

다차원척도법을 이용한 강변저류지 설치 우선순위 선정

Determination of Installation Priority of Washlands Using Multi-Dimensional Scaling Method

안 태 진* / 김 도 현** / 백 천 우***

Ahn, Tae Jin / Kim, Do Hyeon / Baek, Chun Woo

Abstract

Within a basin, there are potentially multiple locations that can be used as a washland, given their relatively small size when compared with other hydraulic facilities such a dam. However, it is unreasonable to install washlands in all these potential locations due to economic and environmental considerations. In this study, a new methodology for determination of installation priority of washlands is presented. How to integrate the decision variables in this decision making problem has been a key issue in previous studies because a washland can provide many benefits such as flood reduction, agricultural benefit and recreational benefit. In particular, a methodology is needed to integrate all decision variables realistically, properly and reasonably, in situations where there is not sufficient data for direct integration of all these decision variables such as construction cost or benefits a washland can provide. This new methodology aims to suggest how to integrate methodologies used in previous studies. The suggested methodology uses four different rankings which are determined based on a flood reduction effect, a relative significance index, an economic analysis, and a space planning suitability index. These rankings are integrated to determine a final installation priority ranking of washlands by a multi-dimensional scaling method. The new methodology has been applied to the Anseong river basin, to show its applicability, and the application result compared with those of previous studies.

Keywords : Washland, Installation priority, Multi-dimensional scaling method

요 지

본 연구에서는 대상유역 내에 설치가 가능한 지역이 다수 존재하는 강변저류지의 설치 우선순위를 결정하기 위한 방안을 제시하였다. 강변저류지의 최적위치 선정을 위해 기존의 수행된 연구들은 각각의 장단점이 있으나, 의사결정을 위해 사용되는 변수의 통합과정에서 발생하는 오류는 해결해야할 가장 큰 문제이다. 특히 의사결정을 위해 고려해야할 다양한 변수를 하나의 기준으로 통합하기 위한 자료가 불충분한 국내의 경우, 의사결정을 위해 사용되는 가정들을 최소화 하며, 다양한 변수들은 모두 고려할 수 있는 방안이 필요하게 된다. 본 연구에서는 제안된 기법은 강변저류지 최적위치 선정을 위해 수행된 기존 연구결과들의 장점을 포함하며, 보다 많은 변수들을 고려할 수 있도록 개발되었다. 기존에 제안된 방법을 이용하여 단위저류용량대비 홍수저감효과에 의한 우선순위, 상대적 중요도를 고려한 우선순위, 경제성평가에

* 환경대학교 공과대학 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Eng., Hankyong National Univ., Ansong 456-749, Korea

** 상지엔지니어링 수자원부 사원

Engineer, Division of Water Res., SANGJI Eng., 1307-37 Gwanyang-dong, Dongan-gu, Anyang-si 431-060, Korea

*** Corresponding Author; Research Associate, School of Envir. Systems Eng. & Centre for Ecohydrology, Univ. of Western Australia, Crawley WA6009, Australia (e-mail: baek@sese.uwa.edu.au)

의한 우선순위 및 공간계획적합성 평가에 의한 우선순위를 선정하고, 이들 네 가지 순위와 다차원척도법을 이용하여 최종적인 하나의 순위를 도출한다. 제안된 기법을 안성천유역의 13개 후보강변저류지를 대상으로 적용하였으며, 기존의 연구결과와 비교하였다.

핵심용어 : 강변저류지, 설치우선순위, 다차원척도법

1. 서론

산업화, 도시화 및 기상이변 등으로 인한 홍수피해의 증가는 전 세계적인 문제로, 특히 댐과 같은 대규모 수공구조물의 신규 설치가 점점 더 어려워지고 있는 국내의 경우 홍수조절용 댐 이외의 다양한 홍수피해저감 방안에 대한 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 국내에서 진행 중인 대표적인 방안으로는 하천연안 저지대의 농경지 및 폐천부지 등을 이용하여 홍수량을 일시적으로 저류하였다가 홍수가 종료되면 배제시키는 강변저류지가 있다. 강변저류지는 기존 하도 내에 수공구조물을 설치하거나 하도개선 등으로 홍수조절효과를 얻는 방식이 아닌 하도 주변의 홍수터를 이용한 홍수량 분담을 통해 하천의 부담을 줄이고 하천 범람으로 인한 홍수피해의 잠재성 경감을 위한 시설로 침투홍수조절효과가 확실하고 그 효과가 즉시 나타나는 특징이 있다. 특히 최근 자연친화적인 수공구조물에 대한 관심이 증가하면서, 2000년대 중반부터 ‘천변저류지’, ‘생태천변저류지’ 등의 명칭으로 관련된 연구가 수행되기 시작하였으며, 최근 관련분야 전문가들의 협의를 통해 ‘강변저류지’로 명칭을 통일 (한국건설기술연구원, 2009)하고 본격적인 연구가 진행 중에 있다 (안태진 등, 2010). 강변저류지의 대표적인 특징으로는 그 규모가 홍수조절을 목적으로 하는 다른 수공구조물보다 작으며, 기존의 저지대를 활용하기 때문에 대상유역 내에 설치가 가능한 대상지역이 다수 존재한다는 점이 있다. 하지만 이들 대상지역 전체에 강변저류지를 설치하는 것은 경제적 이유를 비롯한 많은 제약에 의해 불가능하며, “어떤 후보지에 강변저류지를 설치하여야 하는 것인가?”라는 의사결정문제에 필연적으로 당면하게 된다.

