

지반함몰 사고 분석을 통한 제도 개선안 연구

- 지하시설물 및 주변지반 관리 중심으로 -

김동진* · 이종근 · 김홍균 · 노태길

국토안전관리원 지반안전실

Study on Improvement Plan of System through Analysis of Ground Sink Accidents

- Focused on the management of underground facilities and their surrounding ground -

Kim, Dong-jin* · Lee, Jong-keun · Kim, Hong-kyoon · No, Tae-kil

Ground Safety Division, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety

Abstract : The purpose of this study is to propose a system improvement plan to prevent ground sinking accidents. To do this, follow the procedure below. First, it defines terms that are used interchangeably, such as ground subsidence and ground depression. Second, analysis of the current status and cause of ground sink, and the analysis of the correlation between rainfall and ground sink causes, derives priority management causes. Third, we propose a system improvement plan for the cause of priority management. As a result, damage to underground pipes and inadequate underground works were identified as the cause of priority management, and two system improvement plans to manage them were proposed. The results of this study can be used as basic data for improving the system for more effective prevention of underground sink in the future.

Keywords : Ground sink, ground settlement, rainfall, correlation analysis, system improvement

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 집중호우기간 경기도 구리시 교문동 지반함몰 사고(2020.8.), 서울 성수동 지반함몰 사고(2020.10.) 등과 같이 도심지를 중심으로 지반함몰 사고가 발생하여 국민들의 불안감이 증가하고 있다.

지반함몰(침하)에 대한 국민들의 관심과 불안이 발생하게 된 것은 2014년부터이다. 2014년 6~8월 간 서울에서 발생한 10건의 지반함몰(침하) 중 5건이 송파구에서 발생하고, 인근 제2롯데월드의 신축과 석촌호수의 수위저하 등과 맞물려 사회적 이슈가 되었다. 이에 국토교통부에서는 학계·연구기관의 전문가와 중앙부처, 지자체가 함께 마련한 “지반

침하 예방대책(2014년 12월)”을 발표하였고, 「지하안전관리에 관한 특별법」을 제정(2016년 1월) 및 시행(2018년 1월)하는 등 제도적 기반 마련에도 적극적인 노력을 기울여 왔다(Lee, Shin and Ko, 2017).

지하안전관리에 관한 특별법이 시행되어 지반함몰사고의 증가세가 다소 꺾였지만 제도적 노력에도 불구하고 여전히 지반함몰사고는 다수 발생하고 있는 실정이다. 도시지역에서 발생한 지반함몰 사례는 상·하수관 노후화에 따른 파손, 대규모 굴착공사에 의한 지하수위 저하 및 토사 유출 등이 주요 원인으로 규명되고 있다(Kim and Jung, 2018). 또한, 강수량이 많은 여름에 지반함몰이 많이 발생된다고 분석되고 있다(Kim, et al., 2016).

따라서, 본 연구에서는 지반함몰 사고의 예방을 위하여 2014~2019년의 지반함몰 사고 현황 및 2020년 집중호우 지반함몰 사고의 현황 등을 분석하여 하기의 원인 및 규모, 강우와의 상관관계 등을 분석하고 현행 시행되고 있는 지하안전관리 관련 제도의 개선 방안을 제시하고자 한다.

* Corresponding author: Kim, Dongjin, Ground Safety Division, Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation, Jinju 52852, Korea
E-mail: kdj0525@kalis.or.kr
Received November 30, 2020; revised December 3, 2020
accepted December 3, 2020

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 <Fig. 1>과 같이 진행된다. 첫째, 연구 진행에 앞서 지반함몰, 지반침하 등의 혼용되는 용어의 정의를 명확하게 한다. 둘째, 지반함몰 사고 데이터를 3가지 방법(사고 현황 및 원인분석, 사고와 강우의 상관분석, 피해규모 별 사고분석)으로 분석하여 집중 관리 원인을 도출한다. 마지막으로 도출된 원인의 내실 있는 관리를 위한 제도개선 방안 제시의 순으로 연구를 진행하였다.

