

심도에 따른 불연속면의 형태 변화에 대한 고찰 -호남탄전과 수원인근 지역을 예로 하여-

이병주^{1*} · 선우춘²

¹한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

²한국지질자원연구원 지반안전연구부

Consideration of Changed Attitude of Discontinuity through the Depth -Example at Honam Coal Field and Around Suwon Area-

Byung-Joo Lee^{1*} and Sun-woo Choon²

¹Geology and Geoinformation Div., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

²Geotechnical Engineering Div., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

지각 천부인 취성변형의 조건 하에서도 지표에서 발달하는 절리들의 방향성 분포가 지하 심부로 가면서 지하 몇 미터에서부터 불연속면의 변화를 보이는데 대해 의문이 생긴다. 이에 대한 의문의 해결을 위해 본 연구에서는 지표지질조사를 통해 측정된 불연속면의 자료와 BIPS 및 Televiewer에 의해 측정된 불연속면의 자료들을 두 개 지역에 대해 비교 분석하였다. 호남탄전지역은 지하 심부로 가면서 지표에서 30 m와 40 m 지점에서 불연속면의 방향성이 변하며 수원지역의 경우는 20 m에서 불연속면의 방향들이 변화하였다. 이와 같은 변화가 등방성의 암석에서 변화를 관찰함이 심도별 변화를 대비 할 수 있으나 호남탄전의 경우는 퇴적암으로 측정된 암반이 세립질의 사암과 세일이 교호하는 이방성의 암반이며 스트리트단층이 통과하고 있다. 그러나 수원지역의 경우는 대개 운모편암들로 호남탄전 지역보다는 암질의 변화가 적다. 그러나 두 지역 공히 지하 20 m와 30 m 이하에서 이미 지표와는 달리 불연속면의 분포특성이 바뀔을 시사하고 있다.

주요어 : 불연속면, 취성변형, 절리의 방향성, 수직적 변화, 텔레뷰와 빕스

We have a question about the changing possibility of orientation of discontinuities through the depth of underground. To know this, the data from Honam coalfield composed of shale, sandstone and coal and Suwon area which crops out mica schist, were analyzed the discontinuities measured by BIPS and Televiewer. In Honam coalfield the orientations of joints are changed at 30-40 m depth of underground and in Suwon area they are changed around 20 m depth. To compared the results from Honan coalfield and Suwon area, there are different rock type and geologic structure. However, the attitude of the discontinuities are changing at 20-30 m depth of underground.

Key words : Discontinuity , Brittle deformation, Attitude of joint, Vertical change, Televiewer and BIPS

서 론

터널굴착이나 지하공간 이용을 위한 토목 구조물 설계나 시공 시 지표지질조사에서 나타난 불연속면들 중 비교적 규모가 큰 단층이나 층리 등은 정밀한 지표지질 조사를 통한 지질 단면을 정확히 작성함에 따라 지하심

부의 이들 지질구조요소들의 연속성을 대체로 알 수 있다. 그러나 절리의 경우는 이들에 비해 지하로 심도가 깊어짐에 따라 절리면의 방향성에 대한 경향성이 지표와 일정하지 않음을 종종 볼 수 있다.

지구상에서 광역적으로 발생하는 대규모 지각의 변형 과정에서는 지각의 천부에서와 심부에서 변형양상의 차

*Corresponding author: bjlee@kigam.re.kr

이가 있음은 이미 알려진 사실이다. 즉 지표에서 대개 10 Km 이하에서는 온도 및 압력의 증가에 의해 연성변형이 일어나며 그 상부에서는 취성변형이 일어난다 (Sibson, R. H., 1977). 그러면 지각 천부인 취성변형의 조건 하에서도 지표에서 발달하는 불연속면의 방향성 분포가 지하 심부로 가면서 지하 몇 m부터 불연속면의 변화를 보이는지에 대해 의문이 생긴다. 이에 대한 의문을 해결하고 실제 지하공간이나 터널 등 지하구조물 설치를 위한 지반 조사 시 암종에 따라 차이가 있을 것이나 불연속면의 수직 변화에 대한 심도별 기준을 설정하는데 기여하기 위함이 본 연구의 목적이다.

본 연구에서는 지표에서 측정된 불연속면의 자료와 BIPS 및 Televiewer에 의해 측정된 지하에서의 불연속면의 자료들을 고생대 평안층군의 함탄층 및 천운산층이 분포하는 호남탄전 지역의 퇴적암이 분포하는 지역(이하 호남탄전지역이라 칭함)과 선캠브리아 시대의 경기편마암 복합체 내 편암류가 분포하는 지역(이하 수원지역이라 칭함)의 서로 다른 암상에서의 변화 양상을 비교 분석하였다.

호남탄전의 지질

이 지역의 지질은 한반도의 지질계통(Geologic system) 상에서 고생대의 석탄기부터 페름기에 퇴적된 소위 평안층군에 해당하는 함탄층과 천운산층이 분포한다. 이 지역은 호남탄전(또는 화순탄전이라고도 함) 내에 속하는 곳으로 호남탄전의 조사는 이찌무라 다게시(市村 毅, 1927)의 시작으로 김남장과 이하영(1962), 이돈영 외(1965) 등의 조사가 있었다.

이 지역은 대한석탄공사 화순광업소에서 함탄층 내의 무연탄을 개발하기 위해 채탄작업이 이루어졌던 곳으로 여러 개의 탐탄 및 운반갱도와 채탄을 위한 연층갱도의

굴착으로 채굴적이 발달하는 곳이다. 따라서 함탄층과 천운산층에 대한 암상별 특징을 기술한다.

함탄층

조사지역에서의 함탄층은 건성 중인 터널의 동쪽 즉 화순쪽인 터널종점부의 상부에 분포하며(Fig. 1), 이 함탄층이 분포하는 곳에서 채탄작업이 이루어졌기 때문에 주로 이 층에서 폐갱도가 발달하고 있다. 본 층은 담회색, 회색 혹은 암회색의 조립 및 극조립 사암과 담회색 내지 회색의 규암 및 석영편암, 암회색 내지 흑색의 세립사암과 흑색의 실트암과 셰일 그리고 무연탄층으로 구성된다. 사암류는 주로 석영과 운모류 그리고 소량의 암편으로 이루어져 있으며, 암회색 내지 흑색을 띠는 사암은 탄질물을 함유하고 있다. 사암들은 저변성 작용을 받아 석영입자들은 주변부가 재결정되었으며, 석영입자들은 엽리면을 따라 신장되어 있다. 조사구간의 지질구조는 함탄층이 층서적 상위 층인 천운산층 상부에 분포하며, 천운산층에 저각의 역단층인 스러스트단층(Thrust fault)으로 경계로 하여 접하고 있다(Fig. 1). 본 층의 층리는 경사가 20도 내외로 매우 완경사를 이루고 있으므로 실제적으로 무연탄층은 지표에서 깊지 않은 곳에 분포하고 있다.

