

인버터 구동 원심펌프의 급수 사용율에 따른 에너지 절감 평가

김경욱* · 서상호**† · 라키부자만*

Evaluation of Energy Savings for Inverter Driving Centrifugal Pump with Duty Cycles

Kyungwuk Kim*, Sang-Ho Suh**†, Rakibuzzaman*

Key Words : Duty Cycle(사용율), Energy Saving Rate(에너지 절감율), Inverter Driving Centrifugal pump(인버터 구동 원심펌프)

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate energy savings for inverter driving multi-stage centrifugal pump. Variable speed driving pump system has high efficiency compared with constant speed driving pump system. Because of difficulty to estimate operating efficiency of variable speed driving pump system, energy saving rates are used to replace operating efficiency. energy saving rates are calculated from pump input power and pump duty cycle. But another researches have used pump duty cycles of each season for energy saving rate. In this study, for estimating energy saving rate more high accuracy, pump duty cycles are measured for 1 year. pump duty cycles, depending on the season and be classified according to the weekday/weekend or during the week day. By this pump duty cycles, Energy saving rate is calculated appropriately

1. 서론

최근 이산화탄소 배출 규제 강화와 이에 따른 국내의 대체 에너지 개발 사업이 효율과 비용에 따른 문제로 추가적인 에너지를 생산해 내는 데 어려움을 겪고 있다. 또한, 2011년 일어난 대규모 정전 사태 등을 통해 사용 에너지의 절감은 국가적으로도 중요한 과제이다. 원심펌프는 산업 현장에서 보편적으로 사용되는 유체기계로 효율을 높이기 위한 다양한 연구가 지속되어 왔다.^(1~3) 이러한 연구 노력은 해외의 고효율 펌프의 임펠러 형상 분석과 추가적인 형상 변경을 통한 시뮬레이션을 통해 고효율의 펌프를 제작할 수 있는 단계가 되었다.^(4~7) 또한, 펌프 자체만의 성능이 아닌 인버터를 활용한 펌프의 효율적인 운전과 펌프 2-3대로 이루어진 세트의 작동 방식을 개선하여 효율을 높이는 방법을 찾고 있다.⁽⁸⁾ 인버터를 사용하는 가변속 운전 방법은 인버터 없이 토출측의 밸브 조절만을 통해 유량을 제어하는 정속 운전에 비해 15-30% 정도의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 연구되고 있다.⁽⁹⁾

가변속 운전의 경우 정속 운전과는 달리 회전속도에 따라 최고 효율점이 바뀌게 되어 정격 유량에 대한 단일 최대 효율을 구하기 어려운 상황이다. 이러한 가변속 운전의 성능을 평가하기 위한 방법으로는 에너지 절감율을 사용할 수 있고, 이에 대한 연구가 수행되어 왔다.⁽¹⁰⁾ 그러나, 기존 연구들에서는 에너지 절감율을 평가하기 위한 방법으로 사용되는 펌프의 사용율을 통합된 하나의 패턴 혹은 계절별에 따른 사용율만을 적용하여 에너지 절감율을 구하였다.^(11~13) 본 연구에서는 에너지 절감율을 평가하기 위한 방법으로 1년간 측정된 건물급수용 펌프 사용율을 분석하여 가변속 운전 시의 에너지 절감율을 더 정확히 계산할 수 있는 방법을 연구하였다.

2. 펌프 성능시험 및 사용율 측정

2.1 펌프 성능시험

정속 시와 가변속 시의 펌프의 성능을 평가하기 위한 시험

* 송실대학교 대학원 기계공학과(Graduate School, Soongsil University)

