

액화석유가스(LPG) 지하저장기지에서의 TSP(Tunnel Seismic Prediction)탐사

차성수
SK건설 GEOTASK팀

요 약

평택 및 인천의 액화석유가스(LPG) 지하저장기지에 대해 VSP(Vertical Seismic Profiling)탐사를 터널에 응용한 TSP(Tunnel Seismic Prediction)탐사를 시공 중에 실시하였다. 평택 LPG 지하저장기지에서의 TSP탐사는 저장동굴이 위치한 남양호 하부에 존재하고 사전조사단계에서 파악된 단층의 방향과 규모를 확인하기 위하여 실시하였다. 단층의 위치 및 규모를 입체적으로 파악하기 위하여 진입터널, 수벽공터널 및 공사용터널에서 TSP탐사를 수행하였으며, 진입터널에서 천공된 4공의 조사공과 비교되었다. TSP탐사 결과는 조사공 결과와 일치하였고, 파악된 단층대의 위치에 따라 기존에 설계된 저장동굴의 배치와 연장을 변경하였다. 해저에 건설된 인천 LPG 지하저장기지의 경우 시공 중에 많은 출수가 있어 효과적인 지수를 위해 지질구조에 대한 정확한 파악이 요구되었다. TSP탐사에 의한 파쇄대 분포의 파악으로 적절한 지보 및 그라우팅 대책이 이루어졌다.

주요어: 액화석유가스 지하저장기지, VSP탐사, TSP탐사

Sung-Soo Cha, 2002, TSP(Tunnel Seismic Prediction) Survey in Liquefied Petroleum Gas(LPG) Storage Cavern. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 5, n. 2, p. 75-86

ABSTRACT: A TSP(Tunnel Seismic Prediction) survey which is modified VSP(Vertical Seismic Profiling) survey applied in tunnel was carried out at Pyongtaek and Incheon liquefied petroleum gas(LPG) storage cavern during excavation. The TSP survey in Pyongtaek LPG storage cavern which is located below Namyangho was performed to confirm the location and orientation of the fault detected at pre-investigation stage. The TSP survey was carried out in access tunnel, construction tunnel, and watercurtain tunnel to characterize 3 dimensional figure of the fault. The results of TSP survey are compared four investigation boreholes drilled in shelter of access tunnel. The fault was also detected by borehole survey and the location was coincided with the result of TSP survey. Depending on the result of TSP survey and core logging, the design such as cavern layout and length was changed. Another TSP survey was performed in Incheon LPG storage cavern which is located below sea. Because of poor geological information at pre-investigation stage and suffering from heavy leakage of groundwater, the TSP survey to detect fracture zone was carried out. The support and grouting design was reflected by the result of TSP survey.

Key words: Underground liquefied petroleum gas(LPG) storage cavern, VSP(Vertical Seismic profiling), TSP(Tunnel Seismic Prediction) survey

(Cha, Sung-Soo, GEOTASK Team, SK Engineering & Construction Co., Ltd., Seoul 110-300, Korea. e-mail: sscha@skec.com)

1. 서 론

액화석유가스(LPG) 지하저장기지는 수송선을 이용하여 수입해오는 LPG를 인수하여 출하터미널에서 인출할 때까지 저장동굴을 이용하여 지하

에 저장하는 목적으로 건설된다. 수송선의 접근이 용이한 해안가에 위치하는 경우가 일반적이며, 이러한 지하저장기지의 부지특성상 해저나 호저에 건설되는 경우가 많다. 기본계획이나 기본 및 실시설계를 위한 지질조사단계에서는 지구물리탐사

가 주로 지상에서 실시되므로 해안가에 위치한 대상부지의 조건이 탐사를 실시하기에는 제약이 많고 지표에서 실시하는 탐사방법상 해상도의 한계로 인하여 저장동굴이 위치하는 지역의 지질구조를 정밀하게 파악하는데 한계가 있다. 액화석유가스(LPG) 저장동굴은 노선이 확정되어 있고 선형구조물인 일반 터널과는 달리 동굴의 규모나 방향, 길이 등을 시공 중에 파악되는 지질조건에 따라 변경할 수 있다. 설계단계에서 예측된 지질조건이 실제 조건과 상이한 경우 설계변경을 실시해야하므로 최적설계를 위한 지질조사를 시공 중에도 지속적으로 실시하여야한다. Sattel *et al.* (1992)에 의해 소개된 이후 터널분야에서 많은 적용사례를 보여주고 있는 TSP(Tunnel Seismic Prediction)탐사를 액화석유가스(LPG) 저장동굴의 시공 중에 실시하여 기본계획 및 설계단계에서 명확하게 규명되지 않은 지질구조대를 파악하였다.

평택 LPG지하저장기지는 저장동굴이 남양호 하부에 존재하고 있으며, 프로판을 저장용 목적으로 진입터널을 이용하여 저장동굴을 굴착하였다. 기본계획 및 설계단계에서 지표 탄성파탐사 및 시추조사 등을 실시하여 남양호 하부에 단층의 존재를 확인하였으나 단층에 대한 정확한 규모나 특성 등을 파악하지 못하였다. 사전 지질조사에서 정확하게 파악하지 못했던 단층의 방향과 위치 및 규모를 파악하기 위하여 시공 중에 진입터널 및 수벽공터널을 이용한 TSP탐사를 실시하여 저장동굴

의 남양호 하부지역에 예상되는 단층의 규모 및 방향성을 파악하고자 하였다. 인천 LPG지하저장기지는 인천의 해저에 공사용 수직갱 방식으로 건설되었다. 해저에 건설되어 기본계획 및 설계단계의 지질조사에서 파쇄대에 대한 정보가 충분히 파악되지 않았고, 공사용 터널 및 저장동굴 굴착 진행에 따른 다량의 출수가 있어 이에 대비한 그라우팅과 지반보강 등을 위하여 단층파쇄대를 파악하기 위한 TSP탐사를 실시하였다.

2. 탐사 방법

석유탐사분야에서 많은 발전을 이룬 VSP(Vertical Seismic Profiling)탐사를 터널 및 지하공간분야에서 응용하기 위한 시도가 계속되어 왔으며, 수진기와 발진공에 배열에 따라 RVSP개념의 TSP(Tunnel Seismic Prediction)탐사 및 VSP개념의 HSP (Horizontal Seismic Profiling)탐사로 명명되어 실시되어오고 있다(Sattel *et al.*, 1992; Cha *et al.*, 1996; Inazaki *et al.*, 1996).

