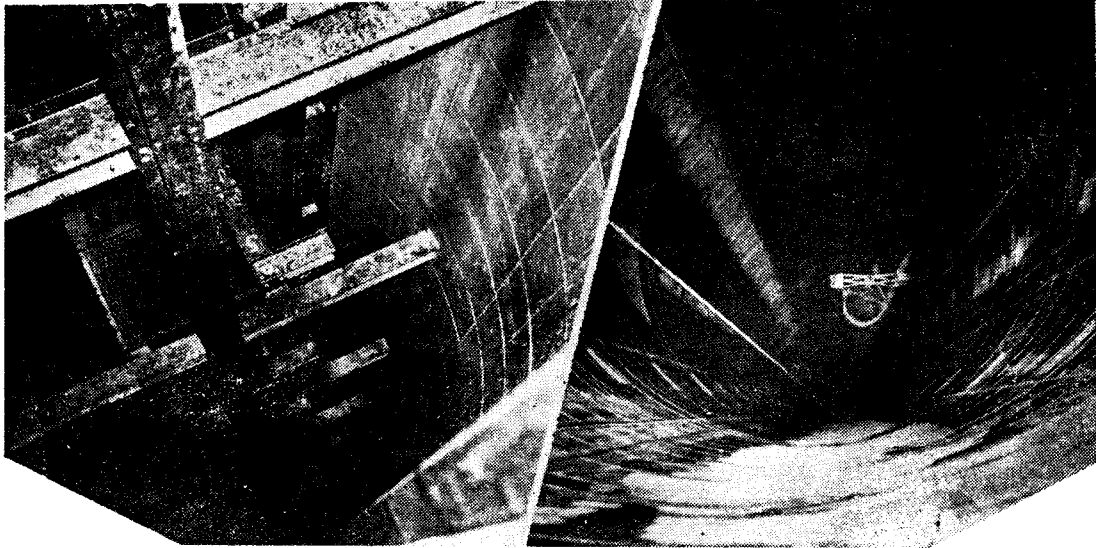


長省炭礦豎坑建設工事

CONSTRUCTION OF CHANG-SUNG MINE SHAFT

鄭 海 植*



寫眞 1. bunton 設置된 豎坑

寫眞 2. 콘크리트 라이닝 當時의 豎坑

머 리 말

本欄에 紹介하고자 하는 長省炭礦 豎坑 建設 工事は 江原道三陟郡長省邑에 位置한 大韓石炭 公社 傘下 長省炭礦에서 礦山壽命을 20 年間以上 延長시킬 目的으로 深部開發 長期計劃下에 建設 된 것으로서 1964年 5月에 着工하여 1968年 10 月に 竣工된 우리나라 最大의 豎坑이다.

그런데 長省炭礦은 우리나라 最大 規模의 產 炭地로서 그 生産量은 年間 約 240 萬ton(1968年 實績)에 達하여 國內 石炭需要量의 約 20% 程度 를 供給하고 있는 最優良炭礦으로서 本豎坑建設 에 따르는 繼續的인 石炭資源의 確保와 效果의 인 採掘은 企業伸長面에서나 國家産業 發展面에 서 意義있는 일이라 하겠다.

여기서는 主로 工學的인 面에서 本 豎坑建設

* 大韓石炭公社 技術部 勤務

工事に 對한 一般的인 概念과 設計및 施工에 關 한 重要한 資料만을 간추려서 記述코져 한다.

2. 工事概要

一般事項

元來 豎坑(수갱 Mine Shaft)이라 함은 地表에 垂直方向으로 掘鑿한 掘道를 말하며, 豎坑을 建設하는 目的은 地表面에 賦存된 石炭은 採盡되어 河床面以下의 深部に 埋藏된 石炭을 集約하여 效果의으로 採掘하여 多量運搬을 自動機械裝 置로 迅速하게 處理함으로써 生産原價를 節減시 켜 運營合理化를 圖謀하는데 있는 것이다.

技術事項

本 豎坑은 內經 6.2m의 圓形으로 깊이 696.4 m에 達하는 blind shaft(坑內에서 掘鑿한 豎坑) 로서 이에 對한 工事 數量은 表1에 나타내며 作

