

## 시추공 영상자료와 카이제곱 검정을 이용한 절리 방향성의 수직적 변화양상에 관한 정량적 평가

김기석<sup>1)\*</sup>, 박영도<sup>2)</sup>, 박연준<sup>3)</sup>

### Pearson-type Chi-square Test on the Joint Orientations from Different Depths in Boreholes

Kiseog Kim, Youngdo Park and Yeonjun Park

**Abstract** We have carried out Pearson-type chi-square tests on the orientation data of joints from different depths in order to estimate the homogeneity of joint orientations obtained from a borehole. The orientation data of joints were collected from two non-foliated massive rocks of granitic gneisses in South Korea since orientations of joints in folded metamorphic rocks, for example, are controlled by foliation and also changes as the orientations of foliation change by folding. Borehole images were used for the analysis of the orientations of individual joints. The orientation data were subdivided into the upper level data and lower level data. The data from these two levels are plotted on the patch net consisting of 21 orientation patches. Then, the two patterns on the patch net were analyzed using a contingency table. From the chi-square test on the data collected from two sites, we found that some data sets show statistically meaningful differences in orientations of joints. Since joints are one of the important parameters in determining the physical properties of rock masses, *in situ* investigation of joints are desirable in the geotechnical investigation and also in design of subsurface structures (e.g. tunnels and underground storages).

**Key words** Orientation of joints, Borehole images, Chi-square test, Homogeneity in orientation data, Granitic gneiss

**초 록** 이 연구에서는 시추공 분석 작업을 통해 획득된 암반절리 방향성이 심도에 따라 변화하는 양상의 확인을 위해 피어슨 카이제곱 통계검정이 실시되었다. 대상 암반은 모암이 화강암질 편마암인 두 지역으로서, 이와 같은 엽리가 발달하지 않은 괴상의 암상 선정은, 엽리가 존재하는 암석의 경우 절리 방향성이 엽리에 의해 영향을 받고 엽리의 방향은 습곡 등의 지질작용에 의해 심도에 따라 다를 수가 있기 때문이다. 암반절리들의 방향 파악을 위해 시추공 영상이 이용되었다. 획득된 방향자료를 천부구간과 심부구간의 자료로 분류한 후 21영역으로 구성된 분할망에 각각 투영 후, 분류표를 작성하여 통계검정을 실시하였으며, 분석결과 두 지역중 한 지역의 자료는 비동질로 나타났다. 이러한 결과는 터널과 같은 지하구조물의 설계를 위한 암반공학적으로 중요한 절리면의 방향성에 대한 조사시 원위치 조사가 바람직함을 시사한다.

**핵심어** 절리 방향, 시추공영상, 카이제곱 검정, 방향동질성, 화강암질 편마암

#### 1. 서 언

암반의 역학적 거동에 영향을 미치는 여러 요소 중 하나는 암반에 발달되어 있는 절리의 상태이다(Hoek and

Brown, 1980). 암반은 수많은 불연속면들이 내재되어 있는 불연속체로서 암반 내에 존재하는 절리는 암반의 수리적, 역학적 거동을 좌우하는 중요한 요소이다. 이러한 절리들의 수리적, 역학적인 특성은 각각 다르게 나타날 수 있으며, 이러한 특성은 터널 및 지하철, 암반사면 등 암반구조물의 설계에 있어 중요한 요소로 인식되고 있다. 현재 암반구조물의 해석 시 연구자의 정성적 판단에 의해 임의의 주위구간에 대한 절리조사 자료를 바탕으로 암반구조해석이 주를 이루고 있으며, 이에 따른 해석결과가 대상절리암반의 구조적 특성을 심도있

<sup>1)</sup> (주)희송지오텍 대표이사

<sup>2)</sup> (주)희송지오텍 상무이사

<sup>3)</sup> 수원대학교 공과대학 토목공학과 교수

\* 교신저자 : hsgeotek@chol.com

접수일 : 2008년 5월 7일

심사 완료일 : 2008년 6월 16일

게재 확정일 : 2008년 6월 17일

게 표현하지 못하는 경향이 있다(엄정기, 2007). 따라서 암반 내 절리계의 변화특성을 반영하는 암반공학적 지구조구 설정이 선행되어야 하며, 이의 한 요소인 절리 방향성은 암반의 지구조구를 설정하는데 있어서 중요한 요소로서 간주되어야 한다. 이러한 절리의 방향성은 일반적으로 지표상 암반에서 관찰되는 발달 상태와 지하심부의 발달 상태와는 많은 차이가 있을 것으로 여겨지는데, 이는 지표 근처에서 관찰되는 절리가 풍화에 의한 응력 조건의 변화 등에 의해 지질학적으로 비교적 최근에 짧은 시간 내에 형성되기 때문으로 여겨진다. 캘리포니아 주립대학 토목공학과의 Goodman 교수는 “심성암 암반에서, 지하공간 굴착 작업 중 풍화, 수평판상 절리와 관련된 공학적 문제들은 대개 지표에서 지하 60 m의 심도 구간에서 일어난다” 라고 기술하고 있으며(Goodman, 1993), 이러한 관찰은 국내의 여러현장에서도 대체적으로 잘 부합된다. 이 연구에서는 암반에 분포하는 절리의 심도별 방향성 동질여부를 분석하여 터널 등, 지하구조물의 설계를 위한 지구조구 설정의 적절한 방향을 모색하고자 하였다. 우리는 이 연구를 통해 암반 내 절리의 변화양상을 정량적으로 평가하기 위하여 Miller (1983)가 제안한 피어슨 카이제곱( $\chi^2$ )을 이용한 통계적 동질성 검정의 방법을 이용하여 심도의 변화에 따른 암반 내 절리의 동질성 여부를 평가해 보았다. 이를 위하여 (1)시추공에서 촬영된 영상을 이용한 절리 분석작업과 (2)심도구간별로 얻어진 절리자료의 동질성에 대한 통계적 검정 작업을 실시하였다. 아울러, Miller (1983)가 제안한 입체 투영도 분할망의 적용이 시추공 영상에서 획득된 절리 방향분석에 어려움이 있기 때문에, 새로운 분할망을 작성하여 이를 이용하였다.

