD를 산정하였다.

안양천의 경우 수도권에 위치한 구역이라는 지역적인 특성을 가지고 있다. 이로 인해 구역의 하류부는 대부분 극도로

Table 9. Nondimensionalization(AnYang-Chon)

Zone	Potential				Possibility				Ability to Defend				
	PD	AS	NCR	IF	DFD	UR	PR	GF	D.EW	V.EH	SSUR	D.IW	DR
Anyang1	0.914	0.901	0.806	0.959	0.512	0.868	0.145	0.376	0.299	0.178	0.893	0.074	1.000
Anyang2	0.845	0.828	0.601	0.886	0.724	0.775	0.145	0.445	0.171	0.864	0.456	0.066	1.000
Anyang3	0.649	0.705	0.706	0.616	0.750	0.613	0.699	0.572	0.644	0.130	0.183	0.164	1.000
Anyang4	0.642	0.663	0.740	0.427	0.716	0.666	0.876	0.601	0.890	0.049	0.124	0.124	1.000
Anyang5	0.403	0.485	0.670	0.399	0.502	0.416	0.876	0.543	0.719	0.795	0.154	0.692	1.000
Wanggok	0.053	0.148	0.564	0.214	0.307	0.042	0.876	0.843	0.401	0.884	0.893	0.692	1.000
Ojun	0.053	0.148	0.564	0.214	0.307	0.042	0.876	0.839	0.906	0.402	0.893	0.692	1.000
Danjung	0.494	0.547	0.599	0.892	0.037	0.478	0.876	0.597	0.171	0.679	0.379	0.692	1.000
Sanbone	0.494	0.547	0.599	0.892	0.037	0.478	0.876	0.826	0.171	0.665	0.379	0.692	1.000
Hakuei	0.323	0.423	0.657	0.300	0.499	0.324	0.872	0.720	0.851	0.748	0.163	0.252	1.000
Chungae	0.053	0.148	0.564	0.214	0.307	0.042	0.876	0.848	0.892	0.268	0.893	0.692	1.000
Galhyon	0.084	0.351	0.672	0.172	0.014	0.101	0.735	0.580	0.171	0.825	0.262	0.692	1.000
Suam	0.286	0.386	0.553	0.050	0.716	0.666	0.876	0.861	0.928	0.145	0.124	0.692	1.000
Samsung	0.484	0.579	0.653	0.335	0.439	0.516	0.248	0.853	0.573	0.251	0.133	0.692	1.000
Sammak	0.194	0.302	0.373	0.017	0.222	0.666	0.161	0.839	0.522	0.428	0.124	0.692	1.000
Sihueng	0.825	0.803	0.573	0.674	0.503	0.914	0.145	0.585	0.171	0.185	0.893	0.692	1.000
Mogam1	0.727	0.729	0.461	0.758	0.968	0.627	0.145	0.070	0.733	0.160	0.258	0.059	1.000
Mogam2	0.297	0.452	0.463	0.469	0.424	0.173	0.391	0.070	0.485	0.585	0.285	0.692	1.000
Gahak	0.581	0.000	0.000	0.321	0.354	0.300	0.468	0.340	0.945	0.229	0.313	0.692	1.000
Gaesu	0.319	0.270	0.226	0.212	0.609	0.300	0.145	0.051	0.171	0.999	0.265	0.692	1.000
Orue	0.912	0.810	0.333	0.795	0.830	0.887	0.145	0.024	0.171	0.621	0.893	0.692	1.000
Dorim	0.880	0.829	0.957	0.795	0.921	0.790	0.145	0.528	0.709	0.507	0.893	0.085	1.000
Bonchun	0.878	0.807	0.084	0.741	0.921	0.711	0.145	0.499	0.171	0.569	0.893	0.692	1.000
Daebang	0.811	0.826	0.741	0.751	0.669	0.934	0.145	0.064	0.171	0.387	0.893	0.100	1.000

Table 10. Nondimensionalization(ManKyung-River)

