

# 고효율 펌프 선정에 있어서

## 경제성 분석

Engineering handbook I



**이찬수** 선임 연구원  
산업기술시험원  
chansu@kti.re.kr

### 1. 보일러 급수용 원심펌프의 고효율화 필요성

원심펌프는 비교적 구조가 간단하고 견고하며 취급이 용이하고 구입설치가 경제적이므로 유체의 이송이나 압력을 필요로 할 때 우선적으로 선택되는 시스템이다.

화력이나 원자력발전소의 냉각수펌프, 보일러 급수용펌프를 비롯하여 소방이나 안전시스템, 상수도나 장거리 이송 및 처리, 원유나 액화가스의 장거리 이송, 건물의 냉난방 및 용수의 이송, 정유공장 원유의 정제, 화학공장에서 원료의 이송, 제지공장 원료의 이송, 제강공장 각종 용수의 이송, 반도체 공장의 작업공정 환경설비 등 다양하게 사용되며 에너지 소모량도 수 kW에서 수만 kW까지 소요된다.

원심펌프는 임펠러가 회전할 때 액체에 발생하는 원심력을 이용하여 액체를 이송 또는 압력을 발생시키는 기계로서 순수하게 소요되는 이론적인 동력에 비하여 실제적으로 소요되는 동력의 비를 펌프 효율이라고 하며 펌프의 구조와 형태 등에 따라서 그 차이가 크게 나타나고 있다.

따라서 펌프를 설치할 때는 구입비용 뿐만 아니라 수명에 따른 감가상각비용과 에너지 소비효율, 소모품, 보수비용 등의 종합적인 비용을 고려하여 선택해야 할 것이다.

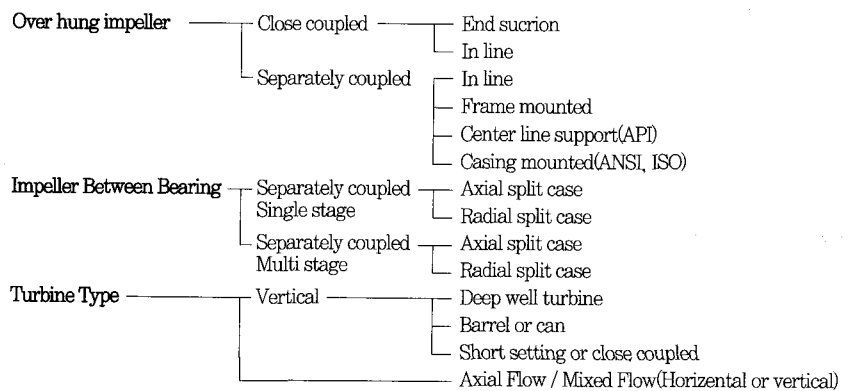
특히 유지비의 일종인 에너지소모에 대한 비용은 사용할수록 그 비율이 지속적으로 증가하므로 초기 선택시에 절감효과를 신중히 고려하여 에너지 비용의 절감 효과가 큰 고효율기기를 선택하여야 할 것이다. 원심펌프의 에너지 소비효율은 실제로 시험장치를 구비하여 측정해야 하므로 정확한 성능을 확인하기 어

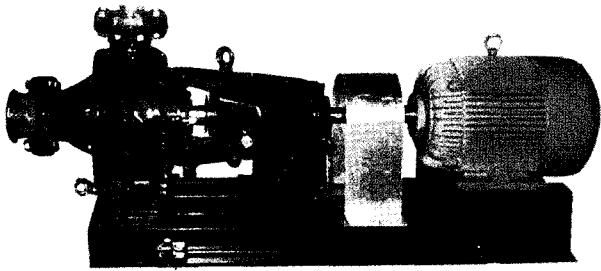
렵다. 따라서 신뢰성 있는 검증과 시험이 필요하며 제조자는 지속적인 고효율의 제품을 유지, 관리하여야 한다. 제품의 고효율화를 유지, 관리하기 위해서는 향상된 제품의 개발은 물론 철저한 공정관리가 지속적으로 관리되어야 할 것이다.