이와 같은 의사결정문제를 해결하기 위해 강변저류지의 기능과 특성을 이용한 다양한 연구가 수행되었다. 안태진 등 (2008)은 수문학적 접근방법을 이용하여 강변저류지의 홍수조절효과를 산정하는 방안을 제시하고, 유전자 알고리즘을 이용한 최적화기법과 연계하여 강변저류지의 최적 위치를 결정하는 모형을 제시하였다. 백천우 등 (2009)은 안태진 등 (2008)이 개발한 의사결정모형에 월류고의 변화를 변수로 추가하여 최적위치 및 최적월류고를 함께 모의할 수 있는 모형을 제안하였다. 또한 백천

우와 안태진 (2009)은 설계빈도 변화에 따른 천변저류지군의 홍수저감효과를 산정, 분석하여 RSI지수를 도입, 강변저류지의 최적위치를 분석하였다. 장동수와 백미나 (2009)는 강변저류지의 설치 최적위치를 평가하기 위하여 공간계획에 대한 적합성으로 강변저류지를 평가하는 기법을 제안하였다. 안태진 등 (2010)은 강변저류지의 설치 비용, 토지매입비용, 습지가치, 홍수저감효과 등을 고려한 경제성분석에 의해 강변저류지의 최적위치 선정방안을 제시하였다.

이와 같이 강변저류지의 최적위치 선정을 위한 의사결정문제를 해결하기 위해 수행된 기존의 연구들은 각각의 장단점이 있으며, 이들 연구의 가장 큰 문제는 의사결정을 위해 사용되는 다양한 기준의 통합과정에서 발생하는 오류에서 기인된다. 강변저류지의 다양한 기능과 가치는 설치에 따른 다양한 이익을 발생시킬 수 있으며 각기 다른 형태로 표현되는 이들 이익들은 하나의 정량화된 수치로 표현하기에는 어려움이 있다 (안태진 등, 2010). 특히 6월에서 9월까지 강수가 집중되고 있는 우리나라의 경우 비홍수 시의 활용적 측면 (습지, 농경지, 생태시설, 스포츠 시설 등)에서 잠재적 가치가 큰 자연친화적인 시설임에도 불구하고, 이에 대한 가치평가기준이 매우 미흡한 실정이다. 더욱이 의사결정을 위해 고려해야할 다양한 변수를 하나의 기준으로 통합하기 위해서는 충분한 자료가 필요하지만, 자료가 부족할 경우 불가피하게 사용되는 가정들은 결과의 신뢰성을 저하시킨다. 따라서 의사결정을 위해 사용되는 가정들을 최소화하며, 다양한 변수들은 모두 고려할 수 있는 방안이 필요하게 된다.

본 연구에서는 강변저류지 최적위치 선정을 위해 수행된 기존 연구결과들의 장점을 포함하며, 보다 많은 변수들을 고려할 수 있는 새로운 기법을 제안하고자 한다. 최적위치를 탐색하기 위하여 기존에 수행된 연구결과를 고려하여, 단위저류용량대비 홍수저감효과에 의한 우선순위 (안태진 등, 2008), 상대적 중요도를 고려한 우선순위 (백천우와 안태진, 2009), 경제성평가에 의한 우선순위 (안태진 등, 2010) 및 공간계획적합성 평가에 의한 우선순위 (장동수와 백미나, 2009)를 이용하여 강변저류지 설치 우선순위를 선정하였으며, 이들 네 가지 순위와 다차원척도법 (Multi-Dimensional Scaling, MDS)을 이용하여 최

중적인 하나의 순위를 도출할 수 있는 방안을 제시하였다. 결정된 최종순위는 향후 강변저류지의 설치 시에 후보지들의 우선순위결정에 활용될 수 있을 것이다. 제안된 기법을 안성천유역의 13개 후보강변저류지를 대상으로 적용하였으며, 기존의 연구결과와 비교하여 적용성을 검토하였다.

2. 단일기준에 의한 강변저류지 설치우선순위

2.1 단위저류용량대비 홍수저감효과에 의한 우선순위

홍수저감효과는 강변저류지 설치로 인해 기대할 수 있는 대표적인 이익이며, 강변저류지의 홍수저감효과 산정을 위한 연구는 크게 수리학적 방법을 이용한 연구와 수문학적 방법을 이용한 연구로 구분할 수 있다. 건설교통부 (2005), 한건연 등 (2005), 김덕길 등 (2007) 및 박창근 등 (2007)은 HEC-RAS 등과 같은 수리모형을 이용하여 강변저류지의 홍수저감효과를 산정하였다. 하지만, 대상 유역에 다수의 후보저류지가 존재할 경우, 최적의 위치를 결정하기 위해 고려해야 할 경우의 수가 증가하고 수리학적 접근방법을 적용할 경우 분석에 한계가 있을 수 있으며 (안태진 등, 2008), Yeh and Labadie (1997), 안태진 등 (2008), 백천우와 안태진 (2009) 등은 수공구조물군의 홍수저감효과를 산정하기 위해 수문학적 방법을 이용하였다.

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

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

여기서, $UFRE$: 단위저류용량대비 홍수조절량 ($m^3/sec/m^3$)

FR : 유역출구홍수조절량 (m^3/sec)

MSV : 강변저류지 최대저류용량 (m^3)

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 강변저류지 후보지 간의 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 \neq (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(\neq)에 의해 산정 된다 ($TNPC = w \times \neq$)로 산정된다. 또한 특정 설계빈도 r 에 대하여 w 개의 후보지에서 m 개의 강변저류지를 선택하는 의사결정문제에서 강변저류지 후보지 k 가 선택된 횟수를 NS_k^r (Number of Selected)라 정의하고, 강변저류지 후보지 k 가 적용되는 전체 설계빈도 \neq 에 대해서 선택되는 횟수를 TNS (Total Number of Selected)라 정의하면, 강변저류지 k 의 TNS_k 는 Eq. (2)에 의해 산정되며, 최종적인 RSI 지수는 Eq. (3)에 의해 산정된다.

