

광전자방식 센서를 이용한 수중모터 운전감지방식

종신회원 최 규 남*

Submergible Pump Monitoring Method using Optoelectronic Sensor

Kyoo Nam Choi* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 수중에 위치한 수중펌프가 운전 중에 문제가 생길 경우 이를 효율적으로 모니터링 할 수 있는 방법에 대하여 제안한다. 기존의 권선 및 베어링 온도감지 방식 등의 기계적인 방식은 센서를 펌프 또는 모터 본체에 취부하여 고속 회전시 축불균형 문제를 발생시키며 또한 반응속도도 낮았으나 제안하는 광전자 방식은 비접촉식으로 운전상황을 감지할 수 있으며 반응속도가 빠른 강점이 있었다. 광전자 방식 수중모터 운전감지 시스템을 제작하여 역상 운전 감지, 회전속도 감지, 절연저항 감시를 수행하였다. 광전자 방식 센서는 모터의 단면 축에 두 개의 반사패턴을 부착하여 인식하는 방법을 사용하였다. 특히 역상운전 감지와 회전속도 감시는 모터의 회전축에 물리적인 센서를 필요로 하지 않아 센서의 무게로 인한 모터의 축 불균형 문제없이 효율적으로 운전을 감지하였다. 감지 데이터를 다중화 하는 방식으로 외부와의 통신선로를 최소화 하는 방식도 사용하였다.

Key Words : Sensor, Submergible pump, Pump monitoring, Optoelectronic pump

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient monitoring method of submergible pump in case of malfunction in water. A conventional way of monitoring method such as winding and bearing temperatures required the sensors to be attached directly to the enclosure of pump or motor, thus it caused not only axis unbalance problem but also low response time. The proposed optoelectronic method had advantage of monitoring operation parameters using non-contact method with fast response time. The optoelectronic monitoring system was fabricated, and it was applied to monitoring of reverse rotation, revolution and insulation resistance. Optoelectronic sensing was realized by attaching two reflective patterns directly to the cutting edge of motor axis. It was particularly advantageous in the monitoring of reverse rotation and revolution without axis unbalance problem, because it does not require physical sensors in motor axis. Also the technique by multiplexing data lines helped to minimize communication lines to outside.

I. 서 론

수중펌프는 일반 지상에 설치된 모터와 달리 모터 및 펌프가 수중에 위치하여 운전 중에 문제가 생길 경우 보수에 상당한 인력과 경비가 소요되게 된다. 마

모에 의한 축 편심이나 베어링 파손에 의한 진동, 이물질 흡입 따른 과전류 문제들은 모터가 정지하거나 파손된 후에야 인지할 수 있어 이를 교정하는데 많은 비용과 시간을 필요로 하였다. 기존의 방식은 수중펌프 내부에 온도감지 센서, 습기감지 센서를 장착

※ 본 연구는 인천전문대학 교내 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

* 인천전문대학 정보통신과 (knchoi@icc.ac.kr)

논문번호 : 08049-0721, 접수일자 : 2008년 7월 21일

하고 이를 전선으로 외부로 연결시켜 모니터 함으로써 간접적으로 사고를 감지하여 일부 보호기능을 갖출 수 있었다. 그러나 이러한 방식은 감지되는데 실 시간으로 감지되지 않고 시간지연이 발생하고 중소형 수중펌프의 경우에는 비용 상의 문제로 이러한 기능을 수행하는 모터제어반이 없어 사고를 사전에 방지할 수 없었다. 따라서 이러한 수중펌프의 정상적인 운전을 위하여 운전사항을 감지할 수 있는 장치를 내장하고 외부에서 모니터링 할 수 있는 시스템이 요구된다. 특히 중소형의 경우에는 자체적인 보호 기능을 갖도록 할 필요가 있었다. 수중펌프의 운전 감시 대상으로는 역상 운전 감시, 회전속도 감시, 베어링 온도 감시, 절연저항 감시 등이 요구된다. 이 중에서도 특히 역상운전 감시와 회전속도 감시는 모터의 회전축에 센서를 부착하여야 하는 관계로 모터가 고속으로 회전시 센서의 무게로 인한 모터의 축 균형에 문제가 발생된다. 본 연구에서는 이러한 모터 회전축 무게중심의 불균형 문제를 해결하기 위하여 광전자적 감지 기법을 사용하여 모니터링 하는 방법에 대하여 제안한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 수중펌프 모니터링 방법에 대하여, 3장에서는 모니터링 시스템에 대한 실험에 대하여 기술하고, 끝으로 4장에서 결론으로 맺는다.

