

# 펌프의 LCC

양태열\*

## 1. 서 론

유가가 100달러를 넘보는 고유가 시대가 도래함에 따라 에너지 비용 절감이 큰 관심사로 떠오르고 있다. 때문에 세계 에너지 수요의 약 20%를 차지하는 것으로 알려진 펌프 시스템의 운전비용에 대한 관심이 크다. 이에 펌프 및 펌프 시스템의 LCC(Life Cycle Cost: 생애주기비용)에 대하여 소개한다. 이 자료는 미국의 HI(Hydraulic Institute: 미 수력학회)와 유럽의 Europump(유럽 펌프협회)가 공동으로 집필한 "Pump Life Cycle Cost : A guide to LCC Analysis for Pumping Systems"에서 발췌한 것이다.

생애 주기비용이란 개념은 플랜트를 소유하고 있는 사업자, 플랜트를 설계하는 엔지니어, 그리고 이를 관리 운영하는 담당자들 모두의 관심사인 '최소의 비용으로 최대의 효과'를 어떻게 하면 실현할 수 있을까라는 관점에서 투자 대비 효과를 분석하는 목적으로 등장한 개념이다.

이러한 개념은 에너지 원단가가 꾸준히 증가하고 있는 현실과 일단 장비나 플랜트는 한번 설계가 되고 나면 이것이 운전비용, 보수유지비용 및 공장가동의 중단으로 인한 손해 등에 크게 영향을 미치고 있다는 사실에 기초하고 있다. 최근에는 여러 가지 소프트웨어의 발달로 인해 다른 대체모델로 투자할 경우의 효과 등을 쉽게 분석할 수 있기 때문에 설계 엔지니어나 공장의 운영관리 책임자들은 시스템을 설계할 때 반드시 LCP(Life Cycle Profit : 가동관련 총이익)를 고려하여야 하며 이것이 LCC의 중요성을 불러왔다고 할 수 있다.

펌프 시스템은 통상 15~20년의 사용기간을 기준으로 설계되는데 Fig. 1과 같이 장비비가 차지하는 비중은 상대적으로 적기 때문에 생애 주기비용을 고려한

설계가 필요하다.

### 1.1 생애주기 비용(LCC)의 요소

LCC는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$LCC = C_{ic} + C_{\in} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d \quad (1)$$

여기서

- $LCC$  : 생애주기 비용
- $C_{ic}$  : 초기비용(펌프, 시스템, 배관, 기타 초기에 구입하는 장비 및 서비스 비용)
- $C_{\in}$  : 설치 및 커미셔닝 비용
- $C_e$  : 에너지 비용(시스템 운전에는 필요한 에너지 비용의 합계)
- $C_o$  : 운전 인건비
- $C_m$  : 보수 유지 비용
- $C_s$  : 가동중단 및 이로 인한 생산중단 손실 비용
- $C_{env}$  : 환경비용(펌프대상 액체로 인한 환경오염 비용)
- $C_d$  : 폐기 및 처분비용

위의 각 항목에 대한 자세한 내용은 아래와 같다.

#### 1.1.1 초기비용 (Cic)

펌프시스템을 구입할 때 소요되는 비용으로 설계할 때 배관 규격을 작게 할수록 초기 설치비용이 적어지게 되며 선정된 장비의 품질, 내구성 등은 초기비용의 과다를 결정하는 요인이 된다.

초기비용은 엔지니어링, 구매, 시험 및 검사 비용 등을 포함하는 비용이라고 할 수 있다.

\* 금정공업(주)

\*\* E-mail : yang0502@chol.com

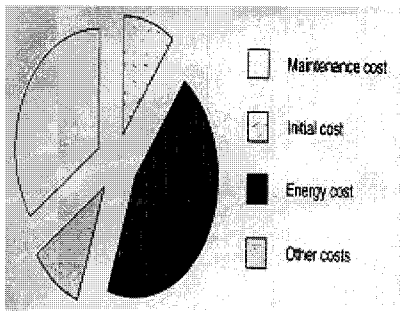


Fig.1 중규모 펌프시스템의 LCC의 구성비 예

### 1.1.2 설치 및 커미셔닝 비용 (Cin)

설치 및 커미셔닝 비용에는 바닥 기초 작업비용, 장비 장착비용, 배관 연결비용, 전기공사 비용, 보조설비 연결비용, 커미셔닝 비용 등을 포괄하는 비용이다.

### 1.1.3 에너지 비용(Ce)

에너지 소비는 주로 펌프 시스템을 가동하는 데 필요한 전력비용을 말하고, 비용 요소 중 큰 것 중의 하나이며, 특히 펌프가 연간 2,000시간 이상 가동될 경우에는 LCC에서 크게 차지한다. 에너지 소비는 장치의 출력 형태에 대한 자료를 우선 수집하여 계산한다. 만약 출력이 일정하다면 계산은 간단하게 된다. 하지만 출력이 시간에 따라 변화하면 시간변화에 대한 형태를 고려하여야 한다. 여기에는 보조장치에 소요되는 에너지 소비 비용도 포함된다.

### 1.1.4 운전비용(Co)

운전비용은 펌프 시스템의 운전과 관련되는 인건비의 합을 말한다. 그런데 운전비용은 시스템의 복잡성, 사용조건에 따라 달라지는 것이 보통이다.

