

지하수 유출수 조건을 고려한 주방식 지하구조의 배수시스템 연구

이철호¹ · 현영환² · 황제돈³ · 장수호^{4*}

¹정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 전임연구원

²정회원, ㈜에스코컨설턴트, 차장

³정회원, ㈜에스코컨설턴트, 사장

⁴정회원, 한국건설기술연구원 지반연구소 연구위원

A study on drainage system of the room-and-pillar underground structure considering groundwater conditions

Chulho Lee¹, Younghwan Hyun², Jedon Hwang³, Soo-Ho Chang^{4*}

¹Research Specialist, Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²ESCO Consultant & Engineers Co., Ltd, Deputy head

³ESCO Consultant & Engineers Co., Ltd, President

⁴Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Reseach Fellow

ABSTRACT: The room-and-pillar construction method for underground space is adopted from the room-and-pillar mining method which is one of the most popular underground mining method in the world. Drainage system in the room-and-pillar underground construction method can be similar with the concept of single shell in tunnel because additional reinforcement except the TSL (thin spray-on liner) is not applied in the room-and-pillar construction method. That is, to decrease groundwater level and maintain safety in tunnel, the drainage pin hole inside lining (shotcrete) can be used. However, if total amount of outflow in the underground structure is relatively small or groundwater is not detected, such drainage system will not be useful and cause additional construction cost. In this study, outflow of conventional tunnels in South Korea was investigated and the criteria to determine whether the drainage pin hole is effective was suggested. And the guided drainage system was suggested when drainage pin hole was not applied in the room-and-pillar construction method.

Keywords: Room-and-pillar underground structure, Drainage system, Shotcrete, Tunnel

초 록: 주방식 지하구조물은 주방식 채광법의 개념을 이용한 지하구조물 건설 방법이다. 주방식 공법에서 배수는 터널의 싱글셸 개념과 유사하며, 주방식 지하구조의 장기적인 안정화를 위해서 복공 뒷면의 지하수를 배수하여 지하수위를 사전 저감시키는 방식이 유효하다. 그러나 배수공에 의한 지하수위 저감 방식은 지하 굴착시 굴착면에 지하수압이 작용하지 않거나 발생 용수량이 크지 않다면 배수공은 필요치 않게 된다. 본 연구에서는 지하 굴착시 발생용수량에 따른 배수공 적용 유무를 검토하여 주방식 지하구조에서 배수공 적용 유무를 판단하는 기준을 제안하고자 하며, 배수공 적용이 불필요한 구간에 대해서는 슛크리트를 통한 유도 배수시스템을 제안하고자 한다.

주요어: 주방식 지하구조, 배수시스템, 슛크리트, 터널

1. 서 론

터널에서의 누수는 미관을 손상할 뿐만 아니라, 콘크리트라이닝의 열화나 터널 내 설비 기능 저하, 터널 내 노면 상태저하(미끄러움, 더러움), 한랭지의

*Corresponding author: Soo-Ho Chang
E-mail: sooho@kict.re.kr

Received November 10; Revised November 19;
Accepted November 20

겨울철 동결 유발 등의 터널 유지관리상에도 많은 문제를 야기 시킨다. 국내의 일반적인 교통용 터널에서는 더블셸 개념을 채택하고 있다. 이러한 더블 셸 개념의 터널은 슛크리트와 콘크리트 라이닝(2차 복공) 사이에 방수 슈트 및 용수상황에 따라 배수재를 시공하여 콘크리트 라이닝을 침출수로부터 보호하고 있다.

주방식 지하구조물(Lee et al., 2013a; Lee et al., 2013b)은 주방식 채광법(Chang et al., 2015)의 개념을 이용한 지하구조물 건설 방법으로 지반 보강용 지보재로서 슛크리트와 박층 뿔칠 라이너(Thin Spray-on Liner, 이하 TSL)를 채택함에 따라 별도의 콘크리트 라이닝을 시공하지 않는다(Chang et al., 2015). 이러한 관점에서 터널의 싱글셸 개념과 유사하며, 주방식 지하구조의 장기적인 안정화를 위해서 복공 뒷면의 지하수를 배수하여 지하수위를 사전 저감시키는 방식이 유효하다(Fig. 1). 그러나 배수공에 의한 지하수위 저감 방식은 TSL 복공 뒷면의 지하수압을 낮추는 확실한 방법일수는 있으나, 지하 굴착시 굴착면에 지하수압이 작용하지 않거나 발생 용수량이 크지 않다면 지하수위 저감의 목적으로 설치되는 배수공은 필요치 않게 된다. 또한 배수공 설치로 인한 시공성이 복잡해지고, 관련 재료비와 설치비로 인해 공사비가 증가하며, 배수공 설치를 위해 천정부에 천공에 따른 천정부 안정성 또한 낮아질 수 있다. 따라서 본 연구에

