

# 광역상수도용 펌프의 최적결정을 위한 펌프/모터 선정 프로그램 개발

노형운\*, 김재수\*, 박길문\*\*, 서상호\*\*\*, 이영호\*\*\*\*

## Development of Pump/Motor Selection Program for Optimized Pump Decision of the Regional Water Supply Facilities

Hyung-Woon Roh\*, Jae-Soo Kim\*, Gil-Moon Park\*\*, Sang-Ho Suh\* and Young-Ho Lee\*\*\*\*

*Key Words:* Pump System, Design(펌프시스템 설계), Optimization(최적화), Regional Water Supply Facilities(광역상수도), Total Head(전양정), Pump/Motor Selection Program(펌프/모터 선정 프로그램)

### ABSTRACT

The Pump/Motor Selection Program for optimized selection of regional water supply facilities was developed based on a flowchart compiled from basic operational data, total head requirement, initial pump/motor specification selection etc.. This program was developed in Visual Basic. The program accepts, as in the flowchart, operational requirements of pumps and other system requirements and calculates specific speed based on flow rate, total head and rpm. Then the calculated specific speed is used to select pump types and rpm prior to determining likelihood of cavitation occurring at the calculated NPSH. Power requirement is then calculated for safe operation of pump to assist final pump selection. Test results of the program matches very closely to the design values of Paldang intake pump station(3rd stage) proving that the program can be used as an effective and practical aid for designing new regional water supply systems.

### 1. 서론

광역상수도용 펌프의 최적결정을 위한 프로그램을 개발하기 위하여 기초자료조사와 펌프의 전양정결정, 펌프규격결정안을 토대로 순서도를 작성하고 이를 Visual Basic 개발 프로그램을 이용하여 프로그램을 작성하였다. 개발된 프로그램에서는 순서도와 같이 펌프자체의 설계보다는 펌프의 운전 및 이와 관련된 시스템에 따른 요소들을 인자로 하여 입력창을 만들어 주었고 내부적으로 펌프의 유량, 실양정과 회전수를 가정하여 비속도를 구하고, 이 비속도로부터 펌프의 형식과 회전수를 구한 다음 캐비테이션의 발생여부를 유효흡입헤드(NPSH)로부터 계산하여 펌프의 운전이

안정적인가를 결정하고 전동기 출력을 결정하여 최종적으로 펌프의 형식을 결정하는 구조로 되어 있다. 본 연구의 결과인 펌프의 규격 최적 결정방안으로부터 펌프/모터 규격 선정 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램의 주요 내용은 다음과 같다. 계획수량과 펌프대수 결정은 동일 유량인 경우와 대/소용량 펌프를 적용하는 경우로 각각 나누었다. 전양정 결정은 실양정과 손실양정의 두 부분으로 나누어 설계실양정, 운영실양정, 최소실양정을 결정하였고, 손실양정은 주손실과 부차적손실에 의한 손실양정이 계산되고, 시스템곡선을 구할 수 있게 하였다. 펌프의 형식 결정은 먼저 펌프 형식을 선택하여 비속도 값을 추정하고 회전수를 계산하는 순서로 프로그래밍 하였다. 펌프의 전양정곡선과 시스템곡선으로 운전점이 결정될 수 있도록 하였다. 이 때 대/소용량 펌프를 적용할 경우와 임펠러를 커팅하는 경우를 고려하였다. 캐비테이션 확인창에서는 선택된 각 펌프의 NPSHav와 NPSHre를 구하여 유량비가 0.8에서 1.2까지 변할 때 펌프의 캐비테

\* 조선대학교 항공조선공학부

\*\* 조선대학교 기계공학부

\*\*\* 숭실대학교 기계공학과

\*\*\*\* 한국해양대학교 기계공학부

이선 유무를 확인하도록 하였다. 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.