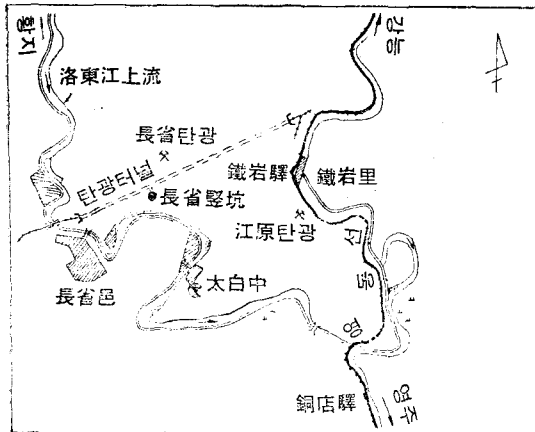


그림 1. 長省豎坑位置圖

表 1 工事數量

種 類	數 量	備 考
掘 鑿	30,000m ³	硬 岩
콘 크 리 트	15,000m ³	
使用 鋼 材	1,500 t	
延 人 員	71,000人	
工 事 費	25 億원	

業條件이 地表에 垂直인데다가 運搬系統이 One line system 으로 比較的 工事期間이 길어 졌은 避할 수 없는 일이었다.

그림 1. 은 本 長省豎坑의 位置를 나타낸 것이며 掘鑿 當時의 碎石은 坑外로 搬出하였으며 이중 一部는 crusher 로 粉碎하여 後日 concrete lining 할 때 粗骨材로 使用하였다.

또한 그림 2는 完工된 豎坑 斷面圖이고 表 2는 이를 상세히 說明한 것이다.

表 2. 各部分상세(그림 2. 참조)

번호	명	단	단	사용재료 및 규격	비 고
A	SKIP	20 TON	ST. 2,000x2,000x100	최중 10 TON	
B	CAGE	11	4,500x1,600x1,000	최중 10 TON	
C	COUNTER WT FOR SKIP	20 T	CAST IRON, 10,000 ^{HT}		
D	COUNTER WT FOR CAGE	15.6 T	" 8,300 ^{HT}		
E	LADDER		STEEL, 22 # BAR		
F	GRATING FOR LANDING		" K-900		
G	DRAINAGE PIPE	2,000GPM	" 300 #	MAXIMUM WATER PRESSURE 30kg/cm ²	
H	AIR PIPE		" 250 #		
I	FRESH WATER PIPE		" 200 #		
J	BUNTON HOLES		魚絲繩固定坑		
K1	BUNTON FRAME		STEEL WF 250x250x5		
K2	"		"		
K3	"		WF 200x200x5		
K4	"		"		
K5	"		"		
L	ROLLER		RUBBER		
M	POWER CABLE		100 #		
N	TELEPHONE & SIGNAL LINE				

3. 地 質

豎坑掘鑿 地點에 對한 事前 地質調查의 結果는 標高 206.2m를 境界로 하여 크게 두 部分으로 나누어 지며(그림 3 參照) 그 上部는 felsite group 의 dike 地盤이고 그 下部는 limestone 地盤으로 全區間이 相當히 硬岩質에 屬한다고 할수 있으며 이에 對한 物理的 試驗結果는 表 3 과 같다.

表 3 深度에 따른 岩石의 性質

標 高 m	poison比	압축강도 kg/cm ²	인장강도 kg/cm ²	비 고
600	0.2	1,400	240	그림 3 參照
375	0.3	1,100	210	"
225	0.3	800	150	"
150	0.2	1,100	210	"
75	0.2	1,400	240	"
0	0.2	1,400	240	"

