



AHP Analysis Correlation Study Between Sewer Pipes Buried Underground in Metropolitan and Road Sinking

Myoung-soo Ham¹, Choong-ho Do², Hyun-dong Lee³, Byoung-Chan Jeon^{*4}

¹*University of Seoul*

²*SAMBO Engineering*

³*UST/KICT*

⁴*The College of Liberal Arts, Chungwoon University*

ABSTRACT

Among the major underground structures in the metropolitan area, the rate of underground space occupied by water supply and sewerage facilities is 50 to 60 percent of the total underground storage space. In particular, because more than 90% of the road is laid underground, road accidents are caused by the combination of the normal load and frequency of use of the road, and various reasons such as the structural integration of old water and water pipes, the geological characteristics of the buried area, the precipitation and snow conditions, poor construction of the pipe, and the durability of the pipe according to the number of years that elapsed. Therefore, to understand the correlation between road falls and sewer pipes that occurred for seven years from 2010 to 2016, an important survey was conducted on the importance of setting weights to directly related workers such as experts in sewage areas, Seoul Metropolitan Government and the ward office, and the analysis results were weighted to establish a road map. According to the result analysis, the government planned to implement CCTV, visual inspection, etc. and present systematic and efficient maintenance measures by establishing priority areas for maintenance of sewer pipes. The plan is to present measures for improvement of sewerage maintenance policies and measures for responding to natural disasters through the enhancement of DB information, as well as sensors, asset management, and the improvement of water supply systems.

© 2019 KKITS All rights reserved

KEYWORDS: Geological features of the buried area, Sewer pipes, CCTV, Road Sinking, DB information

ARTICLE INFO: Received 28 May 2019, Revised 6 June 2019, Accepted 7 June 2019.

*Corresponding author is with the Department of Liberal Arts at Chungwoon University, 25 Hong Sung-eup

Hongseong-gun Chungnam, 32244, KOREA.
E-mail address: jbc66@chungwoon.ac.kr

1. 서론

대도시의 주요 지하 매설물 중 상하수 관로 시설의 경우의 지하공간 차지 비율이 전체 지하 매설물 공간 비중의 50~60% 이상이며, 특히 도로 지하에 90%이상 매설되어 있으므로 사용도로의 상재 하중과 사용빈도에 따라 도로함몰 사고가 잦으며, 노후 상하수 관로의 구조적 결함과 매설 지역의 지질특성, 강수량과 매설환경, 관로의 부설시공, 매설 경과년수에 따른 내구성 저하 등 다양한 원인으로 하수관로의 붕괴사고가 발생되고 있다.

서울시에서는 도로함몰 방지 대책의 일환(Seoul Metropolitan City, 2014.8).으로 하수관로에 대한 원인 분석을 위해 2015년 7월부터 서울시 하수관로의 10,722km 중 매설 경과년수가 30년 이상 된 노후관로 2,720km 중 1차 1,333km에 대한 노후관로 상태조사를 실시하여 111km에 대하여 우선적으로 연차적인 정비 계획을 수립 시행하였다.

2010년부터 발생한 서울시 도로함몰 사고 4,737건(하수관로 3,897개소)의 도로 함몰 원인과 하수관로 매설상태, 유지관리 이력, 매설 경과년수 30년 이상 하수관로 2,500km를 대상으로 관 내부 육안조사, CCTV조사, GPR 탐사결과 등을 분석과 함께 도로함몰 방지사업(Seoul Metropolitan City, 2015.8).을 시행하였으나, 이러한 노력에도 불구하고 도로함몰은 꾸준하게 발생되고 있는 실정이다.

본 연구를 통해 최근 2010년부터 2016년까지 7년간 발생되었던 도로함몰과 하수관로의 상관관계를 행정구역별(지질), 강수량, 하수관로 매설년도와의 상관관계 분석을 위해 하수분야 전문가 및 서울시, 구청 등 종사자에게 가중치 설정을 위한 중요도 설문조사를 실시하고 분석결과에 의한 가중치를 부여하여 도로함몰 예측지도를 구축, 도로함몰 발생빈도가 높은 지역을 우선적으로 하수관로 정비 우선 지역으로 설정하여 체계적이고 효율적인 정비방안을

제시하고자 하며, 최근에 급격하게 발전하고 있는 IoT분야와 센서, 자산관리, 하수도 시설물 DB정보의 고도화 등을 통하여 하수관로 정비정책 제도 개선 방안과 국가 자연재해 대응방안을 제시하여 안전사고 대응능력과 하수도서비스 질 향상에 기여하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 AHP 기법 및 계층설정, 제 3장에서는 데이터 분석 및 예측지도 구축 및 검증, 제 4장에서는 결론을 기술한다.

