

# 시추 및 야외조사 자료의 절취면 투영 분석 시스템

## Fracjection

### The Fracjection: An analytical system for projected fractures onto rock excavation surface from boreholes and outcrops

황상기\*  
Hwang, SangGi

임유진\*\*  
Lim, Yujin

---

#### ABSTRACT

Surveying rocks for engineering aims for prediction of geological feature of the construction site. Conventionally, survey information at outcrops and bore holes are projected to the construction sites, such as tunnel and slopes, and rock properties of the sites are predicted by interpretations of specialists. This system, the "Fracjection", aims to assist the specialist for visualization of the projected fractures from borehole and outcrop survey.

The Fracjection accepts the BIPS and outcrop survey data to its database and allows plotting them in AutoCad map. The software also reads elevation data from contours of the topographic map and constructs DEM of the construction sites. With user's guide, it generates 3D excavation sites such as slopes and tunnels at the topographic map. The s/w projects borehole and outcrop surveyed fractures onto the modeled excavation surface and allows analysis of failure criteria, such as plane, wedge, and toppling failures by built-in stereonet function. Projected fractures can further be analyzed for structural homogeneities and rock mass quality. Moving window style correlation comparison of stereonet plots are used for formal analyses, and RQD type counts of the projected fractures are adopted for the latter analyses.

---

#### 1. 서론

암반을 굴착하여야 할 터널을 설계하기 위해서는 암반의 불연속성의 배열과 연속체로 가정된 암반의 강도가 사전에 조사되어야 한다. 이러한 자료를 기반으로 설계에 필요한 암질영역이 분류되어야 하는데, 조사의 방법으로 지표지질조사, 시추 및 지구물리 탐사가 시행된다. 시공 전에는 충분한 자료를 확보하기 어려운 암반의 특성상 설계에 필요한 자료는 전기한 조사 자료를 충분히 활용할 수 있는 방안을 필요로 한다.

암체의 불연속면 분포의 등급을 분류하기 위하여 Kulatilake et al(1997)은 프렉탈 개념을 이용한 박스

---

\* 배재대학교, 건설환경철도공학과, 정회원

E-mail : sghmap@pcu.ac.kr

TEL : (042)520-5628 FAX : (042)525-7486

\*\* 배재대학교, 건설환경철도공학과, 정회원

E-mail : yujin@pcu.ac.kr

TEL : (042)520-5402 FAX : (042)525-7486

탐색 이론을 적용하여 절취면에 분포하는 절리의 2차원 분포를 등급화 하려는 시도를 하였으며 Viruete et al(2001)은 단층대에 분포하는 2차원 단층면 분포의 강도를 검색선(scan line)으로 측정한 후 그들의 방위별 분포양상을 크리깅 기법의 베리오그램으로 비교하여 분포도를 작성하고자 시도 하였다. 한편 Maerz and Zhou(2000)는 2차원 투영망에 세로축을 시추공 길이로 설정하여 자료를 점기하고 각 자료의 거칠기와 간극정보를 추가함으로써 자료의 분포를 3차원 공간분포 변화 양상으로 분석함과 동시에 절리에 대한 구조구의 분대를 개선하려는 시도를 하였다.

현재 국내에서 사용되고 있는 암반분류 방법은 자료를 터널구간에 투영한 후 JRC, JCS를 각기  $\chi^2$ 와 t 통계량 검증을 통하여 암질의 동질 구간을 설정하는 기법과 구간별 절리분포를 투영망을 통하여 분석하는 기법을 활용하고 있다.

본 연구는 시추공에서 획득될 수 있는 BIPS와 같은 영상 측정결과를 예상 터널면에 투영한 후 이를 분석하여 동질영역을 분류하는 기법을 위해 개발된 s/w 'Fractjection'의 기능을 소개하고 그 응용사례를 제시하고자 한다.

## 2. 시추공 자료 분석을 위한 시스템 Fracjection

시추공에서 측정된 면구조의 주향과 경사 자료를 예상 절취면에 투영하여 절취면에 나타날 절리의 분포를 예측하기 위해 작성된 s/w인 "Fracjaction"은 그림1과 같은 기능을 갖으며 다음의 과정을 전산화 하게끔 제작되었다.

