

홍수관련 지표 산정을 위한 표준화 및 가중치 비교 연구

백 승 협* / 최 시 중** / 홍 승 진*** / 김 동 필****

A Study on Comparison of Normalization and Weighting Method for Constructing Index about Flood

Seung Hyub Baeck*+ / Si Jung Choi** / Seung Jin Hong*** / Dong Phil Kim****

요약 : 지표 및 지수를 산정하기 위해서는 그 분야를 평가할 수 있는 여러 대리변수들에 대한 표준화와 가중치 등의 과정을 거쳐게 되는데 이러한 지표 산정에 있어 명료한 방법론이 부재하고, 보편적으로 많이 사용되는 방법들을 적용하는 것이 일반적이다. 대부분의 연구에서의 지표산정은 다양한 표준화 및 가중치 부여 방법을 적용하여 비교·분석하지 않고, 개발자가 선정한 방식을 통하여 지표 및 지수가 개발되고 사용되고 있는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 지수 산정과정인 표준화와 가중치 부여를 여러 가지 방법으로 적용함으로써 지수산정에 어느 정도 영향을 주는지 분석하고 각각의 특성을 파악하여 보다 합리적인 방법을 도출하여 향후 타 연구에 도움이 되고자 하였다. 표준화 방법으로 제시된 여러 방법들 중 5가지 방법을 활용하여 표준화를 비교·분석하였으며, 가중치의 경우 4가지 산정방법을 비교·분석하였다. 표준화 방법의 적용 방법에 따라 산정된 지표 값이 상이하였으며, Z-스코어 방법이 자료의 특성을 가장 잘 반영하는 것으로 나타났다. 가중치의 경우 가중치 부여 방법에 따른 지수 산정결과는 조금씩 차이를 보이고 있으나 지수산정 순위결과는 크게 바뀌지 않는다는 것을 확인하였다. 본 연구의 결과를 통하여 홍수관련 지수산정 시 자료의 특징을 잘 반영하는 표준화와 가중치부여 방법 선정에 도움 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 표준화, 가중치, 지수, 지표

Abstract : The construction of composite indicators should be normalized and weighted to render them comparable and evaluable variables in the field, which undergoes absence of a distinct methodology and where the application of universally popular method is common. Constructing of indices does not compare and analyze applying various normalizing and weighting, but constructor generally use chosen method and develops indicators and indices in most research. In this study, indices are applied various normalization and weighting methods, thereby analyzing how much impact the index and identifying individual characteristics derive a more reasonable way to help other research in the future. 5 different methods of normalization and 4 different types of weights were compared and analyzed. There are different results depending applied normalized methods and Z-score method best reflects the characteristics of the variables. According to weighting methods, the calculated results show little difference, but the ranking results of indices did not changed significantly. It might be better to provide constructors with a set of normalization and weighting methods to reflect their characteristics in order to build flood indices through the result of this study.

keywords : *normalization, weight, index, indicator*

+ Corresponding author : white1364@kict.re.kr
* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · E-mail : white1364@kict.re.kr
** 비회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 전임연구원 · E-mail : sjchoi@kict.re.kr
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원 · E-mail : hongsst@kict.re.kr
**** 비회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원 · E-mail : dpkim@kict.re.kr

1. 서 론

국내 및 세계적으로 중앙정부 관점에서 수자원 관련 현황을 평가하거나 취약성을 파악하는 등 관련 적응정책 수립, 부문별 정책 수립의 우선순위 결정과 평가를 위하여 지수(Index)와 지표(Indicator)를 개발하고 사용하고 있다. 지수는 의 사결정자나 대중이 쉽게 이해할 수 있도록 많은 양의 자료나 정보를 간단한 숫자나 알기 쉬운 말로 표현하는 것을 말하며, 지표는 해당 분야의 관측 값 중에서 현상을 잘 설명해줄 수 있는 대표적인 값들을 일정기준에 따라 산정한 것을 말한다.

수자원관련 지수의 개발은 이수, 치수 및 하천환경 분야의 지수가 개발되어 사용되고 있으며 그 중 치수관련 지수는 국내·외에서 많은 연구 결과가 보고되고 있다. 국내의 경우 김정훈과 김영오(2003), 안재현 등(2005)은 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage), 이창희 등(2006)은 서울시 안전도 지수, 박태선 등(2005)의 FDI(Flood Damage Index) 지수, 최시중과 이동률(2005)은 지속가능한 수자원개발과 관리를 위한 지표, 임광섭 등(2010)은 홍수위험지수(Flood Risk Index) 등을 개발하여 제시한 바 있으며, 치수평가지표로써 수자원장기종합계획, 재해위험 및 상습지구 조사, 현업의 치수사업 등에서 사용되고 있다.

국외에서는 UNEP(2000)의 글로벌 취약성 지수 GVI(Global Vulnerability Index), UNDP(2004)는 재난위험지수 DRI(Disaster Risk Index), Dille 등(2005)은 Hotspots Projects에서 인명손실과 경제손실이라는 두 가지 관점에서 지수를 개발하여 활용하고 있다. 그 밖에 독일에서는 Bollin와 Hidajat(2006)의 CBDRI(Community-Based Disaster Risk Index)를 개발하였고, 일본은 Connor와 Hiroki(2005)의 FVI(Flood Vulnerability Index), TRIAMS(2006)은 DRR(Disaster Risk Reduction) 등 지수를 개발한 바 있다.

그러나 이와 같은 지표 및 지수 산정에 있어 자료의 표준화 및 가중치 부여 등 여러 조작적 단계를 거치게 되는데, 기존 연구들이 각각 다른 방

법을 사용하고 있는 실정이다. 치수관련 분야만 하더라도 표준화 방법들은 Z-스코어 방법(강민구 등 2008, 박태선 등 2005, 이창희 등 2006), 스케일 재조정 방법(Kang 등 2010, UNDP 2004), 범주 스케일 방법과 비슷한 윤하연 점수(임광섭 등 2010, 최시중과 이동률 2005, 윤하연 1999) 등 다양하게 사용되고 있으며, 가중치 부여 방법은 동일가중치(임광섭 등 2010, 최시중과 이동률 2005), 요인분석 방법(강민구 등 2008, Kang 등 2010), 엔트로피 방법(장대원 2010, 정순석 2004) 등이 사용된 바 있다. 특히 자료의 표준화 과정에서 방법에 따라 결과 값이 차이가 날 수 있고(유가영과 김인애, 2008), 표준화를 거친 자료에 대하여 가중치 부여 방법 또한 평가결과의 왜곡을 초래할 수 있으므로 합리적인 방법을 고려해야 한다(윤하연, 1999). 따라서 본 연구에서는 지수 산정과정인 표준화와 가중치 부여 방법을 여러 가지 방법으로 적용함으로써 각 방법들의 특성을 파악하여 보다 합리적인 방법을 도출하고자 하였으며, 사용된 자료는 기 개발된 홍수위험지수에 사용한 27개의 대리변수들을 이용하여 다양한 표준화 방법과 가중치 산정 방법을 적용하여 각각의 경우의 결과를 비교·분석하고자 하였다.

