

토목공학분야의 유전자 알고리즘 활용

Applications of Genetic Algorithm in Civil Engineering



최영민*



황윤국**

*자람기술(주) 대표이사 서울산업대 겸임교수 공학박사
**한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원 공학박사

1. 개론

1990년대 이후 급속도로 발전해온 컴퓨터 관련기술은 공학분야에 많은 변화를 가지고 왔으며 토목공학분야도 예외는 아니다. 토목공학은 국가경제 성장의 기초가 되며 국민들의 편익과 안전 즉, 공공의 이익을 창출하는 사회간접자본시설(도로, 철도, 항만, 공항, 댐, 상하수도, 환경 등)에 대해 계획, 설계, 건설, 유지관리, 해체 등 일련의 공학적 활동을 수행하는 것으로써, 막대한 국가예산의 집행이 요구되는 분야이므로 최적의 예산집행을 위해 각 활동단계에 따른 최적의 의사결정을 위한 노력이 경주되고 있다.

그러나 토목구조물의 대상은 그 규모가 방대하며, 특히 최근에는 그동안 축적된 건설경험과 연구를 토대로 그 규모가 점차 대형화, 장대화되고 있는 추세이다. 이와 같은 요구에 부응하기 위해서는 고성능의 컴퓨터와 첨단 알고리즘에 의한 고기능의 프로그램을 이용하여 안전성, 사용성, 내구성 등을 만족하면서 가장 경제적인 토목구조물의 건설 및 유지관리를 위한 최적화가 요구되고 있다. 따라서 토목공학분야에서는 현재 이에 대한 많은 연구가 학계를 중심으로 진행되고 있으며 또한 다양한 건설프로젝트에 적용하여 최적의 안전성 및 경제성을 확보하고자 노력하고 있다.

본 특집기사에서는 컴퓨터를 통해 수행되는 다양한 수

치적 시뮬레이션에서 그 효율성을 인정받고 있을 뿐만 아니라 첨단 알고리즘으로 널리 인식되고 있는 유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm)이 토목분야에서 어떻게 활용되고 있는 지에 대해 간략하게 제시하고자 한다. 이를 위해 먼저 토목분야의 유전자 알고리즘을 이용해 수행된 연구를 중심으로 소개한다. 다음으로 실제 적용 예로서 최근 토목구조분야에서 고비강도, 고내구성, 초경량성 등의 우수한 재료적 특성으로 인해 대표적 건설재료로 활용되어 오던 콘크리트, 강재에 이어 차세대 건설재료로서 점차 인식이 확산되고 있는 첨단 섬유보강복합재료(FRP : Fiber Reinforced Polymers)를 이용한 교량 바닥판의 최적설계에 적용된 유전자 알고리즘을 소개한다.

2. 토목분야의 GA 활용에

2.1 도로 및 토질공학

도로의 노선선정은 도로로 흘러가는 교통의 흐름에 선형을 부여하는 것으로 교통수요에 부응하고 운동역학적 요구에 맞으며 자연지형 및 사회적 환경조건과 조화가 되어야 한다. 노선의 평가는 계획도로의 기능에 따라 사회적, 환경적, 경제적, 기술적 측면에서 실시해야 하고 특히 문화재나 주변시설의 토지이용 활동에 심각한 영향을 주

지 않는 범위에서 선정하여야 한다. 특히 고속도로의 계획과 설계는 매우 복잡한 과정이며 이를 계획하고 설계하는 기술자는 건설계획, 과업진행, 최종설계, 지가, 건물의 5가지 과정을 명확히 알고 있어야 할 뿐만 아니라 새로운 고속도로의 영향까지도 고려하여야 하는 복잡한 지형정보 처리가 필요하다. 따라서 고속도로를 건설하기 위한 모든 설계조건을 만족하면서 최대의 이익을 도모하는 선형이 필요하며 설계속도, 도로폭, 길어깨폭, 교량폭, 도로구조용량, 평면선형, 종단선형, 곡선거리, 수직구배, 편구배, 수직한계고, 수평한계폭 및 환경적 조건으로 습지와 수애선과 같은 수리적인 제약, 대기·수질 오염과 소음의 증가 등을 고려한 도로노선의 시종점간의 최적의 설계가 필요하다(이준석 외, 2002).

일반적인 최적화 알고리즘은 최적해에 관한 진화의 과정이 없으므로 선형의 모든 비용문제를 다룰 수 없고, 연속적인 공간상에서 탐색하는 기능이 부족하고 수많은 지역적인 해가 존재하는 가운데 포괄적인 해를 찾는 능력이 부족하며 매끄럽고 연속적인 선형을 만드는 능력이 부족하다. 따라서 이러한 문제를 극복하며 도로의 수평과 종단 선형을 결정하기 위해 유전자 알고리즘이 사용되었다.

이 연구에서 유전자 알고리즘은 Chris(1995) 등이 작성한 GAOT(Genetic Algorithm for Optimized Toolbox)를 사용하여 Matlab에서 구현하였다. 입력 파라미터에서 변수의 경계값은 시점과 종점을 이용하였고 교점(IP)의 개수를 5개로 하고 초기세대를 50세대로 전체 세대를 500세대로 하였다.

이 외에도 또 다른 연구가 수행되었는데 단위 도로가 아닌 네트워크(network)상의 도로의 유지관리 및 보수에 관한 최적의 의사결정을 위해 유전자 알고리즘 프로그램의 개발에 대한 연구를 수행하였다(Fwa et al, 1996).

