

## 고효율펌프의 선정과 에너지 절감



김성원 박사  
한국화학연구원 조수기역진출공단

1998년말 현재 우리나라의 인구는 세계 25위, 경제규모 세계 11위인데 반해 에너지 소비량은 세계 10위, 석유소비는 세계 6위로서 인구나 경제규모에 비해 에너지가 과소비됨을 알 수 있다.

또한 에너지 해외의존도는 97%로서, 1999년 한해의 에너지수입은 전체 수입의 20%인 227억불에 달하며, 그 중 원유가 70%를 차지

한다.

따라서 국제유가가 우리나라의 국가경제에 미치는 영향은 실로 엄청나다. 국제유가가 상승하면 → 제조원가/제품가격 상승/물가상승 → 산업경쟁력/수출경쟁력약화 → 기업경영/무역수지(외환보유고) 악화라는 결과로 이어진다.

국제유가가 배럴당 1불만 상승하면 연간 원유수입액이 8억 7000만불 증가하고, 반대로 연간 수출액은 1억 4000만불 감소된다고 한다. 따라서 연간 무역적자는 10억 1000만불 증가하는 셈이 된다.

이와같은 상황에서 우리나라의 에너지 소비증가율은 아직도 미국이나 일본보다 10배 가까이 높은 5.9%를 기록하고 있는데, 이는 에너지 이용의 비효율성을 단적으로 드러내는 수치이다.

에너지관리공단에서는 공공건물 20개소를 진단한 결과 평균 9.6%의 에너지 절감이 가능하며, 에너지 다소비 현장에서는 조금만 관심을 갖고 절약하면 에너지 10% 절감은 그리 어려운 일이 아니라고 강조한다.

에너지의 거의 전부를 수입에 의존하는 우리나라로서는 에너지 10%를 절감하면 에너지수입이 10% 감소하고, 이에따라 연간 20억불(2조 5000억원)의 무역수지 개선효과가 나타난다.

20억불은 원자력 발전소 1기 건설비용에 해당하며, 국산 중형차 2500만대 수출 마진과 맞먹는 금액이다. '에너지 절감'은 '21세기 강대국 한국건설'을 위한 화두(課題)라 아니할 수 없다.

지구상에서 전동기를 제외하면 가장 많이 사용되고 있는 기

계류인 펌프의 에너지소비는 전체 에너지 소비량의 30% 이상을 차지하는 것으로 알려져 있다. 이와같이 펌프설비는 에너지 최대소비 부분을 대표하고 있으며, 그만큼 선진국에서는 관련 부문에서의 에너지 절감을 위해 많은 연구와 관심이 집중되어 있다.

그러나 우리나라에서는 특수한 경우를 제외하고는 펌프의 에너지 절감에 대한 인식은 제조자에게는 물론 소비자에게조차 전혀 자리잡고 있지 못함이 사실이다.

펌프 에너지소비 10% 절약은 전체 에너지소비 3% 절약을 의미하고, 우리나라의 경우 금액으로 무려 연간 7000억원에 이른다. 이는 대중매체를 통해 떠들석하게 전국민의 참여를 유도하고 있는 "가정용 에너지 10% 절약"에 의한 예상절감규모 연간 8000억원과 맞먹는 금액이다.

펌프의 에너지소비와 관계되는 제조, 선정, 운전 등의 설비 관련 인원이 전국민의 1%도 채안된다는 점을 감안하면, 지금부터라도 이에대한 각별한 관심과 지원 및 실천이 절실한 것이다.

앞서 언급한 바와 같이 펌프는 에너지의 절대소비량이 많을 뿐 아니라 효율성도 극히 저조한 부문 중 하나로서 그만큼 에너지절감 여지는 매우 많다. 이에 여기서는 본 저자의 일천한 경험을 토대로 에너지 절감을 고려한 펌프설비 선정에 대해 간략히 정리해보고자 한다.

