

지하안전영향평가서등 및 지하안전점검 지침 해설서

2017. 12



서 두

본 「지하안전영향평가서등 및 지하안전점검 지침 해설서」는 「지하안전관리에 관한 특별법」(이하 지하안전법) 제1조 및 동법 시행령 제1조 및 동법 시행규칙 제1조에 따라 해당사업이 지하안전에 미치는 영향을 미리 조사·예측할 수 있도록 지하안전영향평가서등의 작성방법, 평가요령 및 협의절차 등을 제시하여 지반침하를 예방하거나 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는데 그 목적이 있습니다.

본 지침 해설서는 **법적강제사항이 아님**을 알려드리며

①법 제14조(지하안전영향평가의 실시 등)제1항과 제2항에서 규정하는 사업을 하려는 지하개발사업자가 지하안전영향평가등을 실시할 때,

②지하안전법 영 제2조에 따른 “지하시설물”과 주변 지반에 대한 안전점검을 실시하는 지하시설물관리자가 “지하안전점검”을 실시할 때,

참고하실 수 있으며, 반드시 준수할 필요는 없습니다.

제 목 차 례

[1편 공통]

제1장 서론	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 용어의 정의	1
제2장 지하안전영향평가등 실시절차	5
2.1 지하안전영향평가 실시절차	5
2.2 소규모 지하안전영향평가 실시절차	11
2.3 사후지하안전영향조사 실시절차	16
2.4 지반침하위험도평가 실시절차	20
2.5 지하안전점검 실시절차	22

[2편 지하개발의 안전관리]

제1장 지하안전영향평가	27
1.1 지반 및 지질현황	27
1.2 지하수 변화에 의한 영향 검토	34
1.3 지반안전성 검토	37
1.4 지하안전확보방안 수립	43
제2장 소규모 지하안전영향평가	47
2.1 지반 및 지질현황	47
2.2 지하수 변화에 의한 영향 검토	51
2.3 지반안전성 검토	52
2.4 지하안전확보방안 수립	55
제3장 사후지하안전영향조사	57
3.1 지반 및 지질현황	57
3.2 지하수 변화에 의한 영향 검토	60
3.3 지반안전성 검토	61
3.4 지반안전확보방안 적정성 및 이행여부 검토	66

[3편 지하시설물 및 주변 지반의 안전관리]

제1장 지반침하위험도평가	75
1.1 지반침하위험도평가 대상지역의 설정	75
1.2 지반 및 지질현황	75
1.3 공동(空洞)조사	77
1.4 지반안전성 검토	80
1.5 지하안전확보방안 수립	82
제2장 지하안전점검	85
2.1 일반	85
2.2 육안조사	86
2.3 공동조사	99

1편 공통

제1장 서론

제2장 지하안전영향평가등 실시절차

제1장 서론

1.1 목적

본 「지하안전영향평가서등 및 지하안전점검 지침 해설서」(이하 「해설서」라 한다)는 「지하안전관리에 관한 특별법」(이하 「법」이라 한다) 제1조 및 동법 시행령(이하 「령」이라 한다) 제1조 및 동법 시행규칙 제1조에 따라 해당사업이 지하안전에 미치는 영향을 미리 조사·예측할 수 있도록 지하안전영향평가서등(이하 「평가서」라 한다)의 작성방법, 평가요령 및 협의절차 등을 제시하여 지반침하를 예방하거나 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는데 그 목적이 있다.

1.2 적용범위

본 해설서는 법 제14조(지하안전영향평가의 실시 등)제1항과 제2항에서 규정하는 사업을 하려는 지하개발사업자가 지하안전영향평가등을 실시할 때 적용함을 원칙으로 한다. 또한, 이 해설서는 지하안전관리에 관한 특별법 영 제2조에 따른 “지하시설물”과 주변 지반에 대한 안전점검을 실시하는 지하시설물관리자가 “지하안전점검”을 실시할 때 적용한다.

1.3 용어의 정의

○ 지하

“지하”란 개발·이용·관리의 대상이 되는 지표면 아래를 말한다.

○ 지반침하

“지반침하”란 지하개발 또는 지하시설물의 이용·관리 중에 주변 지반이 내려앉는 현상을 말한다.

○ 지하개발

“지하개발”이란 지반형태를 변형시키는 굴착, 매설, 양수(揚水)등의 행위를 말한다.

○ 지반함몰(Ground sink)

“지반함몰”이란 지표면이 여러 요인에 의하여 일시에 붕괴되어 국부적으로 수직방향으로 꺼져 내려앉는 현상의 학술 용어이다.

○ 싱크홀(Sinkhole)

“싱크홀”이란 석회암, 석고, 암염 등의 지층이 지하수 또는 지표수의 화학적인 영향에 의하여 공동이 생기고 2차적으로 상부지반의 지지력 상실로 지표층까지 깔대기 모양 또는 원통 모양으로 붕괴되는 현상이며 대체로 대규모로 형성되는 경우가 많다. 예)한국 영월,

정선 부근, 미국 플로리다주 윈터팍 싱크홀

○ 포트홀(Pot hole)

“포트홀”이란 도로 포장체에 우수유입 등으로 인하여 도로포장이 벗겨져 작은 구멍이 생기는 현상을 말한다. 예)아스팔트 포트홀, 포장도로 포트홀

○ 지하시설물

“지하시설물”이란 상수도, 하수도, 전력시설물, 전기통신설비, 가스공급시설, 공동구, 지하차도, 지하철 등 지하를 개발·이용하는 시설물로서 대통령령으로 정하는 시설물을 말한다.

○ 지하안전영향평가서등

“지하안전영향평가서등”이란 법 제15조제1항의 지하안전영향평가서, 법 제20조제2항의 사후지하안전영향조사서, 법 제23조제1항의 소규모지하안전영향평가서, 법 제35조제1항의 지반침하위험도평가서를 말한다.

○ 지하안전영향평가

“지하안전영향평가”란 지하안전에 영향을 미치는 사업의 실시계획·시행계획 등의 허가인가·승인·면허 또는 결정 등(이하 “승인 등”이라 한다)을 할 때에 해당사업(터널 또는 굴착심도 20m 이상)이 지하안전에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 지반침하를 예방하거나 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는 것을 말한다.

○ 소규모 지하안전영향평가

“소규모 지하안전영향평가”란 지하안전영향평가 대상사업에 해당하지 아니하는 소규모 사업(굴착심도 10m이상~20m 미만)에 대하여 실시하는 지하안전영향평가를 말한다.

○ 지반침하위험도평가

“지반침하위험도평가”란 지반침하와 관련하여 구조적·지리적 여건, 지반침하 위험요인 및 피해예상 규모, 지반침하 발생 이력 등을 분석하기 위하여 경험과 기술을 갖춘 자가 탐사 장비 등으로 검사를 실시하고 정량(定量)·정성(定性)적으로 위험도를 분석·예측하는 것을 말한다.

○ 지하개발사업자

“지하개발사업자”란 지하를 안전하게 개발·이용·관리하기 위하여 지하안전영향평가 또는 소규모 지하안전영향평가 대상사업을 시행하는 자를 말한다.

○ 지하시설물관리자

“지하시설물관리자”란 관계 법령에 따라 지하시설물의 관리자로 규정된 자나 해당 지하시설물의 소유자를 말한다. 이 경우 해당 지하시설물의 소유자와의 관리계약 등에 따라 지하시설물의 관리책임을 진 자는 지하시설물관리자로 본다.

○ 승인기관의 장

“승인기관의 장”이란 지하안전영향평가 또는 소규모 지하안전영향평가 대상사업에 대하여 승인 등을 하는 기관의 장을 말한다.

○ 지하정보

"지하정보"란 「국가공간정보 기본법」 제2조제1호에 따른 공간정보 중 지반특성, 지하시설물의 위치 등 지하에 관한 정보로서 대통령령으로 정하는 정보를 말한다.

○ 지하공간통합지도

"지하공간통합지도"란 지하를 개발·이용·관리하기 위하여 필요한 지하정보를 통합한 지도를 말한다.

○ 인근지역의 범위(굴착영향범위)

"인근지역의 범위"란 신설공사장 영향범위 파괴 포락선 $45+\varnothing/2$ 이내로 정의할 수 있으며, 구조물의 중요도에 따라 각 관리기관별 영향범위기준을 따른다.

○ 되메우기

"되메우기"란 지하구조물의 주위 등 여분으로 판 부분에 토사를 메워서 원상으로 복귀하는 것을 말한다.

○ 흙막이

"흙막이"란 지반을 굴착할 때 주위의 지반이 침하나 붕괴되는 것을 방지할 목적으로 만드는 토압·수압에 저항하는 벽체와 그 지보공의 총칭을 말하며, 통상은 가설구조물이지만 구조주체로서 다루는 경우가 있다.

○ 터널

"터널"이란 도로, 철도 또는 수로 등 지하공간을 활용해 통행 및 이동을 할 수 있도록 지중에 축조하는 지하구조물로 정의할 수 있으며, 굴착터널의 경우에는 지반 자체를 구조체로 활용하는 특징을, 개착터널의 경우에는 지층 및 주변 지반의 환경적인 특성에 직접적인 영향을 받는 특징을 가지고 있다.

○ 지보

"지보"란 지하 암반을 굴착하면 지압에 의해 변형이 생기고 파괴되어 함몰하는데 이를 방지하고 일정한 공간을 유지하기 위하여 사용하는 지지물을 말한다.

○ 광역 지하수흐름 분석

"광역 지하수흐름 분석"이란 지하굴착에 따른 광역 지하수의 수위 변화와 유동 특성을 분석하는 것을 말한다.

○ 지하안전확보방안

"지하안전확보방안"이란 지반침하를 예방하거나 감소시킬 수 있는 방안을 말한다.

○ 협의서 등

"협의서 등"이란 지하안전영향평가서, 소규모지하안전영향평가서, 재협의서, 협의내용조정요청서, 사후지하안전영향조사서를 말한다.

○ 사업지역

"사업지역"이란 사업시행지역과 사업시행으로 인하여 지하안전에 영향이 미치거나 미칠 것으로 예상되는 주변 지역으로, 협의시 지하안전영향평가 대상지역으로 설정된 지역을 말한다.

○ 전문가

“전문가”란 법 제11조에 따른 지하안전관리에 관한 자문단의 자문위원, 지방국토관리청의 장(제주특별자치도지사를 포함한다. 이하 같다)이 구성한 전문가 자문단의 자문위원, 그 밖에 지하안전영향평가 및 이와 관련된 사항에 대한 학식과 경험이 풍부한 자를 말한다.

○ 검토기관

“검토기관”이란 법 제16조에 따라 국토교통부장관이 검토 및 현지조사를 의뢰할 수 있는 자를 말한다.

○ 검토의견

“검토의견”이란 지방국토관리청의 장이 검토·의뢰한 협의서등에 대하여 검토기관이 통보한 의견을 말한다.

○ 육안조사

“육안조사”란 경험과 기술을 갖춘 자가 육안이나 간단한 점검기구 등으로 검사하여 지하 시설물 및 주변 지반에 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 행위를 말한다.

○ 공동(空洞)

“공동(空洞)”이란 지표하부에 발생한 빈 공간으로, 확대될 경우 지반침하 등이 발생할 수 있는 공간을 말한다.

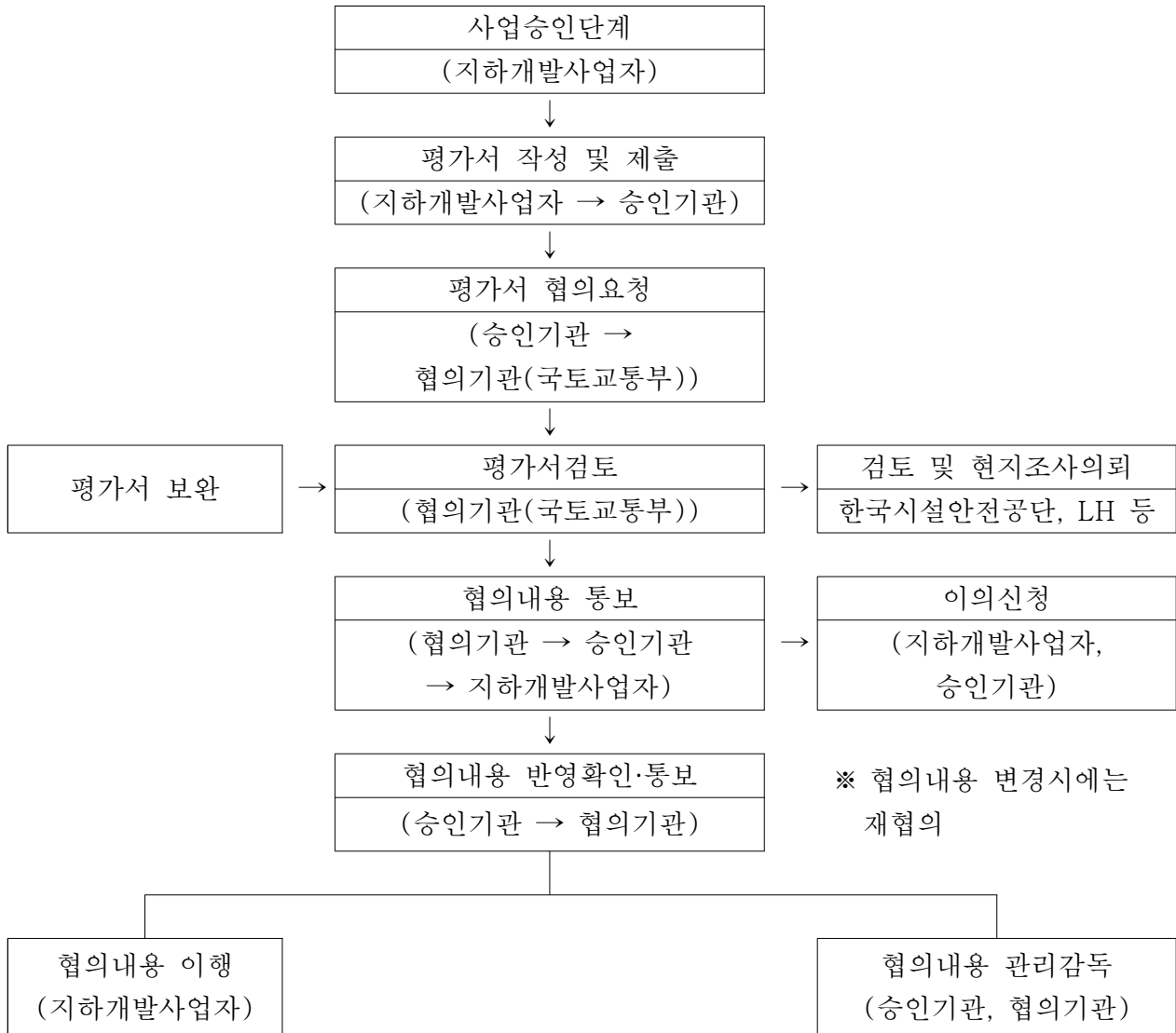
○ 공동(空洞)조사

“공동(空洞)조사”란 지표투과레이더(GPR) 탐사기 등을 이용하여 지하시설물 및 주변 지반에 침하·공동(空洞) 등의 발생유무를 파악하는 행위를 말한다.

제2장 지하안전영향평가등 실시절차

2.1 지하안전영향평가 실시절차

지하안전영향평가의 실시절차는 다음과 같다.



[그림 1.2.1] 지하안전영향평가 실시 절차도

2.1.1 지하안전영향평가 실시시기

- 지하안전영향평가는 지하안전관리에 관한 특별법 제10조에 따라 지하개발사업자는 「건설기술 진흥법」에 따른 건설업자와 주택건설 등록업자로 하여금 동법 제62조에 따른 건설공사의 안전관리계획에 반영되도록 하여 지하개발이 승인되기 전에 관할 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다.

- 지하안전영향평가는 영 제13조의 지하안전영향평가 대상사업에 해당하는 경우 영 별표 1의 협의요청시기 이전에 지하안전영향평가를 실시하여야 한다.

2.1.2 지하안전영향평가 대상사업

- 법 제14조 및 영 제13조에 의거한 지하굴착공사를 수반하는 사업을 대상으로 한다.
 - 굴착깊이(공사 지역 내 굴착깊이가 다른 경우에는 최대 굴착깊이를 말한다)가 20미터 이상인 굴착공사를 수반하는 사업
 - 터널[산악터널 및 수저(水底)터널 구간은 제외한다] 공사를 수반하는 사업
 - 법 제14조제1항제16호에서 “대통령령으로 정하는 시설”이란 「건축법」 제2조제1항제2호의 건축물
 - 법 제14조제2항에 따른 지하안전영향평가 대상사업의 구체적인 종류 및 범위는 영 별표 1과 같다.

2.1.3 지하안전영향평가 실시자의 자격 및 전문기관

(1) 책임기술자의 자격

- 영 제15조에 따라 지하안전영향평가 할 수 있는 사람(이하 “책임기술자”라 한다)은 「건설기술 진흥법 시행령」 별표 1에 따른 토질·지질 분야의 특급기술자로서 국토교통부령으로 정하는 교육을 이수한 사람으로 한다. 책임기술자는 지하안전영향평가를 할 때 필요한 경우에는 영 별표 8 제2호에 따른 기술인력의 자격 요건을 갖춘 사람으로 하여금 자신의 감독 하에 지하안전영향평가를 하게 할 수 있다. 이 경우 책임기술자의 감독 하에 지하안전영향평가를 하려는 사람은 영 제15조제1항에 따른 교육을 이수하여야 한다. 법 시행규칙 제5조(책임기술자 등의 교육훈련)에 따라 교육훈련을 이수하여야 한다.

(2) 지하안전영향평가 전문기관의 등록

- 법 제25조(지하안전영향평가 전문기관의 등록등)제1항에 따르면 제24조제1항에 따라 지하안전영향평가등을 대행하려는 자는 기술인력 및 장비 등 대통령령으로 정하는 등록 기준을 갖추어 시·도지사에게 지하안전영향평가 전문기관으로 등록하여야 한다. 영 제26조제1항에 따르면 법 제25조제1항에서 “기술인력 및 장비 등 대통령령으로 정하는 등록 기준”이란 별표 8에 따른 등록기준을 말한다.

(3) 지하안전영향평가 등의 대행

- 법 제24조제1항에 따르면 지하안전영향평가, 사후지하안전영향조사, 소규모 지하안전영향평가 및 제35조제1항에 따른 지반침하위험도평가(이하 “지하안전영향평가등”이라 한다)를 하려는 지하개발사업자 또는 지하시설물관리자는 제25조제1항에 따라 지하안전

영향평가 전문기관으로 등록을 한 자(이하 "지하안전영향평가 전문기관"이라 한다)에게 지하안전영향평가등을 대행하게 할 수 있다.

2.1.4 지하안전영향평가 평가항목 및 방법

- 법 제14조제2항과 영 제14조제1항에 따른 지하안전영향평가 대상사업의 종류 및 평가방법 등에서 평가항목 및 방법은 영 별표 2와 같다

2.1.5 지하안전영향평가서의 작성방법 및 협의요청

(1) 지하안전영향평가서의 작성방법

- 영 제16조 제1항에 따르면 법 제15조에 따른 지하안전영향평가서(이하 "지하안전영향평가서"라한다)의 작성방법은 영 별표 3과 같다.

(2) 지하안전영향평가서의 협의요청

- 법 제15조제1항에 따라 승인 등을 받아야 하는 지하개발사업자가 지하안전영향평가 대상사업에 대한 승인 등을 요청할 때에는 지하안전영향평가에 관한 평가서 및 사업계획서 등 필요한 자료를 첨부하여 승인기관의 장에게 제출하여야 하고, 승인기관의 장은 승인 등을 하기 전에 국토교통부장관에게 협의를 요청하여야 한다. 제2항에 따르면 승인 등을 받지 아니하여도 되는 지하개발사업자(승인기관의 장이 지하개발사업자인 경우를 말한다. 이하 같다)는 지하안전영향평가 대상사업의 실시계획·시행계획 등(이하 "사업계획 등"이라 한다)을 확정하기 전에 지하안전영향평가서 및 사업계획서 등 필요한 자료를 첨부하여 국토교통부장관에게 협의를 요청하여야 한다. 또한 영 제16조 제3항에 따르면 법 제15조제1항에 따라 지하안전영향평가서를 받은 승인기관의 장 또는 법 제15조제2항에 따라 승인 등을 받지 아니하여도 되는 지하개발사업자(이하 "승인기관장등"이라 한다)가 국토교통부장관에게 협의를 요청하는 시기는 별표 1과 같다.

2.1.6 지하안전영향평가서의 검토

- 법 제16조제1항에 따르면 국토교통부장관은 법 제15조제1항, 제2항에 따라 협의를 요청 받은 경우에는 지하안전영향평가서를 검토하여야 한다. 영 제17조제1항에 따라 지하안전영향평가서에 대하여 평가항목·방법 및 작성방법 등의 준수 여부, 지하안전영향평가서 내용의 타당성 여부를 검토하여야 한다.
- 법 제16조제2항에 따르면 국토교통부장관은 제1항에 따라 지하안전영향평가서를 검토할 때에 지하개발사업자 또는 승인기관의 장에게 관련 자료의 제출을 요청할 수 있고, 필요한 경우 다음 각 호의 자에게 검토 및 현지조사를 의뢰할 수 있다.

- 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제45조에 따른 한국시설안전공단
- 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 따라 설립된 연구기관
- 「특정연구기관 육성법」 제2조에 따른 특정연구기관
- 그 밖에 대통령령으로 정하는 기관

2.1.7 지하안전영향평가서의 협의내용 통보

- 법 제16조제4항의 국토교통부장관은 제15조제1항 또는 제2항에 따라 협의를 요청받은 날부터 대통령령으로 정하는 기간 이내에 승인기관장 등에게 협의내용을 통보하여야 한다. 제16조제4항에 따라 협의내용을 통보받은 승인기관의 장은 이를 지체 없이 지하개발사업자에게 통보하여야 한다. 영 제17조제3항에 따르면 법 제16조제4항에서 “대통령령으로 정하는 기간”이란 30일(부득이한 사유로 협의기간을 연장한 경우에는 50일)을 말한다. 이 경우 지하개발사업자가 지하안전영향평가서를 보완하는 기간과 공휴일 및 토요일은 기간산정에서 제외한다.

2.1.8 지하안전영향평가서의 협의내용 반영

- 법 제17조제1항에 따라 지하개발사업자나 승인기관의 장은 제16조제4항 또는 제5항에 따라 협의내용을 통보받았을 때에는 그 내용을 해당 사업계획 등에 반영하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다. 제2항에 따라 승인기관의 장은 사업계획 등에 대하여 승인 등을 하려면 협의내용이 사업계획 등에 반영되었는지를 확인하여야 한다. 이 경우 협의내용이 사업계획 등에 반영되지 아니한 경우에는 이를 반영하게 하여야 한다.
- 제3항에 따라 승인기관장 등은 사업계획 등에 대하여 승인 등을 하거나 사업계획 등을 확정하였을 때에는 협의내용의 반영 결과를 국토교통부장관에게 통보하여야 한다.
- 국토교통부장관은 제17조제3항에 따라 통보받은 결과에 협의내용이 반영되지 아니한 경우 승인기관장 등에게 협의내용을 반영하도록 요청할 수 있다. 이 경우 승인기관장 등은 정당한 사유가 없으면 이에 따라야 한다.

2.1.9 지하안전영향평가서의 협의내용 반영결과 통보

- 협의내용의 반영결과 통보는 영 제18조에 따라 법 제17조제3항에 따른 협의 내용의 반영결과 통보는 승인기관의 장이 통보하는 경우는 지하안전영향평가 대상사업의 사업계획 등에 대하여 승인등을 한 날부터 30일 이내 또는 승인등을 받지 아니하여도 되는 지하개발사업자가 통보하는 경우는 사업계획등을 확정된 날부터 30일 이내에 하여야 한다.

2.1.10 지하안전영향평가서의 협의내용 조정 및 사업계획등의 변경·재협의

(1) 협의내용 조정

- 법 제18조제1항에 따르면 지하개발사업자나 승인기관의 장은 제16조제4항 또는 제5항에 따라 통보받은 협의 내용에 이의가 있으면 국토교통부장관에게 협의 내용을 조정하여 줄 것을 요청할 수 있다. 이 경우 승인등을 받아야 하는 지하개발사업자는 승인기관의 장을 거쳐 조정을 요청하여야 한다. 영 제19조제1항과 제2항에 따라 조정 요청을 할 수 있다.

(2) 사업계획 등의 변경

- 법 제18조제2항에 따라 지하개발사업자는 법 제15조 및 제16조에 따라 협의한 사업계획 등을 변경하는 경우에는 사업계획 등의 변경에 따른 지하안전확보방안을 마련하여 이를 변경되는 사업계획 등에 반영하여야 한다. 제3항에 따라 승인등을 받아야 하는 지하개발사업자는 제2항에 따른 지하안전확보방안에 대하여 미리 승인기관의 장의 검토를 받아야 한다. 다만, 국토교통부령으로 정하는 경미한 변경사항에 대하여는 그러하지 아니하다.

(3) 사업계획 등의 재협의

- 법 제18조제4항에 따르면 승인기관장등은 제2항 및 제3항에 따라 지하안전확보방안을 마련하거나 검토하는 경우로서 해당 사업계획 등의 변경된 내용이 지하안전에 영향을 줄 수 있다고 대통령령으로 정하는 사항에 해당하는 경우에는 국토교통부장관에게 재협의를 요청하여야 한다. 재협의 대상은 영 제20조제2항에 따른다.

2.1.11 지하안전영향평가의 재평가

(1) 재평가 요청

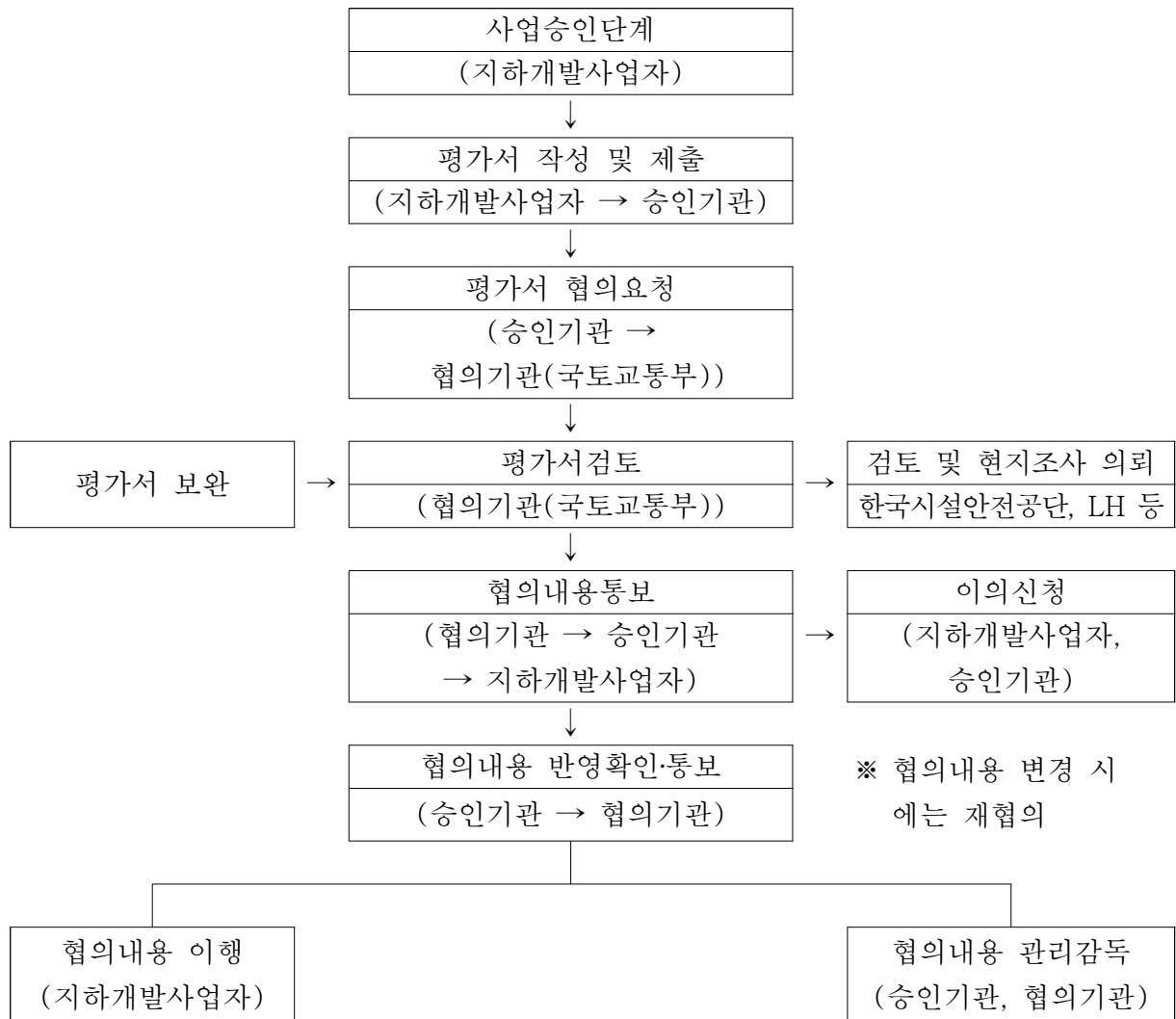
- 법 제22조제1항에 따라 국토교통부장관은 해당사업을 착공한 후에 지하안전영향평가 협의 당시 예측하지 못한 사정이 발생하여 주변 지하안전에 중대한 영향을 미치는 경우로서 제20조제1항 또는 제21조에 따른 조치나 조치명령으로는 지하안전확보방안을 마련하기 곤란한 경우에는 승인기관장등과의 협의를 거쳐 다음 각 호의 자에게 재평가를 요청할 수 있다.
 - 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」 제45조에 따른 한국시설안전공단
 - 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 따라 설립된 연구기관
 - 「특정연구기관 육성법」 제2조에 따른 특정연구기관
 - 그 밖에 대통령령으로 정하는 기관

(2) 재평가 결과의 통보

- 영 제22조에 따르면 법 제22조1항에 따른 재평가 요청을 받은 자는 해당 사업계획 등에 대하여 재평가를 실시하고 그 결과를 대통령령으로 정하는 기간(법 제22조제1항에 따라 재평가를 요청받은 날부터 180일) 이내에 국토교통부장관과 승인기관장 등에게 통보하여야 한다.

2.2 소규모 지하안전영향평가 실시절차

법 제23조제3항에 따라 소규모 지하안전영향평가에 관하여는 법 제15조~제22조까지를 준용한다. 이 경우 “지하안전영향평가”는 “소규모 지하안전영향평가”로, “지하안전영향평가서”는 “소규모 지하안전영향평가서”로 본다. 따라서 소규모 지하안전영향평가의 절차는 지하안전영향평가와 동일하며 그 절차는 다음과 같다.



[그림 1.2.2] 소규모 지하안전영향평가 절차도

2.2.1 소규모 지하안전영향평가 실시시기

- 소규모 지하안전영향평가는 법 제23조와 영 제23조의 소규모 지하안전영향평가 대상 사업에 해당하는 경우 영 별표 1의 협의요청 시기 이전에 소규모 지하안전영향평가를 실시하고, 소규모 지하안전영향평가에 관한 평가서를 작성하여야 한다. 다만, 천재지변이나 사고로 인한 긴급복구가 필요한 경우 등 대통령령으로 정하는 사유에 해당한다고 국토교통부장관이 인정할 지하시설물 공사의 경우에는 그러하지 아니하다.

- 소규모 지하안전영향평가는 법 제10조에 따라 지하개발사업자는 「건설기술 진흥법」에 따른 건설업자와 주택건설 등록업자로 하여금 동법 제62조에 따른 건설공사의 안전관리계획에 반영되도록 하여 지하개발이 승인되기 전에 관할 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다.

