



# 하수관로의 면단위 및 선단위 정비 우선순위 결정을 위한 AHP-PROMETHEE기법의 적용

## Application of AHP-PROMETHEE to determine areal and linear priorities for sewer rehabilitation projects

안호성<sup>1</sup>·유순유<sup>2</sup>·이태훈<sup>3</sup>·박규홍<sup>4\*</sup>

Hosung Ahn<sup>1</sup>·Soonyu Yoo<sup>2</sup>·Taehoon Lee<sup>3</sup>·Kyoohong Park<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>(주)삼안, <sup>2</sup>한국산업기술대학교 지식융합학부, <sup>3</sup>단국대학교 토목환경공학과, <sup>4</sup>중앙대학교 사회기반시스템공학부

<sup>1</sup>Saman Inc., <sup>2</sup>Department of Consilience, Korea Polytechnic University,

<sup>3</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Dankook University,

<sup>4</sup>School of Civil and Environmental Engineering, Chung-Ang University

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

### ABSTRACT

Since sewer rehabilitation program requires long construction period and enormous capital investment, determination of rehabilitation priorities is important with systematic planning considering appropriate evaluation parameters. In this research, we applied PROMETHEE(Preference Ranking Organization METHod for Evaluations) known as very objective and scientific multi-criteria decision-making analysis, using the weights determined by AHP(Analytic Hierarchy Process) for the selected sewer evaluation items to calculate the rehabilitation priorities for each sewer sub-catchment in basin Gusan 1 of Seoul. Preference functions and preference thresholds were estimated for each criterion of ratio of lack of hydraulic capacity of sewers, defect ratio, ratio of sewers with velocity less than its minimum criteria, and density of sewers in the sub-catchment. As a result, it was found that region d had the first priority among four sub-catchments. For each and every sewer located in region d, we could also rank sewers to be rehabilitated urgently.

**Key words:** PROMETHEE, AHP, Sewer rehabilitation, Priority, Decision making

**주제어:** 프로메티 기법, 계층분석기법, 하수관로 정비, 우선순위, 의사결정

Received 30 July 2020, revised 20 August 2020, accepted 21 August 2020.

\*Corresponding author: Kyoohong Park (E-mail: [kpark@cau.ac.kr](mailto:kpark@cau.ac.kr))

- 안호성(과장) / Hoseong Ahn (Manager)  
경기도 과천시 별양상가3로 5 유니온 빌딩, 13837  
Building Union, 3-5 Byulyangsanga, Gwacheon, Gyeonggi-do 13837, Republic of Korea
- 유순유(교수) / Soonyu Yoo (Professor)  
경기도 시흥시 산기대학로 237, 15073  
237. Sangidaehak-ro, Siheung-si, Gyeonggi-do 15073, Republic of Korea
- 이태훈(교수) / Taehoon Lee (Professor)  
경기도 용인시 수지구 죽전로 152, 16890  
152, Junjeon-ro, Suji-gu, Yongin-Si, Gyeonggi-do 16890, Republic of Korea
- 박규홍(교수) / Kyoohong Park (Professor)  
서울특별시 동작구 흑석로 84, 06974  
84, Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul 06974, Republic of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

오랜 건설 기간과 막대한 투자자본이 소요되는 하수관로 정비사업은 유기적이고 체계적인 정비계획과 평가항목을 신중히 고려하여 정비 우선순위를 결정하는 것이 중요하다. 현재 국내에서 시행되고 있는 하수관로 정비 우선순위는 통수능 부족관로 개량 비율, 관로별 불량등급, 인구당 개량 관로연장 등을 평가항목으로 설정하고, 각 평가항목에 따라 일정한 배점을 부여한 후 합산하여 상위점수에서 하위점수로 우선순위를 결정하고 있다 (Seoul, 2011). 이러한 의사결정 문제는 의사결정자의 주관적인 판단보다 객관적이고 과학적인 방법이 요구된다. 즉, 의사결정자의 직관이나 주관적 상황에 의존한 의사결정이 아닌 다기준의 사결정 문제로 결정을 이끌어 낼 수 있는 방법이 필요하다.

다기준분석법에 기초한 하수관로 정비의 우선순위 결정에 관한 국내의 연구는 Chung et al (2001), Kim (2002), Park et al (2002)에 의한 유전자 알고리즘의 적용, Ryu (2002), Ryu and Park (2015)의 fast messy 유전자 알고리즘 적용, Jin et al (2007)의 AHP(Analytic Hierarchy Process) 적용 등으로 수행된 바 있으며, 외국에서도 여러 연구자들에 의해 활발히 연구된 바 있다 (Fenner and Sweeting, 1999; Fenner, 2000; Ariaratnam et al., 2001; McDonald and Zhao, 2001; Plenker, 2002; Saegrove, 2006; Berardi et al., 2009; Tagherouit, 2011; Marzouk and Omar, 2013).

다기준분석법 중의 하나인 AHP 기법은 설문을 통한 가중치의 결정은 설문자의 주관에 개입될 수 있어 더욱 객관적인 결과를 얻기 위해 이런 주관성을 최대한 배제할 수 있는 방법이 필요하다. 이런 관점에서 본 연구에서는 PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Evaluations)를 하나의 대안으로 제시하고자 한다. 특히 비교 대안의 수가 많거나 새로운 대안이 추가 또는 삭제될 여지가 있는 경우 PROMETHEE는 AHP 기법에 비해 더 효율적인 비교가 가능하다 (Min and Song, 2003; Park, 2005). 또한, 쌍대비교의 대상이 4개 이상인 경우 AHP 기법에서는 순위 역전현상이 발생할 여지가 있음을 많은 연구에서 제기되고 있다 (Jeong, 2011; Kim et al., 2012).

따라서 본 연구는 하수관로 정비계획 우선순위 결정에서 AHP 기법의 적용상의 문제점을 극복하고 다

양한 대안이 고려되는 우선순위 결정 상황에서 장점이 있는 PROMETHEE를 AHP와 함께 적용하여 소구역의 면(面)단위정비, 관로구간의 선(線)단위정비의 우선순위를 결정하는 방안을 제시하였다. 본 연구에서는 서울시 구산1 배수분구를 연구대상지역으로 하여 사례연구를 수행하였으며, 이 지역의 하수관로 데이터의 가용성을 고려하여 하수관로 정비계획 우선순위의 상대적인 평가를 위한 항목을 4가지로 선정하였다. 수리적 관점에 영향을 주는 요인인 통수능 불량, 최소 유속이 선정되었으며, 구조적 관점과 운영적 관점에 영향을 주는 요인인 결함률이 선정되었고, 환경적 관점에서 관로의 밀도를 적용하였다. 소구역별 면단위정비 우선순위 결정을 위해서는 AHP를 이용하여 우선순위 인자들의 가중치를 구한 후 PROMETHEE I 과 PROMETHEE II에 의해 우선순위를 선정하였다. 관로구간별 선단위정비 우선순위 결정을 위해서는 평가항목별 동일한 가중치를 이용하여 PROMETHEE에 의한 순흐름값을 계산하였다.