이는 네트워크 수준의 포장관리는 장기간 계획영역에서의 포장 및 보수 활동을 관리하는 것으로서 굉장히 복잡한 문제이다. 예를 들면, 매우 작은 네트워크 도로로서 20개의 포장대상에 3가지 유형의 손상에 대해서만 10회 정도의 유지관리 활동을 하려고 했을 때 발생가능한 유지관리의 조합은 무려 약 10^{38} 가지가 됨을 알 수가 있다.

이 연구에서는 유전자 알고리즘에 의한 프로그램을 직접 개발하였으며, 교점(IP)의 개수를 8개로 하고 초기세대를 30세대로 전체 세대를 100세대로 하였다.

사면의 안정문제에 대해서도 연구(김홍택 외, 2004)가 된 바 있으며 그 내용을 살펴보면 다음과 같다.

일반적으로 사면안정해석에서 한계평형해석은 활동면

을 특정 함수형태로 가정한 후 그 중심점과 크기를 일정한 규칙으로 변화시키는 작업을 수행하여 안전율이 최소가 되는 위치를 탐색하는 과정으로 수행된다. 그러나 많은 연구에 의해 다층지반의 경우 활동면의 형상은 원형이 아니라 대수나선 혹은 복합곡선의 형태를 보이는 것으로 확인되었으며 따라서 사면안정해석을 활동면의 탐색을 위한 최적화 문제로 가정하여, 활동면을 다양한 지형 현황이나 지층의 변화양상 등을 반영하기 위한 활동면의 형상변화가 제한됨에 따라 구해진 최소안전율 역시 가정된 활동면 조건에 대해서만 유효한 국부해라 평가할 수 있다. 이러한 내용을 효과적으로 반영하기 위해서는 전문적인 결정론적 방법이 아닌 임의탐색기법의 적용이 타당하다고 판단하여 활동면의 형상에 실제현장의 조건들을 반영하기 위한 방법으로 사면의 활동면을 정의하는 각 절편 저면의 좌표 및 시·종점 등 활동면의 기하학적 형상을 유전자 알고리즘을 적용하여 임의 값들로 결정하고 절편법에 의한 한계평형해석을 수행하는 과정을 통해서 활동면의 형상을 탐색할 수 있는 최적화 알고리즘을 제안하였다.

유전자 알고리즘을 적용하기 위한 제어변수값은 사전해석을 통해 초기세대수 40개, 교배확률 80% 및 변이확률 1.2%를 적용하였으며, 전체세대를 토질의 특성값에 따라 500~900 이상으로 하였다.

지하구조물인 터널에 대한 유전자 알고리즘의 적용 내용을 살펴보면 다음과 같다(김선명, 2002). 지하 암반 내에 인공구조물을 경제적으로 굴착하여 이를 장기간에 걸쳐 안전하게 유지하기 위해서는 설계 및 시공단계에서 구조물의 역학적 거동을 해석하여 그 안정성을 판단하는 일이 대단히 중요하며, 최근 컴퓨터의 급속한 발전으로 수치해석방법이 널리 활용되고 있다. 그러나 암반구조물의 역학적 거동을 정확하게 예측하는 것은 상당히 어려운 문제이기 때문에 터널을 굴착, 시공하면서 시공 전·후의 해석결과와의 차이를 확인하고 시공 중 터널 주변 암반의 변위와 응력을 계측하여 이를 반영하는 역해석을 하게된다. 역해석의 기법 중에서 직접법(direct method)의 성능을 좌우하는 최적화 기법을 유전자 알고리즘을 이용하여 개발하였다.

유전자 알고리즘을 적용하기 위한 제어변수값은 약간의 시행착오를 거쳐 초기세대수 30개, 교배확률 95% 및 변이확률 1%를 적용하였으며, 전체세대는 100개로 하였다.

이외에도 설계 및 평가가 상당히 어려운 도로 및 토질구조물에 대한 수치적 시뮬레이션에서 유전자 알고리즘을 적용하고자 하는 노력이 점차 일반화 되어가고 있다.

2.2 구조 및 재료공학

자동화 최적설계가 상당히 일반화되고 있는 토목구조분야에서는 최적화 알고리즘과 더불어 유전자 알고리즘이 다양하게 사용되고 있는 것을 확인할 수가 있다. 그중에서 몇몇 연구를 간략히 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 구조물의 비선형 비탄성 최적설계를 위해 유전자 알고리즘을 활용한 연구(김승억 외, 2003)를 살펴보자. 현재 사용하는 설계방법은 구조시스템의 해석시 기하학적 및 재료적 비선형을 고려하지 않기 때문에 유효길이계수를 사용하여 개별부재의 강도에 미치는 구조시스템의 영향을 고려한다. 이는 이 논문에서 제시한 바와 같이 몇 가지의 이유들로 인해 문제점을 가지고 있다. 따라서 이러한 문제를 극복하는 방법은 비선형, 비탄성 해석을 직접 수행하는 방법임을 강조하고, 이러한 해석을 바탕으로 최적설계를 수행하는 방안을 제시하였으며 이때 최적설계를 위해서 유전자 알고리즘을 적용하였다. 유전자 알고리즘 및 비선형 비탄성해석을 이용한 최적설계의 흐름도는 그림 1과 같다.