### 2. 원심펌프의 개요

원심펌프의 작동원리는 액체가 충만한 상태에서 베인(Vane)이 있는 임펠러를 회전시키면 액체는 원심력에 의하여 임펠러의 원주방향으로 높은 속도로 토출되고, 이 속도에너지는 볼루트(Volute)케이싱이나 가이드 베인(Guide Vane)에 의해 압력에너지를 변하게 되어 이송하고자 하는 높이까지 상승하게 된다.

따라서 펌프의 사용목적은 일반적으로 필요로 하는 양의 액체를 목적하는 높이까지 상승시키기 위하여 또는 목적하는 어떤 압력의 장소에 유체를 이송시키기 위함이라 할 수 있다. 펌프의 사양표시는 사용 목적을 달성하기 위하여 펌프의 크기와 능력을 표시하는 것으로 종류와 형식, 구경 및 토출량, 전압 및 회전속도, 구동기기의 종류 및 출력 등으로 나타내며, 펌프형식은 구조, 설치형태, 임펠러형상, 구동기의 연결 방식 등에 따라 분류된다. HIS CODE에서 나타내는 펌프의 분류표를 살펴보면 다음 표와 같다.





### 3. 에너지 절감을 위한 원심펌프의 선정

원심펌프의 에너지절감을 위해서는 무엇보다도 사용용도에 따른 동력, 구경, 전양정 등의 효과적인 선정을 필요로 한다. 여기서는 이러한 효과적인 선정에 필요한 개략적인 내용을 살펴보기로 한다.

먼저 구경은 (흡입구경×토출구경)에 대하여 호칭 구경으로 표시하는데, 흡입구경은 흡입능력에 영향이 있으므로 2~3m/s로 하는 것이 보통이며 토출 구경은 고양정이 될수록 유속이 빨라지므로 흡입구경 보다 1~2단 작게 설계된다.

둘째로, 전양정은 흡입액면에서 흡입하여 토출액면으로 양액할 때 양액면의 수직 거리를 합한 것을 실양정(ha)이라 하고 실양정의 장소에 양액하기 위해 펌프에 발생되어야 할 양정을 전양정(H)이라 한다. 전양정의 계산을 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

● 예제

$P_s = 1\text{kgf/cm}^2$ ,  $P_d = 20\text{kgf/cm}^2$  130°C의 물  
 $h_s = 3\text{m}$  입입,  $h_d = 5\text{m}$ ,  $h_{fs} = 1\text{m}$ ,  $h_{fd} = 5\text{m}$ ,  $h_r = 0.5$  일 때 전양정은

$P_s = 1\text{kgf/cm}^2 = 10,000\text{kgf/cm}^2$ ,  $P_d = 20\text{kgf/cm}^2 = 200,000\text{kgf/cm}^2$

130°C의 물의 비중량  $\gamma = 935.1\text{kg/m}^3$

$H = (P_d - P_s / \gamma) + (h_d \pm h_s) + h_r + h_{fs} + h_{fd}$ 에서

$$= (200,000 - 10,000 / 935.1) + (5 - 3) + 0.5 + 1 + 5 = 211.68\text{m}$$

셋째로, 설비의 안정성 등에 필요한 필요 흡입수두(NPSH<sub>R</sub>)와 이용가능 흡입수두(NPSH<sub>A</sub>)의 계산이다. 원심펌프의 임펠러 흡

입구를 통과하여 물이 유출될 때 흡입구 직후에서 압력이 하강하는데 이 하강 압력의 최저값을 필요흡입수두라고 하며 흡입구에서 이용가능 흡입수두 NPSH<sub>A</sub>가 이 압력보다 낮으면 캐비테이션 현상이 발생하여 유량의 감소, 소음, 진동, 부식 등의 현상이 발생되므로 펌프의 선정시 검토가 필요하며  $(1.1 \sim 1.3) \times \text{NPSH}_R \leq \text{NPSH}_A$  가 되는 것이 좋다. 이를 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