II. 수중펌프 모니터링

수중펌프 보호에서 먼저 고려하여야 할 사항은 이물질 흡입에 따른 모터 보호를 위하여 감지능력을 갖게 하는 것이다. 수중모터펌프에 이물질이 흡입되면 수중펌프의 임펠러 움직임에 저항이 발생하게 되고 회전속도가 난조를 보이며 전체적으로 평균 회전속도가 저하하게 된다. 이러한 부하증가에 따른 속도저하는 모터 전류를 증가하게 하고 모터권선의 온도가 상승하게 된다. 그러나 모터에 흐르는 전류는 전원의 상간 전압의 불평형도와 전원전압의 변동에도 영향을 받으므로 단순히 감지감도를 높이는 것만으로는 이물질 흡입을 감지하기가 쉽지 않게 된다. 이러한 관점에서 안정적이면서 실제 모터의 운전 상태를 나타내는 모터의 회전수를 감지하여 회전수가 규정치 이하로 운전속도가 저하되면 이물질이 흡입되었다고 판단하여 전원을 차단하는 방법이 가장 실제 운전 상태를 반영하는 보호방식으로 고려할 수 있을 것이다.

수중펌프 보호에서 두 번째로 고려하여야 할 사

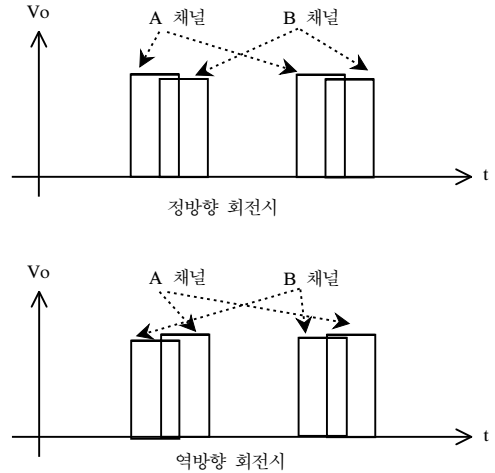


그림 1. 역상운전 감지 방식의 개념도

항은 3상 전원 중 두선을 바꾸어 결선하여 모터가 역회전 하는데 따른 모터 보호기능을 갖게 하는 것이다. 수중펌프가 역상운전이 되면 물이 소량 토출되며 임펠러 수명에도 악영향을 미치게 된다. 모터의 역상운전을 감지하는 방식은 여러 가지 방식이 채용되고 있다. 두개의 SCR과 하나의 계전기를 사용하여 검출하는 방식[1], 다수의 연산증폭기를 사용하여 검출하는 방식[2][3] 등이 사용되고 있다. 이러한 검출방식들은 아날로그 신호처리 방식을 사용하고 있어 전원파형이 찌그러지거나 고조파가 다수 함유될 경우 리플의 영향으로 오동작 할 수 있었다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 디지털 신호처리 방식을 사용한 역상보호 방식을 채용하여 전원에 포함된 리플의 영향을 최소화하여 동작에 안정화를 기했으며 전체 보호회로를 집적화가 용이하도록 하였다.

수중펌프 보호에서 세 번째로 고려하여야 할 사항은 권선의 규정 절연저항 값 유지 여부를 감지하는 능력을 갖게 하는 것이다. 수중펌프는 항상 물속에 위치하기 때문에 습기 또는 물의 침투 가능성이 높다. 이러한 습기의 존재는 절연저항의 저하로 이어져 누전의 원인이 되며 그 정도가 심할 때는 누전전류로 인하여 전원 공급이 끊기게 되며 그렇지 아닐 경우엔 모터 소손으로 이어지게 된다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 Switch Mode 고압발생 방식을 사용한 절연저항 측정 방식을 채용하여 모터가 기동하기 전에 절연저항을 측정하여 규정치 이상의 절연저항 값이 나올 때만 다음단계로 넘어가 운전이 가능하도록 하는 방식을 사용하였다.