2. Materials and Methods

2.1. AHP 기법

AHP기법은 (Analytic Hierarchy Process) 약자로 Thomas L.Saaty에 의해 제안된 다양한 환경적, 경제적, 기술적인 요인을 반영한 의사 결정기법의 한가지로서 불분명한 의사선택 문제에 있어서 문제를 계층적으로 분석하여 평가할 수 있고, 정성적인 특성들을 정량적인 판단 기준에 따라서 평가함으로써 의사결정 문제에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안 될 정성적 평가 기준들도 비교적 쉽게 처리가 가능하며, 의사결정자의 오랜 경험이나 직관 등을 반영함으로써 보다 객관적이고 일관적인 평가를 할 수 있는 이론이다(Kang Kun Lee,2007)

AHP의 가장 큰 특징은 문제를 구성하는 다양한 평가요소들을 주요 요소와 세부 요소들로 나누어 계층화하고, 계층별 요소들에 대한 쌍대비교를 통해 요소들의 상대적 중요도를 도출하는데 있으며(KDL, Korea Development Institute,2004), 산정된 가중치의 일관성을 검증하여 의사결정의 강건성을 제고하는데 있다(Byeon guk Kim,2015).

이 때, 불일치 정도가 심하여 일관성 비율이 만족스럽지 않으면 평가항목들을 다시 구성하거나 수준과 요소의 개념을 재정의 및 다시 설명한 후 진행한다(Byeon guk Kim,2015).

AHP는 간결한 적용절차에도 불구하고 척도선정, 가중치

형성한다. 하지만 1수준의 계층 수가 많아지면 식이 복잡해지고 분석하는데 많은 시간이 소요되기 때문에 이번 연구에서는 발생월일, 행정구역(지질), 하수관로 매설(설치)년도 3개 수준을 선정하여 AHP 조사를 통해 데이터 분석을 진행하였다.(Dong Hwan Jeong, Yang seok Cho, Kyung hee Ahn, In Cheol Choi, Hyen Mi Chung, Jae kwan Lee, 2016)

3.2.2. 1차 데이터 분석 방법

1차 데이터는 서울시가 보유한 데이터를 이용하였다. 보유 데이터는 첫 번째 행정구역별 하수관로로 인한 도로함몰 발생건수, 두 번째는 월 별 도로함몰 발생건수, 세 번째는 관 설치년도 별 도로함몰 발생 건수로 데이터가 의미하는 바는 <표 1>과 같다.

표 1 보유 데이터
Table 1 Retained data

번호	보유 데이터	데이터의 의미
1	행정구역 별 도로함몰 발생건수	행정구역 지질특성
2	월 별 도로함몰 발생건수	강수량, 기온
3	관 설치년도 별 도로함몰 발생건수	관로의 노후도

1차적으로는 각각의 데이터의 빈도수를 이용하여 도로함몰 가중치를 부여하였다.

첫 번째 행정구역 별 도로함몰 발생건수를 이용하여 1차 가중치를 부여하였다.

지역구 별 가중치 점수 식

<식 1>

$$\text{지역구 별 가중치 점수} = \frac{\text{각 지역구별 도로함몰 발생건수}}{\text{총 도로함몰 발생건수}}$$

각 행정구역 별 가중치 점수산정은 각 지역구별

도로함몰 발생건수에서 하수관로로 인한 도로함몰 발생건수인 3,897건을 나누어 각각의 점수를 산정하였다. 사용한 식은 <식 1>와 같다.

두 번째 월 별 도로함몰 발생건수는 각 행정구역 별로 특성이 다르기 때문에 25개의 행정구역 별로 12월의 가중치 점수를 각각 산정했다. 따라서 각 구별로 상이한 가중치 점수 값을 가진다. 월별 가중치 점수 산정에 사용한 식은 <식 2>와 같다.

월 별 가중치 점수 식

<식 2>

$$\text{월 별 가중치 점수} = \frac{\text{해당 지역구의 해당 월별 도로함몰 발생건수}}{\text{해당 지역구의 도로함몰 발생건수}}$$

세 번째 관 설치년도 별 도로함몰 발생건수 역시 각 지역구 별로 특성이 다르기 때문에 25개의 행정구역으로 먼저 나눈 뒤,

5년 단위로 가중치 점수를 산정했다.

관 설치년도의 범위는 1970년대 이전, 1971-1975년, 1976-1980년, 1981-1985년, 1986-1990년, 1991-1995년, 1996-2000년, 2001-2005년, 2006-2010년, 2011-2016년이다. 마찬가지로 지역구별로 상이한 가중치가 나왔다. 가중치 값을 얻는데 사용한 식은 <식 3>과 같다.

관 설치년도 별 가중치 점수 식

<식 3>

$$\begin{aligned} &\text{관 설치년도별 가중치 점수} \\ &= \frac{\text{해당 지역구 해당 설치년도 도로함몰 발생건수}}{\text{해당 지역구의 도로함몰 발생건수}} \end{aligned}$$

3.2.3. 2차 데이터 분석 방법(AHP기법 방법)

1차 데이터를 분석할 때에는 각 주제 별 도로함몰 발생건수가 있기 때문에 발생빈도에 따른 가중치 분석을 했지만, 3가지 인자 중 어떤 인자가 더 중요

한지 판단할 수 없기 때문에 AHP기법을 이용하였다.

