

서울 地下鐵 敷地一帶 岩石의 岩石學的 및 岩石力學的 基準設定을 爲한 研究

金玉準* ·李大聲** ·鄭鳳日***

The Petrological and Geomechanical Studies of Rock Masses in the Site Area of the 3rd and 4th Seoul Subway Lines for an Engineering Classification of Rock Masses

Ok Joon Kim · Dai Sung Lee · Bong Il Jeong

Abstract : The object of this study is to offer the standardized data for the design and calculating engineering cost of the rock excavation an the construction of the 3rd and 4th Seoul Subway lines

From Jnauary to March in 1983, this study was carried out by the both methods of the field and laboratory studies. In the field, the geological survey in the entire area of Seoul City and sites on the subway lines were carried out and also a site measure of uniaxial compressional strength of rock masses by using Schmidt hammer was done. The labartory studies were carsied out by a study of preuions surveyes, microscopic studies of the mineral composition and degree of weathering of rocks, and measure of uniaxial compressional strengths Finally an engineering classification of each rock masses of South Africa council for Scientific and Industrial Research, CSIR, after Bieniawski, 1974. was done. In this method of classification 6 parameters such as strength of intact rock material, rock quality designation, spacing of fractures, condition of fractures, groundwater conditions, and the effect of fracture strike and dip orientation in tunnelling were used to evaluate rating of each rock mass.

머릿말

이 研究는 서울地下鐵公社의 위촉에 의하여 이루어진 것으로서 그 目的은 서울地下鐵敷地一帶에 分布하는 岩石을 岩石學的 및 岩石力學的으로 調査研究하여 地下鐵工事に 있어 普遍妥當한 基準을 設定하므로써 앞으로의 工事進行에 設計와 發破의 指針에 必要한 基礎資料를 提供하며 아울러 將來에 建設될 서울地下鐵 工事의 設計와 建設費算出에 必要한 參考資料를 提示하는데 있다.

이와 같은 調査目的을 達成하기 위하여 1983年 1月에서부터 3月까지 서울一帶의 地質調査를 實施하였고 過去調査된 모든 既存資料를 檢討하였으며 아울러 現場에서 採取된 試料에 對한 岩石學的 및 岩石力學的

研究도 實施하였다.

本調査研究 結果로 岩盤掘鑿에 있어 地質構造의 重要性이 더욱 浮刻되었으므로 地質學에 興味를 갖는 분들에게 參考가 될가하여 敢히 이報告를 發表하는 바이다. 이 報文은 全文이 아니고 前編에 있는 서울一帶의 地質과 地質構造 및 其他部分에 있어서도 內容에 따라 省略 또는 要約하였다.

本調査研究에 協助하여준 許墳博士와 韓楨相氏에게 感謝드리며 始終 調査에 參加하여준 서울大學校地質科學科大學院生인 姜世원, 延世大學校地質學科大學院生인 金윤규 박찬홍·이달희·조동룡·홍세선 諸君에게도 感謝하는바이다.

地質概要와 岩石의 風化度

地質概要

地下鐵路線 3號 및 4號線을 包含하는 地帶의 地質은 (1) 基盤을 이루는 先캄브리亞紀의 變成岩複合體(主로 片麻岩類) (2) 이를 貫入한 中生代의 花崗岩類(斑

*學術院會員
**延世大學校地質學科
***서울大學校地質科學科

狀花崗岩, 黑雲母花崗岩) 및 이들을 不整合으로 덮는 第四紀의 沖積層이다. 이들은 이미 여러사람들에 의하여 研究되었고 本研究에 의하여 作成된 地質圖 및 서울 地質圖幅(1/50,000 縮尺)을 參照하기 바란다.

岩石의 風化度

岩盤掘鑿에 있어 岩石의 風化度가 미치는 영향은 至大하므로 本研究에서도 이點을 細密히 다루었다.

調査된 各 工區의 現場에서 採取된 試料에 對하여 構成鑛物의 組合에 의해서 岩石名을 決定하고 構成鑛物中에서 風化된 鑛物의 變質程度를 定量的으로 測定하여 岩石 全體의 風化度를 決定했다.

花崗岩質岩石의 主成分鑛物은 石英, 칼륨長石 및 斜長石이고 隨伴鑛物로 雲母類, 綠泥石, 不透明鑛物 등을 包含하며 花崗岩의 有色鑛物은 대체로 2%未滿으로 그 量을 考慮하지 않아도 좋을 것이나 片麻岩類의 境遇는 雲母類(黑雲母+白雲母+絹雲母)의 含量이 10~57%를 차지하므로 이 경우는 石英, 長石類 및 有色鑛物含量의 三成分系로 考慮하였고 花崗岩試料의 경우는 石英, 칼륨長石 및 斜長石의 3成分系를 생각하였다.

또한 顯微鏡下에서 長石類와 有色鑛物의 風化範圍를 point counter로 측정하여 그 含量을 別途로 計算하였다.

이상과 같은 測定資料에 根據하여 各 試料의 mode 值, 風化量 등을 그림 1와 그림 2에 나타냈다.

그림 1에 의하면 片麻岩의 mode 組成은 花崗岩 a에 該當하고 花崗岩의 mode 組成은 주로 花崗岩 a와 花崗岩 b에 該當하고 數個의 試料가 花崗閃綠岩과 石英閃

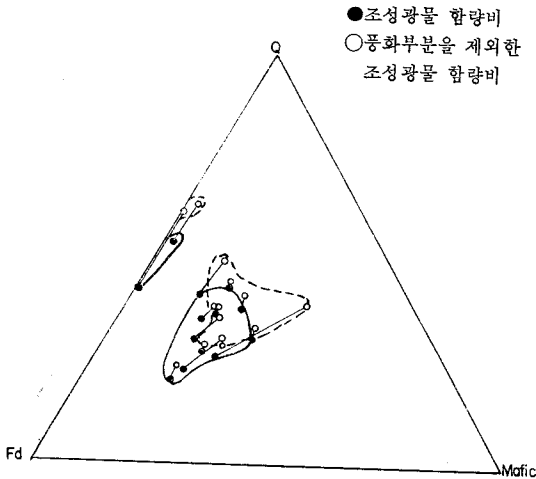


Fig. 1 편마암에 대한 Q(석영)-Fd(장석)-Mafic(유색광물)의 함량비 및 풍화도, 실선구역: 원암의 범위, 파선구역: 풍화암의 범위

- 조성광물 함량비
- 풍화부분을 제외한 조성광물 함량비
- 지표시료의 조성광물 함량비

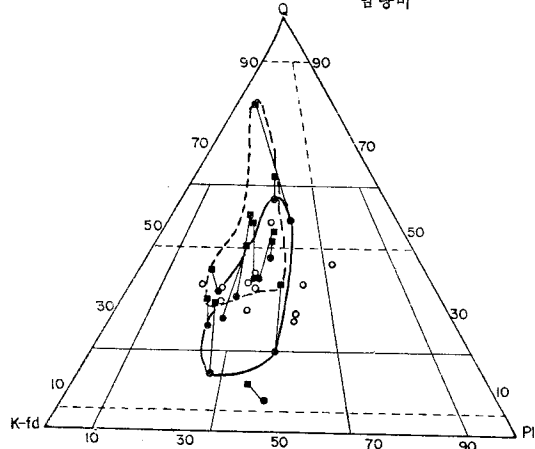


Fig. 2 서울 화강암에 대한 Q(석영)-K-fd(알카리장석)-P1(사장석)의 함량비 및 풍화도, 실선구역: 원암의 범위, 파선구역: 풍화암의 범위

조나이트에 屬한다. 이들 두 그림에서 各 試料의 ●표는 風化되기 前의 岩石의 鑛物組成比를 나타내고 ■표는 그 試料가 風化된 後의 鑛物組成比를 나타낸다. 그러므로 實線으로 구획된 구역은 片麻岩類(그림 1)나 花崗岩類(그림 2) 全體에서 風化하지 않은 狀態를, 破線으로 구획한 범위는 그 岩類가 風化되었을 때의 狀態를 각각 나타낸다.

이에 의하면 片麻岩의 경우 風化는 長石類의 減少에 의한 絹雲母, 粘土鑛物化가 主가 되고 약간의 유색광물의 감소가 있다. 특히 優白質이나 優黑質인 岩石의 風化度가 높고 中間質인 것은 比較的의 낮다.

花崗岩의 경우 칼륨長石과 斜長石 감소가 거의 같은 比率로 나타나나 斜長石이 약간 더 큰 값으로 風化되었다. 그 風化比率는 칼륨長石:斜長石=1:1로 계산된다.

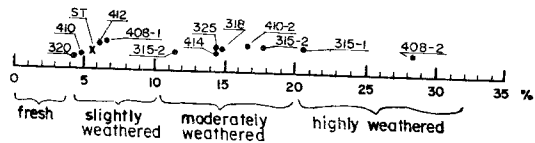


Fig. 3 岩石의 風化度 區分(화강암의 경우) 수자는 시료번호, ST: 표준시료

片麻岩類의 風化度범위는 1.1%~38.5%이고 花崗岩類의 風化度 범위는 4%~28%이다.

風化度(%)를 그 크기에 따라 順次로 나열하면 그림 3 과 같이 크게 네 가지 群으로 모인다.

이 風化度의 群化(grouping)는 試料를 風化度에 따라 네 가지級으로 가를 수 있을 것으로 提議하여 볼 수 있다. 즉 風化度 0~4% : 新鮮(fresh), 4%~10% : 약간 風化(slightly weathered), 10~20% : 中間정도 風化(moderately weathered) 및 20%以上 : 강하게 風化(highly weathered)이다.

이보다 더욱 風化된 完全風化(completely weathered)는 麻砂土에 해당하는 것으로 이는 岩石의 薄片을 作成할 수 없는 程度의 것이다.