● 예제

$\text{NPSH}_A = H_a + (P_s/\gamma) + h_s - h_{fs} - H_v$  (h는 압력시+, 흡상시는-)

$H_a$  : 대기압(수두) : 1기압일 때 10.33m

$H_v$  : 포화증기압(수두) : 130°C의 물일 때  $17,544 / 935.1 = 18.76\text{m}$

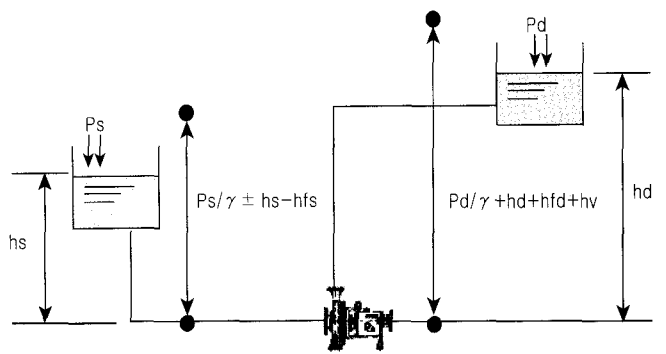
$P_s$  : 흡입액면정압(게이지압) : 1kgf/cm<sup>2</sup>의 130°C의 물일 때  $\text{Pa} / \gamma = 10,000 / 935.1 = 10.69\text{m}$

$$\text{NPSH}_A = 10.33 + 10.69 + 3 - 1 - 18.76 = 4.26\text{m}$$

$\text{NPSH}_R = (nQ^{1/2} / S)^{4/3}$ 에서 산출할 수 있다.

$n = \text{rpm}$   $Q$  : m<sup>3</sup>/min 일 때  $S = 1200$

흡입구 날개를 특별히 설계하면  $S = 1500 \sim 1600$ 까지도 가능하다.



<그림 1>

ha	실양정 = $(P_d - P_s) / \gamma + (h_d \pm h_s)$
H	전양정 = $h_a + h_v + h_f$ ( $h_{fs} + h_{fd}$ )
hd	펌프 중심에서 토출액면까지 수직거리
hs	펌프 중심에서 흡입액면까지 수직거리(입입시-, 흡상시+)
hf	관로의 마찰 손실 수두
hv	토출관 말단의 잔류 속도 수두 = $V^2 / 2g$

# 펌프를 선택할 때 고려해야 할 사항

## Engineering handbook I

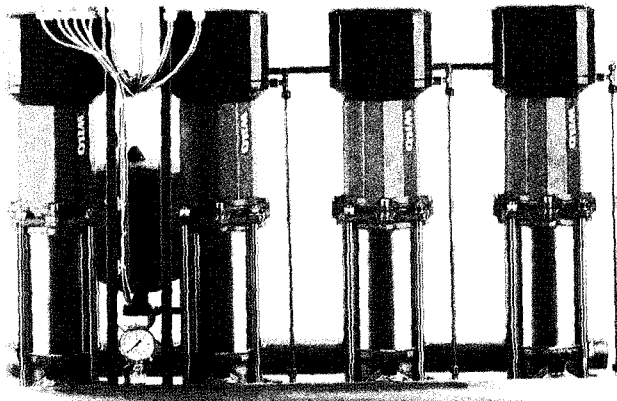
넷째로, 효율을 고려한 펌프의 선정이다. 펌프 효율이란 어떤량의 액을 필요한 목적을 달성하기 위해서 필요한 에너지(이론 동력)와 실제로 펌프의 축에 공급되는 에너지의 비를 말한다. 즉 에너지 소비 효율을 펌프의 효율이라 하는데 일반적으로 사용되고 있는 표준펌프의 효율은 <표 1>과 같다.

다섯째로, 사용용도에 맞는 구동용 원동기 출력의 효과적인 선택이다.

