J. Korea Saf. Manag. Sci. Vol. 17 No. 4 December 2015
http://dx.doi.org/10.12812/ksms.2015.17.4.153

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

씽크홀의 물적손상과 정신적 피해분석 및 위험성 평가연구 -건설현장 주변의 사고사례를 중심으로-

임 진 상* · 강 경 식**
*대원 카타빌현장(대전) · **명지대학교 산업경영공학과 교수

Sink holes material damage and mental harm analysis and risk assessment studies -Focusing on the incidents surrounding the construction site-

Lim Jin Sang* · Kyung-Sik Kang**
*Dae won Kantaville Construction Coorporation
**Department of Industrial Management Engineering, MYONGJI University

Abstract

Recent News patrons of incidents can be called sinkhole that occurred one after another (Sink Hole). Due to this anytime, anywhere I do not know how the land is turned off worry and anxiety is the reason why you can never be dismissed as exaggerated. As we have seen today through the video, the vehicle was traveling on a road or pedestrian who was walking down the street they look out of the basement of a sudden they still come to mind vividly.

Here, examples and corresponding measures to prevent the sinkhole off the ground, including the causes and impact on society because of this that occurred, and policy measures and abroad are evaluated with respect to what it is.

Keywords : Construction Accidents, Sinkhole, Disaster Reduction

1. 서 론

최근 사건사고 뉴스의 단골손님은 잇따라 발생하고 있는 싱크홀(Sink Hole)이라고 할 수 있다. 이로 인하여 언제, 어느 곳에서나 땅이 꺼질 줄 모른다는 걱정과 불안감은 결코 과장된 것으로 치부할 수 없는 이유다. 지금도 영상물을 통하여 보았듯이, 길을 걷고 있던 행인이나 도로를 달리던 차량들이 갑자기 땅속으로 빠져들던 모습들은 아직도 생생히 떠오른다.

특히 잠실 송파지역에 빈번하게 발생한 일련의 사건, 사고들로 인하여 지역주민들은 물론 국민들의 불안은 계속해서 커지고 있다. 많은 시민들은 멀쩡하던 도로에 왜 갑자기 구멍이 생기는 것인지, 그런 싱크홀을 막을 방법은 없는 것인지 궁금해 하고 있다.

이에 중앙부처의 감독기관(국토교통부, 환경부 등)을 비롯하여 각 지자체에서도 늦게나마 싱크홀(= 땅 꺼짐, 함몰구멍)에 대하여 원인파악 및 이에대한 대책 마련을 위하여 분주히 움직이는 것은 그나마 다행으로 여기고 있다.

여기서는 싱크홀 등 땅 꺼짐이 발생되는 원인과 이로 인하여 사회에 미치는 영향 그리고 정책적인 방안과 해외의 대응사례 그리고 방지대책들은 어떤 것이 있는지에 대하여 알아보고자 한다.

†Corresponding Author : Kyung-Sik Kang, Industrial and Engineering, Myongji University, Yongin 449-728, Korea, E-mail : kangks@mju.ac.kr
Received October 20, 2015; Revision Received December 19, 2015; Accepted December 23, 2015.

씽크홀의 물적손상과 정신적 피해감소 노력에도 불구하고 지속적으로 증가하고 있는 땅꺼짐의 형태별 원인별 연구를 통한 재해감소에 대한 보다 명확한 원인을 파악할 수 있는 체계와 대책의 마련이 시급하다. 그러므로 건설현장 주변의 땅꺼짐현상을 줄이는 것은 건설업 전체 이미지손상 감소에 매우 의미 있는 일이다. 이에 관련근거자료를 토대로 건설현장주변의 재해감소 방안을 연구하여 재해율 감소 방안을 모색하여, 효율적인 사업추진 및 재해감소 활동을 통한 건설현장의 재해감소에 기여하고자 한다.

2. 용어의 분류(땅꺼짐의 형태별)

1 싱크홀(Sink Hole)이라 함은 땅이 갑자기 가라앉는 것으로 자연적인 현상중의 하나이다. 주로 석회암이 발달된 지대에서 지반이 녹음으로서 발생된다. 싱크홀은 납작한 그릇, 원기둥 혹은 깔때기 모양으로 생겼으며, 용해형, 침하형, 붕괴형 등 세 가지 형태로 구분된다. 이중 우리나라에서 이슈로 부각되는 것은 바로 붕괴형 싱크 홀로서 특징은 점토층이 두꺼운 곳에서 주로 발생하는 것으로 지하에 생긴 빈 공간을 점토의 점착력으로 일정기간 버티다가 갑자기 붕괴되며 발생한다.