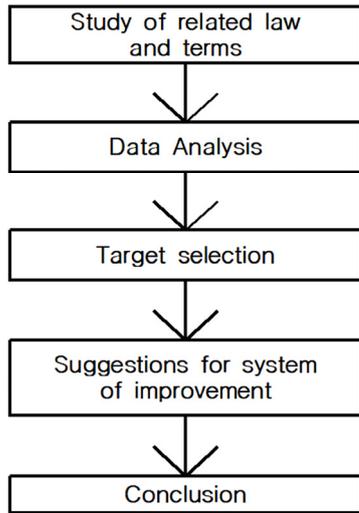


Fig. 1. Research method

2. 관련 제도 및 용어

2.1. 지하안전관리에 관한 특별법(약칭 : 지하안전법)

지반침하 등의 방지하기 위하여 탄생한 지하안전관리에 관한 특별법은 크게 계획수립, 평가, 관리시스템에 관한 내용으로 구성되어 있다(Lee and Yoon, 2017).

계획수립은 크게 세 가지로 구분된다. 국토교통부장관이 지반침하를 예방하기 위하여 5년마다 수립하는 “국가지하안전관리 기본계획”과 이에 따라 시·도지사 및 시·군·구가 수립하는 “시·도 지하안전관리계획”, “시군구 지하안전관리계획”이 있다. 평가는 크게 “지하개발의 안전관리”와 “지하시설물 및 주변 지반의 안전관리”로 구분된다. 관리시스템은 “지하안전정보시스템”과 “지하공간통합지도”로 구분된다(Table. 1).

지하안전영향평가는 굴착공사 시 주변에 미치는 영향을 평가하여, 공사 등의 행위로 인한 지반침하사고를 예방하기 위하여 수행된다. 굴착깊이 20m를 기준으로 지하안전영향평가와 소규모지하안전영향평가로 나뉘며 굴착깊이 20m 이상의 공사는 착공 전 지하안전영향평가를 수행하고, 착공 후에 사후지하안전영향조사를 수행해야 한다. 소규모 지하안전영향평가는 굴착깊이 10m 이상 20m 미만의 공사를 수행 시 실시하며 별도의 사후지하안전영향조사는 실시하지 않는다.

Table 1. Organisation of the main contents of the Underground Safety Act

Sortation	Contents
Plan	National Underground Safety Management Basic Plan
	City/Provinces underground safety management plan
	City/County/District underground safety management plan
Evaluation	Safety Management of Underground Development
	Safety Management of Underground Facilities and Surrounding Ground
System	Underground Safety Information System
	Underground Space Integration Map

지하시설물 및 주변 지반의 안전관리는 설치된 지하시설물의 영향으로 지반침하가 발생하는 것을 예방하기 위한 목적으로 수행되며 지하시설물관리자는 관리 지하시설물 및 주변 지반에 대하여 육안조사 1회/1년과 지표레이더탐사(GPR; Ground Penetrating Radar) 1회/5년으로 안전점검을 수행해야 한다.

시스템의 한 축인 지하안전정보시스템은 체계적인 지하안전관리계획, 지하안전영향평가서 등의 정보, 전문기관 등의 정보를 효율적으로 관리하기 위하여 구축 운영되고 있다. 지하공간통합지도는 지하공간 개발관리를 위해 개별 관리기관에서 생산 보유중인 지하공간정보를 3차원 기반으로 통합하는 지도시스템이다.

2.2 관련 용어 정의

본 연구의 진행에 앞서 지반침하, 지반함몰 등의 용어를 명확하게 정리함이 필요하다. 용어는 국토교통부에서 2015년 제시한 “지반침하 관련 용어 정리”를 정리하였다. 지반침하(Ground settlement)란 자연적 혹은 인위적인 다양한 요인에 의하여 지반이 넓은 면적이나 일정구간에서 자연적인 연약지반 또는 충분히 다짐되지 않고 인위적으로 형성된 지반이 오랜 시간 동안 서서히 가라앉는 현상을 말한다. 지반함몰(Ground sink) 지표면이 여러 요인에 의하여 일시에 붕괴되어 국부적으로 수직방향으로 꺼져 내려앉는 현상의 학술 용어이다. 싱크홀(Sinkhole)이란 석회암, 석고, 암염 등의 지층이 지하수와 지표수의 화학적인 영향에 의하여 하부 지반이 유실되어 지표층까지 갈대기 모양 또는 원통 모양으로 붕괴되는 현상을 말하며 대부분 대규모의 붕괴가 많다. 포트홀(Pot hole)이란 도로 포장에 우수유입으로 인하여 도로 포장이 벗겨져 작은 구멍이 생기는 현상을 말한다(Table 2).