2.2.2 소규모 지하안전영향평가 대상사업

- 법 제23조 및 영 제23조에 의거한 아래와 같은 사업을 대상으로 한다.
 - 영 제23조에 따르면 법 제23조제1항 본문에서 “대통령령으로 정하는 소규모 사업”이란 굴착깊이가 10미터 이상 20미터 미만인 굴착공사를 수반하는 사업으로서, 그 종류 및 범위는 영 별표 1과 같다.
 - 영 제24조 소규모 지하안전영향평가 면제 사유는 법 제23조제1항 단서에서 “천재지변이나 사고로 인한 긴급복구가 필요한 경우 등 대통령령으로 정하는 사유”란 하기와 같은 경우를 말한다.
 - ㄱ. 천재지변으로 인하여 긴급복구가 필요한 경우
 - ㄴ. 전기·전기통신의 불통 또는 상하수도관·가스관 등의 파열·누출 등으로 긴급복구가 필요한 경우
 - ㄷ. 그 밖에 관계 중앙행정기관의 장 또는 지방자치단체의 장이 긴급복구가 필요하다고 인정하는 경우

2.2.3 소규모 지하안전영향평가 실시자의 자격 및 전문기관

(1) 책임기술자의 자격

- 영 제15조제1항에 따라 소규모 지하안전영향평가 할 수 있는 사람(이하 “책임기술자”라 한다)은 「건설기술 진흥법 시행령」 별표 1에 따른 토질·지질 분야의 특급기술자로서 국토교통부령으로 정하는 교육을 이수한 사람으로 한다. 책임기술자는 소규모 지하안전영향평가를 할 때 필요한 경우에는 영 별표 8 제2호에 따른 기술인력의 자격요건을 갖춘 사람으로 하여금 자신의 감독 하에 지하안전영향평가를 하게 할 수 있다. 이 경우 책임기술자의 감독 하에 지하안전영향평가를 하려는 사람은 영 제15조제1항에 따른 교육을 이수하여야 한다.

(2) 소규모 지하안전영향평가 전문기관의 등록

- 법 제25조(지하안전영향평가 전문기관의 등록등)제1항에 따르면 제24조제1항에 따라 지하안전영향평가등을 대행하려는 자는 기술인력 및 장비 등 대통령령으로 정하는 등록기준을 갖추어 시·도지사에게 지하안전영향평가 전문기관으로 등록하여야 한다. 영 제26조제1항에 따르면 법 제25조제1항에서 “기술인력 및 장비 등 대통령령으로 정하는 등록기준”이란 별표 8에 따른 등록기준을 말한다.

(3) 소규모 지하안전영향평가 등의 대행

- 법 제24조제1항에 따르면 지하안전영향평가, 사후지하안전영향조사, 소규모 지하안전영향평가 및 제35조제1항에 따른 지반침하위험도평가(이하 "지하안전영향평가등"이라 한다)를 하려는 지하개발사업자 또는 지하시설물관리자는 제25조제1항에 따라 지하안전영향평가 전문기관으로 등록을 한 자(이하 "지하안전영향평가 전문기관"이라 한다)에게 지하안전영향평가등을 대행하게 할 수 있다.

2.2.4 소규모 지하안전영향평가 평가항목 및 방법

- 법 제23조제2항에 따른 소규모 지하안전영향평가의 평가항목·방법, 소규모 지하안전영향평가를 실시할 수 있는 자의 자격, 소규모 지하안전영향평가서의 작성방법 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다. 영 제25조제1항에 따르면 소규모 지하안전영향평가의 평가항목 및 방법은 별표 6과 같다.

2.2.5 소규모 지하안전영향평가서의 작성방법 및 협의요청

(1) 소규모 지하안전영향평가서의 작성방법

- 영 제25조제3항에 따르면 법 제23조제2항에 따른 소규모 지하안전영향평가서의 작성방법은 별표 7과 같다.

(2) 지하안전영향평가서의 협의요청

- 법 제15조제1항에 따라 승인등을 받아야 하는 지하개발사업자가 소규모 지하안전영향평가 대상사업에 대한 승인등을 요청할 때에는 소규모 지하안전영향평가에 관한 평가서 및 사업계획서 등 필요한 자료를 첨부하여 승인기관의 장에게 제출하여야 하고, 승인기관의 장은 승인등을 하기 전에 국토교통부장관에게 협의를 요청하여야 한다. 제2항에 따르면 승인등을 받지 아니하여도 되는 지하개발사업자(승인기관의 장이 지하개발사업자인 경우를 말한다.)는 지하안전영향평가 대상사업의 실시계획·시행계획 등(이하 "사업계획 등"이라 한다)을 확정하기 전에 지하안전영향평가서 및 사업계획서 등 필요한 자료를 첨부하여 국토교통부장관에게 협의를 요청하여야 한다. 또한, 영 제16조제3항에 따르면 법 제15조제1항에 따라 소규모 지하안전영향평가서를 받은 승인기관의 장 또는 법 제15조제2항에 따라 승인등을 받지 아니하여도 되는 지하개발사업자(이하 "승인기관장등"이라 한다)가 국토교통부장관에게 협의를 요청하는 시기는 별표 1과 같다.

2.2.6 소규모 지하안전영향평가서의 검토

- 법 제16조제1항에 따르면 국토교통부장관은 법 제15조제1항, 제2항에 따라 협의를 요청 받은 경우에는 소규모 지하안전영향평가서를 검토하여야 한다. 영 제17조제1항에 따라 소규모 지하안전영향평가서에 대하여 평가항목·방법 및 작성방법 등의 준수 여부, 소규모 지하안전영향평가서 내용의 타당성여부를 검토하여야 한다.
- 법 제16조제2항에 따르면 국토교통부장관은 제1항에 따라 소규모 지하안전영향평가서를 검토할 때에 지하개발사업자 또는 승인기관의 장에게 관련 자료의 제출을 요청할 수 있고, 필요한 경우 다음 각 호의 자에게 검토 및 현지조사를 의뢰할 수 있다.
 - 「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」 제45조에 따른 한국시설안전공단
 - 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」에 따라 설립된 연구기관
 - 「특정연구기관 육성법」 제2조에 따른 특정연구기관
 - 그 밖에 대통령령으로 정하는 기관

2.2.7 소규모 지하안전영향평가서의 협의내용 통보

- 법 제16조제4항의 국토교통부장관은 제15조제1항 또는 제2항에 따라 협의를 요청받은 날부터 대통령령으로 정하는 기간 이내에 승인기관장 등에게 협의내용을 통보하여야 한다. 제16조제4항에 따라 협의내용을 통보받은 승인기관의 장은 이를 지체 없이 지하개발사업자에게 통보하여야 한다. 영 제17조제3항에 따르면 법 제16조제4항에서 “대통령령으로 정하는 기간”이란 30일(부득이한 사유로 협의기간을 연장한 경우에는 50일)을 말한다. 이 경우 지하개발사업자가 소규모 지하안전영향평가서를 보완하는 기간과 공휴일 및 토요일은 기간산정에서 제외한다.

2.2.8 소규모 지하안전영향평가서 협의내용의 반영

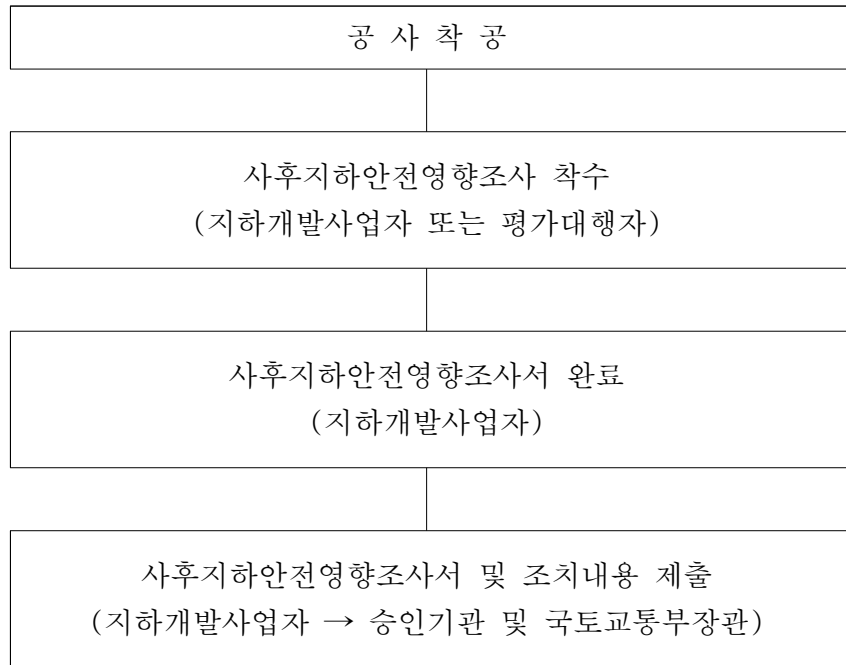
- 법 제17조제1항에 따르면 지하개발사업자나 승인기관의 장은 제16조제4항 또는 제5항에 따라 협의내용을 통보받았을 때에는 그 내용을 해당사업계획 등에 반영하기 위하여 필요한 조치를 하여야 한다. 법 제17조제2항에 따라 승인기관의 장은 사업계획 등에 대하여 승인 등을 하려면 협의내용이 사업계획 등에 반영되었는지를 확인하여야 한다. 이 경우 협의내용이 사업계획 등에 반영되지 아니한 경우에는 이를 반영하게 하여야 한다.
- 제3항에 따라 승인기관장 등은 사업계획 등에 대하여 승인 등을 하거나 사업계획 등을 확정하였을 때에는 협의내용의 반영 결과를 국토교통부장관에게 통보하여야 한다.
- 국토교통부장관은 제17조제3항에 따라 통보받은 결과에 협의내용이 반영되지 아니한 경우 승인기관장 등에게 협의내용을 반영하도록 요청할 수 있다. 이 경우 승인기관장 등은 정당한 사유가 없으면 이에 따라야 한다.

2.2.9 소규모 지하안전영향평가서의 협의내용 통보

- 협의내용의 반영결과 통보는 영 제18조에 따라 법 제17조제3항에 따른 협의내용의 반영결과 통보는 승인기관의 장이 통보하는 경우는 소규모 지하안전영향평가 대상사업의 사업계획 등에 대하여 승인 등을 한 날부터 30일 이내 또는 승인 등을 받지 아니하여도 되는 지하개발사업자가 통보하는 경우는 사업계획 등을 확정된 날부터 30일 이내에 하여야 한다.

2.3 사후지하안전영향조사 실시절차

사후지하안전영향조사의 절차는 다음과 같다.



[그림 1.2.3] 사후지하안전영향조사 절차도

2.3.1 사후지하안전영향조사 실시시기

- 사후지하안전영향조사는 법 제20조에 따라 지하개발사업자는 해당 지하안전영향평가 대상 사업을 착공한 후에 그 사업이 지하안전에 미치는 영향을 조사(이하 “사후지하안전영향조사”라 한다)하고, 그 결과 지하 안전을 위하여 조치가 필요한 경우에는 지체 없이 필요한 조치를 하여야 한다.
- 영 제21조제1항에 따르면 법 제20조제1항에 따른 사후지하안전영향조사는 지하안전영향평가서에 기재된 사후지하안전영향조사 실시기간에 한다.

2.3.2 사후지하안전영향조사 대상사업

- 사후지하안전영향조사는 법 제20조에 따라 “지하개발사업자는 해당 지하안전영향평가 대상사업을 착공한 후에 그 사업이 지하안전에 미치는 영향을 조사한다.” 라고 되어 있으므로 사후지하안전영향조사 대상사업은 지하안전영향평가를 수행한 사업을 말한다.
- 법 제14조 및 영 제13조에 의거한 지하굴착공사를 수반하는 사업을 대상으로 한다.
 - 굴착깊이(공사 지역 내 굴착깊이가 다른 경우에는 최대 굴착깊이를 말한다)가 20미터 이상인 굴착공사를 수반하는 사업
 - 터널[산악터널 및 수저(水底)터널 구간은 제외한다]공사를 수반하는 사업

- 법 제14조제1항제16호에서 “대통령령으로 정하는 시설”이란 「건축법」 제2조제1항제2호의 건축물
- 법 제14조제2항에 따른 지하안전영향평가 대상사업의 구체적인 종류 및 범위는 영 별표 1과 같다.

2.3.3 사후지하안전영향조사 실시자의 자격 및 전문기관

(1) 책임기술자의 자격

- 법 제21조제5항에 따르면 사후지하안전영향조사를 할 수 있는 사람의 자격에 관하여는 제15조를 준용한다. 이 경우 "지하안전영향평가"는 "사후지하안전영향조사"로 본다.
- 영 제15조에 따라 사후지하안전영향조사 할 수 있는 사람(이하 “책임기술자”라 한다)은 「건설기술 진흥법 시행령」 별표 1에 따른 토질·지질 분야의 특급기술자로서 국토교통부령으로 정하는 교육을 이수한 사람으로 한다. 책임기술자는 사후지하안전영향조사를 할 때 필요한 경우에는 영 별표 8 제2호에 따른 기술 인력의 자격 요건을 갖춘 사람으로 하여금 자신의 감독 하에 사후지하안전영향조사를 하게 할 수 있다. 이 경우 책임기술자의 감독 하에 사후지하안전영향조사를 하려는 사람은 영 제15조제1항에 따른 교육을 이수하여야 한다. 법 시행규칙 제5조(책임기술자 등의 교육훈련)에 따라 교육훈련을 이수하여야 한다.

(2) 사후지하안전영향조사 전문기관의 등록

- 법 제25조(지하안전영향평가 전문기관의 등록등)제1항에 따르면 제24조제1항에 따라 지하안전영향평가등을 대행하려는 자는 기술인력 및 장비 등 대통령령으로 정하는 등록기준을 갖추어 시·도지사에게 지하안전영향평가 전문기관으로 등록하여야 한다. 영 제26조제1항에 따르면 법 제25조제1항에서 “기술인력 및 장비 등 대통령령으로 정하는 등록기준”이란 별표 8에 따른 등록기준을 말한다.

(3) 사후지하안전영향조사의 대행

- 법 제24조제1항에 따르면 지하안전영향평가, 사후지하안전영향조사, 소규모 지하안전영향평가 및 제35조제1항에 따른 지반침하위험도평가(이하 "지하안전영향평가등"이라 한다)를 하려는 지하개발사업자 또는 지하시설물관리자는 제25조제1항에 따라 지하안전영향평가 전문기관으로 등록을 한 자(이하 "지하안전영향평가 전문기관"이라 한다)에게 지하안전영향평가등을 대행하게 할 수 있다.

2.3.4 사후지하안전영향조사 조사항목 및 방법

- 영 제21조제2항에 따르면 사후지하안전영향조사의 조사항목 및 방법은 영 별표 4와 같다.

2.3.5 사후지하안전영향조사서 작성방법

- 영 제21조제3항에 따르면 법 제20조제2항에 따른 사후지하안전영향조사서(이하 "사후지하안전영향조사서"라 한다)의 작성방법은 영 별표 5와 같다.

2.3.6 사후지하안전영향조사 조사결과의 통보

- 법 제20조제2항에 따라 지하개발사업자는 사후지하안전영향조사에 관한 조사서(이하 "사후지하안전영향조사서"라 한다)와 지하안전을 위하여 조치가 필요한 사실 및 조치 내용을 국토교통부장관 및 승인기관의 장에게 통보하여야 한다.
- 영 제21조제4항에 따라 지하안전영향평가 대상사업을 하려는 지하개발사업자는 사후지하안전영향조사서와 지하안전을 위하여 조치가 필요한 사실 및 조치 내용을 사후지하안전영향조사가 끝난 날부터 60일 이내에 전자문서의 형태로 국토교통부장관 및 승인기관의 장에게 제출하여야 한다.

2.3.7 사후지하안전영향조사 협의 내용의 이행

- 법 제21조제1항에 따라 지하개발사업자는 사업계획 등을 시행할 때에 사업계획 등에 반영된 협의내용을 이행하여야 한다. 법 제21조제2항에 따라 승인기관의 장은 승인 등을 받아야 하는 지하개발사업자가 협의내용을 이행하였는지를 확인하여야 하며, 승인 등을 받아야 하는 지하개발사업자가 협의내용을 이행하지 아니하였을 때에는 그 이행에 필요한 조치를 명하여야 한다.

2.3.8 사후지하안전영향조사의 관리·감독

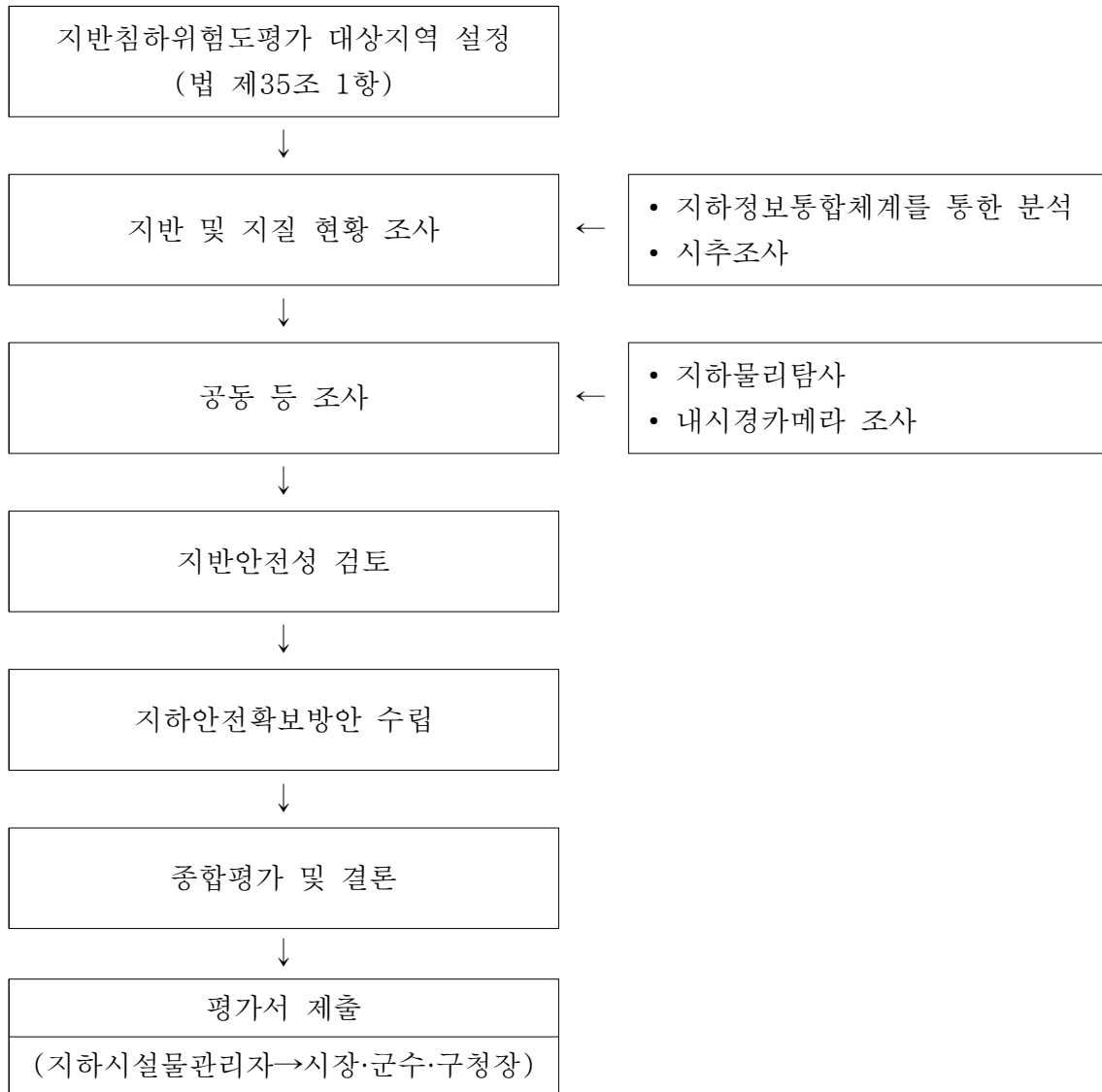
- 법 제21조제3항에 의하면 승인기관의 장은 승인 등을 받아야 하는 지하개발사업자가 법 제21조제2항에 따른 조치명령을 이행하지 아니하여 해당사업이 지하안전에 중대한 영향을 미친다고 판단하는 경우에는 그 사업의 전부 또는 일부에 대한 공사 중지 명령을 하여야 한다.
- 법 제21조제4항에 따라 국토교통부장관은 협의 내용의 이행을 관리하기 위하여 필요하다고 인정하는 경우에는 승인등을 받지 아니하여도 되는 지하개발사업자에게 공사중지나 그 밖에 필요한 조치를 할 것을 명령하거나, 승인기관의 장에게 공사중지 명령이나 그 밖에

필요한 조치명령을 할 것을 요청할 수 있다. 이 경우 승인기관장등은 정당한 사유가 없으면 이에 따라야 한다.

- 법 제21조제5항에 따라 국토교통부장관 또는 승인기관의 장은 지하개발사업자에게 협의 내용의 이행에 관련된 자료를 제출하게 하거나 소속 공무원으로 하여금 사업장에 출입하여 조사하게 할 수 있다. 이 경우 조사에 관하여는 제30조제2항 및 제3항을 준용한다.

2.4 지반침하위험도평가 실시절차

지반침하위험도평가의 실시절차는 다음과 같다.



[그림 1.2.4] 지반침하위험도평가 실시 절차도

2.4.1 지반위험도평가의 실시시기 및 대상

- 법 제35조제1항에 따라 지하시설물관리자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 경우 지반침하위험도평가를 실시하여야 한다.
 - 긴급복구공사를 완료한 경우
 - 법 제34조제1항에 따른 안전점검을 실시한 결과 지반침하의 우려가 있다고 인정되는 경우
 - 법 제34조제4항에 따라 지반침하위험도평가의 실시명령을 받은 경우

2.4.2 지반침하위험도평가 실시자의 자격 및 전문기관

(1) 책임기술자의 자격

- 영 제15조에 따라 책임기술자는 「건설기술 진흥법 시행령」 별표 1에 따른 토질·지질 분야의 특급기술자로서 국토교통부령으로 정하는 교육을 이수한 사람으로 한다. 책임기술자는 지반침하위험도평가를 할 때 필요한 경우에는 영 별표 8 제2호에 따른 기술인력의 자격 요건을 갖춘 사람으로 하여금 자신의 감독 하에 지반침하위험도평가를 하게 할 수 있다. 이 경우 책임기술자의 감독 하에 지반침하위험도평가를 하려는 사람은 국토교통부령으로 정하는 교육을 이수하여야 한다.
- 책임기술자 등의 교육훈련은 시행규칙 제5조에 따라 해당하는 기관에서 실시하는 지하안전 분야의 신규교육(70시간 이상) 및 보수교육(3년마다 21시간 이상)을 이수하여야 한다.

(2) 지반침하위험도평가 전문기관의 등록

- 법 제24조제1항에 따라 지반침하위험도평가를 대행하려는 자는 기술인력 및 장비 등 대통령령으로 정하는 등록기준을 갖추어 시·도지사에게 지하안전영향평가 전문기관으로 등록하여야 한다.
- 영 제26조제1항 및 제2항과 관련하여 지하안전영향평가전문기관으로 등록하려는 자는 영 별표 8의 등록기준을 갖추어야 한다.

2.4.3 지반침하위험도평가 평가방법 및 절차

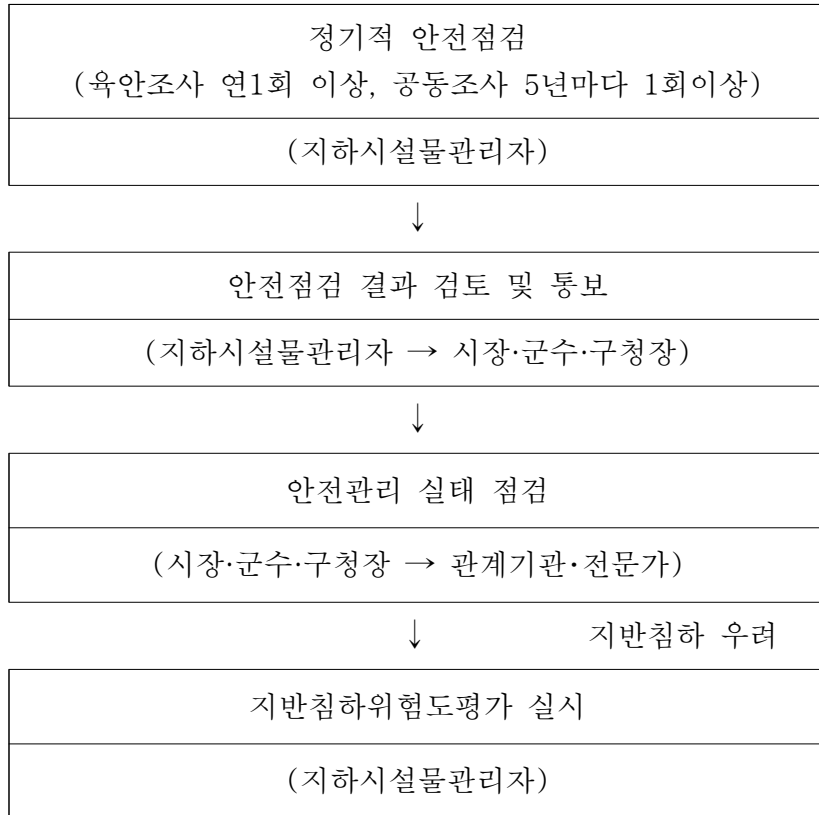
- 지반침하위험도평가의 평가방법 및 절차 등은 시행령 별표 10과 같다. 법 제35조 1항에 따른 지반침하위험도평가에 관한 평가서(이하 “지반침하위험도평가서”라 한다)의 작성방법에 관한 구체적인 사항은 영 별표 11와 같다.

2.4.4 지반침하위험도평가 조사결과의 통보

- 법 제35조제1항에 따라 지하시설물관리자는 지반침하위험도평가를 실시하여야 하고, 지반침하위험도평가에 관한 평가서를 관할 시장·군수·구청장에게 제출하여야 한다.

2.5 지하안전점검 실시절차

지하안전점검의 실시절차는 다음과 같다.



[그림 1.2.5] 지하안전점검 실시 절차도

2.5.1 지하안전점검 실시시기

- 지하시설물관리자는 법 제34조, 시행규칙 제16조 및 별표 3에 따라 지반침하 육안조사를 1년에 1회 이상, 지표투과레이더(GPR) 탐사를 통한 공동조사를 5년에 1회 이상 실시해야 한다. 실시시기는 전 회차의 지하안전점검 종료일의 익일로부터 기산한다.

2.5.2 지하안전점검 대상

- 법 제34조제1항 및 시행규칙 제16조제1항 및 별표 3에 의거 「도로법」 제2조 제1호의 도로 및 「철도건설법」 제2조제6호가목중 철도의 선로 아래에 설치된 다음 각 호의 지하 시설물에 대하여 지하안전점검을 실시한다.
- 안전점검대상 주변 지반의 범위는 지하시설물을 중심으로 지하시설물의 매설 깊이의 2분의 1에 해당하는 범위의 지표에 대하여 지하안전점검을 실시한다. 다만 주변지반에 건축물 등이 설치되어 기술적으로 안전점검이 어려운 경우에는 건축물이 설치된 면적을 제외한 나머지 면적에 대하여 안전점검을 실시한다.

[표 1.2.1] 지하안전점검 대상시설물

구 분	대 상 시 설 물	점검방법 및 실시시기	
		육안조사 (1회/1년)	지표투과레이더 (GPR)탐사 (1회/5년)
적용 범위	도로 및 철도시설 중 지하시설물에 대하여 지하안전점검을 실시한다. (지하안전관리에 관한 특별법 시행규칙 별표 3)		
대상 시설물	직경 500mm 이상의 상수도관	○	○
	직경 500mm 이상의 하수도관	○	○
	전기시설	○	○
	전기통신시설	○	○
	가스공급시설	○	○
	공급시설중 직경 500mm 이상 수송관	○	○
	공동구, 지하도로 및 지하광장	○	○
	도로	○	○
	도시철도시설	○	○
	철도시설	○	○
	주차장	○	○
	지하도상가	○	○

2.5.3 지하안전점검 평가항목 및 방법

- 육안조사는 지하시설물에 의해 지반침하가 발생하는 징후들에 대하여 지하시설물 및 도로의 자료조사와 간단한 측정·시험장비로 안전점검 대상범위의 지표 및 주변에 대한 현장 육안 조사로 구분한다.
- 공동조사는 지표투과레이더(GPR) 탐사를 이용하여 조사범위 내에 발생하고 있는 침하, 공동 등의 유무를 확인한다.

2.5.4 지하안전점검 조사결과의 통보

- 법 제34조제1항, 시행규칙 제16조제3항의 내용에 따르면 지하시설물관리자는 소관 지하 시설물 및 주변 지반에 대하여 안전관리규정에 따른 안전점검을 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 정기적으로 실시하고 그 결과를 30일 이내에 시장·군수·구청장에게 통보하여야 한다.
- 시장·군수·구청장은 법 제34조제2항 및 제3항에 따라 지하시설물 및 주변 지반에 대하여 연 1회 이상 안전관리 실태를 점검하여야 하며, 필요한 경우 관계 기관 및 전문가와 합동하여 현장조사를 실시할 수 있다. 안전관리 실태점검 결과 지반침하의 우려가 있다고 판단되는 경우에는 해당 지하시설물관리자 및 해당 토지의 소유자·점유자에게 통보하고 안전에 필요한 조치를 취하도록 하여야 하며, 해당 지하시설물관리자에게 지반침하위험도평가의 실시를 명할 수 있다.

2편 지하개발의 안전관리

제1장 지하안전영향평가

제2장 소규모 지하안전영향평가

제3장 사후지하안전영향조사

제1장 지하안전영향평가

지하안전영향평가는 현장조사, 기본설계 및 실시설계 내용 등을 기초자료로 활용하여 평가 방법에 따라 평가를 진행하는 것을 전제로 하며, 설계기준 미준수 및 위험구간 선정시 주요 고려사항에 대한 자료가 불충분하거나 지하안전영향평가 수행 전, 중에 주변 여건 및 현장 여건 급변화시 추가조사나 검토 등을 수행하여야 한다.

1.1 지반 및 지질현황

실시계획 승인 이전 사업단계에서 지하정보통합체계를 통한 정보분석, 기본 및 실시설계 보고서, 지반조사 및 지질조사보고서, 시추조사, 투수시험, 지하물리탐사 등을 활용해서 지질 분석 및 지층분석, 시험결과 등을 검토하여 사업구간에 대한 지하안전영향평가를 수행하여야 한다.

1.1.1 지질현황 검토

(1) 지형 분석

- 산계 및 수계조사에 따른 지형특성을 예측하고 지형도 및 항공사진 등을 이용하여 지형 특성을 파악한다. 필요할 경우 현장답사를 통하여 주변 환경에 대한 현황을 조사하도록 한다.
- 도심권 지형도는 기간산업 및 도시의 발달로 왜곡된 정보를 포함하고 있으므로 필요시 개발이전에 작성된 고(古)지형도를 이용하여 과거 지형이력(하천, 수로, 매립지 등)을 파악하여 시간 흐름에 따른 지반정보 및 지형변화 양상을 판단한다.

(2) 지질특성 분석

- 지질도 및 문헌자료 등을 검토하여 기반암의 특성을 고려한 지반조사 수행 및 성과 분석시 기초자료로 활용한다.
- 사업구간의 지질도, 인공위성 영상 및 음영기복도 등을 이용한 광역 선구조분석 및 단층대, 습곡 등의 지질구조대를 파악한다.
- 사업구간에 노출암 분포시 암종분포 특성, 불연속면 발달상태를 파악하여 암반의 지질 공학적 특성을 분석하고 필요시 물리탐사 결과와 비교분석하여 효율적인 조사계획 수립에 반영할 수 있다.
- 노두관찰이 불가능한 도심지 구간은 현장여건을 사전에 파악하여 시행여부를 결정하도록 한다.

1.1.2 지하정보통합체계를 통한 정보분석

- 지하정보통합체계에 포함된 지하정보(시추정보, 지질정보, 관정정보, 지하시설물에 관한 정보), 지하공간통합지도 등의 정보를 참고하여 지하안전영향평가에 활용할 수 있으며 지하정보통합체계가 구축·운영되기 전에는 다음의 내용에 따라 지하정보 관련 자료를 분석하여 활용한다.