천운산층

천운산층은 터널 구간 중 터널종점부인 화순쪽 터널 상부지역을 제외하고는 전 터널구간이 본 지층으로 분포한다. 천운산층은 녹색 내지 녹회색 및 적자색의 사암류와 셰일로 구성되어있다. 본 층은 강원도 삼척탄전의 함백산층과 도사곡층에 해당하며, 화순탄전 조사자들에 따르면 천운산층이 하부에 사암의 함량이 많은 부분과 상부의 실트암 내지 셰일의 함량이 많은 부분으로 나눌 수 있는데, 본 지역에서는 천운산층의 상부에 해당하는 암상이 분포하고 있다.

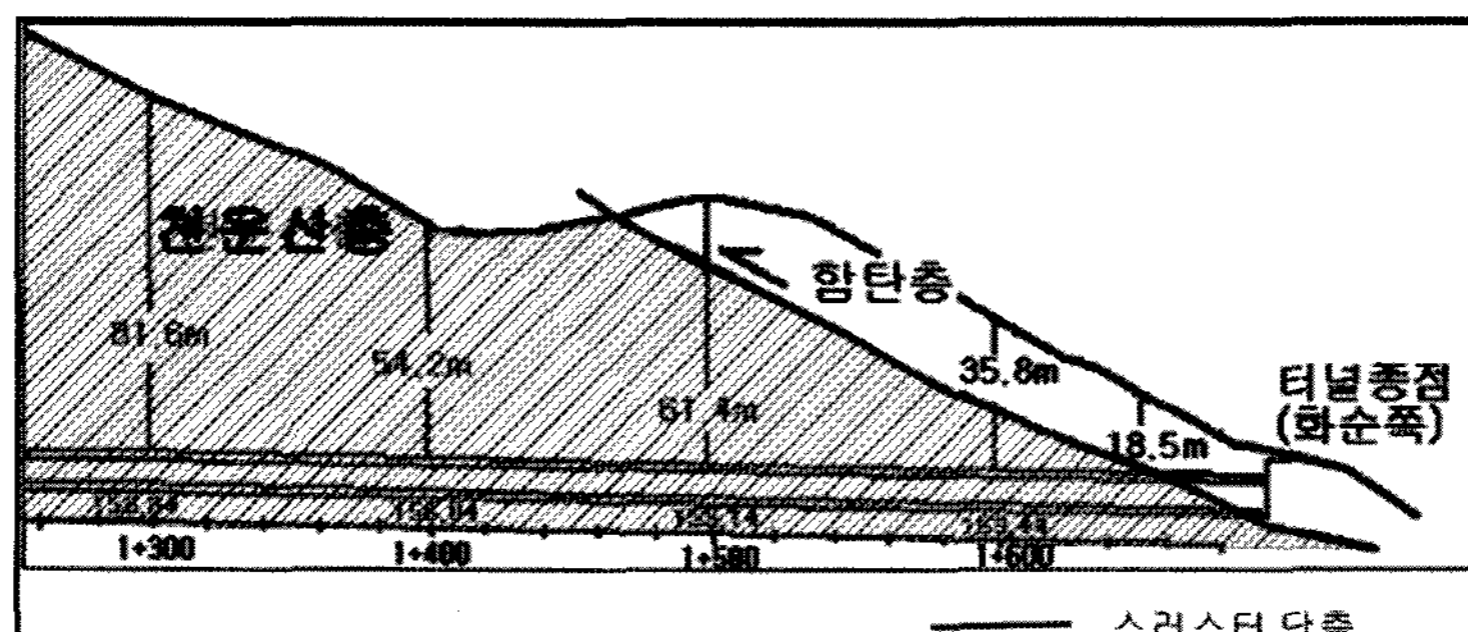


Fig. 1. Coal bearing Formation is thrust up to the top of Cheonunsan Formation at the end of the tunnel at Honam area.