2. 지반침하라 함은 일반적으로 지반이 각종 요인에 의해 침하하는 현상의 총칭으로 크게 두 가지 현상으로 분류할 수 있다. 자연 현상으로서는 지각 변동, 해면 상승 등이나 재해에 의한 요인이며, 인위적 요인으로서는 지하수의 과도한 양수나 매립 하중에 의한 침하, 굴착에 따른 침하가 있다. 구조 설계상은 즉시 침하, 압밀 침하로 나누어서 생각되는 경우가 많고, 고른 침하와 부동 침하에 대해 검토된다.

3. 동공은 지하의 빈 공간을 뜻하는 것으로 보통 지하수가 빠져나갈 때 흙더미를 같이 쓸고 나가면서 생기는 것으로, 최근 대형공사가 많아져 지하수와 흙이 많이 빠져나갔고 또 노후화된 지하배관에 균열이 생기면서 발생된다. 여기에 지반의 무게를 견디지 못할 경우 지반침하로 인하여 싱크홀이 발생된다.

4. 포트 홀(Pot hole)은 도로나 교량의 표층 및 기층 부분의 아스콘 노화, 자재불량, 일부 소규모 침하, 과도한 차량통행 등에 의해 미세한 균열이 생기고, 균열부위에 물이 침투하여 포장의 표면이 국부적으로 떨어져 나가 항아리 모양으로 파손된 것을 말한다.

3. 지반침하(땅 꺼짐)의 발생 원인

3.1. 개요

1) 보통 자연적으로 발생하는 싱크홀은 기반 암이 석회암일 때 물에 지반이 용해되어 발생된다. 하지만 우리나라 같은 경우에는 강원도 일부 지역 빼고는 대부분이 화강암과 편마암으로 구성돼 있어, 외국과 같은 대형 싱크홀은 발생하기가 상당히 어렵다. 실제 우리나라에서 발생하는 싱크홀은 외국에서 보는 싱크홀의 ¼도 안되는 작은 규모라 자연적인 싱크홀은 거의 발생하지 않는다.

2) 다만 국내에서 문제가 되는 지반침하는 크게 4가지 유형의 원인에서 기인하고 있다. 첫째, 건설 시공에 의한 지반침하로, 시공·굴착하는 건설행위로 인해 지반이 이완되어 발생하는 유형. 둘째, 광산 채굴로 인해 지반이 붕괴되는 유형. 셋째, 우수 또는 지하수로 인하여 지반이 용해되는 유형. 넷째는 지하수위 저하 유형으로 지하수위 저하는 자연적인 경향과 굴착으로 인한 인공적인 경향으로 나타난다. 서울시의 발표에 따르면 최근 발생한 지반침하의 원인 중 하나인 노후화 된 상·하수도관 등 지하 매설관의 파손으로 도심지에서 발생하고 있지만, 피해 규모가 상대적으로 크지 않아 일반적인 지반침하 유형에는 포함되지 않는다. 하지만, 최근 들어 도심지 지반 공사가 점점 증가하고 있으며, 또한 난공사로 인해 지반침하 현상이 기하급수적으로 증가하고 있다는 점에 대해서는 앞으로도 지속적인 관심과 이에 대한 대책과 노력이 필요할 것으로 사료된다.

3.2 싱크홀(Sink Hole) 발생원인

싱크홀은 그림1과 같이 땅속에서 지하수가 빠져나가면서 생긴다. 땅속에는 복잡한 지하수 네트워크가 있다. 이런 복잡한 지하수 네트워크가 융기와 침강, 단층과 습곡, 지진 등 지각변동과 기후변화로 인하여 자연상태에서의 싱크홀이 생겨난다.