2. 지수의 개념 및 산정

2.1 지수의 정의 및 산정과정

지표(Indicator)의 사전적 의미는 방향이나 목적, 기준, 수를 나타내는 표지이며, 개념은 ‘가리키다’ 혹은 ‘나타내다’ 등을 의미하는 라틴어 indicare 에서 유래한다. 일반적으로 ‘어떤 주체의 다양한 측면을 단적으로 나타내는 방식’으로 해석되어 사용되고 있다(Aall, 2005).

지수(Index)는 서로 다른 측정단위를 사용하거나 과학적인 연관성이 없는 둘 이상의 지표를 집계하여 하나의 지수로 정의하는 방법이다(김호석 등, 2007). 지표와 지수는 다양한 측면의 자료와 정보를 종합하고 목적에 얼마나 달성했는지 정리 및 평가하는데 용이하여 주로 사용된다. 본 연구

의 지수 산정과정은 국가표준지도인 수자원단위지도의 중권역(117개)별 대리변수를 이용하여 다양한 표준화 및 가중치 부여 방법을 적용하고 최종적인 집계과정은 세부지수의 경우 누적합산방법(additive aggregation)을 이용하고 통합지수는 누적곱산방법(geometric aggregation)을 통하여 기존 연구와 동일하게 지수를 산정하였다.

2.2 지수의 산정 방법

2.2.1 표준화 방법

서로 다른 단위와 성질을 가진 여러 변수들을 집계하여 하나의 지표로 결합하는 과정에는 표준화(Normalization), 가중치 부여(Weighting) 등의 방법이 있다. 자료의 표준화는 선정된 대리변수의 크기와 단위에 따른 편차문제를 해소하기 위하여 필요한 과정이다. 표준화 방법은 경제, 환경 및 의료분야 지표 등 거의 모든 영역에서 이용되고 있다. Nardo 등의 OECD 보고서(2005)에서는 이러한 표준화 방법을 9가지로 정리하여 소개하고 있으며 표 1과 같다.

표 1. 표준화 방법

Method	Equation
1. 순위산정(Ranking)	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$
2. Z-스코어(Z-score)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^t = \bar{c}}{\sigma_{qc}^t = \bar{c}}$
3. 스케일 재조정(Re-scaling)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^{t_0})}{\max_c(x_q^{t_0}) - \min_c(x_q^{t_0})}$
4. 기준선과의 차이(Distance to reference country)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}$ or $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}{x_{qc}^{t_0} = \bar{c}}$
5. 범주 스케일(Categorical scales)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 25 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{25th}\} percentile \\ 50 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{50th} - p^{25th}\} percentile \\ 75 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{75th} - p^{25th}\} percentile \\ 100 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{100th} - p^{25th}\} percentile \end{cases}$
6. 평균 상·하위 지표(Indicators above or below the mean)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 1 & \text{if } w > (1+p) \\ 0 & \text{if } (1-p) \leq w \leq (1+p) \\ -1 & \text{if } w < (1-p) \end{cases}$ where $w = x_{qc}^t / x_{qc}^{t_0} = \bar{c}$
7. 순환지표(Cyclical indicators(OECD))	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E(x_{qc}^t))}$
8. 의견 균형(Balance of opinions(EC))	$I_{qc}^t = \frac{100}{N_e} \sum_c sgn_e(x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1})$
9. 연간차이 백분율(Percentage of annual differences over consecutive years)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$

※ 출처: Nardo 등(2005)

주) x_{qc}^t 는 시간 t 일 때 c 지역의 지표 q 이다. \bar{c} 는 기준선이다. 연산자 sgn 은 인수에 부호를 부여한다. (즉, 만약 인수가 양일 때는 +1이며, 인수가 음일 때는 -1이다.) N_e 는 조사된 전문가 수를 말한다.

본 연구에서는 이 방법들 중에서 Z-스코어(Z-score), 스케일 재조정(Re-scaling), 기준선과의 차이(Distance to reference country), 범주 스케일(Categorical scales), 순위산정(Ranking) 방법을 활용하여 모든 표준화한 값들을 0부터 1 사이의 값을 갖도록 하여 표준화 결과를 비교, 분석하였다.

Z-스코어 방법은 가장 많이 사용되고 있는 방법으로 모든 자료들을 평균은 0, 표준편차는 1이 되도록 만드는 방법이다. 자료의 수치가 평균으로부터 표준편차의 몇 배 정도나 떨어져 있는지를 표준화된 확률변수인 Z값으로 나타낸다. 그러나 평균치 이하의 점수는 음수 값으로 산정되므로 별도의 처리가 필요하며, 기존 연구에서는 분포의 초과확률을 이용하여 구간별 평가 점수를 다시 부여하는 방법(윤하연, 1999)을 이용하였다. 본 연구에서는 자료의 표준화 방법을 비교하기 위하여 Z-스코어의 값을 동일한 범위인 0~1사이의 값을 갖도록 확률밀도함수를 이용하여 산정하였다.

스케일 재조정 방법은 표준편차보다 지표의 범위에 기반을 둔 변환 방법으로 값을 0~1 범위를 갖도록 한다. 범주 스케일 방법의 경우 자료를 5등분으로 나누고 점수화(0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1)하여 지정 점수를 할당 받게 하였다. 기준선과의 차이 방법은 대리지표에 대한 측정지표의 비율을 이용하는 방법으로, 하나의 기준 값을 기준으로 정하여 표준화를 하였다. 순위산정 방법은 가장 단순하고 간단한 방법으로 자료의 순위를 매겨 최고 순위 값을 나눠줌으로써 범위(0~1)를 갖도록 하였다.

2.2.2 가중치 부여 방법

지표의 가중치 결정은 중요도에 따른 지표의 영향력 크기를 규명하는 것으로 최종 결과 및 의사결정에 중대한 영향을 미치게 된다. 가중치 산정 방법에는 동일가중치법, 계층분석기법(Antalytic Hierarchy Process), 컨조인트(Conjoint Analysis) 방법, 델파이(Delphi) 기법,

요인분석(Factor Analysis) 방법과 엔트로피(Entropy) 방법, 점수할당법(Point Allocation Method) 등 다양한 방법이 있다.

본 연구에서는 지표와 지수에 대해 동일가중치를 적용한 방법과 자료의 정보만을 이용하여 가중치를 산정하는 요인분석 방법과 엔트로피 방법을 사용하였고, 보편적으로 많이 사용되고 있는 설문을 통한 가중치 산정방법을 이용하였다. 요인분석 방법은 많은 변수들의 상호 관련성을 소수의 요인으로 추출하여 전체변수들의 공통요인을 찾아내 각 변수가 받는 영향의 정도와 그 집단의 특성을 규명하는 다변량 통계분석방법이다. 엔트로피 방법은 수, 신호 또는 기호들로 구성된 통신 신호를 분석하는 정보이론에서 시작되었으며, 대안과 속성을 많이 포함하는 현실적인 다기준 의사결정 문제에 대해 의사결정자가 비교적 이해하기 쉬운 정보이론 방법을 적용하는 것으로 사용자 주관에 고려되지 않고 이용된 지표의 속성 정보만을 이용하여 가중치를 산정하는 방법이다(장대원, 2010). 설문을 통한 방법들 중 가장 널리 응용되고 있는 기법인 계층분석기법은 의사결정 문제를 계층화한 후 각 평가 기준의 관점에서 대안들의 상대적 중요도와 평가 기준들간의 상대적 중요도를 쌍대비교에 의해 측정하는 방법이다(김응석, 2008).