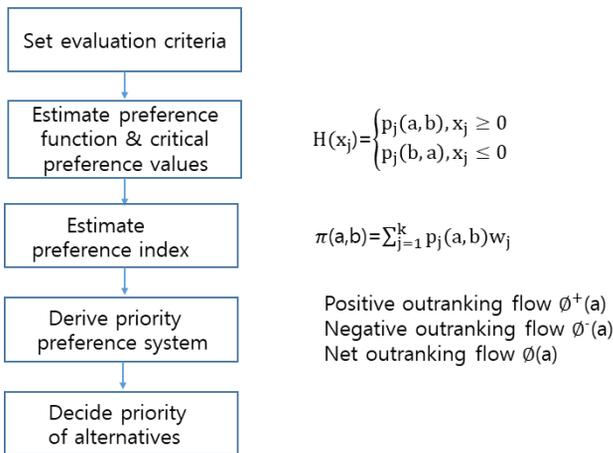
## 2. PROMETHEE 기법

PROMETHEE 기법은 선호유출량( $\Phi^+(a)$ )과 선호유입량( $\Phi^-(a)$ )의 개념을 이용하여 대안들의 순위선호를 결정하는 방법으로 Brans (1982)에 의해 PROMETHEE I(partial ranking), PROMETHEE II(complete ranking)가 제안되었다. 여기에서 순위선호란 이원비교를 기초로 대안  $a$ 가 대안  $b$ 보다 미흡하지 않은 대안이라고 판단되면 두 대안  $a$ 와  $b$ 의 수학적 지배관계가 존재하지 않더라도 대안  $a$ 를 선택하려는 의사결정자의 주관적 선호 성향을 의미한다 (Roy, 1991a, 1991b; Pirlot, 1997). PROMETHEE기법의 분석과정을 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

평가기준별 선호함수는 식별을 쉽게 하기 위해 총 6가지 선호함수인 이분형, U형, V형, 계단형, 선형, 가우스형인 함수로 나타낼 수 있다. 선호함수식은 다음 식(1)과 같다.

$$H(x_j) = \begin{cases} p_j(a,b), & x_j \geq 0 \\ p_j(b,a), & x_j < 0 \end{cases} \quad (1)$$

이 식에서  $p_j(a,b)$ 는 평가기준  $j$ 의 선호함수 값을 말하며, 선호함수 값은 두 대안  $a$ 와  $b$ 의 평가점수 차이에



$$H(x_j) = \begin{cases} p_j(a,b), x_j \geq 0 \\ p_j(b,a), x_j \leq 0 \end{cases}$$

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^k p_j(a,b)w_j$$

Positive outranking flow  $\phi^+(a)$   
 Negative outranking flow  $\phi^-(a)$   
 Net outranking flow  $\phi(a)$

Fig. 1. Procedure of PROMETHEE analysis. (Brans and Vincke, 1985)

대한 평가자의 선호 성향을 반영하는 함수의 값을 말한다. 두 대안  $a$ 와  $b$ 의 평가점수 차이  $x_j \geq 0$ 은 평가 기준  $j$ 에서 대안  $a$ 의 평가점수가 대안  $b$ 보다 높은 것을 보여주며, 반면 평가점수 차이  $x_j \leq 0$ 은 평가기준  $j$ 에서 대안  $b$ 의 평가점수가 대안  $a$ 보다 높은 것을 보여준다. 이때 두 대안  $a, b$ 에 대한 평가점수의 편차 차이를 0과 1 사이로 표현할 수 있다 (Min and Song, 2003).

$$0 \leq p_j(a,b) \leq 1 \tag{2}$$

선호함수의 종류와 선호 임계치를 결정하기 위해서는 의사결정자가 평가기준별로 대안에 따라 충분한 경험 및 근거를 바탕으로 결정하게 된다. 이에 따라 선호함수와 선호임계치가 결정되면 내부 알고리즘에 의하여 대안 간에 쌍대비교가 자동적으로 실시된다.

선호 지수식을 표현하면 다음 식(3)과 같다.

$$\begin{cases} \pi(a,b) = \sum_{j=1}^k p_j(a,b)w_j \\ \pi(b,a) = \sum_{j=1}^k p_j(b,a)w_j \end{cases} \tag{3}$$

여기서  $w_j$ 는 각 평가항목에 대한 가중치로  $\sum_{i=1}^k w_i = 1$

이 식에서 선호지수  $\pi(a,b)$ 는 모든 기준에 대하여  $a$ 가  $b$ 보다 어느 정도 선호하는지를 보여주고, 선호지수  $\pi(b,a)$ 는  $b$ 가  $a$ 보다 어느 정도 선호하는지를 보

여준다.  $w_j$ 는 평가기준  $j$ 의 가중치를 의미하며,  $\pi(a,b)$ 와  $\pi(b,a)$ 는 항상 0과 1사이의 값을 갖는다.

$$\begin{cases} \pi(a,a) = 0 \\ 0 \leq \pi(a,b) \leq 1, \\ 0 \leq \pi(b,a) \leq 1, \\ 0 \leq \pi(a,b) + \pi(b,a) \leq 1 \end{cases} \tag{4}$$

이 때  $\pi(a,b)$ 가 0에 가까울수록  $a$ 가  $b$ 에 비해 약간 선호됨을 의미하며,  $\pi(a,b)$ 가 1에 가까울수록  $a$ 가  $b$ 에 비해 많이 선호됨을 의미한다 (Brans, 1982). 앞서 구해진 선호지수를 이용하여 식 (5)와 같은 선호유출량( $\phi^+(a)$ )과 선호유입량( $\phi^-(a)$ ), 그리고 순흐름량( $\phi(a)$ )을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi^+(a) &= \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a,b) \\ \phi^-(a) &= \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b,a) \\ \phi(a) &= \phi^+(a) - \phi^-(a) \end{aligned} \tag{5}$$

여기서,  $A$ 는 비교대안들의 집합( $a, b \in A$ )

선호유출량( $\phi^+(a)$ )은 대안  $a$ 가 나머지 모든 대안을 지배하는 정도를 나타내며  $\phi^+(a)$ 값이 커질수록 대안  $a$ 가 나머지 대안들보다 우월하다는 것을 의미한다. 반면 선호유입량( $\phi^-(a)$ )은 대안  $a$ 가 나머지 모든 대안에 의하여 지배되는 정도를 나타내며  $\phi^-(a)$ 값이 커질수록 대안  $a$ 가 나머지 대안들보다 열등함을 나타낸다. 도출된 순위 선호체계를 바탕으로 선호관계를 파악하기 위해 선호유출량( $\phi^+(a)$ )과 선호유입량( $\phi^-(a)$ )을 이용하여 두 대안  $a, b$ 의 선호관계를 식 (6), (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} aP^+b \text{ iff } \phi^+(a) > \phi^+(b) \\ aI^+b \text{ iff } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{cases} aP^-b \text{ iff } \phi^+(a) < \phi^+(b) \\ aI^-b \text{ iff } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases} \tag{7}$$

여기서,  $aP^+b$ 는 대안  $a$ 의 선호유출량이 대안  $b$ 의 선호유출량보다 큰 값을,  $aP^-b$ 는 대안  $a$ 의 선호유출량이 대안  $b$ 의 선호유출량보다 작은 값을 나타낸다.

