

유전자 알고리즘을 이용한 관망내 수리구조물의 최적설계

○정봉석*, 이동훈*, 김상현**, 박남식***

1. 서론

천이현상시 관내에서 발생되어 지는 수격압은 정상류에서 고려되어지는 압력에 비해 높은 압력을 발생하여, 상당한 피해를 발생할 우려가 있다. 그러한 수격압의 피해를 감소하기 위해 관로내 감압밸브, 공기밸브, 조압수조 같은 수리구조물이 설치된다. 그러나 상당수 경우, 관로내의 부속물의 설계를 위한 의사결정과정에서 부정류의 해석과 함께 검토되어야 할 관로부속물의 배치양상이나 운전조건 등이 충분히 검토되지 못하고 있는 실정이다. 이는 비교적 난해한 부정류 해석과 더불어 실시되어야 할 각종 관로 부속물의 위치나 운전조건에 관한 분석의 양이 과다하고 관련 요소에 의한 상호 간섭으로 비선형성이 높기 때문이다.

본 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 관로부속물 위치와 운전조건에 대한 최적화를 실시하였다. 유전자 알고리즘은 진화론의 적자생존과 자연도태의 유전학에 근거한 적응 탐색기법으로, 여러 가지 어려운 조합문제에 대한 효율적인 탐색을 수행하고 최적해에 근사한 해를 구할 수 있는 방법이다. 세대를 거듭함에 따라 최적의 해에 수렴하고, 전세대의 생존자(우수개체)로부터 새로운 개체들의 집합이 형성된다. 유전자 알고리즘은 비선형, 불연속 매개변수, 복합적인 목적함수의 전영역에 대해 최적해를 찾아간다. 본 연구는 특성선방법을 기반으로 하는 관망부속물들의 해석이 유전자 알고리즘과 결합되어 관로내 관로부속물의 최적설계에 도움을 줄 수 있음을 보여준다.

2. 관망내의 부정류 해석

일반적인 관로내의 흐름해석을 위한 미분방정식으로 나타나는 운동량방정식과 질량보존 방정식의 형태는 다음과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

* 부산대학교 환경공학과 석사과정
** 부산대학교 환경공학과 조교수
*** 동아대학교 토목공학과 부교수

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + RQQ = 0 \quad (2)$$

여기서, R 는 $f/(2DA)$, H 는 piezometric 수두, Q 는 유량, D 는 내부관경, f 는 Darcy-Weisbach 마찰계수, a 는 충격파속도, g 는 중력가속도, A 는 관로단면적이다.

식 (1)과 식 (2)를 조합하여 유량 Q 와 수두 H 로 이루어진 특성방정식을 얻을 수 있는데 이 식은 천이상태에서 효율적인 수치 해석적 해를 구하는데 이용되어진다

$$\frac{dQ}{dt} \pm \frac{gA}{a} \frac{dH}{dt} + RQQ = 0 \quad (3)$$

위의 식은 $dx/dt = \pm a$ 로 정의되는 C^+ 와 C^- 특성선(characteristic line)상에서만 유효하게 적용되어진다.

3. 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm:GA)

유전자 알고리즘은 진화론의 적자생존과 자연도태의 유전학에 근거한 적응탐색기법으로, 여러 가지 어려운 조합문제에 대한 효율적인 탐색을 수행하고 최적해에 근사한 해를 구할 수 있는 방법이다. 세대(generation)를 거듭함에 따라 최적의 해에 수렴하고, 전세대의 생존자(우수개체)로부터 새로운 개체들의 집합이 형성된다. 유전자 알고리즘은 비선형, 불연속 매개변수, 복합적인 목적함수의 전영역에 대해 최적해를 찾아간다. 본 연구에서는 Carroll(1996)이 제시한 유전자알고리즘을 이용하여 실행하였다.