### 펌프설비의 에너지 절감

펌프설비의 소비에너지 절감방법은 크게 다음의 5가지로 분류해 볼 수 있다. 첫째, 고효율 펌프의 선정이다. 이때 회전수, 단수 및 회전차형상까지 고려해야 한다. 둘째, 적정 용량의 펌프 선정이다. 적정한 선정없이는 결코 안정적인 고효율(BEP) 운전이 불가능하다. 특히 과도한 여유 선정은 에너지 낭비는 물론 잦은 고장의 원인임을 명심해야 한다. 셋째로는 적절한 운전제어이다. 운전조건에 따라 가변속운전 또는 병렬/직렬운전 등의 적절한 제어가 필요하다. 넷째, 설동부의 적정

주) BEP: Best Efficient Point (최고효율점, 설계점 또는 시방점)  
MTBF: Mean Time Between Failure (고장수리후 재고장까지의 평균기간)

간극에 대한 유지관리이다. 밀폐형 또는 개방형 회전차의 각각 특성에 맞는 유지관리가 필요하다. 마지막으로 배관내 스케일을 제거해 주는 것이다. 이후에 설명되겠지만 위와같은 에너지절감 방법은 펌프시스템의 고장률 저하(MTBF 연장)와 직결되어, 결국 운전비용 절감과 함께 유지보수비용의 절감효과를 가져온다.

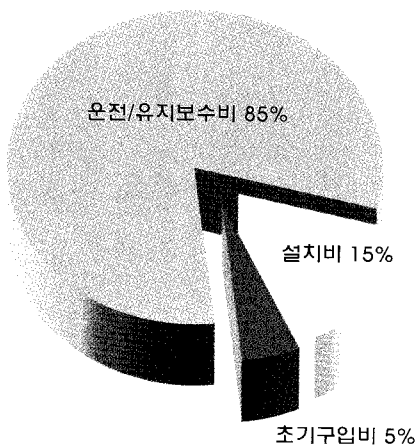
서두에 밝힌 바와 같이 본 글에서는 전체 펌프의 70% 이상을 차지하는 원심펌프 위주로 위에서 기술한 에너지 절감방법 중 첫번째에 해당하는 고효율 펌프선정과 그에 따른 에너지절감에 국한하여 다루고자 한다.

## 펌프의 선정기준

펌프의 선정기준은 크게 5가지로 대별될 수 있다. 경우에 따라 다소 차이가 있을 수 있지만 이러한 5가지 선정기준을 우선순위에 따라 기술하면 다음과 같다.

첫째, 운전비용이다. 이는 전적으로 펌프효율(비속도, 단수, 회전수, 회전차 형상 등)과 직결된다. 둘째, 유지보수비용, 즉 성능과 운전의 신뢰성이다. 이는 소음/진동(밸런싱, 축정렬 등) 및 운전방법에 따라 크게 좌우된다. 셋째, 설치비용 및 설치공간이며, 넷째는 토출량 조정이다. 그리고 최후순위의 고려사항이 초기 투자(구입)비이다.

펌프설비의 사용연수에 걸친 총소요비용 중 평균적으로 초기구입비가 차지하는 비중은 단지 5% 정도이며, 설치관련 비용이 10%, 나머지 85%가 운전 및 유지보수비용이라고 하는 조사자료를 통해 위에서 설명한 선정기준의 우선순위는 타당성을 지닌다. 다른 어떤 조건보다도 초기구입비를 최우선시하여 값싼 저급제품만을 찾고 그 결과 나타나는 엄청난 에너지 손실에는 무관심한 국내 현실을 반증하는 결과이기도 하다.



<그림 1> 펌프설비의 사용연수에 걸친 총소요비용

## 초기구입비와 운전비용

초기구입비만을 우선 고려함으로써 효율이 낮은 값싼 펌프를 선정하고 그 결과 나타나게 되는 에너지낭비 및 경제적 손실을 사례를 통해 검토해 본다.

### ◎ 사례 1 초기구입비 - 효율 - 소비동력

▶ 펌프시방 : 2 m<sup>3</sup>/min - 53m - 단단 - 40HP

※ 전동기 130만원 별도

제품	효율 (%)	소비동력 (kW)	동력절감 (kW)	전력량 (요금/년)	전력량요금 (절감액)	구입가 (만원)
A	60	28.8	기준	1,766만원	기준	100
B	70	24.7	4.1 (14.2%)	1,515만원	251만원	150
C	80	21.6	7.2 (25%)	1,325만원	441만원	200

위의 표는 펌프의 효율에 따른 소비동력의 차이 및 제품단가를 나타내고 있다. 전력량요금은 전동기효율 100%, 전력량요금 70원/kWh, 연간 8760시간 100% 토출량(BEP) 운전하는 경우를 기준으로 계산되었다.