## 2. 프로그램의 순서도와 모듈 설명

광역상수도용 펌프의 최적결정을 위한 프로그램을 개발하기 위하여 기초자료조사와 펌프의 전양정결정, 펌프규격결정안을 토대로 Fig. 1과 같이 순서도를 작성하고 이를 Visual Basic 개발 프로그램을 이용하여 프로그램을 작성하였다.

개발된 프로그램에서는 순서도와 같이 펌프자체의 설계보다는 펌프의 운전 및 이와 관련된 시스템에 따른 요소들을 인자로 하여 입력창을 만들어 주어고 내부적으로 펌프의 유량, 실양정과 회전수를 가정하여 비속도를 구하고, 이 비속도로부터 펌프의 형식과 회전수를 구한 다음 캐비테이션의 발생여부를 유효흡입헤드(NPSH)로부터 계산하여 펌프의 운전이 안정적인가를 결정하고 전동기 출력을 결정하여 최종적으로 펌프의 형식을 결정하는 구조로 되어 있다. 개발된 프로그램은 크게 아래와 같이 7가지의 모듈로 구성되어 있다.

- Module 1 : 프로그램 입력 창 모듈
- Module 2 : 계획수량과 펌프 대수 결정 모듈
- Module 3 : 전양정 결정 모듈
- Module 4 : 손실양정 결정 모듈
- Module 5 : 펌프의 형식 결정 모듈
- Module 6 : 캐비테이션 관련 모듈
- Module 7 : 전동기 출력 모듈

## 3. 개발된 프로그램 설명

### 3.1 프로그램 입력 창 모듈

본 모듈은 프로그램을 시작하였을 때 사용자들이 처음 접하는 창을 나타낸다. Fig. 2에서 "Pump/Motor Selection"이라는 풀다운 메뉴를 클릭 하면 Fig. 2의 오른쪽과 같이 프로그램이 시작된다.

본 프로그램에서는 펌프를 선정할 때 "동일유량일 경우"와 "대/소용량 펌프 적용"의 두가지로 구분하여 프로그램 하였다. 따라서 사용자가 설비계획에 맞추어 선택을 하면 각각의 경우로 분기하게 되어 각각 다른 프로그램을 수행하게 된다. 본 프로그램은 사용되는 컴퓨터 화면 해상도가 1024×768이어야만 최적으로 볼 수 있다. 만약 800×640의 해상도에서 실행하면 일부분이 잘리거나 안 보이는 경우가 발생할 수 있으므로 주의하여야 한다.

### 3.2 계획수량과 펌프 대수 결정 모듈

모듈 2에서는 Fig. 3과 같이 계획수량과 펌프의 대수를 결정하는 모듈이다. Fig. 2에서 선택된 모듈별로 동일유량펌프 적용과 대/소용량 펌프 적용으로 나누어진 다. 먼저 동일유량펌프적용인 경우에는 계획 1일 최대 취수량을 입력하면 된다. 만약, 펌프대수가 4대 이상인 경우에는 예비용 펌프의 예비율이 30%이상 되어야 하므로 예비펌프 선정기준을 먼저 결정하여야 한다.