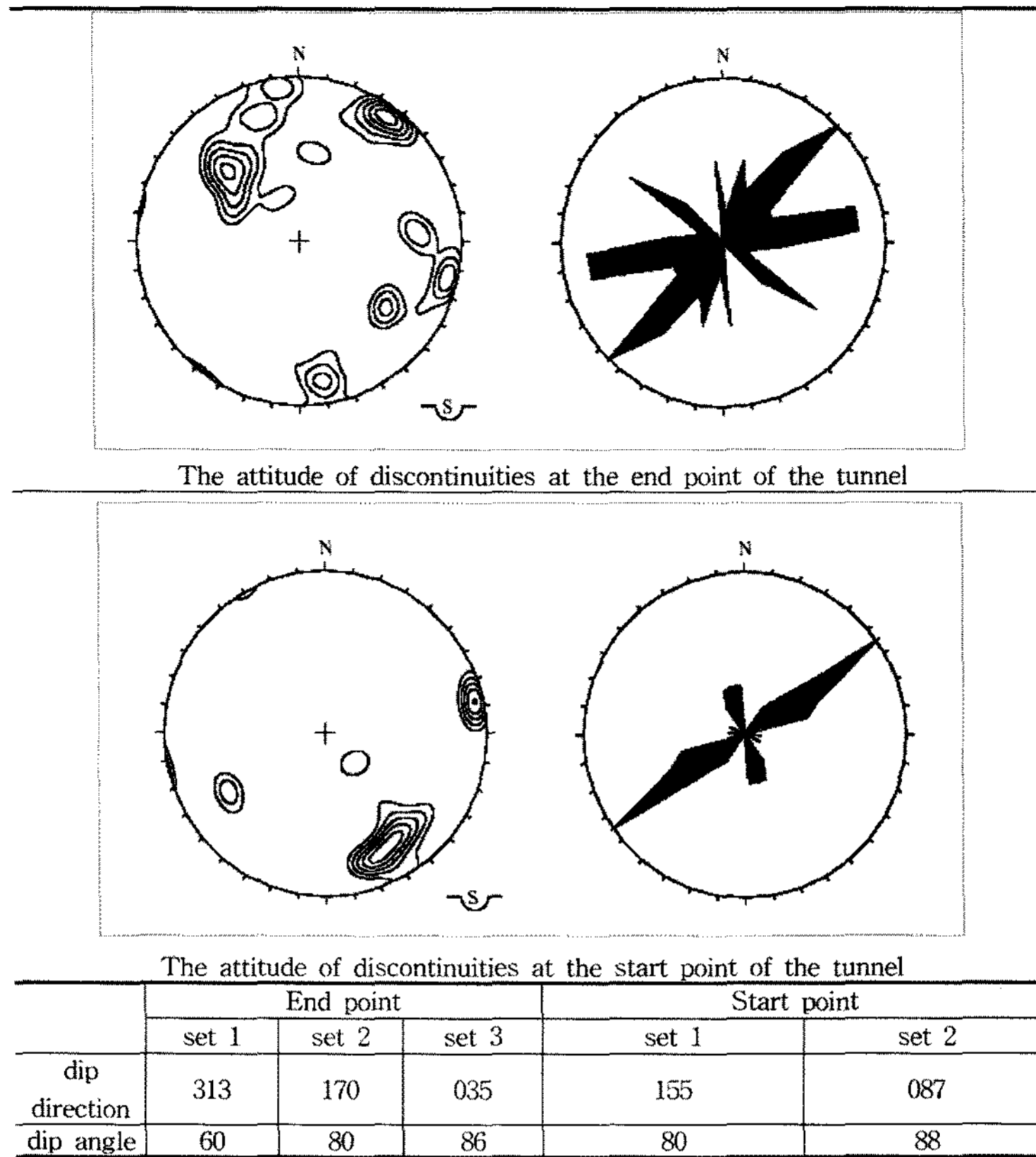


Fig. 2. The orientation of discontinuities around the End point and Start point of the tunnel at Honam area (plot at equal area net, lower hemisphere).

수원지역의 지질

이 지역에 분포하는 지질은 주로 선캠브리아시대의 편암류들이다. 이 편암류는 한반도 서해안 즉 충남 보령시 일대에서 북북동 방향으로 화성군을 거쳐 경기도 안양시 일대까지 분포한다(박노영과 김정환, 1972., 이병주 외, 1993). 물론 이들 편암류는 화강편마암 및 주라기의 화강암에 의해 곳곳에서 관입 당하기도 한다. 이 편암류는 백운모편암, 흑운모-견운모편암, 석영-견운모편암, 석영-장석질편암 등으로 이루어져 있으며 규암과 석회암이 협재 함이 특징이다. 본 조사 구역에서도 운모편암 및 석영-견운모 편암이 우세하게 분포하며 간혹 규암을 협재 하기도 한다. 편암류의 엽리는 몇 차례의 중북변형작용에 의해 매우 교란되어 있으며, 습곡 및 스러스트단층의 발달이 관찰된다. 대부분의 편암류는 퇴적기원의 암석으로, 미약한 변성분화(metamorphic segregation) 작용을 받았지만, 일부 편암류는 화강암질 물질의 유입에 의한 부분적인 호상구조가 나타나기도 한다. 또한 일부 석영-장석

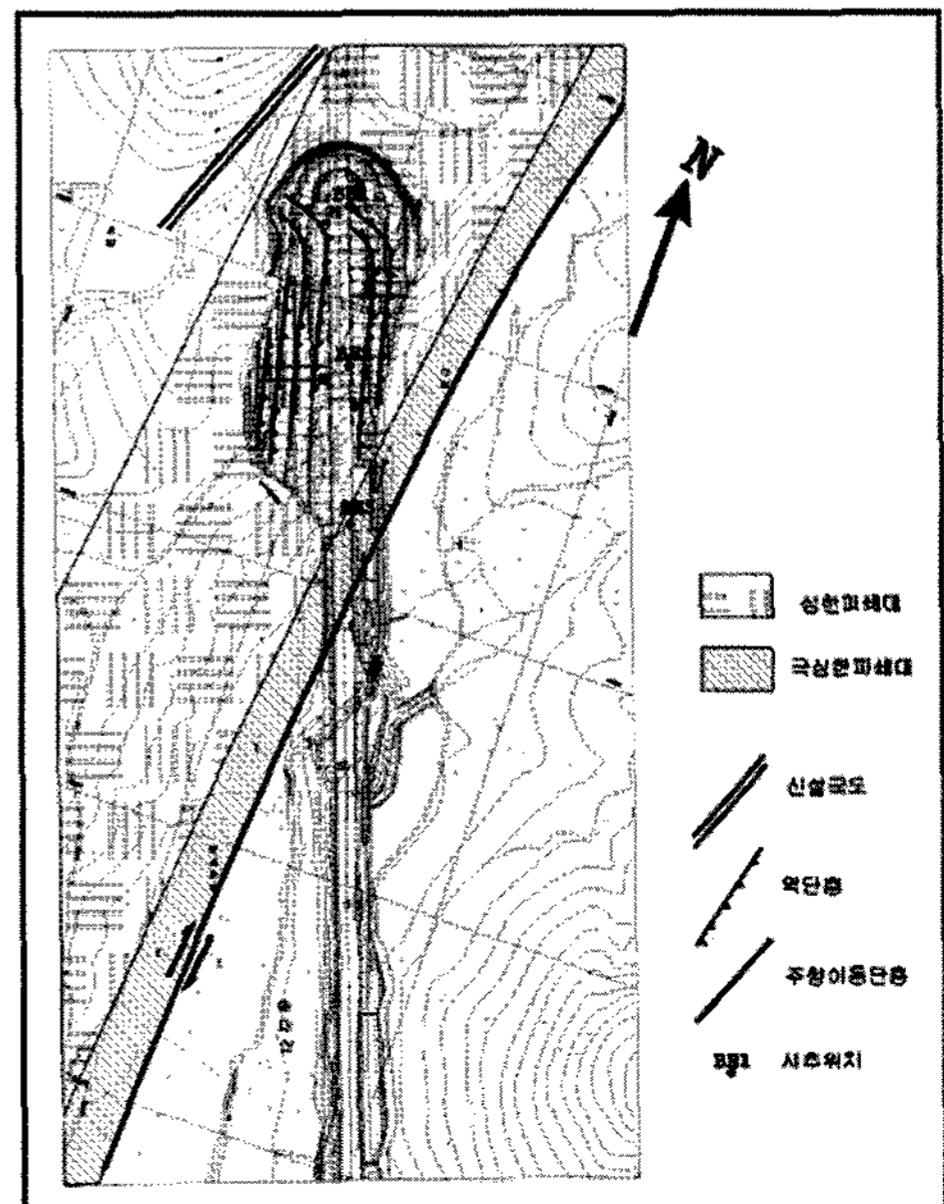


Fig. 3. Structural map of the Suwon area.

질 편암의 경우 화강암질 관입체가 강한 구조적 운동을 받아 형성된 것으로 생각된다. 현재 편암류의 형성시기는 선캠브리아시대임은 확실하나, 절대년령에 대하여는 잘 규명되어있지 않지만 대부분이 주변의 호상편마암과 점이적인 접촉관계를 보이는 것으로 보아 편마암의 형성과 밀접한 관계를 가지는 것으로 생각된다.