최적설계시 목적함수로서는 구조물의 총중량을 사용하였으며, 제약조건으로는 하중저항능력, 사용성 및 연성도

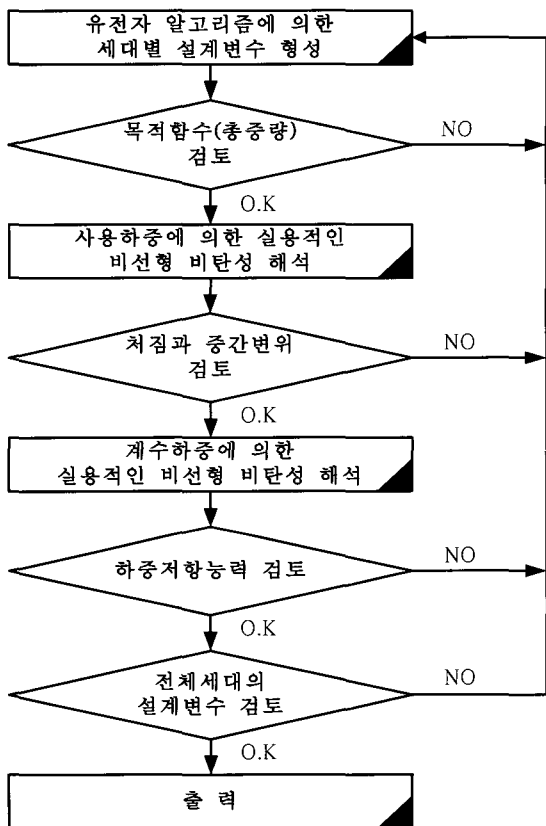


그림 1 유전자 알고리즘 및 비선형 비탄성 해석을 이용한 최적설계 흐름도

를 고려하였다.

이 연구에서는 유전자 알고리즘을 적용하기 위한 제어변수값을 사전해석을 통해 염색체수는 8, 교배율은 90%, 변이확률은 3%, 전체세대수는 20,000, 설계변수인 개체수는 10, 그리고 집단수는 10을 사용하였다. 적용대상구조물로서는 3차원 강뼈대(steel frame)와 3차원 강아치(steel arch)이었으며, 유전자 알고리즘은 기존의 최적화 알고리즘에 비해 더 효율적으로 최적설계를 수행하는 것을 확인하였다.

강구조물의 최적설계를 위한 재래적 알고리즘을 적용함에 있어서 제약조건은 정확한 숫자로 정의된 기준값(tolerance)을 만족하여야만 한다. 그러나 실제 공학문제에서는 적용한 제약조건이 상당히 많은 불확실성을 내포하고 있으며 근사화되어 있음을 알 수가 있다. 따라서 최적화 알고리즘이 설계제약조건을 정확하게 만족한다면 통상 허용할 수 있는 근사값으로 정의된 전역최적해(global optimum solution)를 구하지 못할 수 있다. 이를 극복하기 위해서 Sarma와 Adeli(2000)는 퍼지 유전자 알고리즘(Fuzzy GA)을 제안하였다. 다시 말해, 퍼지이론을 적용하여 유전자 알고리즘의 수렴성과 효율성을 증가시켰다. 퍼지 유전자 알고리즘은 2단계로 구성되며, 첫 단계는 상대적으로 적은 반복(iteration)을 통해 전역최적영역을 도달하기 위해 Adeli와 Cheng(1994)이 제안한 Augmented Lagrangian GA을 적

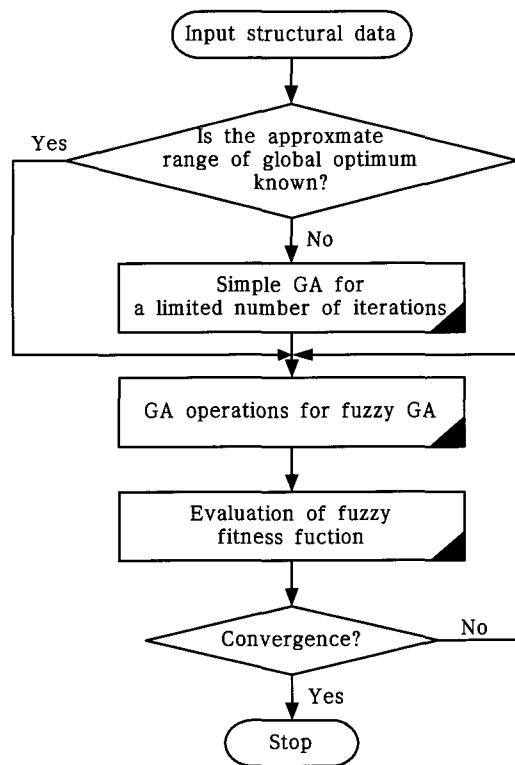


그림 2 퍼지 Augmented Lagrangian GA를 이용한 최적설계 흐름도

용하고, 2단계로 퍼지이론과 근사화된 퍼지구성함수에 기초한 규칙을 이용하는 국부 퍼지 유전자 알고리즘을 적용하여 최적해를 개선해가는 것이다. 이상의 과정을 흐름도로 나타내면 그림 2와 같다.

이와 같이 제안된 유전자 알고리즘을 이용하여 개발된 프로그램을 각각 72개와 1,310개의 부재로 구성된 강재 입체트러스에 대하여 적용하여본 결과, 기존의 유전자 알고리즘을 이용한 최적화의 수렴속도 보다 훨씬 빠르게 구해지며 효율성도 증가하고 있음을 확인할 수가 있다.

