

광역상수도용 펌프의 규격 최적결정방법에 관한 연구

노형운*1, 서상호*2, 김경엽*3, 김성원*4, 김일수*5, 박종문*6
 박희경*7, 박노석*7, 이봉주*8, 이정우*9, 이영범*9, 이영호*10, 김상균*11

1. 서 론

수도권 광역상수도에서 사용되는 펌프설비는 매우 다양하다. 이 펌프설비의 적부 및 유기적 결합도가 급수의 안정성 및 경제성에 큰 영향을 미친다. 수도권 광역상수도에서 사용되는 펌프설비는 안전성과 효율성을 확보할 수 있어야 하고, 신뢰성이 높아야 한다. 또한, 고장시에도 펌프설비의 기능이 정지되지 않도록 백업(backup) 기능이 갖추어져야 한다. 수도권광역상수도의 사업을 계획할 때는 펌프설비가 펌프설비의 적정성과 설치환경 혹은 인적조건, 운전 및 관리의 기본방침이 고려된 기본계획안이 작성되어야 한다. 이런 사업계획은 시설의 입지에 따라 신뢰성·안정성·경제성·보전성이나 환경보전대책 등의 평가기준을 설정하고, 여기에 기초를 둔 평가를 행하여 최적계획을 결정하는 것이 바람직하다. 그러기 위하여 계획에 앞서 신뢰성과 안전성을 높이기 위해서는 간단한 설비 구성을 기본으로 하여 설비의 중요도와 운용조건 등의 모든 조건을 감안하여 계획을 세워야만 한다^{(1)~(6)}.

따라서, 본 연구는 수도권 광역상수도용 펌프에 대해 최악의 조건으로 설계되었으나 용수수요량, 관 조도계수, 수위 등의 사용조건이 설계조건과 큰 차이가 있어 실제 운영이 적적상태로 되지 못함에 따라 저효율과 과대한 에너지소비가 발생하는 문제점을 전반적

으로 조사분석하여 대책을 제시함으로써 신규광역상수도 사업을 계획할 때 펌프의 규격을 최적운영이 가능하도록 설계하여 건설사업비 및 운영관리비를 절감하도록 하였다. 또한, 본 연구결과를 상수도시설기준 관련부분의 개정에 반영 가능한 자료를 제시하였다. 펌프의 규격 최적결정방법에 대한 연구결과로부터 펌프/모터 규격선정 프로그램을 Visual Basic Program으로 개발하였다.

2. 연구 방법

운영자료의 조사·분석을 위해 Table 1과 같은 수도권 광역상수도의 취수장, 가압장 및 정수장들을 방문하여 각 펌프장에서 관리하고 있는 운전일보, 기기이력카드 등과 수자원공사에서 발간하는 월보 및 년보와 각 단계별 실시설계보고서 및 준공도서를 수집하여 통계처리하였다.

Table 1 Subject fields for investigation

관리단	사 업 장	단 계
팔당권 관리단	팔당 제 1 취수장	1단계, 2단계
	팔당 제 2 취수장	3단계, 4단계
	미금 가압장	3단계, 4단계, 5단계
	김포 가압장	1단계
	덕소 취수장	5단계
	의정부 가압장	5단계
성남권 관리단	성남정수장	3단계, 4단계
	용인가압장	3단계, 4단계, 5단계
	판교가압장	5단계
과천권 관리단	과천가압장	2단계(신, 구)
	광명가압장	3단계, 4단계
	안양가압장	3단계
일산권 관리단	자양취수장	4단계
	일산정수장	4단계

*1 조선대학교 항공조선공학부

*2 숭실대학교

*3 한국산업기술대학교

*4 중소기업진흥공단

*5 목포대학교

*6 한국종합엔지니어링

*7 한국과학기술원

*8 한울펌프

*9 휴먼아이티

*10 한국해양대학교

*11 한국수자원공사

E-mail : rohlee@mail.chosun.ac.kr

펌프의 규격을 최적의 상태로 결정하기 위하여 먼저 펌프설비의 계획 흐름도를 작성하였다. 작성된 흐름도 중 펌프의 대수결정방법은 상수도 시설기준을 따라 정하였다. 또한, 펌프의 실양정, 손실양정, 시스템저항곡선을 결정하기 위하여 기초자료에 분석된 자료를 사용하여 누가일수 및 통계학적 방법을 적용하였다. 또한, 최적 펌프를 결정하는데 경제성, 임펠러 조정, 소유량펌프 적용, 변속펌프 적용을 고려하기 위하여 펌프장을 방문하고, 기초조사와 별도로 운영자료를 분석하였다. 연구결과로 구한 펌프의 규격 최적결정방안에 따라 펌프/모터 규격선정 프로그램을 Visual Basic Program으로 GUI환경에서 실행되도록 개발하였다.