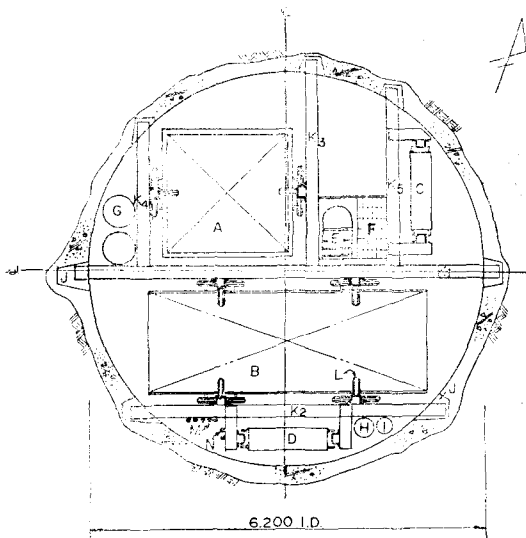


그림 2. Horizontal Section

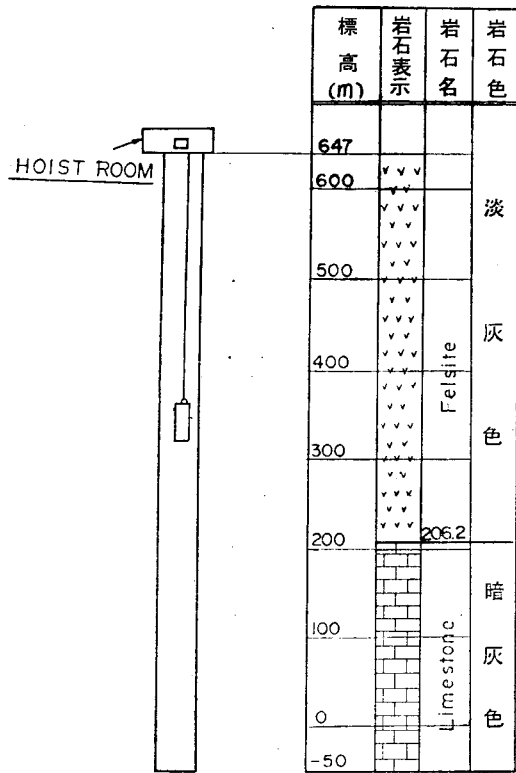


그림 3 地質柱狀圖

4. 掘鑿

掘鑿은 鉛直下方으로 進行하여 6.8mφ의 크기로서 鑿岩機를 使用하여 길이 3m의 掘鑿孔을 128個所에 그림 4와 같이 穿孔하여 火藥發破하였던 것이다. 破碎된 岩石은 1.5m³ 容量의 kibble(그림 5에 보인 一種의 運搬用 바켓스) 2臺를 使用하여 上部로 捲揚하였다. kibble의 動力으로서는 各各 350HP의 hoist(捲揚機)가 使用되었으며 scaffold suspending 動力으로는 4臺의 25HP hoist가 使用되었다. 이때의 suspending rope는

表 4 1 발과當 화약 소모량

區分	單位	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分	계	비고
孔數	孔	8	24	24	24	48	128	
지발회관	#	1	2	3	4	5		0.3초지발
孔當 장약량	個	20	13	13	13	17		개당 112.5gr
장약량계	"	160	312	312	312	816	1,922	215.1kg

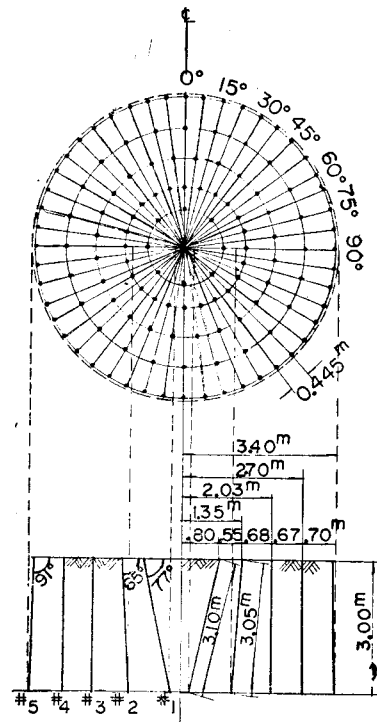


그림 4. Drilling for Sinking

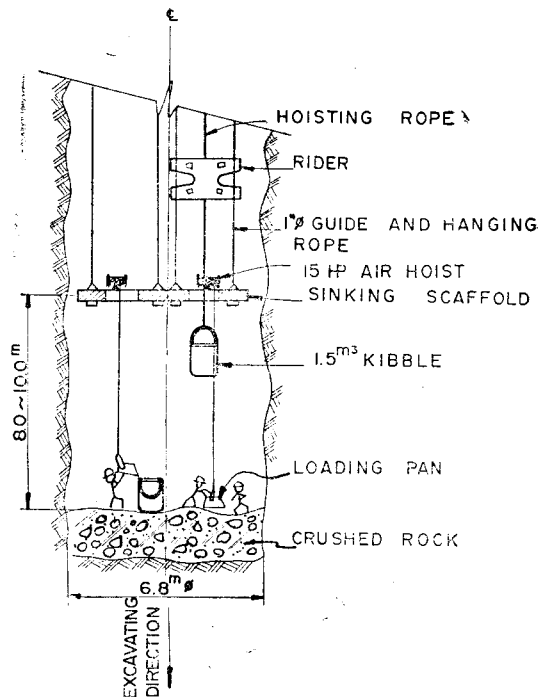
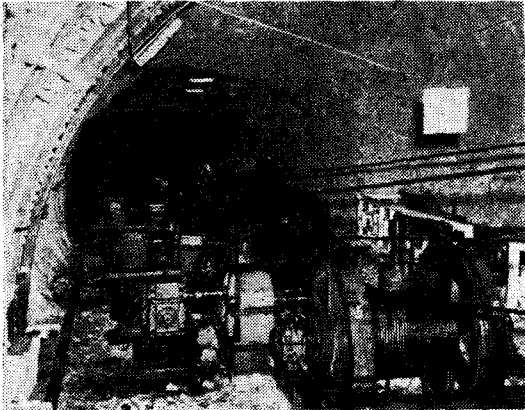


그림 5. Shaft Sinking

두 kibble 에 對한 guide rope 로서도 利用되어 結局 二重役割을 하게 된 셈이다. 그림 5에서 볼수 있는 loading pan 은 scaffold 위에 있는 15HP 의 air hoist 로서 操作하여 kibble 에 破石을 積載하였으나 나중에는 rocker shovel 을 써서 積載時 間을 短縮시킬 수 있었다.