지표조사에서의 불연속면

호남탄전 지역

터널구간 주변의 단층, 절리 및 층리 등의 불연속면들의 분포상태를 확인하기 위해 터널 동측의 터널종점부(화순방면), 및 터널시점부(동면방면)의 지표에 나타난 노두에서 불연속면들을 측정하였고 이를 분석한 결과는 다음과 같다.

터널 종점부 : 터널 종점부는 함탄층이 분포하는 지역으로 그림 1에서 보여주는 바와 같이 하부층인 본 층이 천운산층을 스러스트 오버하고 있는 지역이다. 터널입구 절토사면에서 180개 측정된 불연속면들은 Fig. 2에서와 같이 크게 보아 3조의 불연속면 그룹이 형성되고 있음을 볼 수 있다. 절리면들의 방향은 북동, 북서 및 거의

동서방향의 주향들이 우세하며 경사는 70도 이상으로 급경사를 이루고 있다. 반면에 층리는 경사각이 저각으로 완경사를 이루고 있다. 또한 단층들은 거의 동북동 방향 및 동서방향의 단층들이 많이 발달하고 있는 것을 관찰할 수 있다.

터널 시점부 : 터널 시점부는 천운산층의 사질 및 이질의 천매암 내지 편암이 교호하는 지역으로 동면방면 터널 시점부의 터널입구의 절토사면에서 125개를 측정된 연속면들의 분포는 Fig. 2와 같이 2 조의 불연속면 그룹이 형성되고 있다. 절리면들의 방향은 북동과 남북 방향의 주향들이 우세하며 경사는 70도 이상으로 급경사를 이루고 있다. 또한 이 구간의 층리들도 경사각이 저각으로 완경사를 이루며, 단층들은 북동방향의 단층들이 발달하고 있다.

Fig.2는 터널의 종점부와 시점부에서 절리들의 방향성만을 측정하여 표시한 그림으로 종점부인 함탄층 내는 시점부인 천운상층에서 보다 불연속면의 발달방향 즉 절리조가 여러개 발달한다. 이는 함탄층이 스러스트 오버하며 지질구조적으로 하부에 놓이는 천운산층 보다 더 절리들이 발생한 것이다. 즉 두지역간의 불연속면 발달의 상이점은 본 연구에서 고찰하기위한 수직적으로 발달

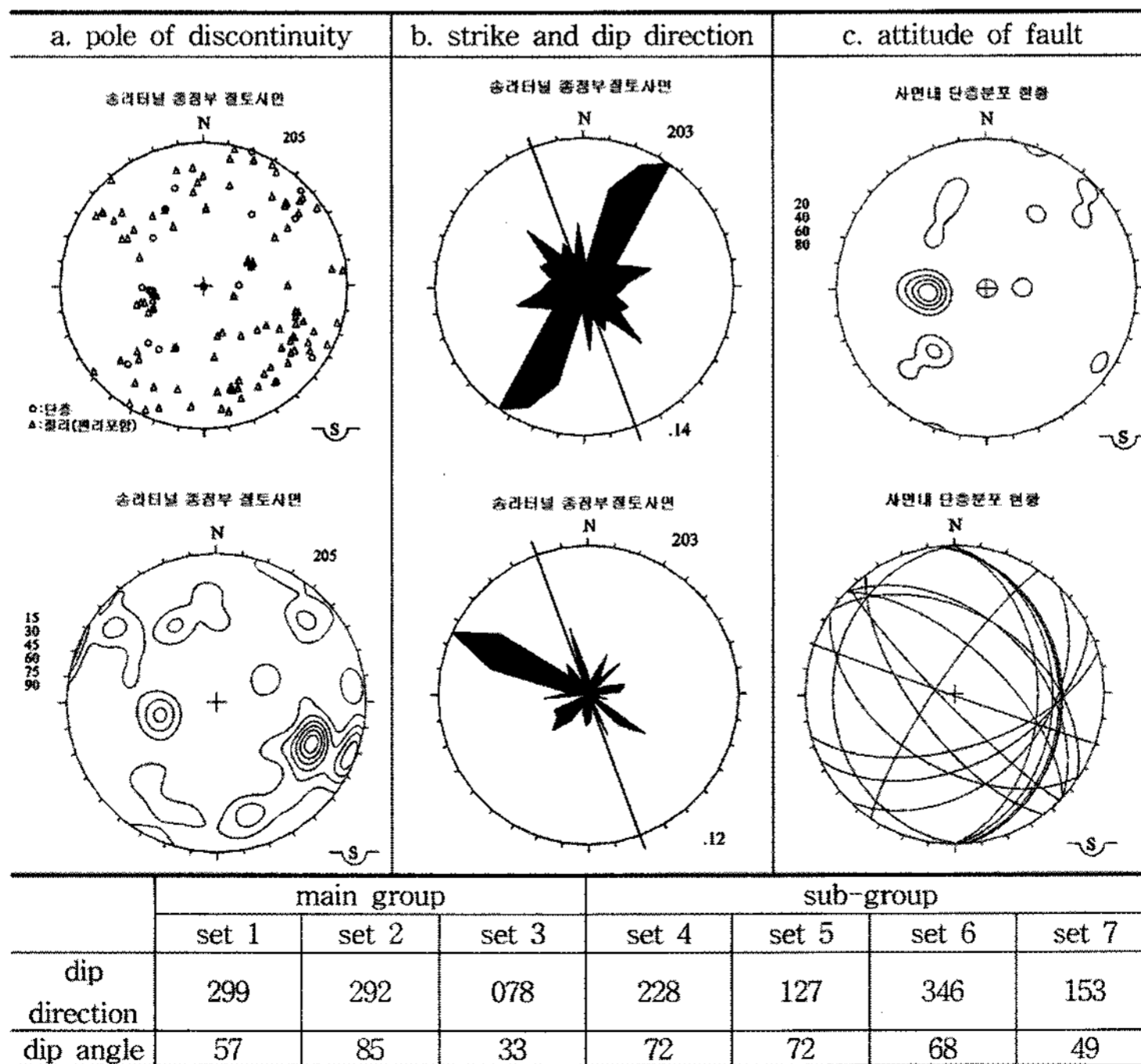


Fig. 4. The orientation of discontinuities around the end point of the tunnel at Suwon area (plot at equal area net, lower hemisphere).

하는 불연속면의 차이보다 상이나 지각변형 시 비슷한 레벨에서도 지질구조의 발달상태에서 생긴 차이로 해석된다.

