TUNNEL & UNDERGROUND SPACE Vol. 25, No. 6, 2015, pp. 534-542
http://dx.doi.org/10.7474/TUS.2015.25.6.534
ISSN: 1225-1275(Print)
ISSN: 2287-1748(Online)

유전자알고리즘을 활용한 최적화된 라운드트립 발생 예측 시스템 개발

이승수, 서종원, 김광염*, 신휴성

Development of an Optimized Prediction System of Round Trip Occurrence using Genetic Algorithm

Seung Soo Lee, Jong Won Seo, Kwang Yeom Kim*, Hyu-Soung Shin

Abstract Round trip activity occurs discretely due to the abrasion of drill bit in the deep drilling project. Round trip has great impact on the drilling performance because it takes more time to change a drill bit as the depth goes deeper. Therefore, a reliable prediction technology of the round trip should be secured for feasibility analysis and effective management of the drilling project. Lee et al. (2013) developed the TOSA (round trip occurrence simulation algorithm) which can analyze the depth and timing of round trip occurrence at each abrasion state of bit. However, TOSA has weakness that it takes long time for simulation because the number of simulation increase exponentially as increasing the number of simulation section. This study developed the TOSA based round trip performance prediction module using genetic algorithm for simulating in a short time and verified simulation results.

Key words Deep Drilling, TOSA, Genetic Algorithm, Round Trip

초 록 대심도 시추공사는 시추비트의 마모로 인해 발생하는 라운드트립(round trip)이 이산적으로 발생된다. 라운드트립은 심도가 깊어질수록 교체에 소요되는 시간이 증가하여 공사 성능에 많은 영향을 끼친다. 따라서 시추 프로젝트의 타당성분석 및 관리 효율화를 위해서는 라운드트립의 신뢰적인 예측기술이 확보되어야 한다. 이승수 등(2013)은 TOSA(round trip occurrence simulation algorithm)을 제시하여 비트의 마모단계별 라운드트립이 발생되는 깊이와 시점을 분석할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 그러나 시뮬레이션 구간의 수가 증가할수록 시뮬레이션 횟수가 기하급수적으로 증가하여 연산시간이 오래 걸린다는 단점을 가지고 있다. 본 연구에서는 유전자 알고리즘을 활용하여 단 시간에 TOSA를 통한 최적화된 라운드트립의 발생을 예측할 수 있는 모듈을 개발하고 검증한 내용에 대하여 소개한다.

핵심어 대심도 시추, TOSA, 유전자 알고리즘, 라운드트립

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

그동안 시추프로젝트의 성능을 향상시키기 위한 수많은 연구가 진행되어 왔다. 시추프로젝트의 생산성은 시추리그(drill rig)라는 장비의 운영수준에 따라 크게 달라진다. 대부분의 연구도 시추속도(rate of penetration; 이하 ROP)를 향상시키기 위한 WOB(weight on bit) 및 RPM(revolution per minute)과 같은 제어파라미터를 최적화하기 위한 연구가 많다(Maurer, 1962; Galle and Woods, 1962; Bourgoyne and Young, 1974). 1980년대부터는 첨단 IT 기술이 급격히 발전되면서 실시간 현장데이터 인터페이싱 기술인 MWD(measurement while drilling), LWD(logging while drilling)와 같은 시스템이 등장하는 등 장비의 성능이 크게 향상되었다. 이러한 연구사례들은 대부분 시추속도를 향상시키기 위한 장비제어의 최적화 및 장비의 개선에 집중되어 왔다는 것을 볼 수 있으며, 시추프로젝트의 성능을 예측하여

Received: Dec. 10 2015
Revised: Dec. 18 2015
Accepted: Dec. 24 2015
***Corresponding Author:** Kwang Yeom Kim
Tel) +82319100225, Fax) +82319100235
E-Mail) kimky@kict.re.kr
Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea

관리적 측면에서 효율화하기 위한 노력은 적었다.

일반적으로 프로젝트의 성능은 계획된 설계성능 대비 시공성능의 달성도를 통해 파악할 수 있다. 계획·설계 단계에서 도출된 공정과 비용에 따라 발주자는 수행 타당성 여부를 가늠하고 프로젝트를 개시한다. 이는 발주자의 기대성능이라 할 수 있으며, 시공자는 효율적인 관리를 통해 기대성능에 부합하거나 초과달성하도록 노력한다. 전형적인 건설공사에서 프로젝트의 관리는 성능을 향상시키는 주된 요인이다. 그러나 시추프로젝트의 경우 수행과정에서 수많은 불확실한 사건이 발생하여 공기와 비용을 신뢰적으로 예측하기가 매우 어렵다. 따라서 시추프로젝트는 총액계약방식보다 단위성과당 정산방식(ex: cost per foot, cost per day) 즉, 실비정산계약(cost plus)방식으로 진행된다. 실비정산계약은 발주자에게 매우 불리한 형태의 계약으로서 시추과정에서 불확실한 사건이 발생되어 공기가 증가할 경우 리그 임대료 및 인건비 등에서 막대한 손해가 발생한다. 따라서 시추프로젝트의 공기 및 비용을 신뢰적으로 설계할 수 있는 기술적 여건이 우선적으로 마련되고, 이를 바탕으로 한 효율적 관리가 뒷받침되어야 근본적인 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

