Journal of the Korean Geo-Environmental Society
18(6): 31～37. (June, 2017) http://www.kges.or.kr
ISSN 1598-0820
DOI https://doi.org/10.14481/jkges.2017.18.6.31

하수관로 건전도와 도로함몰 발생 상관관계 분석

Correlation Analysis of Sewer Integrity and Ground Subsidence

김 진 영[1] · 강 재 모[†] · 최 창 호[2] · 박 두 희[3]
Jinyoung Kim · Jaemo Kang · Changho Choi · Duhee Park

Received: April 18th, 2017; Revised: April 24th, 2017; Accepted: May 11th, 2017

ABSTRACT : In recent years, the increasing trend of ground subsidence in major cities has caused social problems. Aged sewer pipeline as a main attribute for the subsidence is simply replaced and maintained according to a survey result with related to its buried period. However, other attributes and risk analysis for the subsidence have not been well studied yet. In this point, this study proposed various environmental and structural attributes with related to sewer pipelines and, then, a method of ground subsidence risk evaluation with a certain level of reliability. In order to find effective attributes to ground subsidence near to sewer, the nearest sewerage data were extracted at the location of subsidence in the City of Seoul, and a level of correlation was analyzed between subsidence and individual attribute. The effective weight factors for the proposed attributes was estimated through AHP analysis and its applicability was verified by comparing the actual subsidence data to the risk evaluation in the pilot study district of Seoul.

Keywords : Sewer, Sinkhole, Ground subsidence, Analytic Hierarchy Process

요 지 : 최근 도심지에서 도로함몰 발생의 증가추세가 사회문제로 대두되고 있다. 도로함몰의 주된 원인으로 주목받고 있는 노후 하수관의 경우 단순히 매설연도에 의존하여 하수관 교체 및 보수보강 등의 관리가 이뤄지고 있으며, 도로함몰 발생의 위험성예측에 대하여 많은 연구가 진행되지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 다양한 하수관 및 주변 환경 정보를 고려하여 신뢰성 있는 도로함몰 위험도 평가 방안을 제시하고자 하였다. 영향인자 도출을 위해 도로함몰이 가장 많이 발생한 서울시를 중심으로 도로함몰 발생지점 인근의 하수관로의 정보를 추출하고, 도로함몰과 하수관로의 건전도 및 관로 주변 환경의 상관관계를 분석하였다. 또한, AHP 분석을 통해 영향인자 간 중요도를 평가하여 인자 간 가중치가 부여된 도로함몰 위험도 평가 방법을 제시하였다. 제시된 방법론의 신뢰성 검증을 위해, 시범지역에 실제 도로함몰 발생 데이터와 위험도 분석결과를 비교해 상관성을 검토하였다. 상관성 검토 결과로부터 본 연구를 통해 제시된 방법을 활용하여 신뢰성 있는 도로 함몰 위험지역 예측이 가능한 것으로 확인되었다.

주요어 : 하수관로, 싱크홀, 도로함몰, AHP 분석

1. 서 론

인구 밀집도가 높은 도심지를 중심으로 도로함몰 현상이 빈번히 일어나면서 지하공간에 다양하게 분포된 시설물과 매설관의 관리에 대한 국가적 관심이 증대하고 있다. 도심지를 중심으로 증가하고 있는 도로함몰 현상은 도시 유입 인구가 늘어나면서 지하철, 지하도 등의 교통사업 관련 시설과 국민 생활의 기반이 되는 상·하수도, 통신, 전력 등과 같은 유틸리티 관들이 체계적인 계획 없이 건설되면서 발생 위험을 높였으며, 특히 최근에는 이러한 시설물들의 노후화가 가속되면서 도로함몰의 위험도와 발생 빈도가 더욱 높아지고 있는 실정이다.

최근 서울시에서 발생한 도로함몰 현황을 보면 2010년부터 2015년까지 5년간 약 4,000건의 도로함몰이 발생하였으며, 해마다 증가하는 추세에 있음을 알 수 있다(Lee et al., 2015).

서울시를 중심으로 조사된 도로함몰 발생 원인을 보면, 약 80% 이상이 하수관의 손상으로 인해 발생하는 것을 확인할 수 있으며(JoongAng-Ilbo, 2015), 일본의 경우도 1999년부터 2009년까지 10년간 발생한 도로함몰의 30～50%가 하수관 손상으로 인해 발생한 것으로 조사되었으며, 하수관의 부설연수가 30년을 넘으면 도로함몰의 위험도가 급격히 증가하는 것으로 확인된 바 있다(Kim, 2014).