C제품은 가격면에서 A제품의 2배로 100만원이 비싸다고 가정하자. 아니 단돈 10만원이라도 비싸다면 너무나 당연하게 값이 싼 A제품을 선정하는 것은 우리 주변에서 매우 흔한 일이다. 그러나 어리석게도(?) 효율이 우수한 고가의 C제품을 구입하게 되면 A제품 대비 25%의 에너지 절약과 함께 매달 36만원의 전력비 절감이 가능하고, 단 3개월만에 A제품에 대한 구입차액 100만원을 보상받게 된다.

펌프사용연수를 10년으로 볼 때 C펌프 사용자는 A펌프 사용자에게 비해 운전비용면에서 4,410만원의 전력요금을 절감하게 되고, 펌프대수가 많을 경우에는 공장의 수배전 설비비 및 전력요금의 기본요금에서도 막대한 절약이 가능하다. 물론 에너지절감에 따른 국가차원에서의 이익도 뒤따른다. 따라서 C제품가격이 A제품가격보다 심지어 10배 비싼 1000만원이라도 C제품을 선정하는 것이 3500만원(=4410-(1000-100))의 이익을 보는 것이다.

펌프의 평균사용연수에 걸쳐서 펌프의 초기구입비가 차지하는 비중은 5% 이하라는 조사결과를 확인시켜주는 대목이다. 운전신뢰성 부분까지 고려되겠지만 외국산 펌프가 국산품보다 최소 50%에서 최대 30배 이상 비싼 값에도 경쟁력을 갖는 것은 이 때문이다.

설치만하면 그만이라는 근시안적이고 무책임한 생각에 값싼 저급 저효율의 펌프만을 찾는 소비자와 그 수요에 부응하는 일명 막(?)펌프제조자가 공생하는 악순환이 계속되는 이상 펌프설비부분에서의 에너지 절감은 결코 불가능하다.

# Engineering Handbook

설비종사자는 물론 최종소비자가 고효율의 제품을 최우선 시하는 인식이 자리잡아야만 펌프제조사측도 고효율의 우수한 제품개발에 주력하게 되고 결국 국가차원의 에너지 절감과 함께 국내 펌프시장의 60%를 점유하고 있는 외국산제품들과의 경쟁이 가능할 것이다.

## 펌프의 단(stage)수 선정

1. 초기투자비 : 단단펌프(End Suction)가 2단 또는 3단(Radially/Axially Split)의 다단펌프보다 적게 소요된다. 이후 운전비용부면에서 검토되겠지만 단단의 경우 펌프효율저하로 인해 전동기용량이 단단의 경우보다 크게 요구되고 그에 따른 비용상승분을 감안한다해도 초기투자비는 단단이 적다.

2. 토출량 조정성 : 다단펌프가 유리하다. 단수 증가 → 비속도 증가 → 성능곡선 급경사화(그림 2 참조)된다. 따라서 단단 펌프에 비해 양정변화에 대한 토출량변화량이 작은 다단펌프가 토출량을 균일하게 유지하거나 미세하게 조정하는데 용이하다.

3. 설치비용/장소 : 이는 설치장소의 상황에 따른다. 즉, 길 이방향 여유가 있는 경우에는 다단펌프가, 폭 또는 높이에서 여유가 있는 경우에는 단단펌프가 선정되어야 할 것이다.

4. 유지보수비용 : 단단펌프가 적게 소요된다. 단수 증가 → 회전차 및 예비부품(시일/웨어링 등) 갯수 증가 → 분해/조립시간 및 가공/밸런싱 작업량 증가로 인한 비용증가가 나타난다. 단, 다단펌프의 경우 단단에 비해 회전차 등 부품의 크기가 작아지므로 회전차 가공, 웨어링 제작, 밸런싱 작업을 사용자 자체적으로 현장에서 처리할 수 있는 장점이 있다.

