

성주 터널에 사용될 Rock Bolt의 理論的인 設計 基準에 關하여

Basic Study for Theoretical Design of Rock Bolts at Seong Ju Tunnel

姜 善 惠*
S. D. Kang

要 約

본 研究는 現在 施工中에 있는 聖住터널에 使用될 Rock Bolt의 設計 基準을 作成하는데 目的을 두었다. 이 聖住터널의 開設은 本 區域의 岩質이 軟弱하기 때문에 NATM(New Austrian Tunnelling method)으로 施工하는 것으로 假定하였으며 本 工法에서 所要되는 Rock Bolt의 길이와 간격 等の 設計 基準을 作成하였다. 그 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 터널 周圍岩石인 粗粒砂岩, 細粒砂岩, 砂質夏岩 그리고 silty세일은 普通岩이고 黑色세일과 그레이와케(Greywacke) 그리고 礫岩으로 確認되어싼.
- 2) 本 터널에 使用할 Rock Bolt의 길이를 3~4m의 것을 適用할때에 Bolt의 간격은 砂岩에는 最小 1.3m에서 最大 1.8m로, 頁岩에는 最小 1.3m에서 最大 2.0m이다. 그리고 그레이와케(Greywake)의 境遇는 共히 1.5m로 設計되었다.

ABSTRACT

This study has been carried out to design the standards of rock bolts which are recommended to be used for supporting material in Seong Ju tunnel, Under recently planned to construct. Due to the weak bedding rocks along the Tunnel, NATM supporting method is assumed to be applied and the design and calculation for rock bolts which are important material for this supporting method. Though the study, the results obtained are as follows.

- 1) The rocks defined as coarse sandstone, fine sandstone, medium sandstone, sandy shale and silty shale are normal rocks in strength, and black shale, greywacke and conglomerate are weak rocks in strength.
- 2) When the length of 3~4meters of rock bolts are used, the distances of bolts are supposed to be 1.3~1.8m in sandstone and 1.3~2.0m in shale and for greywacke the distance should be 1.5m.

目 次

要 約	3. 試料 및 實驗方法	4-1 Rock Bolt의 支持力
ABSTRACT	3-1 試料	4-2 開設터널의 岩盤荷重
1. 序 言	3-2 實驗裝備 및 實驗方法	4-3 Rock Bolt의 設計
2. 地質 및 構造	4. 試驗結果 및 考察	5. 結 論

* 韓國 資源研究所 工學博士

1. 序 言

忠南炭田 石炭生産量の 60%에 該當되는 年間 約 100萬屯의 石炭이 嶺山面 聖住里와 大川 邑 玉馬驛間 4.9km의 險峻한 高峯길로 運搬되고 있다. 그림 1에서와 같이 聖住고개를 700m의 터널을 開設함으로써 2.6km의 運炭거리를 短縮하게 되어 年間 10億원 以上の 運炭費 節減으로 原價節減은 勿論, 大川~夫餘間 國道로서 農水産物 流通이 圓滑하게 되고, 아울러 地域社會發展에도 많은 寄與를 할 것으로 期待된다.

現在 우리나라의 鑛山의 主運搬坑道 開設時나 地下鐵開設 그리고 道路터널 開設時 施工法인 NATM(New Austrian Tunnelling method)이 많이 適用되고 있다. 이는 掘鑿即時 開放된 切剖面을 Rock Bolting과 shotcreting을 施工함으로써 坑內壁面의 盤壓을 支持토록 하고 岩盤自體의 支持力을 最大限 이용하기 때문에 高速掘進을 할 수 있고 軟弱地盤에 좋은 效果를 갖고 있기 때문이다.

本 터널 開設區間의 周邊岩質은 普通岩 및 軟岩(表 3)으로 判定되어 NATM工法으로 施工하는 것으로 假定하였고, 本 工法의 施工에서 Rock Bolting은 매우 重要的 部分을 點하고 있다.