서는 지하 굴착시 발생용수량에 따른 배수공 적용 유무를 검토하여 주방식 지하구조에서 배수공 적용 유무를 판단하는 기준을 제안하고자 하며, 배수공 적용이 불필요한 구간에 대해서는 슛크리트를 통한 유도 배수시스템을 제안하고자 한다.

2. 수발공과 배수관을 이용한 배수시스템 검토

수발공과 배수관을 이용한 배수시스템으로는 구조물 주변 지하수의 사전 배수처리 방안으로 주방식 지하구조물 주변에 배수공을 설치하여 배수공에 의한 지하수위를 사전 저감시키는 방식의 배수계획이 가능하다(KICT, 2013). Fig. 2는 주방식 지하구조물 외부에 배수공을 설치하여 구조물 외부에서 지하수위를 저감시켜 지하구조 내부로 유입되는 것을 사전 차단하는 방식이며 Fig. 3은 주방식 지하구조 내부에서 천정부에 배수관을 설치하여 지하수를 배수시키는 공법에 대한 개념도이다. 또한, 구조물 내부의 지하수 배수처리 방안으로는 수발공(drainage pin hole)을 설

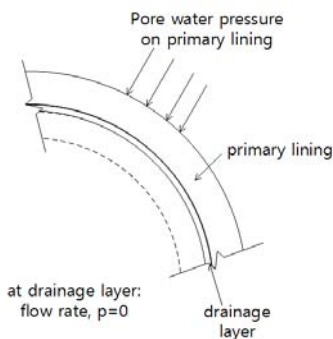


Fig. 1. Drainage system of the secondary tunnel lining (Shin et al., 2013)

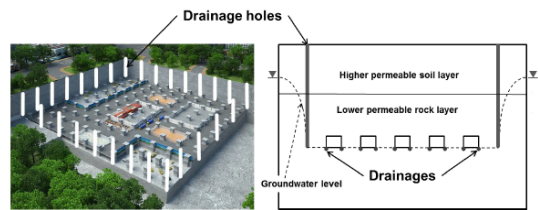


Fig. 2. Drainage system using drainage holes at the outside of underground structure (KICT, 2013)

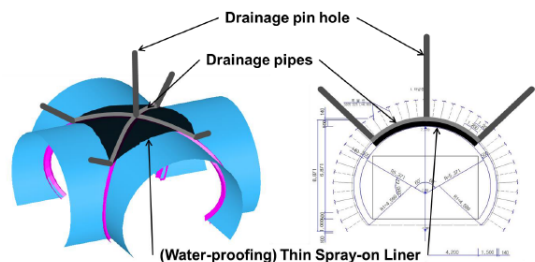


Fig. 3. Drainage system using drainage holes at the inside of underground structure (KICT, 2013)

치하고 이를 배수관(drainage pipes)으로 연결하여 바닥부에 설치된 배수공을 통해 유도하는 방안이 가능하다(KICT, 2013). 그런데, 이러한 방식은 사전에 확실하게 지하구조물로 유입되는 지하수를 사전 처리할 수 있으나 지하구조물의 기본 용수량에 관계없는 보수적인 배수 설계 방식으로 시공성 및 경제성면에서는 다소 과다설계를 야기할 수 있다.

주방식 지하구조에는 별도의 라이닝이나 숏크리트 타설 없이 구조 벽면에 TSL을 시공하고 천정부에는 록볼트를 시공하게 된다. 만약 주방식 지하구조 건설 시 발생용수량을 고려하지 않고 일률적으로 수발공을 이용한 배수 시스템을 적용할 경우, TSL 배면에 작용하는 수압에 대해서는 사전 대처가 가능하나 전체적인 시공성과 경제성면에서 어려움이 예상된다.

