

지하 유류저장 공동의 지질구조와 공동누수량 상호관계에 관한 사례

A Case Study of Correlation between Inflows and Geological Structures around Underground Caverns

전 한 석(Han Seok Jeon)

한국석유공사 건설기술처

요약/ABSTRACT

일반적으로 공동 주변에 분포하고 있는 지질구조는 지하 암반 공동 굴착시 지수, 보강, 지하수 유동 등에 상당한 영향을 주게 되므로 지질구조의 분포 및 특성을 아는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 거제 지역에 기 시행된 지하 비축시설의 조사, 설계 및 시공자료를 토대로 지질구조와 공동 누수량 상호 관계를 분석한 결과, 본역에 발달하고 있는 주 함수구조대의 방향은 N50~60W, 경사는 거의 수직이며 인장 단열로서 추정된다. 이 구조대는 양수 시험시 타원형의 장축 방향과 일치하고 N10~30E 방향의 단열들과 교차하고 있으며, 화강섬록암에서 나타나는 전형적인 장방형 단열계를 나타낸다.

주요어 : 지하 암반 공동, 지질구조, 공동누수량, 단열계

When caverns are excavated, it is very important to understand the distribution and characteristics of geological structures because the structures have a significant effect on grouting, rock reinforcement, and groundwater flow, etc. The main water bearing fractures have an orientation of N50~60W and these fractures are known as tension fractures. Their orientation coincides with a long elliptical axis of pumping test, and they cross the tension fractures of N10~30E. They have typical fracture systems of rhombic type in this area.

Key Words : underground rock cavern, geological structures, inflows, fractures systems, water bearing fractures.

서론

1960년대 부터 유럽에서 건설하기 시작한 지하 유류 저장 시설은 일반적으로 알려진 바와 같이 지하수 원리에 의해 지하 공동에 저장유를 저장하는 방식을 가진다. 즉 공동주변 지하수압에 의해 저장유를 안전하게 누출되지 않도록 저장하는 것이다. 지하 유류 저장 공동을 건설하기 전에 지질 조사 및 설계 단계를 거쳐서 시공하게 되므로 설치할 지하 공동에 대하여 경제적이며 효율적인 조사 계획이 요구되며 공동 굴착시 지하수 유동 및 공동안정성 문제 등을 사전 면밀한 분석에 따른 저장공동 설계 기초 자료를 획득하기 위해 지질 구조 분포 및 발달 상태, 지하수 유동관계 등의 수리지질 조사가 이루어진다. 그러나 현재까지 지질조사 기법을 통해서 설계 기초자료를 구하여 왔지만 조사의 한계성에 의해 공사전에 지질 구조분포 및 발달 상태를 명확하게 규명하는 것이 곤란하였다. 이러한 점을 고려하여 지하 공동 굴착시 확인된 지질구조 분포자료를 조사 설계시 파악한 지질 구조 자료와 비교 분석하여 지질 조사의 사전 예측의 신뢰성 평가를 하였으며 향후 유사 지하 저장 공동 조사 설

계시 설계 기초 자료로서 충분히 활용할 수 있도록 하기 위하여 기 건설된 거제 지역의 지하 유류 저장 공동 조사 설계 자료와 건설 단계 조사 자료를 토대로 비교 분석한 지질구조와 공동누수량 상호관계 사례를 제시하였다.

지질 및 수리지질

부지 지역은 지형상에서 주변지역보다 풍화에 대한 저항도가 높아 돌출되어 있으며 표면상태가 균질하고 원만하다. 해안을 제외한 대부분 지역이 잔류 토양에 의해 피복되어 있으며 일부지역에서 봉적토와 테일러스가 발달되어 있는 것이 확인되었다. 식생은 전반적으로 잘 발달 되어 있고 수계 밀도는 아주 낮으며 절리 및 단층의 발달과 관련 수 지상의 양상을 나타낸다. 부지 지역 지질은(Fig.1) 화강섬록암류, 안산암류, 암맥류, 표토로 구분된다. 화산암류는 조직 및 광물 조성으로 보아 안산암질 암류로 구분되며 부지지역 북부와 중심부에 국부적으로 산출된다. 화강암질암은 중립 내지 세립의 각섬석 화강암, 화강섬록암 등으로 산출된다.

항공사진 판독 결과 음의 기복을 나타내는 주구

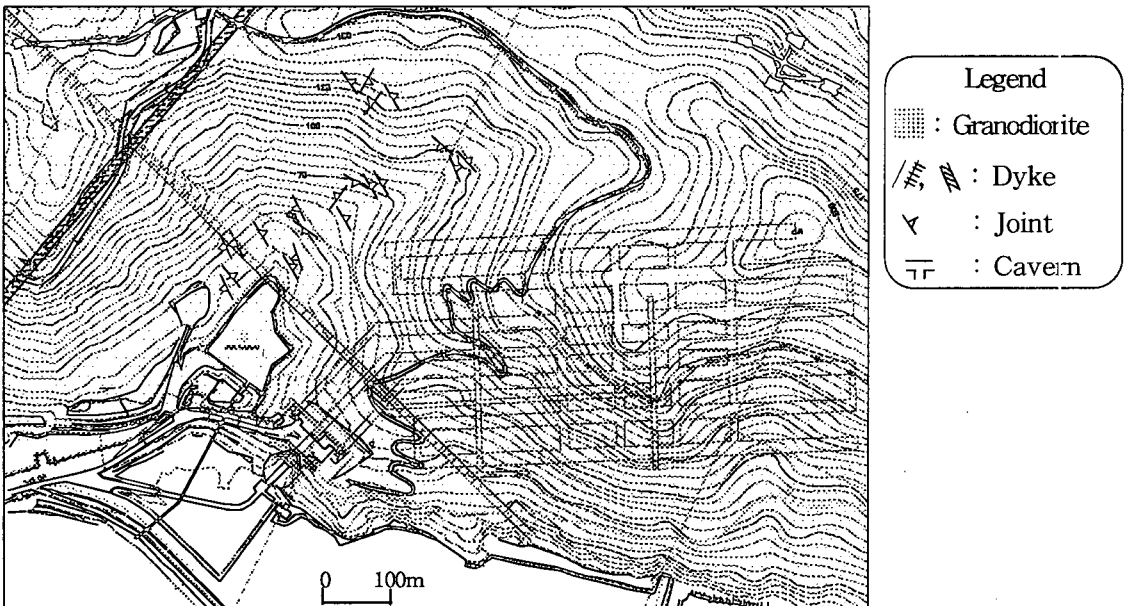


Fig. 1. Geological map of site area.

지하 유류저장 공동의 지질구조와 공동누수량 상호관계에 관한 사례

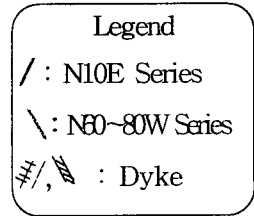
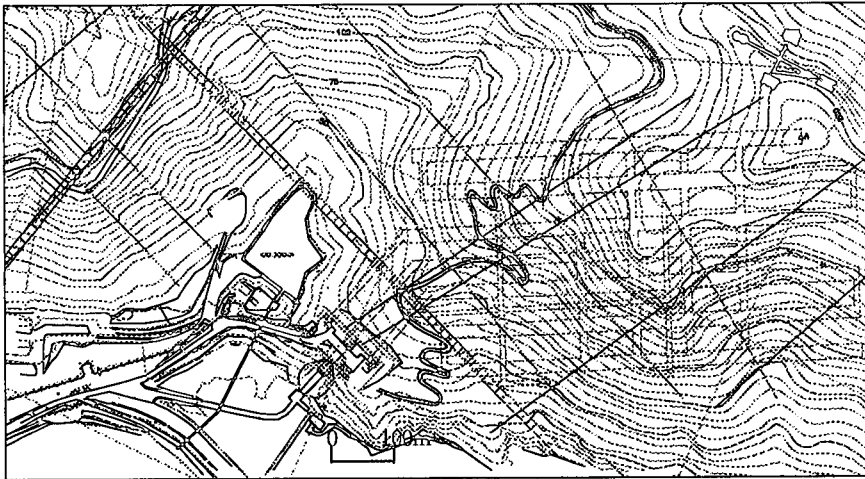


Fig. 2. Fractures distribution map of site area.

