

# 유도배수공법을 적용한 지하차도 설계 및 유지관리방안

## Suitability Assessment and Maintenance Planning of the Guided Drainage Method on Underpass Structure

진규남<sup>1</sup> · 이정민<sup>2</sup> · 김영진<sup>3</sup> · 박재현<sup>4</sup> · 조계춘<sup>5</sup>

Kyu-Nam Jin<sup>1</sup>, Jung-Min Lee<sup>2</sup>, Young-Jin Kim<sup>3</sup>, Jae-Hyeon Park<sup>4</sup> and Gye-Chun Cho<sup>5</sup>

(Received January 2, 2012 / Revised January 26, 2012 / Accepted January 26, 2012)

### 요 약

현재 지하차도 설계 지하수위는 철도, 지하철 및 공동구의 설계기준과 기존사례를 준용하여 지표면 이하 1.0m를 기준으로 설계하고 있으며, 대부분 과다설계 요인과 친환경적이지 못하다는 지적받고 있는 부력방지 앵커공법이 모든 현장에 획일적으로 적용되고 있다. 본 연구에서는 영종하늘도시 사업지구에 시공중인 지하차도 구조물과 관련하여 국내의 지하차도 설계, 유지관리 현황을 조사하고 지하수 유도배수계획의 현장 적용성을 검토하여 지하차도 유도배수공법의 최적 설계방안 및 유지관리 가이드라인을 제시하고자 하였다. 특히, 본 연구유역을 중심으로한 유출지하수에 대한 대체수자원 활용방안 등은 향후 지하차도 부력방지공법의 가이드라인으로 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**주제어 :** 지하차도, 유도배수공법, 현장적용성

### ABSTRACT

For the design of underpass structures, -1.0m(G.L) ground water level guideline for the design of railway, subway, utility tunnel etc, is still being used in Korea. As a result, the underpass structure can be forced by buoyancy, and therefore the in-situ buoyancy anchor method is usually being applied to prevent the uplifting force. For the Yeongjongdo sky city project, the drainage method was applied to remove the buoyancy force. In this study we estimate the efficiency and safety of the applied design and propose the detailed guidelines for standard design and maintenance of the guided drainage technique. Especially, the auxiliary pumping well was operated to maintain the ground water level around the underpass. In the study site, the applied guided drainage method has advantages in both engineering and economic aspects.

**Keywords:** Underpass, Guided drainage method, Construction site adaptiveness

## 1. 서 론

현재 대부분의 국내 현장에서 지하차도 설계 지하수위는 철도, 지하철 및 공동구의 설계기준과 기존사례를 준용하여 지표면 이하 1.0m를 기준으로 설계하고 있으며, 지하차도 설계시 지하수위 적용에 대한 명확한 기준과 그에 따른 설계와 유지관리지침 등이 마련되어 있지 않아 부득이 기존의 공법을 그대로 답습하고 있고 대부분 과다설계 요인과 친환경적이지 못하다는 지적받고 있는 부력방지 앵커공법이 모든 현

장에 획일적으로 적용되고 있다. 특히 지하차도 U-Type 구간과 같이 상부 토피가 없는 경우, 설계 지하수위 적용에 있어 지하철이나 공동구 등 과거의 설계기준을 그대로 준용하는 것은 수리/수문학적으로나 구조물의 안정성 측면에 있어서도 실제 현장과 부합하지 않는 과다 설계의 오류를 범하는 경우가 많다.

이러한 문제점들의 개선 노력으로 최근 국내의 지하차도 대안입찰 설계사례에서 보여 주듯이 주변지형 및 수계별 하천 현황과 2,3차원 장기 지하수위 변동분석을 통한 적정 설계

1) 토지주택연구원 건설기술연구실 수석연구원(주저자: geojin@lh.or.kr)  
 2) 토지주택연구원 건설기술연구실 수석연구원(교신저자: andrew4502@lh.or.kr)  
 3) 토지주택연구원 건설기술연구실 수석연구원  
 4) 인제대학교 토목공학과 교수  
 5) KAIST 토목환경공학과 교수

지하수위를 추정하여 설계에 반영하는 등 현장과 부합하는 경제적인 설계를 도모하고 있으며, 많은 전문가들에 의해서 새로운 시도와 연구가 진행되어 오고 있다. 따라서, 지하차도 구조물의 부력에 대한 안정성 확보를 위한 최적의 설계모델과 유지관리방안 등 관련기준 마련과 과다 설계에 의한 손실을 최소화할 수 있는 효율적인 설계와 시공방법 개선 등 경제적인 설계를 도모하고자 하는 시도가 있었다.

현재 영종하늘도시 사업지구 등에서 시도되고 있는 부력방지 공법(유도배수공법)은 부력앵커공법과 같은 안전측 설계에서 탈피한 경제성이 매우 우수한 시공 방법으로 판단된다. 하지만, 현장에 적용한 사례가 없어 해당 공법에 대한 장기 안정성 및 연구대상 지구 지하수위 변동과 경제성 등에 대한 합리적인 검증이 시급히 필요하다 판단된다.

본 연구에서는 영종하늘도시 사업지구에 적용된 유도배수공법에 대한 국내외 지하차도 관련 설계·유지 관리 현황을 조사하고 관련 공법들의 문제점들을 분석하였다. 또한 해당 유도배수공법 설계의 적정성, 경제성, 유지관리 등 현장 적용성을 검토하여 지하차도 유도배수공법의 최적 설계 방안 및 유지 관리 가이드라인 등을 제시하고자 한다.

## 2. 국내외 지하차도 설계유지관리 현황 및 사례조사

### 2.1 국내 지하차도 설계 현황

지금까지 국내 지하차도 설계에서는 지하수의 영향을 많이 받는 지하철 또는 공동구의 기존 설계 사례를 준용하고 있다. 최근에는 지형 및 지반 조건 등 현장 여건에 맞는 합리적인 설계 방안을 도출하고 관련 기준을 마련하기 위한 연구가 일부 진행되고 있으나, 지하수 유입/유출량 해석 및 침수 해석 등에 국한되어 있다. 연약지반에서 보상기초 개념을 적용한 지하차도 기초 설계에 대한 고찰(신중훈, 2007)에서 지하수위에 변동에 의한 지하차도의 안정성 검토 방법에 대한

연구가 있었으나, 각종 건설자재(뒷채움 및 배수층 골재, 포장재료 등)에 대한 관리 지침 및 이에 대한 현장 적용성 및 유지관리 방안 수립 등 관련 기준의 개정을 위한 검토, 분석 연구는 여전히 미흡한 실정이다.

특히, 지형 및 지반 조건에 따른 지하수위 변동과 유입량에 따른 양압력과의 관계를 도출하고 다양한 수치모델링과 현장 시험 및 시험 시공 계측 결과를 토대로 검증 결과의 신뢰성을 확보하기 위한 실용적인 지하차도 설계 시공 가이드 지침 수립 등 관련 제도 개선을 위한 노력은 매우 미흡한 실정이다.

### 2.2 국내외 지하차도 설계 기준

국내 지하차도 설계에 관련 기준이 없기 때문에 지하차도 설계 시 공동구 설계기준, 콘크리트구조 설계 기준, 도로교 설계기준, 토목설계지침, 도시기반교량 설계지침, 토목구조물 내진설계지침, 내진설계편람, 도로의 구조시설 기준 등의 규정을 참고하고 있다. 지하차도 구조물의 구조적 설계는 도로교 설계기준에서의 박스커더교 지침과 콘크리트구조 설계 기준 등을 참조하여 구조물을 설계할 수 있다.

국외의 경우도 대부분 지하차도 설계에 관한 관련 기준이 없기 때문에 터널 설계기준을 참고하고 있다. 표 1은 나라별 지하차도 설계사례와 설계 시 참조한 설계기준들을 보여주고 있다.

### 2.3 지하수위를 고려한 부력방지 공법

지하구조물 설계 시 지하수위를 고려한 부력방지 공법은 크게 사하중에 의한 방법, 영구앵커에 의한 방법, 배수에 의한 방법 등이 있다. 각 방법들의 특성 및 적용성은 표 2와 같으며, 현재 부력방지 공법이 필요한 대부분의 지하차도(U-Type 구간) 시공지역에서 영구앵커 공법을 사용하고 있다.