5. 운전비용 : 운전비용은 전적으로 펌프의 효율에 좌우된다. 펌프의 효율은 그림에서 알 수 있듯이 동일한 설계 및 제작기술 수준의 제품이라 하더라도 원심펌프(대략 비속도 400 이하)의 경우에는 비속도가 클수록 즉, 단수가 많을수록 효율이 상승하는 경향(그림 3 참조)을 지닌다. 따라서 단단보다는 2단 또는 3단 펌프가 효율면에서 유리하게 된다. 아래에서는 단수에 따른 효율 및 소비동력 변화에 대해 실제사례를 통해 알아본다.

### ◎ 사례 2 단수 - 효율 - 소비동력

▶ 펌프시방 : 7 m<sup>3</sup>/min - 210 m - 3500 rpm - 450 HP  
※ 전동기 2,500만원 별도

단수	비속도 Ns	도표효율 (%)	소비동력 (kW)	동력절감 (kW)	전력량요금 절감액/년	구입가 (만원)
단단	168	81	296.5	기준	기준	100
2단	282	85	282.6	13.9 (4.7%)	852만원	140
3단	383	85.5	280.9	15.6 (5.3%)	957만원	160

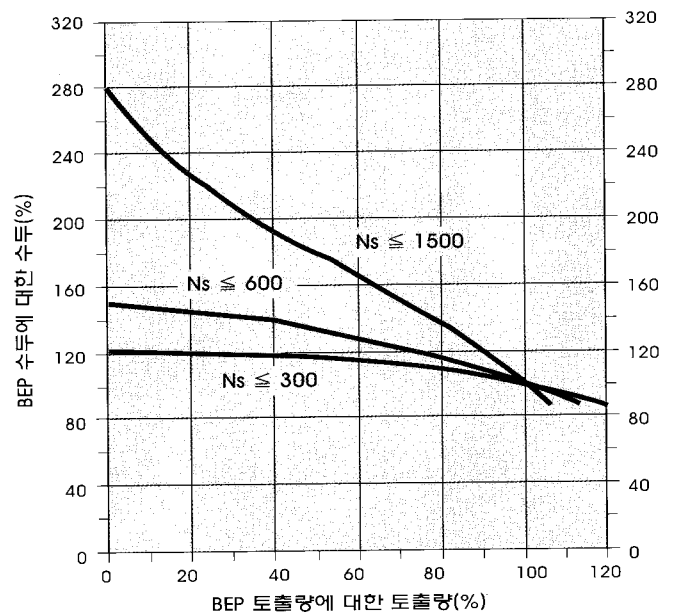
위에서는 동일한 시방점을 갖는 펌프라 할지라도 단수 증가 → 비속도 증가 → 효율 향상 → 소비동력절감의 결과를 볼 수 있다. 결국 2단 펌프를 선정하여 사용하게 되면 단단 펌프에 비해 5%에 가까운 동력절감과 함께 연간 852만원(펌프+전동기 가격의 33% 해당)의 전력량 요금을 절감할 수 있게 된다. 이러한 절감효과를 고려해 보면, 단단 펌프 대신 2단 펌프 설치에 따른 40만원 가량의 초기투자비 상승분은 단 17일만에 회수된다.

다만 표에서도 알 수 있듯이 2단에 비해 3단 또는 그 이상의 다단펌프는 가격대비 효율향상 정도가 미미하여 실제로는 거의 선정고려대상에서 제외된다. 아래의 사례3과 같이 용량 및 회전수가 작은 펌프라 할지라도 동력절감의 결과는 큰 차이가 보이지 않는다.