빈번해지는 도로함몰 사고에 대응하여 환경부에서는 2015년 한 해 동안 전국 하수관의 30%를 차지하는 20년 이상 노후관로 약 40,000km 구간을 대상으로 정밀조사를 실시한 바 있으며, 노후관로 내부 진단방법을 구체화한 '하수관로 정밀조사 매뉴얼(Ministry of Environment, 2015)'을 발간한 바 있지만, 시설물을 대상으로 한 직접적인 조사방법은 시

1) Post'. Doc, Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
† Ph.D Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University (Corresponding Author : jmkang@kict.re.kr)
2) Research Fellow, Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
3) Associate Prof., Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

간상, 예산상의 이유로 국토 전 구간에 대한 광역적이고 상시적인 도로함몰 위험을 예측하기에는 한계가 따른다.

국토부에서는 도로함몰로 인한 도심지형 재난 피해를 예방하고 종합적인 지하시설물 관리를 위한 일환으로 「지하시설물의 안전관리에 대한 특별법」을 공포하고, 2018년부터 시행할 계획에 있으며, 이와 연계한 지하안전정보체계 구축의 일환으로 지하 공간 통합지도와 지하 공간 안전관리시스템을 구축하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 국토부에서 통합관리하고 있는 시설물 정보를 바탕으로 도로함몰의 주요 원인으로 지목되는 하수관에 대한 도로함몰 위험도를 평가하기 위한 연구를 수행하였다. 지하공간 통합 지도를 통해 GIS 정보를 토대로 관리되는 관로 ID, 설치연도, 관종, 관경, 길이, 매설깊이, 탐사결과, 배수방식, 관리기관 등의 정보들을 대상으로 도로함몰과의 상관관계를 분석하여, 위험도 평가에 활용 가능한 영향 인자를 도출하였으며, 영향 인자들에 대한 AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석을 통해 도로함몰 위험도 예측을 위한 상태평가 방법론을 제시하였다.

제시된 도로함몰 위험도 상태평가 방안의 신뢰성 검증을 위해 서울시의 ○○지역을 대상으로 실제 도로함몰 발생 현황과 해당 지역의 하수관 정보를 이용한 도로함몰 위험도 상태평가 결과를 비교·분석하였다.

2. 하수관로 주변 도로함몰 위험 영향 인자 도출

하수관은 관리 주체인 지자체에 의해 매년 상태점검 계획을 수립하여, 특정 구간을 대상으로 CCTV를 이용한 내부 건전도 조사가 이루어진다. 최근에는 도로함몰과 관련하여 20년 이상 노후관에 대한 정밀조사를 실시한 바 있으며, 조사 결과에 따라 하수관 개보수가 이루어지지만, 이러한 접근은 예산과 시간상의 이유로 국토 전 구간에 대한 도로함몰 위험도를 파악하기에는 어려움이 따른다. 현재 국토부에서 통합 관리되는 하수관 정보는 실제 하수관 조사를 통해 수집되는 정보의 일부분만 활용이 가능하여 실제 하수관의 건전도를 판단하기 위해 활용되는 다양한 정보를 활용할 수 없는 단점이 있다.

Table 1. Sewer layer of underground space integrated map

	List	Item
1	Sewer management information	Topography mark, Management number, Area code, Map number, Management agency code, Construction number, Start and end point manhole management number
2	Sewer data	Installation data, Sewer expense, Texture, Scale, Conformation, Pipe size, Extension
3	Sewer burying information	Start and end point, Sewer invert elevation mean slope, Lane passage number
4	Sewer discharge information	Storm and sewage drainage area, Velocity of flow

따라서, 본 연구에서는 지하 공간 통합 지도 구축을 위해 수집되는 하수관과 관련한 한정적인 정보들을 이용하여 도로함몰의 위험도를 예측할 수 있는 방법론을 도출하고자 하였으며, 이러한 접근법은 보다 많은 시설물 정보를 토대로 한 건전도 평가나 도로함몰 예측에 비해 신뢰성이 떨어질 우려가 있으나, 국토 전 구간에 대한 광역적인 예측이 가능하고 실제 가용한 정보들을 이용한다는 측면에서 보다 현실적인 접근법이 될 것으로 판단된다.