이에 따라 本 論文에서는 터널 周邊岩石의 壓縮, 引張 및 剪斷強度의 試驗을 통해 物理的 性質을 糾明하고 顯微鏡으로 鑛物을 觀察하여 岩石을 種類別로 區分하였다. 이 基礎 資料를 利用하여 터널 周邊岩石의 荷重을 計算하고 이 荷重을 充分히 支持할 수 있는 Rock Bolt의 支持力을 求하여 聖住 터널을 恒久的으로 維持할 수 있는 Rock Bolt 길이와 間격을 設計하는 것을 目的으로 하였다.

2. 地質 및 構造

本 地域의 構成岩은 紀에 該當하는 峨嵋山層의 暗灰色내지 懷色砂岩과 黑色세일로 主로 構成되어 있는 礫質砂岩과 造溪里層의 礫岩, 礫質砂岩 및 砂岩과 Greywacke가 主構成岩盤이고 其外白雲山層의 暗灰色 내지 灰色알코스 砂岩과 細粒砂岩, 그리고 礫質砂岩과 聖住里層의 懷色알코스 粗粒砂岩, 礫質砂岩, 砂岩으로 이루어져 있다.

터널 開設區間의 岩層은 峨嵋山層의 上部 砂岩帶와 中部세일帶 및 조계리층의 舍長石 角礫砂岩帶 그리고 礫岩帶를 貫通하게 된다.

本 地域의 地質 구조는 성주리를 中心한 大向心褶曲을 이루고 있으며, 그림 1과 같이 터널 開設地域은 이 向斜의 西翼部로서 地層의 走向이 $N20^{\circ} \sim 30^{\circ}E$ 에 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}ES$ 로 傾斜하는 單斜構造를 이루고 開設터널의 方向은 $N60^{\circ}W^{\circ}$ 로서 地層과 80° 角度를 이루게 된다.

本 試驗에서는 同一條件에서 岩石試料의 強度를 比較하기 爲하여 岩石試料의 從橫比를 2:1로 하였다.

岩石內의 水分의 增加는 岩石의 強度에 影響을 끼치므로 一週日동안 乾燥劑인 $CaCl_2$ 가 들어 있는 Desicator에 岩石試料를 넣어 乾燥시키고 實驗을 實施하였다.

3-2 實驗裝備 및 試驗方法

岩盤의 物理的 性質을 糾明하기 爲하여 壓縮, 引張 및 剪斷強度를 測定했으며 同時에 比重, 彈性波速度, 彈性計數 그리고 포아선비를 測定하였다.

(1) 單軸壓縮試驗(Uniaxial Compressive Text)

單軸壓縮強度는 油壓式壓縮試驗器(100ton INC EVANSTON, ILL U.S.A)을 使用하여

(寫眞 2) 길이 60mm, 지름 30mm의 試驗片에 軸方向으로 一軸壓力를 加한後 破壞될때의 荷重을 測定하여 다음 式으로 計算하였다.

$$S_c = P/A$$

P : 破壞荷重(kg)

A : 試料의 斷面積(cm²)

單軸壓縮試驗에서 各 試驗片에 2個의 Strain Gauge(kyowa, KFC-5-D16-11, Gauge Resistance 120Ω±0.4)을 表面이 잘 研磨된 岩石試料 側面 中央部에 接着劑(kyowa, strain gauge cement(C-15A))로서 서로 直角이 되도록 接着시켜 2臺의 strain indicator (① SM 60 D PAT PENDING. Made in kyo WA, ② Switching & Balancing Box (SS-12R)) (寫眞 3)에 의하여 數値를 읽었다. 荷重에 따른 岩石의 變形率 彈性係數 및 포아선 비는 다음 式으로 各各 求하였다.

$$\text{young's modulus } (E) = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

σ : 荷重에 對한 應力(kg/cm²)

ε : strain

$$\text{Poisson's ratio } (\nu) = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x}$$

ε_x : Lateral strain

(岩石試料의 從方向 變形度)

ε_y : Axial strain

(橫方向 變形度)

(2) 間接引張試驗(Indirect Tensile Test) 및 剪斷強度

盤形으로 製作하여 單軸壓實驗에서 使用한 壓縮試驗器(100t 容量)을 利用하여 壓裂引張試驗에 依하여 測定했다. 卽,

St : 引張強度(kg/cm²)

$$St = \frac{2P}{\pi DL}$$

D : 円盤型 岩石試料의 直徑(cm)

