

대심도 시추 프로젝트의 효율적 관리를 위한 통합 정보 시각화 관리 시스템



이승수
한국건설기술연구원
Geo-인프라 연구실
전임연구원
(sslee@kict.re.kr)



김광염
한국건설기술연구원
Geo-인프라 연구실
연구위원
(kimky@kict.re.kr)

1. 서론

석유나 가스 등의 전통적인 자원산업 분야뿐만 아니라, 지열발전, 세일가스개발, 이산화탄소 지중저장 등의 최근 이슈가 되고 있는 산업분야에서 대심도 시추는 사업의 성공을 위해 매우 중요한 공정이다. 특히, 최근 EGS(enhanced geothermal system)방식의 비화산 지대에서도 적용할 수 있는 지열발전기술이 보급되면서 고온의 지하의 열에너지를 획득하기 위해서 3km가 넘는 대심도 시추공사의 중요성은 더욱 커지고 있다. 대심도 시추는 불확실성을 가진 공사영향요소가 많고, 시공 리스크가 크며, 공사성능관리의 효율화 여부에 따라 프로젝트의 경제성에 큰 영향을 미치기 때문에 체계적이고 효과적인 관리가 수행되어야 한다. 대심도 시추공사는 다수의 엔지니어가 실시간

으로 정보를 공유하여 협업을 통해 수행한다. 따라서 시추장비의 효율적인 제어를 통한 공사 수행을 위해서는 로깅정보, 시추정 설계정보 및 환경정보 등이 효율적으로 제공되어야 한다. 그러나 대심도 시추공사는 지하에서 진행되는 공사내용이 육안으로 확인이 되지 않고, 공사의 수행목표인 설계정보, 공정정보 등도 시공내용과 비교하면서 관리하기가 매우 어렵다.

최근 점점 광역화, 고층화 되고 있는 건설 산업에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 소요정보를 생산/관리하고 효율적으로 공사참여자에게 제공할 수 있는 기술이 개발되고 있다. 특히 3차원으로 설계정보를 정보화하고 진도관리, 비용관리, 자원관리 등의 목표에 부합하는 관리정보를 능동적으로 생산할 수 있는 시스템을 개발하여 프로젝트를 효율적으로 관리하고 있다.

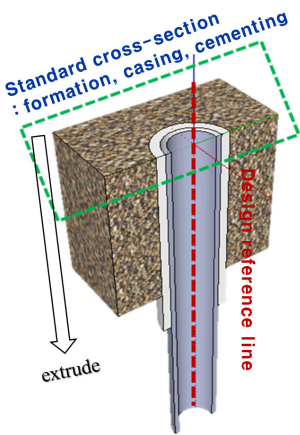
본 고에서는 대심도 시추공사를 수행하는데 필요한 정보를 능동적으로 생산하고, 생산된 정보를 사용자에게 효율적으로 제공하여 대심도 시추공사를 효율적으로 관리하기 위한 5D 기반 통합 시추정보 시각화 관리 시스템을 소개하고자 한다. 시추정보의 시각화관리를 위하여 3차원 시추정 모델을 작성하는 모듈을 개발하였으며, 시추리그의 제어변수를 심도별 환경정보 및 설계정보를 반영하여 최적화 정보를 산출하는 모듈을 개발하였다. 마지막으로 생산된 모든 정보를 통합하여 사용자가 시추공사의 공정관리를 효율적으로 수행할 수 있도록 통합 시각화 관리 시스템을 구성하였다.

2. 3차원 시추정 설계모듈 개발

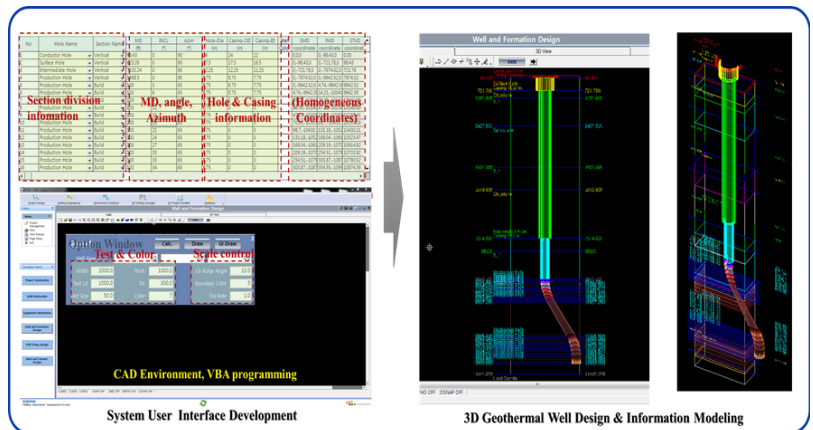
대심도 시추정 설계모듈은 도로나 터널들의 설계에 활용되는 3D 선형기반설계기법을 활용하였다. 선형기반 설계는 구간별로 설계기준선의 배치와 표준단면을 작성하여 단면을 해당 구간의 설계기준선을 따라 연장하여 3D 서