### 1.1.5 유지보수 비용(Cm)

펌프 시스템 및 펌프에 대해 최적의 수명을 확보하기 위해서는 주기적이고 효율적인 점검 및 서비스가 필요하다. 그런데 이러한 점검 및 서비스에 소요되는 비용은 시간과 빈도 그리고 부품가격에 비례한다. 정기적인 총 유지 비용은 생애주기 동안에 예상되는 시행회수에 해당 비용을 곱하여 구해진다. 예기치 않은 경우의 비용은 문제발생의 평균시간을 통계적으로 계산하여 예측할 수 있다. 현장에서의 펌프 보수비용은 보수인건비, 교체부품과 보조장치, 소모품비, 임시 대

체비용과 생산 손실로 인한 비용 등이며, 현장에서 보수할 수 없는 경우의 추가비용은 해체비용, 세척비용, 운반비, 검사비, 재설치 비용이 소요된다.

### 1.1.6 가동중단 및 이로 인한 생산손실 비용(Cs)

가동중단으로 인한 손실비용은 생애주기 비용에서 매우 큰 비용으로 초래될 수 있으며, 그 비중에 있어서 에너지 비용이나 부품 교체비용과 견줄 수 있다. 때문에 초기 설치 시 예비 펌프를 확보하는 것이 매우 중요하다. 예비펌프를 갖출 경우 초기비용은 증가하나 가동중단 손실을 최소화 할 수 있기 때문에 설계 시 반드시 예비 펌프를 확보하여야 한다.

### 1.1.7 환경비용 (Cenv)

환경비용은 펌프 토출 액체의 성상에 따라 다르나 운전시간이 증가할수록 증가하는 것이 보통이다. 여러 방법을 이용하여 오염의 양을 확실히 줄일 수 있지만 투자비용이 증가한다.

### 1.1.8 폐기 및 처분비용(Cd)

폐기 및 처분비용은 펌프 시스템의 폐기에 소요되는 제비용을 의미하는데 환경적 제약에 따라 그 크기가 달라진다.

## 1.2. 생애주기 비용의 계산

생애주기 비용은 위와 같은 요소들의 합으로 표시할 수 있으며 여기에 재무적 요소를 추가로 고려해야 한다. 즉 현재의 에너지 비용과 앞으로의 인상률, 초기 설치비와 관련하여 이자율 및 할인율, 기기의 예상수명(감가상각 고려) 등을 포함하여야 제대로 된 생애주기 비용을 계산할 수 있다.

$$LCC = \sum (C_{ie} + C_{\infty} + C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env} + C_d)$$

## 2. 펌프 시스템의 설계

### 2.1 개요

최적의 펌프 시스템 설계는 생애주기 비용을 최소화하는 것이 간단하면서 가장 효과적인 방안이라고 할 수 있다. 모든 펌프 시스템은 펌프, 구동장치, 배관, 조절장치로 이루어진다. 이 요소의 각각은 개별적으로

고려된다. 이 장에서는 펌프가 시스템의 다른 것들과 어떤 관계가 있는지 운전점은 어떻게 구해지는지에 대하여 소개한다.

## 2.2 시스템 설계의 고려사항

### 2.2.1 배관 지름

Fig. 2와 같이 배관 크기가 커지면 마찰손실 등은 줄어드나 자재비가 많이 소요되지만, 배관 크기를 작게 하면 자재비는 줄어드는 반면 고형물 취급능력이

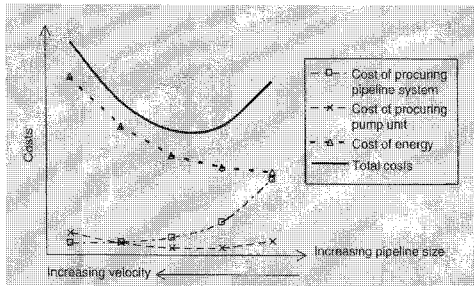


Fig. 2 배관 지름에 따른 펌프설치 주요 비용

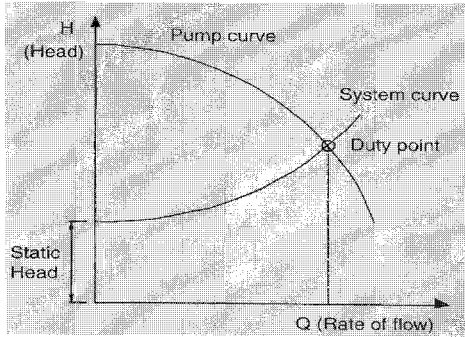


Fig. 3 일반 원심펌프의 성능 및 시스템 선도

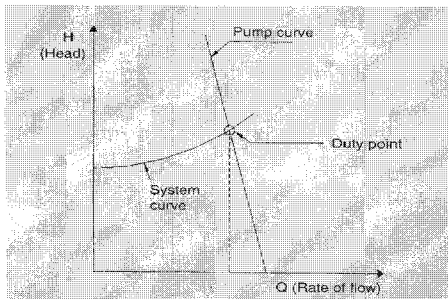


Fig. 4 일반 용적식 펌프의 성능 및 시스템 선도

떨어져 막히는 현상이 자주 발생하고 또 배관의 마찰손실이 커져 운전비용이 증가하게 된다.

따라서 침전을 방지하고 비용이 최소로 될 수 있는 배관 지름을 결정하는 것이 중요하다.

### 2.2.2 펌프와 시스템곡선

펌프의 운전점은 Fig. 3과 Fig. 4에서와 같이 펌프의 성능곡선과 시스템곡선이 교차되는 점으로 결정된다. 그러므로 펌프 선정 시에는 운전범위와 주된 운전점을 잘 고려하여야 한다.

### 2.2.3 출력제어

펌프제어는 연속제어와 단속제어 또는 두 가지를 겸용하는 제어로 구분 할 수 있는데 이는 사용조건과 경제성을 고려하여 선정하여야 한다.

### 2.2.4 펌프형식 선정

펌프의 형식은 일반적으로 사용되는 펌프를 기준으로 할 때 크게 회전식 펌프와 용적식 펌프로 나눌 수 있으며 각각의 특징은 다음과 같다.

