

도심지역의 지반침하(싱크홀)의 원인과 관리적 대책에 대한 제언

김춘수*·강경식**

*건축사무소 다다그룹 대표·**명지대학교 산업경영공학과 교수

Causes and suggestions on administrative measures of Subsidence (sink holes) in Urban areas

Chun-Soo Kim* · Kyung-Sik Kang**

*Dada Group CEO

**Department of Industrial Management Engineering, MYONGJI University

Abstract

In recent years, urban areas occurred several times a sinkhole. In Korea, this limestone area where the sink hole sink holes occur based on not much was seen as a very rare phenomenon. However, the occurrence of accidents in recent Subsidence and urban areas is occurring in the limestone sinkhole may yet see another one called artificial Subsidence phenomenon. Subsidence in urban areas can have various causes, such as depression groundwater level changes due to the influence of soil, underground, etc. underground utilities by anthropogenic actions. But a lot of research on natural sinkhole by geological experts continued steadily since the past Subsidence that occurred in recent years the city has become an urgent problem to formulate a countermeasure to be very concerned about the human and material damage. In this study, the city by analyzing existing research on the causes and countermeasures of Subsidence recently released look at the announced sinkhole, published statistics and cases of Subsidence data, and overseas corresponding practices in each relevant agencies and to suggest measures for local Subsidence.

Keywords : Sink holes, Subsidence, Disaster, Safety management

1. 서론

최근 몇 년간 도심지역에서 이른 바 싱크홀이라 불리는 지반침하 현상이 자주 발생하고 있다. 국내에서는 싱크홀의 기반이 되는 석회암층 지역이 많지 않아 싱크홀의 발생은 매우 드문 현상으로 간주 되었으나 최근 도심지역의 사고 발생은 석회암지대에서 발생하는 싱크홀과는 또 다른 인위적인 지반침하 현상으로 볼 수 있다.

도심지역의 지반침하는 인위적인 행동에 의한 지하

수위의 변화, 지하 매설물등에 영향에 의한 토사의 함몰등 다양한 원인들이 있다. 많은 지질 전문가에 의해 자연적 싱크홀에 대한 연구는 과거부터 꾸준히 지속되고 있었으나 최근 도심에서 발생하는 지반침하는 인적, 물적 피해가 매우 우려되는 것으로 시급히 대책을 세워야 하는 문제가 되고 있다.

도심지반침하에 대해 많은 기관들이 원인규명과 대처 방법을 지속적으로 연구중에 있으며 최근까지 밝혀진 주요 원인은 굴착공사등으로 인한 지하수 교란, 상하수도의 노후 및 손상으로 인한 누수 등으로 나타났다.

†Corresponding Author : Kyung-Sik Kang, Industrial and Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea, E-mail : kangks@mju.ac.kr

인위적인 지반침하의 예방을 위해서는 현재 도심지역의 노후화된 상하수도관의 관리를 위한 세부적인 조사가 선행되어야 하며 지질정보, 지하수 관측망등의 DB에 대한 확보를 통해 올바른 재해예방 매뉴얼을 만들어야 할 것이다. 그 외에도 다양한 시각적 접근을 통해 관리적 대책을 마련해야 한다.

본 연구에서는 각 유관기관에서 발표한 싱크홀, 지반침하의 사례와 발표된 통계자료, 그리고 해외의 대응사례를 살펴보고 최근에 발표된 지반침하의 원인과 대책에 대한 기존의 연구자료들을 분석하여 도심지역 지반침하에 대한 대책을 제언하고자 한다.