3. 표준화 및 가중치 부여에 따른 지수산정

3.1 홍수위험지수 적용

본 연구에서는 총 27개의 대리변수를 사용하여 표준화 및 가중치 부여 방법에 따른 평가결과를 비교·분석 하였다. 각각의 변수들에 대해 1982년부터 2006년까지의 117개의 중권역별로 자료를 구축하였으며, 크게 피해의 원인이 되는 압력, 피해 현상, 피해의 대책으로 3개 분야로 분류하였고 내용은 표 2와 같다.

표 2. 압력, 현상, 대책의 대리변수

분야별지수	구분	대리변수
압력지수 (PI)	수문특성	강우량, 확률강우량, 초과강우 발생 횟수
	유역특성	임상, 경사, 고도, 녹지면적율, 도시화율, 불투수지비율
	인문·산업·경제	자산현황, 인구밀도, 사회기반시설 밀도
	홍수피해 위험지역	저지대율
현상지수 (SI)	홍수피해 위험지역	홍수피해밀도, 침수면적밀도, 사망자수, 피해자수, 우심피해 횟수
대책지수 (RI)	치수대책	하수도보급율, 댐 및 저수지, 펌프장, 우수관로 설치길이, 홍수예보시스템, 기상관측소 밀도
	치수투자비	재정자립도, 복구비, 치수사업 투자비

3.2 표준화 적용 결과

3.2.1 표준화 방법 비교·분석

모든 대리변수는 표준화를 적용하기 전 각각 자료들의 특성을 알아보고자 도수분포도와 평균, 표준편차와 같은 기초 통계분석을 실시하였다. 대

리변수의 최대 값을 기준으로 5개의 구간으로 나누어 자료의 분포를 확인한 결과 표 3과 같이 나타났다. 강우량, 확률강우량, 경사와 같은 자료는 중앙 집중형 분포이며, 대부분의 자료들은 0~20% 사이에 값들이 몰려있는 왜도 분포를 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

표 3. 대리변수의 도수별 분포

구분	평균	표준편차	~20(%)	~40(%)	~60(%)	~80(%)	~100(%)
강우량	1328.34	351.90	15	1449	1320	132	9
확률강우량	339.52	72.00	0	25	975	1425	500
초과강우 발생 횟수	2.3	1.60	1938	897	75	14	1
임상	507.67	1160.39	2818	48	26	20	13
경사	5.98	6.12	2729	133	29	26	8
고도	6397.86	19196.9	2856	27	26	10	6
녹지면적율	28.03	10.46	150	700	1350	625	100
도시화율	0.0001	0.0003	2903	19	2	0	1
불투수지비율	63870.34	357157	2885	15	2	11	12
자산현황	3.93	4.20	2846	70	6	1	2
인구밀도	524.22	427.50	1475	850	375	150	75
사회기반시설 밀도	21.46	14.11	1100	950	550	225	100

표 3. 대리변수의 도수별 분포

구분	평균	표준편차	~20(%)	~40(%)	~60(%)	~80(%)	~100(%)
저지대율	45.95	33.04	2906	15	2	0	2
홍수피해밀도	10012.98	35262	2897	19	5	2	2
침수면적밀도	0.0001	0.0003	2903	19	2	0	1
사망자수	0.97	4.01	2894	16	11	3	1
피해자수	453.53	5203.01	2920	3	1	0	1
우심피해 횃수	9.66	7.68	1550	830	440	65	40
하수도보급율	28.77	21.50	1485	823	483	132	2
댐 및 저수지	0.29	0.68	2848	59	1	9	8
펌프장	43.38	124.84	2620	188	67	0	50
우수관로 설치길이	4.34	19.25	2908	13	1	1	2
홍수예보시스템	0.31	0.66	2250	525	100	25	25
기상관측소 밀도	4.59	15.52	2924	0	0	0	1
재정자립도	12430001	49632093	2892	22	6	3	2
복구비	0.001	0.001	2682	225	0	3	15
치수사업 투자비	79.13	210.11	2877	21	9	13	5

지표의 표준화 방법에는 표 1과 같이 여러 종류의 표준화 방법이 있지만 본 연구에서는 Z-스코어, 스케일 재조정, 범주 스케일, 기준선과의 차이, 순위산정 방법을 사용하였으며, 제외된 평균상·하위 지표 방법은 범주 스케일과 비슷한 방법이며 매우 간편하고 이상치에 영향을 받지 않는다는 장점이 있지만, 경계 값 수준의 임의성과 절대적 수준의 정보가 누락될 수 있다는 단점이 있다. 순환지표와 연간차이 백분율 방법은 수년 동안의 시계열 자료를 이용하는데 순환지표의 경우 대부분의 비즈니스 경향 조사를 수행하는 지표에 많이 사용되며, 연간차이 백분율 방법의 경우 연도별 시계열 경향성을 보기 위한 것으로는 좋은 방법이겠지만 매년 발생하지 않는 홍수피해밀도, 복구비 등과 같은 자료와 경사 및 고도와 같이 경년변화가 거의 없는 대리변수에 적용하기에는 무리가 있어 본 연구에서는 적용하지 않았다.

총 27개의 대리변수에 대하여 5가지의 표준화 방법을 적용한 결과 대리변수의 특성에 따라 크게

두 가지의 형태로 나타났다. 중앙 집중분포를 가진 대리변수군(강우량, 초과강우 발생 횃수, 고도, 녹지면적률 등)과 왜도 분포를 가진 대리변수군(홍수피해밀도, 복구비, 경사, 댐 및 저수지 등)으로 구분되어지며, 대리변수군별로 표준화 결과가 상이하게 나타났다. 또한 각 대리변수군에 속해있는 대리변수의 5가지 표준화 결과는 유사한 결과의 형태를 나타낸다. 따라서 각 대리변수군을 대표하는 유사한 표준화 결과를 나타내는 대리변수 중 강우량 자료와 홍수피해밀도 자료에 대하여 결과를 표시하였다.