#### 1) 회전식 펌프

회전식 펌프는 주어진 양정, 유량의 조건하에서 비교적 높은 효율을 나타낸다. 가장 일반적이고 널리 사용되는 회전형 펌프는 단단 볼류트 펌프인데 효율은 양정과 유량의 함수로 나타난다.

특히 이러한 회전형 펌프는 비속도에 따라 효율의 범위가 결정되는 특징을 가지고 있는데 비속도란 아래와 같이 표현되는 임펠러의 형상을 보여주는 무차원 상수이다.

$$n_s = N \times \frac{Q_{opt}^{\frac{1}{2}}}{H_{opt}^{\frac{3}{4}}}$$

여기서,

$n_s$  : 펌프의 비속도

$N$  : 펌프의 회전수(rpm)

$H_{opt}$  : 임펠러의 최대 바깥지름 치수에서의 최대 효율을 시현하는 양정(mH)

$Q_{opt}$  : 최대 효율점에서의 유량

( $m^3/sec$ ) 또는 ( $m^3/sec$ )

## 2) 용적식 펌프

용적식 펌프는 고점성 유체에 적합하며 특히 소유량, 고양정 조건에 적합한 펌프이다. 용적식 펌프는 고양정, 소유량의 경우 더 높은 효율을 시현할 수 있는데 반면에 특정한 양액은 취급이 힘들고 또 유체의 흐름 및 압력에서의 맥동이 발생하는 단점이 있다.

### 2.2.5 펌프선정시 LCC를 줄이기 위한 고려사항

펌프선정에 있어 가장 중요한 것은 펌프의 용도와 사용하고자 하는 운전범위를 잘 이해하는 것이다. 그리고 무엇보다도 보내고자 하는 액체를 명확하게 하여야 한다.

#### 1) 운전영역

회전형 펌프는 최고 효율점이 한 규격점으로 국한되는데 그 규격점에서는 베어링에 미치는 수력학적 부하가 최소로 되며, 또 펌프케이싱과 임펠러 사이의 손실도 최소로 된다. 그리고 펌프는 BEP(최대효율점) 좌우로 일정구간의 운전범위를 갖는데 통상 최고 효율점 유량의 70~120% 범위를 말하며 이를 선호 운전 구간이라고 한다.

그러나 펌프는 때로 이 선호 운전구간을 벗어나 운전되기도 하는 데 이를 가능 운전구간이라고 부른다. 이 가능 운전구간은 주로 NPSHr(Net Positive Suction Head Required=요구 유효흡입양정)에 의해 결정된다.

한편 NPSHr은 NPSHa(가능 유효흡입양정)보다 작아야 한다.

## 2) 에너지

에너지 비용을 최소화하기 위한 요소로 고려할 항목은 다음과 같다.

일반적으로 펌프의 규격점이 결정되면 여기에 여유분을 더하는 경우가 있는데 이 경우 동력이 추가 소요되기 십상이다. 게다가 규격보다 많은 유량은 예상보다 큰 마찰손실을 일으키기 때문에 적합한 펌프의 선정이 필수적이다.

한편 펌프 사용자는 효율에 나쁜 영향을 주는 불필요한 제약 요소들을 제거하는 것이 좋다. 그리고 구매자는 규정된 규격점에서 어떤 시험을 할 것인지를 명확하게 규정해 주어야 한다. 펌프를 병렬운전 할 경우에는 개별펌프의 성능곡선과 시스템곡선을 완전하게 이해하고 시스템을 구성하여야 한다.

사류 및 축류펌프의 경우는 피치를 조절 할 수 있는 임펠러나 유입 가이드 베인의 각도를 조절할 수 있도록 하는 경우 에너지비용 절감에 매우 효과적인 방법이 될 수 있다.

운전유량이 정격유량보다 적을 경우, 정격유량을 BEP의 오른쪽으로 떨어뜨림으로서 에너지비용을 최소화 할 수 있다. 규정된 규격점에서 펌프를 최대속도로 운전시키면 보다 높은 효율을 실현 할 수 있으며 에너지 비용을 낮출 수 있다. 그러나 슬러리를 취급하는 펌프나 비속도가 높은 펌프, 또 낮은 NPSHr을 필요로 하는 펌프는 예외가 된다.

만일 VFD(속도변환장치)를 이용하여 변속운전을 할 경우에는 운전범위를 확대시킬 수 있고 따라서 최적의 효율을 실현하는 것이 가능해진다.

비록 많은 비용이 소요되지만 정밀주조나 또는 표면 코팅, 표면 연마를 통한 조도개선 등을 실시하게 되면 효율을 크게 증가시킬 수 있다.

적은 용량의 펌프인 경우 개별 펌프의 효율 개선에 의한 효과가 적어도 이를 여러 대 사용할 경우에는 큰 효과를 얻을 수 있다. 적은 용량의 경우 과다한 용량의 펌프를 사용하는 일은 가급적 억제하지 않으면 안 된다. 왜냐하면 모터의 용량이 커지게 되고 그러면 에너지 비용이 과다하게 되기 때문이다.

## 3) 점도의 영향

점성유체를 펌핑하고자 할 경우에는 펌프성능을 고려할 때 점도를 고려한 보정 요소들을 감안하여야 한다.

## 4) 용적식 펌프에 대한 특별 고려사항

용적식 펌프를 선정할 경우는 LCC를 최소화하기 위해 고려할 항목은 다음과 같다.

용적식 펌프의 특성상 펌프의 과다설계는 필요치 않으며 과다 설계가 되어도 수명 등을 연장시키는 기능을 하기 때문에 LCC측면에서는 유리하다.