지하 공간 통합지도를 통해 구축될 하수관로 관련 데이터는 Table 1에 나타난 것처럼 관로 관리정보, 재원, 매설정보, 통수정보가 있으며 각각의 정보들에 대한 도로함몰과의 연관성을 확인하기 위해 실제 도로함몰 발생 현황과 대상 정보들과의 개별적인 비교·분석을 수행하였다.

본 연구에서는 서울시에서 발생한 3,266건의 지반함몰 현황을 분석하여 지반함몰 발생지점에서 가장 가까운 하수관로의 데이터를 분석하였으며, 지반함몰과 관련된 하수관로의 개별적인 항목들과 도로함몰 발생 현황과의 비교를 통해 도로함몰 영향도를 평가하였다.

2.1 매설연도와 도로함몰 발생 분석

하수관로의 매설연도는 CCTV를 이용한 건전도 조사 및 개보수 우선도를 판단하는 가장 중요한 요소이다. 일본의 경우도 내구연수 30년을 초과한 하수관을 대상으로 매년 상태점검을 실시하고, 우선적으로 관로를 보강하거나 교체하고 있다(Kim, 2014).

서울시에서 관리하는 전체 하수관로의 매설연도와 도로

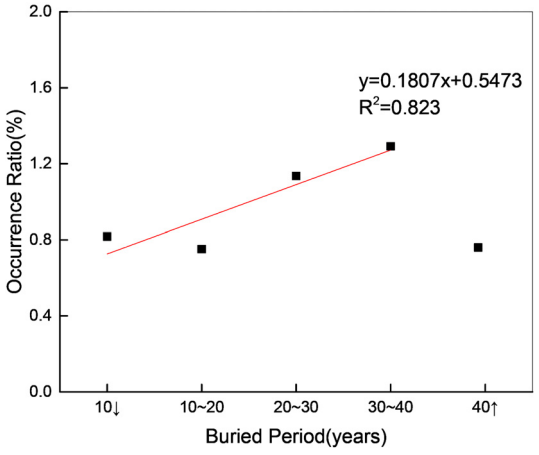


Fig. 1. Ground subsidence with related to the buried period of sewer

함몰 발생지점 주변 하수관로의 매설길이의 비율을 분석한 결과는 Fig. 1과 같으며, 40년 이상 된 관은 분석에서 제외하였다. 도로함몰이 40년 이상된 관에서 가장 많이 발생했지만, 전체 관의 매설연도가 1900년인 경우가 전체 하수관의 30% 이상으로 나타났으며, 이는 매설연도가 미상일 경우 1900년도로 기입되었기 때문이다. Fig. 1의 1차원 회귀분석 R^2 값으로부터 매설연도가 증가할수록 지반함몰 발생 비율이 증가하는 경향을 알 수 있다.

2.2 하수관 직경과 도로함몰 발생 확률 분석

서울시 하수관망도로부터 추출한 하수관은 직경 450mm 관이 가장 많았고(약 38%), 600mm관(약 30%), 300mm관(약 12%) 순으로 나타났다. 그 중 도로함몰이 일어난 위치에서 가장 가까운 하수관의 직경은 총 21종으로 600mm관(42%)에서 가장 많이 발생했으며, 450mm 관(26%), 800mm(7%)관 순으로 나타났다.

Fig. 2는 서울시에 설치된 각 하수관로 직경별 전체 연장에 대한 지반함몰 발생 구간에서의 직경별 연장의 비를 보여주고 있다. 하수관 직경별 발생빈도를 보면 관경이 커질수록 도로 함몰 발생 비율이 커지는 경향을 확인할 수 있다.

또한, 관경과 도로함몰 상관관계를 Pearson 상관분석 방법을 적용하여 해석하면 상관계수가 약 0.7로 높은 상관성을 보여 관경과 지반함몰 발생 상관도가 높고, 이를 통해 하수관 관경이 커질수록, 도로함몰의 위험이 높아지는 것을 알 수 있다.

2.3 하수관 관종과 도로함몰 발생 확률 분석

서울시의 하수관로의 관종을 살펴보면 Fig. 3과 같이 크게 4가지의 관이 있다. 흄관(HP)은 주요 관 중 88%로 높은 비율을 차지했고, RC-BOX 8%, PVC유공관 2%, PVC관 1% 순으로 나타났다(Table 2). 도로함몰이 일어난 위치에서의 관종은 흄관(HP)이 92%로 기존 흄관(HP)의 비율보다 지반함몰 발생 관의 비율이 높게 나타나 흄관 주변에서 지반함몰 발생 위험이 더 큰 것으로 판단된다. 이는 흄관이 전체 하수관 중 가장 높은 비율을 차지하고 있고, 내구성이 다른 관에 비해 떨어지며, 대부분 오래된 관이기 때문이라고 판단된다.

