

measuring leakage in air lines

林 光 圭

<雙龍洋灰寧越工場採礦課參事>

abstract

- ◆.....본 시험은 현장에서 실시 가능한 간이식 측정 방법에 의하여.....◆
- ◆.....실시되었으며 pipe line의 點檢, 補修 등의 불철저로 인한 air.....◆
- ◆.....leakage 량은 전체 壓機 토출량의 12.42%에 달하고 있다.....◆

I. 概 要

compressed air는 현재 鑛山, 土木 및 建築工 事 등에서 널리 사용되고 있는 주요 動力源 중의 하나이다. 그러나 效率의인 動力源 중의 하나로 널리 認定받고 있는 反面에 이를 사용하고 있는 現場 技術者들은 壓縮空氣를 損失 없이 經濟的으로 사용할 수 있는 방법에 대해서는 모르고 있는 실정이다.

當鑛山の 경우 現採鑛用 comp. 용량 3,600 C.F.M 以外 增設과 더불어 3,600 C.F.M 용량의 comp.가 增大됨에 따라 現採石原價의 13%를 占有하고 있는 comp. 運營費의 節減에 主眼을 두어 우선 壓氣의 漏洩實態를 파악하는 방법을 모색, 本試驗을 實施하였으며 本文에서는 엄밀한 理論을 근거로 한 試驗은 現場條件上 실시치 못하였으므로 現場에서 實施可能한 簡易式 試驗結果에 대하여 記述, 紹介코자 한다.

II. 理論的 考察

<그림-1>과 같이 壓力을 縱軸, 時間을 橫軸으로 하면 漏洩의 大小에 따라 曲線의 型이 달라진다.

壓氣의 leakage가 全無할 境遇에는 ①의 曲線

과 같이 壓機 정지 후에도 壓力은 下降치 않고 繼續水平으로 維持될 것이며 leakage가 커짐에 따라 ②, ③ 曲線과 같이 一定壓力까지 上昇하는 時間이 늦어지고 壓機 정지 후의 降下하는 速度는 빨라질 것이다. 즉 壓力의 上昇은 「壓機 토출량 - leakage 量」에 起因(比例)하며 壓力의 降下는 leakage 量에 起因한다는 것을 알 수 있다.

III. leakage rate

上記 理論的 考察을 근거로 하여 壓力 下降曲線에서 leakage 량을 $q \text{ m}^3/\text{min}$, 管路 용적을 $V \text{ m}^3$ 라 하고 $t \text{ min}$ 에서 壓力이 $p_1 \rightarrow p_2$ 로 下降하였다면

$$q = \frac{(p_1 - p_2) V}{t}$$

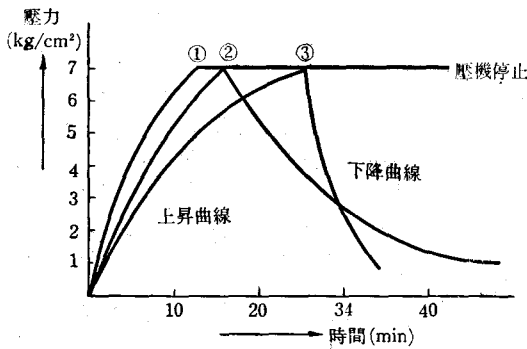
고로 任意壓力下에서의 leakage 량은

$$q = \frac{dp}{dt} V \dots\dots\dots ①$$

즉 leakage 량은 壓力下降曲線에 관하여 그 壓力에서의 勾配를 구하여 管路 용적을 乘하면 된다. 또한 壓力上昇曲線에서 壓機吐出量을 $Q \text{ m}^3/\text{min}$ 라 하면

$$Q - q = \frac{dp}{dt} V$$

上昇曲線 勾配를 $\frac{dp}{dt} a$, 下降曲線 勾配를 $\frac{dp}{dt} b$ 라



<그림-1> 壓力와 時間과의 關係

하면

$$Q = \frac{dp}{dt} \cdot a \cdot V + \frac{dp}{dt} \cdot b \cdot V \dots\dots\dots ②$$

①式과 ②式에 의하여 leakage rate는 다음과 같다.

$$\frac{q}{Q} = \frac{\left(\frac{dp}{dt}\right)b}{\left(\frac{dp}{dt}\right)a + \left(\frac{dp}{dt}\right)b} \times 100 \dots\dots\dots ③$$

즉 壓力의 上昇下降曲線의 勾配를 구하여 比率를 구하면 計算할 수 있다.