岩石의 地質工學的 分類 方法

分類의 變數

地下의 各種 掘鑿工事(excavation)에 있어 岩盤이 지니는 여러 物性이 그 強度를 決定하는데 複雜하게 作用하고 있다. 地下建設工事도 例外는 아니며 特히 터널施工이 必要할 때 그 路線과 橫斷面을 設計하며, 建設期間을 豫測하고 掘鑿方法을 選定하므로써 全體 工事費를 豫算하는데 가장 重要한 要因은 岩石의 地工學的인 分類(Geomechanical classification of rocks)에 있다고 본다. 이 點에 對하여 여러 學者들은 各己 獨特한 方法을 案出한바 있다.

Bieniawski (1974)는 岩石의 地質工學的 分類의 基礎가 되는 變數(parameters)로 다음 8個 要因을 지적하고 있다.

1) 岩質指示(Rock Quality Designation. RQD)

日本の 土木學會에서도 岩石의 分類를 試圖한 바 있으나 너무도 複雜하고 노르웨이의 Norweigan Geotechnical Institute (NGI)에서도 試圖하고 있으나 現場에서 간단히 그리고 私見없이 計測할 수 없는 變數들이 많아 多 不適當한 것으로 判斷하였고 가장 適切한 것이 South African Council for Scientific and Industrial Research(CSIR)의 Bieniawski의 分類法이라 生覺하여 이를 채택키로 한다.

2) 風化狀態

3) 一軸性 壓縮強度(uniaxial compressive strength)

4) 節理와 層位의 間隔(spacing)

5) 節理의 벌어짐(separation)

6) 節理의 連續性(continuity)

7) 走向과 傾斜의 方位(orientation)

8) 地下水 流入(growndwater inflow)

1) RQD

Table 1. RQA와 岩石 分類表

RQD(%)	岩 質	備 考
<25	極히 不良 (very poor)	物質이 碎어져 나오기도 하고 坼히기도 하여 좋은 支保가 必要
25~50	不良(poor)	支保 必要
50~75	普通(fair)	균열이 있어 굴착시에 큰 뿌륙으로 떨어져 수 있다. 支保 必要
75~90	良好(good)	간혹 支保 必要
90~100	極히 良好 (very good)	支保 不必要

Deere(1968)가 처음 提案한 것으로서 diamond 試錐에서 코어(core)의 回收率(core recovery)에 依하여 岩質을 決定하는 定量的 指標(index)로서 쓸 것을 提案하였고 이는 다음과 같이 구하여 진다.

$$RQD(%) = \frac{\text{core의 길이(10cm以上的 길이로 깨어진 core의 전체 길이)}}{\text{지추공심도(길이)}}$$

이 core는 直徑 50mm以上 卽 Bx 나 Nx의 doubler core barrel로 얻은 것으로서 決定하여야 하며 이와 같이 하여 얻은 RQD를 表 1과 같이 5等級으로 分類하고 있다.

위에서 明示한 것과 같이 core recovery 卽 RQD와 岩質은 比例하며 Merritt(1972)는 RQD, 터널깊이와 岩石條件과의 關係를 다음 그림 4과 같이 綜合하고 있다. 이같은 應用은 節理 사이에 粘土나 風化物質이 협재하지 않은 경우이며 만일 협재되면 RQD의 概念을 適用하기 어렵게 된다. 一般의으로 粘土物質의 狹在는 地表附近에서 現著하지만 均열의 性質 等에 依하여서는 相當한 깊이에서도 이같은 現象이 있을 수 있으므로 세밀한 觀察과 注意를 要한다.

風化狀態

岩石의 風化狀態는 그 岩石의 強度에 크게 影響을 준다. 換言하면 岩盤의 強度는 風化狀態에 反比例하여 弱화된 다. 그러나 風化狀態를 定量的으로 表示하기가 대단히 어렵고 觀察者의 主觀에 依해 크게 變할 수 있다. 또한 風化의 岩盤強度에 미치는 影響은 間接의으로 一軸性 壓縮強度로 表示되며 또 彈性波速度의 減少로도 나타나며 節理에 狹在된 風化物質의 量에 依하여 지배되므로 이를 岩石의 地工學的 分類에 있어 獨立된 變數로 設定할 必要는 없다고 본다. 그러나 今般 研究結果에 依하면 風化의 定量的 測定이 可能하므로 앞으

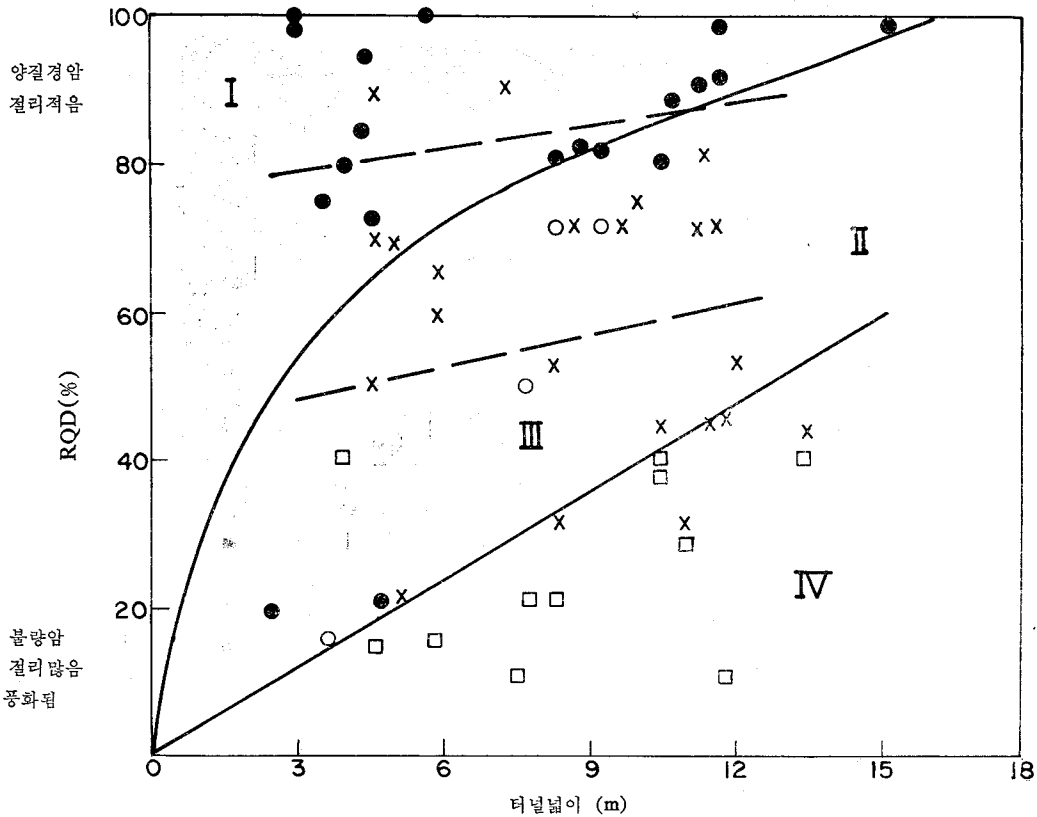


Fig. 4 터널 폭에 대한 압질과 지보와의 관계
 I : 무지주 또는 국부적 불팅, II : 규칙적불팅, 중심간격 1.2~1.8m, III : 보강소프트크리트 또는 리브, IV : 리브지주
 ● 무지보 ○ 간혹불트 □ 규칙적불팅 × 강철리브

Table 2. Deere 와 Miller 의 岩石強度 分類

岩石 強度	一軸性壓縮強度 kg/cm ²	岩 種
大端히 弱함	10~ 250	岩鹽, 초오크
弱함	250~ 500	石炭, 泥岩, 片岩
中間強度	500~1000	砂岩, 스테이트, 셰일
強함	1000~2000	大理岩, 花崗岩, 片麻岩
大端히 強함	>2000	硅岩, 반력암, 玄武岩

로는 이 變數도 參考함이 바람직하다고 본다.

一軸性 壓縮強度

岩石의 強度는 一軸性 壓縮強度에 比例함은 自明하며 強度가 클수록 彈性波의 速度도 增大하여지며 風化度나 節理의 發達狀況에 따라 一軸性 壓縮強度가 變하게 될 것이다. Deere 와 Miller(1966)은 양자의 關係를 表 2와 같이 分類하였고 이는 後 Bieniawski 에 依하여 채택되었다.

一軸性 壓縮強度는 point load test 의 方法으로서 測定될 수도 있다. 最少限 直徑의 1.5倍 길이인 core 를 옆으로 놓고 上下에서 鋼鐵로 된 point 로 눌러 깨어지는 強度를 測定하면 된다. 이때 point load index 는

$$I_p = P/D^2$$

로 表示되며 여기서 P는 試片을 부수는데 必要한 壓力(짐)이고, D는 core 의 直徑이다. core 의 直徑 D 를 mm 로 表示할 때 point load index I_p 와 一軸性 壓縮強度 C 와의 關係는 다음과 같이 주어진다.

$$\sigma_c = (14 + 0.175D)I_p$$

一般的으로 I_p 는 σ_c 의 約 1/10의 힘에 해당할 뿐만 아니라 이 試驗機는 휴대용으로 되어있어 現場에서 간단히 손쉽게 사용할 수 있다. 一軸性 壓縮強度試驗에 대치할 수 있고, 다음에 설명할 Bieniawski 의 CSIR 法에 依한 節理岩의 地工學的 分類表에서는 I_p 을 σ_c 의 1/25 數值로서 사용하고 있다.