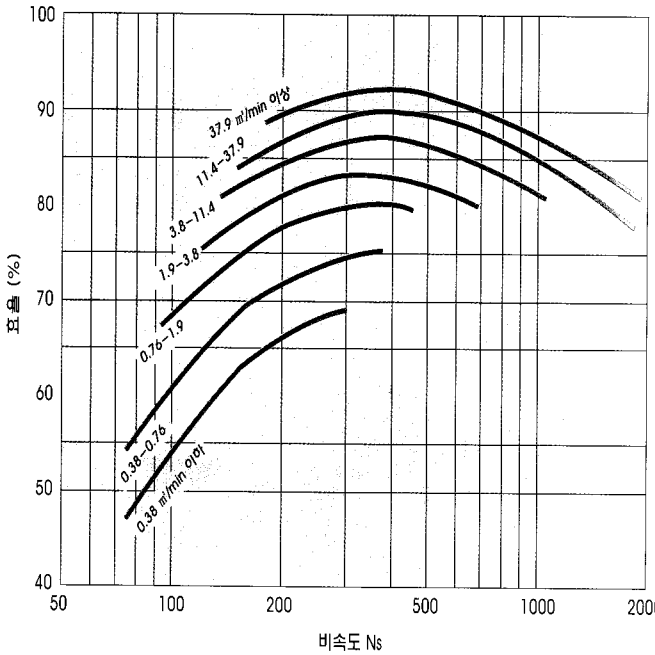
### ◎ 사례 3 단수 - 효율 - 소비동력

▶ 펌프시방 : 4.4 m<sup>3</sup>/min - 60 m - 1750 rpm - 100HP  
※ 전동기 400만원 별도

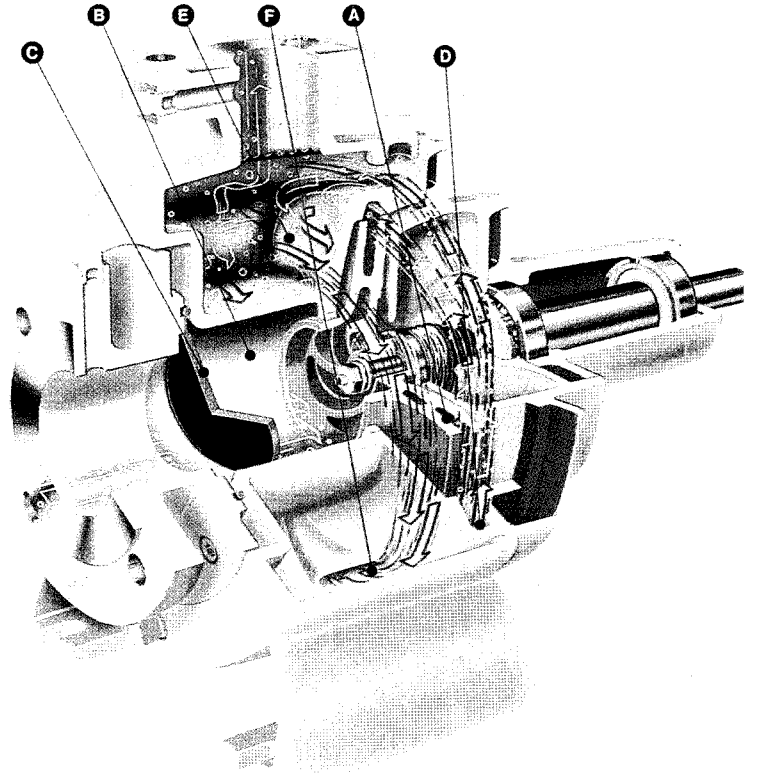
단수	비속도 Ns	도표효율 (%)	소비동력 (kW)	동력절감 (kW)	전력량요금 절감액/년	구입가 (만원)
단단	170	79	54.6	기준	기준	100
2단	286	84	51.4	3.2 (5.9%)	196만원	120
3단	388	84.5	51.1	3.5 (6.4%)	215만원	135



<그림 2> 비속도별 토출량변화에 따른 수두변화



〈그림 3〉 토출량별 비속도에 따른 펌프효율



## 회전수 선정

여기서의 회전수 선정은 흡입비속도(suction specific speed)에 대한 고려가 아닌 일반적으로 주변에서 사용되고 있는 2극(3500rpm)과 4극(1750rpm) 전동기 적용에 관한 것으로 국한한다.