Zone	Potential				Possibility				Ability to Defend				
	PD	AS	NCR	IF	DFD	UR	PR	GF	D.EW	V.EH	SSUR	D.IW	DR
Mankyun1	0.541	0.353	0.348	0.410	0.836	0.493	0.431	0.059	0.246	0.595	0.210	0.742	1.000
Mankyun2	0.718	0.561	0.506	0.720	0.524	0.765	0.633	0.081	0.246	0.476	0.635	0.002	1.000
Mankyun3	0.608	0.670	0.336	0.729	0.425	0.754	0.415	0.101	0.246	0.298	0.270	0.001	1.000
Mankyun4	0.548	0.402	0.281	0.384	0.750	0.415	0.862	0.627	0.246	0.906	0.454	0.742	1.000
Mankyun5	0.199	0.398	0.102	0.303	0.839	0.172	0.925	0.853	0.488	0.237	0.906	0.742	1.000
Mankyun6	0.029	0.062	0.083	0.094	0.839	0.051	0.918	0.867	0.378	0.832	0.906	0.742	1.000
Tamchun1	0.709	0.525	0.615	0.663	0.250	0.699	0.798	0.141	0.631	0.333	0.286	0.742	1.000
Yongam1	0.383	0.084	0.274	0.519	0.190	0.625	0.039	0.055	1.000	0.499	0.023	0.001	1.000
Iksan1	0.393	0.417	0.750	0.498	0.171	0.570	0.884	0.274	0.321	0.694	0.220	0.039	1.000
Chunju1	0.917	0.937	0.972	0.982	0.067	0.967	0.208	0.126	0.246	0.224	0.220	0.742	1.000
Chunju2	0.969	0.976	0.988	0.978	0.065	0.976	0.208	0.508	0.246	0.049	0.220	0.742	1.000
Chunju3	0.571	0.791	0.846	0.559	0.293	0.465	0.208	0.806	0.275	0.114	0.242	0.742	1.000
Chunju4	0.205	0.360	0.111	0.210	0.839	0.152	0.208	0.852	0.293	0.957	0.906	0.742	1.000
Samchun1	0.946	0.873	0.780	0.948	0.063	0.939	0.208	0.389	0.256	0.078	0.220	0.742	1.000
Samchun2	0.799	0.830	0.251	0.260	0.086	0.302	0.208	0.686	0.268	0.853	0.220	0.742	1.000
Samchun3	0.220	0.326	0.266	0.221	0.835	0.221	0.208	0.794	0.436	0.853	0.827	0.742	1.000
Soyang1	0.702	0.528	0.599	0.594	0.722	0.599	0.382	0.480	0.250	0.872	0.527	0.742	1.000
Soyang2	0.539	0.778	0.695	0.549	0.491	0.482	0.237	0.736	0.399	0.476	0.275	0.742	1.000
Soyang3	0.195	0.471	0.743	0.284	0.839	0.250	0.382	0.846	0.453	0.333	0.906	0.742	1.000
Gosan1	0.103	0.069	0.436	0.074	0.839	0.152	0.925	0.794	0.284	0.156	0.906	0.742	1.000
Gosan2	0.134	0.064	0.158	0.097	0.823	0.142	0.925	0.787	1.000	0.620	0.906	0.742	1.000

Table 11. Complementary PFD of AnYang-Chon

Zone	Index(improved PFD)			PFD	Class	Index(modified PFD)			PFD	Class
	Potential	Possibility	Ability to Defend			Potential	Possibility	Ability to Defend		
Anyang1	0.908	0.604	0.468	0.635	C	0.908	0.604	0.394	0.600	C
Anyang2	0.824	0.658	0.377	0.589	C	0.824	0.658	0.315	0.555	C
Anyang3	0.665	0.672	0.346	0.537	C	0.665	0.672	0.619	0.652	A
Anyang4	0.615	0.700	0.357	0.536	C	0.615	0.700	0.759	0.689	A
Anyang5	0.453	0.509	0.577	0.511	E	0.453	0.509	0.770	0.562	E
Wanggok	0.165	0.311	0.744	0.337	F	0.165	0.311	0.579	0.310	F
Ojun	0.165	0.311	0.797	0.344	F	0.165	0.311	0.882	0.356	F
Danjung	0.600	0.353	0.523	0.480	B	0.600	0.353	0.441	0.454	D
Sanbone	0.600	0.376	0.522	0.490	B	0.600	0.376	0.441	0.463	D
Hakuei	0.382	0.488	0.469	0.444	H	0.382	0.488	0.761	0.521	F
Chungae	0.165	0.312	0.781	0.342	F	0.165	0.312	0.874	0.355	F
Galhyon	0.240	0.177	0.503	0.278	H	0.240	0.177	0.441	0.266	H
Suam	0.295	0.726	0.545	0.489	E	0.295	0.726	0.895	0.577	E
Samsung	0.499	0.492	0.487	0.493	H	0.499	0.492	0.682	0.551	F
Sammak	0.209	0.455	0.492	0.360	H	0.209	0.455	0.652	0.396	F
Sihueng	0.763	0.640	0.628	0.674	A	0.763	0.640	0.441	0.599	C
Mogam1	0.707	0.659	0.358	0.550	C	0.707	0.659	0.651	0.672	A
Mogam2	0.395	0.285	0.549	0.395	F	0.395	0.285	0.629	0.414	F
Gahak	0.297	0.342	0.614	0.396	F	0.297	0.342	0.906	0.451	F
Gaesu	0.274	0.383	0.521	0.379	H	0.274	0.383	0.441	0.359	H
Orue	0.800	0.704	0.672	0.723	A	0.800	0.704	0.441	0.628	C
Dorim	0.855	0.752	0.586	0.722	A	0.855	0.752	0.643	0.745	A
Bonchun	0.750	0.717	0.667	0.711	A	0.750	0.717	0.441	0.619	C
Daebang	0.796	0.662	0.471	0.628	C	0.796	0.662	0.322	0.554	C