설문지에서 평가기준의 중요도를 평가하고 하나의 계층을 구성하는 각 평가요소들을 돌씩 짝을 지어 상위 평가기준의 관점에서 상대적 중요도를 평가자의 주관적 판단이나 설문을 통해 쌍대비교 평가를 실시한다.

쌍대비교 도식화 모형은 <그림 2>와 같다.

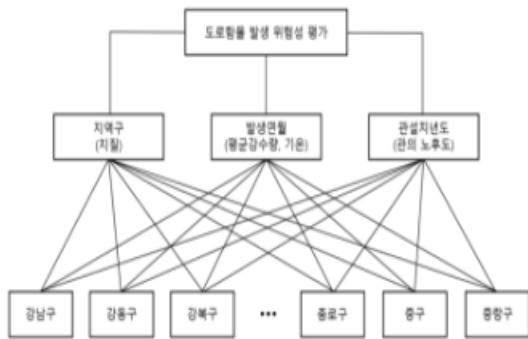


그림 2 AHP 계층 모델에 대한 도로침몰의 위험평가 기준 Hierarchy model

평가기준의 중요도 서술적 평가와 정량화 점수는 매우 중요 3점, 약간 중요 2점, 동일에는 1점, 약간 덜 중요는 $\frac{1}{2}$ 점, 매우 덜 중요는 $\frac{1}{3}$ 점으로 선정했다<표 2>.

표 2 평가 기준의 가중치 중요도 Table 2 Importance evaluation about evaluation criteria

중요도	서술적 평가	정량화 점수
중요 (+)	매우 중요	3
	약간 중요	2
동일		1
덜 중요 (-)	약간 덜 중요	$\frac{1}{2}$
	매우 덜 중요	$\frac{1}{3}$

쌍대비교 전 설문조사를 통해 얻은 172개의 AHP검사 결과를 정리한 후 중요도 평가에 따라 정량화 점수를 산정했고, 지역구와 발생연월을 비교한 정량화 점수는 1.897점, 발생연월과 관 설치년도를 비교한 정량화 점수는 0.679점, 관 설치년도와 지역구를 비교한 정량화 점수는 1.987점을 얻을 수 있었다.

이를 토대로 상대적 중요성 비교를 했고, <표 3>과 같은 표를 얻을 수 있었다.

표 3 세 가지 평가 기준의 상대적 가중치 Table 3 The relative importance of the three evaluation criteria(double evaluation table)

구 분	지역구	발생연월	관 설치년도
지역구	1	1.897	0.503
발생연월	0.527	1	0.679
관 설치년도	1.987	1.473	1
열의 합	3.514	4.370	2.182

위 <표 3>에서 얻은 값으로 열의 합으로 지역구에서는 3.514, 발생연월에서는 4.370, 관 설치년도에서는 2.182라는 값을 얻었다. 이를 각 지점에서의 값에서 열의 합으로 나눈 뒤 행의 합을 평균내면 가중치 값을 얻을 수 있다<표 4>.

표 4 평가기준의 가중치와 결과 가중치 Table 4 Weighting method and result weight of evaluation standard

구분	지역구	발생연월	관설치년도	가중치
지역구	$\frac{1}{3.514} = 0.285$	$\frac{1.897}{4.370} = 0.434$	$\frac{0.503}{2.182} = 0.231$	0.316
발생연월	$\frac{0.527}{3.514} = 0.150$	$\frac{1}{4.370} = 0.229$	$\frac{0.679}{2.182} = 0.311$	0.230
관설치년도	$\frac{1.987}{3.514} = 0.565$	$\frac{1.473}{4.370} = 0.337$	$\frac{1}{2.182} = 0.458$	0.454

다음 단계로는 평가자의 평가나 설문응답의 일관성을 측정하고 일관성비율(C.R.)로 나타내는 과정이다. 평가나 판단이 완벽하면 일관성 비율은 0으로 나타낼 수 있으나, 인간의 판단력에는 한계가 있으므로 대체적으로 $0 < C.R. \leq 0.1$ 일 경우 일관성이 있다(Safety)고 판단한다.

일관성 비율, 지수와 최대 스칼라 값은 <식 4>, <식 5>, <식 6>을 통해서 구할 수 있다.

일관성 비율, 일관성 지수, 최대 스칼라값 식	
$C.R.$ (일관성 비율) = $\frac{C.I.}{R.I.}$	<식 4>
$C.I.$ (일관성 지수) = $\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$	<식 5>
λ_{max} (최대 스칼라값) = $\frac{\sum x_i \cdot w_i}{n}$	<식 6>

Random Index값은 본 연구에서 n의 값이 3이기 때문에 0.58을 사용했다<표 5>.

표 5 n값에 의한 임의 색인값
Table 5 Random Index value according to n value

n 값	≤ 2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

계산결과 최대 스칼라 값은 3.099값이 나왔으며, 일관성 지수(C.I.)값은 0.049값이 나왔다. 일관성 비율(C.R.)값은 0.085값이 나왔으며, $0 < C.R. \leq 0.1$ 기준에 만족하여 전체적인 AHP 검사결과가 일관성 있는 검사라고 할 수 있으며, 이는 곧 의사결정이 타당한 것이라 할 수 있다.

