국내 광산에서 역순환시추 현장 적용

김장하^{1*} · 최용근² · 김우정³

¹지오제니컨설턴트 부장, ²지오제니컨설턴트 전무, ³지오제니컨설턴트 사원

Field Application of Reverse Circulation Drilling in Korean Mines

Jangha Kim^{1*}, Yongkun Choi² and Woojeong Kim³

¹Principal Engineer, GeoGeny Consultants Group Inc.

²Director, GeoGeny Consultants Group Inc.

³Staff Engineer, GeoGeny Consultants Group Inc.

Received 6 October 2020 Final version Received 23 October 2020 Accepted 27 October 2020

Abstract : Reverse circulation (RC) drilling is widely used for mineral resource exploration along with core drilling. It is possible to drill at low cost and high speed and obtain accurate and reliable data. In operating mines, RC drilling was applied to mines requiring mid- and long-term mining plans by estimating grade distribution without disturbing mining operations. The RC drilling speed is 18~20 m/h and it takes less than 1.5 days/hole (100 m) considering drilling preparation and equipment movement and repair, rest, and weather conditions in field applications. RC drilling can be performed at a cost of 50~60% lower than that of core drilling. The drilling duration can be reduced by more than half of core drilling. Therefore, it is necessary to apply RC drilling to mineral resource exploration in Korea, which is cost and time effective to obtain a large amount of data without interfering with mining operations.

Key words : Reverse circulation (RC) drilling, Core drilling, Mine, Drilling speed, Cost

요 약 : 역순환시추는 코어시추와 더불어 광물자원 탐사에 많이 사용되는 시추방법으로, 낮은 비용과 빠른 시추 속도, 정확하고 신뢰할 수 있는 자료 획득이 가능하다. 운영중인 광산 내에서 채광 작업에 방해되지 않으면서 하부 품위 분포를 파악하여, 중·장기 채광 계획 수립이 필요한 현장에 역순환시추를 적용하였다. 현장 적용 결과 역순환시추 속도는 시간당 18~20m이며, 시추준비부터 다 음 위치의 이동, 날찌와 휴식시간, 장비수리시간을 포함하여 100m기준 공당 1.5일 이하의 시간이 소요되는 것으로 평가된다. 역순환 시추는 코어시추보다 50~60% 저렴한 비용으로 시추조사가 가능하며, 시추조사시간을 절반 이상 줄일 수 있다. 따라서 시간과 비용을 절감하며 동일한 비용으로 많은 자료를 획득할 수 있으며, 광산 운영에 방해가 되지 않는 역순환시추를 국내 광물자원의 탐사에 도입할 필요가 있다.

주요어 : 역순환시추, 코어시추, 광산, 시추속도, 비용

서 론

지구에 분포하고 있는 다양한 광물자원을 개발하기 위해 국가나 기업을 중심으로 지표지질조사나 물리탐사 또는 시추조사를 수행하고 있다. 이러한 탐사 방법 중 지반을 굴착하지 않고 지하 심부를 직접 조사할 수 있는 유일한 방법이 시추조사이다. 그러나 시추조사는 광물자원 탐사 방법 중 가장 많은 비용을 소모하므로 시추 전에 지표지질조사나 물리탐사, 지화학조사 등을 통해 사전 정보를 충분히 획득하고 분석하여 신중하게 계획되어야 한다. 시추조사는 광물자원 개발을 위한 광체의 확인뿐만 아니라 광산 운영 중

채광 품위를 조절하기 위한 목적으로 지속적으로 이루어진다. 특히, 시추조사에서 얻어진 자료는 매장량(Mineral resource) 및 가채매장량(Mineral reserve) 평가에 매우 중요하게 사용되어진다(Choi *et al.*, 2019).