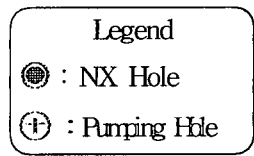
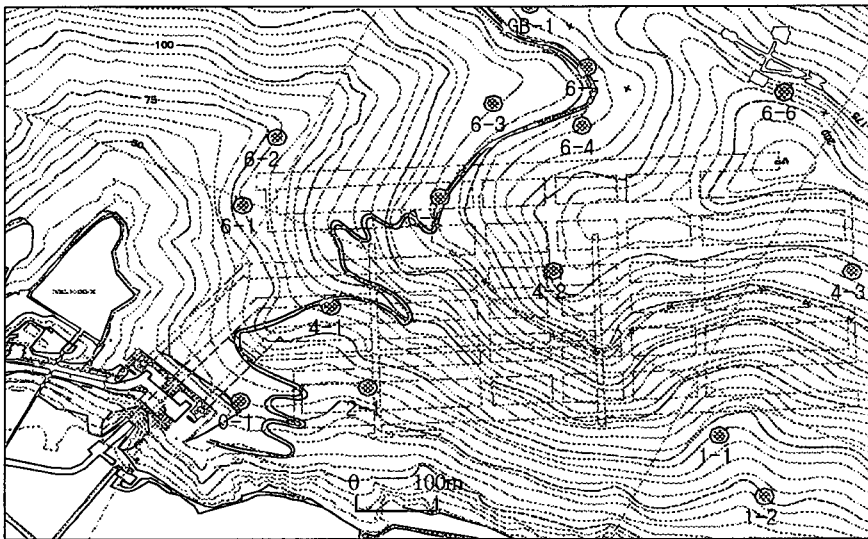


Fig. 3. Location map of basic investigation using boreholes.

조선은 N20~40E, 40~70W이며 경사는 대체로 수직으로 측정되었다. 단층, 절리, 파쇄대 및 암맥에 의한 선구조의 분포 상태는 2개조로 분류되며 각각 일정한 방향성을 갖는다(Fig.2). 북동 북서 방향으로 집중되었고 그외의 방향은 분산 상태를 보인다. 전반적으로 부지 동쪽으로 갈수록 방향선이 약간 서향으로 변형되는 경향을 보인다. 절리계의 주방향은 N10E, N60~80W의 방향이 우세하게 나타나고 NS~N10E, N40~60E의 절리계가 교차되어 나

타나고 부지 중심부에 국부적으로 발달되었다. 해안노두에서 관찰되는 절리계는 N60~80W이며 경사는 60~80SW로서 일종의 판상절리로 구분하였지만 경사각이 크다. 저장 공동에서 확인된 저장사를 나타내는 절리는 경사각이 매우 작은 절리로서 3개조가 확인되었으며 판상절리로 추정하였다.

기본 조사 과정에서 시추조사공 8개공, 착정조사공 4개공에(Fig.3.) 대한 수압시험 및 양수시험 결과에서 얻은 수리 특성 계수를 분석 작업의 입력자

료로 사용하였으며 양수시험에 의한 평균 투수량 계수 $T=3.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$, 대수층 수리전도도 $K=1.5 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$ 이며 대수층 두께는 200m이다.

양수 시험 결과 동서 방향으로 이방성이 매우 큰 것으로 확인되었는데 이방성비는 $T_y/T_x \approx 6$ 으로 산출되었다($T_x=1.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$, $T_y=7.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$).

거제 지역 지하 저장 공동 시설 개요

부지의 지질 상태인 암상과 지질 구조등 지질 조사 해석과 수리지질 및 전산해석 결과에 의거 시공성, 경제성, 주변환경을 감안하여 저장 시설의 배치 계획의 단면 계획, 평면 배치 계획을 수립하고 최적의 동굴 방향을 설정하여 본 시설의 설계를 수행하였다.

지하 저장 공동 단면

지하 저장 공동 단면은 기본 조사시 실시한 현지 암반 응력 측정(수압 파쇄 시험)결과 다른 지역과는 달리 최대 수평응력이 수직응력 보다 3.6배나 되며 이를 이용한 동굴 안정성 해석(UDEC program) 결과와 유사 시설 실적을 토대로 동굴 정부의 형태가 1심원 혹은 3심원보다 타원형일 경우 안전율이 크므로 이를 선정하였다. 수리지질 조건과 저장 공동 배치 계획을 복합적으로 고려하여 공동 천정 표고는 -30m, 바닥 표고는 -60m로 결정하였다. 동굴 간격(pillar width)은 동굴 상호간 간격은 35m로 결정하였으며 단위 동굴 간격은 가운데 공사용 터널이 있는 관계로 63m를 이격하도록 하였다.

지하 저장 공동 배치

동굴배치 경계조건 요소들은 부지 지역에 분포하고 있는 지질구조, 저장공동 발파영향 거리, 해수 침투 이격 거리등을 들 수 있다.

경계 조건 요소는 댐 상류 계곡부로 발달된 지질 구조대(폭 3m), 부지 서쪽 남북으로 발달하고 있는 구조대, 부지 북쪽으로는 동서 방향으로 발달하고 있는 지질구조로서 조사공 6-2호공을 관통하

는 구조를 공동 배치에 고려하였고, 인근 부락의 발파 진동 영향을 최소화 하기 위해 교황마을로부터 약 300m 이격시켰으며, 그리고 해수 침입을 피하기 위하여 해안선으로부터 약 100m 이격하였다.

저장 공동 주 방향은 부지 지역내 절리 및 구조선 분포상태 및 현장 암반응력 측정에 의한 최대 수평 주응력 방향을 고려하고 경계조건으로 작용하는 선구조가 가능한 적게 분포하는 N27W 방향으로 설정하였다.

평면 배치는 경계조건과 부합되고 경제성 및 유지관리를 위해 “ㄱ”자형 동굴 2unit로 구성되도록 배치하였으며 각 단위동굴의 저장 용량은 약 600만 Bbl 원유를 저장 할 수 있는 규모이다. 수직갱을 지상으로 노출시켜 운영의 편리를 도모하기 위하여 계획하였으며 굴착량을 최소화 하도록 하고 댐 오염을 피하기 위하여 저유동굴은 약 135° 굴절되게 배치하였다. 이 부분이 댐 상류로 연결되는 구조대와 N40~70W방향으로 발달된 구조선과 거의 평행하게 배치하였다.

수리전산 모델링에 의한 공동 누수량 산정

스웨덴 설계 자문사인 Viak ABB사에 의해 제시한 수리 전산 해석 보고서(1991)에 의거한 동동 누수량은 3가지 대안 별로 검토하였다. 그 검토안의 수벽공 미설치, 부분수벽시설, 전체 수벽시설 중에서 공동 평면도상의 부분적으로 수벽시설을 설치하는 안을 선정하였으며, 부분 수벽 시설에 대한 전산 해석을 위한 전제 조건 및 입력인자는 다음과 같이 고려하였다.

설계 기준 지하수위는 공동 상부 최소 ±0m이상 유지하여야 하며 운영시 최대의 저장 동굴 내부 압력은 1kg/cm², 지하수 함양량은 160mm/year, 동수구 배는 1 이상 유지되며 저장 공동 상부 수벽등을 부분적으로 설치한다.