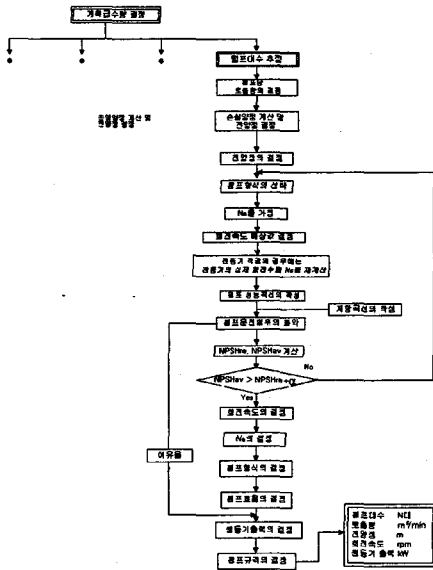


Fig. 1 Flowchart for developed program

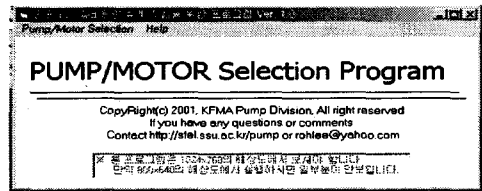


Fig. 2 Input window for developed program

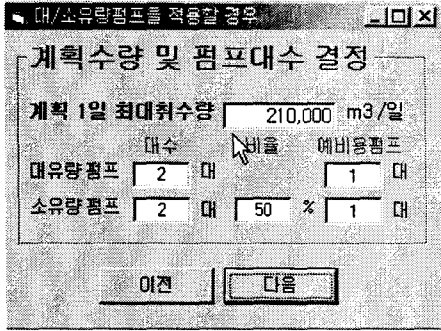


Fig. 3 Decision window of proposed quantity

좌측에 띄우도록 하였다.

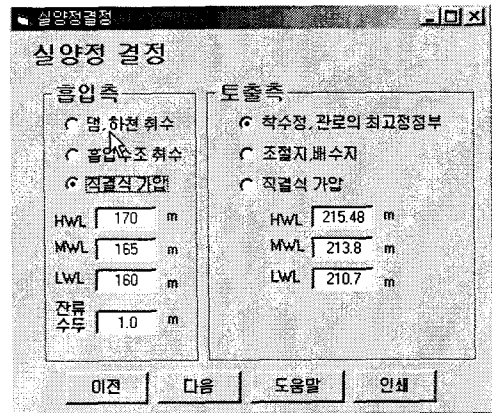


Fig. 5 actual head decision module

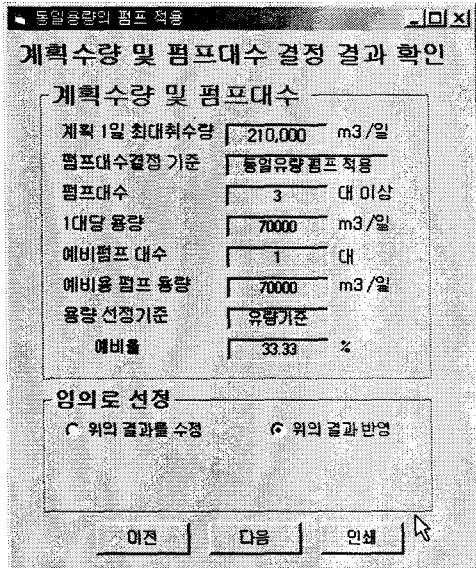


Fig. 4 Resultant window of proposed quantity

또한, 소용량펌프 적용인 경우에는 대용량펌프와 소용량 펌프의 대수를 정하고, 예비용 펌프도 사용자가 직접 정하도록 하였다. Fig. 3의 다음을 누르면 “확인” 창이 뜨고, 이를 확인하면 Fig. 4의 창이 나오면서 선택된 결과들을 확인할 수 있다.

### 3.3 전양정 결정 모듈

본 모듈에서는 Fig. 5와 같이 실양정을 결정하는 모듈이다. 전양정을 결정하기 위하여는 먼저, 실양정을 결정한 후 손실양정을 결정하고 이 두 양정을 더하여 주어야 되기 때문에 먼저 Fig. 5와 같이 실양정을 결정하도록 프로그램 하였다. 그리고 각 단계가 끝나면 사용자가 결과 값을 확인할 수 있도록 결과 값을 화면

