

다차원척도법을 이용한 강변저류지 최적위치 선정에 관한 연구

Research of Decision for Optimal Locations of Washland Using Multi-Dimensional Scaling Method

김도현*, 노희성**, 백천우***, 안태진****

Do Hyeon Kim, Hui Sung Roh, Chun Woo Baek, Tae Jin Ahn

요 지

강변저류지는 국내에서 천변저류지라는 이름으로 2000년 초반부터 관련 연구가 시작되었으며, 기존의 하천연안 저지대 및 홍수터를 활용하여 제방의 일부 구간에 취수부를 설치, 하천의 계획홍수를 추가하거나 일정수위 이상의 홍수가 발생할 때 초과하는 홍수량을 저류하여 하류의 침투홍수를 저감시키는 소규모 수공구조물이다. 이러한 강변저류지는 off-line 형식으로 2차원적인 홍수량 분담을 통해 홍수량을 조절하여, 홍수조절효과가 확실하고 그 효과가 즉시 나타나는 특징이 있다. 또한 한 대상구역 내에 다수의 대상지역이 존재하게 된다. 하지만 이들 후보지 전체에 강변저류지를 설치하는 것은 다수의 제약조건에 의해 불가능하며 대상구역의 어느 후보지에 강변저류지를 설치한다는 문제를 해결하기 위해 기존에 수행되었던 연구들은 각각의 장단점이 있으며 이들 연구의 가장 큰 문제는 의사결정을 위해 사용되는 변수의 통합과정에서 발생할 수 있는 오류가 있다는 것이다. 본 연구에서는 다수의 기준과 변수에 의해 결정되어진 강변저류지의 설치 우선순위들을 다차원척도법(Multi-Dimensional Scaling)를 이용하여 최종적인 하나의 순위를 도출하는 것으로 기존에 수행되었던 연구결과의 장점을 포함하며, 보다 많은 변수를 고려할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 강변저류지, 다차원척도법, 최적위치

1. 서론

하천변에 위치하여 홍수조절효과가 즉시 나타나는 강변저류지의 대표적인 특징으로는 그 규모가 홍수조절을 목적으로 하는 다른 수공구조물보다 작으며, 기존의 저지대를 활용하기 때문에 대상구역 내에 설치가 가능한 대상지역이 다수 존재한다는 점이 있다. 하지만 모든 후보지에 강변저류지를 설치하는 것은 많은 제약에 의해 불가능하며 “어떤 후보지에 강변저류지를 설치하여야 하는가”라는 의사결정문제를 갖게 된다.

이와 같은 의사결정문제를 해결하기 위해 안태진 등(2008) 및 백천우 등(2009), 장동수와 백미나 (2009) 등, 안태진 등 (2010)에 의하여 연구되어 왔다. 하지만 이와 같이 강변저류지의 최적위치 선정을 위한 의사결정 문제를 해결하기 위해 수행된 기존의 연구들은 각각의 장단점이 있으며, 이를 연구의 가장 큰 문제는 의사결정을 위해 사용되는 변수의 통합과정에서 발생하는 오류에서 기인된다. 강변저류지의 다양한 기능과 가치를 설치에 따른 다양한 이익을 발생시킬 수 있으며 각기 다른 형태로 표현되는 이들 이익들은 하나의 정량화된 수치로 표현하기에는 어려움이 있다 (안태진 등, 2010).

본 연구에서는 강변저류지 최적위치 선정을 위해 수행된 기존 연구결과들의 장점을 포함하며, 보다 많은

* 정회원 • 삼지엔지니어링 수자원부 사원 E-mail : luke8233@hanmail.net

** 정회원 • 인하대학교 토목공학과 수문생태학연구실 박사과정, E-mail : heesung80@hanmail.net

*** 정회원 • Research Associate, School of Envir. Systems Eng. & Centre for Ecohydrology, Univ. of Western Australia • E-mail : baek@sese.uwa.edu.au

**** 정회원 • 한경대학교 공과대학 토목공학과 교수, E-mail : ahntj@hknu.ac.kr

변수들을 고려할 수 있는 새로운 기법을 제안하고자 한다. 최적위치를 결정하기 위해 기존에 수행된 연구결과를 고려하여, 네 가지 기법에 의해 결정된 순위에 다차원척도법(Multi-Dimensional Scaling, MDS)을 이용하여 최종적인 하나의 순위를 도출하여 향후 강변저류지의 설치시 후보지들을 선택할 때 적용할 수 있도록 기법을 제안하였다.