1. BIPS 자료와 절취면의 위치자료 등을 데이터베이스화 하여 이를 계산에 활용할 수 있는 자체 데이터베이스의 기능을 갖고있다(그림 1B).
2. 1:5,000축척 전산지형도에서 DEM을 추출한 후 (Kriging과 Inverse Distance Weight의 알고리즘 이용) 절취면의 3차원 형상을 제작한다(그림 1C).
3. 데이터베이스의 BIPS 자료를 예상 절취면에 투영하고 투영된 자료를 투영망을 이용하여 분석한다(그림 1D). 이 과정에서 시추공내의 절리면과 절취면의 교선은 아래의 수식으로 계산된다.

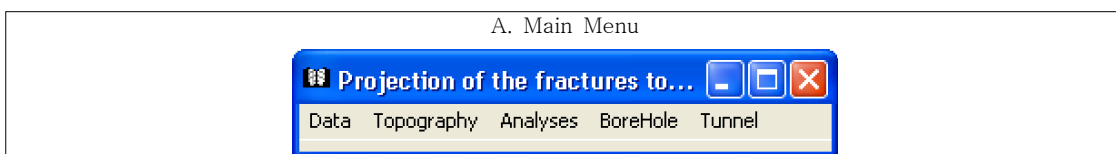
$$Va \times Vb = Cross \ Vector$$

Va: 절리면의 법벡터

Vb: 절취면의 법벡터

Cross Vector: 두 면의 교선

4. 시추공의 3차원 배열과 지형도상의 시추위치를 고려하여, BIPS에서 읽힌 시추공 내부의 면구조를 그림 1E와 같이 AutoCad 3차원 디스크 도면으로 제작하고 시추공 내부의 RQD 변화 등을 계산한다.
5. 터널의 경우 사면형상의 수직 절취면에서 터널부위를 자른 후 이들을 중첩하여 그림 1E와 같은 3차원 분포도를 제작한다.



### B. Data Menu

- Create a database
  - Add a map symbol**
  - Select a database
  - Select a core for analyses
- 
- Edit Data
  - Assign JRC for data

**Define bore hole info...**

Bore hole information:

Bore hole number: TB-1

Core elevation: 212

Direction of bore hole: 0

Dip of bore hole: 90

Accept Cancel

**Add new bore hole**

Bore hole information

Bore hole number: TB-1

Location X: 170363.9208

Location Y: 340360.1630

Coordinate system:  TM  UTM

Symbol type: Circle

Symbol size: 2

Add symbol to map Close

File Edit Tools

Editing table: Fractures

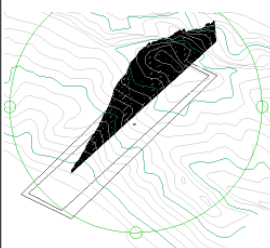
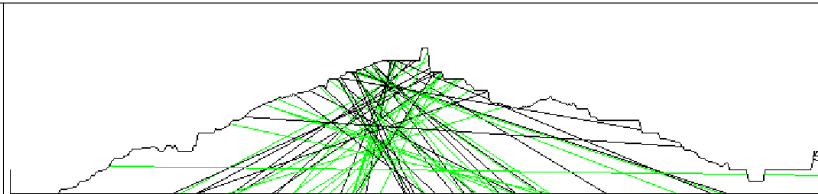
| NUMBER | FEATURE | ID | STRIKE | DIP | DEPTH   | APATURE | JRC     |
|--------|---------|----|--------|-----|---------|---------|---------|
| 1      | TB-1    | JJ | 1      | 6   | 18.8885 | 5.774   | 2.8388  |
| 2      | TB-1    | JJ | 3      | 25  | 14.7455 | 5.907   | 2.9016  |
| 3      | TB-1    | JJ | 4      | 26  | 11.8903 | 6.0021  | 2.936   |
| 4      | TB-1    | JJ | 6      | 15  | 17.5279 | 6.1291  | 2.8611  |
| 5      | TB-1    | JJ | 7      | 22  | 34.3841 | 6.2531  | 3.3015  |
| 6      | TB-1    | JJ | 9      | 351 | 17.5279 | 6.3391  | 3.8148  |
| 7      | TB-1    | JJ | 11     | 352 | 6.0098  | 6.3851  | 2.9839  |
| 8      | TB-1    | JJ | 13     | 278 | 17.5279 | 6.5391  | 2.8611  |
| 9      | TB-1    | JJ | 14     | 307 | 46.4728 | 6.6711  | 11.7095 |
| 10     | TB-1    | JJ | 15     | 334 | 67.5601 | 6.8732  | 9.926   |
| 11     | TB-1    | JJ | 17     | 321 | 78.4549 | 7.1742  | 0.8007  |
| 12     | TB-1    | JJ | 19     | 317 | 24.1052 | 7.2652  | 2.7388  |
| 13     | TB-1    | JJ | 20     | 132 | 43.4558 | 7.3092  | 4.356   |
| 14     | TB-1    | JJ | 21     | 260 | 24.1052 | 7.3772  | 26.4748 |
| 15     | TB-1    | JJ | 22     | 109 | 54.8696 | 7.4633  | 1.7266  |
| 16     | TB-1    | JJ | 24     | 290 | 36.3882 | 7.8543  | 2.4154  |
| 17     | TB-5    | JJ | 4      | 64  | 67.6865 | 11.1219 | 1.5285  |
| 18     | TB-5    | JJ | 5      | 210 | 38.4688 | 11.1521 | 2.3639  |
| 19     | TB-5    | JJ | 6      | 181 | 40.2819 | 11.2608 | 4.6067  |
| 20     | TB-5    | JJ | 7      | 323 | 51.2235 | 11.445  | 11.3456 |
| 21     | TB-5    | JJ | 8      | 70  | 65.5389 | 11.8334 | 2.0837  |
| 22     | TB-5    | JJ | 9      | 136 | 42.0027 | 12.0126 | 2.9916  |
| 23     | TB-5    | JJ | 10     | 188 | 27.9101 | 12.081  | 2.6681  |