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

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

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

2.3 경제성분석에 의한 우선순위

다른 공공사업과 마찬가지로 경제성분석은 수자원분야 사업의 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 산정한 광재원 등 (2009)의 연구 및 강변저류지의 설치비용, 토지매입비용, 습지가치, 홍수저감효과 등을 바탕으로 경제성분석을 실시하고 이를 강변저류지의 최적위치 선정을 위한 기준으로 사용한 안태진 등 (2010)의 연구가 있다. 본 연구에서는 안태진 등 (2010)이 사용한 경제성분석기법을 이용하여 후보강변저류지의 비용-편익비를 계산하고, 이를 바탕으로 경제성분석에 의한 우선순위를 산정하였다. Fig. 1은 경제성분석 기반의 강

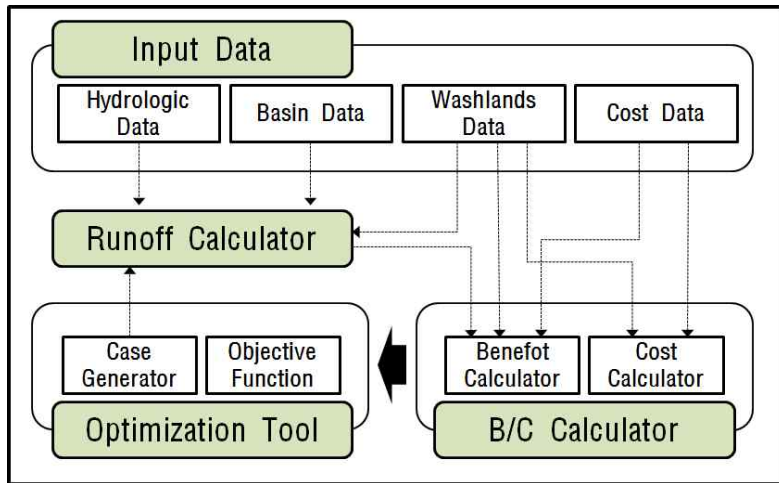


Fig. 1. Structure of the Model Developed by Ahn et al. (2010)

변저류지 최적위치선정을 위해 안태진 등 (2010)이 제안한 모형의 구조를 나타내고 있다.

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. 후보강변저류지 k 의 최종적인 SSI_k 는 다음 Eq. (4)에 의해 산정된다.

$$SSI_k = \text{입지성지수} + \text{환경성지수} + \text{자원성지수} + \text{경제성지수} \quad (4)$$

여기서,

$$\text{입지성지수} = 0.106 \times \text{규제법지수} + 0.112 \times \text{접근성지수}$$

$$\text{환경성지수} = 0.082 \times \text{부지내자원성지수} + 0.186 \times \text{주변생태환경성지수} + 0.190 \times \text{수질환경성지수}$$

$$\text{자원성지수} = 0.076 \times \text{이용객지수} + 0.078 \times \text{관광자원성지수}$$

$$\text{경제성지수} = 0.031 \times \text{부지면적지수} + 0.030 \times \text{부지형태지수} + 0.027 \times \text{사유지비율지수} + 0.052 \times \text{가용지지수} + 0.030 \times \text{지역낙후도지수}$$

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. 다차원척도법을 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 분석하려 하는 다차원의 평면에 따라, 유클리디안 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, 대상 간의 거리를 최소화할 수 있는 좌표를 반복계산에 의해 결정하게 된다.

수학적으로는 2차원공간 (평면)이나 3차원 공간뿐만 아니라 일반적인 R 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_i 는 다음 Eq. (5)와 같이 표현할 수 있다.

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

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 Eq. (6)과 같은 유클리디안 거리에 의해 산정할 수 있다.

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

분석대상의 최종적인 공간좌표는 다차원 공간에의 적합도가 더 이상 개선이 안 될 때까지 반복적으로 계산되

며, 이 적합의 정도를 스트레스 값 (stress value) S 로 정의하여 불일치의 정도로 표현한다. 스트레스 값 S 는 실제 거리와 추정된 거리 사이의 오차 정도를 나타내는 것으로 다음 Eq. (7)에 의해 산정된다.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=i, i \neq j}^I (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum_{i=i, i \neq j}^I (d_{ij})^2}} \quad (7)$$

여기서, d_{ij} : 대상 i 부터 j 까지의 실제거리
 \hat{d}_{ij} : 대상 i 부터 j 까지의 추정거리

전술한 것과 같이 다차원척도법은 대상간의 거리를 최소화할 수 있는 좌표를 반복계산에 의해 결정하며, 반복 계산 과정에서 추정되는 거리 \hat{d}_{ij} 와 실제 거리 d_{ij} 와 일치하면 $(d_{ij} - \hat{d}_{ij})$ 는 0이 되어 스트레스 값은 0이 된다. 이것은 곧 추정이 완벽함을 의미하며, Kruskal (1964) 산정된 스트레스 값 S 에 따라 추정된 공간좌표 적합정도를 다음 Table 1과 같이 제안하였다.