** 송실대학교 기계공학과(Dept. of Mechanical Engineering, Soongsil University)

† 교신저자, E-mail : suhsh@ssu.ac.kr

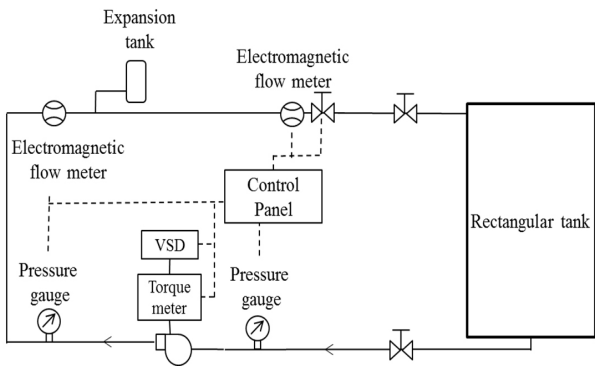


Fig. 1 Performance measuring system of the centrifugal pump

장치는 Fig. 1과 같다. 설치된 펌프는 입형 다단 원심펌프로 11 kW급으로, 사각 저수탱크는 길이 2.5 m, 폭 4.5 m, 높이 2.5 m, 배관의 직경은 저수탱크로부터 나오는 공통 배관의 직경은 100 mm, 원심펌프로 들어가는 배관의 직경은 50 mm, 펌프 전후 각 5D 떨어진 지점에 펌프 흡입측에 -1~1 bar, 토출측에 0~15 bar의 압력계를 설치하였다. 펌프로 전달되는 축동력을 정확히 측정하기 위해 펌프와 전동기 사이에 토크미터를 설치하였다. 전동기는 인버터의 주파수 조절을 통해 가변속이 가능하도록 하였고, 수격방지용 팽창탱크와 유량제어와 유량측정이 동시에 가능한 복합유량계, 정속 운전 시 수동으로 유량조절이 가능하도록 게이트 밸브를 설치하였다. 구축된 펌프 성능시험장을 Fig. 1에 나타내었다.

2.2 사용율 측정

건물급수용 펌프의 가변속 운전 시의 에너지 절감율을 구하기 위해 송도의 아파트 단지 내의 급수용 펌프 시설에 초음파 유량계를 설치하여 2014년 3월 19일부터 2015년 2월 5일까지의 펌프 사용율을 측정하였다. 초음파 유량계 모델은 FLUXUS F601, 유속 범위 0.01~25 m/s, 기준 불확실도는 0.2% 미만, 사용 온도 범위 -10~60°C이다. 유량 측정 간격은 2분 당 1번으로 하였다. 건물 내에 설치된 초음파 유량계를 Fig. 2에 나타내었다.

2.3 펌프 성능 측정

가변속 펌프의 성능을 측정하기 위해 인버터를 통해 전동기의 회전수를 3600 rpm에서 400 rpm 식 감소시켜가며 2000 rpm까지의 펌프 시험을 수행하였다.

2.4 급수용 펌프의 가변속 정압 운전

급수용 펌프는 일반적으로 건물의 고층까지 유량을 전달



Fig. 2 Building place installed ultrasonic flowmeter

시키기 위하여 펌프의 최소 토출양정이 일정값 이상이 되도록 운전된다. 정압 운전을 하는 경우 토출측의 게이트 밸브를 통해 유량을 조절하고, 최소 토출양정 이상에서 운전되도록 설정된다. 가변속 운전의 경우 요구 유량에 해당하는 회전수로 펌프를 운전하여 최소 토출양정에 해당하는 유량과 양정에서 운전되도록 설정된다.

3. 결과 및 검토

3.1 가변속 펌프 성능 측정

정속/가변속 운전 시의 원심펌프의 H-Q curve를 Fig. 3에 나타내었다. 회전수에 감소에 따른 양정 감소를 확인할 수 있다. 정속/가변속 운전 시의 펌프 운전 설정에 따른 H-Q curve를 Fig. 4에 나타내었다. 유량감소에 따라 정압 운전의 경우 최소 토출양정 이상에서 운전된다. 정속/가변속 운전 시의 펌프 입력동력을 Fig. 5에 나타내었다. 펌프의 요구유량 감소에 따른 정속 운전에 대한 가변속 운전의 동력 감소를 확인할 수 있다.