광물자원 개발이나 광산 운영에 있어 시추자료를 많이 확보할수록 매장량에 대한 정확성과 신뢰도가 상승하므로 많은 시추 자료를 획득하는 것이 중요하다. 다만 시추조사에는 많은 비용과 시간이 소요되므로 비용을 낮추고 시간을 줄이는 방법이 필요하다. 이처럼 신속하면서도 저렴하고, 신뢰할 수 있는 시추를 위해 개발된 방법이 역순환시추(RC시추; Reverse Circulation Drilling) 방법이다. 역순환

*Corresponding Author, Jangha Kim, jhkim@geogeny.biz, GeoGeny Consultants Group Inc., 88 Dongkwang-ro, Seocho-gu, Seoul, Korea

Table 1. Examples of overseas application of reverse circulation (RC) drilling

Project	Mineral	year	Country	Core drilling		RC drilling		Total length	RC drilling ratio
				Hole	m	Hole	m	m	%
Calcário ¹⁾	Limestone	2011	Brazil	2	171	15	1,395	1,566	89
BOTO ²⁾	Au	2018	Senegal	409	91,673	375	34,756	126,429	27
Certej ³⁾	Au, Ag	2009	Romania	106	17,234	149	23,847	41,081	58
Aurizona Gold ⁴⁾	Au	2017	Brazil	580	105,956	793	39,795	145,751	27
Sanbrado Gold ⁵⁾	Au	2018	Burkina Faso	329	73,360	463	51,017	124,377	41
Eva Copper ⁶⁾	Cu	2018	Australia	68	12,966	448	64,260	77,226	83
Montagne d'Or ⁷⁾	Au	2017	French Guiana	28	3,638	31	2,128	5,766	37

¹⁾Verde Potash Plc, 2011; ²⁾Lycopodium Minerals Canada Ltd, 2018; ³⁾European Goldfield Limited, 2009; ⁴⁾Lycopodium Minerals Canada Ltd, 2017; ⁵⁾West African Resources Limited, 2018; ⁶⁾Copper Mountain Mining Corporation, 2018; ⁷⁾Nord Gold SE, 2017

시추는 연약한 철광상과 사광상의 시추 시 코어 회수가 어렵고, 기존의 코어를 회수하지 않는 시추(non-core drilling)에서 발생하는 시료오염 등의 문제를 해결하기 위해 1972년 호주에서 개발되었다.

국내 자원개발 지원정책인 ‘일반광업육성지원(Korea Resource Corporation, 2020)’의 탐광시추사업 수행기준과 한국광물자원공사의 ‘시추사업규정(Korea Resource Corporation, 2018)’에 따르면, 광산에서 적용 가능한 시추 방법은 코어(core)를 회수할 수 있는 다이아몬드 코어시추(diamond core drilling)가 유일하다. 이러한 기준에 따라 국내 광산에서는 상대적으로 비용이 많이 드는 코어시추만을 사용하고 있는 반면, 해외에서는 역순환시추의 필요와 활용에 대한 인식이 충분하여 광물자원의 탐사와 노천광산의 생산에 역순환시추를 적극 사용하고 있다. 국내에서는 적용되고 있지 않지만, 해외 광물자원 개발 사업의 타당성평가보고서, 기술보고서 등을 통해 공시된 자료를 보면, Table 1에서와 같이 역순환시추를 적용한 사례를 쉽게 찾을 수 있다. Table 1에 따르면, 해외에서 진행된 광물자원 개발 사업에서 시추조사 중 역순환시추의 비율이 최대 89%를 차지하기도 한다.

따라서 이 연구에서는 해외에서 광물자원 탐사에 적극 활용되고 있는 역순환시추의 국내 적용성을 검증하기 위해 2개의 노천광산에서 역순환시추를 시험 적용하였으며, 국내 광물자원 탐사에의 적용 타당성을 검토하였다.

시추 기법

광물자원 탐사에서 일반적으로 사용되는 시추방법은 코어를 채취하는 코어시추와 코어를 채취하지 않고 암분(rock powder)이나 암편(rock chips)을 채취하는 시추로 구

분된다. 코어를 채취하지 않는 시추는 주로 해머의 타격에 의한 타격식 시추이며, 대표적으로 역순환시추와 회전타격(DTH; Down The Hole 또는 RAB; Rotary Air Blasting) 시추가 있다. 광물자원 탐사에서 시추방법은 비용, 환경, 필요 장비 유형, 기술, 지식 등의 여러 요소에 따라 결정된다.