수원지역

이 지역은 앞에서 언급한 바와 같이 선캄브리아시대에 형성된 편암류로 구성되며 이 지역에도 스러스트단층이 발달하는 곳이다(Fig. 3).

대체로 터널 종점부 절토사면 지역에서 발달하는 불

연속면들은 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 3개 set의 주요 불연속면군과 기타 4 set의 불연속면군이 발달하고 있다. 전체적으로 불연속면의 주향이 사면과 사교(50~60°와 20~30°)하는 불연속면이 가장 두드러지게 발달하고 있고 사면의 안정성과 문제가 되는 사면과 평행한 불연속면들도 분포하고 있다. 가장 현저하게 발달하고 있는 3개 set의 불연속면들의 방향성을 살펴보면 첫번째 불연속면군은 경사방향/경사가 299°/57°로 북동방향의 주향에 남동쪽으로 경사지며, 두 번째 불연속면군은 292°/85°로

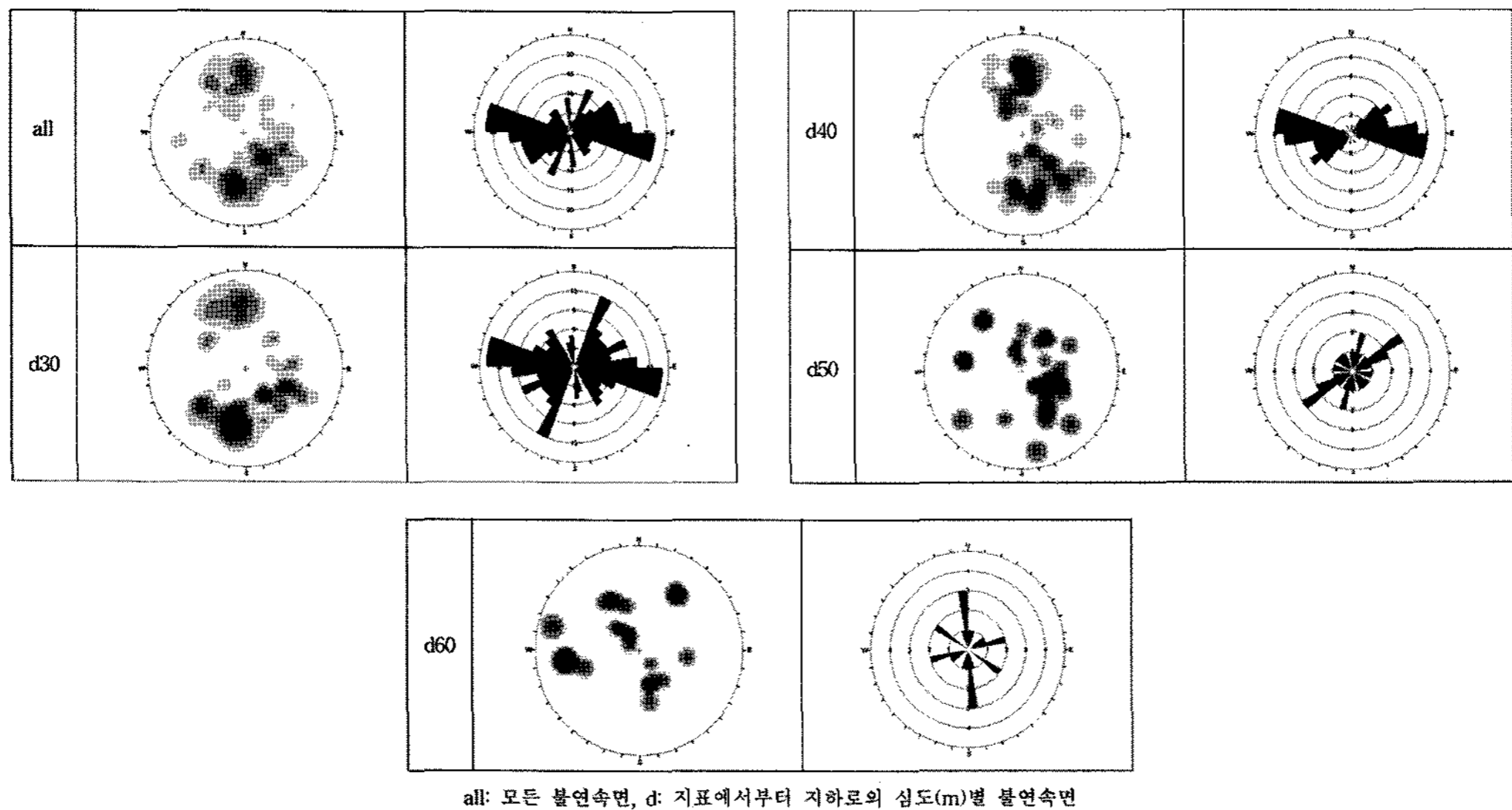


Fig. 5. Discontinuity orientation by Televiwer at B-1 drill hole at each depth.

