

인공 지진파 작성을 위한 유전자 알고리즘의 적용

Incorporating Genetic Algorithms into the Generation of Artificial Accelerations

박형기¹⁾ · 정현교²⁾

Park, Hyung-Ghee · Chung, Hyun-Kyo

국문 요약 >> 유전자 알고리즘을 이용하여 구조물의 지진응답해석에 사용할 인공 가속도시간이력을 작성하는 방법을 제시한다. 유전자 알고리즘을 적용하기 위해서 유전원질에 해당되는 결정변수로서 응답스펙트럼 값을 계산할 진동수를 결정하고, 산술평균 교차연산자와 산술비 돌연변이연산자를 제안한다. 이들 연산자와 전형적인 단순 교차연산자를 사용하여 설계응답스펙트럼에 부합하는 인공 지진파 작성에 사용한다. 또한 작성된 인공 가속도시간이력은 실제 계측되는 지진파의 몇 가지의 외형적 특성을 가져야 하므로 이를 고려한 인공 가속도시간이력이 작성되도록 한다. 이 외형적 특성으로는 가속도시간이력의 포락형태, 지진파의 2 수평성분간의 상관관계, 지반의 최대 가속도 - 최대속도 - 최대변위 관계 등이다.

주요어 인공 지진파, 유전자 알고리즘, 결정변수, 유전자 연산자

ABSTRACT >> The method of generating the artificial acceleration time histories for seismic analysis based on genetic algorithms is presented. For applying to the genetic algorithms, the frequencies are selected as the decision variables eventually to be genes. An arithmetic average crossover operator and an arithmetic ratio mutation operator are suggested in this study. These operators as well as the typical simple crossover operator are utilized in generating the artificial acceleration time histories corresponding to the specified design response spectrum. Also these generated artificial time histories are checked whether their outward features are to be coincident with the recorded earthquake motion or not. The features include envelope shape, correlation condition between 2 horizontal components of motion, and the relationship of max. acceleration, max. velocity and max. displacement of ground.

Key words artificial time history, genetic algorithms, decision variable, genetic operator

1. 서론

지진파는 지진 발생메커니즘, 진원으로부터 측정위치까지의 전파매체, 측정 부지의 지반조건 등에 따라 그 특징이 크게 달라진다. 이러한 지진에 대한 구조 시스템의 내진설계의 입력운동은 일반적으로 응답스펙트럼, 시간이력, 파워스펙트럼 밀도함수로 주어진다. 강진 계측 자료가 미흡한 국내의 기준에서는 내진설계 입력운동으로 가속도응답스펙트럼만을 규정하고 있다. 구조물의 비선형 지진응답 해석에 필요한 가속도시간이력은 인공 지진파를 작성하여

사용하도록 하면서 지진파의 작성 기준을 제시하였다(한국도로교통협회, 2005).

인공 가속도시간이력은 1970년대 중반까지는 진동수영역에서 응답스펙트럼 값을 조정하는 방법을 사용하여 작성되었으나, 1970년대 후반에 Kaul(Kaul, 1978)이 시간영역에서 설계가속도시간이력의 응답스펙트럼을 조정하는 방법을 개발함으로써 설계응답스펙트럼에 보다 접근된 가속도시간이력을 작성할 수 있게 되었다.

그 후에도 지속적인 연구가 이루어졌으며, 1980년대 후반에 Linhanand 등(Linhanand & Tseng, 1987)은 서로 다른 두 감쇠율을 동시에 만족시키는 설계응답스펙트럼을 작성하는 수준까지 개발하였다. 그러나 그 후에 이와 같은 방법은 둘 이상의 감쇠율에 대한 설계응답스펙트럼을 동시에 만족시키는 것이 어려운 것으로 밝혀졌다.

국내에서는 시간이력해석법에 의한 구조물의 동적해석

¹⁾ 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과 교수
(대표저자: hgpark@incheon.ac.kr)

²⁾ 정회원·인천대학교 대학원 토목환경시스템공학과 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2007년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

이 가능하도록 한반도 지진특성을 고려한 인공지진파 작성에 관한 연구(김원배, 유철수, 1990)를 시도하였으며, 원자력발전시설의 내진설계기준에 만족되는 인공 가속도시간이력을 작성하는 프로그램 OPTIME도 개발되었다(임영환 등, 1996). 또한 비선형 지진응답해석에 입력시킬 인공 가속도시간이력 작성에 설계응답스펙트럼에 부합하도록 시간이력을 수정하는 작업에 단시간푸리에변환(short time Fourier transform)을 이용하는 방안이 제안되었고(박형기, 이의택, 2003), 김남식 등은 지진격리교량의 지진해석을 위한 진동수영역기법을 사용하여 인공지진파 데이터베이스를 작성하였다(김남식 등, 2005).

사용되고 있는 기존의 인공지진파 작성 방법은 파워스펙트럼 밀도함수를 이용하여 간접적으로 설계기준을 만족시키도록 작성되는 기술적 배경을 가지고 있으므로 경험이 있는 기술자의 경우라도 지루한 반복 작업을 해야 하는 실정이다. 따라서 체계적이고 합리적이면서도 용이한 인공 가속도시간이력의 작성 방법에 대한 연구를 할 필요성이 있다. 이 연구에서는 유전자 알고리즘을 적용하여 설계응답스펙트럼에 부합하는 인공 가속도시간이력 작성이라는 최적화 문제로 접근하였다. 유전자 알고리즘을 적용시키기 위하여 먼저 결정변수를 결정하고, 이를 기본으로 유전자를 구성하여 유전자 암호화를 시도한다. 설계기준의 설계응답스펙트럼에 부합하는 인공 가속도시간이력을 설계응답스펙트럼과 인공 가속도시간이력으로 구한 응답스펙트럼의 차로 표현한 목적함수의 최소화를 통하여 최적의 해를 찾는다. 이를 위한 유전자 연산자로는 전통적인 단순 교차연산자를 포함한 이 문제의 특징을 고려한 교차연산자와 돌연변이연산자를 개발하고, 새로운 세대구성을 위한 선택 기법으로 엘리트보존방법과 랭킹방법을 채택하였다.