상기 사항을 고려한 전산 해석 결과 저장 공동 누수량은 공동 그라우팅 후의 조건으로서 약 340m³/일로서 산정되었으며, 저장공동 상부에서 수벽공 주수 압력 2kg/cm² 하에서 산정된 결과치는 수평 수벽공은 31m³/일, 수직수벽공은 108m³/일로 산정되

었다.

수벽공 설계

동굴 굴착 공사 중 급격한 지하수위 하강으로 인한 탈수대 형성 방지 및 해수 침입 방지를 위해

서 수평 및 수직 수벽공을 수리전산 모델링 해석을 수행하여 설치하였다.

Fig.4의 빗금 친 부분은 수평 수벽공을 설치한 지역으로서 공사용 터널 150m지점에서 북쪽에 직각으로 분기하여 수벽 터널을 굴착해서 수벽공을 설치하였다.

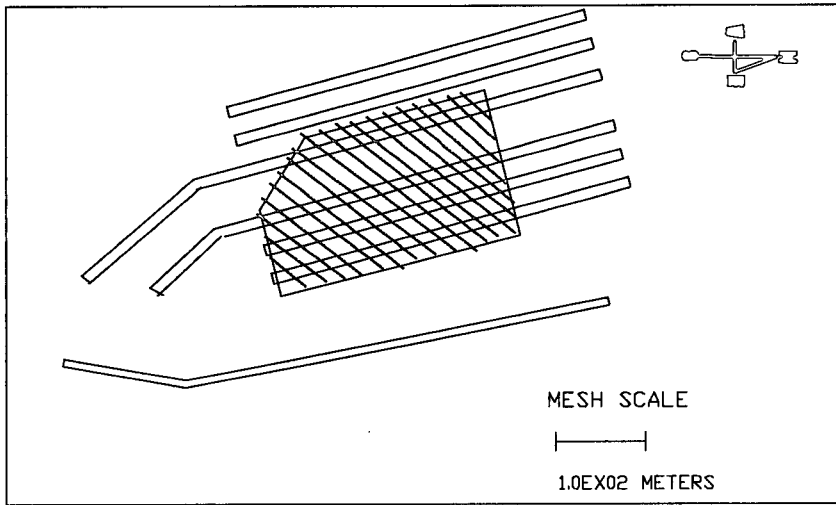


Fig. 4. Water curtain system (marked as oblique lines).

수벽공 설치 개요

수직 수벽공은 국부적으로 나타날 수 있는 해수 침입을 방지하고 담수와 해수사이 수직 수벽이 담수원으로 유리하게 해수침입을 제한시킬 수 있도록 하는 데 그 목적이 있다. 수직수벽공은 지상 표고 +25m지점에서 30° 경사각으로 75m까지 설치하였으며 공간격은 50m이다.

본 수벽공은 해안을 따라서 총 21공이 설치되어 있다.

수평수벽공은 투수성 함수 절리대의 동수구배를 상승시키는 데 있으며 수직 동수 구배 $I_0 \geq 1$ 이면 개스 누출 방지에 충분하다(Aberg, 1977). 수벽공 간격은 7~14m이며 총 65공이 설치되었다.

저장 공동 설계 누수량 및 실측치 대비

수리 전산 모델링에 의하여 산정된 공동 굴착시

누수량 산정치와 굴착 단계별 실측치(한국석유공사, 1997)와 비교하였다(Table1).

각 터널(C1~C6)의 위치는 해안으로부터 C1 공동에서 C6까지 순차적으로 배열되어 있다. 수리전산 해석 결과 Gallery의 설계 총누수량은 305m³/일로 산정되었으며 실측치는 약 246m³/일이다. 단위공동별 설계누수량과 실측치의 차이가 크게 나타나는 저장공동은 C2, C3공동이다. 그 원인은 저장 공동 굴착시 타 공동보다 함수구조대가 발달되지 않았기 때문이다. 설계누수량을 상회하는 공동은 C5 공동으로서 지질구조 발달이 타 공동보다 현저하게 나타났으며, 함수 균열대가 80m정도 달하는 암질 불량 구간도 있었다. Gallery 설계누수량 대비 실측치 대비율은 약 81%를 보인다

Bench I의 설계 총누수량은 340m³/일로 산정되었으며 본 공동의 굴착 완료 후의 실측치는 약 265 m³/일이다. 단위공동별(C1~C6) 누수량의 설계치와 실측치와의 관계를 보면 Gallery에서와 마찬가지로

전한석

Table 1. Comparison of calculated and measured leakage at the excavation stage.

Tunnel No	Gallery		Bench I		Bench II		Bench III		Remarks
	calculated	measured	calculated	measured	calculated	measured	calculated	measured	
C1	55	51.2	63	38.01	66	38.74	59	42.4	
C2	51	30.7	55	23.34	62	35.28	59	26	
C3	46	18.3	53	13.82	60	36.14	53	28.9	
C4	50	42.5	56	48.49	62	36.17	56	42.2	
C5	52	57.1	59	91.1	64	64.37	60	56.2	
C6	51	46.1	54	41.53	64	41.8	55	44.7	
Total	305	245.9	340	265.2	320	252.28	340	240.4	

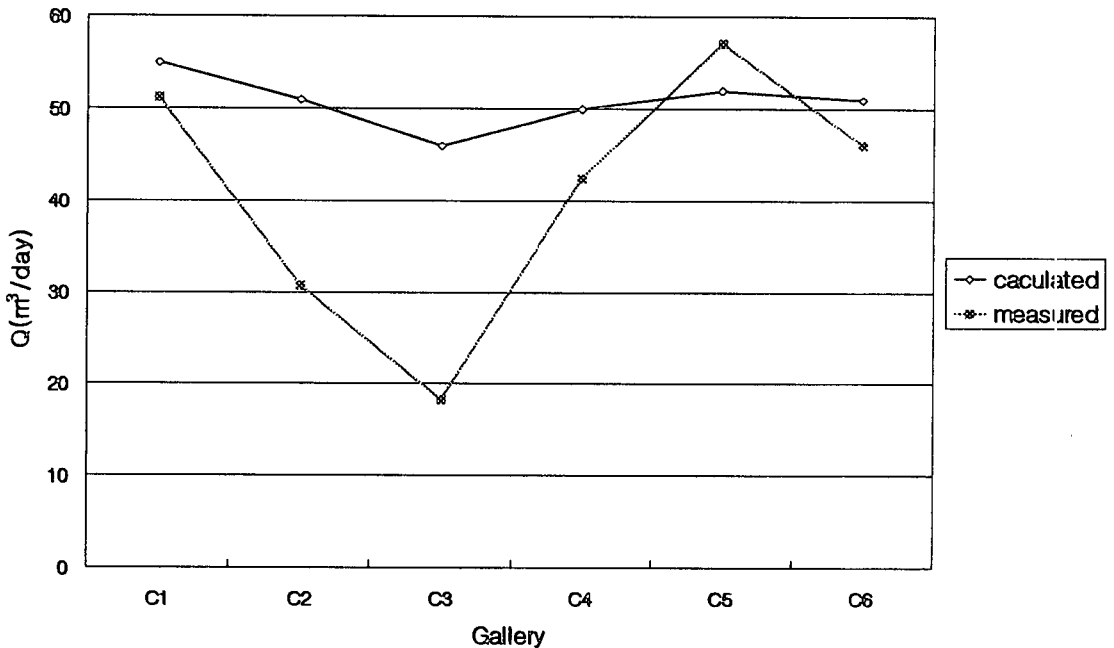


Fig. 5. Relationship between calculated and measured leakage in the gallery.