3. 유출수량별 대책공법 검토 및 유출수 실측사례 검토

일본 Geo-Front 연구회(Geo-Front, 2000)의 Single Shell 터널의 방수구조에 따르면 토사-연암지반의 터널에서 시추조사에서 나타난 지하수위 등으로부터 예상되는 지하수두와 실제 터널 유출수량과의 관계를 Fig. 4와 같이 제시한 바 있다. Fig. 4에서는 터널내부로 유출되는 유출수량이 0.05 m³/min 이하인 경우 별도의 보조공법이 적용되지 않은 것을 알 수 있다. 또한 터널 유출수량이 0.05 m³/min 이상인 경우, 대부분의 터널에서 보조공법으로 지하수 배제공 혹은 지수공을 설치하여 지하수위 저하를 도모하는 등 굴착 현장 용수량에 대해 고려하고 있다. 따라서 본 연구에서는 주방식 지하구조 굴착시 유출수량 0.05 m³/min을 배수공 적용 유무를 판단하는 기준으로 고려하고자 한다.

국내 지하 굴착시 발생하는 용수량을 검토하고, 앞서 제시한 배수공 적용 기준과 비교하기 위해 한국도로공사(KEC, 2007)에서 보고한 ‘터널 유출수 종합 관리대책’에서 ‘터널 유출수 수질검사결과’를 인용하여 분석하였다. 한국도로공사의 ‘터널 유출수 수질검

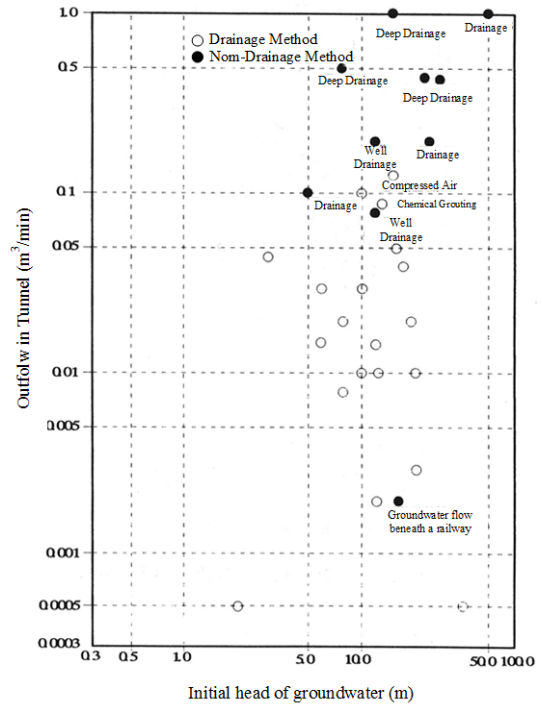


Fig. 4. Relationship between head of groundwater and outflow in tunnel (modified from Geo-Front (2000))

사결과’는 국내 336개의 터널을 대상으로 조사되었으며 이중 유출수 실측사례가 있는 296개 터널에 대해서 검토하였다. 조사된 국내터널 유출수 자료 중 터널내 유출수가 전혀 측정이 되지 않은 사례가 존재하는데 이는 터널의 위치가 지하수위보다 높거나 터널 굴착으로 인해 지하수위가 저하된 경우이거나 당초 터널의 위치가 지하수위 하에 계획되었으나 지반조건이 양호하여 지하수가 터널내부로 유입되는 않아 지하수위 저하가 발생하지 않은 경우로 판단하였다. Fig. 5는 조사된 터널의 연장과 터널내 유출수 관계를 나타낸다. 그림에서 나타나듯이 연구에서 고려하는 보조공법 적용 기준점인 0.05 m³/min 이상인 터널은 15개 소로 나타났다.

조사 시점이 2007년도임을 고려하면 2007년 이전 완공된 터널이 5개소 존재하며 이들 터널은 운영 중 측정된 지하수량으로 기준점인 0.05 m³/min 이상을 보였고 2007년 이후 완공된 익산-장수 만덕터널 외