3.2 건물급수용 펌프 사용율 분석

건물급수용 펌프의 사용율을 위해 설치된 초음파 유량계로부터 측정된 2014년 3월 19일부터 2015년 2월 5일까지의 펌프 사용율을 계절에 따라 봄/여름/가을/겨울로 분류하고,

인버터 구동 원심펌프의 급수 사용율에 따른 에너지 절감 평가

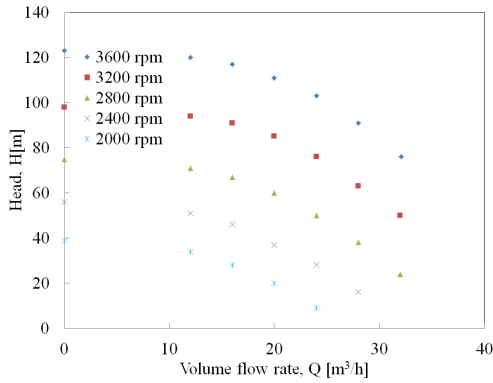


Fig. 3 Pump performance for centrifugal pump

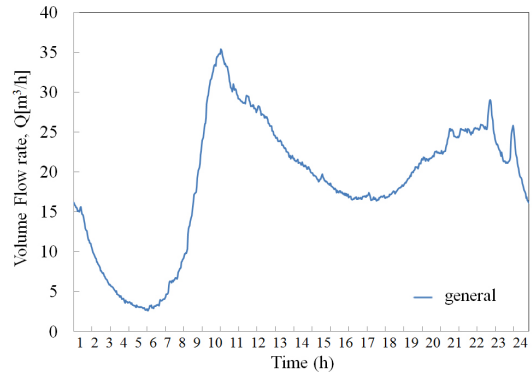


Fig. 6 General pump duty cycle (spring)

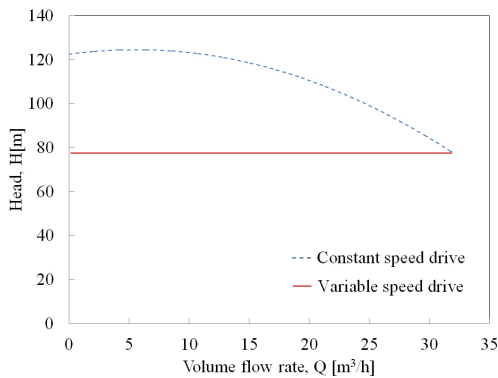


Fig. 4 Pump operation for constant and variable speed drive

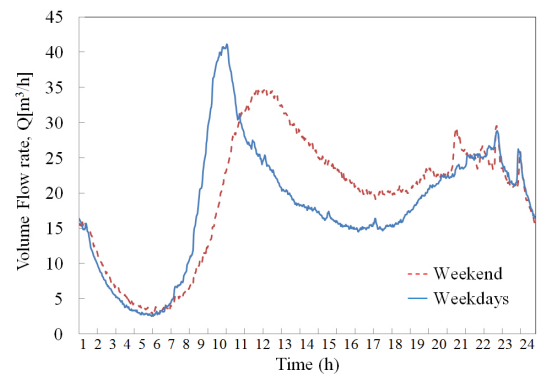


Fig. 7 Weekdays/weekend pump duty cycle (spring)

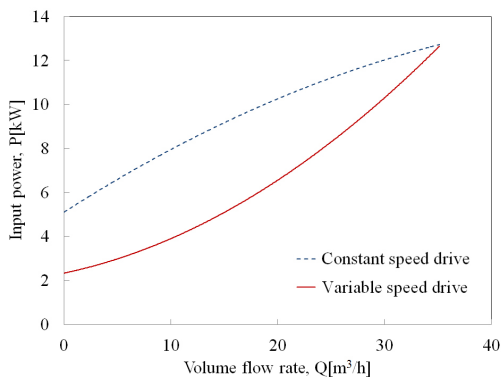


Fig. 5 Pump input power versus flow rate for constant and variable speed drive

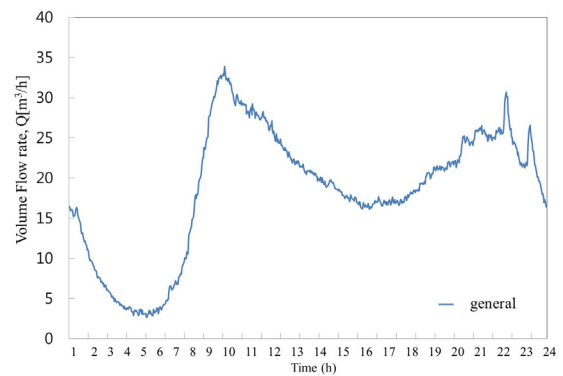


Fig. 8 General pump duty cycle (summer)