P : 破壞될때의 荷重(kg)

L : 岩石試料의 두께(cm)

剪斷強度 S_s는 單軸壓縮強도와 壓裂引張強度 試驗結果를 利用하여 다음式에 依하여 計算하였다.

$$S_s = \frac{1}{2} \sqrt{S_c \cdot S_t}$$

S_c : 壓縮強度(kg/cm²)

S_t : 引張強度(kg/cm²)

(3) 彈性度 傳播速度 測定

縱波(P-wave)와 橫波(S-wave)의 傳播速度는 彈性波速度 測程器(Sonic Viewer, oyo 5210)를 (寫眞 4) 使用하여 岩石 試料中을 彈性波가 通過하는데 要하는 時間을 測定하므로써 彈性波 速度를 求했다. P-wave 測定은 岩石試料를 發振器에 連結된 送受信 變換機(Transmitting & Receiving transducer) 사이에 끼우고 適當히 加壓하여 超音波가 發信者로부터 岩石試料를 거쳐 受信者에 이르게 하는데 要하는 시간, 즉 Delay time을 10⁻⁶초 單位로 計測하여 岩石試料의 長이를 Delay time으로 나누어 P波의 傳播速度를 求하였다. S波의 速度는 S波用 송수신 變換器를 使用하는 것 이외에는 P波測定方法과 같은 方法으로 求했으며 그 計算式은 다음과 같다.

$$V_p = \frac{L}{\Delta t_p}$$

V_p : P波의 傳播速度

V_s : S波의 傳播速度

L : 試料의 長이

$$V_s = \frac{L}{\Delta t_s}$$

Δt_p : P波의 Delay time

Δt_s : S波의 Delay time

4. 試驗結果 및 考察

聖住터널의 通過豫想地域에 分布하는 物理的 性質을 測定한 結果는 表3과 같으며 單軸壓縮強度로 보아 黑色세일, 그레이와케(Greywacke) 길고 礫岩은 軟岩(280~560kg/cm²)에 속하며 其外 5種은 普通岩(560~1,120kg/cm²)에 속한다. 周圍岩石의 鑛物學的 性質을 糾明키 위하여 岩石을 構成하는 造岩鑛物의 組織과 粒子 構造 그

리고 結合狀態를 알아 보았다. 그 岩鍾을 代表할 수 있는 27個의 試料中 9個를 택하여 薄片을 製作하였고, 이를 관찰한 結果 表 4에서 볼 수 있는 바와 같이 8鍾으로 分類된다.

寫眞5에서와 같이 組立砂岩은 0.2~0.04mm 크기의 石英粒子가 大部分이고 石英粒子는 波狀消光을 보이며 充填鑛物은 長石質 岩石인 變性物質로 되어 있어 많은 變成作用을 받은 것으로 생각된다.

寫眞 6에서는 中粒砂岩을 볼 수 있으며 石英粒子的 크기는 0.78~0.01mm이고 主成分인 石英은 波狀消光을 보인다. 充填鑛物은 粗粒 砂岩에서의 것과 恰似하고 많은 變成作用을 받은 것으로 생각된다.

寫眞 7에서 볼 수 있는 微粒砂岩은 石英粒子的 크기가 0.12~0.01mm이며 微晶質 雲母狀 粘土와 암갈색 유기물질로 構成되어 있는 distinct aggregate texture를 보인다.

寫眞 8, 9, 10에서는 夏岩 종류인 黑色夏岩, 砂質夏岩, silty 세일을 보인 것으로, 石英粒子的 크기는 最大 0.57mm에서 最小 0.01mm이고 黑色夏岩은 層狀構造를 나타내고 있다. silty세일에서는 Dark-Brown organic substance의 streak에 依해 Laminated Structure가 보여진다.

石英은 再結晶作用을 받아 粗粒 또는 Sericite Materials로 交代되어 나타나며 部分的으로 方向性을 나타내기도 한다. 유기물질을 함유한 長石質 變成岩때문에 검은색을 띄며 變성을 많이 받은 岩石이라고 할 수 있겠다.