## 2. 선형탄성이론에 의한 풍화시 지표응력의 변화와 절리의 생성

선형탄성(linear elasticity)이론을 이용하면 지하 심부에 위치하는 암반이 지표의 풍화에 의해 지표근처로 위치 변화를 할 때의 응력조건의 변화를 계산할 수 있다 (Turcotte and Schubert, 2002). 심도 h meter의 암석이 지표로 올라올 때, 새로운 수평응력은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\bar{\sigma}_2 (= \bar{\sigma}_3) = \sigma_2 + \Delta\sigma_2 = \rho gh + \frac{\nu}{1-\nu} \Delta\sigma_1 = \rho gh - \frac{\nu}{1-\nu} \rho gh$$

가 된다.

위의 식에 실질적인 수치 예를 적용하여 살펴보면,  $h = 1 \text{ km}$ ,  $\nu$  (포아송비) = 0.25,  $\rho$  (밀도) = 2,500 kg/m<sup>3</sup> 일 때,  $\bar{\sigma}_2 = \bar{\sigma}_3 = 16.7 \text{ MPa}$ 가 된다. 즉, 지중에서 존재하지 않던 축차응력(differential stress)이 지표근처에서 형성되며, 암반의 강도가 풍화에 의해 상대적으로 낮아지면서 파괴에 의해 절리가 지표부근에서 만들어진다 (그림 1). 이와 같은 이유로 지표에서 관찰되는 암반 내 절리의 양상이 지중과는 다르게 나타나게 된다.

## 3. 통계적 검정 방법을 이용한 심도구간 별 절리 변화양상의 정량적 분석

기존의 절리방향성의 동질성 분석은 입체투영도상에 비교하고자 하는 대상을 각각 투영하여 상호 비교하는 방식인 정성적인 분석을 많이 사용하였다. 그러나 이는

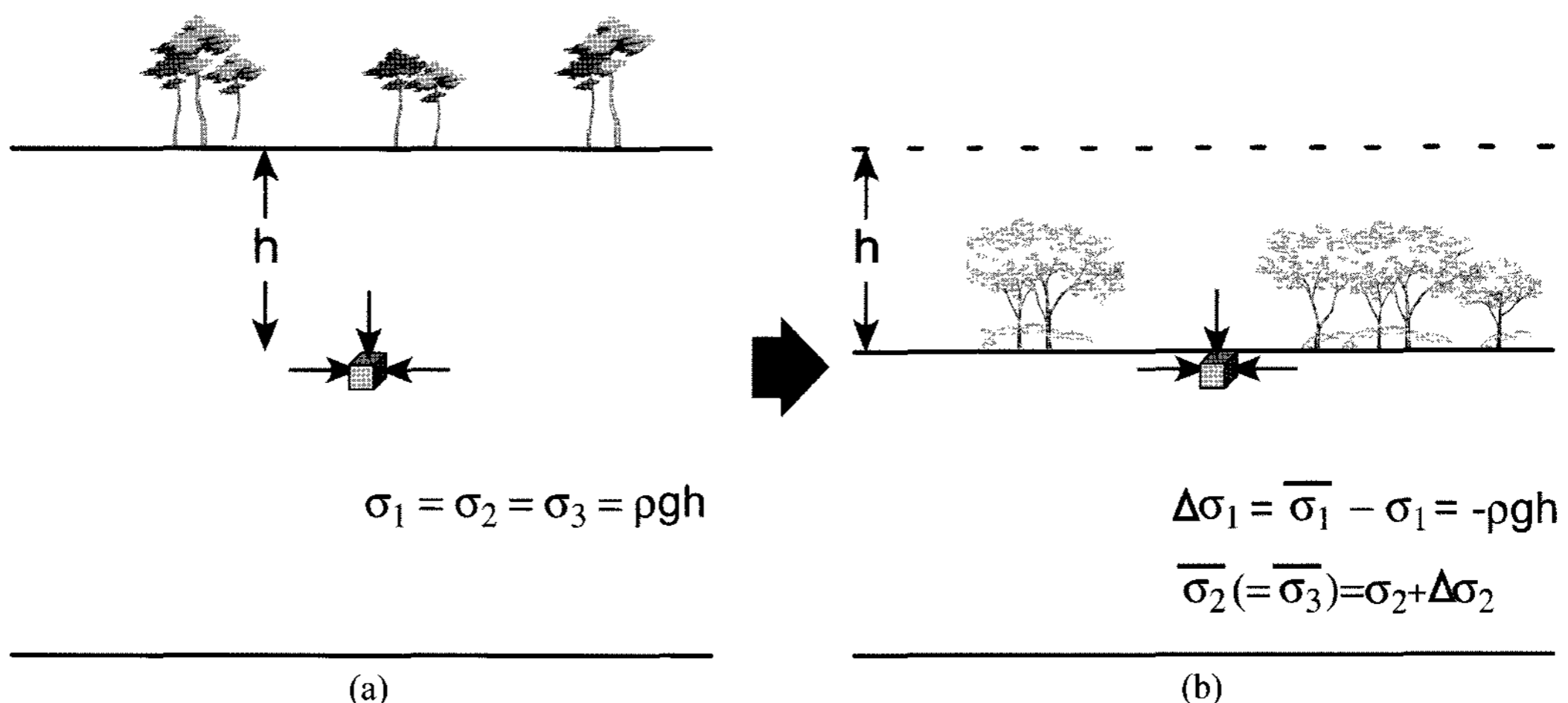


그림 1. 지하 심부의 암석이 풍화작용으로 지표에 노출될 때 발생하는 축차응력 ((a) 풍화이전의 심도 h에서의 응력상태, (b) 풍화이후의 심도 0에서의 응력상태)

사용자의 주관적인 판단에 영향을 많이 받으며, 그림 2와 같이 절리의 수가 많은 경우 그 판단을 더욱 어렵게 한다. 이에, Miller는 피어슨 카이제곱( $\chi^2$ )을 이용한 절리방향성의 통계적 동질성 분석을 제안하였다.  $\chi^2$ -검정을 이용한 동질성 분석은 분석하고자 하는 두 개의 절리방향 자료를 등면적 입체투영도에 투영한 후, 입체투영도를 조각으로 만든 분할망(patch net)의 각 분할영역(patch)에 포함되는 절리의 개수를 세어서 이 두 자료로  $\chi^2$ -검정을 수행하는 것이다. 본 논문에서는 기존의 정성적인 방법 대신 절리의 방향성을 정량적으로 평가하기 위하여 Miller가 제안한  $\chi^2$ -검정을 이용하여 심도구간별 절리의 변화양상을 분석해 보았다.