유전자 알고리즘이 적용되어 작성된 인공 가속도시간이력은 실제 기록 지진파와 외형적 특성이 다소 달라질 수 있다. 이를 보완하기 위하여, 가속도시간이력의 포괄함수 및 최대지반가속도의 크기의 보정, 작성된 가속도시간이력과 이로부터 구한 변위시간이력과 속도시간이력의 기준선 보정, 계측 지진파로부터 얻어진 지반의 가속도-속도-변위 최대치 사이의 관계(Newmark and Rosenblueth, 1971)도 적절한 범위에 들도록 한다. 또한 가속도시간이력의 각 성분 사이의 상관계수(한국도로교통협회, 2005 ; Chen, 1975)도 실제 계측 지진파의 특성을 만족시키도록 한다.

2. 인공 지진파 작성을 위한 유전자 알고리즘

2.1 유전자 알고리즘의 기본적 흐름

유전자 알고리즘은 생물의 유전과 진화의 메커니즘을

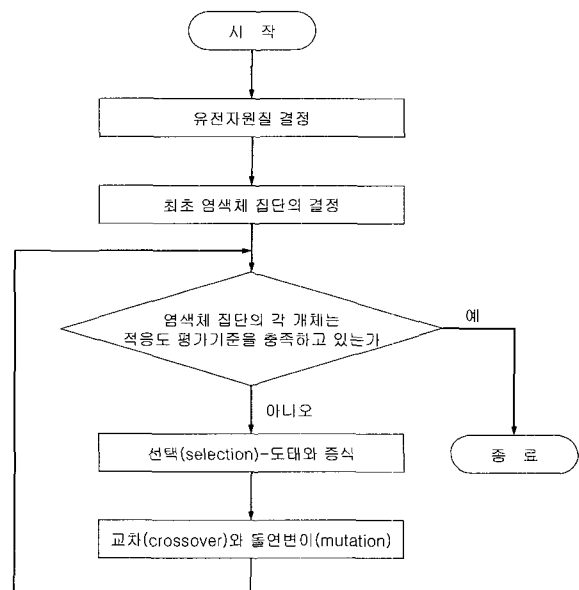
공학적으로 모델화한 것이다. 유전자 알고리즘의 기본적인 조작에는 선택, 교차, 돌연변이의 3 가지가 있다. 실제로는 그림 1에 보인 것과 같은 흐름으로 처리된다.

분야에 관계없이 많은 최적화 문제에는 목적함수가 미분가능하지 않고, 이 문제를 단순화시켜 선형 최적화 문제로 접근하면 국소 최적점이 많이 존재하게 된다. 또한 목적함수가 명확(explicit)하지 않고 함축적(implicit)이 되기 때문에 최적해 찾는데 어려움이 따른다. 이러한 경향 때문에 많은 연구자들이 인공지능방법에 관심을 가지게 되었고, 연구 결과로 탐색 알고리즘인 유전자 알고리즘의 뛰어난(평가의 신속성 및 최적해의 높은 도출 가능성)과 적용성(미분 불가능한 목적함수에의 적용 가능성, 특정부분이 아닌 해가 존재할 수 있는 전체영역의 탐색) 등이 증명되었다(Gen and Cheng, 1997 ; 김응철, 2004).

설계응답스펙트럼에 부합하는 인공 지진파 작성 문제를 작성된 인공 가속도시간이력의 응답스펙트럼이 목표 응답스펙트럼을 만족시키도록 하는 최적화 문제로 다루는 이 연구에서는 최적 해를 탐색하는 알고리즘으로 유전자 알고리즘을 적용되었다.

2.2 결정변수를 사용한 유전자 암호화

설계응답스펙트럼에 부합되는 응답스펙트럼을 가지는 가속도시간이력을 구하기 위해서 가속도시간이력의 응답스펙트럼을 하나의 염색체(chromosome)로 나타낸다. 이 염색체를 구성하는 결정변수는 응답스펙트럼 값이 계산되는 진동수이며, 각 진동수에 해당되는 응답스펙트럼 값이



〈그림 1〉 유전자 알고리즘의 흐름도

기본적으로 유전원질이 된다. 그러나 응답스펙트럼의 조정으로 가속도시간이력을 직접 변화시키기 어려우므로 가속도시간이력과 응답스펙트럼과의 관계를 연결시킬 수 있는 매개변수가 필요하다. 이 매개변수로서 휴리에스펙트럼을 이용하고, 유전원질은 응답스펙트럼 값을 계산하는 진동수에 가장 밀접한 휴리에스펙트럼 값을 계산하는 진동수로 대처한다. 이러한 관계를 개략적으로 그림 2에서 보여주고 있다.

이로부터 가속도시간이력을 나타내는 n 개의 진동수에 대한 응답스펙트럼 값에 상응하는 복소수로 표현된 휴리에스펙트럼 값을 유전원질(gene)로 하는 하나의 염색체로 나타내었다. 즉 설계응답스펙트럼을 만족시키는 인공 지진파 작성에 위한 유전자 알고리즘에서 응답스펙트럼 또는 이에 상응하는 가속도시간이력을 나타내는 염색체를 식(1)과 같이 표현시켰다.

$$A = \{ \lambda_{(1)}, \lambda_{(2)}, \dots, \lambda_{(2n-1)}, \lambda_{(2n)} \} \approx \{ a_{f(1)}, p_{f(1)}, \dots, a_{f(n)}, p_{f(n)} \} \quad (1)$$

여기서, A : 염색체(설계응답스펙트럼 또는 이에 상응하는 가속도시간이력)

