

터널掘鑿에 있어 岩盤의 力學的 分類와 그 應用

Geomechanics Classification of Rock Masses and its Application in Tunneling

大韓重石(株) 資源開發室

林 漢 旭※

康 鍾 秀※※

最近 産業의 發達과 이로 因한 公害問題가 크게 대두됨에 따라 여러 分野에서 岩盤內 大規模 空洞의 掘鑿과 이에 對한 施設이 널리 利用되고 있다.

國內에서도 地下揚水發電所의 設置 및 向後 油類 캐스 등의 地下貯藏(Rock store)과 各種 터널의 施工이 增加될 것으로 생각된다.

따라서 이와같은 大規模 空洞을 岩盤內에 設置하고 效率의 管理하기 爲해 空洞 및 그 周近 岩盤에 對한 力學的 安定性이 檢討되어야 할 것이다.

이러한 力學的 安定性은 岩石力學的 理論을 基礎로 한 것이지만 여기에서는 터널 掘鑿에 있어 地盤調查와 簡單한 實驗만으로 作業의 安全과 岩盤變形억제를 爲한 1次 保坑法(primary or temporary support)을 決定하는 岩盤의 分類法을 간략히 紹介하므로써 이에 關心을 갖으신 분들께 도움이 되었으면 한다.

1. 岩盤의 力學的 特性和 研究傾向

地下 岩盤內에 空洞을 掘鑿하면 그 空洞 周圍에는 應力集中 현상이 일어나서 應力이 限界值에 達하면 週邊 岩盤은 破壞 또는 塑性 變形을 일으키면서 弛緩된다.

이와같은 弛緩현상은 空洞 周壁面의 破壞를

※ 鑛業技術士(探鑛)

※※ 鑛業技術士(探鑛)

超來하기 때문에 空洞에 對한 適正支保設計를 爲하여 弛緩領域의 範圍와 그 破壞學動을 究明하지 않으면 안된다.

이와같은 空洞 周圍의 應力의 크기와 變形學動 및 파괴特性을 究明하기 爲한 研究가 國內에서도 活發히 進行中이며 岩盤을 彈性體로 假定하고 地下 揚水發電室 空洞周圍의 掘鑿前 最大 主應力의 方向에 따른 掘鑿後의 應力分布 및 集中度를 光彈性 模型實驗과 有限要素法에 依해 理論 解析한 結果(延圭亨, 李正仁 1979)가 發表되어 施工에 많은 도움을 준것으로 傳해지고 있다.

그러나 地下 岩盤은 그 岩石의 組成과 地形的 特性, 地質構造 및 地殼運動에 依한 地體力(Tectonic force) 등에 따라 그 力學的 特性이 相異하기 때문에 研究 結果를 實際 適用하는 데는 一致하지 않는 경우가 있다.

따라서 이러한 問題點을 補完하기 爲하여 現地 岩盤內의 應力 計測方法에 關한 研究(*林漢旭, 李正仁 1980)가 發表되었다.

이 研究에서는 地表로부터 深度가 다른 몇개의 位置에서 岩盤內 平均應力(鉛直 및 水平), 主應力의 크기와 方向, 深度에 따른 鉛直應力의 變化를 求하였다.

한편 最近에는 軟弱岩盤이나 土砂層과 같은 地盤內에 터널을 掘鑿하는 경우 NATM 工法이 큰 成果를 거두고 있는 것으로 알려져 있다.

이는 터널을 掘鑿後 Rock bolt, Wire mesh 및

Table 1 : Strength Classification for rock Materials

Description	Uniaxial Compressive strength, Mpa	Point-load strength index, Mpa
Very high strength	> 200	> 8
High strength	100-200	4-8
Medium strength	50-100	2-4
Low strength	25- 50	1-2
Very low strength	1- 25	<1

나) R,Q,D (Rock Quality Designation)

Deere와 Miller(1970)에 의해 提議된 方法으로 岩盤內의 試錐岩芯(core)中 10cm이상의 長이 를 가진 岩芯長이의 累計를 全試錐長이로 百分率로 表示한 것으로 그 例를 들면 그림 2 및 表 2와 같다.