(1) 시추정보

- 지반상태, 지층의 종류, 지하수위 등 시추기계나 기구 등을 사용하여 지반의 시료를 조사하여 생산되는 시추정보는 국토지반정보 통합DB센터(<https://www.geoinfo.or.kr>), 서울특별시 지반정보 통합관리시스템(<http://surveycp.seoul.go.kr>)에서 시추조사 결과와 내용을 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(2) 지질정보

- 암석의 종류·성질·분포상태 및 지질구조 등 한국지질자원연구원(<http://www.kigam.re.kr>)과 한국광물자원공사(<http://www.kores.or.kr>)에서 조사하여 생산된 지질정보 자료를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(3) 지하수 정보

- 「지하수법」 제5조(지하수의 조사)에 따른 지하수조사로 획득한 관정정보는 국토교통부의 국가지하수정보센터(<http://www.gims.go.kr>)와 물자원포털(<http://www.water.or.kr>)의 자료를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(4) 지하시설물에 관한 정보

- 상수도, 하수도, 전력시설물, 전기, 통신, 가스, 난방, 공동구, 지하차도, 지하철, 지하보도, 지하주차장, 지하광장 등 각각의 개별법에 따라 구축·관리되고 있는 지하시설물에 관한 정보를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(5) 지하공간통합지도 정보

- 국토교통부에서는 지하공간통합지도 구축사업을 진행하고 있으며, 시범구축사업을 통한 기반을 마련하고 통합된 지도구축을 목표로 연구와 사업이 진행되고 있어 향후 지하공간통합지도가 구축되면 지하공간에 대한 자료를 활용하도록 한다.

1.1.3 시추조사

- 시추조사는 지반의 성상을 조사하고, 시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 시행하여 설계에 필요한 제반 자료를 정확하게 산정해야한다.
- 시추조사는 암상, 층서, 층후 및 균열의 수직 발달상태 등에 관한 직접적이고 명확한 자료를 얻기 위하여 수행하며 필요한 경우 시추조사 중에 불교란시료를 채취할 수 있다.
- 시료채취를 통한 지반의 분포상태 및 풍화도 등을 파악한다.
- 평가를 위한 조사가 미비할 경우 추가적으로 시추조사를 수행할 수 있다.
- 현장조건 및 민원 등으로 인한 미시추 구간은 반드시 주변 데이터를 통하여 추정하며 미진한 부분은 시공 중 추가조사나 물리탐사 등을 실시하여야 한다.
- 시추완료 후 24, 48, 72시간 경과 후 공내의 지하수위를 파악하고 필요시에는 장기 지하수위 관측정을 설치하여 지하수위 변화를 측정한다.
- 시추조사 완료후 시추공내에서 채취한 시료 및 지층에 대한 모든 정보를 시추주상도에 상세히 기록하고 수치해석을 위한 지반정수 산정은 현장시험 및 실내시험 결과를 토대로 경험식, 문헌자료, 기존 적용사례를 연계 분석하여 지층별로 합리적인 대표값을 산정한다.
- 시추간격 및 시추심도는 국가건설기준(KDS 11 10 10)에 따르며 시추조사 방법은 아래와 같다.
 - 회전 수세식형(Rotary Wash Type)시추기를 사용하며, 조사목적에 따라 타격 방식의 시추기를 사용할 수 있다.
 - 시추는 NX규격(76mm) 이중 코아배럴이나 NX에 상응하는 규격을 사용하여 연직으로 시행하며, 풍화대나 파쇄대 등에서는 필요시 삼중 코아배럴 등을 사용하여 코아의 회수율을 높일 수 있으며, 조사목적 및 중요도에 따라 발주기관별 기준에 따른다.
 - 한국산업표준(KS F 2307)을 기준으로 1.0m 간격으로 표준관입시험을 실시하되 지층이 변화하는 구간에서도 추가로 표준관입시험을 실시하고 필요시 토질시험을 실시한다.
 - 공벽붕괴 방지를 위해 풍화암까지 Casing을 사용할 수 있다.
 - 토사시료 채취는 Split Spoon Sampler, 점성토 시료채취는 Thin wall tube sampler, 풍화대 시료채취는 Triple sampler, 암반시료 채취는 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit 등을 사용할 수 있다.
 - 채취된 암석코아는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 불연속면(Discontinuities)과 충전물 등을 파악하고 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가한다.

1.1.4 투수시험

- 사업구간의 지층조건에 따라 아래와 같은 투수계수 관련 현장시험 등을 실시하고, 지층별 투수계수 및 수리특성 등을 산정하여 지하수 흐름분석, 지반안정성 분석시 지반의 보강 및 차수공법적용 효과 등을 예측하기 위한 기초자료로 활용한다.

- 시험방법은 한국산업표준(KS)에 제시된 시험방법에 따라서 시행하고 다만, KS에 명시되지 않은 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법 등을 준용하여 실시하도록 한다. 투수계수 관련 시험의 종류는 다음과 같으며, 대상사업의 성격 및 조건에 따라 기타 시험방법들을 적용할 수 있다.

(1) 현장투수시험(토사지반)

- 사업구간에 분포하는 토사층(매립층, 퇴적층, 풍화토 등)에 대한 투수계수(K)를 측정하여 지층의 구성물질에 따른 투수계수 변화를 분석한다.
- 현장투수시험은 시험방법에 따라 정수위법(Constant Head Method)과 변수위법(Falling Head Method)이 있다.

(2) 현장수압시험(암반지반)

- 수압을 이용하여 절리를 포함한 암반의 투수성을 파악하는 시험법으로 주입 압력에 따른 주입량 곡선을 작성함으로써 암반의 투수성 및 루전(Lugeon) 값을 산출한다.
- 공경 76mm의 시추공에 압력 1MPa/min으로 주수한 경우 주입길이 1m 당 주입량을 리터 단위로 나타낸 것이 루전(Lugeon)이다.
- 시험은 시추공 내에 팩커를 설치한 후 압력의 증감은 5~9단계로 나누어 주입 압력별로 약 5~10분간의 가압시간을 유지하여 정확한 투수계수를 산정한다.

(3) 양수시험

- 양수시험은 굴착에 따른 지하수 유입량의 시간적 변화를 분석하여 투수량계수, 투수계수, 저류계수 등을 산정하는 시험법으로, 굴착지역에서 발생할 수 있는 지하수위 변화 및 유동을 예측하는 기초자료로 이용된다.
- 양수시험(Pumping Test)시 양수량은 안정수위가 형성될 때까지 일정하게 유지하여야 하며 양수량은 적산유량계를 이용하여 측정한다.
- 수위회복시험(Recovery Test)은 양수시험을 종료한 즉시 실시하여야 하며 최초 자연수위의 80%까지 회복될 때까지 실시한다.
- 수위강하량과 수위회복량은 자동수위 측정기를 이용하여 측정하며 일반적으로 측정간격은 1분, 수위변화량은 1mm 단위까지 측정한다.
- 시험결과는 Theis법(1935), Cooper-Jacob법(1963) 등을 이용하여 분석하며, 수위회복시험의 경우 Theis Recovery법을 이용하여 해석한다.

(4) 순간충격시험

- 시추 관측정이 설치된 지점에서 현장수리전도도를 구하는 방법으로, 투수성이 매우 낮은 저투수성 지층에서 대수성시험을 실시할 때나 또는 수중모터펌프를 공내에 설치할 수 없는 소구경의 관측정인 경우에 사용한다.

- 시험은 굴착이 종료된 이후 2시간 이상 경과한 상태에서 안정수위를 유지한 후 실시한다. 시험 방법은 두 가지가 있다.
- 첫째, 체적을 이미 알고 있는 물체(Dummy)를 관측정의 지하수위 하부로 순간적으로 낙하시키면 Dummy의 체적만큼 지하수위가 상승(Build up)한다. 이로 인해 관측정에서 상승한 지하수는 우물의 스크린 구간을 통해 주변 대수층으로 서서히 배출되면서 상승된 수위가 하강하게 된다. 이때 경과시간에 따른 수위변화량을 측정하여 대수성 수리상수를 산정하는 방식을 하강수위시험(Falling water level test)이라 한다.
- 둘째, Dummy를 일단 관측정에 삽입해 둔 후 지하수위가 자연상태(원상태)로 돌아간 후에 우물에 삽입해둔 Dummy를 순간적으로 뽑아내면 물체의 체적만큼 수위가 하강한 후 우물의 스크린 구간을 통해 주변 대수층의 지하수가 우물내로 유입되면서 우물의 수위가 서서히 상승하여 자연수위 상태로 돌아간다. 이 때 경과시간에 따른 지하수위 변화량을 측정하여 대수성 수리상수를 정하는 방식을 상승수위시험(Rising water level test)이라 한다.
- 수위변화량은 일반적으로 1~5초 간격으로 1mm 단위까지 측정한다.
- 시험결과는 Hvorslev법(1951)과 Bouver-Rice법(1976)을 통해 분석하는데, Hvorslev 법은 자유면 대수층이 수평과 수직으로 무한히 펼쳐져 있다고 가정하기 때문에 대수층의 두께를 알고 있는 경우 Bouver-Rice법으로 분석하여야 한다.

1.1.5 지하물리탐사(지표투과레이더탐사, 전기비저항탐사, 탄성파탐사 등)

- 사업구간의 지층구성 상태 및 층후, 파쇄대의 위치와 규모, 지하공동의 위치와 규모, 지하수의 존재, 지하 지장물의 위치 등을 파악하기 위하여 지하물리탐사를 실시하여야 한다.

(1) 지표투과레이더(GPR) 탐사

- 수십~수천 MHz의 고주파수 성분의 전자기파의 일종인 레이더파를 이용하여 탐사하는 방법으로 전자기파를 지하에 방사시킨 후 유전특성이 서로 다른 두 매질의 경계면에서 반사파를 수신하여 각 매질의 위치와 형상 등을 파악한다.
- 송신안테나로부터 방사된 전자기파가 지표하부의 지층경계, 파쇄대, 공동, 매설관 등과 같은 지하의 불균질층(체)으로부터 반사된 반사파를 획득, 분석하여 지하 하부의 정보를 획득한다.
- 탐사심도는 송신 안테나의 주파수 대역에 따라 차이는 있으나 수 m~수십 m까지 측정이 가능하다. 지표 하부 수 m 이내의 지표 천부 매설물이나 공동을 탐사하기 위한 경우에는 수 백 MHz 이상의 높은 중심 주파수를 갖는 안테나가 사용된다. 수 m 이상의 심도에 대한 탐사가 필요한 경우에는 100MHz 이하의 낮은 중심 주파수를 갖는 안테나를 사용하지만, 전자기파의 감쇠현상 때문에 10m 이상의 심도까지 탐사가 가능한 경우는 암반이 지표에 노출되어 있는 지역을 제외하고는 드물다.

- 탐사결과는 레이더 반사파 단면도에서 나타나는 반사 양상으로부터 지하 매질물 탐사 및 천부 지층 경계 파악 및 상태, 공동 조사 등 지하상태를 파악하고 지하안전영향 평가를 위한 지층파악 자료로 활용한다.
- 지반의 물리적 성질의 차이에 기인한 물리적 현상들을 측정하고 해석함으로써 지질구조 및 지층의 성질을 조사한다.
- 지표투과레이더(GPR) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - 레이더탐사는 고주파수 전자기파를 이용하기 때문에 심한 감쇠 현상이 발생하는데 전자기파의 감쇠 정도는 지하 매질의 전기비저항에 반비례하며, 사용 안테나의 주파수에 비례한다.
 - 점토 함량이 높은 토양층과 같이 저비저항을 갖는 지반에서는 심한 감쇠 현상 때문에 지표투과레이더(GPR) 탐사의 가탐심도가 낮아지며 수신된 전자기파의 세기가 약하므로 상대적으로 주변 전자기파 잡음의 영향이 커져 해석 정밀도 또한 저하된다.
 - 수상에서 탐사를 할 경우, 강 또는 호수의 바닥은 대단히 강한 반사면을 형성하여 대부분의 전자기파 에너지는 물 바닥면에서 반사되고, 일부 에너지만이 지하로 전파되므로 지하로의 가탐심도는 낮아지게 된다.
 - 구조물을 대상으로 탐사할 경우, 구조물 철망이나 철근이 전자기파 차폐막의 역할을 할 수 있으므로 이에 의한 영향이 매우 크다.

(2) 전기비저항탐사

- 매질의 전기적 물성차이에 의한 전위차를 측정 지하구조를 영상화하는 방법, 즉 지표에 전류를 흘려보낸 후 지하의 전기비저항 분포와 지형에 따라 분포하는 전위차를 측정하여 지하매질의 전기비저항 분포를 파악한다.
- 탐사방법은 1차원 탐사, 2차원 탐사, 3차원 탐사로 구분되며 이들 탐사방법은 조사 장소의 상황이나 조사 목적에 따라서 달리 사용되지만 최근에는 2차원 탐사를 이용하는 것이 일반적이다.
 - 1차원 탐사(수직 및 수평탐사) : 지하의 수직 및 수평의 층서구조 파악
 - 2차원 탐사 : 측선 하부의 2차원적 영상을 획득
 - 3차원 탐사 : 탐사지역 하부 지반의 3차원적 영상을 획득
- 탐사심도는 전극 간격 및 측선 길이와 밀접한 관계가 있으며, 탐사기기의 성능과 지층의 전기비저항값에도 좌우되지만 일반적인 탐사심도는 다음과 같다.
 - 1차원 탐사 : 평탄한 지대에서는 200~300m 정도까지는 가능하며 이 경우 최대 전극 간격은 400~600m 정도이다. 일반적으로 100 m 이내의 얇은 곳을 대상으로 한다.
 - 2차원, 3차원 탐사 : 지하 하부 300m 정도까지 탐사가 가능하나 탐사심도가 깊어지면 분해능이나 해석 정밀도가 떨어진다. 탐사심도가 이보다 큰 경우에는 전자탐사 등 다른 탐사 방법을 이용하는 것이 효율적이다.

- 탐사결과는 대수층, 개략적인 지질 경계, 기반암 분포 등의 지질구조 파악 및 저비저항 이상대에 의한 지질구조대(단층, 파쇄대, 연약대 등) 존재여부 및 특성을 분석한다.
- 지표지질조사와 시추조사의 결과를 보완하여 미시추구간을 포함하는 연속적인 지층구조 및 포화대 범위, 유수경로 등을 파악한다.
- 전기비저항탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - 1차원 및 2차원 탐사는 지형·지하구조가 측선에 수직인 방향으로는 변화가 없다는 것을 전제로 하므로 측선방향으로 지형·지하구조가 현저하게 변하는 경우에는 보조 측선을 설정하여 양자의 결과를 비교·검토하거나 3차원 탐사를 수행할 필요가 있다.
 - 측선 가까이 송전선, 철도, 철강 구조물 등이 있으면 잡음이나 이상 측정의 원인이 되기 때문에, 이들과 근접하지 않도록 측선을 계획한다.
 - 2차원 탐사에서는 해석 단면의 밑부분, 측선의 양 끝부분에서는 해석 정밀도가 저하되므로 탐사 범위를 목적 대상보다 넓게 설정할 필요가 있다.
 - 다층구조 지역에서는 탐사결과를 반드시 시추조사 결과와 대비하여 사용한다. 실제로 부지가 다층구조 지역일 경우, 예비평가 단계 정도에서만 사용할 수 있다.

(3) 탄성파탐사

- 매질의 탄성차이에 의한 탄성파의 전파속도 차이를 측정하고 이를 해석하는 탐사법으로 지표에서 인위적으로 발생시킨 탄성파 에너지의 일부가 지하매질을 전파하는 과정에서 반사, 굴절, 회절 등의 현상에 의해 지표로 되돌아온 탄성파를 측정함으로써 지질구조에 관한 정보를 획득한다. 탄성파탐사법의 종류는 아래와 같다.

1) 굴절법 탄성파탐사

- 굴절법탄성파탐사는 지표 부근에서 발파 등으로 탄성파(P파, S파)를 발생시켜 속도가 다른 지층 경계에서 굴절되어 돌아오는 굴절파를 지표에 설치한 측정 장치로 기록하여 지하의 속도구조를 알아내는 탐사법이다.
- 탐사 방법은 P파 초동을 이용한 측정 방법이 일반적으로 사용되며, 토질지반을 대상으로 비교적 천부의 속도구조를 구하는 경우 S파 분석 방법이 일부 사용된다.
- 탐사 심도는 발생원으로 다이내마이트를 사용하는 경우 100~200m, 비폭약 발생원을 사용하는 경우 수 m~30m 이다.
- 탐사 결과는 지반의 속도분포를 분석하고, 획득된 속도 분포와 시추 결과 및 기존의 지질자료 등을 서로 대비시켜 종합적으로 해석함으로써 지층분포 특성, 단층파쇄대 등의 지질이상대 등을 파악할 수 있다.

2) 반사법 탄성파탐사

- 반사파를 이용하여 층서구조 및 지질구조 정보 파악하는 탐사법으로, 주로 해양탐사에 사용하며, 본 탐사로는 지층의 탄성파속도를 직접 측정할 수 없기 때문에 다른 자료와 대비하여 지층상태나 분포심도를 추정한다.

3) 탄성과 토모그래피

- 탄성과 토모그래피탐사는 지표, 시추공 및 수평 갱도 등을 이용하여 탐사 대상 영역을 둘러싸도록 발파점과 수신점들을 설치하고, 발파점에서 생성된 탄성파를 많은 수신점에서 측정하여 초동 주시를 이용하는 탐사법이다
- 지표 굴절법탄성과탐사와 비교하여 대상지반 단면에 대한 속도분포 해석에 높은 정밀도를 기대할 수 있다.
- 탐사범위는 발파점이나 수신점으로 둘러싸인 영역이며, 일반적으로 대상영역 내의 분해능은 발파점이나 수신점을 배치한 부근이 가장 높고, 그것들로부터 멀어짐에 따라 분해능이 저하된다.
- 탐사결과는 지층분포, 단층 파쇄대나 변질대 분포, 공동분포 등을 파악하는데 활용되며, 시간을 두고 반복 측정하는 경우에는 탄성과 속도의 변화량의 크기나 변화된 부분을 분석하여 지반상태의 변화를 일으킨 지질공학적 및 지반공학적인 원인 등을 파악한다.
- 탐사 적용 시 유의사항은 발생원-수진기 배열에 제한이 있거나 탐사 대상 단면의 내부에 큰 속도차가 있는 경우, 또는 대상 단면이 너무 커서 단면의 외부를 통과한 파선을 이용하여 해석하는 경우에는 결과 단면에 왜곡이 발생할 가능성이 높다.

1.2 지하수 변화에 의한 영향 검토

기존자료(수계 및 정천현황, 관측망을 통한 지하수위 현황 등)의 분석, 지하수 관련 현장 시험 및 실내시험 결과활용, 굴착 대상지역 및 광역 지하수 거동 분석을 토대로 사업 전·후의 지하수위, 유출량, 유동특성 등을 파악하여 굴착에 의한 지하수 흐름을 검토하여야 한다.

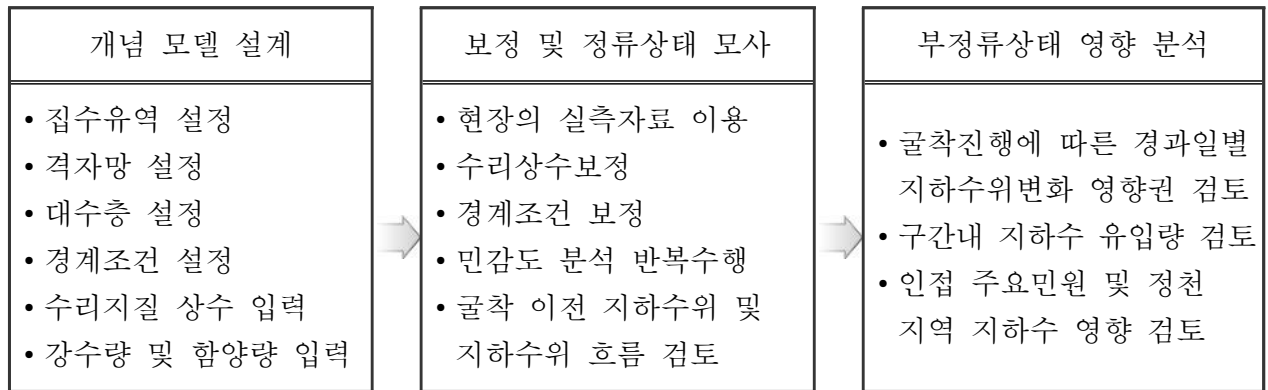
1.2.1 관측망을 통한 지하수 조사

- 국토교통부와 환경부 등에서 운영하고 있는 지하정보통합체계의 지하수정보를 충분히 활용하여 사업구간 내 기존 관측망 자료를 통한 지하수위 분포를 확인한다.
- 지하수정보 시스템을 활용하여 지하수 이용실태를 파악한다.
 - 국토교통부 국가지하수정보센터(<http://www.gims.go.kr>)
 - 환경부 토양지하수정보시스템(<http://sgis.nier.go.kr>)
 - 한국농어촌공사 농어촌지하수넷(<http://www.groundwater.or.kr>)
 - 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)
 - 한국수자원공사 물정보포털(<http://www.water.or.kr>)
 - 하천관리지리정보시스템(<http://www.river.go.kr>)
- 기상청 우수특성(평균강수량, 강우강도, 최대강수량 등)을 파악하여 세부검토시 활용한다.
- 관측망을 통한 조사자료 및 기타 조사를 통해 획득한 자료는 광역 지하수모델링 수행을 위한 기초자료로 활용한다.

1.2.2 광역 지하수 흐름분석

- 대상사업의 현황 및 규모 등을 고려하여 지하수 환경영향을 예측하기 위하여 검토된 자료(수계, 정천현황, 지하수함양량, 수리 특성분석 등)를 토대로 굴착시 지하수 유출에 대한 영향을 예측하고, 그 결과에 따른 대책을 수립하고자 광역 지하수 유동분석을 수행한다.

[표 2.1.1] 광역 지하수 유동분석 개요도



(1) 분석방법

1) 기상 및 정천현황 조사

- 기상청의 통계자료를 이용하여 평균기온, 강수량, 일조시간 및 일조량 등의 변화를 분석한다.
- 대상사업 주변 지하수계의 수위저하에 따른 주변 환경영향을 평가하기 위해 지하수 이용현황을 조사한다.
- 지하수 이용현황조사는 1단계(문헌조사 및 관련기간 자료 수집)와 2단계(현장조사)로 구분하여 실시하고, 2단계에서는 신고 되지 않은 관정에 대하여 탐문조사를 수행함으로써 문헌조사 내용을 보완하여 지하수 이용실태를 파악한다.
- 주변 지역을 중심으로 사업구간에 대해 수리환경에 미치는 여러 요소(기상현황, 지하수 이용현황, 하천현황 등)들에 대해 검토하여 지형요인(수계 및 산계) 분석자료와의 종합적인 검토를 통해 모델링 영역 및 초기·경계조건 설정에 활용한다.

2) 지하수 수리특성 분석 및 산정

- 지하수 현장시험(투수시험, 수압시험, 순간충격시험, 양수시험 등) 및 실내시험 결과를 분석하여 지하수 유동분석에 필요한 수리상수(투수계수 및 저류계수, 지하수함양량 등)를 산정한다.

3) 지하수 유동 모델링

- 대상영역 설정
 - 굴착에 따른 지하수의 거동과 지표수의 흐름에 대한 영향을 충분히 파악할 수 있도록 모델링 해석영역을 설정한다.
 - 수치지형도를 이용하여 지표형상을 3차원으로 모사한다.
 - 지층분포 특성 및 수계, 지형고도 등을 고려하여 초기수두 현황을 파악한다.
 - 모의 구역내 유역경계를 설정하고 수리모델 영역을 생성한다.
- 수리상수 입력 및 경계조건 설정
 - 문헌자료, 현장 수리시험결과와 지반설계정수 등을 종합적으로 분석하여 지하수 함양량 및 수리상수를 입력한다.
 - 수치모델영역 수계의 발달특성을 고려하여 수리모델에 대한 경계조건을 설정한다.
- 지하수 함양량 산정
 - 기상자료 활용법 : 획득한 기상자료(평균기온, 강수량 등)를 분석하여 지하수 함양량을 산정한다.
 - 물수지 분석법 : 물수지 분석 기본식, 손실량 및 증발산량 산출 경험식을 바탕으로 지하수 함양량을 산정한다.
- 지하수 정류 모의
 - 시추공 자료 및 정천현황 조사시 측정된 지하수위를 이용하여 현 상태의 정류 모델링을 실시한다.
 - 계산수위와 실측수위를 비교·분석하여 지하수 유동모델을 보정한다.
- 지하수 부정류 모의
 - 변수연산 과정과 정류 보정단계를 통해 결정한 입력인자들을 바탕으로 최종적으로 확정시킨 예측모델(prediction model)을 이용하여 굴착에 따른 지하수계 변화를 분석한다.

(2) 분석결과 및 활용

1) 정류 모의결과

- 정류 모의로 자연상태의 지하수위계를 모사하고, 굴착전 지하수 함양량에 따른 지하수위 변화를 분석한다.
- 사업대상 주변 유역의 지하수 흐름을 파악하고 부정류 모의의 기초자료로 활용한다.

2) 부정류 모의결과

- 정류상태 수위자료를 초기 수위로 적용하여 굴착구간을 배수경계로 설정해 부정류 모사를 시행하다.
- 굴착 진행에 따른 지하수 유동특성을 굴착중, 굴착완료, 공사 완료 후의 경과일별 단계적으로 분석한다.

3) 결과활용

- 굴착 전·후의 지하수위 강하 및 영향권을 비교·분석하여 굴착 진행공정에 따른 환경적 특성을 고려한 차수대책 수립에 반영한다.
- 굴착으로 인한 사업대상 주변의 지하수위 변화 및 유입량, 유동방향 등을 파악하여 사업구간 인근의 수계변화 양상 검토에 활용한다.
- 지하수 유동분석으로 산정된 유입량을 이용하여 구조물 시공시 굴착에 따른 지하수위 영향범위 검토 및 배수공법, 지하수위를 고려한 지반침하 영향검토 및 구조물안정성 분석 등에 활용한다.
- 사업구간 주변에 위치한 관정이나 지하수 이용시설물들의 지하수위 변동 양상을 파악하여 이에 대한 대책 마련에 활용한다.

1.3 지반안전성 검토

지반안전성 분석시 수치해석에 적용되는 지반정수는 현장시험 및 실내시험 결과를 토대로 경험식, 문헌자료, 기존 적용사례를 연계 분석하여 지층별로 합리적인 대표값을 산정하여 적용하며 지반침하의 가능성을 내포하고 있는 경우는 지반침하 위험구간을 사전 검토하여야 한다. 자연적인 요인(지질특성, 지반조건, 지하수 등)과 외부 요인(구조물, 관거, 침하사례 등)에 의해 지반침하에 영향을 미칠 것으로 판단되는 주요 고려사항들을 연구보고서, 붕괴 및 침하사례, 매뉴얼 등을 바탕으로 터널구간과 터파기구간으로 구분하여 각각의 내용을 아래와 같이 선정하였으며, 아래와 같은 항목들이 분포하는 구간은 지반침하의 가능성이 있으므로 지반안전성 분석 시 주의하여 검토할 필요가 있다.

• 터널구간

- 지반조사 불충분(시추조사, 물리탐사, 실내·현장시험 등)
- 굴착심도내 토사층에 지하수위 존재 여부
- 터널 천단으로부터 1D(D: 터널 최대폭)이내 토사 및 풍화대 분포 여부
- 사업구간 주변 하천 및 해안 분포여부
- (사업구간내) 매립 및 충적층 분포 여부
- 복합지반(토사 및 암반 교호) 및 차별풍화대 분포 여부
- 지질이상대(파쇄대, 단층대, 암종경계 등)분포 여부
- 사업구간 주변 지하수 배출원(지하철역사, 온천 등)분포 여부
- 사업구간 주변 기존 지반침하 발생, 지하구조물 및 공사장 존재 여부
- 사업구간 주변 20년이상 노후 상하수도관 분포 여부

• 터파기구간

- 지반조사 불충분(시추조사, 물리탐사, 실내·현장시험 등)
- 굴착심도내 토사층에 지하수위 존재 여부

- 연약지반(연약 점성토, 연약 사질토 등)분포 여부
- 사업구간 주변 하천 및 해안 분포여부
- (사업구간내) 매립 및 충적층 분포 여부
- 복합지반(토사 및 암반 교호) 및 차별풍화대 분포 여부
- 굴착저면에 보일링 및 히빙 발생가능지반 분포 여부
- 사업구간 주변 지하수 배출원(지하철역사, 온천 등)분포 여부
- 사업구간 주변 기존 지반침하 발생, 지하구조물 및 공사장 존재 여부
- 사업구간 주변 20년이상 노후 관거(직경 500mm이상) 분포 여부

1.3.1 굴착공사에 따른 지반안전성 영향분석

- 터널과 터파기와 같은 굴착공사로 인해 발생하는 지반침하는 도로 및 철도 등 국가 기간망의 안전에 심각한 위험요소로 작용하고 있으며, 특히 인구 및 각종 산업시설이 밀집되어 있는 도심지 지역에서는 가옥과 시설물의 붕괴요인으로 작용할 수 있다.
- 일반적으로 터널 굴착은 내부 지지력의 상실과 지반손실을 가져와 토립자 간에 큰 전단 변형을 유발시키고 이러한 영향들이 지표까지 전달되어 침하를 발생시키며, 지하수위하에서 시공되는 경우 지하수 저하를 동반하여 침하가 발생하기도 한다.
- 터파기구간에서의 지반침하는 설계단계의 가시설 구조체의 불안정, 굴착저면에서의 보일링 과 히빙에 의한 침하, 가시설 배면의 차수보강과 배수처리시설의 부실 등에 따라 발생하므로 주요 침하원인을 고려한 안전성 분석을 실시하고, 굴착에 따른 지반의 영향을 공학적으로 분석하여 해법을 제시하여야 한다.

(1) 터널구간의 굴착에 따른 지반안전성 검토

1) 터널 안정성 해석

- 터널해석의 목적은 지보재를 포함한 터널구조물의 안정성을 사전에 검토하고 터널 건설에 따른 주변 지반의 거동과 주변 시설물에 미치는 영향을 검토하기 위함이다.
- 해석 시에는 지형 및 지반 조건, 지하수 조건, 터널의 형상 및 위치, 시공방법 및 터널 주변 지반의 지보특성을 고려하여야 하며, 해석기법은 2차원 해석이나 3차원 해석을 채택할 수 있다. 2차원 해석을 실시할 경우에는 3차원적 실제 지반거동을 고려하여야 한다.
- 해석 수행 시 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - 해석영역은 터널의 규모와 지반 조건 등을 고려하여 터널굴착에 따른 영향을 충분히 파악할 수 있는 범위로 설정하여야 한다.
 - 해석모델은 단계별 굴착의 영향이 포함되도록 하되 경계요소, 무한요소 등의 탄성 경계 조건을 부여하는 경우를 제외하고는 터널 좌·우는 터널 굴착폭의 3배 이상, 하부는 터널 높이의 2배 이상, 상부는 지표면까지를 해석영역으로 하여야 한다.

단, 상부 토피가 매우 큰 경우에는 상부 지반조건의 영향이 포함될 수 있는 별도의 모델을 적용할 수 있다.