표 1. 지하차도 설계사례

나라	지하차도 설계기준	지하차도 설계 사례	부력방지 적용 공법	적용 기준	기준 지하수위
인도	×	Madhuban Chowk 지하차도	앵커공법	AASHTO, anchor 설계 기준	지표하 -1m
인도	×	Punjabi-Bagh 지하차도	앵커공법	BS, tension piles 설계기준	현장값 적용 지표하 -3m
인도	×	Madhuban Chowk 지하차도	앵커공법	AASHTO, anchor 설계기준	지표하 -1m
인도	×	Prem Bari 지하차도	앵커공법	BS, diaphragm wall 설계기준	지표하 -4ft(1.22m)
인도	×	Moolchand 지하차도	앵커공법	BS, diaphragm wall 설계기준	지표하 -4ft(1.22m)
아일랜드	×	Kildare Town 지하차도	고정하중	ENV 1997-1 Eurocode 7	현장값 적용 지표하 1~2m

표 2. 지하수 대책공법의 종류 및 적용성

구 분	고정하중에 의한 방법	영구앵커에 의한 방법	배수에 의한 방법	
			외부배수시스템	기초바닥 배수시스템
개 요	· 건물자중을 양압력 보다 크게 설계	· 건물자중과 양압력의 차이를 앵커가 부담	· 지하벽체 외부에 배수층 설치하여 침투 유입하는 지하수를 배수, 양압력을 감소시키는 방법	· 기초slab 아래에 배수층 설치, 유입 지하수 강제양수
시공법	· 저층부 구조체 및 기초두께를 증가시키거나 비중이 큰 재료로 공간을 채움	· 암반층 천공하고 스트랜드 강선을 삽입, 긴장하여 양압력에 저항	· 유공관 또는 다발관 및 집수정 설치	· 유공관 또는 다발관 및 집수정 설치
장 점	· 시공이 간편하여 얇은 지하굴착에서 많이 사용	· 앵커의 저항능력 및 간격선택이 자유롭다	· 지하구조물 전체의 안정에 효과적임	· 경제적이고 시공이 간단하며 공기 단축
단 점	· 양압력이 크거나 구조물이 크고 중요한 경우 적용 불가 · 기초 단면증가로 공사비 증가	· 공사비가 비싸고 강선부식, 응력 이완 또는 감소 우려 · 장기적 계측과 재인장 필요	· 유지 관리비용 소요 · 배수재 막힘 현상에 의한 배수기능 저하	· 유지 관리비용 소요 · 지반내 유입수량의 적절한 산정이 중요

표 3. 영종하늘도시 개발사업 특수구조물 개요

구분	특수구조물 2공구	특수구조물 3공구
시 공 사	계룡건설산업(주)	극동건설(주)
공사금액	278억원	687억원
공사기간	‘09.03.25~’11.05.24	‘09.03.18~’11.05.17
공사내용	지하차도 No.1, No.2, 녹지이동통로 No.7	지하차도 No.3, No.4, 생태통로 No.4



그림 1. 영종하늘도시의 개발사업 특수구조물 설치계획도

표 4. 지하차도 현황

구 분	개 요	지형조건
적용기준	·도로의 구조 시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침 ·한국토지공사 설계기법 보고서	
지하차도 No.1	·B=25.0m(편도 3차로) ·연장 BOX=256.0M U-Type = 509.0M	·광로 3-507(B=40.0m) 횡단 ·대로 1-502(B=35.0m) 횡단
지하차도 No.2	·B=26.9m(편도 3차로) ·연장 BOX=220.0m U-Type = 310.0m	·대로 3-517, 3-518 (B=28~35.0m) 횡단
지하차도 No.3	·B=33.4m(편도 4차로) ·연장 BOX=740.0m U-Type = 505.0m	·대로 3-515, 3-516 (B=27.0m) ·광장부 횡단 ·우수BOX(1.5x1.8)횡단
지하차도 No.4	·B=26.9m(편도 3차로) ·연장 BOX=280.0m U-Type = 330.0m	·광로 3-505(B=40.0m) 횡단 ·우수BOX(2@3.5x2.0)횡단 ·계획공동구(9.3x3.4)횡단

세한 내용은 인천경제자유구역 영종하늘도시 개발사업 특수구조물 조사 설계 용역(한국토지주택공사, 2008)을 참조할 수 있다.

일반적으로 지하구조물에는 상재하중, 토압 및 수압 등이 작용한다. 또한, 지하수위가 높게 형성되고 지하구조물에 상재하중 및 자중이 충분하게 작용하지 않을 경우 부력에 의한 구조물의 부상(浮上)에 의해 구조물이 커다란 손상을 입을 수 있다(국토해양부 공동구 설치 및 관리지침, 2010).

본 연구구간의 지하차도 설계 지하수위는 철도, 지하철 및

### 3. 연구대상 구역 현황

#### 3.1 연구대상 구역 개요

본 연구의 대상 구역은 영종하늘도시의 개발사업 특수구조물 2공구, 3공구 내 지하차도 No.1~No.4와 주변 지역이며, 관련 사업의 개요 및 위치는 그림 1과 같다. 연구대상 구역에 설치된 지하차도는 총 4개소로 현황은 표 4와 같다. 자

표 5. 연구대상지구 지하수 대책공법 선정

구분	지하수 유도배수 공법	부력방지 앵커공법
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하차도 측면 및 바닥에 배수층 설치로 지하수 유도 및 지하수위 저하를 기함</li> <li>· 유도 지하수를 집수정에 모아 배수처리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자연형성 지하수위에 의한 부력을 Anchor로 저항케 함</li> <li>· 천공 후 공장 제작된 Anchor체 삽입 및 그라우팅작업, 기초 콘크리트 타설 양생 후 인장작업에 의한 설치</li> </ul>
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하수를 목표 LEVEL까지 인위적으로 하향조정 가능</li> <li>· 퇴적지대의 자연수위가 아닌 매립층 지역의 수위형성으로 인한 유출수량은 매우 제한되어 경제적이며 효과적인 공법임</li> <li>· 유도배수공법 유지관리가 요구됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 별도 유지관리가 필요하지 않음</li> <li>· 실제 형성 지하수위 예측이 어려움</li> <li>· 안정적으로 적용지하수위를 높게 잡는 경우 Anchor 공사비 증가</li> <li>· Anchor체 자유장 부동 Creep 인장으로 구조 부재균열 발생가능</li> </ul>
공법선정	○	
종합평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하차도 폭이 매우 넓고, 지하수위가 높아 부력에 대한 대책공법으로 Anchor 공법 혹은 자중증대공법을 적용하는 경우 안정성은 높으나 비경제적으로 됨.</li> <li>· 지하차도가 비교적 단지고가 높은 구역에 설치되어 지하수 유도배수공법 적용시 소요 지하수위저하고가 크지 않은 편이고 우기시 지하수 유입량 및 만조위시 대수층 피압수 유입량은 제한될 것으로 판단되어 경제성이 큰 지하수 유도배수공법을 적용하는 것으로 계획.</li> <li>· 다만, 운영 중 지하수위 계측을 시행하여 불확실한 지하수 특성에 대비하도록 강구함.</li> </ul>	

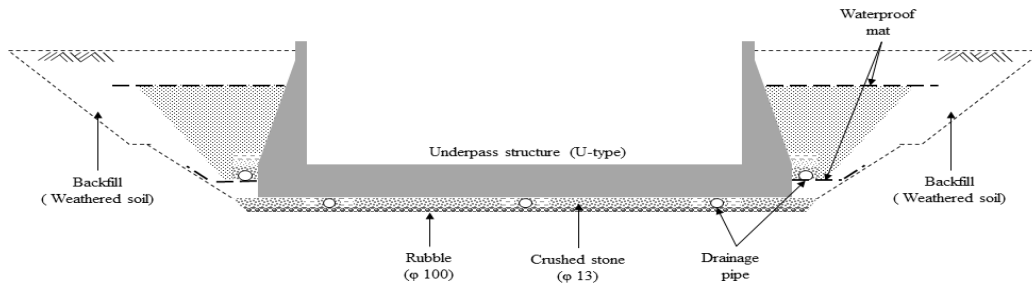


그림 2. 영종도 하늘도시 지하차도 유도배수공법 개략도

공동구의 설계기준과 기존사례를 준용하여 지표면 하 1.0m를 기준으로 하였으며, 이 경우 대부분의 U-Type 구간은 부력에 대해 안정성 확보가 어려워 부력에 대한별도 대책 수립이 요구되는 것으로 나타났다. 여기서는 U-Type 구간의 부력에 대한 안정성 확보를 위하여 적정 대책공법으로 지하수 유도배수 공법을 선정, 설계하였다(표 5).