寫眞 4는 掘下作業때 上部에서 내려다 보고 찍은 것으로 壁體에 附着된 파이프는 150φ의 壓氣



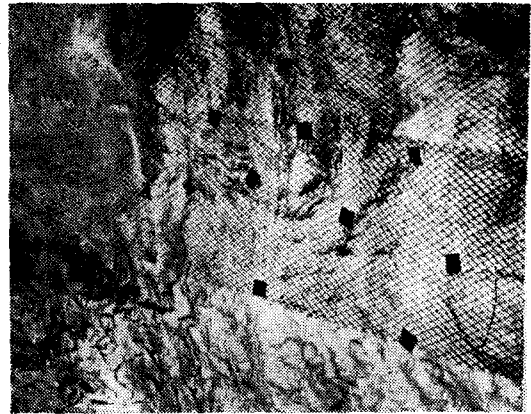
寫眞 3. 4 ㉔ 25HP Scaffold hoist



寫眞 4. 掘下作業中

管과 50φ의 給水管으로서 穿孔때 鑿岩機의 動力源으로 쓰여진 것이다.

그런데 掘下 깊이가 깊어짐에 따라 壁體 周圍에서 湧出되는 石間水가 累積하여 下降하게 됨으로써 雨衣를 입고 作業을 進陞시켜야 하는 隘路가 있었으며 이로 因하여 作業速度가 늦어지고 때로는 爆藥의 不發로 作業上의 難點이 많았다.



寫眞 5. 岩石의 表面處理

豎坑의 主 水平坑道는 長省의 地方標高인 602 m level 로서 豎坑의 地方高 部分에는 作業性質上 相當히 큰 空洞이 必要하게 되어 이곳에는 岩石의 表面處理 方案으로서 岩石 表面에 wire mesh 를 附着하여 rock-bolting 한 다음 cement gunite 하므로써 岩石의 風化作用을 未然에 防止하여 岩石의 崩潰가 일어나지 않게 하였다.

寫眞 5는 左側이 wire meshing 과 rock-bolting 한 것이고 그 右側은 여기에다 cement gunite 한 것을 撮影한 것이다.

5. 콘크리트 라이닝

掘鑿이 完了된 寫眞 4와 같은 豎坑의 側壁은 아래에 적을 몇가지 理由로 그 表面을 完全히 覆工하는 工法을 擇하였다.

(1) 裸壁의 岩石은 地下水 및 表面 空氣의 影響으로 漸次 風化作用을 받아 軟岩으로 變하게 됨으로써 落石이 되어 豎坑 構造物의 安全度를 줄이게 된다는 點

(2) 掘鑿面에는 凹凸이 많으므로 bunton(橫으로 건너지른 一種의 보) 設置時에 그 길이의 大小로 部分的인 追加掘鑿이나 bunton의 切斷等으로 施工이 粗雜하여 그 正確性을 期하기 어렵다는 點

(3) 裸壁일 境遇는 壁體에서 湧出되는 地下水의 處理가 어렵게 되고, 이로 因하여 使用鋼材는 極甚한 腐蝕作用을 惹起시키게 되고 또한 落下水의 影響으로 豎坑의 運用上 圓滑을 期할수