- 해석 시 사용하는 지반특성치들은 해당 지반의 시험결과를 토대로 추정된 값을 사용하여야 한다. 단, 공사의 규모 또는 현장 여건상 시험결과를 얻을 수 없는 경우에는 경험이 풍부한 기술자의 판단에 의하여 유사지반의 특성치를 제한적으로 준용할 수 있다.
- 해석에 사용되는 모든 프로그램은 그 적합성이 확인되고 지반의 거동을 적절하게 모사(simulation)할 수 있는 기능을 보유하여야 하며, 터널의 단계별 굴착을 재현할 수 있는 기능과 지반, 지보재의 변위, 응력 그리고 모멘트 등을 계산하여 터널설계 및 안정해석에 이용할 수 있어야 한다.
- 일반적으로 터널 해석에 적용되는 수치해석 기법은 크게 연속체 해석과 불연속체 해석 두 가지로 나뉘며, 대표적으로 유한요소법(finite element method), 유한차분법(finite difference method), 경계요소법(boundary element method) 등이 연속체 해석에 개별 요소법(distinct element method) 등이 불연속체 해석기법에 속한다.
- 터널공사의 경우 굴착에 따라 아래와 같은 취약구간은 수치해석을 통한 지반안전성을 검토하여야 한다.
 - 토피가 1.5D이하인 저토피 터널구간(D: 터널 최대폭)
 - 터널 천단부에 토사층 근접으로 터널안전성에 영향을 줄 것으로 예상되는 구간
 - 파쇄대 및 단층대 예측구간으로 굴진면 자립에 문제가 예상되는 구간
 - 전방 암질이 점토질 또는 팽창성 암반이 존재하는 구간
 - 굴착 영향범위 내에 기존 구조물과 인접하여 시공되는 터널구간 등

2) 연계해석 기법

- 연계현상이라 함은 두 가지 이상의 물리적 현상이 상호 연관되는 과정에서 상호간에 발생하는 영향으로 단일거동과 함께 추가적인 물리적 현상이 발생함을 의미한다.
- 연계해석의 필요성은 최근 지하수유동에 의한 붕괴 모델링과 도심지터널, 해·하저 터널 설계상에 크게 요구되고 있으며, 최근 흐름벡터를 고려한 연계해석 기법의 개발로 그 적용이 구체화 되고 있다.
- 그러므로 사업구간내 지하수위 변화가 현저할 것으로 판단되는 구간을 선정하여 지하수위 흐름을 고려한 터널 및 지반·구조물 등에 대한 안정성 검토를 수행하여야 한다.

(2) 터파기구간의 굴착에 따른 안전성 검토

1) 수치해석에 의한 지반안전성 검토

- 흙막이 굴착시 지하수위 저하에 따른 지반침하를 유효응력의 개념으로 접근하는 해석을 적용하여 굴착시 지반의 거동에 영향을 끼치는 요인들을 고려하여 벽체배면의 수평 변위 및 침하 등을 검토하여야 한다.

2) 히빙(Heaving)에 대한 안정성 검토

- 연약한 점토지반에서 굴착이 진행될 때에 굴착되어 배출된 토사체적이 없어지면서 굴착 배면토(굴착 인접토)의 중량과 배면지반의 상재하중(인접건물하중 등)이 하중으로 작용하여 굴착 배면토가 이동하려는 힘이 굴착저면 직하부의 지반지지력보다 크게 될 때 굴착저면 지반 내의 흙이 미끄러지면서 상향으로 부풀어 오르는 현상을 히빙(Heaving)이라고 한다.
- 히빙 검토방법은 하중-지반 지지력식에 의한 방법의 대표적인 것으로 Terzaghi-Peck (1967)식, Bjerrum and Eide(1956)식, NAVFAC(DM-7) 등이 있으며, 모멘트 평형에 의한 방법으로 일본 건축기초 구조설계 기준(1974)과 일본 도로협회(1967)의 계산법 등이 있다.
- 상기 검토식들은 각기 지지력이나 활동면의 전단강도를 취하는 방법 등에서 특정 지을 수 있고 적용안전율도 각각 다르다. 또한 흙막이벽체의 종류, 지반조건, 어떤 설계규정에 근거하느냐에 따라 검토결과는 상당한 차이를 보이므로 여러 가지 방법으로 검토한 후 이들을 비교하여야 한다.

3) 보일링(Boiling)과 파이핑(Piping)에 대한 안정검토

- 사질토 지반과 같이 투수성이 큰 지반에서 강널말뚝과 같이 차수성이 큰 흙막이를 시공하여 굴착하는 경우에 굴착의 진행에 따라 흙막이벽 배면과 굴착면의 수위차이가 서서히 커지게 된다. 이 수위 차이에 의하여 굴착면 지반에 상향의 침투류가 생겨, 이 침투수압이 굴착면 쪽 지반의 유효중량을 초과하여 모래입자가 솟아오르는 상태가 되는 현상을 보일링(Boiling)이라고 한다.
- 보일링 상태가 국부적으로 발생하여 그것이 흙막이벽 부근이나 중간말뚝 등과 같이 흙과 콘크리트 또는 강재 등 이질의 접촉면을 따라 위쪽 방향으로 깊은 두께에 걸쳐 파이프 모양으로 보일링이 형성되는 현상을 파이핑(Piping)이라 한다.
- 보일링이나 파이핑에 대한 검토는 유선망에 의해 해석하는 것이 정확하나 번잡하므로, Terzaghi 간편식과 한계동수구배를 고려하는 방법으로 검토하는 것이 일반적이다. 이 두 가지 방법은 보일링 검토에 대한 견해가 다르기 때문에 반드시 두 식을 만족하도록 한다.

1.3.2 주변 시설물의 안전성 분석

- 지반굴착은 필연적으로 지반변위를 수반하게 되고, 지반변위는 인접구조물의 안전에 영향을 미칠 수 있으므로 인접구조물의 손상도를 평가하기 위해서는 먼저 손상에 대한 기준 및 등급분류가 요구된다.
- 지반굴착에 따른 인접 구조물의 손상유무는 구조물이 지반변위에 의해 영향을 받게 되므로 구조물의 각 부분별로 분석이 가능할 수 있도록 수치해석을 수행하여야 한다.

(1) 터널구간의 굴착에 따른 주변 시설물의 안전성 분석

- 도심지에서의 터널굴착은 기존에 시공이 완료되어 공용중인 터널, 구조물 기초, 지중관로, 상부건물 등에 근접하여 시공되는 경우가 빈번히 발생하며 터널 굴착시 발생하는 지반의 변형은 터널 구조물의 안정성은 물론, 인접 구조물의 안정성에도 영향을 미칠 수 있다.
- 근접된 구조물간의 시공영향은 신설 시공되는 공사의 종류, 규모, 시공법뿐만 아니라 기존구조물의 종류, 규모, 상태 등에 따라 달라지므로 터널의 안정성 평가를 할 때에는 목적구조물 뿐만 아니라 인접구조물을 고려한 평가가 함께 수행되어야 한다.
- 근접시공의 설계와 시공계획은 구조물 현황 및 지반조사 결과에 근거하여 위치, 구조 형식, 기초형식, 노후정도 등을 사전에 평가하고 이를 반영한 해석을 통한 사전 검증이 필요하며 기설구조물의 안정성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 경우에는 적절한 보강 및 보호대책을 사전에 수립하여야 한다.
- 기존터널 및 구조물에 인접하여 신설구조물을 시공하는 경우에 기존구조물이 받는 영향을 평가하는 방법은 기존구조물에 지반변형을 강제변형으로 입력하는 방법, 기존구조물과 지반을 일체로 해석하는 방법, 기존구조물에 하중을 입력하는 방법 등 크게 세 가지로 구분할 수 있다.
- 각각의 평가방법의 적용은 기존구조물과 신설구조물의 상관관계와 지반의 상대강성으로부터 결정되며 각 평가방법 중에서 지반과 구조물의 상호작용을 고려할 수 있는 구조물과 지반을 일체로 해석하는 방법이 주로 적용되고 있다.

1) 기존구조물에 지반변형을 강제변형으로 입력하는 방법

- 기존에 시공된 구조물이 없다고 가정하여 지반의 변형을 구한 후 그 변형을 구조물에 강제 변형으로 입력하여 해석하는 방법으로 기존구조물의 규모와 강성이 상대적으로 작고 그 구조물이 지반의 거동에 미치는 영향이 미소한 경우에 적용한다.
- 기존구조물은 신설구조물과 근접하여 시공되는 조건이기 때문에 이 방법에 의한 2차원 모델링을 적용할 경우 약간의 오차가 예상된다.

2) 기존구조물과 지반을 일체로 해석하는 방법

- 구조물과 지반의 상호작용이 밀접한 관계에 있는 것으로 평가되는 경우에 적용된다.
- 지반과 기존구조물을 일체로 고려하기 위해서는 지반을 연속체 요소로 가정하고 구조물을 보(beam) 요소로서 모델링하는 것이 일반적이고 셸(shell) 요소와 선(bar) 요소를 함께 사용하는 방법이 주로 이용된다.
- 휨 변형이 지배적인 일반적인 구조부재는 국부적으로 큰 변형이 발생되지 않지만 지반에서 국부적으로 큰 변형이 일어날 경우에는 특히 구조물과 지반사이의 경계부에서 과다 변형이 강제로 발생하게 되어 경계부의 활동과피로 나타난다. 이와 같은 경우의 해석에 있어서는 지반과 구조물과의 상호거동을 모사하기 위해 지반과 구조물의 경계부에 상호면 요소(interface element)를 적용하는 것이 일반적인 방법이다.

- 상호면의 현실적인 모사를 위해 전단강성과 연직강성을 합리적으로 적용하는 것이 중요하며 현재까지는 주로 시험결과 및 기존문헌에 의한 연구결과를 반영하여 적용하고 있다.

3) 기존구조물에 하중을 입력하는 방법

- 신설구조물 시공에 의해 응력이 해방되거나 추가된다고 가정하고 이에 상당한 외력을 상향으로 작용시켜 응력변형을 구하는 방법으로 규모와 강성이 큰 기존구조물에 근접하여 시공을 하더라도 기존구조물의 변위 및 변형이 대단히 작고 지반과 구조물의 상호작용을 무시할 수 있는 경우에 적용한다.
- 이 방법으로 계산할 때에는 기존구조물의 설계에 이용된 하중조건을 가급적 현실적으로 적용하여야 하며 근접공사에 수반하는 지반응력의 변화부분을 추가적으로 고려해서 구조물에 대한 영향을 평가한다.
- 강성이 강한 구조물 주변 지반의 근접시공에 의한 응력의 변화를 산술적으로 구하는 것은 어렵기 때문에 가급적 최대하중이 작용되는 경우로 가정하여 안전측으로 평가하는 것이 일반적이다.

(2) 터파기구간의 굴착에 따른 주변 시설물의 안전성 분석

- 흙막이벽의 변위에 따른 주변 지반의 침하에 대한 예측은 흙막이벽 변위의 실측 또는 계산에 의하여 구한 값으로부터 주변 지반침하를 추정하는 방법과 버팀구조와 주변 지반을 일체로 하여 유한요소법 또는 유한차분법으로 해석하는 방법이 있다. 이러한 검토방법을 사용하여 굴착단계를 고려한 배면지반의 침하를 예측하여 주변 시설물의 안전성분석을 실시한다.

1) 유한요소법 및 유한차분법에 의한 방법

- 굴착공사에 있어 배면지반의 침하나 수평변위를 정량적으로 파악하기 위해서는 유한요소법을 사용할 수 있다. 유한요소법은 지반 전체와 가시설 전체를 일체로 모델화하여 굴착 단계별로 배면 지반침하나 수평변위 등을 구할 수 있다. 이는 흙막이벽체와 지지구조 등을 동시에 고려하여 지반-구조물 상호거동을 고려한 해석이 된다.
- 이 방법은 벽체와 흙의 관계를 나타내기 위한 계면요소(Interface element)가 고려되어야 하며, 대상지반 및 흙막이 구조물의 거동을 정확히 나타낼 수 있는 응력-변형률 관계를 파악하는데 필요한 제반 정수들의 정확한 추정이 요구된다.
- 일반적으로 유한요소법이나 유한차분법을 이용하여 흙막이 구조물의 거동을 해석할 때 영향을 미치는 주요 요소들은 다음과 같다.
 - 지하굴착 진행과정을 시뮬레이션하는 방법
 - 지반 자체의 거동 모델화
 - 지반거동 모델에서 사용된 모델 계수 값들
 - 그 외 실제 시공 당시에 발생한 예상치 못한 변화들

2) 기존 구조물에 미치는 영향의 예측

- 지반변형에 의하여 기존 구조물이 변형되었다고 가정하고 해석하는 방법, 지반과 기존 구조물을 일체로 가정하고 해석하는 방법, 기존 구조물에 굴착으로 변화된 하중조건을 주어 해석하는 방법이 있다.

3) 이론 및 경험적 추정 방법

- Peck(1969)의 방법은 서로 다른 지반에 대하여 강널말뚝을 설치한 결과를 계측하여 굴착 깊이에 따른 인접지반의 이격거리와 침하량 관계를 도출하였다.
- Caspe.(1966)의 방법은 강널말뚝의 변위와 포와송비를 사용하여 굴착심도에 따른 벽체배면의 지반침하량의 관계를 도출하였다.
- Clough et al.(1990)의 방법은 여러 가지 지반에서 굴착깊이와 배면 지반침하량과의 관계를 측정하고 이를 유한요소법으로 해석하였다. 이 방법은 말뚝의 종류에 상관없이 적용될 수 있다.
- Fly et al.(1983)의 방법은 지반을 완전탄성 및 포화된 것으로 가정하여 실시한 유한요소해석 결과치를 지반조건에 따라 확장시켜 탄성식을 제안하였다.

1.4 지하안전확보방안 수립

1.4.1 계측방안

- 터널 및 터파기구간의 지반특성, 주변 현황(인접구조물, 지장물, 중요도), 구조물계획 등을 고려한 계측계획을 수립하여 공사 중과 운영 중에 지하안전확보에 문제가 없도록 계측계획을 수립하여야 한다. 또한, 설계시 적용된 계측계획을 분석하여 공사 중 예상되는 제반 문제점에 적절히 대처할 수 있도록 하여야 한다.

(1) 계측계획 수립시 중점검토사항

1) 터널 중점검토사항

- 터널의 규모, 지반조건, 설계개념, 주변 환경, 시공방법, 사전해석결과, 유사터널의 시공자료 등을 검토하여 예상되는 문제점을 도출하도록 한다.
- 설정한 계측목적에 맞도록 계측항목, 계측위치, 계측빈도 등을 결정하도록 한다.
- 계측목적과 공사현장에 적합한 계측기기의 선정과 현장조건을 고려하여 측정정보의 전달방식을 계획하도록 한다.

2) 터파기 굴착시 중점검토사항

- 지반침하 및 건물 침하에 대한 안전성을 확보하도록 한다.
- 단계별 굴착에 따른 지하수위 거동 및 수리특성을 파악하도록 한다.
- 단층과쇄대 구간의 보강재 및 지반거동 파악을 위한 계측계획을 수립하도록 한다.

- 건물 상태조사 결과를 반영한 굴착 영향 범위내의 건물 관리대책을 수립하도록 한다.
- BOX, 상·하수관로 등 주요지장물의 관리대책 수립 및 안전성을 파악하도록 한다.
- 체계적인 계측관리 시스템 구축과 위험 가능성 등을 사전에 파악하도록 한다.
- 연약점토층 발달구간에 대한 지반 및 건물 침하 거동특성을 분석하도록 한다.

(2) 주요 계측 항목

1) 터널구간

① NATM 터널

- 일상계측 : 갱내관찰조사, 지표침하계, 천단침하계, 내공변위계, 록볼트 인발시험
- 정밀계측 : 지중변위계, 록볼트 축력계, 숏크리트 응력계
- 기타계측 : 지중침하계, 지중경사계, 지하수위계, 라이닝응력계, 간극수압계 등

② Shield 터널

- 천단침하계, 내공변위계, 지표침하계, 세그먼트 응력계, 신축이음계, 철근응력계, 지중침하계, 지중경사계, 지하수위계 등

2) 터파기구간

- 지중경사계, 지하수위계, 지표침하계, 하중계, 응력계, 토압계, 건물경사계, 건물 균열계, 지중침하계, 진동/소음측정기, 지하매설물 변형측정계 등

3) 비개착 구간

- 지중경사계, 지하수위계, 지표침하계, 광파타켓, 강관응력계, 천단침하계, 수평 경사계, 지보응력계, 건물경사계, 건물균열계 등

(3) 계측수량 및 측정빈도

1) 계측수량

- 지반과 지보의 거동을 종합적으로 파악하고 계측의 신뢰성 향상을 도모하기 위해 각 계측항목 상호간의 연관성을 분석하는 것이 중요하다. 이를 위해서 터널 및 터파기의 용도, 규모, 지반조건, 시공방법, 기시공 구간의 계측결과 등 여러 상황을 고려하고 계측목적에 부합하도록 계측위치 및 배치간격을 적절히 선정하여야 한다.

2) 측정빈도

- 계획 시에 지반조건과 시공조건을 함께 고려하여 설정한 뒤, 시공과정에서 계측에 의한 지반 및 지보의 거동상황을 참조하여 적절히 수정하는 것이 중요하다. 터널의 경우 일반적으로 변위와 응력의 변화는 굴착 직후에 크지만 시간이 지나고 굴진면이 멀어짐에 따라 감소하는 경향이 있기 때문에 굴진면에 접근하여 측정하는 초기 단계에는 조밀한 측정 빈도로 정한다.
- 터파기의 경우 지반거동은 일일 굴토량과 작업 기계, 기상(우천) 등에 영향을 받으므로 Data의 변화속도와 안전성 여부의 관련성을 충분히 고려하여 적절한 측정 빈도를 설정해야 한다. 즉, Data의 변화속도가 빠른 계측항목의 측정 빈도는 높이고, 반대로

장기간에 걸쳐 변화량이 미세한 계측 항목은 빈도를 낮추는게 좋으며, 안전과의 관련성이 깊은 계측항목은 빈도를 높일 필요가 있다.

(4) 계측관리 기준

- 관리기준은 지반의 거동상태, 인접구조물의 안전한계와 지반 역학적인 조건에 의하여 결정되므로 기준적인 수치를 정확히 제시하기가 어렵기 때문에 이론해석 및 수치 해석, 혹은 유사 조건하의 시공실적을 참고하여 초기 시공실적을 토대로 관리기준을 수시로 수정해 가는 방법이 가장 합리적이고 실질적이다.
- 실제로 지반의 상태나 시공조건 등이 다르기 때문에 엄밀한 관리 기준치를 제시하기는 어렵지만 일반적으로 추정할 수 있는 관리기준치로서 일본의 천단 침하관리기준(일본 토질학회지, 1986)과 ASCE(Franklin, 1976)에서 제시한 기준이 있다.

1.4.2 지반침하 취약구간에 대한 보강 및 차수방안

(1) 터널 구간

1) 저토포 구간

- 지지코어를 형성하고, 천단부 지반의 강성을 증대한다.
- 터널상부 구조물보호 및 이완영역최소화로 변위를 억제한다.
- 종단선형 조정이 가능한 경우 종단선형 조정을 검토한다.

2) 높은 지하수위 및 하저통과 구간

- 지상차수 또는 갱내차수그라우팅에 의한 수위저하 방지 및 토사유입을 방지한다.
- 터널내 지반조건에 적합한 배수공법을 선정하여 지하수를 배제한다.

3) 굴착속도(굴진장)

- 1회 굴진장을 조절하여 버력처리시간으로 인한 지보 지연을 최소화한다.
- 분할굴착과 굴진면 보강으로 굴착으로 인한 변위를 최소화한다.

4) 터널천단 상부 토사지반

- 지반의 높은 투수성에 의한 수위저하 방지를 위한 차수그라우팅을 한다.
- 토사의 낮은 변형 및 강도특성을 고려하여 지반을 그라우팅으로 보강한다.

5) 지질이상대 및 팽창성 지반 등의 취약 지반조건

- 전방 암질탐사 및 선진수평보링 등을 실시하여 파쇄대 및 단층대 등이 출현할 경우 휘폴링 및 그라우팅(약액주입) 등으로 보강한다.
- 전방의 암질이 점토질 또는 팽창성지반일 경우 굴진면 보강 및 가축성 지보재 등으로 보강 후 굴진한다.

- 6) 지반조건, 지하수 상황, 터널의 용도, 규모에 따라 터널의 보조공법을 활용목적에 따라 분류하면 다음과 같다.

[표 2.1.2] 보조공법 종류

목 적		보조공법
천단 및 굴진면 의 안정	천단보강	<ul style="list-style-type: none"> • 휘폴링, 파이프루프 • 소·대구경 보강그라우팅 • 수평제트그라우팅 등
	굴진면 보강	<ul style="list-style-type: none"> • 굴진면 지지코아 • 굴진면 슛크리트, 록볼트, 가인버트 • 프리그라우팅 등
	각부 및 하부보강	<ul style="list-style-type: none"> • 레그파일(강관, 말뚝, 고압분사등) • 지반개량 등
	측벽보강	<ul style="list-style-type: none"> • 록볼트, 강관보강, 그라우팅, 마이크로파일
용수 처리	차 수	<ul style="list-style-type: none"> • 주입공법, 동결공법
	배 수	<ul style="list-style-type: none"> • Deep Well공법, Well Point공법, 굴진면 물빼기공 등

(2) 터파기 구간

1) 굴착저면의 안정(보일링, 히빙 등)

- 지하수위 저하공법(Well Point, Deep Well 등), 하부지반의 개량공법(약액주입공법, 심층혼합처리공법, 생석회말뚝공법, 동결공법 등)을 적용하여 보일링을 방지한다.
- 굴착저면 지반을 개량(약액주입공법, 심층혼합처리공법, 고압분사주입공법 등) 하여 지반의 강도를 증가시켜 히빙을 방지하여야 한다.

2) 흙막이 벽의 응력 및 변형 저감

- 토질특성, 지하수위의 높이, 굴착깊이, 주변 구조물의 노후화 및 중요도, 이격거리 등을 고려하여 흙막이벽체의 형식을 검토하여 적용하여야 한다.

3) 지하수의 차수 및 지수

- 흙막이의 형식에 따라 배면 지하수가 굴착면 내로 유입되는 것을 차단하여 지하수 흐름에 의한 토립자의 유동을 억제함으로써 배면지반의 침하를 방지하기 위하여 약액주입이나 분사주입공법을 적용한다.

4) 주변 지반의 변형 및 영향

- 굴착에 의한 흙막이벽의 변형에 의한 지반변위를 억제하여야 한다.
- 지하수위 저하에 의한 배면의 느슨한 사질토지반의 변위와 압밀에 의한 점성토 지반의 변위를 제어하여 침하를 억제하여야 한다.
- 히빙, 보일링, 파이핑 등에 의한 굴착저면의 변화에 의한 배면지반의 침하를 억제하도록 하여야한다.
- 흙막이를 해체할 때에는 진동이 작고 주변 지반에 영향이 작은 공법을 검토하거나, 해체 후에 공극을 신속하고 단단하게 다짐하여 되메우기를 하여야한다.

제2장 소규모 지하안전영향평가

소규모 지하안전영향평가는 현장조사, 기본설계 및 실시설계 내용 등을 기초자료로 활용하여 소규모 지하안전영향평가 방법에 따라 평가를 진행하는 것을 전제로 하며, 설계기준 미준수 및 위험구간 선정시 주요 고려사항에 대한 자료가 불충분하거나 소규모 지하안전영향평가 수행 전·중·후 주변 여건 및 현장여건 급변화시 추가조사나 검토 등을 수행하여야 한다.

2.1 지반 및 지질현황

실시계획 승인 이전 사업단계에서 지하정보통합체계를 통한 정보분석, 기본 및 실시설계 보고서, 지반조사 및 지질조사보고서, 시추조사, 투수시험, 지하물리탐사 등을 활용해서 지질 분석 및 지층분석, 시험결과 등을 검토하여 사업구간에 대한 소규모 지하안전영향평가를 수행하여야 한다.

2.1.1 지질현황 검토

(1) 지형 분석

- 산계 및 수계조사에 따른 지형특성을 예측하고 지형도 및 항공사진 등을 이용하여 지형 특성을 파악한다. 필요할 경우 현장답사를 통하여 주변 환경에 대한 현황을 조사하도록 한다.
- 도심권 지형도는 기간산업 및 도시의 발달로 왜곡된 정보를 포함하고 있으므로 필요시 개발이전에 작성된 고(古)지형도를 이용하여 과거 지형이력(하천, 수로, 매립지 등)을 파악하여 시간 흐름에 따른 지반정보 및 지형변화 양상을 판단한다.

(2) 지질특성 분석

- 지질도 및 문헌자료 등을 검토하여 기반암의 특성을 고려한 지반조사 수행 및 성과 분석시 기초자료로 활용한다.
- 사업구간의 지질도, 인공위성 영상 및 음영기복도 등을 이용한 광역 선구조분석 및 단층대, 습곡 등의 지질구조대를 파악한다.
- 사업구간에 노출암 분포시 암종분포 특성, 불연속면 발달상태를 파악하여 암반의 지질 공학적 특성을 분석하고 필요시 물리탐사 결과와 비교분석하여 효율적인 조사계획 수립에 반영할 수 있다.
- 노두관찰이 불가능한 도심지 구간은 현장여건을 사전에 파악하여 시행여부를 결정하도록 한다.

2.1.2 지하정보통합체계를 통한 정보분석

- 지하정보통합체계에 포함된 지하정보(시추정보, 지질정보, 관정정보, 지하시설물에 관한 정보), 지하공간통합지도 등의 정보를 참고하여 지하안전영향평가에 활용할 수 있으며 지하정보통합체계가 구축·운영되기 전에는 다음의 내용에 따라 지하정보 관련 자료를 분석하여 활용한다.

(1) 시추정보

- 지반상태, 지층의 종류, 지하수위 등 시추기계나 기구 등을 사용하여 지반의 시료를 조사하여 생산되는 시추정보는 국토지반정보 통합DB센터(<https://www.geoinfo.or.kr>), 서울특별시 지반정보 통합관리시스템(<http://surveycp.seoul.go.kr>)에서 시추조사 결과와 내용을 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(2) 지질정보

- 암석의 종류·성질·분포상태 및 지질구조 등 한국지질자원연구원(<http://www.kigam.re.kr>)과 한국광물자원공사(<http://www.kores.or.kr>)에서 조사하여 생산된 지질정보 자료를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(3) 지하수 정보

- 「지하수법」 제5조(지하수의 조사)에 따른 지하수조사로 획득한 관정정보는 국토교통부의 국가지하수정보센터(<http://www.gims.go.kr>)와 한국수자원공사(<http://www.water.or.kr>)의 자료를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(4) 지하시설물에 관한 정보

- 상수도, 하수도, 전력시설물, 전기, 통신, 가스, 난방, 공동구, 지하차도, 지하철, 지하보도, 지하주차장, 지하광장 등 각각의 개별법에 따라 구축·관리되고 있는 지하시설물에 관한 정보를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(5) 지하공간통합지도 정보

- 국토교통부에서는 지하공간통합지도 구축사업을 진행하고 있으며, 시범구축사업을 통한 기반을 마련하고 통합된 지도구축을 목표로 연구와 사업이 진행되고 있어 향후 지하공간 통합지도가 구축되면 지하공간에 대한 자료를 활용하도록 한다.

2.1.3 시추조사

- 시추조사는 지반의 성상을 조사하고, 시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 시행하여 설계에 필요한 제반 자료를 정확하게 산정해야한다.
- 시추조사는 암상, 층서, 층후 및 균열의 수직 발달상태 등에 관한 직접적이고 명확한 자료를 얻기 위하여 수행하며 필요한 경우 시추조사 중에 불교란시료를 채취할 수 있다.
- 시료채취를 통한 지반의 분포상태 및 풍화도 등을 파악한다.
- 평가를 위한 조사가 미비할 경우 추가적으로 시추조사를 수행할 수 있다.
- 현장조건 및 민원 등으로 인한 미시추 구간은 반드시 주변 데이터를 통하여 추정하며 미진한 부분은 시공 중 추가조사나 물리탐사 등을 실시하여야 한다.
- 시추완료 후 24, 48, 72시간 경과 후 공내의 지하수위를 파악하고 필요시에는 장기지하수위 관측정을 설치하여 지하수위 변화를 측정한다.
- 시추조사 완료후 시추공내에서 채취한 시료 및 지층에 대한 모든 정보를 시추주상도에 상세히 기록한다.
- 시추간격 및 시추심도는 국가건설기준(KDS 11 10 10)에 따르며 시추조사 방법은 아래와 같다.
 - 회전 수세식형(Rotary Wash Type)시추기를 사용하며, 조사목적에 따라 타격 방식의 시추기를 사용할 수 있다.
 - 시추는 NX규격(76mm) 이중 코아배럴이나 NX에 상응하는 규격을 사용하여 연직으로 시행하며, 풍화대나 파쇄대 등에서는 필요시 삼중 코아배럴 등을 사용하여 코아의 회수율을 높일 수 있으며, 조사목적 및 중요도에 따라 발주기관별 기준에 따른다.
 - 한국산업표준(KS F 2307)을 기준으로 1.0m 간격으로 표준관입시험을 실시하되 지층이 변화하는 구간에서도 추가로 표준관입시험을 실시하고 필요시 토질시험을 실시한다.
 - 공벽붕괴 방지를 위해 풍화암까지 Casing을 사용할 수 있다.
 - 토사시료 채취는 Split Spoon Sampler, 점성토 시료채취는 Thin wall tube sampler, 풍화대 시료채취는 Triple sampler, 암반시료 채취는 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit 등을 사용할 수 있다.
 - 채취된 암석코아는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 불연속면(Discontinuities)과 충전물 등을 파악하고 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가한다.

2.1.4 투수시험

- 사업구간의 지층조건에 따라 아래와 같은 투수계수 관련 현장시험 등을 실시하고, 지층별 투수계수 및 수리특성 등을 산정하여 지하수 흐름분석, 지반안정성 분석시 지반의 보강 및 차수공법 적용 효과 등을 예측하기 위한 기초자료로 활용한다.

- 시험방법은 한국산업표준(KS)에 제시된 시험방법에 따라서 시행하고 다만, KS에 명시되지 않은 시험은 국제적으로 인정되는 시험방법 등을 준용하여 실시하도록 한다. 투수계수 관련 시험의 종류는 다음과 같으며, 대상사업의 성격 및 조건에 따라 기타 시험방법들을 적용할 수 있다.

(1) 현장투수시험(토사지반)

- 사업구간에 분포하는 토사층(매립층, 퇴적층, 풍화토 등)에 대한 투수계수(K)를 측정하여 지층의 구성물질에 따른 투수계수 변화를 분석한다.
- 현장투수시험은 시험방법에 따라 정수위법(Constant Head Method)과 변수위법(Falling Head Method)이 있다.

(2) 현장수압시험(암반지반)

- 수압을 이용하여 절리를 포함한 암반의 투수성을 파악하는 시험법으로 주입 압력에 따른 주입량 곡선을 작성함으로써 암반의 투수성 및 루전(Lugeon) 값을 산출한다.
- 공경 76mm의 시추공에 압력 1MPa/min으로 주수한 경우 주입길이 1m 당 주입량을 리터 단위로 나타낸 것이 루전(Lugeon)이다.
- 시험은 시추공 내에 팩커를 설치한 후 압력의 증감은 5~9단계로 나누어 주입 압력별로 약 5~10분간의 가압시간을 유지하여 정확한 투수계수를 산정한다.

(3) 양수시험

- 양수시험은 굴착에 따른 지하수 유입량의 시간적 변화를 분석하여 투수량계수, 투수계수, 저류계수 등을 산정하는 시험법으로, 굴착지역에서 발생할 수 있는 지하수위 변화 및 유동을 예측하는 기초자료로 이용된다.
- 양수시험(Pumping Test)시 양수량은 안정수위가 형성될 때까지 일정하게 유지하여야 하며 양수량은 적산유량계를 이용하여 측정한다.
- 수위회복시험(Recovery Test)은 양수시험을 종료한 즉시 실시하여야 하며 최초 자연수위의 80%까지 회복될 때까지 실시한다.
- 수위강하량과 수위회복량은 자동수위 측정기를 이용하여 측정하며 일반적으로 측정간격은 1분, 수위변화량은 1mm 단위까지 측정한다.
- 시험결과는 Theis법(1935), Cooper-Jacob법(1963) 등을 이용하여 분석하며, 수위회복시험의 경우 Theis Recovery법을 이용하여 해석한다.

(4) 순간충격시험

- 시추 관측정이 설치된 지점에서 현장수리전도도를 구하는 방법으로, 투수성이 매우 낮은 저투수성 지층에서 대수성시험을 실시할 때나 또는 수중모터펌프를 공내에 설치할 수 없는 소구경의 관측정인 경우에 사용한다.