구동용 원동기 출력의 계산은 일반적으로 다음과 같이 계산된다.



$$P = 0.163 \times (\gamma Q H / \eta_p) = \text{kw} \times (1 + \alpha)$$



- $\gamma$  : 양액의 비중량(kg/l) 상온의 청수  $\gamma = 1 \text{ kg/l}$
- $Q$  : 토출량( $\text{m}^3/\text{min}$ )
- $H$  : 전양정(m)
- $\eta_p$  : 펌프의 효율(소수)
- $\alpha$  : 전동기의 여유 계수
- 25HP 이하 25% 30HP ~ 75HP 15% 100HP 이상 10%

여섯째로, 효과적인 펌프 회전속도 선정이다. 펌프 회전속도는 흡입양정이 허용하는 한 빠른 회전 속도를 선정하는 것이 좋으며, 유량이 작고 압력이 높을수록 고속이 유리하다.

보통의 교류전동기는 4P, 2P를 많이 사용한다. 펌프의 회전속도는 전동기의 극수와 주파수 및 슬립에 좌우되는데 이를 계산식으로 표현하면 다음과 같다.

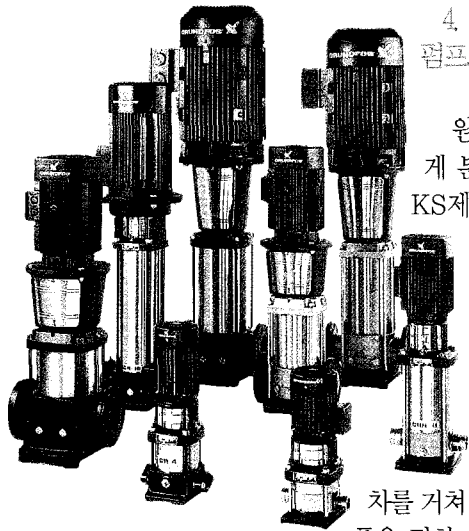
$$\text{분당 회전수}(N) = 120f / P(1 - S) \text{ (rpm)}$$

$f$  = 주파수(Hz),  $P$  = 전동기의 극수(pole),  $S$  = 슬립(소수)

예를 들어  $f = 60\text{Hz}$ 이고, 슬립이 3% 일 때 4P이면 회전수는 1,746rpm이 되며, 2P이면 3,492rpm 이 된다.

<표 1> 표준펌프의 효율

토출량 $\text{m}^3/\text{min}$	0.1	0.16	0.25	0.4	0.63	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25	40	63	100	160	250	400	
효율	NS = 100	37	45.5	52	57	61	66.5	69.5	72	75										
	NS = 160	40	48	54	59	63	68	71	73.5	76	77	79	81	82	84	85	86			
	NS = 250		50	56	61	65	68	71	73.5	76	78	80	82	83.5	85	86	87			
%	NS = 400			56	61	65		69.5	72	76	78	80	82	83.5	85	86	87			
	NS = 630									77	79	81	82.5	84	85	86				
%	NS = 1000									71	75	78	80	81.5	83	84	84	86		
	NS = 1600									68	72	75	77	79	80.5	82	83	84		
흡입구경(참고치)	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1500		



## 4 원심펌프의 등급 및 펌프의 손실인자

원심펌프의 등급은 크게 분류하여 고효율펌프, KS제품과 일반제품으로 분류할 수 있는데 고효율펌프란, 에너지기자재 보급촉진에 관한 규정에 따른 기술기준에서 규정한 성능을 만족하는 제품으로 소정의 절차를 거쳐 그 인증을 획득한 제품을 말하며, KS제품이란 국내

한국산업규격인 KS에 규정된 해당제품의 규격에 규정된 성능을 만족하는 제품으로서 품질표준화법에서 정한 절차에 따라 그 표시허가를 획득한 제품을 말한다. 또한, 일반제품은 제조회사 자체에서 정한 사내표준 또는 자체 제작표준에 의한 제품으로 일정한 기준은 없으며 그 표준 또는 기준도 다양하여 일관성, 신뢰성은 낮다. 현재 시행되고 있는 고효율 원심펌프의 효율기준은 KS 규격에서 정한 효율만족치가 평균 10%정도 높게 규정되어 있어 제조사는 이러한 규정값을 만족하려면 펌프에서 발생하는 손실인자를 구명하여 보완하여야 할 것이다.