시추프로젝트의 성능을 예측하여 관리하기 어려운 이유 중 하나는 '라운드트립'이 이산적으로 발생되기 때문이다. 라운드트립은, 시추과정에서 상당 수준까지 마모가 진행된 비트(bit)를 교체하기 위해서 지중의 시추파이프라인(drill stem)을 지상으로 인발하여 교체한 후에 재인입하는 작업이다. 이는 시추공사에서 약 22%의 공기를 소요하는 작업으로서 지하 수 km에 이르는 심도가 깊은 공사일수록 프로젝트의 성능에 큰 영향을 미치게 된다(Polsky et al., 2008). 라운드 트립의 발생빈도를 줄이기 위하여 비트의 마모발생을 최대로 허용한다면, 시추속도가 대폭 감소할 수 있다. 반대로 시추속도를 최적화하기 위하여 비트의 마모가 적은 상태에서 라운드 트립을 수행한다면 심도가 깊은 지점의 경우 라운드 트립 과정에서 시간이 오래 걸리기 때문에 발생빈도수의 증가로 오히려 공기 및 소요비용을 증가시킬 우려가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 라운드트립을 효율적으로 설계할 수 있는 TOSA라는 알고리즘이 개발되고 시스템화 되었다(Lee et al., 2013). TOSA는 설계정보를 활용하여 시뮬레이션 구간을 분할하고, 총 8단계로 구분된 비트 마모도별 시추시나리오를 생성하여 비용이 최소화되는 경우를 탐색하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 매우 신뢰적으로 라운드트립의 시나리오를 설계하는 반면, 심도가 깊은 시추정일 경우 비트설계정보, 지반정보에 따라 분할되는 시뮬레이션 구간이 매우 많이 발생(8^n; n=구간 수)되어 시뮬레이션 횟수가 기하급수적으로 증가한다. 이는 실제 시공 중 실시간으로 시스템을 반영하는 경우, 연산속도가 매우 느려 즉각 대응하지 못한다는 단점이 있다.

본 연구에서는 TOSA 알고리즘을 기반으로 유전자알고리즘을 적용하여 가장 근사적인 해를 최단 시간에 찾을 수 있는 시스템을 개발하고 검증하는 것을 목표로 하였다. 그리고 포항에서 수행 중인 지열발전 프로젝트의 PX-1 시추공 데이터 일부를 활용하여 사례연구를 수행하였으며, 유전자알고리즘의 적용을 통한 라운드트립의 설계가 교배횟수에 따라 결과값이 TOSA와 비교해 보았을 때 어느 정도의 오차를 가지는지 분석해 보았다.

1.2 연구 방법

본 연구에서는 첫째로 TOSA 알고리즘의 논리적 수행절차와 내부에 적용된 함수를 파악하였다. TOSA는 기본적으로 라운드트립의 발생지점과 개략적인 심도별 인입·인발속도를 활용하여 소요공기를 산정한다. 그리고 BYM 수치모델(Bourgoyne and Young, 1974)에 따라 산정되는 비트회전시간을 가산하여 구간별 총 시추공기를 산정한다.

두 번째로, 보다 정확한 공기산정을 위해서 라운드트립 소요시간을 구체적으로 분석하였고 산정된 총 시추공기를 기반으로 비용을 계산할 수 있는 함수를 개발하였다. 이는 유전자 알고리즘 구현 시 수리해석모듈로 적용되며, 수리해석결과에 따라 돌연변이 및 교배 조건을 생성하게 된다. 유전자 알고리즘을 통한 최적화는 공기단위로 하는 것보다 비용단위로 수행하는 것이 보다 정확하다. 이는 공기단위로 수행할 경우, 교체된 비트의 가격이 포함되지 못하기 때문이다.

세 번째로 유전자 알고리즘을 적용할 수 있는 모듈을 설계하고 개발하였다. 모듈의 개발은 VBA(Visual Basic for Application)언어를 활용하였다. 사용자의 편의성을 고려하여 교배확률과 횟수를 정하면 시뮬레이션을 통해서 트립의 발생 위치, 시추시간 및 비용에 대한 데이터가 정리되도록 하였다. 또한, 유전자 알고리즘의 시뮬레이션 진행에 따른 시추비용의 평균값과 최솟값이 그래프로 출력되도록 개발하였다.