2. 단일기준에 의한 강변저류지 설치우선순위

2.1 단위저류용량대비 홍수저감효과에 의한 우선순위

일반적으로 강변저류지의 저류용량이 클수록 더 큰 홍수저감효과를 기대할 수 있으나, 단위저류용량 대비 홍수저감효과와 같은 강변저류지의 홍수저감효율을 고려할 경우에는 저류용량이 크다고 해서 항상우수한 홍수저감효율을 기대할 수는 없다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 강변저류지의 설치 최적 순위를 결정하는 데 있어 식 (1)과 같이 산정되는 강변저류지의 저류용량별 홍수저감효과에 대한 효율성(Unit Flood Reduction Effect, UFRE)을 하나의 기준으로 사용하였다.

$$FRE = \frac{FR}{MSV} \quad (1)$$

여기서, $UFRE$: 단위저류용량대비 홍수조절량

FR : 유역출구홍수조절량

MSV : 강변저류지 최대저류용량

2.2 상대적 중요도에 의한 우선순위

설계빈도 조건, 설치할 강변저류지 수의 변화 등과 같이 의사결정을 위한 다양한 조건들을 고려할 때, 자주 선택되는 강변저류지 후보지는 유역전체의 홍수저감 측면에서 그만큼 중요하다는 것을 의미하며, 백천우와 안태진 (2009)은 강변저류지 최적위치 선정을 위한 의사결정문제를 해결하기 위해 강변저류지의 상대적 중요도 지수 RSI (Relative Significance Index)를 제안하였다. 특정 설계빈도에 대해 w 개의 후보지중 m 개 ($m \leq w$)의 강변저류지를 선택하는 의사결정문제에서, 저류지 $k(k = 1, \dots, w)$ 는 최대 w 번까지 선택되어질 기회가 있다. 따라서 적용하는 설계빈도의 수를 NE (Number of Event)라 하면, 특정 후보지 k 가 선택될 수 있는 모든 경우의 수 $TNPC$ (Total Number of Possible Case)는 후보지 수(w)와 설계빈도의 수 (NE)에 의해 산정된다 ($TNPC = w \times NE$)로 산정된다. 또한 특정 설계빈도 r 에 대하여 w 개의 후보지에서 m 개의 강변저류지를 선택하는 의사결정문제에서 강변저류지 후보지 k 가 선택된 횟수를 NS^r (Number of Selected)라 정의하고, 강변저류지 후보지 k 가 적용되는 전체 설계빈도 NE 에 대해서 선택되는 횟수를 TNS (Total Number of Selected)라 정의하면, 강변저류지 k 의 TNS_k 는 식 (2)에 의해 산정되며, 최종적인 RSI 지수는 식 (3)에 의해 산정된다.

$$TNS_k = \sum_{r=1}^E NS_k^r \quad (2)$$

$$RSI_k = \frac{TNS_k}{TNPC} \quad (3)$$

RSI 지수는 강변저류지 후보지가 강변저류지의 최적위치를 결정하기 위한 의사결정문제에서 얼마나 많이 선택되는 가를 나타내며, 산정된 RSI 지수가 높을 수록 설치 우선순위가 높은 중요한 후보지로 판단할 수 있다.

2.3 경제성분석에 의한 우선순위

다른 공공사업과 마찬가지로 경제성분석은 수자원분야사업의 추진여부를 결정하는 매우 중요한 척도로 사용된다. 강변저류지의 경제성분석과 관련된 대표적인 연구로는 농업적인 손실, 도로의 수리 및 재건축 비용, 토지이용에 대한 경제적 가치와 수위별 피해액 등에 대한 비용-편익 분석을 이용하여 강변저류지의 경제성 평가를 수행한 Forster et al. (2005)의 연구, 토평천 유역의 천변저류지가 갖는 홍수조절기능의 경제적 가치를 다차원 홍수피해 산정법을 이용하여 산정한곽재원 등(2009)의 연구 및 강변저류지의 설치비용, 토지매입비용, 습지가치, 홍수저감효과 등 바탕으로 경제성분석을 실시하고 이를 강변저류지의 최적위치 선정에 위한 기준으로 사용한 안태진 등 (2010)의 연구가 있다. 본 연구에서는 안태진 등 (2010)이 사용한 경제성분석 기법을 이용하여 후보강변저류지의 비용-편익비를 계산하고, 이를 바탕으로 경제성분석에 의한 우선순위를 산정하였다.