Fractures Flow: 8, Col: 1 NUM CAPS INS 10:49 AM

### C. Topography Menu

**Define Slope Geometry**

- Generate DEM
- Draw 3D slope
- Draw 3D Net



**Stereonet - Slope Stability**

Manual Input: 064/30, 210/44, 101/44, 323/32, 070/070

Dip direction: 115

Dip angle: 32

Color:  Black  Get Data from CAD

Slope Information: Slope: 220, Friction angle: 35

Daylight  Wedge Failure  Slope face  Toppling

Plot Data Save Image

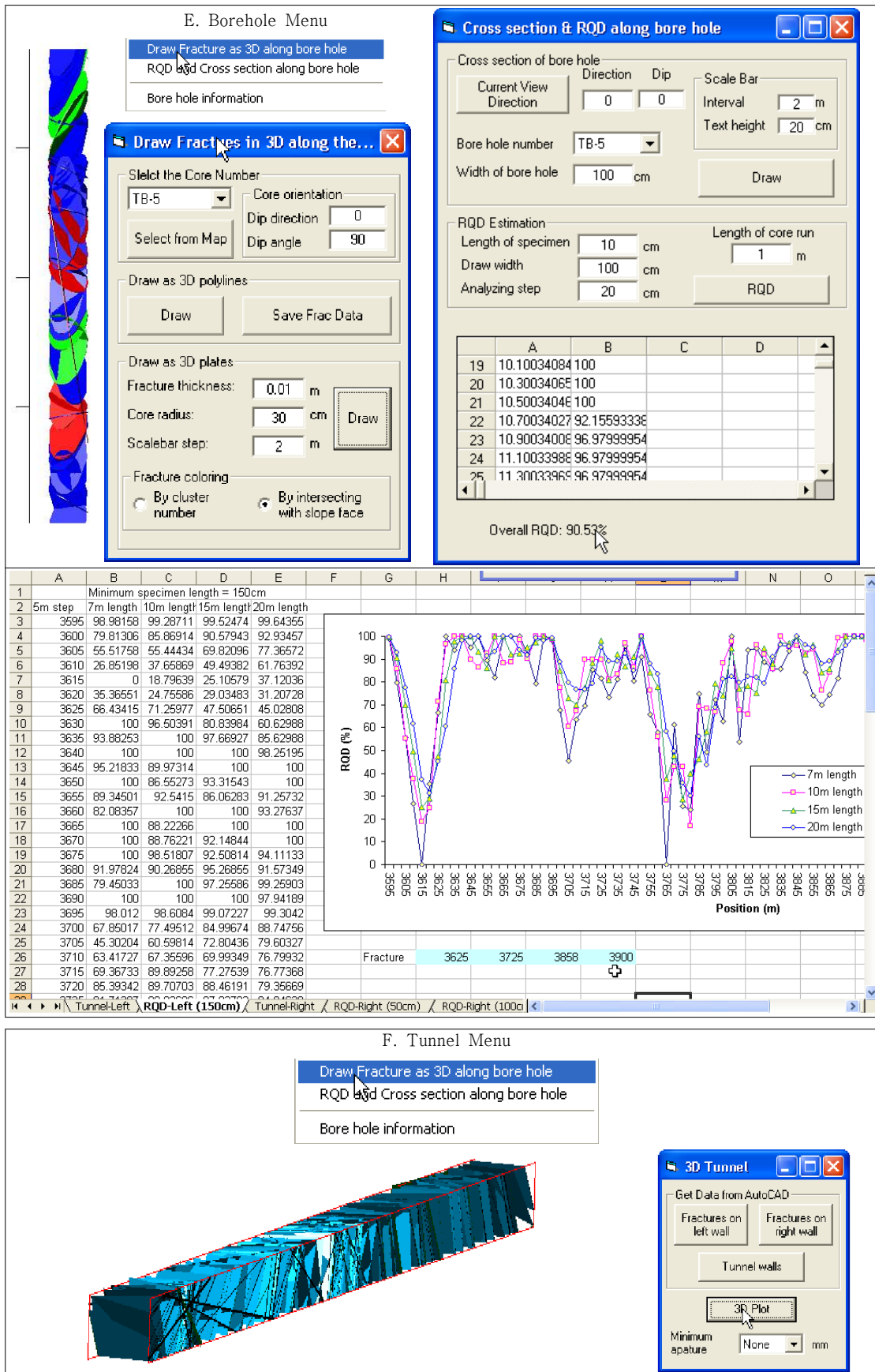
Get data from database: Bore hole number: TB-5 Get data