연구대상 유역에 적용된 지하차도 유도배수공법의 개략도는 그림 2와 같다.

### 3.2 연구대상 유역 모니터링

연구대상 유역과 관련된 모니터링 자료로는 인천지역 지하수 기초조사(국토해양부, 2005), 인천경제자유구역 영종하늘도시 개발사업(1·2·3 공구) 연약지반 침하안정관리용역(한국토지주택공사, 2011)과 영종하늘도시 개발사업 특수구조물 건설공사 중 지하수위 계측관리용역(2011년 10월 기준 진행 중) 등이 있다. 각 모니터링 자료는 4장 대상유역 지하차도 구간 지하수 유도배수계획의 현장 적용성 검토에서 대상유역의 유출특성, 지하수 흐름특성을 분석하기 위한 프로그램의 검정 및 보정 자료로 활용하였다.

인천지역 지하수 기초조사(국토해양부, 2005) 보고서에 의하면 영종도 유역의 평수기 지하수 심도는 평균 GL.-6.2m,

중앙값은 GL -1.0m로 다소 높은 지하수위를 유지하는 것으로 평가되었다. 영종도의 금산, 백운산, 석화산 및 오성산 등의 산지에는 지하수위 형성 위치가 평지지역보다는 높지만 지형대비 상대적으로 낮게 형성되어 있으며, 인천국제공항과 동강천 등 하천주변 저지대의 지하수 심도는 GL. -2m 분석되었다.

연약지반 침하안정관리용역(한국토지주택공사, 2011)에 의한 지하수위 분석자료의 경우, 대부분 개발 사업에 따른 지반성토 및 연약지반 개량시 측정된 자료로서 대상유역의 일반적인 지하수위 상태를 반영하고 있다고 판단하기에는 무리가 있다. 영종하늘도시 개발사업 특수구조물 건설 공사 중 지하수위 계측관리용역(한국토지주택공사, 2011년 10월 기준 진행중) 자료의 경우 지하차도 건설전, 중의 지하수위 자료는 지반 개량 및 구조물 시공으로 인하여 공사현장 주변부의 일시적인 지하수 변동을 보여주고 있으며, 건설 후의 지하수위는 대부분 설치심도 이하에 있는 것으로 분석되었다.

이에 본 연구에서 연약지반 침하안정관리용역 및 영종하늘도시 개발사업 특수구조물 건설 공사 중 지하수위 계측관리용역 보고서에서 관측된 지하수위 자료는 유역 유출특성을 평가하는 자료로만 활용하였다.

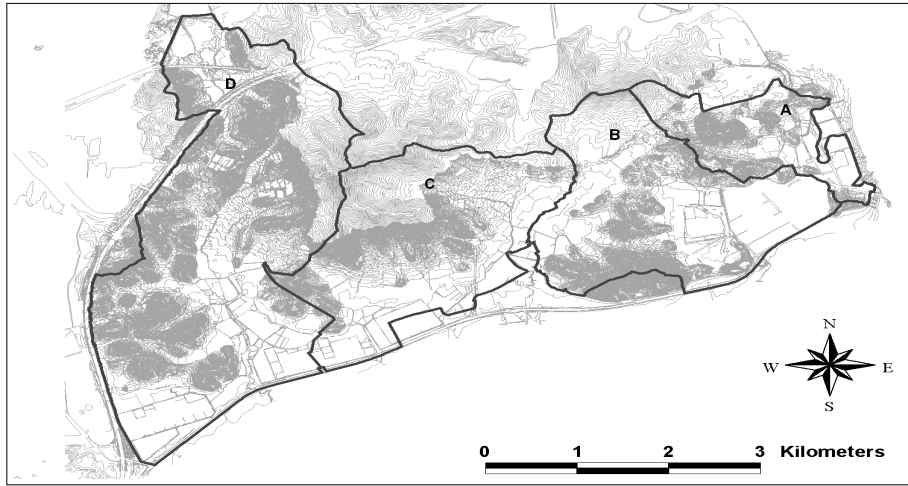


그림 3. 유출 특성 분석을 위한 연구대상 소유역 분할도

표 6. 계절별 유출 특성

(단위: mm/3개월)

구 분	강우량	침투량	지표하 증발산량	지표면 증발량	지하수 유출	지표면 유출	
유역 A	1-3월	61.37	24.46	27.08	10.57	22.24	29.62
	3-6월	276.14	87.56	54.58	36.98	19.22	155.61
	7-9월	717.70	155.98	50.41	60.56	56.09	516.21
	10-12월	100.75	37.57	32.95	15.36	43.04	52.21
유역 B	1-3월	61.37	25.28	27.46	10.38	20.36	28.84
	3-6월	276.14	91.04	55.14	36.78	19.15	152.14
	7-9월	717.70	163.29	46.48	60.79	72.93	508.30
	10-12월	100.75	38.76	30.54	15.25	46.39	50.98
유역 C	1-3월	61.37	29.85	31.68	9.06	25.89	25.34
	3-6월	276.14	113.19	63.82	33.79	25.04	132.51
	7-9월	717.70	218.73	51.68	57.46	109.87	454.30
	10-12월	100.75	46.27	34.74	13.61	65.49	44.79
유역 D	1-3월	61.37	27.06	29.53	10.42	28.56	26.33
	3-6월	276.14	97.03	58.96	38.10	23.95	143.88
	7-9월	717.70	171.83	48.95	64.16	61.61	495.13
	10-12월	100.75	41.70	33.33	15.33	52.67	47.28

#### 4. 연구대상 유역 지하차도 구간 지하수 유도배수계획의 현장 적용성 검토

##### 4.1 유출특성 분석

연구대상 유역의 수문학적 분석은 지하차도 구간의 지하수위 거동을 분석하기 위한 입력 자료를 산정하는 것에 그 목적이 있다. SWMM 프로그램(Huber and Dickinson, 1988)을 이용하여 대상유역의 지표유출 특성을 분석하고, 대상유역의 지하수 함양량 추정을 위한 수문 성분 추적을 위하여 장기유출모의를 수행하였다. 인천기상대 40년(1970~2010년)강우 자료에 대한 수문성분을 분석하였으며, 시나리오별 유역 유출 특성 평가를 위하여 계절별, 강우량이 많은 해, 10

일 최대 강우의 기간에 대하여 수문성분을 분석하였다. 유출 분석을 위한 연구유역의 소유역도는 그림 3과 같으며, 유역별 분석된 유출 특성은 표 6과 같다. 분석 결과는 MODFLOW의 입력 자료로 활용하였다.

##### 4.2 지하수 흐름 특성 분석

3차원 지하수 MODFLOW 프로그램을 이용하여 대상유역의 지하차도 구조물 건설에 따른 지하수 흐름 변화 특성을 분석하였다.