만일 펌프가 고준위 맥동을 할 경우는 감쇄장치를 설치하는 것이 유리하다.

내장된 안전밸브를 갖춘 펌프의 경우 구입비용은 고가이나 전체 시스템의 비용을 절감할 수 있다.

### 2.2.6 펌프구동기의 선정

일반 산업현장에서 모터는 모든 전기요금의 2/3을 차지하고 있을 정도이며 펌프의 구동기로도 널리 사용되는 기기이다.

그런데 모터는 생산자도 많고 또 고효율제품부터 일반급까지 종류도 다양한 편이다. 때문에 펌프를 구동시키는 모터선택에 상당한 주의를 기울여야 가장 낮은 LCC를 확보 할 수가 있게 된다.

### 1) 모터의 종류

모터는 AC모터가 주류를 이루는데 펌프에 사용할 때 보호등급, 시동 토크, 안전계수, 축계밸런스 등급 등을 고려하여 선정하여야 한다.

#### ① 표준유도 전동기

가장 널리 사용되는 전동기로 보호등급이 다양(전폐, 반폐, 방적, 방폭 등)하고 또 설치방식도 수평, 수직, 플랜지 이음 등으로 다양하다.

#### ② 고속 영구자석 모터

영구자석 모터는 효율이 높으나 소형과 특수한 용도에의 적용 등 적용범위에 한계를 가지고 있다.

#### ③ 수중모터

수중모터는 두 가지가 있는데 하나는 ‘건식’ 이고 다른 하나는 고정자 코일에 펌프 유체가 직접 닿는 방식의 ‘습식’ 이다. 그러나 ‘습식’ 은 ‘건식’ 에 비해 효율이 낮다.

#### ④ 캔 보호모터

캔 보호모터 역시 수중모터와 유사하게 모터가 펌프의 일부분을 형성하며 방폭 지역에서 많이 사용된다. 고정자와 회전자는 얇은 박막으로 보호시키는데 이러한 이유로 일반 유도전동기의 90~99% 효율을 보이는 것이 일반적이다.

### 2) 모터의 효율과 에너지 비용

수처리 분야에서는 통상 모터의 평생 사용 전기요금이 모터 구입금액의 100배 정도 되는 것으로 알려져 있다. 그리고 석유화학 계통의 프로세스 라인의 경우는 전기요금이 모터 구입비의 25배 이상이라고 알려져 있다. 이렇기 때문에 효율이 높은 모터를 선호하는 것이 일반적인 추세로 되고 있다.

모터의 명판에 기재된 효율은 운부하시의 효율로서 실제 인가된 부하에서는 기재된 효율보다 낮게 나타나 는 것이 보통이다.

펌프 사용자가 모터를 교환하고자 할 때는 고효율

모터나 고급 모터를 사용하면 슬립이 작아지고 이는 곧 펌프임펠러의 회전수 증가를 가져오고 따라서 유량이 증가되고 펌프의 축동력도 커지게 된다. 모터를 교체할 때는 이를 고려하여야 한다.

### 2.3 새 개념의 설계와 출력제어에서의 시스템 유효성

#### 2.3.1 프로세스 요구사항의 분석

펌프 시스템의 설계를 고려할 때 시스템의 효과성을 비교해 보는 것이 유익한 방법이다. 예를 들어 유량을 변경시킬 필요가 있을 경우, 유량이 연속적으로 변화하는지 아니면 단속적으로 변화하는지, on-off 방식을 사용해야 하는지, 또 최대유량은 어떠한지, 유량 변화는 어느 정도의 시간에 걸쳐서 이루어지는지 등을 비교 검토할 필요가 있다.

#### 1) 유량

펌프 유량은 Fig.5와 같이 연간 가동시간과 그때의 유량곡선에서 쉽게 파악할 수 있다. 여기서 점선으로 표시된 곡선은 3가지 정해진 유량으로 몇 시간 가동되어야 하는지를 보여주고 있으며 실선으로 표시된 곡선은 연간 몇 시간에 걸쳐 송수유량이 수직 축의 유량을 초과하는지 보여주는 곡선이다.

이 그림은 송수시스템 설계 시 매우 유용한 자료가 된다. 즉 송수시스템은 최대유량을 보낼 수 있도록 설계하는 동시에 평균적으로 어느 정도의 유량을 송수하여야 가장 경제적인 것인지를 고려하여 설계하여야 하기 때문이다.

한편 시스템곡선은 Fig. 6과 같이 각각의 펌프가 주어진 유량조건에서 얼마만큼의 양정이 필요한지를 보여주는 곡선인데 이때 양정은 순양정과 손실 양정

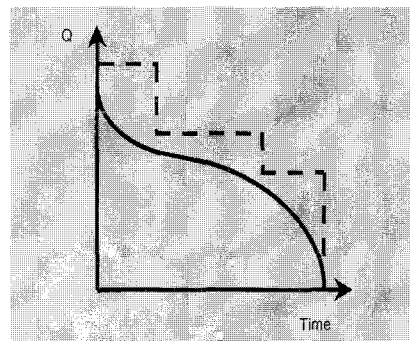


Fig. 5 두 펌프 시스템의 유량변화곡선

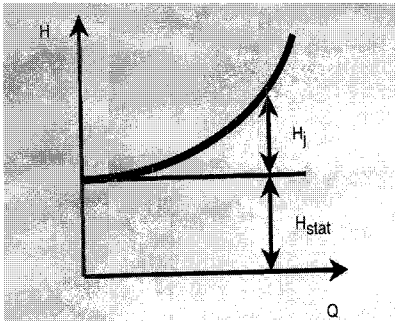


Fig. 6 순양정과 손실양정

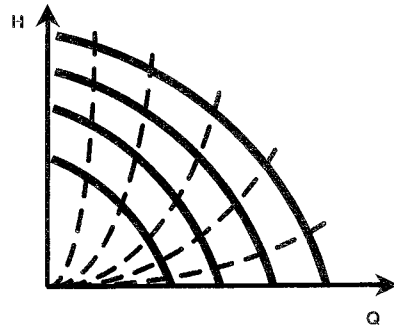


Fig. 7 변속펌프의 성능곡선

(Dynamic Head)의 두 가지로 표시될 수 있다.