철근콘크리트보의 최적설계를 위해 유전자 알고리즘을 활용한 연구(황선일 외, 2003)도 수행되었으며 다음과 같다. 기존의 철근콘크리트의 최적화는 설계정식화 및 제반 설계기준의 복잡성으로 인해 주로 휨설계에 제한되어 적용되고 있다. 따라서 이 연구에서는 제약조건을 휨강도, 전단강도, 처짐, 균열, 철근간격, 피복두께, 철근비 및 단면형상에 대한 기하학적 조건 등과 같이 다양하게 고려하고 있으며, 실제 토목설계에서는 구조물을 구성하는 기본 자재가 기성제품화된 경우가 많으므로 설계변수를 연속형으로 취급할 수 없는 문제점을 보완하기 위해 이산형 최적설계를 고려하였다. 또한 최적화 과정의 효율성을 위해 유전자 알고리즘을 활용하고 있다.

적용예는 철근콘크리트 3경간 연속보에 대해 수행하였으며, 유전자 알고리즘을 적용하기 위한 제어변수값은 초기세대수 100개, 교배확률 80% 및 변이확률 2%를 적용하였으며, 매세대마다 100개씩 증가시켰다.

교량의 지진에 대한 안전성평가에 있어서 계측자료를 활용하는 확률적 접근방법에서 유전자 알고리즘을 활용한 연구(이진학 외, 2004)가 있어 소개하면 다음과 같다. 상시진동 계측자료를 이용하여 교량의 상관해석모델을 작성하고, 이로부터 교량의 확률적 지진안전성을 평가하고자 할 때 상시진동 계측 및 고유계 구현기법에 의하여 동특성을 추정하고, 유전자 알고리즘을 이용하여 초기해석모델을 개선하며, 비선형 지진해석과 지진취약도 분석을 통하여 구조물의 지진안전성을 평가한다. 이와 같이 초기해석 모델을 개선하는데 유전자 알고리즘이 활용되고 있다.

적용대상구조물은 미국 캘리포니아주 오렌지카운티에 있는 총 연장 110.9m의 3경간 연속 프리스트레스트 콘크리트박스교로서 유전자 알고리즘을 적용하기 위한 제어변수값은 개체수 20, 세대수 100, 교배확률 40% 및 변이확률 1%를 적용하였다.

이외에도 유전자 알고리즘을 활용한 토목구조와 관련된 연구는 크레인 거더(girder)의 최적설계, 동적구조물의 가속도 최적화, 트러스구조물의 최적설계시 목적함수가 결

과에 미치는 영향, 개선소성인지해석과 유전자 알고리즘을 이용한 반강접 강골조의 이산최적설계 등에서 수행되고 있는 것을 알 수가 있다.

토목구조분야 뿐만 아니라 재료분야에서도 유전자 알고리즘이 활용되고 있으며 그 한 예를 살펴보자.

고성능 콘크리트는 그 우수한 품질과 특별한 성능 덕분에 그 활용이 점차 확대되고 있으며 따라서 이를 개발하고자 하는 노력이 토목재료분야에서 경주되고 있다. 그러나 현장에서 요구되는 특별한 성능을 만족하는 고성능 콘크리트를 얻기 위해서는 수많은 시험배합이 요구되며, 따라서 시험배합수를 최소로 하는 것이 경제적인 고성능 콘크리트를 개발하는 것이므로 이 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 배합설계를 실행하는 새로운 설계법에 대한 연구가 수행되었다(임철현 외, 2002).

이 연구에서는 유전자 알고리즘의 적용성에 대한 매개변수의 연구와 배합설계에 대한 해석적 결과와 실험결과를 비교하여 그 타당성을 검증하였다.

2.3 수공학

수공학분야 역시 컴퓨터의 발전과 더불어 최적화 기법을 많이 사용하고 있으며 이 과정에서 자연스럽게 유전자 알고리즘을 접목하고자 하는 연구가 많이 수행되고 있다. 이중 몇 가지의 연구를 간략히 살펴보면 다음과 같다.

먼저, 상수도 관망분야를 살펴보면, 최적 상수도 배수관망의 산정과 같은 기초적인 설계문제에서부터 펌프운전 최적일정 계산과 같은 운전제어에 이르기까지 최적화는 널리 사용되고 있다. 또한 역해석 분야에서는 마찰특성의 산정이나 누수위치 및 면적의 탐지와 같은 문제에 적용되고 있다. 이러한 최적화 과정에서 효율적인 알고리즘의 적용을 위해 박종일 등(2004)은 누수위치 탐지를 중심으로 유전자 알고리즘에 대한 비교연구를 수행하였다. 특히 이 연구는 통상적인 기법과 집단진화기법(shuffled complex evolution)의 알고리즘을 비교하였다.

연구결과 누수위치 탐지를 위해서는 집단진화기법에 의해 최적화가 더 효율적이며 최적해 탐지능력에서도 통상적인 유전자 알고리즘보다 훨씬 더 우수한 것으로 확인하였다.

다음으로 댐군(multireservoir system)의 최적운영방안의 결정을 위한 유전자 알고리즘의 활용에 대한 연구를 살펴보자(이길성 외, 2004). 댐군의 연계운영은 전형적으로 많은 변수들과 목적, 상당한 위험도와 불확실성을 포함하는 복잡한 의사결정의 과정이다. 따라서 다양한 최적화 모

형이나 모의운영모형을 이용하여 연구가 되어 왔으며 그 중 최적화 모형은 매우 유용한 것으로 알려져 있다. 이와 같이 최적화 모형을 통한 의사결정시 최적화는 유전자 알고리즘을 이용하여 수행할 수 있다. 이 연구결과, 유전자 알고리즘을 활용한 모형이 이 분야에서 그간 수행되어왔던 동적계획법 모형보다 더 효과적인 최적운영방안을 도출함을 확인하였다.