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

**Table 1.** Priority preference system

Classification	Discription	Preference relation combination
$aPb$	Preference (Alternative a is preferred to alternative b.)	$aP^+b$ and $aP^-b$ $aP^+b$ and $aI^-b$ $aI^+b$ and $aP^-b$
$aIb$	Indifference (Alternatives a and b are indifferent.)	$aI^+b$ and $aI^-b$
$aRb$	Incomparability (Alternatives a and b are incomparable.)	Neither $aPb$ nor $aIb$

$aI^+b$ 는 대안  $a$ 와 대안  $b$ 의 선호 유입량이 동일함을 말하며,  $aI^-b$ 는 대안  $a$ 와 대안  $b$ 의 선호 유입량이 동일함을 말한다. 식 (6)과 식 (7)의 선호 관계를 기준으로 대안  $a$ 와  $b$ 의 순위선호체계를 Table 1과 같이 나타낼 수 있다.

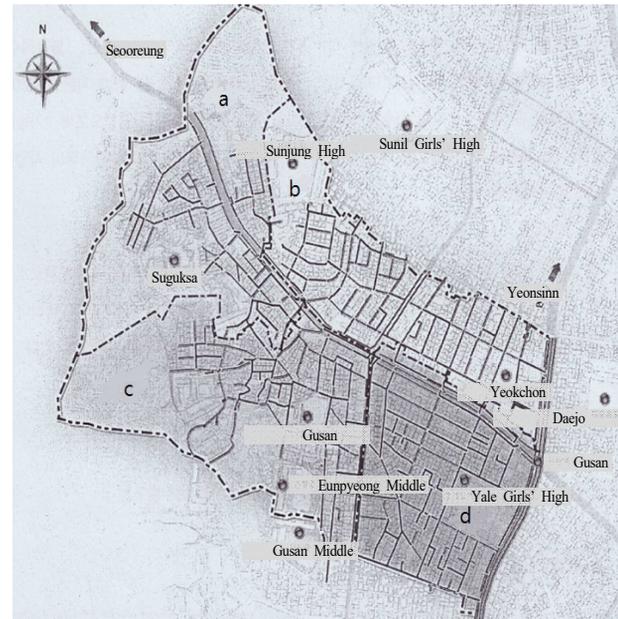
PROMETHEE I (partial ranking)은 선호유출량과 선호유입량을 이용하여 선호관계를 순위선호관계, 무차별한 관계, 비교불가능한 관계로 구분하여 대안들의 우선순위를 산정하지만, PROMETHEE II (complete ranking)는 PROMETHEE I의 비교불가능한 경우를 제외시키기 위해 순흐름량을 통하여 모든 대안의 우선순위를 산정하게 된다. 이러한 비교불가능한 관계가 의사결정과정에서 존재하는 이유는 다음과 같이 세 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 의사결정문제에 대한 정보의 부족 및 불확실성으로 인하여 평가자의 판단력이 흐려지기 때문이다. 둘째, 적합한 선호함수가 존재하지 않는 경우가 발생할 수 있기 때문이다. 셋째, 의사결정자의 선호에 대한 인식결여 또는 선호표현의 부정확성 등으로 비교가 불가능할 수 있다 (Roy, 1991a). PROMETHEE는 AHP분석방법과 다르게 대안이 추가되거나 삭제가 되더라도 쌍대비교를 자동적으로 수행되는 장점을 가지고 있다 (Min and Song, 2003).

### 3. 사례연구

#### 3.1 연구대상지역

연구대상 지역은 서울특별시 은평구 구산동, 갈현 2동의 구산1 배수분구 지역으로 계획면적은 118.90 ha를 차지하며, 구산1 배수분구는 난지 처리구역의 불광역 배수구역에 포함하여 전체 면적의 46%가 임야로

구성되어 있다. 이 지역은 과거에 침수피해 및 범람에 의해 심각한 내수침수가 거의 발생하지 않았다. 일부 지하세대가 위치한 지역, 도로지대보다 낮게 형성되어 일시적인 침수가 발생하는 지역과 재개발로 인한 인구유입 및 노후화된 관로 등을 검토하여 구산1 배수분구를 연구대상지역으로 선정하였다. Fig. 2는 연구대상지역인 구산1 배수분구를 나타낸 그림이며,



**Fig. 2.** Areal map of this study area.

**Table 2.** Surface area and sewer lengths of four divided regions in study area

Classified region	Area (ha)	Sewer length (km)
Region a	32.8	5.10
Region b	25.7	7.28
Region c	35.2	7.36
Region d	25.2	8.62
Sum	118.9	28.36



이는 4개의 소구역으로 나누어져 있음을 알 수 있다. 각 소구역의 면적과 소구역별로 설치된 하수관로의 연장을 Table 2에 나타내었다.

### 3.2 소구역별 면단위 정비 우선순위 결정을 위한 평가항목의 선정과 가중치 결정

Seoul (2003)에서는 하수관로정비를 위한 평가항목으로 하수관로기능향상(유량, 수질, 최소유속미달관로, 통수능부족관로, 단위연장당 준설량), 유역환경개선(지하수 수질, 악취발생, 지반침하), 하수관로시설정비의 수준(하수관로 내 이상항목)으로 구분하여 적용한 바 있으며, Jin et al (2007)은 평가항목으로 오염부하량, 침입률, 관로불량도, 통수능부족, 관로밀도, 유속미달관로비율로 선정하여 적용한 바 있다. 본 연구에서는 선행 연구로 시행되었던 항목을 고려하여 구산1 배수분구에 구비된 자료 중에서 데이터 추출이 가능한 항목, 정량적인 평가가 가능한 항목 위주로 PROMETHEE 기법에 적용할 수 있는 하수관로정비 대상관로에 대한 평가항목들을 Table 3과 같이 정리하였다. 이 외의 평가항목인 불명수량 유입량과 지하수위, 수질 등은 데이터 추출이 어렵고, 역경사의 경우 연구대상지역에서 발생 비율이 현저히 낮아 평가항목에서 제외하였다.