지하차도 건설에 의한 흐름변화 분석을 위하여 지하차도 건설전, 후에 대하여 프로그램을 수행하였다. 수행 결과 지하차도 건설 전 유역의 평균 지하수위는 지표하 1~2m 이상으

표 7. 지점별 유도배수 공법 적용 지하수위

구분	Block No.	Block No. 위치	U-Type 옹벽높이(H)	설계 지하수위		유도배수적용	차이값
				F.H(-)	E.L(+)		
지하차도 No.1	6,7	NO.73+11~75+11	4.69	1.90	6.56	4.00	2.56
	8	NO.75+11~76+11	5.85	2.30	6.11	3.90	2.21
	9	NO.76+11~77+11	6.70	3.10	5.27	3.90	1.37
	10	NO.77+11~78+11	7.85	3.40	4.93	2.70	2.23
	11	NO.78+11~79+11	8.70	4.20	4.09	2.70	1.39
	12	NO.79+11~80+11	9.55	5.00	3.25	2.00	1.25
	24	NO.93+07~94+07	9.55	5.00	3.95	2.00	1.95
	25	NO.94+07~95+07	8.70	4.20	4.92	2.80	2.12
	26	NO.95+07~96+07	7.85	3.40	5.90	3.40	2.50
	27	NO.96+07~97+07	6.70	3.10	6.37	3.50	2.87
	28,29	NO.97+07~99+07	5.85	2.30	7.35	3.60	3.75
30,31	NO.99+07~101+07	4.69	1.90	8.09	3.60	4.49	
지하차도 No.2	3	NO.182+10~183+10	2.68	1.25	7.74	3.60	4.14
	4	NO.183+10~184+10	3.68	2.15	6.87	3.60	3.27
	5	NO.184+10~185+10	4.98	2.65	6.40	3.60	2.80
	6	NO.185+10~186+7.5	5.98	3.55	5.53	3.60	1.93
	7	NO.186+7.5~187+5.0	7.28	3.90	5.21	3.60	1.61
	8,9	NO.187+5.0~189+00	8.28	4.75	4.40	2.90	1.50
	19	NO.200+00~201+00	8.28	4.75	4.40	2.40	2.00
	20,21	NO.201+00~203+00	7.65	3.20	6.65	2.80	3.85
	22	NO.203+00~204+00	7.15	2.70	7.10	3.60	3.50
	23	NO.204+00~205+00	6.76	2.90	6.95	3.60	3.35
	24	NO.205+00~206+00	6.53	3.05	6.85	3.60	3.25
25	NO.206+00~207+00	6.67	3.30	6.65	3.60	3.05	
지하차도 No.3	1	NO.207+00~208+00	6.48	3.10	6.90	3.00	3.90
	2	NO.208+00~209+00	6.58	3.15	6.90	3.10	3.80
	3	NO.209+00~209+17.5	6.68	3.35	6.74	3.00	3.74
	4	NO.209+17.5~210+15	7.08	3.45	6.69	3.10	3.59
	5,6,7	NO.210+15~213+7.5	7.78	4.00	6.24	3.00	3.24
	8~10	NO.213+7.5~216+00	8.48	4.60	5.74	2.90	2.84
	11~15	NO.216+00~221+00	9.68	5.15	5.38	2.00	3.38
	50,51	NO.258+00~259+15	10.08	5.45	4.46	1.40	3.06
	52~61	NO.259+15~269+5.0	9.68	5.15	4.39	2.00	2.39
지하차도 No.4	1	NO.269+5.0~270+2.5	7.47	3.82	5.17	1.80	3.37
	2	NO.270+2.5~271+0.0	7.31	3.82	5.08	1.80	3.28
	3	NO.271+0.0~272+0.0	7.22	3.82	4.98	1.60	3.38
	4	NO.272+0.0~273+0.0	7.25	3.82	4.89	1.50	3.39
	5	NO.273+0.0~274+0.0	7.40	4.15	4.47	1.50	2.97
	6	NO.274+0.0~275+0.0	7.66	4.62	3.91	1.00	2.91
	7	NO.275+0.0~276+0.0	8.06	5.08	3.36	0.80	2.56
	8	NO.276+0.0~277+0.0	8.57	5.55	2.80	0.60	2.20
	21	NO.291+0.0~291+17.5	8.66	5.07	2.11	1.00	1.11
	22	NO.291+17.5~292+15.0	7.73	4.27	2.85	0.60	2.25
	23	NO.292+15~293+15.0	6.81	3.77	3.29	1.10	2.19
	24	NO.293+15~294+15.0	5.46	3.26	3.74	1.90	1.84
	25	NO.294+15~295+15.0	4.43	2.45	4.49	2.40	2.09
26	NO.295+15~297+15.0	3.25	1.99	4.89	3.10	1.79	

로 비교적 높은 지하수를 형성하고 있는 것으로 평가되었다. 유도배수공법을 적용한 지하차도 건설후 지하차도 주변부 지하수위는 표 7과 같다. 건설전에 비하여 약 3~4m 하강하는 것으로 분석되었으며, U-Type 종점 부는 지표하 최소 6m 이상, 시작부는 지표하 최소 3.4m 이상 아래에 형성되는 것으로 평가된다.

#### 4.3 지하차도 구조물의 변위 및 안전성 평가

지하수에 의한 지하차도 구조물의 안정성을 평가하기 위하여 FLAC2D 프로그램을 이용하여 수치해석 수행하였다. 해석은 다양한 조건에서 CASE별로 조건을 달리하여 수행되었으며 표 8은 크게 유도배수적용유무, 종방향 지하차도 높이, 지반 조건 등 3가지 조건으로 하였다.

표 8. 구조물 안전성 평가를 위한 수치해석 조건

분류	목적	해석조건		지하차도 주변부 점토층 높이[m]
		지하수위 [G.L.-m]	지하차도 높이 [m]	
CASE1	지하차도의 자중만으로 부력 (양압력)에 저항할 수 있는 최저 지하수위 파악	1,2,3,4,5,6	7	점토층 : 2m 퇴적층 : 13m 풍화암 : 20m
CASE2	유도배수공법 적용에 따른 간극수압의 변화 및 부력 안정성 평가	1	7	점토층 : 2m 퇴적층 : 13m 풍화암 : 20m
CASE3	지하차도의 자중만으로 부력 (양압력)에 저항할 수 있는 최저 지하수위 파악	1,2,3,4	3	점토층 : 2m 퇴적층 : 13m 풍화암 : 20m
CASE4	유도배수공법 적용에 따른 간극수압의 변화 및 부력 안정성 평가	1	3	점토층 : 2m 퇴적층 : 13m 풍화암 : 20m
CASE5	유도배수공법 적용에 따른 간극수압의 변화 및 부력 안정성 평가	1	7	점토층 : 12m 퇴적층 : 13m 풍화암 : 20m

부력방지공법(유도배수공법) 미적용시 자중에 의해 안전율을 확보할 수 있는 최저 지하수위선을 분석하였으며, 분석 결과 연구대상 유역의 지하차도의 지하수위가 지표면으로부터 5m 이상 낮춰졌을 때 안전율 1.2 이상을 보이며 기존의 안전기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 유도배수공법 적용에 따른 지하차도부력 안정성을 평가하기 위하여 양압력을 분석하였으며, 지하차도에서 횡 방향으로 멀어질수록 양압력 감소 효과가 작아지는 것으로 나타났다. 그러나 분석 결과 지하차도 주변 하부에서는 안전율이 3.0 이상으로 나타났으며 따라서 지하차도 구조물은 양압력에 대해 안전할 것으로 판단된다.

원지반 특성이 유도배수공법 적용에 미치는 영향에 대해서도 검토하였다. 지하차도 구조물이 위치한 지반을 점토와 사질토로 구성하고 각각에 대해 해석하여 본 결과 원지반의 특성에 따라 어느 정도 영향을 받는 것으로 나타났다. 즉, 투수계수가 큰 지반이 위치할 경우 유도배수에 의한 배수효율이 더 양호하게 나타나 지하차도 주변에 발생하는 수압을 더 낮추는 것으로 평가되었다. 따라서 유도배수공법 설계시 원지반 특성도 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

지반의 변형과 간극수압에 의해 구조물에 작용하는 응력은 구조물의 안정성에 영향을 주며 따라서 이에 대한 평가가 필요하다. 본 연구에서 지하수위를 지표면 하 1m로 하여 수치해석을 수행하였고 이 때 구조물에 발생하는 모멘트와 변형률 등을 유도배수 유무에 따라 평가하였다. 분석 결과 유도배수공법 적용에 의해 구조물에 작용하는 모멘트가 감소하는 것을 확인하였으며 특히 하부 중앙부에 유도배수공법 미적용시에 비하여 50%이상 모멘트가 감소하였다. 지면관측상 자세한 해석 결과 및 그래프는 참고문헌에 나타내었다.