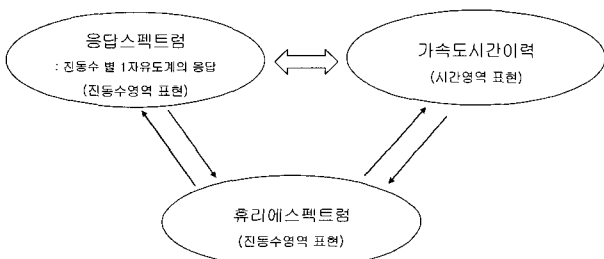
$\lambda_{(i)}$: i 번째 유전원질

$a_{f(i)}, p_{f(i)}$: 각각 i 번째 진동수의 휴리에스펙트럼 값의 진폭과 위상각

2.3 목적함수와 제약조건

목적함수는 최적화 문제에서 구하고자 하는 값의 최적치를 나타내는 함수로서, 이 연구에서는 목적함수를 진동수별 설계응답스펙트럼 값과 인공 가속도시간이력의 응답스펙트럼 값의 차이의 제곱의 합으로 나타내었다. 따라서 목적함수(TF)를 최소화시키는 문제는 식(2)와 같이 표현된다.

$$\text{Minimize } TF = \sum_{j=1}^n T_j \quad (2)$$



〈그림 2〉 가속도시간이력, 휴리에스펙트럼과 응답스펙트럼 간의 관계

여기서, TF : 목적함수

T_j : j 번째 진동수에 대한 가속도시간이력의 응답스펙트럼 값과 설계응답스펙트럼 값 사이의 차의 제곱

n : 응답스펙트럼을 계산하는 진동수의 수

이 최적화 문제에서의 제한조건으로 다음의 두 조건을 고려한다.

- 1) 도로교설계기준 6.10.7. 5.(3).① (한국도로교통협회, 2005)인 “시간이력의 응답스펙트럼 값이 설계응답스펙트럼 값보다 낮은 주기의 수는 5개 이하이고 낮은 정도는 10%이내”이다.
- 2) 작성된 가속도시간이력의 최대가속도-최대속도-최대변위 관계인

$$5 < \frac{S_a S_d}{S_v^2} < 15 \quad (3)$$

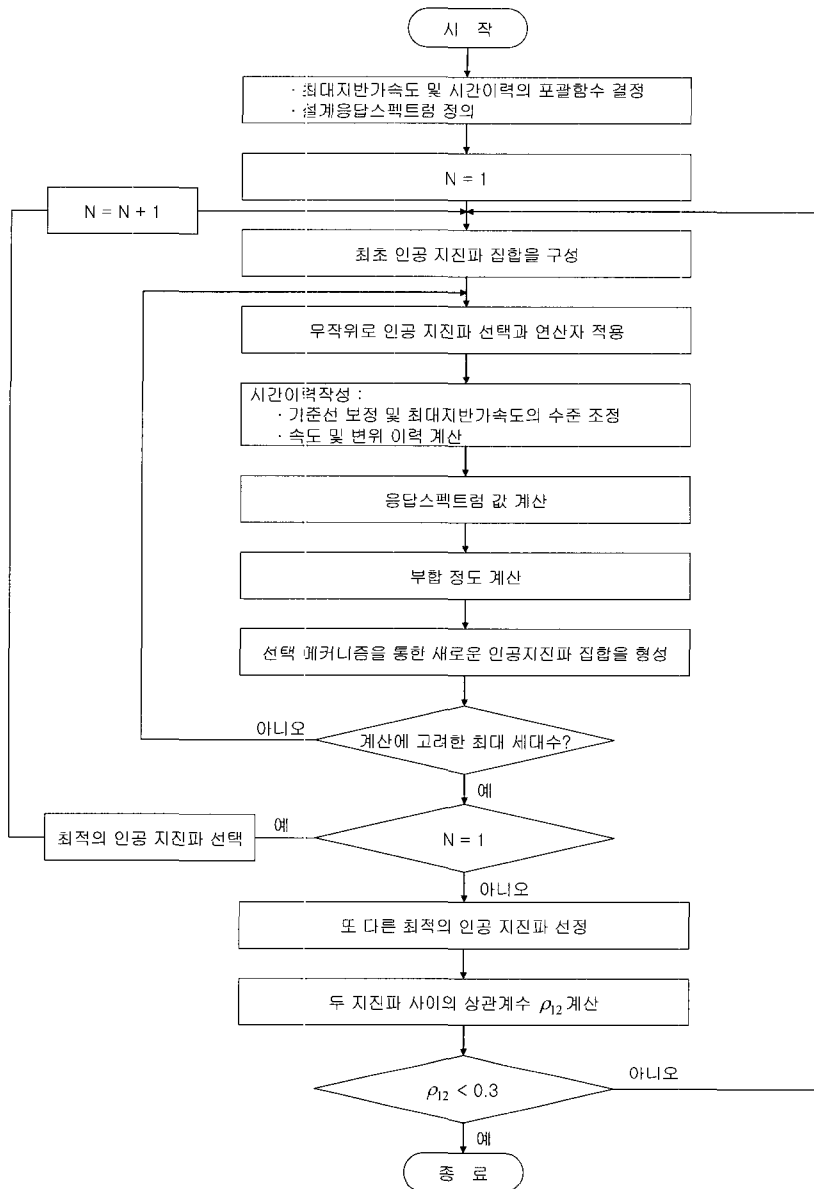
여기서, S_a, S_v, S_d : 각각 지반의 최대가속도, 최대속도, 최대변위를 만족시켜야 한다(Newmark and Rosenblueth, 1971).

위의 제한조건을 만족시키지 못하게 작성된 가속도시간이력에 해당되는 염색체에는 페널티를 적용하여 다음 세대구성을 위한 선택 시에 탈락되도록 한다. 또한 가속도시간이력의 응답스펙트럼 값이 설계응답스펙트럼 값보다 적은 주기의 수는 5개 이하이어야 한다는 조건은 유전자 알고리즘으로 계산할 세대수를 결정할 때 적용된다. 첫 번째의 조건을 만족하더라도 작성된 가속도시간이력의 응답스펙트럼 값이 설계응답스펙트럼 값보다 훨씬 크면 비경제적인 설계 결과를 초래하게 되므로 이에 대해서도 페널티를 가하는 방법으로 고려한다.