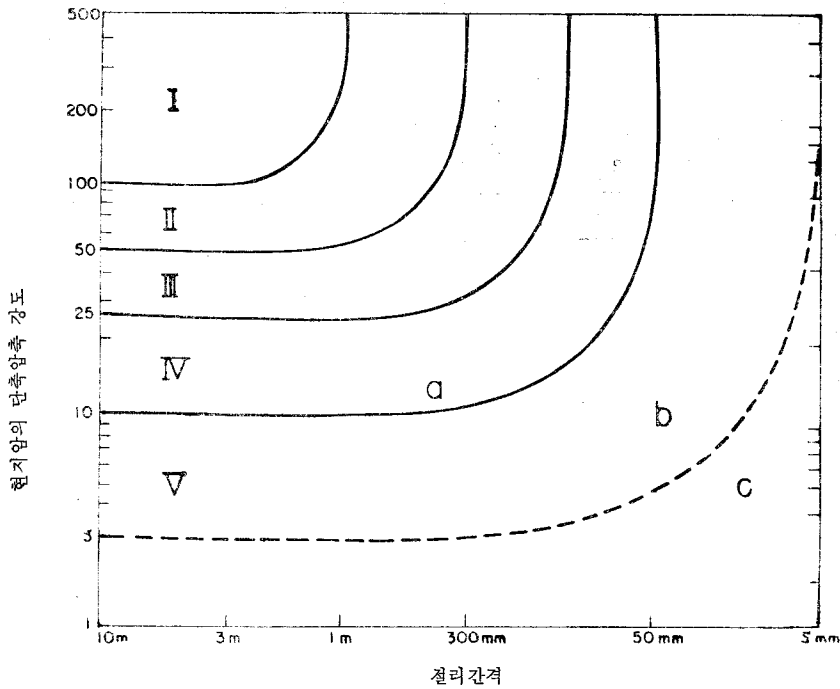


Fig. 5 절리암에 대한 강도 표시도

I : 극경암(응집력 >300KPa, 암체의 마찰각 45°) II : 경암(응집력 200~300KPa, 암체의 마찰각 40~45°)
 III : 보통암(응집력 150~200KPa, 암체의 마찰각 35~40°) IV : 연약암(응집력 100~150KPa, 암체의 마찰각 30~35°) V : 극연약암(응집력 <100KPa, 암체의 마찰각 30°) a : 천공과 발파요함, b : 찍어낸다, c : 팔수있다

Table 3. Deere의 절리 間隔 分類

區 分	節 理 間 隔	岩 石 分 級
大端히 넓음	> 3m	固體
넓음	1 ~ 3m	塊狀
中間정도 近接	0.3 ~ 1m	뿌록상/板狀
近接	5 ~ 30cm	균렬상
大端히 近接	< 5cm	破粹狀

節理와 層理의 間隔

岩石의 地工學的 分類에 있어 節理라고 하는 것은 불연속면(discontinuity)를 指示하는 것으로서 節理, 斷層, 層理面 또는 其他 弱한 面을 포함하고 있다. 이와 같은 불연속면이 發達하면 岩石의 強度가 弱하여지며 彈性波速度도 低下하게 된다. Deere(1968)는 節理의 間隔과 岩石과의 關係에 對하여 다음 表 3과 같이 分類하고 있다.

또한 Bieniawski(1974)는 節理의 間격에 依하여 一軸性 壓縮強度가 弱하여지며 兩者의 關係에 依하여 그림 5와 같이 岩石의 強度를 表示하고 있다.

節理의 벌어진

節理面이 벌어져 그 사이에 틈이 생기게 되면 岩石은 더욱 軟弱하여지며 이 틈에 점토나 風化物質이 充填하면 그 틈을 잘 識別하기 어려운 경우도 있다. 그러나 이 같은 틈이 있으면 RQD나 壓縮強度가 低下하게 되고 地下水의 通路를 이루어 岩石의 強度를 弱화시키나 이를 獨立된 變數로서 設定할 必要는 없을 것이다.

節理의 連續性

節理의 連續性도 岩石強度에 相當히 影響을 주게 될 것이다. 同一한 性質의 節理라도 그 連續性이 크면 岩石의 強度는 작은것보다 훨씬 더 弱化될 것이다. 이 變數는 單獨變數로서 考慮하지 안하여도 節理의 條件들에 合해서 變數를 設定하는 것이 더 合理的이라고 본다.

走向과 傾斜의 方位

同一한 走向과 傾斜를 가진 節理가 發達하는 地域에 있어서도 굴착하는 方向에 따라 이들이 岩石의 強度에 미치는 影響은 크게 달라진다. 一般의 節理의 走向이 터널 方向에 對하여 直交하는 경우가 平行하는 경

Table 4. 터널 方向에 對한 節理의 走向, 傾斜 및 方位의 영향

터널축에 수직인 주향				터널축에 평행한 주향		주향에 무관한 경사 0°~20°
경사방향으로 굴진		경사반대방향으로 굴진		경사 45°~90°	경사 20°~45°	
경사 45°~90°	경사 20°~45°	경사 45°~90°	경사 20°~45°			경사 45°~90°
극히 적합	적합	보통	부적합	극히부적합	보통	부적합

우보다 岩盤掘鑿에 있어 辟 쉬우며 또 傾斜의 角度와 터널進行 方向에 對한 傾斜의 方位도 岩盤掘鑿의 難易度에 크게 影響을 준다. Bieniawski는 터널 掘鑿時에 節理의 走向과 傾斜의 方位가 미치는 程度를 表 4와 같이 綜合하고 있다.

地下水의 湧出

一般的으로 地下水面은 地形에 따라 變하므로 低位에서는 地表가까이에 있게 되어 地下 掘鑿時에는 地下水問題가 臺頭되게 마련이다. 따라서 地下掘鑿에 미치는 地下水의 影響을 主應力에 對한 節理水의 壓力의 比率이나 定量的인 流出量을 觀察하여 나타내는 方法이 있다. 그러나 今般 調査에서는 單純히 水量을 目測한데 不遇하였다.

岩石의 地質工學的 分類와 實例

위에 설명한 8개의 變數는 터널掘鑿에 있어 岩石의 性質을 左右하는 要因으로서 作用하기 때문에 그 어느 것도 排除할 수는 없는 것이다. 그러나 類似한 變數를 묶어서 複雜한 것을 單純化하는 것이 요망된다.

이와 같은 觀點에서 많은 사람들이 岩石의 地工學的 分類를 시도하였으나 그중 가장 適切하고 代表的인 것은 南阿의 科學産業研究理事會(South Africa Council for Scientific and Industrial Research)에서 Bieniawski가 指示한 것이다.

Bieniawski는 岩石의 地工學的 分類에 있어 主要한 점은 類似한 性質을 묶되 定量的 資料를 指示하므로써 누구나 다 理解할 수 있어야 한다는 點을 강조하고 있다. 다시 말하면 여러 變數는 간단하게 묶어야 하며 現場에서 쉽게 測定할 수 있어야 한다고 하였다.

이와 같은 意圖에서 그는 위에서 說明한 8개의 變數를 다음과 같이 5개로 綜合하였다.

岩石의 強度

一軸性 壓縮強度로 代表되나 極히 弱한 岩石을 除外하고는 現場에서 測定可能한 point load test의 結果(index)로 대체할 수 있다.

RQD(岩質指示)

코어의 質을 測定하는데 쓰이므로 定確한 코어回收

率의 記錄이 중요하다.

節理의 間隔

이미 說明한 表 3과 같은 分類에 의한다.

節理狀況(condition of joints)

이 變數는 앞에 說明한 節理의 벌어짐과 連續性을 包含할뿐아니라 節理面의 不規則性, 節理 사이를 充填하고 있는 粘土나 風化物質의 存在와 兩岩盤의 條件들을 包含한다.

地下水條件

앞에서 說明하였지만 이도 現場에서 定量的 測定이 可能하다.

이들 5개의 變數로 節理가 發達한 岩石에 對하여 CSIR가 地工學的으로 分類한 方法은 다음 表 5와 같다.

각 變數가 岩石의 強度에 미치는 影響은 同一하지 않을 것이다. 예를 들면 RQD 90%와 一軸性 壓縮強度 200MPa를 갖는 岩石은 極히 양호한 岩石이지만 같은 岩石에서 많은 地下水가 流出되면 그 評價는 大端히 變할 수 있을 것이다. 그러므로 Bienawski는 表 5와 같이 그의 變數에 等級(rating)을 매겨주고 있다. 等級 즉 配點數는 數值로 配當하였고 完全한 岩石인 경우 그 合計가 100이 되도록 하고 있다. 따라서 觀察하고자 하는 岩石의 等級은 全體等級 點數를 合하므로써 얻어진다. 이와 같이 하여 얻어진 等級의 合計는 節理의 方向(orientation)에 의한 等級(表 6)에 의하여 調整하여야 한다.

이와 같이 最終的으로 얻어진 等級에 의하여 岩石을 分類하면 表 7과 같이 5等級으로 나누어지게 된다.

Bieniawski는 表 7에 表示된 岩石의 等級과 Lauffer(1958)가 提案한 無支保 span時의 지탱시간(stand-up time)과의 相互關係를 다음 그림 6에서와 같이 表示하고 있다.

이 그림에서 Active span이라고 한 것은 터널의 넓이나 또는 支保施工한 部位에서 掘鑿面(face)까지의 거리이다. 이 그림에서 確實한 것과 같이 터널 size가 커지면 stand-up time이 급격히 減少된다. 따라서 이 關係는 터널支保의 type과 量을 測定하는데 大端히 重要하다. 地下掘鑿에 對한 지탱시간과 岩石強度 指標로서

Table 5. 절리있는 암석의 공학적 분류 기준과 등급 (Bieniawski, 1973, 74)

		등 급 치							
1	지표의 암석강도	지점부하강도 (point load index) 단일압축강도	> 8MPa* >200MPa	4~ 8MPa 100~200MPa	2~ 4MPa 50~100MPa	1~ 2MPa 25~50MPa	단일압축시험을 할 때 10~25 MPa 3~10 MPa 1~3 MPa		
	등 급		15	12	7	4	2	1	0
2	암질지시 (RQD)		90~100%	75~90%	50~75%	25~50%	<25%		
	등 급		20	17	13	8	3		
3	절리 간격		> 3m	1~3m	0.3~1m	50~300mm	<50mm		
	등 급		30	25	20	10	5		
4	절리 조건		매우불규칙한면 분리 <1mm 연속 떨어짐 없음 절리있는 경암	약간불규칙한면 분리 <1mm 절리있는 경암	약간불규칙한면 분리 <1mm 절리있는 연암	미끄러진면 또는 절토 <5mm 또는 절리 연속 어긋남 (1~5mm) 연속 절리	연약점토 >5mm 또는 연약점토 >5mm 연속 절리		
	등 급		25	20	12	6	0		
5	지하수	길이 10m 터빌비유출 비	없음		<25l/분 또는 0.0~0.2	25~125l/분 또는 0.2~0.5	>125l/분 또는 >0.5		
		주용력	0						
		대확 조건	완전건조		습기뿐	중압의물	많은물		
	등 급		10		7	4	0		