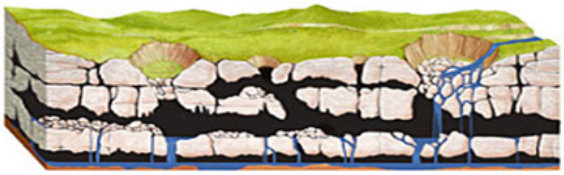
또한 도심지에서 싱크홀이 생기는 이유 역시 지하수의 과잉양수로 인하여 생기는 것이 그 원인이라고 할 수 있다. 일본 도쿄 오차노미즈역에 깔대기 모양으로 발생된 것과, 2005년 6월 전남무안과 2008년 5월 충북음성에서 발생한 싱크홀도 이 같은 원인으로 생겼다. 따라서 지하수를 많이 끌어 쓰면 지하수위가 낮아지면서, 지하수위가 감당하던 압력을 땅 속 공간이 받게 되어 지표가 무너져 싱크홀이 발생되는 것으로 보아 지하수가 싱크홀 발생의 주된 요인임을 알 수 있다.

http://dx.doi.org/10.12812/ksms.2015.17.4.153
ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

❶ 빗물이 퇴적층 평평한 지면 라래로 스며들어 지하수를 만든다.

❷ 모래, 꺽인 나뭇가지 등이 지하수와 함께 흐르면서 땅 속 구멍을 점점 키운다.

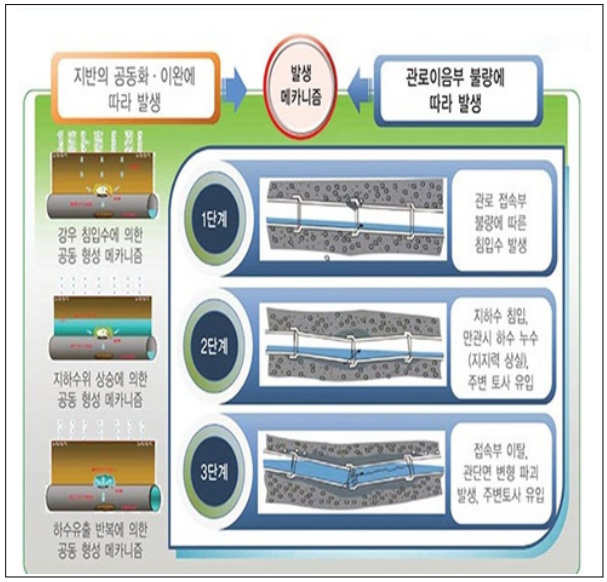
❸ 지하수 수위가 낮아지면서 지하수가 감당하고 있던 압력을 빈 동굴이 고스란히 받는다. 그 결과, 동굴이 무너지면서 싱크홀이 생긴다.



[Figure 1] This process caused sinkhole

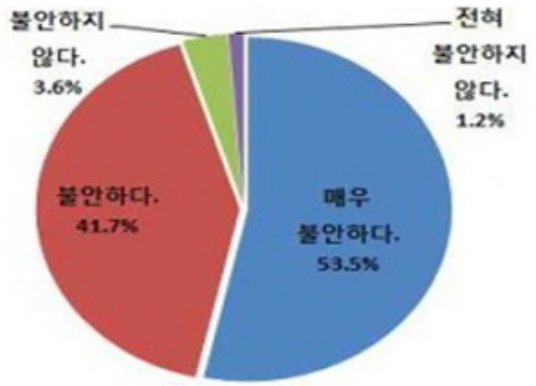
3.3 최근에 발생하는 지반침하 발생 메카니즘

최근에 발생되는 지반침하의 발생원인은 도심지화(인구 90%이상 도시지역 거주)되고 1960년대 이후 설치된 지중 시설물(하수관거 등)이 노후화됨에 따라 그림과 같은 지반침하의 발생 메커니즘을 나타내고 있다. 즉, 지반의 공동화 및 이완에 따른 발생과 지하매설 관로이음부 불량에 따라 발생하는 형태로 나타나고 있다. 따라서 최근 빈번하게 발생되고 있는 땅 꺼짐(지반침하,지반함몰)의 현상은 지반굴착공사, 연약지반 침하, 지중매설물 파손(노후된 상하수도관 등) 등 인위적인 개발로 인하여 발생되는 바, 자연현상으로 발생되는 싱크홀과는 분명히 구분할 수가 있겠다. 다만, 지하수가 지반침하 발생의 주된 요인임을 배제할 수는 없다. 따라서 정부의 감독기관 및 지자체의 지속적인 관심과 관리 및 대책이 요구된다.