3.1 유전 연산자(Genetic Operator)

유전연산자란 다음 세 가지 기능에 의해 진화와 도태의 과정을 반복하는데, 첫째는 재생(Reproduction)으로써 잘 적응한 해들은 살아남고, 잘 적응하지 못한 해들은 도태되도록 유도하는 조작법이다. 본 연구에서는 개체군 중에서 일정한 개수의 개체를 임의로 선택하여 그 중에 최고의 적합도를 가지는 개체를 다음 세대에 남기는 토너먼트 선택법(tournament selection)을 이용하였다(Carroll, 1996). 둘째는 교배(Crossover)로써 두 부모해의 유전 정보를 임의의 위치에서 부분적으로 교환함으로써 새로운 자손해를 생성한다. 본 연구에서는 각 유전자가 독립적으로 교환할 수 있는 균등교배(uniform crossover)를 이용하였다(Carroll, 1996). 셋째는 돌연변이(Mutation)로써 부모해로부터 자손해로 전달되는 특정한 유전정보에 대하여 무작위적인 변형을 시도함으로써 전체 해 집단에서 배제된 새로운 개체를 발생시키거나 진화 과정에서 상실한 특정 유전정보의 재현을 시도하는 조작방법이다.

3.2 적합도 함수(Fitness Function)

개체가 환경에 적응하여 도태되지 않고 살아남을 수 있는 능력을 적합도 함수 즉, 목적함수라고 한다. 목적함수 즉, 최적화 하고자 하는 함수는 각 개체의 적합도를 평가하는 기반이 된다. 다시 말해서 본 연구에서는 관로내에서의 발생하는 최고수두를 최소화시키는 것이

목적이므로, 목적함수값이 작을수록 적합도가 좋은 것이다.

4. 범용 부정류 해석 프로그램과 유전자 알고리즘의 조합

본 연구에서는 관망내 부정류해석을 위한 범용프로그램을 개발하였다. 프로그램의 주요 골격은 그림 1과 같다. 입력자료로부터 관망구조를 분석하여 각 관에 대한 C_r 수를 계산하고 각 C_r 수에 따른 관망을 재구성한다. 재구성된 관망으로부터 특성선 방법과 선형시간보간을 이용하여 부정류 해석을 한다.

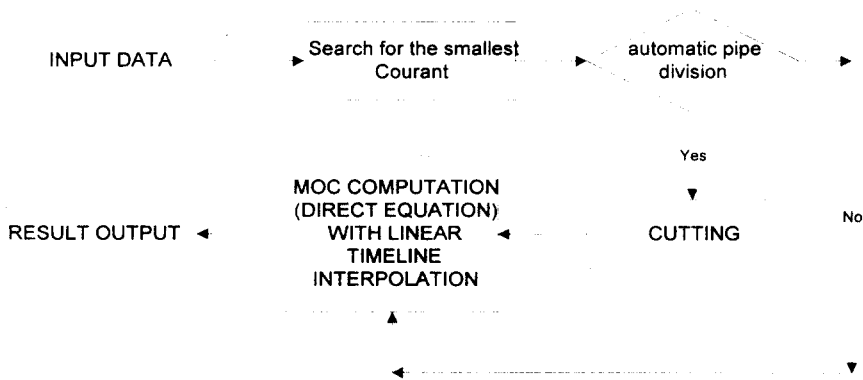


그림 1. 범용 부정류 해석 프로그램

위 범용 부정류해석 프로그램과 유전자 알고리즘을 이용하여 수리구조물의 최적설계에 이용한다. 즉 그림 2에서처럼 유전자 알고리즘의 결정변수로 수리구조물의 위치와 운전조건을 선택하여 범용부정류 해석프로그램에서 그 결정변수에 따른 압력수두를 Fitness를 산출하게 된다.