2. 연구의 배경

2.1 연구의 목적

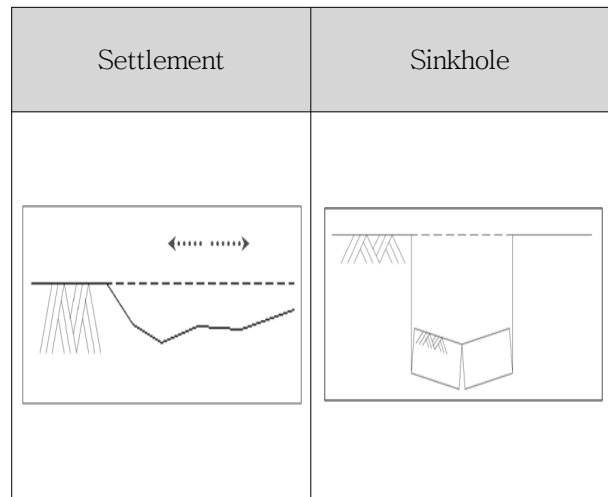
지질 전문가들은 싱크홀과 지반침하의 용어를 구분해서 부르고 있다. 지하수위의 이동등에 의해 석회암층이 변동되고 이에 의해 지반이 붕괴되는 형태는 자연적 현상에 가까운 것으로 싱크홀로 통칭하며, 인위적 상황에 의해 지반이 붕괴되어 도로가 파괴되는 형태는 지반침하, 함몰등으로 정의한다.

특히 도심지역의 지반침하는 재해가 발생되면 그 피해가 커질 수 밖에 없다. 2014년 경기개발연구원의 설문조사 결과를 보면 수도권에 거주하는 조사응답자의 95%가 지반침하에 대해서 불안감을 느끼고 있는 것으로 나타났다. 시민들의 불안을 해소하고 재해발생을 최소화 하기 위해서 대책수립과 재해예방 매뉴얼이 재난관리체계에 적극적으로 반영되어야 한다.

본 연구에서는 도심지역에서 발생하는 인위적인 형태의 지반침하를 중심으로 그 원인을 분석하고 대책을 찾기 위한 목적이 있다. 특히, 주된 원인인 지하수위의 이동에 대해 집중하고 그 관리적 대책을 찾기 위해 관련 통계 자료, 기관별 원인분석을 기준으로 발표된 연구들을 분석하여 구체적인 재해예방 대책에 관해 제언하고자 한다.

2.2 이론적 배경

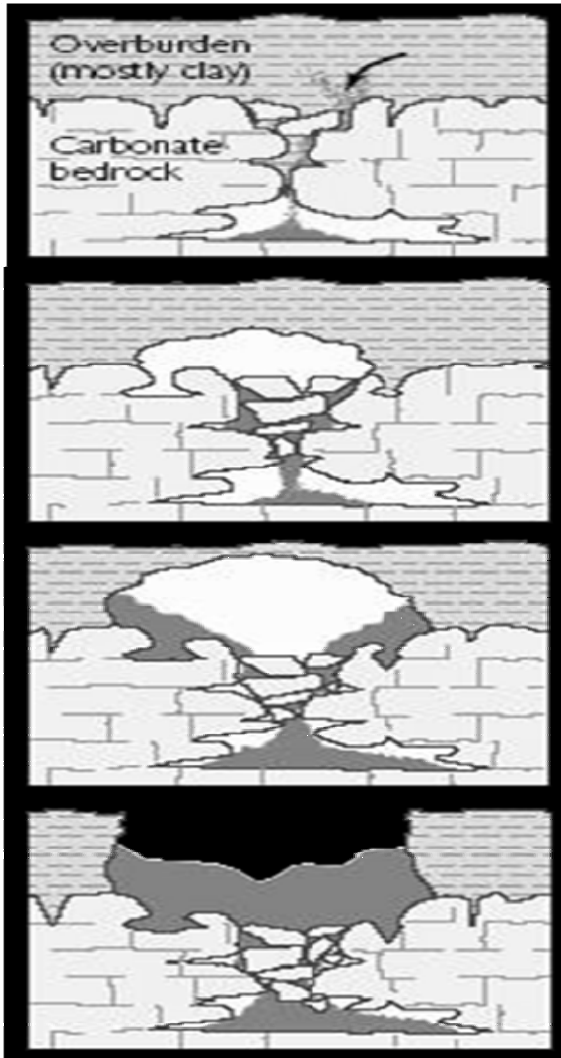
도심지역의 싱크홀과 지반침하에 대한 구분을 명확히 하기 위해 먼저 일반적인 용어에 대한 정의가 필요하다. 일반적으로 침하(沈下, settlement)는 지반의 하향변위를 말하는 광의적 표현이다. 싱크홀(sinkhole)은 지반 내의 동공(hole)이 붕괴된 것으로 지하수 또는 인위적인 영향으로 동공이 발생하고 그 지반의 성분이 물에 녹거나 침식되어 큰 동공으로 확대되면서, 지반붕괴가 되는 현상이다. 싱크홀은 주로 석회암이나 화산재층에서 균열부 등에 물이 집중 침투되면서 생기는 동공에 의한 것들이 많다. [Figure 1]는 일반적인 침하와 싱크홀의 발생시에 형태를 보여주는 그림이다.



