

버터후라이 밸브에 대한 小考

(株) 聯合機械技術部

流體의 遮斷 또는 制御의 目的으로 使用되는 버터후라이 밸브(Butterfly Valve)의 需要는 最近 漸次 伸張되고 있는 實情이다. 이 밸브는 送水管路는 말할 것도 없고, 火力發電所의 터빈(Turbine) 冷却水路, 콘덴서(Condensor)의 冷却水路 制御에도 많이 使用되며, 石油工業의 送油管路의 制御 및 船舶用으로도 많이 쓰이고 있다.

이러한 趨勢에 놓인 Butterfly Valve 에 對한 理論的이나 技術的인 理解不足으로 오는 設計上의 Miss 를 多少나마 미연에 防止해 보자는 意圖로 간단히 說明을 하고저 한다.

버터후라이 밸브의 종류나 형식은 여러가지가 있고 그 特性 또한 여러가지로 분류할 수 있으나 여기에는 우선 水道用으로서의 Butterfly Valve 에 對하여 紹介하고저 한다.

1. Valve의 Size 決定

Valve를 流體의 遮斷, 切換等의 ON-OFF의 目的으로 使用하는 Butterfly Valve 는 壓力損失을 最小로 하기 爲해, Valve 口徑을 配水口徑과 같이 하는 것이 보통 이지만, 流體의 制御를 目的으로 使用하는 Butterfly Valve 는 壓差를 求하여 아래 (1) 및 (2) 式에 依하여 計算하여 求할 수 있다.

Valve의 容量을 表示하는 數值로서 Cv 라는 係數는 世界共通記號로서 Valve의 前後의 壓力差가 0.07kg/cm²를 유지한 狀態에서 流出하는 맑은 물의 流出量을 Gal/min으로 表示한 無次元數이고 同一口徑의 同一한 Butterfly Valve 에는 使用狀態에 關係없이 一定한 값을 가지는 固有한 數值이다.

計算 方法에 있어서는 最大流量때의 最大壓差時의 Cv 값을 計算하고 다음 第1圖에서 Valve 開度가 60° 때, 計算한 Cv 값을 나타내는 Valve의 口徑을 選定하면 된다. 60° 開度로 選定하면 實際의 Plant에 있어서 多少 流量, 壓差의 變動은 있어도 오버사이즈(Over Size)거나, 過小口徑 選擇으로 流量不足이 오는 事態가 일어나지 않으며, 그러므로 制御性도 좋다는 것을 알 수 있다.

流體가 液體일때,

$$Cv = 1.17Q \sqrt{G/\Delta P} \dots\dots\dots (1)$$

$$d = \sqrt{Cv/K} \dots\dots\dots (2)$$

이때 Q : 流量(m³/hr)

G : 流體의 比重

ΔP : 壓差 (kg/cm²)

K : B. F. Valve에서는 17임

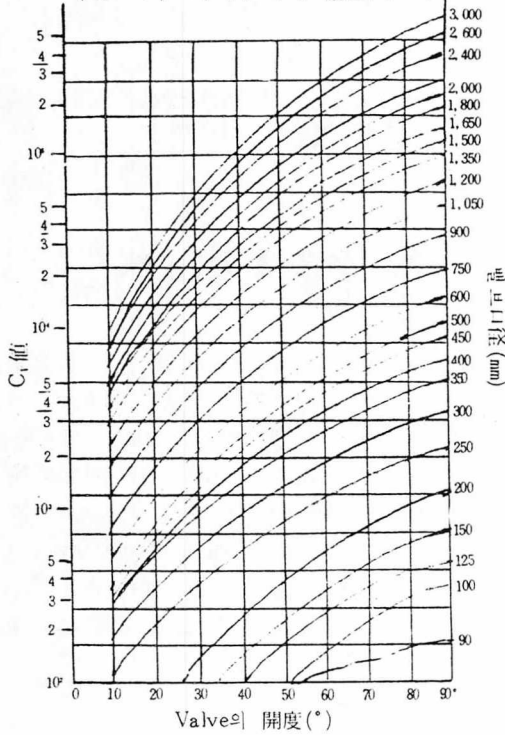
2. Valve Shaft의 設計

Butterfly Valve를 選定하는 경우, 그 使用 目的에 따라 構造가 달라질 수 있다는 것을 考慮하여야 할 것이다. 이것은 주로 Valve 軸(Shaft)의 構造에 集中되게 된다.