3. 연구결과

3.1 운영자료 조사 및 분석

각 단계별 수도권 광역상수도의 취수량 및 송수량은 운영을 시작한 초기부터 1990년까지 증가하다가 점점 수량이 감소하는 추세이다. 팔당 1 취수펌프장은 계획 취수량의 95.5%, 2 취수펌프장은 89.8%를 공급한 후 계속 감소되었고 설계시 100%의 용수량을 만족시키지 못하고 있다. 이러한 현상은 최근 IMF로 인하여 건설경기 둔화와 용수 수요량이 감소하였을 뿐만 아니라 지방자치단체별로 취수펌프장을 독자적으로 건설하여 수요량 감소가 심화되었기 때문인 것으로 판단된다.

각 단계별 광역상수도 중 펌프의 운전토출압력과 운전흡입압력으로부터 전양정을 계산하여 보면 설계된 정격양정보다 낮은 수치인 저양정·대유량으로 운전되고 있음을 알 수 있다. 이러한 운전은 캐비테이션을 발생시키고 이로 인하여 임펠러에 침식이나 균열이 발생하여 10년에 한번씩은 임펠러를 교체한 것으로 나타났다. 그리고 펌프의 교체 주기는 15~20년인 것으로 조사되었다.

취수펌프장에서 가까운 곳은 관경 및 유량이 커서 설계 손실수두가 실제 손실수두값에 비해 큰 데 반하여 관말에서는 최대유량으로 설계한 손실수두 예측값과 실제 손실수두값이 거의 비슷하게 나타났다.

실제 C값을 검토해 본 결과 통수년도가 증가할수록 유속계수 C값은 감소하며, 거의 20년간 운전되어온 1, 2단계에서는 약 30정도 작게 나타났다. 그러나 이와 같은 C값의 차이는 통수량이 설계 값보다 작은 데에서

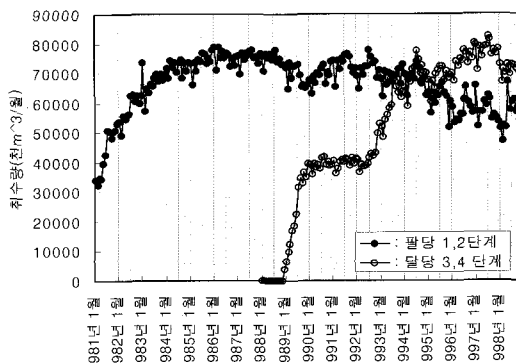


Fig. 1 Supply water variations per month for Paldang pump station(1981년-1998년)

기인된 것으로 보이며, 만약 통수량을 계획설계유량으로 운전할 경우 유속계수는 설계값과 비슷해질 것으로 판단되었다.

3.2 펌프의 규격 최적결정

3.2.1 전양정

실양정에서 하천 취수의 경우 취수펌프장 흡수정의 저수위는 하천시설기준에서 정의된 저수위로 설정하기 보다는 1년 중에서 355일 이상 유지될 수 있는 갈수위로 정하는 것이 바람직하고, 댐의 운영자료가 있는 경우에 신설 취수펌프장을 설치할 때에는 저수위, 평수위, 고수위 등을 댐시설기준에서 정의된 것보다는 누가일수나 통계학적 방법에 의해 다시 설정하는 것이 합리적이다. 한 예로서 팔당 2취수펌프장의 경우 흡수정의 저수위는 23.5 m, 고수위는 25 m로 계획 설계되었으나, 1989~1998년 동안 누가일수에 의한 저수위는 24.69 m, 평수위는 24.99 m, 고수위는 25.35 m로 분석되었고, 각각의 수위는 해마다 거의 일정하게 유지되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 팔당 2취수펌프장에서 실시하는 ESCO사업에서는 흡수정의 저수위를 24.69 m로 하여 실양정을 결정하는 것이 보다 합리적일 것으로 판단된다.