2.4 유전자 알고리즘의 인공 지진파 작성 모형으로 적용

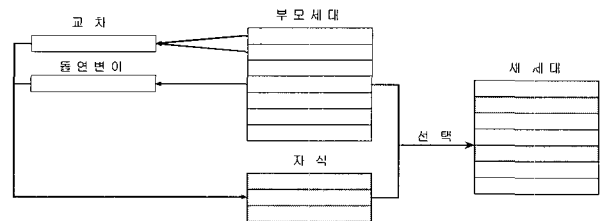
그림 3은 유전자 알고리즘이 인공 지진파 작성 최적화 모형의 구축에 응용된 내용을 보여주고 있다. SIMQKE(Gasparini and Vanmarcke, 1976)를 사용하여 지진 지속시간, 강진구간, 지진파 포괄형태(사다리꼴함수, 지수함수, 복합함수 등)를 고려하여 염색체(가속도시간이력)를 만들어 최초 세대를 구성한다. 암호화된 해(염색체)의 유전자 알고리즘 코딩은 2진수가 아닌 10진수인 실수를 사용하였다.

이 과정 중에 보인 선택과정에서는 엘리트보존방법(elitist selection)과 랭킹방법(ranking selection)을 결합하여 사용



〈그림 3〉 인공 지진파 작성에 유전자 알고리즘의 적용

하였다. 이는 목적함수 값이 우수한 상위개체들이 다음 세대의 구성개체로 선택될 확률을 높이는 결과를 유도할 수 있고, 고려하고 있는 최적화를 이루는데 효율적이기 때문이다. 그리고 새로운 세대구성은 그림 4에 보인 확장샘플링공간(enlarged sampling space)을 사용하였다(Gen and Cheng, 1997).



〈그림 4〉 새로운 세대구성 방법

3. 인공 지진파 작성을 위한 유전자 연산자

유전자 알고리즘에서 제안된 연산자는 크게 전체 탐색 영역의 고른 탐색(exploration)을 보장하는 돌연변이연산자(mutator operator)와 최적해 탐색과정의 축진을 보장

하는 교차연산자(crossover operator)로 나눌 수 있다(김응철, 2004). 이 연구에서는 종래부터 사용되어 오던 단순 교차연산자와 이 연구에서 제안된 산술평균 교차연산자와 산술비 돌연변이연산자를 사용한다.

3.1 교차연산자

1) 단순 교차연산자

부모세대에서 무작위로 선택된 두개의 염색체를

$$A_i = \{\lambda_{i(1)}, \lambda_{i(2)}, \dots, \lambda_{i(2n-1)}, \lambda_{i(2n)}\} \quad (4(a))$$

$$A_j = \{\lambda_{j(1)}, \lambda_{j(2)}, \dots, \lambda_{j(2n-1)}, \lambda_{j(2n)}\} \quad (4(b))$$

여기서, n : 가속도시간이력의 응답스펙트럼 작성에 필요한 진동수의 수

이라 하고, 교차시킬 위치를 다음 식과 같이 이산난수를 발생시켜 선정한다.

$$k = r_d[1, n] \quad (5)$$

여기서, $r_d[1, n]$: 1과 n 사이의 이산난수

단순 교차연산자(simple crossover operator)는 선택된 두 염색체에서 $(2k-1)$ 의 위치를 기준으로 그 뒷부분의 유전원질을 교차시켜 식(6)과 같은 새로운 두개의 염색체를 얻는 연산자이다.

$$A'_i = \{\lambda_{i(1)}, \lambda_{i(2)}, \dots, \lambda_{j(2k-1)}, \lambda_{j(2k)}, \dots, \lambda_{j(2n-1)}, \lambda_{j(2n)}\} \quad (6(a))$$

$$A'_j = \{\lambda_{j(1)}, \lambda_{j(2)}, \dots, \lambda_{i(2k-1)}, \lambda_{i(2k)}, \dots, \lambda_{i(2n-1)}, \lambda_{i(2n)}\} \quad (6(b))$$

2) 산술평균 교차연산자

부모세대에서 무작위로 선택한 두개의 염색체를 아래와 같다고 생각하면

$$A_i = \{\lambda_{i(1)}, \lambda_{i(2)}, \dots, \lambda_{i(2n-1)}, \lambda_{i(2n)}\}$$

$$A_j = \{\lambda_{j(1)}, \lambda_{j(2)}, \dots, \lambda_{j(2n-1)}, \lambda_{j(2n)}\}$$

선택된 염색체의 휴리에스펙트럼 진폭에 해당되는 유전원질의 집합은 식(1)을 참고하면 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$FA_i = \{a_{fi(1)}, a_{fi(2)}, \dots, a_{fi(n-1)}, a_{fi(n)}\} \quad (7(a))$$

$$FA_j = \{a_{fj(1)}, a_{fj(2)}, \dots, a_{fj(n-1)}, a_{fj(n)}\} \quad (7(b))$$

여기서, FA_i : A_i 의 휴리에스펙트럼 진폭의 집합

FA_j : A_j 의 휴리에스펙트럼 진폭의 집합

$a_{fi(k)}$: FA_i 의 k 번째 진동수에 해당하는 휴리에스펙트럼의 진폭

$a_{fj(k)}$: FA_j 의 k 번째 진동수에 해당하는 휴리에스펙트럼의 진폭

식(8)과 같은 파라미터를 사용하면 새로운 휴리에스펙트럼 진폭에 해당되는 유전원질의 집합을 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\omega_{(k)} = \frac{1}{2}(RS_{i(k)} + RS_{j(k)}) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

여기서, $RS_{i(k)}$: i 번째 염색체에 해당하는 가속도시간이력의 k 번째 진동수의 응답스펙트럼 값

$RS_{j(k)}$: j 번째 염색체에 해당하는 가속도시간이력의 k 번째 진동수의 응답스펙트럼 값

$$FA'_i = \{a_{fi(1)}, a_{fi(2)}, \dots, a_{fi(n-1)}, a_{fi(n)}\} \quad (9(a))$$

$$FA'_j = \{a_{fj(1)}, a_{fj(2)}, \dots, a_{fj(n-1)}, a_{fj(n)}\} \quad (9(b))$$

$$\text{여기서, } a_{fi(k)} = \frac{\omega_{(k)}}{RS_{i(k)}} a_{fi(k)} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (10(a))$$

$$a_{fj(k)} = \frac{\omega_{(k)}}{RS_{j(k)}} a_{fj(k)} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (10(b))$$