#### 4.4 유도배수공법에 의한 지하수 배제용량 검토

SEEP2D 프로그램을 이용해서 유도배수공법에 의하여 발생하는 유입량을 계산하고, 유공관의 통수유량을 검토하였다. 검토 결과 지하차도 최대 예상 유입량(1.52m<sup>3</sup>/min)에 대해 유공관이 통수용량(4.92m<sup>3</sup>/min)을 충분히 확보하는 것으로 평가되었다. 지하차도 집수정 펌프 용량은 지하차도 No.1의 경우 14m<sup>3</sup>/min, 지하차도 No.2, 4의 경우 9m<sup>3</sup>/min, 지하차도 No.3의 경우 21m<sup>3</sup>/min로 계획되어 있다. 따라서, 표 9와 같이 최대 유입수량은 계획된 펌프용량의 4~11%에 해당하는 양이므로 현 계획된 집수정의 펌프를 유도배수에 활용하여도 무방한 것으로 판단된다(한국토지공사, 2009).

#### 4.5 강제배수 배제용량 검토

지하수 대책공법으로 적용된 유도배수공법의 배수층, 유공관 등의 재평가 결과 유도배수공법의 배수층, 유공관등의 Clogging 및 관내 침전물로 인하여 유도배수가 더 이상 불가능하다고 판단될 경우 구조물의 안전성 확보를 위하여 유도배수 배수층 구간에 우물을 설치하여 강제 배수하는 방안에 대하여 MODFLOW 프로그램을 이용하여 강제배수 펌프의 위치 및 효과를 분석하였다. 강제배수 우물의 위치 및 펌프 용량에 따른 평가를 위하여 표 10과 같이 총 3가지 경우에 대하여 프로그램을 수행하였으며 펌프 설치 위치도는 그림 4와 같다.

분석대상은 유도배수공법 적용시 가장 지하수위가 높게 평가된 지하차도 NO.4이며, 분석지점은 지하차도 U-Type 시작지점, 종점지점, Box 구간 중앙부 등 총 5개 지점이다(표 11). 분석 결과 유도배수공법 적용 시와 비슷한 지하수위를 나타내거나 그 이상 더 낮은 지하수위를 나타내었다. 한편 표

표 9. 지하차도 지하수 배제용량 검토결과

지하차도 구분	유입량 (m <sup>3</sup> /min)		유공관 통수용량 (m <sup>3</sup> /min)		집수정 펌프용량 (m <sup>3</sup> /min)	비고
	측면부	측면부 + 하단부	측면부	측면부 + 하단부		
No. 1	평지지점	4.58×10 <sup>-1</sup>	4.88×10 <sup>-1</sup>	4.92	7.41	집수정 펌프용량의 4~11%
	산지지점	1.46	1.52	4.92	7.41	
No. 2	평지지점	2.79×10 <sup>-1</sup>	2.97×10 <sup>-1</sup>	4.92	7.41	
	산지지점	8.92×10 <sup>-1</sup>	9.26×10 <sup>-1</sup>	4.92	7.41	
No. 3	평지지점	4.54×10 <sup>-1</sup>	4.84×10 <sup>-1</sup>	4.92	7.41	
	산지지점	1.45	1.50	4.92	7.41	
No. 4	평지지점	2.97×10 <sup>-1</sup>	3.16×10 <sup>-1</sup>	4.92	7.41	
	산지지점	9.50×10 <sup>-1</sup>	9.86×10 <sup>-1</sup>	4.92	7.41	

표 10. Case별 펌프 개수 및 용량

Case	펌프 개수	설치 위치	펌프용량 (1개당) m <sup>3</sup> /day		펌프 총용량 m <sup>3</sup> /day	
			평지지점	산지지점		
1	1-1	① U-Type(중점)과 Box-type 만나는 지점	① c-c', d-d'	평지지점	175.7	702.7
	1-2			산지지점	547.2	2188.8
2	2-1	① U-Type(중점)과 Box-type 만나는 지점 ② U-Type 중심지점	① c-c', d-d' ② b-b', e-e'	평지지점	87.8	702.7
	2-2			산지지점	273.6	2188.8
3	3-1	① U-Type(중점)과 Box-type 만나는 지점 ② U-Type 중심지점	① c-c', d-d' ② b-b', e-e'	평지지점	58.56	702.7
	3-2			③ U-Type 시점 산지지점	182.4	2188.8

표 11. 강제배수 적용시 지하수위 변화

구분	지반고 (El.m)	유도 배수 (El.m)	Pumping (El.m)			지반고-지하수위(지표하)				
			Case1	Case2	Case3	유도 배수	Case1	Case2	Case3	
			③	④	⑤	①-②	①-③	①-④	①-⑤	
No.4	U-type 시작부	6.64	3.20	3.20	3.10	2.90	3.44	3.44	3.54	3.74
	U-type 중점부	7.17	0.90	0.20	0.50	0.60	6.27	6.97	6.67	6.57
	Box 중앙부	7.60	-1.70	-1.70	-1.70	-1.70	9.30	9.30	9.30	9.30
	U-type 중점부	8.25	0.20	-2.20	-1.10	-0.60	8.05	10.45	9.35	8.85
	U-type 시작부	8.99	2.00	2.00	1.90	1.60	3.90	6.99	7.09	7.39

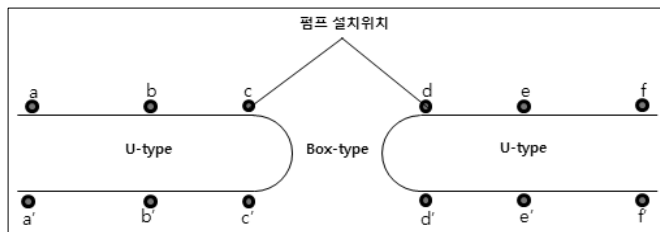


그림 4. 펌프 설치위치 개념도

10의 분석 결과에 의하면 CASE 1의 경우처럼 지하차도 U-Type 중점지점에만 집중적으로 강제배수를 수행하여도 구

조물의 안전을 충분히 확보할 수 있을 것으로 평가되며, 강제 배수시설의 설치비용 및 관리 비용 면을 제외하고 고려할 경우는 CASE 2와 같이 U-Type 중점지점과 중앙부 지점으로 나누어 배수시설을 설치하는 것이 구조물 안전에 더 유리할 것으로 판단된다.

#### 4.6 대체수자원 활용방안

지하철이나 터널, 건축물과 같은 대형 토목공사에 따른 지반 굴착으로 양질의 지하수가 다량 유출되고 있다. 유출지하수의 수량과 활용의 수용, 비용 및 긴급성 등을 고려하여 활



표 12. 유출지하수 활용 목록 및 활용 사례

용도별		수원별	지하철유출지하수	대형건축물	비고
내부활용	화장실 세정 및 청소용수		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신당역 등 70여개소</li> <li>• 마포 한신코아 건물</li> <li>• 프랑스 파리 버스터미널 세차용수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신설동 경영빌딩</li> <li>• 동대입구 덕양빌딩</li> <li>• 대치역 대흥빌딩</li> </ul>	
	목욕용수		-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 노원역 동방빌딩</li> </ul>	
외부활용	하천유지용수		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 서울시 전용과로 설계계획</li> <li>• 안양천 유역 학의천</li> <li>• 미국 뉴욕, 허드슨강 유지용수</li> <li>• 일본 도쿄 하천 방류</li> </ul>	-	
		자연형 하천	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안양천</li> </ul>	-	
	친수용수	분수	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연신내역</li> <li>• 연의나루역</li> <li>• 면목동 사가정 친수공원</li> <li>• 공덕동 친수공원</li> </ul>	-	
		연못	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 여의도 셋강 생태공원</li> </ul>	-	
	살수용수	도로청소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 여의도 도로급수전</li> <li>• 군자역 도로급수전 등 약 35개 지하철 역사</li> </ul>	-	
수목살수		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 서울시 종합운동장</li> </ul>	-		

표 13. 연구대상 유역 지하수 수질 시험 결과

항목 위치	pH	BOD(mg/L)	COD(mg/L)	T-N(mg/L)	T-P(mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	Cl-(mg/L)	Cd(mg/L)
No.1	7.6	0.2	0.4	5.739	0.417	118.5	26.4	불검출
No.2	7.5	0.1	0.2	10.630	0.088	133.6	14.3	불검출
No.3	7.5	0.4	0.6	7.408	0.377	109.1	49.1	불검출
No.4	7.2	1.2	1.8	6.912	0.154	150.5	18.8	불검출

용방안을 결정하며, 신규 시설인 경우에는 유출지하수의 활용 방안을 결정한 후, 시설물의 설계 시에 활용시설을 반영하여 설계한다.