검사 전 172개의 AHP 검사에 대해서도 일관성 검사를 실시했으며, 그 중 15개에서 0.1점 이상의 점수가 나왔다.

이 15개 자료는 일관성이 없는 자료이므로 그 검사는 제외하고 AHP를 실시했다.

3.2.4. 위도·경도 자료, IDW보간기법을 이용한 데이터 분석 및 도로함몰 위험 예측지도 구축

1차 데이터 분석과 2차 데이터 분석을 토대로 가중치를 산정했으며, QGIS 프로그램의 지도에 도로함몰 데이터 위치를 표현하기 위하여 각 지점의 위도·경도를 추가하였다. QGIS는 CSV파일 형식을 지원하고 있으므로(Shafranovich, Y, 2017)

엑셀파일로 정리되어 있는 도로함몰 가중치와 위치 데이터를 CSV파일로 변환하고, QGIS상에 벡터 레이어 형식으로 추가하였다. 벡터 레이어의 위치 좌표계는 추후 예측지도의 확장성을 고려하여 WGS 84 (Decker, B. L, 1986)를 사용하였다. 그 후, 가중치에 대한 범위와 해당 범위의 색상을 설정하여 서울시 지도에 벡터 레이어의 각 지점을 표시하였다<그림 3>.



그림 3 가중치별 벡터값 표시
Fig. 3 The vector value of each point

가중치 범위	색상
0.374506 ~ 0.419367	Red
0.329643 ~ 0.374505	Orange
0.28479 ~ 0.329642	Yellow
0.239918 ~ 0.28478	Light Green
0.195056 ~ 0.239917	Green
0.150194 ~ 0.195055	Light Blue
0.10534 ~ 0.150193	Blue
0.0604679 ~ 0.10533	Dark Blue
0.0156055 ~ 0.0604678	Very Dark Blue
0 ~ 0.0156054	Black

그림 4 가중치 범위에 따른 색상
Fig. 4 Color classification by weight range

이 때 사용한 가중치 범위는 <그림 4>이다.

벡터 레이어는 점 형태로만 나타낼 수 있는데, 본 연구에서 생성하고자 하는 예측지도는 점 형태가 아닌 각 위치들 사이의 값을 결정하는 IDW 보간기법 (Yo Min Jung, hyung Il Umm, 2015)을 사용하여 면 형태로 변경하였다.

벡터 레이어의 각 위치와 가중치 값을 QGIS의 IDW 보간 프로세스에 입력하고 IDW 보간기법의 (Eui Ho Hwang, Kwan sue Jung, 2012)참조 값 개수를 결정하는 거리계수(Distance Coefficient)는 4로 설정하여 서울시 도로함몰 위험 예측지도를 아래와 같이 생성하였다. 또한 해당 도로함몰 예측지도의 행정구역 구분을 위해 안전행정부에서 제공 하는 대한민국 행정구역 레이어를 추가하였다<그림 5>.

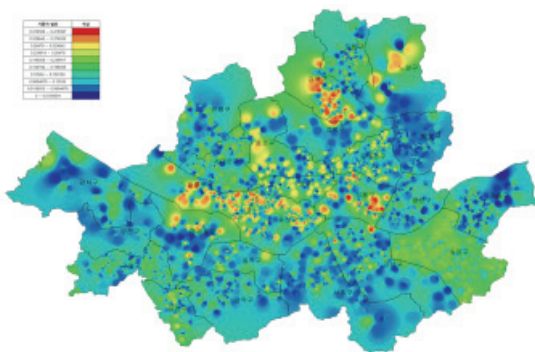


그림 5 서울시의 도로함몰 예측도
Fig 5 Prediction map of road sinking of seoul city

가중치를 토대로 4단계의 등급으로 나누어 구간별로 1등급, 2등급, 3등급, 4등급으로 나누었다. 등급의 분류는 도로함몰의 가중치를 오름차순을 정리하여 그래프로 표현하였고 기울기가 달라지는 변곡점을 찾아서 등급을 분류하였다.(Myoung Soo Ham, 2019.)

1등급에 차지하는 비율은 6.4%, 2등급에서 차지하는 비율은 8.6%, 3등급의 차지 비율은 34.9%, 4등급의 차지 비율은 50.2%로 결정하였다<그림 6><표 6>.