마지막으로 포항 지열발전 프로젝트 일부 구간의 시추정보를 개발모듈에 적용하였으며, 유전자알고리즘 수행횟수에 따른 라운드트립 설계 성능의 변화를 분석해 보았다.

2. TOSA 알고리즘 개요

TOSA 알고리즘은 ① 시뮬레이션 단위구간 분할, ② 주어진 환경에서 시뮬레이션 케이스(비트마모도) 조건에 따른 굴착가능거리 산출, ③ 필연적으로 라운드트립이 발생되는 경계면 속성 정의, ④ 두 구간의 경계면이 ③번 조건이 아닐 때, ②를 활용한 다음 구간에서의 라운드트립 위치 결정의 4가지의 논리적 구성으로 설계되어 있다(Lee et al., 2013).

시뮬레이션 단위구간 분할은 시추정 설계구간(conductor hole, surface hole, intermediate hole, production hole)의 변경지점, 비트의 설계내용이 바뀌는 지점 및 지반의 물성을 기준으로 수행한다. 그리고 각 시뮬레이션 단위구간별 BYM 모델을 활용하여 WOB와 RPM을 예측하고, 시추속도를 산정한다.

시뮬레이션 케이스에 따른 굴착가능거리 산출은 8단계로 구분된 비트마모도 설정에 따라 BYM 모델에서는 해당조건에서의 가용시간을 산정할 수 있다. 따라서 굴착시점에서 시추속도와 가용시간을 통해 굴착가능거리를 산출하도록 되어 있다. 세 번째와 네 번째 조건은 분할된 시뮬레이션 단위구간 경계면에서 현재의 비트를 교체해야 되는지 아니면 연속으로 사용해도 되는지 판단하는 조건이다. 세 번째 조건은 두 구간 사이의 경계면이, 시추공 직경이 변하거나 비트의 설계내용이 변하는 구간인지 판단하는 것이다. 즉, 구간 경계면이 필연적 라운드트립이 발생되는 지점인지에 대한 속성이 판단된다. 네 번째 조건은 동일 비트로 두 구간을 연속적으로 시추 가능한 경우, 전 구간에서의 비트마모량과 다음 구간에서의 마모도조건을 고려한 라운드트립 발생지점을 예측하는 과정이다. 이는 구간의 경계면에서 비트가 의무적으로 교체되어 불필요한 교체발생을 방지하기 위함이다.

Fig. 1은 TOSA 알고리즘의 기본 원리를 나타내는 내용이며, 보다 자세한 내용은 참고문헌(Lee et al., 2013)을 참조하기 바란다.

3. 유전자 알고리즘을 활용한 라운드트립 최적 예측 시스템 개발

3.1 라운드트립 소요시간 산정모델

TOSA 알고리즘은 최소공기를 만족하는 라운드트립의 발생지점을 예측하고 비트의 회전시간과 라운드트립 소요시간을 산정한다. 비트의 회전시간은 BYM 모델을 활용하여 산정되나 라운드트립의 소요시간은 평균 인입 및 인발속도를 적용하여 개략적으로 산정한다. 그러나 라운드트립은 드릴스트링의 인입과 인발시간뿐만

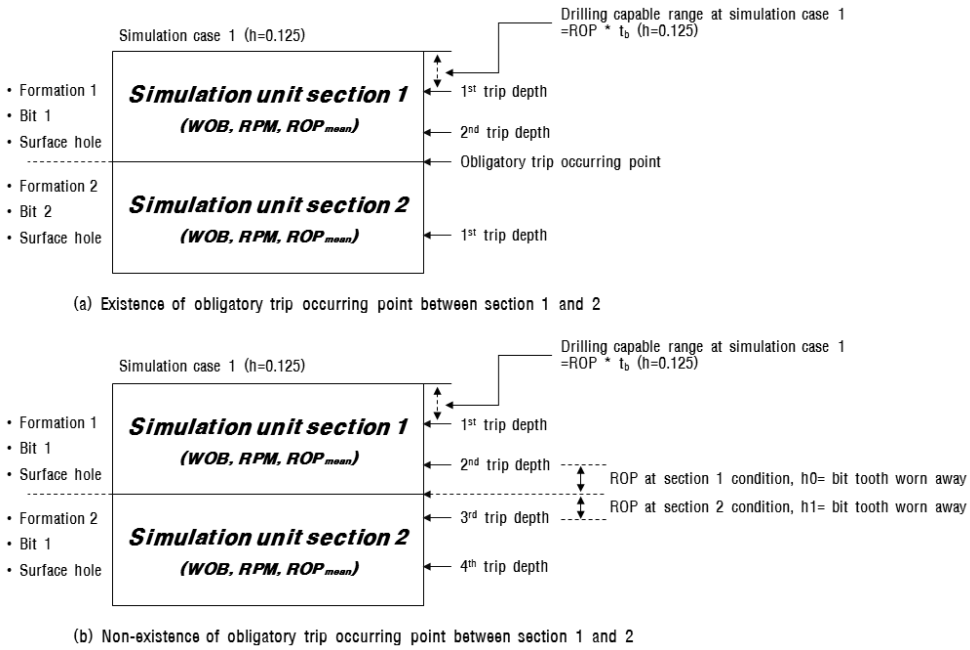

Fig. 1. Basic principal of the TOSA simulation (Lee et al., 2013)