[Figure 1] Settlement & Sinkhole

싱크홀의 발생과정을 보면 지하수로 인해 암반에 빈공간이 생기게 되고 상부의 토양과 지하수가 그 빈공간을 채우게 된다. 이렇게 되면 토양에 아치(arch)형태의 동공(洞空)이 만들어지게 되는데 시간의 경과와 함께 상부에 하중이 가해지게 되면 붕괴로 이어진다.

[Figure 2]는 미국지질조사국 (USGS, <http://water.usgs.gov/>)에서 소개한 싱크홀의 진행단계를 나타낸 그림이다.



[Figure 2] Sink holes proceed step

싱크홀은 지반의 지질구성 상태, 붕괴시간, 붕괴의 형태 등에 따라 몇 가지로 분류할 수 있다. 용해형 싱크홀(dissolution sinkhole)은 지표수나 빗물이 지표에 노출된 석회암을 녹이는 과정에서 생성되는 것으로 석회암 지반에서는 오랜 시간 지하수에 용해되어 동공(동굴)이 생겼다가 동공 내에 채워져 있던 지하수가 빠지는 경우 발생한다. 화산재 지반의 경우는 홍수시 균열 부나 틈새로 빗물이 침투하면서 일시에 지반이 세굴되는 경우에도 발생한다. 우리나라는 강원도 삼척, 영월 지역이 석회암 지반으로 구성되어 있어 이런 지반에서의 자연적인 싱크홀도 발생 가능한 것으로 알려져 있다.

침하형 싱크홀(cover-subsidence sinkhole)은 암반층의 빈 공간으로 모래가 많이 포함된 토양이 오랜 기간 서서히 침하되면서 생성된다. 붕괴형 싱크홀(cover-collapse sinkhole)은 최근 국내에서 이슈로 부각되고 있는 싱크홀의 형태로 점토층이 두꺼운 곳에서 발생하는데 점토의 점착력으로 인해 일정기간 버티

다가 갑자기 붕괴되어 큰 피해 유발된다. 인간 활동에 의한 원인으로 과도한 지하수의 사용이 주 원인으로 알려져 있다. [Figure 3]는 여러나라의 싱크홀의 피해 형태를 보여주는 사진이다.



[Figure 3] Sinkhole in other countries

3. 국내 도심지반침하의 사례와 원인

3.1 인천 지하철공사장 도로붕괴

이 내용은 국토교통부의 지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼에서 발생사례중 일부를 발췌한 것으로 조사단의 원인분석 결과를 포함하고 있다.

2012년 2월 18일 인천시 서구 왕길동 검단사거리 부근 인천지하철 2호선 공사현장 주변 왕복 6차선 도로 한 가운데서 붕괴가 발생하여 이곳을 지나던 시민