*MPa = kg/cm² × 0.098

Table 6. 節理方位에 대한 조정 또는 等級

절리의 주향 경사 방위		극히 적합	적합	보통	부적합	극히 부적합
등급	터널	0	-2	-5	-10	-12
	기초	0	-2	-7	-15	-25
	사면	0	-5	-25	-50	-60

Table 7. 全體 等級으로 결정되는 岩石分類

등 급	100~81	80~61	60~41	40~21	<20
분류 번호	I	II	III	IV	V
기 체	극 양질암	양질암	보통암	불량암	극 불량암

Table 8. 암질 분류의 의의

분류 번호	I	II	III	IV	V
평균 지탱 시 간	5m span 으로 10년	4m span으로 6개월	3m span으로 1주일	1.5m span 으로 5시간	0.5m span 으로 10분간
암석의 응집력	>300Kpa	200~300Kpa	150~200Kpa	100~150Kpa	<100Kpa
암석의 마찰각	>45°	40°~50°	35°~40°	30°~35°	<30°

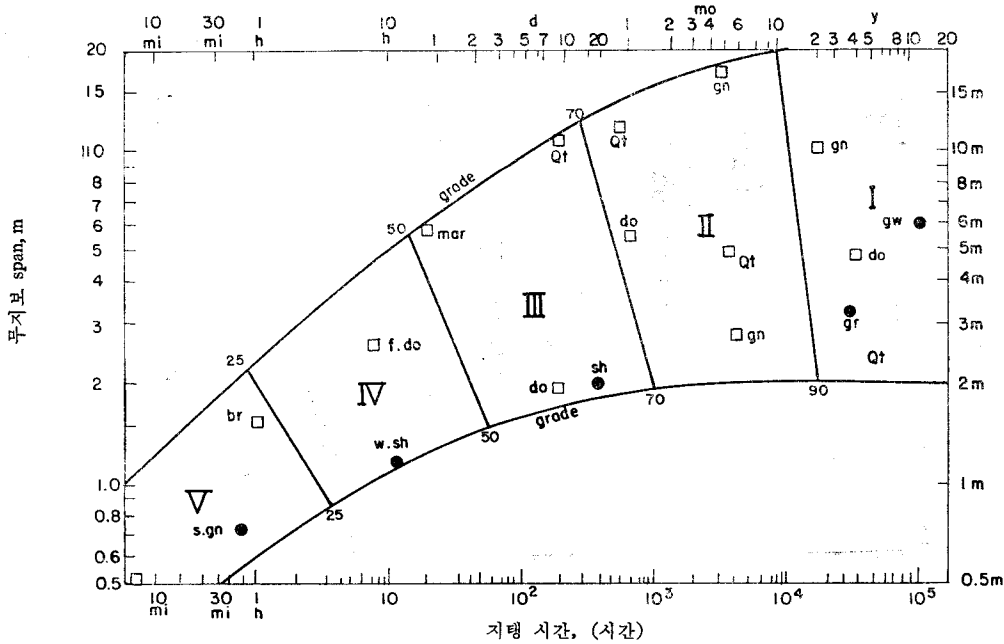


Fig. 6 무지보 굴착 span 과 CSIR 지공학적 암석분류와의 관계

사각형 : 남아프리카의 케이스 연구, 메운원 : 알프스 지역의 크리스 연구
 I : 극양질암, II : 양질암, III : 보통암, IV : 불량암, V : 극불량암, gn : 편마암, gw : 그레이와계, do : 돌레라이트, gr : 화강암, Qt : 규암, mar : 이암, sh : 셰일, f, do : 균열간돌레라이트, w.sh : 풍화셰일, br : 각력암, sgn : 파쇄된 편마암, m : 분, h : 시, d : 일, mo : 월, y : 년

Table 9. 암석의 지공학적분류

變數 區分	測 量 數 值	等 級
1) 岩石의 強度	150 MPa	12
2) RQD	70%	13
3) 節理 間隔	0.5m	20
4) 節理 條件	약간 表面 조잡, 벌어짐 (<1mm), 양암반균음	20
5) 地下水	中壓의 물	4
		計 69

이들 等級을 관련시키면 表 8과 같이 된다.

CSIR 地質學의 分類의 實例

花崗岩中에 터널을 掘鑿하는 例를 들어 岩石의 地工學的 分類를 試圖하여 보자. 變數의 區分과 測定值로서 表 5에서 各 等級을 求하면 表 9와 같이 된다.

이 터널에서는 主要節理의 走向이 터널方向에 直交하고 傾斜는 터널 掘鑿方向의 反對方向으로 30°를 이루고 있다고 假定하면 表 4에서 이 境遇는 不適合으로 判定되고 表 6에서 10의 等級을 얻게 된다. 따라서 이 岩石의 最終等級은 69-10=59로서 表 7에 普

通岩(fair)으로 判定된다.

地下鐵 3, 4號線一帶 岩石의 岩石學的 및 岩石力學的 調查研究

調查工區의 選定

地下鐵 3, 4號線은 現在 48個 工區로 區分되어 工事가 實施中인바 이들을 岩種과 施工上의 여러 條件에 對한 類似點 등을 考慮하여 各各 다른 條件을 代表할 수 있는 工區를 選定하여 現場調査를 實施키로 하였다. 이같은 意圖에서 選定된 工區는 다음과 같다.

3號線

- 工 區 位 置
- 3 1 3 大 棗 洞
- 3 1 5 碌 磻 洞
- 3 1 8 獨 立 門
- 3 1 9 中 央 廳
- 3 2 0 安 國 洞
- 3 2 5 玉 水 洞
- 3 2 7 狎 鷗 亭 洞
- 330-3 터 미 널
- 3 3 2 瑞 草 洞

4號線

- 工 區 位 置
- 4 0 8 吉 音 洞
- 4 1 0 三 仙 洞
- 4 1 2 鍾 路 6 街
- 4 1 4 忠 武 路 4 街
- 4 1 6 서 울 역
- 4 1 8 三 角 地
- 4 1 9 龍 山
- 4 2 2 銅 雀 洞
- 4 2 3 舍 堂 洞

從前에 實施된 3, 4 號線 調查結果의 引用

大宇엔지니어링(株)에서 5次에 걸쳐 調査한 結果를 利用하여 3, 4 號線의 地質斷面圖(pannel diagram)을 그렸다(도면 생략).

이 柱狀圖에 의하면 서울 一帶의 地下地質은 1) 岩石의 風化程度는 地形의 影響으로 많이 變하며, 2) 沖積層은 舊流路에 따라 發達하나 이는 首都圈開發 以前의 地形圖로서 어느 程度 豫測한 바와 비슷하다.

또한 이 柱狀圖로 判斷하면 서울 一帶의 地下地質構造는 大端히 複雜하다. 이같은 複雜한 地下地質構造의 岩質別 平均 深度를 產出하면 서울에 있어서의 地下鐵 터널施工의 安全한 깊이를 豫測할 수 있게 될 것이다.

이 目的을 爲하여 大宇엔지니어링에서 施工한 試錐孔中 四大門內의 52孔과 漢江 流域의 低地帶의 33孔을 뽑아 이들 孔內의 軟岩, 硬岩 1, 2의 平均 高度를 Computer program을 개발하여 計算하여 본 結果는 表10과 같고 이를 요약하면 다음과 같다.

四大門內(花崗岩地帶) 漢江流域(片麻岩地帶)

軟岩平均高度(m)	117.58	108.31
硬岩 1 平均高度(m)	109.01	104.23
硬岩 2 平均高度(m)	102.85	100.94

위의 高度는 東大門基點 120.913m를 基準으로 한

Table 10. 수도권 저지대의 암석별 침도 분포

	지역	침도분류		
		CW	HW	MW
GR-3	4대문 내	112.02	107.95	100.71
	표준편차	5.96	6.99	8.68
GR4-1	4대문 내	117.58	109.01	102.85
	표준편차	5.93	7.56	8.20
GR4-2	도봉구—삼양동	116.55	109.65	104.30
	표준편차	4.12	6.29	6.16
GN3	강남구—서초동	105.4	102.3	98.3
	표준편차	9.93	8.25	6.68
GN4	남영동—용산	111.2	105.7	103.6
	표준편차	9.76	8.04	8.59
전체평균				
Granite		117.58	109.01	102.85
	표준편차	1.28	0.98	1.89
Gneiss		108.31	104.23	100.94
	표준편차	4.10	2.40	3.74
3호선		112.21	105.13	109.5
	표준편차	9.63	3.99	1.70
4호선		114.98	108.27	103.82
	표준편차	2.32	2.23	0.42

CW : 풍화암, HW : 연암, MW : 경암
GR : Granite GN : Gneiss

값이다.

今般 調査者들의 意見에 의하면 硬岩 1은 地下鐵의 터널工法이 可能하다고 본다. 따라서 앞으로의 서울地下鐵은 四大門內의 花崗岩地帶에서는 平均 109m 下部에, 漢江流域의 片麻岩地帶에서는 平均 104m 地表下에서 터널工法을 實施할 수 있을 것으로 본다.

工區別 岩石特性

岩石學的 研究綜合

地下鐵 3, 4 號線에 따라 分布하는 岩石의 性質을 究明하기 爲하여 決定된 調査工區에서 採取된 岩石試料는 總 27個로서 315工區에서 3個, 313工區, 318工區, 320工區, 325工區 및 327工區에서 各各 1個, 330工區에서 3個, 332工區에서 5個, 408工區에서 2個, 410工區에서 2個, 412工區에서 1個, 414工區에서 2個, 418工區에서 1個, 422工區에서 2個 및 423工區에서 1個이다.