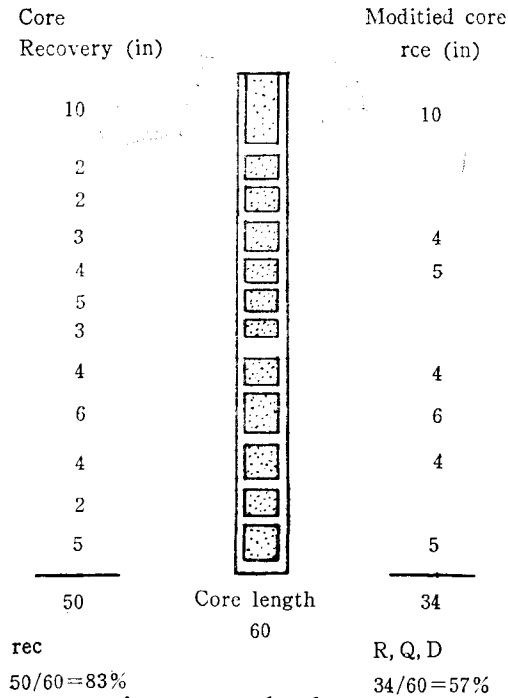


Fig.2. Example of R.Q.D

Table 2: Relation of R.Q.D and rock quality (Deer et al)

RQD (rock quality designation %)	Description of rock quality
0-25	Very Poor
25-50	Poor
50-75	Fair
75-90	Good
90-100	Excellent

R.Q.D는 岩盤內의 風化와 錯개짐(fracture)의 程度에 따라 좌우되는 것으로 core의 직경은 最小 50mm (NX size)以上이 되어야 한다.

다) 균열의 간격과 方向

(Spacing and Orientation of Joints)

균열은 岩盤內 構造物의 安定性 檢討에 매우 重要한 要素로써 균열의 간격(균열面間의 垂直距離), 이의 方向(strike)및 경사(dip)는 岩盤의 安定度低下의 要因이 된다.

여기서 말한 균열은 모든 岩盤內의 不連續面을 말하여 斷層, 層理面및 모든 軟弱面(weak plane)등을 總稱한다.

Table 3: The effect of Joint Strike and Dip Orientations in Tunnelling

Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis	
Drive with dip		Drive against dip			
Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°	Dip 45°-90°	Dip 20°-45°
Very Favourable	Favourable	Fair	unfavourable	very unfavourable	Fair
Dip 0°-20°: Unfavourable, irrespective of strike					

Table 4: Classification of Joints based on Spacing

Description	Spacing of joints	Rock mass designation
Very wide	> 3m	Solid
Wide	1-3m	Massive
Moderately close	0.3-1m	Blocky/seamy
Close	50-300mm	Fractured
Very close	<50mm	Crushed

라) 균열狀態(condition of joints)

균열面 사이의 간격과 連續性및 面의 매끄러운 程度, 狹在物의 存在 여부등을 말하며 균열面이 작고 거칠으며 狹在物이 없을때 높은 度를 갖는다.

反面 균열面이 크고 連續된 경우에는 地下水의 流入을 容易하게 하여 安定度가 낮아진다. joint의 長이가 터널 幅보다 크면 연속성이 있는 것으로 보며 협재물이 있으면 連續性일 경우가 많다.

마) 地下水(Ground water)의 流入
 地下水가 균열이 있는 岩盤에 流入되는 경우
 岩盤의 強度를 低下시키는 等 性質에 큰 영향을
 준다.

터널의 경우 地下水의 流入率은 l/min로 表示
 되며 施工中 湧水되는 量을 調査하면 된다.

2-2) 岩盤의 分類

以上の 要素에 依한 分類는 表 5와 같다.