1. 초기투자비 / 설치공간 : 3500rpm이 유리하다. 회전수 고속 → 펌프 외형/전동기 크기 축소 → 가격이 낮아진다. 예를 들어 사례4의 토출량 2m<sup>3</sup>/min, 양정 53m의 시방점을 위해 3500rpm 과 1750rpm의 경우 회전차 외경은 각각 200mm, 350mm 정도로 큰 차이를 보이게 된다.

2. 토출량 조정 : 3500rpm이 유리하다. 회전수 고속 → 비속도 증가 → 성능곡선 급경사화된다. 따라서 앞서 단수 비교에서 설명한 바와같이 1750rpm에 비해 양정변화에 대한 토출량변화량이 작은 3500rpm의 고속펌프가 토출량을 균일하게 유지하거나 미세하게 조정하는데 유리하다.

3. 유지보수비용 : 3500rpm 및 1750rpm 각각 장단점이 있다. 우선 회전수 고속 → 토크 작고 → 축경/Seal 및 회전차/Wearing Ring 크기 작아 → 부품 단가 낮아진다. 그러나 회전수 고속 → 축정렬/Unbalance 피해 커지고 → Seal Face 마모 많아져 → Seal/베어링 수명이 짧아진다. 그러나 종합적으로 볼 때 축정렬/balancing 기술만 확보된다면 고속회전이 유리하다. 단 펄프 등 마모성 슬러리 펌프의 경우는 무조건 1750rpm 이하에서 운전하도록 한다.

그리고 소음면에서도 1750rpm이 유리하기 하지만 대부분의 산업용이나 특히 소형의 경우에는 회전수에 따른 소음차이

는 고려대상이 되지 않는다.

5. 운전비용 : 고속회전, 즉 고비속도의 펌프가 효율이 우수하고, 그만큼 동력절감이 가능하다. 앞서 단수 비교와 비슷한 방법으로 다음 사례4에서는 회전수에 따른 효율 및 소비동력 변화를 알아본다.

### ◎ 사례 4 회전수 - 효율 - 소비동력

▶ 펌프시방 : 2 m<sup>3</sup>/min - 53 m - 단단 - 40HP

※ 전동기 130만원 별도

회전수 (rpm)	비속도 (Ns)	펌프효율 (%)	소비동력 (kW)	동력절감 (kW)	전력요금 절감액/년	구입가 (만원)
1750	126	73	23.7	기준	기준	100
3500	252	81	21.4	2.3 (9.7%)	141만원	40

여기서는 동일한 시방점을 갖는 펌프라 할지라도 회전수 고속 → 효율 향상 → 소비동력 절감의 결과를 볼 수 있다. 결국 3500rpm 펌프를 선정하면 1750rpm 펌프에 비해 10%에 가까운 동력절감으로 연간 141만원의 전력요금 절약을 할 수 있다. 더욱이 초기 구입비 또한 3500rpm 펌프가 60% 저렴하다. 단, 다시 한번 강조하건데 고속회전을 위해서는 밸런싱 및 축정렬 등의 진동저감 기술의 확보가 우선되어야 한다.

# Engineering Handbook

## 토출량변동 운전시 비속도와 소비동력의 관계

앞절에서는 단수와 회전수를 선정함에 있어 단수가 많을수록, 또는 회전수가 고속일수록 비속도 증가에 따른 효율향상으로 인해 소비동력이 절감됨을 보여주었다. 그러나 아쉽게도 이러한 고비속도-소비동력절감이라는 상관관계는 단지 100% 토출량 운전조건시에 한정된다. 다시말해 토출량변동 특히 100% 토출량보다 감소시켜 운전하는 경우 비속도와 소비동력간의 관계는 이전과는 전혀 다른 양상을 나타낸다. 다음의 사례5에서는 상시 100% 토출량 운전시와 실제로 일반적인 운전조건이라 할 수 있는 토출량 변동운전시의 비속도별 소비동력절감의 차이에 대해 알아본다.