이 연구에서는 4개의 댐에 대해서 적용하였으며 유전자 알고리즘의 제어변수값은 교배확률 75% 및 변이확률 2.5%를 적용하였다.

이상과 같은 연구 외에도 파이프 시스템의 지진응답의 최적화를 위한 의사결정 지원시 최적의 의사결정을 위해 유전자 알고리즘을 사용하였고(Gupta *et al.*, 2005), 건설공사에서 자원배분에 대한 의사결정시에도 마찬가지로 유전자 알고리즘(Senouci *et al.*, 2004)을 적용하였다.

전술한 바와 같이 토목분야에서는 전 분야에서 설계, 시공, 유지관리 등 각 단계의 합리적이면서 최적의 의사결정을 위해 폭넓게 유전자 알고리즘을 이용하고 있으며 그 연구가 점차 증가하고 있음을 확인할 수 있다.

3. GA를 활용한 최적설계에(구조)

2장에서는 토목분야 전반에 걸쳐 유전자 알고리즘의 활용에 대하여 간략히 설명하였으며, 본 장에서는 보다 구체적으로 살펴보기 위해 토목건설분야의 차세대 재료로서 각광을 받고 있는 복합재료(FRP)를 활용한 인발성형(pultrusion)된 FRP 바닥판의 형상최적설계를 유전자 알고리즘을 이용하여 수행하는 과정을 보인다.

3.1 개요

최적설계의 정식화에서 목적함수는 단위모듈의 체적을 최소화하도록 하였으며, 설계변수는 바닥판 단면의 기하적 치수와 재료적 물성을 사용하였다. 반면 바닥판의 성능을 최대한 효율적으로 설계하기 위하여 설계 제약조건으로 처짐규정, 재료과파 기준, 좌굴하중, 바닥판 최소두께와 응력을 사용하였다. 단면형상의 효율적 결정과 시공성을 고려하여 구조적 보조부재를 포함하지 않는 튜브 모양의 형상으로 제한하였으며, 최적화 알고리즘은 Index기법을 적용하여 수렴성을 극대화한 개선된 GAs를 사용하였다. 상용 프로그램인 ABAQUS를 사용하여 3차원 유한요소해석을 수행하였고, 구조해석 결과를 최적화 과정에 필요한 제약조건으로 활용하고, 민감도 분석을 수행하였다. 본 연

구를 통하여 개발한 최적화 프로그램을 검증하기 위하여, 40m의 지간, 폭 12.14m에 주형 간격이 2.5m인 단순교를 대상으로 하였으며, 도로교 설계 기준을 만족하는 DB-24 하중을 적용하였다.

3.2 설계변수

FRP는 기존의 건설재료와는 달리 이방성의 재료적 특성으로 인해 설계의 유연성(적층각, 적층수, 적층배열순서, 섬유함유율, 단면치수 등)이 매우 큰 재료이다. 그러므로 FRP의 구조적, 재료적 특성을 극대화하여 FRP 바닥판의 최대의 효율을 발휘할 수 있는 최적단면을 결정하는 것이 필요하다. 먼저, 기하학적인 단면의 형상을 결정하기 위해 바닥판의 상하부 플랜지의 두께(t_1 , t_2), 복부판의 두께(t_3) 및 복부판의 경사각(α), 바닥판의 높이(H), 복부판의 간격(B)을 고려하였으며, 이때 복부판의 간격은 복부판 높이의 1/2 위치에서의 중심간 거리로 가정하였다.

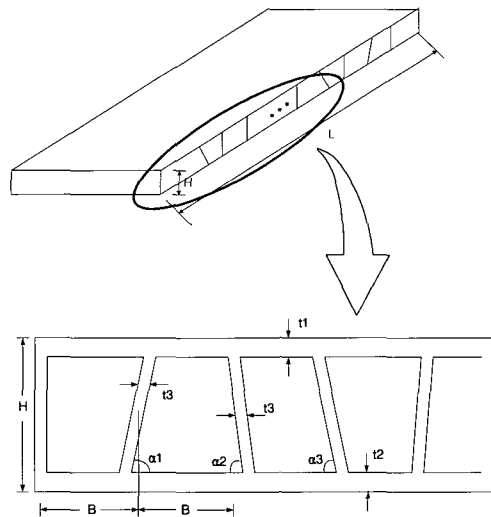


그림 3 바닥판의 형상 및 설계변수

3.3 목적함수

바닥판 제작공법상 상·하부플랜지와 복부판을 하나의 모듈에서 인발성형하는 방법을 채택하므로 단위 길이의 바닥판이 자동적으로 생산되고, 시공업체마다 제작 및 시공 단위별 비용에 대한 정보의 편차가 큰 단점이 있어, 플랜지와 복부판의 비용이 같다는 전제하에 FRP 바닥판 단면적의 최소화, 즉 중량의 관점에서 표현하였다. 그러므로 단위 제작비용으로 계산될 때 필요한 단위부피를 최소화하도록 목적함수를 설정하였으며, 그 정식화는 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m (w_i \times t_i) \times L_i \times \gamma_i \quad (1)$$

- 여기서, w_i = 각 부재별 폭
- t_i = 각 부재별 두께
- L_i = 부재별 길이
- γ_i = 부재별 제작비용을 고려한 가중치
(본 연구에서 플랜지 : 웹 = 1:1)
- V_f = 섬유함유율
- m = 플랜지 및 복부 등의 부재별 수

3.4 제약조건

FRP 교량바닥판 최적설계에 대한 제약조건으로는 Structural Design of Polymer Composites(EUROCOMP Design Code and Handbook, 1996), Introduction to Composite Material Design(Ever J. Babero, 1999), 도로교설계기준(2000), AASHTO LRFD 도로교설계기준(1998), FRP Decks and Superstructures: Current Practice(2002)를 기초로 하여, 휨응력, 재료파괴, 국부좌굴, 처짐과 같은 FRP 바닥판의 거동 제약조건과 주형의 거동 제약 및 사용성 제약조건, 그리고 인발성형 제작기술 등을 고려한 제약조건으로 크게 구별하여 적용하였으며, 지면관계상 제시하지 않았다.