IV. 試 驗

1. 準 備

- 1) 미리 管路 용적을 測定하여 관로 용적표, 배관망도를 作成하였다.
- 2) 試驗 범위는 平常時 作業을 고려 全作業場을 대상으로 하였고 valve의 作動狀態를 check, 作業終了 후 pipe terminal의 valve들을 모두 close 하였다.

2. 試驗人員 및 測定器

- 1) 試驗總括: 1名, 進行指揮
- 2) time study: 1名, stop watch 準備
- 3) pressure study: 1名, 壓機에 부착되어 있는 low 및 high pressure gauge 중 high pressure gauge의 눈금을 0.1~0.2 kg/cm² 단위로 補助 눈금을 準備하였다.
- 4) 記錄者: 1名, 미리 樣式을 준비 時間, 壓力을 記入해 나갔다.
- 5) 壓機運轉員: 1名, 進行指揮者의 信號에 따라 壓機運轉 및 停止

3. 測 定

3,600 C.F.M comp. 2台 중 1號를 對象으로 하였으며 receiver 및 pipe의 valve를 열어 壓力을 0 point에 놓고 다시 全 valve를 폐쇄한 후 壓機를 운전하여 30초마다 p를 測定해 나갔다. 또 comp.上에 부착되어 있는 pressure gauge上의 壓力이 7 kg/cm²에 달할 때 壓機를 停止하고 leakage만으로 일어나는 壓力降下를 같이 測定하였으며 5.5 kg/cm² 이하의 降下時間은 대단히 늦고 또 實用上 필요 없으므로 측정하지 않았다.

V. 測定結果의 處理

1. 壓力曲線의 表示

이 曲線圖는 앞으로 計算의 基礎가 되므로 大型方眼紙(700×500) 3매를 連結하여 縱軸은 壓力 1 kg/cm²를 50 mm로 잡고 橫軸은 時間 1 min을 100 mm로 잡아 測定值를 點入하였으며 그 결과의 曲線圖는 <그림-2>와 같다.

2. 壓力勾配 算出

作業에 實用性이 있는 5.5~6.5 kg/cm²間的 壓力勾配만을 求해 보면 <그림-2>의 壓力, 時間의 實測曲線에서

$$\text{壓力上昇曲線勾配는 } \left(\frac{dp}{dt}\right)a = \tan \alpha = \frac{bc}{ab}$$

$$\text{壓力下降曲線勾配는 } \left(\frac{dp}{dt}\right)b = \tan \beta = \frac{b'c'}{ab'}$$

이므로 $ab = a'b' = 10 \text{ cm}$ 一定으로 하고 여기에 대한 $bc, b'c'$ 의 길이를 方眼紙의 눈금에서 읽어 잡았다. 方眼紙上에서

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)a = \frac{bc}{ab} = \frac{5.5}{10} = 0.55 \dots\dots\dots ④$$

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)b = \frac{b'c'}{a'b'} = \frac{0.78}{10} = 0.078 \dots\dots\dots ⑤$$

④, ⑤를 ③式에 代入하면

$$\begin{aligned} \frac{q}{Q} &= \frac{\left(\frac{dp}{dt}\right)b}{\left(\frac{dp}{dt}\right)a + \left(\frac{dp}{dt}\right)b} \times 100 \\ &= \frac{0.078}{0.55 + 0.078} \times 100 = 12.42\% \end{aligned}$$

즉 leakage 率은 12.42%이다.