2.4 공간계획 적합성 평가에 의한 우선순위

장동수와 백미나 (2009)는 강변저류지의 설치 최적위치를 평가하기 위하여 공간계획에 대한 적합성으로 강변저류지를 평가하는 기법을 제안하였으며, 이 연구에서는 입지성, 환경성, 자원성 및 경제성과 같은 평가항목과 각각의 평가항목에 대한 평가지표를 이용하여 공간계획 적합성지수(Space planning Suitability Index : SSI)를 산정하는 모형을 개발하였다. 개발된 모형을 안성천 유역의 13개 후보강변저류지에 적용하여 적합성을 평가하였다.

본 연구에서는 장동수와 백미나 (2009)가 제안한 공간계획 적합성지수 산정기법을 이용하여 후보강변저류지의 SSI지수를 산정하고 산정된 SSI지수 값을 기준으로 공간계획 적합성 평가에 의한 우선순위를 선정하였다.

3. 다차원 척도법을 이용한 우선순위 선정

다차원척도법(Multi-Dimensional Scaling, MDS)은 의사결정자가 느끼고 있는 다양한 측면의 지각도나 선호도를 좌표상의 그림으로 표현하여 평가항목에 대한 관계를 보다 쉽게 파악할 수 있도록 상대적 거리로 나타내는 의사결정기법이다. 즉 각각의 분석대상이 가지고 있는 특성 값에 대하여 분석하려는 다차원의 평면에 따라, 유클리드 거리 및 다차원평면에서의 좌표를 계산하고 위치시킨 후, 각 분석대상의 다차원평면상의 위치로 유사성 및 상이성을 분석하는 방법이다. 다만, 분석대상들의 공간상의 좌표는 회귀분석의 회귀계수의 추정에서와 같이 특정 공식에 의해 한 번에 계산되어지는 것이 아니라, 대상간의 거리를 최소화할 수 있는 좌표를 반복계산에 의해 결정하게 된다.

수학적으로는 2차원공간(평면)이나 3차원 공간이 뿐만 아니라 일반적인 차원공간($R = 1, 2, 3, \dots$)에 대해서도 다차원척도법을 적용할 수 있으며, 분석할 대상이 I 개 존재할 경우, 대상 i ($i = 1, \dots, I$)의 R 차원공간에서의 위치 x 는 다음 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ir}, \dots, x_i) \quad (5)$$

다차원척도법에서는 두 대상 간의 거리가 중요한 역할을 하며, 대상 x_i 와 x_j 간의 거리 $d_{ij}(=d(x_i, x_j))$ 는 일반적으로 다음 식 (6)과 같은 유클리드 거리에 의해 산정할 수 있다.

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{r=1}^R (x_{ir} - x_{jr})^2} \quad (6)$$

분석을 통해 계산되는 스트레스 값 은 다차원척도법에 의해 결정된 개체의 최종좌표의 적합도를 나타내며 0.2이상일 경우 적합도가 매우 나쁘다고 할 수 있으며(Kruskal, 1964), 결과의 신뢰도와 타당성을 평가하기 위해서는 R 값을 이용할 수 있다. 일반적으로 계산된 R^2 값이 0.6이상일 경우 비교적 신뢰할 수 있는 결과로 판단한다.

본 연구에서는 강변저류지의 설치 우선순위를 결정하기 위해 네가지 기법에 의해 산정된 순위와 통계모형인 SPSS(Version 12.0)을 이용하여 다차원척도법을 적용하였다. 또한 일반적으로 다차원척도법은 각 개체의 유사성 및 상이성에 대한 분석에 유용한 방법지만, 본 연구의 목적인 강변저류지의 설치 우선순위를 결정하기 위해 다차원공간에서의 좌표를 이용하여 설치우선순위를 결정하였다. 즉, 분석 시에 최적위치(0순위, 이상점)의 개념을 도입하여 최적위치(Utopian Point)가 유클리디안 공간에 배치 될 때 가장 인접할수록 유사성이 높다는 것으로 판단하여, 최적위치로부터 가장 가까운 거리에 있는 저류지부터 우선순위가 부여되도록 하였다.