코어 시추

광물자원 탐사에서 가장 많이 사용되는 시추방법이다. 유압 또는 기계적으로 로드를 회전시키며, 로드의 끝에 부착된 다이아몬드 비트(bit)를 이용하여 원통형 암석 코어를 생성하는 방법으로 시료를 회수한다. 회수된 코어를 이용하여 층서, 지질구조, 품위 등을 분석한다. 회수된 코어를 코어절단기(core splitter)를 이용하여 종방향으로 1/2 또는 1/4로 절단하는 방법으로 품위 분석용 시료를 채취하고, 나머지는 별도의 코어 보관소에 보관한다.

코어시추는 다른 시추에 비해 장비의 크기가 작고, 손상되지 않은 암석 시료를 확보함으로써 지표 하부의 지질 정보와 자료를 확보할 수 있는 장점이 있다. 반면, 동일한 길이의 시추 길이에 대해 비교하면, 타 시추방법에 비해 수배의 시간과 비용이 소요된다.

역순환시추

역순환시추는 코어시추와 더불어 광물자원 탐사에 많이 사용되는 시추방법이다. 역순환시추는 타격식 시추의 한 형태로 로드 끝 부분에 부착되어 있는 해머와 비트를 이용하여 시추하는 방법이다. 암석의 파괴는 해머 내부의 피스톤으로부터 비트로 전달된 타격력이 암석에 닿으면서 발생한다. 지속적인 암석의 파괴를 위해 시추장비에 회전 장치를 부착하여 비트가 타격을 받을 때 마다 암석의 새로운 표면에 닿도록 한다. 비트에 의해 깨진 암석 시료는 Fig. 1의

Fig. 1. Sampling methods of reverse circulation (RC) drilling and RAB drilling.

(a)에서와 같이 이중 관으로 구성된 로드 안쪽으로 이동하게 함으로써 시추 공벽과의 마찰로 인한 오염을 방지하면서 채취된다.

일반적으로 역순환시추는 코어시추에 사용되는 시추기, 로드운반기에 더해 공기압축기가 추가적으로 필요하지만, 상대적으로 저렴한 비용으로 신뢰성 높은 시료를 획득할 수 있는 장점이 있다. 반면, 회수된 시료가 암분과 암편으로 구성되어 있어 지질구조와 정확한 층서 경계 등을 파악하는데는 어려움이 있다.

회전타격시추

회전타격시추는 회전하는 로드 끝에 부착된 블레이드 비트(blade bit) 또는 롤러 콘 비트(roller cone bit)를 사용하여 암석을 파괴하는 방법으로 주로 지하수 시추 등에 사용된다. 회전타격시추는 시추 방법 상 역순환시추와 유사하나, Fig. 1의 (b)에서와 같이 파괴된 암분과 암편을 로드와 시추 공벽 사이의 공간으로 배출시키는 방법이 역순환시추와 다르다.

회전타격시추는 코어시추나 역순환시추에 비해 가장 저렴한 비용으로 시추할 수 있지만, 회수된 암편 시료가 로드와 공벽 사이의 공간을 따라 공외로 배출되는 과정에서 공벽의 암석과 혼합되므로 대표 시료를 채취할 수 없는 단점이 있다. 따라서 광물자원 탐사에서 회전타격시추는 탐사의 가장 초기에 광역적인 광상 파악을 위한 목적으로 제한적으로 사용된다.

역순환시추의 시험 적용

시험 적용 현장은 노천채광법으로 운영 중인 두 곳의 석회석 광산이다. 두 곳의 석회석 광산은 채광이 진행 중인 사업장으로 채광 작업에 방해되지 않으면서 현재 채광 지역의 광체 품위를 파악할 필요가 있었다. 따라서 지질구조, 암상 등의 상세한 지질정보를 획득하기 위한 코어시추보다

Fig. 2. Location of project area.

비용과 시간소모가 적으면서도 암상과 품위 파악이 가능한 역순환시추를 적용하는 것이 타당한 것으로 평가되었다.