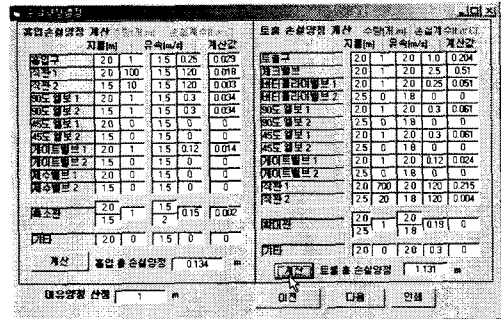


Fig. 6 Loss head decision window

Fig. 5에서 흡입 측과 토출 측의 상태에 해당되는 옵션을 선택하고 이에 따른 HWL, MWL, LWL을 선택한 후 “다음”의 실행버튼을 클릭하면 결과 창이 뜬다. 그 다음 Fig. 6과 같이 손실양정 모듈로 넘어가게 프로그램 하였다. Fig. 6과 같이 손실양정 결정창에서는 흡입 상태와 토출상태의 직관 상태와 각종 밸브류와 배관 피팅류에 대한 시방을 입력하여 결정하도록 하였다. 보통, 손실양정은 경험적으로 구할 수 있지만, 시스템 곡선을 그리기 위하여 정확하게 구내 배관손실과 관로손실을 입력하여야만 한다. 이 모듈에서 결정되고 계산된 값은 뒤 모듈에서 언급되는 시스템곡선에서 사용되도록 프로그램 하였다. 동일용량 펌프를 사용하든지 대/소용량펌프를 사용하든지 여기서는 동일한 손실양정 값이 사용되게 하였다. 이때 각종 밸브 및 관배관 피팅류가 사용될 수 있으므로 입력할 수 있는 간들을 여유 있게 만들어 주었고 이를 전부 입력한 후 “계산” 버튼을 클릭하면 Fig. 6과 같이 흡입 총손실양정과 토출 총손실양정이 계산된다. 만약, 밸브 및 피

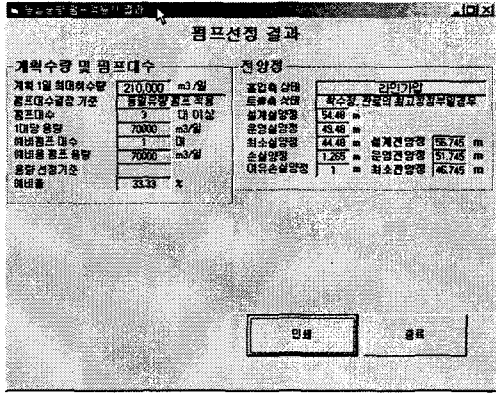


Fig. 7 Resultant window for total head

탱류를 산정할 필요가 없다면 수량에서 입력 값을 "0"으로 입력하여 주면 된다. Fig. 6에서 모든 값을 입력한 후 "다음" 버튼을 누르면 Fig. 7과 같이 계산된 전양정의 값을 확인할 수 있다.

### 3.4 펌프의 형식 결정 모듈

본 모듈은 Fig. 8과 같이 펌프/모터의 형식을 결정하는 곳이다. 펌프형식은 콤보창으로 선택하게 프로그램 하였고, 도움 창으로 펌프형식에 따른 비속도의 범위를 표시하였다. 이 모듈에서는 펌프형식과 비속도의 추정 값( $N_s$ )을 정하여 주고 "회전수 예상값 결정" 버튼을 누르면 펌프형식에 맞는 회전수를 추정비속도로부터 계산한다. 만약 이 계산 값이 사용자가 원하는 값이 아니라면 사용자가 직접 수정이 가능하도록 프로그램 하였다. 또한 회전수 결정 옆에는 모터 극수에 따른 슬립회전수를 기록하여 초보자도 사용할 수 있도록 프로그램 하였다.

모든 것이 결정되었으면 Fig. 8에 하단에 있는 "다음"이라는 실행 버튼을 클릭 하여 계산된 비속도 값이 선택된 펌프형식의 비속도의 최소와 최대 범위 안에 들어가는 지 확인하여, 그 범위 안에 존재한다면 OK 메시지가 뜨고, 만약 그렇지 않다면 Error 메시지가 나타나므로 더 이상 진전이

되지 않으므로 반드시 추정 비속도 및 회전수를 수정하고 더 나아가서 펌프의 형식을 바꾸어야만 되게 프로그램 하였다. 모든 것이 OK되면 결정된 펌프형식, 비속도와 회전수가 Fig. 9와 같이 나타나도록 프로그램 하였다. Fig. 9에서 "확인" 버튼을 누르면 Fig. 10과 같이 펌프성능곡선과 시스템 곡선을 그리는 모듈로 넘어가 사용자가 운전범위를 확인할 수 있도록 하였다.