Table 5:-A Geomechanics Classification of rock Masses

A. Classification Parameters and Their Ratings

1	Uniaxial compressive strength of intact rock	>200Mpa	100—200Mpa	50—100Mpa	25—50Mpa	<25 Mpa
	Rating	10	5	2	1	0
2	Drill core quality RQD	90%—100%	75%—90%	50%—75%	25%—50%	<25% or highly weathered
	Rating	20	17	14	8	3
3	Spacing of joints	>3m	1—3m	0,3—1m	50—300mm	<50mm
	Rating	30	25	20	10	5
4	Strike and dip orientation of joints	Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
	Rating	15	13	10	6	3
5	Condition of joints	Very tight:separation <0,1 mm Not continuous.	Tight:<1mm and continuous No gouge	Open:1—5mm Continuous Gouge <5mm	Open>5mm Continuous Gouge >5mm	
	Rating	15	10	5	0	
6	Ground water inflow (per 10m of tunnel length)	None		<25 Litres/min	25-125 Litres/min	>125 Liters/min
	Rating	10		8	5	2

—但 分類要素들에 對한 상세한 評價가 완료
 되면 各 要素들의 總和를 求하여 等級을 評價한
 다.

이때 높은 값을 나타내면 岩盤狀態가 良好함

을 表示한다. 岩盤等級에 對한 無支保幅과 維持
 可能的 期間에 對해서는 그림 3과 같으며 表5-B
 와 C는 그 平均値를 나타낸 것이다.

Table 5-B, C, Rock Mass Classes and their Ratings

Class No.	I	II	III	IV	V
Description of class	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very Poor rock
Total rating	100—90	90—70	70—50	50—25	<25

5-C. Meaning of rock mass Classes in Tunnelling

Class No.	I	II	III	IV	V
Unsupported span	5m	4m	5m	1,5m	0,5m
Average stand-up time	10 years	6 months	1 Week	5 hours	10 minutes

例를 들어 第III級 岩盤에서 無支保 間격이 2m
 인 경우 1個月 維持가 可能하나 第IV級 岩盤에

선 단지 몇일밖에 維持할 수 없다.

以上の 結果는 實際 經驗을 토대로 한 것으로

터널의 豫備調査用 坑道나 또는 掘鑿 도중에 이러한 關係들을 다시 調査하여 現場에 맞도록 調整되어야 한다.

穿孔, 發破에 의한 터널 굴착의 경우 그 深度가 깊지 않고 터널 徑이 5~12m되는 경우 1次 保坑法은 表 5에 주어져 있다.

3. 結 論

岩盤의 等級 分類는 作業의 安全과 岩盤 變形 억제를 爲한 短期(1次)保坑法을 決定하기 爲한 것으로 그림 2와 表 5에 表示되 있다. 이는 美國, 유럽 및 南아프리카 등에서 얻어진 經驗值에 의한 것으로 어떠한 터널에도 반드시 適用되는 것은 아니다.

따라서 建設 期間中 岩盤의 變形舉動을 確認하여 Concrete lining等 永久保坑을 하기 爲해선 Borehole Extensometer 등으로 적절한 現場 測定 實驗이 實施되어야 한다.

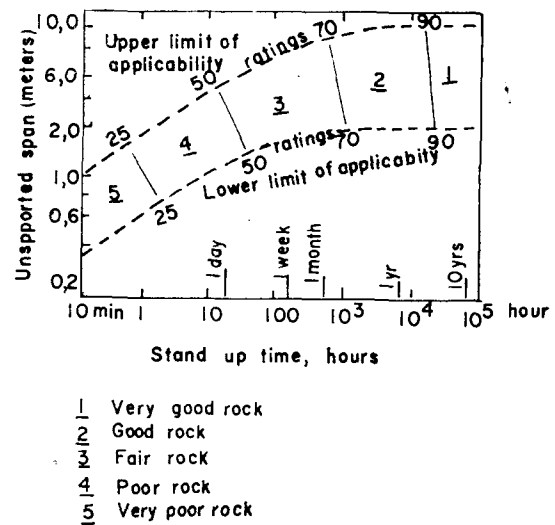


Fig.3. Geomechanics Classification for Tunnelling (Modified after Lauffer, 1958)