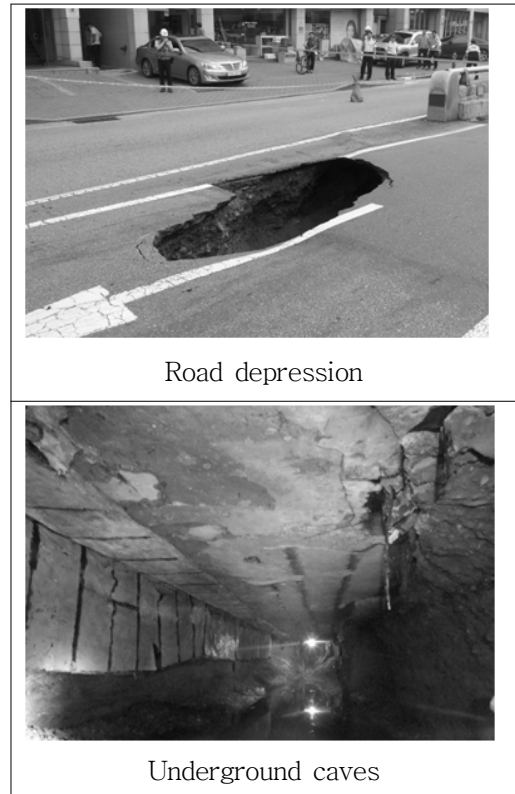
1명이 사망하고 수도관이 파열되어 서구 왕길동과 오류동 일대 수천 가구에 수도물 공급이 중단되는 사고가 발생되었다. [Figure 4]에서 보여지는 침하 부분은 폭 약12m, 길이 약 14m, 깊이는 27m의 크기로 사고 원인은 지하철 굴진공사로 인한 하부의 지반침하와 이 침하로 인한 상부의 대형 상수도관파열, 그리고 주변의 토사 지지력 약화가 복합적으로 연결된 재해로 조사단은 분석하였다. 이 사고의 원인을 순차적으로 본다면 첫 번째로 하부지반의 지하철 터널 굴진작업이 이루어지고 있는 동안 서서히 상부 지반이 침하가 진행되고 있었으며 두 번째로는 상부지반의 침하를 통해 상수도관의 누수가 증첩되면서 토사의 유실이 이루어졌다. 마지막으로 토사유실에 의해 지하 동공이 형성되면서 도로의 하중이 그대로 붕괴되는 순서로 연결된 사고이다.



[Figure 4] The accident site in wanggildong Seo-gu Incheon

3.2 서울 송파구 일대의 지반침하

송파구 일대에서는 여러건의 싱크홀이 비슷한 시기에 발생하였다. 2014년 8월 5일 석촌동 석촌지하차도 중점부에서는 폭 2.5m, 길 7~15m, 깊이 10m의 크기의 도로함몰과 지반침하가 발생하였는데 이곳은 9호선 터널공사장 주변이다. 또한 석촌지하차도 싱크홀 원인 조사 중 인근 지역에 폭 5~8m, 깊이 4~5m, 연장 80m의 동공(洞空)을 비롯한 다수의 동공이 추가로 발견되었다. [Figure 5]는 도로함몰 현장과 지하동공의 사진이다.



[Figure 5] The accident site in Seokchon

도로함몰 원인 분석(석촌지하차도 동공 발생원인과 도로함몰 특별관리 대책, 서울특별시, 2014년 8월)을 보면 이 사고 역시 복합적인 원인들로 발생하였음을 알 수 있다.

첫 번째는 하수관의 노후와 손상으로 인한 내용이다. 노후와 손상의 형태를 보면 노후화로 인한 부식, 균열, 접합불량, 관 주변 굴착공사, 되메우기 도중의 과도한 하중으로 인한 배관의 어긋남등이다. 두 번째는 도로 시공불량 및 지하공사 관리소홀인데 이 경우는 굴착공사로 인한 지하수의 저하로 침하가 급격히 진행된 것으로 의심되었다. 지하굴착에 의한 함몰 규모는 상대적으로 크게 나타나는 양상이 될 수 있다. 따라서 사전 지반조사 및 철저한 공사 관리 필요하며 석촌지하차도에서 발생한 대형 동공역시 공사중 관리소홀로 추정했다.

4. 지반침하 사고로 인한 시민불안

지반침하에 대한 원인과 대책을 마련하기 위해서는 시민의 불안감에 대한 인식여부도 중요한 내용이다. 여기서는 경기개발연구원 주관으로 실시된 주민조사의 결과 중에 몇가지를 인용하여 지반침하 사고가 주민들에게 어떻게 인식되는지를 살펴 보았다.

2014년 8월14일 수도권 성인 1,000명을 대상으로 실시된 “싱크홀 발생에 대한 주민들의 인식조사” 결

과(경기개발연구원, 모바일 설문조사, 신뢰도 95%, 오차범위 ±3.10%)를 보면 시민들의 불안이 매우 높음을 알 수 있다. <Table 1>은 싱크홀에 대한 불안감에 대한 것으로 서울, 경기, 인천등 수도권 주민의 95% 이상은 불안함을 느끼고 있는 것으로 나타났다.