Joint set clustering: Clustering: 165/40, 311/49, 047/48; Number of Cluster: 3

Confidence ellipse: Cluster number: 1 Draw Color: Green Confidence level: 80%

### D. Analyses Menu

- Analyses and Plot**
- Stereonet Analysis



|    | A                               | B         | C          | D          | E          | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O |
|----|---------------------------------|-----------|------------|------------|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | Minimum specimen length = 150cm |           |            |            |            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | 5m step                         | 7m length | 10m length | 15m length | 20m length |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 3  | 3595                            | 98.98158  | 99.28711   | 99.52474   | 99.64355   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | 3600                            | 79.81306  | 85.86914   | 90.57943   | 92.93457   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | 3605                            | 55.51758  | 55.44434   | 69.82096   | 77.36572   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | 3610                            | 26.85198  | 37.65869   | 49.49382   | 61.76392   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | 3615                            | 0         | 18.79639   | 25.10579   | 37.12036   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | 3620                            | 35.36551  | 24.75586   | 29.03483   | 31.20728   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | 3625                            | 66.43415  | 71.25977   | 47.50651   | 45.02808   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 | 3630                            | 100       | 96.50391   | 80.83984   | 60.62988   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 11 | 3635                            | 93.88253  | 100        | 97.66927   | 85.62988   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 12 | 3640                            | 100       | 100        | 100        | 98.25195   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 13 | 3645                            | 95.21833  | 89.97314   | 100        | 100        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 14 | 3650                            | 100       | 86.55273   | 93.31543   | 100        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 15 | 3655                            | 89.34501  | 92.5415    | 86.06283   | 91.25732   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 16 | 3660                            | 82.08357  | 100        | 100        | 93.27637   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 17 | 3665                            | 100       | 88.22266   | 100        | 100        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 18 | 3670                            | 100       | 88.76221   | 92.14844   | 100        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 19 | 3675                            | 100       | 98.51807   | 92.50814   | 94.11133   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 20 | 3680                            | 91.97824  | 90.26855   | 95.26855   | 91.57349   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 21 | 3685                            | 79.45033  | 100        | 97.25586   | 99.25903   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 22 | 3690                            | 100       | 100        | 100        | 97.94189   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 23 | 3695                            | 98.012    | 98.6084    | 99.07227   | 99.3042    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 24 | 3700                            | 67.85017  | 77.49512   | 84.99674   | 88.74756   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 25 | 3705                            | 45.30204  | 60.59814   | 72.80436   | 79.60327   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 26 | 3710                            | 63.41727  | 67.35596   | 69.99349   | 76.79932   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 27 | 3715                            | 69.36733  | 89.89258   | 77.27539   | 76.77368   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 28 | 3720                            | 85.39342  | 89.70703   | 88.46191   | 79.35669   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

**F. Tunnel Menu**

Draw Fracture as 3D along bore hole  
 RQD and Cross section along bore hole  
 Bore hole information

**3D Tunnel**

Get Data from AutoCAD

Fractures on left wall Fractures on right wall

Tunnel walls

3D Plot

Minimum aperture: None mm

그림 1. 시추공자료 투영을 위한 s/w “Fracjection”의 메뉴와 기능들.