대형 시설물 유출지하수의 활용은 크게 이수 목적의 활용과 유출감소 목적의 활용으로 구분되며, 이수 목적의 활용은 공간적 범위에 따라 내부공간에서의 활용과 외부공간에서의 활용으로 구분할 수 있다. 내부 활용으로 화장실 세정, 청소용수, 목욕용수 등이 있으며, 외부활용으로는 하천유지용수, 친수용수(자연형 하천, 분수, 연못 등), 살수·소방용수(도로청소, 수목살수, 소방용수 등), 농업·공업·비상 용수 등으로 활용할 수 있다. 표 12는 국내외 대형 시설물 유출지하수 활용 사례를 나타내고 있다.

유출지하수 활용 시에는 활용 용도에 따라 용도에 적합한 수질기준을 따르도록 하고 있다. 내부 활용, 살수용수와 조경용수에 대하여는 중수도 수질기준을 이용하며, 농업용수와 공업용수는 각각의 수질기준을 따른다. 비상용수를 식수로 사용할 경우에는 먹는 물 수질을 따르고, 기타의 용수로 사용할 경우에는 각각의 기준에 따라 이용한다. 하천의 유지용수

로 이용할 경우에는 하천의 수질기준을 따르며, 유출지하수가 주변 하천의 수질기준을 충족시키지 못할 경우에는 하천 유지용수로 활용할 수 없으며, 수 처리를 하여 사용하거나 타 용도로 사용한다.

본 연구에서는 연구유역의 대체수자원 활용 방안을 검토하기 위하여 우선 지하차도 유도배수공법이 적용중인 지점의 지하수 수질을 평가하였다. 각 지점의 수질 시험 결과는 표 13과 같다. 표에서 알 수 있듯이 연구유역의 수질은 pH 7.2~7.6, BOD 1.2mg/L, T-N 10.63mg/L이하, T-P 0.42mg/L이하 등으로 분석되었으며, T-N, T-P를 제외한 항목은 중수도 수질기준과 하천수질기준 Ib등급을 만족하는 것으로 평가된다. 하·폐수처리수 재처리수의 용도별 수질기준에 의하면 친수용수, 하천유지용수, 습지용수 등의 T-N 기준은 10mg/L이하, T-P 0.5mg/L 이하로 해당유역의 수질의 경우 친수용수, 하천유지용수, 습지용수 등의 재이용에 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 하지만, 호소수질기준의 경우 T-N 기준은 0.6mg/L이하, T-P 0.05mg/L 이하일 때 생활환경의 보통등급을 만족하므로 해당유역의 유출수를 인공호수 등에 오랜 기

간 동안 저류시킬 경우에는 부영양화에 따른 수질악화가 우려되므로 이에 대한 저감 방안이 필요할 것으로 판단된다.

유출지하수의 활용은 지하수의 수질과 수량, 주변 환경 등을 고려하여 결정할 수 있다. 2011년 10월 현재기준 하·폐수 처리 재처리수의 용도별 수질기준을 만족하는 것으로 평가되었으며, 유도배수공법에 의하여 발생하는 지하수 배제용량은 지하차도별 428m<sup>3</sup>/day~2,160m<sup>3</sup>/day로 분석되었다. 이는 주변부 현황에 맞추어 다양하게 활용할 수 있는 수질과 수량으로 판단된다. 하지만 현재 건설 중인 지하차도 주변부는 개발 지구로서 앞서 언급한 유출지하수 내·외부 활용에 대한 구체적인 대상을 선정하는 것에 어려움이 있다. 향후, 지하차도 주변부의 변화 양상에 맞추어 대체수자원 활용방안을 재검토하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 또한 유출 지하수의 수질은 계절적으로도 변동하고 또한 도시화와 더불어 악화될 수 있으므로 앞으로 안정적인 수량과 수질 확보를 위하여 유출 지하수에 관한 지속적인 모니터링이 필요할 것이다.

## 5. 지하차도 유도배수공법의 최적 설계방안

### 5.1 유도배수공법 사용에 대한 평가 가이드라인

일반적으로 지하구조물에는 상재하중, 토압 및 수압 등이

작용한다. 또한, 지하수위가 높게 형성되고 지하구조물에 상재하중 및 자중이 충분하게 작용하지 않는 경우 부력에 의한 구조물의 부상(浮上)에 의해 구조물이 커다란 손상을 입을 수 있다.

상기보고서(한국토지주택공사, 2008)에서 본 연구구간의 지하차도 설계 지하수위는 철도, 지하철 및 공동구의 설계기준과 기존사례를 준용하여 지표면 하 1.0m를 기준으로 하였으며, 이 경우 대부분의 U-Type 구간은 부력에 대해 안정성 확보가 어려워 부력에 대한별도 대책 수립이 요구되는 것으로 나타났다. U-Type 구간의 부력에 대한 안정성 확보를 위하여 적정 대책공법으로 지하수 유도배수 공법을 선정, 설계하였으며 현재 시공 중에 있다. 보고서에서는 지하수 대책공법을 선정하기에 앞서 지하차도의 위치, 주변 수위, 지형조건, 하천 현황, 해안도로 현황, 인천항 조위현황 등을 조사 분석하고, 부지조성 이후 지하수위 형성에 영향을 주는 인자로 지표수 유입, 복류수 유입, 인접소하천 홍수위·해수면 간·만 조위, 모세관 현상 영향 등을 검토하였다. 검토 결과를 바탕으로 지하수 대책공법으로 유역에 적합한 유도배수공법을 선정하여 상세 계획을 수립하고 지하차도 배수용량 등을 검토하였으며, 시공관리 방안 및 지하차도 유지관리 기준 수위를 제시하고 있다.

단계	흐름도	
유역현황 분석	<b>현장조사</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>수문조사</li> <li>토질조사</li> </ul>	<b>유역수문특성 평가</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>유출특성</li> <li>함양량특성</li> <li>지하수위특성</li> </ul>
평가기준 선정	<b>지하수위 변동 특성평가</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>대상유역 적용가능 평가                             <ul style="list-style-type: none"> <li>수문학적 지형특성 평가</li> <li>인위적요인 특성 평가</li> </ul> </li> <li>유도배수적용 공법별 변동 지하수위 평가</li> </ul>	<b>구조물 안전성 평가</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>지하수위별 구조물 거동특성 평가</li> <li>부력이 발생하는 한계지하수위 평가</li> </ul>
적용공법별 안전성 평가 및 공법결정	<b>적용 방안 결정</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>공법 적용시 변동되는 지하수위와 구조물 안전 수위 비교</li> <li>안전도에 따라 공법 결정(절대 안전, 조건부 안전, 절대 불안전)</li> <li>유도배수공법 적용시 지하차도 배수용량 검토</li> </ul>	
유지관리	<b>단기간 유지관리</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>준공전후 지속적인 관측필요</li> <li>기간별(우기·건기, 간조·만조) 지하수위 변동특성 평가</li> <li>유도배수시설 청소</li> </ul>	<b>장기 유지관리</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>지속적인 관측필요</li> <li>준공 1~2년 후 관측 자료를 바탕으로 유지관리 재평가 시행</li> <li>재평가에 따라 대안마련</li> </ul>

그림 5. 유도배수공법 적용성 평가 흐름도

본 연구에서는 기 보고서에서 제시하고 있는 지하수 대책 공법 선정 및 적용 등에 관한 상세과정을 분석 정리하고, 본 연구결과를 추가하여 그림 5와 같이 유도배수공법 적용 유무에 대한 평가 가이드라인을 제시하였다.