C2, C3 공동누수량은 타 공동 보다 누수량이 적게 나타났고 C4, C5 공동 누수량이 증가한 상태를 보여 주었다. Bench I 에서 설계누수량 대비 실측치 대비율은 78% 로서 Gallery와 차이는 2%정도 감소 효과를 가져왔다. BenchII 의 설계 총누수량은 20m³/일로 산정되었으며 실측치는 약 252m³/일이다. 본

공동 굴착 완료 후의 누수량 상태는 C1~C3공동은 누수량이 증가하였으며 C4, C5공동은 감소하였다. 그리고, C6공동은 거의 변화가 없는 편이다. 설계 대비 실측치 대비율은 약 78%로서 설계누수량 보다 상당히 작은양이다.

BenchIII의 설계 총누수량은 340m³/일이며 실측

지하 유류저장 공동의 지질구조와 공동누수량 상호관계에 관한 사례

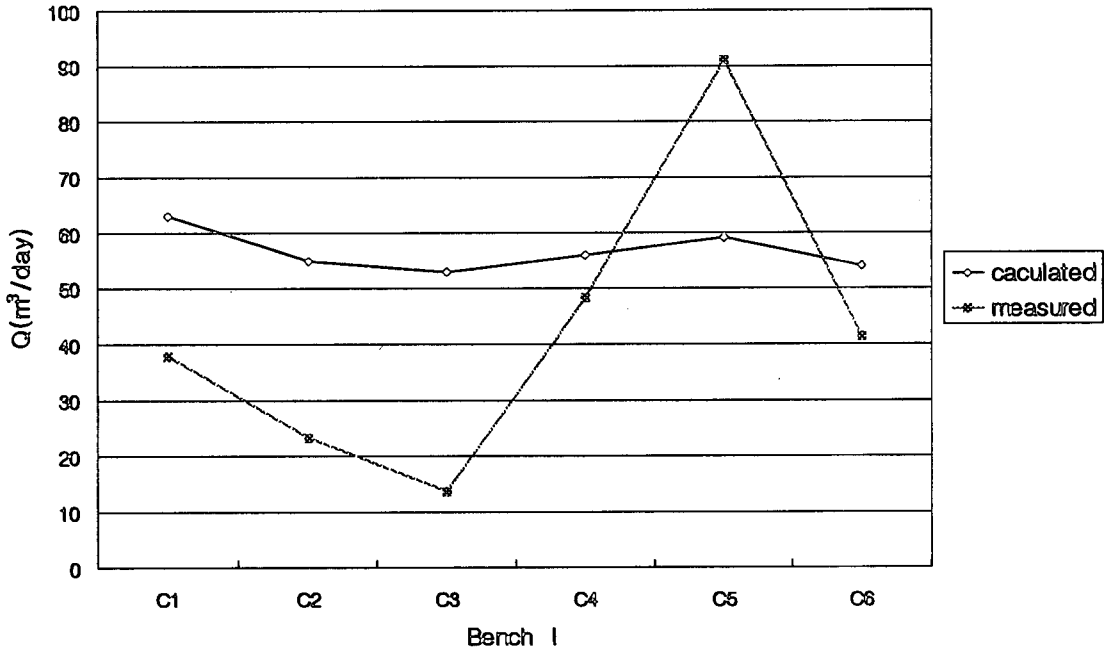


Fig. 6. Relationship between leakage calculated and measured in the Bench I.

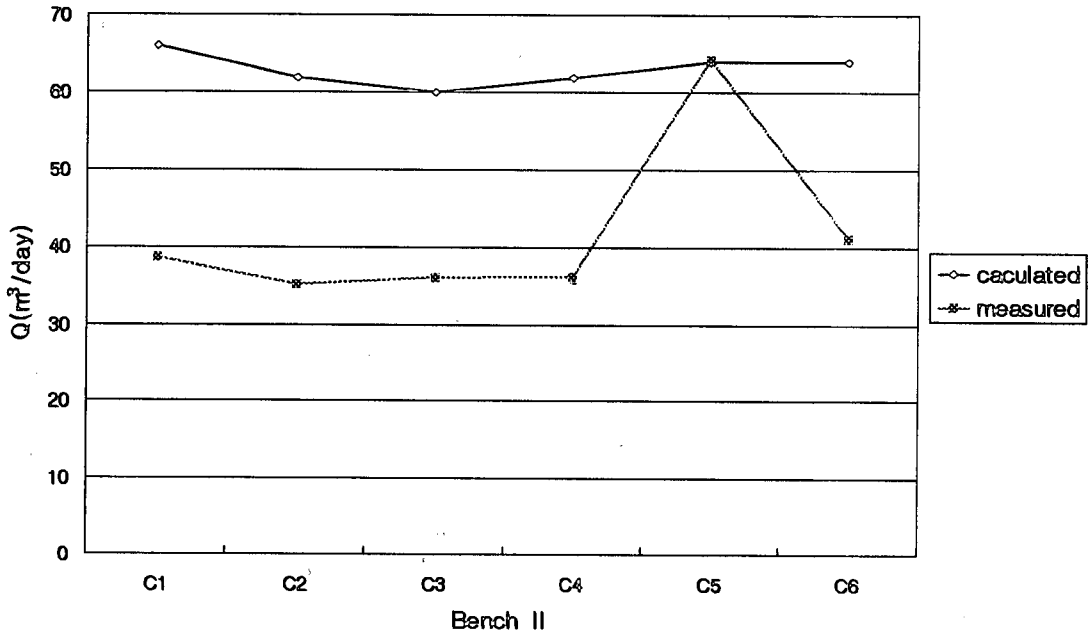


Fig. 7. Relationship between leakage calculated and measured in the Bench II.

전한석

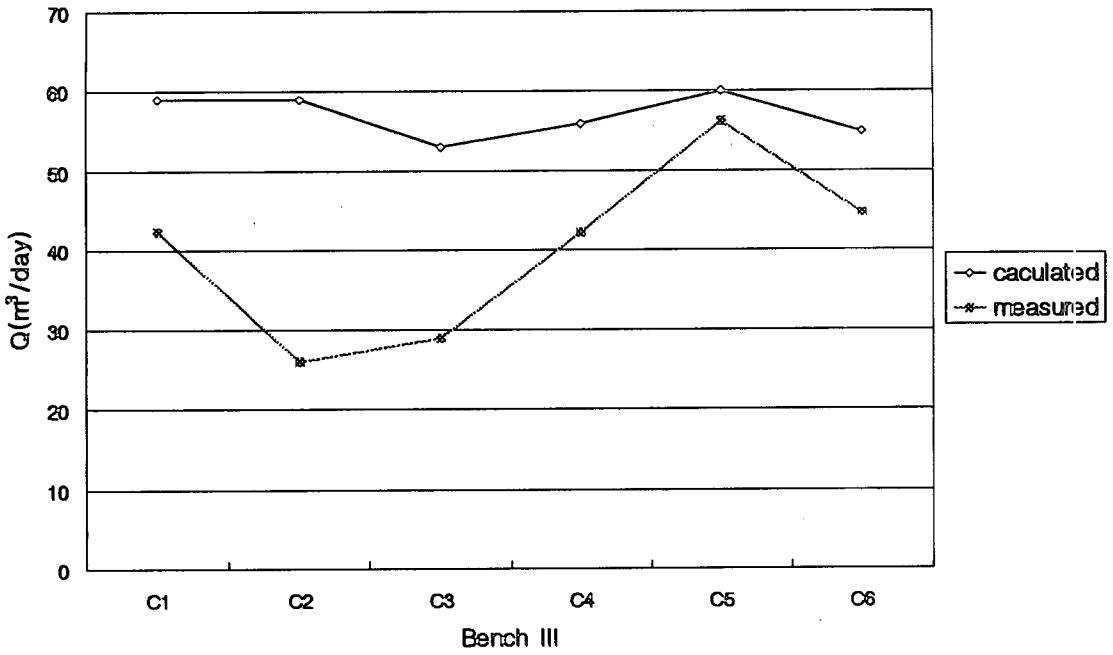


Fig. 8. Relationship between leakage calculated and measured in the bench III.