손실양정은 관로의 경년 변화와 공급유량의 변동에 따라서 크게 달라지는데, 경년 변화에 의한 손실수두는 정확하게 예측하기가 곤란하나, 운영자료 분석결과로 얻어진 손실수두 값은 설계값과 잘 일치하였다. 실제로 손실수두는 공급유량에 따라서 주로 결정되고 있으며 초기운영 시에는 공급유량이 목표 연도와 차이가 많으므로 용수수요의 증가패턴을 분석한 후 연도별 손

실수두를 결정하여야 한다. 이렇게 결정된 손실수두를 바탕으로 일부 펌프에 대하여 목표 년도 이전의 일정 기간 동안 경제성 검토를 반드시 한 후, 유체커플링을 사용한 변속펌프 사용, 임펠러 조정 및 소용량펌프 등의 다양한 방안을 비교 검토한 후 펌프를 설치하여야 할 것으로 판단된다. 또한, 도·송수관로가 길어 펌프의 실양정보다 손실양정의 비중이 큰 경우 펌프의 전양정은 시설용량이나 통수년수에 따라 서로 다른 시방으로 결정하는 방안을 적극 검토하도록 한다.

기초조사의 분석결과에 따르면 펌프는 저양정·대유량으로 운전되는 경우가 많기 때문에 계획설계 시 펌프의 최고 효율점은 정격유량의 105~110% 사이에 위치하도록 하여, 평균 운전점이 최고 효율점 근처에서 형성될 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

3.2.2 최적의 펌프 결정 시 고려사항

상수도 시설기준에 따라서 최종목표 연도를 기준으로 펌프를 선정하다 보면 초기 연도 또는 운전기간 동안 비효율적으로 펌프설비를 운영하는 경우가 자주 발생하게 된다. 그러므로, 본 연구에서는 기 시설된 펌프장의 운전에 따른 경제성 검토, 직결식 변속펌프의 운전방안, 펌프의 임펠러 조정 방안, 유량조절용 소용량 펌프의 적용 방안 등을 검토하여 신설되는 펌프장을 설계할 때 고려해야 될 사항을 다음과 같이 제시하고자 한다.

3.2.2.1 경제성

펌프의 다양한 운전조건에 따른 효율변화를 분석하기 위하여 팔당 2취수장의 자료를 활용하여 경제성을 검토하였고 설계시의 정격양정과 현장에서 운영되고 있는 운전양정에 대하여 최근 수년간의 동력비를 계산하여 비교하였다.

팔당 3, 4단계 취수펌프장의 '98 운영자료 분석결과로부터 결론지을 수 있는 최적 시방점 변경방향은 “양정은 작게, 유량은 크게”이다. 적절한 설계시방 변경만 이루어진다면 펌프 자체의 효율향상이 없이도 기존 방식보다 전력원단위 값을 평균적으로 0.01 kWh/m³ 이상 절감할 수 있을 것이며, 이러한 경우 연간 총 취수량이 8억 5,500만 m³, 전력량으로 연간 855만 kWh(=전력량요금 4억~5억원/년) 절약이 가능한 것으로 평가된다. 동시에 과대유량 운전의 감소로 인해 캐비테이션 손상저감에 따른 펌프고장률 및 에너지손실의 저하가 매우 클 것으로 확

신한다.