분할망은 관찰하고자 하는 범위의 방향영역을 하반구 슈미트망에 표시한 것으로, 경사밴드와 각각의 경사밴드 내에 등면적의 분할영역으로 나누어 나타낸 것이다. 우리의 논문에서 사용된 분할망은 총 21개의 분할영역으로 나뉘어진 분할망을 사용하였다. 기존의 Miller 분할망의 경우, 자세하게 세분되어 있기 때문에 측정 자료의 개수가 많을 경우에는 사용하기 적합하지만, 우리의 연구와 같이 시추공영상을 통해 얻은 절리자료의 개수가 적은 경우에는 세분된 분할망을 사용할 경우 카이제곱검정에 많은 어려움이 따른다. 따라서 Miller의 34 또는 38분할망보다 분할영역의 개수가 적은 21분할망을 작성한 후 이를 이용하였다(그림 3). 21분할망의 작성은 그림 3과 같다.

반지름이  $r$ 인 입체투영도의 경우, 면적이  $\pi r^2$ 이므로 21영역의 각 면적은  $\frac{1}{21}\pi r^2$ 이 된다. 그림 3의 중앙에 있는 원의 면적(분할영역 1의 면적) 또한  $\frac{1}{21}\pi r^2$ 이므로 이 원의 반지름( $r_i$ )은 다음과 같다.

$$r_i = \sqrt{\frac{1}{21}} \times r \cong 0.2182r$$

중간원의 반지름을  $r_m$ 이라 하면,  $r_m$  원의 면적에서  $r_i$  원의 면적을 뺀 도우넛 형태의 면적을 8등분 하면  $r_i$  원의 면적과 같아져야 한다. 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$(\pi r_m^2 - \pi r_i^2) / 8 = \pi r_i^2$$

이를 간단히 하면,

$$r_m^2 = 9r_i^2 = \frac{9}{21}r^2$$

$$\therefore r_m = \sqrt{\frac{9}{21}} \times r \cong 0.6547r$$

반지름이  $r$ 인 원에서 반지름이  $r_m$ 인 원을 뺀 도우넛의 면적은  $\pi r^2 - \pi r_m^2$ 이며, 이 도우넛의 영역이 12등분 되므로 각 영역의 면적은  $\frac{1}{12}(\pi r^2 - \frac{9}{21}\pi r^2) = \frac{1}{21}\pi r^2$ 이