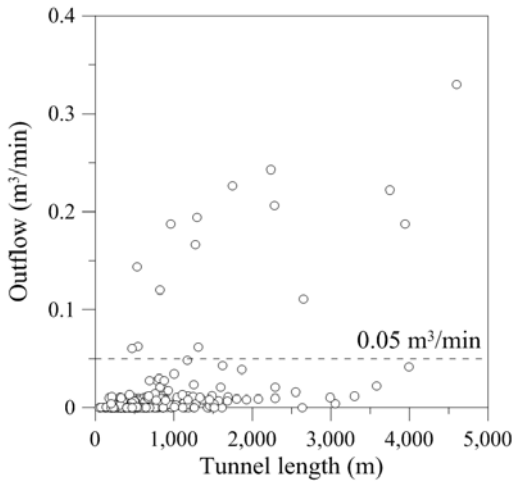


Fig. 5. Outflow depending on tunnel length in South Korea

9개소에서만 기준점인 $0.05 \text{ m}^3/\text{min}$ 이상 유출수량을 보였다. 이는 2007년 이후 완공된 10개소 터널은 굴착이 완료된 직후이거나 굴착중인 터널에서 측정한 자료로 완공 후에는 지하수위가 안정화 되어 지하수 유출량이 $0.05 \text{ m}^3/\text{min}$ 이하로 감소되었을 것으로 판단된다. 하지만 지속적이거나 일시적이거나 296개소의 유출수 실측사례 중 터널 유출수가 $0.05 \text{ m}^3/\text{min}$ 이상 발생하는 터널은 총 15개소로 전체 터널 조사 사례 중 약 5% 비율을 차지하여 조사 대상에 비해 매우 작은 수를 차지하고 있는 것을 알 수 있다.

본 연구의 조사사례는 국내 터널에 대한 전수조사가 아닌 일부 터널에 대해 국한되어 있으며 터널의 유출수는 터널 통과지역의 지형이나 지질, 지질구조 등에 의해 큰 차이가 발생할 수 있다. 하저구간 및 하수 근접통과구간 등의 특수환경이 아닌 일반적인 지역에서는 조사 결과와 유사할 것으로 판단되므로 비교적 양호한 지반에 적용이 가능한 주방식 지하구조물의 지하 굴착시 유출수도 $0.05 \text{ m}^3/\text{min}$ 이하일 것으로 판단된다. 따라서 보조공법을 적용하는 않는 주방식 지하구조 배수시스템이 우리나라 조건에서는 유효하며 유출수가 많은 지역에 대해서만 필요시 수발공을 적용한 배수시스템을 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4. 주방식 지하구조의 배수시스템 제안

4.1 주방식 지하구조의 배수시스템 개요

주방식 지하구조물이 적용되는 지질 및 지리환경적인 요인에 따라 굴착에 의한 용수량은 크게 차이가 있을 것이다. 이때 용수량에 관계없이 적용될 수 있는 배수시스템 계획은 용수량이 많은 상황을 기준으로 하여 보수적인 설계로 이어지고 이로 인해 과다설계로 이어 질수밖에 없다. 따라서 수발공 적용을 되도록 지양하여 과다설계가 아닌 경제적 설계를 도모하고 바닥배수 방식을 고려함으로써 합리적인 지하구조 배수시스템을 고려하고자 하였다. 본 연구에서는 주방식 지하구조의 배수 시스템은 천정부와 측벽에서 발생하는 용수를 배수하는 상부배수(Fig. 6)와 바닥부에서 발생하는 용수를 배수하는 하부배수 부분(Fig. 7)으로 나누어 고려하였다.

주방식 공법을 이용한 지하구조 시공에는 롬 굴착 후 천장과 측벽에 슛크리트가 적용되며 슛크리트는 투수재료로 굴착배면의 용수는 슛크리트 균열부위를 통해 표면으로 누수되거나 슛크리트를 통해 롬 바닥부로 유도된다. 바닥부로 유도된 지하수는 암주 측벽에 설치된 유공관을 통해 집수되며 집수된 지하수는 연결배수관을 통해 롬바닥부에 설치된 맹암거로 연결되도록 한다. 맹암거로 유도된 지하수는 HDPE 유공으로 집수되며, 맹암거에는 집수정을 설치하여 유지관리가 가능하도록 하였다(Fig. 8).