Z-스코어를 통하여 얻은 표준화 값은 강우량과 같은 중앙 집중형인 경우 그림 1과 같이 변수의 최고, 최저값 부근은 표준화된 값의 변화가 완만하고, 자료가 많이 집중되어있는 중앙부근의 표준화된 값의 변화는 급격하게 나타났다. 반면 홍수피해밀도와 같은 왜도 분포인 경우는 그림 2와 같이 작은 범위에 값들이 몰려있어 표준화 값의 변화도 급격하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

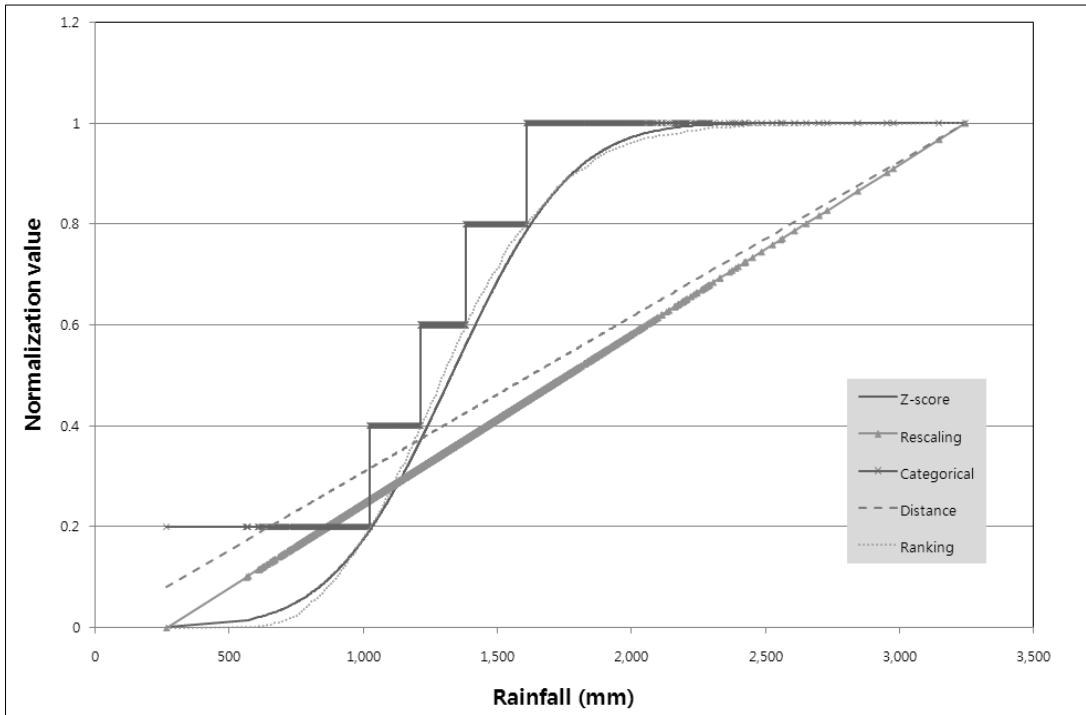


그림 1. 중앙 집중형태의 자료의 표준화(강우량)

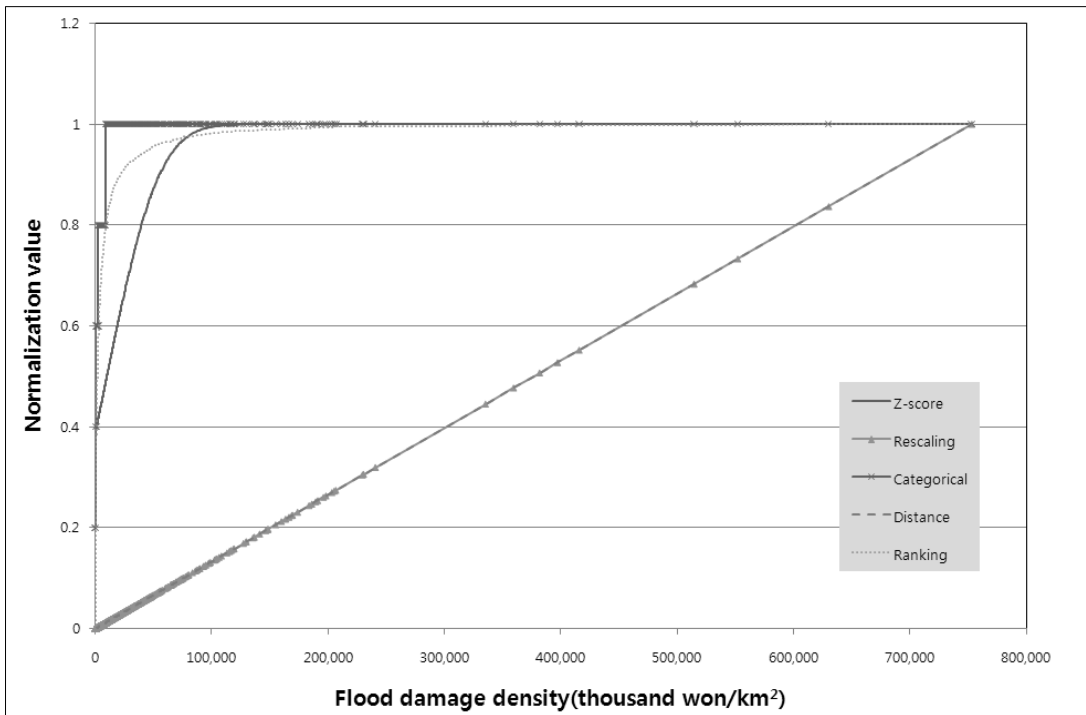


그림 2. 왜도 분포자료의 표준화(홍수피해밀도)

스케일 재조정과 기준선과의 차이 방법의 경우는 자료의 형태와 분포에 상관없이 일정하게 변화되는 것을 볼 수 있다. 그러나 이 두 방법은 자료의 분포가 하위 값(0~20%)에 자료가 몰려있는 왜도 분포형태일 경우 같은 비율로 환산하여 변환된 표준화 값에 왜곡된 효과를 주는 것을 확인할 수 있다. 또한 순위 산정방법은 모든 자료들을 순서대로 나열한 후 순위에 따라 점수를 매기는 가장 간단한 방법이며 자료의 비율척도와는 상관없이 서열척도의 등간격으로 점수를 환산한다. 그림 1과 같이 자료가 중앙집중형과 같이 골고루 분포된 경우 Z-스코어와 비슷하게 나타나기도 한다. 그러나 그림 2와 같은 홍수피해밀도는 왜도 분포 형태의 자료로 피해가 없는 경우(0원)와 피해가 가장 큰 경우(약 7억5천)의 값 차이가 매우 크며, 자료의 차이가 서열척도의 차이보다 작을 경우 왜곡이 발생할 수 있다.

범주 스케일의 경우 계산된 지표가 시간에 따라 어떤 작은 변화를 한다 하더라도 이러한 변화 과정이 결과에 큰 영향을 미치지 않는다는 장점(Nardo 등, 2005)이 있어 사용되기도 하지만 범주를 정한 사이의 값들은 동일한 점수를 받게 되어 자료의 특성을 반영하기 어렵다.