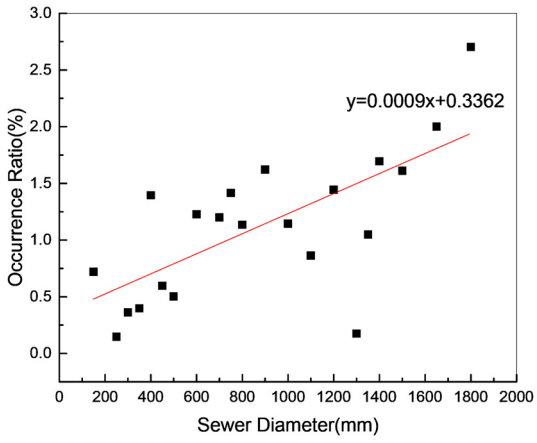


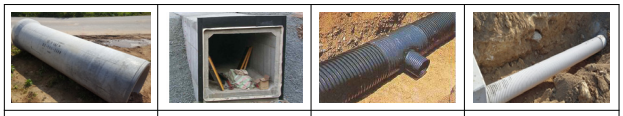
Fig. 2. Correlation between the sewer diameter and subsidence

2.4 하수관 매설깊이와 도로함몰 발생 상관관계 분석

Table 3은 하수관로의 매설깊이에 통계자료를 보여준다. 도로함몰 근처의 하수관의 매설깊이는 1m 미만이 약 60%로 가장 많았고, 1m～2m는 약 34%, 2m～3m는 약 3%, 3～5m는 약 1%, 5m 약 0.5%로 나타난 것을 확인할 수 있었다. 하수관의 매설깊이는 Table 3에 나타난 것처럼 대부분 약 1m에 묻혀 있는 것으로 나타났다.

2.5 하수관 배제 방식과 도로함몰 발생 상관관계 분석

서울시의 하수관로 배제 방식은 합류박스관거, 개거, 측구, 합류관거, 우수관거, 우수박수관거, 오수관거, 오수박스



HP	RC BOX	THP	PVC

Fig. 3. Main sewer type buried in Seoul

Table 2. Major type of sewer in Seoul

Type	Number	Ratio (%)	Number of sewer closest to subsidence	Ratio (%)
HP	299,164	88	2,658	92
PVC	2,921	1	7	0
RC-Box	28,913	9	148	5
GRP	1,474	0	11	0
DCIP	139	0	1	0
THP	6,627	2	60	2
Total	353,847	100	2,885	100

Table 3. Sewer buried depth in Seoul

Buried depth	Number	Ratio (%)	Number of sewer closest to subsidence	Ratio (%)
5 m above	1,554	0.41	18	0.55
3～5 m	6,261	1.65	40	1.23
2～3 m	16,386	4.31	108	3.31
1～2 m	105,108	27.66	1,115	34.15
1 m below	250,743	65.98	1,984	60.77

관거, 차집관거, 인입관연결선, 차집박스관거로 나눠진다. 이를 크게 3가지 형식으로 분류하면 합류식 관로, 우수관, 오수관으로 나눌 수 있다. Table 4는 서울시의 하수관로의 대표적인 배제 방식과 도로함몰이 발생 한 곳의 배제 방식별 분류를 나타낸다. 도로함몰 발생지역 근처 관을 살펴보면 합류식은 약 92.8%, 우수관은 2.48%, 오수관은 4.74%로 나타났다.

Table 4. Sewer removal system in Seoul

Removal system	Number	Ratio (%)	Number of sewer closest to subsidence	Ratio (%)
Combined	318,083	92.7	2,992	92.8
Storm pipe	8,274	2.4	80	2.5
Sewer pipe	16,748	4.9	153	4.7
Sum	343,105	100	3,225	100

3. 도로함몰에 영향을 미치는 항목에 대한 AHP 분석

서울시 도로함몰 발생 지점 주변의 하수관로 정보를 토대로 도로함몰과의 상관관계를 확인한 결과 관종, 관경, 매설연도, 배수형태가 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났으며, 매설깊이는 관로의 약 95%가 2m 이내에 묻혀 있고, 깊이와 도로함몰 발생의 Pearson 상관계수가 0.2로 낮아 평가 항목에 제외했다. 또한 간접적으로 관로 건전도에 영향을 줄 수 있는 항목으로 전문가들의 의견을 반영하여 주변 도로 현황과 유지관리 현황을 추가 항목으로 선정하였다. 세부 평가 항목으로는 앞서 분석한 도로함몰이 발생한 곳의 하수관 정보를 토대로 항목별로 3단계의 등급으로 나누고 AHP 분석을 통해 항목별 가중치를 부여하여 위험도를 산정한다.