Table 1. Fitness Depending on Stress Value (Kruskal, 1964)

Stress Value S	Fitness
0.15~	Poor
0.10~0.15	Acceptable, but doubt
0.05~0.10	Satisfactory
0~0.05	Excellent
0	Perfect

Eq. (7)에 의해 계산되는 스트레스 값 S 는 다차원척도법에 의해 결정된 개체의 최종좌표의 적합도를 나타내며, 계산된 결과의 신뢰도와 타당성을 평가하기 위해서는 R^2 값을 이용할 수 있다. 다차원척도법에서는 계산된 R^2 값이 0.6 이상일 경우 비교적 신뢰할 수 있는 결과로 판단한다.

본 연구에서는 강변저류지의 설치 우선순위를 결정하기 위해 단위저류용량대비 홍수저감효과에 의한 우선순위, 상대적 중요도를 고려한 우선순위, 경제성평가에 의한 우선순위 및 공간계획적합성 평가에 의한 우선순위를 각각 산정하고, 산정된 네 개 순위와 통계모형인 SPSS (Version 12.0)을 이용하여 다차원척도법을 적용하였다.

일반적으로 다차원척도법은 각 개체의 유사성 및 상이성에 대한 분석에 유용한 방법지만, 본 연구의 목적인 강변저류지의 설치 우선순위를 결정하기 위해, SPSS모형을 이용한 다차원척도법에 의해 결정되는 다차원공간에서의 좌표와 이상점과의 거리를 이용하여 설치우선순위를 결정하였다. 이를 위해, 분석 시에 최적위치 (0순위, 이상점,

Utopian Point)의 개념을 도입하여, 각 저류지 설치 안에 따른 유클리디안 공간에서의 위치와 최적위치가 인접할 수록 최적해에 가깝다고 판단하여, 최적위치로부터 가장 가까운 거리에 있는 저류지부터 우선순위가 부여되도록 하였다.

다차원척도법의 적용을 위해 사용되는 각각의 기준 (단위저류용량대비 홍수저감효과에 의한 우선순위, 상대적 중요도를 고려한 우선순위, 경제성평가에 의한 우선순위 및 공간계획적합성 평가에 의한 우선순위)에 대한 가중치 (기준가중치)의 결정은 적용결과에 큰 영향을 미치며, 이는 의사결정자가 판단해야할 중요한 요소이다. 하지만, 본 연구에서 사용된 네 가지 기준의 기준가중치에 대한 연구는 수행된 바 없는 관계로, 금회 분석에서는 네 가지 기준의 기준가중치가 동일하다고 가정하여 우선순위를 판단하였다.

한편, 후술될 모형의 적용 및 분석결과에서는 ‘분석가중치’의 값이 인용될 것이며, 분석가중치는 각각의 기준에 의한 순위 데이터가 어느 정도의 가중치를 반영하여 좌표 설정에 사용되었는가를 의미한다. 즉 분석가중치 값은 다차원척도법 적용을 위해 사용된 SPSS모형에 의해 계산되는 값으로 기준가중치와는 다른 개념이다.

4. 모형의 적용 및 분석

4.1 대상유역

본 연구에서는 다차원척도법을 이용하여 강변저류지의 설치우선순위 결정을 위한 방안을 제시하였으며, 안성천 유역을 대상유역으로 제안된 방법의 적용성을 검토해보았다. 유역면적 1,658 km², 유로연장 59.51 km (103개 하천)인 안성천 유역은, 북동쪽으로는 한강유역, 남동쪽으로는 금강유역, 남서쪽으로는 삼교천 유역과 접하고 있다. 건설교통부 (2007)는 “안성천수계 유역종합치수계획”에서 홍수조절을 목적으로 실제 저류지 설치가 가능한 13개의 강변저류지 후보지역을 검토하였으며, Fig. 2와 Table 2는 대상 유역내 강변저류지 후보지 현황과 제원을 나타내고 있다 (건설교통부, 2007; 안태진 등, 2008).

본 연구에서는 강변저류지의 홍수저감효과 산정을 위해 수문학적 방법을 이용하였으며, Table 2의 수위-유량 곡선은 수문학적 방법에서 강변저류지로 분기되는 유량 계산을 위해 사용된다 (안태진 등, 2008; 백천우와 안태진, 2009; 백천우 등, 2009; 백천우 등, 2010; 안태진 등, 2010).