각 계절에 따른 통합 일일 사용율과 주중/주말 사용율을 구하였다. 구해진 계절에 따른 통합 일일 사용율과 주중/주말 사용율을 Fig. 6~13에 나타내었다. 통합 일일 사용율의 경우 최대 사용 유량 시간대는 9시에서 10시 사이로 나타났고, 봄과 가을 여름과 겨울이 유사한 사용율을 가지며, 최대 사용 유량은 봄이 가장 많은 것으로 나타났다. 주중/주말 사용율은 주중의 경우 통합 일일 사용율과 동일하게 9시에서 10시 사이에 최대 사용 유량을 보였고, 주말의 경우 주중에 비해 2시간 정도 지난 11시에서 12시 사이에 최대 사용 유량을

보였다. 또한, 1년 전체의 통합 일일 사용율과 주중/주말 사용율을 Fig. 14~15에 나타내었다. 각 계절에 따른 통합 일일 사용율과 주중/주말 사용율을 통해 구한 에너지 절감율을 Table 1~2에 나타내었다.

4. 결론

인버터 구동 원심펌프를 사용하여 정속과 가변속 시의 펌프의 에너지 절감율을 통해 가변속 시의 성능향상을 평가하기 위해 가변속 성능시험을 위한 시험장을 구축하였다. 국내

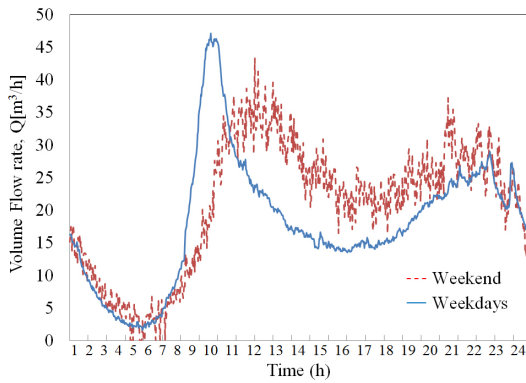


Fig. 9 Weekdays/weekend pump duty cycle (summer)

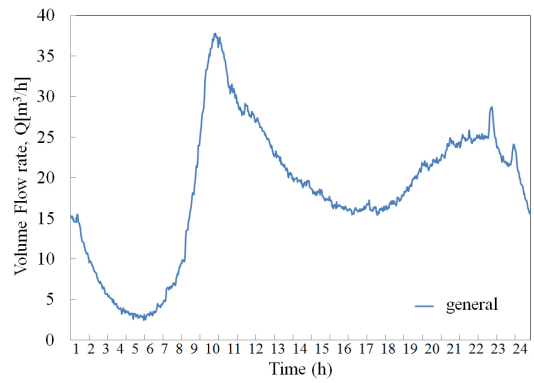


Fig. 12 General pump duty cycle (winter)

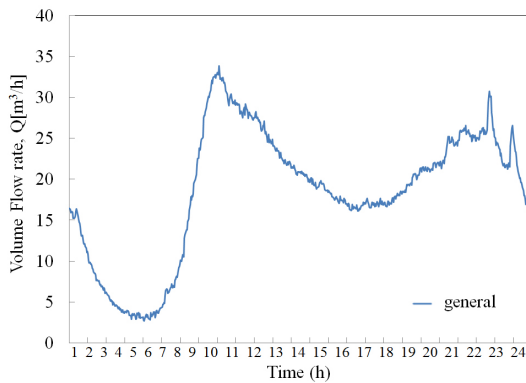


Fig. 10 General pump duty cycle (autumn)

