

연구논문

터널 굴착시 발생하는 지하수의 유출량 예측에 관한 연구

박선환 · 장윤영 · 강형식 · 최준규* · 양근호

광운대학교 환경공학과, 한국환경정책·평가연구원*

(2007년 9월 10일 접수, 2007년 10월 28일 승인)

A Study on the Prediction of Outflow of Groundwater in Tunnel Construction Areas

Sun Hwan Park · Yoon Young Chang · Hyung Sik Kang · Joon Gyu Choi* · Keun Ho Yang

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University
Korea Environmental Institute*

(Manuscript received 10 September 2007; accepted 28 October 2007)

Abstract

This study investigated the predicted and observed outflow of groundwater which occurred during tunnel constructions. Among the 586 road construction projects from 1986 to 2006, 4 route 25 tunnel construction areas and 26 waste water treatment facilities under construction were studied.

Most of the tunnel outflow prediction in EIA (Environmental Impact Assessment) process have been classified into the 17 types of units depending on the assessor's options, which have not conformed to the request of the residents and non government organizations.

The investigation results showed that the outflow of underground water in tunnel construction areas averaged about $0.133\text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ with the maximum $0.386\text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$, and that the outflow mostly occurred in the early stage of tunnel excavation and diminished gradually. The prediction of outflow of underground water in the EIA process showed excessive results compared to observed outflow, the even 51.7 times.

Consequently for more realistic prediction, current EIA method for prediction of outflow of underground water in tunnel construction areas has to adopt numerical methods coupled with hydraulics and geologic informations from unit methods of present time.

Key words : tunnel construction. groundwater, numerical method

1. 서론

우리나라는 경제성장과 아울러 국민의 환경인식이 높아짐에 따라 도로건설시 생태계 단절과 지형 훼손 등 자연환경의 파괴가 최소화될 수 있도록 터널과 교량 설치가 증가하고 있다(이정호 등, 2005).

특히 도로 터널의 경우 1997년 184개소 150km에서 2006년 932개소 648km로 개소수와 연장이 대폭 증가하였으나(통계청 e-나라지표, <http://www.index.go.kr/gams/stts/jsp/potal/st>), 터널 굴착에 따른 지하수 유출로 인한 지하수위 고갈 및 터널 상부 식생 및 습지 훼손 등이 우려된다는 사유로 주민민원 및 환경단체의 반발을 초래하여 서울외곽순환고속도로 건설사업의 사패산 터널, 두마~반포간 도로 건설사업의 계룡산 터널, 서울강남순환 고속도로 건설사업의 관악산 터널구간 등에 대한 사회적 갈등이 발생되고 있다.

특히, 주민 및 환경단체의 경우 환경영향평가 과정에서 터널공사로 인한 환경피해 예측과 대책을 요구하고 있으므로 본 연구에서는 기존 환경영향평가 과정에서 예측한 결과와 실제 도로 건설시 터널에서 발생하는 지하수 유출수량을 비교함으로써 환경영향평가 예측기법의 정밀성을 향상시키는데 목적이 있다.

II. 연구범위 및 방법

1. 환경영향평가 사례조사

도로건설사업의 환경영향평가서에서 터널 굴착시 발생하는 유출수 예측방법을 파악하기 위하여 환경영향평가 정보지원시스템(<http://eiass.go.kr>)에 공개된 원문 보고서를 조사하였다.

도로건설사업 환경영향평가서 분석은 표 1과 같이 총 586개 사업을 대상으로 하였으며 사업자별로

는 지방자치단체 117개 사업, 지방국토관리청 398개 사업, 한국도로공사 61개 사업, 기타 10개 사업이었으며, 이중 터널이 계획된 사업은 247개 사업, 터널이 없는 사업은 339개 사업으로 나타났다.

조사항목은 사업명, 사업시행자, 사업지역 행정구역, 계획노선 연장, 터널설치 유무, 터널 개수 및 연장, 터널 굴착에 의한 지하수 예측유무, 예측방법 및 지하수 유출 원단위 등을 조사하였다.

2. 터널 유출수 현장 조사

도로 건설시 터널 굴착에 의해 발생하는 지하수 유출수 예측치와 실제 발생량을 비교하고, 유출수 발생 특성을 파악하기 위하여 그림 1, 2, 표 2와 같이 서울~춘천간 고속도로 5개 터널 6개 지점, 춘천~양양간(춘천~동홍천간)고속도로 7개 터널 6개 지점, 평택~음성간 고속도로 1개 터널 2개 지점, 전주~광양간 고속도로 12개 터널 12개 지점 등 총 4개 노선 25개 터널 26개 지점의 터널폐수처리장의 유입 유량을 조사하였다.

III. 조사결과 및 고찰

1. 환경영향평가 분석결과

1) 연도별 환경영향평가서 분석결과

조사된 도로건설 환경영향평가서 총 586개중 터널이 포함된 사업은 247개가 있으며, 이중 터널 공사로 인한 지하수 유출량을 예측한 건수는 총 211건으로서 85.4%의 예측율을 보였으며, 연도별로는 표 3과 같이 1993년부터 시작되어 1997년 이후 대부분 사업이 예측을 실시하고 있다.

이는 1997년 한국환경정책·평가연구원이 설립된 이후 터널 굴착에 따른 유출량 예측에 대한 요구가 있었기 때문으로 사료된다.