3.2.2.2 직결식 변속펌프의 운전 방안

미급가압장(5단계) 펌프설비의 운전현황에서 평균 송수량은 정격 송수량의 87% 인 5,413 m³/h, 평균 양정은 45 m, 평균 회전속도는 740 rpm 이며 종합효율은 평균 66.7%로 운전하고 있다. 본 가압장은 최적운전을 위한 용수공급체계에 따라 5단계 송수배관을 기존의 3·4단계 관로와 연결 운영을 하고 있어 부득이 펌프 토출압력을 6.2 kg/cm²에 설정한 토출압력 일정제어 방식으로 운전하고 있다. 따라서 의정부가압장 조절지에서는 평균 2.6 kg/cm²의 잔류수두가 남아 있는 상태이다. 이러한 운영은 3, 4단계의 펌프 운전대수를 줄일 수 있어 미급가압장을 효율적으로 가동하기 위한 운전 방법이라고 판단되며, 향후 3, 4단계 펌프가 정상운영될 경우에 5단계의 변속펌프를 3·4단계 관로와 분리하고 관로 말단압력 일정제어방식으로 변경할 경우 평균송수량 5,413 m³/h에서 운전 양정 45 m를 24 m로 낮출 수 있어 약 46%의 전력을 더 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

송수량은 정격 운전범위에서 운전된 경우가 19%이며 정격유량의 70%미만에서 운전된 경우가 27%로서 저효율 운전범위에서 운전된 경우가 62%로 나타났다. 펌프는 저유량 영역에서 펌프의 효율이 급격히 감소하며 대유량 영역에서 과부하의 우려가 있으므로, 정상적인 운전범위는 정격유량의 90~110%로 하는 것이 바람직하며 변속펌프의 설계 시에는 펌프정격유량의 70~120%를 운전 한계로 정하고 운전대수에 따른 합성곡선을 작성하여 변속펌프의 운전범위를 확인하여야 한다.

변속펌프와 정속펌프 병렬운전의 경우, 정속펌프의 최대유량점에서 변속펌프의 최저 회전속도 성능곡선을 잇는 합성곡선 이하의 양정 범위와 변속펌프 2대의 변속운전 범위에서 최대유량(120%Q) 이상의 범위에서는 시스템 곡선에 따른 최적운전을 할 수가 없으므로 이러한 경우 증설되는 펌프는 변속펌프로 추가함이 바람직하다.

3.2.2.3 펌프의 임펠러 조정 방안

국내의 가장 대표적인 대형 펌프장인 팔당 1, 2단계 펌프는 초기 계획수량에 비해 물 수요량이 현저하게 감소되어 기 설치된 펌프의 양정을 하향 조정할 필요성이 대두되어 1999년 취수펌프 총 18대 중 10대의 펌프에 대한 임펠러 조정을 통하여 펌프의 양정을 65 m

에서 58m로 조정함으로써 약 13% 정도의 전력비를 절감한 것으로 조사되었다.

광역상수도와 같은 대형 펌프장은 15~20년 후에도 계획수량을 안정적으로 공급할 수 있는 설계 전양정을 기준으로 설계되므로 용수공급 초기단계 및 운전 전양정에서의 운영을 고려하여 다음과 같은 대책을 수립하여야 한다.

펌프는 임펠러 조정을 통하여 운전 전양정과 설계 전양정에서 주요 설비의 변경 없이도 안정적으로 계획수량의 공급이 가능한지 검토하여 선정하고, 최소 전양정에서의 운전 가능여부를 펌프 특성 곡선을 이용하여 검토하고 운전대책을 수립하여야 한다. 운전 전양정과 설계 전양정의 차이가 크게 발생하는 경우에는 설계 전양정을 기준으로 펌프를 선정하고 운영의 편의성, 에너지 효율 평가 등과 경제성을 검토하여 변속펌프를 채택하도록 한다.

임펠러 조정을 하는 경우 임펠러 외경 가공 한도는 약 20% 정도로 하여 과도한 외경 가공으로 인하여 펌프의 효율저하가 발생하지 않도록 한다.

물 수요량의 변동에 따라 하절기·동절기와 같이 년 2회 정도 주기적으로 펌프의 전양정이 변동하는 경우에는 저양정 임펠러와 고양정 임펠러를 각각 준비하여 효율적인 운전이 되도록 한다.

3.2.2.4 유량 조절용 소용량 펌프의 적용

현재 광역 상수도에서 대용량 펌프와 소용량 펌프의 조합 운전을 하고 있는 성남 정수장 3단계의 2000년 1년간의 운전 기록을 분석하여 동일 용량의 대수 제어 운전과 대·소용량의 대수 제어 운전의 경우에 대하여 송수량에 따른 효율성을 분석하여 소용량 펌프의 적용 방안을 연구하였다.