이들은 主로 片麻岩類 또는 花崗岩類로서 前者는 313工區, 327工區, 330工區, 332工區, 418工區, 422工區, 423工區의 岩石들이고 後者는 그 以外의 岩石試料에 屬한다.

이들 岩石의 岩石學的 特性에 對한 記述은 省略한다.

岩石力學的 研究綜合

本調査 工區 中 16個 工區現場에서 露出된 岩盤表面에 Schmidt hammer를 接着시켜서 Hammer의 反撥度(T)를 測定하는 方法과 現場에서 採取한 岩石試料를 室內에서 5cm×5cm×5cm의 立方體로 切斷하여 만든 23個의 岩石試料에 Tokyokoki T. C. 150型 壓縮強度試驗機를 使用하여 荷重을 0~100Ton 範圍內에서 漸增시키면서 加여하 一軸性壓縮強度(kg/cm²)를 測定하였다. 本項의 岩質等級은 綜合的 岩質等級의 5要素의 하나이다. 이 두 種類의 測定值의 平均을 花崗岩과 片麻岩으로 區分하여 岩石의 風化程度와 對比시키면 다음의 表 11과 같다.

花崗岩과 片麻岩은 風化度와 Schmidt Hammer 反撥度에 있어서는 모두 普通岩의 岩質等級(3等級)에 屬하나 一軸性壓縮強度에 있어서는 硬岩의 岩質等級(2)에 屬함을 表示하였다.

Table 11. 岩石別의 Schmidt Hammer 反撥度(T)와 一軸性壓縮強度 平均値

岩石種類	Schmidt Hammer 反撥度(T)	一軸性壓縮強度(kg/cm ²)	風化程度(%)
花崗岩	35(普通岩)	1360(硬岩)	29(普通岩)
片麻岩	29(普通岩)	1425(硬岩)	23(普通岩)

Table 12. 岩 質 等 級 表

	強度基準	風化度基準 岩 分 類	Schmidt Hammer 反撥度(T)	一軸性壓縮強度 (kg/cm ²)	風 化 度 (%)	工 區
1	極硬岩 very good rock	新鮮岩 fresh rock	>60	>2000	<5	
2	硬 岩 good rock	微弱風化岩 slightly weathered rock	38~60	1000~2000	5~10	등급 4 의 의 모 든 공구
3	普通岩 fair rock	若干一中程度 風化岩 moderately weathered rock	27~38	500~1000	10~30	
4	軟 岩 poor rock	風 化 岩 highly weatered rock	15~27	250~500	30~50	414 423
5	風化岩 very poor rock	完全風化岩 wholly weathered rock	<15	10~250	>50	

이와 같이 兩種類의 岩石強度 試驗에서 岩質等級의 一段階의 差異를 나타내었음은 一軸性壓縮強度 測定의 岩石試料는 現場에서 比較的 堅은 部分에서 採取하였기 때문이고 Schmidt Hammer 反撥度の 測定時에는 其 近接部に 發達한 節理 等の 弱帶의 影響을 받아 岩石等級이 떨어졌다고 생각된다.

一軸性壓縮強도와 風化도에 있어서 花崗岩이 片麻岩보다 多少 岩質強도가 떨어졌음은 花崗岩이 片麻岩보다 造岩鑛物의 粗粒質과 等粒子性을 兼有하기 때문일 것이다. 이에 反하여 Schmidt Hammer 反撥도에 있어서 花崗岩이 片麻岩보다 岩質強도가 큰 理由는 片麻岩에서는 片理와 節理의 두 綫열이 發達한데 對하여 花崗岩은 綫열로는 節理밖에 없기 때문일 것이다.

Schmidt Hammer의 反撥도와 一軸性壓縮強度 및 風化도에 依하여 岩質等級의 區分을 試圖하면 表 12와 같다.

表 12에서 보면, 一軸性壓縮強도에 있어서는 414 工區와 423 工區에서 모두 岩質等級이 4인 軟岩으로 나타났고, 其他 工區들은 모두 硬岩으로 나타났다. 이들 중 315, 318, 330-3의 3 工區에서는 硬岩等級의 下位에 屬함을 나타내었을 뿐이고 나머지 工區는 高等級の 岩質을 나타내었다.

이에 比해 Schmidt Hammer의 反撥도에 나타난 岩質等級은 表 12과 같이 變化의 振幅이 크다.

윗 表에서 보면 花崗岩의 9 個 工區 中 硬岩의 等級을 나타낸 工區數가 過半數인 5 個 工區에 達하고, 普通岩과 軟岩을 나타낸 工區數가 各 2 個式이다. 이에

Table 13. Schmidt Hammer 反撥도에 依한 各 工區의 岩質等級表

等級*	1 極硬岩 >60	2 硬 岩 38~60	3 普通岩 27~38	4 軟 岩 15~27	5 風化岩 <15
岩種					
花崗岩		315 工區 325 工區 408 工區 410 工區 412 工區	318 工區 319 工區	320 工區 414 工區	
片麻岩		332 工區	327 工區 330-3 工區 422 工區	313 工區 418 工區 423 工區	

*이 等級은 反撥度만으로 판단한 암석분류

反하여 片麻岩에서는 7 個 工區 中 單 1 個만이 硬岩을 나타냈고 3 個 工區는 普通岩, 3 個 工區는 軟岩의 等級을 나타내었다. 암석역학적 조사시험결과 종합은 表 14와 같다.

工區別 岩石의 狀況

各 工區 作業現場에서는 岩石의 風化狀態, 節理, 地下水 漏出狀態 등을 觀察하였고 Schmidt Hammer 로서 岩盤의 強度를 測定하고 保存 展示된 코어로그 回收率을 想定하였다. 室內作業에서는 採取된 試料의 一軸性壓縮強도를 測定하였고 薄片을 製作하여 顯微鏡 觀察로서 岩種과 組織 및 長石類와 黑雲母의 變質로 風化도를 算定하였다. 이같은 觀察試驗 結果를 要約하면 다음과 같다.

Table 14. 암석역학적 조사시험 결과

공 구	암 종	현장에서 Schmidt Hammer로 측정 한 반발도(Toughness) 단위 : T		일축성 압축강도 (실대시험) 단위 : kg/cm ²	
		범 위	평 균	범 위	평 균
313	편 마 암	15, 16, 18, 23, 24, 26, £2, 37	24	1510	1510
315	화 강 암	전체 15~37 27, 29, 40, 53, 56	41	1121, 1169, 1485	1258
318	화 강 암	전체 27~56 18, 24, 24, 31, 42	27	1196	1196
319	화 강 암	전체 18~42 19, 25, 34, 45, 47	34	.	.
320	화 강 암	전체 19~47 18	18	.	.
325	화 강 암	23, 28, 41, 42, 51, 54, 58	42	1952	1952
327	호 상 흑 운 모 편 마 암	전체 23~58 22, 30, 32	28	1582	1582
330-3	호 상 흑 운 모 편 마 암	전체 22~32 26, 30, 32, 38, 40, 42, 44, 45	37	1025, 1285	1155
332	안 구 상 흑 운 모 편 마 암	전체 26~45 34, 35, 36, 36, 36, 37, 38, 40, 42, 43, 61, 64, 69	44	1609, 1774, 1804, 1938	1781
408	석 영 강 석 질 편 마 암	전체 34~69 31, 33, 52, 55, 65	47	1051, 1969	1510
410	화 강 암	전체 31~65 29, 35, 44, 54, 57, 61	46	1572, 1603	1587
412	화 강 암	전체 29~61 28, 49	38	1550	1550
414	화 강 암	전체 28~49 11, 15, 26, 31, 39	24	189, 753	471
418	흑 운 모 편 마 암	전체 11~39 12, 14, 16, 19, 30, 32, 37	23	1707	1707
422	호 상 흑 운 모 편 마 암	전체 12~37 23, 25, 27, 33, 34	28	1864	1864
423	호 상 흑 운 모 편 마 암	전체 23~34 22이하	.	377	377

313工區(大棗洞)

岩 種:片麻岩

片理 발달하나 風化로 흐려져 있음

風化狀態:上部:11m 風化岩과 表土

下部:大端히 風化됨

節 理:간격 15~60cm, 節理面에 따라 風化됨

N70°~80°E, 60°~90°SE

N25°~35°E, 40°~90°NW

N85°W, 90°

굴착方向과 走向은 斜交함.

現場壓縮強度:23~28(T) 風化部 2~5 균열部 12
~14 평균 24

一軸性壓縮強度:1510kg/cm²(148MPa)

豫想 RQD: <25%

地下水:普通

315工區(礫礮洞)

岩 種:黑雲母—角閃石 花崗岩, 粗粒質 紅色長石質 IC*=8.46~10.98

風化狀態:地表中에서 8m 간 風化土, 風化岩, 風化度 32~33% 下部는 比較의 新鮮岩

節 理:간격 20~50cm

節理를 따라 風化됨

主節理, N60°~80°W, 45°~80°NE

기타 NS 90°, N50°~75°E, 40°~90°NW

Sheeting, N60°E, 25°SE

터널方向과의 關係:斜交

現場壓縮強度:평균 41

一軸性壓縮強度:평균 1258kg/cm²(123MPa)

豫想 RQD:50~75%

地下水:한 地點에서만 流出 全體의으로 少量

318工區(獨立門)

岩 種:黑雲母 花崗岩, 大端히 粗粒 優白質이며 紅色長石質이나 많이 kaolin 化됨

黑雲母도 綠泥石化됨. IC=9.74

風化狀態:完全風化되어 風化岩으로 됨. 風化度 35%

節 理:主節理, NS~N15°W, 50°E 또는 50°NE
從節理, N10°W, 65°SW; N60°W,
50°~60°NE

간격, 主 20~40cm, 從 15~20cm

主節理를 따라 slickenside 발달

節理面을 따라 風化 甚함.