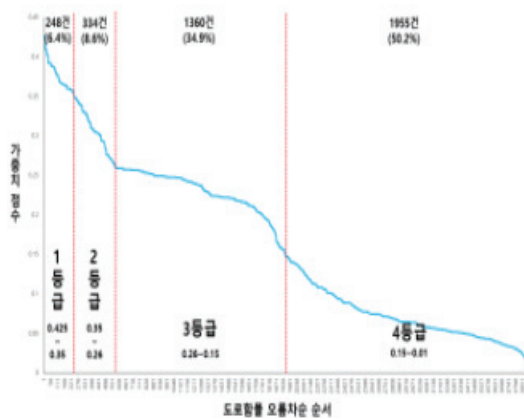


그림 6 가중치에 따른 도로함몰의 위험도 그래프
Fig 6 Risk level graph of road sinking according to weight

표 6 가중치에 따른 도로함몰 위험도표
Table 6 Risk table of road sinking according to weight

등급	구간	도로함몰 발생건수	차지 비율	누적 비율
1등급	0.35-0.425	248 건	6.4 %	6.4 %
2등급	0.26-0.35	334 건	8.6 %	15 %
3등급	0.15-0.26	1360 건	34.9 %	49.9 %
4등급	0.01-0.15	1955 건	50.2 %	100 %

25개구 지역의 가중치 등급을 건수로 나타내었고, 가중치 등급을 퍼센트로 나타내어 서울시 전체 퍼센트와 비교하였다.

서울시 전체의 표와 비교했을 때 서울시 등급보다 누적으로 높은 퍼센트를 차지하는 것에 대해 등급을 차등 부과하였다<표 7>.

표 7 구별 가중치 등급
Table 7 Weight class rating per city

지역구	1등급	2등급	3등급	4등급
강남구	1.08%	10.27%	16.75%	71.89%
강동구	0.00%	4.08%	36.06%	59.86%
강북구	66.67%	0.00%	0.00%	33.33%
강서구	0.00%	6.00%	24.00%	70.00%
관악구	0.00%	0.00%	50.94%	49.06%
광진구	0.00%	0.00%	39.87%	60.13%
구로구	0.00%	0.00%	43.25%	56.76%
금천구	0.00%	25.00%	31.26%	43.75%
노원구	16.00%	24.00%	12.00%	48.00%
도봉구	0.00%	17.29%	33.83%	48.87%
동대문구	0.00%	37.67%	0.00%	62.33%
동작구	0.00%	26.47%	0.00%	73.53%
마포구	62.92%	0.00%	0.00%	37.08%
서대문구	0.00%	0.00%	46.67%	53.33%
서초구	0.00%	4.24%	10.91%	84.85%
성동구	46.91%	0.00%	0.00%	53.09%
성북구	0.00%	24.49%	0.00%	75.51%
송파구	0.00%	0.00%	83.96%	15.05%
양천구	0.00%	0.00%	6.67%	93.33%
영등포구	25.40%	1.59%	0.00%	73.02%
용산구	35.46%	10.76%	0.00%	53.78%
은평구	0.00%	4.12%	21.65%	74.23%
종로구	0.00%	47.73%	0.00%	52.27%
중구	0.00%	47.86%	0.00%	52.14%
중랑구	0.00%	0.00%	13.36%	86.64%
서울시 전체 (누적)	6.4% (6.4%)	8.6% (15%)	34.9% (49.9%)	50.2% (100%)

4. Conclusion

4.1 도로함몰 데이터를 통한 검증

2010~2016년 도로함몰 데이터를 기반으로 생성한 “도로함몰 위험 예측지도” 일치성을 검증하기

위해 2017~2018년 도로함몰 발생 데이터(1,021건)의 벡터레이어를 QGIS의 도로함몰 위험 예측지도 레이어에 투과하여 비교해 보았으며<그림 7>, 이때 사용한 도로함몰 가중치 범위 표는 <그림 8>와 같다.

검증 방법은 2010년부터 2016년까지의 도로함몰 발생자료로 금회 연구를 통해 구축한 “도로함몰 위험 예측지도”를 이용하여 얼마나 많은 도로함몰이 발생했는지를 검증하였다<그림 7>.

“도로함몰 위험 예측 위험지도” 상의 위험도가 높은 지역에 도로함몰 발생이 집중되어 발생된 것을 확인할 수 있었다.

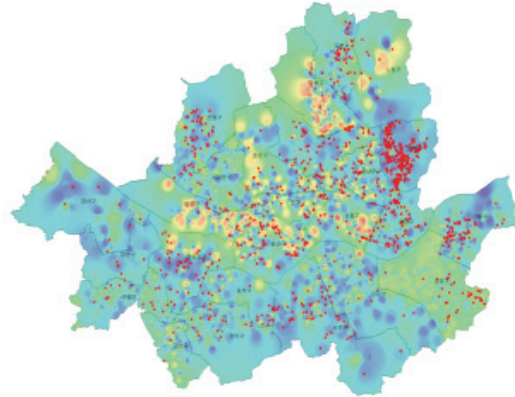


그림 7 서울시 도로함몰 위험 예측 검증
Fig 7 Risk prediction verification by road sinking in seoul city

표 8 도로함몰 등급에 따른 등급 및 비율
Table 8 Grades and ratios by road sinking grade

등급	구 간	도로함몰 발생건수	차지하는 비율	누적 비율
1등급	0.35-0.425	248건	6.4 %	6.4 %
2등급	0.26-0.35	334건	8.6 %	15 %
3등급	0.15-0.26	1,360건	34.9 %	49.9 %
4등급	0.01-0.15	1,955건	50.2 %	100 %

구청별 2017년 1월부터 2018년 6월까지 발생한 도로함몰을 위험예측지도(3등급이상) 일치도는 <표 9>와 같으며 1~3등급까지는 분홍색으로 표시하였다.