표 1. 도로 환경영향평가서 조사 대상사업

(단위 : 건)

총 조사대상 사업수	사 업 자				터 널 유 무	
	지방자치단체	지방국토 관리청	한국도로공사	기 타	유	무
586	117	398	61	10	247	339



그림 1. 터널 유출수 조사대상 고속도로

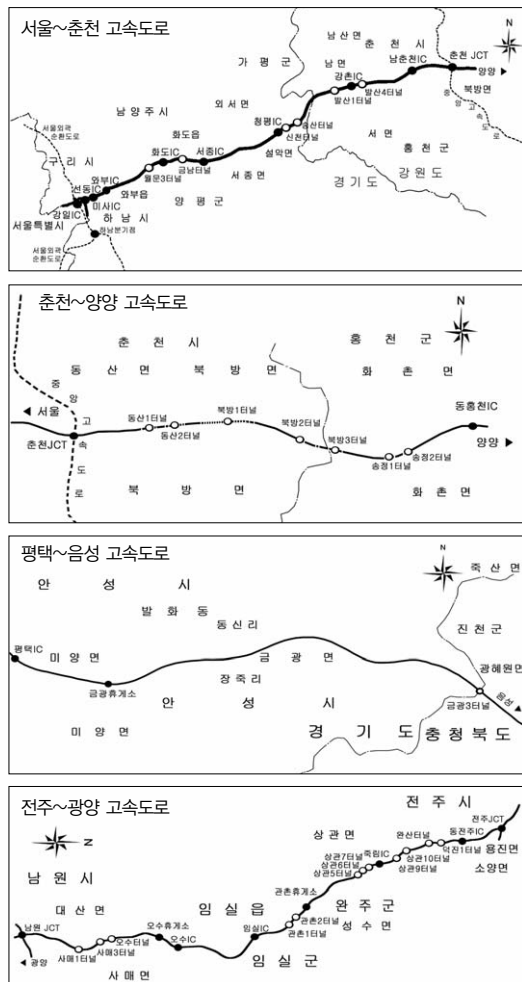


그림 2. 터널 유출수 조사대상 터널 위치도

예측방법에 있어서는 지하수 예측 평가서 211개 중 195개가 원단위에 의한 예측을 실시하였으며, 2001년 이후 미미하지만 모델에 의한 예측을 원단위와 병행 또는 단독으로 수행하고 있어 대부분의 환경영향평가서에서 주민 및 환경단체가 요구하고 있는 터널 굴착시 주변 지하수에 미치는 영향에 대한 평가가 이루어지지 않고 있다.

2) 지역별 환경영향평가서 분석결과

터널이 포함된 도로 건설사업 중 지역간 연결을 목적으로 하고 있는 고속도로를 제외한 사업은 총 195개 사업이며, 이를 지역별로 살펴보면 표 4와 같이 경상남도가 29개 사업으로 가장 많고 경기도, 강원도가 각 27개 사업, 경상북도 23개 사업, 전라북도 17개 사업, 충청북도 16개 사업, 충청남도 15개 사업이었으며, 특별시와 광역시에서는 4개 사업 미만으로 조사되었다. 특히 울산광역시와 제주도는 터널이 포함된 도로건설 사업이 없는 것으로 나타났다.

3) 터널 공사시 지하수 유출원단위 조사결과

1993년부터 2006년까지 환경영향평가서 작성시 사용된 터널 공사시 지하수 유출 원단위는 표 5와 같이 총 17개로 분류할 수 있으며, 원단위 사용범위는 $0.200 \sim 3.000 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 으로 큰차이를 보이고 있다.

환경영향평가서에 사용된 원단위를 사용빈도로 살펴보면 $3.000 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 이 25.13%로 가장 많고 $0.500 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 이 9.74%, $0.600 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 및 $1.680 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 이 각각 8.72%, $1.389 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 8.21%, $1.500 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 7.18%, $1.000 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 6.15%, $1.200 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 및 $2.000 \text{m}^3/\text{km} \cdot \text{min}$ 이 각 5.13% 순이었으며 기타 원단위는 5% 미만으로 사용되었다.

또한 국내 환경영향평가서 작성시 사용하는 터널 공사시 지하수 유출원단위는 일본 建設工事における濁水・泥水の処理工法(小林勲, 昭和58年). 고속도로 터널설계실무자료집(한국도로공사, 1995), 터널공사중 발생하는 오탉수 처리방안연구(한국수자원공사, 1995), 한국환경정책·평가연구원(최상기

표 2. 터널 유출수 현장조사지점 및 기간

사 업 명	터널이름 및 조사위치	터널연장 ¹⁾ (km)	조사기간	조사시 굴착연장(m)	
				최 대	월 평균
서울~춘천 고속도로	신천 1터널 시점	0.93	'05. 1~'06. 1	870.0	109.0
	월문 3터널 시점	0.98	'05. 1~'06. 1	980.0	82.0
	송산터널 시점	1.18	'05. 9~'06. 4	700.0	140.0
	금남터널 시점	0.68	'05. 8~'06. 4	680.0	136.0
	발산 1터널 시점	1.22	'05. 7~'05. 12	1,220.0	200.0
	발산 4터널 시점	0.82	'05. 7~'06. 4	800.0	133.0
춘천~양양 고속도로	동산1터널	1.38	'04. 10~'05. 7	1,348.0	135.0
	동산2터널	2.33	'05. 6~'06. 9	2,200.7	157.0
	북방 1터널-시점 ²⁾	2.29	'05. 8~'06. 1	576.0	96.0
	북방 1터널-중점 ²⁾	1.38	'05. 1~'06. 9	3,174.9	212.0
	북방 2,3터널 ³⁾	3.69	'05. 8~'06. 8	3,589.5	276.0
	송정 1,2터널 ⁴⁾	2.14	'05. 6~'06. 9	824.0	136.0
평택~음성 고속도로	금광 3터널 시점 ⁵⁾	2.28	'05. 1~'05. 9	1,080.0	90.0
	금광 3터널 중점 ⁶⁾	2.28	'05. 1~'06. 1	1,140.0	87.0
전주~광양 고속도로	덕진 1터널	2.08	'06. 12~'07. 8	999.0	111.0
	완산 터널	1.21	'06. 7~'06. 12	585.0	98.0
	상관 10터널	1.22	'05. 12~'06. 4	584.0	117.0
	상관 9터널	1.75	'05. 10~'06. 5	862.0	108.0
	상관 7터널	0.99	'06. 7~'07. 8	810.0	162.0
	상관 6터널	0.49	'05. 12~'06. 4	461.0	92.0
	상관 5터널	1.30	'05. 11~'06. 7	1,272.0	159.0
	관촌 2터널	0.82	'05. 12~'06. 9	762.0	127.0
	관촌 1터널	0.96	'05. 11~'06. 9	873.0	146.0
	오수 1터널	0.74	'06. 12~'07. 8	437.0	62.0
	사매 3터널	0.94	'06. 12~'07. 8	382.0	48.0
	사매 1터널	2.13	'05. 11~'07. 8	526.0	44.0

- 주) 1. 터널폐수처리장 유입예정인 굴착총연장
- 2. 북방1터널 시점부 굴착중 붕괴로 굴착중단후 중점부에서 동시굴착
- 3. 북방 2, 3터널은 폐수처리장 공동운영
- 4. 송정 1, 2터널은 폐수처리장 공동운영
- 5. 굴착후 3개월후부터 측정개시
- 6. 굴착후 1개월후부터 측정개시

등, 2003), 서울 지하철 3,4호선 건설현장 및 유사 터널 공사시 발생하는 유출량 조사결과를 대부분 사용하고 있으나, 평가서 작성자 임의로 평균치 및 최대치를 사용하거나 여기에 여유율을 감안하여 예측하고 있는 것으로 나타났다.