<Table 1> Anxiety about sinkhole
(unit : %)

Division	Seoul	Gyeonggi	Incheon
Number of respondents	524	387	89
Very anxious	52.86	56.07	46.07
Unstable	41.98	39.79	48.31
Not anxiety.	4.01	3.10	3.37
Not at all anxious.	1.15	1.03	2.25

<Table 2>에서는 싱크홀 발생시 가장 위험할 것 같은 상황 및 장소에 관한 것으로 서울 시민들은 43.13%가 변화가에서 싱크홀 발생시 가장 위험할 것이라 응답한 반면, 경기(38.50%)와 인천(41.57%) 거주 주민들은 출·퇴근시에 가장 위험할 것이라 응답하였다. 이것은 많은 시민들이 밀집된 상황을 위험하게 생각하고 있음을 보여준다.

<Table 2> Sinkhole occurred and where such situations would be most at risk
(unit : %)

Division	Seoul	Gyeonggi	Incheon
Number of respondents	524	387	89
When commute	35.69	38.50	41.57
rectal	2.10	2.33	2.25
home	19.08	20.93	29.21
downtown	43.13	38.24	26.97

<Table 3>은 본인도 싱크홀의 피해자가 될 수 있을 것이라는 인식에 대한 것을 조사한 결과로 ‘그렇다’가 55.1%, ‘매우 그렇다’가 24.5% 차지하여 수도권에 거주하는 주민 80%가 싱크홀의 피해자가 될 수 있을 것이라고 응답하였다.

<Table 3> It also recognizes that there can be a sink-hole victims

(unit : %)

Division	Seoul	Gyeonggi	Incheon
Number of respondents	524	387	89
I agree very much.	24.81	25.06	20.22
To agree.	54.96	54.52	58.43
I do not agree	3.24	3.36	1.12
I do not agree at all.	1.91	2.07	1.12
I do not know.	15.08	14.99	19.10

<Table 4>는 최근 우리사회에서 가장 위협이 될 수 있는 재난에 대해 조사한 결과, ‘홍수 및 태풍’이 39.6%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로는 ‘싱크홀’이 29.9%, ‘폭염 및 가뭄’ 15.5%, ‘황사’ 12.8%, ‘산사태’ 2.2% 순으로 나타났으며 이것은 국내에서 가장 많은 피해를 입힌 홍수, 태풍에 이어 싱크홀의 위험성을 크게 보고 있음을 알 수 있다.

<Table 4> Recent disasters that could be the biggest threat in our society

(unit : %)

Division	Seoul	Gyeonggi	Incheon
Number of respondents	524	387	89
dust storm	11.64	13.95	14.61
landslide	3.63	0.52	1.12
sink-hole	29.58	29.20	34.83
Heatwaves and drought	16.22	14.47	15.73
Floods and typhoons	38.93	41.86	33.71

이 설문조사의 결과에서 보면 지반침하로 인한 직접적인 피해이외에도 시민불안으로 인한 사회적인 손실도 고려해야 한다는 것을 알 수 있다. 이것은 차후 연구할 가치가 있는 내용으로 보여진다.

5. 지반침하로 인한 재해예방을 위한 제언

현재 지반침하에 대한 대책을 보면 굴착공사시 침하 방지대책, 상하수도 관리, 지반침하의 예측분석, 재해발생시의 관리매뉴얼 작성등으로 구분될 수 있는데 굴착공사 공법등의 기술적대책은 현재 각 전문분야에서 지속적으로 연구되고 있다. 여기서는 상하수도의 관리등과 같은 일반적인 관리대책에 대해 말하고자 한다.

5.1 싱크홀 방지 대책의 해외 사례

미국 플로리다 주는 석회암지대가 많은 곳으로 지하수에 의해 석회암이 녹아 싱크홀의 발생이 높은 지역이다. 미국 지질연구소에서는 인구증가에 따른 지하수 사용증가가 싱크홀 발생의 주 원인으로 보고 있다.