이를 통해, 도로함몰과 높은 상관관계를 보이는 6개 인자를 이용하여 도로함몰 위험도를 평가하는 방법을 제시하고자 하며, 평가 방법은 Eq. (1)과 같이 각각의 영향인자가 도로함몰에 기여하는 영향력 지수(impact factor)를 산정하여, 영향인자에 영향력 지수를 곱한 값의 총합을 위험도로 표현하였다.

$$SRI_s = \sum_{1}^{6} (Factor_x)(IF_x) \quad (1)$$

여기서, $Factor_x$: 도로함몰 영향인자

IF_x : 영향력 지수

SRI_s : 하수관 주변 도로함몰 위험도

하수관 정보를 통한 도로함몰 위험도 평가를 위해서는 각각의 영향인자가 하수관 주변 도로함몰 평가 점수에 미치는 영향력을 정량화할 필요가 있다. 영향력 지수를 설정하기 위한 방법으로 다기준 의사결정(Multi-Criteria Decision Making : MCDM) 방법 중 하나인 계층적 분석 과정(AHP) 기법을 활용하였으며, 이러한 방식을 통해 의사결정 문제를 계층화한 후 각 평가 기준의 관점에서 대안들의 상대적 중요도와 평가기준들 간의 상대적 중요도를 상대비교(pairwise comparison)에 의해 측정하였다. AHP 기법은 전문가들의 집단의사결정을 체계화할 수 있는 방법이며 의사결정의 대상들에 대한 상대적 중요도를 결정하는데 유용한 방법으로서 구조화된 설문을 통하여 전문가들의 의견을 수집 분석하여 종합한 가중치를 산정할 수 있다는 점에서 도로함몰의 위험도를 예측하는 데 있어 적합한 방법론으로 판단된다.

AHP 기법은 Vargas(1990)에 의하여 관리기법에 관한 연구에 폭넓게 시행되었으며 Saaty(1983, 1986, 1994)에 의해 MCDM에서의 적용 연구가 이루어졌다. 계층적분석과정은 논리가 쉽고 객관적 평가요인뿐만 아니라 주관적 요인도 포함하는 편리한 의사결정방법으로 국내외에서 의사결정에 많이 이용되고 있다. 국내에서는 상수관의 노후도를 판정하기 위한 방안으로 활용된 바 있으며, 상수도 시스템 관리(Kim et al, 2007) 하천 수질개선 우선순위(Park et al., 2012) 선정 등의 연구가 진행 바 있다. 재난 예측과 관련해서는 산사태 위험지역을 분석하기 위한 방법으로 AHP 기법이 활용된 바 있다(Lee et al., 2006).

3.1 의사결정 요소들의 쌍대 비교(Pairwise comparison) 행렬 작성

Saaty(1983, 1986, 1994)가 제안한 계측적 구조화 기법에 의해 하수관의 도로함몰 위험도를 Fig. 4와 같은 구조로 나타낼 수 있다. 도로함몰 영향도 분석을 통해 도출된 영향인자는 Sub-Criteria에 위치하며, 평가구간은 Alternatives에

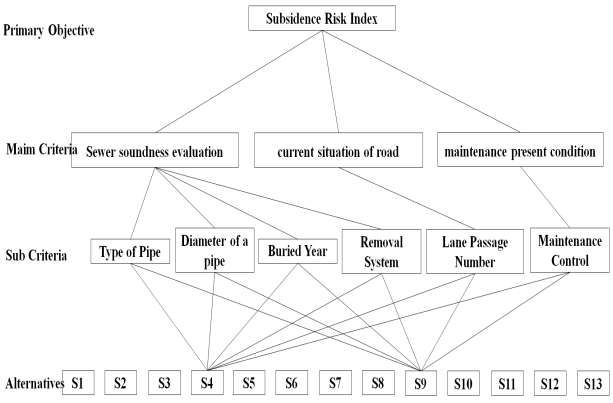


Fig. 4. Analytical hierarchy process for subsidence risk assessment

위치하게 된다.