3.2.2 표준화 방법에 따른 민감도 분석

민감도는 어느 한 요인의 변동에 대한 다른 요인의 변동을 분석하는 것을 말한다. 민감도의 일반적 정의는 양해함수 0을 Taylor시리즈로 전개를 하여 식 (1)과 같이 나타 낼 수 있으며(박성우, 1984), 선형 민감도 방정식은 한 매개변수가 동시에 변화되는 경우도 전개할 수 있으므로 민감도의 일반적 정의는 식 (2)와 같이 유도된다.

$$0 = f(F_1, F_2, \dots, F_n) \quad (1)$$

$$S = \frac{\Delta 0_0}{\Delta F_i} = \frac{f(F_1 + \Delta F_i, F_j | j \neq i) - f(F_1, F_2, \dots, F_n)}{\Delta F_i} \quad (2)$$

본 연구에서는 상대적 중요성을 정량적으로 제시할 수 있는 상대민감도에 대하여 계산을 하였으며 식 (2)의 정의에 의하여 계산된 절대민감도에 식 (3)과 같이 분자를 0₀, 분모를 F_i으로 각각 나누면 F_i의 상대적 변화에 대한 0의 상대적 변화를 추정할 수 있다.

$$R_s = \frac{\partial 0 / 0_0}{\partial F_i / F_i} = \frac{\partial 0}{\partial F_i} \frac{F_i}{0_0} \quad (3)$$

5가지의 표준화 방법에 대한 상대 민감도를 계산한 결과 상대적 민감도의 변화율은 그림 3, 4와 같이 나타난다. 기준선과의 차이 방법은 자료의 분포형태와 상관없이 1의 값으로 일정하게 나타나며, 스케일재조정 방법은 강우량자료와 같은 경우는 약 1.7의 값에서부터 줄어들어 1.2의 값으로 수렴하고 홍수피해밀도와 같은 자료에서는 기준선과의 차이방법과 같이 1의 값으로 일정하게 나타난다.

반면 범주스케일과 순위산정 방법은 대리변수의 자료의 값에 따라 민감도가 변화가 크게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 범주스케일의 경우는 범주의 점수가 변하는 구간에서는 값의 변화가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 순위산정 방법의 경우 자료의 변화량이 순위척도보다 작을 경우 변화율이 크게 증가하며 홍수피해밀도와 같은 경우는 약 6800정도의 값을 나타내었다. Z-스코어 방법의 경우 대리변수에 따라 약 10%정도 변화율이 증가하다가 감소하여 거의 0에 수렴하게 되는데 강우량은 약 4.5, 홍수피해밀도와 같은 자료들은 0.45의 값까지 증가하다가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

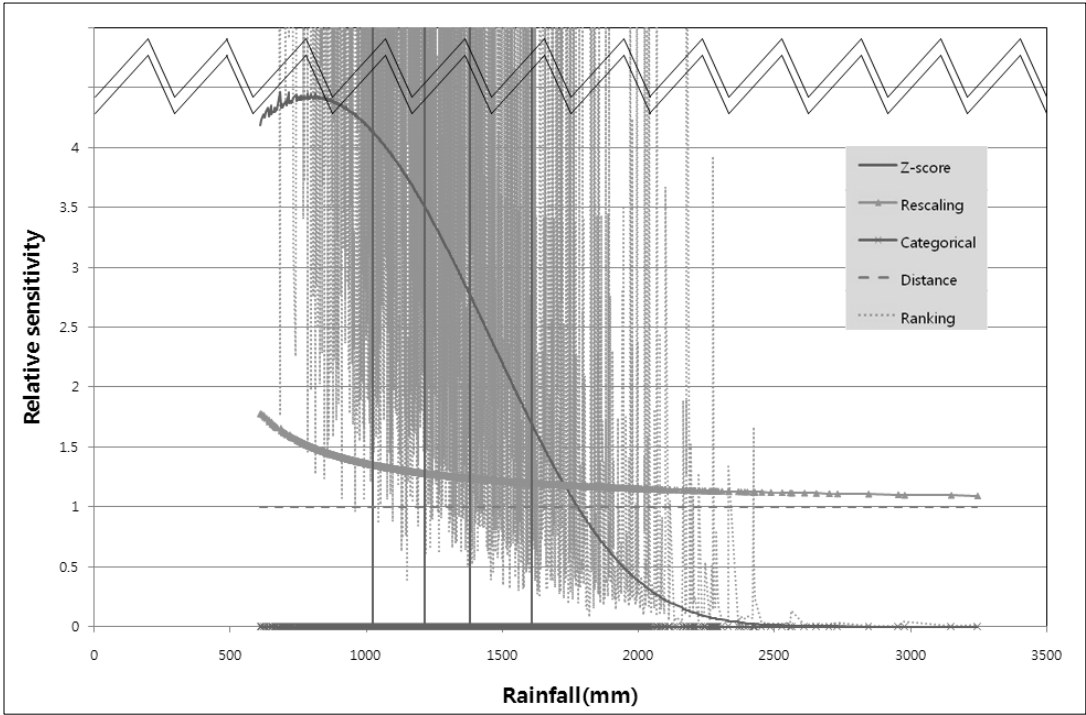


그림 3. 중앙 집중형태의 자료의 상대적 민감도(강우량)

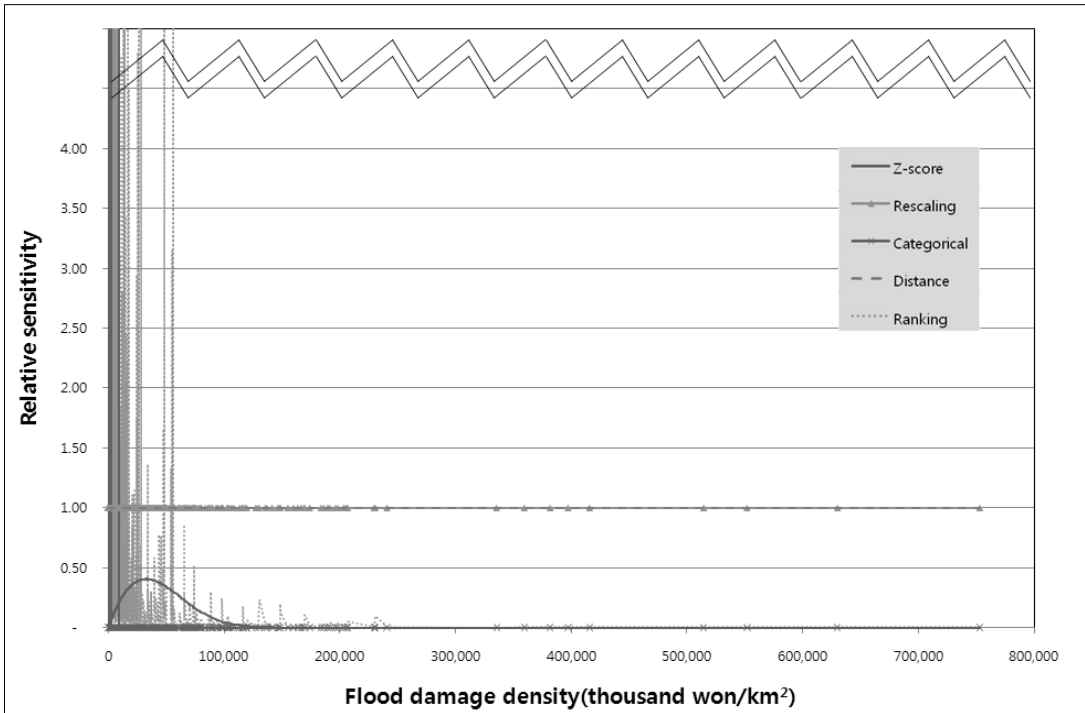


그림 4. 왜도 분포자료의 상대적 민감도(홍수피해밀도)