3. 지반함몰 사고 및 관련 분석

3.1 지반함몰 사고 현황 및 원인 분석

<Table 3>은 2014년에서 2019년까지 국토교통부에 공식 보고된 지반함몰 사고의 현황이다. 지반함몰 사고는 2019년까지 증가의 추세를 보이다 지하안전에 관한 특별법이 실시

Table 2. Summary of related terms (Ministry of Land, Infrastructure and Transport)

Terms	Definition	Ex. Pic.
Ground settlement	A phenomenon in which the natural soft ground or the artificially formed ground that is not sufficiently compacted in a large area or a certain section due to various natural or artificial factors gradually sinks for a long time	
Ground sink	It is an academic term for a phenomenon in which the surface of the earth collapses and sinks due to various factors.	
Sinkhole	A phenomenon in which the lower ground is lost due to the chemical effects of groundwater and surface water, such as limestone, gypsum, and rock salt, and collapses into a funnel or cylindrical shape to the surface layer.	
Pot hole	A phenomenon in which a small hole is formed due to the road pavement peeling off due to rainwater inflow into the road pavement.	

Table 3. Current status of ground sink accidents by region

By Province	Total	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Total	1,319	69	186	255	279	338	192
Gyeonggi-do	285	17	56	61	19	79	53
Gangwon-do	207	30	33	53	45	41	5
Seoul	148	5	33	57	23	17	13
Chungcheongbuk-do	126	1	3	1	55	60	6
Busan	87	9	8	5	20	30	15
Daejeon	84	0	6	18	36	4	20
Gyeongsangnam-do	83	0	14	17	10	10	32
Gwangju	80	1	3	15	13	28	20
Incheon	40	2	6	2	12	10	8
Jeollanam-do	32	0	7	1	8	11	5
Jeollabuk-do	30	0	6	10	3	5	6
Ulsan	27	3	3	6	8	6	1
Gyeongsangbuk-do	26	0	1	1	1	22	1
Daegu	24	0	2	2	12	5	3
Chungcheongnam-do	18	1	2	3	8	3	1
Jeju	14	0	3	0	5	4	2
Sejong	8	0	0	3	1	3	1

된 2018년 이후 192건으로 43% 감소함을 보였다.

〈Table 4〉는 2014년에서 2019년까지 발생한 지반함몰 사고를 원인별로 정리하였다. 지반함몰 사고의 주요 원인을 8개(상수관 손상, 하수관 손상, 기타매설물 손상, 굴착공사부실, 다짐(되메우기 불량), 상하수관공사 부실, 기타매설공사 부실, 기타)로 구분하여 분석한 결과, 하수관 손상(41.7%), 상수관 손상(16.8%), 다짐(되메우기 불량)(15.2%), 기타(13.7%), 굴착공사 부실(4.7%), 상하수관공사 부실(3.3%), 기타매설물 손상(2.8%), 기타매설공사 부실(1.8%)로 분석되었다.

Table 4. Current status of ground sink accidents by cause of occurrence

By Cause	Total	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Total	1,319	69	186	255	279	338	192
Water Pipe Damage	222	31	53	53	41	36	8
Sewer Pipe Damage	550	21	60	88	143	140	98
Other Burial Damage	37	1	4	9	5	14	4
Poor Excavation Work	62	5	13	19	13	6	6
Poor Compaction(Backfill)	200	10	18	44	41	68	19
Poor Work on Water and Sewage Pipes	43	-	22	7	2	9	3
Other Burial Work	24	-	1	3	1	10	9
Other	181	1	15	32	33	55	45

3.2 지반함몰 사고 및 강우량의 상관관계 분석

〈Fig. 2〉는 2014년에서 2019년까지 발생한 지반함몰 사고와 강수량을 월평균으로 정리하였다. 집중호우 기간인 7~8월에 지반함몰이 증가하고 우기(6~8월)에 약 41%의 지반함몰 사고가 집중됨을 알 수 있으며 전반적으로 지반함몰의 발생수는 강수량과 정(+)의 상관관계가 있음이 간접 확인된다.