터널 내에서 VSP를 응용하기 위하여 VSP에서 발생하는 고전적인 잡음 등의 문제를 극복하기 위하여 수진기의 설치 및 발파에 특별히 유의할 필요가 있다(Hardage, 1992). 터널 내에서 발파할 때 터널 벽면을 따라 진행하는 터널파는 지질구조대에서 반사해온 반사파의 신호를 교란하므로 터널파에 의한 낮은 S/N비를 높이기 위하여 수

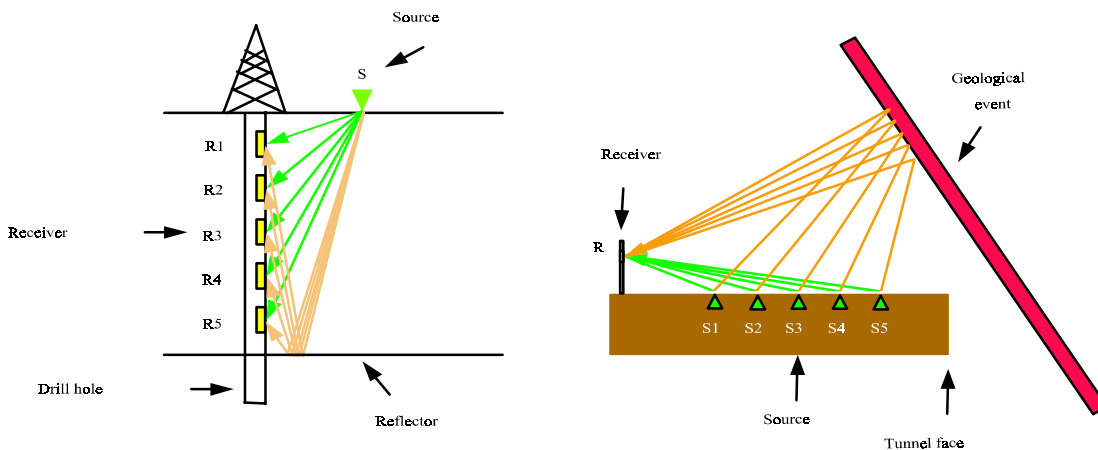


Fig. 1. Schematic diagram of VSP survey in oil prospecting and TSP survey applied in tunnel (Cha *et al.*, 1996)

진기의 설치에 주의하여야한다. TSP탐사시 지표 탐사용 수진기를 터널 벽면에 정착하여 사용할 경우 터널파에 의해 심한 잡음이 발생하므로 수진기를 2m정도의 깊이로 인입할 수 있도록 설계된 것을 사용하였다.

진원으로는 20~30g정도의 다이내마이트를 사용하였고, 뇌관은 시간지연이 없는 순발뇌관을 사용하였다. 발파는 1.5m정도의 발파공을 천공하여 화약을 장약한 후, 물이 흐르는 호스를 발파공에 넣어 물로 전색하였으며, 수압이 강하게 작용하거나 파쇄가 심하여 물로 전색되지않는 경우는 모래나 록볼트 정착용 레진을 이용하여 전색하였다. 수진기의 보호를 위하여 첫 번째 발파는 수진기로부터 20여m 전방으로부터 시작하였다. 정확한 자료해석을 위하여 20여개 정도의 발파공에서 발파를 실시하였고, 발파공의 간격은 1~1.5m정도로 하였으며, 전색용 물이 충분히 고일 수 있도록 약 10°정도 하향으로 현장여건에 맞게 천공하였다.

자료처리는 회절중합법을 이용하여 하였다. 회절중합법은 탄성파가 반사하는 불연속면의 위치를 파악하기 위하여 탄성파가 전파하는 전체지역을 불연속면에 의해 회절 가능한 가상점원(회절점)으로 가정하고, 계산의 편리를 위하여 그 가상 점원들의 위치를 일정한 간격의 격자교차점의 위치로 나타낸다. 탄성파 궤적에서 구해진 반사신호의 기록시간과 직접파에서 구해진 암반의 속도로부터 회절점의 거리를 구하고, 두 초점으로부터 거리의 합이 일정하다는 타원의 정의를 이용하여 수진기와 발파공을 두 초점으로 하고 같은 거리에 있는 타원상의 격자점을 회절되었을 가능성이 있는 잠재위치로 선정한다. 호이겐스의 원리로부터 반사파가 형성된 불연속면에서 2차 점원이 존재하고 이 점원에서의 강도는 반사계수와 일치한다. 각각의 발파로부터 얻은 불연속면의 가상회절점을 전체 발파에서 얻은 것으로 중첩하면 반사면에 의한 신호는 증폭되어 나타나고 다른 가상 위치의 것은 증폭되지 않는다. 증폭된 위치의 점들의 접선이 지질구조대의 위치 및 방향이 된다. Fig. 2는 잠재적 회절위치를 나타내는 타원의 중첩에 의한 구조대의 위치 및 방향을 결정하는 과정을

보여준다.

3. 평택 액화석유가스(LPG) 지하저장기지

3.1. 지질개요

조사지역은 선캠브리아기의 경기 편마암 복합체의 서남 측에 해당한다. 조사지역 부근에 분포하는 암석은 기원암의 성분과 구조, 변성정도에 따라 화강암질 편마암, 흑운모 편마암, 석영운모 편암, 흑연 편암 및 석회질 편암 등이며 이들의 상호관계는 불규칙적이다. 암맥류는 중성 내지 염기성으로써 변성암 내에 파쇄대를 따라 관입되어 있다.

진입터널 지역의 지질은 약간 풍화가 진행된 편마암류가 기반을 이루며, 염기성 암맥류가 편리 방향과 평행하게 혹은 가로질러 형성되어 있다. 편마구조는 NW-SE계열에 NE 방향으로 경사를 갖는 것이 주로 우세하게 나타난다.

저장동굴 주변의 암반은 편마암으로 대부분 편마구조가 현저한 호상편마암이나 국부적으로 편마구조가 거의 안 보이는 화강암질 편마암 등이 나타난다. 염기성 혹은 산성 암맥이 두께를 달리 하며 나타나는데, 주로 NE계열의 주 절리와 평행한 방향성을 가지고 있다. 저장동굴 북서부에서 남동부로 편마암과 경계를 보이는 편암은 하부에 나타나는데 경계면은 부분적으로 심하게 왜곡되어 있다. 저장동굴 북단에 나타나는 주 단층대는 N70~80W/ 60~65NE 방향을 가지고 있으며 여기서 파생된 소 단층군이 N45W/ 65NE와 N5E/ 25SE 방향성을 갖고 비교적 큰 규모의 전단파쇄대를 형성하고 있다.