선정된 평가항목을 바탕으로 10인의 전문가(하수도 분야에 종사하는 엔지니어링사, 공공기관, 연구직 종사자)들을 대상으로 AHP 분석을 위한 설문조사를 실

시하였다. 실시된 설문지 작성은 AHP 분석을 위한 Satty의 9점 척도법을 통한 쌍대비교를 실시하였다. 설문조사 결과를 바탕으로 행렬의 표준화된 결과값은 Table 4와 같다. 각 평가항목의 상대적인 중요도는 통수능부족관로비율(0.396), 결함률(0.289), 최소유속미달관로비율(0.258), 관로밀도(0.056)순으로 나타났다.

평가항목별 가중치를 산정한 결과로 통수능부족관로비율이 전체 가중치의 39.6%를 차지하였으며, 이에 반해 관로밀도의 영향은 가중치의 영향이 다소 적은 것으로 사료된다. 최소유속미달관로비율과 관로내 결함발생율은 각각 25.8%와 28.9%이었다. 이 결과는 해당 사업의 특성에 따라 가중치 요소나 상대적 가중치가 수정될 수 있고 설문응답자의 선호경향에 따라 가중치가 변할 수 있다는 점을 고려해야 한다.

### 3.3 관로구간별 정비 우선순위 결정을 위한 평가항목의 선정과 가중치 결정

소구역별 평가항목과 마찬가지로, 관로구간별 선정시 우선순위 결정을 위한 평가항목은 관로밀도, 통수능(우천시 부족단면률), 청천시 최소유속, 관로별 불량률을 고려한 총 4가지 평가항목을 가지고 실시하였다. 관로별 가중치는 AHP로 산정된 소구역별 가중치와는 다르게 주관성을 배제시키고 객관적인 평가를 하기 위하여 동일한 가중치를 적용하여 각 관로마다의 우

**Table 3.** Selection of evaluation criteria on sewers to be rehabilitated

Hydraulic aspect	Structural aspect	Operational aspect	Environmental aspect
Insufficient hydraulic capacity, Low flow velocity	Defect rate (Structual & Operational)		Sewer pipe density

**Table 4.** Relative importance of sewer evaluation items by AHP analysis

Items	Ratio of sewers with insufficient hydraulic capacity (%)	Ratio of sewers with Low flow velocity (%)	Defect rate (%)	Sewer pipe density (km/ha)	Relative importance (weighting factor)
Ratio of sewers with insufficient hydraulic capacity (%)	1.000	1.756	1.368	6.173	0.396
Ratio of sewers with Low flow velocity (%)	0.569	1.000	0.896	5.255	0.258
Defect rate (%)	0.731	1.116	1.000	5.168	0.289
Sewer pipe density (km/ha)	0.162	0.190	0.193	1.000	0.056

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

선순위를 평가하고자 한다. 관로밀도, 통수능, 청천시 최소유속, 관로별 불량률의 상대적인 평가에 대한 가중치는 각 평가항목에 대한 가중치로 0.25의 동일한 가중치를 부여하기로 했다. 합리적인 방법에 따라 각 평가항목에 따라 서로 다른 가중치의 범위를 설정하여 결과값을 도출한다면 좀 더 객관적인 관로정비 우선순위를 결정할 수도 있겠으나, 본 연구에서는 방법론의 단순 예시를 보여주고자 하였다.

### 3.4 데이터 프로세싱

구산1 배수분구 실시설계보고서(Seoul, 2011)의 합류식 및 우수관로의 수리적 계산은 하수관망 해석 프로그램인 MASESW가 활용되었다. 여기에서 도출된 평가항목인 통수능부족관로, 최소유속미달관로의 결과 값을 적용하였다. 또한, 보고서에서 제시된 관로 내부 조사와 관로 현황조사를 활용하여 관로별 결함 등급 및 관로 밀도의 결과값을 추출하여 이를 적용하였다.

4개 소구역 중 d구역에서 통수능부족관로비율과 최소유속미달관로비율이 가장 크고, 관로밀도도 0.34 km/ha로 가장 크게 차지하고 있는 반면에, 결함률은 가장 낮은 값을 보여주고 있다. 하지만 a구역의 경우 다른 구역보다 결함률 부분에서 38.24(점/km)라는 높은 결함률을 보여주고 있다. 통수능부족관로비율과 최소유속미달관로비율, 관로밀도를 고려할 경우에는 d지역이 가장 우선시 정비되어야 할 지역으로 판단되지만, 결함률 부분만 봤을 경우에는 a구역이 가장 우선시 정비되어야 할 지역으로 판단된다. 이렇듯 의사결정의 어려움 때문에 본 연구에서는 PROMETHEE 기법을 활용한 여러 기준 및 속성의 상대적 중요도인 가중치를 충분히 고려하여 소구역별 면정비 우선순위를 결정하려 한다.

관로구간별 선정비 우선순위 결정을 위해서는 4개 소구역별 중 가장 우선적으로 정비가 필요한 d지역만을 대상으로 관로구간별 우선순위를 선정하였다. d지역의 총 관로수는 259개에 총 연장길이는 8.37 km이며 그 중 관로내부조사를 실시한 관로 대상이 98개의 관로에 대해서만 조사되었다. 이에 d지역의 대상관로 중에서도 관로내부 조사실시만 이루어진 98개의 관로들을 대상으로 우선순위를 정하게 되었다. 또한, 이전에 설명한 하수관로 소분구별 자료들은 각 관로마다

의 상태를 평가하기에는 어려움이 있어 통수능미달관로기준, 청천시 최소유속기준, 관로별 불량률, 관로별 관로밀도를 통해 데이터를 정리하였다. 통수능미달관로는 우천시 부족단면률로 산정되는데 실유량을 허용유량으로 나누어 우천시 부족단면률로 100% 이상이 넘었을 경우 정비대상이 된다. 관로내 CCTV 조사가 실시된 98개 관로 중에는 통수능이 부족한 관로는 없었다.

## 4. 결과 및 토론

### 4.1 소구역별 면정비 우선순위의 결정

본 연구에서는 앞서 실시한 AHP 분석 결과의 상대적 가중치를 PROMETHEE 기법에 적용하였다. 이때, PROMETHEE 기법의 적용과정은 평가항목에 따라 선호함수, 선호임계치를 결정되면 선호지수와 대안별 순위선호체계에 따라 소구역별 하수관로 정비 우선순위가 결정된다.