따라서, 상대적 민감도 분석을 통하여 나타나는 값들을 보면 알 수 있듯이 기준선과의 차이방법과 같은 경우 값이 일정하게 나타나는 것은 자료의 상태와 상관없이 일정한 변화율로 표준화 점수를 변환하여 자료의 특성을 반영하기 힘들다는 것을 확인 하였다. 반면에 순위산정 방법은 민감도가 크게 변동하여 표준화 방법으로 사용 할 경우 신중한 고려가 필요하다. Z-스코어 방법은 모든 인자를 변환 시 서로 다른 의미의 인자를 단일한 척도로 효과적으로 전이시킬 수 있으며, 자료의 특성을 가장 잘 반영하는 것으로 나타났다.

3.3 가중치 부여 결과

3.3.1 가중치 산정방법에 따른 지수 계산

본 연구에서는 홍수위험지수의 공간적 범위를 국가 표준지도인 수자원단위지도의 중권역(117개)으로 설정하였다. 가중치 산정방법에 따른 지수 결과를 비교하기 위하여 Z-스코어 방법으로 산출한 표준화 값을 동일가중치 방법, 요인분석 방법, 엔트로피 방법, 계층분석기법을 통하여 표 4와 같이 가중치를 산정하였다.

표 4. 가중치 부여 방법에 따른 산정결과 비교

	구분	동일가중치	요인분석	엔트로피	계층분석기법
압력 지수 (PI)	강우량	0.0769	0.0829	0.1114	0.1247
	확률강우량	0.0769	0.0436	0.1218	0.0897
	초과강우 발생 횟수	0.0769	0.0839	0.1069	0.1121
	임상	0.0769	0.0928	0.0289	0.0323
	경사	0.0769	0.0799	0.0516	0.0619
	고도	0.0769	0.0920	0.0197	0.0511
	녹지면적율	0.0769	0.0824	0.1166	0.0341
	도시화율	0.0769	0.0473	0.0348	0.0879
	불투수지비율	0.0769	0.0828	0.0102	0.0673
	자산현황	0.0769	0.0701	0.0793	0.0709
	인구밀도	0.0769	0.0724	0.1001	0.1022
	사회기반시설 밀도	0.0769	0.0839	0.1064	0.0762
저지대율	0.0769	0.0859	0.0859	0.1123	0.0897
현상 지수 (SI)	홍수피해밀도	0.2000	0.1822	0.1133	0.2253
	침수면적밀도	0.2000	0.1869	0.1840	0.1703
	사망자수	0.2000	0.1909	0.0971	0.2692
	피해자수	0.2000	0.2003	0.0245	0.2198
	우심피해 횟수	0.2000	0.2397	0.5810	0.1154
대책 지수 (RI)	하수도보급율	0.1111	0.1270	0.2509	0.1178
	댐 및 저수지	0.1111	0.0963	0.0889	0.1576
	펌프장	0.1111	0.0893	0.1096	0.1214

표 4. 가중치 부여 방법에 따른 산정결과 비교 (계속)

	구분	동일가중치	요인분석	엔트로피	계층분석기법
대책 지수 (RI)	우수관로 설치길이	0.1111	0.0952	0.0631	0.1033
	홍수예보시스템	0.1111	0.1467	0.1703	0.1540
	기상관측소 밀도	0.1111	0.0764	0.0601	0.0779
	재정자립도	0.1111	0.1065	0.0527	0.0616
	복구비	0.1111	0.1332	0.1437	0.0743
	치수사업 투자비	0.1111	0.1293	0.0605	0.1322
홍수 위험 (FRI)	압력지수	0.3333	0.3384	0.2286	0.2647
	현상지수	0.3333	0.3185	0.5539	0.3971
	대책지수	0.3333	0.3431	0.2176	0.3382

요인분석 방법은 SPSS 통계프로그램을 이용하였으며, 분석을 실시하기 전에 먼저 Bartlett의 단위행렬 검정과 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)의 표본적합도 검사를 한 결과 KMO는 0.718~0.744로 선정된 변수들이 요인분석 방법에 적합함을 확인하였다. 계층분석기법은 다른 방법들과의 비교를 위하여 간단하게 관련 전문가 10여명을 통하여 획득한 설문조사 결과를 이용하여 가중치를 산정하였다.

가중치 산정 결과를 보면 압력지수에서는 요인분석을 통한 방법의 경우 확률강우량과 도시화율이 다른 대리변수보다 작게 산정된 것을 볼 수 있고, 엔트로피 방법은 임상과 도시화율이 작게 산정되었다. 계층분석기법은 임상, 녹지면적율, 고도가 낮게 산정되었다. 현상지수에서는 우심피해 횡수의 가중치 값이 크게 차이나는 것을 볼 수 있으며, 엔트로피 방법의 경우 값이 요인분석 방법의 약 2배정도 크게 산정이 되었고, 계층분석기법은 약 50%정도 작게 산정되었다. 대책지수의 세부지표 중 기상관측소 밀도는 공통적으로 가중치 산정이 작게 되었으며 엔트로피 방법은 하수도보급율이 다른 방법들보다 약 2배가량 높게 산정되었으며 재정자립도, 치수사업 투자비가 상대적으로 낮

게 산정되었다.

지수를 계산하는 과정은 기존 연구와 동일한 방법으로 압력, 현상, 대책의 세부지표 집계방식은 HDI(UNDP, 2007), FVI(Connor 등, 2005), PFD(국토해양부, 2006) 등에 사용된 누적합산방법으로 식 (4)를 이용하였고, 각 분야별 지수를 통합한 홍수위험지수는 각 분야별 지수간의 곱과 가중계수를 통해 산정하는 누적곱산방법으로 식 (5)와 같다.

$$CI_c = \sum_{i=1}^n w_i I_{ic} \tag{4}$$

$$CI_c = \prod_{j=1}^n I_{jc}^{w_j} \tag{5}$$

연도별 홍수위험지수 값을 산정하여 시계열 변화를 분석하기에는 결과해석의 한계가 있으므로, 연도별 홍수위험지수를 산정하고 각 지수의 과거로부터 변화 추이 분석을 위하여 1980년대, 1990년대, 2000년대로 평균하였으며 상위 10%를 표 5~7에 정리하였다.