A. AutoCad와 연동해 작동되는 Fracjection의 메인메뉴

B. Data 메뉴. s/w에서 사용될 데이터베이스를 작성하고 자료를 입력하거나 수정하는데 활용된다.

AutoCad의 전산도면에 시추위치를 입력하고 그 위치를 데이터베이스와 연계하는 기능을 수행한다.

- C. Topography 메뉴. 전산지형도의 등고선 정보를 이용하여 사업지역의 고도자료 DEM을 제작하고 이를 이용하여 절취면의 3차원 형상을 제작하는 기능을 수행한다. 사면 등의 절취면 위치를 도면에서 입력할 수 있다.
- D. Analyses 메뉴. 시추공의 자료를 제작된 절취면에 투영하고 투영된 자료를 투영망을 이용해 분석하는 기능을 수행한다. 투영망은 자료를 그룹화 하는 기능과 평면, 쉼기, 전도파괴의 분석을 수행하는 기능을 제공한다.
- E. Borehole 메뉴. 데이터베이스에 수록된 BIPS 자료를 이용하여 AutoCad에 공내에 분포하는 절리의 3차원 분포양상을 그림과 같이 도식하여 주며 시추공 내부의 RQD변화 등을 계산하여 자료를 엑셀 파일에서 분석할 수 있는 기능을 제공한다.
- F. 터널메뉴. 절취면에 투영된 절리를 터널벽면의 자료로 선별하여 두 터널벽면의 자료를 확보한 후 이들을 그림과 같이 3차원 절리분포도로 바꿔주는 기능을 수행한다.

### 3. 시스템의 적용사례

#### 3-1. 시추자료의 투영

위에서 소개된 시스템을 OO-OO 도로공사 구간(그림 2)에 적용하였다. 예비설계를 위하여 본 구간에서는 4개의 시추공 BIPS 자료와 6개의 지표지질조사 결과가 조사되었으며 그 결과를 그림3과 같이 터널벽면에 투영하였다. 일반적으로 BIPS 자료는 수평절리가 우세하게 조사되는 경향이 있으므로 이를 보완하기 위하여 지표지질조사에서 관찰된 단층의 배열을 터널벽면에 추가로 투영하였다.

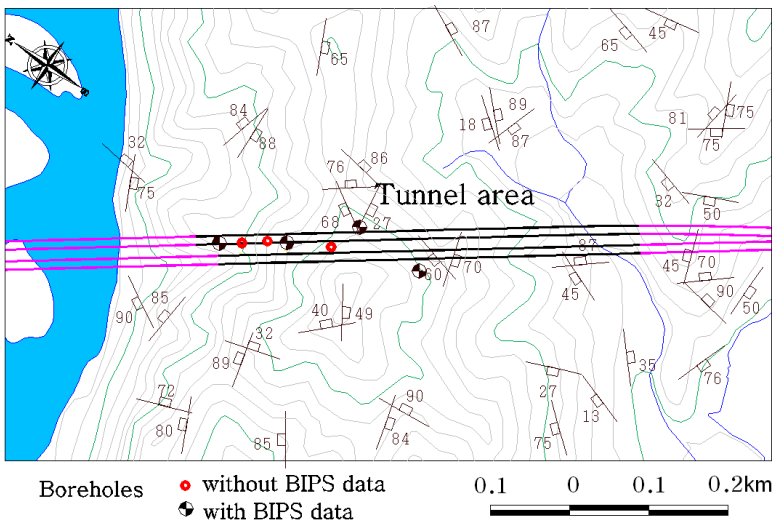
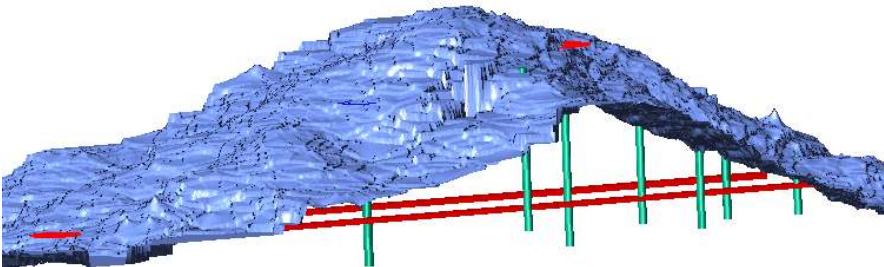


그림 2. 시스템의 적용시험을 수행한 도로 터널구간.