1차 시험 적용에는 2019년에 국내 시추기 제조 기업인 한진D&B가 제작한 역순환시추 장비를 사용하였다. 2020년에 수행된 2차 시험 적용에는 1차 시험 적용 결과를 반영하여 장비의 일부를 보완하여 사용하였다. 시험 적용 현장은 쌍용양회공업(주)이 운영 중인 강원도 삼척시에 위치한 삼척광산과 동해시에 위치한 동해광산으로 각각 1차 및 2차 시험에 적용하였다. 각 광산의 위치는 Fig. 2와 같다. 삼척광산은 제철용으로 사용이 가능한 고품위 석회석을 생산하고 있으며, 동해광산은 시멘트 제조용 석회석을 생산하고 있다.

역순환시추의 해머와 비트는 국내외에서 제작된 제품을 사용하였다. 현장 시험에 사용된 장비는 Fig. 3과 같다. 주요 장비로 역순환시추기(RC rig), 공기압축기, 로드운반기로 구성된다. 그 외에 시추와 시료채취를 위해 RC해머, 비트, 로드, 사이클론(cyclone), 스플리터(splitter), 유압호스 등의 자재 및 소모품이 필요하다. 현장에 사용된 역순환시추기(D&B 30-multi)는 인양력 30톤인 장비이며, 공기압축기는 1,070 CFM, 압력 350 psi(24 bar) 이상을 제공한다.

현장에서 수행한 작업은 시추, 시료채취, 기록과 분석용 시료 제조로 구분된다. 시추 작업은 Fig. 4와 같이 ① 시추 위치 선정 → ② 장비 정위치 → ③ 장비 연결 → ④ 장비 점검 → ⑤ 시추 → ⑥ 시료 채취 → ⑦ 로드 회수 → ⑧ 장비 이동 순서로 진행된다. 현장에서 생성되는 시료는 Fig. 5와 같이 대용량 시료, 대표시료, 암편시료, 분석용 시료로 구분된다. 역순환시추의 시험 적용을 위해 각 광산에서 요구하는

(a) RC rig

(b) Air compressor

(c) Rod carrier

(d) Rod

(e) Hammer and bit

(f) Cyclone and splitter

Fig. 3. Equipment for RC drilling.

조건을 반영하여 시추계획을 수립하였으며, 국내 적용성을 평가하기 위해 운영 중인 광산에서의 시추 속도, 시추 비용 등을 파악하였다.

1차 시험 적용

1차 시험 적용은 삼척광산에서 수행되었다. 현재 광산에서는 광산 개발 전 조사된 시추 자료가 있었으나 시료를 보관하고 있지는 않으며, 광산의 생산 품위는 발파를 위한 천공에서 나오는 암분을 이용하여 조절한다. 광산 전체에 걸쳐 채광작업이 이루어지고 있으므로 시추를 위해 장시간 동안 특정 공간과 시간을 할애하기 어려운 상황이었다.

시추조사는 2019년 3월 14일~4월 20일까지 38일 동안 수행되었으며, 이 기간은 시추 및 시료채취 시간, 장비점검 및 수리시간 뿐만 아니라 작업자 휴식, 우천 및 강풍에 의한 시추 중지, 장비 교체에 위한 대기시간을 포함한다. 조사 위치는 Fig. 6과 같다. 시추조사는 약 100 m 간격의 격자 형태

로 총 23공 2,250 m(100 m공 22공, 50 m 1공)이 이루어졌으며, 시추 작업 공간 확보 여부와 채광작업으로 인한 채광장 형태 변화 및 채광 일정을 고려하여 최종 시추 위치를 선정하였다.

1차 시험 적용은 국내에서 최초로 수행되는 역순환시추 이므로 장비 운영 상황, 기록 방법, 시료채취 및 표준 시추 절차 수립에 중점을 두고 이루어졌다. 또한 현장에서 발생하는 특이사항이나 다양한 사건에 대한 내용과 시간을 기록하고, 코어 시추에 준하는 정확성과 신뢰성을 가지는 품위 분석 자료가 확보되도록 시료를 채취하였다. 시료는 1 m 길이의 대표시료와 암편시료를 연속적으로 채취하였으며, 시추 종료 후 대표시료에서 5 m 길이의 분석용 시료를 제작하여 분석실에 분석 의뢰하였다. 시추 기록은 Fig. 7과 같이 시추하면서 발생하는 현황에 대한 일지 작성과 지질로깅으로 구분된다. 시추현황 일지에는 작업시작 시간, 시추 시작 시간과 완료 시간, 로드 교체 시간, 로드 회수 시간, 장비이동

(a) Drilling site

(b) Positioning

(c) Hose connection

(d) Inspection

(e) Drilling

(f) Sampling

(g) Dismantling

(h) Movement

Fig. 4. RC drilling procedures.