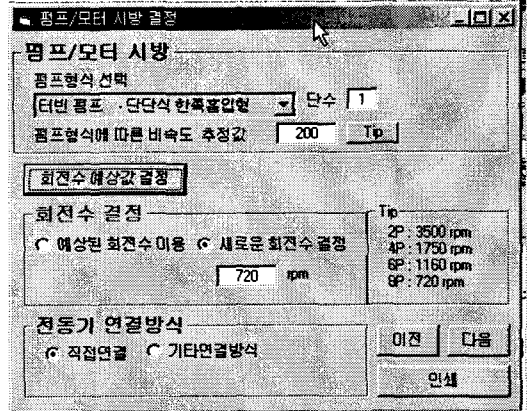


Fig. 8 Pump/motor type decision window

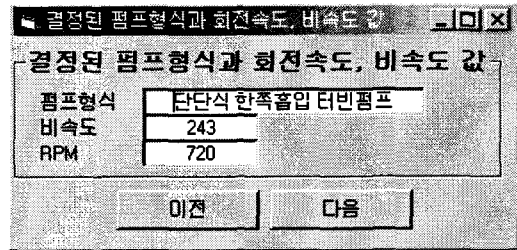


Fig. 9 Resultant window for pump/motor decision module

Fig. 10에서는 양정과 시스템곡선을 같이 나타낼 때 여러 대가 같이 연합하여 운전되므로 병렬운전과 직렬운전의 연합운전을 고려하여 도시하도록 하였다. 펌프장 구내 배관손실로는 단관, 곡관, 이형관, 밸브류 등이 포함되고, 관수로(흡입, 토출관로)에서는 Hazen-Williams 공식이 널리 사용되는데, 이러한 손실양정  $h_e$ 을 요약하면 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$h_e = \Sigma Kq^2 + 10.666C^{-1.85}D^{-4.87}Q^{1.85}L$$

펌프장구내 배관 손실    관로 손실

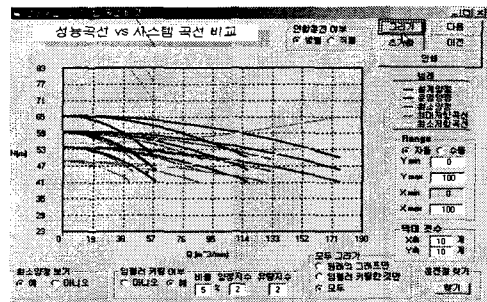


Fig. 10 Total head curve and system curve

이 모듈에서는 임펠러 커팅에 관한 정보를 확인할 수 있는 기능을 추가하였다. 또한, 최소양정은 최악의 경우에 사용되는 것으로 보통 Default상에서는 나타나지 않고, 사용자가 원하면 선택하게 하였다. 시스템곡선과 양정곡선으로부터 운전범위를 확인하였다면 Fig. 11과 같이 다음 단계인 캐비테이션 관련 모듈로 넘어갈 수 있다

### 3.5 캐비테이션 관련 모듈

Fig. 1에서 보듯이 설치위치에 따라 선정된 펌프에서 캐비테이션이 발생되는지의 여부를 확인하기 위하여 흡입실양정, 흡수정 수온, 표고, 흡입배관 손실수두, 흡상 및 압상여부를 확인하여 NPSHav와 NPSHre를 구하도록 Fig. 11과 같이 프로그램 하였다. Fig. 11에서 보듯이 본 프로그램에서는 여유값들을 각 유량비에 따라 입력하게 하여주었는데 그 이유는 임펠러의 재질 및 여러 가지 이유로 인하여 각 여유값들이 변하기 때문이다. Fig. 11에 있는 “계산” 버튼을 누르면 Fig. 11의 아래와 같이 각각의 NPSHav와 NPSHre를 구하여 각각의 유량비에 대하여 캐비테이션의 발생 여부를 확인하고 이를 Yes/No로 표시하였다. 이때 유량비(Q/Qn)를 0.8에서 1.3까지 비교하였다. .