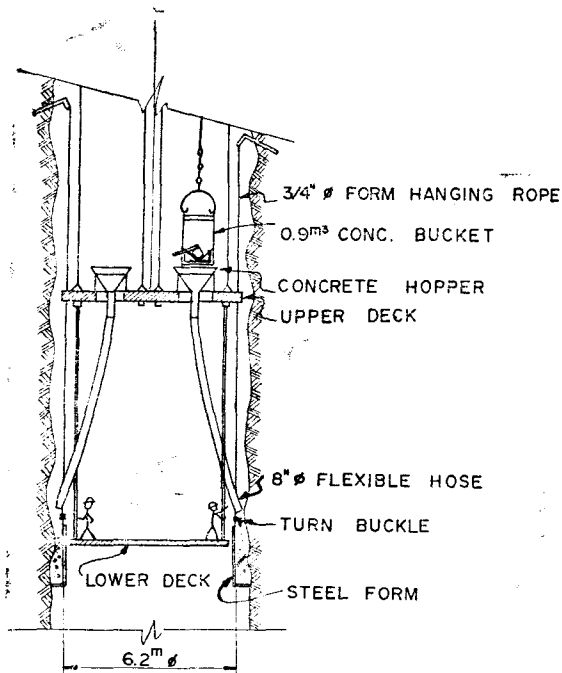


그림 6 Concrete Lining

없다는 점

(4)外觀上 安定感이 적을 뿐만 아니라 美觀에도 좋지않다는 점

그림 6은 콘크리트 라이닝 作業을 說明한 것으로서 上部 主 水平坑道인 602m level에서 mixer에 依해 混合된 콘크리트를 belt conveyor로 연결, concrete kibble에 積載 下降시켜서 scaffold 위에 있는 concrete hopper에 부어지면, 여기서

表 5

Grouting 實績

區 分	孔 數	시멘트使用量	W/C	最大注入壓	平均시멘트	備 考
裸 壁	13	85	90~130%	kg/cm ² 30	袋/孔 6.5	
콘크리트壁	95	398	130~180	20	4.2	
計	105	483				

7. bunton 設置

normal bunton은 그림 2에 보인 k₁ k₂ k₃ k₄와 k₅의 鐵材 beam으로서 寫眞 1에서 보는 바와 같이 4m 간격으로 組立되어 있다.

그런데 normal bunton은 1~2mm의 精密度를 갖어야 하며, 이를 爲해 그림 7과 같은 簡易



그림 7. JACK

chute를 따라 steel form과 岩石 사이에 들어가게 된다.

이때 steel form은 上部에 設置된 roof-bolt에 매어달린 rope로서 組立하게끔 되어있고 rope 中間에는 turnbuckle이 있어 form의 位置를 調整하게 하였다.

concrete 養生의 條件으로서는 坑內 溫度가 實地로 10°C~15°C로서 標準溫度(23°C)에 未洽하였고 濕度는 90% 程度로 만족 할 수 있었다.

concrete는 施工後 施工줄눈(joint)을 볼때 laitance가 보이지 않는 것으로 보아 養生時 bleeding 現象이 없었다는 좋은 結果이고 後日 schmidt test hammer의 試驗結果로도 그 28日 壓縮強度가 180~220kg/cm²로서 所期의 成果를 얻었다고 할 수 있다.

concrete 現場配合 重量比는 1 : 1.85 : 3.26으로서 骨材 計量을 爲하여 2,000kg 容量의 Weighing hopper가 使用되었으며 粗骨材는 現場에서 掘鑿된 岩石을 破碎 使用하고 細骨材는 榮州 近方의 文丹砂를 運搬하여 使用 하였다.

6. 그라우팅 工事

掘下때 出水가 甚한 部分과 콘크리트 라이닝 後에도 壁體에서는 微細한 틈으로 물이 흘러 내려 이러한 部分에는 grouting을 施行하였으며 그 實績은 表 5와 같다.

JACK를 利用하여 leveling과 centering을 進行시켰다.

bunton은 3段의 scaffold 上에서 設置되었으며 bunton hole에 充填된 물탈이 어느 限界까지의 強度가 되어야만 scaffold를 옮겨서(上方向) 다음 차례의 bunton을 設置할 수 있다. 이때 充填물탈의 硬化 시간이 너무 길면 結果적으로 工期가 相當히 걸리게 됨으로, 急結硬化劑를 市中에서 調査한 結果 日本에서 開發한 non-shrink를 選擇하게 되었다.

表 6. bunton 3組(3×5=15個)當 組立時間

項 目	分 類	作業時間(hr)		備 考
		急結시멘트	보통시멘트	
bunton	假組立	15	15	
bunton	調停	18	18	
guide frame	取付	10	10	
bunton	再調停	12	12	
mortar	充填, 硬化	12	240	
	後整理, 作業臺上揚	5	5	
	計	72	300	

表 7 Non-Shrink 化學成分

成 分	Al ₂ O ₃	CaCl ₂	Fe	其 他	合 計	備 考
率(%)	trace	3.33	83.98	12.69	100	

表 8. Non-Shrink Concrete의 物理的 性質

Flow (m/m)	W/C (%)	可使時間 (分)	Shrinkage (%)	壓 縮 強 度 (kg/cm ²)					備 考
				3hr	1day	3day	7day	28day	
100	45	15	+0.02	15	200	420	580	600	4回시험의 平均 値임

※ 配合重量比는 시멘트 : Non-Shrink : 모래 : 자갈 = 1 : 1 : 2 : 4

8. bunton의 強度

bunton 및 guide rail에 對한 強度計算은 獨逸 鑛山의 保安規則⁽¹⁾에 따라서 檢討하였으며 여기서는 guide rail에 對한 彎曲應力과 그 安全率만을 求하고자 한다.