## 5.2 유도배수공법에 대한 최적유지관리 가이드라인

본 연구에서는 지하차도 유도배수공법 시공 및 관리방안 내용 중 유지, 관리방안 부분에 대하여 다음과 같은 내용을 추가로 제시하고자 한다(한국토지주택공사, 2008).

유도배수공법 적용 후 지하차도 유지관리항목에 유도배수공법에 대한 유지관리가 가장 중요한 항목이 되도록 지하차도 유지관리 지침서에 명기하여야 한다. 지하차도 안전성 확보를 위하여 지하수위, 지하차도 부상여부, 지하수 유출량에 대한 계측기기를 설치한 후 지속적으로 관측하고 관리하여야 한다.

### 5.2.1 지하수위 및 수질 계측관리

- ① 지하차도 유지관리 시 유지관리지침서에 지하차도의 위치별 설계 지하수위 표기도면을 포함시키고 지하수 위계를 설치하여 위치별 측정 지하수위가 측정지점의 설계지하수위를 상회하지 않도록 관리하여야 한다.
- ② 구조물의 중요도를 고려한 안전측 유지관리를 위하여 유지관리 기준수위(경계수위)는 설계 지하수위(한계수위)를 0.5 m 하향조정하는 것으로 계획한다.
- ③ 지하수위 및 수질 측정은 시공전, 시공중, 준공후로 구분하여 실시하여야 하며 준공 후 지하수위 측정은 연속적으로 실시하여 기간별(우기·건기, 간조·만조) 지하수위 변동 특성을 평가할 수 있도록 계획한다.
- ④ 지하수위가 경계수위까지 상승할 경우 그림 6의 흐름도에 따라 배수층, 유공관연결관에 대해 Manhole을 통해 Flushing을 실시하여 Clogging 및 관내 침전물의 제거

거하거나, 배수 층에 우물을 설치하여 강제배수를 실시하는 등 정상화 대책을 수립 이행하여야 한다.

### 5.2.2 침하판 계측 관리

- ① 지하차도 준 공후 지하차도 양측면 벽체 상단에 침하판을 설치하여 준공후 연속하여 계측, 관리하여 부력에 의한 지하차도의 부상여부를 확인하여야 한다.
- ② 변위측정결과 이상 징후가 발견되는 즉시 그림 6의 흐름도에 따라 배수층, 유공관 연결관에 대해 Manhole을 통해 Flushing을 실시하여 Clogging 및 관내 침전물의 제거하거나, 배수층에 우물을 설치하여 강제배수를 실시하는 등 정상화 대책을 수립 이행하여야 한다.

### 5.2.3 유량측정

- ① 유도배수공법에 의하여 배출되는 유출 지하수량은 배수층, 유공관등의 이상 징후를 발견하는 것에 도움을 줄 수 있으며, 배출되는 지하수의 수량 및 수질에 따라 유출지하수의 이용방안이 달라질 수 있다.
- ② 유도배수공법에 의하여 배출되는 유출 지하수량을 측정하기 위한 소규모 탱크를 별도로 설치하고, 유출량을 지속적으로 관측한다.
- ③ 특히, 지표수 유출과 지하수 유출량 차집공간이 같을 경우 지표수 유출의 영향을 받지 않는 지점에 지하수 유출 탱크를 설치하도록 한다.

## 5.3 유도배수공법에 대한 경제성 평가

연구유역에 적용된 유도배수공법은 부력앵커 공법과는 달리 추가 유지관리가 매우 중요한 공법으로 판단되며, 이에 대한 비용 또한 발생할 것으로 평가된다.

기 보고서(한국토지주택공사, 2008)에서는 연구유역의 부력앵커 개략공사비를 70억원, 유도배수공법 개략공사비를 30억원으로 제시하고 있어, 유도배수공법이 안정성만 확보된다면 경제성이 높은 것으로 평가된다. 하지만 앞서 말한바와 같이 유도배수공법은 부력앵커 공법과는 달리 추가 유지관리 비용이 발생한다. 이에 유도배수공법 적용시 추가적으로 발생될 유지관리 비용을 표 14와 같이 개략적으로 산정하여, 부력앵커공법과 경제성 부분을 그림 7과 같이 비교해 보았다.

유도배수공법의 유지관리비용은 크게 단기와 중, 장기로 나눌 수 있다. 유도배수공법 적용 후 단기간동안은 시설에 발생하는 Clogging 및 관내 침전물 등에 대하여 주기적인 Flushing을 통하여 제거할 수 있다. 그러나 이러한 Clogging 및 관내 침전물이 장기간 누적되면 일정 기간 이후 유도배수공법이 제 기능을 수행하지 못할 경우가 발생할 것이며, 이런 시점에는 유도배수공법 외에 다른 정상화 대책을 수립 이행하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 대책 중 하나로 배수층

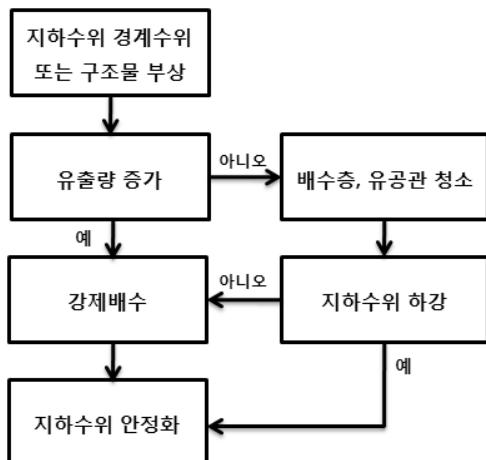


그림 6. 지하수위 관리 흐름도

표 14. 경제성 평가(개략비용)

구분	초기 공사비 (백만)	유지관리								총금액 (백만)
		단기 (초기 10년 기준)				중장기 (10년 기준)				
		항목	개소수	단가 (백만)	금액 (백만)	항목	개소수	단가 (백만)	금액 (백만)	
유도배수 공법	3,000	총금액			716				780	4496
		관측 기기비	38개소	2	76	강제배수 펌프 설치 비용	18개	10	180	
		관측 설비	1개소 x 4공구	10	40	펌프 사용 전기료	10년	20	200	
		펌프 등 전기료	10년	20	200	기타	10년 x 4공구	10	400	
		청소 비용	10년 x 4공구	10	400					
부력앵커	7,000	추가 유지관리 비용 없음								7,000

\* 관측공 : 현재 시공중인 관측공 활용  
 펌프 등 전기료 : 현재 운영중인 하천(대전천, 신이천 등)의 소순환 유지관리 경비로 계산 (25원/ton)  
 펌프용량의 경우 지하차도 No.1~No.4 평지지점 발생 유출량 기준 (2200 ton/day)

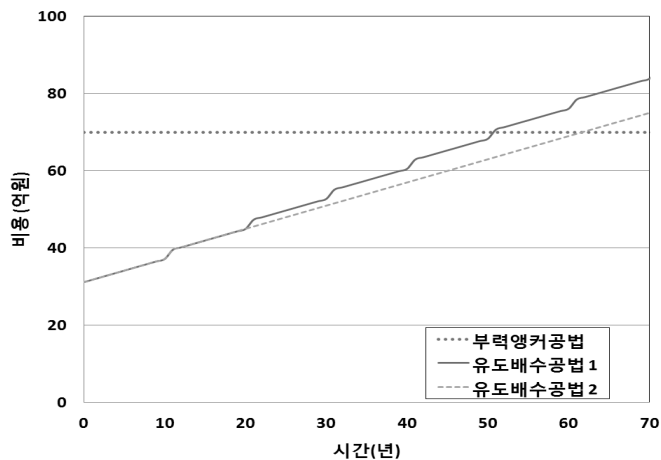


그림 7. 경제성 평가(개략비용)

유역에 우물을 설치하여 강제 배수하는 방법을 제안하였으며, 이러한 강제배수 시설을 설치하기 위하여 필요한 설치경비 및 유지관리 경비를 개략적으로 산출해 보았다.