산술평균 교차연산자(arithmetic average crossover operator)는 식(9)를 고려한 식(11)과 같은 새로운 두 염색체를 얻는 연산자이다.

$$A'_i = \{a_{fi(1)}, \lambda_{i(2)}, \dots, a_{fi(n)}, \lambda_{i(2n)}\} \quad (11(a))$$

$$A'_j = \{a_{fj(1)}, \lambda_{j(2)}, \dots, a_{fj(n)}, \lambda_{j(2n)}\} \quad (11(b))$$

3.2 산술비 돌연변이연산자

부모세대에서 무작위로 선택된 하나의 염색체를

$$A_i = \{\lambda_{i(1)}, \lambda_{i(2)}, \dots, \lambda_{i(2n-1)}, \lambda_{i(2n)}\}$$

이라 할 때, 단순교차 연산자의 경우에서와 마찬가지로 방법으로 돌연변이 시킬 위치 $(2k-1)$ 를 선정한다. 산술비 돌연변이연산자(arithmetic ratio mutation operator)는 결정된 위치의 염색체의 유전원질을 돌연변이 시켜 생성된 식(12)와 같은 새로운 염색체를 얻는 연산자이다.

$$A'_i = \{\lambda_{i(1)}, \lambda_{i(2)}, \dots, \lambda_{i(2k-1)}', \dots, \lambda_{i(2n-1)}, \lambda_{i(2n)}\} \quad (12)$$

$$\text{여기서, } \lambda_{i(2k-1)}' = \lambda_{i(2k-1)} \times \frac{DRS_{(k)} - RS_{i(k)}}{DRS_{(k)}}$$

$DRS_{(k)}$: k 번째 진동수의 설계응답스펙트럼 값

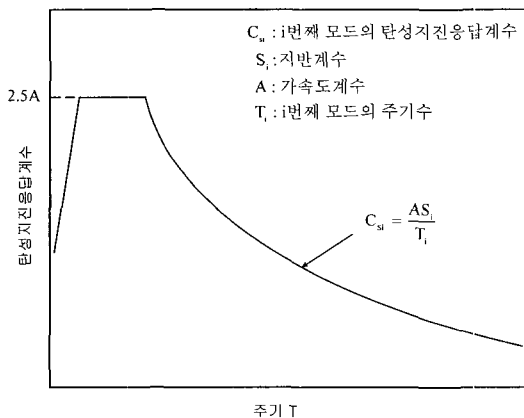
4. 유전자 연산자를 적용한 인공 지진파 작성

4.1 인공 지진파 작성사항과 지진파의 외형적 특성 고려

인공 가속도시간이력의 최대지반가속도는 0.154g이며, 응답스펙트럼은 그림 5와 같은 형태의 지진격리교량의 설계응답스펙트럼(가속도계수 0.154, 지반계수 1.5인)이다. 이는 도로교설계기준의 지진구역 I, 지반종류 II에 건설될 내진 I 등급 지진격리교의 설계지진이다.

응답스펙트럼 값을 계산할 진동수를 ASCE 4-98(ASCE, 1998)에서 제시한 진동수 간격기준을 만족시키고, 추가적으로 장주기 구간인 진동수 범위 0.2~1.0Hz 구간에서는 0.05 Hz의 진동수 간격을 사용하도록 결정하였다. 이를 정리한 내용은 표 1과 같다.

가속도시간이력의 포괄함수로는 사다리꼴 함수가 사용되었으며, 지진파의 지속시간은 20.47초이고, 강진지속시간은 10.0초로 하여 가속도시간이력을 작성하였다. 가속도시간이력의 지표면 최대가속도-최대속도-최대변위의 관계식(3)을 만족시키는 두 수평 가속도시간이력간의 상관계수는 0.3미만이 되도록 하였다.



〈그림 5〉 탄성 지진응답계수

〈표 1〉 응답스펙트럼 값 계산 시에 사용한 진동수 간격

진동수 범위(Hz)	간격(Hz)
0.2~1.0	0.05
1.0~3.0	0.10
3.0~3.6	0.15
3.6~5.0	0.20
5.0~8.0	0.25
8.0~15.0	0.50
15.0~18.0	1.0
18.0~22.0	2.0
22.0~34.0	3.0

작성된 인공 가속도시간이력의 변위시간이력은 기준선의 한쪽 편으로 상당히 왜곡된다. 이러한 현상은 가속도시간이력에서도 마찬가지로 나타나는데 이를 기준선을 중심으로 시간함수를 보정하여야 한다. 기준선 보정(base line correction)에서 가속도시간이력의 경우에는 최소자승법과 1차식 보정방법을 적용하고, 변위시간이력의 경우에는 최소자승법과 조화함수를 적용한다 (임영환 등, 1996). 이와 같이 가속도시간이력에 대한 기준선 보정 결과로 최대지반가속도의 크기가 미소하게나마 달라질 수 있다. 최대지반가속도 값이 요구수준을 벗어나는 경우에는 클리핑한다. 이는 가속도시간이력의 최대가속도 값 $|A(t)|_{max}$ 과 최대지반가속도 a_{max} 의 비율 ϵ 을 계산하여 그 값을 1과 비교한 결과에 따라 조정이 이루어진다(임영환 등, 1996).