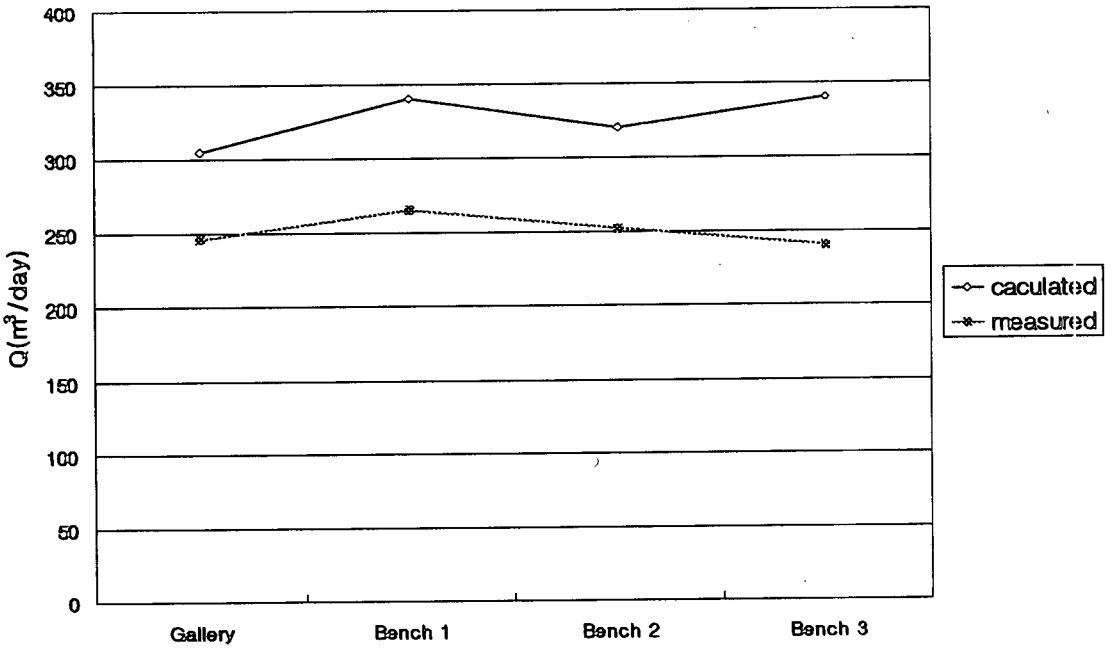


Fig. 9. Relationship between total leakage calculated and measured in the excavation stage.

치는 약 240m³/일로서 공동 그라우팅 효과에 의해서 누수량이 다소 감소되었다. 본 공동 굴착 완료 후 단위 공동 별 누수량 변화는 Bench II와 비교하면 공동누수량이 증가한 공동은 C1, C4공동이며 감소한 공동은 C2, C3, C5, C6의 4개 공동이다. 설계 대비 실측치 대비율은 약 71%로서 설계기준 30% 정도 터널 그라우팅에 의해 누수량이 감소되었다. 그러나 수리 전산 해석에서 고려하지 못한 요소는 공동 굴착시 증발산량, 공사용터널, 수직갱, 수벽터널 등의 누수량으로서 수리전산 해석시 고려하지 않은 누수량이므로 향후 공동 누수량 설계시 반영되어야 할 것으로 사료된다. C5공동에서 설계 대비 누수량 실측치가 높은 것은 공사 평가 보고서(1992~1994)에 의거하면 다량의 지하수를 가진 함수구조대가 출현한 구간이 타 공동보다 연장이 길게 나타나서 누수량이 많은 편이며 설계 기준이내 적정 지수가 곤란한 특성을 보여주었다.

지하 저장 공동 지질구조 분포와 누수량과의 상관관계

결정질암의 지질구조는 지하수 유동 및 지하수 대수층으로서 저장 공동 굴착시 누수량 공급원으로

서 역할을 할 것이다. 지표 지질 조사에서 확인된 지질구조는 개략적인 분포조사에 국한되고 저장 공동 굴착시 갱내 막장 관찰 및 지질 구조(단열) 조사에 의해서 정확한 지질구조가 파악되었다. 본 지역에서 조사된 절리의 분포는 Fig.10에서와 같이 지표지질조사에 나타난 수량과 공사 평가 보고서(1994)의 공동 굴착시 Fig.11과 비교하면 3배이상의 절리가 공동 단면상에 출현하였다.

절리분포와 저장 공동 누수량과의 상관관계를 검토하기 위하여 저장 공동 전체 지역과 저장 공동 일부지역(수벽공 미설치 지역)으로 나누어 검토하였다.

기본조사시 노두에서 확인된 단열시스템(Fractures system)은 Fig.10과 같이 작성되었다. 확인된 총 지질구조는 11개로서 항공사진, 지표지질조사, 물리탐사 등을 통해서 파악되었다. 지질구조가 공동 단면상에 통과하는 구간을 대상으로 암질 상태를 구분한 것으로 표시하였다. 지질구조가 1개 통과하는 구간, 2개 통과하는 구간, 전혀 통과하지 않는 구간으로 구분하여 나타내고 있다.

기본조사시 확인된 지질구조보다 공동 굴착시 동일 구조들이 Fig.11과 같이 훨씬 더 많이 조사되었다. 지질 조사시 확인된 지질 구조수량의 3배정도 더 공동 단면상에 나타난 것으로 갱내 지질 조

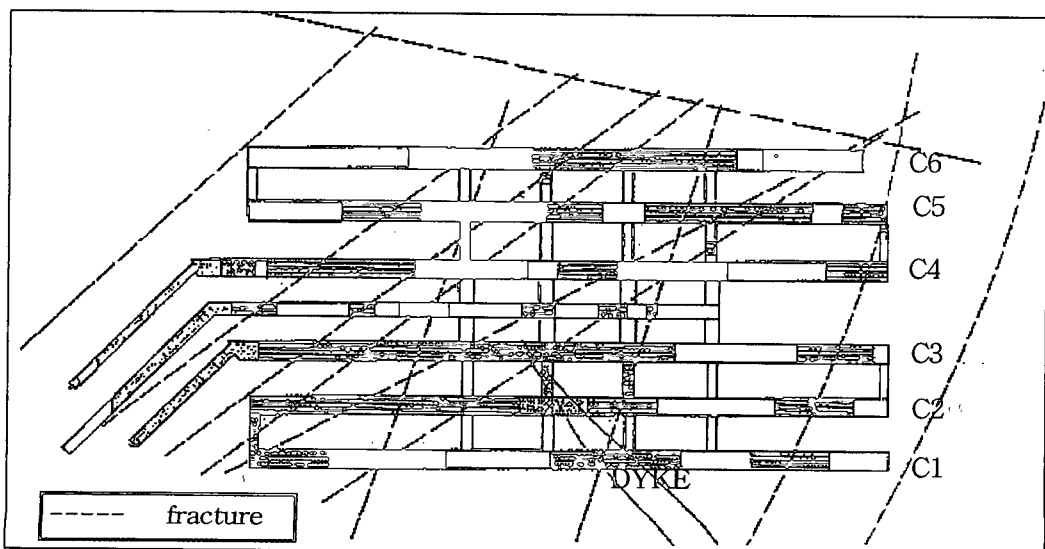


Fig. 10. Fracture distribution at the basic investigation stage.