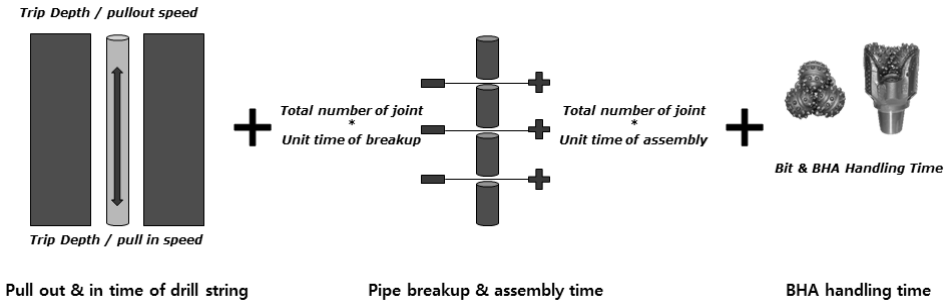

Fig. 2. Round trip time calculation method

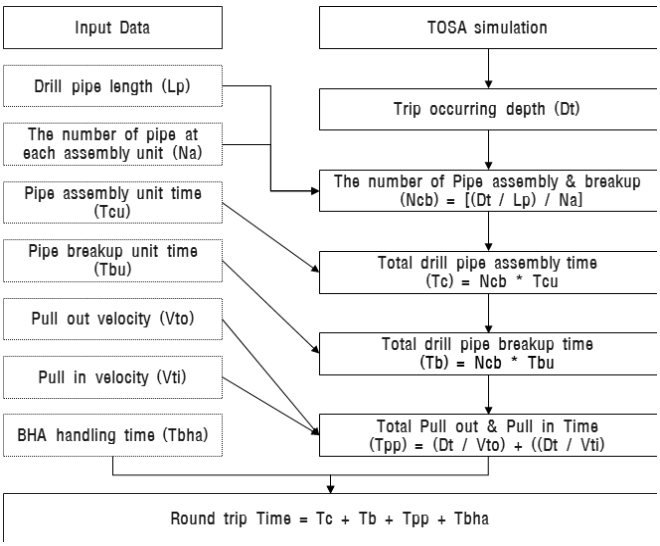

Fig. 3. Round trip time calculation function and procedure

아니라 각 파이프의 분해 및 조립시간, 비트를 포함한 BHA(Bottom Hole Assembly)의 교체 및 정비시간이 포함되어야 한다. 따라서 Fig. 2와 같이 라운드트립의 소요시간을 보다 구체화하여 계산할 수 있는 개념을 제시하였다.

라운드트립 소요시간의 구성항목을 드릴스트링의 인입·인발시간, 드릴파이프의 해체 및 결합시간, 그리고 비트 등 BHA의 정비시간으로 구성하였다. 드릴스트링의 인입·인발시간은 리그의 규격에 따라 제시되어 있는 평균 인입·인발속도와 라운드트립의 발생 깊이를 활용하여 구할 수 있다. 드릴파이프의 해체 및 결합시간은 리그플루어(rig floor)에서 파이프의 연결부위당 평균 해체시간을 산정하고 해체 및 총 결합하는 조인트의 개수를 산정하면 된다. 그러나 리그의 형식(탑드라이브, 로터리테이블 등)이나 규격에 따라 드릴파이프를 한 번에 묶어서 다루는 개수가 달라지기 때문에 이를 독립변수로 하여 함수를 제시하였다. 마지막으로 라운드트립 시 비트의 교체는 물론 필요한 BHA 관련 정비를 수행하기 때문에 여기에 소요되는 평균시간을 가산하여 보다 신뢰적인 소요시간이 산정되도록 하였다.

Fig. 3은 본 연구의 라운드트립 소요시간을 산정하는 함수 및 프로세스를 모델화한 내용이다.