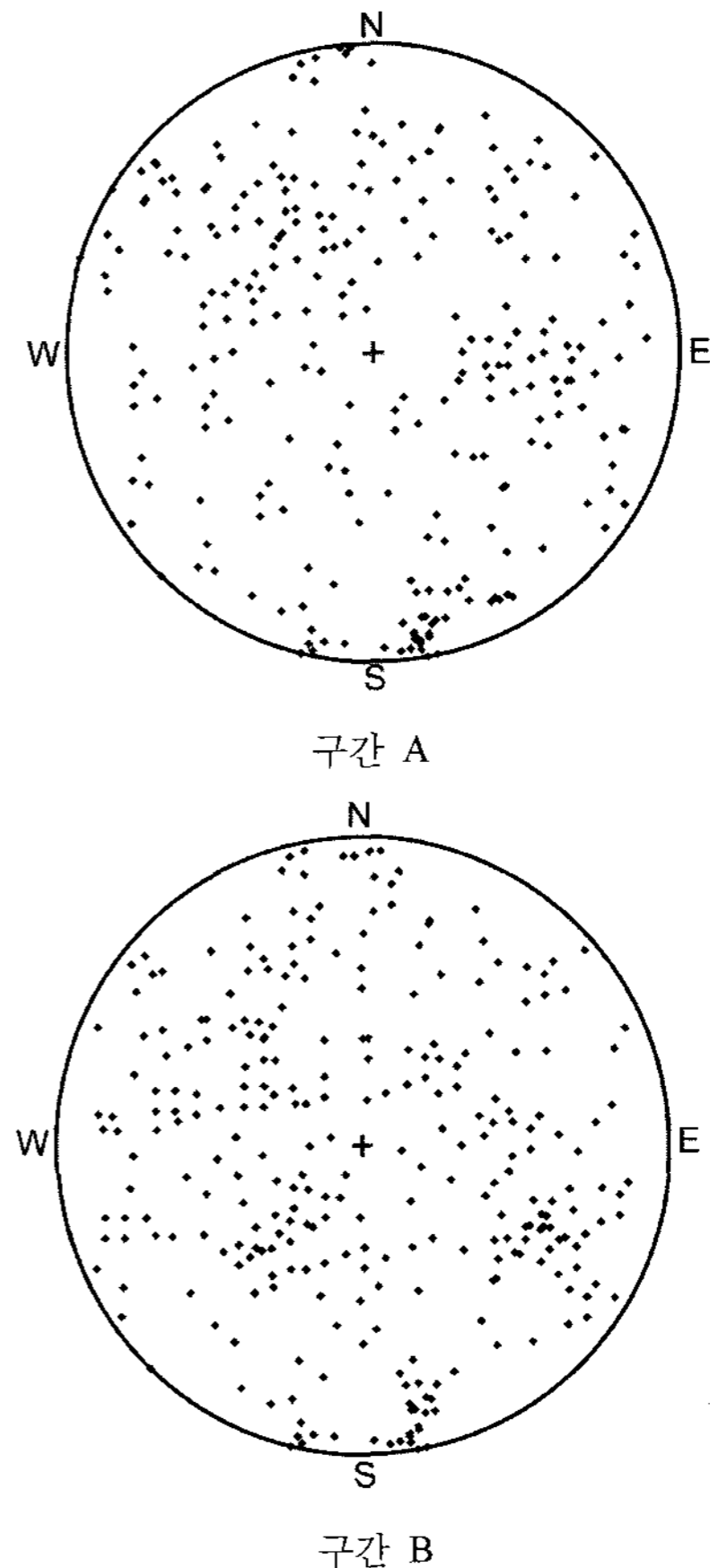


그림 2. 입체투영도를 이용한 정성적 절리방향의 동질성 분석 예

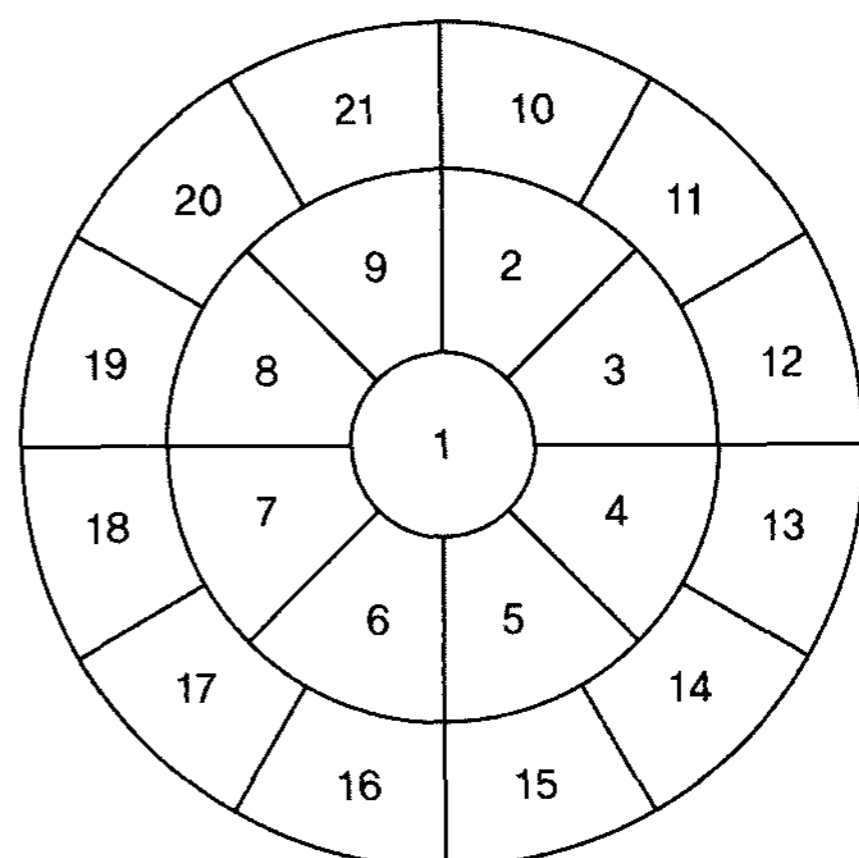


그림 3. 등면적 투영도를 일정한 조각으로 나눈 분할망(Patch net)

되어, 21분할 영역의 각 면적과 일치하게 된다. 이 연구에서는 전술한 등면적의 분할영역의 경계를 슈미트망상의 각도로 환산하여 표 1에 기술된 바와 같은 각도분할영역을 설정하였다.

이와 같은 분할망을 이용하여 두 개 이상의 범주형 변수들에 따라 분류되는 분할표(contingency table)를 작성할 수 있다. 표 2는 범주형 변수인 심도구간이 r개의 범주로 심도구간 1, 심도구간 2, ..., 심도구간 r을 갖는 행변수이고, 심도구간의 분할영역으로 정의되는 분할영역 1, 분할영역 2, ..., 분할영역 j개의 열변수로 정리하여 r×c 분할표를 작성한 것이다. 크기 f인 원소들은 두 범주의 교차점으로 정의되며, 각 칸에 속하는 원소의 개수를 합하여 R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ..., R<sub>i</sub>인 행의 합과, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, ..., C<sub>j</sub> 인 열의 합으로 얻을 수 있다. 예를 들어, 0~50 m 심도구간과 50~100 m 심도구간 절리자료의 동질성을 판단한다고 하면 R<sub>1</sub>과 R<sub>2</sub>로 구성되며, C는 두 구간에서 각 분할영역에 포함되는 절리개수의 합이 될 것이다. N은 두 개의 심도구간에서 측정된 모든 절리의 합이 된다. 절리의 방향성 자료는 두 개의 분할영역의 경계에 해당되는 절리의 경우 분할영역 분석시 문제가 될 수 있기 때문에 각 분할영역을 10도 간격으로 회전하여 총 18가지의 분할표를 작성하여 분석을 수행하였다.

“두 절리자료는 서로 균질하다, 혹은 동일하다”라는 귀무가설(null hypothesis)을 검정하기 위하여  $\chi^2$ -검정을 이용하였으며,  $\chi^2$ -검정통계량은 아래와 같이 계산한다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(f_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}}$$

표 1. 등면적 투영도를 일정한 조각으로 나눈 21 분할망

Dip Band	패치 개수	경사각(°)
1	1	18.0
2	8	55.5
3	12	90.0

표 2. R×C 분할표

Rows	Columns					총 계
	Patch 1	Patch 2	Patch 3	...	Patch j	
심도구간 1	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$	...	$f_{1j}$	$R_1$
심도구간 2	$f_{21}$	$f_{22}$	$f_{23}$	...	$f_{2j}$	$R_2$
...	...	...	...	...	...	...
심도구간 r	$f_{r1}$	$f_{r2}$	$f_{r3}$	...	$f_{rj}$	$R_i$
계	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_j$	$N$

여기서 i는 하나의 심도구간에서 측정된 모든 절리방향 자료를 의미하며, j는 하나의 심도구간 절리방향 자료에서 정의된 분할영역의 번호를 의미한다. 즉 앞 식에서  $f_{ij}$ 는 i번째 심도구간의 절리방향자료에서 j번째 분할영역에서의 절리의 개수이며,  $e_{ij}$ 는 i번째 심도구간의 j번째 분할영역에서의 기댓값으로 다음 식과 같이 i번째 심도구간 자료가 모든 각 분할영역에 나타난 절리개수의 합, R<sub>i</sub>과 j번째 분할영역의 모든 심도구간별 절리개수의 합, C<sub>j</sub>의 곱을 전체 도수의 합, N으로 나누어 계산한다.

$$e_{ij} = \frac{(R_i \times C_j)}{N}$$

만약에 귀무가설이 참이기 위해서는 (즉 두 절리군이 동질하기 위해서는), 검정통계량  $\chi^2$ 이 자유도가 (R-1)×(C-1)인  $\chi^2$  분포식에서 정해진 유의수준 a에서의 임계  $\chi^2$ 값을 넘지 않아야 한다. 여기서 자유도가 증가할수록, 그리고 유의수준이 작아질수록  $\chi^2$ 값은 커진다. 유의수준은 귀무가설, 즉 “두 절리군은 동질하다”라는 가설이 기각될 확률을 의미한다.