[Figure 2] The mechanism of ground subsidence occurred

4 지반침하(땅꺼짐)가 사람의 행동용인에 불안감 조성으로 미치는 영향



단위 : %

[Figure 3] Sink holes anxiety

<Table 1> Sink holes anxiety

Division	Seoul	Gyeonggi-do	Incheon
Total number of respondents	524명	387명	89명
It is very unstable.	52.86	56.07	46.07
Unstable.	41.98	39.79	48.31
Not anxiety.	4.01	3.10	3.37
Not nervous at all.	1.15	1.03	2.25

상기의 설문조사와 같이 예측할 수 없는 싱크홀 발생에 대해서 대다수의 국민들은 불안감을 느끼고 있다. 특히, 수도권에 거주하는 주민들 중 95% 이상이 싱크홀에 대한 불안감을 느끼고 있다는 조사 결과가 나왔다. 싱크홀 발생시 가장 위험할 것 같은 상황 및 장소는 각각 출·퇴근시와 번화가가 가장 높은 응답을 보였는데, 대부분의 주민들이 싱크홀 발생 피해자가 될 수 있을 것이라는 인식을 가지고 있어 싱크홀에 대한 국민들의 높은 불안감을 알 수 있다.

5 지반침하(땅꺼짐)가 사회에 미치는 영향

1. 빈번하게 발생되는 땅 꺼짐에 대한 일관성 없는 용어의 사용으로 인하여 국민들의 불안감 증가.

2. 땅 꺼짐 피해자에 대한 보상규정 미흡으로 사회적 문제 대두.

3. 토지 및 건물 등 부동산 가격 하락으로 인한 개인적 손실 초래.

4. 원인이나 대처방안 등에 초점이 맞춰져야 함에도 불구하고 규모와 위험성만을 지나치게 강조하는 언론들의 선정적인 보도로 인하여 팩트(Fact)보다는 임팩트(Impact)를 우선시하여 불필요한 불안감 조성.

5. 신규 구축물을 포함 기존 건축물에 대한 진단 등의 직,간접비용 발생 증가.

6. 사전에 예측을 할 수 없고 무차별, 속수무책이기에 더욱 두려운 대상으로 대두.

6. 지반침하(땅꺼짐) 해외사례

1) 프랑스

1세기 전에 싱크홀 문제로 지하와 관련된 일을 전담하는 부서가 따로 구성이 되어 있어 지하세계 지도를 완벽하게 완성하여 항상 체크하고 문제가 발생시에는 대책을 수립하여 조치를 하고 있다.

2) 미국

▷ 플로리다 주

- 인명 및 재산보호를 위해 싱크홀 관련 사전 및 사후 대책을 마련함.
- 2010년부터 싱크홀 관련 조례를 시행.
- 건축기준과 건축시공방법에 대한 등급 기준을 마련.
- 그에 따라 건축물 보험료를 산정하도록 규정.
- 주택소유자들이 의무적으로 싱크홀 보험가입을 하도록 규정.
- 일반시민들이 싱크홀 발생 징후를 인지할 수 있는 지침 등을 제시.

▷ 휴스턴 주 외

- 지하수 개발의 제한으로 1970년 이후 해안지역의 지반침하는 어느 정도 안정화가 되었으나, 서북쪽 방향 내륙지역에는 약 1.2m정도 침하.
- 이에 미국 내 대도시에서는 생활용수 및 공업용수 공급을 위한 무분별한 지하수 과잉채수 등에 대하여 강력히 규제함.

<Table 2> 6 ways for the prevention of Florida sinkhole area

Step		Main Content
1	물길차단 및 우회 (Redirect or block water)	지표수나 강우 유출수가 건물과 인접해서 흐르거나 건물내로 스며들지 않도록 하는 배수체계가 중요
2	지하 석회암 처리공정 (Treating underground limestone)	지반의 석회암에 대한 공정이 중요함. 고대 이집트 피라미드 자재의 95%는 석회석으로 이루어졌음에도 공정과정을 통해 물과 산성비에 스며들지 않음
3	공사방법 (Construction measures)	구조물 공사전 지반에 대한 싱크홀 가능성에 대한 토양조사와 건축시 기반공사 강화가 중요
4	습지 위 구조물 공사 지양 (Avoid construction on wetland)	습지 또는 늪지 위의 구조물 및 건축행위를 지양
5	지하수 사용 자체를 목적으로 한 담수화장치 확대 (Seawater treatment facilities)	담수화를 통한 식수 및 생활용수 공급으로 지하수 사용 자제와 지하수원 유지
6	지하수 사용 자체를 목적으로 한 빗물재사용 (Recycling gray water runoff)	빗물재활용을 통한 생활용수 공급으로 지하수 사용 자제와 지하수원 유지