4) 연도별 · 지역별 사용원단위 조사결과

도로사업 터널 굴착시 발생하는 유출수에 대한 원단위 사용빈도를 연도별로 살펴보면 그림 3과 같이 특별한 추세가 발견되지 않았으나, 2005년부터 0.5m³/km · min이 급증하였으며, 이는 한국환경정책 · 평가연구원의 환경영향평가 보완 요구서 연구보고서(최상기 등, 2003)를 참고하라는 의견에

기인된 것으로 사료된다.

지역별로 터널 굴착시 발생하는 유출수에 대한 원단위 사용빈도를 살펴보면 그림 4와 같이 터널 설치 지역의 수리지질학적 특성과 관계없이 평가서 작성자 임의로 판단하여 적용하고 있는 것으로 분석되어 이에 대한 정량화 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5) 환경영향평가지 사용모델

도로건설사업 환경영향평가지 작성시 사용된 모델 종류별로 살펴보면 표 6과 같이 MODFLOW 5개 사업, SEEP/W 6개사업, PENTAGON 3D 1개 사업으로 조사되었으며, 이중 SEEP/W는 2차원 모

표 3. 연도별 터널 지하수 유출량 예측방법

년 도	조사평가서수(건)		터널수(개소)	터널연장 ¹⁾ (km)	지하수예측		예측방법(건)	
	전 체	터널포함			예측건수(건)	예측율(%)	원 단 위	모 델
1986	2	1	28	1,800	-	0.0	-	-
1987	2	2	3	3,070	-	0.0	-	-
1988	3	2	29	18,440	-	0.0	-	-
1989	1	-	-	-	-	-	-	-
1990	7	2	23	22,980	-	0.0	-	-
1991	2	1	4	4,430	-	0.0	-	-
1992	26	4	16	13,091	-	0.0	-	-
1993	17	7	22	27,637	4	57.1	4	-
1994	20	3	3	5,138	-	0.0	-	-
1995	30	12	21	31,292	7	58.3	7	-
1996	38	19	38	55,607	14	73.7	14	-
1997	58	23	55	83,940	23	100.0	20	-
1998	45	16	33	65,643	15	93.8	15	-
1999	48	18	28	42,808	17	94.4	17	-
2000	36	12	18	20,031	11	91.7	11	-
2001	42	16	33	56,852	14	87.5	12	2
2002	49	23	63	99,156	22	95.7	20	1
2003	64	34	113	182,271	33	97.1	32	1
2004	44	20	41	54,250	19	95.0	16	3
2005	45	27	77	99,537	27	100.0	25	2
2006	7	5	15	16,069	5	100.0	2	3
계	586	247	663	904,042	211	85.4	195	12

주) 1. 터널연장은 양방향 터널의 경우 이를 더한 값임.

표 4. 지역별 터널 지하수 유출량 예측방법

년 도	조사평가서수(건)		터널수(개소)	터널연장(km)	지하수 예측건수(건)	예측방법(건)	
	전 체	터널포함				원단위	모 델
서 울	3	1	1	5,044	1	0	1
부 산	11	3	4	14,910	2	2	0
대 구	17	2	2	1,532	1	1	0
인 천	13	1	1	0,658	1	1	0
광 주	9	4	7	9,547	3	3	0
대 전	6	3	5	5,417	2	2	0
울 산	4	-	-	-	-	-	-
경 기	83	27	75	79,918	25	22	3
강 원	52	27	57	89,494	24	23	1
충 북	40	16	25	27,507	14	13	1
충 남	76	15	19	25,964	12	11	1
전 북	52	17	31	27,290	15	15	0
전 남	74	27	56	73,675	21	21	0
경 북	74	23	40	57,400	20	20	0
경 남	68	29	50	73,804	27	24	3
제 주	4	-	-	-	-	-	-
계	586	195	373	492,160	168	158	10

표 5. 터널 지하수 유출량 원단위 및 근거

적용원단위 (m ³ /km · min)	평가서 적용수		적 용 근 거
	건수(건)	구성비(%)	
0.200	8	4.10	- 천안~평택고속도로 음봉1터널, 서울지하철 914공구, 경부고속철도 14-2공구, 전라선 개량공사 1공구 해룡터널, 성남~장호원 3공구 곤지암1터널 지하수 유출량 평균치
0.250	4	2.05	- 강남순환도시고속도로 서초터널, 부산~울산간 고속도로 9공구 무거터널, 성남~장호원 도로건설 정개, 봉현터널, 국가지원 지방도 60호선(동면~장안)4차로 확장공사 두명, 방곡터널, 봉평~내면(보래령)간 도로 보래령터널, 동면~해안간 도로 개량공사 동산령터널, 서포~용현간 교량가설공사 자혜터널, 정관지방산업단지(정관~철마) 진입도로 황박터널 등 8개터널 실시설계 보고서 평균치
0.300	7	3.59	- 小林勳, 昭和58年, 建設工事における濁水・泥水の処理工法, 鹿島出版會의 최소치 0.26m ³ /km · min에 여유율 감안
0.350	3	1.53	- 일본 66개 터널 조사자료와 국내 설계 및 시공실적 감안
0.395	2	1.03	- 건천~현곡간 4차선 축조공사 건천터널 조사자료
0.500	19	9.74	- 최상기, 송영일, 서성철, 2003, 수질분야 환경영향 예측내용과 사후환경 조사결과의 비교 · 분석, 한국환경정책 · 평가연구원
0.550	3	1.53	- 지하철 3,4호선 건설 현장 조사수치 평균치
0.600	17	8.72	- 한국수자원공사, 1995, 터널공사중 발생하는 오탁수 처리방안연구중 수로터널의 설계와 시공중 최소치
1.000	12	6.15	- 한국도로공사, 1995, 고속도로 터널설계실무자료집의 도로 산악터널의 용수량 설계기준 평균치
1.200	10	5.13	- 국내 경험치
1.389	16	8.21	- 한국수자원공사, 1995, 터널공사중 발생하는 오탁수 처리방안연구중 수로터널의 설계와 시공중 최대치
1.500	14	7.18	- 한국도로공사, 1995, 고속도로 터널설계실무자료집중 최대치
1.680	17	8.72	- 지하철 3,4호선 건설 현장 조사수치 최대치
1.800	2	1.03	- 한국수자원공사, 1995, 터널공사중 발생하는 오탁수 처리방안연구중 영천도수로 실측 조사(제3갱) 실측 최대치
2.000	10	5.13	- 지하철 3,4호선 건설 현장 조사수치 최대치에 여유율 고려
2.500	2	1.03	- 지하철 3,4호선 건설 현장 조사수치 최대치에 여유율 고려
3.000	49	25.13	- 한국도로공사, 1995, 고속도로 터널설계실무자료집의 최대치에 여유율 고려
계	195	100.00	