유도배수시설 설치시 필요한 초기 설치비용은 약 30억 원으로 예상되며, 설치 후 유지관리를 위한 시설에 필요한 경비는 관측기기비, 관측설비비용, 전기료, 청소비용등으로 10년 기준 약 7억 2천만원으로 추정된다. 이후 유도배수시설에 제 기능을 상실하여 추가 대책을 적용할 경우(강제배수) 필요한 경비는 강제배수 펌프 설치비, 전기료, 기타 청소비용 등으로 10년 기준 약 7억 8천만원으로 추정된다.

지하차도 지하수 안정화를 위한 부력앵커 공법과 유도배수 공법의 경제성을 평가하였을 경우, 설치 후 약 20년 기준

으로 부력앵커는 약 70억원, 유도배수공법은 약 45억원의 비용이 발생할 것으로 분석되었다. 유지관리 기간의 증가에 따라 유도배수공법의 비용이 더 증가할 것으로 판단된다. 추가 유지관리비용은 10년 기준 약 6억으로 유도배수 공법 설치 후 60년 뒤 부력앵커 공법 초기 공사비와 비슷한 비용이 발생할 것으로 분석되며(유도배수공법 2), 만약 10년 단위로 강제배수 펌프를 수리하거나 재설치 할 경우(유도배수공법 1)는 50년 뒤 부력앵커공법 비용과 유사한 비용이 발생할 것으로 평가된다. 즉, 장기적인 유지관리 비용을 고려하더라도 연구대상 유역의 경우 부력앵커에 비하여 유도배수 공법의 적용이 경제적으로 더 유리할 것으로 판단된다.

## 6. 결론

본 연구 목적은 국내의 지하차도 구조물 설계유지관리 현황을 조사하고, 인천경제자유구역 영종하늘도시 내에 설계 시공 중인 지하차도 구조물에서의 지하수 유도배수공법의 현장 적용성을 검토하여 지하차도 유도배수공법의 최적 설계방안 및 유지관리 가이드라인을 제시하는 것에 있다.

지하차도 유도배수공법 적용성 평가에 앞서 국내외 지하차도 설계 및 유지관리 현황을 조사하였다. 조사 결과 지하차도 설계에 대한 명확한 기준과 그에 따른 유지관리 지침 등이 마련되어 있지 않아, 지하차도 설계시 지하수의 영향을 많이 받는 지하철 또는 공동구의 기존 설계 사례를 준용하고 있는 것으로 조사되었다. 최근 지형 및 지반조건 등 현장여건에 맞는 합리적인 설계방안과 이에 대한 대책 등 관련 기준

마련을 위한 연구가 일부 진행되고 있으나 지하수 유입/유출량 해석 및 침수해석 등에 국한되어 있는 것으로 분석되었다.

대상지구의 유도배수공법 현장 적용성 검토를 위하여 연구대상구역의 유출특성, 지하수 흐름특성을 분석하고, 지하차도 구조물의 변위 및 안전성을 평가하였다. 또한 평가된 자료를 바탕으로 유도배수공법의 지하수 배제용량을 분석하고, 유도배수공법 유지 관리 방안 중 하나인 강제배수에 대한 적용성을 평가하였으며, 지하차도에서 발생하는 유출량에 대한 대체수자원 활용방안을 검토하였다.

이를 위해 SWMM 프로그램을 이용하여 연구대상구역의 수문학적 특성을 분석하고, 분석된 자료는 지하수 흐름특성 분석을 위한 기초자료로 활용하였다. 3차원 지하수 MODFLOW 프로그램을 이용하여 연구대상구역의 지하차도 구조물 건설에 따른 지하수 흐름 변화 특성을 평가하였으며, 분석 결과 대상구역에 유도배수공법을 적용하였을 경우 U-Type 종점부는 지표하 최소 6.2 m 이상, 시작부는 지표하 최소 3.4m 이상 아래에 지하수위가 형성되는 것으로 평가되었다. 지하차도 구조물의 변위 및 안전성을 평가하기 위하여 FLAC2D 프로그램을 이용하였으며, 구조물의 부력에 대한 안전을 검토 결과 U-Type 종점부는 지표하 5.0m 이상, 시작부는 지표하 최소 1.2m 이상 낮춰졌을 때 안전율을 1.2 이상 보이는 것으로 분석되었다.

SEEP2D 프로그램을 이용하여 유도배수공법에 의해 배수되는 지하수량을 분석하여 설치예정인 유도배수공법 배수관 및 집수정 펌프 규모의 적절성을 평가하였으며, 평가 결과 지하수 유입량은 유공관 통수용량의 30%이하, 집수정 펌프용량의 11%이하로 분석되었다. 본 연구에서는 유도배수공법이 제 기능을 상실할 경우에 대한 대책공법으로 강제배수 방안을 제안하였으며, 대책공법 적용시 효과를 분석하였다. 분석 결과 지하차도별 U-Type 종점부 구간에 펌프용량 175.7 m<sup>3</sup>/day 이상 4개소 지점에서 강제배수를 수행할 경우 지하차도 구조물의 안전성이 확보되는 것으로 평가되었다.

연구대상 구역의 대체수자원 활용방안을 검토하기 위하여 유출지하수 활용방안에 관하여 활용목록 및 활용사례, 수질 기준 등에 대하여 조사하였다. 연구구역의 경우 중수도 수질 기준과 하천수질기준등급을 만족하는 수질을 가지고 있으며, 일정규모의 수량도 확보될 것으로 평가되었다. 하지만, 연구구역 주변부가 아직 개발 지구로서 구체적인 활용방안을 제시하는 것에는 무리가 있다고 판단되며 향후 주변부 변화양

상에 맞추어 주기적인 수위 및 수질 분석을 통하여 대체수자원 활용방안을 재검토 하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 연구대상 구역의 지하수대책공법 중 대표적인 공법인 부력앵커공법과 유도배수공법의 경제성 비교를 실시하였다. 연구구역의 초기비용은 부력앵커공법 약 70억원, 유도배수공법 30억원이며, 유도배수공법의 추가 유지관리비용은 10년 기준으로 초기는 약 3억 6천, 중장기에는 약 3억 2천만원이 소요될 것으로 분석되었다.

여러 가지 요소들에 대하여 대상지구의 유도배수공법 현장 적용성을 검토한 결과 영종하늘도시 내에 설계 시공 중인 지하차도 구조물은 안전성을 충분히 확보하고 있으며, 경제성 또한 높은 공법으로 평가된다.

대상지구의 유도배수공법 현장 적용성 검토 결과를 바탕으로 지하차도 유도배수공법 사용에 대한 평가 가이드라인, 유도배수공법에 대한 최적 유지관리 가이드라인 등을 제시하였다. 이러한 자료는 향후 지하차도 부력방지공법의 가이드라인으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 국토해양부(2010), 「공동구 설치 및 관리 지침」.
2. 국토해양부(2005), 「도로교 설계기준」.
3. 국토해양부(2005), 「인천지역 지하수 기초조사」.
4. 김재엽, 이동진(2010), “대형건축물의 유출지하수 활용을 위한 평가 프로세스구축에 관한 연구”, 「한국건축시공학회 논문집」, 10(3): 91~97.
5. 신중훈(2007), 「연약지반에서 보상기초 개념을 적용한 지하차도 기초설계에 대한 고찰」.
6. 이종태, 강태호, 김정환(1996), “제4회 수공학 워크샵 교재: 도시구역에서의 배수계통 설계를 위한 SWMM모형”, 「한국수자원학회」, 97~204.
7. 한국토지공사(2009), 「Koland 설계기법 보고서」.
8. 한국토지주택공사(2008), 「영종하늘도시 개발사업 특수구조물 건설공사 중 지하수위 예측관리용역 보고서」.
9. 한국토지주택공사(2011), 「인천경제자유구역 영종하늘도시 개발사업 연약지반 침하 안정 관리 용역 보고서」.
10. 한국토지주택공사(2012), 「지하차도 유도배수공법의 현장 적용성 평가, 토지주택연구원 연구보고서」.
11. Huber, W. C. and R. E. Dickinson (1988), “Stormwater Management Model, ver. 4, Part a; User’s Manual EPA-600/3 -88/001a”, U.S. EPA.