순양정이란 송수해야 할 높이를 말하며 손실양정이란 정격유량의 조건에서 배관이나 밸브에 의해 발생하는 마찰손실을 상쇄시킬 수 있는 에너지를 말한다.

한편 마찰손실은 유량변화의 제곱에 비례하므로 손실 양정의 곡선은 2차 함수의 형태를 띠게 된다.

## 2) 속도제어

펌프의 경우 회전속도를 달리하면 그 성능이 변화하는데 상사법칙을 통해 아래와 같이 표시된다.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}$$

여기서

n : 임펠러의 회전수 (rpm)

Q : 유량

H : 양정

Fig. 7의 굵은 선은 회전속도의 변화에 따른 펌프 성능곡선의 변화를 표시하고 있다. 한편 이 경우 펌프의 효율은 일정하게 유지된다고 할 수 있다.

상사법칙을 사용하여 에너지 절약을 감안할 때는 반드시 시스템 곡선과 펌프의 성능곡선을 중첩시켜 운전조건을 검토하여야 한다.

시스템 곡선을 고려할 경우 펌프의 효율은 펌프의 속도 변화에 따라 달라지기 때문이다.

만일 펌프의 운전속도가 떨어지면 운전점은 상대적으로 높은 양정으로 올라가게 되고 거의 최대양정에서 운전되게 된다. 이는 펌프의 효율이 거의 '0'에 가까워진다는 것과 펌프가 하는 일없이 연속 운전되고 있다는 것을 의미하게 된다.

## 2.3.2 비에너지

한 지점에서 다른 지점으로 어떤 유량을 이송하고자 하는 펌프 시스템에서 에너지 비용을 계산하는 유용한 방법이 비에너지를 계산하는 방법이다.

비에너지는 Wh/V형태로 측정되는데 여기서 W=소모전력(Watt), h=사용시간(Hour), 그리고 V=유량(m<sup>3</sup>)이다.

만일 유량이 일정하다면 비에너지를 계산하기가 쉽지만 유량변화가 심할 경우는 계산이 쉽지 않게 된다.

비에너지 E<sub>s</sub>는 유량함수이므로 우선 펌프의 성능곡선도와 모터의 속도와 회전력(Speed-Torque)선도의 효율을 감안하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\text{비에너지} = \frac{\text{사용에너지}}{\text{유량}}$$

$$E_s = \frac{P_e \times \text{Time}}{V} = \frac{P_e}{Q}$$

여기서

P<sub>e</sub> : 소모전력

Q : 유량

## 1) 정수두를 가진 시스템의 경우

소모전력은

$$P_{in} = \frac{Q \times (H_{stat} + H_j) \times \rho \times g}{\eta_{drive} \times \eta_{motor} \times \eta_{pump}}$$

여기서

P<sub>e</sub> : 소모전력

ρ : 밀도

g : 중력가속도 (9.8m/sec<sup>2</sup>)

η : 효율

H<sub>stat</sub> : 정수두(Static Head)

$H_j$  : 동수두(Dynamic Head)

$$\begin{aligned} \text{따라서, } E_s &= \frac{P_{\infty}}{Q} = \frac{Q \times (H_{stat} + H_j) \times \rho \times g}{\eta_{drive} \times \eta_{motor} \times \eta_{pump}} \\ &= \frac{H_{stat} + H_j}{H_{stat}} \times \frac{\rho \times g \times H_{stat}}{\eta_{drive} \times \eta_{motor} \times \eta_{pump}} \\ &= \frac{H_{stat} \times \rho \times g}{\eta_{drive} \times \eta_{motor} \times \eta_{pump} \times f_{Hs}} \end{aligned}$$

여기서

$$f_{Hs} : \frac{H_{stat}}{H_{stat} + H_j} \text{ (수력시스템 계수)}$$

분모인  $\eta_{drive} \times \eta_{motor} \times \eta_{pump} \times f_{Hs}$ 는 종합효율  $\eta_{gr}$ 로 표시할 수 있으며 이 종합효율은 비에너지 크기를 결정하는데 가장 중요한 요소라고 할 수 있다.

펌프유량이 거의 '0'이 되면 펌프효율 역시 0이 되며 비에너지 값은 최대가 된다.

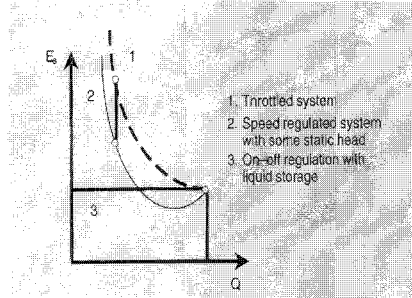


Fig. 9 운전방법에 따른 조절특성

이 경우는 속도제어 운전을 하여도 Fig. 9에서와 같이 에너지 절감 효과를 얻기가 쉽지 않다.

### 3. LCC 분석의 예

이 절에서는 현재가치(Present Value;PV)를 포함한 LCC 분석의 예를 보여준다.

아래의 예 3.1과 3.2는 하수처리 공정과 일반화학 처리공정에 대한 LCC 분석으로 만일 이를 석유화학공정에 적용한다면 동일규격의 펌프라 하더라도 일반 석유화학 공정에 비해 2~3배의 LCC가 소요될 것이다.