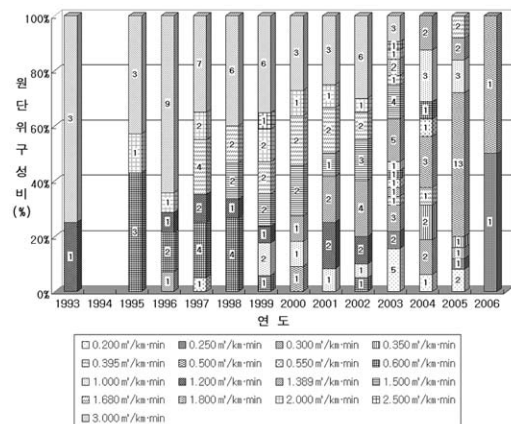


그림 3. 연도별 터널굴착시 유출량 원단위 사용 구성비

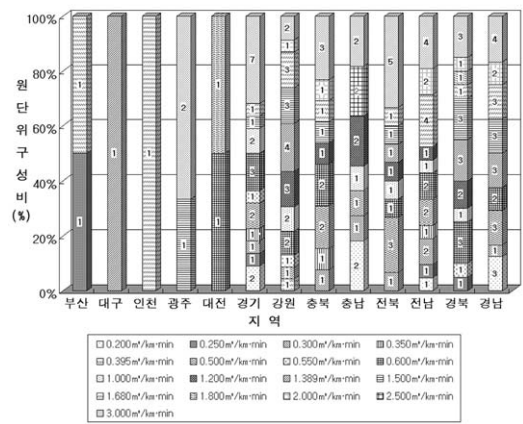


그림 4. 지역별 터널굴착시 유출량 원단위 사용 구성비

표 6. 터널 유출수 적용모델 현황

사용모델명	평가서수	비고
MODFLOW	5	
SEEP/W	6	
PENTAGON 3D	1	
합 계	12	

델로 단순히 터널 공사로 인한 유출량 예측 부문에 사용되었고 MODFLOW 및 PENTAGON 3D 모델은 터널 굴착으로 인한 주변 지하관정에 미치는 영향 예측을 포함하여 사용하고 있다.

6) 해외 터널 공사 사례

일본의 경우 大氣·水·環境負荷の環境影響評價技術檢討會 中間報告書(I)(環境廳企劃調整局編, 平成12年)에 의하면 굴착공사, 터널굴착, 굴할공사 등에 있어서 지하수 배수에 의한 수위저하 지중연속벽등에 의한 수위상승·저하에 대해 영향을 예측토록 요구하고 있다.

일본 하치오지 성터터널은 학자, 기술자 등으로 터널기술검토위원회를 구성하여 지형·지질 조건 및 지하수 등의 조사 결과를 바탕으로 터널 시공 방법을 제안받아 시공한 결과 평균 지하수 유출량은 2.16m³/m/일에 달하는 것으로 보고되었다(국토교통성 관동지방정비국, <http://www.ktr.mlit.go.jp/sobu/jouseki/index.htm>).

또한 신우지강 방수로 터널의 경우에도 학자, 기술자 등으로 신우지강 방수로터널 지하수영향 검토위원회를 구성해 터널 단면내에 지하수의 유출을 차단하는 “watertight 터널”을 채용하고 있다(増田稔, 平成 5年).

2. 터널 유출수 현장조사 결과

1) 터널 공사시 지하수 유출량 현황

현재 공사중인 고속도로 4개 노선 25개 터널 26개 지점을 선정하여 터널 굴착시 발생하는 유출수를 조사하기 위하여 터널폐수처리장 유입수량을 조사하였다.

터널 굴착시 발생하는 유출수는 크게 암벽에서

발생하는 지하수와 굴착장비 가동에 의한 용수가 있으나 굴착장비 가동에 의한 용수 대부분은 터널 굴착시 발생하는 버력 등에 포함되어 유출되고 있어 터널폐수처리장으로는 지하수와 오염물질이 섞여 대부분 유입되고 있다.

터널 굴착시 발생하는 유출량을 조사한 결과 표 7과 같이 서울~춘천간 고속도로 6개 터널에서 평균 0.155m³/km·min, 최대 0.363m³/km·min, 춘천~양양 고속도로 7개 터널에서 평균 0.038m³/km·min, 최대 0.210m³/km·min, 평택~음성 고속도로 1개 터널에서 평균 0.368m³/km·min, 최대 0.665m³/km·min, 전주~광양 고속도로 12개 터널에서 평균 0.130m³/km·min, 최대 0.439m³/km·min으로 지역별로 터널별로 차이가 많이 나타났고, 터널 유출량 최대치는 평균발생량의 1.6~6.0배(평균 3.3배) 높았다.

4개 고속도로 26개 지점 전체에서는 평균 0.133m³/km·min, 최대 0.386m³/km·min가 유출되는 것으로 나타났다.