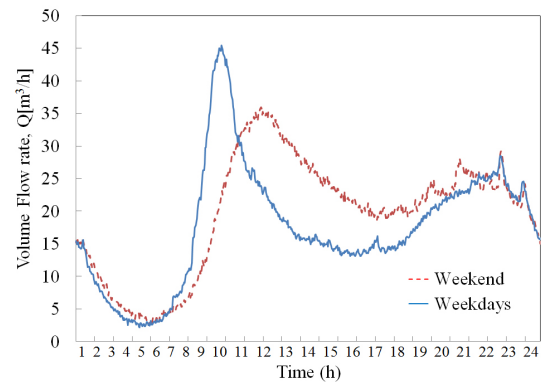


Fig. 13 Weekdays/weekend pump duty cycle (winter)

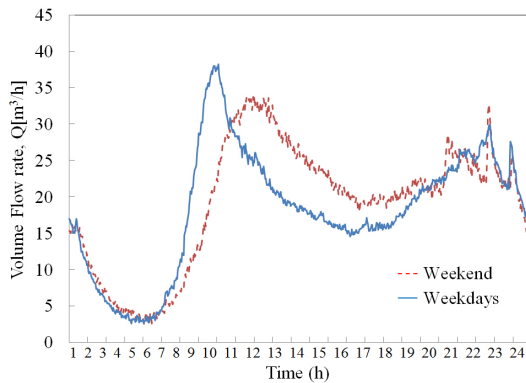


Fig. 11 Weekdays/weekend pump duty cycle (autumn)

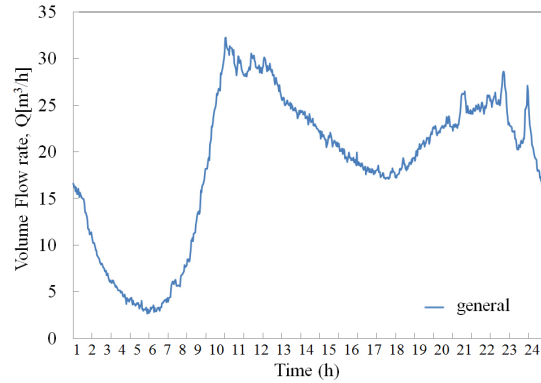


Fig. 14 General pump duty cycle

의 아파트 단지 내에 설치된 펌프의 1년간 사용량을 측정하여 분석한 후, 각 계절에 따른 주중/주말 및 통합 일일 펌프 사용율로 구분하여 정속에 대한 가변속 시의 원심펌프의 에너지 절감율을 구하였다. 주중/주말 펌프 사용율로부터 구한 에너지 절감율은 37.42, 38.61, 37.99, 38.56%로 최대 차이는 봄과 여름으로 1.19%의 차이를 보였고, 통합된 일일 펌프 사용율로부터 구한 에너지 절감율은 계절별로 38.22, 38.95, 38.71, 38.9%로 최대 차이는 봄과 가을로 0.73%의 차이를 보였다. 동일한 계절의 비교 시 최대로 차이가 나는 계절은 봄으로 0.8%의 에너지 절감율 차이를 보였다. 에너

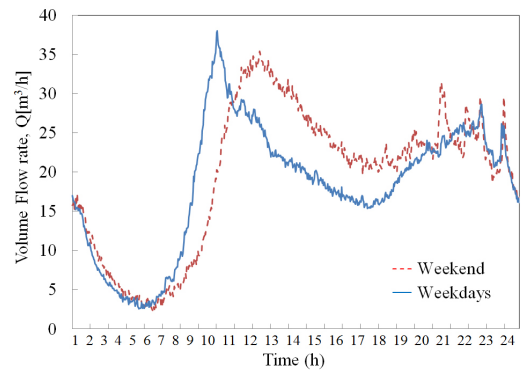


Fig. 15 Weekdays/weekend pump duty cycle

Table 1 Energy saving rate (%) using general duty cycle

General usage pattern	Energy Consumption(kW·h)		Energy Saving rate(%)
	Constant Speed	Variable Speed	
spring	14393	8892	38.22
summer	11276	6884	38.95
autumn	14091	8636	38.71
winter	10943	6686	38.9