4.2 단일기준에 의한 우선순위 선정

4.2.1 UFRE에 의한 우선순위 선정

안성천유역의 100년 빈도 홍수사상에 대한 각 저류지

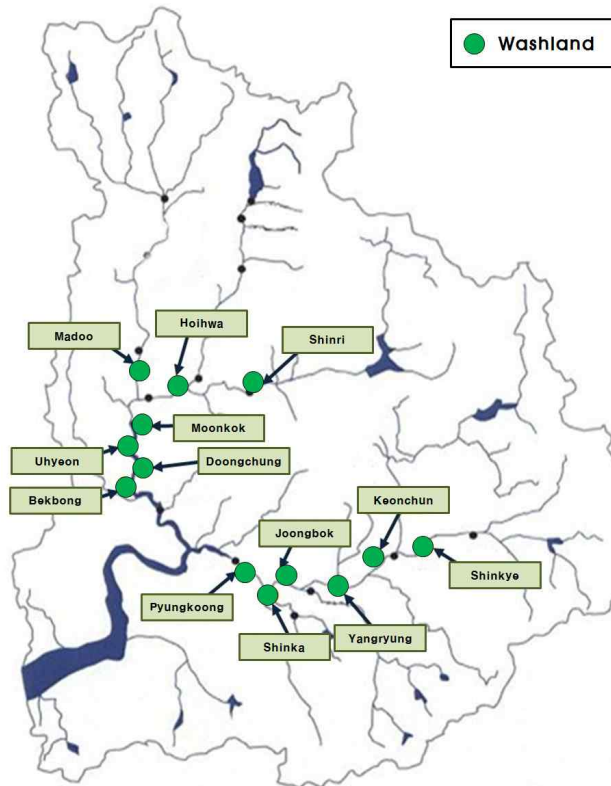


Fig. 2. Ansoeng River Basin

Table 2. Characteristics of Washland in Anseong River Basin

Washland ID	Name of Washland	Max. Storage Capacity (m^3)	Top El. of Weir (m)	Width of Weir (m)	Rating Curve applied
W1	Pyungkoong	575,000	6.50	30	$H = 0.411 \times Q^{0.379}$
W2	Shinka	2,784,000	7.60	75	$H = 1.605 \times Q^{0.222}$
W3	Joongbok	3,543,000	8.50	75	$H = 2.487 \times Q^{0.183}$
W4	Yangryung	1,362,000	10.49	100	$H = 3.825 \times Q^{0.145}$
W5	Keonchun	1,060,000	12.70	75	$H = 6.047 \times Q^{0.109}$
W6	Shinky	297,000	14.30	100	$H = 6.613 \times Q^{0.106}$
W7	Doongchung	4,151,000	5.50	50	$H = 0.133 \times Q^{0.496}$
W8	Bekbong	2,240,000	5.50	30	$H = 0.151 \times Q^{0.481}$
W9	Uhyeon	4,662,000	6.00	70	$H = 0.203 \times Q^{0.449}$
W10	Moonkok	7,909,000	7.00	200	$H = 0.284 \times Q^{0.415}$
W11	Hoihwa	3,293,000	9.00	70	$H = 1.439 \times Q^{0.254}$
W12	Shinri	2,015,000	13.60	70	$H = 8.321 \times Q^{0.074}$
W13	Madoo	8,976,000	7.70	70	$H = 0.642 \times Q^{0.377}$

별 유역출구에서의 홍수저감효과를 안태진 등 (2008)이 제안한 수문학적방법에 의해 분석하였으며, 산정된 UFRE에 의한 강변저류지 설치 순위는 Table 3과 같다.

4.2.2 RSI에 의한 우선순위 선정

백천우와 안태진 (2009)은 안태진 등 (2008) 이 개발한 모듈을 이용하여 안성천 유역의 13개 후보강변저류지에

Table 3. Priority Ranking based on UFRE

Washland ID	Max. Storage Capacity (m^3)	Flood Reduction at Basin Outlet (m^3/sec)	UFRE ($m^3/sec/1,000m^3$)	Ranking
W1	575,000	0.62	0.001078	2
W2	2,784,000	88.34	0.000223	7
W3	3,543,000	73.57	0.000175	9
W4	1,362,000	38.02	0.000455	4
W5	1,060,000	31.15	0.000585	3
W6	297,000	3.89	0.002088	1
W7	4,151,000	137.21	0.000149	9
W8	2,240,000	83.93	0.000277	6
W9	4,662,000	158.02	0.000133	11
W10	7,909,000	247.06	0.000078	12
W11	3,293,000	25.63	0.000188	8
W12	2,015,000	2.07	0.000308	5
W13	8,976,000	265.12	0.000069	13

Table 4. Priority Ranking based on RSI Index

Washland ID	NS_i^r					TNS_i	RSI_i	Ranking
	50 yr	80 yr	100 yr	150 yr	200 yr			
W1	5	4	1	3	2	15	0.2308	12
W2	10	10	10	10	10	50	0.7692	4
W3	11	11	11	11	11	55	0.8462	3
W4	9	9	8	7	7	40	0.6154	6
W5	6	6	5	5	6	28	0.4308	8
W6	2	1	2	2	2	9	0.1385	13
W7	4	5	6	6	6	27	0.4154	9
W8	3	4	3	2	3	15	0.2308	10
W9	6	8	8	9	9	40	0.6154	5
W10	12	12	13	12	13	62	0.9538	2
W11	8	6	8	7	7	36	0.5538	7
W12	2	2	4	4	3	15	0.2308	11
W13	13	13	12	13	12	63	0.9692	1

대한 설치 우선순위를 결정하기 위해, 5개 빈도 (50, 80, 100, 150 및 200년) 강우사상에 대한 RSI지수를 선정하였으며, Table 4는 선정된 RSI지수를 나타내고 있다.

4.2.3 경제성평가에 의한 우선순위 선정

안태진 등 (2010)은 안성천 유역의 13개 후보강변저류지에 대한 최적 위치를 결정하기 위해 경제성분석을 적용하였다. 이를 위해 저류지 유효저류량에 따른 공사비, 토비보상비용을 자본환원계수로 환산한 연평균비용을 산정하였고, 간접적인 방법에 의한 홍수피해저감 편익과 인공

습지의 가치평가 기법을 이용한 편익을 계산하였다. 본 연구에서는 안태진 등 (2010)이 산정한 안성천 유역의 강변저류지에 대한 연간비용과 연간편익을 이용하여, 비용-편익비에 의한 설치 우선순위를 선정하였다 (Table 5).