3.2. 탐사개요

기본계획 및 설계시 실시된 굴절법 탄성파 탐사 및 시추조사 결과 남양호 하부의 저속도대 및 단층의 존재는 확인되었다. 그러나 단층의 위치가 정확히 파악되지 않아 저장동굴의 북쪽 연장에 대한 안정성의 확보가 중요한 문제로 대두되었다. 남양호 하부의 단층대의 정확한 위치를 파악하기 위하여 탐사 당시 굴착이 진행된 진입터널, 수직 수벽공터널, 공사용터널에서 TSP탐사를 수행하였

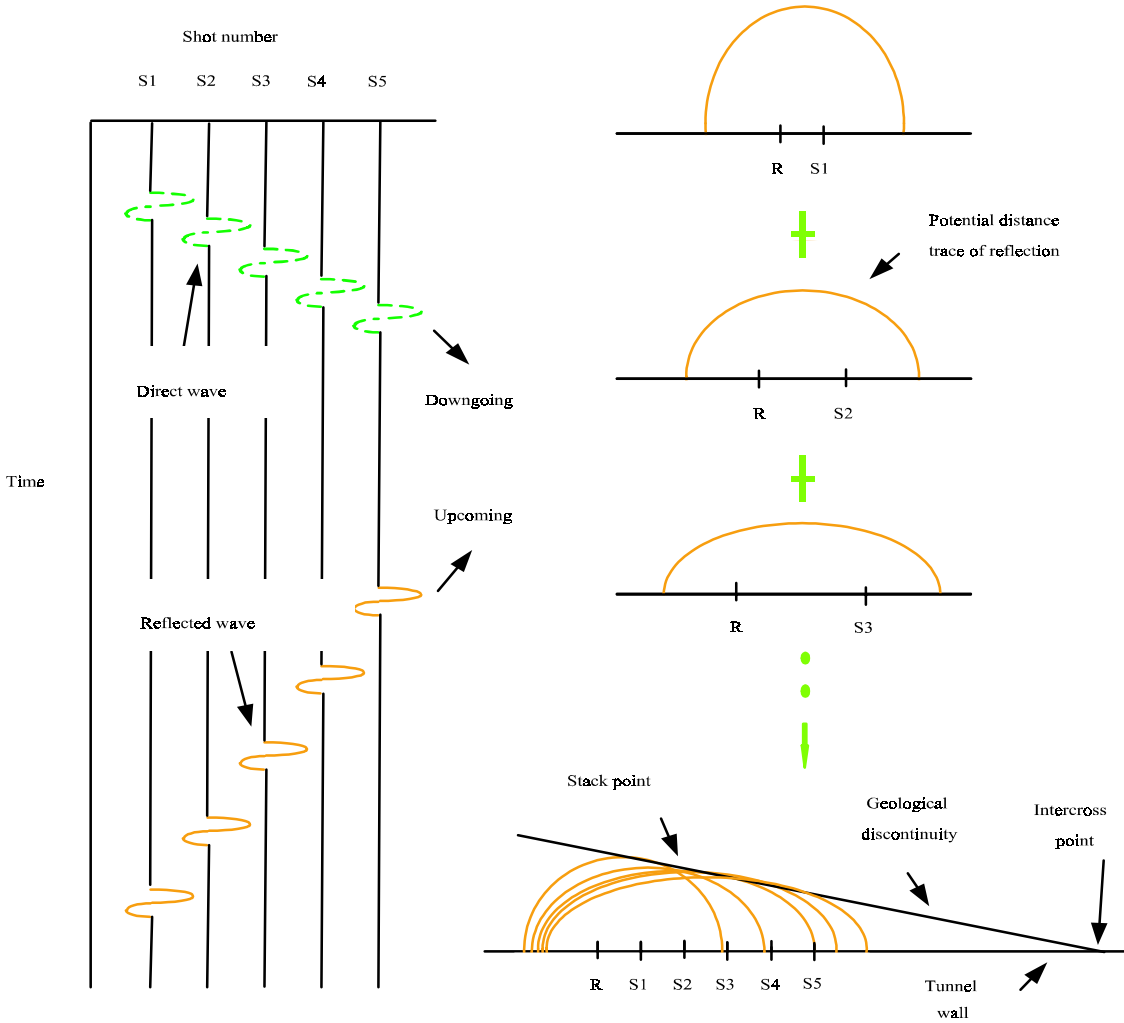


Fig. 2. Schematic diagram of diffraction stack method. (Cha et al., 1996)

다. 이러한 탐사 배치는 남양호 하부의 단층대에 대한 복합적인 정보를 획득하고 입체적인 분석으로 방향성에 대한 파악을 용이하게 하기 위하여 실시하였다. 진입터널 지역에서 1차로 탐사를 수행하였으며, 수직수벽공터널에서 2차로, 공사용터널에서 3차 탐사가 진행되었다. 1차 탐사 결과에서 단층의 위치는 기본조사시 판단된 것보다 지하동굴에 더 가까운 것으로 파악되었다. 단층의 발달상태와 방향성을 판단하기 위하여 지하동굴의 서측끝단에 위치하는 수직수벽터널에서 2차 탐사가 이루어졌다. 탐사결과 진입터널지역에서 파악된 단층과 같은 연장의 단층군이 감지되었고

전체 단층군의 연장분포를 확인할 수 있었다. 1차와 2차 탐사 중간부분의 공사용터널에서 3차탐사가 이루어졌으며, 이로써 동굴의 안정성을 위협하는 남양호 하부의 단층군에 대한 전체적인 윤곽을 파악하였다.

3.3. 자료획득

각 위치에서의 탐사측선은 주요 지질구조대인 남양호 하부의 단층을 파악하기 위한 배치를 계획하였다. 예상단층의 위치를 고려하여 단층대 파악이 유리하다고 판단되는 진입터널, 공사용터널, 수직수벽공터널의 3개 지역에 탐사측선을 선정하

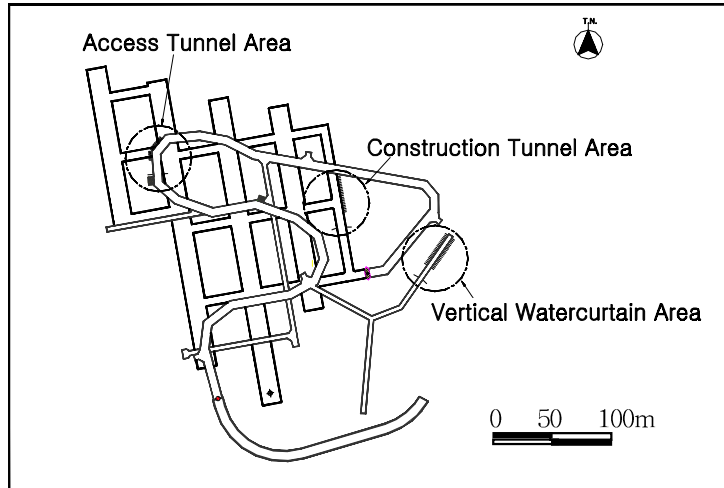


Fig. 3. Location map of TSP survey. Survey configurations were arranged in access tunnel, construction tunnel and watercurtain tunnel. The slope of access tunnel is 12% and, the slopes of construction tunnel are ranged from 12.2% to 13.3%. Watercurtain tunnel is horizontal.

여 지하학적으로 효과적인 측선 배열을 실시하였다.