2) 환경영향평가 예측치와 실제 발생량 비교

환경영향평가서상의 예측치와 실제 최대발생량을 비교하면 표 8과 같이 0.1~400배(평균 51.7배) 차이를 보였으며, 수치모델을 통해 예측한 평택~음성간 고속도로에서는 평균치와 유사한 것으로 나타나 장래 터널 설치지역의 수리지질학적 조사 결과를 바탕으로 수치모델링을 통한 터널 지하수 유출량 예측과 아울러 주변 지하수에 미치는 영향을 함께 검토하여야 할 것으로 판단된다.

3) 터널굴착에 따른 지하수 유출량 변화

(1) 서울~춘천간 고속도로

서울~춘천간 고속도로 건설현장의 6개터널에 대한 매월 지하수 유출량과 터널굴착 길이는 그림 5와 같다.

지하수 유출특성을 살펴보면 금남터널, 송산터널, 발산1터널의 경우 터널 굴착직후 0.364m³/km·min, 0.441m³/km·min, 0.293m³/km·min에서 굴착길이가 길어질수록 감소하여 굴착 완료후

표 7. 터널굴착시 지하수 유출수 조사결과

사업명	터널명	유출량관측결과		터널연장당 유출량(m ³ /km·min)		
		월(m ³ /month)	일평균(m ³ /day)	최소	최대	평균
서울~춘천 고속도로	신천 1터널 시점	10.0~9,502.0(3,401.1)	0.3~306.5(109.7)	0.002	0.455	0.130
	월문 3터널 시점	255.0~2,363.0(1,427.4)	8.5~78.8(47.2)	0.009	0.364	0.123
	송산터널 시점	2,754.0~8,884.0(5,638.5)	88.8~286.6(181.9)	0.143	0.474	0.282
	금남터널 시점	33.0~10,951.0(3,533.1)	1.1~353.3(122.5)	0.018	0.282	0.118
	발산 1터널 시점	290.0~5,063.0(3,018.5)	9.4~163.3(97.4)	0.005	0.293	0.147
	발산 4터널 시점	33.0~10,951.0(4,008.0)	1.1~353.3(129.3)	0.011	0.307	0.128
	평균	-	-	0.031	0.363	0.155
춘천~양양 고속도로	동산1터널	979.0~2,284.0(1,607.1)	38.8~73.7(56.1)	0.028	1.007	0.169
	동산2터널	47.0~140.0(99.2)	1.6~4.7(3.3)	0.001	0.005	0.002
	북방 1터널 시점	71.0~105.0(86.0)	2.3~3.5(2.8)	0.003	0.018	0.007
	북방 1터널 종점	27.0~123.0(73.6)	9.0~20.5(15.9)	0.004	0.041	0.009
	북방 2,3터널	94.0~856.0(372.4)	3.4~27.6(12.2)	0.001	0.035	0.008
	송정 1,2터널	25.0~1,327.0(686.4)	0.8~42.8(23.2)	0.001	0.151	0.034
	평균	-	-	0.006	0.210	0.038
평택~음성 고속도로	금광 3터널 시점	1,393.0~18,040.0(9,144.1)	44.9~581.9(299.1)	0.087	0.425	0.262
	금광 3터널 종점	684.0~32,739.0(16,822.6)	22.1~1,056.1(542.7)	0.083	0.905	0.474
	평균	-	-	0.085	0.665	0.368
전주~광양 고속도로	덕진 1터널	144.0~427.8(233.2)	4.8~13.8(7.6)	0.006	0.152	0.030
	완산 터널	139.5~322.4(270.2)	4.5~10.4(8.9)	0.005	0.129	0.034
	상관 10터널	6.0~134.4(65.9)	0.2~4.8(2.2)	0.000	0.020	0.009
	상관 9터널	27.9~164.3(86.7)	0.9~5.5(2.8)	0.001	0.015	0.006
	상관 7터널	0.1~964.5(305.4)	0.0~31.1(9.9)	0.000	0.105	0.021
	상관 6터널	12.4~166.2(83.4)	0.4~5.4(2.8)	0.003	0.021	0.011
	상관 5터널	145.0~545.5(337.9)	4.8~17.6(11.1)	0.003	0.021	0.010
	관촌 2터널	2.0~8.0(4.6)	0.1~0.3(0.2)	0.000	0.011	0.002
	관촌 1터널	4.0~80.0(44.0)	0.1~2.9(1.5)	0.001	0.006	0.003
	오수 1터널	28.0~3,214.0(932.1)	1.0~160.7(40.5)	0.005	1.018	0.181
	사매 3터널	170.1~7,634.0(4,726.5)	56.7~381.7(176.1)	0.267	1.171	0.626
	사매 1터널	84.9~3,831.6(1,874.9)	2.7~123.6(61.6)	0.154	2.593	0.630
	평균	-	-	0.037	0.439	0.130
전체 평균	-	-	0.032	0.386	0.133	

주) ()는 평균치

0.030m³/km·min, 0.143m³/km·min, 0.005m³/km·min로 감소하며, 신천1터널, 월문3터널, 발산 4터널은 터널 굴착직후 0.074m³/km·min, 0.004m³/km·min, 0.015m³/km·min에서 4~6개월 후 급격히 증가하여 0.201m³/km·min, 0.455m³/km·min, 0.170m³/km·min에 도달 후 감소하다 굴착 완료전 감소하는 경향을 보였다.

신천1터널과 발산4터널의 경우 터널 굴착완료후

1~2개월 동안 0.282~0.268m³/km·min, 0.065~0.307m³/km·min가 유출되어 굴착 공사 시 보다 더 많은 양이 유출되는 경향을 보였다.