4.2 유전자 연산자에 대한 민감도 분석

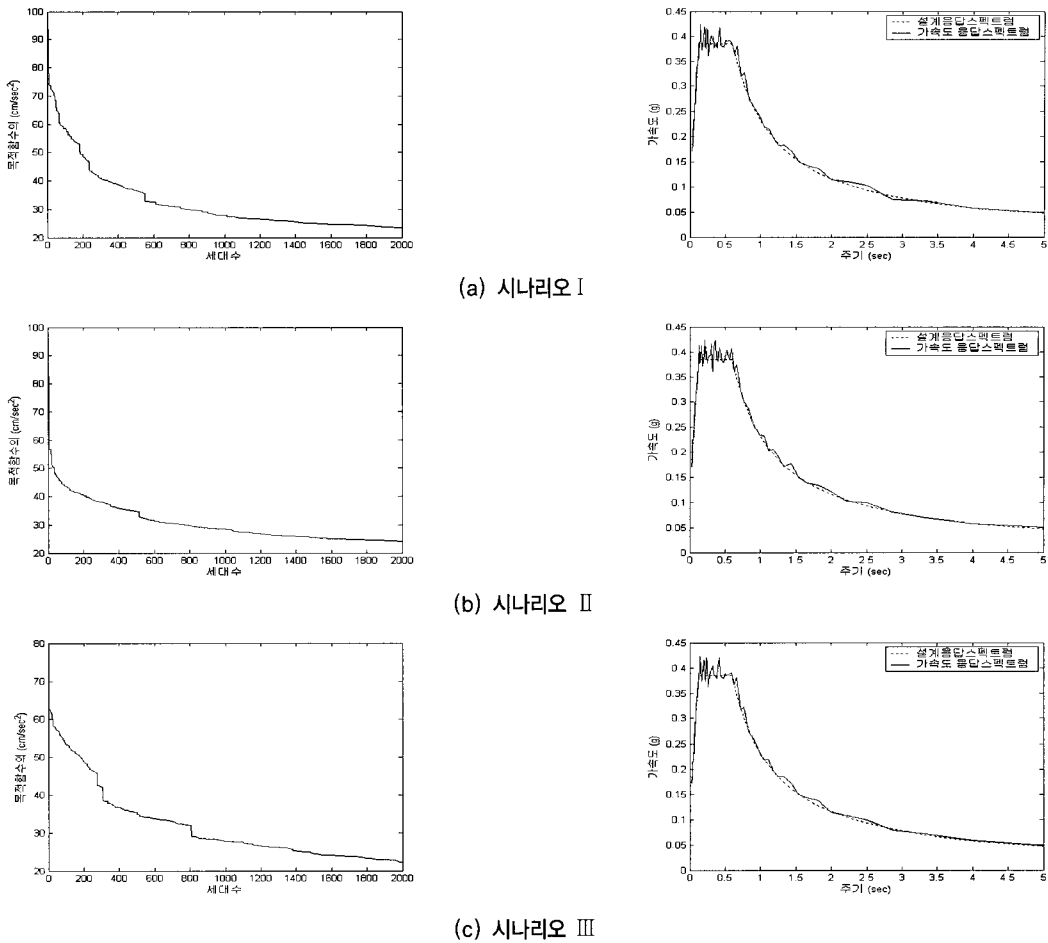
유전자 알고리즘에 적용할 교차연산자와 돌연변이연산자의 조합에 따른 영향을 비교하기 위하여 표 4.2와 같이 세 개의 시나리오를 작성하여 각각의 시나리오별로 10회씩 실행을 하였으며, 세 개의 시나리오에 대한 결과를 표 3에 정리를 하였다. 그림 6은 각 세대별로 작성된 인공지진파의 응답스펙트럼이 설계응답스펙트럼에 부합하는 정도가 가장 양호한 염색체의 목적함수 값을 보였으며, 또한 2000 번째 세대의 응답스펙트럼을 보여 주고 있다.

세 개의 시나리오별 해석 결과인 그림 6과 표 3을 고찰하면, 시나리오 III은 다른 시나리오에 비해 인공 가속도시간이력 작성에 소요시간이 더 많이 걸린 반면에 가장 적은 목적함수 값이 얻어졌다. 따라서 이 연구에서는 세 번째 시나리오에 해당하는 연산자 수를 한 세대에 적용시킬 연산자 수로 선택하였다.

또한 그림 6의 목적함수 값을 살펴보면 세 개의 시나리오 전부 2000 세대수가 되어도 계속 수렴하는 경향이 나타났다. 하지만 세대수가 증가하여도 이 연구에서 초점을 맞추고 있는 0.3초 이상의 장주기 구간에서는 변화가 거의 없으므로 이 이상의 세대수는 의미가 없는 것으로 판단하고 이 연구에서는 세대수를 2000으로 정하였다. 그러나 더욱 짧은 주기에서도 양호한 부합정도를 고려하려면 세대

〈표 2〉 민감도 분석을 위한 시나리오

시나리오		I	II	III
교차연산자	단순 교차연산자	1	1	2
	산술평균 교차연산자	1	1	2
돌연변이연산자	산술비 돌연변이연산자	1	2	1
	세대수	2000		



〈그림 6〉 시나리오별 세대에 따른 목적함수 값의 변화 및 2000세대에서 얻은 응답스펙트럼

〈표 3〉 세 개의 시나리오별 결과

시나리오	평균 계산 소요시간(초)	평균 목적함수 값 (cm/sec^2)	컴퓨터 사양
I	19,544	25.349	3.0GHz CPU speed 1Gbyte RAM
II	18,546	23.030	
III	21,980	22.246	

수를 계산결과가 만족될 수 있는 수준이 되도록 2000 세대 이상 선택하면 된다.