① guide rail이 받는 水平力

$$Pg^v = \frac{Q}{12}$$

여기서

Q = skip 및 cage의 荷重

② bunton이 받는 水平力

$$P = \frac{Q}{12} \times f$$

여기서

f = bunton의 pitch에 따라 變하는 係數
 $= 1 + 0.5 \times \frac{l - 150}{150}$

(l 은 cm單位的 bunton pitch)

③ bunton이 받는 垂直力

表 6은 bunton 3組 組立에 所要되는 時間을 보통 시멘트와 急結시멘트를 使用 했을때와를 比較한 것이다.

全體의 normal bunton 170組에 對하여

$$\frac{170}{3} = 57$$

故로 表 6의 合計 時間을 57倍 하면

急結시멘트 = 72 × 57 = 4,104hr ≃ 170日

보통시멘트 = 300 × 57 = 17,100hr = 710日

그러므로 보통 시멘트를 使用한 몰탈 施工때 보다 急結 시멘트를 使用한 몰탈을 쓸때는 工程이 約 1/4 程度 ($\frac{170}{710} \div \frac{1}{4}$)로 短縮됨으로 結局 日本 non-shrink가 施工에 쓰였으며 表 7과 表 8은 參考로 non-shrink의 性質을 나타낸 것이다.

$$S^v = 0.25 P$$

④ guide rail이 받는 最大彎曲 moment

$$M_{max} = \frac{Pg \cdot l}{4}$$

여기서 l = bunton의 pitch

⑤ 計算例

guide rail에 對한 應力에 關하여 檢討하고자 한다. 먼저 skip 및 cage에 對한 荷重을 求하면 表9와 같고 그림 8을 參考로 한 使用 guide rail의 諸元은 表10에 보인다. 지금 skip guide rail에 對한 計算을 보이면 다음과 같다.

表 9. Skip 및 Cage 荷重

荷 重	Skip(kg)	Cage(kg)	備 考
自 重	10,000	10,000	
載 荷	20,000	11,000	
rope 및 締結具	9,500	9,500	
計	39,500	30,500	

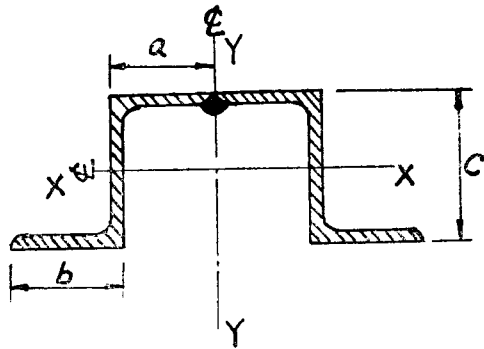


그림 8. guide rail

skip 의 guide rail 에 對한 水平力은

$$Pg = \frac{Q}{12} = \frac{39500}{12} = 3290 \text{ kg}$$

$$\text{故로 } \sigma_b = \frac{M_{max}}{Z} = \frac{Pg \cdot l}{4Z} = \frac{3290 \times 400}{4(184 \times 2)} = 897 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{安全率 } n = \frac{4100}{897} \approx 4.6$$

表 10 使用 guide rail 의 諸元(그림 8參照)

部 材	a	b	c	I _x	Z _x	i _x	I _y	Z _y	i _y	備 考
	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
Z-156×92	92	92	156	1,430	184	6.0	536	62	3.7	Skip
Z-152×90	90	90	152	674	105	5.6	321	41	3.5	cage

表 11 guide rail 의 應力

guide rail	最大水平力 (kg)	最大彎曲應力 (kg/cm ²)	安全率 n	備 考
skip	3,290	897	4.6	
cage	2,542	606	6.8	

9. 坑內 腐蝕

寫眞1과 같이 豎坑의 構造物은 거의 全部가 鐵材로 되어 있다. 그런데 鐵材는 그 놓이는 環境에 따라 腐蝕率이 다르겠으나 特히 相對濕度(relative humidity)는 그 增加에 따라 急激한 變化를 갖어온다. 그림9는 "Chemistry in Engineering"

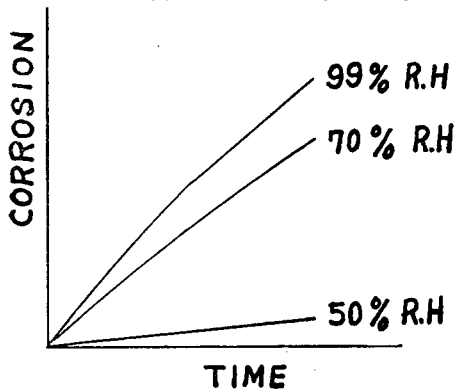


그림 9. 相對濕度에 따른 鐵材腐蝕

(L.A. Munro 著 1964)에 있는 226 페이지의 圖面을 拔萃한 것으로 相對濕度가 60%以上이 되면 녹이 發生 한다고 한다.