진입터널에서는 진입터널의 선형 특성상 충분한 직선 구간을 확보하기가 어려웠고, 탐사당시 터널이 우측으로 굴곡이 있어서 탐사기준선은 N10E 방향으로 하향 12% 경사를 이루고 있으며, 해석시 이를 고려하였다. 수직수벽공터널에서의 탐사기준측선은 El. -49 m에서 수평으로 일렬로 위치하였고, 수직수벽공터널의 측방향과 평행하도록 설정되었다. 저장동굴의 공사용터널은 저장동굴 상단 갤러리에서 첫 번째 벤치까지 12.2%, 첫 번째 벤치에서 두 번째 벤치까지는 13.3%경사가 있어서 탐사시 경사에 의한 지하학적 관계를 고려하여 발파공 및 수신기를 배열하였다.

3.4. 탐사결과

3.4.1. 진입터널 지역

전방의 주요 단층대는 수신기로부터 전방 59 m 근방의 A군, 77 m 근방의 B군, 102 m 근방의 C군으로 모두 3개군의 지질이상대가 파악되었다. B군인 77 m 지점의 신호는 불량한 암질과 양호한 암질이 교호하는 복잡한 양상을 나타내었다. 단층파쇄대는 3개군으로 분포되어있으며, 60~65°내외의

경사각을 지니고 주향은 N70~80W인 것으로 파악되었다. 또한 이러한 3개군의 단층이외에 탐사측선 좌측 지역에 1개의 지질이상대가 파악되었다.

3.4.2. 수직수벽공터널 지역

파악된 주요 단층군의 위치는 수신기로부터 전방 68~70 m 지점의 A군, 116~119 m 지점의 B군, 145~150 m 지점의 C군으로 3개군의 단층대가 나타났다. 이들 단층군은 60~65°내외의 경사각과 N70~80W 방향의 주향을 보여주었다. 또한 이러한 3개군의 단층이외에 탐사측선 우측지역에서 1개의 지질이상대가 파악되었다.

3.4.3. 공사용터널 지역

공사용 터널지역은 1, 2차에서 실시된 탐사에 의해 파악된 단층의 연결성의 확인하기 위하여 실시하였다. 공사용 터널지역에서 확인된 단층대의 위치는 수신기로부터 전방 82~88 m에 있는 A군, 95~100 m에 있는 B군, 120~132 m에 있는 C군이 파악되었으며, 154 m 전방의 이상대도 파악되었다. 각 단면으로부터 파악된 단층군은 3개군으로 분포되어있으며, 60~65°내외의 경사각과

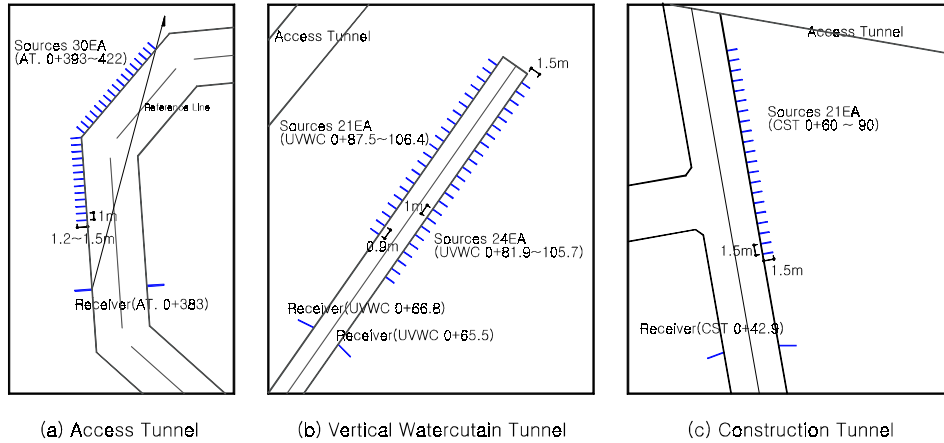


Fig. 4. Detailed diagram of source and receiver array. (a) Access Tunnel: 30 Shots were performed in blasting holes at the left wall. The positions of each shot were calculated from reference line. Depth of holes was ranged from 1.2 m to 1.5 m. Interval of holes was 1m. Receiver holes were drilled 2.5 m at both side of wall. (b) Watercurtain Tunnel: 21 shots and 24 shots were performed in blasting holes at left and right wall respectively. Depth of holes was 1.5 m. Interval of holes were 0.9 m and 1 m at left and right wall respectively. Receiver holes were drilled 2.5 m at both side of wall. (c) Construction Tunnel: 21 Shots were performed in blasting holes at the right wall. Depth of holes was 1.5 m. Interval of holes was 1m. Receiver holes were drilled 2.5 m at both side of wall.

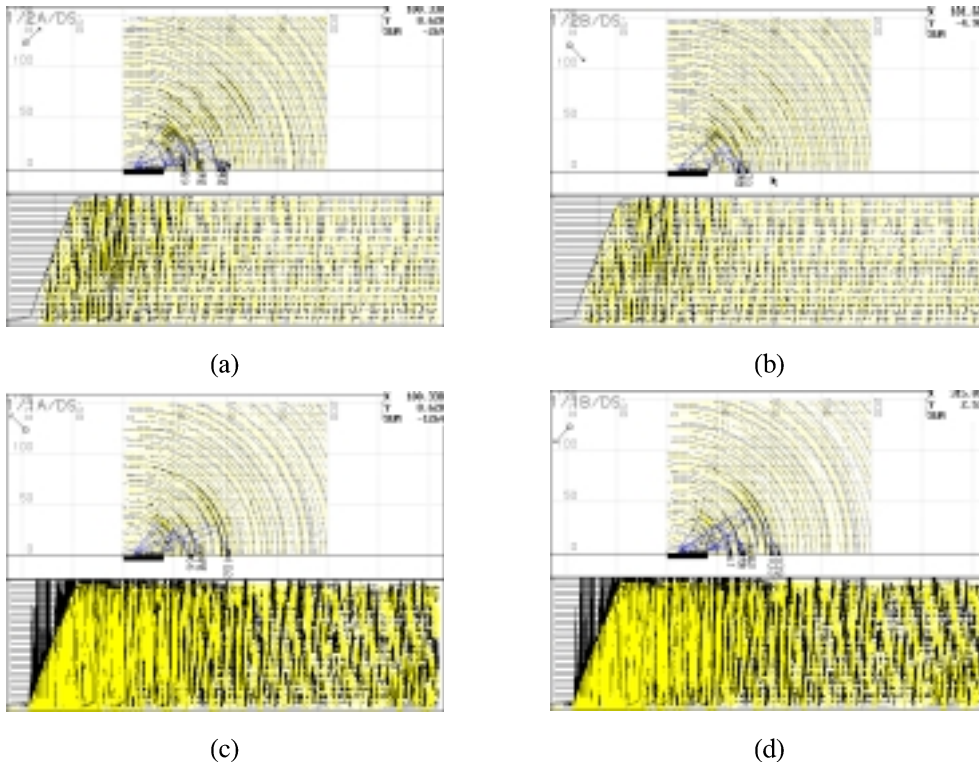


Fig. 5. Diffraction stack sections of TSP survey at access tunnel area. The sections consist of 4 parts perpendicular to reference line. (a) Right upper part shows 3 events. (b) Right lower part shows 1 event. (c) Left upper part shows 3 events. (d) Left lower part shows 5 events.