하부 배수방식 중 배수관을 쓰는 형태는 롬 길이방

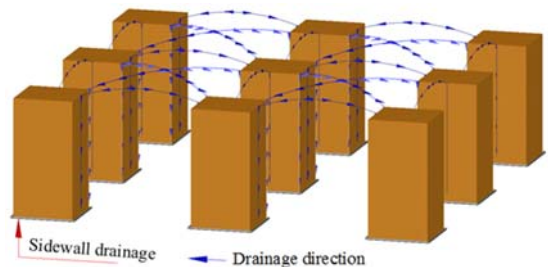


Fig. 6. Drainage system at the upper side

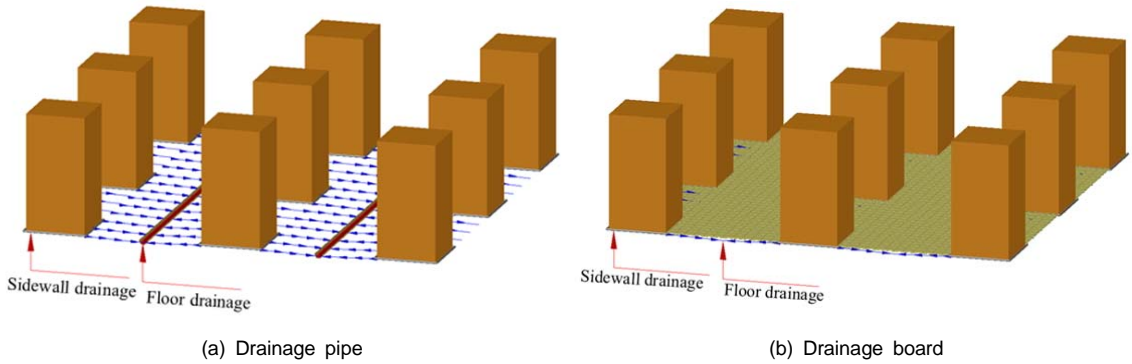


Fig. 7. Considered drainage system at the lower side

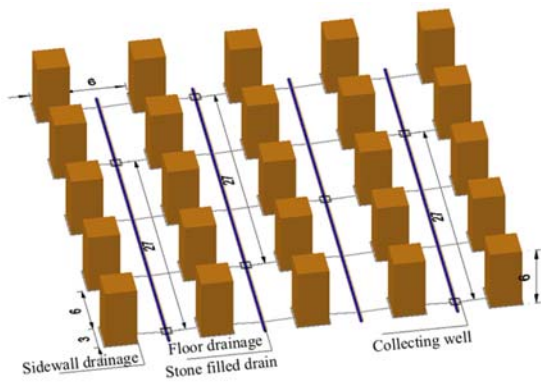


Fig. 8. Drainage system using drainage holes at the inside of underground structure

향으로 배수관을 배치할 수 있으므로 용출수가 작은 지역에 적용이 가능하고 배수관 형식보다는 시공성과 경제성이 유리할 것으로 보인다. 배수관형은 바닥 진

면에 배수관을 적용하므로 용출수가 많은 지역에 유리하지만 배수관 형식에 비해 상대적으로 시공성 및 경제성이 불리할 것으로 판단된다.

앞서 설명한 상부와 하부 배수방식을 종합하여 배수에 고려될 수 있는 배수재의 종류와 역할을 Fig. 9에 나타냈다. 주방식 공법에서 TSL은 부착력과 재료의 인장력으로 지보재 성능을 발휘하는 재료로서 (Chang et al., 2015) TSL은 슛크리트 위에 설치하는 보강재, 마감재, 방수재로서 중요한 역할을 수행하게 되므로 슛크리트와의 부착이 매우 중요하다. 슛크리트 균열부위를 통해 표면에 누수가 발생되면 TSL과 슛크리트의 부착강도를 저하시켜 들뜸 현상이 발생할 수 있으므로 TSL 시공전 슛크리트 표면으로 배출되는 지하수는 드레인 보드를 설치하여 해결한다.