여기서, 본 프로그램에서는 고도해발과 흡수정 수온만 입력만 하여도 해당되는 값들을 계산할 수 있도록

커브피팅 방법으로 곡선을 구하여 수식을 코딩하는 방법으로 프로그램 하였다. Fig. 11에서 “다음”이런 버튼을 누르면 유량비가 1.0일 때 캐비테이션이 발생여부를 비교하고 다음 단계인 전동기 출력 결정 창으로 갈 수 있다.

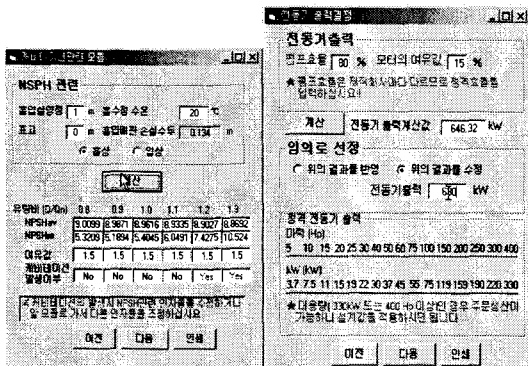


Fig. 11 Cavitation module

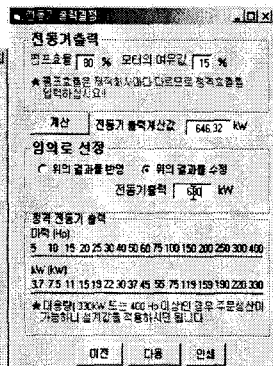


Fig. 12 Motor decision module

### 3.6. 전동기 출력 결정모듈

운전범위에 해당되고 캐비테이션이 발생되지 않는다면 Fig. 12와 같이 전동기 출력을 결정할 수 있다.

본 모듈에서는 먼저 Fig. 12에서와 같이 펌프효율과 모터의 여유값을 입력하면 된다. 이때 펌프효율은 각 제작회사마다 다르므로 이때 정격효율을 입력하여야 한다. 그 다음 “계산” 버튼을 클릭하여 Fig. 12과 같은 결과가 살펴보고 이 결과에 따라 정격출력값을 산정하면 된다. 그러나 대용량(330kW 또는 400Hp)이상 일 경우는 대부분 모터가 주문생산이므로 설계값을 그대로 적용하면 된다.

### 3.6. 결과 출력

모든 것이 끝났다면 사용자는 Fig. 13과 같이 마지막으로 결과출력으로 볼 수 있다.

## 4. 사용환경

개발된 프로그램의 사용환경은 다음과 같다.

- 1) 컴퓨터 : CPU MMX233Mhz 이상 급 팬티엄프로 세서가 장착된 데스크탑/ 노트북
- 2) 운영체제 : MS Windows 98, Windows Me Windows 2000
- 3) RAM : 32Mbyte 메모리 이상
- 4) Hard Disk : 최소 200Mbyte 이상의 여유공간
- 5) 모니터 해상도 및 색상 : 최소 1200 x 840픽셀, 색상 16 bit 이상