3.5 최적설계 개요

인발성형된 FRP 바닥판의 설계를 위하여 바닥판의 운하중에 의한 국부적인 효과를 고려한 Plate와 Shell 모델링을 적용하여 해석 및 설계를 수행하였다. 구조해석 프로

그램은 상용패키지인 ABAQUS를 사용하였으며, 최적설계프로그램은 이산형 최적화를 위해 유전자 알고리즘을 이용하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 초기가정한 설계변수값으로부터 구조해석을 바탕으로 한 제약조건 만족 여부를 통하여 새로운 단면을 결정하게 되고, 이 과정을 반복함으로써 수렴된 최적의 단면을 결정할 수 있게 된다.

3.6 개선된 유전자 알고리즘

FRP 바닥판은 상하부 플랜지 두께와 같은 이산형 설계변수와 바닥판의 높이와 같은 연속형 설계변수가 혼합되어 있는 형태로 구성되어 있다.

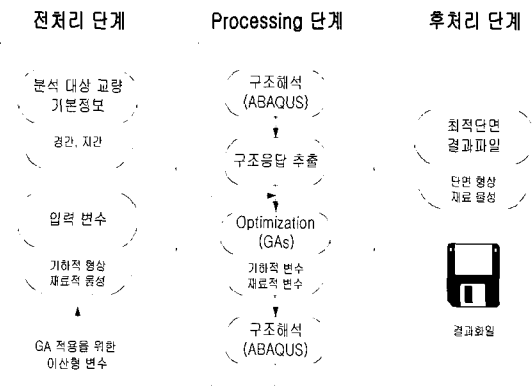


그림 4 프로그램의 구성도

만일 국부 최적화 알고리즘이 이런 형태의 문제에 적용된다면 이산변수에 대해서 고정시킨 후 각각에 대해 최적화를 수행해야 하기 때문에 비효율적이고, 해를 찾는다 하

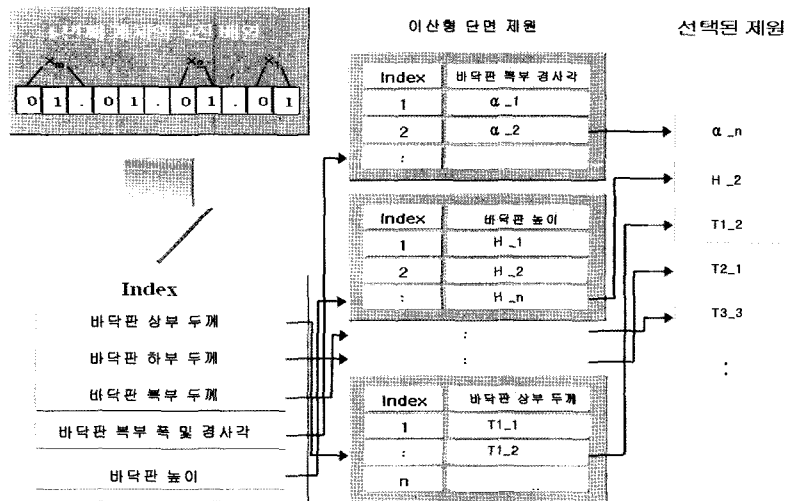


그림 5 Index 설계변수 개념

더라도 근접 최적해 일 것이다. 유전자 알고리즘은 이러한 문제를 푸는데 적합하고, 대부분의 경우에 높은 신뢰성을 가지고 전역적 최적해를 찾을 수 있으며, 비효율적인 계산 시간을 줄이기 위하여 그림 5에서 보여주는 바와 같이 실무에서 사용 가능한 설계변수의 제원 각각에 인덱스(Index)를 부여하여 설계변수로 사용함으로써 효율적으로 최적단면을 찾을 수 있는 방법을 사용하였다. 인덱스 기법이라 함은 GA의 알고리즘 상 설계변수에 대하여 소수점 이하를 이진수로 상대적으로 길게 표현되는 염색체 조합 시 생산과 돌연변이 등의 과정을 거치는 동안 많은 계산시간이 소요되게 되는데, 이 설계변수를 각각에 인덱스를 부여하여 각 인덱스에 대하여 GA의 연산 및 변이를 수행한 이후 다시 인덱스를 원래의 설계변수로 환원하는 방법이다. 이는 기존의 표준화된 설계단면을 이용하는 장점뿐만 아니라 설계공간을 표준단면 인덱스로 범위를 국한하여 효율적으로 개체를 발생시킬 수 있다는 장점을 가지게 된다. 기본적으로 유전자 알고리즘은 무제약조건의 최적화 문제를 위해 사용될 수 있다. 따라서 FRP 바닥판의 최적화 문제와 같은 제약조건의 형태를 가진 문제를 풀기 위하여 식 (2)에서 제시된 것과 같은 벌칙함수의 개념을 이용하여 본래의 제약조건 문제를 무제약조건 문제로 전환하는 과정이 필요하다.