#### 4. 검정 예

실제 현장자료에 적용하기 위하여 시추공영상촬영(예, BIPS 영상)을 통해 획득한 절리방향자료에 대해 심도구간별 절리 방향성의 동질성여부를 분석해 보았다. 일반적으로 변성암의 엽리, 퇴적암의 층리는 암반에서 절리와 같은 불연속면으로 여겨진다. 엽리와 층리가 내재하는 암석은 습곡작용을 받았을 경우 방향의 변화가 있을 수 있으므로 화성암류의 암반에 분포하는 절리방향성 데이터를 이용하였다. 이에 흑운모화강암이 주를 이루는 강원도 중동부 A지역 3개 시추공과 반상변정 화강암질 편마암이 주를 이루는 전라남도 남부 B지역 5개 시추공의 절리방향성 데이터를 사용하여 심도구간별 절리방향성의 동질성을 검정해 보았다.

일정심도를 기준으로 하여, 기준심도 상부구간과 하부구간의 절리방향성 동질성 분석을 위해 Goodman의 관찰결과를 토대로 지표에서부터 지하 50 m 구간을 상부구간으로 설정하고 그 아래쪽을 하부구간으로 설정하였다. 분할표 작성을 위해 시추공별로 상부구간 및 하부구간에 해당하는 절리들을 하반구 슈미트망에 표시하고, 이를 분할망에 중첩시켜 각 분할영역에 해당하는 절리 개수를 세어 R×C 분할표를 작성하여 카이제곱 검정을 수행하였다.

**4.1 강원도 중동부 일원 A지역**

강원도 중동부 A지역에 분포하는 암석은 선캠브리아기 경기육괴 편마암 복합체인 반상변정 화강암질 편마암과 이를 관입한 중생대 주라기 흑운모 화강암으로 구성되어 있다(그림 4). 이 지역에서는 총 3공의 시추공영상촬영 데이터를 이용하여 카이제곱 검정을 실시하였다. 검정에 사용된 데이터의 절리분포 심도는 최소 4.46 m~최대 215.18 m이고, 전체 절리수는 172~382개의 범위로 획득되었다(표 3). 카이제곱 검정결과, 3공 모두 상부와 하부 절리방향성이 비동질한 것으로 나타났다(표 4). 이는 상기 이론적 배경을 잘 반영하는 것으로 그림 5와 같이 육안적 비교를 통해서도 그 차이를 확연히 알 수 있다.

**4.2 전라남도 남부 일원 B지역**

전라남도 남부 B지역은 선캠브리아기의 영남육괴 편

마암 복합체에 속하는 반상변정 화강암질 편마암이 주를 이루며, 이를 부정합으로 피복하는 화산암류인 유문암질응회암과 역암으로 구성되어 있다(그림 6). 반상변정 화강암질 편마암은 크기 5~10 cm의 반상변정이 장석으로 구성되어 있으며, 기질부는 조립의 석영, 장석, 흑운모로 구성되어 있는 화강암질 성분을 가진다. 반상변정을 구성하는 장석이 MME(mafic microgranular enclave) 안에 존재하며, 이는 이들 장석의 기원이 변성기원이 아닌 화성기원임을 지시한다.

카이제곱검정은 총 5공의 시추공영상촬영 데이터를 이용하여 실시하였으며, 검정에 사용된 데이터의 절리분포 심도는 최소 8.09 m~최대 200.06 m이고, 전체 절리 수는 46~179개의 범위로 획득되었다(표 5). 카이제곱 검정 결과, 5공 모두 상부와 하부 절리방향성이 동질한 것으로 나타났다(표 6). 이는 본 논문에서 제시한 이론적 배경과 상이한 내용으로 다음과 같이 분석해 볼

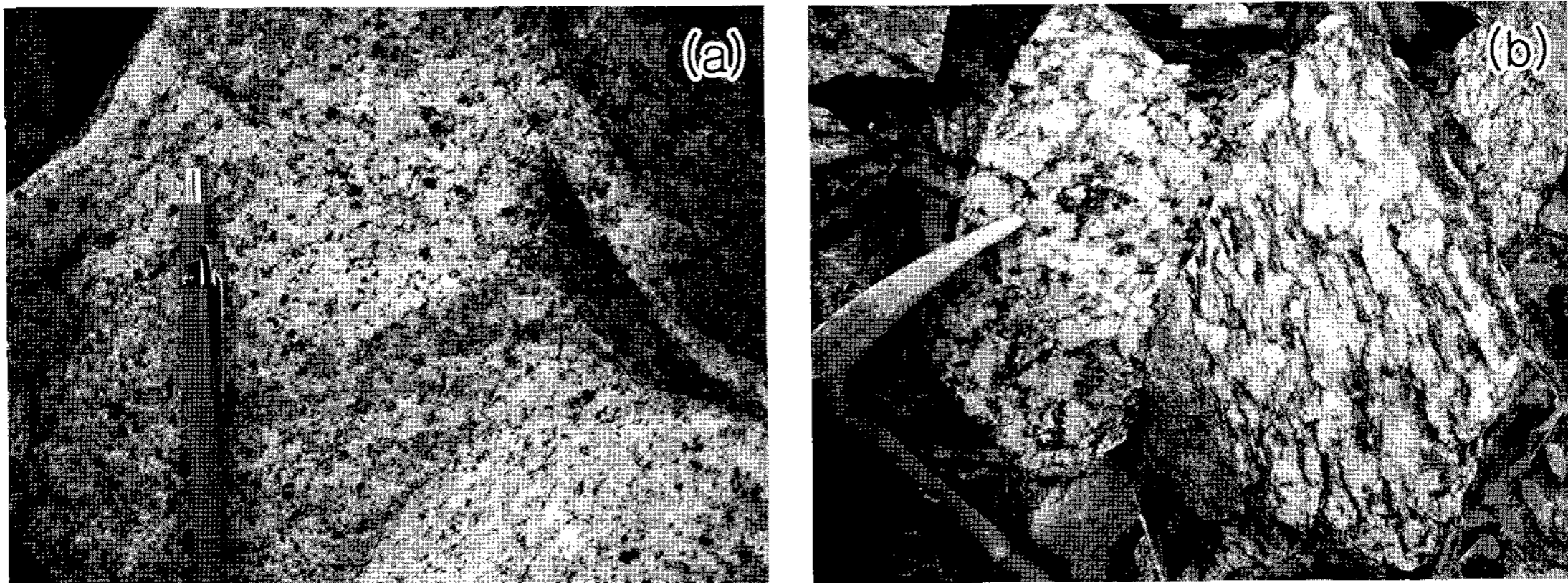


그림 4. 강원도 중동부 A지역에 분포하는 암석((a)흑운모화강암, (b)반상변정 화강암질 편마암)