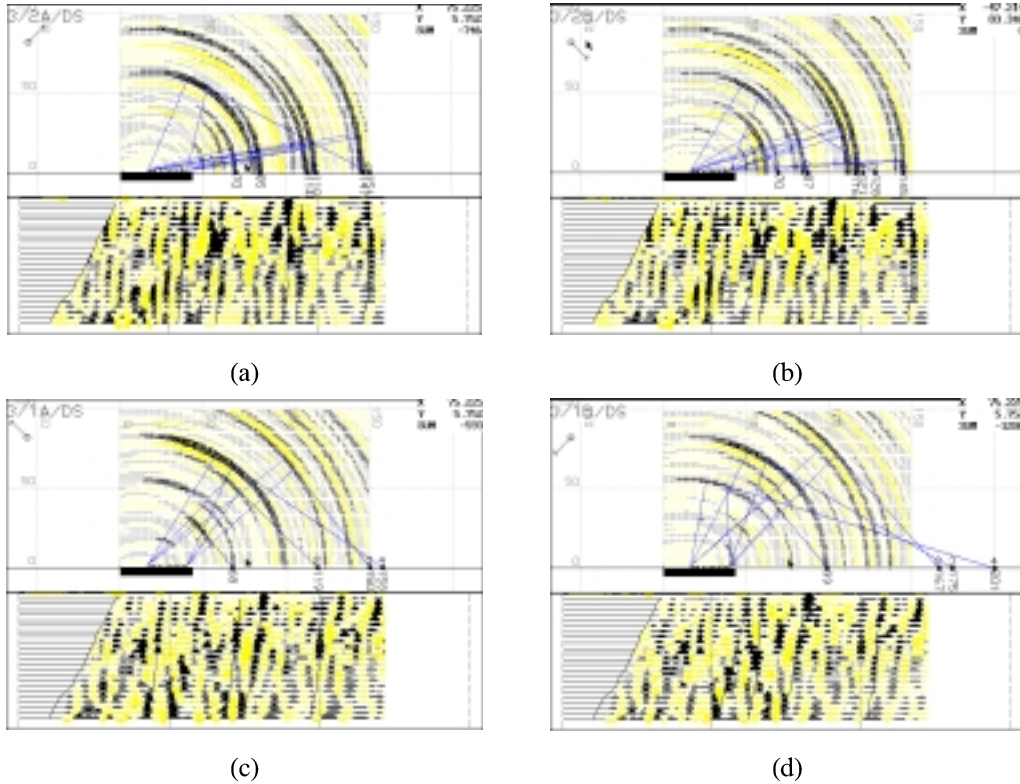


Fig. 6. Diffraction stack sections of TSP survey at watercurtain tunnel area. The sections consist of 4 parts perpendicular to reference line. (a) Right upper part shows 4 group of events. (b) Right lower part shows 4 group of events. (c) Left upper part shows 4 events. (d) Left lower part shows 4 events.

N70~80W방향의 주향을 보여주었다.

3.5. 터널내 시추조사

기본조사시 파악된 저장동굴 북단의 대규모 단층대의 규모와 위치 및 방향성 등을 확인하기 위하여 진입터널 굴착 중에 시추조사를 시행하였다. 시추작업은 단층대로 판단되는 불량 암질구간까지 굴진하는 것으로 하였으며, 시추공은 가능한 단층대의 폭을 파악할 수 있도록 단층대를 통과하려고 하였다. 터널내 시추를 위하여 진입터널의 측벽에 시추조사를 할 수 있는 챔버를 만들었으며, TSP에서 파악된 단층의 방향 및 위치를 고려하여 천공 방향을 선정하였다. 시추는 20~25°각도로 하향 천공하였으며, 공경은 NQ 크기로 실시하였다.

시추조사 결과 기본조사시 확인된 단층대가 저장동굴 예정지의 끝자락에 위치하고 있으며, 단층대의 영향권에 속하는 함수 파쇄대군을 확인하였

다. 단층대는 UB-1에서는 천공깊이 118.2m, UB-2에서는 69 m, UB-3에서는 125 m, UB-4에서는 88m 에서 감지되었다. 단층대로 판단되는 불량 암질 구간은 다량의 지하수를 포함하고 있었으며, 수질은 염분이 함유되어 있었다.

3.6. 결과종합 및 설계변경

탐사결과 저장동굴 끝단에 위치하고 남양호 하부에 존재하는 단층대는 N70-80W/60-65NE의 방향성을 지니며, 여러 군의 지질이상대를 포함한 대규모의 단층파쇄대로 이루어진 것으로 파악되었다. TSP탐사에서 얻어진 단층대의 위치는 시추조사 결과를 통하여 확인되었으며, 시추조사 결과와 종합하여 단층대의 분포 상황을 정확히 파악할 수 있었다.

단층대는 저장동굴의 끝단과 만나는 것으로 파악되어 저장동굴의 안정성에 영향을 줄 것으로 판

단되었다. 저장동굴의 안정성을 확보하기 위해서 저장동굴 끝단과 단층과쇄대의 이격거리를 지하동굴 폭의 2배정도인 30m이상 되도록 재설계를 실시하였다. 진입터널도 또한 단층과 너무 근접하여 평행한 방향으로 진행하게 되므로 시공상의 어려

움이 예상되어 기존설계보다 남단에 위치하도록 변경하였다. TSP탐사와 시추조사 결과를 종합한 단층대의 위치 및 이에 따른 설계변경안은 Fig. 9에 도시하였다.

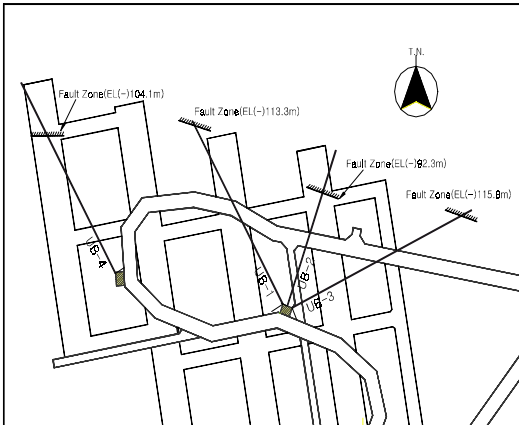


Fig. 7. Location map of boreholes.

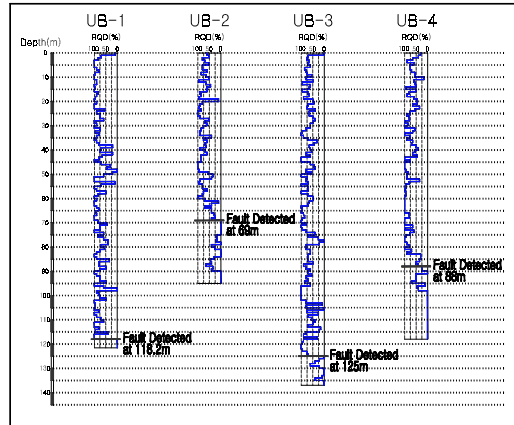


Fig. 8. Diagram of borehole logging. Profiles show RQD distribution and location of detected fault.