### ◎ 사례 5-1 단수 - 소비동력

▶ 시방점 : 7 m<sup>3</sup>/min - 120 m - 3500 rpm - 250HP

※ 전동기 1500만원 별도

단수	비속도 Ns	도표율을 (%)	소비동력 (kW)	동력절감 (kW)	전력량요금 절감액/년	구입가 (만원)
단단	255	83	165.4	기준	기준	70
2단	430	85	161.5	3.9 (2.4%)	239만원	110

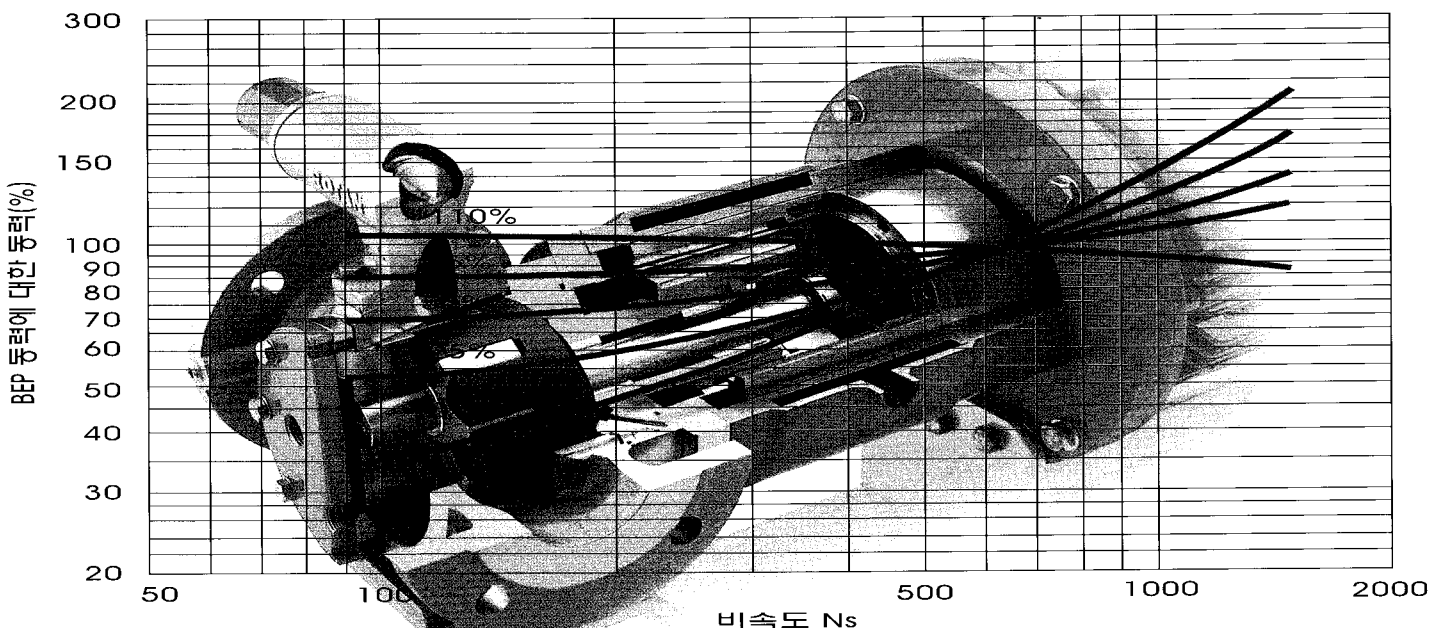
▶ 운전조건 : 상시 100% 토출량(BEP) 운전  
사례1,2에서 본 바와 같이 상시 100% 토출량(BEP) 운전시

에는 2단펌프(비속도 큼)가 단단펌프보다 동력이 절감(2.4%)됨을 재확인할 수 있다.

그러나 토출량을 감소하여 운전하는 경우에는 정반대의 결과가 나타난다. 즉, 100% 토출량(BEP)보다 작은 토출량으로 운전하게 되면 비속도가 클수록(단수가 많거나 회전수가 클수록) 소비동력은 비속도가 작은 경우보다 증가된다는 것이다 (그림 4 참조). 그리고 이러한 고비속도 펌프의 상대적인 소비동력 증가는 토출량이 작아질수록 심화된다.