특히 터널 대부분의 유출수는 월별로 증가 및 감소세를 보이다가 급격히 증가하고 있는데 이는 여름철 장마와 태풍의 영향을 받은 7월에서 9월까지로 강우로 인한 지하수 함양량 증가와 터널 중간에 존재하는 파쇄대 절리 등에 의한 영향을 받았을 것

표 8. 환경영향평가서상 예측치와 실제 발생량 비교

사업명	터널이름 및 조사위치	실측치(m ³ /km · min)		예측치 (m ³ /km · min)	차이(배)	
		평균	최대		평균	최대
서울~춘천 고속도로	신천 1터널 시점	0.118	0.282	1,389	11.8	4.9
	월문 3터널 시점	0.130	0.455	1,389	10.7	3.1
	송산터널 시점	0.282	0.474	1,389	4.9	2.9
	금남터널 시점	0.123	0.364	1,389	11.3	3.8
	발산 1터널 시점	0.147	0.293	1,389	9.4	4.7
	발산 4터널 시점	0.128	0.307	1,389	10.9	4.5
춘천~양양 고속도로	동산1터널	0.169	1.007	2,000	11.8	2.0
	동산2터널	0.002	0.005	2,000	1,000.0	400.0
	북방 1터널-시점	0.007	0.018	2,000	285.7	111.1
	북방 1터널-중점	0.009	0.041	2,000	222.2	48.8
	북방 2,3터널	0.008	0.035	2,000	250.0	57.1
	송정 1,2터널	0.034	0.151	2,000	58.8	13.2
평택~음성 고속도로	금광 3터널 시점	0.262	0.425	0.304	1.2	0.7
	금광 3터널 중점	0.474	0.905	0.429	0.9	0.5
전주~광양 고속도로	덕진 1터널	0.030	0.152	1,389	46.3	9.1
	완산 터널	0.034	0.129	1,389	40.9	10.8
	상관 10터널	0.009	0.020	1,389	154.3	69.5
	상관 9터널	0.006	0.015	1,389	231.5	92.6
	상관 7터널	0.021	0.105	1,389	66.1	13.2
	상관 6터널	0.011	0.021	1,389	126.3	66.1
	상관 5터널	0.010	0.021	1,389	138.9	66.1
	관촌 2터널	0.002	0.011	1,389	694.5	126.3
	관촌 1터널	0.003	0.006	1,389	463.0	231.5
	오수 1터널	0.181	1.018	0.312	1.7	0.3
	사매 3터널	0.626	1.171	0.312	0.5	0.3
	사매 1터널	0.630	2.593	0.312	0.5	0.1
평균		0.133	0.386	1,327	148.2	51.7

으로 추정된다.

(2) 춘천~양양간 고속도로

춘천~양양간 고속도로 건설현장의 6개 터널에 대한 매월 지하수 유출량과 터널굴착 길이는 그림 6과 같다.

지하수 유출특성을 살펴보면 조사대상 터널모두 터널굴착 초기에 0.004~1.007m³/km · min에서 굴착연장이 길어질수록 감소하여 굴착 완료후 0.001~0.028m³/km · min로 감소하는 것으로 나타났다.

북방2, 3터널과 송정 1, 2터널의 경우 굴착 중간에 유출량 증가가 이루어졌으나 이는 2개의 터널 공사

가 동시에 진행되지 않고 중간에 인근 터널 공사가 이루어져 이들 지하수가 유입됨에 기인된 것이다.

(3) 평택~음성간 고속도로

평택~음성간 고속도로 건설현장의 금광3터널 시 · 중점부의 지하수 유출량과 터널굴착 길이는 그림 7과 같다.

지하수 유출특성을 살펴보면 금광3터널 시점부와 중점부의 경우 터널 굴착직후 0.087m³/km · min, 0.085m³/km · min에서 터널 굴착 길이가 길어질수록 증가하여 터널 굴착 완료 3~6개월전 0.425m³/km · min, 0.905m³/km · min로 최고치를 보인후 감소하여 터널굴착 완료후 0.214m³/