流體의 遮斷을 目的으로 使用되는 Valve의 Shaft는 Bearing Bush의 形式으로 製作되는 수가 많고 이때 Valve Shaft의 길이는 비교적 짧다. 流體의 製御를 目的으로 使用하는 것에 있어서는 Ball bearing을 쓸 수도 있다.

腐蝕이나, 溫度의 影響으로 因하여 回轉 Moment에 深한 影響이 미치어 Valve의 開閉操作이 不可能해 지는 일이 생긴다면 이는 큰 問題가 아닐 수 없다. 그러므로 이를 피하기 위하여

(圖-1) 버터후라이 밸브의 C_v



는 Shaft의 兩끝 支持部分에는 直接 流体가 닿지 않도록 設計 되어야 한다. 이러한 設計條件에 맞게 하기위하여 Valve Shaft의 兩쪽 支持 끝에는 Bearing Bush의 形式을 쓰게 되는 것이다.

Valve Shaft 外周部에 생기는 摩擦損失은 Valve Shaft의 Deflection에 큰 影響을 미치는 하나의 因子가 된다. Valve Shaft의 強度가 이 摩擦과 流体壓力을 이겨내는 가를 檢討할 필요가 있다.

Valve Shaft의 Deflection은 中心에 集中荷重을 加하는 兩끝을 支持한 보(樑)로 생각 할 수 있고,

이때 deflection d는

$$d = \frac{FL}{48EI} (3L^2 - 4L_1^2) \dots\dots\dots (3)$$

- 단, E : Young 率 (kg/cm²)
- I : 斷面 二次 Moment (cm⁴)
- F : Disk 걸리는 힘 (kg)
- A : Disk의 壓力을 받는 面積 (cm²)
- L : 兩端支持間 距離 (cm)

L, : 許容 Deflection을 定하는 위치 (cm)
 円型斷面에 있어서 二次 Moment I는

$$I = \frac{\pi}{64} d^4 \dots\dots\dots (4)$$

d = Valve Shaft의 直徑 (cm)

disk에 미치는 힘 F는

$$F = 0.785d^2 \dots\dots\dots (5)$$

그러므로 許容 deflection이 定해지는 位置 L₁에 있어서, deflection이 Valve Shaft와 Body 사이의 Clearance를 넘지 않는 정도라야 摩擦 損失이 적어지게 된다.

3. Butterfly Valve의 Torque

Butterfly Valve의 Disk에 作用하는 Torque는 Balanced Torque와 Unbalanced Torque로 大別할 수 있고, 前者를 靜 Torque, 後者를 動 Torque라고도 한다.

Disk에 作用하는 힘이 Valve Shaft에 미치어 回轉 Moment를 일으키는 경우에 있어서 이 回轉 Moment를 Unbalanced Torque라고 할 수 있고, Valve disk를 完全히 닫았을 때 (全閉) Disk에 均一하게 作用하는 靜壓을 Balanced Torque라 할 수 있다. 이때 이 靜壓은 Valve Torque의 中心部에 最大의 Bending Stress를 주게 되어, Shaft 兩端에 剪斷應力이 作用하게 된다.

Valve Disk의 開度는 完全 닫힘(全閉)에서 부터 作動하여 열리기 始作할 때 Unbalanced Torque에 의하여 回轉 Moment가 作用하여 回轉 Moment는 Valve Shaft에 應力을 주게 되고 이때 不均衡한 關係가 이루어 지는데 開度 72°에서 最大値를 나타낸다.