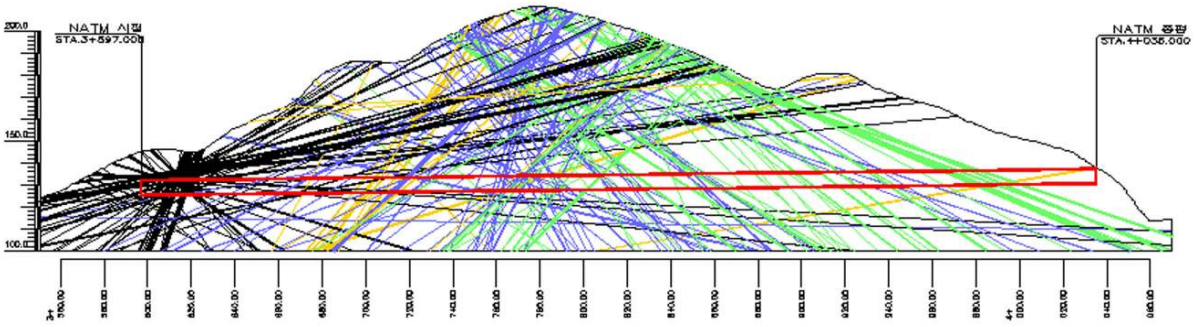


그림 3. BIPS 자료와 지표지질조사 자료를 터널이 굴착될 수직 단면에 투영한 결과. 각기 다른 색상의 면 구조는 각기 다른 시추공에서 점기된 것이며, 도면의 박스 영역은 예상 터널구간임.

### 3-2. 투영자료의 분석

수직공에서 측정된 절리를 절취면에 투영할 경우는 그림4와 같이 공간적인 분포의 위치가 변하게 된다. 현재의 RQD 혹은 RMR의 측정은 이러한 기하학적 분포양상을 무시하고 시추공 자체의 절리분포를 계산하여 시추공 위치에서의 암질에 대한 설계정수로 활용된다. 그러므로 그림3과 같이 투영된 자료의 분포를 계산하는 것이 효율적이다. 투영된 면에 대한 분포의 분석은 터널의 시점에서 시작하여 종점부로 옮겨가면서 절리의 배열과 암질의 영역을 분리하는 기법이 활용되었다.

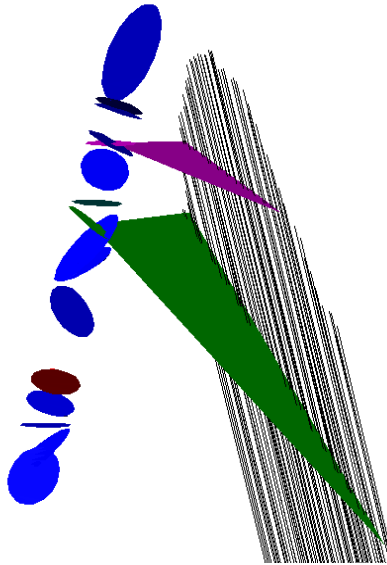


그림 4. BIPS를 이용해 수직의 추공에서 측정된 절리를 절취면에 투영한 결과.

#### 3-2-1. 절리배열에 대한 분석

절리의 배열을 분석하기 위하여 터널의 시점으로부터 각기 35, 40, 50m 간격의 구간창을 설정하고 구간창을 10m 간격으로 종점부 방향으로 이동하면서 각 창 of 절리의 배열을 투영망에 점기한 후, 인접 구간창에서 작성된 투영망의 상관계수를 계산하였다. 그 결과 그림5와 같이 도로의 시점으로부터 각기 3620, 3725, 3855, 3895m 위치에서 급격한 상관계수의 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 급격한 차이는 인접 구간창의 자료배열이 급격히 변하는 양상이 표현되는 것으로 인접창의 자료 배열이 유하할 경우는 급격한 변화구간을 경계로 1에 가까운 높은 상관계수를 보이는 특징이 있다.