Table 2 Energy saving rate (%) using weekend/weekdays duty cycle

Weekend/Weekdays usage pattern	Energy Consumption(kW·h)		Energy Saving rate(%)
	Constant Speed	Variable Speed	
spring	14345	8977	37.42
summer	11256	6910	38.61
autumn	14037	8704	37.99
winter	10923	6711	38.56

지 절감효과를 평가하기 위한 방법으로 일반적으로 사용되는 계절에 따라 구분된 통합 일일 펌프 사용율보다는 명확한 차이를 보이는 주중/주말 패턴을 사용하는 것이 더 정확한 방법으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20132010101870).

References

(1) Gonzalez, J., Fernández, J., Blanco, E., and Santolaria, C., 2002, "Numerical simulation of the dynamic effects due to impeller-volute interaction in a centrifugal pump", *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 124, No. 2, pp. 348~355.

(2) Jafarzadeh, B., Hajari, A., Alishahi, M. M., and Akbari, M. H., 2011, "The flow simulation of a low-specific-speed high-speed centrifugal pump", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 35, No. 1, pp. 242~249.

(3) Parrondo-Gayo, Jorge L., Jose Gonzalez-Perez, and Joaquín Fernández-Francos, 2002, "The effect of the operating point on the pressure fluctuations at the blade

passage frequency in the volute of a centrifugal pump", *Journal of Fluids Engineering* Vol. 124, No. 3, pp. 784~790.

(4) Pyun, K. B., Kim, J. H., Choi, Y. S., and Yoon, J. Y., 2011, "Design optimization of a centrifugal pump impeller using rsm and design of volute", *The KSFJ Journal of Fluid Machinery*, Vol. 15, No. 3, pp. 39~45.

(5) Jung, I. S., Jung, W. H., Baek, S. H., and Kang, S., 2012, "Shape optimization of impeller blades for bidirectional axial flow pump", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, Vol. 36, No. 12, pp. 1141~1150.

(6) Kim, S., Choi, Y. S., Yoon, J. Y., and Kim, D. S., 2008, "Design optimization of centrifugal pump impeller using DOE", *The KSFJ Journal of Fluid Machinery*, Vol. 11, No.3, pp. 36~42.

(7) Šavar, Mario, Hrvoje Kozmar, and Igor Sutlović, 2009, "Improving centrifugal pump efficiency by impeller trimming", *Desalination* Vol. 249, No. 2, pp. 654~659.

(8) Sakthivel, N. R., V. Sugumaran, and Binoy B. Nair, 2010, "Comparison of decision tree-fuzzy and rough set-fuzzy methods for fault categorization of mono-block centrifugal pump", *Mechanical systems and signal processing*, Vol. 24, No. 6 pp. 1887~1906.

(9) Suh, S. H., Kim, H. H., Rakibuzzaman. MD., Kim, K. W., and Yoon, I. S., 2014, "A study on the performance evaluation of variable-speed drive pump", *The KSFJ Journal of Fluid Machinery*, Vol. 17, No. 5, pp. 83~88.

(10) Suh, S. H., Kim, K. W., Kim, H. H., Yoon, I. S., and Cho, M. T., 2015, "Evaluation of energy saving with vector control inverter driving centrifugal pump system", *The KSFJ Journal of Fluid Machinery*, Vol. 18, No. 2, pp. 67~72.

(11) De Almeida, A. T., Ferreira, F. J., and Both, D., 2005, "Technical and economical considerations in the application of variable-speed drives with electric motor systems", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41. No. 1, pp. 188~199.

(12) Ma, Z. and Wang, S., 2009, "Energy efficient control of variable speed pumps in complex building central air-conditioning systems", *Energy and Buildings*, Vol. 41, No. 2 pp. 197~205.

(13) Wang, S. and Burnett, J., 2001, "Online adaptive control for optimizing variable-speed pumps of indirect water-cooled chilling systems", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21 No. 11, pp. 1083~1103.