(a) Bulk samples

(b) Representative samples

(c) Rock chips samples

(d) Samples for analysis

Fig. 5. Types of samples.

시간, 작업 정지시간 및 시작시간과 정지 이유, 시료 색 및 특징 등 시추 중 인지되는 모든 사항과 특징을 기록하였다. 지질로깅은 시추 중 채취한 암편을 이용하여 시추 종료 후 별도의 기록지에 암상 정보를 기입하는 방법으로 이루어졌다.

1차 현장 적용 결과는 Table 2 및 Table 3과 같다. 1공(심도 100 m 기준)을 시추하는데 소요되는 시간은 작업준비부터 다음 장소 이동까지 총 6시간 10분~8시간 20분이 소요되었으며, 시추비용은 일반적인 코어시추 대비 50% 수준으로 평가되었다(Kim *et al.*, 2019). 시추 순소요시간은 약 8시간으로 1일/1공(심도 100 m)의 시추가 가능하며, 실소요시간은 장비점검 및 수리, 작업자 휴일, 강풍 및 강우 등을 고려하면 1.5일/1공으로 평가되었다. 시추기와 공기압축기에 사용된 유류량은 3.0 L/m, 해머는 개당 1,000 m 이상, 비트는 개당 500 m 이상 사용이 가능한 것으로 조사되었다.

2차 시험 적용

2차 시험 적용은 동해광산에서 수행되었다. 2차 시험 적용에는 앞에서 설명한 바와 같이 2019년 제작된 시추 장비를 일부 보완하여 사용하였다. 1차 시험 적용에는 시추 장비의 사이클론에서 회수된 대용량 시료를 직접 회수하였으나, 2차 시험 적용에서는 사이클론의 하단에 시료 채취를 위한 스피리터를 추가 부착하여 시료 채취의 효율성을 제고하였다. 또한, 로드의 연결과 회수의 편의성을 높이기 위한 로드 운반기를 제작하여 활용하는 등 작업 효율을 개선함으로써 시추 및 시료채취에 필요한 인원을 기존의 4~5명에서 3명으로 줄이고, 시추 기간도 단축시킬 수 있었다.

시추조사는 2020년 4월 28일~5월 23일까지 26일이 소요되었다. 이 기간은 시추 및 시료채취 시간, 작업자 휴식시간, 우천 및 강풍에 의한 작업 중지 시간, 장비 점검 및 수리 시간을 포함한다. 조사위치는 Fig. 8과 같이 80~120 m 공

Table 2. Cycle time by process in 2019

Item	Preparation	Drilling and sampling	Rod removal	Movement
Time	10~20 min.	5~6 hr	1 hr	0.5~1 hr

Table 3. RC drilling capacity and consumable requirements in 2019

Item	Unit	Quantity	Comment
Capacity (100m/hole)	Net capacity	day/hole	1.0 Work preparation, drilling, sampling, rod removal, and movement time included
	Actual capacity	day/hole	1.5 Actual work time considering work suspension due to strong wind and rainfall, equipment inspection/repair, holidays, etc.
Consumable requirements	Fuel	Liter/m	3.0 Including RC rig and air compressor
	RC hammer	hole/ea	> 11 < 2 ea / 2250 m
	RC bit	hole/ea	> 5 < 5 ea / 2250 m

Fig. 6. RC drilling site in Samcheok mine.

간격의 격자 형태로 총 15공 2,020 m(60~150 m 심도)이며, 작업공간, 채광작업 일정과 채광장 형태 변화를 고려하여 최종 시추위치를 선정하였다.

현장 작업은 1차 시험 적용의 경험을 바탕으로 장비 운영과 시료채취에 중점을 두고 수행되었다. 장비의 운영 상황은 시추 시작과 종료, 작업 중지 및 시작, 장비 점검 및 수리 등의 시간을 통해 확인된다. 스피리터를 이용하여 시료를 채취함으로써 시료채취 시 나타날 수 있는 주관적 판단을 배제하였다. 시추조사 기간 중 매일 운전시간, 점검시간과

유류 소비량을 기록하였으며, 시료는 2 m 간격의 대표시료를 연속적으로 채취하여 10 m 길이로 제작하여 분석되었다.