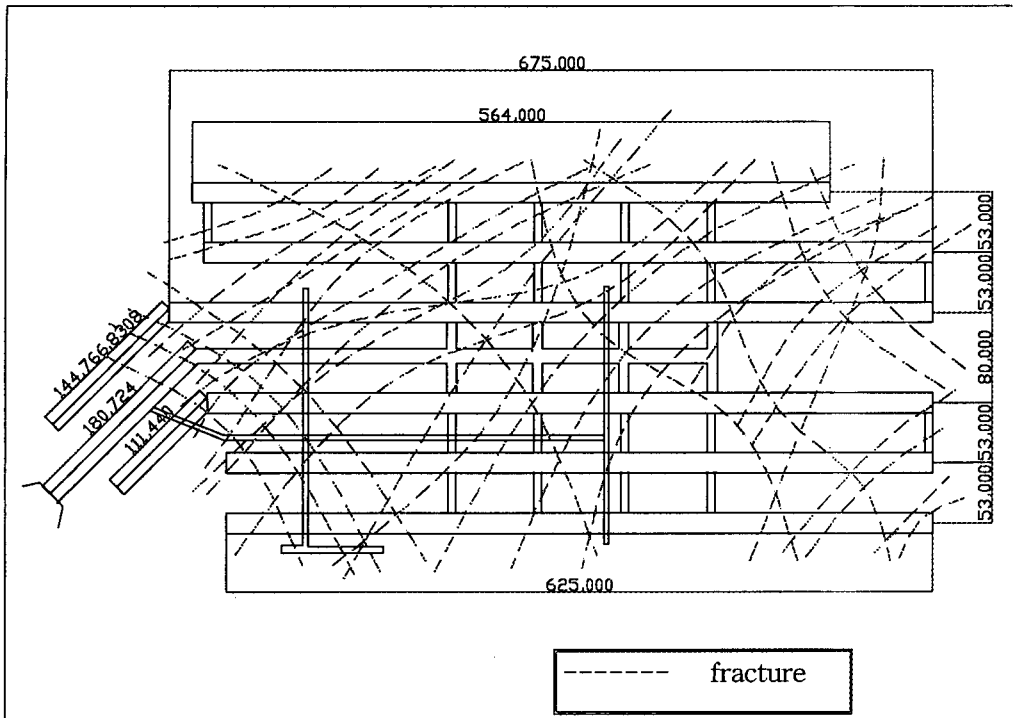


Fig. 11. Fracture system distribution map at the construction stage.

사 결과 최종 확인되었다. 지하에 분포하는 지질구조의 정확한 수량파악이 현실적으로 불가능하지만 실제로 공동 굴착 후 확인된 거제 지하저장 공동 지질구조 분포 변화자료는 단열계 분포 비율이 상당한 차이를 보이고 있다.

저장공동 전체지역 (수벽공 설치지역 포함)

저장 공동 전체 지역의 지질구조 분포는 공동별로 상이하고 함수 지질 구조가 발달한 공동일수록, 즉 지질구조 분포율이 높은 공동에서 누수량이 증가한다(Table 2).

저장 공동 전체 지역의 공동 누수량과 공동 단면상에 분포하는 분포율의 관계를 통해서 지질구조에 의한 누수량 증감 영향 관계와 상관성을 고려하였다.

저장 공동 굴착의 시공성 뿐만 아니라 공동 누수량이 공사 공정에 지대한 영향을 주기 때문에 지

질 구조의 사전 파악과 저장 공동 수밀성 유지를 위하여 효율적인 지수 대책도 수립되어야 하는 것이다.

지질구조 분포율과 터널 연장 단위 m당 누수량 관계에서 지질 구조 분포율에 따라서 누수량도 증감하는 변화 상태를 보여 준다. 저장공동 전체 지역(수벽공 설치 지역)에서 출수되는 평균 누수량은 0.044 l/min/m이며 지질구조 분포율은 0.05ca/m로 나타났다. 지하 저장 공동 설계 누수량은 0.05 l/min/m이므로 실측한 평균누수량은 설계치 이내에 있다(Table 2).

지질구조 분포율과 터널 연장 단위 m당 누수량 관계도(Fig.11)에서와 같이 지질구조 분포율에 따라서 공동 누수량 증감상태를 나타내면서 양호한 상관 관계를 나타낸다.

저장공동(C2, C3)의 지질구조 분포율은 E 공동(C1, C4~C6)보다 적게 나타나고 터널연장 단위 m당 누수량도 적다.

지하 유류저장 공동의 지질구조와 공동누수량 상호관계에 관한 사례

Table 2. Results of fracture frequency and inflows around cavern area.

Tunnel No.	leakage water (m ³ /day)	tunnel length(m)	leakage water per unit tunnel length (ℓ/min/m)	fracture frequency (ea/m)	Remarks
C1	42.4	625	0.0471	0.054	
C2	26	625	0.029	0.032	
C3	28.9	641.449	0.031	0.041	
C4	43.2	675	0.044	0.055	
C5	56.2	649	0.06	0.059	
C6	44.7	564	0.05	0.059	
Total			0.044	0.05	

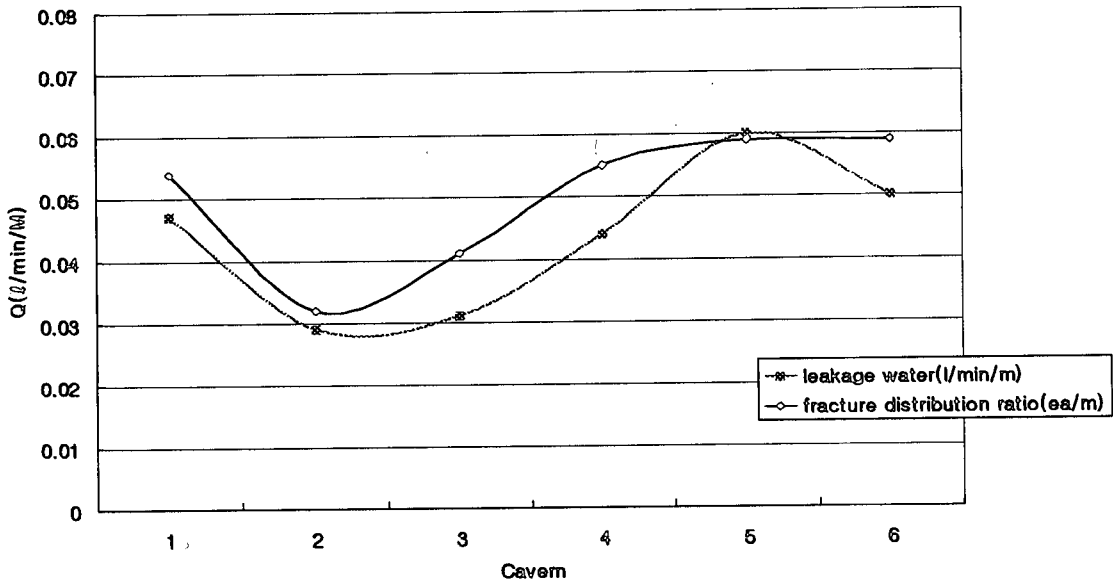


Fig. 12. Relationship between fracture system distribution ratio and water leakage of underground cavern with the water curtain system.

저장공동일부 지역(수벽공 미설치 지역)

수벽공 미설치 지역에서 지질구조 분포와 공동 누수량과의 관계를 Fig.12에서와 같이 공동별로 나타난 누수량은 수벽공 주수량 영향과는 무관한 것

으로 나타났다.