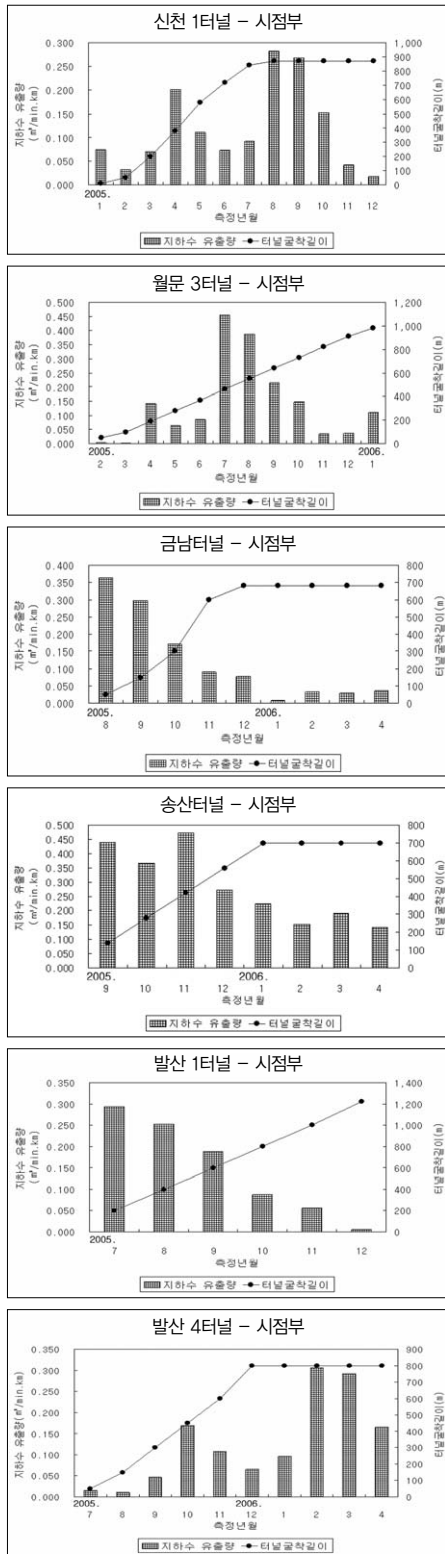


그림 5. 서울~춘천 고속도로 노선내 터널 유출수 발생량 변화

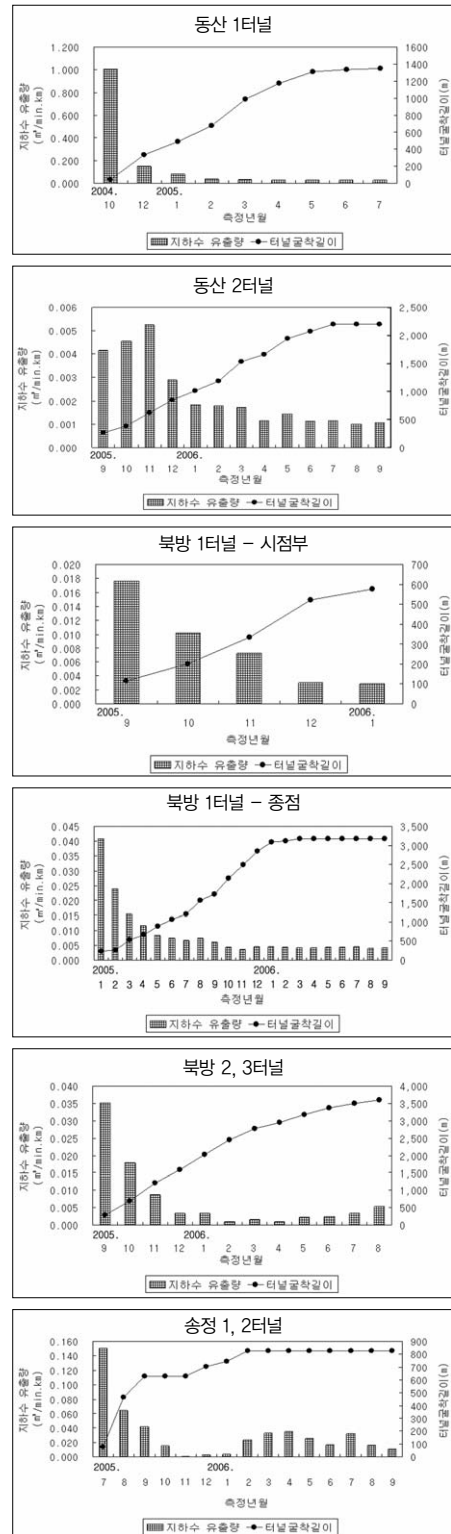


그림 6. 춘천~양양고속도로 노선내 터널 유출수 발생량 변화

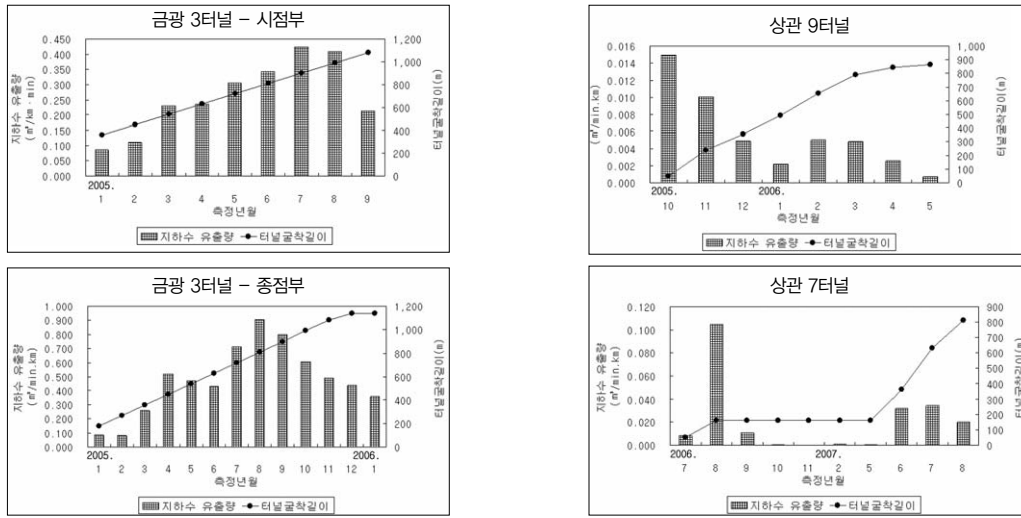


그림 7. 평택~음성고속도로 노선내 터널 유출수 발생량 변화

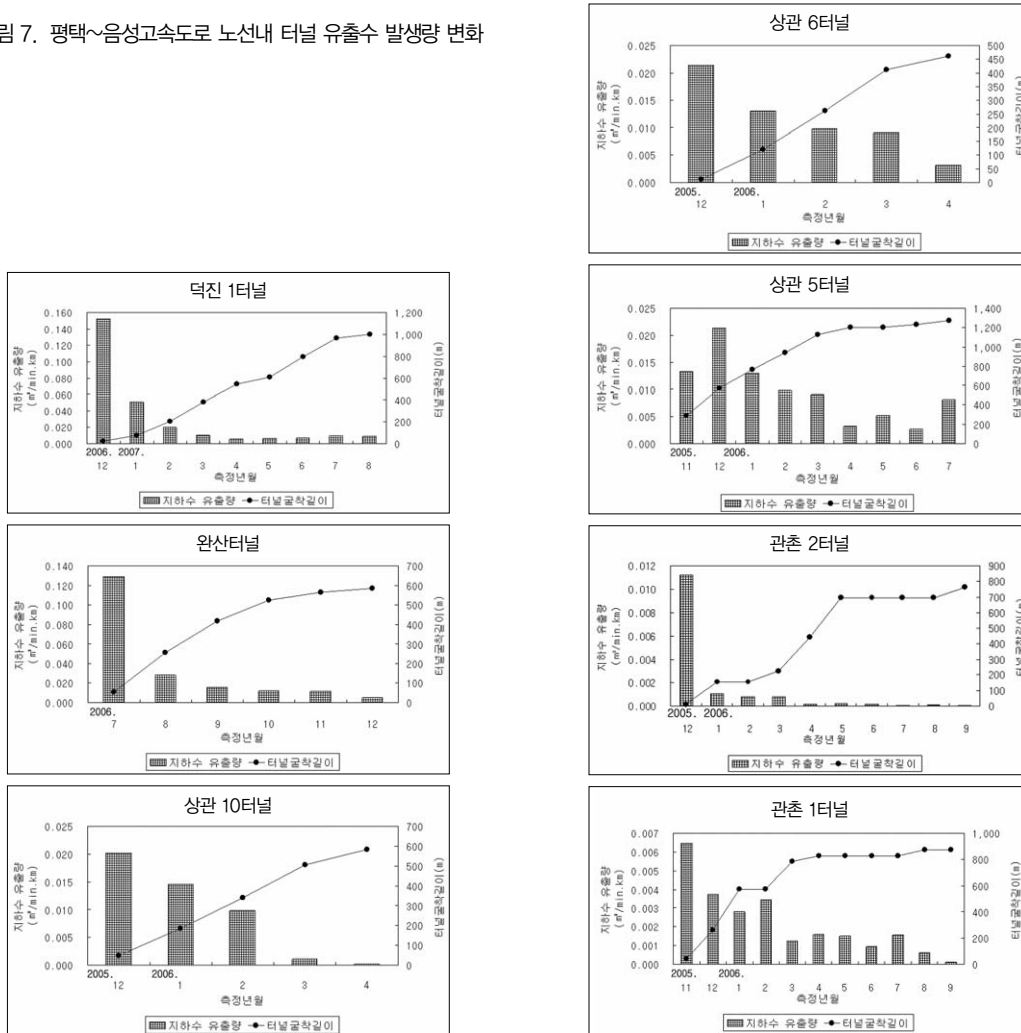


그림 8. 전주~광양고속도로 노선내 터널 유출수 발생량 변화

그림 8. 계속

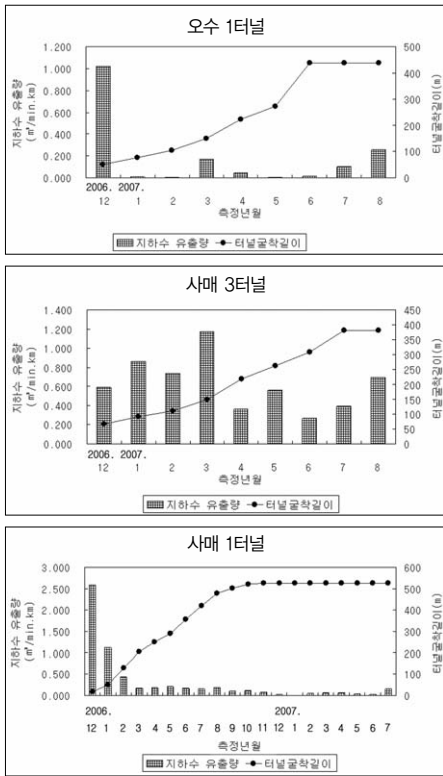


그림 8. 계속

km · min, 0.358m³/km · min로 감소하는 경향을 보였으며, 터널 연장은 동일하나 굴착기간이 긴 금광터널 종점부에서 유출수 발생이 큰 것으로 나타나 터널 굴착 기간이 길수록 유출수 발생이 큰 것으로 나타났다.

(4) 전주~광양간 고속도로

전주~광양간 고속도로 건설현장의 12개 터널에 대한 매월 지하수 유출량과 터널굴착 길이는 그림 8과 같다.

지하수 유출특성을 살펴보면 사매3터널을 제외한 모든 터널 공사 현장에서 터널 굴착 초기에 0.006~2.593m³/km · min에서 굴착길이가 길어질수록 감소하다 터널 굴착 완료후 0.000~0.255m³/km · min으로 감소하는 경향을 보였으며, 사매 3터널의 경우 굴착 직후 0.588m³/km · min에서 굴착완료후 0.695m³/km · min으로 월별 변화가 적은 것으로 나타났다.

IV. 토의 및 결론

본 연구는 1986년부터 2006년까지 586개 도로 사업에 대한 환경영향평가서를 이용하여 평가 과정에서 이루어지는 터널 굴착시 발생하는 유출수 예측방법을 고찰하고 현재 공사중인 4개노선 25개 터널 26개 터널폐수처리장 유입수 발생량을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 환경영향평가 과정에서 터널 유출수 예측은 대부분 원단위를 이용하였으며, 연도별로는 1993년부터 시작되어 1997년 이후 대부분의 평가서에서 다루어지고 있다.