Table 6: Guide for Selection of Primary Support in 5 m to 12 m Diameter Tunnels at Shallow depth

Rock mass class	Alternative support systems for drilling and blasting construction		
	Mainly Rockbolts	Mainly Shotcrete	Mainly Steel Ribs
I	Generally no Support is Required		
II	Rockbolts spaced 1,5 to 2,0m plus occasional wire mesh in crown	Shotcrete 50 mm in crown	Uneconomic
III	Rockbolts spaced 1,0 to 1,5m plus wire mesh and 30mm shotcrete in crown where required.	Shotcrete 100mm in crown and 50mm in sides plus occasional wire mesh and rockbolts where required	Light sets spaced 1,5m to 2m
IV	Rockbolts spaced 0,5 to 1,0m plus wire mesh and 30-50mm shotcrete in crown and sides	Shotcrete 150mm in crown and 100mm in sides plus wire mesh and rockbolts, 3m long spaced 1,5m	Medium sets spaced 0,7m to 1,5m plus 50mm shotcrete in crown
V	Not recommended	Shotcrete 200mm in crown and 150mm in sides plus wire mesh, rockbolts and light steel sets. Close invert	Heavy sets spaced 0,7m with lagging. Shotcrete 75mm as soon as possible.

4. 事例研究

南아프리카 共和國의 터널 경우를 살펴보기로 한다.

條件: 터널의 規格 5m×5m

岩質: 약간 風化된 quartzite

이 터널의 要素別 資料는 表 6과 같으며 表 4의 基準에 의한 rating은 75로써 상당히 良好한 岩盤으로 II等級에 屬한다.

따라서 그림 2에서 rating 75에 對한 豫想되는

Table 7. Rating in tunneling

Parameter	Value	Rating
Uniaxial compressive strength	153 MPa	5
Core quality RQD	90-94%	20
Spading of joints	Set 1:0, 3-1m	(20)
	Set 2:0, 3-0,6m	(20)22
	Set 3:2m	(25)
Orientations of joints	Set 1:Horizontal	(6)
	Set 2:Vertical; Parallel to tunnel axis	(3)8
	Set 3:Vertical; perpendicular to tunnel axis	(15)
Condition of joints	Separation <1mm Continuous joints	10
Ground water inflow	None	10
Total		75

維持期間은 無支保 區間을 約 5m로 하였을때 約 1,600時間(67日)이다.

實際 이 터널은 約 5個月동안 지탱 되었다. 또한 表 5와 같이 實際로 터널을 掘鑿후 2個月 以內에 2.5m 길이의 rock bolt를 1.5m 간격으로 設置하고 部分的으로 天盤에 Wire mesh를 施工 하여 落盤을 防止하였던바 상당한 效果를 본 것으로 알려져 있다.

科學技術人的 信條

우리 科學技術人은 科學技術의 暢達과 振興을 通하여 國家發展과 人類福祉社會가 이룩될 수 있음을 確信하고 다음과 같이 다짐한다.

- 一. 우리는 創造의 精神으로 眞理를 探究하고 技術을 革新함으로써 國家發展에 積極寄與한다.
- 一. 우리는 奉仕하는 姿勢로 科學技術振興의 風土를 造成함으로써 온 國民의 科學的精神을 振作한다.
- 一. 우리는 높은 理想을 指向하여 自我를 確立하고 相互協力함으로써 우리의 社會的地位와 權益을 伸張한다.
- 一. 우리는 人間의 尊嚴性이 崇尚되고 그 價値가 保障되는 福祉社會의 具現에 獻身한다.
- 一. 우리는 科學技術을 善用함으로써 人類의 繁榮과 世界의 平和에 貢獻한다.