본 연구는 주요 변수인 월별 평균 강수량과 변수인 월별 지반함몰 건수, 월별 상수관 손상 건수, 월별 하수관 손상 건수, 월별 기타매설물 손상 건수, 월별 굴착공사부실 건수, 월별 다짐(되메우기) 불량 건수, 월별 상하수관공사 부실 건수, 월별 기타매설공사 부실 건수, 월별 기타 건수 간 상관관계를 확인하기 위하여 통계해석 프로그램인 SPSS를 활용하여 피어슨상관관계 분석을 실시하였다. 그 결과 월 평균 강수량은 월별 지반함몰 건수($r=0.806, p<.05$), 월별 상수관 손상 건수($r=0.716, p<.05$), 월별 하수관 손상 건수($r=0.781, p<.05$), 월별 상하수관공사 부실 건수($r=0.901, p<.05$) 등이 유의한 정(+)의 상관관계를 보였다〈Table 5〉.

Table 5. Results of correlation analysis between average monthly Precipitation and 8 major causes

Variables(major causes)	Correlation
	1.Monthly average precipitation(mm)
1. Monthly average precipitation(mm)	1
2. Monthly ground sink(case)	.806**
3. Monthly Water Pipe Damage(case)	.716**
4. Monthly Sewer Pipe Damage(case)	.781**
5. Monthly Other Burial Damage(case)	.593*
6. Monthly Poor Excavation Work(case)	.411
7. Monthly Poor Compaction(Backfill)(case)	.686*
8. Monthly Poor Work on Water and Sewage Pipes(case)	.901**
9. Monthly Other Burial Work(case)	.513
10. Monthly Other(case)	.588*

* $p<0.05$, ** $p<0.01$

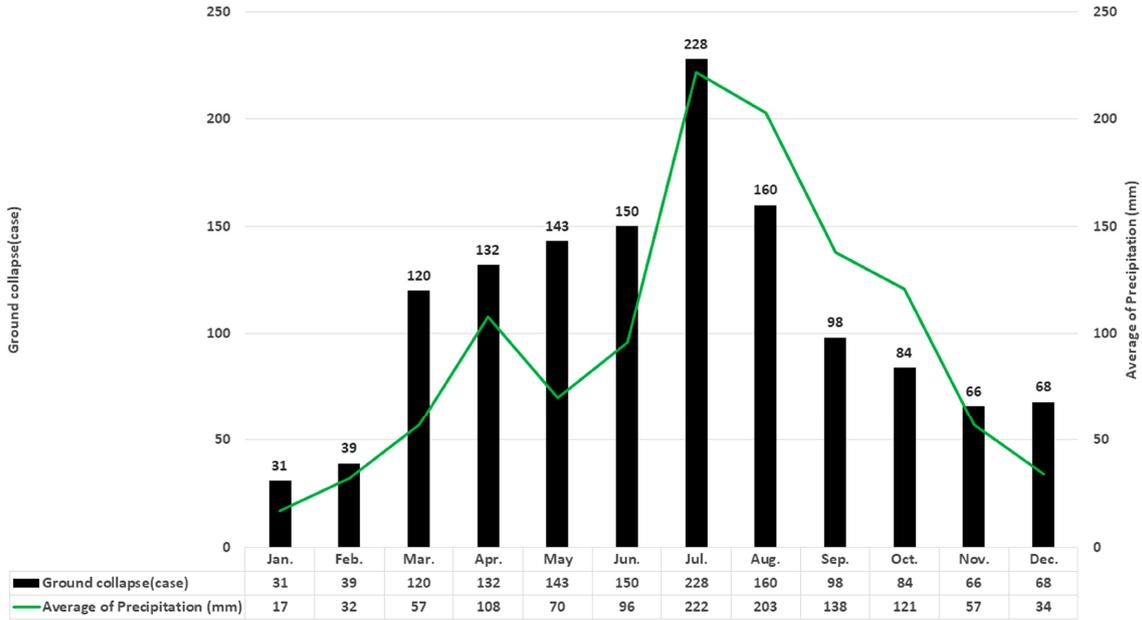


Fig. 2 The number of ground sink accidents and monthly average precipitation (2014~2019)

3.3 2020년 집중호우기 지반함몰 사고 현황 및 원인

본 연구에서는 2020년 집중호우기 기간 중 지반함몰 특성을 분석하기 위하여 한국시설안전공단에서 7~8월 언론 모니터링을 통하여 수집한 19건의 지반함몰 사고의 내역을 <Table 6>와 같이 수집하였다.

집중강우 기간인 7~8월에 발생한 19건의 지반함몰 사고는 하수관 손상이 52.6%, 다짐(되메우기) 불량률이 31.6%로 주요 원인으로 파악되었다<Table 7>.