4. 모형의 적용 및 분석

4.1 대상구역

안성천 유역은 유역면적 1,658 km² 이며, 유로연장은 59.51km로 북동쪽으로는 한강유역, 남동쪽으로는 금강유역, 남서쪽으로는 삼교천 유역과 접하고 있다. 안성천수계 유역종합치수계획(건교부,2007)에서는 13개의 후보지를 설정 각 후보지의 홍수조절 효과를 분석하여 제시한 바 있다.

4.2 다차원척도법에 의한 우선순위 결정

일반적으로 다차원척도법은 2차원평면에 포지셔닝 맵을 그리고, 각 개체의 유사성 및 상이성을 시각적으로 분석하지만, 결정된 각 개체의 위치에 대한 스트레스 값 와 R 로 판단되는 적합도와 신뢰도가 타당하지 않을 경우, 차원수를 증가시키며 재분석을 하게 된다. 네 개의 단일기준에 의한 강변저류지 설치 우선순위를 다차원척도법을 이용하여 2차원, 3차원 및 4차원 분석을 실시하였으나 2차원 및 3차원 분석의 경우 S 와 R^2 가 신뢰할 수 없는 수준의 값을 나타내어 4차원 분석의 결과를 선택하였다.

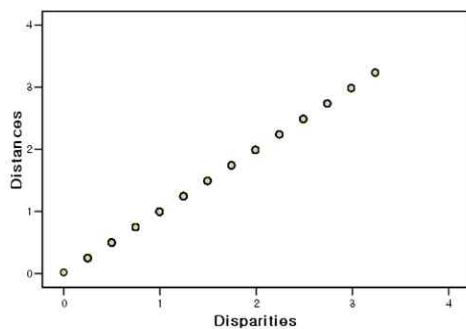


그림. 1. 선형적합도의 산점도 (4D)

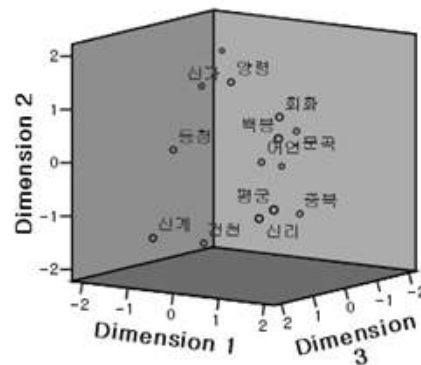


그림. 2. 각저류지별 포지셔닝 맵(4D)

그림 2 및 표 1은 4차원분석에 의한 13개 강변저류지 후보지의 최종좌표 및 최종설치 우선순위를 나타내고 있으며, 표 2에는 4개의 단일기준에 의한 설치 우선순위와 최종적인 4차원분석에 의한 설치우선순위를 비교해 나타내었다.

표 1. 각 저류지 별 좌표 및 최적 순위의 결정(4차원)

저류지	좌표				최적위치와의 거리	순위
	1D	2D	3D	4D		
평균	1.6124	-0.6201	1.3643	-1.1135	4.949278	13
신가	-1.3644	1.1163	-0.6202	0.1437	2.095157	1
중복	0.6202	-1.1164	-0.8683	0.6466	4.254946	9
양령	-0.3721	1.3644	-0.1240	-0.6108	2.196775	2
건천	-0.6202	-1.6124	0.3721	-0.8622	3.986178	7
신계	-0.8683	-1.3643	1.6124	-1.3650	4.458203	11
동청	-1.1164	0.1240	0.6203	0.6467	3.545007	3
백봉	1.3644	0.6203	0.8683	-0.1078	4.274817	10
어연	0.1240	-0.1241	-0.3722	1.1495	3.901009	6
문곡	0.3721	0.3721	-1.1164	1.4009	3.850449	5
회화	0.8683	0.8683	0.1241	0.3952	3.710597	4
신리	1.1163	-0.8683	1.1163	-0.3593	4.756490	12
마두	-0.1241	-0.3722	-1.3644	1.6523	4.110819	8
최적 위치	-1.6123	1.6123	-1.6123	-1.6164	-	-