펌프의 수동력은 이론적으로 토출량과 정비례하지만 소비동력(축동력)은 펌프효율변화 등의 이유로 토출량의 감소만큼 그대로 줄어들지 않는다. 이러한 변화율은 비속도에 따라서 큰 차이를 보이는데, 그림 4에서 알 수 있듯이 비속도가 클수록 토출량 감소에 따른 동력절감분이 작게 나타난다.

BEP 유량에 대한 유량 (%)	BEP 동력에 대한 동력 (%)		실제 소비동력 (kW)		소비동력 절감 (kW)	
	단단 (259)	2단 (436)	단단	2단	단단	2단
100	100	100	165.4	161.5	기준	+3.9 (2.4%)
75	88	94	145.6	151.8	기준	-6.2 (4.1%)
50	75	86	124.1	138.9	기준	-14.8 (10.7%)
25	62	80	102.5	129.2	기준	-26.7 (20.7%)



<그림 4> 비속도에 따른 토출량변화와 소비동력변화

그 결과 위의 표에서 정리된 바와 같이 2단펌프는 단단에 비해 오로지 100% 토출량에서만 2.4%의 동력절감이 있을 뿐, 그밖의 작은 토출량에서는 반대로 단단펌프의 동력소비가 커짐을 알 수 있다. 결국 75%, 50% 및 25% 토출량에서 단단펌프가 2단펌프에 비해 각각 4.1%, 10.7% 및 20.7%에 이르는 동력절감을 가져온다. 그렇다면 이번에는 토출량변동과 함께 운전시간까지 결부한 조건에서의 동력절감에 대해 정리해보자.

◎ 사례 5-2 단수 - 토출량 - 소비동력

- ▶ 시방점 : 7 m<sup>3</sup>/min - 120 m - 3500 rpm - 250HP
- ▶ 운전조건 : 토출량 변동 운전(아래 표 참조)

BEP 유량에 대한 유량 (%)	운전 시간		소비동력 (kWh)		소비전력량 절감(kWh)	
	%	시간	단단	2단	단단	2단
100	20	1,734	286,804	280,041	-6,763	기준
75	50	4,380	637,728	664,884	+27,156	기준
50	20	1,734	215,189	240,853	+25,664	기준
25	10	876	89,790	113,179	+23,389	기준
합계	100	8,760	1,229,511	1,298,957	+69,446	기준

위와같은 토출량변동 운전시에는 앞서 설명한 바와 같이 2단펌프 대신 단단펌프를 선정함에 따라 연간 486만원 (=69,446×70원)의 전력량요금을 절약할 수 있다. 이러한 절감효과는 토출량감소 운전시간이 증가할수록 커지게 될 것이다. 결론적으로 상시 100% 토출량 운전을 시행하진 않는 토출량변동 운전펌프에 대해서는 무조건 다단 또는 고속회전수의 고비속도 펌프만을 고집하지 말고, 반드시 위의 사례 5에서와 같은 방법으로 운전비용의 종합적인 비교검토작업을 마친 후 단수 또는 회전수를 선정하여야 한다.

▶ 참고문헌

1. W. David Gibson, "Centrifugal Pumps Get a Global Spin", Chemical Engineering, Aug. 1999, pp35-41.
2. Karassik, I. J., Krutzsch, W. G., Fraser, W. H., and Messina, J. P., "Pump Handbook", 2<sup>nd</sup> Ed., McGraw-Hill, Newyork, 1986.
3. Lobanoff, V., and Ross, R., "Centrifugal Pumps Design and Application", 2<sup>nd</sup> Ed., Gulf, Houston, Texas, 1992.
4. "Hydraulic Institute Standards", Hydraulic Institute, Cleveland, Ohio, 1994.
5. "Hydraulic Institute Engineering Data Book", 2<sup>nd</sup> Ed., Hydraulic Institute, Cleveland, Ohio, 1990.
6. "Sulzer Centrifugal Pump Handbook", 2<sup>nd</sup> Ed., Sulzer Pumps Ltd., Winterthur, Switzerland, 1998.
7. Anderson, H. H., "Centrifugal Pumps and Allied Machinery 4<sup>th</sup> Ed., Elsevier Science, Oxford, UK, 1994.

아직도  
방로만 뛰십니까?

●  
●

설비업체 홈페이지 검색서비스

www.subee.co.kr