4.2.4 공간계획적합성 평가에 의한 우선순위 선정

장동수와 백미나 (2009)는 공간계획적합성 평가에 의해 안성천 유역의 13개 후보강변저류지에 대한 최적위치 선정 방안을 제시하였으며, 본 연구에서는 이 결과를 이

Table 5. Priority Ranking based on B/C Ratio

Washland ID	Annual Cost (Million Won/yr)	Annual Benefit (Million Won/yr)			B/C	Ranking
		Benefit as Wetland	Flood Reduction	Total Benefit		
W1	818.88	339.74	7.84	347.56	0.42	13
W2	1,594.22	2,637.01	33.61	2,670.62	1.68	1
W3	3,799.14	3,332.67	29.27	3,361.93	0.88	9
W4	1,218.19	1,245.71	18.83	1,264.52	1.04	5
W5	1,368.23	1,601.62	16.81	1,618.42	1.18	4
W6	738.61	1,083.93	8.80	1,092.71	1.48	3
W7	1,067.06	1,650.16	47.97	1,698.11	1.59	2
W8	2,050.33	905.97	32.32	938.27	0.46	12
W9	1,891.09	1,698.69	54.04	1,752.76	0.93	7
W10	2,917.07	2,523.77	80.24	2,604.00	0.89	8
W11	3,740.70	2,378.17	15.19	2,393.34	0.64	10
W12	4,159.33	2,103.14	8.27	2,111.39	0.51	11
W13	3,844.62	3,559.16	85.55	3,644.70	0.95	6

Table 6. Priority Ranking based on SSI Index

Washland ID	Locational Index		Resources Index		Environmental Index			Sum	Ranking
	Regulation Index	Accessibility Index	No. of Visitor Index	Rec. Resources Index	Ecologic Resources Index	Ecologic Envir. Index	Water Quality Index		
W1	5.297	5.603	5.645	17.415	0.000	3.126	4.782	41.868	9
W2	5.297	8.404	11.290	23.221	0.000	1.563	4.782	54.557	2
W3	5.297	5.603	5.645	17.415	0.000	0.000	4.782	38.742	11
W4	5.297	5.603	11.290	23.220	0.000	4.689	6.376	56.475	1
W5	5.297	11.205	0.000	11.610	0.000	0.000	4.782	32.894	10
W6	5.297	8.404	0.000	11.610	0.000	3.126	4.782	33.219	13
W7	5.297	5.603	5.645	17.415	0.000	3.126	6.376	43.462	6
W8	5.297	8.404	5.645	17.415	0.000	4.689	6.376	47.826	3
W9	5.297	5.603	5.645	17.415	0.000	1.563	6.376	41.899	7
W10	5.297	8.404	5.645	17.415	0.000	4.689	4.782	46.232	5
W11	5.297	11.205	5.645	17.415	0.000	3.126	4.782	47.47	4
W12	5.297	5.603	5.645	17.415	0.000	3.126	1.594	38.68	12
W13	5.297	5.603	5.645	17.415	0.000	1.563	6.376	41.899	7

용하여 공간계획적합성 평가에 의한 우선순위를 선정하였다. 다만 4.2.3절에서 선정된 경제성 평가에 의한 우선순위는 별개의 기준으로 사용되므로, 중복분석을 방지하기 위해 경제성지수는 SSI지수 산정 시에 제외하였고, Table 6은 선정된 공간계획적합성 평가에 의한 우선순위를 나타내고 있다.

4.3 다차원척도법에 의한 우선순위 선정

일반적으로 다차원척도법은 2차원평면에 포지셔닝 맵을 그리고, 각 개체의 유사성 및 상이성을 시각적으로 분석하지만, 결정된 각 개체의 위치에 대한 스트레스 값 S 와 R^2 로 판단되는 적합도와 신뢰도가 타당하지 않을 경

Table 7. Calculated S and R^2 values

Dimension	S	R^2	Accept
2D	0.339	0.301	NG
3D	0.209	0.712	NG
4D	0.001	1.000	G (Accepted)

우, 차원수를 증가시키며 재분석을 하게 된다. 4.2절에서 선정된 네 개의 단일기준에 의한 강변저류지 설치 우선순위를 다차원척도법을 이용하여 2차원, 3차원 및 4차원 분석을 실시하였고, Table 7은 계산된 S 와 R^2 값을 나타내고 있다.

2차원분석 결과 스트레스 S 와 R^2 값이 각각 0.339와 0.301로 산정되었으며, 이는 매우 나쁜 적합도와 신뢰도를 의미한다. 스트레스 값이 크면 클수록 자료가 포함하고 있는 성질이 분석결과에 반영되는 정도가 낮아지므로 2차원 분석은 자료의 성질이 잘 반영되지 못했으며, RSQ값을 통해 신뢰도 또한 낮게 나타난다는 것을 알 수 있다. 3차원분석 결과 스트레스 S 와 R^2 값이 각각 0.209와 0.712로 계산되었으며, 3차원분석의 경우 신뢰도는 높지만 적합도가 낮아, 이 역시 자료의 성질을 잘 반영하지 못하였다고 판단된다. 4차원분석결과 0.001과 1.000의 S 와 R^2 값이 계산되었으며, 이는 매우 높은 적합도와 신뢰도를 의미한다. 따라서 본 연구에서는 4차원분석을 이용하여 안성천 유역의 13개 강변저류지 후보지에 대한 설치우선순위를 결정하였다.