영향인자들의 중요도에 대한 의사결정자의 선호도를 평가하는 단계로써 각 계측 내의 평가요소들을 서로 비교하여 쌍대 비교 행렬을 작성하였으며, 각 요소들 간의 중요도를 판단하는 기준이 되는 쌍대 비교 척도는 Table 5와 같다.

중요도의 척도에 따라 쌍대 비교를 통해 행렬 Eq. (2)가 구성되는데, 이는 주 대각선의 원소들이 모두 1이 되는 역수행렬이다. 여기서, w_i와 w_j는 i번째 속성과 j번째 속성의 가중치이며, $i, j = 1,2,3,...,n$ 이다.

$$A_{ij} = w_i / w_j \tag{2}$$

3.2 일관성 검증(Consistency test)

비교 대상을 서로 비교한 후 일관성 여부는 일관성 지수(Consistency Index, CI)와 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)을 구함으로써 검증할 수 있다. 일관성 지수 CI는 λmax를 이용하여 Eq. (3)과 같이 구하며,

$$CI = (\lambda max - n)/(n-1) \tag{3}$$

여기서 구한 일관성 지수 CI를 이용하여 Eq. (4)와 같이 일관성 비율 CR을 구한다.

$$CR = CI/RI \tag{4}$$

여기서 RI는 무작위 일관성 지수(Random consistency Index)를 말하며 1에서 9까지 정수들을 무작위 추출하여 역수 행렬을 작성한 후 이로부터 일치지수를 구한 것을 말하며 표본 500개로부터 무작위 지수를 구하여 평균한 값은 Table 6과 같다. 즉, 쌍대비교를 통해 상대적 중요도를 산정하고자 하는 요소들의 개수(n)에 따른 무작위 일관성 지수 RI값을 Table 6을 통해 구할 수 있으며, 이를 통해 일관성 지수 CR값을 구할 수 있다. CR값이 0.1 이하일 경우에는 일관성이 있다고 말하고, 0.10~0.20 사이일 경우에는 일관성을 인정하는 정도이다. 그러나 만약 0.20을 넘으면 일관성이 없다고 보고 다시 설문을 해야 하거나, 그룹 설문일 경우에는 중요도 산정에서 제외시켜야 한다.

Table 5. Comparing the criteria for importance with respect to the goal

Semantic scale	Value
A, B equally important	3
A weakly more important Than B	2
A strongly more important Than B	1
A very strongly more important Than B	1/2
A absolutely more important Than B	1/3

Table 6. General random consistency index

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3.3 AHP(Analytic Hierarchy Process) 적용 결과

3.3.1 분석 절차

먼저, AHP 분석을 위한 항목을 설정하였다. 분석 항목은 하수관 GIS Data에서 취득 수 있는 자료 중 도로함몰과 연관이 있는 항목들로 Factor와 앞서 분석한 하수관로 제원 중 도로함몰과 연관이 있다고 판단되는 항목 6개로 구성하였다.

- $Factor_1$: 관종
- $Factor_2$: 관경
- $Factor_3$: 매설연수
- $Factor_4$: 배수형태
- $Factor_5$: 관 매설 주변도로 현황
- $Factor_6$: 유지관리 이력정보

위와 같은 항목을 설정하여 쌍대비교 설문지를 만들어 전문가들 총 25명에게 배포하였다. 설문의 내용은 선정된 지수들의 상대적 중요도를 판단하는 내용으로 구성되어 있으며, 평가항목들의 쌍대비교를 묻는 형식으로 작성하였다. 설문 분석을 위하여 각 평가항목 간의 상대적 분석도(가중치), 일관성 지수(CI : Consistency Index)를 검토하였다. 본 연구에서의 무작위 일관성 지수(RI : Random consistency Index)는 1.24(n=6)이다.

AHP 분석 결과 일관성 지수가 부적합인 경우가 Table 7과 같이 2건으로 나타나 이 두 건을 배제하고 결과를 분석하여 오차범위를 최소화하였다. CI 0.1 이상인 2건을 제외하고 23건의 전문가 설문결과를 분석하였다.

전공 분야(지반, 지질, 시설물 유지관리)의 설문결과를 별도로 그룹 지어 분석한 결과는 Fig. 5와 같이 모든 그룹이 매설연도가 지반함몰 발생에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 다른 인자들에 대한 결과도 비슷하게 나온 것을 알 수 있다.