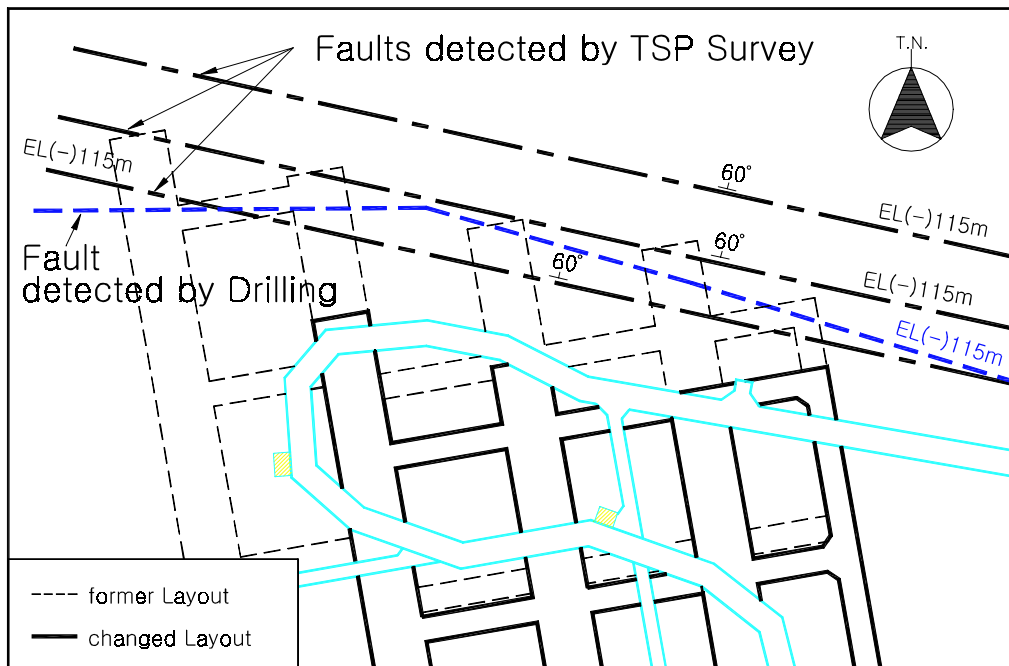


Fig. 9. Location map of faults detected by TSP and borehole survey. Thick line shows design alternative of cavern reflected on survey results.

4. 인천 액화석유가스(LPG) 지하저장기지

4.1. 지질개요

조사지역은 주로 선캠브리아기 경기 편마암복합체의 편마암과 편암으로 구성되어 있고, 부분적으로 염기성 암맥과 대규모 석영맥이 관입해 있으며, 렌즈형의 규암이 분포하고 있다. 암석의 분포 양상에 따라 크게 네 가지 지역으로 구분된다. 공사용터널 II 종점부, 부탄동굴지역은 우백질 편마암이 우세하고, 공사용수직갱, 수벽공터널 Station 0m~350m 지역은 호상편마암이 우세하며, 공사용터널 I 지역 대부분과 공사용터널 II 시점부 지역은 우백질 편마암, 호상편마암, 흑운모편마암, 안구상편마암, 운모편암, 화강암 등이 혼재되어 나타난다. 공사용터널 I 및 수벽공터널 중앙부분은 기존시추조사 및 탄성파탐사 등에 의해 암질이 불량한 것으로 예측된 지역으로 조사지역의 서북쪽에서 남서쪽 방향으로 분포되어 있다.

4.2. 탐사개요

인천 LPG 지하저장기지는 부지 서쪽의 프로판동굴과 동쪽의 부탄동굴로 구성되어있다. 사전조사단계에서 파악된 지하동굴 지역에 대한 지질구조를

확인하고, 사전조사에서 충분히 파악하지 못한 지질구조를 인지하여 저장동굴의 안정성을 위협하고 과다한 출수가 있는 지역에 대한 적절한 보강 및 그라우팅 대책과 적합한 굴착공법선정의 기본자료로 활용하기 위하여 TSP탐사가 실시되었다. 탐사는 프로판저장동굴지역 지질구조의 기하학적 형상을 효과적으로 판단하기 위하여 공사용터널 I 및 수벽공터널에서 되도록 측선이 평행하도록 계획하였고, 부탄저장동굴지역은 공사용터널 II에서 탐사를 시행하였다.

4.3. 자료획득

공사용터널 I에서 실시한 탐사는 탐사당시 굴착공정이 수벽공터널과 평행한 부분까지 진행되지 않았고 터널이 Station 170.35m에서 21.6°정도 우향으로 굴곡되어있어 탐사측선을 직선으로 하고 수벽공터널과 평행하게 하기 어려웠다. 측정기준선은 수진기가 설치되어 있는 터널면의 연장방향으로 설정하였고 터널의 경사도는 10%를 가지므로 결과해석은 기준선을 따라 Elevation이 낮아지는 것을 고려하여 실시하였다. 수벽공 터널에서 실시한 탐사는 탐사구간에서 Elevation의 변화가 없으므로 해석 결과는 탐사를 실시한 고도와 같은

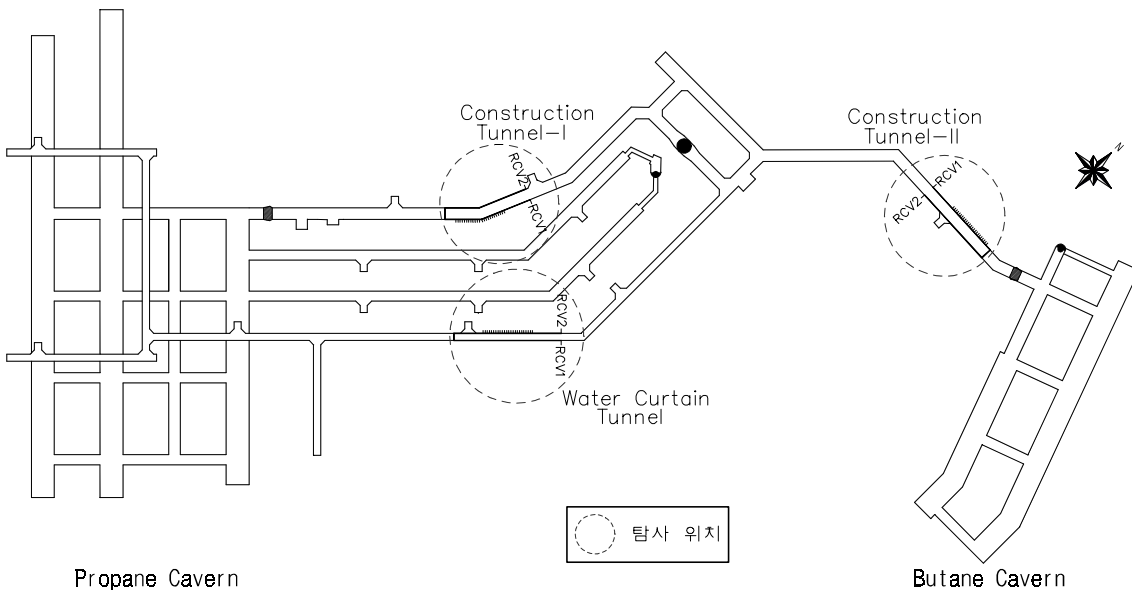


Fig. 10. Location map of TSP survey. The survey configurations were arranged in construction tunnel I, construction tunnel II and watercurtain tunnel. The slope of construction tunnel I and II are 10% and 3.9% respectively. Watercurtain tunnel is horizontal.