Fig. 3은 4차원 분석에 대한 선형적합도의 산점도를 나타내고 있다. 선형적합도의 산점도는 각 데이터의 거리별 상이성의 정도를 나타내는 것으로, 이 산점도가 선형일 경우 모형이 적합하다고 볼 수 있다. Fig. 4는 4차원평면의 좌표를 결정하는데 있어 각각 단일기준에 의해 결정된 데이터의 분석가중치를 나타낸다. 여기서 분석가중치는 척도가 되는 각 차원에 대하여 방법별 순위에 대한 데이터가 얼마만큼의 가중치가 적용되어 순위가 결정되었는가를 보

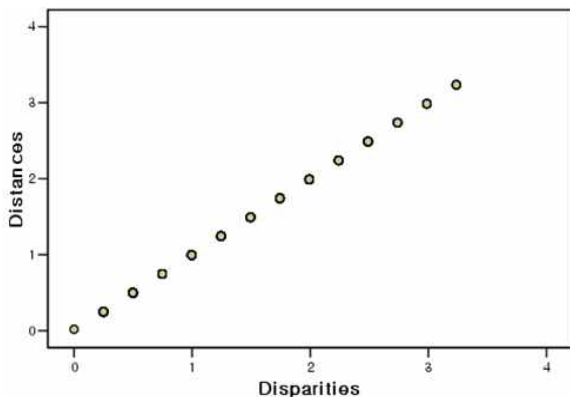


Fig. 3. Scatter Plot on Linear Fitness (4D)

여주는 척도가 된다. 예를 들면 1차원에서는 UFRE 방법이 1.0067의 가중치를, RSI 방법 및 공간계획적합성에서는 0.0001, 경제성분석에서는 0의 데이터별 가중치를 부여하여 1차원에서의 좌표를 계산하였다는 의미를 가지고 있다. 각 방법별 분석가중치로 UFRE 방법의 분석가중치는 차원별로 1.0067, 0, 0.0001 및 0.0001, RSI 방법에서의 분석가중치는 0.0001, 1.0066, 0 및 0.0001 경제성분석에서의 분석가중치는 0, 0, 0.0001 및 0.9798, 공간계획적합성에 대한 분석가중치는 0.0001, 0.0001, 1.0066 및 0으로 산정되었으며, 각각의 차원에 대한 전체적인 분석가중치는 0.2533, 0.2533, 0.2400로 계산되었다.

Fig. 5 및 Table 8은 4차원분석에 의한 13개 강변저류

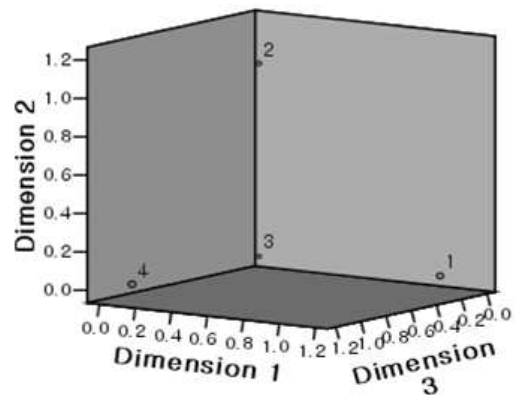


Fig. 4. Weighting Factors of Each Single Criteria (4D)

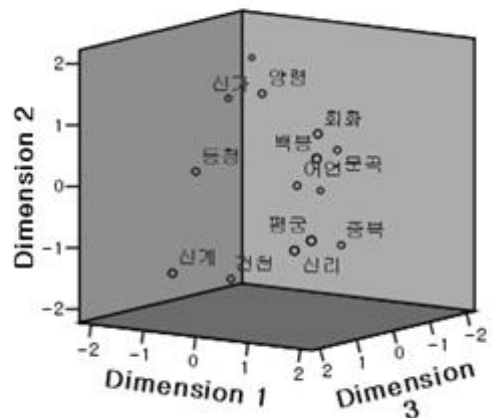


Fig. 5. Determined Coordinates of 13 Washlands in Anseong River Basin (4D)

Table 8. Determined Coordinates and Priority Ranking Using 4D MDS Method

Washland ID	Coordinates				Distance from Utopian Point	Ranking
	1D	2D	3D	4D		
W1	1.6124	-0.6201	1.3643	-1.1135	4.949278	13
W2	-1.3644	1.1163	-0.6202	0.1437	2.095157	1
W3	0.6202	-1.1164	-0.8683	0.6466	4.254946	9
W4	-0.3721	1.3644	-0.1240	-0.6108	2.196775	2
W5	-0.6202	-1.6124	0.3721	-0.8622	3.986178	7
W6	-0.8683	-1.3643	1.6124	-1.3650	4.458203	11
W7	-1.1164	0.1240	0.6203	0.6467	3.545007	3
W8	1.3644	0.6203	0.8683	-0.1078	4.274817	10
W9	0.1240	-0.1241	-0.3722	1.1495	3.901009	6
W10	0.3721	0.3721	-1.1164	1.4009	3.850449	5
W11	0.8683	0.8683	0.1241	0.3952	3.710597	4
W12	1.1163	-0.8683	1.1163	-0.3593	4.756490	12
W13	-0.1241	-0.3722	-1.3644	1.6523	4.110819	8
Utopian Point	-1.6123	1.6123	-1.6123	-1.6164	-	-

Table 9. Comparison of Determined Priority Rankings

Washland ID	UFRE	RSI Index	B/C Ratio	SSI	MDS (4D)
W1	2	12	13	9	13
W2	7	4	1	2	1
W3	9	3	9	11	9
W4	4	6	5	1	2
W5	3	8	4	10	7
W6	1	13	3	13	11
W7	9	9	2	6	3
W8	6	10	12	3	10
W9	11	5	7	7	6
W10	12	2	8	5	5
W11	8	7	10	4	4
W12	5	11	11	12	12
W13	13	1	6	7	8

지 후보지의 최종좌표 및 최종설치 우선순위를 나타내고 있으며, Table 9에는 4개의 단일기준에 의한 설치 우선순위와 최종적인 4차원분석에 의한 설치우선순위를 비교해 나타내었다.