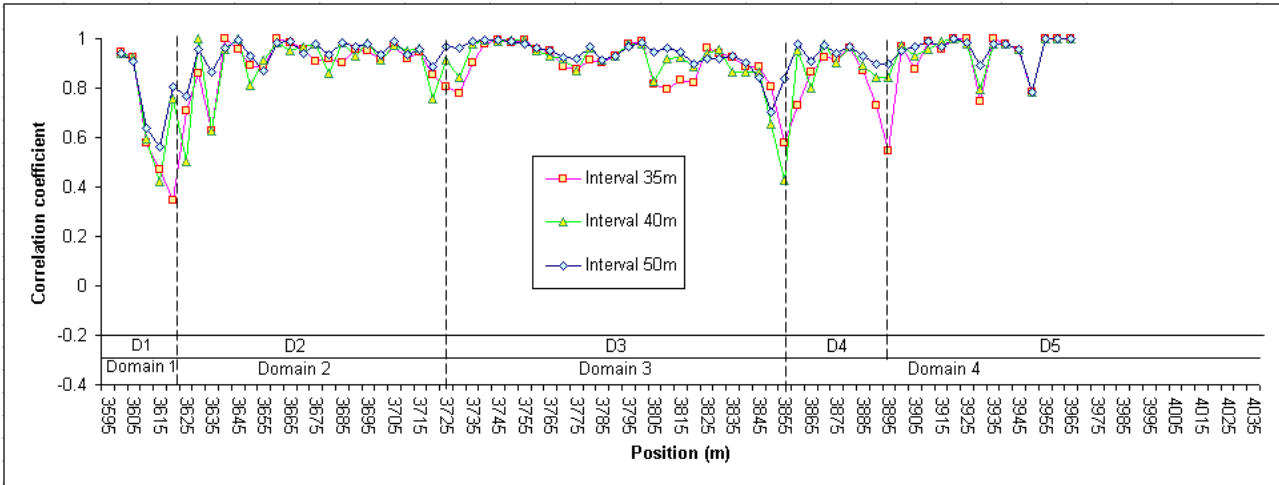


그림 5. 터널의 시점에서 종점방향으로 35~50m 길이의 구간창을 10m 간격으로 이동하면서, 인접구간의 투영망에 대한 유사성을 상관계수로 계산한 결과. 높은 상관계수가 지속되는 구간은 동일한 구조구로 해석된다.

### 3-2-2. 암질에 대한 분석

RMR과 같은 정확한 암질분류는 절리의 특성 등과 같은 상세한 자료를 필요로 한다. 그러나 RQD와 같은 일반적인 암질의 분류는 그림3과 같은 투영도를 이용하여 충분히 작성될 수 있다. 암질분류는 터널의 진향방향으로 7~20m 길이의 구간창을 10m 간격으로 이동하면서 각 구간에서 1.5m 이상의 무결구간을 합하여 이를 구간창구간 길이의 백분율로 계산하는 알고리즘을 적용하였다. 그림6은 이와 같은 알고리즘을 터널구간에 적용한 결과로서 도로의 시점으로부터 3625, 3725, 3860m의 위치가 암질의 변화 경계임을 보여주고 있다.