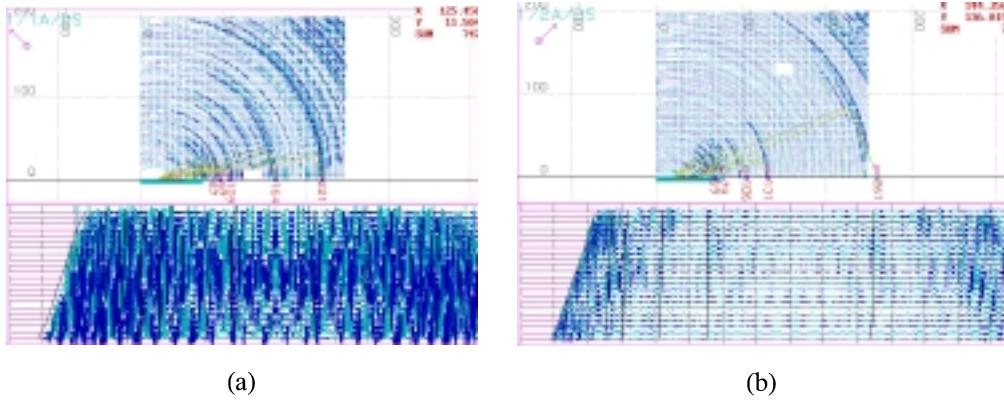


Fig. 11. Diffraction stack sections of TSP survey at watercurtain tunnel area. The sections consist of 2 parts perpendicular to reference line. (a) Left part shows 5 events. (b) Right part shows 5 events.

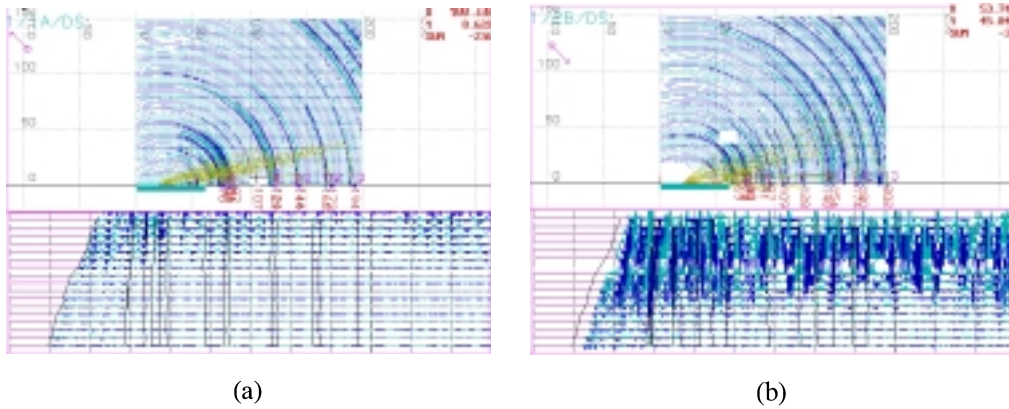


Fig. 12. Diffraction stack sections of TSP survey at construction tunnel I area. The sections consist of 2 parts perpendicular to reference line. (a) Left part shows 6 events. (b) Right part shows 12 events.

EI-105 m(수진기 기준)에서 실시하였다. 공사용터널 II에서 실시한 탐사는 3.9% 정도의 경사를 가지며 해석시 기준점인 수진기의 위치로부터 이러한 기하를 고려하여 보정하였다.

조사지역 지질구조의 방향성을 더욱 정확히 파악하고, 두 축선의 결과를 비교 검토하기 위하여 공사용터널 I 및 수벽공터널에서 두 개의 탐사축선을 평행하게 배치하였으나 탐사실시 당시 공사용터널 I의 굴착이 평행한 배열을 이루기 어려운 상태여서 교차각이 형성되도록 축선이 배치되었다. 각기 다른 고도에서 실시한 탐사의 해석 결과를 종합하여 전체적인 구조의 해석을 실시하였다.

4.4. 탐사결과

4.4.1. 수벽공터널 지역

구조선의 주향은 주로 N50~60W이며, 축선 좌측부에서 수진기로부터 탐사기준선방향으로 87 m, 97 m, 109 m, 164 m, 221 m 전방에서 파쇄대가 인지되었고, 우측부에서 69 m, 79 m, 106 m, 131 m, 261 m 전방에 파쇄대가 인지되었다.

4.4.2. 공사용터널 I 지역

구조선의 주향은 주로 N50~60W이며, 축선 좌측부에서 수진기로부터 탐사기준선방향으로 76 m, 83 m, 124 m, 144 m, 173 m, 194 m 전방에서 파쇄

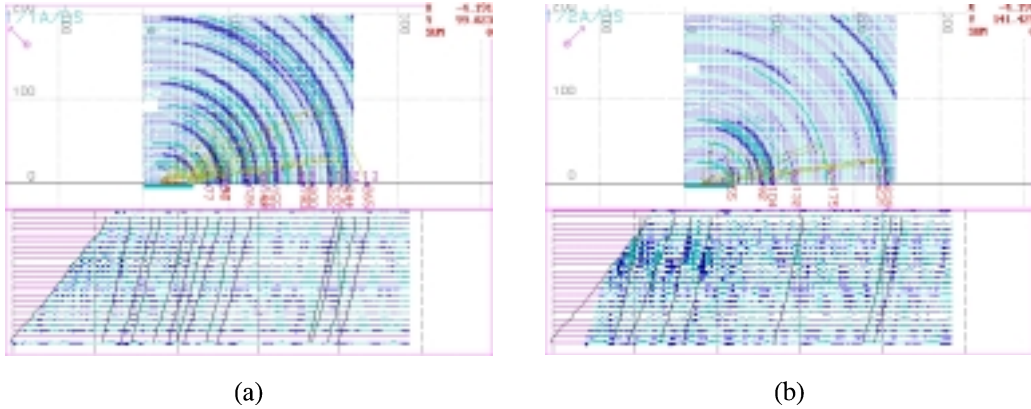


Fig. 13. Diffraction stack sections of TSP survey at construction tunnel II area. The sections consist of 2 parts perpendicular to reference line. (a) Left part shows 8 events. (b) Right part shows 7 events.