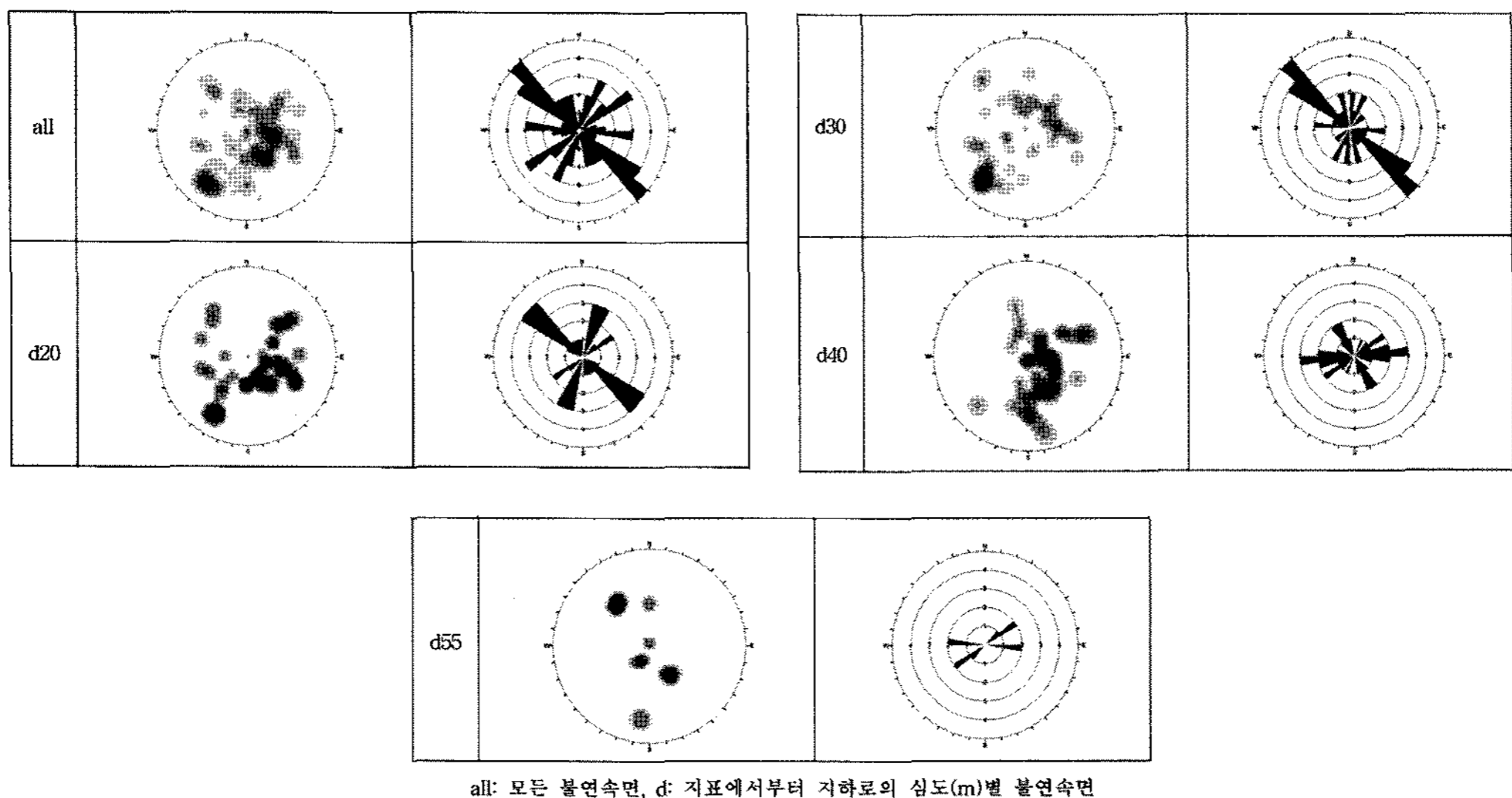


Fig. 6. Discontinuity orientation by Televiwer at B-2 drill hole at each depth.

대략 북동 방향의 주향을 가지고 수직에 가까운 경사를 보이며, 세 번째 불연속면군은 078°/33°으로 북북서방향의 주향을 가지며 경사가 33°정도로써 동쪽으로 경사지기 때문에 사면조사 지역에서 안정성면에서 사면에 가장 불리하게 작용하는 불연속면 그룹이다.

Televiewer 및 BIPS에서의 불연속면

호남탄전 지역

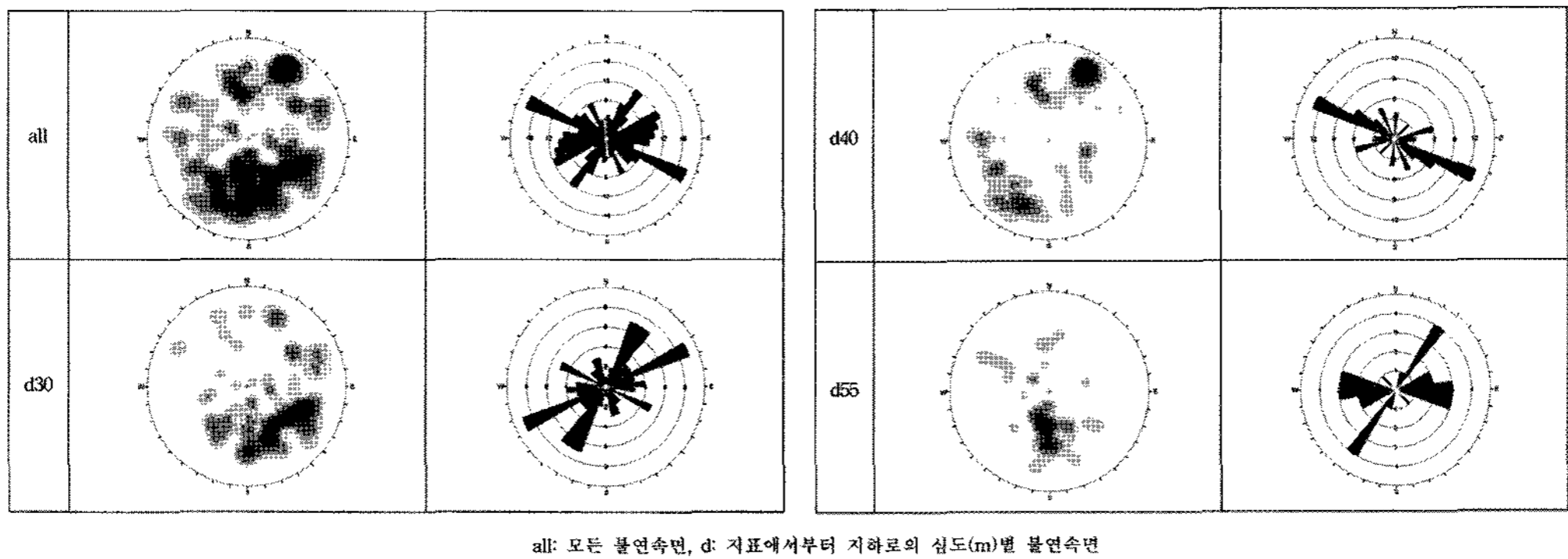
이 지역에서 실시한 3개의 시추공인 B-1 (시추 심도 66 m), B-2 (시추 심도 59 m), B-3 (시추 심도 55 m)에서 Televiewer 탐사에 의해 불연속면의 발달 상태를 파악하였다(시추위치 Fig 3 참조). Televiewer 탐사에서 나타난 clear fracture, normal fracture 및 acceptable fracture 중에서 clear fracture 만을 선택하여 각 시추공 마다 시추공의 Casing 하부에서 전체 불연속면과 10 m 마다의 불연속면에 대한 극점을 등면적망 하반구에 점기한 Contour diagram과 주향들의 방향성을 파악하기 위해

Rose diagram을 작성하여(Fig. 5, 6 and 7) 이들의 경향을 분석하였다.

B-1시추공의 경우 불연속면들의 경사각은 늘 일정하게 유지 되나 주향 즉 불연속면의 Trend는 심도별로 차이가 있음을 발견할 수 있는데, 전체 불연속면과 심도 30 m 및 심도 40 m에서는 주향이 대개 서북서에서 동서를 거쳐 동남동방향이 우세하나 심도 50 m에서는 북동-남서방향이 우세하며 심도 60 m에서는 거의 남북방향의 주향들이 우세하게 발달한다(Fig. 5). 이와 같은 경향은 B-2 및 B-3 시추공에서도 심도 30 m에서 주 절리면들의 주향의 변화함을 알 수 있다(Fig. 6, Fig. 7). 다만 이 두 공에서 심도 55 m 지점의 경향은 앞의 것과 약간의 차이를 보인다.