3. leakage 量 算出

③式에서

<表-1> 算 出 表

pipe 規格	設置延長	容 積	備 考
3 "	60.5 m	0.275 m ³	
4 "	1,419.2 "	11.452 "	
6 "	1,657.1 "	30.191 "	
8 "	11.8 "	0.381 "	
計		6.28	receiver capacity 임
		48.579 "	

<表-2>

形 式	저압 cy- linder 徑 (mm×數)	고압 cy- linder 徑 (mm×數)	stroke (mm)	R.P.M	piston 압축량 m ³ /min	최고토 출압력 kg/cm ²
16-10×2	407×2	254×2	178	600	55.2	8.8

$$\frac{q}{Q} = 40.302 \times 12.42\% = 5.005 \text{ m}^3/\text{min}$$

1) 管路容積算出

2) Comp 용량 算出

$$V = 2 \times \frac{\pi D^2}{4} \times L \cdot N \dots \dots \dots \text{①'}$$

V : 毎分에 cylinder 가 吸入하는 free air 량 (ft³)

D : cylinder 의 直徑(ft)

L : stroke length (ft)

N : R. P. M

鑛山에 設置된 comp.의 spec.는 ①' 式에서

$$V = 2 \times \frac{3.14 \times (1.335)^2}{4} \times 0.58 \times 600 = 980.068 \text{ ft}^3/\text{min}$$

低壓 cylinder 2 개가 吸入運動을 하므로

$$980 \text{ ft}^3/\text{min} / \text{個} \times 2 \text{ 개} = 1.960 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$(1.960 \text{ ft}^3/\text{min} = 55.49 \text{ m}^3/\text{min})$$

이것을 spec.上의 piston 壓縮量과 비교해 보면 spec.上의 55.2 m³/min, 理論的 計算値는 55.49 m³/min 이다. 本試驗에서는 spec.上의 55.2 m³/min 을 적용키로 한다. 여기에 壓機의 volumatric efficiency, compression efficiency 를 고려하여 야 하므로 (machinery efficiency 는 巾單의 損失을 초래하므로 計算에서 除外)

$$\begin{aligned} \text{실토출량} &= \text{理論的吐出量} \times \text{용적효율} \times \text{압축효율} \\ &= 55.2 \text{ m}^3/\text{min} \times 88.5\% \times 82.5\% = 40.302 \text{ m}^3/\text{min} \\ &(40.302 \text{ m}^3/\text{min} = 1,423 \text{ ft}^3/\text{min}) \end{aligned}$$

丁榮植著 “採鑛學” 및 緒方乙丸編 “實用鑛山設計便覽” 參照

<表-3> 測定結果表

時 間	壓 力	압축된 유공기 량	전력소모	비 고
1' 0"	1.6 kg/cm ²	40.302		
2' 0"	3.0 "	"		
3' 0"	4.3 "	"		
4' 0"	5.7 "	"		
5' 15"	7.0 "	50.377		
計 5'15"		211.585	19.534 kw	

3) 1 m³ 의 空氣價格算出

① 動力費

<測定方法>

㉠ comp. 1 臺 가동 壓力 0 → 7 kg/cm² 에 到達時까지 가동 時間과 壓力 check

㉡ 7 kg/cm² 에 到達時 comp. 정지

㉢ low pressure cylinder 2 개 loading

<算 出>

$$19.534 \text{ kw} \div 211.585 \text{ m}^3 = 0.0923 \text{ kw}/\text{m}^3$$

$$0.0923 \text{ kw} \times 5.20 \text{ 원}/\text{kw} = 0.479 \text{ 원}/\text{m}^3$$

② 減價償却費 (定額法 적용)

comp 購入費 : 7,577,840 원 (67.9.27 구입)

耐用年數 : 15 年

$$\text{年償却額} = \frac{7,577,840}{15} = 505,189 \text{ 원}$$

$$\text{m}^3 \text{ 당 상각액} = \frac{\text{연상각액}}{\text{연토출량}} =$$

$$\frac{505,189 \text{ 원}}{12 \text{ m}/\text{y} \times 25 \text{ d}/\text{m} \times 8 \text{ hr}/\text{d} \times 60 \text{ 分}/\text{hr} \times 40,302 \text{ m}^3/\text{min}} = 0.08 \text{ 원}/\text{m}^3$$

③ 材料費 및 勞務費

月平均材料 및 勞務費
月 comp. 吐出量

$$\begin{aligned} &= \frac{86,400 \text{ 원}}{25 \text{ d}/\text{m} \times 8 \text{ h}/\text{d} \times 60 \text{ 分}/\text{h} \times 40,302 \text{ m}^3/\text{min}} \\ &= 0.178 \text{ 원}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

<1 m³ 의 air cost >

① 動力費 : 0.479 원

② 償却費 : 0.08 원

③ 材料 및 勞務費 : 0.178 원

$$\text{計 } 0.665 \text{ 원}/\text{m}^3$$

V. 經濟性 檢計

V 의 3에서 leakage 량은 5.005 m³/min 이다.