송수 펌프는 송수량의 변화가 심하므로 소용량 펌프의 적용이 매우 유용하다. 송수 펌프와 같이 실양정 형이면서 송수량이 계절이나 시각에 따라 자주 변하는 경우에는 필요 송수량에 맞추어 동일 용량의 대용량 펌프 여러 대와 유량 조절용 소용량 펌프 1대를 조합한 병렬 운전이 효과적인 방법이다. 소용량 펌프는 1대로서만 역할을 수행하며, 수요 수량 변화에 따라 대용량 펌프와 대소 펌프 병렬 운전의 형태를 이루어 대용량 펌프로 이행되기 전의 증감 용량(대용량 펌프의 50% 정도)을 감당한다. 소용량 펌프의 용량 즉, 정격 토출량은 대용량 펌프의 50%가 적절하며, 선정되는 펌프의 최고 효율점 토출량이 정격 토출량보다 큰 것

이 유리하다. 예비 펌프는 대용량 펌프 1대 및 소용량 펌프 1대로 충분하다.

3.2.2.5 캐비테이션 고려

펌프의 흡입양정은 -5m까지를 표준으로 하고, 캐비테이션이 발생되지 않게 가급적 작게 하여야 한다. 펌프의 흡입양정 및 회전수는 캐비테이션을 피하기 위하여 펌프운전범위를 충분히 고려한 후 결정되어야 한다.

3.2.3 펌프의 규격 최적 결정 방안

기초자료를 분석한 결과 펌프는 저양정·대유량에서 운전되는 경우가 많았는데, 이는 전동기의 과부하나 캐비테이션 발생 등 펌프 고장의 주원인인 것으로 조사되었다. 또한, 펌프의 실양정 결정 시 댐을 취수원으로 하는 경우 댐 시설기준의 저수위보다는 운영자료 분석을 통한 누가일수나 통계학적 방법으로 결정된 수위를 사용하는 것이 보다 합리적인 것으로 판단되었다. 펌프장 구내 배관 및 관로에서 발생하는 펌프의 손실양정은 대부분 공급 유량에 따라서 크게 변하는 것으로 나타났다. 펌프의 규격 최적 결정 방안으로서 제시할 수 있는 가장 경제적인 방법은 펌프의 시방점(사양점)을 변경하는 것인데, 이를 위해서는 용수 수요의 변화를 정확히 예측하여야만 한다. 그러나 용수 수요를 정확히 예측하기란 매우 어려우므로 펌프의 시방점을 유지하는 것은 불가피하다고 판단되며, 시방점을 유지하면서 규격 최적 결정방안이 강구되어야만 한다. 기초자료의 분석 결과를 토대로 취수량 및 송수량의 변동 추이를 분류하면 다음과 같이 세 가지 형태로 요약할 수 있다.

- 1) 목표 년도의 계획설계유량을 만족시키면서 목표 년도가 지난 후에도 계획설계유량을 유지하는 경우
- 2) 목표 년도의 계획설계유량을 만족시키다가 목표 년도가 지날수록 실제 송수량이 감소하는 경우
- 3) 목표 년도가 되어도 계획설계유량을 만족시키지 못하지만 계속 꾸준히 목표 송수량에 근접하는 경우

위의 범주에서 1)은 가장 이상적인 형태로서 그다지 큰 문제가 되지 않는다.

일반적으로 펌프장의 규모는 최종 목표년도에 소비되는 용수량을 기준으로 설정되므로 초기에는 과다설계가 되기 마련이다. 이에 대한 대책으로서 최종 목표 년도가 10년(팔당 1취수장은 7년)인 경우 초기년도의