일반적으로 돌연변이연산자를 많이 사용될수록 계산에 소요되는 시간이 더욱 길게 된다. 그러나 표 3에서 볼 수 있는 바와 같이 시나리오 II에서 채택된 연산자의 수가 많으면서도 오히려 평균 소요 계산시간이 짧다. 이는 이 연구에서는 최초세대를 SIMQKE로 목표로 하고 있는 설계응답스펙트럼에 부합정도가 대체로 높은 가속도시간이력을 작성하여 구성되었기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 인공 가속도시간이력 작성과 결과 분석

설계응답스펙트럼에 부합된 두 방향(H1, H2(H1 방향에 직각방향))의 인공 가속도시간이력을 작성하기 위한 과정

은 크게 3단계로 나누어진다. 1단계에서는 유전자알고리즘의 부모세대에 사용되는 염색체를 생성하는 단계로서 SIMQKE에 의해 생성된 인공 가속도시간이력을 최초세대(부모세대)의 염색체로 사용하였다. 2단계에서는 유전자알고리즘을 적용하는 단계로서 1단계에서 얻은 염색체를 무작위로 선정한 뒤 연산자를 사용하여 새로운 염색체를 생성시킨 후, 선택메커니즘을 통하여 새로운 세대를 형성하였다. 3단계에서는 2단계에서 생성된 새로운 세대에서 기준을 가장 잘 만족시키는 H1방향의 인공 가속도시간이력을 판별 선정한다. 같은 방법으로 H2방향의 인공 가속도시간이력을 작성 후, H1방향과 H2방향의 상관계수를 계산하여 두 방향의 상관계수가 0.3보다 큰 경우에는 2단계로 돌아가 H2방향의 인공 가속도시간이력을 다시 생성시킨다. 설계응답스펙트럼에 부합하는 인공 가속도시간이력 작성에 사용된 유전자 알고리즘의 프로그램 순서도는 그림 3에서 보인 바와 같다.

설계응답스펙트럼에 부합되는 최적의 인공 가속도시간이력을 유전자 알고리즘을 적용하여 작성하기 위하여 앞에서 수행된 민감도분석 결과를 이용하여 표 4와 같이

3개의 연산자(단순교차연산자, 산술평균연산자, 산술비 돌연변이연산자)를 사용하였다. 한 세대에서 단순 교차연산자와 산술평균 교차연산자는 각 2회 발생시켰고, 산술비 돌연변이연산자는 1회 발생되도록 하였다. 또한 표 1을 기준으로 고려한 83개의 진동수를 유전원질로 사용하였으며, 한 세대를 이루고 있는 15개의 염색체를 선택하기 위해서는 새롭게 생성된 5개의 염색체와 이전 세대의 15개의 염색체 중 엘리트보존방법과 랭킨방법으로 15개의 염색체를 선발하여 새로운 세대를 구성하였다. 고려한 세대수는 4.2절에서 수행된 민감도분석에 따라 2000 세대가 고려되었다.

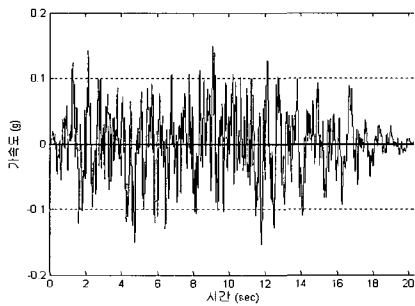
최초세대는 서로 다른 seed번호를 사용하여 SIMQKE로 15개의 염색체(가속도시간이력)로 구성하였다. 최초세대에 속하는 염색체중 설계응답스펙트럼에 부합정도가 가장 양호한 염색체는 그림 7에 보인 바와 같다.

유전자 알고리즘 적용을 통하여 생성 선택된 H1방향의 인공지진파는 그림 8과 같다. 그림 8에서 최대가속도, 최대속도, 그리고 최대변위를 구하면 각각 1.512, 0.276, 0.285이고, 식(3)을 이용하여 구한 r -계수 값은 5.657으로 얻어지고 Newmark와 Rosenblueth가 제시한 범위 이내에 있다. 그림 9는 H1방향의 인공 가속도시간이력의 응답스펙트럼을 보이고 있다.

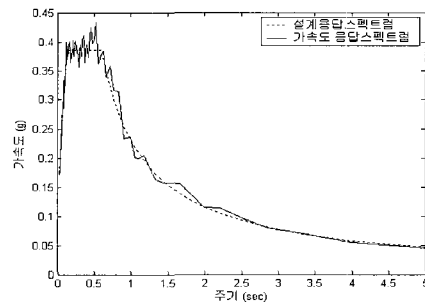
H1방향 성분과 마찬가지로 H2방향 가속도시간이력의 최대가속도, 최대속도 및 최대변위를 구하고 식(3)을 이용하여 구한 r -계수의 값은 8.819이다. 구한 두 방향성분 사이의 상관계수는 0.0682를 얻었다. 이는 도로교설계기준에서 제시한 0.3보다 작다. H2방향 성분의 인공 가속도시간이력과 응답스펙트럼은 그림 10과 같다.

〈표 4〉 최적의 인공 가속도시간이력 작성을 위한 시나리오

연산자와 매개변수		적용
교차연산자	단순 교차연산자	2
	산술평균 교차연산자	2
돌연변이연산자	산술비 돌연변이연산자	1
진동수의 수(유전원질의 수)		83
염색체 수		15
세대수		2000