#### 3.1 하수처리 공정의 예

하수처리 공정에서 시간당 60 m<sup>3</sup>/h 용량의 펌프를 1/2 용량인 시간당 30 m<sup>3</sup>/h 용량의 소형 펌프 2대로 교체할 경우를 고려해 보면 다음과 같다.

그러면 소형 펌프는 기존의 펌프보다 2배의 운전시간으로 늘어나지만 소비 동력은 더 적어지게 된다. 그 이유는 큰 용량의 펌프는 미래의 확장을 염두에 두고 설계된 것으로 과대 설계된 것이기 때문이다. 그런데 현재의 상태에서 향후 5년간은 60m<sup>3</sup>/h의 조건으로 가동되는 일은 없을 것으로 판단된다.

##### 3.1.1 LCC 비용과 가점

현재의 에너지 가격은, kW/h 당 \$ 0.1 로 가정한다. 일반적으로 펌프운영자는 이러한 규격의 펌프에 대해 가동 첫해에는 연간 유지비로 \$100, 그리고 두 번째 해부터는 \$1,500을 사용한다고 본다.

펌프는 2대를 설치하기 때문에 가동중단으로 인한 손실비용은 감안하지 않는다. 감리비용이나 폐기비용

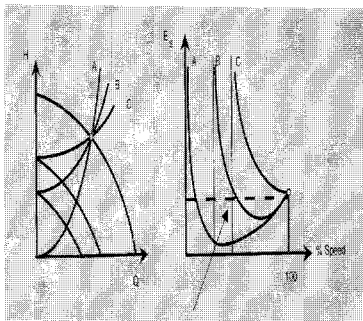


Fig. 8 동일 운전점을 갖는 세가지 시스템의 선도 예

Fig. 8에서 곡선C는 상대적으로 큰 정적양정의 경우이고 A는 정수두가 낮은 경우인데 A의 경우는 보다 많은 에너지 절약을 기대할 수 있다.

#### 2) 밸브에 의한 유량제어의 경우

밸브에 의해 유량을 제어할 경우, 시스템곡선은 Fig. 9와 같다. 밸브를 잠그면 사양점이 왼쪽으로 이동하게 되고 비에너지는 증가하게 된다.

밸브에 의한 경우, 비에너지값은 위 그림의 점선형태를 나타낸다.

#### 3) 공동배관 형태 펌프의 병렬운전

공동배관 헤드를 가진 펌프의 병렬운전 형태는 1번 펌프가 공동배관 Head를 가압시키고, 2번 펌프 및 3번 펌프는 펌핑 역할을 하게 된다.

은 없다고 가정한다.

이 설비의 사용기간은 5년으로 가동 용량이 늘어나게 되면 다시 그 용량에 맞는 펌프를 신규로 구입 설치하는 것으로 가정한다.

이자율은 8%이고, 인플레이션은 4%를 감안한다.

**3.1.2 변경 범위**

1) 조건 1: 기존시스템 활용(60 m3/h 펌프)

기존의 시스템은 현재 운전 중이므로, 이 조건과 관련하여 초기 투자비용은 없다.

2) 조건 2 : 기존 펌프를 소형 펌프로 변경설치

소형펌프 2대를 설치하는 비용은 펌프 대당 \$3,000, 합 \$6,000이 소요되고 설치와 관련된 인건비는 \$1,000 라고 가정한다.

한편 기존의 60 m3/h 펌프는 아직 사용 가능하기 때문에 정비보관하고 잔존가치를 50%로 감안하여 신규 구입비의 절반인 \$3,500로 계산한다.

**3.2 문제의 조절밸브 예**

Table 1 오수처리 계통의 LCC 비교

	조건1 기존 시스템	조건2 소형 펌프
INPUT		
초기투자비	0	6000
설치 및 커미셔닝 비용	0	1000
kWh당 에너지 가격(A)	0.08	0.08
장치의 가중평균 동력 kW(B)	13.25	2.63
연간 평균 가동시간(C)	2000	4000
에너지비용/년=A×B×C	2120	842
연간 운전비용	500	300
연간 유지관리 비용	100	100
2년마다 보수비용	1500	1500
기타비용	0	0
정지시간 비용	0	0
환경비용	0	0
휴지비용/처리 비용	0	7000
수명 연수	5	5
이자율 %	8.0	8.0
인플레이션율 %	4.0	4.0
OUTPUT		
현재LCC 값	1482	9436
현재 에너지 비용	9479	3763
통상 유지관리비	447	447

유량조절을 위한 밸브와 관련, 아래와 같이 고려해 본다.

- 1) 밸브를 적절한 크기의 것으로 교체
- 2) 기존의 밸브를 사용하고 과도한 차압을 제거하기 위하여 임펠러의 외경을 트림하거나
- 3) VFD를 설치하여 속도를 조절하여 유량을 조절
- 4) 잘못된 조절밸브를 교체하거나 하는 것이 포함된다.

앞의 예에서와 같이 펌프와 제어 밸브는 정해졌고 시스템에서는 아직 요구된 유량이 필요한 적이 없는 당초 크기인 110의 m3/h의 규격으로 설정되었다. 이 설비는 8년의 잔존 수명이 기대된다.

**3.2.1 LCC 비용과 가정**

현재의 에너지 가격은, kWh당 \$0.1 이다. 이 시스템의 연간 운전시간은 6,000시간이다.

운영관리자는 펌프의 유지비로 첫해에는 \$500, 그리고 2년마다 보수 점검 비용으로 \$2,500를 사용한다.