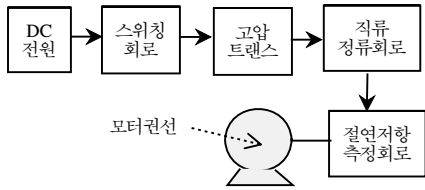


그림 2. Switch Mode 절연저항 측정 방식의 개념도

III. 실험

고속회전시 모터의 축에 부라켓을 부착하여 모터의 편심상태를 야기하는 등의 부작용을 막기 위하여, 운전시 축의 회전에 영향을 주지 않으면서 모니터링하기 위하여 그림 3과 같은 광전변환방식 센서를 채용하였다. 그림 3 (a)에서 모터의 회전축 단면에는 흑색으로 칠하여 빛을 흡수하게 한 다음 축의 중심에서 45도 각도 부분에는 한 개의 은박지 패턴을 부착하여 빛을 반사할 수 있게 하였다. 모터의 회전축위에 반사형 광전소자 (reflective photo-interrupter) 2개를 상부 케이스에 부착하여 광전소자 내 발광다이오드에서 나오는 적외선 빔을 모터의 회전축 방향으로 방사하면 축이 회전시 흑색 부분 위를 비출 때는 반사되는 빛의 반사량이 적다가 백색 부분 위를 비출 때는 반사되는 빛의 반사량이 많아져서 반사형 광전소자 내의 수광소자에 흐르는 전류에 변화가 나타나게 된다. 이러한 수광소자에 흐르는 전류의 변화를 저항에 흐르게 하여 전압으로 변환한 후 나타나는 파형으로 부터 펄스수를 계산하여 회전수와 회전방향을 인식할 수 있게 된다.

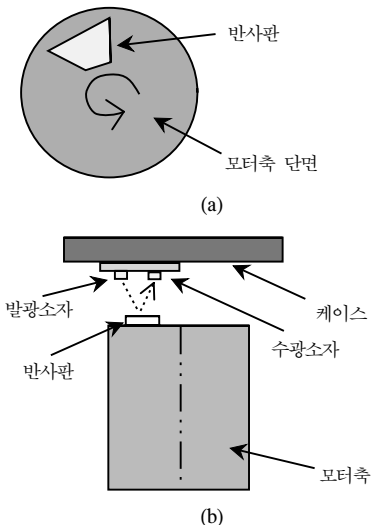
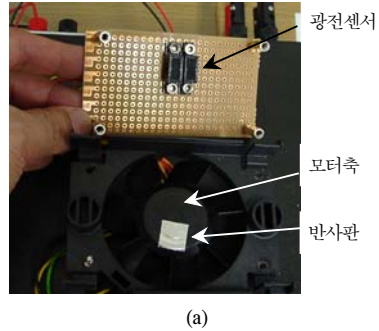
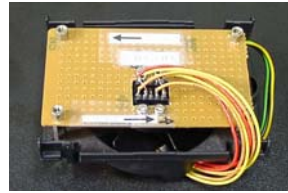


그림 3. 광전자 방식 센서의 개념도; (a) 센서의 평면도, (b) 센서의 측면도.



(a)



(b)

그림 4. 광전자 방식 센서의 시작모형; (a) 센서의 내부구조도, (b) 센서의 조립도.

그림 4에 보인 시작 모형과 같은 광전자 방식 센서에서 모터가 회전하면 적외선 LED에서 방사되는 빛이 모터 축에 부착된 반사판에서 반사되어 주기적으로 두 개의 수광소자에 전달되게 된다. 두 개의 수광소자에 한 개의 반사판에서 반사되는 빛이 각각 일정시간의 지연을 갖고 검출되어 그림 5와 같이 중간 부분에서는 신호가 겹치는 파형을 갖게 된다. 그림 4에서 1번 신호는 1번 채널 수광소자에 도달한 반사판으로 부터의 빛에 의해 생성된 신호이며, 2번 신호는 2번 채널 수광소자에 도달한 반사판으로 부터의 빛에 의해 생성된 신호이다. 이렇게 수광소자에 검출된 신호는 TTL 레벨의 디지털 파형으로 정형화하기 위하여 펄스파형을 비교기(Comparator)를 사용하여 TTL 신호로 변환하였다.