2차 시험 적용 결과는 Table 4 및 Table 5와 같다. 100 m/공 기준으로 작업준비부터 다음 장소 이동까지 0.9일이 소요되었으며, 장비점검 및 수리, 작업자 휴일, 강풍 및 강우 등을 고려하면 1.3일이 소요되었다. 시추기, 공기압축기, 로드운반기에 사용된 유류량은 3.8 L/m, 해머는 개당 1,000 m 이상, 비트는 개당 500m 이상 사용이 가능한 것으로 조사되었다.

(a) Driller's Log

(b) Geology Log

Fig. 7. Example of a log sheet.

Table 4. Cycle time by process in 2020

Item	Preparation	Drilling and sampling	Rod removal	Movement
Time	10~20 min.	4~6 hr	20 min.	0.5~1 hr

Table 5. RC drilling capacity and consumable requirements in 2020

Item	Unit	Quantity	Comment
Capacity (100m/hole)	Net capacity	day/hole	0.9 Work preparation, drilling, sampling, rod removal, and movement time included
	Actual capacity	day/hole	1.3 Actual work time considering work suspension due to strong wind and rainfall, equipment inspection/repair, holidays, etc.
Consumable requirements	Fuel	Liter/m	3.8 Including RC rig, air compressor, and rod carrier
	RC hammer	hole/ea	> 11 < 2 ea / 2020 m
	RC bit	hole/ea	> 5 < 5 ea / 2020 m

Fig. 8. RC drilling site in the Donghae mine.

결론 및 토의

광물자원탐사에서 사용되는 시추 방법으로는 코어시추, 역순환시추, 회전식타격시추가 있으며, Table 6과 같이 각 방법에 따라 장단점을 가지고 있다. 이 중 역순환시추의 현장 적용 결과, Table 7과 같이 장비개선으로 2019년보다 2020년에 시추 속도가 소폭 증가하였다. 시추속도는 평균적으로 시간당 18~20 m으로 평가되었다. 날씨와 휴식시간, 장비수리시간을 포함하면 100 m기준 공당 1.5일 이하

의 시간이 소요되는 것으로 평가된다. 작업기간은 날씨와 장비고장에 따른 수리시간에 가장 많은 영향을 받았다. 결과적으로 시추공당 1~2일 정도의 시간이 소요가 되는 것으로 파악되며, 이는 채광 작업에 영향 없이 시추가 가능함을 의미한다. 그러나 이 작업시간은 2회의 제한된 현장 시험의 결과이므로 실제 작업은 현장조건에 따라 달라질 수 있다.

Table 8은 코어시추와 역순환 시추의 소요비용을 비교한 것으로 국내와 호주의 사례이다. 역순환시추는 코어시추에 비해 50~60% 저렴한 비용으로 시추가 가능하고, 시추

Table 6. Comparison of drilling methods

Drilling Method	Strength	Weakness
Diamond core drilling	<ul style="list-style-type: none"> • Accuracy and precision of data • Acquisition of a large amount of geological information 	<ul style="list-style-type: none"> • High cost • Low speed
RC drilling	<ul style="list-style-type: none"> • Accuracy of data - Acquisition of geological information • Low cost • High speed 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitations of obtaining geological information such as geological structure and stratigraphy
Percussion drilling	<ul style="list-style-type: none"> • Very low cost • Very high speed 	<ul style="list-style-type: none"> • Sample contamination

Table 7. Rate of penetration

Year	Median (m/hour)	Avg (m/hour)	Min (m/hour)	Max (m/hour)	SD*
2019	18.1	18.0	11.7	26.0	3.1
2020	20.7	19.4	13.6	25.0	3.5

*SD: Standard Deviation

Table 8. Comparison of drilling cost between diamond core drilling and RC drilling

Item	Diamond core	RC	Rate
Unit cost	¹⁾ KRW 84,000/m	²⁾ KRW 44,000/m	52%
	³⁾ A\$ 200/m	³⁾ A\$ 120/m	60%