이는 마치 流線型 비행기의 날개에 空氣의 흐름에 의하여 날개 上面의 壓力이 差異가 생기므로 因하여 機體를 上昇시키는, 또는 下降시키는 것과 마찬가지로 Disk의 回轉力을 일으킨다. 이때 Disk는 닫히려는 方向으로 轉動하게 된다. 이 Unbalanced Torque의 特性은 Disk가 열리기 始作 하면서 75°에 이를 때 까지 생기는 Torque로서 Balanced Torque는 이에 포함되지 않는 것이다.

Unbalanced Torque 는 Valve Disk 前後의 壓差, 流速, Valve Shaft의 摩擦損失 및 Disk 的 形態等에 따라 다르므로 이는 Valve의 形態에 따라 固有의 값을 가지게 되는 셈이다.

또한 開度 72°에서 最大를 나타내고, 차차 열려 完全열림(全開)에서는 Valve Shaft에 미치는 應력은 完全均衡을 이루게 된다. 이때 作用力은 Valve Disk의 重量 程度 밖에는 안된다.

이상의 설명으로 본다면 Valve Shaft의 設計는 Valve disk가 72°開度에서의 最大 Bending Stress 및 剪斷應力이 作用함을 念頭에 두고, 即 Valve Torque에 견딜수 있는 Shaft를 設計하여야 한다. Butterfly Valve의 Torque에 關한 實驗研究 結果로 얻어진 Torque의 計算法은 次機會 소개하고자 한다.

4. Butterfly Valve의 損失水頭

配管計劃의 樹立에 있어서 損失水頭는 무시할수 없는 것이다. Pipe에 對한 水頭損失에 對하여는 주어지는 條件에 따라 一定한 公式에 의하여 쉽게 알아 낼수 있으나, Valve에 있어서는 Valve의 形式에 따라 각각 다른 數值가 있으며, 配管 全体에 미치는 比重은 대단히 큰 것이다.

이 數値는 管内 流速의 函數라 할수 있으나 그 係數는 같은 形의 Butterfly Valve라 하더라도

라도 Valve disk의 形狀에 따라 서로 다른 特性值를 가지고 있다.

一般적으로 Butterfly Valve의 損失水頭는

$$H_f = f \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots 6)$$

이때 H_f : 損失水頭(m)

f : 損失係數

v : 管内流速(m/sec)

g : 重量의 加速度(9.8 m/sec²)

公式(6)에서 求할수 있고, 損失係數 f 는 下圖 第2圖에서 求할수 있으며 이圖表는 實例에 依한 것이다.

5. Butterfly Valve의 流量特性

流量의 制御를 目的으로 使用하는 경우, 특히 필요로 하는 要素는 流量特性과 最大容量이다.

Butterfly Valve의 流量特性은 Valve 自体로 여러가지 特性이 있는 Valve와는 달리 固有의 것을 가진 形式의 Valve이다.

Butterfly Valve의 流量特性은 Valve 開度와 容量의 關係인데 二次特性과 비슷한 것이지만, 이 特性으로 判斷되는 自動制御系는 대강 다음 여러 性質에 적응하는 것이다.

(1) Process의 負荷 또는 設定值가 變해도 制御量의 單位變化量에 對한 Valve의 流量變化量이 變하지 않을때,

自動制御系가

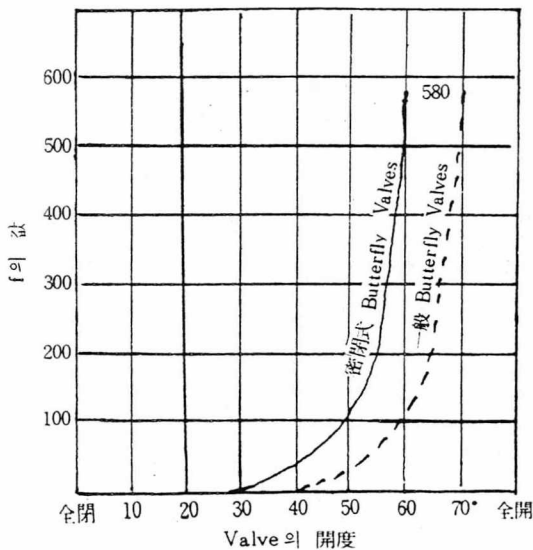
- (a) ON-OFF 動作時
- (b) 設定值가 얼마 변하지 않을때
- (c) 負荷가 얼마 변하지 않을때