피스 모델을 획득하는 방법이다. 시추정의 설계는 conductor hole, surface hole, intermediate hole, production hole로 구분(Hossein, 2005)하여 수행된다. 정보화 단위를 분할하기 위하여 설계구간정보와 설계를 위해 사전 조사된 지반정보를 활용하여 각 구간을 분할되도록 하였다. Fig. 1은 3D 선형기반설계기법을 활용하여 시추정을 설계하는 방법 및 개발된 모듈에 대한 내용이다.

모듈의 개발은 CAD환경에서 응용프로그래밍인터페이스(Application Programming Interface; API)기술을 활용하여 개발하였다. 각 구간별 표준단면을 구성하는 설계객체는 시추정의 직경정보를 포함한 지반모델, 케이싱 파이프, 케이싱외벽과 시추공 내벽사이를 구성하는 시멘트이다. 단면설계는 각 구간별 설계기준라인의 시작점을 기준하여 설계기준선의 수직된 면상에 설계가 수행되도록 하였다. 그리고 설계된 3차원 모델과 함께 사용자가 필요로 하는 각 구간의 깊이, 폭, 케이싱 제원, 시멘트 정보 등을 텍스트 정보로서 제공할 수 있도록 구간별로 소



(a) 3D alignment based design method



(b) 3D well design & modeling module

그림 1. 3D alignment based design method(a) and module development(b)

3. 대심도 시추 프로젝트 최적 제어정보 및 설계공정 생성 모듈

시추프로젝트의 세부 공정요소 중 비트(bit)의 마모가 진행됨에 따라서 이를 교체하기 위하여 지중의 시추 파이프라인(drill stem)을 지상으로 인발하고 교체 후, 재 인입하는 'round trip' 이라는 일련의 공사절차는 시추공사에서 약 22%의 공기를 소요하는 작업이다. 특히 지하 수 km의 심도가 깊은 공사일수록 프로젝트의 성능에 큰 영향을 미치게 되기 때문에 시추속도와 함께 비트의 마모로 인한 round trip의 발생을 모두 고려하여 최적화하여야 할 것이다(Polsky et al., 2008).

따라서 round trip의 발생시나리오를 최적화할 수 있는 정보를 생산하기 위하여 시뮬레이션 시스템을 개발하였으며, 이는 심도별 최적의 장비제어 변수 및 그에 따른 설계공기를 자동으로 산출한다(그림 2).

심도별 최적의 장비제어인자인 WOB(weight on bit), PRM 및 ROP(rate of penetration)은 Bourgoyne and Young의 모델(Bourgoyne and Young, 1974)을 활용하여 산출하였다. 그리고 라운드 트립의 최적화를 통한 최

적 공정의 설계는 비트의 마모시나리오를 시스템이 작성하여 각 구간별로 모든 시나리오별 최소의 비용을 만족할 수 있는 케이스를 선정할 수 있도록 하였다. 그러나 대심도 시추정은 수많은 환경조건이 적용되어 무수히 많은 발생시나리오가 발생되기 때문에 모든 시나리오를 비교하는 경우 굉장히 많은 소요시간이 발생된다. 따라서 유전자 알고리즘을 적용하여 최소시간에 가장 근사값을 추정할 수 있도록 모듈을 개발하였으며, 이를 통해 각 구간별 시추시간, 최적 장비제어변수, 비용 등 세분화된 정보를 산출할 수 있다.