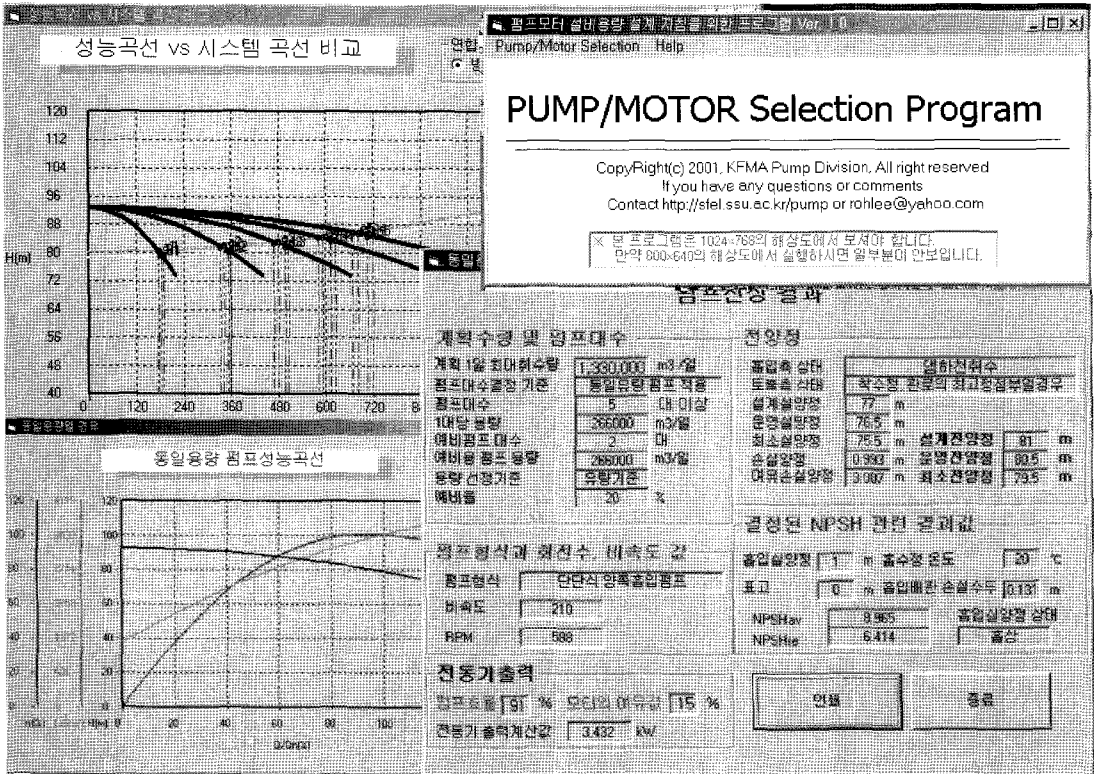


Fig. 2 Developed program for pump/motor selection program

송수량은 계획설계유량의 일부이므로 목표년도를 몇 단계로 나누어 세부 목표 송수량을 결정하고, 경제성 분석을 통하여 변속펌프, 임펠러 가공, 대소펌프운영, 유량조절용펌프 등을 적용하여야 한다. 실제로 팔당 1 취수장은 1990년에 임펠러를 조정(커팅)하여 펌프의 정격 양정을 65m에서 58m로 낮춘 바 있는데, 이와 같이 취수량의 변화가 크지 않고 양정의 변화가 심한 곳에서는 경제적인 운전을 할 수 있도록 하기 위하여 임펠러가 커팅된 펌프를 고려하는 것이 바람직하다. 또한, 펌프장의 계획 설계 시에는 저양정 임펠러와 고양정 임펠러를 따로 준비하여, 단수 조치가 없이도 지방자치단체 및 수수지역에서 요구하는 송수량을 만족시킬 수 있도록 할 필요가 있다. 단, 임펠러 커팅의 최대범위는 20%를 넘지 않도록 하여야 하고, 펌프의 최고 효율점은 정격유량의 105~110% 사이에 위치하도록 하여 평균 운전점이 최고 효율점 근처에서 형성될 수 있도록 하여야만 한다. 자양취수장과 같이 관로길이 길어 실양정보다는 손실양정이 큰 경우와 성남정수장과 비금가압장과 같이 펌프장의 계획설계유량이 주·야간 또는 단계별로 크게 변동되거나 송수량의 변

화가 심한 경우에는 경제적인 운전을 하기 위하여 임펠러 커팅보다는 대소 2종류의 펌프를 설치하던가, 유체커플링을 이용한 변속펌프를 사용하여 회전수를 변환할 수 있게 하는 것이 바람직하다. 그러나, 유체커플링을 사용한 변속펌프나 소용량펌프를 설치하는 경우에는 초기투자비가 많이 소요되므로 신중한 판단이 필요하다.