(2) 設定值가 變해도 制御量의 單位變化量에 對한 Valve의 流量變化量이 一定할때,

自動制御系가

- (a) ON-OFF 動作時
- (b) 設定值가 얼마 변하지 않을때
- (c) 負荷가 얼마 변하지 않을때
- (d) 負荷만이 變하고 設定值가 변하지 않을 때

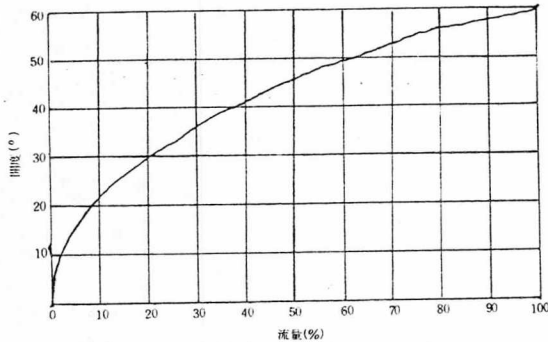
(e) 制御量을 檢出할때의 檢出特性이 Linear 일때, 負荷 또는 設定值의 變化



(圖-2) 損失係數 曲線

나유 第3圖는 Butterfly Valve의 固有流量特性을 보이는 것이다.

上記의 諸性の 어느 것이나 적절하다고 생각될 때, 다음의 문제는 Valve Size의 決定이다. Valve Size를 決定하는 것은 前述한바와 같이 Cv值로 計算하는 方法이 一般的인 것으로 많은 Engineer들은 이를 사용하고 있다. 그러므로 設計條件이 決定되면 그條件에 適應되는 Valve Size를 決定하는 問題는 Maker의 Catalog 나 技術資料에 依存할 수 있다.



(圖 - 3) 固有流量特性

6. Butterfly Valve의 Cavitation

流體의 制御의 目的으로 使用하는 Butterfly Valve에 있어서 Cavitation의 問題는 默過할 수 없는 것이다. 材料의 腐蝕에서 소위 erosion이나 過大한 振動도 이 Cavitation을 發達시키는 하나의 현상이라고 할 수 있는 問題인 것이다.

現在 Cavitation에 對하여 말할 수 있는 것은 水壓力이 낮은 部分에 空洞이 생기며, 이 空洞을 일으키는 현상은 다음의 것이라고 생각되어 있다.

- (1) 眞空壓에 依하여 일어나는 空洞
- (2) 水蒸氣의 發生에 따라 일어나는 空洞
- (3) 液體에 溶解된 空氣에 依하여 일어나는 空洞

固體는 引張應力이나 圧縮應力을 견딜 수 있지만, 液體는 壓縮에는 견디지만 引張에 對하여는 견디지 못하는 性質이 있다. 가령 流體의 흐름 가운데 眞空壓에 가까운 部分이 있다면 正壓에 對하여 그쪽으로 빨리 들어가는 현상이 일어난다.

그러나 液體는 引張에 견딜 수 없는 性質이 있기 때문에 연속으로 흐르던 흐름이 그部分에서 끊기게 된다.

이 現象은 揚水 Pump의 吸上 높이가 定格보다 높을 때 揚水되지 않는 現象과 마찬가지로의 空洞을 만드는 하나의 理由가 된다.

물은 大氣壓下에서 加熱하면 100°C에서 끓어서 증발한다. 끓는 溫度는 壓力이 높으면 溫度가 높아지고, 반대로 壓力이 낮아지면 溫度도 낮아진다.

例로서, 壓力이 0.01kg/cm²의 경우의 끓는 溫度는 6.6°C이고, 0.1kg/cm²일 때는 45.5°C에서 끓는다.