앞서 설명한 PROMETHEE 기법의 6가지 선호함수 중 평가기준의 특성에 따라 하나의 선호함수와 선호임계치를 결정하게 된다. 본 연구에서 하수관로정비 지역에 대해 정비 우선순위를 선정하는데 있어서 평가기준(통수능부족관로비율, 결함률, 최소유속미달관로비율, 관로밀도)의 특성에 대한 선호도가 점차 증가하다가 특정시점을 기준으로 선호도의 증감이 더 이상 발생하지 않는 것으로 가정하여 제V형 분포를 적용하였으며, 평가항목의 선호함수는 Table 5와 같다.

여기서 제V형의 선호임계치 설정은 각 평가항목의 최대값에서 최소값의 차를 적용하여 평가항목의 범위 내 값으로 설정된다. Table 5에서 최대값과 최소값은 4개의 소구역 중 가장 큰 값과 작은 값을 말하며, 선호임계치는 최대값과 최소값의 차이에 의해 구해졌다. 선호방향이 +일 때 평가지표의 값이 커질수록 선호선향이 커짐을 의미하고, 선호방향이 -일 때 평가지표의 값이 작을수록 선호선향이 커짐을 의미한다. 예를 들어, 평가항목 중에서 통수능부족관로비율이 클수록, 결함률이 클수록, 최소유속미달관로비율이 클수록, 관로밀도가 클수록, 하수관로 정비순위가 높게 산정된다.

선호지수( $\pi(a,b)$ ) 산정은 식 (2)를 활용하여 두 대안 a, b의 평가 점수 차에 대한 평가자의 선호도를 반영



pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

**Table 5.** Preference function, preference direction, preference of each evaluation item of each region in sub-catchment area Gusan 1 to determine areal priority

Evaluation items	Preference direction (+,-)	Type of preference function	Max	Min	Critical preference value	Preference function
Ratio of sewers with insufficient hydraulic capacity (%)	+	Type V	16.60	6.93	9.67	$H_1(x) = \begin{cases} \frac{x}{9.67} & : x \leq 9.67 \\ 1 & : x > 9.67 \end{cases}$
Defect rate (%)	+	Type V	38.24	21.00	17.24	$H_2(x) = \begin{cases} \frac{x}{17.24} & : x \leq 17.24 \\ 1 & : x > 17.24 \end{cases}$
Ratio of sewers with Low flow velocity (%)	+	Type V	36.29	13.27	23.02	$H_3(x) = \begin{cases} \frac{x}{23.02} & : x \leq 23.02 \\ 1 & : x > 23.02 \end{cases}$
Sewer pipe density (km/ha)	+	Type V	0.34	0.16	0.19	$H_4(x) = \begin{cases} \frac{x}{0.19} & : x \leq 0.19 \\ 1 & : x > 0.19 \end{cases}$

**Table 6.** Preference index of each region in sub-catchment Gusan 1

	Region a	Region b	Region c	Region d	$\Phi^+$
Region a	-	0.255	0.121	0.289	0.222
Region b	0.089	-	0.022	0.189	0.100
Region c	0.118	0.185	-	0.220	0.174
Region d	0.555	0.621	0.489	-	0.555
$\Phi^-$	0.254	0.354	0.211	0.233	

**Table 7.** Results of preferenc output, input, flowrate, and priority of each region

	Region a	Region b	Region c	Region d
Preference outflow ( $\Phi^+$ )	0.222	0.100	0.174	0.555
Preference inflow ( $\Phi^-$ )	0.254	0.354	0.211	0.233
Net flow( $\Phi^+ - \Phi^-$ )	-0.032	-0.254	-0.036	0.323
Priority of rehabilitation	2	4	3	1

하는 함수인 선호함수값  $p_j(a,b)$ 와 평가항목별 가중치 ( $w_j$ ) 곱의 합을 평균하여 소구역별 선호지수를 산정하였다. 구산1 배수분구의 소구역별 선호지수는 Table 6 과 같다.

대안 a와 b가 비교 불가능한 관계에 놓였을 경우를 배제하고 순흐름량을 산정함으로써, 연구대상 배수분구 내 소구역에 대한 하수관로정비 우선순위를 구할 수 있다. 선호유출량( $\Phi^+$ )의 계산은 4개의 소구역에 대한 선호지수의 행의 합을 평균으로 한 값을 말하며, 선호유입량( $\Phi^-$ )은 선호지수의 열의 합을 평균으로 구하며, 순흐름량은 선호유출량과 선호유입량의 차이로 구하게 된다. PROMETHEE 기법을 이용한 4개의 소구

역별 선호유출량, 선호유입량, 순흐름량에 따른 우선 순위를 Table 7에 나타내었다.

PROMETHEE I 기법을 활용하여 4개의 소구역별 순위선호관계를 보면 우선 선호유출량이 d구역이 0.555으로 가장 크며, a구역, c구역, b구역 순으로 작아지는 것을 알 수 있다. 또한, 선호유입량은 b구역이 0.354으로 가장 크며, a구역, d구역, c구역 순으로 작아지는 것을 알 수 있다. 선호유출량과 선호유입량 관점에서 다른 대안들(a, c, d)보다 b대안이 가장 열등하다는 것을 볼 수 있다. 예를 들어 대안 a와 대안 c를 비교해보면 선호유출량 a=0.222로 선호유출량 c=0.174보다 크지만, 선호유입량 a=0.254는 선호유입량 c=0.211보

다 크게 나타나 순위번호체계 관계에서 비교 불가능한 관계를 보여준다. 이와 같은 방법으로 나머지 대안들을 부분순위를 비교해봤을 때 대안 a, c, d는 비교 불가능한 관계를 보여준다. PROMETHEE I 기법을 적용했을 때 구산배수분구 소구역별 정비우선순위는 Fig. 3의 왼쪽 그림과 같다.

그러나 선호유출량과 선호유입량의 차이인 순흐름량으로 산정된 결과를 보면 d구역이 0.323로 가장 크게 나타나고 a구역, c구역, b구역 순으로 작아지는 것을 알 수 있다. PROMETHEE II 기법을 적용했을 때 구산배수분구 소구역별 정비우선순위는 Fig. 3의 오른쪽 그림과 같다.

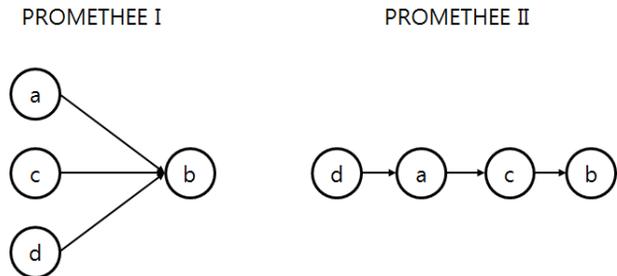


Fig. 3. Regional priority of sewer rehabilitation in sub-catchment area Gusan 1.