TOSA를 통해 최초 라운드트립 발생지점이 생성되면, 깊이 값을 활용하여 드릴파이프의 결합 및 해체를 위한 조인트 수를 계산한다. 라운드트립 발생깊이를 드릴파이프의 개당 길이로 나누어 총 파이프의 개수를 산출하였다. 그리고 리그에서 한 번에 묶어서 다루는 드릴파이프 개수를 나누어 총 조인트의 수가 산정되도록 하였다. 드릴파이프의 결합 및 해체시간은 총 조인트의 수에 조인트당 결합과 해체에 소요되는 단위시간을 곱

Table 1. Total drilling cost calculation procedure

Procedure		Function
1	Input data	drill pipe length (Lp), The number of pipe at each assembly unit(Na), Pipe assembly unit time (Tcu), Pipe breakup unit time (Tbu), Pull out velocity (Vto), Pull in velocity (Vti), BHA handling time (Tbha), Bit cost (Cb), Daily rig operation cost (Cr)
2	Round trip time (Trt)	Trt=Tc+Tb+Tpp+Tbha (Fig. 3)
3	Total drilling time (Td)	Td=Trt+Tb, Tb=bit rotation time (from TOSA simulation)
4	Total drilling cost (Tc)	Tc=Td(day) x Cr(per day) + Cb

하여 산정된다. 드릴스트링의 인입·인발시간은 TOSA에서 제시된 바와같이, 깊이에 시추리그 제원에 따른 평균 인입·인발 속도를 나누어 산정한다. 따라서 최종 라운드트립 소요시간은 드릴파이프 결합 및 해체시간+드릴스트링 인입·인발시간+BHA 정비시간으로 계산된다.

3.2 유전자 알고리즘 적용 모델 설계 및 시스템 개발

유전자 알고리즘(Genetic algorithm)은 Holland(1975)에 의해 제안된 병렬적이고 전역적인 최적화 알고리즘이며, 자연세계의 진화과정에 기초한 계산모델이다. 이 방법은 해결하고자 하는 문제에 대한 가능한 해들을 정해진 형태의 자료구조로 표현한 다음 점차적으로 변형시킴으로써 점점 더 좋은 해들을 만들어 낸다. 유전자 알고리즘은 자연세계의 진화과정을 알고리즘 형태로 모방하기 위하여 선택(selection), 교배(crossover), 그리고 돌연변이(mutation)의 세 가지 유전연산자를 구성한다. 첫 단계로 초기 개체집단을 무작위로 생성하고, 생성된 개체집단을 다음 세대로 진화시키기 위하여 적합도를 계산하는 데 일정한 세대만큼 반복하는 과정을 거친다. 적합도 평가에서 종료조건을 만족하지 않으면 교배와 돌연변이에 의하여 새 개체집단을 생성한다. 마지막으로 더 이상의 개선이 나타나지 않거나 종료조건을 만족하면 알고리즘은 종료되고 최적해를 산출하게 된다(Lhee, 2011).

본 연구에서는 TOSA의 라운드트립 설계원리를 활용하여 최소비용을 만족하는 설계를 적합도 평가기준으로 하는 것을 목표로 하였다. 비용을 계산하는 함수는 Table 1과 같이 라운드트립 소요시간 산정모델(Fig. 3)과 TOSA의 연산과정에서 도출되는 비트회전시간을 활용하여 총 소요공기를 정하고 이를 비용으로 환산하도록 하였다.

총 시추공기는 라운드트립과 비트회전시간의 합으로 산출된다. 총 시추비용은 총 시추공기에 리그의 임대비용과 연료비 등을 포함한 하루당 운영비용을 곱하고, 라운드트립 횟수에 따라 소모되는 비트가격이 합산되도록 하였다. 이는 TOSA에서 생성되는 수많은 라운드트립 설계내용이 총 시추비용으로 환산되도록 하며, 이는 적합도 판단의 조건이 된다.

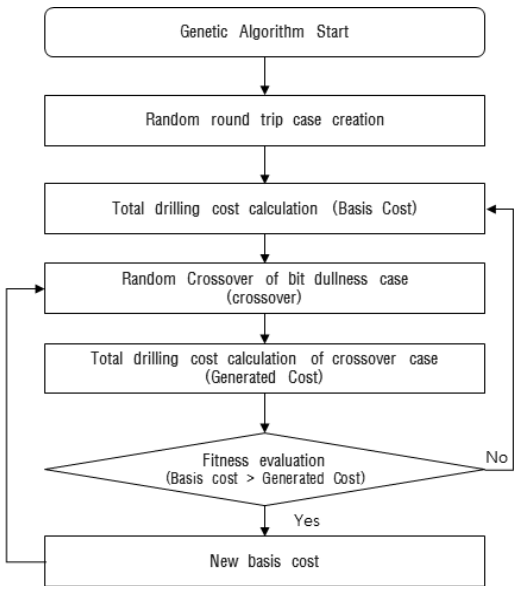

Fig. 4. Genetic algorithm process design

유전자알고리즘의 적용 및 시스템화를 위하여 Fig. 4와 같은 모델을 작성하였다. 무작위 교배확률과 교차를 통해 유전자집단이 생성되도록 하였으며, 알고리즘 종료조건은 수행횟수로 제한이 되도록 하였다.