Table 6. Status of ground sink accidents during intensive rainfall in 2020

By region	Total	Jul.	Aug.
Total	19	6	13
Seoul	3	-	3
Busan	4	3	1
Incheon	1	-	1
Gwangju	3	-	3
Gyeonggi-do	1	-	1
Gangwon-do	2	1	1
Chungcheongnam-do	2	-	2
Jeollabuk-do	1	1	-
Gyeongsangnam-do	1	-	1

Table 7. Status of ground sink accidents by cause from July to August in 2020

	Total	Jul.	Aug.
Total	19	6	13
Sewer Pipe Damage(case)	10	4	6
Poor Compaction(Backfill)(case)	6	2	4
Other(case)	3	-	3

Table 8. Evaluation to derive intensive management fields

By Cause	Result of Table 4 ¹⁾	Result of Table 5 ²⁾	Result of Table 7 ³⁾	Points (Rank)
Water Pipe Damage	16.8%(2)	.716(3)	-	8(3)
Sewer Pipe Damage	41.7%(1)	.781(2)	52.6%(1)	14(1)
O14ther Burial Damage	2.8%(7)	.593(5)	-	3(6)
Poor Excavation Work	4.7%(5)	.411(8)	-	3(6)
Poor Compaction(Backfill)	15.2%(3)	.686(4)	31.6%(2)	9(2)
Poor Work on Water and Sewage Pipes	3.3%(6)	.901(1)	-	7(4)
Other Burial Work	1.8%(8)	.513(7)	-	3(6)
Other	13.7%(4)	.588(6)	15.8%(3)	6(5)

※ Rank(1)=5points, Rank(2)=4points, Rank(3)=3points, Rank(4)=2points, Rank(5~8)=1point

- 1) Current status of ground sink accidents by cause of occurrence
- 2) Results of correlation analysis between average monthly Precipitation and 8 major causes
- 3) Status of ground sink accidents by cause from July to August in 2020

집중관리 원인을 도출하기 위하여 앞서 수행된 2014~2019년의 지반함몰 사고 현황 분석결과(Table4)와 6년간의 평균 강수량과 월별 지반함몰 사고 상관분석 결과(Table 5). 그리고 2020년 집중호우기 지반함몰 사고의 원인(Table 7)의 결과를 평가하였다.

평가의 방법은 각 분석 결과에 순위를 결정하고 순위에 따른 점수를 부여하였다. 그리고 그 항목별 점수들의 합산으로 집중 관리 분야를 도출하였다.

그 결과, 집중호우기 발생하는 지반함몰을 예방하기 위하여 하수도관 파손(14점, 1순위), 다짐(되메우기)불량(9점, 2순위), 상수도관 파손(8점, 3순위) 그리고 상수도관 공사부실(7점, 4순위) 순으로 집중관리 원인이 도출되었다.

4.2 지하시설물 등의 관리·감독 주체의 확대

시설물 관리자 중심의 안전관리체계를 보완하기 위해 안전관리규정 및 안전점검 등에 대한 국토부의 관리·감독 방안이 필요하다. 현재 지하안전법 시행령 제9조제1·2항에 따르면 지하시설물관리자는 소관지하시설물의 사용개시일 30일전까지 수립한 안전관리규정을 관할 시장·군수·구청장에게 제출하여야 하며, 이를 제출받은 시장·군수·구청장이 15일 이내에 그 적정 여부를 심사하여 지하시설물관리자에게 통보하도록 되어있다.

현행의 절차에 따르면 시설물의 관리의 절차가 지하시설물 관리자 및 소관 지자체의 단계에 머물러 국토교통부와의 연계가 전혀 없다. 이는 현황의 통계적 관리뿐 아니라 안전관리규정의 이행실태 점검 등에 대한 국토교통부의 확인 및 지원을 단절하는 요소이다. 또한, 지자체의 현행 인력으로 모든 지하시설물 안전점검에 대한 이행실태를 점검하기란 역부족인 상황이다. 따라서 부족한 지자체의 점검인력을 보완·지원하고 지반함몰이 집중되는 강우기에 국토교통부, 산하기관인 한국시설안전공단 등이 합동 점검 등을 수행할 수 있도록 협업을 위한 제도적 근거마련이 필요하다.