4. 통합 시추정보 시각화 관리 시스템

3차원 모델을 활용한 통합 정보 시각화란 3차원 모델에 속성정보를 연동함으로써 시간의 흐름 및 공간단위 정보를 통합하여 시각화하는 것으로서, 대표적으로 건설 분야에서는 BIM(Building Information Modeling) 기술이 많이 활용되고 있다. 이러한 기술을 응용하여 공정 및 소요 정보를 시각화하면 생성 정보에 대한 이해가 쉽고 각

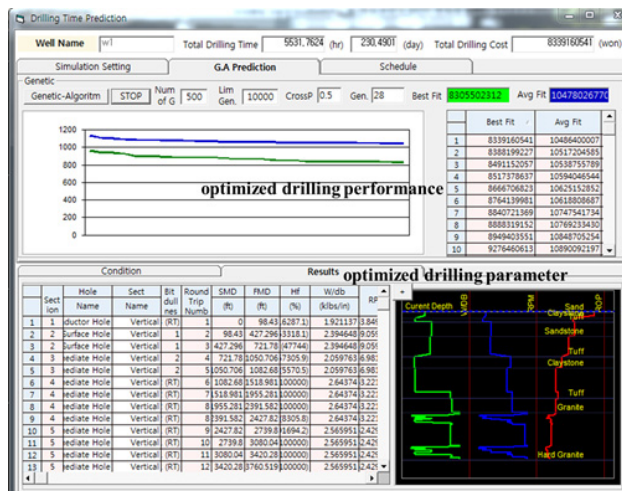


그림 2. Drilling performance estimation module interface

참여주체별로 협업을 유도하기가 수월하며, 나아가 객체나 공종간의 간섭 및 충돌, 설계오류사항 등을 사전에 발견할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 설계공정정보와 3차원 시추정설계정보를 연계한 4D기술을 기반으로 소요정보를 제공하도록 개발하였다. 이는 현장에서 눈으로 식별할 수 없는 공정진행 상황을 가상현실 기반 그래픽 기술로 확인할 수 있고, 다수의 참여자가 최적의 장비제어 변수 및 진도상황을 체크할 수 있어 효과적인 프로젝트 관리를 수행할 수 있다는 장점이 있다.

이를 위해서 생성된 설계공정정보를 기반으로 정보화 네트워크를 구성하여 생성된 정보를 각 공정요소별로 3차원 설계정보와 연계하여 시각화 될 수 있도록 하였으며, 이를 위하여 PDM(precedence diagramming method)을 활용하였다. PDM은 일명 AON(activity on node)으로 불리며 Fig. 3과 같이 박스형태의 각 노드가 공정요소 개체를 의미하고 각 노드는 공기(time)에 대한 속성정보를 가지게 된다. 각 공정개체는 SS(Start to Start), FS(Finish to Start), FF(Finish to Finish), SF(Start to Finish)의 네 가지 연결방식에 의하여 선/후행관계를 표시하게 된다 (John & Brian, 2005).

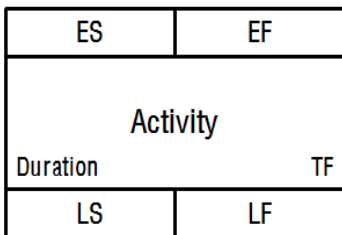
PDM의 공정네트워크를 구성하는 각 노드개체(node entity)는 속성정보로서 해당 공정의 인식코드 및 소요시간(time)을 가지며, 대심도 시추공사를 구성하는 공정은 크게 드릴링(순수굴착시간, 케이싱, 시멘팅, 라운드트립(round trip; 드릴스트링 인입/인발)으로 구성된다. 설계 공정생성모듈을 통해 생성된 심도별 공정요소의 발생사

건, 소요시간 및 선후행관계에 따라 PDM의 노드개체가 생성되고 각 노드별 시간, 비용, 최적 장비제어변수의 속성값이 정보화 되어 네트워크가 구성될 수 있다.

3차원 설계모델과 생성된 PDM 정보화 네트워크 모델은 각 공정 코드값과 선후행관계를 기준으로 자동으로 연계됨으로써 4D기반 진도정보 시각화가 가능하다. 또한 진도정보뿐만 아니라 PDM 네트워크의 각 노드별 정보화된 심도별 최적화 장비제어변수(WOB, RPM, ROP) 및 성능(소요시간, 비용)을 시각화 시뮬레이션과 함께 동시에 제공되게 할 수 있다. 시각화 과정에서 현실감을 증대하기 위하여 특수 동적효과를 발휘할 수 있는 그래픽 라이브러리를 연동하여 공정정보 및 발생위치정보와 동기화 하는 연구를 진행하였다. 특히, 케이싱, 시멘팅의 경우 3차원 설계객체를 공간상에 공정순서와 시간에 맞게 동기화 하면 되지만, 드릴링과 라운드 트립의 경우는 시각화 될 수 있는 설계객체가 없기 때문에 시추비트 객체 라이브러리를 활용하여 발생 위치점과 시간을 동기화 하였다. 비트의 해당 구간내 공정이 수행되는 시간이 실제 시각화 시뮬레이션 시간과 일치시키기 위하여 3차원 공간상 비트가 이동하는 거리를 공기로 나누어 시간 혹은 일단위로 일정 속도로 효과가 발생할 수 있도록 하였다.