유전자알고리즘 모델은 초기에 TOSA에 의해 분할된 시뮬레이션 단위구간별 임의의 비트마모도 케이스를 정의하여 초기집단을 생성하고 하나의 기준집단의 시추비용을 산정하여 판단기준으로 한다. 입력된 교배확률을 통해 다음 집단과 임의 구간의 비트마모도 케이스가 교차되며, 교차된 새로운 집단을 생성하고 시추비용이 산정된다. 판단기준(basis cost)과 생성된 시추비용

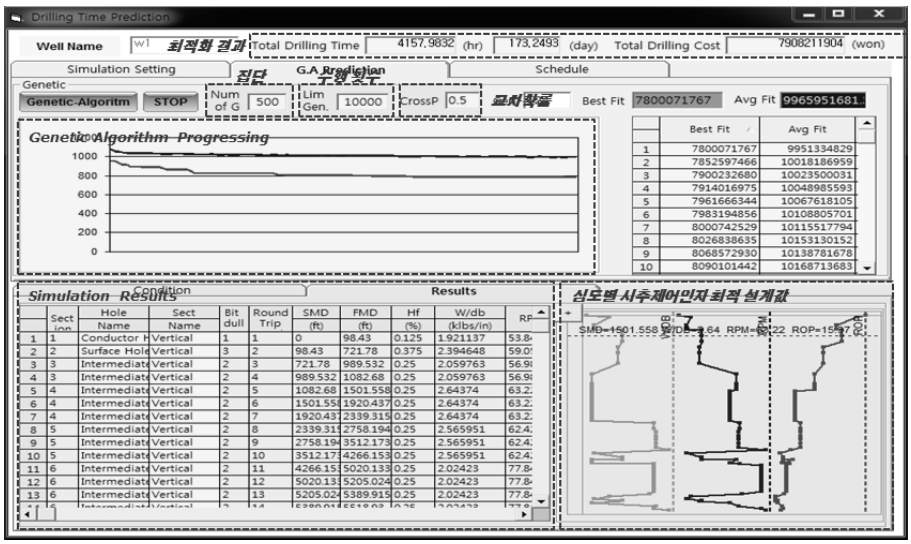

Fig. 5. User interface design for genetic algorithm with TOSA

(generated cost)이 비교되고 만약 생성된 시추비용이 더 낮다면, 해당 집단이 가장 우성의 형질을 지닌 기준 집단이 된다. 이와 같은 루프가 입력된 수행횟수만큼 진행되고 최후의 우성 형질집단의 시추비용과 라운드트립 설계내용이 최적화된 성능으로 결정된다.

TOSA에 유전자알고리즘을 적용하기 위한 설계된 모델을 바탕으로 모듈을 개발하였다. 프로그래밍 언어는 VBA(Visual Basic for Application)를 활용하였다. 기존에 TOSA를 바탕으로 개발된 TOSS(Round trip occurrence simulation system)를 바탕으로 개발하였으며, 유전자알고리즘 수행정보를 제공하기 위한 사용자인터페이스를 구성하였다. Fig. 5는 본 연구를 통해 개발된 모듈의 사용자인터페이스에 대한 내용이다.

Table 1의 입력데이터는 시뮬레이션 조건에서 사용자가 입력하고, 개발모듈의 화면에서 사용자가 유전자알고리즘 교배횟수와 교차확률을 입력한다. 알고리즘을 수행하면 진행과정에 따라 최소비용의 케이스와 생성된 집단의 평균비용이 그래프 및 테이블로 정보가 제공된다. 또한, 사용자가 생성된 각 케이스를 클릭하면 하단의 테이블을 통해 설계된 라운드트립의 내용과 비용정보를 확인할 수 있다.

5. 시스템 적용 및 유전자 모델 평가

본 연구를 통해 개발된 모듈의 기능을 평가해 보기위하여 포항지열발전 프로젝트 현장의 일부 구간의 시추데이터와 설계정보(well design)를 입력하여 분석해보았다. 단, 본 연구에서 모듈의 성능평가는 유전자알고리즘의 기능에 대한 평가이며, TOSA의 라운드트립 최적화설계를 통한 공기 혹은 비용에 대한 현장의 시공성능 대비 설계성능에 대한 평가는 아니다. Table 2는 분석을 위해 모듈에 입력된 정보에 대한 내용이다.