2. 환경영향평가 과정에서 사용하고 있는 터널 유출수 원단위는 총 17개로서 0.2~3.0m³/km · min의 사용범위를 보였으며, 터널설치 지역의 수리지질학적 조건을 고려하지 못하고 평가자가 임의로 선정하여 사용하고 있다.

3. 실제 터널 굴착현장에서의 유출수 발생량을 조사한 결과 평균 0.133m³/km · min, 최대 0.386m³/km · min로 나타났으며, 실제 환경영향평가서상의 예측치와 최대 발생량을 비교하면 0.1~400배 (평균 51.7배) 과다하게 예측하고 있는 것으로 나타났다.

4. 터널 공사시 월별 유출량 변화를 살펴보면 대부분의 터널에서 터널 굴착 초기에 유출수 발생이 크고 시간이 경과함에 따라 감소하는 추세를 보였으나, 일부 터널에서 시간이 경과함에 따라 유출수 발생량이 증가한 곳도 있어 터널구간내 파쇄대절리 등에 의한 영향을 받았을 것으로 추정된다.

5. 환경영향평가 과정에서의 터널 굴착에 의한 유출수 예측은 현재의 원단위에 의존하고 있으나 주민 및 환경단체에서 요구하고 있는 주변 지하수 영향검토를 위해서는 터널 설치지역의 수리지질학적 조건과 지하수 이용실태 조사를 실시한후 수치 해석 모델기법을 이용하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 “토양지하수복원관리 환경기

술교육혁신지원사업단”의 지원을 받은 과제입니다.

참고문헌

이정호, 이영준, 이수재, 2005, 터널로 인한 지하수
영향 저감방안 연구, 한국환경정책·평가연
구원.

최상기, 송영일, 서성철, 2003, 수질분야 환경영향
예측내용과 사후환경 조사결과의 비교·분
석, 한국환경정책·평가연구원.

한국도로공사, 1995, 고속도로 터널설계실무자료집.
한국수자원공사. 1995, 터널공사중 발생하는 오탉
수 처리방안연구.

小林勳, 昭和58年, 建設工事における濁水・泥水の
處理工法, 鹿島出版會.

増田稔, 四國技報 第3卷5号 平成 5年, 新宇治川放
水路トンネル工事の現況報告.

環境廳企劃調整局編, 平成12年, 大氣・水・環境負
荷の 環境影響評價技術檢討會 中間報告書
(I).

국토교통성 관동지방정비국, <http://www.ktr.mlit.go.jp/sobu/jouseki/index.htm>

환경영향평가정보지원시스템, <http://eiass.go.kr>

통계청 e-나라지표, <http://www.index.go.kr/gams/stts/jsp/potal/st>

최종원고채택 07. 11. 06