寫眞 11과 12는 그레이와케 (Greywacke)의 礫岩으로 分類한 것으로 石英의 粒子는 1.5~0.01mm 程度이고 그레이와케는 약간의 chart 및 變質된 長石이 細粒質의 石英에 依해서 充填되었다. 礫岩은 심한 재결정

작용에 依하여 큰 결정이 형성되었으며 틈새를 따라 充填鑛物이 發達하고 있고 石英은 波狀消光을 보인다. 따라서 本 岩石도 變成作用을 많이 받았다고 할 수 있겠다.

以上の 各種 岩石을 보면 砂岩이던 모두가 相當한 變成作用을 받아서 空隙이 거의 없다. 이는 時代的으로 오랜 세월을 지나는 동안 여러 方向의 壓力等을 받았기 때문인 것으로 생각된다. 이러한 變成作用의 結果는 葉片狀의 長石質 岩石의 發達과 破壞實驗의 結果 Bedding에 緣由하는 듯한 破壞樣相도 나타난다고 할 수 있겠다. 이로서 현미경 觀察의 結果로서 터널 周圍 岩石은 均열을 이미 形成하고 있고 따라서 岩石固有의 強度는 아닌 것으로 判斷된다.

그림 4-a와 4-b에서 單軸壓縮強度 및 壓裂引張試驗으로 부터 Mohr의 應力円을 그려 이로부터 內部 摩擦角을 求하였다. 그리고 砂岩과 夏岩의 應力-變形曲線을 나타낸 그림은 4-C, 4-d, 4-e, 4-f와 같다.