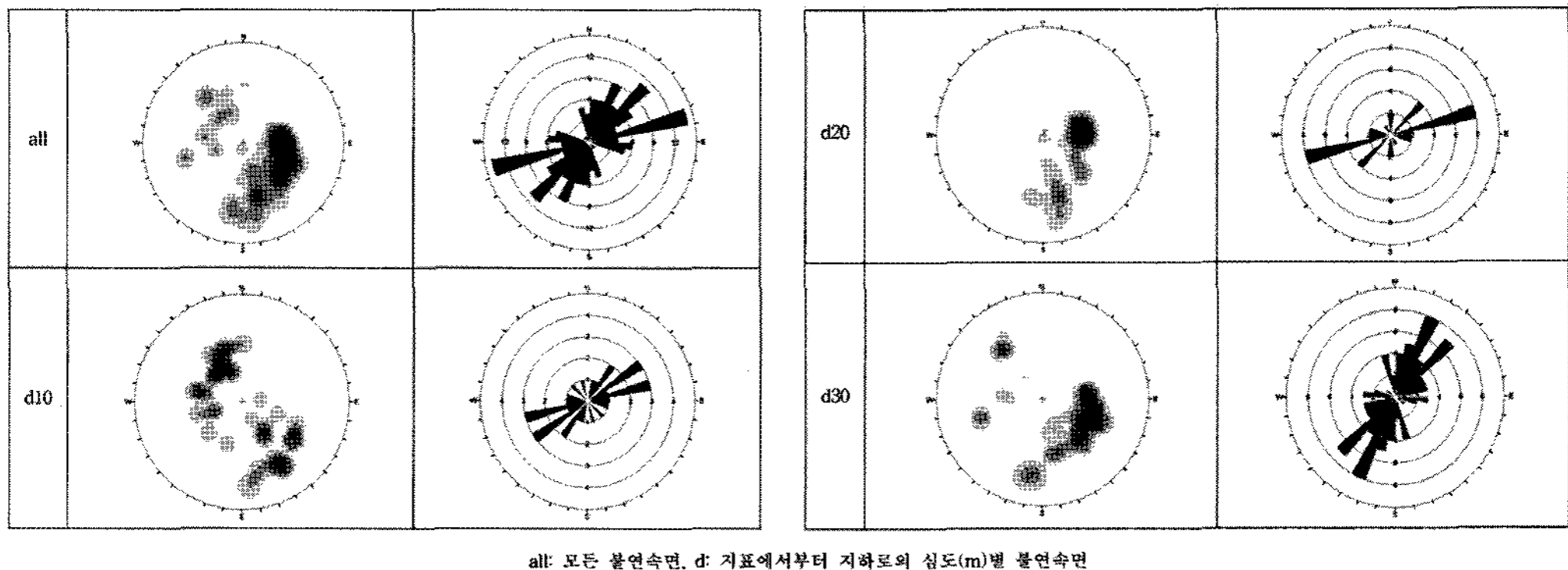
수원지역

이 지역은 29.4 m를 시추한 BH-2 시추공에서 BIPS 촬영 사진을 이용하여 그 지점에서 불연속면의 수직적 변화를 보기 위해 전체 불연속면과 심도 10 m마다의 불



all: 모든 불연속면, d: 지표에서부터 지하로의 심도(m)별 불연속면

Fig. 7. Discontinuity orientation by Televiewer at B-3 drill hole at each depth.



all: 모든 불연속면, d: 지표에서부터 지하로의 심도(m)별 불연속면

Fig. 8. Discontinuity orientation by BIPS at BH-2 drill hole at each depth.

연속면에 대한 극점을 등면적망 하반구에 점기한 Contour diagram과 주향들의 방향성을 파악하기 위한 Rose diagram을 작성하여 그 경향을 분석하였다 (Fig. 8).

이곳은 지표에서 20 m 심부 지점까지는 동북동-서남서방향의 불연속면 주향이 우세하나 지하 30 m 지점에서는 북북동-남남서 및 북동-남서방향의 불연속면이 우세하게 발달함을 알 수 있다 (Fig. 8).

심도별 불연속면의 특성고찰

호남탄전지역은 Fig. 9에서 제시된 간이 시추주상도에서 B-1, B-2 및 B-3시추공에서 천운산층을 스러스트 오버한 스러스트단층들이 B-3은 지표에서 심도 19.6 m, B-1공은 지표에서 심도 19.1 및 27.8 m에 그리고 B-2공은 심도 30 m에 위치하며 그 아래는 천운산층이다. 실지로 함탄층은 지반이 약하여 Casing처리가 되어 Televiewer 탐사를 실시하지 못하였으며 3공 공히 천운산층에서 B-3의 불연속면의 경향이 변하는 심도 30 m, B-2의 심도 40 m 및 B-2의 심도 30 m는 실지로 Sea level 163 m에서 168 m 지점이다. 수원지역은 앞장에서