본 연구에서 사용한 도로함몰에 영향을 미치는 Factor 들의 중요도는 매설연수→관종→유지관리 이력→주변도로→배수형태→관경 순으로 나타났다. 항목별 가중치는 Table 8과 같이 산정되었다.

Table 7. Result of CI, CR (Analytic Hierarchy Process)

No.	Consistency index	Consistency ratio	Suitability
1	0.0302	0.0243	Suitability
2	0.0375	0.0302	Suitability
3	0.0563	0.0454	Suitability
4	0.0960	0.0774	Suitability
5	0.0691	0.0558	Suitability
6	0.0843	0.0680	Suitability
7	0.1160	0.0935	Unsuitability
8	0.0383	0.0309	Suitability
9	0.0226	0.0182	Suitability
10	0.0514	0.0414	Suitability
11	0.0378	0.0305	Suitability
12	0.0544	0.0439	Suitability
13	0.0217	0.0175	Suitability
14	0.0326	0.0263	Suitability
15	0.0250	0.0202	Suitability
16	0.0479	0.0386	Suitability
17	0.0000	0.0000	Suitability
18	0.1649	0.1330	Unsuitability
19	0.0216	0.0174	Suitability
20	0.0443	0.0357	Suitability
21	0.0270	0.0218	Suitability
22	0.0215	0.0173	Suitability
23	0.0136	0.0110	Suitability
24	0.0605	0.0488	Suitability
25	0.0753	0.0607	Suitability

Table 8. Weight factors from AHP analysis

	Type of pipe	Diameter of a pipe	Buried year	Removal system	Lane passage number	Maintenance control
Weight	0.1639	0.1270	0.2670	0.1352	0.1458	0.1653
Ranking	2	6	1	5	4	3

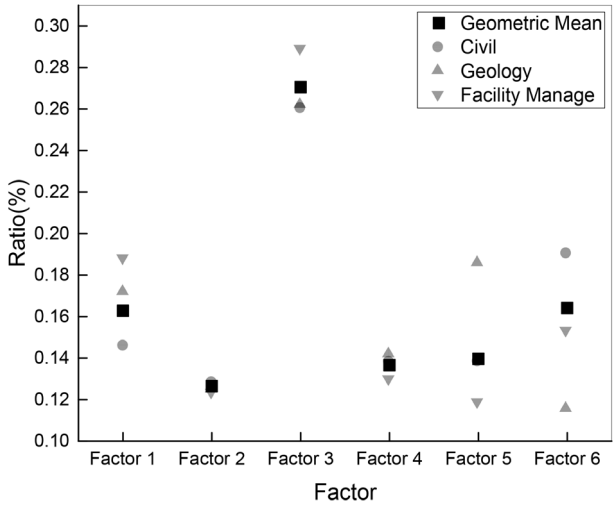


Fig. 5. Weight by each factor

AHP 분석을 통해 산정된 가중치와 분석 방법의 검증을 위해 서울시 OO지구의 하수관로 상태와 실제 도로함몰 발생 현황을 살펴보았다. 시범지구의 전체 하수관로의 길이는 441,171m이며, 제안한 Eq. (1)을 이용한 도로함몰 위험도 상태평가 결과는 Table 9와 같이 나타났다.

상태평가 결과의 적용성을 확인하기 위해, ○○지구의 도로함몰 발생 구간 인근의 하수관을 별도로 추출하여 위험도 평가를 실시한 결과는 Fig. 6과 같다. 전체 하수관로의 도로함몰 위험도 평가결과와 비교해 도로함몰 위험이 큰 것으로 평가되는 E, F 등급의 비율이 80% 이상으로 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 본 연구를 통해 제안한 위험도 평가 방식이 도로함몰 예측에 유효한 것으로 판단된다.