터널과의 角:50~60°

現場強度:평균 27

一軸性壓縮強度:1190kg/cm²(117MPa)

豫想 RQD:

地下水:大量 湧出

319工區(中央廳)

岩 種:社稷洞 터널쪽 花崗岩

內資호댐옆 沖積土와 風化土

風化狀態:社稷洞 터널岩은 많이 風化

節 理:N70°W, 70°NE; N80°E, 85°NW;

N30°E, 70°SE; sheeting, N70°W, 5°

~25°SW

간격 5~20cm

터널方向과 작은 角으로 斜交

現場壓縮強度:新鮮部 40~43 평균 34

風化部 25

風化節理部 14

一軸性壓縮強度:

地下水:中程度

320工區(安國洞)

岩 種:中央廳앞 花崗岩, 上部는 沖積層 下部는 風化原積土 安國洞側은 完全風化岩.

IC=7.92

風化狀態:完全風化

節 理:西側:測定不能

地下水:大端히 많음

現場強度:西側 10~12

東側 17~21 평균 18

一軸性壓縮強度:

325工區(玉水洞)

岩 種:花崗岩. IC=9.99

風化狀態:新鮮, 硬質, 部分的으로 약간 風化

節 理:간격 0.5~2m

主 N25°W, 75°SW

從 N60°~75°E, 54°~84°NW

굴착면에서는 N65°W, 80°NE; N68°E,
80°SE sheeting N35°W, 24°SW

터널方向과의 角:節理面과 거의 平行

다른 節理:斜交

現場強度:新鮮部 50~55

風化部 34~36

節理部 10~17 평균 42

一軸性壓縮強度:1960kg/cm² (192MPa)

豫想 RQD:75~90%

地下水:少量

327工區(狎鷗亭洞)

*IC=Identity Change Number 암석의 입도를 나타내는 수치, 작을수록 입자는 조립질이 됨.

岩 種 : 鑄狀黑雲母片麻岩
 風化狀態 : 5% 新鮮한 岩과 風化度가 높은 岩이 交代로 발달
 節 理 : 20cm 以下の 좁은 間隔으로 小節理發達
 節理幅은 1~5mm EW, 90°; N59°E, 72°SE; N31°W, 90°; N82°W, 90°
 現場壓縮強度 : 22~32로 평균 28
 一軸性壓縮強度 : 1580kg/cm² (155MPa)
 豫想 RQD : 50%
 地下水 : 거의 없다.

330-3 工區(터미널)

岩 種 : 鑄狀黑雲母片麻岩, 眼球狀黑雲母片麻岩
 風化狀態 : 4~33% 新鮮岩. 片理面을 따라 風化
 節 理 : 間隔은 10cm 內外에서 50cm 以下로 稠密. 節理面도 1mm 程度 약간 벌어져 있다.
 N11°W, 82°NE; N56°W, 46°NE
 N8°W, 84°NE; N84°E, 60°NW
 N34°E, 68°NW
 現場壓縮強度 : 26~45로써 평균 37
 一軸性壓縮強度 : 평균 1155kg/cm² (113MPa)
 豫想 RQD : 60%
 地下水 : 보통

332 工區(瑞草洞)

岩 種 : 黑雲母鑄狀片麻岩, 黑雲母와 石英, 長石部가 鑄狀을 이루고 片理가 대단히發達, 片理 N5°W, 44°SW
 風化狀態 : 施工部는 약간 風化되나 片理를 따라 風化되어 박리되기 쉬움
 節 理 : N50°~60°W, 40°~75°NE, 10~40cm 間격
 N75°E, 47°SE, 0.3~0.5m 間격
 터널方向과의 角 : 小角度로 斜交
 現場壓縮強度 : 평균 44
 一軸性壓縮強度 : 평균 1780kg/cm² (174MPa)
 豫想 RQD : 25~50%
 地下水 : 普通

408 工區(吉音洞)

岩 種 : 黑雲母花崗岩, 等粒粗粒質 IC=7.4~10.85 塊狀으로 均質임
 風化狀態 : 조사구역은 터널 시공중에 있는 암반 내부로서 風化는 거의 進진되어 있지 않았다. 그러나 節理面을 따라서 습기가 현저하고 風化度는 극 부적으로 현저함.

광물에 의한 風化度 : 17.6%
 節理面을 따라서는 33.8%
 節 理 : 間격과 방향
 5~3cm, N70°E, 62°NW
 100~500cm, N45°E, 35°SE
 지하철노선 굴진 방향과 사교함
 現場壓縮強度(T) : 32~55, 평균 47
 一軸性壓縮強度 : 1510kg/cm² (148MPa)
 豫想 RQD : 75% 전체적으로 거의 건조, 節理面을 따라 습기 현저함

410 工區(三仙橋)

岩 種 : 黑雲母花崗岩, 等粒粗粒質 IC=9.1~10.5 塊狀으로 均質임
 風化狀態 : 掘進막장에서 風化程度에 따라 크게 3개 層으로 區分된다. 最上部는 風化狀態 현저하며 中間部는 보통이며 바닥에는 견고한 岩塊로 되어 있어 착암이 굴진에 큰 곤란을 겪을 정도이다.
 節 理 : 間격과 방향
 22~160cm N10°E, 70°SE
 5~12cm N74°W, 77°SW
 25~50cm N55°E, 88°SE
 40~50cm N20°E, 86°SE
 굴진방향과 주절리 방향과는 50°로 斜交함

現場壓縮強度(T) : 29~54 로 평균 46
 一軸性壓縮強度 : 1590kg/cm² (156MPa)
 豫想 RQD : 0~65% (견고암의 분포가 적어 이는 고려하지 않음)
 地下水 : 전반적으로 습기 현저하나 地下水 산출은 현저하지 않음.

412 工區(鍾路 6 街)

岩 種 : 粗粒質紅色長石花崗岩
 塊狀으로 均質임. IC=10.98
 風化狀態 : 터널내로 岩質은 均質하며 風化는 어느 정도 進진되었고 節理面을 따라 地下水 流出함.
 節 理 : 間격과 방향
 10~20cm N10°W, 76°NE
 200~250cm N60°E, 15°NW
 70~90cm N2°W, 73°SW
 이 중에서 N10°W, 76°NE 節理가 가장 현저하며 굴진 방향과는 20°로 斜交
 現場壓縮強度(T) : 28~49 평균 38
 一軸性壓縮強度 : 1550kg/cm² (152 MPa)

豫想 RQD : 60%

地下水: 전반적으로 지하수 산출이 없으나 절리를 따라 지하수가流出함.

414工區(忠武路4街)

岩種: 粗粒質黑雲母花崗岩, 均質塊狀. IC= 9.79~14.58

風化狀態: 全般的으로 風化가 强하게 進진되었으 며 중간정도의 풍화대의 사이사이를 완전 풍화암이 끼어 있을 정도임.

節理: 간격과 방향—절리방향은 다양하다.

A 단면 25~30cm N65°W, 48°NE
10~15cm N70°E, 70°NW
8~35cm EW, 88°S

B 단면 20cm NS, 16°W
30±cm N60°E, 58°SE
5~8cm EW, 90°

지하절 굴진 방향과 주절리 방향(N65°W)은 거의 평행함.

現場壓縮強度(T): 11~39 평균 24

一軸性壓縮強度: 平均 471kg/cm² (46MPa)

地下水: 전반적으로 地下水 산출이 현저하며 崩壞의 위험이 있음.

418工區(三角地)

岩種: 黑雲母片麻岩

片麻構造의 발달상태가 양호하다.

風化狀態: 風化程度는 14%

節理: 節理間隔은 30~40cm

節理面은 數mm 씩 벌어져 있다.

N20°E, 90; N42°E, 90°

節理走向과 路線과의 交角은 10°程度

現場壓縮強度: 12~37로서 平均 23

一軸性壓縮強度: 1710kg/cm² (168MPa)

豫想 RQD : 60%

地下水: 相當量 流出

422工區(銅雀洞)

岩種: 鎊狀黑雲母片麻岩

風化狀態: 7~17%로 平均 12%. 비교적 硬岩

節理: 間隔은 30cm와 5cm내외의 것이 발달

N5°E, 67°SE; N60°E, 60°SE

N50°W, 87°NE; N35°W, 82°SW

節理走向과 터널方向의 交角은 25°以上

現場壓縮強度: 23~34로서 平均 28

一軸性壓縮強度: 1860kg/cm² (182MPa)

豫想 RQD : 70%

地下水: 全體的으로 少量

423工區(舍堂洞)

岩種: 鎊狀黑雲母片麻岩

風化狀態: 18%程度. 表土下 10cm까지는 完全風化土

節理: 間隔은 50cm內外. 節理面이 1~5mm로 벌어져 있으며 粘土가 끼어 있다.

N79°E, 75°SE; N89°E, 78°SE

現場壓縮強度: 22이하

一軸性壓縮強度: 377kg/cm² (37MPa)

豫想 RQD : 50이하

地下水: 아주 많다.

調査研究 結果의 綜合

CSIR 分類法에 의한 各 工區의 結果 綜合

위에서 說明한 各 工區의 岩石을 CSIR 分類法에 의하여 分類하면 表 15와 같이 된다. 磨砂土나 冲積層은 分類에 必要한 變數를 거의 測定하기 어려워 分類할 수 없었고 나머지 岩石들은 表의 最右側란에 表示한 것과 같이 硬岩 (3개소), 普通岩 (7개소), 軟岩 (1개소)와 風化岩 (2개소)로 分類된다. 이와 같이 現在 施工中인 深度에 分布하는 서울 地下鐵 3, 4號線의 岩石은 大部分이 普通岩~風化岩에 屬하고 있음을 알 수 있다.

岩石의 地質工學의 分類

서울 地下鐵 3, 4號線 岩石에 關하여 現地踏査와 室內研究 結果로써 그의 岩石學的 및 岩石力學的 分類를 各 工區別로 試圖하였고 그結果에 의거하여 普遍妥當한 岩石의 地質工學的 分類를 CSIR 法에 의하여 作成한바 그 結果는 表 15와 같이 綜合된다.