표 3. 강원도 중동부 A지역 시추공영상촬영 데이터

공 번	암 종	연암출현심도(m)	절리출현심도(m)		절리 갯수
			시작	종료	
A-1	흑운모 화강암	7.5	10.03	205.84	382
A-2	흑운모 화강암	1.6	6.06	188.09	210
A-3	반상변정 화강암질 편마암	2.0	4.46	215.18	382

표 4. 강원도 중동부 A지역 카이제곱 검정 결과

공 번	절리개수		m당 절리개수		전체	구분심도(m)	카이제곱 검정결과		
	상부	하부	상부	하부			$\chi^2$ -검정통계량	임계치	동질유무
A-1	111	271	2.77	1.74	382	50.51	34.3	31.4	비동질
A-2	38	172	0.88	1.26	210	50.31	60.4	27.3	비동질
A-3	66	316	1.25	2.01	382	58.19	49.9	31.4	비동질

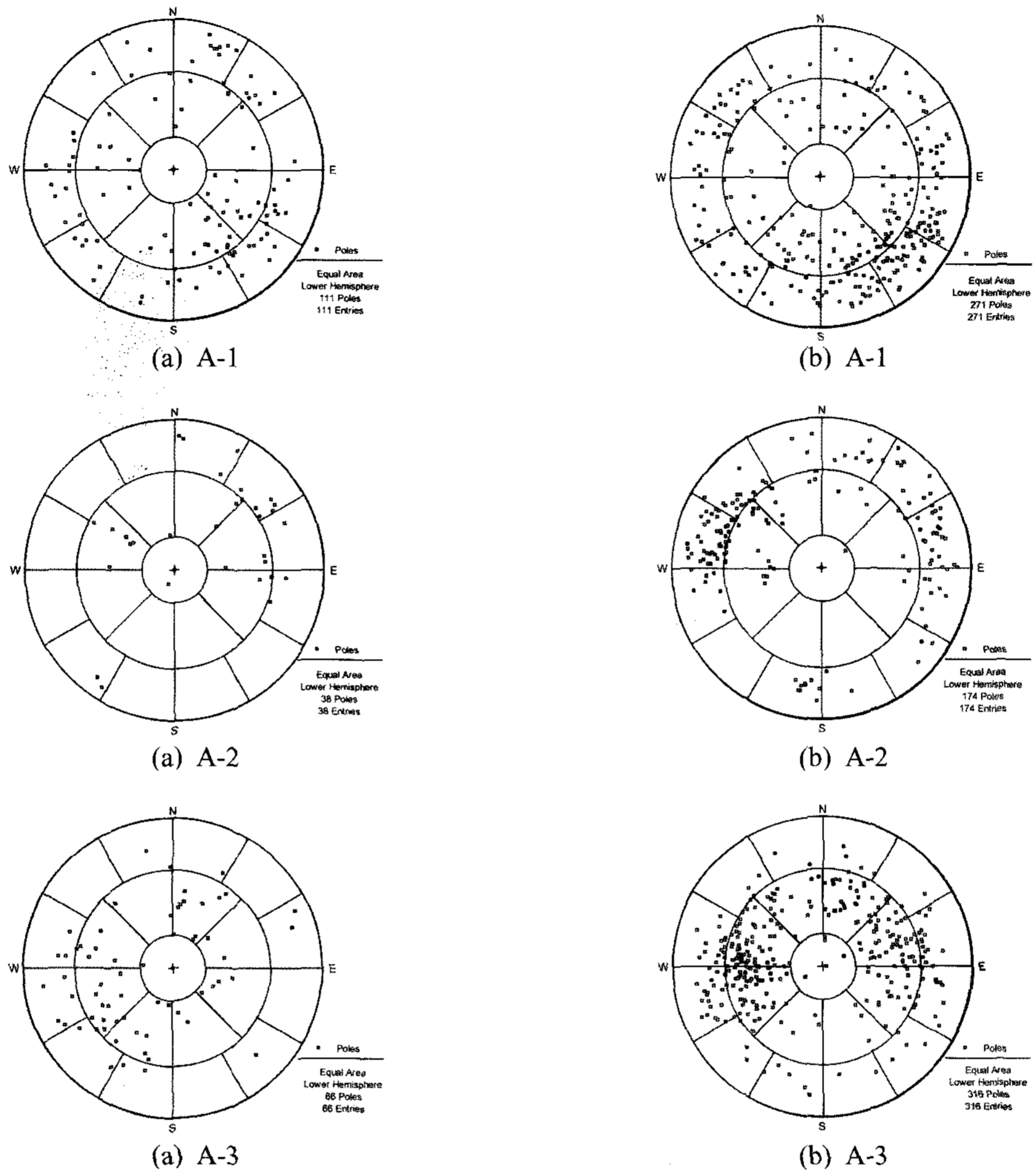


그림 5. 하반구 슈미트망에 표시한 강원도 중동부 A지역의 심도구간별 절리((a)상부구간, (b)하부구간)