펌프를 2대 설치한 관계로 정지로 인한 손실 비용은 고려하지 않는다. 밸브의 폐기비용 등 환경 처리 비용은 없다고 본다. 이 설비의 내구연한은 8년으로 감안한다.

이자율은 8%이고 인플레이션은 4%이다. LCC 비용은, 그림 4.2와 같이 계산되었다.

**3.2.2 변경의 범위**

1) 조건 A : 높은 차압에 대한 조절밸브의 규격 조정. 새 밸브의 구입비용은 \$5,000이고 여기에는 설치비용이 포함되어 있다.

2)조건 B : 밸브에 걸리는 과도한 차압을 제거하기 위하여 임펠러를 트림한다.

펌프 임펠러를 트림하기 위한 비용은 \$2,250로 예상되며, 이 비용에는 펌프를 분해하고, 다시 조립하기 위한 비용이 포함되어 있다.

3)조건 C : 30 kW 용량의 VFD를 설치하고 조절 밸브를 제거한다.

VFD 비용은\$20,000 이고, 설치비로 \$1,500가 소요된다.

VFD에 대한 검사와 유지관리비는 매년 \$500이다. 이 비용에 \$500의 펌프 유지비용이 더 소요된다. VFD는 펌프 운전점에서 모터를 구동할 때 94 %의 효율을 가진다.



Table 2 문제 조절밸브의 LCC비교

	조건 A 조절밸브 교체	조건 B 일렉터 절단	조건 C VFD와 조절밸브 제거	조건 D 조절밸브 보수
INPUT				
초기투자비	5000	2250	21500	0
kWh당 에너지 가격(A)	0.08	0.08	0.08	0.08
장치의 가중평균 동력 kW(B)	23.1	14.0	11.6	23.1
연간 평균 가동시간(C)	6000	6000	6000	6000
에너지비용/ 년=A×B×C	11088	6720	5568	11088
연간 유지관리비용	500	500	1000	500
2년마다 보수비용	2500	2500	2500	2500
기타비용	0	0	0	4000
정지시간비용	0	0	0	0
환경비용	0	0	0	0
휴지비용/처리비용	0	0	0	0
수명 연수	8	8	8	8
이자율 %	8.0	8.0	8.0	8.0
인플레이션율 %	4.0	4.0	4.0	4.0
OUTPUT 현재 LCC 값	91827	59481	74313	113930
현재 에너지 비용	75129	45533	37727	75129
통상 유지관리비	3388	3388	6776	3388

4) 조건 D : 기존 시설 그대로 가동한다.

기존 밸브의 보수비용으로 매년 \$4,000 가 소요된다.

#### 4. LCC를 이용한 효율적인 구매

##### 4.1 개요

펌프 사용자가 LCC를 감안할 수 있는 최적의 시기는 펌프 시스템을 구매할 때이다. 즉 기존 펌프시스템을 교환하거나 개선하고자 할 때, 또는 새로운 펌프 시스템을 설계하고자 할 때 LCC를 감안하면 가장 효율적인 구매를 할 수 있다.

펌프 및 관련 장치를 구매하는 데는 여러 가지 경우의 수가 있다. 즉 단순히 펌프만을 구입하는 경우부터 펌프시스템 및 설치를 포함하고 있는 복합빌딩에

대한 턴키 시공 까지 다양한 경우를 감안할 수 있다.

유럽에서는 소비자들이 쉽게 제품을 구매할 수 있도록 위하여 일반시장을 표준화하여 공급하고 있기做到的 데 장비 공급자와 구매자간의 구매절차는 각각의 조건과 상황에 따라 다르므로 현실에 맞게 고려하는 것이 필요하다.

##### 4.2 견적 요구

가장 일반적인 절차는 구매자가 펌프 및 부대장치를 구매하기 위하여 상세한 사양과 구매조건을 적은 구매시방서를 작성하는 것이다.

이때 중요한 것은 공급자와 검사가 요구하는 항목 중에서 비현실적인 요구사항을 가급적 피하고 일반적이고 객관화된 데이터 위주로 작성하는 것이다.

즉, 단순하지만 곧바로 현장에 적용할 수 있도록 시방서를 작성하여야 한다. 또 시스템을 구매하는 데 있어서 장비의 구입가격보다 LCC가 더 중요하다는 사실을 보다 확실하게 명기하는 것이 중요하다. 이는 장비 공급자에게 보다 높은 효율의 제품을 공급하도록 하는 압력요소로 작용하게 된다.

입찰서에 명시되고 보증된 LCC는 사용자와 독립적인 제3자에 의해 입증되고 검증되도록 하는 것이 좋다.(즉, 설치된 장비를 확인하는 데 따른 모든 조건들을 구매시방에 명기하는 것이 필요하다.)

구성요소와 장치에 대한 구매자의 요구사항이 너무 높은 수준이어서 신제품 개발을 필요로 할 정도가 되어서는 안된다. 요구사항은 주로 구성요소를 평가하고, 선정할 때에 도움이 되는 수준이어야 한다. 공급자에게 대안 설계와 같은 방법으로 운전비용을 최소화할 수 있는 방안을 제시할 수 있도록 요청하는 것도 좋다.

입찰서의 경제성 평가의 한 항목으로 LCC를 활용하는 것은 구성요소나 장치의 수명을 연장시키고, 보다 높은 에너지 효율을 가진 제품의 개발을 자극할 것이다.

##### 4.3 평가 총액

평가총액은 단순히 장비비 만이 아니라 LCC를 감안하여 아래와 같이 등식화할 수 있다.

$$\text{평가 총액} = \text{LCC}$$

즉 LCC는 평가되는 모든 비용을 포함하는 큰 단위

개념이라고 볼 수 있다.