저장 공동 일부 지역과 전체 지역의 지질구조 분포와 누수량 관계를 종합하면 터널연장 대비 공동 누수량은 Table 3에서와 같이 평균 0.044 ℓ/min/m이며 터널 연장 대비 절리 빈도수 비율은

전한석

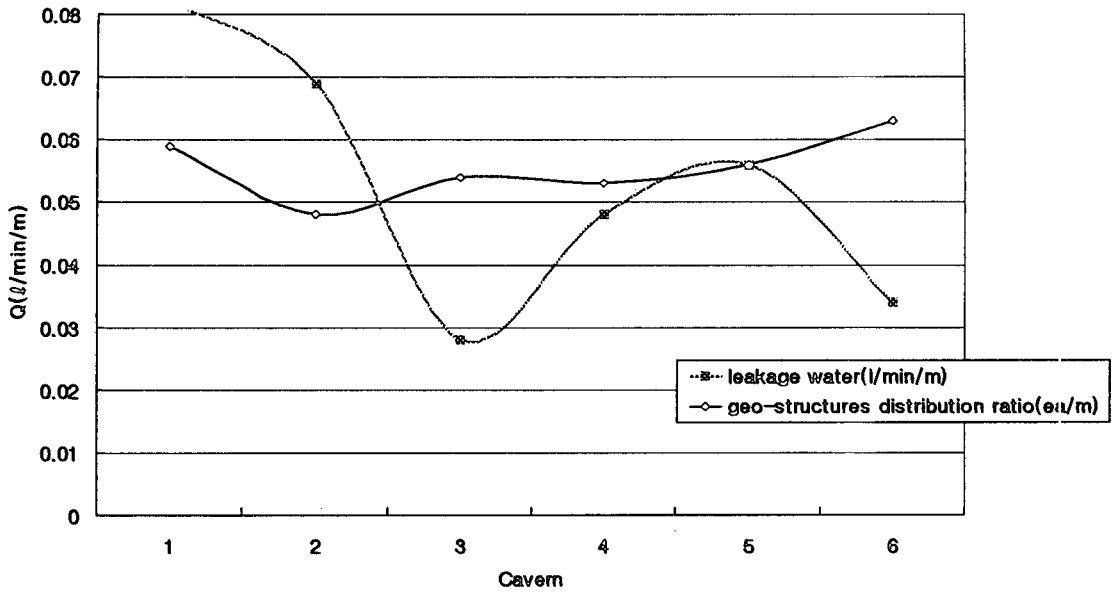


Fig. 13. Relationship between fracture distribution ratio and leakage at the cavern area without water curtain system.

Table 3. Results of fracture frequency and inflows around the cavern area without water-curtain system.

Tunnel No.	leakage water (m ³ /day)	tunnel length(m)	leakage per unit tunnel length (l /min/m)	fractures distribution ratio (ea/m)	remarks
C1	22	186.125	0.082	0.09	
C2	18.7	186.125	0.069	0.048	
C3	7.6	186.125	0.018	0.054	
C4	18.0	266.125	0.048	0.053	
C5	21.6	266.125	0.056	0.056	
C6	8.6	175.125	0.034	0.063	
average			0.053	0.056	

평균 0.05개/m이다. 함수 지질구조는 각 터널 연장 별 C1:18m, C2:31m, C3:15m, C4:18m, C5:17m C6: 17m 간격으로 1개소씩 나타냈다(Fig.10).

Gallery의 지질 구조의 빈도수의 간격은 예로 들 면 터널 20m당 1.5~3m 범위까지 변화하고 있다.

부지 지역의 화강섬록암에서 나타나는 특성을 보여 주고 있다. 저장 공동 일부 지역 수벽공 미설치지역의 지질구조와 공동 누수량과의 관계는 수벽공 영향과 무관하게 누수량은 수벽공 설치 지역 보다 높은 수치를 보인다. 수벽공 미설치 지역에서 터널

지하 유류저장 공동의 지질구조와 공동누수량 상호관계에 관한 사례

연장 대비 공동 누수량은 Table 3에서와 같이 평균 0.053 ℓ/min/m으로서 이 구간을 통해 측정된 결과로서 함수구조대 발달이 현저하기 때문인 것으로 사료된다.

인 영향보다 단열계 분포에 더 영향을 받는다. 지형 표고와 누수량과의 관계에서 보면 상관성을 보이지 않는다.

지형표고와 저장공동 누수율 관계

저장 공동들은 Table 4에서와 같이 지형표고 50~210m 범위 내에 설치되어 있으며 지형표고 고저에 따른 저장 공동 누수량 관계를 보면 지형 표고에 의한 누수량 증가 상태는 보이지 않는다.

C1 공동이 가장 낮은 지형 표고상에 있으나 타 공동(C2, C3)보다 누수량이 많게 나타났다. 지형적

해안측 인접지역 저장공동(C1)의 판상절리와 누수와 관계

저장 공동 굴착후 나타난 C1 공동 측벽에 나타나는 판상절리는 공동 단면상 10m 간격으로 나타나면서 누수상태를 보인다. 특히 판상절리를 따라서 출수되는 누수에 의해 해수침입이 일부 확인되었다. 본 지역의 판상절리는 일종의 함수 구조인 인장 단열로 고려 할 수 있을 것이다.

Table 4. Relationship between topography elevation and leakage.

Tunnel No.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Remarks
Elevation (EL.m)	110~5.0	125	150~75	120~75	200~90	210~90	
Leakage ratio (ℓ/min/m)	0.0471	0.029	0.031	0.044	0.06	0.05	

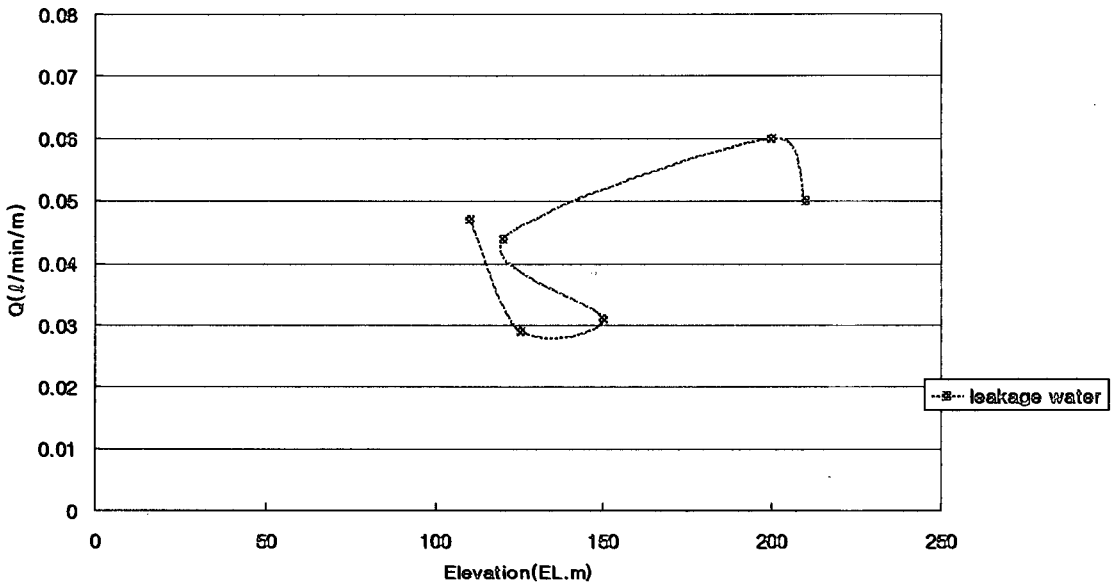


Fig. 14. Relationship between topography elevation and leakage.