펌프에서 발생하는 제반 손실인자를 살펴보면, 수력손실, 누설손실, 원판마찰에 의한 손실, 기계손실 등이 있는데, 첫째로 수력손실은 펌프의 흡입 노즐에서 송출 노즐에 이르는 유로 전체에 따르는 마찰손실, 회전차, 안내깃, 스파이럴 케이싱, 송출 노즐을 흐르는 사이의 수력적 손실, 회전차 입구와 출구에 있어서 충돌 손실 등이 있다.

둘째로, 누설 손실은 회전 부분과 고정 부분사이의 간극을 통해서 입력이 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 흐르는 순환 유량에 의한 체적 효율의 저하를 말하는데, 웨어링, 단단 펌프의 각 단에서 간격판의 부쉬와 축 사이의 간극, 밸런스 디스크의 간극, 개방형 임펠러의 깃과 축핀의 간극, 축봉장치의 누설 등이 해당된다.

셋째로, 원판 마찰손실은 원판과 벽사이의 간극에 의한 손실을 말하는데 이를 수식적으로 표시하면 다음과 같다.

$$L_f = Kn^3D_2^5$$

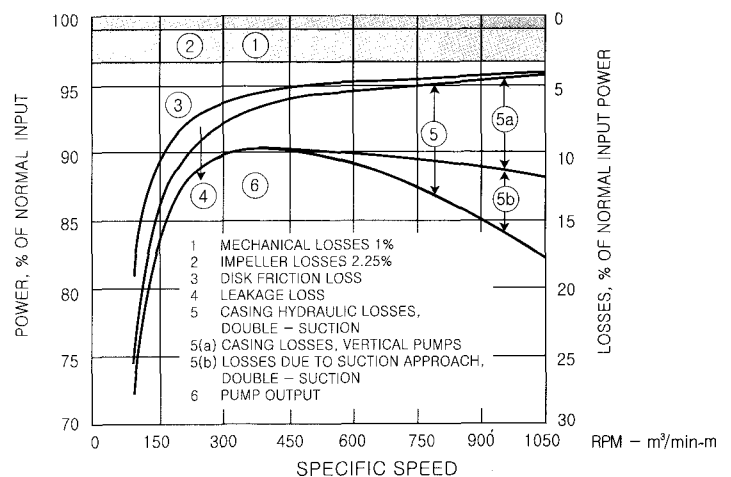
여기에서  $L_f$  = 원판마찰손실,  $K$  = 실험계수,  $n$  = 매분 회전수,  $D_2$  = 원판지름을 말하며, 원판 마찰 손실 계수  $K$ 는 원판과 벽사이의 간극이 클수록 원판이나 벽면이 거칠수록 크다. 이러한 원판 마찰손실은 다음과 같이 실험적인 예에서 잘 표현되고 있다.

### ● 실험 예

- ① 간극을 원판 지름의 1.03%에서 17.7% 증가하면 동력은 4%에서 12%로 증가한다.
- ② 거친 주철 케이싱을 도료로 바르면 4 ~ 12% 감소
- ③ 원판을 연마하면 13 ~ 30% 감소
- ④ 녹스 주철 원판은 새로이 가공된 원판보다 30% 동력이 더 든다.
- ⑤ 물의 온도가 18°C에서 65°C로 증가하면 7 ~ 19% 감소

넷째로, 기계 손실은 베어링과 축봉장치에 있어서의 손실로서 직각도, 동심도와 같은 가공 정도가 높을수록 작다. 기계손실은 1 ~ 3%로 본다.

이상과 같은 펌프에서의 제반 손실인자에 의한 동력의 손실을 비속도( $N_s$ )의 분류에 따라 그림으로 표현하면 <그림 2>와 같이 표현할 수 있다.