표 5. 1980년대 홍수위험지수(FRI) 결과

FRI 순번	동일가중치		요인분석		엔트로피		AHP	
	중권역	지수값	중권역	지수값	중권역	지수값	중권역	지수값
1	2018	0.571	2018	0.573	1301	0.674	2018	0.582
2	4104	0.562	1301	0.563	2018	0.667	4104	0.574
3	1301	0.559	4009	0.559	1003	0.647	4101	0.569
4	4009	0.554	4104	0.556	1001	0.628	1301	0.562
5	4101	0.552	1001	0.545	2504	0.627	4009	0.555
6	1001	0.547	4101	0.545	2022	0.623	4103	0.540
7	2022	0.541	1003	0.539	2019	0.620	4102	0.539
8	2504	0.539	1002	0.538	2004	0.615	4007	0.538
9	1002	0.535	2504	0.538	2501	0.602	1001	0.534
10	1003	0.533	2021	0.538	3203	0.598	1002	0.534

1980년대의 홍수위험지수 결과를 보면 가중치 산정방법에 상관없이 순위가 높게 나타나는 중권역 2018(남강댐), 4104(이사천), 1301(양양남대천), 4009(섬진강 하류), 4101(섬진강 서남해) 등은 약간의 차이는 있지만 높은 값을 가진다는 것

을 확인 할 수 있었다. 지수의 값을 비교하면 동일가중치 방법과 요인분석 방법을 통해 계산된 값들은 거의 비슷한 결과를 나타내었다. 엔트로피 방법의 경우 다른 산정방법에 비하여 상대적으로 높은 값들을 나타내었다.

표 6. 1990년대 홍수위험지수(FRI) 결과

FRI 순번	동일가중치		요인분석		엔트로피		AHP	
	중권역	지수값	중권역	지수값	중권역	지수값	중권역	지수값
1	1301	0.564	1301	0.571	1301	0.681	1022	0.551
2	1022	0.551	1002	0.556	2018	0.651	1301	0.551
3	1002	0.549	2018	0.553	1003	0.647	2018	0.546
4	2018	0.549	1001	0.548	1022	0.637	1002	0.545
5	1001	0.549	1003	0.547	1001	0.631	1003	0.531
6	1003	0.540	4009	0.544	2004	0.621	3202	0.529
7	4009	0.536	1022	0.544	1007	0.614	4009	0.529
8	2004	0.531	2004	0.538	2401	0.603	1001	0.529
9	2401	0.528	1004	0.535	1004	0.601	2004	0.529
10	1004	0.526	2401	0.535	2501	0.597	4101	0.528

1990년대와 2000년대의 결과에서도 비슷하게 중권역 1001(남한강 상류), 1002(평창강), 1301(양양남대천), 2018(남강댐), 4009(섬진강 하류) 등은 높은 순위를 차지하는 것을 볼 수 있다. 중

권역 1022(한탄강)는 표 5에서는 상위 10위 안에 없었으나 1990년에는 비교적 위험도가 높게 나타났다.

표 7. 2000년대 홍수위험지수(FRI) 결과

FRI	동일가중치		요인분석		엔트로피		AHP	
	중권역	지수값	중권역	지수값	중권역	지수값	중권역	지수값
1	2018	0.573	2018	0.576	2018	0.693	2018	0.573
2	1301	0.566	1301	0.570	1301	0.681	1301	0.567
3	4009	0.557	4009	0.565	2401	0.656	1002	0.554
4	1002	0.549	1002	0.555	1003	0.653	4009	0.547
5	1001	0.549	1003	0.548	1001	0.642	2502	0.545
6	1003	0.543	2401	0.547	4009	0.638	1001	0.544
7	1303	0.541	1303	0.546	1022	0.635	2401	0.543
8	2401	0.540	1001	0.544	1004	0.623	1303	0.540
9	2503	0.529	2002	0.539	2002	0.619	1003	0.537
10	1004	0.528	1004	0.537	2504	0.616	2503	0.533

3.3.2 가중치 산정방법에 따른 결과

지수계산에 사용되는 가중치 산정방법에 따라 지수 값이 다르게 나타나지만, 최종적으로 홍수위험지수 값을 계산하여 상위의 값들을 순서대로 나열하여 비교하면 지수 값들의 차이는 다소 있지만 높은 순위를 나타내는 중권역들은 높은 값을 나타내고 낮은 순위의 중권역은 가중치 부여 방법에 상관없이 지수 값이 낮게 나타내는 것을 확인하였다. 동일가중치 방법과 요인분석 방법의 경우 비교적 비슷한 지수 값이 산정되고 순위도 거의 비슷하게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 엔트로피 방법의 경우 다른 방법에 비하여 값은 상대적으로 높게 나타나지만 상위의 중권역은 나머지 방법들과 비슷하며, 계층분석기법도 설문자의 주관적 의견이 반영되어 산정된 지수 값은 다르게 산정되지만 최종 결과에는 크게 영향이 없는 것을 확인하였다.

4. 결 론

지표 및 지수를 산정할 때 계산하는 과정에서 표준화 및 가중치 부여 등 여러 조작적 단계를 거치게 되며 이러한 과정들은 국외 및 국내에서 여러 방법들을 개발하여 사용하고 있다. 표준화와 가중치는 방법론에 따라 지표 및 지수의 산정이 조금씩 달라질 수 있으므로 신중한 검토와 고려가 필요하게 된다. 본 연구에서는 지표의 개발보다는 지표산정 과정 중 표준화와 가중치변화에 따른 지표 값의 변화를 분석하기 위해 기 개발된 홍수위험지수 산정에 사용된 대리변수들을 동일하게 사용하여 1982년부터 2006년까지 중권역유역의 홍수관련 자료들의 표준화 및 가중치 방법에 따른 결과를 비교·분석하였다.

자료의 표준화 과정은 OECD에서 정리된 방법들 중 Z-스코어, 스케일 재조정, 기준선과의 차

이, 범주스케일, 순위산정의 5가지 방법에 대하여 적용한 결과 홍수관련 자료와 같이 중앙 집중 또는 왜도 분포 형태의 특성을 가장 잘 반영하여 표준화 시키는 방법은 Z-스코어 방법인 것으로 나타났다. 스케일 재조정과 기준선과의 차이 방법의 경우는 자료의 형태와 분포에 상관없이 일정하게 변환되는 것을 확인할 수 있었으며, 순위산정과 범주스케일의 경우는 자료의 분포 형태에 따라 다르게 나타나며, Z-스코어와 결과가 비슷한 것 같지만 민감도가 크게 나타나므로 신중한 고려가 필요하게 된다.