적용구간은 포항지열현장의 PX-1공을 대상으로 Surface hole과 Intermediate hole을 대상으로 하였다. 수직 시추공으로서 심도는 98~2,427ft이며, 지하 721ft까지 점토암으로 구성되다가 심도가 깊어질수록 응회암과 사암이 반복적으로 나타나는 구간이다. 비트의 설계는 IADC 분류코드의 357, 517이 설계되었으며, 라운트트립의 비용과 총 시추비용을 산정하기 위한 독립변수는 Table 2에 정의된 입력데이터와 같다. 설정된 내용을 바탕으로 유전자알고리즘 모듈을 적용하였으며, 교배횟수를 50회, 100회, 500회로 구분하여 수행하였다. 수행결과는 Table 3의 내용과 같다.

시뮬레이션 단위구간은 비트의 설계정보, 시추공 설계정보, 지반환경정보를 토대로 총 4개로 분할되었다. TOSA는 각 구간당 비트의 마모도 시나리오를 8단계로 나누어 시뮬레이션을 수행하므로 총 4,096회의 시뮬레이션이 수행된다. TOSA 모듈을 활용하여 해당 조건을 입력한 결과, 설계직경이 변하는 1,023ft, 2,427ft은 의무적인 라운드트립이 발생되고, surface hole에서 1회, intermediate hole에서 2회의 부가적인 트립이 설계되어 총 5회가 발생되었다. 유전자 알고리즘 모듈로 분석한 결과,

Table 2. System input data for case study

	name	detail
1	well boundary	Surface hole & Intermediate hole of PX-1 (vertical); 98ft~2,427ft
2	Formation information	Claystone: 98ft~721ft Tuff: 721ft~1,082ft Sandstone: 1,082ft~2427ft Tuff: 2,427ft~4,432ft
3	Bit design	IADC 357: 98ft~1,023ft IADC 517: 1023ft~2,427ft
4	Input data	drill pipe length (Lp)=31ft The number of pipe at each assembly unit(Na)=3 Pipe assembly unit time (Tcu)=0.08hr Pipe breakup unit time (Tbu)=0.08hr Pull out velocity (Vto)=20,000ft/hr Pull in velocity (Vti)=20,000ft/hr BHA handling time (Tbha)=3hr Bit cost (Cb)=IADC 357: 5,000,000, IADC 447: 7,000,000, IADC 517: 9,000,000 Daily rig operation cost (Cr)=80,000,000

Table 3. Simulation results for PX-1

	name	detail					
1	Simulation unit section creation	1: 98ft~721ft 2: 721ft~1023ft 3: 1023ft~1082ft 4: 1082ft~2427ft					
2	Section information	No.	Formation	hole name	IADC	optimized WOB (Klbf/in)	optimized RPM
		1	Claystone	surface	357	2.395	59.06
		2	Tuff	surface	357	2.059	56.98
		3	Tuff	intermediate	517	2.565	62.43
		4	Sandstone	intermediate	517	2.565	62.43
3	G·A simulation results	Sim. No.	Round trip No. & Depth		Bit rotation time (hr)	Trip time (hr)	Total drill cost (won)
		50	1	642.5ft	23.15	4.20	535,005,649
			2	1023.0ft	23.15	4.92	
			3	1082.7ft	21.91	5.03	
			4	2056.2ft	16.83	6.86	
			5	2427.0ft	16.83	7.56	
		100	1	642.5ft	23.15	4.20	527,702,771
			2	1023.0ft	23.15	4.92	
			3	1775.9ft	43.16	6.33	
			4	2427.0ft	43.43	7.56	
		500	1	642.5ft	23.15	4.20	501,064,650
			2	1023ft	23.15	4.92	
			3	1305.7ft	12.87	5.45	
			4	1888.4ft	30.87	6.54	
			5	2427ft	28.59	7.56	
4	TOSA results	The number of total simulation: 4096 Best results = 5 round trip & same occurrence depth with 1,000 no. of G·A simulation					

50회에서는 5회의 라운드트립과 535,005,649원의 시추비용, 100회에서는 4회의 라운드트립과 527,702,770원, 500회에서는 5회의 라운드트립과 501,064,650원의 시추비용이 발생되었다. 500회에서의 라운드트립 발생횟수 및 설계심도는 TOSA의 결과와 같게 도출되었다. 따라서 본 개발모듈은 TOSA를 활용하였을 경우, 총 4,096회

의 시뮬레이션을 통해 획득할 수 있는 최적화 예측을 단 500회의 시뮬레이션을 통해서 도출하여 약 88%의 수행횟수를 저감하였다.