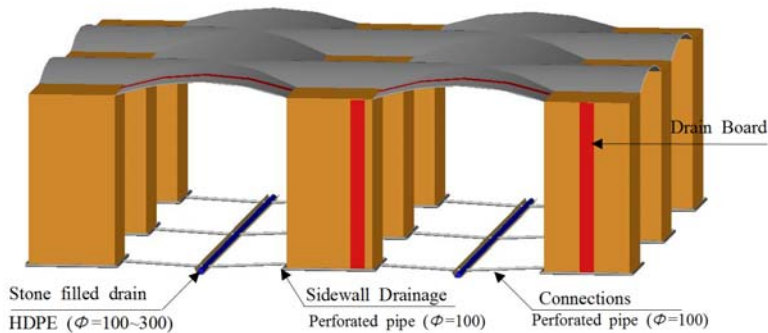


Fig. 9. Schematics of drainage system on room-and-pillar underground structure

4.2 주방식 지하구조의 배수시스템 배수용량 검토

일반적으로 지하 굴착에 따른 배수시스템의 용량 검토는 유출량과 통수유량을 검토한다. 유출량은 지반 및 지리환경적인 요인을 고려하여 지하 굴착시 유출되는 지하수 유출량을 설계기준 및 실측자료를 참고하여 결정하며 굴착연장을 고려하여 산정하게 된다. 관로의 통수용량은 자연유하관로에서의 유속에 의한 관로내 평균유량 산정 공식(Eq. (1))으로 산정되며 여기서 평균유속은 다음 Eq. (2)와 같은 Manning 식이 적용된다.

$$Q_d = AV \tag{1}$$

$$V = (R^{2/3} I^{1/2})/n \tag{2}$$

여기서, Q_d 는 통수용량(m^3/sec), A 는 유수의 단면적 (m^2), V 는 평균유속(m/sec), n 은 조도계수, R 은 경심 (A/P), P 는 유수의 윤변(m), I 는 동수경사를 나타낸다. 본 연구에서는 지하 굴착에 따른 지하수 유출수량과 관로를 통해 자연유하 할 수 있는 유량인 통수유량을 비교하여 제안된 배수시스템의 적정성을 판단하였다.

배수시스템의 배수용량검토를 위해서는 주방식 지하구조의 굴착 구배(동수경사) 및 적용연장 등이 결정된 이후 계산이 가능하다. 하지만, 본 연구에서는 주방식 지하구조에 대한 정확한 연장이나, 굴착 구배 등이

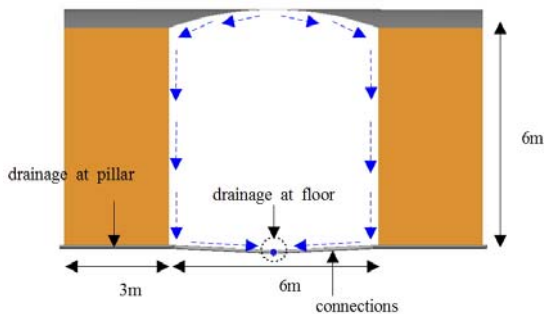


Fig. 10. Assumed unit shape of room-and-pillar underground structure

실제로 계획되어 있지 않다. 따라서 동수경사, 굴착연장, 배수관경 및 유출수량에 따른 배수용량 분석이 가능하도록 몇가지 가정을 포함하여 분석을 수행하였다. 바닥 배수관 관경은 100 mm, 200 mm, 300 mm를 고려하였으며 주방식 지하구조의 굴착구배는 0.001 ~ 0.02로 가정하였다. 지하구조의 총 연장은 0.009 ~ 2.0 km, 비유출수량은 0.05 ~ 0.3 $m^3/min/km$ 로 가정하였다. 이 때 주방식 지하구조로 고려한 주방식 지하구조의 형상 기준은 Fig. 10과 같이 암주와 암주 사이의 거리는 6 m이고 암주의 높이는 6 m, 암주폭은 3 m이다.

배수관경별 유수단면적, 윤변, 경심은 Table 1과 같다. 유수단면적은 배수관경 높이의 50%를 유지하면서 유출되는 것으로 가정하였다.

가정한 요소별로 동수경사 및 배수관경별 통수유량은 Eq. (1)에 의해 동수경사가 급할수록, 배수관경이 클수록 증가하는 것으로 나타나며 다음 Fig. 11과 같다. 배수관 200 mm 적용시 통수용량은 0.253 m^3/min 이상 확보가 가능하며 배수관 300 mm 적용시 0.745

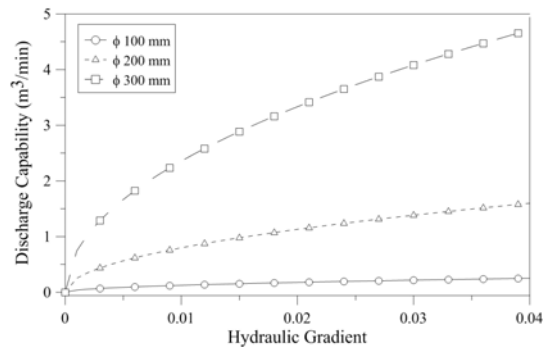


Fig. 11. Relationship between discharge and hydraulic gradient depending on diameter of drainage pipe