CSIR 分類에 採擇된 變數(parameters)는 現地에서 主觀의 介在없이 測定이 可能하고 또한 施工前에 實施하는 試錐를 위시한 各種 試驗結果로서 다 얻어지는 것이므로 대단히 適切할 것이라고 思料된다. 그러나 하나의 難點은 터널 굴착方向에 對한 節理등 균열의 方位를 試錐結果로 決定할 수 없다는 點이다. 따라서 터널의 設計와 工事費의 算定은 節理의 方位를 除外하고 算出할 수밖에 없고 이의 反映은 工事施行과 더불어 調整하는 것이 可能하며 妥當하다고 본다.

이 表에는 參考로 岩石을 現場에서 肉眼의으로 鑑定하는 基準, 理論的인 P波의 速度, 作業의 難易度와 支保關係의 事項도 添附하여 두었다.

Table 15. 지하결 3, 4 호선 암석의 암석학적 및 암석역학적 조사연구

공구	조사지점 milage (in km)	암석종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	압축강도시험		지하수 산출 상태	결리의 발달 상황			CSIR 등급의 합계 암질분류
						현장에서 Schmidt Hammer Test(T)	실내에서의 일축정압축 강도 (kg/cm ²)		주향과 경사	축선방향 과결리의 향과 계도	결리면의 특징	
313	9K 440	편마암	풍화도 약 9m 암석의 풍화가 심해 풍화도로 됨.		R 0% T 15%	37, 23, 16, 15 32, 24, 18		보통	15~20N72E 90 40~50N36W 52NE	생략함 (이하모 두 같음)	결리면을 따라 풍화가 심함	불량암
	9K > 60 J > 80	"	매립토사 약 4m 풍화암 약 7m 풍화가 심하다			1510	적다	50~60N24E 38NW 20~30N49W 90				
CSIR 등급	8K > 60				3		12	4	20	-5	6	40
315	11K 850	화강암	비교적 얇은 포토 대부분 신선하고 강한 조립질 화강암	32.87 32.21 15.41	R 50% T 70%			보통	150 N52E 37NW 15~40N87W 38NE 40~90N55W 45NE		특히 결리면을 따 라 풍화가 심함 결리면장선이 상 당히 길다(10~30 m)	양질암
	900		평크색의 장석질 화강암			40, 29, 56 53, 27	1169 1485 1121		30~50N75E 90 40~50NS 77NW 10~30N35W 35NE		결리의 틈사이 간 격이 크다(0.7~ 1.0cm)	
CSIR 등급	11K 940 J 950	"	6m이하 경암		R 30% T 60%	평균 41	평균 1258		7~10N10E 38SE NS 90 N80W 78NE		얇은 판상결리	
318	11K 850				13		12	7	20	-2	12	62
	15K 415	화강암	10m까지 풍화도 이하 약한 풍화암			31, 24, 18 11, 24, 42	1196	다 적	N10W 82SW N58W 42SW N10E 78NW		결리면이 유동 단층을 이루고 있 다 결리면이 미끄 럼고 수분이 많은 silt와 유기물질로 인해 유동운동이 일어난다	
CSIR 등급	15K 785	화강암	매우 조립질의 화강암	R 10%		평균 27		30~40				

공 구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	압축강도시험		지하수 산출량	절리 의 발 달 상 황			CSIR 등급의 종합적 분류	
						현장에서 Schmidt Hammer Test (I)	실내에서의 일축성 일축강도 (kg/cm)		절리 개수	주향과 경사	추진방향과 절리의 관개도		절리면의 특징
			핑크색장석 → Kaolin 혹은 모 → Chlorite 로 풍화됨		T 30% (9m이하 정암에 대해)				15~20	N15W 50NS N10W 64SW		보통암	
CSIR 등급	15K 415				8		12	4	10		-2	12	44
319	West 16K 712	화강암	심도 20m 약간 풍화 잘(회색-흰색)			45 25 19 47 34 평균 34		다 량 (2.5m)	100~150 15~30 40~50	N60W 70NE N30E 72SE			
	16K 546	화강암	균열이 많고 갈회색 수분이 많이 포함되고 약하다					다 량 (2.3)	수직절리 4~5~20	N80E 85NW			불량암
CSIR 등급					13		7	4	10		-5	6	40
	East 17~17K 120	화강암 풍화토	약 7~8m 중점토, 하부 암석 풍화토 밝은갈색~밝은갈색 회갈색의 실트성 모래. 5~6m 지점에 검은색의 중점점토					보통 (3.3)					
320	West 8K 374	화강암 (풍화토)	무르고 부서지기 쉬운 풍화토나 암석의 조각은 보존					다 량 (총적)	20~30 30 50	N50E 74SE N20~25W 48~68NE			

공구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	압축강도시험		지하수 산출률 상태간	절리의 발달 상황			CSIR 등급의 합계점수	
						현장에서 Schmidt Hammer Test(T)	실내에서의 일축압축 강도 (kg/cm)		절리 주향과 경사	추진방향 과절리방 향과의관 계도	절리 주향과 경사		절리의 특징
	East	화강암 (풍화토)	30m하부에 기반암. 서쪽보다 풍화정도가 덜 하다			18		토) (1.5m) 다 량 15~20 곳은 5~10 석의 절 리면을 따라 탐 은물. (3.4)	N29E 62NW N52W 62NE N80W 88SW N33E 88SE			풍화암 15	
CSIR 등급					3		2	4 10			-10	6	
325	23K 560	화강암	신선하고 강하며 심하게 갈라져 있다. 맑은갈색	22.42 %	R 70~90 %	54, 58 51, 41 42, 28 23		보 통 (1.5m) 50내 10~30	N76W 87NE N24W 35SW N68E 80SE N25W 75SW N75E 54NW N60E 84NW				양질암 77
CSIR 등급					-12		12	10 20			-2	20	
327	변전소부 지 3호선 25km 717	호상흑운 모편마암	신선한 암과 풍화도가 높은 암이 혼재되어 는 수직적으로 교대되고 풍화암의 후는 2~3m이 며 황갈색으로 변색되어 있음	5	50	22 30 32 평균 28	1582	25cm 의 15cm 12~37 cm 1.2~ 1.5m	EW 90 N59E 72SE N9E 90 N31W 90 N24W 90 N82W 90 N31W 90			소절리는 연속성 이 적으나 주절리 는 10여m의 연속 성을 나타내고 절 리폭은 1~5mm 이고 단층폭은 5 mm 이상이고 점 토가 끼어 있음	보통암 48
CSIR 등급					15		12	10 10			-5	6	

공 구	조사지점 milage (in km)	암석종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	암축경도시험		지하수 출 태 간 격	절 리 의 발 달 상 황			CSIR 등급	
						현장에서 Schmidt Hammer Test(T)	실내에서의 일축성압축 강도 (kg/cm ²)		주향과 경사	측진방향 과절리방 향과의관 계도	절리면의 투정		
330-3	터널입구 3호선 29km 710~740	호상흑운모편마암	풍화가 편리면에 따라서 암석이 부스러져 있으나 암색은 약간 변색되어 있고 보통암의 암질임	8	60	26		적	10~50	N11W 82NE N51W 83SW N56W 46NE N44E 72NW N 8W 84NE N38W 86SW N28E 62NE N34E 68NW N11W 75NE N21W 76NE N36W 56NE N51W 74SE N84E 60SW	절리와 편리의 별 어진 폭이 1mm +이고 접도가 약 간 끼어 있으며 벽암의 표면은 불 규칙함	보통암	
						30			cm				-8
						32			13, 25, 35, 40 cm				5
330-3	터널말장 30km 170	호상흑운모편마암	Augen이 현저함	4	1025 1285	44	보	통	10, 25, 40cm			보통암	
						42							
						44							
CSIR 등급	3호선 32km	호상흑운모편마암 석영장석 질편마암	암질은 신선하고 견고하 나 절리가 조밀하게 발 달하여 골짜기면 지보간 격이 1m로 조밀해짐	68 53	20 70	34, 61 35, 64 36, 69 36 36 37 38 40 42 43 평균 44	적	7	10 65cm 10, 15, 17, 23, 26, 28 cm 40, 50 70cm	East wall N44E 90 N43W 77SW N13W 82NE- N52E 50NW West wall N16W 70NE N68E 79NW	절리면의 벽암의 표면이 불규칙하 고 1mm 내외의 폭으로 갈라져 있 음.	46 52	
						12		-8					6
CSIR 등급				평균 50	20	평균 1781		7	15				

공구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	암축강도시험		지하수	절리 의 발달 상황				CSIR 등급의 통일된 입질분류
						현장에서 Schmidt Hammer Test (T)	실내에서의 인축성압축 강도 (kg/cm ²)		출절리	주향과 경사	축방향 파괴의 관계도	절리면의 특징	
408	길음 동터널입구 11K 580	화강암	암석은 치밀 견고하고 일정한 방향의 절리가 발달하나 절리면은 밀착되어 있음	17.6 33.8	55%	65.52 55.31 33 평균 47	1969 1051 평균 1510	거리지 하수 산출 없음	N70E 62NW N45E 35SE 500		일반약강하며 리계 단조로움	양절암	
CSIR등급					15		12	8				73	
410	삼선교 공구 서부소양 13K 065	화강암	암석은 비교적 상부에 현저한 풍화대 발달하며 풍화대의 지면은 남쪽으로 완경사 바닥에 초경 구한 암반있음	7.81 33.68	연암 : 0% 경암 : 58%	54, 44, 61, 57 29, 35 평균 46	1572 1603 평균 1588	지하수 산출 없음	N10E 70SE N74W 77SW 5~12N55E 88SE 25~50N20E 86SE 40~50		풍화의 정도가 다양하다	보통암	
CSIR등급					13		12	7	10			54	
412	동대문 1호선 교차점 15K 409	화강암	암석은 중간정도의 풍화를 받았으며 일부 지점은 제 1호선 직하임	35.92	60%	49 28 평균 38	1550	절리면을 따라 지하수를 유출하는 부분 있음	N60E 15NW N20~35N 2W 73SW N10W 70~78NE		절리면을 따라 지하수 유출이 현저한 부분 있음	보통암	
CSIR 등급					12		12	5	10			49	
414	퇴계로 5가동 16K 698	화강암 (조립질 화강암)	암석 풍화 현저하며 완전히 풍화된 부분이 암석 사이 사이에 발달한 지하수 산출량이 있으며 함몰했던 부분 있음	29.03 27.48	26, 31, 39 11, 15 (평균 47)	804 189 (평균 47)	804 189 (평균 47)	적지 암	40~43 3~38 5~20 30~20N60E 60SE		풍화현저하여 작업에 난점이 많음	분량암	
CSIR 등급					5		7	4	8		5	24	