ISSN 1229-6783(Print)
ISSN 2288-1484(Online)

7 지반침하(땅 꺼짐)의 발생 현황

7.1 지역별 발생현황(최근 3년간 전국 싱크홀 발생현황)

<Table 3> March 2012 ~ 2013sus local subsidence (sink holes) occurs Status

Division	2012	2013	2014	2015	총 합계
Seoul		2	25	16	43
Gyeonggi	4	6	8	1	19
Gang won	2	5	8		15
Jeonbuk	4		2	1	7
Busan			4	1	5
Daegu		1	3		4
Gyeongnam			2	1	3
South Chung cheong		1	2		3
Sejong City			1	1	2
Ulsan			2		2
Kyung pook			1		1
Chung buk			1		1
Sum	10	15	59	21	105

7.2 서울지역 발생현황 : 2008년~ 2014년8월

[Figure 4] [Seoul Regional occurrence status]

<Table 3> March 2012 ~ 2013sus local subsidence (sink holes) occurs Status과 [Figure 4] [Seoul Regional occurrence status]를 참조하여 보면 다음과 같다.

서울시와 산하 도로사업소 등에 따르면 2008년 이후 현재까지 서울에서 발견된 싱크홀은 총 115개에 이른다.

특히 싱크홀 문제가 불거지기 전인 2008년부터 지난해까지 5년간 강남 · 서초 · 송파 · 강동구 등 강남4개구에서 발생한 것만 82곳에 달한다.

이 수치는 서울의 권역별 도로사업소가 관내에서 발생한 싱크홀을 보수하는 과정에서 정리한 것이다.

강북과 강남지역은 싱크홀 발생 원인도 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 북부 · 동부도로사업소가 분석한 96개 싱크홀의 발생원인을 보면 강북권은 상 · 하수도 손상, 강남권은 자연침하가 가장 큰 비중을 차지한다.
강북권에서 발생한 23개 싱크홀은 상 · 하수관 파손 및 누수가 원인인 경우가 절반에 가까운 11개였다.
이어 지하철공사 영향이 4개, 자연침하 3개, 기타 1개 등이었다.

반면 강남권의 73개 싱크홀에서는 오랜기간 토사가 밀리면서 생겨난 자연침하가 48개로 65.7%에 달했다.
이어 상 · 하수도 파손 및 누수 원인이 18개, 지하철공사 영향이 2개 등의 순이었다. 서울시가 주요 원인으로 지목한 상 · 하수도 및 지하철공사로 인한 싱크홀 발생은 강남권에선 전체의 30%에도 못 미쳤다.

이는 강북과 강남권의 싱크홀 발생 원인이 다른 이유로 지질 차이를 꼽을 수 있다.

7.3. 서울 전지역 지반침하(땅 꺼짐)의 발생 현황

서울 전지역 지반침하(땅 꺼짐)의 발생 현황은 그림 [Figure 4] [Seoul Areas sinkhole caused Status]를 참조하면 다음과 같다.

[Figure 4] Seoul Areas sinkhole caused Status

8. 국내 지반침하(땅 꺼짐)의 특징 및 대응방안

8.1 특징

1) 우리나라에서 발생하는 지반침하는 지하매설물 파손이나, 굴착공사 등 인위적 요인으로 주로 발생한다.

2) 지하매설물의 파손이나 매설불량에 따른 싱크홀이 가장 흔하지만 매설물의 깊이가 평균 1.2m 수준으로 낮기 때문에 규모가 대부분 작은 것으로 분석되었다.

<Table 4> The average depth underground Buried Object

Division	Underground maeseolmul average depth (m)
Water and Wastewater	1.2
Communication	0.7
Power	1.5
Gas	1.0
Heating	1.7

8.2 대응방안(정책적 방안)

1) 지하공간 통합지도 구축 · 서비스

보이지 않는 지하공간을 한 눈에 확인할 수 있도록 지하공간 통합 지도를 구축하여 지하공간 정보를 3D로 통합해 지자체와 개발주체에게 제공 예정.