Table 1. Geometric values depending on pipe diameter

	=100 mm	=200 mm	=300 mm
A (m^2)	0.00392	0.01571	0.03534
P (m)	0.15708	0.31416	0.47124
R (A/P)	0.025	0.050	0.075
n	0.016		

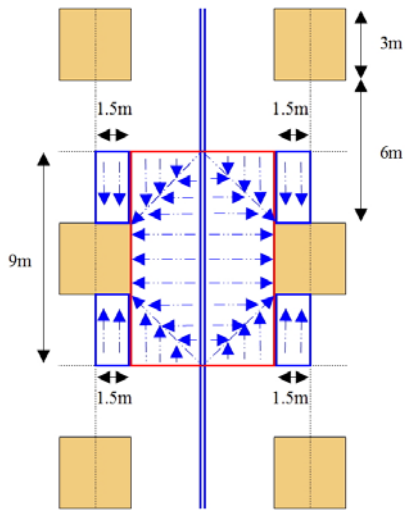


Fig. 12. Schematics of discharging area at the roof

m^3/min 이상 확보가 가능하다. 따라서 유출량 $0.253 m^3/min$ 미만에서 배수관 100 mm 이상을 사용하며 유출량 $0.253 m^3/min$ 이상에서는 배수관 200 mm 이상을 사용하고 유출량 $0.745 m^3/min$ 이상에서는 배수관 300 mm 이상을 적용해야 적절한 배수용량을 확보할 수 있다.

굴착 연장 및 비유출수량에 따른 유출량을 검토하기 위해 가정한 주방식 지하구조에 대해 천정부의 유출수의 배수방향 및 배수 구역은 Fig. 12와 같다. 암주 1개소당 굴착연장은 9 m이며 유출수 유입연장은 12 m이다. 주방식 지하구조의 총 굴착연장은 $9 m \times$ 암주개소(N)로 계산되며 유출수 유입연장은 $12 m \times$ 암주개소(N)으로 계산된다. 따라서 굴착연장 및

Table 2. Specific discharge by size of room-and-pillar underground structure

No. of Pillar	Length (m)	Discharge length (m)	Specific discharge ($m^3/min/km$)					
			0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
1	9	12	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
69	621	828	0.041	0.083	0.124	0.166	0.207	0.248
71	639	852	0.043	0.085	0.128	0.170	0.213	0.256
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
83	747	996	0.050	0.100	0.149	0.199	0.249	0.299
85	765	1020	0.051	0.102	0.153	0.204	0.255	0.306
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
105	945	1260	0.063	0.126	0.189	0.252	0.315	0.378
107	963	1284	0.064	0.128	0.193	0.257	0.321	0.385
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
139	1251	1668	0.083	0.167	0.250	0.334	0.417	0.500
141	1269	1692	0.085	0.169	0.254	0.338	0.423	0.508
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
205	1845	2460	0.123	0.246	0.369	0.492	0.615	0.738
207	1863	2484	0.124	0.248	0.373	0.497	0.621	0.745
209	1881	2508	0.125	0.251	0.376	0.502	0.627	0.752
211	1899	2532	0.127	0.253	0.380	0.506	0.633	0.760
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
223	2007	2676	0.134	0.268	0.401	0.535	0.669	0.803

: $< 0.253 m^3/min$ \varnothing 100 mm
 : $> 0.253 m^3/min$ \varnothing 200 mm
 : $> 0.745 m^3/min$ \varnothing 300 mm

비유출수량에 따른 유출량은 굴착연장이 길어질수록, 비유출수량이 클수록 유출량이 증가하는 형태이다.

앞서 산정한 굴착연장별 유출량 검토결과를 배수관경별 통수용량과 비교하면 굴착연장 및 비유출수량에 따른 적용 가능한 배수관경을 Table 2와 같이 산정할 수 있다. 유출수량별 대책공법 검토 및 유출수 실측사례 검토에서 유출량 $0.05 \text{ m}^3/\text{min}$ 을 주방식 지하구조의 배수공 적용 유무를 판단하는 기준으로 제안한 바 있다. 유출량 $0.05 \text{ m}^3/\text{min}$ 적용시 주방식 지하구조의 바닥 배수관경은 배수관 배수용량 검토에 의해 100 mm 이상 적용하면 통수용량을 만족하는 것으로 나타났다. 하지만 바닥 배수관은 주방식 지하구조의 상부 및 하부 유출수를 모두 배수해야하는 역할을 수행하므로 운용중 배수관 청소 등의 유지관리가 필요하기 때문에 유지관리 편의성을 위해서는 배수관경을 200 mm 이상 적용하는 것이 적절하다고 판단된다.