Table 9. Result of sewer condition evaluation in pilot accessment district

	A	B	C	D	E	F
Length (m)	5,853	16,448	36,518	75,121	71,124	236,107
Ratio (%)	1.33	3.73	8.28	17.03	16.12	53.52

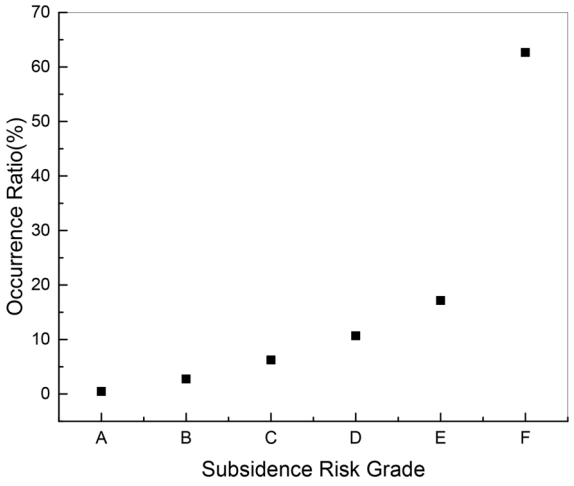


Fig. 6. Rate of subsidence risk grade near subsidence area

4. 결 론

하수관로에 의한 도로함몰 위험도를 판단하기 위해 도로함몰 발생원인 분석과 하수관로의 건전도, 주변 환경과 도로함몰의 상관관계를 분석하여 지하공간 통합지도 상의 데이터를 이용한 위험도 평가 방법을 제시하였다. 본 연구에서 얻을 수 있는 결론은 정리하면 다음과 같다.

(1) 하수관로 주변 도로함몰 위험도 산정을 위해 하수관망도를 이용한 하수관로의 제원을 분석한 결과 매설연도, 직경, 관경, 관종, 매설깊이, 배제 방식 중 매설 깊이를

제외하고 나머지 항목들을 도로함몰과 관련이 있는 항목으로 추출하였다.

(2) 항목별 가중치를 산정하기 위해 AHP 분석을 실시하였으며, 추출한 항목 이외에 도로함몰과 관련이 있는 항목으로 하수관로 주변 도로, 유지관리 이력을 추가하여 분석하였다. 지반함몰 발생에 영향을 주는 인자의 중요도는 매설연수→관종→유지관리 이력→주변지반→배수형태→관경 순으로 분석되었다.

(3) 시범지구의 하수관로 상태평가를 실시한 결과 가장 낮은 등급인 F가 가장 많이 나왔으며, 실제 도로함몰이 일어난 곳의 상태평가 결과는 위험한 등급인 E, F 등급이 대부분으로 나타나 제시한 식과 가중치가 유효한 것으로 나타났다.

상기와 같은 분석을 통해 하수관로의 노후도뿐만 아니라 도로함몰에 영향을 미치는 인자를 분석하여 하수관로 유지보수 우선순위 및 도로함몰 위험도 산정의 정확도를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 국가과학기술연구회의 융합연구사업의 일환으로 수행하였습니다. [융합연구단-14-2-ETRI, 사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발]

References

1. JoongAng-Ilbo (2015), Songpa, Guro-Sand Ground, Jongno-Old Sewerage, A danger zone of ground subsidence, JoongAng-Ilbo, Seoul, pp. 10 (in Korean).
2. Kim, Y. R. (2014), Subsidence occurrence and countermeasure by sewer, Water Journal, Vol. 11.
3. Kim, Y. S., Park, J. I., Lee, D. J. and Jeon, M. G. (2007), Evaluation of risk factors and decision making for rehabilitation of water supply network using AHP, KFIS Spring Conference 2007, Vol. 17, No. 1.
4. Lee, H. H., Lee, E. J. and Hyoun, C. K. (2015), Analysis of risk factors on water and sewage pipeline causing the ground pore, Korea Concrete Institute Conference, pp. 711~712 (in Korean).
5. Lee, Y. J., Park, G. A. and Kim, S. J. (2006), Analysis of landslide hazard area using logistic regression analysis and AHP (Analytical Hierarchy Process) approach, KSCE, Vol. 26, No. 5.
6. Ministry of Environment (2015), Sewer pipe inspection manual.
7. Park, J. S., Moon, B. S., Kim, K. S. and Lee, K. H. (2012), Determine of assessment criteria for priority on river water quality improvement using AHP, KSCE Conference 2012, Vol. 2012, No. 10.
8. Saaty, T. L. (1983), Priority setting in complex problems, IEEE Transactions on Engineering management, Vol. EM 30, No. 3, pp. 140~155.
9. Saaty, T. L. (1986), Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process, Management Science, Vol. 32, No. 7, pp. 843~857.
10. Saaty, T. L. (1994), Highlights and critical points in the theory and application of the analytical hierarchy process, European Journal of Operational Research, Vol. 74, pp. 426~447.
11. Vargas, L. G. (1990), An overview of the analytic hierarchy process & its applications, European Journal of Operational Research, Vol. 48, pp. 2~8.