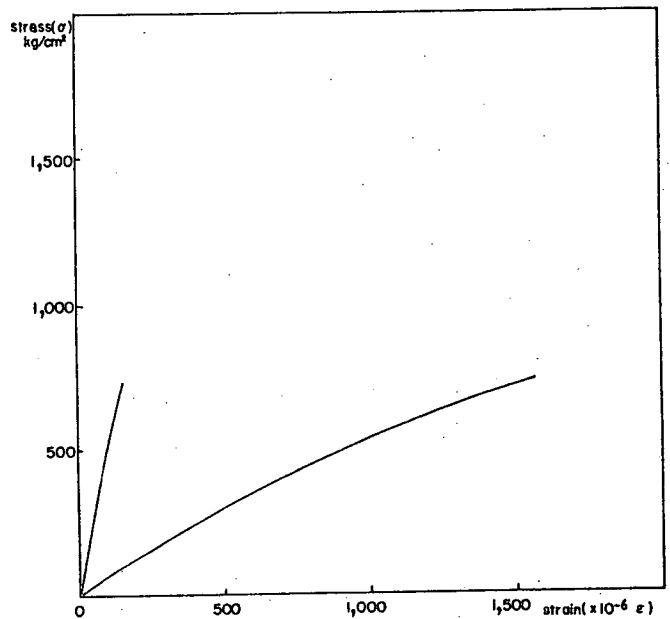
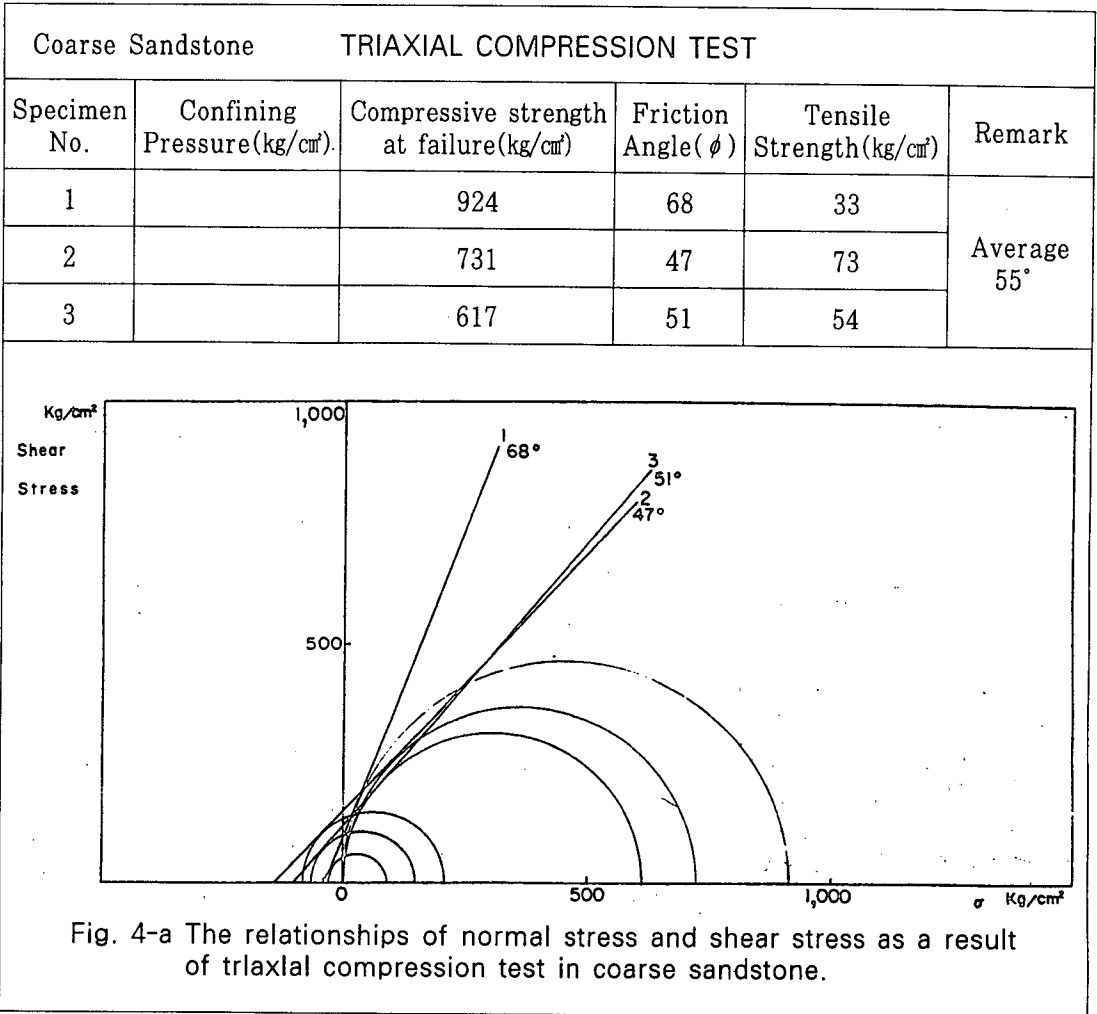


Fig. 4-c Stress-Strain curves of Sandstone



4-1 Rock Bolt의 支持力

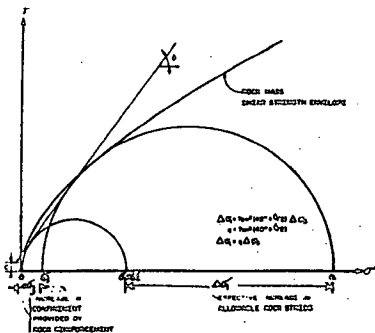


Fig. 4-1-a Effective increase in allowable rock stress with increase in confinement

三軸壓軸下에서 岩盤의 壓縮強度는 봉압(σ₃)이 增加되면 最大主應力 σ₁은 單軸壓縮強度보다 커지며 이때 三軸壓縮強度, 剪斷強度의 關係는 그림 4-1-a와 같다. σ₃를 變化시키면서 施行한 Test結果로 얻어지는 σ₃-σ₁을 直徑으로 하는 円을 plot하여 Mohr의 應力円 包絡線(Mohr's Failure Envelope)을 얻을 수 있다. Rock Bolt의 支持力은 다음 式으로 計算된다.

$$\Delta \sigma_1 = \tan^2(45^\circ + \phi/2) \cdot \Delta \sigma_3 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$\Delta \sigma_3 = \frac{P}{S^2} = \frac{\phi \cdot Ab}{S^2} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

σ₁ : 破壞壓縮強度(kg/cm²)