그런데 本 工事 地點인 長省豎坑의 경우 相對濕度는 90%를 上廻하고 있어서 鋼構造物의 腐蝕率은 相當히 크며 實地로 0.3mm/year 로 計上되고 있다. 그래서 腐蝕에 對한 對備策으로 試驗調查한 asphalt 系 塗裝을 施行하였으며 그 配合比를 적으면 表12와 같다.

表 12 Asphalt 塗裝의 配合例

材 料	規 格	軟化點	配合率 %	備考
blown asphalt	PN 10~20	90°C	37.5(容積)	
straight asphalt	AP-3	45°C	12.5(")	
volatile oil			50(")	
計			100(")	

10. 排水管 設計

排水本管은 300 m의 揚程을 갖는 排水量 最大 7.6 m³/min 으로 動力은 400HP pump 2臺를 使用하여 排出 시켰으며 그 管路는 300φ steel pipe 로 75m 마다 固定點(fixed point)를 두고 8m 간

격으로 振止點 (clamp point)를 設置하고 또한 固定點 사이에는 伸縮이음(expansion joint)를 두어 溫度變化에 따른 膨脹이나 收縮에 對하여 挫屈應力이 일어나지 않게끔 하였다. 또한 pumping의 突發的인 停止等으로 因한 管内部의 水擊作用(water hammer)이 pump에 미치는 影響을 미리 防止하고자, pump의 吐出口에 있는 check valve 앞 部分에 surge relief valve를 달아 by-pass 하게끔 하므로써 水擊作用이 일어나지 않게 하였다.

1) 管의 強度

㉑ 水壓에 依한 強度

$$\sigma_1 = \frac{D_i P}{2 t} \text{ kg/cm}^2$$

여기서 P=作用하는 水壓(kg/cm²)

D_i=內徑 (mm)

t=管의 두께 (mm)

㉒ 管의 自重에 依한 壓縮應力

$$\sigma_2 = \frac{W}{\frac{\pi}{4}(D^2 - D_i^2)} \text{ kg/cm}^2$$

여기서 W=管의 自重 (kg)

D=外徑 (cm)

D_i=內徑 (cm)

㉓ 合成應力

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

그래서 排水本管은 이 合成應力에 견딜 수 있게 設計하였다.

11. 豎坑의 運用

完工된 豎坑은 運搬機具로서 skip와 cage가 있으며, skip는 運搬速度 7 m/sec로 300 t/hr의

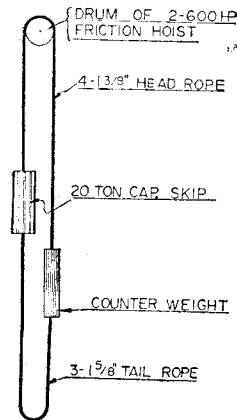


그림 10 SKIP 연결

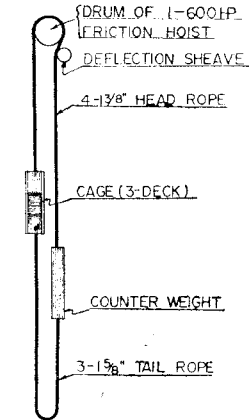
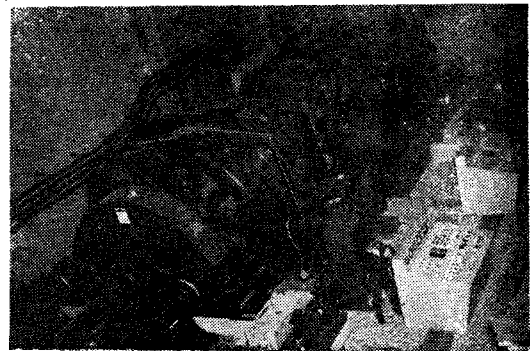


그림 11 CAGE 연결

運搬能力을 가지며, cage 역시 7 m/sec의 速度로 3段, 60人/回 또는 2 m³의 硬車 3輛/回(11t/回)의 運搬能力을 갖었으며 두가지가 다 鋼材로 組立된 것이다.