PROMETHEE I 기법과 PROMETHEE II 기법을 비교해보면, 대안 b만 동일하게 나타난 것을 볼 수 있다. 구산1 배수분구 소구역별 정비우선순위 결정시 대안 d, a, c에 대해서 추가적으로 평가항목을 고려하여 정비우선순위를 결정할 수 있을 것이다. b대안은 향후

하수관로 정비대책에 맨 마지막으로 정비되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4.2 관로구간별 선단위정비 우선순위의 결정

앞서 설명했듯이 관로구간별 선단위정비순위는 소구역별 정비순위과는 다르게 동일한 가중치를 적용하여 각 관로마다의 우선순위를 결정하였다. 본 연구에서 하수관로 정비지역에 대해 선정하는데 있어서 평가기준(관로밀도, 우천시 부족단면률, 관로별 불량률)의 특성이 선호도가 점차 증가하다가 특정시점을 기준으로 선호도의 증감이 더 이상 발생하지 않는 것으로 가정하여 제V형 분포를 적용하였으며, 청천시 최소유속 항목은 두 개의 특정시점의 변화를 보여 계단형 분포를 적용하였다. 평가항목의 선호함수는 Table 8과 같다.

청천시 최소유속은 선호방향을 보면 -방향으로 설정되어 있고, 최소유속이 작아질수록 정비우선순위가 높아진다는 것을 의미한다. 이때, 평균기준 값이 작을수록 정비우선순위가 높아지는 경우  $x_i$ 의 값이 양(+)의 값을 나타낼 경우 0을 취하며, 음(-)의 값을 나타낼 때 특정값을 취하게 된다 (Min and Song, 2003). 평가항목 중에서 관로밀도가 높을수록, 우천시 부족단면률이 클수록, 최소유속기준 대비 유속이 작을수록, 불량률이 클수록 하수관로 정비순위가 높게 산정된다.

선호함수값  $p_j(a,b)$ 와 동일한 가중치( $w_j=0.25$ ) 곱의 합을 평균하여 관로별 선호지수를 산정한 후 이전의 소구역별 우선순위와 동일한 방법으로 순흐름량을 산정

Table 8. Preference function and preference direction of each evaluation item of each region in sub-catchment area Gusan 1 to determine linear priority of sewer rehabilitation

Evaluation items	Preference direction (+,-)	Preference function type	Preference function
Sewer pipe density	+	Type V	$F_1(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x, & 0 < x \leq 1 \\ 1, & 1 < x \end{cases}$
Ratio of insufficient hydraulic capacity in wet weather	+	Type V	$F_2(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x/80, & 0 < x \leq 80 \\ 1, & 80 < x \end{cases}$
Velocity in dry weather	-	Step type	$F_3(x) = \begin{cases} 0, & 0.6 < x \\ -(x-0.6)/0.4, & 0.2 < x \leq 0.6 \\ 1, & x \leq 0.2 \end{cases}$
Defect rate	+	Type V	$F_4(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x/30, & 0 < x \leq 30 \\ 1, & 30 < x \end{cases}$

**Table 9.** Linear priority of sewer rehabilitation by PROMETHEE

Sewer No.	Sewer pipe density (km/ha)	Rate of insufficient hydraulic capacity in wet weather (%)	Velocity in dry weather (m/s)	Defect rate (%)	Priority of repair	Net flow
7010-205	1.83	64.94	0.692	29	1	1.606
3003-100	1.1	65.95	0.001	10.9	2	1.473
7011-501	1.33	4.79	0.255	26.7	3	1.116
8004-200	1.65	31.16	0.377	17	4	1.097
3004-102	1.45	14.47	0	10.7	5	1.088
4021-300	1.09	67.28	0.045	0.2	6	1.076
3004-101	1.6	2.21	0	10.8	7	1.007
7030-200	0.22	71.3	0.563	73.2	8	0.985
4020-200	1.6	1.5	0	10	9	0.972
7027-101	0.39	61.04	0.282	24.8	10	0.82
3001-501	1.13	3.9	0	13	11	0.787
8003-201	0.95	4.6	0	16.7	12	0.744
8004-100	1.49	22.03	0.405	12.1	13	0.719
4021-704	0.57	1.06	0	28.6	14	0.71
4021-401	1.77	1.87	0	0	15	0.705
7011-800	0.25	74.75	0.522	28.9	16	0.675
7010-208	0.5	92.97	0.707	21.3	17	0.651
3001-203	0.99	22.1	0	4	18	0.586
4021-500	0.64	62.23	0.04819	0	19	0.554
7023-404	0.23	54.24	0.263	22.7	20	0.545
8004-300	0.82	39.97	0.332	10.9	21	0.43
7010-206	0.35	71.51	0.652	24.4	22	0.424
7014-304	0.37	43.44	0.327	22	23	0.411
5005-100	0.92	7.73	0	6.5	24	0.411
7019-400	0.47	50.68	0.456	20.7	25	0.378
3001-502	0.82	3.54	0	9.9	26	0.367
7027-400	0.91	0.68	0	8	27	0.363
7029-502	0.86	14.01	0.369	18.7	28	0.345
7019-300	1.36	39.72	0.508	0	29	0.339
7023-200	1.06	54.83	0.626	4.4	30	0.272
7013-200	0.25	81.38	0.673	19.4	31	0.267
3003-300	0.49	16.23	0.002	11.4	32	0.256
7023-405	0.12	7.46	0.39	50	33	0.255
7019-201	0.72	4.27	0.326	21.4	34	0.245
7014-305	0.67	24.88	0.529	23	35	0.233
3001-400	0.39	30.26	0.00199	6.8	36	0.187
7023-300	1.08	53.02	0.639	2.2	37	0.185
5005-200	0.74	2.18	0	5.4	38	0.128
4024-300	0.54	70.16	0.555	6.6	39	0.108
4021-600	0.82	75.4	0.712	1	40	0.095