σ_3 : 봉압(Tension)

σ_b : Bolt의 引張強度(kg/cm²)

A_b : Bolt의 斷面積(cm²)

s : Bolt의 間隔(cm)

$$\Delta T = \Delta \sigma_1 \cdot t \dots\dots\dots ②$$

$$t = L - S \dots\dots\dots ④$$

ΔT : 터널 單位길이당 支持力(ton/m)

t : Rock arch의 두께(cm)

L : Rock Bolt의 길이(cm)

S : Rock Bolt의 간격(cm)

故로 ①②③④式에서

$$\Delta T = \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \times \sigma_b \times A_b \times \frac{(L-S)}{S^2} \dots\dots\dots ⑤$$

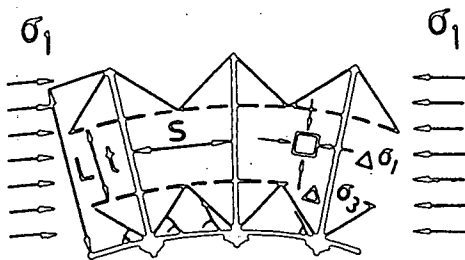


Fig. 4-1-b. Effective thickness of Rock arch Zone

(1) Coarse Sandstone의 境遇

Bolt의 길이 4m, Bolt의 간격 1.5m로 할時의 支持力

$$\begin{aligned} \Delta T &= \tan^2(45^\circ + \frac{51^\circ}{2}) \times 3,000 \text{kg/cm}^2 \\ &\times 4.9 \text{cm}^2 \times \frac{(400 \text{cm} - 150 \text{cm})}{(150 \text{cm})^2} \\ &= 1,300 \text{(kg/cm)} = 130 \text{(ton/m)} \end{aligned}$$

(2) Sandy shale의 境遇

Bolt의 길이 4m, Bolt의 간격 2.0m로 할時의 支持力

$$\begin{aligned} \Delta T &= \tan^2(45^\circ + \frac{59^\circ}{2}) \times 3,000 \text{kg/cm}^2 \\ &\times 4.9 \text{cm}^2 \times \frac{(400 \text{cm} - 200 \text{cm})}{(200 \text{cm})^2} \\ &= 955 \text{(kg/cm)} = 95 \text{(ton/m)} \end{aligned}$$

이와같이 計算하여 岩種에 따라 Bolt의 길이와 間隔을 달리하여 計算하여 整理하면 施工된 Bolt에 對한 터널의 單位길이당 增加되는 支持力은 表 5와 같다.

Table 5. Support Capacity of Rock arch

Rock type		Angle of Friction (degree)	Length of Bolt (m)	Bolting space (m)	Support Capacity (ΔT) (ton/m)
Sandstone	Coarse s.s	51	4	1.8	80
				1.5	130
			3	1.5	78
				1.3	117
				1.0	234
	Medium s.s	48	4	1.8	67
				1.5	110
				1.0	299
			3	1.5	66
				1.3	100
				1.0	199

Rock type		Angle of Friction (degree)	Length of Bolt (m)	Bolting space (m)	Support Capacity (ΔT) (ton/m)
	Fine s.s	43	4	1.8	53
				1.5	86
				1.3	124
			3	1.5	52
				1.3	78
				1.0	155
Shale	Sandy sh.	59	4	2.0	95
				1.8	129
				1.5	212
	3		1.5	127	
			1.3	192	
			Silty sh.	45	4
1.5	95				
1.3	136				
3	1.0	256			
	1.5	57			
	1.3	86			
Greywacke		65	4	1.0	171
				1.8	110
				1.5	332
			3	1.3	477
				1.5	199
				1.3	300

4.2 開設터널의 岩盤荷重

터널 掘鑿後 터널의 天盤 및 周壁에는 應力과 發破의 영향으로 弛緩帶가 發生되며 이로 因하여 死荷重이 作用하게 되고 이 死荷重은 弛緩帶의 體積에 平均密度를 곱한 값으로 表示된다.