表 13 Hoist 重要諸元

Hoist使用部分		SKIP	CAGE	備考	
原	種類	直流電動機	直流電動機		
	出力	2@ 600HP	600 HP		
	回轉數	500 r.p.m	500 r.p.m.		
	機	美國 Westing-house	美國 Westing-house		
機	hoisting type	counter balanced friction hoist	counter balanced friction hoist		
	運搬能力	300 t/hr	8 trips/hr		
	drum 直徑	3,050 mm	3,050 mm		
	tread pressure	19.3 kg/cm ²	17.4 kg/cm ²		
	max. suspended load	82,180 kg	73,829 kg		
	unbalanced load	10,000 kg	5,660 kg		
	rope speed	7 m/sec	7 m/sec		
	rope head	4@ flattened strand	4@ flattened strand		
	部	種類 tail	3@ multiple strand	3@ multiple non-strand rotating	
	分	rope head 直徑	34.8 mm	34.8 mm	
tail 直徑		41.3 mm	41.3 mm		
breaking strength, per rope		87,000 kg	87,000 kg		
rope의 安全率		7.56	8.50		
	Pay load	20 t	11 t		



寫眞6. 3@600HP의 施設을 가진 hoist room의 偉容

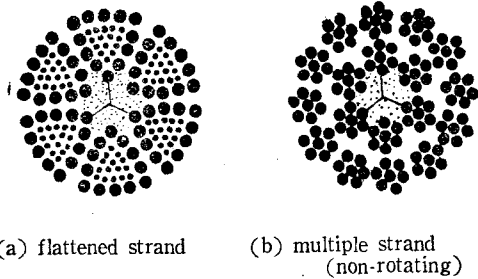


그림 12 wire rope

表 14 施工裝備一覽表

項 目	規格 및 容 量	數 量	備 考
rock drill	3m ³ /min	10臺	
rock kibble	1.5m ³	4 "	
hoist	350HP	2 "	
air hoist	15HP	2 "	
self d hoist	25HP	4 "	
air compressor	350HP	1 "	
硬 車	0.75m ³	40 "	
loading pan	0.38m ³	4 "	
rock shovel	0.3m ³	1 "	
battery locomotive	5 t	2 "	
discharge pump	250 GPM	9 "	
jaw crusher	75HP	1 "	
roller crusher	75HP	1 "	
scraper	50HP	1 "	
scaling hopper	2 t	1 "	
chain conveyor	25HP	2 "	
concrete kibble	0.9 m ³	2 "	
concrete mixer	0.75m ³	各 1 "	
concrete feeding conveyor	0.5m ³		
grouting machine	30HP	1 "	
side dump car	30kg/cm ² max.	1 "	
"	0.75 m ³	30 "	
"	3m ³	16 "	
vibrator	30cm	4個	

이들의 動力으로는 skip hoist가 2@600HP 이고 cage가 1@600HP로 자세한 것은 表 13을 參考로 하기 바란다.

表13에 보이는 wire rope 種類의 欄에서 두 가지 rope에 對한 斷面을 그리면 그림 12와 같은 것이다.

12. 맺는 말

以上과 같이 長省豎坑은 그 建設期間에는 作業條件上 그 運搬機能이 圓滑치 못하였다는 點과 外資導入에 따른 諸般技術의인 難點等으로서 많은 試鍊을 치루어야만 하였다.

그러나 本 豎坑工事의 完成으로서 深部採炭의 缺點인 運搬系統을 自動 機械化하여 水平坑 및 斜坑에서는 conveyor system으로, 豎坑에서는 매머드 skip으로 轉換함으로 말미아마 生産된 石炭의 輸送時間을 短縮시킴으로써 深部開發의 難點을 克服하게 되었다.

오늘날 石炭産業은 漸次 斜陽化되어 가고 있는것이 世界的인 趨勢라하겠으며 우리나라도 例外일 수는 없다.

그러나 우리나라에서는 石炭이 天然資源으로서는 唯一한 에너지資源으로 그 效率的인 開發이야말로 時急한 것으로서 本 工事로 因한 可採埋藏量은 무려 2,800萬 ton이나 되며 이로써 2億 6千萬弗의 外貨를 節約하게 될 것이다.

또한 公益 事業體인 大韓石炭公社에서 純粹한 우리나라 技術陣으로 우리나라 最大인 擘터러 國際水準인 매머드 豎坑을 建設하여 經營合理化를 圖謀하고 있음은 慶賀 할만한 일이라 하겠다.

따라서 이와같은 新技術을 工學的인 面에서 綿密히 檢討, 分析하여 祖國近代化의 急速한 發展策으로서 要請되는 地下資源開發産業의 建設과 海底油田의 開發等 앞으로의 建設工事에서 當面하게 될 問題點의 參考資料로 다소나마 寄與함이 있다면 筆者는 多幸이라고 생각하는 바이다.