5. 결론

주방식 지하구조 및 모든 지하구조물에서 중요하게 고려되어야 하는 요소는 안전이다. 그러나 안전에 치중한 나머지 비현실적이거나 비경제적인 설계로 이루어져서는 안된다. 본 연구에서 고려한 배수시스템은 국내 터널 시공 및 운용중 유출수가 비교적 많이 발생하지 않는다는 것을 고려하여 경제적이며 합리적인 배수시스템을 제안했으며 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 주방식 지하구조물의 배수시스템을 상부배수(천장 및 측벽)와 하부배수(바닥배수)로 2중 배수 방식을 제안하였다. 상부배수는 천정부와 측벽부에서 발생하는 지반내 유출수를 집수하며, 하부배수는 바닥부의 유출수를 집수하는 것이 유효할 것으로 판단된다.
2. 주방식 지하구조에서 고려하는 TSL은 보강재, 마감재, 방수재로서 중요한 역할을 수행하므로 슛크리트의 누수로 인해 부착강도 저하가 발생하지 않

도록 TSL 시공전 슛크리트 표면 누수는 드레인 보드를 설치하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

3. 주방식 지하구조의 동수경사, 굴착연장, 유출수량 및 배수관경에 따른 배수용량 검토를 수행하여 굴착연장 및 비유출수량에 따른 적용 가능한 배수관경을 산정할 수 있었다. 유출량 $0.253 \text{ m}^3/\text{min}$ 미만에서 배수관 100 mm 이상을 사용하며 유출량 $0.253 \text{ m}^3/\text{min}$ 이상에서는 배수관 200 mm 이상을 사용하고 유출량 $0.745 \text{ m}^3/\text{min}$ 이상에서는 배수관 300 mm 이상을 적용해야 적절한 배수용량을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.
4. 본 연구에서 제안한 배수시스템(안)은 주방식 지하구조에 대한 기본적인 배수시스템을 제시한 것으로서, 실제 적용 시에는 현장의 유출수를 평가하여 배수시스템(측방배수관 및 바닥배수관 관경)등을 조정하여야 하며, 유출수가 많이 발생한다면 수발공에 의한 지하수위 저하공법을 추가로 고려하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 “운용 중 공간확장이 가능한 지하 굴착 및 안정화 기술 개발”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Chang, S., Lee, G-P., Han, J-T., Park, Y-T. (2015), “Development of a powder-type thin spray-on liner and its performance evaluation at different curing ages”, Tunnel & Underground Space, Vol. 25, No. 3, pp. 293-302 (in Korean).
2. Geo-Front (2000), Design of shotcrete SWG, Design of single shell by shotcrete lining, Single Shell division, Geo-Front research group, p. 21 (in Japanese).
3. KEC (2007), Management plan for outflow of tunnel: Attachment #1 Water Analysis Result for

- Outflow in Tunnel, Report construction and environmental division-2409, Korea Express Corporation (in Korean).
4. KICT (2013), Development of Key Excavation Solutions for Expandable Urban Underground Space in Use, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Report No. KICT 2013-225 (in Korean).
 5. Lee, C., Chang, S.-H., Ahn, S.-Y., Shin, H.-S. (2013b), "A preliminary study on economical efficiency of a room-and-pillar excavation method in comparison with 2-arch tunnelling method", J. of Korean Tunn. Undergr. Sp. Assoc., Vol. 15, No. 6, pp. 599-612. (in Korean).
 6. Lee, C., Chang, S.-H., Shin, H.-S. (2013a), "A study on conceptual evaluation of structural stability of room-and-pillar underground space", J. of Korean Tunn. Undergr. Sp. Assoc., Vol. 15, No. 6, pp. 585-597 (in Korean).
 7. Shin, J.-H., Kwon, O.-H., Shin, Y.-S., Yang, Y.-H. (2013), "An experimental study on the effect of malfunctioning of drainage system on NATM tunnel linings", J. of Korea Geotechnical Society, Vol. 23, No. 6, pp. 77-84 (in Korean).