밀집한 도심지역이고, 중류부 및 상류부는 하천연변을 따라 도시 및 주거지가 밀집되어 있다. 따라서 하천정비가 많이 이루어져 하천제방 개수율이 높은 편이다. 보완된 항목을 바탕으로 Table 11과 같이 안양천의 PFD를 산정한 결과 PFD의 8개 등급인 Class A, B, C, D, E, F, G, H 중(A등급에 가까울수록 홍수피해에 대한 강화가 필요한 등급임) 11개 지역에서 등급이 바뀌었음을 볼 수 있다.

만경강은 유역의 평균정사가 17.5%로 매우 완만한 유역적

특징을 가지고 있으며, 하천에 인접하여 농경지가 발달해 있다. 특히 만경강의 중류부 및 전주천의 중·상류부는 하천을 중심으로 도시 및 주거지가 밀집되어 있으며, 안양천 유역에 비해 만곡부가 심하다고 볼 수 있다. 보완된 항목을 바탕으로 Table 12와 같이 만경강의 PFD를 산정한 결과 PFD의 8개 등급인 Class A, B, C, D, E, F, G, H 중(A등급에 가까울수록 홍수피해에 대한 강화가 필요한 등급임) 6개의 지역에서 등급이 바뀌었다.

Table 12. Complementary PFD of ManKyung-River

Zone	Index(improved PFD)			PFD	Class	Index(modified PFD)			PFD	Class
	Potential	Possibility	Ability to Defend			Potential	Possibility	Ability to Defend		
Mankyung1	0.439	0.581	0.529	0.513	E	0.439	0.581	0.496	0.502	G
Mankyung2	0.650	0.587	0.411	0.539	C	0.650	0.587	0.348	0.510	C
Mankyung3	0.623	0.523	0.266	0.442	C	0.623	0.523	0.348	0.484	C
Mankyung4	0.444	0.615	0.665	0.566	E	0.444	0.615	0.496	0.514	G
Mankyung5	0.270	0.582	0.691	0.477	E	0.270	0.582	0.641	0.465	E
Mankyung6	0.057	0.535	0.799	0.290	E	0.057	0.535	0.575	0.260	E
Tamchun1	0.635	0.474	0.538	0.545	B	0.635	0.474	0.727	0.603	B
Yongam1	0.309	0.335	0.307	0.317	H	0.309	0.335	0.800	0.436	F
Iksan1	0.457	0.412	0.349	0.403	H	0.457	0.412	0.400	0.422	H
Chunju1	0.941	0.447	0.458	0.578	D	0.941	0.447	0.496	0.593	D
Chunju2	0.975	0.488	0.423	0.586	D	0.975	0.488	0.496	0.618	D
Chunju3	0.662	0.405	0.446	0.492	D	0.662	0.405	0.513	0.516	B
Chunju4	0.243	0.502	0.815	0.464	E	0.243	0.502	0.524	0.400	E
Samchun1	0.908	0.460	0.430	0.564	D	0.908	0.460	0.502	0.594	B
Samchun2	0.646	0.245	0.586	0.452	B	0.646	0.245	0.509	0.432	B
Samchun3	0.257	0.523	0.785	0.472	E	0.257	0.523	0.610	0.434	E
Soyang1	0.618	0.615	0.680	0.637	A	0.618	0.615	0.498	0.574	C
Soyang2	0.628	0.486	0.540	0.549	B	0.628	0.486	0.588	0.564	B
Soyang3	0.350	0.558	0.706	0.517	E	0.350	0.558	0.620	0.495	E
Gosan1	0.121	0.568	0.654	0.355	E	0.121	0.568	0.519	0.329	E
Gosan2	0.108	0.557	0.819	0.366	E	0.108	0.557	0.948	0.385	E