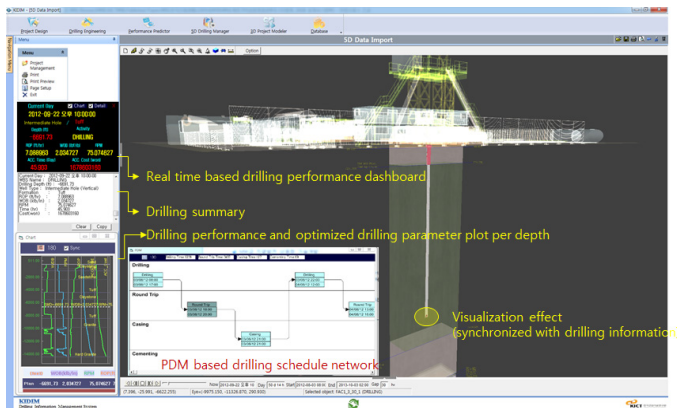
그림 4는 개발된 통합 시추정보 시각화 관리 시스템의 인터페이스 구성내용이다.

4D기반 진도시각화과정에서 “performance dashboard”를 통해 시간 및 심도별 최적화 장비제어변수, 현재 수행 공정요소 및 환경조건을 텍스트 정보로 확인할 수 있다.

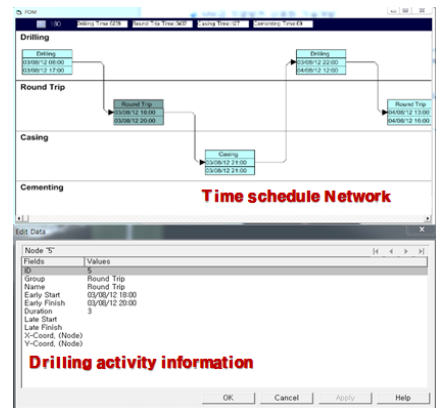


- Activity: activity name
- Duration: the time required of activity
- ES: Earliest start time
- EF: Earliest finish time
- LS: Latest start time
- LF: Latest finish time
- TF: Total float

그림 3. Composition of PDM node



(a) System interface



(b) PDM window

그림 4. Integrated drilling information visualization and management system interface

“drilling summary”는 각 심도별 모든 정보를 정리하여 보고서 형태로 출력이 가능하며, 좌측 하단의 plot창은 심도별 WOB, RPM, ROP, 누적 비용, 누적 시간을 그래프 형태로 한눈에 확인 가능하도록 구성하였다. PDM은 각 공정요소별로 구간을 분리하여 노드가 배치되도록 하여 선후행관계 및 공정요소의 구분이 용이하도록 하였으며, 각 노드를 클릭하면 해당 공정요소의 구체적인 속성 정보를 확인할 수 있고 관리자가 부득이하게 공정을 재설계하여야 할 경우 해당 내용을 각 노드 속성창에 입력하여 곧바로 수정이 가능하다.

5. 결론

본 기술은 최근 이슈가 되고 있는 지열발전, 셰일가스 개발, 이산화탄소지중저장 사업 및 전통적인 대심도 시추 사업에 적용되어 효율적으로 시추공사를 관리할 수 있는 시스템의 개발내용이다. 다양한 참여주체 및 엔지니어가 관여하는 시추공사과정에서 정보의 원활한 공유를 통한 협업체제를 구축하고, 실시간으로 발주자의 기대공기에 부응 할 수 있는 정보를 확인할 수 있게 함으로써 시추프

로젝트의 효율화에 기여할 수 있을 것이다. 본 기술은 현재 국내에서 진행중인 “MW급 지열발전 상용화 기술개발 과제”의 세부과제로서 진행되고 있으며, 향후, 국내 지열발전기술력을 향상시킬 뿐만 아니라, 나아가 대심도 시추공사가 필요한 모든 프로젝트를 대상으로 효율적인 프로젝트가 관리될 수 있도록 기여하는 것을 목표로 하고 있다.

참고문헌

1. Bourgoyne, A.T. and Young, F.S., 1974, A Multiple Regression Approach to Optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection, Society of Petroleum Engineers Journal 4238, August, pp. 371-384.
2. Hossein, H.P., 2005, High-Temperature Geothermal Well Design, The United Nations University, <http://www.os.is/gogn/unu-gtp-report/UNU-GTP-2005-09.pdf>.
3. 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.