- 시험은 굴착이 종료된 이후 2시간 이상 경과한 상태에서 안정수위를 유지한 후 실시한다. 시험 방법은 두 가지가 있다.
- 첫째, 체적을 이미 알고 있는 물체(Dummy)를 관측정의 지하수위 하부로 순간적으로 낙하시키면 Dummy의 체적만큼 지하수위가 상승(Build up)한다. 이로 인해 관측정에서 상승한 지하수는 우물의 스크린 구간을 통해 주변 대수층으로 서서히 배출되면서 상승된 수위가 하강하게 된다. 이때 경과시간에 따른 수위변화량을 측정하여 대수성 수리상수를 산정하는 방식을 하강수위시험(Falling water level test)이라 한다.
- 둘째, Dummy를 일단 관측정에 삽입해 둔 후 지하수위가 자연상태(원상태)로 돌아간 후에 우물에 삽입해둔 Dummy를 순간적으로 뽑아내면 물체의 체적만큼 수위가 하강한 후 우물의 스크린 구간을 통해 주변 대수층의 지하수가 우물내로 유입되면서 우물의 수위가 서서히 상승하여 자연수위 상태로 돌아간다. 이 때 경과시간에 따른 지하수위 변화량을 측정하여 대수성 수리상수를 정하는 방식을 상승수위시험(Rising water level test)이라 한다.
- 수위변화량은 일반적으로 1~5초 간격으로 1mm 단위까지 측정한다.
- 시험결과는 Hvorslev법(1951)과 Bouver-Rice법(1976)을 통해 분석하는데, Hvorslev 법은 자유면 대수층이 수평과 수직으로 무한히 펼쳐져 있다고 가정하기 때문에 대수층의 두께를 알고 있는 경우 Bouver-Rice법으로 분석하여야 한다.

2.2 지하수 변화에 의한 영향 검토

기존자료(수계 및 정전현황, 관측망을 통한 지하수위 현황 등)의 분석, 지하수 관련 현장 시험 등을 활용하여 굴착 대상지역의 지하수위, 수리특성 등을 파악하여 굴착에 의한 지하수 흐름을 검토하여야 한다.

2.2.1 대상지역의 지하수 흐름 분석

- 지하수정보 시스템을 활용하여 지하수 이용실태를 파악한다.
- 굴착구간에 대하여 수리특성별 대표단면들을 선정한다.
- 지하수정보 시스템 자료, 공내 지하수위(72시간 이후) 측정자료, 지층별 투수계수 및 용적함수량 산정자료 등을 활용하여 수리해석 모델링을 수행한다.
- 경계조건 설정 후 침투류 해석을 통한 시공시 최대유출량을 파악함으로써 지하수 흐름을 고려한 합리적인 지반침하(함몰)에 대한 영향검토를 수행한다.
- 지하수위 강하 및 영향권을 비교·분석하여 굴착 진행공정에 따른 환경적 특성을 고려한 차수대책 수립에 반영한다.

2.3 지반안전성 검토

지반안전성 분석시 지반침하의 가능성을 내포하고 있는 경우는 지반침하 위험구간을 사전 검토하여야 한다. 자연적인 요인(지질특성, 지반조건, 지하수 등)과 외부 요인(구조물, 관거, 침하사례 등)에 의해 지반침하에 영향을 미칠 것으로 판단되는 주요 고려사항들을 연구 보고서, 붕괴 및 침하사례, 매뉴얼 등을 바탕으로 아래와 같은 항목들이 분포하는 구간은 지반침하의 가능성이 있으므로 지반안전성 분석 시 주의하여 검토할 필요가 있다.

- 터파기 구간
 - 지반조사 불충분(시추조사, 물리탐사, 실내·현장시험 등)
 - 굴착심도내 토사층에 지하수위 존재 여부
 - 연약지반(연약 점성토, 연약 사질토 등)분포 여부
 - 사업구간 주변 하천 및 해안 분포여부
 - (사업구간내) 매립 및 충전층 분포 여부
 - 복합지반(토사 및 암반 교호) 및 차별풍화대 분포 여부
 - 굴착저면에 보일링 및 히빙 발생가능지반 분포 여부
 - 사업구간 주변 지하수 배출원(지하철역사, 온천 등)분포 여부
 - 사업구간 주변 기존 지반침하 발생, 지하구조물 및 공사장 존재 여부
 - 사업구간 주변 20년이상 노후 관거(직경 500mm이상) 분포 여부

2.3.1 굴착(터파기)공사에 따른 지반안전성 영향분석

- 일반적으로 터파기구간에서의 지반침하는 설계단계의 지반조사가 부족하거나 가시설 구조체의 불안정, 굴착 저면에서의 보일링과 히빙에 의한 침하, 가시설 배면의 차수보강과 배수처리시설의 부실 등에 따라 발생하므로 지반조건, 구조물 중요도 및 현황, 주요 침하 원인 등을 고려한 안전성 분석을 실시하고, 굴착에 따른 지반의 영향을 공학적으로 분석하여 해법을 제시하여야 한다.

(1) 수치해석에 의한 지반안전성 검토

- 흙막이 굴착시 지하수위 저하에 따른 지반침하를 유효응력의 개념으로 접근하는 해석을 적용하여 굴착시 지반의 거동에 영향을 끼치는 요인들을 고려하여 벽체배면의 수평변위 및 침하 등을 검토하여야 한다.

(2) 히빙(Heaving)에 대한 안정성 검토

- 연약한 점토지반에서 굴착이 진행될 때에 굴착되어 배출된 토사체적이 없어지면서 굴착 배면토(굴착 인접토)의 중량과 배면지반의 상재하중(인접건물하중 등)이 하중으로 작용하여 굴착 배면토가 이동하려는 힘이 굴착저면 직하부의 지반지지력보다 크게 될 때

굴착지면 지반 내의 흙이 미끄러지면서 상향으로 부풀어 오르는 현상을 히빙(Heaving)이라고 한다.

- 히빙 검토방법은 하중-지반 지지력식에 의한 방법과 모멘트 평형에 의한 방법으로 구분된다. 하중-지반 지지력식에 의한 방법의 대표적인 것으로 Terzaghi-Peck (1967)식, Bjerrum and Eide(1956)식, NAVFAC(DM-7) 등이 있으며, 모멘트 평형에 의한 방법으로 일본 건축기초 구조설계 기준(1974)과 일본 도로협회(1967)의 계산법 등이 있다.
- 상기 검토식 들은 각기 지지력이나 활동면의 전단강도를 취하는 방법 등에서 특정 지을 수 있고 적용안전율도 각각 다르다. 또한 흙막이벽체의 종류, 지반조건, 어떤 설계규정에 근거하느냐에 따라 검토결과는 상당한 차이를 보이므로 여러 가지 방법으로 검토한 후 이들을 비교하여야 한다.

(3) 보일링(Boiling)과 파이핑(Piping)에 대한 안정검토

- 사질토지반과 같이 투수성이 큰 지반에서 강널말뚝과 같이 차수성이 큰 흙막이를 시공하여 굴착하는 경우에 굴착의 진행에 따라 흙막이벽 배면과 굴착면의 수위차이가 서서히 커지게 된다, 이 수위 차이에 의하여 굴착면 지반에 상향의 침투류가 생겨, 이 침투수압이 굴착면 쪽 지반의 유효중량을 초과하여 모래입자가 솟아오르는 상태가 되는 현상을 보일링(Boiling)이라고 한다.
- 보일링 상태가 국부적으로 발생하여 그것이 흙막이벽 부근이나 중간말뚝 등과 같이 흙과 콘크리트 또는 강재 등 이질의 접촉면을 따라 위쪽 방향으로 깊은 두께에 걸쳐 파이프 모양으로 보일링이 형성되는 현상을 파이핑(Piping)이라 한다.
- 보일링이나 파이핑에 대한 검토는 유선망에 의해 해석하는 것이 정확하나 번잡하므로, Terzaghi 간편식과 한계동수구배를 고려하는 방법으로 검토하는 것이 일반적이다. 이 두 가지 방법은 보일링 검토에 대한 견해가 다르기 때문에 반드시 두 식을 만족하도록 한다.

2.3.2 주변 시설물의 안전성 분석

- 터파기는 필연적으로 지반변위를 수반하게 되고, 지반변위는 인접구조물의 안전에 영향을 미칠 수 있으므로 인접구조물의 손상도를 평가하기 위해서는 먼저 손상에 대한 기준 및 등급분류가 요구된다.
- 지반굴착에 따른 인접 구조물의 손상유무는 구조물이 지반변위에 의해 영향을 받게 되므로 구조물의 각 부분별로 분석이 가능할 수 있도록 수치해석을 수행하여야 한다.
- 흙막이벽의 변위에 따른 주변 지반의 침하에 대한 예측은 흙막이벽 변위의 실측 또는 계산에 의하여 구한 값으로부터 주변 지반침하를 추정하는 방법과 버팀구조와 주변 지반을 일체로 하여 유한요소법 또는 유한차분법으로 해석하는 방법이 있다. 이러한 검토방법을 사용하여 굴착단계를 고려한 배면지반의 침하를 예측하여 주변 시설물의 안전성분석을 실시한다.

(1) 유한요소법 및 유한차분법에 의한 방법

- 굴착공사에 있어 배면지반의 침하나 수평변위를 정량적으로 파악하기 위해서는 유한요소법을 사용할 수 있다. 유한요소법은 지반 전체와 가시설 전체를 일체로 모델화하여 굴착 단계별로 배면 지반침하나 수평변위 등을 구할 수 있다. 이는 흙막이벽체와 지지구조 등을 동시에 고려하여 지반-구조물 상호거동을 고려한 해석이 된다.
- 이 방법은 벽체와 흙의 관계를 나타내기 위한 계면요소(Interface element)가 고려되어야 하며, 대상지반 및 흙막이 구조물의 거동을 정확히 나타낼 수 있는 응력-변형률 관계를 파악하는데 필요한 제반 정수들의 정확한 추정이 요구된다.
- 일반적으로 유한요소법이나 유한차분법을 이용하여 흙막이 구조물의 거동을 해석할 때 영향을 미치는 주요 요소들은 다음과 같다.
 - 지하굴착 진행과정을 시뮬레이션하는 방법
 - 지반 자체의 거동 모델화
 - 지반거동 모델에서 사용된 모델 계수 값들
 - 그 외 실제 시공 당시에 발생한 예상치 못한 변화들

(2) 기존 구조물에 미치는 영향의 예측

- 지반변형에 의하여 기존 구조물이 변형되었다고 가정하고 해석하는 방법, 지반과 기존 구조물을 일체로 가정하고 해석하는 방법, 기존 구조물에 굴착으로 변화된 하중조건을 주어 해석하는 방법이 있다.

(3) 이론 및 경험적 추정 방법

- Peck(1969)의 방법은 서로 다른 지반에 대하여 강널말뚝을 설치한 결과를 계측하여 굴착 깊이에 따른 인접지반의 이격거리와 침하량 관계를 도출하였다.
- Caspe.(1966)의 방법은 강널말뚝의 변위와 포와송비를 사용하여 굴착심도에 따른 벽체 배면의 지반침하량의 관계를 도출하였다.
- Clough et al.(1990)의 방법은 여러 가지 지반에서 굴착깊이와 배면 지반침하량과의 관계를 측정하고 이를 유한요소법으로 해석하였다. 이 방법은 말뚝의 종류에 상관없이 적용될 수 있다.
- Fly et al.(1983)의 방법은 지반을 완전탄성 및 포화된 것으로 가정하여 실시한 유한요소 해석결과치를 지반조건에 따라 확장시켜 탄성식을 제안하였다.

2.4 지하안전확보방안 수립

2.4.1 계측방안

- 터파기구간의 지반특성, 주변 현황(인접구조물, 지장물, 중요도), 구조물 계획 등을 고려한 계측계획을 수립하여 공사 중과 운영 중에 지하안전확보에 문제가 없도록 계측계획을 수립하여야 한다. 또한, 설계시 적용된 계측계획을 분석하여 공사 중 예상되는 제반 문제점에 적절히 대처할 수 있도록 하여야 한다.

(1) 터파기 구간 계측계획 수립시 중점검토사항

- 지반침하 및 건물 침하에 대한 안전성을 확보하도록 한다.
- 단계별 굴착에 따른 지하수위 거동 및 수리특성을 파악하도록 한다.
- 단층파쇄대 구간의 보강재 및 지반거동 파악을 위한 계측계획을 수립하도록 한다.
- 건물 상태조사 결과를 반영한 굴착 영향 범위내의 연도변 건물 관리대책을 수립하도록 한다.
- BOX, 상·하수관로 등 주요지장물의 관리대책 수립 및 안전성을 파악하도록 한다.
- 체계적인 계측관리 시스템 구축과 위험 가능성 등을 사전에 파악하도록 한다.
- 연약점토층 발달구간에 대한 지반 및 건물 침하 거동특성을 분석하도록 한다.

(2) 주요 계측 항목

- 지중경사계, 지하수위계, 지표침하계, 하중계, 응력계, 토압계, 건물경사계, 건물균열계, 지중침하계, 전단면 내공변위계, 진동/소음측정기, 지하매설물 변형측정계 등

(3) 계측수량 및 측정빈도

1) 계측수량

- 터파기에 따른 지반의 거동을 종합적으로 파악하고 계측의 신뢰성 향상을 도모하기 위해 각 계측항목 상호간의 연관성을 분석하는 것이 중요하다. 이를 위해서 터파기의 용도, 규모, 지반조건, 시공방법 등 여러 상황을 고려하고 계측목적에 부합하도록 계측위치 및 배치간격을 적절히 선정하여야 한다.

2) 측정빈도

- 계획 시에 지반조건과 시공조건을 함께 고려하여 설정한 뒤, 시공과정에서 계측에 의한 지반의 거동상황을 참조하여 적절히 수정하는 것이 중요하다.
- 터파기의 경우 지반거동은 일일 굴토량과 작업 기계, 기상(우천) 등에 영향을 받으므로 Data의 변화속도와 안전성 여부의 관련성을 충분히 고려하여 적절한 측정빈도를 설정해야 한다. 즉, Data의 변화속도가 빠른 계측항목의 측정빈도는 높이고, 반대로 장기간에 걸쳐 변화량이 미세한 계측항목은 빈도를 낮추는 게 좋으며, 안전과의 관련성이 깊은 계측항목은 빈도를 높일 필요가 있다.

(4) 계측관리 기준

- 관리기준은 지반의 거동상태, 인접구조물의 안전한계와 지반 역학적인 조건에 의하여 결정되므로 기준적인 수치를 정확히 제시하기가 어렵기 때문에 이론해석 및 수치해석, 혹은 유사 조건하의 시공실적을 참고하여 초기 시공실적을 토대로 관리기준을 수시로 수정해 가는 방법이 가장 합리적이고 실질적이다.
- 실제로 지반의 상태나 시공조건 등이 다르기 때문에 엄밀한 관리 기준치를 제시하기는 어렵지만 일반적으로 추정할 수 있는 관리기준치로서 일본의 천단 침하관리기준(일본 토질학회지, 1986)과 ASCE(Franklin, 1976)에서 제시한 기준이 있다.

2.4.2 지반침하(함몰) 취약구간에 대한 침하저감을 위한 방안

(1) 굴착저면의 안정(보일링, 히빙 등)

- 지하수위 저하공법(Well Point, Deep Well 등), 하부지반의 개량공법(약액주입공법, 심층혼합처리공법, 생석회말뚝공법, 동결공법 등)을 적용하여 보일링을 방지한다.
- 굴착저면 지반을 개량(약액주입공법, 심층혼합처리공법, 고압분사주입공법 등) 하여 지반의 강도를 증가시켜 히빙을 방지하여야 한다.

(2) 흙막이 벽의 응력 및 변형 저감

- 토질특성, 지하수위의 높이, 굴착깊이, 주변 구조물의 노후화 및 중요도, 이격거리 등을 고려하여 흙막이벽체의 형식을 검토하여 적용하여야 한다.

(3) 지하수의 차수 및 지수

- 흙막이의 형식에 따라 배면 지하수가 굴착면 내로 유입되는 것을 차단하여 지하수 흐름에 의한 토립자의 유동을 억제함으로써 배면지반의 침하를 방지하기 위하여 약액주입이나 분사주입공법을 적용한다.

(4) 주변 지반의 변형 및 영향

- 굴착에 의한 흙막이벽의 변형에 의한 지반변위를 억제하여야 한다.
- 지하수위 저하에 의한 배면의 느슨한 사질토지반의 변위와 압밀에 의한 점성토 지반의 변위를 제어하여 침하를 억제하여야 한다.
- 히빙, 보일링, 파이핑 등에 의한 굴착저면의 변화에 의한 배면지반의 침하를 억제 하도록 하여야 한다.
- 흙막이를 해체할 때에는 진동이 작고 주변 지반에 영향이 작은 공법을 검토하거나, 해체 후에 공극을 신속하고 단단하게 다짐하여 되메우기를 하여야 한다.

제3장 사후지하안전영향조사

사후지하안전영향조사는 실시설계자료와 지하안전영향평가서를 기초자료로 하여 조사를 진행하는 것을 전제로 하며, 설계기준 미준수 및 위험구간 선정시 주요 고려사항에 대한 자료가 불충분하거나 지하안전영향평가 수행 전·중에 주변 여건 및 현장여건 급변화시 추가 조사나 검토 등을 수행하여야 한다.

3.1 지반 및 지질현황

사업 시공단계에서 지하안전영향평가서 검토, 지하물리탐사 등 사업구간의 사후지하안전영향조사를 수행하기 위해 필요한 지반 및 지질현황을 분석하여야 한다.

3.1.1 지하안전영향평가 검토

- 해설서에 따라 지반과 지질현황을 파악하기 위하여 지하정보통합 체계를 통한 정보분석, 시추조사, 투수시험, 지하물리탐사 등을 수행하여 기초자료를 획득하여 지하안전영향평가를 실시한다. 따라서 사후지하안전영향조사를 수행하기 전에 지하안전영향평가서 획득한 기초자료를 검토하여 문제점이나 오류사항을 수정·보완하고 시공중에 확인된 지반 및 지질 현황이 지하안전영향평가서와 현장조건이 상이하거나 변화된 구간에 대해서는 이러한 사항을 사후지하안전영향조사의 검토 자료에 반영한다.

3.1.2 지하물리탐사(지표투과레이더탐사, 전기비저항탐사, 탄성파탐사등)

- 현장 시공 중 확인된 지반 및 지질, 지하 지장물조건과 지하안전영향평가서에 수행된 지하물리탐사 결과가 상이할 경우, 추가적으로 지하물리탐사를 실시하여 지반 및 지질조건을 수정·보완하여 사후지하안전영향조사를 위한 기초자료로 활용한다.
- 추가적으로 물리탐사 등에 의한 현장조사 시행중 공동 발견시에는 해당 지자체나 관리주체에게 즉시 통보하여 후속조치를 취할 수 있도록 하여야 한다.

(1) 지표투과레이더(GPR) 탐사

- 수십~수천 MHz의 고주파수 성분의 전자기파의 일종인 레이더파를 이용하여 탐사하는 방법으로 전자기파를 지하에 방사시킨 후 유전특성이 서로 다른 두 매질의 경계면에서 반사파를 수신하여 각 매질의 위치와 형상 등을 파악한다.
- 송신안테나로부터 방사된 전자기파가 지표하부의 지층경계, 파쇄대, 공동, 매설관 등과 같은 지하의 불균질층(체)으로부터 반사된 반사파를 획득, 분석하여 지하 하부의 정보를 획득한다.

- 탐사심도는 송신 안테나의 주파수 대역에 따라 차이는 있으나 수 m~수십 m까지 측정이 가능하다. 지표 하부 수 m 이내의 지표 천부 매질물이나 공동을 탐사하기 위한 경우에는 수 백 MHz 이상의 높은 중심 주파수를 갖는 안테나가 사용된다. 수 m 이상의 심도에 대한 탐사가 필요한 경우에는 100MHz 이하의 낮은 중심 주파수를 갖는 안테나를 사용하지만, 전자기파의 감쇠현상 때문에 10m 이상의 심도까지 탐사가 가능한 경우는 암반이 지표에 노출되어 있는 지역을 제외하고는 드물다.
- 탐사결과는 레이더 반사파 단면도에서 나타나는 반사 양상으로부터 지하 매질물 탐사 및 천부 지층 경계 파악 및 상태, 공동 조사 등 지하상태를 파악하고 지하안전영향평가를 위한 지층파악 자료로 활용한다.
- 지반의 물리적 성질의 차이에 기인한 물리적 현상들을 측정하고 해석함으로써 지질구조 및 지층의 성질을 조사한다.
- 지표투과레이더(GPR) 탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - 레이더탐사는 고주파수 전자기파를 이용하기 때문에 심한 감쇠 현상이 발생하는데 전자기파의 감쇠 정도는 지하 매질의 전기비저항에 반비례하며, 사용 안테나의 주파수에 비례한다.
 - 점토 함량이 높은 토양층과 같이 저비저항을 갖는 지반에서는 심한 감쇠 현상 때문에 지표투과레이더(GPR) 탐사의 가탐심도가 낮아지며 수신된 전자기파의 세기가 약하므로 상대적으로 주변 전자기파 잡음의 영향이 커져 해석 정밀도 또한 저하된다.
 - 수상에서 탐사를 할 경우, 강 또는 호수의 바닥은 대단히 강한 반사면을 형성하여 대부분의 전자기파 에너지는 물 바닥면에서 반사되고, 일부 에너지만이 지하로 전파되므로 지하로의 가탐심도는 낮아지게 된다.
 - 구조물을 대상으로 탐사할 경우, 구조물 철망이나 철근이 전자기파 차폐막의 역할을 할 수 있으므로 이에 의한 영향이 매우 크다.

(2) 전기비저항탐사

- 매질의 전기적 물성차이에 의한 전위차를 측정 지하구조를 영상화하는 방법, 즉 지표에 전류를 흘려보낸 후 지하의 전기비저항 분포와 지형에 따라 분포하는 전위차를 측정하여 지하매질의 전기비저항 분포를 파악한다.
- 탐사방법은 1차원 탐사, 2차원 탐사, 3차원 탐사로 구분되며 이들 탐사방법은 조사 장소의 상황이나 조사 목적에 따라서 달리 사용되지만 최근에는 2차원 탐사를 이용하는 것이 일반적이다.
 - 1차원 탐사(수직 및 수평탐사) : 지하의 수직 및 수평의 층서구조 파악
 - 2차원 탐사 : 측선 하부의 2차원적 영상을 획득
 - 3차원 탐사 : 탐사지역 하부 지반의 3차원적 영상을 획득

- 탐사 심도는 전극 간격 및 측선 길이와 밀접한 관계가 있으며, 탐사기기의 성능과 지층의 전기비저항값에도 좌우되지만 일반적인 탐사심도는 다음과 같다.
 - 1차원 탐사 : 평탄한 지대에서는 200~300m 정도까지는 가능하며 이 경우 최대 전극 간격은 400~600m 정도이다. 일반적으로 100 m 이내의 얕은 곳을 대상으로 한다.
 - 2차원, 3차원 탐사 : 지하 하부 300m 정도까지 탐사가 가능하나 탐사심도가 깊어지면 분해능이나 해석 정밀도가 떨어진다. 탐사심도가 이보다 큰 경우에는 전자탐사 등 다른 탐사 방법을 이용하는 것이 효율적이다.
- 탐사결과는 대수층, 개략적인 지질 경계, 기반암 분포 등의 지질구조 파악 및 저비저항 이상대에 의한 지질구조대(단층, 파쇄대, 연약대 등) 존재여부 및 특성을 분석한다.
- 지표지질조사와 시추조사의 결과를 보완하여 미시추 구간을 포함하는 연속적인 지층구조 및 포화대 범위, 유수경로 등을 파악한다.
- 전기비저항탐사 적용 시 유의사항은 다음과 같다.
 - 1차원 및 2차원 탐사는 지형·지하구조가 측선에 수직인 방향으로는 변화가 없다는 것을 전제로 하므로 측선방향으로 지형·지하구조가 현저하게 변하는 경우에는 보조 측선을 설정하여 양자의 결과를 비교·검토하거나 3차원 탐사를 수행할 필요가 있다.
 - 측선 가까이 송전선, 철도, 철강 구조물 등이 있으면 잡음이나 이상 측정의 원인이 되기 때문에, 이들과 근접하지 않도록 측선을 계획한다.
 - 2차원 탐사에서는 해석 단면의 밑부분, 측선의 양 끝부분에서는 해석 정밀도가 저하되므로 탐사 범위를 목적 대상보다 넓게 설정할 필요가 있다.
 - 다층구조 지역에서는 탐사결과를 반드시 시추조사 결과와 대비하여 사용한다. 실제로 부지가 다층구조 지역일 경우, 전기비저항탐사는 예비평가 단계 정도에서만 사용할 수 있다.

(3) 탄성파탐사

- 매질의 탄성차이에 의한 탄성파의 전파속도 차이를 측정하고 이를 해석하는 탐사법으로 지표에서 인위적으로 발생시킨 탄성파 에너지의 일부가 지하매질을 전파하는 과정에서 반사, 굴절, 회절 등의 현상에 의해 지표로 되돌아온 탄성파를 측정함으로써 지질구조에 관한 정보를 획득한다. 탄성파탐사법의 종류는 아래와 같다.

1) 굴절법 탄성파탐사

- 굴절법탄성파탐사는 지표 부근에서 발파 등으로 탄성파(P파, S파)를 발생시켜 속도가 다른 지층 경계에서 굴절되어 돌아오는 굴절파를 지표에 설치한 측정 장치로 기록하여 지하의 속도구조를 알아내는 탐사법이다.
- 탐사 방법은 P파 초동을 이용한 측정 방법이 일반적으로 사용되며, 토질지반을 대상으로 비교적 천부의 속도구조를 구하는 경우 S파 분석 방법이 일부 사용된다.

- 탐사 심도는 발생원으로 다이내마이트를 사용하는 경우 100~200m, 비폭약 발생원을 사용하는 경우 수 m~30m 이다.
- 탐사 결과는 지반의 속도분포를 분석하고, 획득된 속도 분포와 시추 결과 및 기존의 지질자료 등을 서로 대비시켜 종합적으로 해석함으로써 지층분포 특성, 단층과쇄대 등의 지질이상대 등을 파악할 수 있다.

2) 반사법 탄성과탐사

- 반사파를 이용하여 층서구조 및 지질구조 정보 파악하는 탐사법으로, 주로 해양탐사에 사용하며, 본 탐사로는 지층의 탄성과속도를 직접 측정할 수 없기 때문에 다른 자료와 대비하여 지층상태나 분포심도를 추정한다.

3) 탄성과 토모그래피

- 탄성과 토모그래피탐사는 지표, 시추공 및 수평 갱도 등을 이용하여 탐사 대상 영역을 둘러싸도록 발파점과 수신점들을 설치하고, 발파점에서 생성된 탄성과를 많은 수신점에서 측정하여 초동 주시를 이용하는 탐사법이다
- 지표 굴절법탄성과탐사와 비교하여 대상 지반 단면에 대한 속도 분포 해석에 높은 정밀도를 기대할 수 있다.
- 탐사범위는 발파점이나 수신점으로 둘러싸인 영역이며, 일반적으로 대상 영역 내의 분해능은 발파점이나 수신점을 배치한 부근이 가장 높고, 그것들로부터 멀어짐에 따라 분해능이 저하된다.
- 탐사결과는 지층의 분포, 단층 파쇄대나 변질대의 분포, 공동의 분포 등을 파악하는데 활용되며, 시간을 두고 반복 측정하는 경우에는 탄성과 속도의 변화량의 크기나 변화된 부분을 분석하여 지반 상태의 변화를 일으킨 지질공학적 및 지반공학적인 원인 등을 파악한다.
- 탐사 적용 시 유의사항은 발생원-수진기 배열에 제한이 있거나 탐사 대상 단면의 내부에 큰 속도차가 있는 경우, 또는 대상 단면이 너무 커서 단면의 외부를 통과한 파선을 이용하여 해석하는 경우에는 결과 단면에 왜곡이 발생될 가능성이 높다.

3.2 지하수 변화에 의한 영향 검토

3.2.1 지하안전영향평가 검토

- 지하안전영향평가지 관측망을 통한 지하수 조사, 광역 지하수흐름 분석 등을 수행하여 지하수변화에 의한 영향을 검토한다. 따라서 사후지하안전영향조사를 수행하기 전에 지하안전영향평가에서 획득한 자료 및 광역 지하수흐름 분석을 검토하고, 추가로 현장 시공

중에 확인된 지하수 변화에 의한 영향이 지하안전영향평가지 검토된 내용과 상이할 경우, 보완조사를 통해 지하수 변화에 의한 영향을 검토한다.

3.2.2 지하수 관측망 자료, 주변 계측자료 등 분석

(1) 지하수 관측망 자료 분석

- 국토교통부와 환경부 등에서 운영하고 있는 지하정보통합체계의 지하수정보를 충분히 활용하여 사업지구 내 기존 지하수 관측망 자료를 통한 지하수 분포를 확인하고 검토 자료로 활용한다.
 - 국토교통부의 국가지하수정보센터(<http://www.gims.go.kr>)
 - 환경부의 토양지하수정보시스템(<http://sgis.nier.go.kr>)
 - 한국농어촌공사의 농어촌지하수넷(<http://www.groundwater.or.kr>)
 - 국토교통부의 국가수자원관리종합정보시스템(<http://www.wamis.go.kr>)
 - 한국수자원공사의 물정보포털(<http://www.water.or.kr>)
 - 하천관리지리정보시스템(<http://www.river.go.kr>)

(2) 주변 계측자료 등 분석

- 사업구간 인근의 시추공, 관정 등에서 시공 전과 후의 지하수 영향에 따른 지하수위 변화를 계측하고 분석하여 사후지하안전영향조사 자료로 활용한다.

3.3 지반안전성 검토

3.3.1 지하안전영향평가 검토

- 지하안전영향평가지 수행한 굴착공사에 따른 지반안전성 영향분석 자료와 주변 시설물의 안전성분석 자료를 검토한다. 추가로 현장 시공중에 확인된 지반조건이 지하안전영향평가지 검토된 내용과 상이할 경우, 현장조건을 반영하여 사후지하안전영향조사를 실시하여야 한다.
- 현장 시공중 지하안전영향평가지 검토된 주변 시설물과 지중구조물이 사후지하안전영향 조사와 상이한 경우에 필요시, 변경된 내용을 고려하여 수치해석을 의한 공학적 해석을 통해 지반안전성을 검토 할 수 있다.

3.3.2 계측자료 분석을 통한 지반안전성 및 주변 시설물 영향분석

- (1) 계측자료 분석을 통한 지반안전성 분석(지중경사계, 지표침하계, 하중센서,

균열측정기 등)

- 터널구간은 굴착에 따른 지반의 거동과 각 지보재의 효과를 파악하고 지반의 안전성과 경제성을 확보하도록 필요도에 따라 일상계측(A계측, 시공관리상 반드시 실시해야 할 항목)과 정밀계측(B계측, 지반조건에 따라 일상계측에 추가하여 실시하는 항목)으로 구분하여 계측 실시하고 계측결과를 분석하여 안전성을 확보하는지 검토한다. 그리고 터파기구간은 흙막이 벽체의 형식, 지보재의 종류, 인접구조물의 유무 등에 따라 계측 계획에 따라 실시된 계측결과를 분석하여 안전성을 확보하는지 검토한다.

1) 터널의 일상계측

- 일반적으로 공사의 안전성, 굴진면의 자립성, 주변 지반의 안전성을 판단하기 위해 계측단면의 종단방향에 대해 일정간격으로 실시한다. 표 2.3.1은 계측항목에 따라 얻어진 결과를 통해 지반안전성을 분석한다.