공구	조사지점 mileage (in km)	암석종류	암석의 현장 관찰 상황	암석의 풍화도 비율 (%)	RQD (%)	압축강도시험		지하수 산출 상태	절리의 발달 상황			CSIR 등급의 합계 및 암질분 류
						현장에서 Schmidt Hammer Test (T)	실내에서의 일축성압축 강도 (kg/cm ²)		주향과 경사	절리 간격	추진방향 과경리방 향과의관 계도	
418	삼각지점 정차장 4호선 22km008	흑운모암	암은 약간 빈채되고 풍 화작용도 상당히 받아 절리면이 다소 벌어져서 지하수가 상당량 유출됨	14	60	12, 30 14, 32 16, 37, 19 평균 23	1707	다 30~43 cm	N20E 90 N42E 90		약간 조잡한 절리 면이고 1mm 이상 벌어져 있고 절리 벽암은 다소 약한 암질임	연 암
CSIR 등급					13		12	4	12	-10		39
422	터널남쪽 4호선 26km953	호상흑운모암	암질은 경암이나 절리의 간격이 30cm와 5cm 내 외의 것이 발달하여 굴 착하면 적은 압편으로도 파괴됨. 절리면은 밀착되어 있다 고 볼 수 있고 조암광물 은 12%정도로 풍화되어 있음	7	70	1864		거의 없다	2.5cm 5cm 30cm 평균 12.5 cm	N 5E 67SE N55E 87SW N60E 60SE N70E 87SE N50W 87NE N45E 54NW N10W 77SW N35W 82W	약간 조잡한 절리 면이고 1mm정도 는 분리되고 절리 벽암은 다소 약한 암질로 화함.	보통암
CSIR 등급					13			7	5	-7		42
423	이수정차 장 29km 270공구 사무소앞 29km340	호상흑운모암	상당히 풍화가 되어 연 화되어있고 암색도 변하고 절리면에 따라 갈철석이 나타난다	18	50 이하	22이하	377	아주 다		(29km 340) N79E 75SE N89E 78SW	절리면이 1~5mm 의 폭으로 벌어져 고 점토가 끼어 있음	풍화암
CSIR 등급					5		1	0		-5		14

*0.5
±(m)

Table 16. 암석의 지공학적 분류 일람표

암 종	암 석					분 류		D 사 토
	A (very good) 극 경 암	B (good) 중 암	CH (fair) 보통 암	CM (poor) 연 암	CL (very poor) 풍 화 암	분 류	비 고	
분류기준								
현 장 감 별	신선견고함 풍화변질 없음 질리인정 어렵다	대체로 신선견고함 약간 풍화변질 있음 질리인정 된다	다소 변질 정도 저하 질리면에 따라 풍화 변질 뚜렷함	증정도 풍화 변질 정도 낮음 북히 질리에 따라 풍 화물결토 기인	전체가 풍화되어 변 질화 됨	완전 풍화되어 손으 로도 부스러진다 원암 구조를 인정하 기 어렵다		
풍 화 상 태	미 풍 화	극히 약간 풍화	약간—증정도		심하게 풍화	완 전 풍 화		
시 주 코어 상황	코어는 거의 안전하게 회수되며 부스러지지 않는다	코어 회수율은 좋으나 10~30cm로 부스러진다	코어에서 풍화 인정 된다 20cm 이하로 부스러진다	코어로 풍화증 인정 가능하고 5cm 이하 로 부스러지는 경우 가 많다	코어를 손으로 쥘 수 있다 전체가 풍화되 고 연약하다	코어는 토사상으로만 회수		0
RQD (%)	90~100 (매단히 양호)	75~90 (양 호)	50~75 (매체로 양호)	25~50 (불 량)	0~25 (극히 불량)			
탄성파속도 (P 파) km/sec	4.5	4.5~3.5	3.5~3.0	3.0~2.0	2.0			50
실계속도대 이론치 (%)								
강 도	Schmidt tester	150	50~38	38~27	27~15			
	일축정압속강도 MPa (kg/cm ²)	200 (>2040.8)	100~200 (1020.4~2040.8)	50~100 (510.2~1020.4)	25~50 (255~510.2)	10~25 (102~255)		<10 <102
질 조	면 불규칙 비어짐 양반 선고함 질리인정 어려움	면 약간 불규칙 비어짐 1mm 정고함 질리 불연속	면 약간 불규칙 비어짐 1mm 정고함 질리 불연속	면 약간 불규칙 비어짐 1mm 정고함 질리 불연속	미끄러지기 전 두께 <5mm 1~5mm 질리 연속 충진물 많음	점토 >5mm 두께 비어짐 >5mm 질리 연속 충진물 극히 많음		
	주향 터널방향으로 45~90°	주향 터널방향 20~40°	주향 터널방향으로 45~50° 또는 20~45°	주향 터널방향으로 20~45°	주향 터널방향으로 20~45° 또는 주향하게	주향 터널방향 경사 45~90°		
지 하 수	거의 없고 건조함	거의 없고 건조	적 음	보 통	많 음	많 음	많은 Ripper 사용	
작 업 난 이	발파요함	발파요함	대부분 발파요함 Ripper 사용 가능	대부분 발파요함 Ripper 사용 가능	일부 발파요함 Ripper 사용 가능			
터널굴착시 지보	소 굴	소 굴	지보 요함, 일부 소굴	지보 요함	지보 요함	지보 요함		

提 言

서울 地下鐵 3, 4號線의 路線豫定地에서 實施한 各種 調査와 試驗結果를 檢討하고 아울러 今般 實施한 岩石의 岩石學的 및 岩石力學的 調査研究의 結果를 綜合하여 本 結果 今後의 調査實施에 있어 다음 事項을 留意하기를 提言하는 바이다.

- (1) 地下鐵敷地 岩石의 CSIR 分類를 可能케 하기 위하여 事前 調査에서 얻은 事項의 綜合分析이 不可缺함으로 各 試錐孔마다 다음 事項에 留意하여야 한다.
 - ① RQD 를 決定키 위하여 drill core recovery 를 正確히 測定 記載할 것
 - ② point load tester 를 使用하여 岩石強度를 간단히 얻을 것
 - ③ 岩石의 風化狀態를 현미경으로써 正確히 鑑定할 것
 - ④ 節理의 간격, 벌어진, 節理面의 벌어진과 風化樣相을 正確히 記載할 것
 - ⑤ 地下水試驗도 철저히 施行할 것
 - ⑥ 路線에 대한 試錐孔은 路線을 사이에 두고 벌갈아 가며 兩側에 實施토록 할것—서울驛(416 工區)의 경우는 한 쪽만 試錐함으로서 施工時의 岩盤條件이 試錐結果와 一致하지 않고 있다. 이는 地形에 따른 風化狀態의 變化때문인 것이다.
 - ⑦ 孔間 彈性波探査 試驗은 孔間 岩盤의 不均質로 인하여 效果의이 못되므로 實施하려면 新鮮한 試驗地點에서 採取할 것이 아니라 더욱 深部의 新鮮岩의 core 로써 하도록 하여야 한다. (既存試驗에서 이같은 모순점이 있었다)
- (2) CSIR 分類를 事前 調査로써 試圖할 것
이는 위의 方法으로 可能하며 이로써 路線의 設計와 工事費의 豫測이 可能하다고 본다.
- (3) 實工事費의 調整은 工事進行中 Schmidt Hammer 에 의한 強度와 節理의 터널 方向에 對한 方位(orientation)을 얻은 後에 施行하도록 하여야 한다.
- (4) 現在 施工 中인 各 工區의 難易度나 原價計算을 正確히 하여 터널工法과 對比토록 한다.
- (5) 서울 都心地域에서 全的으로 터널工法을 實施할 경우 普通岩 地帶에 施工이 可能하며 東大門 高度 120,

- 913m 를 기준으로 하여 四大門內의 花崗岩 地帶는 109m, 漢江流域의 片麻岩 地帶는 104m 深度이다.
- (6) 地質分布 및 岩石의 風化度 測定 등 岩石學的 研究와 調査事項은 專門家의 評價를 받도록 하여야 한다.

참 고 문 헌

- Bieniawski, Z. T., 1974, Geomechanics classification of rock masses and its application in tunnelling. Proc. Third International Congress on Rock Mechanics, ISRM, Denver, vol. 11A, p.27~32.
- _____, 1976, Rock mass classification in Rock engineering, Proc. Symposium on exploration for Rock engineering, Johannesburg, vol. 1, p.97~106.
- Cording, E. J., Hendron, A. J. and Deere, D. u., 1971, Rock engineering for underground caverns., Phoenix, Arizona, published by ASCE p. 567~600.
- Deere, D. u. and Miller, R. P., 1966, Engineering classification and index properties for intact rock., Technical Report No. AFMLTR-65-116, Air Force Weapons Laboratory, New Mexico.
- _____, 1968, Geological considerations in Rock Mechanics in Engineering practice Editors K. G. Stagg and O. C. Zienkie, WCZ. Published by John Wiley & Sons., London, p. 1~20.
- Hoek, E. and Brown, E. T. 1980, Underground Excavations in Rock., The Institution of Mining and Metallurgy, London, p. 14~35.
- Laufuter, H., 1958, Gebirgsklassifizierung fur den stillenban., Geologie und Bawesen, vol. 24, n. 1, p. 46~51.
- Merritt, A. H., 1972, Geologic prediction for underground excavations., Proc. First North American Rapid Excavation and Tunnelling conference, AIME, NEW YORK, p. 115~132.