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

Table 9. Continuation

Sewer No.	Sewer pipe density (km/ha)	Rate of insufficient hydraulic capacity in wet weather (%)	Velocity in dry weather (m/s)	Defect rate (%)	Priority of repair	Net flow
7023-406	0.4	34.65	0.393	17.5	41	0.088
7013-201	1.01	58.06	0.851	4.8	42	0.049
7013-150	0.41	61.9	0.763	17.6	43	0.029
7011-101	0.37	19.55	0.344	20.1	44	0.026
3003-200	0.31	22.54	0.001	7	45	0.025
7021-201	0.81	12.96	0.126	0	46	0.012
7033-100	0.65	1.82	0	4.6	47	0.008
4024-100	0.3	52.65	0.433	12.7	48	0.006
7012-100	0.47	20.25	0.583	25.4	49	-0.009
7019-100	0.28	9.56	0.358	26	50	-0.011
7023-408	0.52	5.53	0.356	20.6	51	-0.011
7032-102	0.65	3.94	0	3.1	52	-0.015
4021-200	1.06	56.69	0.822	0.7	53	-0.022
7033-200	0.49	2.06	0	8.3	54	-0.023
7019-200	0.16	32.11	0.439	23.2	55	-0.037
8003-200	0.71	12.31	0.468	15.1	56	-0.074
7011-700	0.17	24.79	0.738	36	57	-0.074
7021-202	0.39	5.79	0.306	19	58	-0.108
4021-800	0.47	89.92	0.748	1.1	59	-0.108
7010-204	0.28	66.24	0.679	11.4	60	-0.16
7029-501	0.65	18.07	0.21	0	61	-0.184
3001-100	0.41	4.32	0	4	62	-0.206
4022-300	0.25	55.66	0.668	14.5	63	-0.208
8004-502	0.26	21.38	0.117	5.7	64	-0.213
4021-700	0.88	50.85	0.909	5.7	65	-0.222
7014-303	0.35	26.77	0.59	19.9	66	-0.23
7014-301	0.44	0.69	0	3.3	67	-0.249
4022-400	0.23	66.12	0.838	15.1	68	-0.254
7013-102	0.4	9.15	0.338	14.5	69	-0.254
4022-200	0.48	45.18	0.496	4.2	70	-0.272
7013-103	0.73	6.71	0.621	16.1	71	-0.28
7013-104	0.18	17.74	0.486	22.4	72	-0.288
7030-201	0.43	11.43	0.413	14.5	73	-0.3
7011-301	0.37	13.55	0.63	23.2	74	-0.315
7013-100	0.55	49.77	0.84	10.2	75	-0.325
3004-200	0.25	15.32	0	0	76	-0.354
4021-100	0.75	55.09	0.851	1.2	77	-0.371
4023-100	0.34	7.51	0.331	11.6	78	-0.41
7026-601	1.05	2.46	1.189	21.6	79	-0.416
7023-403	0.39	19.47	0.301	3.1	80	-0.452



Table 9. Continuation

Sewer No.	Sewer pipe density (km/ha)	Rate of insufficient hydraulic capacity in wet weather (%)	Velocity in dry weather (m/s)	Defect rate (%)	Priority of repair	Net flow
7010-203	0.28	58.4	0.643	2.9	81	-0.513
4024-200	0.32	44.79	0.66	7	82	-0.526
7030-202	0.2	7.16	0.357	12.1	83	-0.567
4020-201	0.35	13.48	0.492	10.9	84	-0.574
7010-207	0.38	9.87	0.584	11.4	85	-0.691
7011-401	0.26	18.03	0.311	0	86	-0.707
8004-201	0.25	28.87	0.411	0	87	-0.721
7011-302	0.21	15.56	0.604	8.1	88	-0.906
7012-200	0.28	40.61	0.998	7.8	89	-0.966
4023-200	0.5	26.48	1.096	6.4	90	-1.085

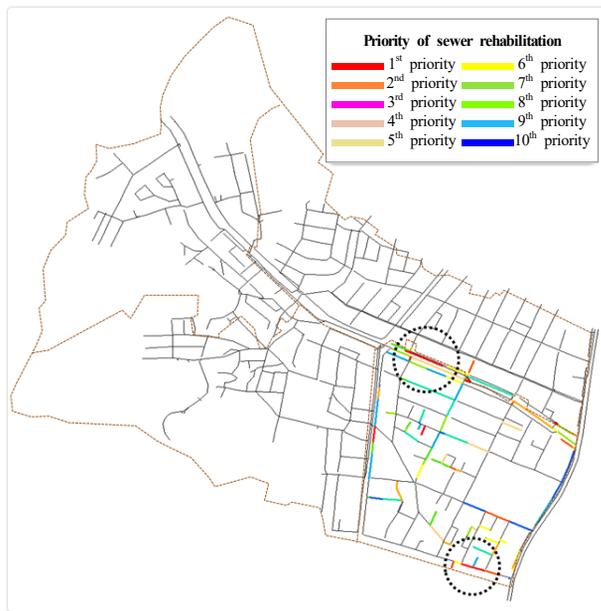


Fig. 4. Priority of sewer rehabilitation when the same weights are applied.

하게 된다. 이때 PROMETHEE로부터 정비우선순위 결과는 98개 전체 대안 가운데 순흐름량이 1.606으로 가장 높은 값을 나타내며 7010-205 관로가 가장 시급하게 정비되어야 하는 관로로 보여준다. 다음으로 정비되는 순위는 3003-100, 7011-501, 8004-200 순으로 보여주고 있다. 반면 가장 낮은 정비대상 관로는 -1.583의 순흐름량을 갖은 4023-200 관로를 보여주고 있다. 각 평가항목별 동일한 가중치(0.25)를 적용하였을 때, 정비우선순위에 따른 관로구간별 평가항목은 Table 9에서 볼 수 있으며, 7010-205 관로를 보면 98개

의 관로 중에 관로밀도가 첫번째로 가장 높고, 우천시 부족단면률(64.94%)은 17번째로 크게 보이며, 청천시 최소유속(0.692%)은 80번째로 작으며, 관로불량률(29%)은 4번째로 높게 나타나 우선순위 정비하는데 있어 다른 평가항목과 비교하여 상대적으로 높은 순위에 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 동일한 가중치를 적용했을 때 PROMETHEE 기법에 의해 구한 정비우선순위를 순위에 따라 10구간으로 나눠 GIS에 표시하였다. 관로구간별 우선순위를 통해 가장 정비가 시급한 지역을 추정하거나 위험지역을 선정하여 그 지역에 순차적으로 하수관로정비사업을 시행해야 할 것이다. 또한, 여기서 적용된 각 평가항목에 따른 가중치를 동일하게 적용했을 때의 결과를 확인했지만, 각 평가항목에 따라 서로 다른 가중치의 범위를 설정하여 결과값을 도출한다면 좀 더 객관적인 관로정비 우선순위를 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 PROMETHEE를 AHP와 함께 적용하여 소구역별 면(面)단위정비의 우선순위, PROMETHEE를 적용하여 관로구간별 선(線)단위정비의 우선순위를 결정하는 방안을 제시하였다. 하수관로 정비계획 우선순위 산정을 위한 평가기준으로 통수능, 최소유속, 관로밀도, 불량률의 4가지 항목을 사용하였다.