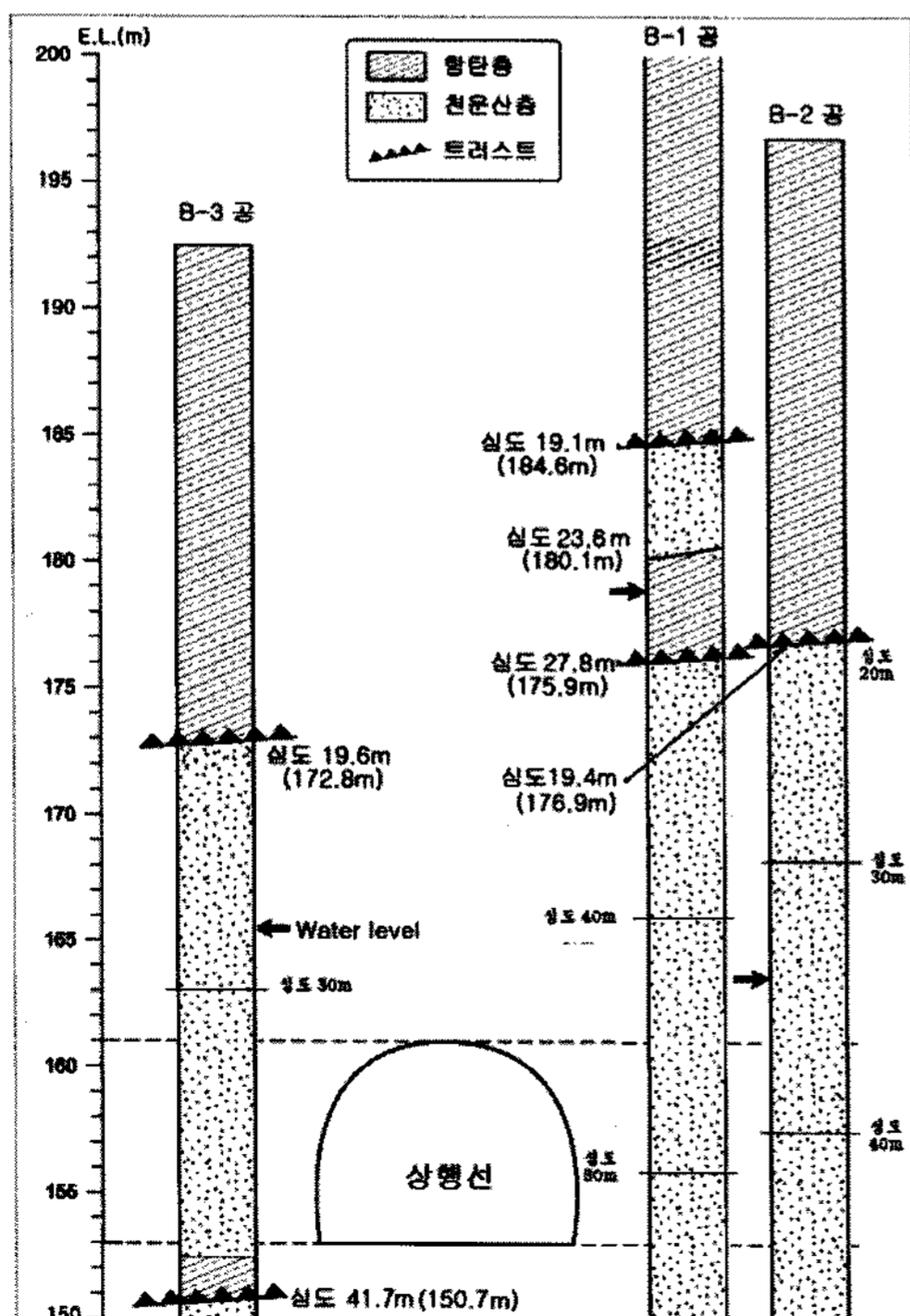


Fig. 9. Simplified columnar section by drill holes at Honam coalfield.

언급한 바와 같이 대개 운모편암으로 시추공의 지표에서 바닥까지 암상의 변화는 없는 상태이다.

이와 같이 두 지역 모두 같은 암상에서도 심부로 가면서 불연속면들이 대체로 시추위치의 고도에 무관하게 호남탄전의 경우는 지표에서 지하 30 m와 40 m에서 불연속면의 특성이 변하며 수원지역의 경우는 지하 20 m에서 불연속면의 방향들이 변함을 알 수 있다.

토의 및 결론

호남탄전지역은 상부 고생대의 평안누층군이 분포하며 수원지역은 선캠브리아시대의 편암이 분포하는 지역으로, 호남탄전 지역의 지표에서 절리면들의 방향은 북동, 북서 및 거의 동서방향의 주향들이 우세하며 경사는 70도 이상으로 급경사를 이루고 있다. 수원지역은 지표에서 299°/57°로 북동방향의 주향에 남동쪽으로 경사지는 set1과 292°/85°로 대략 북동 방향의 주향을 가지고 수직에 가까운 경사를 보이는 set2 및 078°/33°으로 북북서방향의 주향을 가지며 경사가 33°정도인 3조가 발달한다.

지하 심부로 가면서 호남탄전지역은 지하 30m와 40 m에서 불연속면의 특성이 변하며 수원지역의 경우는 20 m에서 불연속면의 방향들이 변화하였다. 이와 같은 변화가 등방성이고 동일한 암석에서 변화를 관찰함이 심도별 변화에 대해 상호 비교 대비 할 수 있으나 호남탄전의 경우는 퇴적암으로, 측정된 암반이 세립질의 사암과 세일이 교호하는 이방성의 암반이며 지하 30 m 그 상부에 스러스트단층이 지나고 있다. 그러나 수원지역의 경우는 대개 운모편암들로 호남탄전 지역보다는 암질의 변화가 적다. 지하 심부에서 불연속면의 변화에 대한 통계적 의미는 불연속면 변화를 제시할 Televiewer나 BIPS의 자료가 더 많이 필요로 하나 호남탄전과 수원지역에서의 공통점은 지하 20 m-30 m 이하에서 이미 지표와는 불연속면의 방향성이 바뀔을 알려주고 있다. 일반적으로 단층이나 절리의 연장과 수직적 연장발달 상태는 비례하는 것으로 연장이 매우 긴 불연속면일 경우는 그 면이 지하 심부까지도 발달하나 대부분의 경우 지하 20-30 m에서는 불연속면의 방향성이 바뀌며 이를 뒷받침하기 위해 더 많은 실례를 조사 연구할 필요성을 가진다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 기본연구과제인 “동북아 지각의 지체구조적 대비” (08-3411-1) 연구의 일환

으로 수행되었으며, 본 논문을 심사하여 주신 세 분의 심사위원님들께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 김남장, 이하영, 1962, 화순탄전 시추조사 보문: 탄전지질조사보고, 제3호, 국립지질조사소, pp.85~233
 박노영, 김정환, 1972, 남양도폭 지질도 및 설명서, 국립광물지질연구소, 15P.
 이돈영, 정춘식, 최선근, 남원희, 이석종, 1965, 호남탄전 지질조사보고서, 대한석탄공사, 54P.
 이병주, 박기화, 윤욱, 윤윤영, 김남장, 황상기, 1993, 발안지질도 및 지질보고서, 한국지질자원연구소, 16P.
 市村 毅, 1927, 화순무연탄전 조사 보고 : 조선탄전조사보고, 제2권, 조선총독부 연료선광연구소, pp.1~23.
 Sibson, R.H., 1977, Fault rocks and fault mechanisms, J. Geol. Soc. Lond., Vol. 133, pp 190-213.

이병주

한국지질자원연구원 지질기반정보연구부
 305-350, 대전시 유성구 과학로 32
 Tel: 042-868-3042
 Fax: 042-868-3413
 e-mail: bjlee@kigam.re.kr

선우춘

한국지질자원연구원 지반안전연구부
 305-350, 대전시 유성구 과학로 32
 Tel: 042-868-3235
 Fax: 042-868-3411
 e-mail: sunwoo@kigam.re.kr

2008년 4월 3일 원고접수, 2008년 6월 13일 게재승인