死荷重의 높이는 Protoyakonov의 經驗式에 依하면

$$h = \frac{\ell}{f}$$

$$f = \frac{\sigma_c}{100}$$

h : height of the parabola as dead load height(m)

ℓ : half of gallery width(m)

Table 6. Dead load per m Tunnel

Rock type		σ_c (kg/cm ²)	f	h (m)	r (ton/cm ²)	qt (ton/m)
Sandstone	Coarse s.s	757	7.57	1.250	2.597	31
	Medium s.s	634	6.34	1.497	2.570	37
	Fine s.s	883	8.83	1.075	2.640	27
Shale	Sandy sh.	893	8.93	1.063	2.680	27
	Silty sh.	599	5.99	1.584	2.605	39
Greywacke		382	3.82	2.484	2.530	60

f : Protodyakonov의 係數

σ_c : compressive strength(kg/cm²)

故로 터널의 單位길이當에 作用하는 死荷重 (qt : ton/m)은

$$qt = h \times \ell \times r$$

r : density(ton/m³)

으로 계산되며 이로서 Rock Bolt의 設計를 爲하여 聖住터널 周邊岩에 對한 岩鍾別로 터널單位 길이當 死荷重을 計算하면 表 6과 같다.

4-3 Rock Bolt의 設計

本 開設터널에 使用할 Rock Bolt는 化學接着劑에 依해 定着시키는 Resin Bolt를 使用하는 것으로 設計하고 Bolt의 材質은 円形剛材로 하며(KSD 3504 철근콘크리트用 봉강의 4種 SBD 40) Bolt의 直徑은 25m/m로 하였다.

Resin Bolt를 採擇한 理由는 合成樹脂로 된 硬化劑가 capsule에 보관되어 있어 이것이 Rock Bolt 孔內에 들어가서 混合되면 硬化된다. 따라서 強度를 발휘하여 정착되는 Resin으

Table 7. Design of Rock Bolt

Rock type		Angle of Friction (degree)	Length of Bolt (m)	Bolting space (m)	Support Capacity (ΔT) (ton/m)
Sandstone	Coarse s.s	4	1.8	2.6	
		3	1.5	2.5	
	Medium s.s	4	1.5	3.0	
		3	1.3	2.7	
	Fine s.s	4	1.5	3.2	
		3	1.3	2.9	
Shale	Sandy sh.	4	2.0	3.5	
		3	1.3	4.7	
	silty sh.	4	1.5	2.4	
		3	1.3	2.2	
Greywacke		4	1.5	5.5	
		3	1.5	3.3	

로 시공하기 때문에 機械化 施工이 어려운 天井에도 容易하며 迅速하게 設置가 可能하다는 점과 小斷層 節理의 發達로 出水가 많은 本地域으로서는 出水에도 影響을 받지 않는다는 점에서 採擇을 하였다. 그러나 Resin의 國內 生産品이 없어 高價의 外産을 사용해야 하고 高溫에서 貯藏期間(6~12個月)이 短하다는 것이 단점이다.

Rock Bolt의 安全率은 1.5~2로 하고 있으나 本地域에서는 發破弛緩帶를 勘案하여 2.0~3.0으로 하여 設計의 基準으로 하였다.

Rock Bolt設計는 岩種別로 Bolt의 길이와 간격을 달리하여 터널 單位 길이당 支持力이(表 5參照) 각 岩種別로 계산된 死荷重을(表 6參照) 支持할 수 있는 값을 얻으면 된다. 따라서 이와같이 하여 求해진 聖住터널 周邊岩石에 對한 Rock Bolt의 設計는 表 7과 같다.

5. 結 論

忠南炭田의 開發과 運炭의 便宜, 그리고 生産의 原價節減을 위함은 물론 地域社會 發展을 목적으로 開發되는 聖住터널의 周邊岩石은 8種으로 분류하여 現地경으로 觀察한 組織과 物理的인 試驗을 통한 性質은 다음 表와 같다.