표 9 구별 도로함몰 사고수와 위험 예측 지도 비교 결과(3등급)

Table 9 Actual number of district's road sinking incidents and matching result of risk prediction map (3 ranks)

구청	2017.01 - 2018.06 도로함몰 건수(건)	도로함몰 위험예측지도와 일치하는 도로함몰 건수(건)	백분율 (%)	등급
강남구	17	6	35.29	4
강동구	57	24	42.11	4
강북구	2	2	100.00	1
강서구	7	4	57.14	4
관악구	19	13	68.42	3
광진구	87	40	45.98	4
구로구	18	15	83.33	4
금천구	3	2	66.67	2
노원구	9	7	77.78	1
도봉구	47	27	57.45	2
동대문구	55	24	43.64	2
동작구	17	2	11.76	2
마포구	11	7	63.64	1
서대문구	18	13	72.22	3
서초구	51	10	19.61	4
성동구	20	14	70.00	1
성북구	72	38	52.78	2
송파구	37	31	83.78	3
양천구	6	0	0.00	4
영등포구	47	18	38.29	1
용산구	72	42	58.33	1
은평구	52	21	40.38	4
종로구	28	24	85.71	2
중구	23	15	63.22	2
중랑구	246	27	10.97	4
합계	1021	426	41.72 %	

4등급에 해당하는 지역구는 평균적으로 가중치 점수가 낮으므로 4등급의 지역구를 제외하고 재분석

결과 평균 58.13%라는 높은 일치도와 신뢰성을 얻었으며<표 10>와 같다.

표 10 구별 도로함몰 사고수와 위험 예측 지도의 비교 결과(3등급)

Table 10 Actual number of district's road sinking incidents and matching result of risk prediction map (3 ranks)

1,2,3 등급에 해당하는 지역구	2017.01-2018.06 도로함몰 건수	도로함몰 위험예측지도와 일치하는 도로함몰 건수	백분율 (%)
강북구	2	2	100.00
금천구	3	2	66.67
노원구	9	7	77.78
도봉구	47	27	57.45
동대문구	55	24	43.64
동작구	17	2	11.76
마포구	11	7	63.64
성동구	20	14	70.00
성북구	72	38	52.78
송파구	37	31	83.78
영등포구	47	18	38.29
용산구	72	42	58.33
종로구	28	24	85.71
중구	23	15	65.22
서대문구	18	13	72.22
관악구	19	13	68.42
합계	480	279	58.13

4.2 도로함몰 위험 예측지도 구축을 통한 분석결과

4.2.1. 노후하수관로와 도로함몰 상관성 분석결과

구축된 도로함몰 위험 예측지도를 적용하여 2017년 이후 발생된 도로함몰 데이터를 활용하여 위험도 예측지도에 대한 검증결과 신뢰성(41%) 있는 예측도 확보 및 4등급을 제외하고는 높은 신뢰성(58%)을 확보 할 수 있었다.

가중치 범위	색상
0.374506 ~ 0.419367	Red
0.329643 ~ 0.374505	Orange
0.28479 ~ 0.329642	Yellow
0.239918 ~ 0.28478	Light Green
0.195056 ~ 0.239917	Green
0.150194 ~ 0.195055	Dark Green
0.10534 ~ 0.150193	Teal
0.0604679 ~ 0.10533	Blue
0.0156055 ~ 0.0604678	Dark Blue
0 ~ 0.0156054	Dark Purple

그림 8 도로함몰 가중치 범위
Fig 8 Weighting range table by road sinking

그동안 발생했던 서울시의 도로함몰 원인 분석 결과 서울시 도로함몰 발생 중 하수관로로 인한 원인 중 구조적 파손과 이음부, 연결관 파손 등 하수관로의 원인으로 인한 전체 도로함몰 건수는 전체에서 77%인 것으로 확인되었고, 이를 토대로 도로함몰 방지를 위해서는 하수관로에 대한 유지 관리가 매우 중요하다는 것을 인식할 수 있었으며,

도로함몰은 매설년도가 오래된 하수관로일수록 가장 높게 나타났으며, 지질에 따른 도로함몰은 충적층과 비충적층 지역에서는 비슷하게 발생되었고, 도로함몰 발생 시기는 7월과 8월에 가장 높게 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 매설년도가 오래된 하수관로를 중심으로 지속적인 예산투자와 관리가 필요하다는 것을 파악할 수 있었다.

4.2.2. 도로함몰 위험 예측지도 활용 및 고도화

금번 연구를 통해 구축한 도로함몰 위험 예측지도의 활용성 높은 시스템 구축 및 고도화하기 위해서는 하수관로에 영향을 줄 수 있는 대형 공사장

및 지하 굴착공사장 등의 영향분석과 가중치 적용이 필요하며, 도로함몰 위험 예측지도에 대한 자동화 프로그램 개발을 해야 한다.