유전자 알고리즘은 무작위로 집단을 생성하여 교배를 통한 시뮬레이션을 수행하기 때문에 지금보다 구간이 늘어나고, 각종 시뮬레이션의 독립변수가 다양화된다면 효율이 보다 낮아질 수 있다. 또한, 본 연구의 검증에서는 TOSA의 최적 설계값과 동일하게 산출되었으나 유전자알고리즘의 수행횟수에 따라 근사한 값이 도출될 수 있다. 그러나 TOSA와 같이 trial and error방식으로 설계를 수행하여 시간적 문제점을 발생시키는 것보단 가장 근사한 최적화 설계를 단시간에 도출할 수 있는 본 연구는 점점 실시간 정보화 관점이 중요시되는 지금 의의가 있을 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구에서는 TOSA의 라운드트립 설계방법을 응용하고 보다 구체화된 라운드트립과 총 시추비용 산정함수를 활용하여 유전자알고리즘 기반 최적 라운드트립 설계모듈을 개발하였다. 포항 지열발전현장의 PX-1공의 일부 데이터를 활용하여 검증한 결과 총 500회의 시뮬레이션으로 TOSA에서 총 4,096회의 시뮬레이션이 수행되어야 도출되는 결과와 동등한 값을 생성하였다. 단, 시뮬레이션 조건이 보다 복잡하여 횟수가 크게 증가하는 경우에는 본 개발모듈이 단시간의 시뮬레이션으로 TOSA와 동일한 값을 생성한다는 보장은 없으며, 최소 유사한 수준의 근삿값을 도출할 수 있을 것이다.

TOSA 및 본 연구개발 내용은 시추공사의 계획 및 설계단계에서 예정가격을 산정할 때 사용될 수 있다. 그러나 실시간 시추성능의 관리 및 최적화를 위해서는 급변하는 시추환경조건에서 TOSA보다 빠른 시간 내에 최적화 성능을 갱신할 수 있는 시스템이 필요하다는 점에서 본 연구내용은 큰 의미를 가진다. 본 연구는 전통자원개발, 셰일가스개발, 이산화탄소지중저장사업 등 갈수록 시장이 확장되고 있는 대심도 시추공사의 성능설계 및 관리에 효율적으로 활용될 수 있다. 그러나 본 연구내용은 TOSA에 기반되기 때문에 보다 신뢰적인 예측이 수행되기 위해서 시추공사의 빅데이터가 구축되어야 한다는 점은 앞으로 우리가 해결해야 할 과제이다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원 지식경제 기술혁신사업(과제번호: 20123010110010)과 미래창조과학부 기관주요사업(과제번호: 20150233)에 의하여 지원되었음.

References

1. Bourgoyne A.T. Jr. and Young F.S., 1974, A Multiple Regression Approach to Optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection, Society of Petroleum Engineers Journal 4238, August, 371-384.
2. Galle E.M. and Woods A.B., 1963, Best Constant Weight and Rotary Speed for Rotary Rock Bits, Drill. And Prod. Prac., API, 48-73.
3. Holland, J., 1975, Adaptation in Natural and Artifitial Systems, University of Michigan Press.
4. Lee, S. S., Kim, K. Y. and Shin, H. S., 2013, Development of Round Trip Occurrence Simulator Considering Tooth Wear of Drill Bit, Tunnel & Underground Space, 23.6, 480-492.
5. Lhee, S. C., 2011, A Study on Comparing Prediction Accuracy of Construction Cost on Apartment Housing Projects at the Early Project Stage -Focused on Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization Methods-, Journal of Architectural Institute of Korea, 13.3, 227-234.
6. Maurer W. C., 1962, The Perfect-Cleaning Theory of Rotary Drilling, Journal of Pet. Tech, November, 1270-1274.
7. Polsky, Y., Capuano J. L., Finger, J., Michael, H., Knudsen, S., Chip, A. J., Mansure, Raymond, D. and Swanson, R., 2008, Enhanced Geothermal Systems Well Construction Technology Evaluation Report, Sandia National Laboratories, USA.

이 승 수

2006년 경희대학교 공과대학 토목공학과 공학사
2009년 한양대학교 공과대학 토목공학과 공학석사

Tel: 02-2220-4481
E-mail: rokhonor99@hanmail.net
현재 한양대학교 건설환경공학과 박사과정

서 종 원

1989년 한양대학교 공과대학 토목공학과 공학사
1991년 한양대학교 공과대학 토목공학과 공학석사
1995년 미국 Univ. of Texas at Austin 건설공학 및 관리 공학석사
1998년 미국 Univ. of Texas at Austin 건설공학 및 관리 공학박사

Tel: 02-2220-1482
E-mail: jseo@hanyang.ac.kr
현재 한양대학교 건설환경공학과 교수

김 광 염

1997년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1999년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학석사
2007년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사

Tel: 031-910-0225
E-mail: kimky@kict.re.kr
현재 한국건설기술연구원 지반연구소 연구위원

신 휴 성

1994년 한양대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1996년 한양대학교 공과대학 자원공학과 공학석사
2001년 영국 Univ. of Wales Swansea 토목공학과 공학박사

Tel: 031-910-0651
E-mail: hyushin@kict.re.kr
현재 한국건설기술연구원 창의전략연구소 연구소장