물은 空氣와 接觸되면 물속에 空氣가 溶解되어 결국 溶解된 空氣가 飽和되어 平衡을 이루게 된다. 이때 壓力이 커지면 溶解된 空氣의 量이 增加되지만, 낮아지면 溶解된 空氣가 分離되어 氣泡가 發生하게 된다. 이 現象은 맥주병 마개를 탈 때 氣泡가 생기는 現象 즉 높은 壓力에 눌러있는 液體가 急히 大氣壓으로 低下되면서 일어나는 現象인 것이다.

Cavitation이 發生하면 그것이 어떻게 發達되어 가는지 또는 그것이 性能에 어떤 영향을 끼치는지 하는 상세한 解析을 하는 것은 대단히 意義있는 일이고 때때로 發生하는 問題의 해결에 좋은 指針이 되는 것은 말할 것도 없다. 이 問題는 다분히 研究적 요소의 주체로서 주어질 수 있으나 응용면에 지극히 어려운 경우가 많다. 本稿에는 간단히 說明으로 그치고 次機會에 詳細한 說明을 하고자 한다.

7. Butterfly Valve의 限界流速

Butterfly Valve에 있어서의 限界流速은 液體에 있어서 4.5m/sec에서 7.5m/sec의 最大值로 되어 있다.

그러나 이 값을 넘어도 음향, 진동 및 Cavitation의 피해를 일으키는 정도에 있어서 장치를 파손시키는 사태까지 진전되지는 않는다. 가장 適當한 制御를 할려고 하는 條件으로는 流速의 決定이 重要한 事項이라고 할 수 있다.

流速을 定하는 計算式은 다음과 같다.

$$V_t = \frac{166 \times q}{A} \dots \dots \dots (7)$$

이 때 V_t : 流速 (m/sec)
 A : Valve의 流過面積 (cm²)
 q : 液体의 流量 (m³/sec)

$$t = \frac{144959 \times q}{A \times \Delta P} \dots \dots \dots (8)$$

이 때 : 液体의 流量 (m/sec)
 A : Valve의 流過面積 (cm²)
 ΔP : 閉鎖時 最大壓差 (kg/cm²)
 t : 限界開閉 時間 (sec)

8. Butterfly Valve의 限界開閉時間

管内에 물이 흐를때 Valve를 급히 遮斷하면 물의 運動 Energy가 壓力으로 變하여 急激한 壓力 上昇을 일으키는 現狀을 水衝現狀이라고 하며, 이로 因하여 Valve의 破損이나, 연결 機器에 큰 損失을 줄수 있다. 이 水衝現狀을 피하기 爲하여 最小限 時間을 주어 Valve를 閉鎖함 이 좋은가를 計算式을 소개하여 設計上 參考가 될 바란다.

9. 結 論

이상 간단한 연구에 대하여 발표된 이글이 다 소나마 上水道 설계 Engineer들에게 도움이 되었으면 하는 期待와 좀더 Butterfly Valves 에 대하여 研究하여야 爲겠다는 책임감을 가지고 앞으로 세밀한 연구 結果를 조속히 發表할 수 있기를 희망 하면서 結言하고자 한다.

이 글은 聯合機械 技術部 提供으로 싩습니다.

<49페이지에서 계속>

- 迪化~建國北路間에 3.2km의 主幹線 下水 管渠埋設 承德路에 幹線下水管渠埋設
- 糞尿 貯藏所 2 個所 建設
- ② 後半 3 年 (1978~1980)
 - 延平路에 幹線 下水管渠埋設
 - 放流施設 50 個所 建設
 - 糞尿貯藏所 1 個所 增設
 - 敦化路 光復路 및 吉林路에 幹線 및 支線 埋設

B. 効 果

- 都市下水의 65%를 處理

- 台北市의 糞尿 (900kℓ/日)를 完全處理
- 基隆江 汚染을 50%로 削減.

(2) 台北区 衛生下水道 建設計劃

目標年度 = 西紀2020年

計劃範圍 = 台北市 16 個 行政區

台北縣 14 個 鄉鎮市 } 97,000ha
 基隆市 1 個 行政區 }

計劃面積 = 25,000ha

計劃人口 = 640 万名

計劃汚水量 = 250 万吨/日