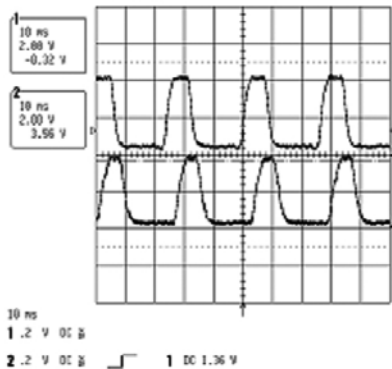


그림 5. 광전자 방식 센서의 출력파형

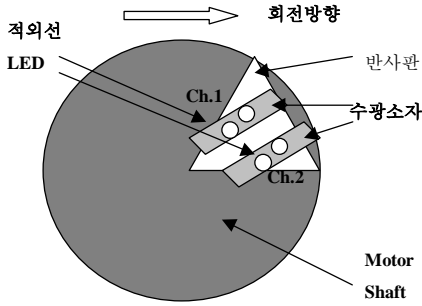


그림 6. 역상운전 감지 방식의 구조도

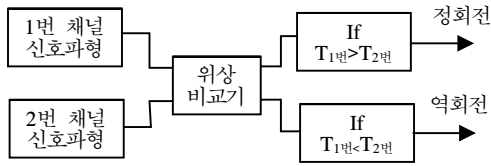


그림 7. 역상운전 보호시스템의 블록도

모터의 역상운전을 모니터 하기 위한 그림 6과 같은 장치에서, 모터에 결선되는 전원선이 역상으로 연결되어 역회전을 하게 되면 2번 신호가 먼저 입력되고 1번 신호가 나중에 입력될 것이다. 이러한 신호입력의 순서로 부터 역회전을 검출하는 방법을 사용하였다.

그림 7에 역상운전 보호 시스템의 블록다이어그램을 나타내었다.

수중펌프의 임펠러에 이물질이 흡입 되었을 때 모터의 회전수가 감소되는 비율을 측정하여 이물질 흡입 여부를 감지하는 방식을 사용하였다. 모터가 회전하면 광전변환센서에서 회전수에 비례하는 펄스를 생성하게 된다. 회전수가 많아지면 이에 비례하여 분당 펄스수도 증가하게 된다. 이렇게 입력된 펄스수를 측정하여 주파수로 환산하고 이를 주파수-전압 변환장치 (F-V: frequency-voltage conversion)를 사용하여 회전수에 비례하는 아날로그 전압으로 변환하는 방식을 사용하였다. 그림 8에 회전수가 2300rpm 일 때 2.4V의 직류전압이 출력되는 것을 나타내고 있다. 그림 9에 이물질 흡입 감지 방법의 개념 블록도를 나타내었다.

그림 9에 나타난 이물질 감지 프로세스를 자세히 설명하면, 펌프의 흡입구에 이물질이 흡입되면 회전수에 불균일이나 저하를 가져오게 되고 평균회전수에 비례하는 만큼 아날로그 출력전압이 저하하게 된다. 단기간의 급격한 회전수변화를 제어 프로세스에 반영하면 시스템의 민감도가 증가하여 오동작의 가

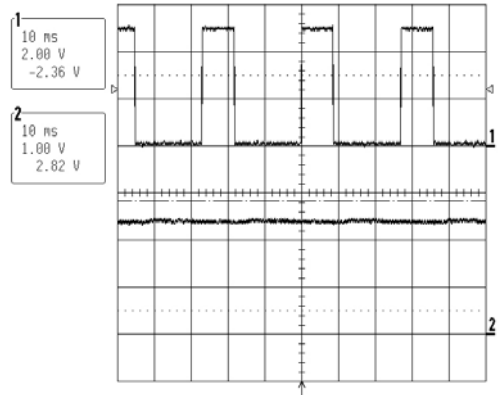


그림 8. 이물질 흡입감지 시스템의 F-V 변환기 출력

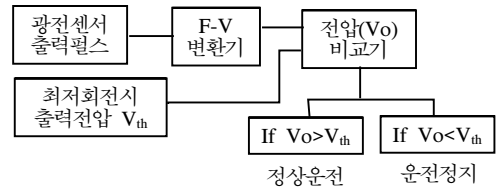


그림 9. 이물질 흡입감지 방법의 개념 블록도

능성이 있으므로 적분회로를 통과하여 평균회전수를 계산하는 방법을 사용하였다. 다음 단에서 펌프의 특성상 이상이 있다고 판단되는 최소회전수에 못 미치는 출력전압이 검출되면 펌프의 운전이 정지되도록 하였다.

모터 권선의 절연저항 감지는 교류 3상에 연결되는 3개의 고정자 권선이 내부에서 모두 연결되어 있으므로 1개의 권선에 대해서만 측정 감지하여도 전체 권선의 절연저항을 동시에 측정하는 것과 동일하므로 1개의 권선에 대해서만 측정하는 방법을 사용하였다. 저압 모터는 직류 600V 를 고압 모터는 직류 1000V 를 사용하여 절연 저항을 측정하였다.