플로리다의 경우 싱크홀 방지를 위한 관련 조례를 2010년부터 시행하고 있다. 이 대책의 일부를 보면 싱크홀 발생에 영향을 미칠 수 있는 건축기준과 건축시공방법들에 대한 등급기준을 마련하고 그에 따라 건축물 보험료를 산정하도록 규정하였다. 주택소유자는 싱크홀 보험가입을 의무화하고 싱크홀 발생 사고 징후 발생 시 보험사는 해당 주택의 싱크홀 여부를 확인하도록 규정하는 등 재산손실에 대한 대책을 마련하였다.

기술적 측면에서는 플로리다의 특성상 지하수량 보전이 싱크홀 방지에 있어 필수적임을 고려하여 도시물순환 체계조성 및 식수·생활용수 공급방안을 중심으로 한 시공방법을 제시하였다. <Table 5>는 플로리다의 싱크홀 예방을 위한 6가지 방법이다.

<Table 5> 6 ways for the prevention sinkhole

Step	Contents
1	Redirect or block water
2	Treating underground limestone
3	Construction measures
4	Avoid construction on wetlands
5	Seawater treatment facilities
6	Recycling gray water runoff

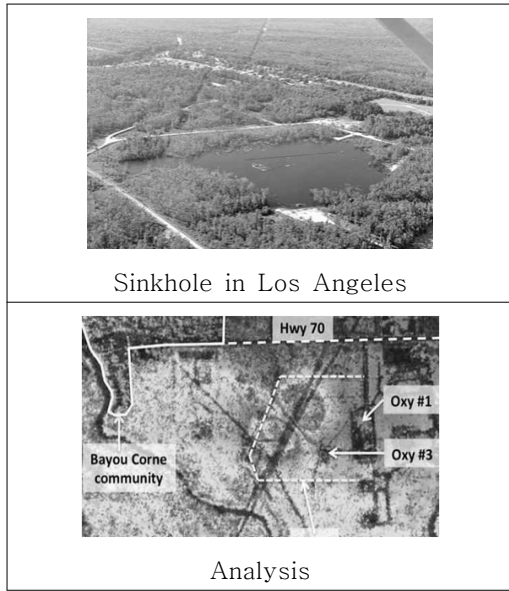
재해발생시 피해를 줄이기 위한 방법으로 싱크홀 발생 징후를 인지할 수 있도록 제시한 싱크홀 발생 징후 지침 역시 일반시민들이 쉽게 이해할 수 있는 현상을 중심으로 작성되어 있다. <Table 6>는 싱크홀 발생징후에 관한 내용이다.

<Table 6> Sinkhole caused symptoms

No	symptom
1	Symptoms caused cracks in foundation walls of the building
2	Symptoms caused cracks in the corners of windows and window frames
3	Building floor or building a ramp to the ground and breathed into gold or symptoms of the floor shifted horizontally
4	This phenomenon occurs where the bottom is dented
5	If space is dew on the base structure of the building or part maethi blistering occurs
6	If the ceiling or house that is leaking
7	If a nail or the like of the wall surface protrudes
8	If the closing takes creaking open windows or poorly visit

미국은 일부지역 자체 관리 매뉴얼 이외에도 미국 항공우주국(Nasa)의 인공위성과 항공기에서 촬영한 레이다자료를 용한 싱크홀 예측기술 연구개발 및 범용화하는 과정에 있다.

실제로 2012년에는 기존 레이다 자료와 달리 높은 해상도를 가진 SAR(synthetic aperture radar)을 사용하여 미국 로스엔젤레스에 발생한 거대 싱크홀을 최소 한 달 전에 예측하여 인근 주민을 대피 시킨 것으로 알려 졌다. [Figure 6]는 미 항공국에서 예측한 미국 로스엔젤레스의 싱크홀과 레이다 분석자료이다.



[Figure 6] Sinkhole and Analysis

5.2 서울시의 상하수도 관리

도심 지반침하발생시 가장 큰 피해가 우려되는 서울시는 노후 및 손상된 상하수도관로의 관리가 시급한 상황이다. 2014년 서울시의 도로함몰 발생현황에서 보면 하수관로의 손상이 원인인 경우가 전체의 85%를 차지한다. <Table 7>은 2014년에 발표한 서울시의 원인별 도로함몰 발생현황이다.