$$f'(X) = f(X) + \begin{cases} R \sum_{j=1}^m \Phi(g_j(X)^\eta) & \text{for } g_j(X) > 0 \\ 0 & \text{for } g_j(X) \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

여기서, Φ : 벌칙함수, R, η : 벌칙파라미터이다. 두 번째 변환은 식 (2)의 $f'(X)$ 를 최소화하기 위해 적합도함수 $F(X)$ 를 최대화하는 것인데 적합도함수는 식 (3)과 같이 정의된다.

$$F(X) = \frac{C}{f'(X)} \quad (3)$$

여기서, C 는 적합도함수의 파라미터이다. 적합도함수를 최대로 하기 위해서는 벌칙파라미터와 세대수(N_P) 각각을 결정하는 것이 중요하다. 예비해석의 결과, R, η, N_P 가 각각 10000, 6, 30인 경우에 가장 효율적으로 최적화가 수행됨을 알 수 있으며, 이와 같은 결과는 단면에 대해서도 동일하게 나타났다.

3.7 적용예

대상교량은 건설교통부에서 발간한 도로설계편람(건설

교통부, 2000)의 설계예제로 제시된 교장 40m, 지간장 35m, 총교폭 12.14m, 2.5m의 간격으로 5개의 거더를 갖는 단순지지 강관형교에 대해 기존의 콘크리트 바닥판을 복합재료 바닥판으로 대체하여 가정하였고, 대상교량의 횡단면도는 그림 6과 같다.

최적설계를 수행함에 있어서 설계변수는 제작이 가능한 치수로 표현되어야 하므로 의사이산형 기법을 이용하였으며 이를 위해 바닥판 상·하부 플랜지의 두께 및 복부판의 두께는 1mm 단위, 높이와 복부판의 간격은 1cm 단위, 복부판의 기울기는 3°단위로 변화되며 최적해를 이산형으로 추정하였다. 거더의 재료는 구조용 강재 SM490(허용인장응력=1,900 kgf/cm²)으로 가정하였으며, 탄성계수는 205.8 Gpa, 프와송비는 0.3으로 고려하여 해석시 적용하였다.

국외에서 시공실적이 있는 FRP 바닥판의 설계과정을 검토한 결과, FRP 바닥판의 설계는 사용성 검토에 초점을 맞추는 것이 타당한 것으로 판단되므로 그림 7, 8과 같이 활하중의 집중하중과 윤하중에 대한 휨모멘트가 최대로 발생하는 위치에 대하여 사용성 검토를 수행하였고, 응력 및 재료의 파괴에서는 자중을 함께 고려하도록 하였다. 활하중 조건은 현행 도로교설계기준(건설교통부, 2000)에 규정되어 있는 표준트럭하중(DB-24)하중을 적용하였다.

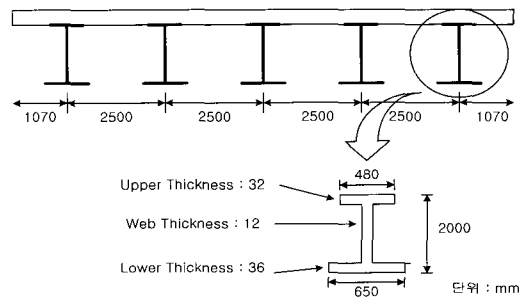


그림 6 대상교량의 횡단면도

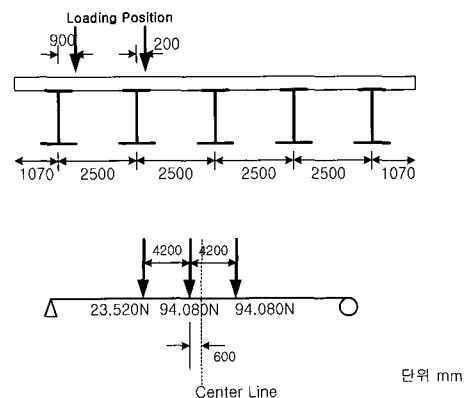


그림 7 활하중 재하위치

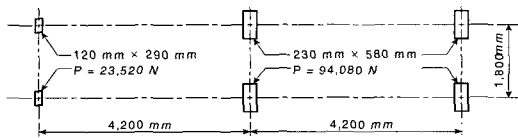


그림 8 차륜하중 재하

3.8 최적설계 결과

다양한 조건(바닥판 높이 고정, 상·하부 플랜지 고정, 복부의 경사각 고정 등)에 대한 최적설계를 수행하였으나 지면상 제시하지 않았다. 그 중 아무런 제약조건도 주지 않은 상태에서 최적단면으로 결정된 단면은 그림 9와 같다. 상부의 바닥판이 하부의 바닥판보다 두껍고 또한 복부가 일정부분 경사각이 있어야 함을 확인할 수 있다.

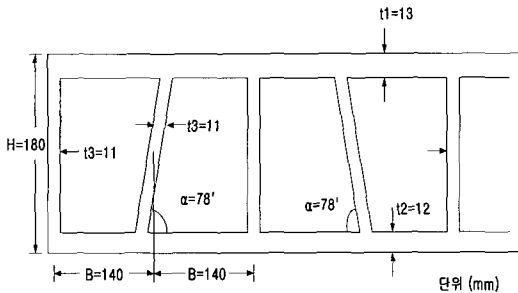


그림 9 최적설계단면의 일예

해의 수렴성은 알고리즘의 신뢰성에 있어서 매우 중요한 요소이다. 초기값의 80%, 100%, 120%가 제안한 알고리즘의 수렴성을 평가하기 위해 적용되었으며 이에 대한 목적함수의 부피 수렴이력은 그림 10에 나타내었다. 초기값이 다르다 할지라도 개발된 최적설계 알고리즘은 목적함수와 설계변수에 대한 수렴성이 보장된다는 것을 알 수 있다.