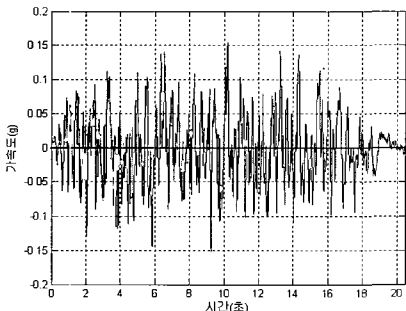


(a) 가속도시간이력

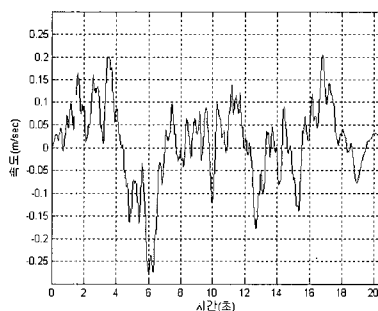


(b) 응답스펙트럼

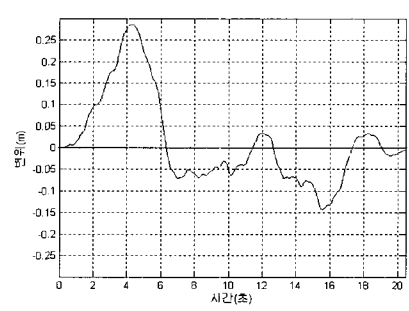
〈그림 7〉 최초세대 염색체 중 부합정도가 가장 양호한 염색체



(a) 가속도시간이력

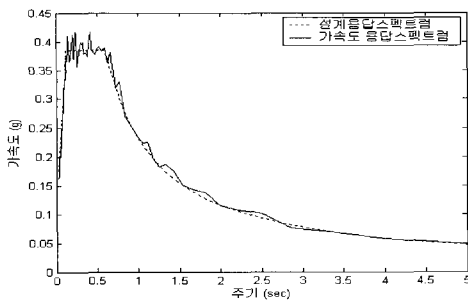


(b) 속도시간이력

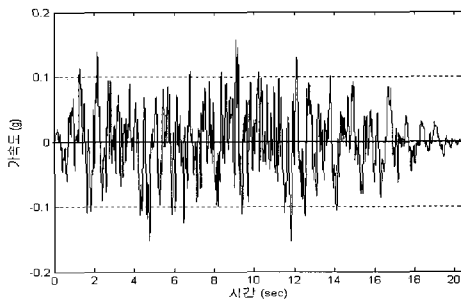


(c) 변위시간이력

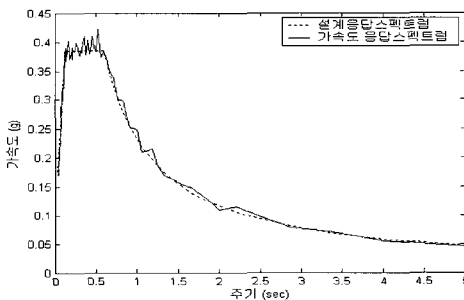
〈그림 8〉 유전자 알고리즘으로 작성된 인공 지진파(H1 방향)



〈그림 9〉 H1방향의 응답스펙트럼



(a) 가속도시간이력



(b) 응답스펙트럼

〈그림 10〉 H2방향의 인공가속도시간이력과 응답스펙트럼

그림 7에서 보인 SIMQKE로 작성된 가속도시간이력의 응답스펙트럼을 고찰하면, 10개 이상의 진동수에서의 응답스펙트럼 값이 설계응답스펙트럼 값 이하임을 알 수 있고 3.5Hz 부근에서는 그 차이가 10% 이상이 생겼다. 반면에 유전자 알고리즘으로 작성된 그림 9와 그림 10에 보인 응답스펙트럼을 고찰하면 설계응답스펙트럼 작성기준을 만족시키는 부합정도가 매우 양호한 인공 가속도시간이력이 작성되었음을 알 수 있다.

5. 결론

이 연구에서는 목표 설계응답스펙트럼에 부합하고 실제 지진의 외형적 특성이 고려된 한 쌍의 인공 가속도시간이력을 구하는 문제를 최적화 문제로 다루었다. 목적함수를 목표 설계응답스펙트럼과 작성된 인공지진파의 응답스펙트럼 사이의 차의 합으로 표현하였고, 최적화 문제 해결도

구로서 유전자 알고리즘을 적용하였다. 사용된 유전자 연산자로는 전통적인 단순교차연산자와 이 문제의 특성을 고려하여 개발된 산술연산자를 사용하였다.

예로서 도로교설계기준의 지진격리교량의 설계지진에 해당되는 설계응답스펙트럼에 부합하는 한 쌍의 인공지진파를 작성하였다. 이 연구의 결과로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. 목표 응답스펙트럼에 부합하는 인공 가속도시간이력 작성을 최적화 문제로 다루어 유전자 알고리즘을 적용할 수 있다.
2. 제안된 유전자 연산자인 산술평균 교차연산자와 산술비율연변이연산자는 유전자 알고리즘에 의해 목표 응답스펙트럼에 부합하는 인공지진파 작성에 합리적으로 적용될 수 있으며, 이들 연산자의 적용성은 민감도 분석을 통하여 확인하였다.

참고 문헌

1. 김남식, 김재민, 이계희, 강형택 “지진격리교량의 지진해석을 위한 인공지진파 의 작성”, 2005년도 학술대회 논문집, 한국 지진공학회, pp. 487-494.
2. 김원배, 유철수, “구조물의 동적해석을 위한 한반도의 인공지진파 작성”, 대한토목학회논문집, 제10권 제3호, 1990, pp. 39-47.
3. 김응철, “도로선형최적화를 위한 유전자 연산자의 적용”, 대한교통학회지, 제22권, 제2호, 2004, pp. 43-54.
4. 박형기, 이의택, “지진격리교량의 비선형 지진응답해석에 사용할 입력 시간이력 작성”, 인천대학교, 공학기술연구소 논문집, 제18집, 제1권, 2003 pp. 103-110.
5. 임영환, 김종수, 이상훈, “인공 지진가속도시간이력 작성 기술 및 전산프로그램 개발”, 한국전력기술주식회사, KOPEC/96-T-027, 1996.
6. 한국도로교통협회, 도로교설계기준, 2005.
7. ASCE, *Seismic Analysis of Safety - Related Nuclear Structures and Commentary*, ASCE 4-98, 1998.
8. Chen, C., “Definition of Statistically Independent Time Histories,” *Readings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 101, No. ST2, 1975.
9. Gasparini, D.A. and Vanmarcke, E.H., *SIMQKE - A Program for Artificial Motion Generation, User's Manual and Documentation*, Department of Civil Engineering, MIT, 1976.
10. Gen, M. and Cheng, R., *Genetic Algorithms and Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc, 1997.
11. Kaul, M.K., “Spectrum Consistent Time History Generation,” *Proceeding of ASCE*, EM4, 1978.
12. Linhanand, K. and Tseng, W.S., “Generation of Synthetic Time Histories Compatible with Multiple Damping Design Response Spectra,” SMiRT-9, Lausanne, K2/10, 1987.
13. Newmark, N.M. and Rosenblueth, E., *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, 1971.