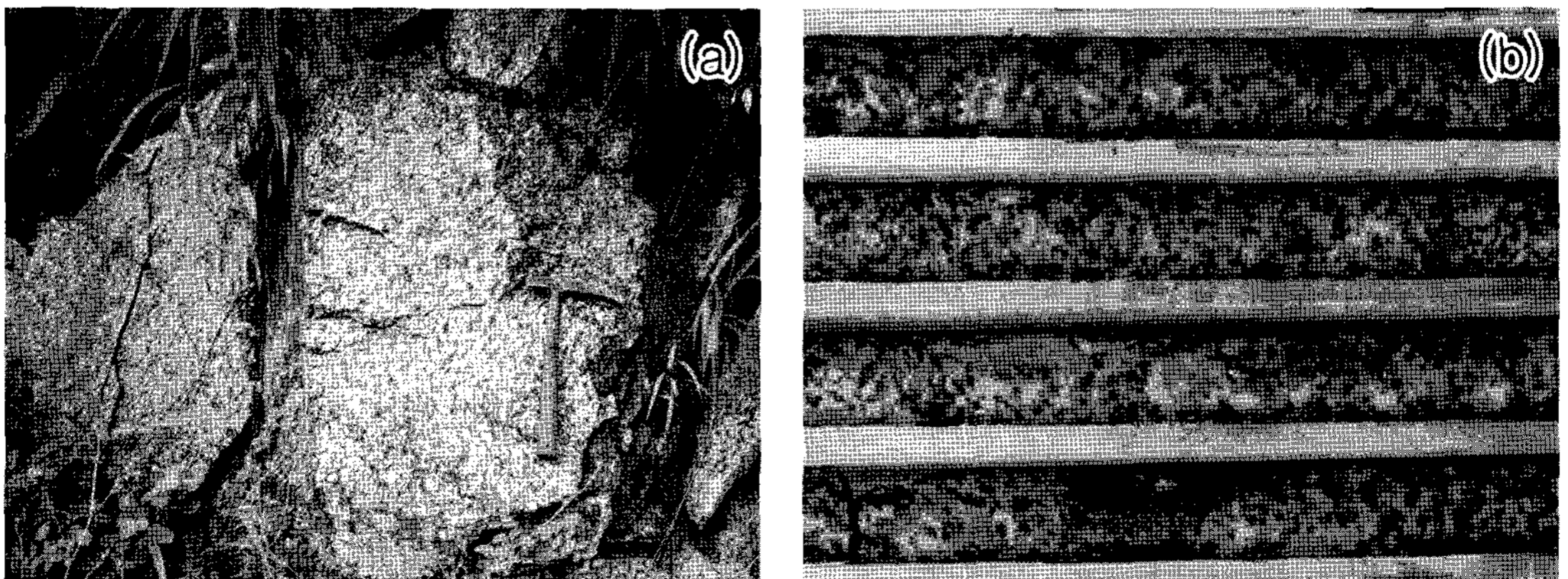


그림 6. 전라남도 남부 B지역에 분포하는 암종((a)반상변정 화강암질 편마암, (b)시추코아사진)

표 5. 전라남도 남부 B지역 시추공영상촬영 데이터

공 번	암 종	연암출현심도(m)	절리출현심도(m)		절리 갯수
			시작	종료	
B-1	반상변정 화강암질 편마암	11.8	8.09	115.76	65
B-2	반상변정 화강암질 편마암	21.1	23.87	94.51	75
B-3	반상변정 화강암질 편마암	9.0	9.35	67.19	46
B-4	반상변정 화강암질 편마암	17.0	17.16	76.75	78
B-5	반상변정 화강암질 편마암	16.0	16.40	200.03	179

표 6. 전라남도 남부 B지역 카이제곱 검정 결과

공 번	절리개수		m당 절리개수		전체	구분심도 (m)	카이제곱 검정결과		
	상부	하부	상부	하부			$\chi^2$ -검정통계량	임계치	동질유무
B-1	41	24	0.89	0.38	65	55.08	12.4	19.8	동질
B-2	32	43	1.26	0.95	75	50.12	19.9	22.8	동질
B-3	38	8	0.93	0.44	46	51.36	21.4	23.5	동질
B-4	45	33	1.39	1.20	78	50.16	19.8	24.0	동질
B-5	63	116	1.83	0.77	179	51.31	19.7	27.4	동질

수 있다. 현재 B지역에 분포하는 반상변정 화강암질 편마암은 과거 선캠브리아기에 지표에 노출되었다가 중생대 백악기에 부정합으로 화산암류인 유문암질응회암이 피복된 후, 다시 지표에 노출된 이력을 가지고 있다. 그러므로 지표에 분포하는 절리와 지중에서의 분포 특성이 유사한 것으로 판단된다.

## 5. 토의 및 결론

암반 내 절리계의 변화특성을 반영하는 암반공학적 지구구조 설정은 암반구조물의 해석 시 중요한 요소로 인식되고 있다. 암반의 지구구조를 설정하는데 한 요소인 절리의 방향성은 지표에서 관찰된 것과 지하심부에서는 많은 차이가 있을 것으로 여겨진다. 지하 심부에 위치하는 암반이 지표의 풍화작용으로 인해 지표근처로 노출됨에 따라 존재하지 않던 축차응력이 발생하게 된다. 이는 응력 조건의 변화 등에 의해 지질학적으로 비교적 최근에 짧은 시간 내에 절리들이 형성될 수 있음을 나타낸다.

우리의 연구에서는 지표와 지중에서의 절리방향성의 변화양상을 정량적으로 분석하기 위하여 Miller(1983)가 제시한 카이제곱검정을 이용하여 통계적 검정을 실시하였다. 불연속면은 습곡이나 엽리 등에 의해 많은 영향을 받으므로, 화성암에 발달한 절리의 방향성데이터를 사용하였다. 절리 데이터는 시추공영상촬영에 의해 획득된 데이터를 사용하였으며, 총 8공을 분석해 보

았다. 카이제곱검정 결과 총 8공 중, A지역의 3공은 심도구간별 방향성이 비동질하게 나타났으며, B지역의 5곳은 동질하게 나타났다. 절리의 방향성이 동질하게 나타난 B지역의 경우, 지중에 분포하는 절리들이 과거 축차응력이 발생했던 지역으로 사료되며, 이 지역의 통계적 검정을 실시한 결과, 표본수가 적음으로 인해 발생할 수 있는 오류에 대한 문제도 더 많이 연구되어야 할 것으로 판단된다. 예를 들면, 일반적으로 교차분석( $\chi^2$ -검정)의 경우 표본의 수가 많아야 오류를 범할 가능성이 작아진다고 알려져 있다. 그 수는 대략 150개 정도인데, B지역의 경우, B-5 시추공을 제외한 나머지 시추공들의 표본수가 46~78개 정도로 통계적 검정시 오류를 범할 가능성이 존재할 수도 있다. 또한 일부 분할망의 경우 표본 크기가 5개 미만의 작은 경우로서 검정시 오류가 발생할 수 있으므로, 이는 이 연구 결과의 문제점이다. 이에 대한 해결책으로는 분할망의 분할영역의 개수를 줄여 각 분할영역의 자료빈도를 높이는 방법이 있다.

종합해 보면, 지표절리와 지중절리의 방향성은 서로 다를 수 있음이 통계적 검정방법에 의해 나타났다. 따라서, 본 연구에서 규명된 바와 같이 괴상의 화성암 기원 암석(예, 화강암, 화강암질 편마암, 섬록암, 반려암 등)의 경우 지표에서 지하 50미터에서 관찰되는 절리의 방향성은 지하구조물의 절리구조와는 상이할 수 있으므로 시추공 영상을 이용한 절리 분석과 같은 적절한 원위치 조사가 바람직하다.