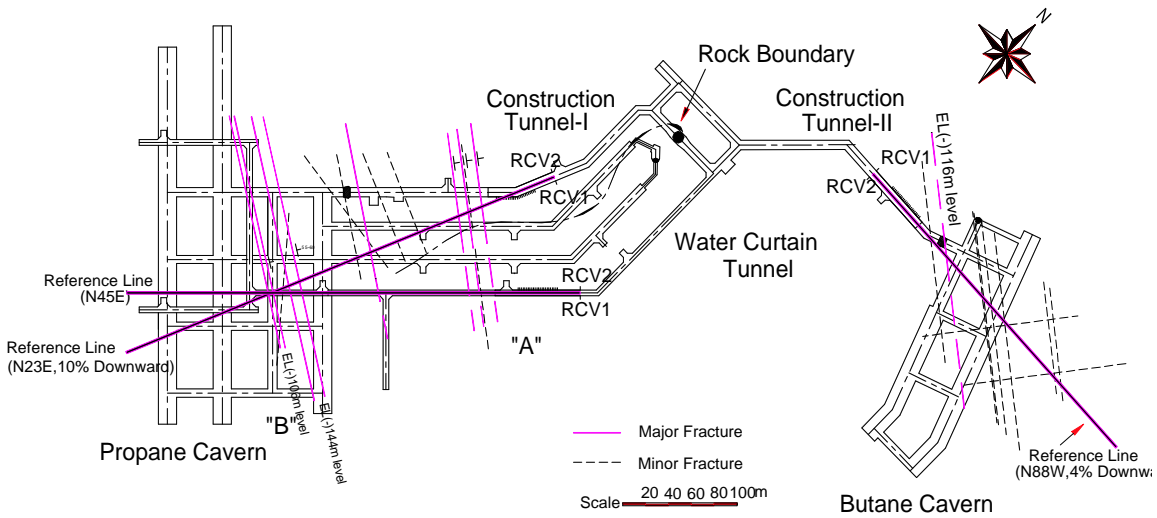


Fig. 14. Result of TSP survey. Solid line shows major fracture zone and dashed line shows minor fracture zone.

대가 인지되었고, 우측부에서 12개의 불연속면이 인지되었는데 73 m, 97 m, 109 m, 174 m 전방에 주요 파쇄대가 존재하는 것으로 파악된다.

4.4.3. 공사용터널 II 지역

좌측부 구조선의 주향은 주로 N50W이며, 수진기로부터 탐사기준선방향으로 77 m, 97 m, 126 m, 190 m, 200 m, 222 m, 265 m 전방에서 파쇄대가 인지되었고, 우측부는 N50W주향의 구조선과 더불어 N40E주향의 파쇄대가 92 m, 104 m, 239 m 전방에서 인지되었다.

4.5. 결과종합

공사용터널 I과 수벽공터널에서 실시한 탐사결과를 종합하면, 조사지역의 구조대는 대체로 N50~60W의 파쇄대가 발달되어 있는 것으로 파악된다. 두 축선에서 종합하여 검토된 지질구조는 크게 공사용터널 I 지역의 A군과 프로판저장동굴지역의 B군으로 나눌 수 있으며, 저장동굴 플러그부근의 N55W 주향의 파쇄대도 또한 관찰된다. 공사용터널 II에서 실시한 탐사결과도 주요한 파쇄대의 방향이 N50W의 주향을 보여주고 있다.

5. 결 론

액화석유가스(LPG) 지하저장기지와 같은 대규모 저장동굴은 진입터널, 공사용터널, 수벽공터널 등이 존재하여 주 저장동굴을 굴착하기 전에 3차원적인 기하형태로 발진공 및 수진기를 배열할 수 있어서 주요 지질구조에 대한 파악이 용이하다. VSP탐사를 터널에 응용한 TSP탐사를 통하여 시공 중에 효과적으로 저장동굴 지역의 지질구조를 파악하였다.

저장동굴이 남양호 하부에 위치하는 평택 LPG 지하저장기지는 설계단계의 조사에서 남양호 하부에 대규모 단층의 증거를 파악하였으나 저장동굴의 정확한 배치에 필요한 단층의 방향성 및 위치 등의 정보가 충분하지 않았다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 시공 중에 다양한 위치에서 TSP탐사를 실시하여 단층의 위치 및 방향성 등을 파악할 수 있었고, 진입터널내 시추조사의 결과와 종합하여 단층대 분포에 대한 확실한 윤곽을 얻을 수 있었다. 탐사결과 저장동굴의 예정지의 끝단에 위치하고 남양호 하부에 존재하는 단층대는 N70-80W/60-65NE의 방향성을 지니며, 3개군 정도의 지질구조대를 포함한 대규모의 단층파쇄대로 이루어진 것으로 파악되었다. TSP탐사와 터널내 시추조사의 결과에 따라 당초 설계안에서 지하동굴의 끝단 연장 및 진입터널의 경로를 변경하였다.

인천 LPG지하저장기지는 서해안 하부에 건설되었다. 공사중 다량의 용수로 인하여 공사의 어려움을 많이 겪었으며 설계단계에서 충분히 파악되지 않은 지질구조를 정확히 파악하여 용수에 대

치하고 적절한 지보대책을 수립하기 위하여 TSP탐사를 실시하였다. 탐사결과 프로판동굴로 진입하는 공사용터널 I 과 수벽공터널에서 N50W주향의 A군의 파쇄대와 프로판동굴지역의 N60W주향의 B군의 파쇄대가 파악되었고, 프로판동굴 플러그부근에서 N55W주향의 파쇄대가 파악되었으며, 부탄동굴지역에서 N50W주향의 파쇄대가 파악되었다. TSP탐사 결과에 따라 파쇄대에 대한 적절한 지보 및 그라우팅 대책이 수립되었다.

참고문헌

Cha, S. S., Lee, J. M., and Nam, K. C., 1996, Prediction of discontinuity and determination of rock properties for effective tunnel construction using vertical seismic profiles applied in tunnel: Proceeding of the Korea-Japan joint symposium on Rock Engineering, p. 269-273

Hardage, B. A., 1992, Crosswell Seismology and Reversed VSP: Geophysical Press, London

Inazaki, T., Kurahashi, T., and Research Group on HSP, 1996, Imaging and Characterizing fractures ahead of tunnel face using in-tunnel HSP method: Proceeding of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, p. 597-600

Sattel, G., Frey, P., and Amberg, R., 1992, Prediction ahead of the tunnel face by seismic methods-pilot project in Centovalli Tunnel, Locarno, Switzerland: First Break, vol. 10, p. 19-25

2002년 3월 5일 원고접수
 2002년 6월 21일 원고채택