[표 2.3.1] 터널구간 일상계측 항목

계측항목	계측 결과	결과의 활용
터널내 관찰조사	<ul style="list-style-type: none"> • 굴진면의 자립성 • 무보강면의 안전성 • 지질 및 용수 • 일차지보의 안전성 	<ul style="list-style-type: none"> • 지반분류의 재평가 • 지반분류와 지반거동의 상관성 • 미굴착부 지반상황의 추정 • 전체적인 시공의 안전성
터널의 관찰조사	<ul style="list-style-type: none"> • 지표면 및 주변 구조물 등의 변형 	<ul style="list-style-type: none"> • 변형 대책공의 필요성
내공변위 측정	<ul style="list-style-type: none"> • 내공단면의 상대변위 • 변위속도 • 변위의 수렴 상황 • 단면의 변형 상황 	<ul style="list-style-type: none"> • 지반의 안전성 • 일차지보 설계제원의 타당성 • 최종변위량의 추정 • 라이닝의 타설시기 • 시공의 안전성
천단침하 측정	<ul style="list-style-type: none"> • 천단 침하량 	<ul style="list-style-type: none"> • 굴착공법의 타당성
히빙 측정	<ul style="list-style-type: none"> • 지반의 용기량 • 용기량 속도 	<ul style="list-style-type: none"> • 터널하반의 일차지보의 변경, 시공시기 • 인버트 콘크리트의 타설시기
지표면 침하측정	<ul style="list-style-type: none"> • 지표면 침하량 	<ul style="list-style-type: none"> • 굴착에 의한 지표면의 영향정도 • 굴착에 의한 영향 범위
주변 구조물 등에 대한 측정	<ul style="list-style-type: none"> • 주변 구조물의 침하, 경사, 균열 등 	<ul style="list-style-type: none"> • 굴착에 의한 주변 구조물의 영향도 • 주변 구조물의 안전성 • 변상대책공의 필요성

2) 터널의 정밀계측

- 일상계측에 의해 파악된 굴진면 및 터널의 거동을 바탕으로 지중의 지반거동과 1차 지보패턴의 타당성을 검토하고 근접시공에 대응한 라이닝의 상태 감시 등을 위해 실시하며 대표적인 단면에서 일상계측에 추가하여 각종 계측을 실시하고 그 결과에 따라 지중변위, 지하수의 변동, 주변에 미치는 영향 파악, 근접시공의 영향 등을 검토하여 안전성을 분석한다.
- 시공 중 아래의 표와 같은 계측항목에 따라 계측을 수행한 결과를 안전성분석에 활용한다.

[표 2.3.2] 터널구간 정밀계측 항목

계측항목	계측 결과	결과의 활용
지중변위측정	• 지중변위량	• 굴착에 의한 이완영역 • 침하억제 대책공의 효과
숏크리트 응력측정	• 응력 • 배면토압	• 설계제원의 타당성 및 안전여유 • 작용하중의 크기
록볼트 축력측정	• 축력	• 록볼트 효과 • 종류, 길이, 볼트 직경의 타당성
라이닝 응력측정	• 라이닝 콘크리트 응력 • 철근응력	• 근접시공의 하중의 크기 • 수압의 크기
갱내용수량 측정	• 용수량	• 굴진면의 안전성 • 지하수위 저하공법의 도입효과 • 시공의 안전성
지하수위 측정	• 지하수위	• 지표면침하, 주변 구조물 변위와의 관련성 • 지하수위 저하공법의 도입효과 • 시공의 안전성
지반시료 시험	• 각종지반물성	• 지반분류의 재평가 • 지반분류와 지반거동의 상관성 • 지반의 강도·변형 특성, 시공의 안전성
보링공을 이용한 조사 및 검증	• 지반의 성층 상태와 분포 • 지지력(표준관입시험) • 수압, 투수계수(용수압시험) • 변형계수(공내재하시험)	• 굴진면 전방 지질의 예측 • 지하수의 유무, 용수압과 유량 • 연약층의 위치·규모·성상 및 연속성

3) 터파기구간

- 흙막이 벽체와 지보재를 적용하여 굴착면이 외부에 노출되도록 굴착을 진행할 때 흙막이벽체와 지보재, 굴착에 따른 영향범위 이내의 인접구조물과 지하매설물 등에 계측기를 설치하여 계측을 실시하고 그 결과에 따라 지중변위, 지하수의 변동, 주변에 미치는 영향 파악, 근접시공의 영향 등을 검토하여 안전성을 분석한다.
- 시공 중 아래의 표와 같은 계측항목에 따라 계측을 수행한 결과를 안전성 분석에 활용한다.

[표 2.3.3] 터파기구간 계측 항목

계측항목	언어진 결과	결과의 활용
흙막이 벽체의 계측	<ul style="list-style-type: none"> • 토압 • 벽체의 변형 • 휨 	<ul style="list-style-type: none"> • 토압의 변화를 측정하여 흙막이 벽체 부재의 안정 상태파악 및 분석자료로 이용 • 벽체의 변형을 측정하여 부재의 변형 및 휨 등의 안정상태 파악
지보재 계측	<ul style="list-style-type: none"> • 축력 • 변형 	<ul style="list-style-type: none"> • Strut의 축하중 및 E/A의 긴장력과 정착력의 변화 상태를 측정하여 이들 부재의 안정상태 파악 • 지보재의 변형을 측정하여 부재의 변형 및 휨 등의 안정상태 파악
주변 지반의 변위계측	<ul style="list-style-type: none"> • 배면지반의 변형 	<ul style="list-style-type: none"> • 굴토 진행시 인접지반 수평변위량과 위치, 방향 및 크기를 실측하여 토류구조물의 응력상태 파악 • 지표면의 변화량에 대한 절대치 변화를 측정, 침하량의 속도판단 등으로 허용치와 비교 및 안정성 예측
인접구조물의 변위 계측	<ul style="list-style-type: none"> • 균열 • 경사 • 변형 	<ul style="list-style-type: none"> • 주변 구조물, 지반 등에 균열발생시 균열크기와 변화를 정밀 측정하여 균열발생 속도 등을 파악하여 인접한 다른 항목의 계측결과와 연관성 분석에 활용 • 인근 주요 구조물에 설치하여 구조물의 경사각 및 변형 상태를 계측, 구조물 안전을 위한 분석자료로 활용
지하수위 및 간극수압 계측	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수위 • 간극수압 	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수위 변화를 실측하여 각종계측자료에 이용, 지하수위의 변화원인 분석
지하매설물에 대한 변형계측	<ul style="list-style-type: none"> • 침하 • 변형 	<ul style="list-style-type: none"> • 지하매설물의 변형을 측정하여 구조물의 안정성 파악
소음 및 진동계측	<ul style="list-style-type: none"> • 소음 • 진동 	<ul style="list-style-type: none"> • 굴착, 발파 및 장비이동에 따른 진동과 소음을 측정하여 구조물 위협예방과 민원 예방에 활용

4) 계측 관리 기준치를 고려한 지반안전성 분석

- 계측 결과치와 비교대상이 되는 관리기준치는 허용치를 사용하는 방법과 설계시의 추정치를 사용하는 방법이 있으며, 계측항목에 따라 합리적으로 선택하여 지반이 안전성을 확보하는지 분석한다.
- 계측치와 관리기준치를 비교하여 정상, 주의 및 위험단계로 판정하며, 주의 및 위험 단계일 때는 필요한 대책을 수립하여 지반안전성을 확보하였는지 분석한다.
- 계측결과는 절대치관리법 또는 예측관리법으로 검토하여 지반의 안전성을 확보하였는지 분석한다.
 - 절대치관리법은 시공전에 미리 설정한 관리기준치와 실측치를 비교·검토하여 그 시점에서 공사의 안전성을 평가하는 방법으로 계측결과에 대해서 신속하게 대처가능, 현장에서의 단순관리에 이용한다.
 - 예측관리법은 이전 단계의 실측치에 의하여 예측된 다음 단계의 예측치와 관리기준치를 대비하여 안전성 여부를 판정하는 기법으로 보다 합리적인 관리를 할 수 있다.

(2) 계측자료 분석를 통한 주변 시설물 영향분석

- 공사중 계측은 주로 설계의 불확실한 요소 등을 보완하고 설계의 타당성을 규명함으로써 시공의 안전성과 경제성을 제공하며, 공학적인 문제해결에 필요한 정량적·정성적 정보를 얻는 행위이다.
- 계측기를 통하여 측정된 자료를 검토하여 정량적인 판단기준을 제시하며, 계측결과 분석을 통하여 주변 시설물의 현 상태 및 발생 가능한 문제를 예측하고, 주변 시설물과 지중 구조물에 미치는 영향을 분석한다.

1) 터널구간

- 굴착중인 NATM 터널의 주변 시설물과 지반에 설치된 계측기의 계측자료를 시공중에 분석하여 터널굴착이 주변 시설물에 미치는 영향을 분석하여야 한다.
 - ① 주변 지반의 영향계측 : 지표의 변형, 침하, 지하수 등
 - ② 인접구조물의 영향계측 : 침하, 균열, 경사, 이동, 변형 등
- 굴착중인 Shield 터널의 주변 시설물과 지반에 설치된 계측기의 계측자료를 시공중에 분석하여 터널굴착이 주변 시설물에 미치는 영향을 분석하여야 한다.
 - 천단침하, 내공변위, 지표침하, 세그먼트 응력, 철근응력, 지표의 변형 및 침하, 지하수위, 인접 구조물의 변형(침하, 균열, 변형) 등

2) 터파기구간

- 흙막이 구조물의 주변 시설물과 주변 지반에 설치된 계측기의 계측자료를 시공중에 분석하여 굴착에 의해 주변 시설물에 미치는 영향을 분석 하여야 한다.
 - ① 흙막이 벽체의 계측 : 토압, 수압, 휨, 변형 등

- ② 버팀보, Earth Anchor, 띠장 등의 지보재의 계측 : 버팀보, Earth Anchor의 축력, 띠장의 변형, 국부파손 등
- ③ 주변 지반의 영향 계측 : 배면지반의 변형, 침하 등
- ④ 인접구조물의 변위계측 : 침하, 균열, 경사, 이동, 변형 등
- ⑤ 지하수위 및 간극수압계측 : 지하수위 및 간극수압의 변동 등

3.4 지하안전확보방안 적정성 및 이행여부 검토

3.4.1 지하안전영향평가의 지하안전확보방안의 적정성 분석

(1) 계측계획 분석

- 터널 및 터파기구간의 지반특성 및 지반조건, 주변 현황(인접구조물, 지장물, 구조물의 중요도), 구조물계획 등을 고려하여 수립된 계측계획이 공사 중과 운영 중에 지하안전 확보에 문제가 없도록 적정하게 계획되었는지 확인한다.

1) 터널구간 계측

① 계측기 설치항목, 설치위치 및 간격 검토

- 시공중 계측(일상계측, 정밀계측 등) 등 계측목적에 부합하는지 검토한다.
- 터널의 용도(도로, 철도 등)와 규모, 시공방법을 고려한 계측내용을 검토한다.
- 지반조건(토사, 팽창성 지반, 연암, 경암 등)을 고려한 계측내용을 검토한다.
- 주변 환경(인접구조물, 지중구조물, 지하매설물 등)을 고려한 계측내용을 검토한다.

② 계측 측정 빈도 검토

- 계획시에 지반조건과 시공조건을 함께 고려하여 설정한 뒤 시공과정에서 계측을 통한 지반 및 지보의 거동상황을 참조하여 적절하게 수정하도록 계획되었는지 검토한다.
- 일반적으로 변위와 응력의 변화는 굴착직후에 크지만 시간이 경과하고 굴진면이 멀어짐에 따라 감소하는 경향이 있기 때문에 굴진면에 접근하여 측정하는 초기 단계에서 조밀한 측정빈도를 정하도록 계획되었는지 검토한다.
- 측정시 초기치는 이후 측정치의 기준이 되므로 시공 상황이 허락하는 한 굴진면에 근접한 위치와 초기치 측정시기에 대하여 검토한다.

③ 계측관리 기준치 검토

- 관리기준은 지반의 거동상태, 인접구조물의 안전한계와 암반 역학적인 조건에 의하여 결정되므로 기준적인 수치를 정확히 제시하기가 어렵기 때문에 이론해석 및 수치해석, 혹은 유사조건하의 시공실적을 참고하여 초기 시공실적을 토대로 관리 기준치가 계획되었는지 검토한다.

- 기존 계측관리치는 정량적인 수치에 의한 절대치관리기법에 주로 적용되어 있으며 계측데이터 변화량 크기(일간변화량, 주간변화량), 발생속도, 수렴여부 등을 종합적으로 검토하여 분석 관찰하는 정성적인 관리방법을 정략적인 수치에 의한 계측관리체계와 함께 관리하여 지반의 불확실성을 최소화하도록 계획되었는지 검토한다.
- 기존 구조물에 대한 허용변위량은 소요강도나 안정성, 내구성을 확보할 수 있는 변위량을 의미한다. 따라서 허용 변위량을 결정하기 위해서는 기존구조물에 지장을 주지 않는 한계변위량을 구하고 부가적으로 한계변위량 산정의 불확실성, 구조물 현황(변위, 노후도 등), 중요도, 보수방법의 난이도 등을 종합적으로 판단하여 적절한 안전율을 갖는 값을 선정하였는지 검토한다.

2) 터파지구간 계측

① 계측기 설치항목, 설치위치 및 간격 검토

- 흙막이 벽체 형식, 지보재의 종류를 고려한 계측계획 수립 내용 검토한다.
- 지반조건(토사, 풍화대, 연·경암 등)과 굴착깊이를 고려한 계측내용 검토한다.
- 주변 지반, 지하매설물 및 인접구조물 등을 고려한 계측계획내용 검토한다.
- 굴착에 따른 지하수위변화 및 간극수압을 고려한 계측내용 검토한다.

② 계측 측정 빈도 검토

- 굴착지반의 거동은 일일 굴토량과 작업기계, 기상(우천)등에 영향을 받으므로 데이터의 변화속도와 안정성 여부의 관련성을 충분히 고려하여 적절한 측정빈도로 계측계획을 수립하였는지 검토한다.
- 계측데이터 분석시 신뢰성 있는 초기치의 확보가 매우 중요하므로 계측항목별 초기치 측정시기와 측정빈도에 대한 계측내용 검토한다.

③ 계측관리 기준치 검토

- 계측관리기준은 지반의 거동상태, 인접구조물의 안전한계, 단면의 크기 및 형상 등에 따라 각각 달라지므로 기준적인 수치를 정확히 제시하기가 어렵기 때문에 이론해석 및 수치해석, 경험식, 혹은 유사조건하의 시공실적 등을 참고하여 초기 시공실적을 토대로 관리기준치가 계획되었는지 검토한다.
- 기존 계측관리치는 정량적인 수치에 의한 절대치관리기법에 주로 적용되어 있으며 계측데이터 변화량 크기(일간변화량, 주간변화량), 발생속도, 수렴여부 등을 종합적으로 검토하여 분석 관찰하는 정성적인 관리방법을 정략적인 수치에 의한 계측관리체계와 함께 관리하여 지반의 불확실성을 최소화하도록 계획되었는지 검토한다.

(2) 지반침하 취약구간에 대한 지하안전확보방안 적정성 분석

- 터널 및 터파지구간의 지반특성, 주변 현황(인접구조물, 지하매설물, 구조물의 중요도 등), 구조물계획 등을 고려하여 수립된 보강 및 차수계획이 공사 중에 지하안전 확보에 문제가 없도록 적정하게 수행되고 있는지 확인한다.

1) 터널구간

① 서토피 구간

- 굴진면 지지코어를 형성하고, 천단부 지반의 강성을 증대시켰는지 검토한다.
- 터널상부 구조물보호 및 이완영역최소화로 변위를 억제시켰는지 검토한다.
- 종단선형 조정이 가능한 경우 종단선형의 조정이 가능한지 검토한다.

② 높은 지하수위 구간

- 지상차수 또는 갱내차수그라우팅에 의한 수위저하 방지 및 토사유입을 방지시켰는지 검토한다.
- 터널내 지반조건에 적합한 배수공법을 선정하여 지하수를 배제시켰는지 검토한다.

③ 굴착속도(굴진장)

- 1회 굴진장을 조절하여 버력처리시간으로 인한 지보 지연을 최소화하도록 계획하였는지 검토한다.
- 분할굴착과 굴진면 보강으로 굴착에 의한 변위를 최소화하도록 계획하였는지 검토한다.

④ 터널천단 상부 토사지반

- 지반의 높은 투수성에 의한 수위저하 방지를 위한 차수그라우팅을 계획하였는지 검토한다.
- 토사의 낮은 변형 및 강도특성을 고려하여 지반을 그라우팅 보강하도록 계획하였는지 검토한다.

2) 터파기구간

① 굴착저면의 안정(보일링, 히빙 등)

- 지하수위 저하공법(Well Point, Deep Well 등), 하부지반의 개량공법(약액주입공법, 심층혼합처리공법, 생석회말뚝공법, 동결공법 등)을 적용하여 보일링을 방지하도록 계획하였는지 검토한다.
- 굴착저면 지반을 개량(약액주입공법, 심층혼합처리공법, 고압분사주입공법 등) 하여 지반의 강도를 증가시켜 히빙을 방지하도록 계획하였는지 검토한다.

② 흙막이 벽의 응력 및 변형 저감

- 토질특성, 지하수위의 높이, 굴착깊이, 주변 구조물의 노후화 및 중요도, 이격거리 등을 고려하여 흙막이벽체의 형식을 계획하였는지 검토한다.

③ 지하수의 차수 및 지수

- 흙막이의 형식에 따라 배면 지하수가 굴착 가시설 내로 유입되는 것을 차단하여 지하수 흐름에 의한 토립자의 유동을 억제함으로써 배면지반의 침하를 방지하기 위하여 약액주입이나 저압, 중압, 고압분사주입공법을 적용하도록 계획하였는지 검토한다.

④ 주변 지반의 변형 및 영향

- 굴착에 의한 흙막이벽의 변형에 의한 지반변위를 억제하도록 계획하였는지 검토한다.
- 지하수위 저하에 의한 배면의 느슨한 사질토지반의 변위와 압밀에 의한 점성토 지반의 변위를 제어하여 침하를 억제하도록 계획하였는지 검토한다.
- 히빙, 보일링, 파이핑 등에 의한 굴착저면의 변화에 의한 배면지반의 침하를 억제하도록 계획하였는지 검토한다.
- 흙막이를 해체할 때에는 진동이 작고 주변 지반에 영향이 작은 공법을 검토하거나, 해체 후에 공극을 신속하고 단단하게 다짐하여 되메우기를 하도록 계획하였는지 검토한다.

3.4.2 지하안전확보방안 이행여부 검토

(1) 굴착공사

- 도심지 터널과 터파기구간의 굴착방법은 굴착수단으로서 인력, 기계, 발파 및 파쇄굴착 등이 있다. 인력 및 기계굴착은 파쇄대 등 지반조건이 불량하거나 주변 지장물 등에 진동영향이 우려되어 화약에 의한 발파굴착이 곤란한 구간에 적용한다. 파쇄굴착은 기계굴착과 발파굴착이 곤란한 구간에 적용한다. 따라서 사업구간에 적용된 굴착공사 방법과 적용구간, 굴착시기 등의 공사내용을 검토하여 지하안전영향평가지 검토된 내용대로 이행되고 있는지 검토하고, 추후 지반침하가능성이 있는 구간에 대하여 예측하고 분석하여야 한다.

1) 굴착방법

- 터널과 터파기구간의 굴착방법은 인력굴착, 기계굴착, 발파굴착, 파쇄굴착 등의 굴착방법을 적용하여 현장 지반조건과 주변 현황을 고려하여 적절한 굴착공법을 적용하여야 한다.

2) 터널구간의 굴착공법

- 굴착수단(굴착방법)을 이용하여 어떻게 굴진해 나갈 것인가(굴진방법)하는 계획을 의미하며, 막장면 또는 터널 길이방향의 굴착계획을 나타내며, 일반적으로 전단면굴착과 분할굴착이 있다. 따라서 건설심도가 얇고 지반조건이 불량한 도심지 연약지반의 굴착 시 막장의 자립성, 원지반의 지보능력, 지표면의 침하 등 연약한 지반에 주로 적용하는 굴착공법이 적용된 구간을 미리 확인하여 지반침하 가능성을 검토하여야 한다. 또한, 사업구간의 지반조건과 주변 현황을 고려하여 적절한 굴착공법을 적용하여야 한다.

3) 터파기구간의 굴착공법

- 터파기구간의 굴착은 굴착전 흙막이 벽체 매설물 위치를 파악하기 위해 반드시 인력으로 1.5m이상 또는 지하매설물 심도 이상을 인력으로 줄파기하여 확인할 필요가

있다. 그리고 흙막이벽체 시공 후 굴착방법(인력, 기계, 발파, 파쇄)에 따라 단계별로 정해진 심도이상으로 과굴착 하지 않도록 주의하면서 굴착한다.

(2) 지반보강 및 차수

- 지하안전영향평가가시 적용된 지반보강과 차수공법이 시공중 확인된 현장여건과 지반 조건에 따라 합리적으로 적정하게 이행되고 있는지 검토한다.

1) 터널구간

- 불량한 지반조건에 NATM터널 시공 시 대두되는 주요 관심사는 굴진면의 안전성, 높은 지하수위, 주변 시설물의 안전성 등이다. 불량한 지반조건은 터널 굴착 시 굴진면의 자립성 불량이나 용출수에 의해 시공이 곤란해지고 지보효과가 쉽게 저하되어, 주변 시설물의 안전성을 위협한다. 따라서 터널의 안전성을 확보하고 지반침하를 방지하기 위하여 다음과 같이 터널의 아칭효과 발휘가 어려운 구간에 필요시 터널지보재(숏크리트, 록볼트, 강지보재 등) 또는 지반보강공법을 적용하여 이행되는지를 검토한다.
 - 토피가 작은 경우
 - 지반이 연약하여 지반의 자립성이 낮은 경우
 - 터널 인접구조물 보호를 위하여 지표나 지중변위를 억제하여야 할 경우
 - 용출수로 인한 지반의 열화 및 이완이 진행될 수 있어 터널의 안전성 확보가 필요할 경우
 - 편토압 또는 심한 이방성 지반이거나 특수한 조건에서 터널을 시공할 경우

① 천단보강방법

- 휘폴링 : 일시적 지보재로서 굴착 전 터널 천단부에 종방향으로 설치하여 굴착 천단부의 안정을 도모하고 굴진면 전방의 지반보강 및 느슨함을 방지하도록 이행되는지 검토한다.
- 보강그라우팅 : 연약한 지반을 통과하는 터널굴착 시 천단변위를 최대한 억제하고 상부시설물 보호 및 터널의 안전성 확보를 위해 적용되어 이행되는지를 검토한다.

② 각부 및 측벽보강방법

- 각부보강 : 상반굴착시 강지보재를 지지하는 인버트 양단의 지지부위 또는 아치 하단부를 의미하는 것으로 각부보강공법은 연약한 지층에 시공되는 터널상반의 지지력 강화 및 침하억제를 위한 목적으로 아치하단부인 각부에 강관이나 말뚝을 삽입하고 주변에 그라우팅을 시행하여 지반을 보강하도록 이행되는지를 검토한다.
- 측벽보강 : 연약한 지층에 위치한 터널 하반의 측벽부 변위를 억제하고 측벽부로 유입되는 지하수를 효과적으로 차단하기 위한 목적으로 측벽부에 강관 등의 보강재를 경사삽입하고 보강재 주변을 그라우팅하여 지반을 보강하도록 이행되는지를 검토한다.

③ 굴진면 자립공

- 절리가 많은 붕괴성 암반이나 연약한 지반에 위치하는 굴진면의 변형이나 붕괴에 저항할 수 있도록 이행되는지 검토한다.

④ 차수 및 보강그라우팅

- 지반의 강도 증진 : 굴착에 따라 위험이 발생할 부분을 고결시킴으로서 공사를 용이하게 하고 안전성을 도모하고자 하는 것이다. 기초지반의 지지력 증대와 터널 굴착 시 주변 지반 붕괴방지, 인접구조물 보호, 토압의 경감 등의 목적으로 적용되어 이행되는지를 검토한다.
- 지반의 지수성 증진 : 터널 굴착시의 용수방지 및 지하수위 저하를 방지하여 터널 시공 중 작업환경을 개선시키기 위해서 적용한다. 또한, 터널굴착 시 지반의 지수성 유지로 지하수 저하를 최소화하여 추가적인 침하의 발생을 억제하도록 이행되는지 검토한다.
- 지반의 변형저감 : 지반의 강도 및 지수성을 증진하여 지반의 변형을 억제할 수 있도록 이행되는지 검토한다.

2) 터파기구간

- 흙막이공의 설계에 있어서 지반조건, 환경조건 등에서 흙막이만의 계획보다는 보조공법을 병행하는 걸 전제로 계획하는 것이 경제적이고 안정된 흙막이공이 되는 경우가 많다. 굴착깊이에 대하여 지하수위가 높은 경우, 굴착저면 아래쪽에 피압지하수가 존재하는 경우, 지반이 연약한 경우 등에서는 흙막이 벽이나 굴착저면의 안전을 확보할 수 없거나 굴착작업의 능률이 저하되는 것을 예상할 수 있다.
- 주변에 구조물이나 지하매설물이 있는 경우에는 지반의 변위 등에 의하여 구조물에 영향을 줄 수 있다. 이런 경우에 흙막이공법만으로 대처하는 것보다도 보조공법을 병행하는 것이 안전하고 경제적이 되는 경우도 있으므로, 보조공법의 효과를 충분히 검토하여 설계하는 것이 좋다.
- 보조공법을 사용하는 목적은 여러 가지를 들 수 있는데, 대표적인 것은 아래 내용과 같다.
 - 굴착에 의한 인접구조물의 영향 방지
 - 흙막이 벽의 응력 및 변형의 저감, 흙막이 벽의 결손부 방호
 - 흙막이 배면 및 굴착저면의 지반 강도 증대(보일링, 히빙, 라이징 등 방지)
 - 차수벽의 구축과 불투수층의 조성으로 지수 및 차수기능 증대
 - 측압의 조정(수압의 저감 및 수동토압의 증대 등)

① 지반 보강공법

- 배면지반 보강공법은 지반에 용기를 발생시키거나 기존 구조물의 지하층에 압력을 전달시킬 수 있으므로 주의를 요하며, 지하안전영향평가지 적용된 아래와 같은 지하

안전확보방안이 적정하게 이행되는지를 검토한다.

- 저압 주입공법 : 주입약액을 원지반의 공극상에 침투 압입하여 고결시키는 공법으로 주입방법과 약액의 종류, 지반의 특성, 룯드의 종류 등에 따라 다양한 여러 종류 공법들이 있다.
- 고압분사 주입공법 : 초고압의 Jet를 이용해서 지반을 절삭 붕괴시킴과 동시에 간극에 그라우팅재를 충전하여 연약한 토층을 치환하는 그라우팅보강공법으로 충전방법, 사용룯드, 약액분사방법에 따라 다양한 공법등이 있다.

② 흙막이 벽체공법

- 국내에 사용되는 흙막이 벽체공법은 지반조건, 시공조건, 굴착조건, 공사비, 공사기간 등에 따라 다양한 공법을 적용하고 있으며 공법의 특징과 시공방법에 따라 다양한 공법이 있는데 지하안전영향평가지 적용된 아래와 같은 지하안전확보방안이 적정하게 이행되는지를 검토한다.
- 대표적인 공법의 종류는 H-Pile+토류벽, 강널말뚝(Sheet Pile)공법, 지중연속벽 공법, 주열식벽체 공법 등이 있다.

3편 지하시설물 및

주변 지반의 안전관리

제1장 지반침하위험도평가

제2장 지하안전점검

제1장 지반침하위험도평가

1.1 지반침하위험도평가 대상지역의 설정

지반침하위험도평가는 지반침하와 관련하여 구조적·지리적 여건, 지반침하 위험요인 및 피해예상규모, 지반침하 발생 이력 등을 분석하기 위하여 경험과 기술을 갖춘 자가 탐사장비 등으로 검사를 실시하고 정량·정성적으로 위험도를 분석·예측하는 것을 말한다.

지반침하위험도평가 대상지역은 법 제35조 1항에 따라 지반침하로 인해 긴급복구공사를 완료한 경우, 지하안전점검을 실시한 결과 지반침하의 우려가 있다고 판단되는 경우, 지반침하위험도평가의 실시명령을 받은 경우 해당 지역을 중심으로 평가대상지역을 설정하여야 한다.

1.2 지반 및 지질 현황

지반 및 지질현황은 지하정보통합체계, 국토지반정보 포털시스템, 지반 및 지질조사보고서, 기본 및 실시설계자료 등의 기존자료와 시추조사 등의 현장조사를 기초로 하여 지형 및 지질 특성, 지하수, 지반 특성 등을 분석하여야 한다.

1.2.1 지하정보통합체계를 통한 정보분석

- 지하정보통합체계에 포함된 지하정보(시추정보, 지질정보, 관정정보, 지하시설물에 관한 정보), 지하공간통합지도 등의 정보를 참고하여 지반침하위험도평가에 활용할 수 있으며 지하정보통합체계가 구축·운영되기 전에는 다음의 내용에 따라 지하정보 관련 자료를 분석하여 활용한다. 지반정보 자료는 가장 최근의 자료를 활용하고 본문의 해당 내용 하단에 인용 문헌 또는 그 출처를 표기하여야 한다.

(1) 시추정보

- 지반상태, 지층의 종류, 지하수위 등 시추기계나 기구 등을 사용하여 지반의 시료를 조사하여 생산되는 시추정보는 국토지반정보 통합DB센터(<https://www.geoinfo.or.kr>), 서울특별시 지반정보 통합관리시스템(<http://surveycp.seoul.go.kr>)에서 시추조사 결과와 내용을 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(2) 지질정보

- 암석의 종류·성질·분포 상태 및 지질구조 등은 한국지질자원연구원(<http://www.kigam.re.kr>)과 한국광물자원공사(<http://www.kores.or.kr>)에서 조사하여 생산된 지질정보 자료를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(3) 지하수 정보

- 「지하수법」 제5조(지하수의 조사)에 따른 지하수조사로 획득한 관정정보는 국토교통부의 국가지하수정보센터(<http://www.gims.go.kr>)와 한국수자원공사(<http://www.water.or.kr>)의 자료를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(4) 지하시설물에 관한 정보

- 상수도, 하수도, 전력시설물, 전기, 통신, 가스, 난방, 공동구, 지하차도, 지하철, 지하보도, 지하주차장, 지하광장 등 각각의 개별법에 따라 구축·관리되고 있는 지하시설물에 관한 정보를 분석하여 활용할 수 있도록 한다.

(5) 지하공간통합지도 정보

- 국토교통부에서는 지하공간통합지도 구축사업을 진행하고 있으며, 시범구축사업을 통한 기반을 마련하고 통합된 지도구축을 목표로 연구와 사업이 진행되고 있어 향후 지하공간 통합지도가 구축되면 지하공간에 대한 자료를 활용하도록 한다.

1.2.2 시추조사

- 시추조사는 시추기계나 기구 등을 사용하여 지반을 시추하여 시료를 조사하는 것을 말하며, 지반침하위험도평가시 책임기술자의 판단 하에 지반 및 지질현황에 관한 보완자료가 필요한 경우 시추조사 등 현장조사를 실시하여 지반정보를 취득하여야 한다.

(1) 일반

- 시추조사는 지반의 성상을 조사하고, 시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 시행하여 설계에 필요한 제반 자료를 정확하게 산정한다.
- 시추조사는 암상, 층서, 층후 및 균열의 수직 발달상태 등에 관한 직접적이고 명확한 자료를 얻기 위하여 수행하며 필요한 경우 시추조사 중에 불교란 시료를 채취할 수 있다.
- 시료채취를 통한 지반의 분포상태 및 풍화도 등을 파악한다.
- 시추완료 후 24, 48, 72시간 경과 후 공내의 지하수위를 파악하고 필요시에는 장기 지하수위 관측정을 설치하여 지하수위 변화를 측정한다.
- 시추조사 완료후 시추공내에서 채취한 시료 및 지층에 대한 모든 정보를 시추주상도에 상세히 기록하고 수치해석을 위한 지반정수 산정은 현장시험 및 실내시험 결과를 토대로 경험식, 문헌자료, 기존 적용사례를 연계 분석하여 지층별로 합리적인 대표값을 산정한다.

(2) 시추조사 방법

- 시추간격 및 시추심도는 국가건설기준(KDS 11 10 10)에 따르며 시추조사 방법은 아래와 같다.

- 회전 수세식형(Rotary Wash Type)시추기를 사용하며, 조사목적에 따라 타격 방식의 시추기를 사용할 수 있다.
- 시추는 NX규격(76mm) 이중 코아배럴이나 NX에 상응하는 규격을 사용하여 연직으로 시행하며, 풍화대나 파쇄대 등에서는 필요시 삼중 코아배럴 등을 사용하여 코아의 회수율을 높일 수 있으며, 조사목적 및 중요도에 따라 발주기관별 기준에 따른다.
- 한국산업표준(KS F 2307)을 기준으로 1.0m 간격으로 표준관입시험을 실시하되 지층이 변화하는 구간에서도 추가로 표준관입시험을 실시하고 필요시 토질시험을 실시한다.
- 공벽붕괴 방지를 위해 풍화암까지 Casing을 사용할 수 있다.
- 토사시료 채취는 Split Spoon Sampler, 점성토 시료채취는 Thin wall tube sampler, 풍화대 시료채취는 Triple sampler, 암반시료 채취는 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit 등을 사용할 수 있다.
- 채취된 암석코아는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 불연속면(Discontinuities)과 충전물 등을 파악하고 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가한다.