가중치 방법에 따른 결과는 방법에 따라 서로 다른 값들이 산정되지만, 높은 지수 값을 갖는 중권역들은 가중치 방법에 상관없이 순위가 높게 나타나고 낮은 지수의 값들을 갖는 중권역은 낮은 순위로 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 동일 가중치 방법과 요인분석 방법에 의한 지수 산정 결과는 비슷한 반면, 같은 통계적 방법이지만 엔트로피 방법을 사용할 경우 현상지수에 많은 가중치를 산정하게 되어 결과 값의 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 현상의 경우 홍수피해밀도와 같이 피해가 없는 값과 피해가 큰 값의 차이가 크고 많은 자료가 낮은 값들에 몰려있어 가중치가 다른 세부지수보다 많이 산정된 것으로 분석된다. 계층 분석기법의 경우 설문자의 주관적 판단이 가중치 산정에 많은 영향을 주고, 요소의 수가 많은 경우 일관성을 유지하기 어려운 문제가 있지만 결과적으로 순위를 산정하면 비슷하게 나타나는 것을 확인하였다.

본 연구와 같이 지표 및 지수의 산정 시 표준화 및 가중치 부여 방법을 연구자가 임의로 선정하기보다는 다양한 방법을 적용한 결과를 비교·분석하여 각 방법들의 적용성을 검토하고 보다 합리적인 결과를 도출해야 할 것이다. 본 연구결과를 통하여 향후 지표 및 지수 개발에 다양한 방법들의 비교·분석의 필요성을 확인하였으며, 홍수관련 지수산정 시 자료의 특징을 잘 반영하는 표준화와 가중치 부여 방법 선정에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서 분석한

대리변수와 다른 형태의 자료의 표준화 및 홍수관련 이외의 지표산정에 연구결과를 적용하기에는 무리가 있을 것으로 판단된다. 일반적인 연구결과를 도출하기 위하여 보다 다양한 형태의 대리변수와 폭넓은 분야의 지수산정에 관한 지속적인 연구로 높은 신뢰성을 갖도록 해야 할 것이다. 또한, 지표 산정 시 표준화를 적용하기 전에 사용되는 대리변수들의 통계 분석을 수행하고 상관관계 분석과 동일한 성질의 변수들은 제거 또는 묶는 과정을 통하여 세부지표를 산정하는 방법에 관한 연구를 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- 국토해양부. 2006. 수자원장기종합계획. 국토해양부.
- 국토해양부. 2008. 국가수자원관리지표. 국토해양부.
- 강민구, 이광만, 고익환, 정찬용. 2008. 요인분석을 이용한 수계 관리 맥락에서 유역관리 상태를 평가하기 위한 통합지수 개발. 한국수자원학회논문집. 제41권, 제3호, pp. 277-291.
- 김선주, 강상진. 1999. 유달시간 산정공식의 표준화 및 민감도 분석, 한국농공학회 학술발표회 논문집. 한국농공학회, pp. 499-505.
- 김응석. 2008. 계층분석과정을 이용한 상수관로의 노후도 평가를 위한 항목별 가중치 산정, 한국방재학회논문집. 제8권, 제5호, pp. 15-21.
- 김정훈, 김영오. 2003. 홍수피해잠재능 개선방안, 2003년도 대한토목학회 정기학술대회 논문집. 대한토목학회, pp. 2373-2378.
- 김호석, 송영일, 김이진, 임영신. 2007. 환경평가와 지속가능발전지표 연계운영 방안에 관한 연구. KEI-2007-RE-08 연구보고서. 한국환경정책·평가연구원.
- 박성우. 1984. 응용수문학, 향문사.
- 박태선, 김광목, 윤양수, 이승복. 2005. 홍수피해 특성 분석 및 홍수피해지표 개발에 관한 연구. 연구보고서. 국토연 2005-6. 국토연구원.

- 안재현, 강두선, 윤용남. 2007. 치수단위구역 설정 및 홍수피해잠재능 산정의 개선방안 연구. 한국수자원학회지 40(11) : 42-49.
- 유가영, 김인애. 2008. 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안. KEI-2008-RE-05 연구보고서. 한국환경정책·평가연구원.
- 윤하연. 1999. 인천광역시 환경지표의 개발과 적용. 인천발전연구원, pp.1-51.
- 이창희 이석민, 여창진. 2006. 서울시 지역안전도 평가모형 개발 연구. 연구보고서, 시정연 2006-R-37. 서울시정개발연구원.
- 임광섭, 이동률, 최시중. 2008. 수자원정책지원을 위한 지수개발 - 치수특성지수 중심으로. 2008년도 학술발표회 논문집. 한국수자원학회. pp. 53-60.
- 임광섭, 최시중, 이동률, 문장원. 2010. 홍수지표의 인과관계를 이용한 홍수위험지수 개발. 대한토목학회논문집. 대한토목학회 제30권, 제1B호, pp. 61-70.
- 장대원. 2010. 홍수방어대안 선정을 위한 위험관리지수의 개발 및 적용. 공학박사학위논문, 인하대학교.
- 정순석. 2004. 엔트로피 방법에 의한 다 요소의 사결정에 관한 연구. 안전경영과학지. 제6권, 제2호, pp. 177-186.
- 최시중, 이동률. 2005. 지속가능한 수자원 개발과 관리를 평가하기 위한 지표. 한국수자원학회 논문집. 한국수자원학회. 제38권, 제9호, pp. 779-790.
- Aall C. 2005. The Concept of Indicators Paper presented at a seminar within the EUproject Capacity building to enable the incorporation of urban sustainability parameters in spatial urban development and planning policy practices through the use of indicators (URBANGUARD). Nicosia. Cyprus. 8-9 August 2005.
- Bollin C, Hidajat R. 2006. Community-based disaster risk index: pilot implementation in Indonesia. In: J. Birkmann, Editor. Measuring Vulnerability to Natural Hazards-Towards Disaster Resilient Societies, UNU-Press, Tokyo, New York, Paris.
- Connor RF, Hiroki K. 2005. Development of a method for assessing flood vulnerability. Water Science & Technology, Vol. 51, no.5, pp. 61-67.
- Dilley M, Chen RS, Deichmann U, Lerner-Lam A, Arnold M. 2005. Natural disaster hotspots. A global risk analysis. The World Bank, Hazard Management Unit, Washington, DC.
- Kang MG, Lee GM, Ko IH. 2010. Evaluating Watershed Management within a River Basin Context Using an Integrated Indicator System. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 136, No. 2, March/April 2010. pp. 258-267.
- Nardo M, Saisana M, Saltelli A, Tarantila S, Hoffman A, Giovannini E. 2005. Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD Statistics Working Papers. 2005/3, OECD Publishing.
- OECD. 1998. Sustainable development indicators. OECD Expert Workshop.
- OECD. 2001. OECD environmental indicators 2001-Towards sustainable development.
- TRIAMS. 2006. TRIAMS working paper : Risk Reduction Indicators.
- UNEP. 2000. Insight on common/key indicators for global vulnerability mapping.
- UNDP. 2004. Reducing disaster risk: a challenge for development. New York, NY:

United Nations Development Programme.
UNDP. 2007 Fighting climate change: Human
solidarity in a divided world.

- 논문접수일 : 2011년 06월 10일
- 심사의뢰일 : 2011년 06월 13일
- 심사완료일 : 2011년 09월 24일