이 때 LCC 비용은 통상의 입찰 금액(구입 가격) 외에 에너지 비용, 때로는 시방서에서 정하는 기타 관련 비용, 유지관리 비용까지를 포함한다.

#### 4.4 LCC 계산 방법

구매자는 LCC 계산 시 적용되어야 하는 구성요소와 장치의 범위를 결정하게 되는 데 가장 현실적인 방법은 별도로 고안된 양식을 사용하는 것이다. 이러한 양식은 수요자 및 공급자가 필요로 하는 모든 정보를 포함하고 있어야 보다 쉽고 정확하게 LCC 계산을 할 수가 있다.

그리고 장비 및 시스템에 대한 기술적 설명을 기술한 설명서가 포함되어야 한다.

한편 시방서에는 관리상의 요구사항이나 구매자가 LCC를 계산하는 방식, 또 보증에 대한 내용과 기한, 조건, 추가 성능, 위약금에 대해서도 기록하여야 한다.

경우에 따라서는, 전 시스템이나 일부에 대한 시운전, 작동, 조정, 유지관리 그리고 교육비용도 포함시켜야 한다.

#### 4.5 계약 범위

LCC는 계약 건별로 계산되어야 한다. 이것은 최종 검사, 시험 또는 시운전하는 동안 보증된 성능이 확인되고 책임한계를 결정하는데 도움을 준다.

#### 4.6 입찰 평가

구매자는 펌프 단위가 어떤 표준에 보증하여야 하는 지점인지를 지정하여야 한다.

구매자는 동력소비에 대한 최저한계에 대하여 벗어나지 않는다면 다른 시험기준이 펌프 효율에 대하여 다른 오차를 허용한다는 것을 인정하여야 한다.

구매자는 누가 LCC를 계산하여야 하는지 결정하여야 한다.

입찰을 평가하기 위해서 가장 현실적인 방법은 구매자나 컨설턴트이다. 이 경우 공급자는 필요한 모든 정보를 준비하여야 한다.

계약자나 공급자를 선택할 때에, 구매자도 다른 평가 요소 예를 들면 납기와 사후관리 수준을 고려한다. 이 절차는 입찰평가를 만들어내며, 검토를 위한 추가

시간이 필요하게 된다.

#### 4.7 검사 - 성능 장려금 또는 위약금

가장 일반적인 실행방법은 장비가 공급자의 성능시험 장소에서 시험되는 것이다.

장비가 설치된 후에 최종 검사와 시험 또는 시운전을 조건으로 한다. 검사와 시험이 현장에서 이루어진다면 플랜트는 충분한 정도를 가지고 있는 필요 계측 장비로 시험할 수 있도록 초기에 설계되어야 한다. 이것은 장비가 계약된 성능을 보증하는지 보여줄 수 있다. 성능 장려금이나 위약금은 공급자와 구매자 사이의 동의 하에 계산된다. 장려금이나 위약금은 절감액이나 추가된 금액의 비율로 결정된다.

#### 4.8 사례

아래는 LCC 를 활용한 구매 방법의 한 가지 예이다.

어떤 수요자가 다음과 같은 규격으로 펌프 설비를 구매하고자 할 경우를 고려하면

계획 수명 : 20년, n

연속 가동 : 8,000hr/yr, T

유지관리 및 환경비용은 고려하지 않는다

에너지 가격 : \$0.05 /kWh, e

사용 액체 : 일반유체

이자율 : 7% = 0.07(i)

예상 인플레이션 : 2% = 0.02, p

아래와 같이 A, B의 두 가지의 견적을 제출받았다고 할 때

	A	B
입찰총액	100000	115000
가중치 동력(kW), P	300	270

이 경우, LCC는 입찰총액(장비가격)과 에너지비용만으로 구성되게 된다.

그런데 에너지비용의 PV(현재가치)는 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$P \times e \times T \times df$$

여기서 df : 할인율

$$\text{입찰 A : } 300 \times 0.05 \times 8,000 \times 12.46 = \$ 1,495,000$$

## 펌프의 LCC

입찰 B :  $270 \times 0.05 \times 8000 \times 12.46 = \$ 1,345,000$

평가금액 총계

$$A = 100,000 + 1,495,000 = \$1,595,000$$

평가금액 총계

$$B = 115,000 + 1,345,000 = \$1,460,000$$

구매자 입장에서 입찰 B를 선택한다면 장비의 LCC를 감안할 경우 총 비용 부분에서 \$135,000 절약할 수 있다.

펌프시스템이 설치되고 성능이 시험되면 계산된 현재 LCC가격이 \$1,400,000이다. 이것은 앞에서 나타난 것보다 \$60,000이 작다.

한편 각국은 에너지 비용 절감을 목표로 고효율제품에 대해 또는 에너지 절약에 대해 일종의 장려금을 지급하고 있는 데 여기서는 30%의 장려금을 감안하였다.

$$\text{장려금} = 0.3 \times 60000 = \$18,000$$

이 경우 \$18,000의 보너스가 발생하게 되는 데 이 보너스는 일반적으로 이 시스템을 사용하는 수요자의 몫으로 대개 장비 구입금액의 15%에 달하는 수준이라고 한다.

특히 수요자는 펌프 시스템이 공급자가 보증하는 수준에서 더 향상되어 나타난 결과가 되어 \$42,000의 LCC를 절약할 수 있게 되어 LCC를 고려한 구매를 할 경우 일반적인 장비비 위주의 구매에 비해 훨씬 높은 이익을 취할 수 있게 된다.

위는 한 가지 예이지만 이를 잘 활용하면 여러 가지 경우에 보다 효과적으로 총 에너지 비용이 최소로 되는 즉 LCC를 최소로 하는 선택을 할 수가 있을 것이다.