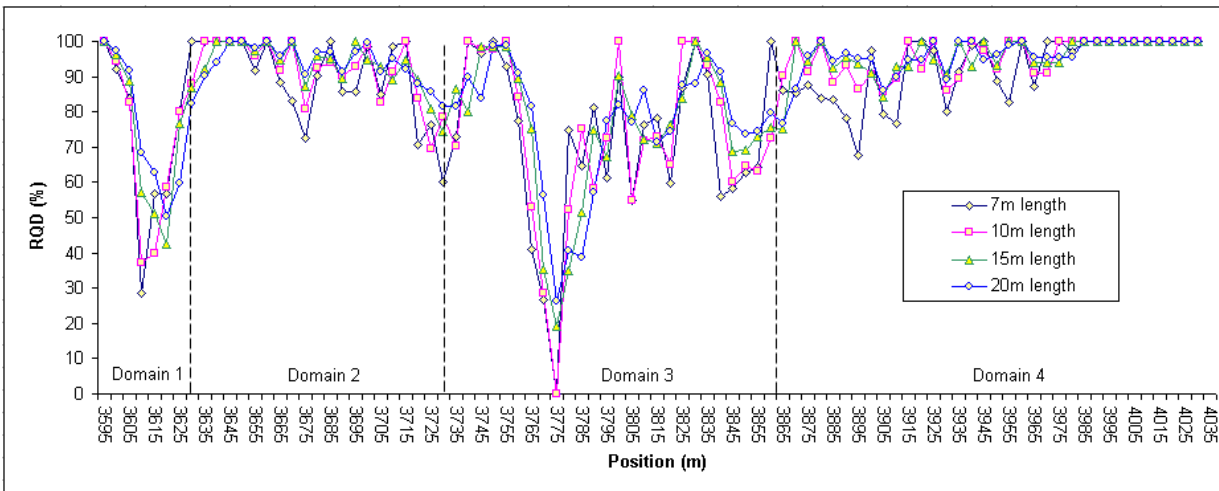


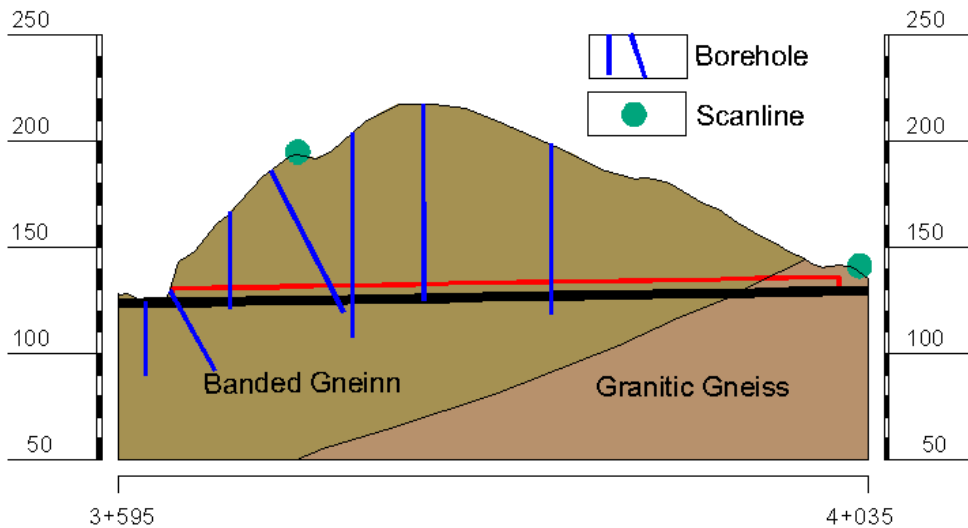
그림 6. 터널구간에서 RQD의 변화양상.

## 4. 토론

터널의 예비설계는 지표지질조사와 시추 및 물리탐사에 의해 획득된 극히 제한된 정보를 최대한 활용하여야 한다. 이 과정에서 획득된 최적의 설계지수를 반영하여야 하나 이러한 필요성에 비하여 자료의 처리를 합리화 하고자하는 시도는 매우 부족한 실정이다.

기존의 방법은 지표지질조사결과와 시추위치를 평면도에 도식하여 절리의 균질영역을 평면분석으로

수행하고 있다. 그러므로 그 결과는 본 연구에서 제시된 방법과 큰 차이를 보일 수밖에 없다. 그림7은 분석된 시범지역의 구조구를 기존의 방법과 본 연구에서 제안된 방법으로 분류하여 비교한 결과이다.



|       |             |    |    |    |    |    |
|-------|-------------|----|----|----|----|----|
| Joint | Plane View  | J1 | J2 | J3 |    | J4 |
|       | Fracjection | J1 | J2 | J3 | J4 |    |
| RQD   | Plane View  | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|       | Fracjection | R1 | R2 | R3 | R4 |    |

그림 7. 터널구간의 동질영역 분류결과. 도표에서 Plane View는 기존의 조사방법에 의한 분류결과이며 Fracjection은 본 연구에서 제시된 방법에 의한 분류결과임.

## 5. 결론 및 요약

터널의 적절한 설계를 위해 필요한 조사 자료를 시추공으로부터 획득하여 분석할 수 있는 s/w가 제작되었으며 그 기능이 소개되었다. 제작된 시스템의 주요기능은 시추공에서 측정된 자료를 절취면에 투영하는 기법으로서, 투영된 자료를 균질한 암질과 절리배열 영역으로 구분하는 부수적인 기법이 소개되었다.

제작된 시스템을 OO-OO 도로공사 예정지역의 터널에 적용한 결과, 투영이 적절히 이뤄지며 또한 기존의 기법을 활용하여 구분된 균질영역의 분대와 본 연구방법의 결과와의 차이점이 제시되었다.

## 참고문헌

1. Kulatilake P.H., Fiedler R., and Panda B.B., 1997, Box fractal dimension as a measure of statistical homogeneity of jointed rock mass, *Engineering Geology*, 48, 217-229
2. Maerz, N.H., Zhou, W., 2000, Discontinuity data analyses from oriented boreholes, *Pacific Rocks; Proceedings of the Fourth North American Rock Mechanics Symposium*, Seattle, Washington, July 31-Aug.01, 667-674
3. Virute J.E., Carbonell, R., Jurado, M.J., Marti, D., Perez-Estaun, A., 2001, Two-dimensional geostatistical modeling and prediction of the fracture system in the Albala Granitic Pluton, SW Iberian Massif, Spain, *Journal of Structural Geology*, 23, 2011-2023