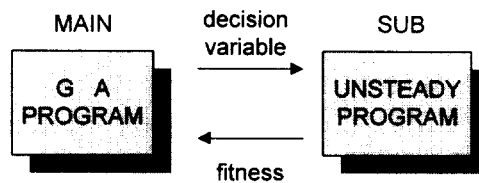


그림 2. 최적화 모형의 구성도

5. 적용예

그림 3은 대구광역시에 위치하고 있는 서변 가압장의 수리학적 구조물의 배치양상을

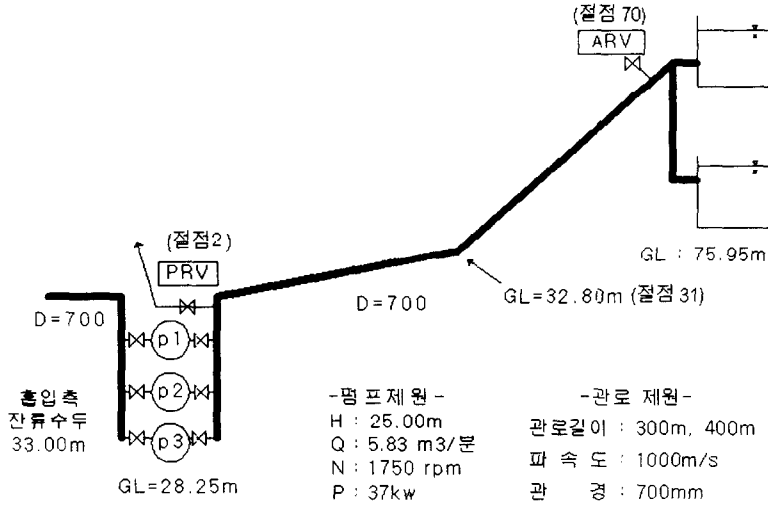


그림 3. 서변 펌프가압장

보여주고 있다. 정류상태에서, 정전 등의 사고로 인한 펌프정지에 의한 수두감소(86.25 m → 61.25 m)는 흐름의 역류를 발생시키는데 역류로부터 펌프를 보호하기 위해 펌프 앞에 체크 밸브가 설치되어 있고, 발생될 수격작용을 완화하기 위해 펌프 앞 10 m지점에 감압밸브 (pressure relief valve)가 설치되어있고, 저수조 앞 10 m지점에 부압을 방지하기 위해 공기 밸브가 설치되어 있다. 감압밸브와 공기밸브의 위치, 그리고 감압밸브의 열림시간을 변수 화하여 최적화를 실행한다. 목적함수의 형태는 식 (4)과 같다.

$$\text{Minimize } (\alpha \times \text{Max}(\text{Head}(i, j)) + (1 - \alpha) \times | \text{Min}(\text{Head}(i, j)) |) \quad (4)$$

여기서, i = 서변가압장의 10m간격으로 처음 0m부터 마지막 700m까지의 절점이고, j = 서변가압장 수차모의시 0.01초 간격으로 처음 0초부터 마지막 30초까지의 값이고, α 은 0에서 1까지의 값으로 가중치를 나타낸다. Head는 동수경사에서 위치수두를 제외한 압력수두만을 고려하여 적용하였다. $\alpha=1$ 인 경우는 30초 동안 발생되어질 수 있는 최대 압력수두의 최소화를 나타내는 목적함수 이고, $\alpha=0$ 인 경우는 30초 동안 발생되어질 수 있는 최대 부압의 절대치의 최소화를 나타내는 목적함수이다. α 가 0에서 1사이의 값은 최대 압력수두와 최대 부압의 가중치를 고려한 목적함수이다. 유전자 알고리즘은 감압밸브의 위치, 공기밸브의 위치, 감압밸브의 열림시간, 감압밸브의 닫힘시간을 매개변수로 하고, 관내에서 발생하는 최대 압력수두 또는 최대 부압을 가장 최소화하는 매개변수의 값을 결정한다.

표 1에서는 유전자 알고리즘에서 중요하게 사용되는 매개변수인 염색체의 길이와 개체집단의 크기, 최대 발생횟수, 교배율, 그리고 돌연변이율의 확률값의 범위를 나타내었다.

감압밸브와 공기밸브의 위치, 그리고 감압밸브의 여닫힘시간을 매개변수화한 최적화한 결과는 표 2와 같다.

표 1. 유전자 알고리즘에 사용되는 중요 연산자

| 유전 연산자 | 유전 연산자 값 |
|----------------------|----------|
| 염색체의 길이 | 30 |
| 개체집단의 크기 | 50 |
| 최대 발생 회수(Generation) | 100 |
| 교배율 | 0.5 |
| 돌연변이율 | 0.02 |