본 논문에서는 네 가지 기준의 기준가중치가 동일하다고 가정하여 우선순위를 판단하였으며, 단일기준에서 비

교적 높은 우선순위에 선정된 강변저류지가 최종순위에서도 높게 선정될 것으로 예상하였다. Table 9에 선정된 우선순위를 비교해 보면, 각 단일기준별 우선순위가 대체적으로 상위권에 위치하는 신가(W2), 양령(W4) 저류지 등이 높은 우선순위에 선정된 것을 알 수 있다. 따라서 Table 9에 선정된 최종우선순위는 각 단일기준에 의한 순

위데이터가 다차원척도법에 의해서 잘 반영되었다고 볼 수 있다.

한편, 서론에 언급된 것과 같이 국내에서 강변저류지의 도입을 검토한 가장 큰 목적은 홍수저감효과이며, 의사결정자의 의사결정기준으로써 강변저류지 설치로 기대할 수 있는 기타 인자는 홍수저감효과에 비해 상대적으로 덜 중요한 기준이 될 수도 있다. 하지만 전술한 바와 같이 각각의 기준의 상대적 중요도에 대한 관련연구가 없는 이유로 본 연구에서는 네 가지 기준에 대한 동일한 기준가중치를 적용하여 우선순위를 선정하였다. 따라서 다른 기준가중치 적용에 따른 우선순위의 변화에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 선정된 우선순위에 근거하여 상위 몇 개의 강변저류지를 설치하는 것에 대한 의사결정방안도 중요한 문제이므로, 이에 대한 사업의 가능성 산 등과 같은 기준을 효율적으로 반영할 수 있는 방안의 개발도 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

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 단위저류용량대비 홍수저감효과에 의한 우선순위, 상대적 중요도를 고려한 우선순위, 경제성평가에 의한 우선순위 및 공간계획적합성 평가에 의한 우선순위를 이용하여 강변저류지 설치 우선순위를 선정하고, 이들 네 가지 순위와 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 검증하였고 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 양령 저류지 등이 높은 우선순위에 선정되었으며, 이는 동일한 기준가중치를 이용한 각 단일기준에 의한 순위데이터가 최종적인 순위산정에 잘 반영되었다고 판단된다.
- 3) 본 연구에서는 동일한 기준가중치를 이용하여 최종 순위를 선정하였다. 하지만 의사결정자의 목적에 따라 다른 기준가중치를 적용할 경우 선정된 우선순위는 변할 수 있으며, 이에 대한 추후연구가 필요한 것

으로 판단된다.

감사의 글

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

참고문헌

- 건설교통부 (2005). **천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구**, 건설교통부.
- 건설교통부 (2007). **안성천수계 유역종합치수계획**, 건설교통부.
- 곽재원, 김덕길, 윤선화, 김형수 (2009). “다차원법을 이용한 천변저류지의 홍수조절 효과분석.” **한국습지학회지**, 한국습지학회, 제10권, 제3호, pp. 69-78.
- 김덕길, 경민수, 김상단, 김형수 (2007). “천변저류지 조정에 따른 홍수위저감효과 분석.” **2007 대한토목학회 학술발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 2660-2663.
- 박장근, 박재현, 이종진 (2007). “천변저류지를 활용한 하포천 유역에서의 홍수조절능력에 관한 연구.” **2007 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, 한국수자원학회, pp. 331-335.
- 백천우, 김복천, 안태진 (2009). “월류부특성변화에 따른 천변저류지군의 홍수저감효과분석.” **한국방재학회 논문집**, 한국방재학회, 제9권, 제1호, pp. 145-150.
- 백천우, 변천일, 김도현, 안태진 (2010). “강변저류지군의 홍수저감효과 개선방안에 대한 연구.” **한국방재학회 논문집**, 한국방재학회, 제10권, 제2호, pp. 123-133.
- 백천우, 안태진 (2009). “설계빈도를 고려한 천변저류지 최적위치 선정.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제42권, 제7호, pp. 559-569.
- 안태진, 강인웅, 백천우 (2008). “수문학적 홍수저감효과 기반의 천변저류지 최적위치 선정을 위한 의사결정모형의 개발.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제7호, pp. 725-735.
- 안태진, 변천일, 노희성, 백천우 (2010). “경제성 분석에 의한 강변저류지 최적위치 선정에 대한 연구.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제43권, 제8호, pp. 681-694.
- 장동수, 백미나 (2009). “천변저류지 공간계획의 적합성 평가지표 선정.” **한국생태환경건축학회논문집**, 한국생태환경건축학회, 제9권, 제3호, pp. 21-27.
- 한건연, 김지성, 백진규, 박홍성 (2005). “하천에서 천변저

류지의 홍수저감효과 분석.” **2005 대한토목학회 학술 발표회 논문집**, 대한토목학회, pp. 233-236.

한국건설기술연구원 (2009). 자연과 함께하는 하천복원 기술개발 : 홍수터 보존/복원 기술개발 (06건설핵심B01), 3차년도 연구성과 보고서, 한국건설기술연구원.

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.

Kruskal, J.B. (1964). “Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis.” *Psychometrika*, Vol. 29, No. 1, pp. 1-27.

Yeh, C.H., and Labadie, J.W. (1997). “Multiobjective watershed-level planning of storm water detention systems.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 123, No. 6, pp. 336-343.

논문번호: 11-014	접수: 2011.02.08
수정일자: 2011.05.06/06.21	심사완료: 2011.06.21