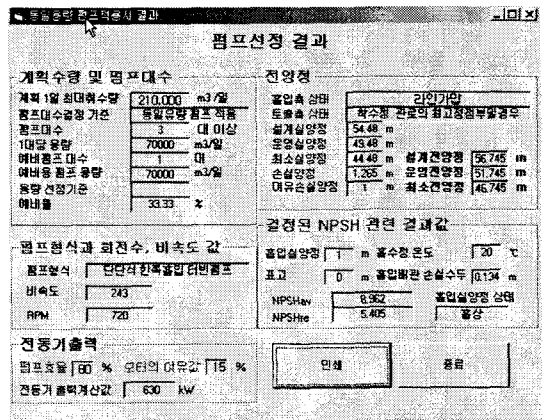


Fig. 13 Final resultant window

Table 1 Comparison with Design and prediction value  
Paldang pump station(3 stage)

	3단계	프로그램 계산 값	비고
시설용량	1,330,000 m <sup>3</sup> /일	1,330,000 m <sup>3</sup> /일	-
정격 양정	80.5 m	설계 양정 : 81.0m 운영 양정 : 80.5m 최소 양정 : 79.5m	
정격 유량	11,583 m <sup>3</sup> /h	266,000 m <sup>3</sup> /일 11,083 m <sup>3</sup> /h	3단계 값이 오타 1,330,000/(5*24) = 11,083
펌프 회전수	588 rpm (12pole)	588 rpm (12pole)	-
Required NPSH	6.85 m	6.414 m	Q/Qn =1.0일 때 S = 1402로 계산
펌프 효율	91 %	-	-
전동기 동력	3,432 kW	3,044kW	정격 회전수로 환산
펌프 대수	7대(2대 예비)	임의 선정	

## 5. 팔당 3단계 설계 값과 비교

팔당 3단계 설계 값과 본 연구에서 개발된 프로그램으로 계산한 값을 비교하여 Table 1에 나타내었다. 팔당 3단계 흡입수위의 LWL과 HWL은 각각 23.5m과 25.0m 이고 토출수위의 LWL과 HWL은 91.75m와 100.5m이고, 손실양정은 총 4m (구내손실 + 조압수조까지의 관로손실)이다. 이 결과를 봐서 설계값과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한 사용자가 입력 값을 정확히 입력한다면 정확한 설계 값들을 얻을 수 있을 것이다.

## 6. 결론

개발 된 본 프로그램(PU/MO-SEL Ver 1.3)에서는 앞 절에서 제시된 안으로부터 펌프/모터 선정을 손쉽게 할 수 있도록 프로그램 하였다. 본 연구의 결과인

펌프/모터 규격 선정 프로그램을 이미 설계되었던 팔당 3단계 광역상수도 펌프의 규격을 확인하는데 적용하였다. 개발프로그램을 이용하여 펌프규격을 구하고 팔당 3단계 펌프의 설계값과 비교하여 본 결과 정격 양정, 회전수, 비속도, 동력, NPSHre 등이 아주 잘 일치하였다. 따라서 본 연구에서 개발된 펌프의 규격 최적 결정 방안은 실제 펌프장 설비설계에 유효하게 적용할 수 있을 것으로 판단하였다.

## 후 기

이 논문은 2001년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었음

## 참 고 문 헌

- (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 7. 수도권 6단계 광역상수도 실시설계보고서, 1998.12 한국수자원공사
- (7) 수도권 6단계 광역상수도 실시설계보고서, 1998.12 한국수자원공사
- (8) 원주권 광역상수도 실시설계보고서, 1998.12 한국수자원공사
- (9) 펌프모터 설비용량 설계지침. 2000.8 한국수자원공사
- (10) ROBERT L. SANKS, PUMPING STATION DESIGN, 2nd edition.
- (11) 유체기계, 조강래. 보성문화사
- (12) 효성펌프편람, 제4판, 효성EBARA주식회사
- (13) 펌프핸드북, 2000.10. 현대중공업주식회사
- (14) 水道施設 設計 指針, 2000. 日本水道協會
- (15) PUMP設備計劃便覽
- (16) PUMP設備便覽. (株)荏原製作所
- (17) '97녹색모터운동 시험사업 종합보고서, 에너지관리공단, 1997.12
- (18) Visual Basic 5.0 Manual