3)의 범주에 드는 경우에는 목표년도가 되어도 계획설계유량을 만족시킬 수 있는지 혹은 없는지의 판단은 초기보다는 어느 정도 운영 기간이 지나야 가능하다. 따라서 1)의 안대로 운전을 하면서 지속적인 모니터링을 통하여 전력원단위 분석을 통한 경제성 검토로부터 임펠러 커팅, 변속펌프, 소용량펌프 등의 적용 여부를 결정하여야 할 것이다.

끝으로, 계획설계유량에 따른 펌프의 설치대수 및 예비율 결정방안 그리고 전동기의 동력 결정 시 여유율 선정방안 등은 본 연구의 과업내용에 포함되지 않아 상수도시설기준을 따랐으나, 추후 한국에서 운영되고 있는 펌프장들과 선진 외국의 사례를 조사 분석할 필요성이 있는 것으로 사료된다. 또한, 조사관료 대상에서 관

런자료의 부족으로 인하여 환경 및 경년변화에 따른 유속계수 C값의 적용방안이 충분히 도출되지 못하였는데, 이 연구 역시 상수도 관로 분야의 중요한 관심 사항이므로 향후 지속적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다.

3.3 펌프/모터 규격 선정 프로그램 개발

본 연구의 결과인 펌프의 규격 최적 결정방안으로 부터 펌프/모터 규격 선정 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 주요 내용은 다음과 같다.

- 1) 계획수량과 펌프 대수 결정은 동일 유량인 경우와 대/소용량 펌프를 적용하는 경우로 각각 나누었다.
- 2) 전양정 결정은 실양정과 손실양정의 두 부분으로 나누어 설계실양정, 운영실양정, 최소실양정을 결정하였고, 손실양정은 주손실과 부차적손실에 의한 손실양정이 계산되고, 시스템 곡선을 구할 수 있게 하였다.
- 3) 펌프의 형식 결정은 먼저 펌프 형식을 선택하여 비속도 값을 추정하고 회전수를 계산하는 순서로 프로그래밍 하였다.
- 4) 펌프의 전양정곡선과 시스템곡선으로 운전점이 결정될 수 있도록 하였다. 이 때 대/소용량 펌프를 적용할 경우와 임펠러를 커팅하는 경우를 고려하였다.
- 5) 캐비테이션 확인 창에서는 선택된 각 펌프의 NPSH_{av}와 NPSH_{re}를 구하여 유량비가 0.8에서 1.2까지 변할 때 펌프의 캐비테이션 유무를 확인하도록 하였다.
- 6) 전동기의 결정은 주어진 조건에서 펌프효율과 여유값을 입력하도록 하여 전동기출력을 결정하도록 하였다.

본 연구의 결과인 펌프/모터 규격 선정 프로그램을 이미 설계되었던 팔당 3단계 광역상수도 펌프의 규격을 확인하는데 적용하였다. 개발된 프로그램을 사용하여 펌프의 규격을 구하였고 팔당 3단계 펌프의 설계값과 비교하여 본 결과 정격 양정, 회전수, 비속도, 동력, NPSH_{re} 등이 아주 잘 일치하였다. 즉 설계단계에서 적용되었던 한국수자원공사의 설계방법은 비교적 합리적인 순서를 택하고 있다. 따라서 본 연구에서 개발된 펌프의 규격 최적 결정 방안은 실제 펌프장 설비의 설계에 유효하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

질문사항이 있거나 프로그램을 사용하고자 하는 분은 유체기계공업학회 펌프분과로 연락바랍니다.

후 기

이 연구는 한국수자원공사 수도설비처 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 상수도 시설기준(환경부).
- (2) 상수도 시설기준(유지관리편) (환경부).
- (3) 하수도 시설 기준(환경부).
- (4) 수도권 3단계 광역상수도 공사지, 1990, 건설교통부.
- (5) 수도권 4단계 광역상수도 실시설계보고서, 1990.9 건설교통부.
- (6) 수도권 5단계 광역상수도 실시설계보고서, 1995.11 한국수자원공사.