<그림 2> 제반 손실인자에 의한 동력의 손실

# 고효율 펌프 선정에 있어서 경제성 분석

## Engineering handbook I

〈표 2〉고효율 펌프 기술기준에 따른 펌프 효율

토출량 (m <sup>3</sup> / min)	0.08	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2	3	4
A 효율 (%)	46	50	56	60	65	68	70	71	73	74	76	77	78	78.5
B 효율 (%)	32	35.5	40	45	50	53	55	56.6	58.5	60	62	64	65.5	66.5

### 5. 고효율 펌프의 기술기준

고효율 펌프의 기술기준에서 규정하는 원심 펌프는 보일러 급수용으로서 토출량이 4m<sup>3</sup>/min 이하인 것이 해당되며, 성능시험 항목은 규정 토출량의 범위, 흡입전양정, 효율(A 효율 및 B 효율), 축동력, 운전상태(온도상승, 소음 및 진동 이상유무), 내수압이다. 이러한 항목은 기존 한국산업규격인 KS에서 규정한 시험방법을 따르도록 되어 있으며, 효율 항목을 제외한 나머지 항목은 모두 KS 규격에서 정한 기준과 동일하다.

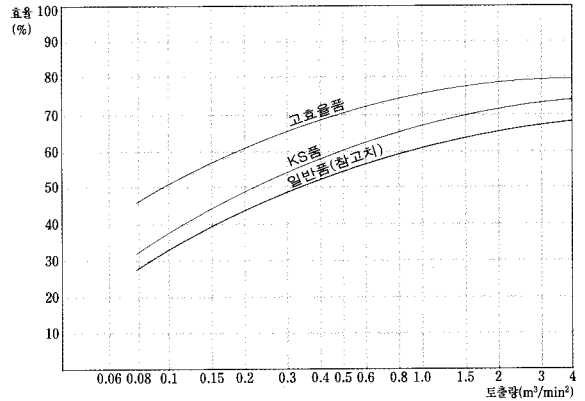
고효율 펌프 기술기준에서 규정하고 있는 펌프 효율을 살펴보면 〈표 2〉와 같으며, 여기서 A 효율은 펌프 효율의 최대치를 나타내며, B 효율은 규정 토출량에서의 펌프 효율을 나타낸다. 이러한 각 등급은 A 효율 및 B 효율이 동시에 기본 효율 이상이 되어야 한다.

### 6. 고효율 펌프, KS 제품, 일반 제품의 효율 비교

고효율 펌프와 KS 제품, 일반 제품 효율의 최고값을 비교하면 〈표 3〉과 같이 고효율 펌프는 KS 제품과 비교할 때, 4.5% ~ 14% 정도 높게 규정되어 있으며, 일반 제품에 비교할 때는 11.5% ~ 18% 정도 높다.

〈표 3〉고효율 펌프, KS 제품, 일반 제품의 효율 비교

토출량 (m <sup>3</sup> / min)	0.08	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.5	2	3	4
고효율 펌프	46	50	56	60	65	68	70	71	73	74	76	77	78	78.5
KS 제품	32	37	44	48	53.5	57	59	60.5	63.5	65.5	68.5	70.5	73	74
일반 품	28	32.5	38	42	48	51	53	55	57	59	62	64	66	67



〈그림 2〉각 펌프의 효율 비교도

### 7. 에너지 소비비용의 산출 및 경제성

#### ● 효율을 고려한 축동력의 산출

$$L_A = \frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H}{E_A}$$

여기에서  $L_A$  = A 펌프의 축동력 (kW),  $L_B$  = B 펌프의 축동력 (kW),  $\gamma$  = 양액의 비중량 (kg/l),  $Q$  = 송출량 (m<sup>3</sup>/min),  $H$  = 양정 (m),  $E_A$  = A 펌프의 에너지 소비효율(100%),  $E_B$  = B 펌프의 에너지 소비효율(100%)