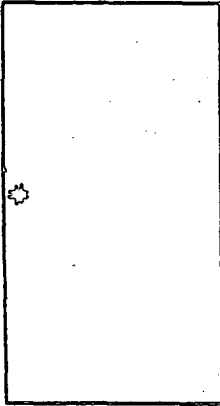
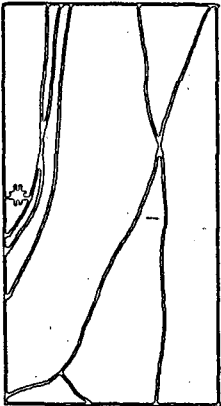
이를 基礎로 하여 Rock Bolt를 設計한 結果는 아래와 같다.

- 1) 터널 周圍岩石인 粗粒砂岩, 細粒砂岩, 砂質夏岩 그리고 Silty세일은 普通岩이고 黑色세일과 그레이와케(Greywacke) 그리고 礫岩은 軟岩으로 確認되었다.
 - 2) 본 터널에 使用할 Rock Bolt의 길이를 3~4m의 것을 적용할때에 Bolt의 간격은 砂岩에는 最小 1.3m에서 最大 1.8m로, 夏岩에는 最小 1.3m에서 最大 2.0m이다. 그리고 Greywacke의 境遇는 共히 1.5m로 設計되었다.
- (10) Cemal BiRön Ergin Ariov Lu(1983) : Design of Supports in Mines, John Wiley & Sons, Inc., New York, PP.28~32.
- (11) Kendorski, F.S.(1975), Caving Operations Drift Support Design : Design methods in Rock mechanics, PP.277~286.
- (12) The institution fo mining & Metalluvgy & E.Hoek and E.T.Brown (1980) : Underground Excavations in Rock, PP.244~257.

Rock Type	Bulk Density (g/cm ³)	compressive strength (kg/cm ²)	Tensile strength (kg/cm ²)	Angle of Friction (degree)	Youngs Modullus (kg/cm ²) × 10 ⁵	poisson's Radio	Texture
Coarse sadstone	2.597	757	53	55	4.4	0.135	preper Tex. 을 보인다.
Medium s.s	2.570	634	43	56	4.64	0.270	
Fine S.s	2.640	883	69	53	7.57	0.144	
Black shale	2.650	294	39	38	5.26	0.264	distinct aggregate Tex.을 보인다.
Sandy shale	2.680	893	61	57	10.48	0.147	
Silty shale	2.605	599	88	45	2.023	0.053	
Grey wacke	2.530	382	21	59	1.598	0.115	equidiemensional Tex.을 보임.
Conglomerate	2.560	301	73	-	12.30	0.135	

Appendix 1. Rock Strength Test

a) Sandstone

Purpose of test		Uni-axial Compressive Strength	Tested by	'84. 3.
Sample	Sample No.	5 6 7 14 15 17 18 26 27	Rock type	Sandstone
	Sampling date	'83. 5. 31	Sampling Location	성주 3갱
	Diameter(m/m)	30		60
Condition of Test	Testing mashine	유압식 압축시험기		
	Loading range	100ton with 0.1%error		
	Loading speed	10 ton/min.with 0.1%error		
Properties	Specific gravity		Density (gr/cm ³)	2.597
	Porosity(%)		Absorption ratio(%)	
	Permeability (Darcy)		Shore hardness	68
	Wave velocity (m/sec)	P-wave 4141 S-wave 2206		
before test		after test		Remark Fig.4-9 Data sheet for Uni-axial Compressive test in sandstone.
				

b) Shale

Purpose of test		Uni-axial Compressive Strength	Tested by	'84. 3.
Sample	Sample No.	1 12 13 14 19 23	Rock type	Shale
	Sampling date	'83. 5. 31	Sampling Location	성주 3갱
	Diameter(m/m)	30	Height(m/m)	60
Condition of Test	Testing mashine	유압식 압축시험기		
	Loading range	100ton with 0.1% error		
	Loading speed	10 ton/min.with 0.1% error		
Properties	Specific gravity		Density (gr/cm ³)	2.65
	Porosity(%)		Absorption ratio(%)	
	Permeability (Darcy)		Shore hardness	45
	Wave velocity (m/sec)	P-wave 3,390 S-wave 2,077		
before test		after test		Remark Fig.4-h Data sheet for Uni-axial Compressive test in shale.