2) 굴착공사 현장 주변 안전관리 강화

지하공간을 개발하기 전 인근 지반과 시설물의 안전성을 분석하는 '지하개발 사전안전성 분석' 특별법 제정을 통해 그동안 각종 설계 및 시공 기준은 시공대상 시설물의 안전에만 초점을 맞춘 것을, 앞으로는 공사현장 주변의 안전까지 고려하고 굴착공사 과정에서 외부 전문가가 안전성을 확인하도록 안전관리 시스템을 보완하고, 불시점검을 실시하는 등 지도 · 감독도 강화할 계획.

3) 불안요소에 대한 선제적 모니터링 및 관리

지반침하가 잦은 취약지역의 안전관리를 위해 지자체 별로 안전관리 계획을 수립해 관리하도록 지자체의 역할을 특별법에 규정하고, 또한 지자체의 안전관리를 지원하도록 시설안전공단에 지반탐사반 설치, 안전점검 매뉴얼 배포, 생활 속 싱크홀 징후의 발굴 등 중앙정부

차원의 지원도 적극 추진할 계획. 아울러 전 국에 균일한 지하수 관측망을 구축해 지하수 모니터링을 강화하고, 취약한 상하수관의 보수보강도 적극 추진.

4) 지하공간 통합 안전관리체계의 기반 조성 안전대책을 효과적으로 이행하기 위해 지하공간 안전관리를 총괄하는 '지하공간의 안전관리에 관한 특별법(가칭)'을 내년 중 제정할 예정이며, 또 지반안전 관련 연구개발도 적극적으로 발굴해 시행할 예정.

5) 우선 통합지도가 구축되기 전에 지하정보 지원센터를 설치해 수요자가 지하공간 정보를 쉽게 이용하도록 지원할 것이며, 새로운 사전안전성분석이 도입되기 전까지는 굴착공사 시 지반안전에 대한 대책을 검토할 예정임.

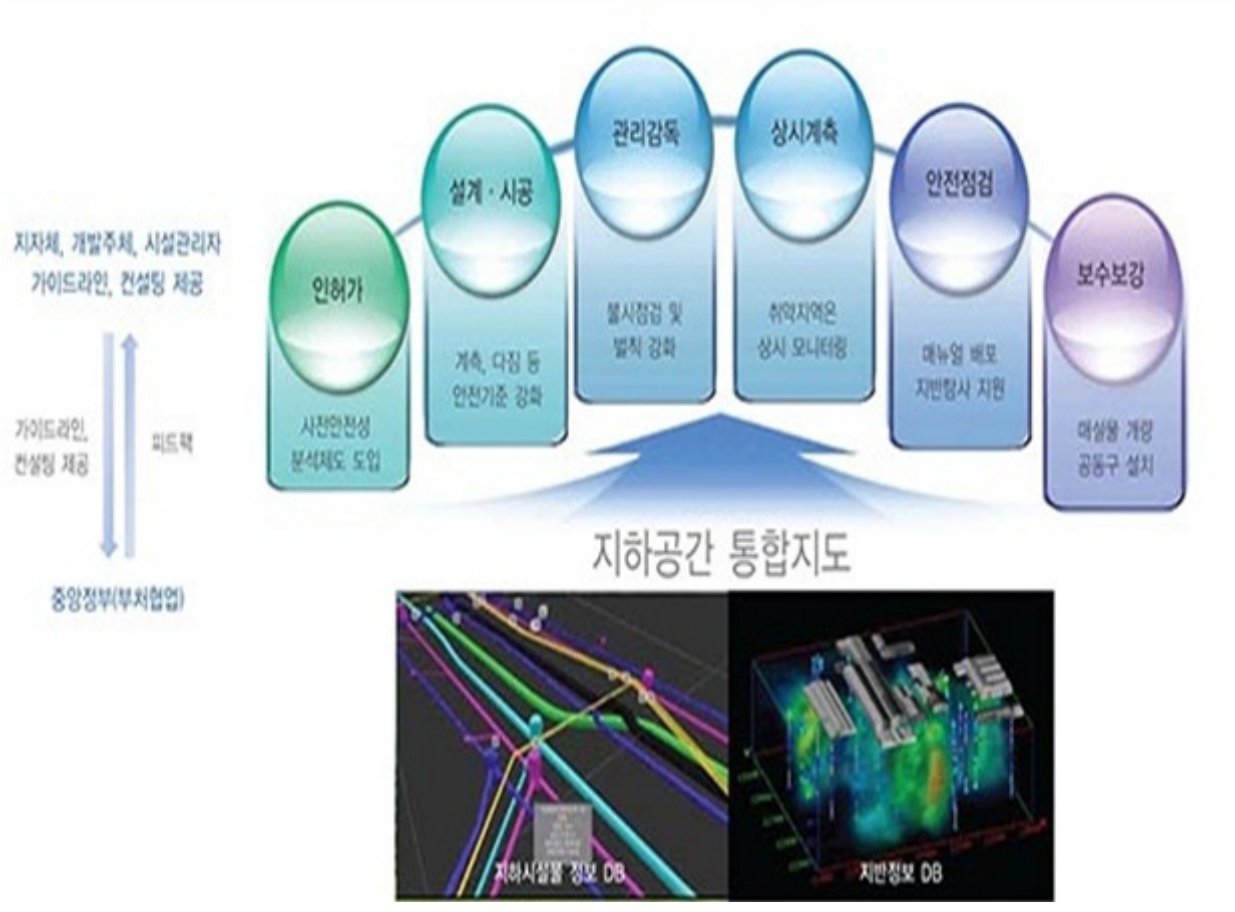
6) 끝으로 서울시 등의 싱크홀 사례를 타 지자체에 알리고, 지반 탐사반을 즉시 설치해 지자체 안전관리를 지원할 예정.