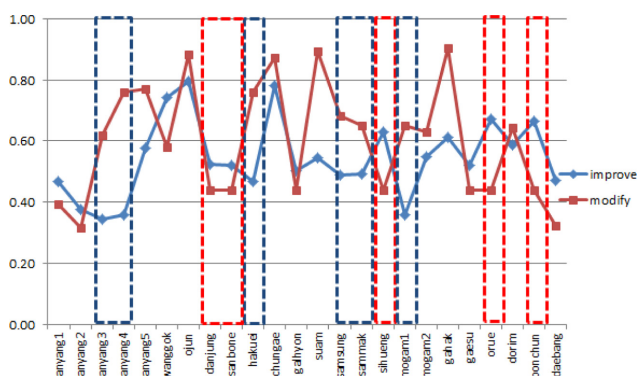


Fig. 2. A Comparison of improvement and amendments on its defense capability(AnYang-Chon PFD)

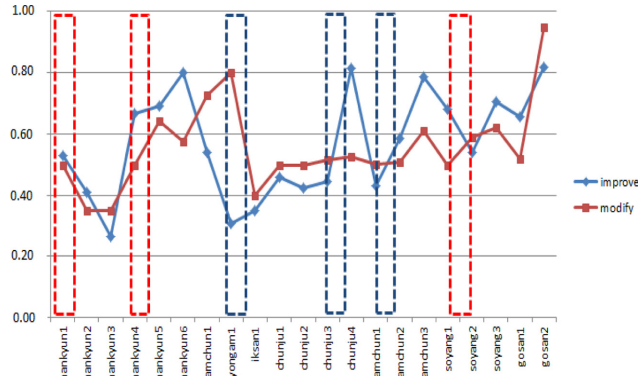


Fig. 3. A Comparison of improvement and amendments on its defense capability(ManKyung-River PFD)

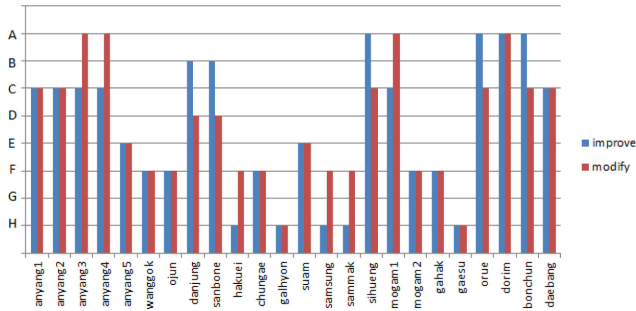


Fig. 4. The amendments and improvements in comparison to PFD(AnYang-Chon)

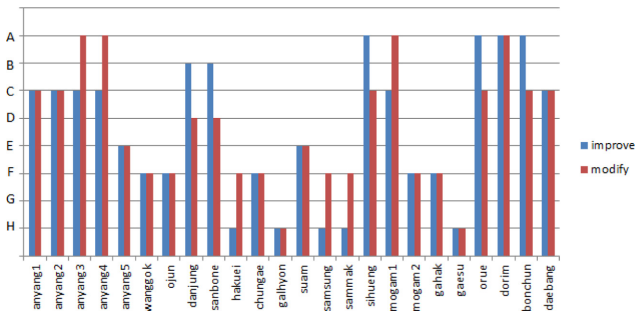


Fig. 5. The amendments and improvements in comparison to PFD(ManKyung-River)

또한 Table 11과 12에 나타난 PFD값을 비교, 분석하여 Fig 2-5로 표현하였다. 안양천은 홍수피해잠재능 지수가 2단계 상향한 지역들의 경우 무차원화 하여 적용한 값에 대한 우수관 미설치율(평균 0.69) 및 외수력(평균 0.54)이 높았고 홍수피해잠재능 지수가 2단계 하향한 지역들의 경우 무차원화 하여 적용한 값에 대한 우수관 미설치율(평균 0.16) 및 외수력(평균 0.29)이 상대적으로 낮았다(Fig. 2, 4).