예를 들면  $Q = 3.5$  m<sup>3</sup>/min,  $H = 220$  m,  $E_A = 78\%$ ,  $E_B = 66\%$  라면,

$$L_A = \frac{0.163 \times 1 \times 3.5 \times 220}{0.78} = 160.9 \text{ kW}$$

$$L_B = \frac{0.163 \times 1 \times 3.5 \times 220}{0.66} = 190.2 \text{ kW}$$

#### ● 에너지 소비비용의 산출

$$W = kW \times Hd \times D \times R$$

여기에서  $W$  = 연간 에너지 소비비용 Won/year,  $kW$  = 축동력,  $Hd$  = 1일중 펌프의 가동시간,  $D$  = 연간 가동일수,  $R$  = 시간당 전력요금 Won/kWh

# Engineering Handbook

상기 예에서 1일 10시간 가동일수 365일이고 전력요금 60 won/kWh라 하면,

A 펌프는,

$$W_A : 160.9 \times 10 \times 365 \times 60 = 35,237,100 \text{원}$$

B 펌프는

$$W_B : 190.2 \times 10 \times 365 \times 60 = 41,653,800 \text{원}$$

### ● 경제성 분석

펌프는 소모품이 아니라 장기간 사용되는 장치로써 취득가격 이외에 원동기의 구입비, 운전 에너지 소모비용, 소모품, 유지 관리비, 보수비, 수명에 따른 감가상각비 등을 종합적으로 검토하여 결정하여야 하는데 이를 사례를 통하여 알아보자.

〈사례〉 취득가격, 내용연수, 연차 유지비만으로 계산하였을 경우 (단위: 원)

	고효율 펌프	일반 펌프	기 호
취 득 가 격	12,000,000	7,000,000	P
내 용 연 수	10년	5년	n
연 차 유 지 비	35,018,100	42,091,800	W
특 징	고온, 고내압 재질	일반재질	
연 이 율	10%	10%	i
5년 후 잔존가	6,000,000	500,000	

유지비를 현재 일시 투입시의 현가에 대한 원리함계는  $S = (1+i)^n \times P_R$

분할 투입에 대한 원리함계는  $S = W[(1+i)^n - 1 / i]$

유지비에 대하여 현가와 분할 투입가를 동일하게 적용하여 현가를 계산하면,

$$(1+i)^n \times P_R = W[(1+i)^n - 1 / i] \circ P_R = W[(1+i)^n - 1 / i] \text{과 같다.}$$

5년간 운전할 때 현시점에서 계산한 취득가와 유지비의 합계는,

### ● 고효율 펌프 취득가격: 12,000,000원

$$\text{유지비 현가: } 35,018,100 \times [(1+0.1)^5 - 1 / 0.1(1+0.1)^5]$$

$$= 35,018,100 \times 3.79$$

$$= 132,718,599 \text{원}$$

$$\text{합계: } 144,718,599 \text{원}$$

### ● 일반펌프 취득가격: 7,000,000원

$$\text{유지비 현가: } 42,091,800 \times [(1+0.1)^5 - 1 / 0.1(1+0.1)^5 - 1]$$

$$= 42,091,800 \times 3.79$$

$$= 159,527,922 \text{원}$$

$$\text{합계: } 166,527,922 \text{원}$$

잔존가를 차감하면,

$$\text{고효율 펌프: } 144,718,599 - 6,000,000 = 138,718,599 \text{원}$$

$$\text{일반 펌프: } 166,527,922 - 500,000 = 166,027,922 \text{원}$$

이와 같이 고효율펌프를 구입하여 사용하면 운전비용면에서 전력요금인 연간 6,416,700원이 절약되며, 고효율펌프의 사용년수를 10년, 일반제품의 사용년수를 5년으로 계산하면 약 27,309,323원의 절감효과를 가져오게 된다.

따라서 초기구입비용은 고효율펌프가 높은 편이나 설비설치시에 초기 구입비용이 차지하는 비중은 약 5% 이하라는 조사결과에 따른다면 운전비용 등 여러 가지 측면에서 고효율펌프가 경제적으로 매우 유리하게 적용되는 것이다.

이러한 결과는 제품의 신뢰성, 내구성, 정부의 자금지원 등 여러 가지 측면에서도 선택의 결과는 분명해지게 된다. ☺