위에서 설명한 역상운전 보호회로, 이물질흡입 검출회로, 절연저항 감지회로로 부터의 신호는 논리회로에서 종합적으로 펌프의 운전을 계속하게 할 것인지 정지시킬 것인지를 결정 하는데, 제일 먼저 절연저항 시험을 하고 이 시험을 통과하게 되면, 초기 펌

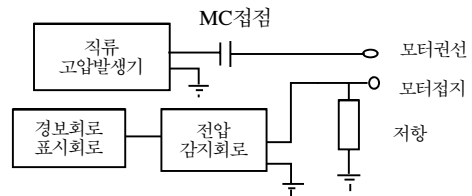


그림 10. 절연저항 측정 회로

프 기동시 펌프가 정상운전 속도에 도달할 때까지는 운전을 계속하도록 하여야 하기 때문에 시간지연회로에서 정상운전 속도에 도달할 때까지는 운전을 계속하도록 신호를 보낸다. 이렇게 하여 펌프가 운전을 계속할 경우에도 각 작동단계마다 잠음이 발생되며 이를 그대로 둘 경우 모터전원개폐기가 단속적으로 개폐를 반복하는 chattering 현상이 발생하게 되므로 잠음필터회로에서 구동회로에 공급되는 구동신호에 포함되는 잠음을 제거하게 된다. 이렇게 하여 구동회로로부터 구동되는 모터전원개폐기가 초기 정상속도에 도달할 때까지 운전을 계속하다가 정상속도에 도달한 다음에는 감시모드로 전환되어 역상이나 이물질 흡입에 의한 이상이 발생시 모터에 공급되는 전원을 차단하여 모터를 과전류로부터 보호하는 방법을 사용하였다.

이상과 같이 개발된 역상운전 보호장치, 이물질 흡입 검출 시스템과 절연저항 측정감시 시스템을 조합하여 수중펌프를 모니터링 할 수 있는 보호장치 테스트베드를 그림 11에 보이고 있다.



그림 11. 수중펌프 모니터링 테스트베드

IV. 결론

본 논문에서는 두개의 반사형 광전변환소자를 이용하여 모터의 회전방향을 감시하는 역상운전 방지장치와, 수중모터펌프에 이물질이 흡입되어 회전수가 저하 되는 것을 광전변환소자와 부터 모터 회전수를 주파수-전압 변환장치를 사용하여 이날로그 전압으로 바꾸어 회전수를 판단하는 방법을 사용한 보호회로와, 고압발생기를 사용한 모터 권선 절연저항 감시회로를 종합하여 수중펌프 감시장치를 구성하였다. 실험결과는 절연저항은 20MΩ 이상이면 정상운전 2MΩ~20MΩ는 경고이고 2MΩ 이하이면 전원을 즉시 차단 시키는 알고리즘을 사용하였다. 역상운전 감지는 모터가 1회전 이상 회전시 감지가 가능하였고, 이

물질흡입에 대한 보호회로는 정상속도 도달에 20초를 두고 정상운전을 하게한 후 감시모드로 전환하여 정상속도의 90%가 되는 속도 이하로 속도가 저하되면 전원을 차단하도록 설정하여 임펠러에 금속체 흡입과 같은 순간적 속도저하에도 1초 이내에 차단됨을 보여주었다. 부드러운 물체의 흡입이나 큰 이물질인 경우에도 효율적으로 작동됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Clement J. Weber, "Phase sequence and phase loss monitor," US Patent 3,611,050, Oct. 5, 1971.
- [2] Maynard C. Yeasting, "Multi-phase voltage monitor," US Patent 4,333,050, Jun. 1, 1982.
- [3] Ivar L. Schoenmeyr, "Power monitor system," US Patent 4,333,119, Jun. 1, 1982.
- [4] F. J. Eberhardt and F. A. Andrews, "Laser heterodyne system for measurement and analysis of vibration," *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol.48, pp.603, 1970.
- [5] A. C. Lewin, A. D. Kersey and D. A. Jackson, "Non-contact surface vibraton analysis using a mono-mode fiberoptic interferometer incorporating an open air path," *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol.18, pp.604, 1985.
- [6] R. I. Laming, M. P. Gold, D. N. Payne and N. A. Halliwell, "Fiber optic vibration probe," *SPIE Proc.*, Vol.38, pp.586, 1986.
- [7] J. D. C. Jones et al, "Disign of fiber optic systems for doppler difference laser velocimetry," *Laser Anemometry in Fluid Mechanics*, Ladoan, Lisbon, pp.69, 1984.

최 규 남 (Kyoo Nam Choi)

종신회원



1976년 1월 서울대학교 공과대학 졸업

1989년 12월 미국 Texas A&M University 전자공학과 석사

1992년 8월 미국 Texas A&M University 전자공학과 박사

1992년 7월~1994년 8월 LG 전자 기술원 연구실장

2000년 8월~2002년 7월 미국 CEMDAS 연구소 연구원

1994년 8월~현재 인천전문대학 정보통신과 교수

<관심분야> 광센서, 광통신