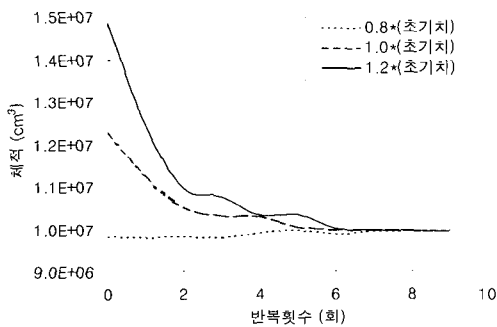


그림 10 수렴이력

이외에도 설계변수에 대한 다양한 민감도분석을 수행하

였으나 여기서는 적용예를 보여주는 사례의 소개이므로 생략하기로 한다.

4. 맺음말

전술한 바와 같이 대형구조물의 설계, 건설, 유지관리 및 해체, 폐기를 수행하는 토목공학분야에서는 각 활동마다 국민생명의 안전과 막대한 예산을 수반하게 되므로 매 단계마다 최적의 의사결정이 요구되고 있으며 이때 최적화의 과정이 반드시 필요하게 된다. 따라서 최적화 알고리즘 중에 유전자 알고리즘의 효율성은 널리 알려진 상태이므로 토목분야에서의 적용은 전 분야에 걸쳐 활발히 진행될 것으로 사료되며 또한 현재 그러한 추세로 연구가 진행되고 있다.

참고 문헌

건설교통부(2000), “도로교설계기준”
 김선명(2002), “유전자 알고리즘을 이용한 터널 현장계측치의 역해석”, 인하대학교 박사학위논문
 김승역, 마상수(2003), “유전자 알고리즘을 이용한 비선형 비탄성 최적설계”, 대한토목학회 논문집, 제23권 제5A호, pp. 841~850
 김홍택, 황정순, 백승철, 신방용, 매트모울든(2004), “유전자 알고리즘을 이용한 임계활동면의 임의탐색기법”, 대한토목학회 논문집, 제24권 제6C호, pp. 327~335
 박풍일, 홍성훈, 박남식, 전시영(2004), “누수위치 탐지를 위한 최적화 기법의 비교”, 대한토목학회 논문집, 제24권 제6B호, pp. 529~536
 이길성, 정은성(2004), “유전자 알고리즘을 이용한 댐군의 최적운영방안”, 대한토목학회 논문집, 제24권 제1B호, pp. 9~17
 이준석, 최영락, 김희규, 강인준(2002), “유전자 알고리즘을 이용한 3차원 도로선형 결정”, 대한토목학회 학술발표회, pp. 267~270
 이진학, 김상훈(2004), “계측자료를 활용한 교량의 확률적 지진 안전성 평가”, 대한토목학회 논문집, 제24권 제5A호, pp. 1093~1102
 임철현, 윤영수, 이승훈, 손유신(2002), “고성능 콘크리트 배합설계에서의 유전자 알고리즘의 적용”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회, pp. 551~556
 한국건설기술연구원(2002), “장수명 합리화 바닥판 개발(II)”

- 황선일, 박중열, 조홍동, 한상훈(2003), “철근콘크리트 보의 이산최적설계를 위한 유전자 알고리즘의 적용”, 대한토목학회 학술발표회, pp. 1016~1021
- AASHTO(1998), “LRFD 도로교 설계기준”
- Adeli, H. and Cheng, N.-T.(1994), “Augmented Lagrangian genetic algorithm for structural optimization”, *J. of Aerosp. Engrg., ASCE*, Vol. 7, No. 1, pp. 104~118
- Chris, H., Jeff J., Mike K.(1995), “A Genetic Algorithm for Function Optimization: A Matlab Implementation”, NCSU-IE TR 95-09
- European Structural Polymeric Composites Group (EUROCOM)(1996), “Structural design of polymer composites-EUROCOMP design code and handbook” Edited by Clarke, J. L., E & FN Spon, UK.
- FHWA(2002), “FRP Decks and Superstructures : Current Practice”
- Fiberline(1995), “Fiberline Design Manual for Structural Profiles in Composite Materials”
- Fwa, T. F., Chan, W. T., Tan, C. Y. (1996), “Genetic-Algorithm Programming of Road Maintenance and Rehabilitation”, *J. of Transportation Engineering, ASCE*, Vol. 122, No. 3, pp. 246~253
- Gupta, A., Kripakaran, P., Mahinthakumar, G., Baugh Jr., J. W.(2005), “Genetic Algorithm-based Decision Support for Optimizing Seismic Response of Piping Systems”, *J. of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 131, No. 3, pp. 389~398
- Peters, S.T.(1998), “Handbook of Composites, 2nd edition”, Chapman & Hall.
- Sarma, K. C., Adeli, H.(2000), “Fuzzy Genetic Algorithm for Optimization of Steel Structures”, *J. of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 126, No. 5, pp. 596~604
- Senouci, A, Eldin, N. N.(2004), “Use of Genetic Algorithms in Resource Scheduling of Construction Projects”, *J. of Construction Engineering, ASCE*, Vol. 130, No. 6, pp. 869~877