<Table 7> Subsidence caused by generation status

Cause	statistics	Sewer pipe damage	Water pipe damage	Excavation
statistics	3,119	2,636	52	431
2010	435	409	5	21
2011	573	413	11	149
2012	689	611	13	65
2013	854	754	8	92
2014. 1~7	568	449	15	104

서울시는 노후된 하수관로가 계속적으로 늘어나고 있는데 30년이 넘는 노후관로는 2013년을 기준으로 전체의 48.4%(2013. 12.31. 하수도통계 기준)를 초과하는 것으로 나타났다. 이에 따라 노후 하수관로의 정비가 시급한데 <Table 8>은 서울시 노후 하수관로 정비를 위한 연차별 투자계획이다.

<Table 8> Investment plans for the sewer pipe maintenance

Business name	Aging sewer pipe investigation		Aging water pipes reinforced	
	Length (km)	Expenses (One hundred million won)	Length (km)	Expenses (One hundred million won)
statistics	2,900	303	964	10,583
2014	180	31	104	1,183
2015	680	68	200	2,200
2015	680	68	210	2,300
2017	680	68	220	2,400
2018	680	68	230	2,500

이 투자계획은 노후관의 전체 길이에 대해 계략적으로 평가한 자료를 바탕으로 사업비가 책정되어 실제 원활한 집행을 위해서는 노후관로에 대한 세부조사가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

5.3 지반침하(싱크홀)에 대한 통합관리대책

최근의 지반침하와 관련하여 국토교통부에서는 지반침하의 예방과 사고 발생시의 대처를 위해 안전관리 매뉴얼을 발표했다. “국토교통부 지반침하(함몰) 안전관리 매뉴얼”의 내용을 보면 지반침하(함몰)에 대한 유형별 원인을 제시하고, 예방, 대비, 대응, 복구등의 절차를 규정하였다. 여기서는 대응을 크게 3가지로 분류하고 있는데 내용은 <Table 9>과 같다.

<Table 9> Ground subsidence (cave-in) safety management manual.

Chapter	Contents
1	The purpose of the manual, coverage, term explanation, the structure of the manual and features
2	Subsidence causes of the accident cases caused by type (domestic)
3	Prevention, compared to Subsidence for the safe management practices through case analysis, practical step-by-step response, recovery

이 내용은 예방, 대비, 대응, 복구의 단계별로 구분되어 있으나 싱크홀의 원인인 지질정보, 지하수위, 상하수도관에 대한 지반정보를 정확히 파악하여 세부적인 DB를 구축하는 과정이 추가되어야 할 것으로 보인다.

지질정보는 사업추진 과정에서 시추하여 작성한 지질주상도를 토대로 지질 DB구축하는 과정이 필요하며 지하수관측망을 확충하여 세분화된 지하수위 정보를 축적하고 상하수도관의 위치도 작성하는 단계에 대한 연구조사도 필요하다. 이러한 데이터가 축적되면 싱크홀 발생 위험지도를 작성하여 사업 승인 및 사업 추진 시 기반공사 기준 제시에 활용할 수 있게 된다. 싱크홀 발생 위험이 큰 지역에 대해서는 사업제한 및 사업추진방식 개선 요구에 활용할 수 있고 지하철 노선이나 공법 선정 등에도 적용할 수 있게 된다. 현 시점에서는 우리나라의 특성에 맞는 위험지도 작성, 사업제한 기준, 적정공법 제안 등을 위해 시범사업을 추진하는 대책이 필요하다.

싱크홀의 대책에서는 수자원의 관리가 반드시 필요한데 수자원의 이용 및 관리와 홍수, 가뭄, 물부족, 싱크홀 등의 재난방지를 위해 중장기적인 빅데이터 활용 관리체계 마련하여 싱크홀 뿐만 아니라 다양한 국가재난에 대한 연계관리도 중요한 부분이다. 이를 위해서는 관련 업무가 국토교통부, 환경부, 농림부, 소방방재청 등으로 분산·관리되고 있는데, 이를 개선하여 빅데이터의 관리체계를 통합 시스템으로 관리하는 것이 보다 효율적이라 할 수 있다.