이를 통해 하수관로로 인한 도로함몰 영향에 대한 관리를 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

또한 신규 발생되고 있는 도로함몰 데이터에 대해서는 정확한 자료(위치, 경도)입력을 위해 세부 지침 제정이 필요하며, 하수관로 유지관리부서(자치구)에 지침 시달과 함께 프로그램 구축을 시행하여 향후 하수관로 빅데이터로 활용 될 수 있도록 체계적인 도로함몰 데이터 관리가 절실하다.

4.2.3. 노후 하수관로 정비계획 및 정비사업 우선순위 선정

금회 연구를 통해 3가지 인자를 중심으로 AHP 분석을 통하여 조사대상 하수관로에 위험도 가중치를 적용하여 하수관로로 인한 도로함몰 위험 지역을 4단계로 구분하여 예측지도를 만들었고, 노후하수관로 정비 사업조사 구간 선정 및 정비 사업에 대한 우선순위를 판단할 수 있는 방안을 연구하였다.

노후하수관로 정비사업 우선순위는 하수관로의 안전도와 잔존수명, 경제성과 함께 도로함몰 위험 예측지도 결과를 종합 검토 및 평가를 통하여 최종 정비 우선순위를 결정하는 것이 합리적이라고 판단된다.

하수관로의 정확한 실태조사를 통한 DB구축을 통하여 하수관로 종류별(원형, 사각형 등) 등급을 나누어 평가하여 전체보수, 부분보수 등 하수관로의 개량, 보수·보강 우선순위가 결정되어 개량, 보수·보강, 교체 등 우선순위 및 예산 적용 원칙에 따라 적절한 예산투자를 위한 프로그램 개발도 절실하다.

마지막으로 AHP분석을 통한 도로함몰 원인분석과 사업 우선순위의 신뢰도를 향상하기 위해 금회 연구 방법에서 활용한 다양한 요인을 반영한 계층 분류와

기술적인 항목에 대하여 지속적인 연구도 필요하다.

4.2.4. 노후 하수관로 정비를 위한 제도적 개선방안

“도로함몰 위험 예측지도 “를 바탕으로 서울시에서 운영 중인 하수도관리 시스템(GIS) 공간정보를 활용한 서울시 지반함몰 예측지도에 대한 호환 등 업그레이드가 필요하며

향후 SAR 등 레이어를 통한 도로함몰 예측 및 IoT와 센서를 개발·연구하여 노후화된 상·하수도 도로함몰 안전관리 예측 시스템을 구축하여 폭염, 한파, 지진 등 자연재해로 인한 도로함몰 예방대책 수립 및 효율적인 자산관리(Mun Seong Oh, Seong Hwan Kim, 2015)수립이 요구된다.

“서울시 노후기반시설 성능개선 및 장수명화 촉진 조례”에 따라 하수관로 성능개선과 보수, 교체 등 종합정비 계획과 통합관리 매뉴얼 확보도 필요하다.

서울시의 도로함몰 방지를 위해 지속적으로 노후화되어 가고 있는 하수관로 정비를 위해 정부차원의 꾸준한 예산지원 정책수립 또한 절실하게 필요할 실정이다.

따라서, IoT와 빅데이터를 활용하고, AHP분석을 통한 선제적 시설물 유지관리 기법 기술 개발은 하수도 정보화 분야 발전에 매우 필요하다고 판단된다.

References

- [1] Seoul Metropolitan City, Special control measures of a Road Sinking, 2014.
- [2] Seoul Metropolitan City, Special control measures of a Road Sinking(improving), 2015.
- [3] K-K. Lee, *Examination of value engineering for bridge superstructures using AHP method*, master's thesis, Ajou University, 2007.
- [4] Korea Development Institute, *A study on general guidelines for pre-feasibility study (fourth edition)*, Korea Development Institute, 2004.
- [5] B-W. Kim, *Methods for analytic hierarchy process(AHP)*, KIMSINFO Lap, 2015.
- [6] Seoul Metropolitan City, Establishment criteria for assessment items and assessment methods, 2018.
- [7] Y-W. Cho, *A study on the characteristics of cave-in and its risk assessment in urban road*, Engineering doctoral thesis, Sejong University Graduate School, 2018.
- [8] J-H. Lee, J-H. Kim, H-S. Kim, E-S. Kim, and D-J. Jo, *Development of Optimal Urban Runoff System: Study of Inflow/Infiltration Estimation Considering AHP in Urban Runoff System*, Journal of Korea Water Resources Association, 2004.
- [9] D-H. Jeong, Y-C. Cho, K-H. Ahn, I-C Choi, H-M. Chung, and J-K. Lee, *A study on AHP application of selection method for the best treatment technology of public sewage treatment works*, National Institute of Environmental Research, Vol. 30, No. 4, pp. 427-440, 2016.
- [10] Y-M. Jeong, and H-I. Umm, *Application of a statistical interpolation method to correct extreme values in high-resolution gridded climate variables*, Journal of Climate Change Research, APEC Climate Center Climate Analysis Team, Vol. 6, No. 4, pp. 331-344, 2015.
- [11] E-H. Hwang, and K-S. Jung, *Development of Erosion Fractal-based Interpolation Method of River Morpholog*, Journal of Korea Water Resources Association, Vol.