本試驗의 결과 當鑛山의 pipe line의 修理 點檢
및 整備不良으로 인한 經濟的 損失은

月손실액 = 25 d/m × 8 hr/d × 60 m/hr × 5.005
m³/min × 0.665 원/m³ = 79.879 원

<表-4>

壓力과 時間의 實測表

(0' 0''=0분 0초)

時 間	壓力上昇	壓力下降	備 考	時 間	壓力上昇	壓力下降	備 考
30''	0.8kg/cm ²			20' 30''		4.67	
1'	1.6			21'		4.65	
1' 30''	2.3			21' 30''		4.55	
2'	3.0			22'		4.50	
2' 30''	3.7			22' 30''		4.45	
3'	4.3			23'		4.40	
3' 30''	5.0			23' 30''		4.35	
4'	5.7			24'		4.30	
4' 30''	6.4			24' 30''		4.20	
5'	6.8		5' 15'' → 7kg/cm ²	25'		4.15	
5' 30''		6.90kg/cm ²		25' 30''		4.10	
6'		6.85		26'		4.05	
6' 30''		6.65		26' 30''		4.00	
7'		6.55		27'		3.95	
7' 30''		6.45		27' 30''		3.92	
8'		6.40		28'		3.90	
8' 30''		6.30		28' 30''		3.85	
9'		6.20		29'		3.83	
9' 30''		6.10		29' 30''		3.80	
10'		6.00		30'		3.75	
10' 30''		5.95		30' 30''		3.70	
11'		5.90		31'		3.65	
11' 30''		5.85		31' 30''		3.62	
12'		5.75		32'		3.60	
12' 30''		5.70		32' 30''		3.55	
13'		5.65		33'		3.50	
13' 30''		5.55		33' 30''		3.47	
14'		5.50		34'		3.45	
14' 30''		5.40		34' 30''		3.40	
15'		5.30		35'		3.37	
15' 30''		5.25		35' 30''		3.35	
16'		5.20		36'		3.30	
16' 30''		5.10		36' 30''		3.25	
17'		5.05		37'		3.20	
17' 30''		5.00		37' 30''		3.15	
18'		4.90		38'		3.10	
18' 30''		4.85		38' 30''		3.05	
19'		4.80		39'		3.00	
19' 30''		4.75		39' 30''			
20'		4.70		40'			

註: 1) 稼動 후 5' 15'' 에 壓力이 7kg/cm² 로 上昇하였음
2) 3kg/cm² 이하는 實用성이 없어 測定치 않음

VII. 結 言

① 本試驗은 壓機의 漏洩狀
態를 파악키 위한 試驗으로 現
場에서 實施可能한 簡易式 測
定方法에 의하여 實施하였으며
② 當鑛山에 設置되어 있는 pipe
line의 總延長은 3,150 m 이고
③ 當鑛山의 compressor 公칭
용량은 3,600 C.F.M 이나 토출
량은 $40,302 \text{ m}^3/\text{min}/\text{台} \times 2 \text{ 台}$
 $= 80,604 \text{ m}^3/\text{min}$ (2,846 C.F.M)
이며 ④ 大氣壓下의 free air
 1 m^3 를 7 kg/cm^2 까지 壓縮하
는 데는 0.0923 kw/m^3 의 電力
이 所要된다. 또 ⑤ 現場에서
사용하고 있는 壓縮空氣 1 m^3
의 價格은 0.665 원/m^3 이며
⑥ leakage 량은 $5.005 \text{ m}^3/\text{min}$
로서 이로 인한 經濟的 損失은
月約 80,000 원이다.