5. 결론

본 연구에서는 과거 지반함몰 사고 현황 및 강우와의 상관분석 등을 수행하여 핵심관리 사고 원인을 도출하고, 그 결과를 바탕으로 개선방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 연구를 통해 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 2014~2019년의 지반함몰 1,319건의 원인을 분석한 결과 하수도 및 상수도관의 손상이 총 58.5%로 과반 수 이상임을 확인되었다.
- (2) 지반함몰 사고 원인과 강우량의 상관관계를 분석한 결과, 강우량과 상하수도관 공사불량, 하수도관 손상, 상수도관 손상의 원인이 매우 높은 상관도를 보였다.
- (3) 2020년도 집중호우기 지반함몰 사고 현황 및 원인을 분석한 결과, 하수관 손상이 52.6%, 다짐(되메우기) 불량이 31.6%로 주요 원인으로 확인되었다.
- (4) 분석결과를 바탕으로 집중관리 원인은 지하관로 손상 및 공사불량으로 도출되었다.
- (5) 집중관리 원인의 사고현황 및 피해 규모를 분석한 결과, 발생빈도가 높은 “지하관로 손상”에 대한 집중관리가 필요하고, 상대적으로 발생 빈도가 낮은 “공사 부실”의 경우 피해의 규모가 11배나 크므로 관리에 소홀히 해서 안됨을 확인하였다.

본 논문에서는 분석된 결과에 따라 지반함몰 사고 분석을 통한 제도의 개선안을 다음과 같이 제시하였다.

- (1) 지하시설물 관리의 내실화를 위한 “안전관리 규정 수립” 및 “안전 점검”에 대한 세부기준 및 표준매뉴얼의 마련 필요

- (2) 지자체와 국토교통부의 협업 및 원활한 통계관리 등을 위한 제도적 근거마련 필요

끝으로 본 연구는 지반함몰 사고를 예방을 위한 제도개선을 위하여 수집된 소수의 데이터(일자, 파손 깊이, 규모, 원인 등)를 활용하여 원인을 규명하였다. 하지만 보다 실효성 있는 분석을 위해서는 다양한 자료(지반정보, 주변 관로의 정보 등)의 확보가 필요하다고 판단되며, 이를 분석에 활용하면 보다 세분화된 사고 원인의 규명과 제도개선 방안을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 본 연구를 통해서 공사 부실에 대한 관리의 중요성이 확인되었으므로 굴착공사의 관리와 연계하여 상세한 분석과 이에 따른 제도개선 방안 마련의 연구가 필요하다.

References

Kim, S. J. and Jung, K. S. (2018). “Experimental Study on Influence of Ground Collapse due to Ground Water Level Lowering,” *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, 19(11), 18(11) pp. 23-30.

Lee, J. H., Shin, C. G. and Ko, M. H. (2017). “Introduction of the Special Act on Underground Safety Management for the Prevention of Ground Subsidence,” *Geotechnical Engineering*, 33(2), (17). 03, pp. 38-40.

Kim, j. Y., Choi, C. H., Kang, J. M., Baek, W. J. and Yang, J. H. (2016). “Comparison Analysis with Monthly Rainfall and Ground Subsidence,” *Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference*, 16(1), pp. 167.

Lee, S. M. and Yoon, H. M. (2017). “A study for Improvement of Policy on Ground Subsidence Prevention in Urban Areas,” *Seoul Studies*, 18(1), 17(3), pp. 27-42.

요약 : 본 연구의 목적은 지반함몰 사고를 예방하기 위한 제도 개선안을 제안하는 것이다. 이를 위해 다음과 같은 수행절차를 따른다. 첫째, 지반침하 및 지반함몰 등의 혼용되어 사용되는 용어를 정의한다. 둘째, 지반함몰 사고 현황 및 원인 분석과 강우량과 지반함몰 원인간의 상관관계 분석을 실시하여 중점관리 원인을 도출한다. 셋째, 중점관리 원인에 대한 제도 개선안을 제안한다. 그 결과, 지하관로 손상과 지하공사 부실이 중점관리 원인으로 규명되었으며, 이를 관리할 두 가지의 제도 개선안을 제시하였다. 본 연구의 결과는 향후 보다 실효성 있는 지하함몰 예방을 위한 제도개선의 기초자료로 활용될 수 있다.

키워드 : 지반함몰, 지반침하, 강우량, 상관분석, 제도개선