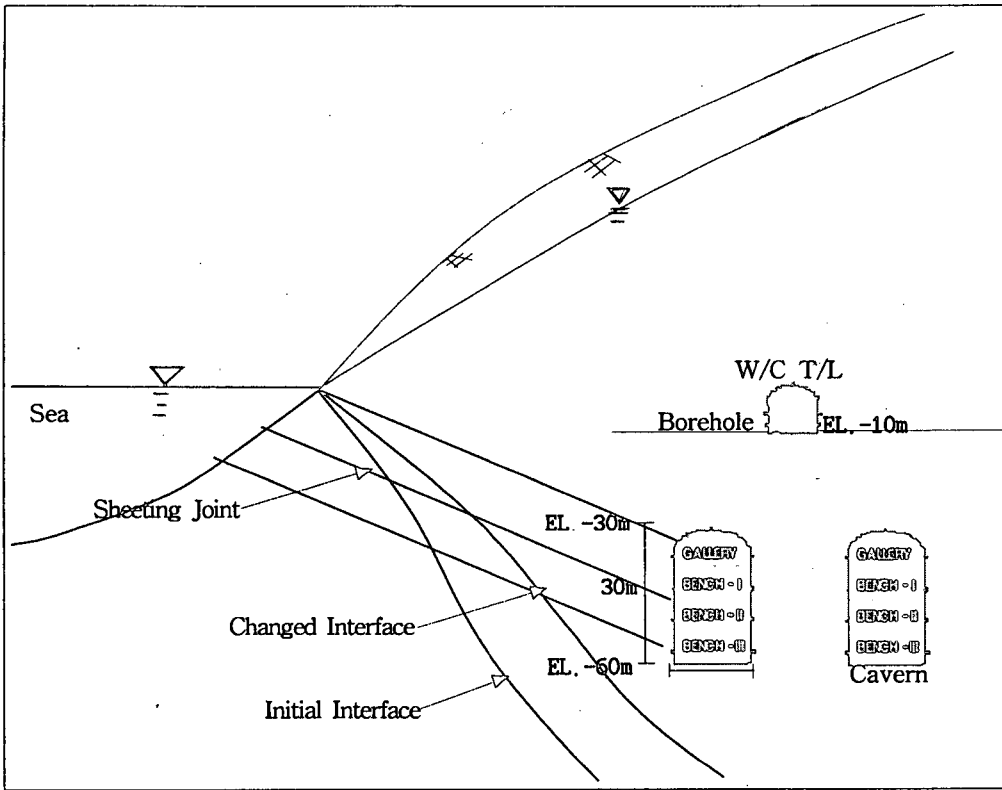


Fig. 15. Relationship between freshwater and sea water intrusion.

본 판상절리는 C1 공동에서만 출현하고 C2~C6 공동에서는 나타나지 않았다(Walton et al., 1985). 일반적으로 문헌에서 제시하는 Ghyben-Herzberg 관계식에서 $h_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f}$ 를 적용하여 $\rho_s = 1.0025g/cm^3$, $\rho_f = 1.000g/cm^3$ (ρ_s : 해수 밀도, ρ_f : 담수밀도)를 대입하여 얻어지는 $h_s = 40h_f$ 관계는 대체로 본 부지 지역에서 부합되지 않는 것은 판상절리 영향 때문이다.

따라서 염수와 담수 경계가 다르게 적용되어야 하고 본 판상 절리 구조에 의하여 해수침입을 용이하게 하는 통로 역할을 하고 있다. 시공중 판상 절리 내부에 점토 물질을 협재하지 않으므로 판상절리의 누수에 대한 지수작업 효과는 다른 함수구조보다 용이하게 얻을 수 있는 편이었다.

결 론

1. 본 부지 지역에서 발달한 지질구조는 지표 지질 조사에서 확인한 구조와 공동 굴착후 확인된 지질구조와 대체로 유사하다. 방향성은 N50~60W, N10~30E가 주요 구조로서 확인되었으며 N50~60W 방향을 가진 지질구조대는 함수구조대로서 다량의 지하수를 함유하고 있는 것으로(C5, C6) 공동 굴착시 확인되었으며 공사시 지수, 보강작업시 곤란을 겪은 사례가 있었다. 공동 단면상에 나타난 N50~60W의 절리는 양수시험 결과 지하수 유동 방향과 일치하며 동굴방향과 예각으로 교차하여 암질불량구간을 형성하였으며 일부구간의 연장성(최대 약80m)이 길어 보강공사 시공량이 증대된 구간이 되었다. 그러나 함수절리로 고려된 N10~30E 방향성 절리대에 염기성 암맥이 협재되고 뚜렷한 방향성을 가지지만 지하수 함유량은 미미한 편이었다.

2. 본 역의 화강섬록암의 지질구조는 지표 지질

조사시 나타난 수량보다 저장공동에서 3배이상 함수절리가 출현하여 단위 공동 연장 m당 5% 정도 용수개소를 나타내는 특징을 보여주고 있다. 함수 지질 구조 빈도가 많으면 많을수록 누수량이 증가하고 있으며 지형표고와 누수율의 상관성은 무관하고 오직 함수 지질구조에 의해 공동 누수량 증감 발생이 형성 됨을 알 수 있었으며 해안측 C1공동에서 출현한 저경사 절리(판상절리) 존재의 영향으로 해수와 담수의 경계 형성에 대한 Ghyben-Herzberg 이론은 현장에서 부합되지 않았다.

3. 따라서 지질 구조 분포율과 공동 누수량과의 관계는 상기와 같이 상호 밀접한 관계를 가지고 있으며 지질조사시 보다 실제 공사시에 지질 구조 빈도가 많이 나타나므로 이 점을 고려하여 향후 저유 공동 조사 설계시 기초자료로서 활용하고 시공시 지수 보강 작업 계획, 지하수 관리 계획등의 품질 관리측면상 지질 구조의 분포 및 발달 빈도의 정확한 규명을 위하여 최신 지질 구조 측정용 보아홀 텔레뷰 장비를 이용한 조사 기법을 적용하여 정량적으로 지질 구조 자료를 구할수 있도록 하는 것이 바람직하다.

사 사

이 단보에 대하여 유익한 지적을 해주신 익명의 심사위원님께 심심한 사의를 표하며, 아울러 바쁜 업무 가운데도 불구하고 논문 작성에 도움을 준 배기호대리께도 감사드린다.

참 고 문 헌

- 벽산엔지니어링, 1991, 거제추가비축기지 조사 설계 용역 검토서, 1~6.
 윤지선역, 1996, 터널공학, 구미서관, 47~64.
 한국석유공사, 1997, 거제 추가비축기지 건설지, 24~26, 32~34, 167~168, 196~201.
 한국석유공사, 1994, 거제 추가비축기지 공사평가보고서, 21~28, 132.
 한국석유공사, 1990, 거제 추가비축기지 기본조사 보고서, 21-1~11, 3.3-3~7.
 한국석유공사, 1991, 거제 추가비축기지 기본설계보

고서, V-9.

- 한국석유공사, 1995, 거제 추가비축기지 실시설계보고서, 361~366.
 한정상, 1998, 지하수 환경과 오염, 박영사, 407~482.
 Aberg, 1977, Prevention of gas leakage from unlined reservoirs in rock, Rockstore77, 399~413.
 LARS. NILSSON, 1991, 거제 Expansion project geohydrological modelling, Vbb. Viak. AB.
 Ronge & Errissons., 1986, Localizing of cavern according to permeability of tectonic element, Large rock cavern volume2, 951~960.
 Thorsten Blomquist & Gunner Gustaffson, 1982, Groundwater in rock, Viak. Abb, 19~23.
 Viking Consultant, 1982, Rockex. 82 seminar, basic design, 1~17.
 Walton, 1985, Practical aspects of groundwater modelling, 310~319.

진 한 석

한국석유공사 건설기술처

431-711 경기도 안양시 동안구 관양동 1588-14

Tel :0343-380-2881 Fax : 0343-388-9376

e-mail: hanseok@knoc.co.kr