1.3 공동(空洞)조사

1.3.1 지하물리탐사

(1) 조사항목

- 공동조사를 실시하는 경우 지표투과레이더(GPR) 탐사, 전기비저항탐사, 탄성파탐사 등의 지하물리탐사를 통해 지반침하 예상구간 및 공동의 정확한 위치, 규모 및 범위를 파악하여야 한다.
- 지하물리탐사의 조사항목은 아래의 사항을 포함하여야 하며, 지반침하에 미치는 영향 특성을 고려하여 적절히 파악할 수 있도록 한다.
 - 공동의 위치(세계 측지계의 위도, 경도, 공동위치 주소 및 차로 등)
 - 공동의 규모와 범위 등

(2) 조사범위

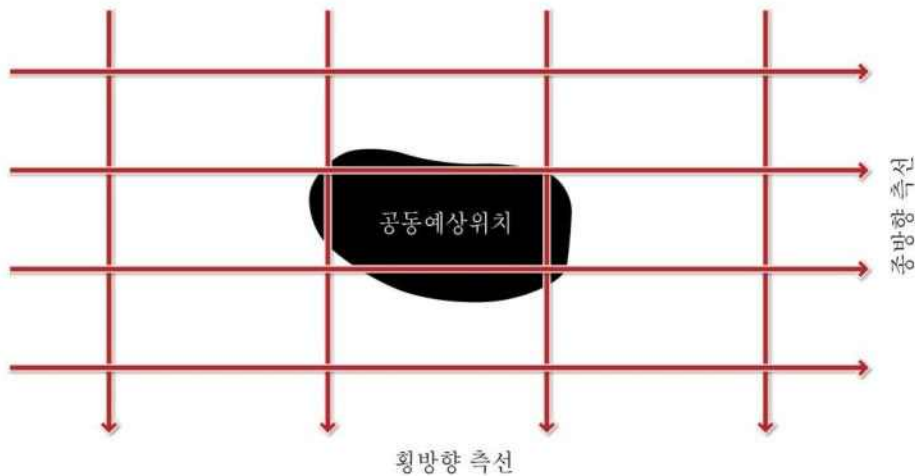
- 지하물리탐사시에는 침하위험지역을 대상으로 공동의 위치를 정확히 파악할 수 있는 탐사측선을 설정하고 수행하여야 한다.
- 공동의 조사범위는 공동 폭의 양쪽 끝점을 기준으로 공동의 깊이에 해당하는 범위의 지표범위를 조사하여야 한다.

(3) 조사방법 및 결과

- 지하물리탐사 방법에는 지표투과레이더(GPR) 탐사, 전기비저항탐사, 탄성파 탐사 등이

있으며, 탐사목적, 대상, 분해능, 탐사깊이, 기타 장애물 등을 고려하여 적절한 탐사방법을 선택하여야 한다.

- 차도의 경우 차량통행에 지장이 없는 장비를 사용하고 폭이 좁은 인도의 경우 보행자의 통행에 지장이 없는 장비를 사용하여야 하며, 현장여건을 고려하여 적합한 조사장비를 사용하여야 한다.
- 지하물리탐사 및 내시경카메라조사 시에는 교통통제 및 안전관리 대책을 수립하고 관할 경찰서, 유관기관의 인허가 협조를 요청한다. 또한 조사 구간에 안전시설(안전웬스, 라바콘, 안내판 등)을 설치 한 후 차량 통제를 위한 신호수를 배치한다.
- 지하안전점검의 공동조사는 지표투과레이더(GPR)탐사를 통하여 종방향의 자료취득을 기본으로 조사되는 경우가 많으므로 지반침하위험도평가의 공동조사 시에는 공동의 정확한 규모 및 범위를 파악하기 위하여 그림 3.1.1와 같이 격자형태의 측선을 설정하는 것을 기본으로 하고 현장여건에 따라 조정할 수 있다.

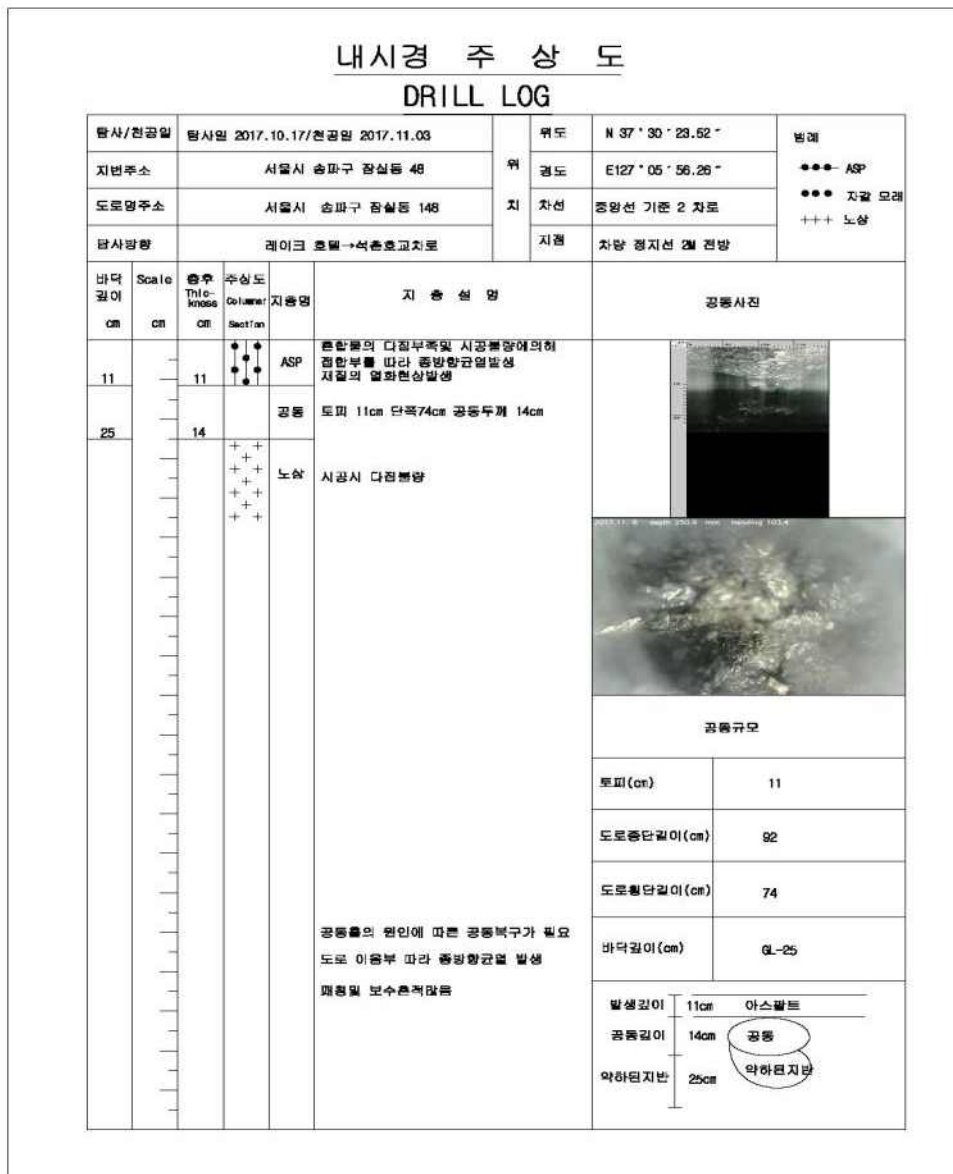


[그림 3.1.1] 지하물리탐사 측선설정의 예

- 내시경카메라조사, 공동관리 및 복구 시 정확한 위치의 확인을 위해 주변 고정구조물 등을 활용하여 기준으로부터의 거리를 노면영상에 표기하고 공동 발견위치의 좌·우측 방향으로 천연색 사진을 촬영하여 첨부한다.
- 지하물리탐사는 조사범위 내 모두를 포함한 평면도, 종단면도, 횡단면도의 단면 작성이 가능한 자료를 취득해야 한다.
- 지하물리탐사에 의한 공동조사 결과는 제3편 제2장 지하안전점검의 공동조사 결과서 작성양식에 따라 작성한다.

1.3.2 내시경카메라 조사

- 지하물리탐사 시 지반침하 예상구간 및 공동이 탐지된 경우에는 내시경카메라 조사를 실시하고 공동의 위치, 크기, 형태 등을 기록하여 지반침하 및 공동의 지반침하위험도 평가에 필요한 데이터를 확보한다.
- 지하물리탐사로 파악된 공동에 대해 드릴, 포터블시추기 등을 이용하여 공동하부까지 굴착을 진행한 후 내시경카메라를 통해 공동의 규모와 내부 상태를 정확히 관찰하여 기록한다.
- 천공하여 공동이 확인되면 채취된 코어시료를 통해 상부 포장층과 토층 구간을 확인하고 줄자 등을 이용하여 심도 등의 공동 상세정보를 파악하고 내시경카메라로 공동 내부를 컬러 촬영하여 공동 규모, 바닥부터 높이, 공동상부 흙의 두께, 포장층 두께를 각각 산정하여 내시경 주상도에 기재한다.



[그림 3.1.2] 내시경 주상도 작성예

- 내시경카메라는 360°의 영상, 심도정보를 파악할 수 있는 장비를 사용하여야 한다.
- 천공장비를 이용하여 공동의 위치에 천공 수행 후 내시경카메라로 공동의 내부를 촬영 한 후에는 공동 내부로 물이 침투되어 공동이 확대되는 것을 방지하기 위하여 천공 홀을 복구하여야 한다.
- 응급복구를 제외한 공동의 경우는 내시경카메라로 공동 내부를 촬영한 후 천공 홀에 고무 마개를 삽입하고 상부에 아스콘을 채워 임시로 복구한다. 임시 복구한 공동에 대하여 위험도 평가를 실시한 후 공동구간을 재복구 한다. 공동의 규모가 긴급복구에 해당하거나 공동이 발견되지 않았을 경우 천공 홀에 모래를 채운 후 포장층의 두께만큼 아스콘을 채워 복구한다.
- 지하물리탐사 및 내시경카메라 조사를 실시하여 발견된 지반침하 예상구간 및 공동 중 응급 복구가 필요하다고 판단되는 경우에는 응급복구를 진행하여야 한다.

1.4 지반안전성 검토

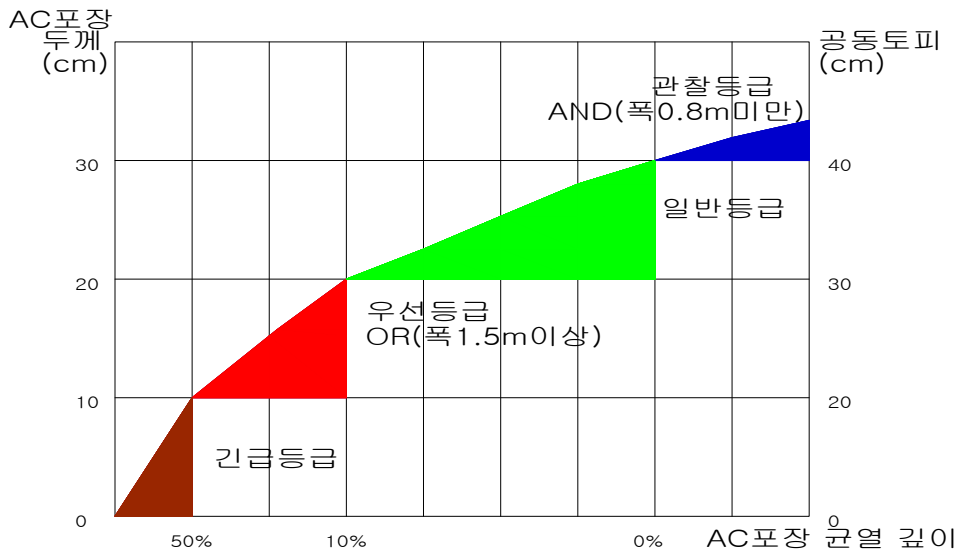
지반침하위험도평가의 지반안전성 검토는 해석프로그램 등을 이용한 공학적 해석을 통해 해당지반의 침하가능성 등을 분석하는 것을 말한다. 수치해석적으로 공동을 모사하고 지반 안전성을 평가할 수 있는 평가방법과 평가기준이 현재로써는 정립되어 있지 않으며, 국내에서 다양한 연구가 진행 중에 있다. 따라서 평가방법 및 평가기준이 확립되기까지 공동조사결과를 통해 확인된 공동 상부 토피, 공동 규모 등 공동 상태에 따라 지반안전성을 평가하고 이를 검증하기 위하여 공동의 위치, 규모 및 포장조건과 지반 및 지질현황 조사를 통해 파악된 지층조건을 반영한 수치해석을 통해 해당지반의 지반안전성을 분석하도록 한다.

지하공간에 발생하는 공동의 형성 및 확장의 정확한 메커니즘은 규명하기 어렵고 지반침하 및 함몰위험도 평가에 대한 다양한 연구가 진행 중으로 앞으로의 기술개발과 연구의 진전에 따라 지반침하위험도평가의 재검토가 반드시 필요하다. 따라서 국내외 연구자료 및 기준을 분석하여 책임기술자의 판단으로 신뢰도 있는 해석방법을 선정하여 정성적, 정량적인 지반 침하위험도 평가가 수행될 수 있도록 한다.

1.4.1 공동상태에 따른 지반안전성 검토

- 공동에 따른 지반침하 및 함몰의 위험도는 공동의 토피, 폭 등에 따라 달라진다. 일반적으로 공동의 함몰발생 위험성은 공동의 발생심도가 얕고 규모가 클수록 위험성이 높고 함몰이 발생했을 경우에 미치는 영향도 공동의 두께가 클수록 크다.
- 공동 상태에 따른 지반안전성은 지하물리탐사 및 내시경카메라조사에서 확인된 공동의 심도, 폭, 아스팔트포장상태 등을 분석하여 공동의 등급을 결정하고 등급에 따른 지반 안전성을 평가한다.

- 공동의 심도와 규모에 따른 함몰 위험도 및 등급에 대한 국가적인 통일된 기준이 현재 없는 상태로 다각적인 검토 및 연구가 필요한 실정이다. 참고로 서울시 공동 관리등급 분류 및 관리 기준은 다음과 같다.
- 서울시 공동 관리등급 분류 및 관리기준
 - 도로함몰의 개연성 정도에 따라 긴급복구, 우선복구, 일반복구, 관찰대상 4등급으로 구성된다.
 - ① 긴급복구 : 함몰 가능조건이 충족된 공동
 - ② 우선복구 : 돌발 강우 등 함몰 가능조건을 만날 경우 함몰 위험성 높은 공동
 - ③ 일반복구 : 일정기간 공동 추가 확대로 함몰 가능조건 충족 시 함몰될 공동
 - ④ 관찰대상 : 공동 토피(공동 상부 지반 두께)가 튼튼해 함몰될 위험이 없는 공동



[그림 3.1.3] 서울시의 공동관리기준

[표 3.1.1] 공동의 등급 및 복구기준

등급	분류기준	복구기준
긴급복구	<ul style="list-style-type: none"> • AC포장 두께 10cm 이내인 공동 중 공동두께 20cm 이내인 공동 • 포장균열 깊이가 50% 이상 진행된 모든 공동 	<ul style="list-style-type: none"> • 탐사중 공동 상태 확인 즉시 복구
우선복구	<ul style="list-style-type: none"> • AC포장두께 10~20cm 이내인 공동 중 공동 두께 20~30cm이내인 공동 • 공동 최소폭 1.5m 이상인 모든 공동 • 포장균열깊이가 10~50% 진행된 모든 공동 	<ul style="list-style-type: none"> • 신속한 조치계획 및 복구
일반복구	<ul style="list-style-type: none"> • 긴급/우선/관찰등급을 제외한 모든 공동 	<ul style="list-style-type: none"> • 우기철 이전까지 복구
관찰대상	<ul style="list-style-type: none"> • AC포장 두께30cm 이상인 공동 또는 공동 두께 40cm 이상인 공동 중에서 공동 폭 80cm 미만인 공동 	<ul style="list-style-type: none"> • 지속관찰 후 반복탐사 시작 년도 우기철 이전까지 복구

1.4.2 수치해석을 이용한 지반안전성 검토

- 지하공간에 공동 발생에 따라 내부 전단강도의 상실과 토사유출 및 이에 따른 공동의 확장으로 토립자간의 전단변형을 유발시키고 이러한 영향들이 지표까지 전달되어 침하 및 함몰이 발생된다. 수치해석을 이용한 지반안전성 분석은 이러한 지반거동을 적절하게 모사할 수 있는 해석기법 및 프로그램을 적용하여 지반안전성을 평가하도록 한다.
- 수치해석 기법을 이용할 경우 공학적으로 공인되어 널리 사용되고 있으며, 공동 및 대상 지반조건들을 모사(simulation) 할 수 있고 지반의 거동을 적절히 해석할 수 있는 기능을 보유한 프로그램을 이용한다.
- 해석기법은 2차원이나 3차원해석을 채택할 수 있고 2차원 해석을 실시할 경우 3차원적 실제 지반거동을 고려하여야 한다.
- 수치해석 시 다음 사항을 고려하여야 한다.
 - 해석영역은 공동에 따른 영향을 충분히 파악할 수 있는 범위를 설정한다.
 - 포장체, 하부지반, 공동조사를 통해 확인된 공동의 크기, 모양, 위치를 모델링하고 수치해석에 사용되는 지반 물성은 시추조사와 지하정보통합체계, 지반 및 지질조사 보고서 등을 토대로 경험식, 문헌자료, 기존 적용사례를 연계 분석하여 합리적인 대표 값을 사용한다.
 - 상부에 작용하는 하중조건을 고려하여 수치해석을 수행한다.
 - 지하수위의 변화가 현저할 것으로 판단되는 경우 지하수의 흐름을 고려하여 안전성 검토를 수행하도록 한다.
- 수치해석방법에는 대표적으로 유한요소법(finite element method), 유한차분법(finite element method), 경계요소법(boundary element method) 등이 있고 해석결과에 따라 응력-변형률해석, 강도감소법등이 있으며, 현재 진행 중인 연구결과를 참고하여 책임 기술자의 판단으로 신뢰도 있는 해석방법을 적용한다.
- 지반안전성 평가에 사용된 지반정수 등의 구체적 조건과 해석방법의 종류 및 해석결과에 대한 설명을 보고서에 포함하여야 한다.

1.5 지하안전확보방안 수립

공동조사와 내시경카메라조사를 통해 발견된 공동 중 응급복구가 필요한 경우에는 복구 방법 등을 제시하여 긴급복구를 시행하여야 한다. 지하시설물 관리자는 공동 발생 원인을 분석하고 보수·보강공법 등을 결정하여 지하안전 확보방안을 수립하여야 한다.

1.5.1 공동 발생원인 분석

- 지하시설물관리자 및 토질 전문가를 중심으로 지하시설물 상태 및 주변 현장조사를 통하여 공동 발생 원인을 분석하고 발생 원인에 따라 적절한 복구계획을 수립한다.
- 상수도, 하수도관로 파손 등 지하시설물의 손상으로 인하여 공동이 발생될 경우에는 지하 시설물 관리자는 공동복구 전 지하시설물 손상부위에 대한 보수대책을 수립하여야 한다.

1.5.2 공동의 보수·보강

- 지하시설물 관리자는 공동조사 결과 긴급복구가 필요하다고 판단되는 경우 긴급복구를 실시하여 지하안전을 확보하도록 한다.
- 보수·보강공법의 재료 및 공법은 시공성, 경제성 및 현장상황을 고려하여 결정한다.
- 보수·보강 후 필요하다고 판단된 경우 계측, 실내시험, 지하물리탐사 등의 방법으로 건전도를 파악하여 복구결과를 확인한다.
- 복구결과를 일상의 유지관리에 활용할 수 있도록 함몰이나 공동에 관한 데이터베이스를 작성한다.

(1) 공동복구방법

- 지반침하위험도평가 결과를 토대로 지반침하 및 공동에 대해 보수·보강방안을 경제성, 시공성 등을 고려하여 결정한다. 일반적인 공동복구 방법은 아래와 같으며, 현장상황에 따라 다른 공법을 적용할 수 있다.

1) 흠뻐메우기 공법

- 공동발생 지역 주변을 통제후, 개착하여 공동에 흠을 메우고 다짐을 한 후 상부 구조물(도로 등)을 재시공하는 공법이다.
- 다짐불량으로 인하여 포장 파손 및 지반침하 등이 빈번하게 발생하므로 다짐시험 KS F 2311 및 KS F 2312의 요건에 따라 실시하며, 관로공의 뒷채움재는 관주위의 경우 90%이상, 관상단 및 노반의 경우 95%이상 다짐하여야 한다.

2) 그라우팅 공법

- 시멘트와 같은 충전재를 투수성 지층 등에 강제로 주입한 후 고형화시켜 구조적 안정성 증가, 지반의 고결화, 지반의 지지력 증가, 투수성 감소, 지반과 구조물과의 일체화를 꾀하는 공법이다.

3) 고유동성 채움재 사용

- 흙, 쏘일시멘트나 모르타르 등에 비해 시공성, 안전성 개선이 필요한 경우 화력발전 소 등 산업 부산물로 나오는 재와 알루미늄칼슘계 결합재를 활용한 유동성이 있는 재료인 고유동성 채움재를 활용한다. 유동성 채움재는 미세 틈새까지 밀실하게 채울 수 있어 지표수 유입에 의한 매설관 주변의 퇴메움재 유실을 효과적으로 억제할 수 있다.

(2) 복구 후 건전도 파악

- 필요시 복구한 지반에 대해 건전도를 파악하여 복구결과를 확인할 수 있다. 건전도 파악의 방법은 크게 비파괴 탐사, 현장시험, 계측 모니터링으로 분류될 수 있으며 현장의 특성 및 현장조건 등에 따라 선택하여 수행하도록 한다. 일반적인 건전도 파악방법은 표 3.1.2와 같으며, 기술된 방법 이외에도 필요하다고 판단되는 탐사법들을 적용할 수 있다.

[표 3.1.2] 건전도 파악 방법

구 분	비파괴 탐사	현장시험	계측 모니터링
건전도 파악방법	<ul style="list-style-type: none"> • 탄성파 탐사 • 지표투과레이더(GPR) 탐사 • 중력탐사 • FWD 	<ul style="list-style-type: none"> • 시료 샘플링 • 들밀도 시험 • 투수계수 시험 	<ul style="list-style-type: none"> • 계측기 설치

(3) 중점관리대상 지정

- 시장·군수·구청장은 지하시설물관리자로부터 제출받은 지반침하위험도평가서 검토결과 지반침하의 위험이 확인된 경우에는 중점관리대상으로 지정·고시하여야 한다.
- 중점관리대상으로 지정된 경우, 지하시설물관리자는 중점관리대상에 위험을 알리는 표지를 설치하여야 하며, 공동의 원인을 분석하고 보수·보강공법 등을 결정하여 지하안전 확보 방안을 수립하여야 한다.
- 중점관리대상이 보수·보강 등 정비사업의 시행으로 지반침하 위험이 해소된 경우에는 중점관리대상의 지정을 해제하고 그 결과를 고시하여야 한다.

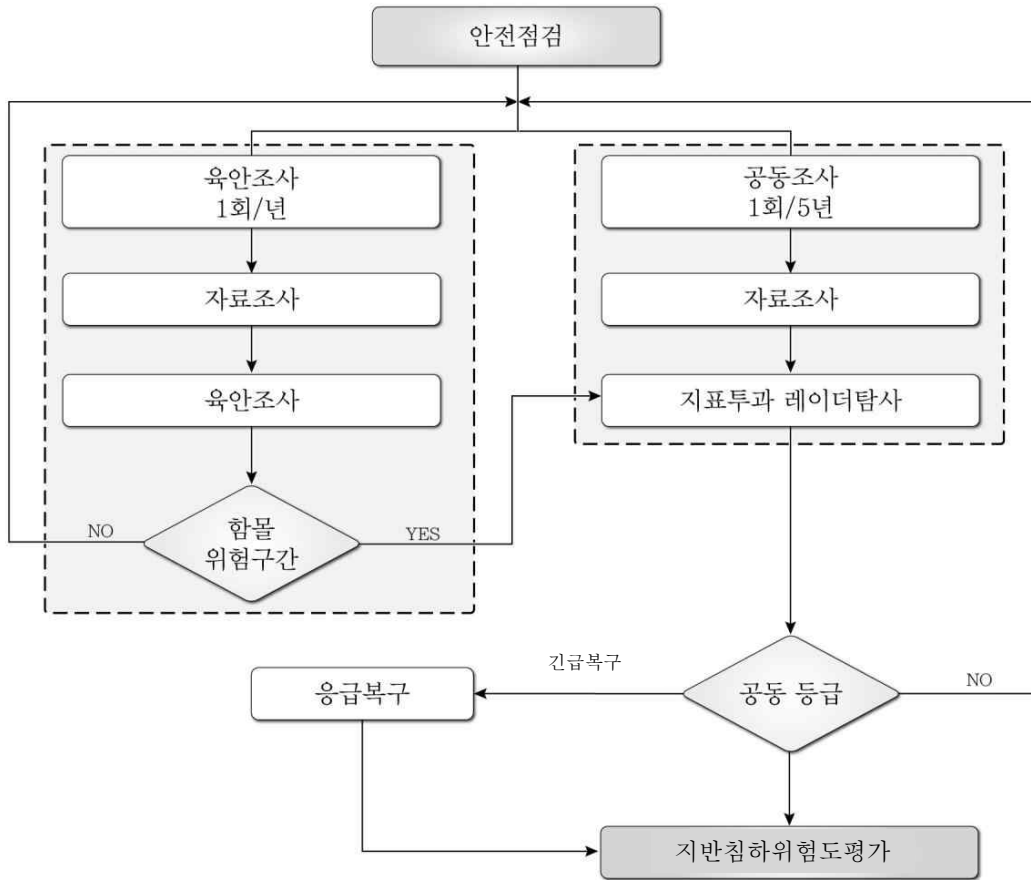
제2장 지하안전점검

2.1 일반

지하안전점검의 목적은 지하시설물관리자가 소관 지하시설물 및 주변 지반에 대하여 안전관리 규정에 따른 안전점검을 정기적으로 실시하도록 함으로써 지반침하 및 관련 사고를 예방하고자 함에 있다.

지하시설물관리자는 소관 지하시설물 및 주변 지반에 대하여 지반침하 육안조사는 연 1회이상, 지표투과레이더(GPR)탐사를 이용한 공동조사는 종전의 조사완료일을 기준으로 매 5년마다 1회 이상 실시하여야 한다.

지하안전점검의 실시시기는 전차의 지하안전점검 종료일 익일로부터 기산하며, 과거 회차 조사자료와의 비교·분석을 통해 지하안전점검을 실시하여야 한다.



[그림 3.2.1] 지하안전점검 절차도

2.1.1 조사범위

- 조사범위는 현장여건(맨홀, 조사가능위치 등)과 제공된 유관기관의 매설물 현황 등을 토대로 설정한다.
- 법 제34호 제1항 및 시행규칙 제16조 제1항에 따라 실시범위는 다음과 같다.
 - 지하안전점검 대상시설물에 해당하는 지하시설물 중심으로 지하시설물 매설 깊이의 2분의 1에 해당하는 범위의 지표에 대하여 안전점검을 실시하도록 한다.
 - 주변 지반에 건축물 등이 설치되어 기술적으로 안전점검이 어려운 경우에는 건축물이 설치된 면적을 제외한 나머지 면적에 대하여 안전점검을 실시한다.
 - 지하시설물 관리자는 수 개의 지하시설물이 중복되는 범위라 하더라도 각각 지하안전점검을 실시하여야 한다. 다만, 지하시설물관리자가 상호 협의한 경우에는 어느 하나의 기관에서 통합하여 지하안전점검을 할 수 있다.

2.1.2 지하안전점검시 안전관리

- 지하안전점검 실시자는 실시의 안전은 물론 공공의 안전을 위하여 지하안전점검 장비 및 기기 등을 안전하게 운용하고 작업을 안전하게 수행하도록 안전관리계획을 수립하여야 한다.
 - 지하안전점검 실시자는 안전모, 작업복, 작업화 등과 필요한 경우 기타 보호장비 등을 포함한 개인용 보호장구를 항상 착용하여야 하며, 측정장비 및 기기를 항상 최적의 상태로 정비하여야 한다.
 - 도로 노면에서의 작업이 필요할 경우에는 교통량 등에 대한 조사와 대책을 사전에 마련하여야 하며, 공공의 안전측면에서 지하시설물의 안전점검 실시 기간 동안 교통통제와 작업공간 확보를 위하여 적절한 계획을 수립·시행하여야 한다.
 - 지하안전점검시 현장조사의 난이도, 위험도를 고려하여 안전수칙 등을 제정하고 이에 따라 교육을 실시하도록 한다.
 - 작업 실시 전에 작업에 지장을 주는 요인이 있을 경우 관리주체의 협조를 얻어 안전 조치를 취한 후에 작업을 실시한다.

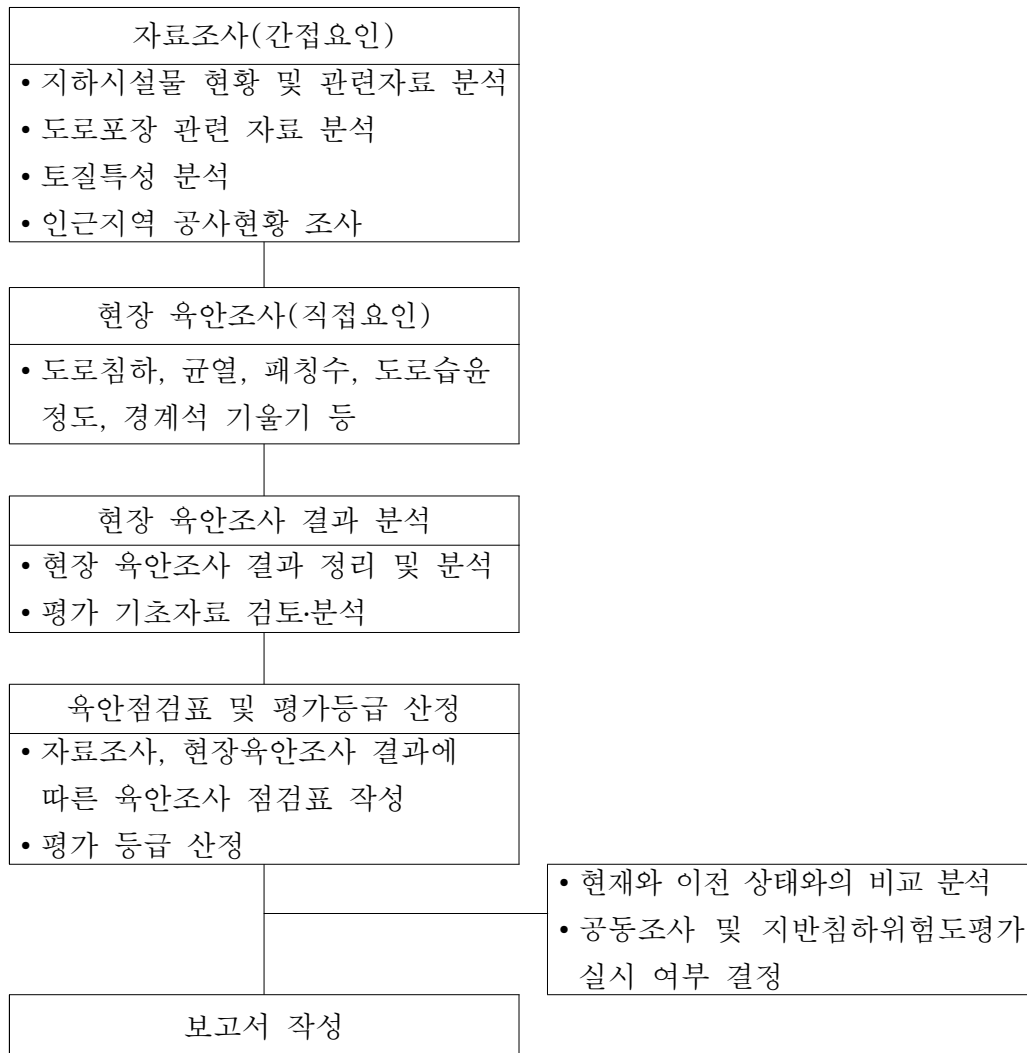
2.2 육안조사

2.2.1 일반

- 육안조사는 지하시설물의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로 부터의 변화를 파악하고 지하시설물 및 주변 지반의 침하(함몰) 위험성을 확인하기 위한

목적으로 지하시설물 및 도로의 자료조사(간접요인)와 간단한 측정·시험장비로 안전점검 대상범위의 지표 및 주변에 대한 현장 육안조사(직접요인)로 구분된다.