6. 결론

미국의 싱크홀로 인한 재해예방사례에서도 볼 수 있듯이 싱크홀과 지반침하를 예방하는 방법은 철저한 원인분석이 우선되어야 한다. 원인분석의 첫 번째 단계는 각 지역별 지반상태에 대한 데이터와 지하수, 매설물등에 대한 데이터가 충분히 확보되는 것이다. 현재 매우 노후화 되어있는 도심지역의 상하수도는 그 교체시기가 매우 시급한 상태이므로 상태조사와 동시에 교체작업이 이루어 질 필요가 있다.

도시지역의 확장으로 인해 하수관로는 계속해서 연장되고 있기 때문에 노후 하수관로에 대한 교체, 보강사업은 장기적인 사업이 될 수 밖에 없는데 이때 확보된 데이터와 함께 지반침하에 대한 예측도 고려되어야 한다. 노후되거나 손상된 상하수도의 관리는 단순히 싱크홀에 대한 대책만이 아니라 수자원 관리의 측면에서도 중요한 관점이다. 수자원의 이용과 재난방지를 위한 통합적인 관리를 통해 도심지역의 지반침하의 많은 부분들이 예방될 수 있다. 결국 데이터의 수집과 활용, 그리고 국가재난 관리에 대한 다양한 시각적 접근을 통해 여러 가지 시스템을 점검하고 새로운 관리시스템에 대한 많은 연구가 필요하다.

7. References

- [1] Sung O. Choi, Yang-Soo Jeon, Eu-Sup Park, Yong-Bok Jung, Dae-Sung Chun, (2005), "Analysis of Subsidence Mechanism and Development of Evaluatiion Program" , Tunnel & Underground Space Journal of Korea Society for Rock Mechanics, 15(3):195-212.
- [2] Lee Ki Young, (2014), "Sinkhole, swallowing causes and countermeasures for cities" , Gyonggi Research Institute, Issue & Analysis, (156).
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (2015) "Subsidence Safety Management Manual" , 8.
- [4] Choi, Byoung Il Park, Won Joo Park, Kyung Han Kwon, Eun Keum Shin, Cheol Shik, (2016), "Deduction of Ground Subsidence Occurrence Condition by Technic Materials" , Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection,

- [5] Choi, Byoung-il Kim, Hong-Kyoon Kim, Yong-soo Kwon, Eun-Keum Kang, Bo-Rim, (2016), "Analysis of Water Pipeline Leakage to Connect Ground Subsidence in Urban Area", Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection,
- [6] Kang, Bo-Rim Kwon, Eun-Keum Choi, Byoung-Il Kim, Hong-Kyoon Kim, Yong-Soo, (2015) "Analysis of the Maintenance System on Water and Sewage Pipeline for Ground Subsidence Prevention", Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 36(19-2).
- [7] Han, Yu Shik Yoon, Tae-Gook Yoo, Ki Cheong Ko, Min Ho, (2016), "A Study on the Method for Hazard Assessment of Land Subsidence", Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection.
- [8] Kim, Hong Kyoon Kim, Yong Soo Lee, Jong Gun Suk, Jae Wook Gwon, Eun Keum, (2016), "A Study on Development of the Safety Evaluation Factors of Underground Lifelines against the Ground Subsidence", Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection,
- [9] Seoul Metropolitan Government, (2014), " Seokchon underpass and road pupil causes depressions special control measures".
- [10] Science for a changing world, <http://water.usgs.gov/>
- [11] Helicom Property Restoration <http://www.heliconfoundationrepair.com/>

저 자 소 개

김 춘 수



중앙대학교 건설대학원 건설경영학과 석사취득. 명지대학교 일반대학원 산업경영공학과 박사과정 중.
현재 건축사사무소다다그룹 대표 재직중.
관심분야 : 건설안전, 산업재해 조사, 안전, 안전성, 안전율, 중대재해조사등

강 경 식



인하대학교 산업공학과에서 학사석사박사와 연세대학교·경희대학교에서 경영학 석사박사 취득. North Dakota State Univ.에서 Post-Doc과 Adjunct Professor 역임. 현재 명지대학교 산업경영공학과 교수로 재직 중. 주요 관심분야는 생산관리, 물류관리, 안전경영 등이다.