그리고 만경강은 홍수피해잠재능 지수가 2단계 상향한 지역들의 경우 무차원화 하여 적용한 값에 대한 우수관 미설치율(평균 0.40) 및 외수력(평균 0.79)이 높았고 홍수피해잠재능 지수가 2단계 하향한 지역들의 경우 무차원화 하여 적용한 값에 대한 우수관 미설치율(평균 0.16) 및 외수력(평균 0.23)이 상대적으로 낮았다(Fig. 3)

즉, 개선 PFD 방어능력값과 수정 PFD 방어능력값의 상,하향이 결국 전체 값의 변화로 이어져 최종 PFD 산정값을 변화시키는것으로 나타났다.

4. 결 론

하천의 최적홍수피해잠재능 산정 시 필요한 자료의 가중치를 설정하기 위해 AHP 기법을 이용하여 다중인자들을 정량화한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 과거 기술자들이 주관적으로 결정한 가중치 β 값에 우수관 미설치율과 외수력을 더한 다중인자들의 선호도를 산정하

여 보다 합리적으로 객관화함으로써 최적의 가중치 설정 및 홍수피해잠재능을 산정할 수 있었다.

2) 계층으로 조직화된 홍수피해잠재능 항목의 선정은 다중인자들에 대해 사회성, 경제성, 기술성, 환경성을 고려하여 수학적이고 체계적인 방법을 이용하여 수치화하였고 이를 통해 홍수피해잠재능 계산시 고려되어야 할 항목들의 순위를 도출하였다.

3) 기존 방어 취약성 항목인 외수방어취약성, 댐 및 저수지, 내수방어취약성에 우수관 미설치율과 외수력취약성이 더해짐에 따라 홍수피해잠재능의 등급이 안양천에서는 6개의 구역의 등급이 높아졌고, 5개 구역에서는 등급이 낮아졌다. 그리고 만경강에서는 3개의 구역의 등급이 높아졌고, 3개 구역에서는 등급이 낮아졌다. 즉, PFD의 방어능력 값 변화가 최종 PFD 산정값에도 영향을 준다는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 본론에서 제시된 계층화분석기법에서 설문을 충분히 분석한다는 전제 아래 이루어졌으며 안양천, 만경강과 같이 유역의 특성이 상이한 지역을 대상으로 하였다. 그 결과 유역의 도시화 정도에 따른 우수관 미설치율과 외수력의 무차원값의 차이가 유의미함을 알 수 있었다. 추후 비슷한 조건을 가진 타유역의 적용을 통해 추가적인 연구를 한다면 보다 세부적이고 현실적인 홍수피해잠재능을 산정할 수 있을 것이다.

기 호

- As: Assets
- D.EW: Defensive vulnerability of External Water
- DFD: Density of the Flood Damage
- D.IW: Defensive vulnerability of Internal Water
- D.R: Dam and Reservoir
- IF: Importance Facility
- NCR: Natural Culture Resource
- PD: Population Density
- PR: Probable Rainfall
- SSUR: Storm Sewer Uninstallation Rate,
- V.EH: Vulnerability External Hydropower
- UR: Urbanization Rate
- GF: Geomorphic Feature (mean river bed slope)

References

- Ahn, J.H., Kang, D.S., and Yun, Y.N. (2007) "Settings area units of measure and a study on the improvement of the Potential Flood Damage", Water and the Future, Vol. 40, pp. 38-45.
- Byeon, S.H. (2008) "Development of a Policy Assessment Mothed for Structural Flood Defensive Alternatives", Han-Yang University, Seoul, Korea.

- Lee, H.J. and Shim, M.P. (2002) Decision Making for Priority of Water Allocation during Drought by Analytic Hierarchy Process, *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 35, No. 6, pp. 703-714.
- Lee, J.M. (2012) "Allocation of stream flow through improved evaluation of Potential Flood Damage and Channel width optimization", DongGuk University, seoul, Korea.
- Park, S.G. (2006) "Estimation of Potential Risk for Flood Damage Occurrence", Inha University, InCheon, Korea.
- 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, NY, USA.
- Lee, S.I. and Kim, B.C. (2003) Site Suitability Analysis for Underground Dam Using Analytic Hierarchy Process. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, Vol. 8, pp. 36-44.
- Lee, J.M. and L, S.I. (2007) Optimal Decision of River Width Work Using Analytic Hierarchy Process-Case Study of IP-Chon . *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 40, pp. 931-941.
- Lee, J.M. and L, S.I. (2008) Optimal Design of Bank Protection Work Using Analytic Hierarchy Process. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, pp. 619-628.
- Park, T.S. (2002) The Evaluation Perspective of Stream Weight in AHP. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, pp. 685-692.

Received	March 2, 2015
Revised	March 4, 2015
Accepted	September 15, 2015