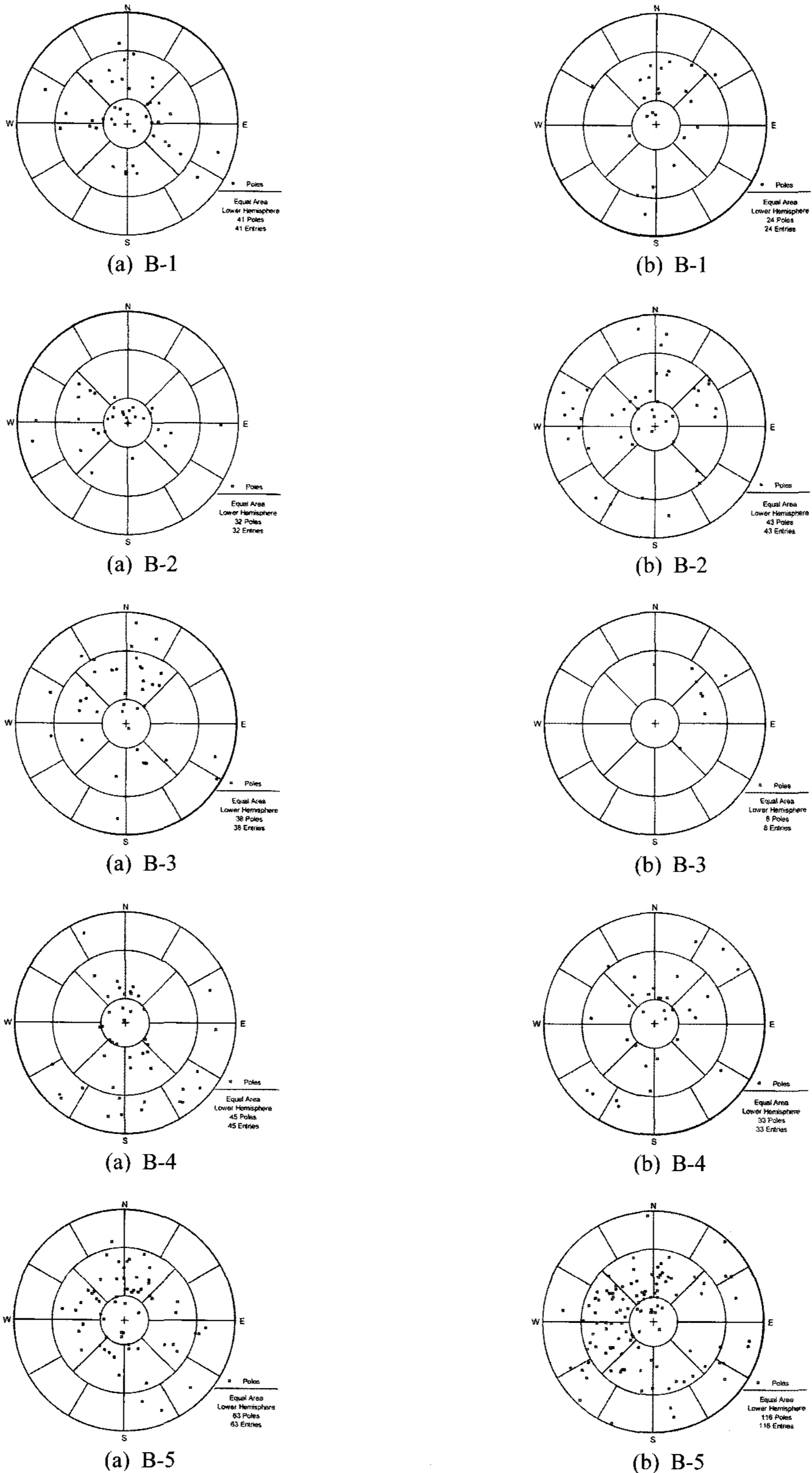


그림 7. 하반구 슈미트망에 표시한 전라남도 남부 B지역의 심도구간별 절리((a)상부구간, (b)하부구간)

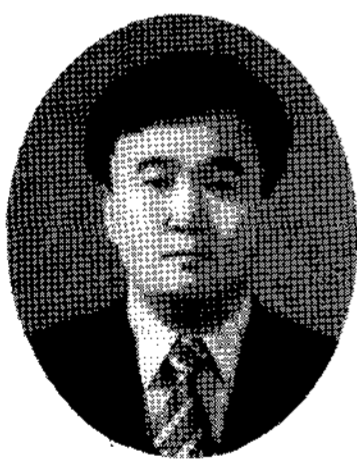


## 감사의 글

여러 유익한 지적을 해 주신 익명의 두 논문 심사위원분들에게 감사드립니다. 아울러, 현장 자료 분석 시 도움을 주신 희송지오텍의 최시영 박사와 장한기 과장에게 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 임정기, 2007, 절리암반내 동질구조구 구분을 위한 정량적 기준에 대한 연구, 2007 한국암반공학회 춘계학술발표회 논문집, II-1-14.
2. Goodman, R.E., 1993, Engineering geology: rock in engineering construction, John Wiley & Sons, Inc., 412p.
3. Hoek, E. and Brown, E.T., 1980, Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106(GT9), 1013-1035.
4. Miller, S. M., 1983, A statistical method to evaluate homogeneity of structural populations, Mathematical Geology V. 15, 317-328.
5. Turcotte, D.L. and Schubert, G., 2002, Geodynamics - 2nd ed, Cambridge University Press, 456p.



### 김기석

1987년 서울산업대학교 공과대학 전자공학과 공학사  
 1992년 한양대학교 공학대학원 전자공학과 공학석사  
 2004년 충남대학교 대학원 토목공학과 공학석사  
 2008년 수원대학교 대학원 토목공학과 공학박사  
 Tel: 02-576-3801  
 E-mail: hsgeotek@chol.com  
 현재 (주) 희송지오텍 대표이사



### 박영도

1986년 고려대학교 이과대학 지질학과 이학사  
 1992년 미국 Temple대학교 대학원 지질학과 이학석사  
 1994년 미국 뉴욕주립대학교 대학원 지질학과 이학박사  
 Tel: 02-576-3801  
 E-mail: hsgeotek@chol.com  
 현재 (주) 희송지오텍 기술연구소 상무이사



### 박연준

1981년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사  
 1983년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사  
 1992년 미국 Minnesota 대학교 대학원 토목공학과 공학박사  
 Tel: 031-220-2580  
 E-mail: yjpark@suwon.ac.kr  
 현재 수원대학교 토목공학과 교수