표 2. 선정방법별 최적위치 순위

저류지	UFRE	RSI	B/C Ratio	SSI	MDS(4D)
평균	2	12	13	9	13
신가	7	4	1	2	1
중복	9	3	9	11	9
양령	4	6	5	1	2
건천	3	8	4	10	7
신계	1	13	3	13	11
동청	9	9	2	6	3
백봉	6	10	12	3	10
어연	11	5	7	7	6
문곡	12	2	8	5	5
회화	8	7	10	4	4
신리	5	11	11	12	12
마두	13	1	6	7	8

단일기준에 의해 결정된 각각의 순위와 다차원척도법에 의한 우선순위를 비교해 보면 각 단일기준별 우선순위가 대체적으로 상위권에 위치하는 신가(W2), 양령(W4)저류지 등이 높은 우선순위에 선정된 것을 알 수 있다. 이것은 각 단일기준에 의한 순위데이터가 산정된 순위에 잘 반영되었다고 볼 수 있으며 다양한 기준들에 의한 순위를 다차원척도법으로 잘 표현할 수 있다고 할 수 있다. 또한 강변저류지는 홍수저감효과를 목적으로 한 시설물로서 설치에 가장 우선시 되는 부분 역시 홍수저감효과라 할 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서 상위 순위에 선정된 신가, 양령저류지의 경우 목표로 하는 홍수저감량을 만족하지 못할 수 있으므로 선정 후 홍수저감효과에 대한 추가적인 검토가 필요하며, 가능 예산에 대하여 최적순위의 저류지부터 설치하는 방안 역시 고려될 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 강변저류지 최적위치 선정을 위해 수행된 기존 연구결과들의 장점을 포함하며, 보다 많은 변수들을 고려하기 위한 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 기존의 연구에서 제안된 네 가지 기법을 이용하여 우선순위를 선정하고, 이들 네 가지 순위과 다차원척도법을 이용하여 최종적인 하나의 순위를 도출한다. 제안된 기법을 안성천유역의 13개 후보강변저류지를 대상으로 적용하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 2차원, 3차원 및 4차원 분석에 대한 신뢰도와 적합도를 검정하였고 그 결과 안성천유역의 강변저류지 설치우선순위 결정을 위해서는 4차원 분석이 적합한 것으로 판단되었다.
- 2) 단일기준에 의해 결정된 각각의 순위와 다차원척도법에 의한 우선순위를 비교해 보면 각 단일기준별 우선순위가 대체적으로 상위권에 위치하는 신가 및 양령저류지 등이 높은 우선순위에 선정되었으며, 이는 각 단일기준에 의한 순위데이터가 최종적인 순위산정에 잘 반영되었다고 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업(06건설핵심B01)의 연구비의 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2007). 안성천수계 유역종합치수계획, 건설교통부.
2. 광재원, 김덕길, 윤선화, 김형수 (2008). "다차원법을 이용한 천변저류지의 홍수조절 효과분석." 한국습지학회지, 한국습지학회, 제10권, 제3호, pp. 69-78.
3. 백천우, 김복천, 안태진.(2009) "월류부특성변화에 따른 천변저류지군의 홍수저감효과분석." 한국방재학회논문집, 한국방재학회, 제9권, 제1호, pp. 145-150.
4. 백천우, 안태진(2009). "설계빈도를 고려한 천변저류지 최적위치 선정." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제42권, 제7호, pp. 559-569.
5. 안태진, 강인용, 백천우(2008) "수문학적 홍수저감효과 기반의 천변저류지 최적위치 선정을 위한 의사결정모형의 개발." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제7호, pp. 725-735.
6. 안태진, 변천일, 노희성, 백천우,(2010) "경제성 분석에 의한 강변저류지 최적위치 선정에 대한 연구." 한국수자원학회 논문집 제43권, 8호, pp681~694.
7. 장동수, 백미나 (2009) "천변저류지 공간계획의 적합성 평가지표 선정." 한국생태환경건축학회논문집, 한국생태환경건축학회, 제9권, 제3호, pp. 21-27.
8. Forster, S., Kneib, D., Gocht, M., and Bronstert, A. (2005). "Flood risk reduction by the use of retention areas at the Elbe river." International Journal of River Basin Management, IAHR, INBO and IAHS, Vol. 3, No. 1, pp. 21-30.
9. Kruskal, J.B.(1964) "Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis." Psychometrika, Vol. 29, No. 1, pp. 1-27.