표 2. 감압밸브와 공기밸브의 위치, 감압밸브의 여닫힘시간을 매개변수 화한 최적화 결과

| 가중치 | 감압밸브위치 | 공기밸브위치 | 열림시간 | 닫힘시간 | Fitness |
|--------------|--------|--------|-------------|----------|-----------|
| $\alpha=1.0$ | 5 | 67 | 0.06초 이내 | 관계없음 | 65.59637m |
| $\alpha=0.8$ | 2 | 64 | 2.71초-4.13초 | 5.25초 이후 | 57.10442m |
| $\alpha=0.6$ | 3 | 66 | 2.07초 | 5.41초 이후 | 45.41276m |
| $\alpha=0.4$ | 3 | 64 | 2.87초-4.13초 | 5.25초 이후 | 33.31348m |
| $\alpha=0.2$ | 2,3 | 64 | 2.55초-4.13초 | 5.65초 이후 | 21.41801m |
| $\alpha=0.0$ | 관계없음 | 64 | 2.5초 이후 | 3.7초 이후 | 9.52254m |

6. 결론

본 연구에서는 범용부정류 해석프로그램을 이용하여 관로내 관로부속물의 최적설계를 하였다. 최적화 기법으로 유전자 알고리즘을 도입하여 기존의 최적화방법이나 경험적이고 시행착오적인 설계방법보다 일관성있고 효율적인 설계를 위한 최적설계에 관하여 연구하였다. 목적함수로 최소의 최대압력수두와 최소의 최대부압을 고려하였고, 가중치를 적용하여 두 목적을 동시에 고려하였다. 예제로 사용된 서변가압장의 최적설계에서 감압밸브의 위치는 하류부 펌프쪽에, 공기밸브의 위치는 상류부 저수지쪽에 설치하는 것이 효과적이고, 감압밸브의 열림시간을 적게 할수록 최고 압력수두의 완화에 효과적이고, 열림시간을 크게 할수록 최대 부압의 완화에 효과적임을 알 수가 있었다. 가압장내의 최대 부압 완화에는 공기밸브가 큰 작용을 하는 것을 알 수가 있었고, 최대 압력수두 완화에는 감압밸브가 큰 작용을 하는 것을 알 수가 있었다. 본 연구의 주제는 앞으로 수격압으로 인한 피해를 예측하고 대비하는데 효과적으로 쓰일 수 있을 것으로 판단된다.

7. 감사의 글

본 논문은 한국과학재단 지정 환경기술·산업개발연구센터(RRC-IETI)의 지원(과제번호 : 99-10-02-99-A-3)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

8. 참고문헌

- 김상현, 박남식, 정봉석, 이동훈 (1999). "서변가압장에서 수격현상 완화에 대한 연구." 대한상하수도학회논문집, 제13권, 제2호, pp. 95-104.
- 정봉석, 김주인, 김상현, 박남식 (2000). "특성선 방법을 이용한 관망 수격현상 해석의 보간 방법연구." 대한환경공학회지, 제22권, 제 2호, pp. 363-374.
- 박영수, 김종우, 김태균, 김중훈 (1999). "유전자 알고리즘을 이용한 관망시스템의 최적비용 설계." 한국수자원학회논문집, 제32권, 제1호, pp. 71-81.
- Castillo, L., and Gonzalez, A. (1998). "Distribution network optimization: Finding the most economic solution by using genetic algorithm." *European Journal of Operational research*, Vol. 108, pp. 527-537.
- Carroll, D. L. (1996) "Genetic Algorithms and Optimizing Chemical Oxygen-Iodine Lasers." *Developments in Theoretical and Applied Mechanics*, Vol. 18, pp.411-424.
- David, E.G. (1997). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. The University of Alabama.
- Lee, J.S., Yoon, Y.N., and Kim, J.H. (1996). "An analysis of attenuation effect of pressure head using an air chamber." *Korean Journal of Hydrosiences*, Vol. 7, pp. 77-86.
- Karney, B. and McInnis, D. (1992). "Efficient calculation of transient flow in single pipe network." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 7, pp. 1014-1030.
- Karney, B. and McInnis, D. (1997). "Efficient valve representation in fixed-grid characteristics method." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 8, pp. 709-718.
- McInnis, D. and Karney, B. (1995). "Transients in distribution networks : field tests and demands models." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 121, No. 3, pp. 218-231.
- Roberson, J., Cassidy, J., and Chaudhry M.H. (1993). *Hydraulic engineering*. Boston Graphics, Inc.