8.3 추후 지속적인 대응 방향

1) 제대로 된 땅속지도 작성.
2) 싱크홀 예측기술 확보.
3) 지하공간 통합관리 컨트롤타워 신설
4) 토목 · 지질 융복합 전문가 양성
5) 지하공사 안전관리 매뉴얼 개선
6) 지하의 안전관리에 관한 특별법 제정 안 추진.

9. 결론

1. 우리나라 건설산업 규모는 100조원으로 추정되는데 그만큼 부실시공 및 안전사고의 위험성이 항상 도사리고 있다. 특히, 우리나라의 주요 사회기반시설은 고령화로 노후화가 급속히 진행되고 있다는데 유념해야 한다. 대부분 1970년대 본격적인 경제개발과 함께 대형 SOC시설물이 지어졌다. 시특법에서 관리하고 있는 대형 SOC시설물만 2만 여개에 이르고 있으며 30년 이상 지난 노후시설물만 1천900여 개로 거의 10% 이상을 차지하고 있다고 한다.



[Figure 4] Construction of underground space Integration

2. 마찬가지로 먼 외국의 이야기가 아닌 우리 곁에 있는 석촌지하차도 주변에서 발견된 동공들 역시도 30년 이상 지난 노후시설물로서 시민들의 안전을 위협하는 “시한폭탄”으로 부메랑이 되어 떠올랐다.

3. 이에 싱크홀 역시도 분명히 과거와는 다른 형태의 재난임을 인식하여야 하며, 싱크홀에 대하여 지방자치단체의 문제로만 국한시킬 것이 아니라, 중앙정부의 감독기관에서 이에 대한 본격적인 유지관리체계의 패러다임을 전환하여 안전한 대한민국 만들기를 위한 조속한 법 개정과 제도의 개선노력만이 국민들이 체감할 수 있는 안전대책 마련임으로 사료된다.

10. References

[1] Seoul Metropolitan Government Office and under the road
[2] Sink holes anxiety
[3] Sinkhole occurrence areas of the US
[4] Sinkhole occurrence area of France
[5] March 2012 ~ 2013sus local subsidence (sink holes) occurs Status
[6] Seoul Regional occurrence status
[7] Seoul Areas sinkhole caused Status

저 자 소 개

임 진 상

명지대학교 일반대학원 산업경영공학과 석·박사 과정 중. 현재 대전 대원칸타빌현장 재직 중.
관심분야 : 건설안전, 산업재해조사, 건설안전특론, 안전, 안전성, 안정율, 중대재해조사 등

강 경 식

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