1) 구산1 배수분구의 4개의 소구역을 대상으로 실시한 면단위 정비 우선순위 산정결과, PROMETHEE I

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301

기법을 활용할 때에는 4개의 소유역 중에서 제1순위로 d구역이 선정되었다. a구역, c구역, b구역은 서로 비교불가능한 관계이며 d구역에 비해 우선순위가 뒤처진다. 한편, PROMETHEE II 기법을 적용했을 때 선호유출량과 선호유입량의 차이인 순흐름량으로 산정된 결과를 보면 d구역이 0.323로 가장 크게 나타나고 a구역, c구역, b구역 순으로 작아지는 것을 알 수 있다.

2) 또한, 4개 소구역 중에서 가장 정비순위가 높은 d지역에 대해, 관로 평가항목별 동일한 가중치를 적용하여 98개의 관로별 선정비 우선순위 산정이 가능함을 보여주었다. 본 연구에서는 선정비 우선순위에 따라 10개 등급으로 분류하여 구간별로 GIS 상에 표시하여 시각화를 통한 설계 및 시공상의 편의를 제공할 것을 제안하였다. 관로구간별 우선순위를 시각화하여 나타냄으로써 가장 정비가 시급한 지역, 차순위 위험 지역 등을 파악하기 쉽도록 제시하여, 순차적인 하수관로정비사업이 용이하게 수행될 수 있도록 하였다.

본 연구에서 제시한 의사결정기법은 고급의 과학적이고 복잡한 다기준의사결정기법이지만 의사결정자가 최종적인 결정을 내리는데 도움이 되는 정보를 제공하는 것이 중요한 핵심일 것이다. 실제 활용성 측면에서는 방법론 상의 이해하기 쉬운 단순성도 중요한 고려사항이 될 수 있음도 주지해야 할 것이다.

## 사 사

이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-과학기술인문사회 융합연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017M3C1B6070095)

## References

- Ariaratnam, S., El-Assaly, A., and Yang, Y. (2001). Assessment of infrastructure inspection needs using logistic models, *J. Infrastruct. Syst.*, 7(4), 160-165.
- Berardi, L., Giustolisi, O., Savic, D.A., and Kapelan, Z. (2009). An effective multi-objective approach to prioritization of sewer pipe inspection, *Water Sci. Technol.*, 60(4), 841-850.
- Brans, J.P. (1982). L'ingenierie de la decision. Elaboration d'instruments d'aide a la decision. Methode PROMETHEE. In: Nadeau, R., Landry, M. (Eds.), L'aide a la decision: Nature, instruments et perspectives d'avenir, Presses de l'Universite Laval, Quebec, Canada, 183-214.
- Brans, J.P., and Vincke, P. (1985). A preference ranking organization method: The PROMETHEE method for MCDM, *Manag. Sci.*, 31(6), 647-656.
- Chung, C.K., Park, K.H., and Choung, Y.K. (2001). Optimization of sewer rehabilitation in a subcatchment area by genetic algorithm, *Korean Soc. Civ. Eng.*, 21(3-B), 295-304.
- Fenner, R.A. (2000). Approaches to sewer maintenance: a review, *Urban Water*, 343-356.
- Fenner, R.A., and Sweeting, L. (1999). A decision support model for the rehabilitation of 'non-critical' sewers, *Water Sci. Technol.*, 39(9), 193-200.
- Jeong, E.S. (2011). Ranking abnormality taking place in applying AHP, *Korea Water Resour. Assoc.*, 44(10), 72-79.
- Jin K.H., Kang, H.H., and Hwang, H.J. (2007). "Development and use of decision support system for sewer rehabilitation", *The 33rd KSCE conference CIVIL EXPO 2007*, Busan, Korea, *Korea soc. civ. eng.*, 3742-3745.
- Kessili, A. and Benmamar, S. (2016). Prioritizing sewer rehabilitation projects using AHP-PROMETHEE II ranking method, *Water Sci. Technol.*, 73(2), 283-291.
- Kim, G.H., Seon, S.P., Yeo, K.D., and Kim H.S. (2012). Determination of investment priority for river improvement project at downstream of dams using PROMETHEE, *Korean Soc. Civ. Eng.*, 32(1), 41-51.
- Kim, T.J. (2002). The Development of Sewer Optimal Rehabilitation Decision Making System by Considering Inflow/Infiltration, Master's thesis, Korea University.
- Marzouk M., and Omar, M. (2013). Multiobjective optimization algorithm for sewer network rehabilitation, *Struct. Infrastruct. Eng.*, 9(11), 1094-1102.
- McDonald, S., and Zhao, J. (2001). Condition assessment and rehabilitation of large sewers, *International conference on underground infrastructure research*, University of Waterloo, Canada, 361-369.
- Min, J.H., and Song Y.M. (2003). PROMETHEE for multicriteria decision making, *Seogang J. Bus.*, 14(2), 109-127.
- Park, K., Ryu, J., Chung, C., and Choung, Y. (2002). "Optimization of sewer rehabilitation considering transportation disruption cost", *Proceedings of SOM 2002*, IWA Conference at Bradford, UK.
- Park, S.Y., Kim, J.H., and Kim, S.K. (2005). A mixed-integer programming model to draw the concordance level and the Kernel set for the implementation of ELECTRE IS, *J. Korean Inst. Ind. Eng.*, 31(4), 265-276.
- Plenker, T. (2002). Computer aided decision support on choosing



- the right technology for sewer rehabilitation, *Water Sci. Technol.*, 66(6-7), 403-410.
- Ryu, J., and Park, K. (2015). Planning rehabilitation strategy of sewer asset using fast messy genetic algorithm, *Lect. Notes Mech. Eng.*, 20, 61-71.
- Pirlot, M. (1997). A common framework for describing some outranking methods, *J. Multi-criteria Decis. Anal.*, 6, 86-92.
- Roy, B. (1990). Decision-aid and decision-making, *Eur. J. Oper. Res.*, 45(2-3), 324-331.
- Roy, B. (1991). The Outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, *Theory and Decis*, 31, 49-73.
- Ryu, J.N. (2002). Optimization model for decision making of investment priority and sewer rehabilitation schedule using fast messy genetic algorithm, Master's thesis, Chung-Ang University.
- Saegrov, S. (2006). *CARE-S computer aided rehabilitation of sewer and storm water networks*, IWA publishing, London, UK.
- Seoul. (2003). Evaluation of methods for analysis of effect of sewer rehabilitation projects.
- Seoul. (2011). Report on detail design for sewer rehabilitation at sub-catchment Gusan 1.
- Tagherouit, W.B. (2011). A fuzzy expert system for prioritizing rehabilitation of sewer networks, *Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng.*, 26, 146-152.

pp. 239-250

pp. 251-258

pp. 259-266

pp. 267-276

pp. 277-288

pp. 289-301