- 지하시설물에 대한 축적된 자료가 있을 경우에는 직접요인과 간접요인을 종합적으로 평가하고 자료가 없을 경우에는 현장 육안조사(직접요인) 결과로만 평가할 수 있다.
- 육안조사 결과 지반침하(함몰) 위험이 있다고 판단될 경우에는 공동조사 및 지반침하 위험도평가를 실시하여야 한다.



[그림 3.2.2] 육안조사 흐름도

2.2.2 자료조사

(1) 자료현황조사

- 도로 상부 육안조사만으로는 지반침하 및 공동의 발생 가능성을 예측하기에는 한계가 있으므로 지하시설물의 상태, 인접지역의 굴착 및 터널 등의 공사 영향, 지반조건 등 간접적인 요인에 대한 자료조사를 실시한다.

- 지하안전점검 실시자는 포장관련자료, 지하시설물 관련자료, 보수보강 이력 등 기초 자료의 보유여부를 확인하여야 한다.
- 교통량, 설계 CBR, 포장의 구성과 재료, 포장연도, 폭, 보수이력 등에 대한 도로 포장 관련자료 및 해당 지하시설물의 심도, 크기, 매설시기, 보수시기, 재료 및 형태 등의 지하 시설물관련 자료를 지속적으로 축적하여 안전점검 관리에 도움이 되도록 해야 한다.
- 축적된 자료를 바탕으로 공동 발생과의 연관성에 대한 연구가 진행되도록 data를 관리 하여 차후에 보다 신뢰성 있는 육안조사를 실시할 수 있도록 한다.

[표 3.2.1] 자료 현황조사

대상 목록		보유현황	비고
포장관련 자료	<ul style="list-style-type: none"> • 설계 및 시공 자료 -설계도면, 보고서등 • 보수·유지관리 자료 		
지하 시설물 관련 자료	<ul style="list-style-type: none"> • 기본현황, 상세제원 • 유지관리 이력 • 시공관련 자료 -시공년도, 되메우기 재료, 매설관심도, 매설지반 • 안전점검/진단 결과 자료 • 누수, 누유 발생 여부, 내부결함 자료 • 시설물 보수 및 보강이력 자료 		
기존 지하안전점검 자료			

(2) 자료조사 항목

- 점검자는 지반침하 및 공동발생과 관련된 아래 항목의 자료를 조사하여야 한다.

[표 3.2.2] 자료조사(간접요인) 항목

구분	조사 항목	세부 조사내용
자료조사 (간접요인)	인근지역공사	• 대규모 굴착공사가 있는 경우 지반침하 가능성이 크므로 인근지역의 공사유무 및 규모를 조사한다.
	토질 특성	• 지반다짐이 불량하거나 상부가 연약지반일 경우 지반 침하 가능성이 크므로 토질특성을 조사한다.
	상수관로 상태	• 매설년수, 누수 발생여부, 유지관리 이력 등을 조사한다.
	하수관로 상태	• 매설년수, 누수 발생여부, 유지관리 이력 등을 조사한다.
	기타매설구조물 상태 (전기, 가스, 통신, 송유, 냉·난방)	• 매설년수, 누수/누유 발생여부, 되메움 상태, 유지관리 이력 등을 조사한다.
지하철, 지하상가, 공동구 등 상태	• 안전점검/진단 결과, 유지관리 이력 등을 조사한다.	

2.2.3 현장 육안조사

- 현장육안조사는 지하시설물 상부 지표의 상태를 파악하여 지반침하, 지반안전성을 확인하고 공동발생 등에 의한 피해를 방지하는 것을 목적으로 한다.
- 지반함몰(침하) 원인은 내부적인 변화요소(지하수변화, 지하매설물파손 등)부터 외부적인 변화요소(차량하중, 지진, 지반굴착 등)로 다양한 요인으로 발생하므로 점검자는 대상 지반의 지형, 지질특성, 매설물의 설계, 시공, 유지관리 등의 충분한 자료조사 등을 취합하여 전문적인 관점에서 신중한 조사가 이루어져야 한다.
- 다짐이 불량하여 나타나는 침하는 다짐이 시행된 지역 전체에 걸쳐 비교적 일정한 침하 패턴을 나타내는 경우가 많으나, 지하공동에 의한 침하의 경우 일반적으로 부분적으로 크게 나타나며 지표면에서 관찰되지 않을 수 있으므로 주의하여야 한다. 또한 지하굴착 시 이완된 지반의 재배열 및 응력 재분배 과정에서 인접 지반의 국부적인 활동(함몰)등에 의해서 침하범위가 확대될 수도 있으므로 인접 지역의 함몰 여부 등도 주의 깊게 조사되어야 한다.

(1) 육안 조사방법

- 지하시설물 상부 지표에 대하여 조사 단위구간별로 침하, 균열, 패칭수, 도로습윤정도, 경계석 기울기 등 육안으로 확인되는 상태와 위치를 기록하고 조사된 구간 중 위험 구간을 선정하여 선정된 지점에 대하여 양호, 보통, 불량외 등급평가를 실시한다. 조사 단위구간은 100m를 기본단위로 한다. 단, 주요 교차점 및 도로의 손상 상황이 거의 균등할 경우 유연하게 조정될 수 있다.
- 조사범위 주변에 과거 함몰구간이나 공동이 발생했던 장소 및 조건이 동일하여 노면 함몰 위험이 큰 구간에 대해서는 가능한 범위에서 상세하게 기록한다.
- 정밀한 육안관찰을 통하여 도로 표면을 조사하며, 특히 오버레이 부분(중앙선, 차선, 보/차도 경계)에서는 균열 등을 쉽게 발견할 수 없으므로 특별한 관심을 가지고 조사하여야 한다.
- 점검시 기타 손상으로 알게 된 것에 대해서는 그 특징을 기록한다.
- 노면함몰위험이 있는 지역의 조사는 가능한 범위에서 상세하게 기록한다.
- 육안조사결과 광범위한 침하와 균열이 발생하는 등 위험이 있다고 판단될 경우 점검자는 가능한 범위에서 상세하게 기록하고 해당 범위에 대해 공동조사를 실시한다.

(2) 조사항목

- 지반침하 및 함몰의 징후와 관련된 육안조사 항목은 아래와 같으며, 매 100m를 조사 단위구간으로 하고 단위구간 내의 지반침하 징후에 대해 조사한다.

[표 3.2.3] 현장육안조사(직접요인) 항목

구분	조사항목	세부 조사내용
현장육안 조사 (직접요인)	도로의 침하	• 주변에 안정한 지반을 기준으로 함몰지점에 대한 침하량을 조사한다.
	도로균열	• 노면의 균열이 발생되지 않는 상태를 기준으로 손상정도를 평가하여 체크한다.
	패칭수(보수흔적)	• 패칭이란 포장의 손상에 대하여 응급처치를 실시한 것으로써 평가단위 구간내의 패칭수를 파악한다.
	도로습윤정도	• 도로의 일부가 젖어있거나 물이 솟아오르는지를 관찰하고 정도를 표시한다.
	경계석 기울기	• 지반침하가 진행 중일 경우 도로 가장자리 경계석의 기울어짐을 동반할 수 있으므로 경계석이 기울어진 정도를 정량적으로 체크한다.

2.2.4 육안조사 평가

(1) 일반

- 자료조사 및 현장 육안조사 결과에 따라 도로 침하 및 함몰 위험성에 대한 평가 기준과 이에 따른 평가기법 및 등급기준을 결정한다. 지하시설물 상부 도로를 대상으로 지하 안전점검을 실시하는데 있어 수행되는 평가는 본 장에서 제안하는 기준과 절차에 의해 수행하는 것을 원칙으로 하되, 도로 노면 및 지하시설물의 특성과 여건 등을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.
- 도로 하부 공동 발생 및 이에 따른 지반침하는 어느 특정 지점에서 발생할 가능성이 크므로 조사 단위구간의 현장 육안조사 결과를 분석하여 조사구간 중 침하 및 공동 발생이 의심되는 구간을 선정하여 육안조사 평가를 실시한다.

(2) 평가 항목

- 육안조사의 평가를 위한 조사항목은 현장육안조사에 의한 직접적 요인과 자료조사에 의한 간접적 요인으로 구분하여 실시한다. 자료조사 결과 간접적 요인에 대한 축적된 자료가 없을 경우에는 현장 육안조사에 의한 직접적요인 조사결과만으로 평가를 실시할 수 있다.

[표 3.2.4] 육안조사 평가 항목

구분	평가요소
현장육안조사 (직접요인)	도로의 침하, 도로균열률, 패칭수, 도로습윤정도, 경계석 기울기
자료조사 (간접요인)	인근지역 공사, 토질특성, 지하시설물 상태

(3) 항목별 평가 기준 및 결함점수

- 육안조사의 평가는 직접요인과 간접요인으로 구분하여 평가하며, 결함등급은 양호, 보통, 불량 의 세 등급으로 분류하고 평가항목이 시설물에서 차지하는 중요도에 따라 결함점수가 차등 적용된다. 이러한 세부기준은 국내외의 다양한 문헌과 자료의 분석을 통해 결정하였으며, 다양한 전문가들의 의견 및 현실 여건을 반영하였다.

[표 3.2.5] 육안조사(직접요인) 평가 기준

결함등급 점검항목		양호	보통	불량
		상태	점수	상태
도로의 침하	상태	도로상태가 양호한 경우 (50mm이하)	부분적으로 굴곡이 있는 경우(50~100mm)	전면에 걸쳐 발생한 경우(100mm이상)
	점수	0	11	22
도로 균열률	상태	작다 (균열률 0~20%)	중간 (균열률 20~40%)	크다 (균열률 40%이상)
	점수	0	7.5	15
패칭수	상태	2개이하	2~5개	6개이상
	점수	0	4.5	9
도로 습윤 정도	상태	건조된 상태	습윤 흔적이 있는 상태	물이 솟아오른 상태
	점수	0	7.5	15
경계석 기울기	상태	5°이하	5°~20°	20°이상
	점수	0	4	8

[표 3.2.6] 자료조사(간접요인) 평가 기준

점검항목		결함등급		양호	보통	불량
		상태	점수			
지역 현황 조사	인근 공사장 유무	상태	공사장이 없는 경우	20m미만 굴착	20m이상 굴착	
		점수	0	3.5	7	
	주변 토양 특성	상태	견고한 지반	보통지반	느슨한 지반	
		점수	0	2.5	5	
지하 매설물 자료 조사	상수 관로	상태	5년이하 양호(존치) 누수(안정) 위치변화(안정)	5~20년 갱생(세척) 누수(주의) 위치변화(주의)	20년이상 교체 누수(누수) 위치변화(위험)	
		점수	0	3	6	
	하수 관로	상태	5년이하 양호(존치) 누수(안정) 위치변화(안정)	5~20년 갱생(세척) 누수(주의) 위치변화(주의)	20년이상 교체 누수(누수) 위치변화(위험)	
		점수	0	3.5	7	
	전기, 가스, 통신, 송유, 냉난방	상태	5년이하 양호(존치) 누수(안정) 위치변화(안정)	5~20년 갱생(세척) 누수(주의) 위치변화(주의)	20년이상 교체 누수(누수) 위치변화(위험)	
		점수	0	1.5	3	
	지하철, 지하상가, 공동구등	상태	안전진단 A 등급	안전진단 B, C 등급	안전진단 D, E 등급	
		점수	0	1.5	3	

(4) 육안조사 점검표 작성

- 현장 육안조사 및 자료조사의 평가 항목별 결함등급에 따라 육안조사 점검표를 작성하고 결함지수를 산정하여 대상구간의 육안조사 평가등급을 결정한다.
- 육안조사 점검표는 크게 점검시설물의 이력기입, 결함 및 결함등급, 점검결과 평가, 기타 점검자의 의견을 기입할 수 있는 공간으로 구분되며, 점검표상의 각 기입란에 대한 상세 설명은 다음과 같다.

• 육안조사 점검표

시설물종류		시설물명		관리주체	
시설물위치	행정구역				
	위치좌표	시점 :			
		종점 :			

점검항목		결함등급	해당여부 (○,×)	양호	보통	불량	비고
현장 육안 조사 (직접 요인)	도로침하			0	11	22	
	도로 균열률			0	7.5	15	
	패칭수			0	4.5	9	
	도로습윤정도			0	7.5	15	
	경계석 기울기			0	4	8	
자료 조사 (간접 요인)	인근공사장 유무			0	3.5	7	
	주변 토양특성			0	2.5	5	
	상수관로 상태			0	3	6	
	하수관로 상태			0	3.5	7	
	기타매설구조물(전기, 가스, 통신, 냉난방)상태			0	1.5	3	
	지하철, 지하상가, 공동구 등 상태			0	1.5	3	
① ∑ 평가결함점수							
② ∑ 평가대상 항목의 최대결함점수							
결함지수 (F) = $\frac{\sum \text{결함점수}①}{\sum \text{최대결함점수}②} =$							
결함점수(F)			평가등급				
평가등급기준표	상태등급	양호	보통		불량		
		0 ≤ F < 0.30	0.30 ≤ F < 0.55		0.55 ≤ F		
기타 특이사항	<ul style="list-style-type: none"> • 발생한 결함의 규모를 항목별로 기입한다.(필요시 별지사용) • 점검자의 의견 기술 						

1) 시설물 이력사항

- 시설물 종류 : 해당시설물의 종류를 기입한다.
예) 상수관로, 하수관로, 지하철 등
- 시설물명 : 해당도로의 이름을 기입하며, 지정된 도로명이 없을 경우 주소와 사용 용도를 이용하여 누구나 알아보기 쉽도록 기입한다.
예) 양재대로, ○○동 ○○번지 도로
- 관리주체 : 해당 지하시설물 관리기관을 기입한다.
- 시설물 위치 : 시설물이 위치하고 있는 행정구역상의 주소를 기입하고 시점, 종점의 위도, 경도를 기입한다.

2) 점검항목 및 결함등급

- 점검항목 : 해당지하시설물의 지하안전점검 육안조사 점검항목
- 결함등급 : 결함등급은 양호, 보통, 불량 의 세 등급으로 분류되고 평가부위가 시설물에서 차지하는 중요도에 따라 결함점수가 차등 적용된다. 점검자는 점검부위의 결함점수를 평가 기준의 결함점수 산정방안을 참고하여 결함에 해당되는 점수에 표기한다.
- 해당여부 : 간접요인에 대한 자료조사는 지하시설물의 특징 및 지반침하(함몰)에 미치는 영향에 따라 크게 상수관로, 하수관로, 기타매설구조물(전기, 가스, 통신, 냉난방), 지하철·지하상가·공동구 등으로 구분하였으며, 점검 대상 지하시설물에 해당여부를 선택한다. 또한 자료조사 결과 지하시설물에 대한 자료를 보유하고 있지 않은 경우에는 평가에서 배제토록 한다.

3) 점검결과의 평가

- 평가 결함점수의 합 : 점검이 이루어진 평가항목 중 결함점수의 합
- 평가대상 항목의 최대 결함점수 : 점검항목 중 점검해당항목의 '불량'에 해당하는 결함점수의 총합
- 결함지수 : {평가결함점수의 합/평가대상항목의 최대 결함점수의 합}으로 결함지수는 모든 항목의 결함점수가 '불량'한 경우에 1이 되며, 반대로 모든 항목의 결함점수가 '양호'한 경우에는 0이 된다.
- 평가 등급 : 평가등급은 표3.2.7과 같이 양호, 보통, 불량으로 나누어 최종적으로 평가한다.

4) 기타 특이사항

- 발생한 결함의 규모를 항목별로 기입하고 지하안전점검 평가에 대한 점검자의 종합 의견을 기술한다.

(5) 육안조사 등급기준

- 육안조사 평가등급은 세부 평가 항목별 평가에 의해 산출된 결합지수(F)에 따라 양호, 보통, 불량 3등급으로 구분한다.
- 육안조사 평가 결과 불량등급의 경우에는 공동조사 실시여부를 결정하여야 하고 불량 등급이외에도 지반침하의 위험이 있다고 판단되는 경우에는 해당 범위에 대하여 공동 조사를 실시한다.

[표 3.2.7] 육안조사 평가 등급기준

등급	결합지수(F)	시설물 상태
양호	$0 \leq F < 0.30$	<ul style="list-style-type: none"> • 문제가 없는 최상의 상태 • 평가된 경미한 결함은 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없는 상태
보통	$0.30 \leq F < 0.55$	<ul style="list-style-type: none"> • 보통의 손상, 결함이 발생하였으나 안전에는 지장이 없으며, 지속적 관찰이 필요
불량	$0.55 \leq F$	<ul style="list-style-type: none"> • 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험을 주는 경우로 공동조사 실시 여부를 결정하여야 하는 상태

2.2.5 육안조사 보고서 작성요령

- 지하안전점검 육안조사 실시결과 보고서는 지하시설물 관리주체의 유지관리업무에 효율적이며 체계적으로 활용할 수 있도록 과업내용을 중심으로 작성·제출되어야 한다.

(1) 현장육안조사 결과표 작성

- 현장육안조사 결과는 조사결과표와 세부결과표에 따라 작성하여야 하며, 작성요령은 다음과 같다.
 - 1) 조사결과
 - 육안조사 조사결과표는 점검대상구간 전체에 대하여 조사단위구간별로 조사결과를 요약하여 기술한다. 전체구간을 조사단위구간 100m로 구간을 분할하고 구간별로 조사된 현장 육안조사 결과를 시점에서 순서대로 기술한다.
 - 2) 세부결과
 - 육안조사 세부결과표는 각 조사단위구간별로 조사된 결과를 육안점검 조사망도 및 사진을 첨부하여 평가항목에 대하여 상세한 사항을 기록한다.

• 세부결과

노선명	관할	구간	시점	종점
육안점검 조사망도				
상세사진			상세사진	
상세사진			상세사진	
조사자 종합의견				

(2) 보고서에 포함하여야할 사항

1) 서론

- 육안조사의 개요를 쉽게 알 수 있도록 기술한다
 - 육안조사 개요
 - 지하시설물 개요
 - 육안조사 결과 요약

2) 육안조사 개요

- 육안조사의 범위와 과업내용 등 육안조사 계획 및 실시와 관련된 주요사항을 기술한다.
 - 점검의 목적
 - 조사 위치 및 시설물 개요
 - 점검의 범위 및 과업내용
 - 사용장비 및 기기 현황
 - 점검 수행일정

3) 자료조사 및 분석

- 간접요인(자료조사) 관련자료를 검토·분석하고 그 내용을 기술한다.
 - 설계 및 시공관련 자료
 - 기존 지하안전점검 실시결과
 - 보수·보강 이력
 - 지하시설물 분석 자료
 - 기타 관련 자료
 - 자료조사 분석 결과

4) 현장 육안조사 결과 및 분석

- 과업내용에 의거 실시한 현장 육안조사 결과분석 내용을 기술하고 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.
 - 현장 육안조사 방법
 - 현장 육안조사 결과 및 세부 결과

5) 육안조사 평가

- 과업내용에 따라 실시한 기초 자료조사 및 현장 육안조사의 분석결과에 따라 평가 결과를 작성한다.
 - 육안조사 점검표
 - 평가 등급 지정

6) 종합결론 및 건의

- 육안조사 실시결과의 종합 결론
- 지반침하가 예상되는 경우 공동 및 지반침하위험도 평가 실시 결정
- 기타 필요한 사항

7) 부록

- 지하안전점검 평가 결과 자료
- 자료조사 일체
- 현장 육안조사 사진첩
- 기타 참고자료

2.3 공동조사

지하안전점검 대상범위에 대하여 지표투과레이더(GPR)탐사를 수행하고 지반침하예상구간 및 공동의 정확한 위치, 크기 등을 파악하여야 한다.

지표투과레이더(GPR)탐사는 지하의 불균질대에서 반사되거나 혹은 투과되어 수신 안테나에 감지된 전자기파의 도달 주기를 이용하여 지표 하부의 지층경계, 파쇄대(Fracture), 공동(Cavity), 지하 매설물 등을 영상화하는 물리탐사법이다.

2.3.1 자료조사 및 분석

- 안전점검의 대상이 되는 구간에 대해 지하시설물 현황, 교통량, 포장구성과 사용 재료, 포설연도, 폭, 교통량, 보수이력(보수 시기, 보수 범위), 기존 공동조사 결과자료 등 충분한 기초자료수집 및 분석을 실시하여 현장조사 계획수립 시 반영하여야 한다.

2.3.2 공동조사

(1) 공동조사방법

- 공동조사는 육안조사로 쉽게 발견할 수 없는 공동·침하위험지역 등을 발견하기 위하여 정밀한 지표투과레이더(GPR) 탐사장비를 사용하여 지반침하 및 공동의 위치, 규모 등의 데이터를 확보한다.
- 공동조사의 실시구간이 차도인 경우 차량통행에 지장이 없는 장비를 사용하여야 하며, 인도인 경우 보행자의 통행에 지장이 없는 장비를 사용하도록 한다.
- 지표투과레이더(GPR)탐사에 의해 공동이 있을 것으로 판단되는 경우 공동조사 결과 및 세부 조사결과 양식에 따라 공동의 위치, 주변 현황을 정확히 관찰하여 기록한다.

(2) 지표투과레이더(GPR)탐사

- 공동조사 대상이 되는 구간에 대하여 지하시설물 현황도, 노선도를 입수하고 현장답사를 시행하고 탐사계획서를 작성한다. 지표투과레이더(GPR) 탐사시 조사범위의 누락 및 오류를 방지하기 위해 수시로 수행실적을 기록하며 진행한다.

- 사용하고자 하는 지표투과레이더(GPR) 탐사 장비는 탐사심도와 분해능을 고려한 안테나를 통하여 자료의 신뢰성을 높이는 것이 바람직하다.
- 목표매질별 해상도를 선정하고 심도에 적합한 주파수대역을 선정하며, 목표매질에 대한 높은 해상도와 파의 산란효과, 함수비 등을 고려하여 탐사심도를 결정한다.
- 탐사기기는 다음의 성능과 동등하거나 그 이상의 것으로 하되 현장여건에 따라 조정할 수 있다.

[표 3.2.8] 공동조사 탐사기기의 성능

구분	차도구간	인도구간
탐사방식	차량형 멀티채널	핸드형 멀티채널 또는 단채널
탐사심도	1.5m 정도	1.5m 정도
탐사능력	세로50cm×가로50cm×높이20cm 이상의 공동 탐지 가능	

- 지표투과레이더(GPR)탐사의 분석은 조사범위를 모두 포함한 평면도, 종단면도, 횡단면도의 단면작성이 가능한 자료를 취득해야 한다. 또한 위치표기를 위한 노면영상을 함께 취득한다.
- 차도의 탐사 수행 시 유도차량, 안내표지판 등의 안전조치를 행하여 안전사고를 예방하여야 한다.
- 측선의 설정
 - 지표투과레이더(GPR)탐사 측선설정 시 조사범위 내에서 간격을 좁혀 정밀한 탐사가 이루어지도록 한다.
 - 포장공사가 수반되는 공사구간, 중앙분리대, 인도와 차도의 경계, 전신주, 가로수 등의 장비이동이 불가능한 장애물구간의 경우 조사범위에서 제외한다.
 - 차도구간의 경우 교통사고의 위험, 과도한 교통방해 등의 원인으로 탐사 시 발생한 자료 미 취득구간의 경우에도 인접한 위치에서 이상신호가 탐지될 경우 추가적으로 탐사를 진행하여 조사범위 전체에 대해 공동을 탐지하도록 한다.
 - 인도구간의 경우 조사범위 전체의 자료를 획득하는 것을 기본으로 한다. 단채널탐사기기를 사용할 경우에는 측선간격을 0.3m 이내로 하여 공동의 탐지에 지장이 없도록 해야 한다.

(3) 공동의 분석

- 지반의 침하예상구간 및 공동의 탐지를 위해 평면, 종단, 횡단면도를 모두 분석하는 정밀분석을 실시한다.
- 평면도 및 단면도의 해석
 - 지표투과레이더(GPR)탐사 결과의 심도별 평면도 및 종단면도를 통해 탐지된 공동의 크기를 확인하여야 한다. 이때 각각의 단면도에 공동의 위치를 표기한다.

- 노면영상의 활용
 - 공동관리 및 복구 시 정확한 위치의 확인을 위해 주변 고정 구조물(맨홀 등)등을 활용하여 기준점으로부터의 거리를 노면영상에 표기하도록 한다. 또한 공동 발견위치의 좌, 우 방향으로 천연색사진을 촬영하여 첨부한다.
- 공동의 발견 시 정확한 위치파악을 위해 다음의 항목을 기록한다.
 - 위치정보의 기록은 세계측지계의 위도, 경도
 - 도로의 방향, 차로의 개수, 공동위치의 차로
 - 위치가 표기된 노면영상
 - 인근의 주요건물 등이 관찰되는 천연색 사진
- 공동조사 시 발견된 모든 공동에 대해 지반침하위험도평가를 실시하고 그 결과에 따라 조치하도록 한다.

2.3.3 공동의 보수·보강

- 지하시설물 관리자는 지하안전점검결과 지반침하의 우려가 있다고 판단되는 경우 필요한 보수·보강 등의 조치를 실시하여 지하안전을 확보하도록 한다.
- 보수·보강 등의 조치를 실시하기 전 위치정보를 정확히 기록하여 원활한 사후관리가 될 수 있도록 한다.
- 보수·보강공법의 재료 및 공법은 시공성, 경제성 및 현장상황을 고려하여 결정한다.
- 보수·보강 후 필요하다고 판단된 경우 계측, 실내시험, 지하물리탐사 등의 방법으로 건전도를 파악하여 복구결과를 확인한다.
- 복구결과를 일상의 유지관리에 활용할 수 있도록 함몰이나 공동에 관한 데이터베이스를 작성한다.

(1) 공동복구방법

- 공동에 대해 보수·보강방안을 경제성, 시공성 등을 고려하여 결정한다. 일반적인 공동 복구 방법은 아래와 같으며, 현장상황에 따라 다른 공법을 적용할 수 있다.
 - 1) 흙피메우기 공법
 - 공동발생 지역 주변을 통제후, 개착하여 공동에 흙을 메우고 다짐을 한 후 상부 구조물(도로 등)을 재시공하는 공법이다.
 - 다짐불량으로 인하여 포장 파손 및 지반침하 등이 빈번하게 발생하므로 다짐시험 KS F 2311 및 KS F 2312의 요건에 따라 실시하며, 관로공의 뒷채움재는 관주위의 경우 90%이상, 관상단 및 노반의 경우 95%이상 다짐하여야 한다.

2) 그라우팅 공법

- 시멘트와 같은 충전재를 투수성 지층 등에 강제로 주입한 후 고형화시켜 구조적 안정성 증가, 지반의 고결화, 지반의 지지력 증가, 투수성 감소, 지반과 구조물과의 일체화를 꾀하는 공법이다.

3) 고유동성 채움재 사용

- 흙, 쏘일시멘트나 모르타르 등에 비해 시공성, 안전성 개선이 필요한 경우 화력발전소 등 산업 부산물로 나오는 재와 알루미늄칼슘계 결합재를 활용한 유동성이 있는 재료인 고유동성 채움재를 활용한다. 유동성 채움재는 미세 틈새까지 밀실하게 채울 수 있어 지표수 유입에 의한 매설관 주변의 되메움재 유실을 효과적으로 억제할 수 있다.

(2) 복구 후 건전도 파악

- 필요시 복구한 지반에 대해 건전도를 파악하여 복구결과를 확인할 수 있다. 건전도 파악의 방법은 크게 비파괴 탐사, 현장시험, 계측 모니터링으로 분류될 수 있으며 현장의 특성 및 현장조건 등에 따라 선택하여 수행하도록 한다. 일반적인 건전도 파악방법은 다음과 같으며, 기술된 방법 이외에도 필요하다고 판단되는 탐사법들을 적용할 수 있다.

[표 3.2.9] 건전도 파악 방법

구 분	비파괴 탐사	현장시험	계측 모니터링
건전도 파악방법	<ul style="list-style-type: none"> • 탄성과 탐사 • 지표투과레이더(GPR) 탐사 • 중력탐사 • FWD 	<ul style="list-style-type: none"> • 시료 샘플링 • 들밀도 시험 • 투수계수 시험 	<ul style="list-style-type: none"> • 계측기 설치

2.3.4 공동조사 보고서 작성

- 지하안전점검 공동조사 실시결과 보고서는 지하시설물 관리주체의 유지관리업무에 효율적이며 체계적으로 활용할 수 있도록 과업내용을 중심으로 작성·제출되어야 한다.

(1) 공동조사 결과표 작성

- 공동조사 결과는 조사결과표와 세부결과표에 따라 작성하여야 하며, 작성요령은 다음과 같다.

1) 조사결과

- 조사결과에는 시설물의 명칭과 관리주체, 위치도, 공동조사 결과 요약을 기술하여야 한다.

2) 세부결과

- 지표투과레이더(GPR) 탐사로 취득한 노면 영상, 평면도, 종단 및 횡단면도와 공동발견 위치의 좌, 우 방향으로 천연색 사진 등을 첨부하며, 발견된 공동의 상세 현황 및 분석 결과를 기록한다.

(2) 보고서에 포함하여야할 사항

1) 서론

- 공동조사의 개요를 쉽게 알 수 있도록 기술한다.
 - 공동조사 개요
 - 지하시설물 개요
 - 공동조사 결과 요약

2) 공동조사 개요

- 공동조사의 범위와 과업내용 등 공동조사 계획 및 실시와 관련된 주요사항을 기술한다.
 - 조사 목적
 - 조사현황 및 시설물 개요
 - 점검의 범위 및 과업내용
 - 사용장비 및 기기현황
 - 점검 수행일정

3) 기초 자료조사 및 분석

- 점검구간에 대한 기초자료수집 및 분석 내용을 기술한다.
 - 탐사노선 및 교통상황
 - 지하시설물 매설 현황
 - 기존 지하안전점검 실시결과
 - 기타 관련 자료

4) 공동조사 결과 및 분석

- 과업내용에 의거 실시한 공동조사 결과분석 내용을 기술하고 필요한 경우 사진 또는 동영상 등을 첨부한다.
 - 공동조사 방법
 - 공동조사 결과 및 세부 결과

5) 공동의 보수·보강

- 지반침하가 우려 된다고 판단되는 경우 보수·보강 내용 및 결과를 기술한다.
 - 응급복구 여부
 - 공동 복구방법 및 복구결과
 - 건전도 분석 결과(필요시)

6) 종합결론 및 건의

- 공동조사 실시결과의 종합 결론
- 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항
- 기타 필요한 사항

7) 부록

- 지반침하예상구간 및 공동의 위치파악을 위한 상세위치도, 노면 영상, 인근의 천연색 사진 등
- 공동의 분석정보가 표기된 지표투과레이더(GPR)탐사 결과도
- 공동조사 사진첩
- 사용장비 및 기기의 사진
- 기타 참고자료

• 조사결과

대상 시설물		수행구간	주소					
관리 주체			위치(시점)	위도				
담당부서				경도				
담당자			위치(종점)	위도				
현장조사일시				경도				
			연장	차도				
		인도						
		합계(km)						
일반사항	위치도		결과 요약					
			공동					
			순번	포장두께	표층두께	공동 좁은 폭	넓은 폭	공동 두께

• 세부결과

탐사 결과	순 번		이상대 위치	주 소		이상대 규모	토 피(m)		
	도 로 명			위 도			연장 (m)	종단	
	도로방향			경 도				횡단	
	탐사일시			차 로			두 께(m)		
위치도		노면 영상				좌측사진		우측사진	
탐사 평면						분석결과			
중/횡단도									