45, No. 9, pp. 943-957, 2012.

- [12] M-S. Ham, *A correlation study between sewer pipes buried underground in metropolitan and road sinking*, Doctoral thesis, The Graduate School of the University of Seoul, 2019QHZ.
- [13] M-S. Oh, and S-H. Kim, *Cost-benefit analysis on the smart sheet system of sewage pipe*, The Korean Society of Management Consulting, Vol. 15, No. 3, pp. 193-203, 2015.
- [14] Y. Shafranovich, RFC 4180: Common format and MIME type for Comma-Separated Values (CSV) files, Cited on, 67, 2017.
- [15] B. L. Decker, *World geodetic system 1984*, Defense Mapping Agency Aerospace Center St Louis Afs Mo, 1986.

직계 근로자에게 중요도 조사를 실시하였다 조사 결과를 기준으로 가중치를 부여하여 도로함몰 지도를 구축 했습니다. 결과 분석을 활용하기 위하여 CCTV, 육안 검사 등의 시행과 하수관 정비를 위한 우선순위를 정하는데 있어 체계적이고 효율적인 정비 방안을 제시할 계획이다. DB 정보의 고도화와 센서, 자산관리, 시스템 개선을 통해 하수도 정비 정책 및 자연재해 대응 대책 개선 방안을 제시하고자 한다.

AHP분석을 통한 하수관로와 도로함몰 상관관계에 관한 연구

함명수¹, 도중호², 이현동³, 전병찬⁴

¹서울시립대학교 박사수료

²삼보기술단 부사장

³UST/KICT 건설환경공학과 교수

⁴청운대학교 교양대학 교수

요 약

대도시의 주요 지하 매설물 중 상하수도 관로시설이 차지하는 지하 공간의 비율은 전체 지하 매설물의 50 ~ 60 %이다. 특히, 도로 지하에 90 % 이상이 지하 시설물이 설치되어 있기 때문에 도로함몰 사고는 도로의 정상적인 하중과 사용 빈도의 조합과 오래된 하수관로와 수도관의 구조적 통합, 매립 지역의 지질학적 특성, 강수량 및 설치 조건, 파이프의 부설 건축 및 경과된 연도 수에 따른 파이프의 내구성 등에 따라 영향을 받는다. 따라서 2010년부터 2016년까지 7년간 발생한 하수관로와 도로함몰의 상관관계를 이해하기 위해 하수도 전문가, 서울특별시 및 관련 전문가와 관련



Myoung Soo Ham received the master's degree in the Department of Civil Engineering from the The University of Seoul in 2008, And in 2017 doctorate.

He joined the Seoul Metropolitan Government in 1986. He worked in the Seongbuk-gu, Dobong-gu, Gangbuk-gu Office and Seoul Quality Inspection Office, Infrastructure Headquarters, Water Circulation Safety Bureau. He currently works at the Hangang Project Headquarters. His current research interests include correlation between road depression and sewage pipe. He is a Full member of the KKITS.
E-mail address: msham0807@seoul.go.kr



Choong Ho Do received the bachelor's degree in the Department of Environment Engineering from the Kyung Pook University in 1987. He received the M.S. degree and

the Ph.D. degree from Graduate School of Kyungpook National University, Korea in 1988 and 1990, respectively. From 1997 to 2003, he was Employing a KECC(Korea Engineering Consultants Corp.). from 1992 to 2017. His current working in water industrial Dept. sambo engineering co, LTD. Professional Engineer in Water supply & Sewage (Registration No.: 96146010041Q) Water and Sewerage Professional Engineer

Association(WSPE) Director of Korean Society on Water Environment(KSWE) Member of Korean Society of Water and Wastewater(KSWW)

E-mail address: dochoongho@hanmail.net



Hyun Dong Lee earned his doctorate in environmental and urban engineering from Hanyang University's Department of Urban Engineering in August 1991. He was a Professor or

Post-Doc. at Kyoto University and the University of Iowa in 1993 and 2006, respectively. From 1987 to 2019, he was a senior research fellow at KICT. He has also been a professor of UST since 2006. Meanwhile, he also acquired P.E. in 1996 and won the Presidential Award on World Water Day 2014. His field of interest is water&sewerage eng. which includes SZpipe network systems, AM/BIM, waterleak, Rehabilitation and Diagnosis, and Corrosion. Meanwhile, he is currently serves as vice president of the SWG and the SCVK.

E-mail address: hdlee@ust.ac.kr, hdlee@kict.re.kr,



Byoung-Chan Jeon received the bachelor's degree in the department of Computer Science from the Hanbat National University in 1989. He received the MS. degree in the Department

of Computer Science from Suwon University in 1994. He received the Ph.D. degree in the Department of Computer Science Engineering from Soonchunhyang University in 2001. He is currently a professor in the Department of Liberal Arts at Chungwoon University, Korea. His current research interests include computer architecture, network Application, Embedded Systems. He is a member of the KKITS.

E-mail address: jbc66@chungwoon.ac.kr