¹⁾MTI : Ministry of Trade and Industry, 2020²⁾GeoGeny Consultants Group Inc.³⁾RCDRILLING.com, 2020

조사 기간도 상당 기간 감소되는 것으로 나타났다. 코어시추에서와 같이 시료 분석을 위해 코어절단기를 사용하여 코어를 1/2 또는 1/4로 절단하는 시료 준비 과정이 필요하지 않아 시추 외에 추가적인 시간과 비용의 소모가 없다. 또한 시추 중에 물을 사용하지 않아 시추 준비 시간을 감소시키며, 운영 중인 광산의 채광장에서도 작업의 방해 없이 시추작업이 가능하였다. 이처럼 역순환시추는 저렴한 비용과 빠른 시추 속도로 운영 중인 광산에서도 적용이 가능하며, 정확성과 신뢰성을 가지는 시료를 획득할 수 있는 것으로 확인되었다. 따라서 동일한 비용으로 많은 시추 정보를 획득할 수 있고, 광산 운영에 방해가 되지 않는 역순환시추를 국내 광물자원의 탐사에 도입할 필요가 있다. 이를 위해 현재 코어시추만 지원이 가능한 국내 국고지원 정책을 코어시추와 함께 역순환시추에 대해서도 지원이 가능하도록 제도적 보완이 필요하다.

다만, 역순환시추는 코어시추에 비해 동일 시추 길이 대비 장비 크기가 더 크며, 공기압축기와 같은 장비가 추가적

으로 필요하다. 시추기간은 날씨에 의한 영향을 많이 받으며, 대량의 지하수를 만났을 경우 정확한 시료 채취가 어려운 단점이 있다. 또한, 역순환시추에서는 공저에서 파괴된 암석이 암편과 암분의 형태로 공외로 배출되므로 암편을 이용한 암상구분은 가능하나 습곡이나 단층 같은 지질구조를 파악하기는 힘들다. 따라서 암상, 지질구조, 층서와 같은 정확한 지질해석이 필요한 경우 반드시 코어시추와 병행하여 역순환시추의 부족한 점을 보완할 필요가 있다. 향후 동일한 지역에서 역순환시추와 코어시추를 병행하여 시추공법별 시추속도, 비용, 획득한 암상 및 품위 분석 자료의 특성을 보다 상세히 검토할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No. 20172510102240).

References

- Choi Y.K., Kim, J.H., and Kim, W.J., 2019. Review of Standards for Mineral Resources and Reserves Estimation in Korea. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(2), p172-182.
- Copper Mountain Mining Corporation, 2018. *National Instrument Technical Report for the Eva Copper Project*, Australia, 451p.
- European Goldfields Limited, 2009. *Certej Updated Definitive Feasibility Study summary Technical Report*, Romania, 241p.
- Kim, J.H., Kim, W.J., and Choi, Y.K., 2018. Comparison of Drilling Practices for the Exploration of Non-metallic Mineral Resources in Korea and Overseas. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 55(3), p.219-225.
- Kim, W.J., Choi, Y.K., and Kim, J.H., 2019. Application of RC Drilling in Korea Mine. *2019 Fall Joint Conference of KSMER · KSRM · KSEG*, KSMER, Jeju, Korea, 84p.
- Korea Resources Corporation, 2018. *Drilling Project Regulations*, 11p.
- Korea Resources Corporation, 2020. *Standards for Drilling Projects to support Mining Development in 2020*, 27p.
- Lycopodium Minerals Canada Ltd, 2017. *Feasibility Study on The Aurizona Gold Mine Project, Maranhão, Brazil*, 451p.
- Lycopodium Minerals Canada Ltd, 2018. *NI 43-101 Technical Report BOTO Project Feasibility Study*, Senegal, 435p.
- Ministry of Trade and Industry, 2020. *Detailed status of the government subsidy project of the Ministry of Trade and Industry in 2020(1)*, 800p.
- Nord Gold SE, 2017. *NI 43-101 Technical Report Bankable Feasibility Study Montagne d'Or Project*, French Guiana, 308p.
- RCDRILLING.com, 2020.10.21., rcdrilling.com.
- Verde Potash Plc, 2011. *Resource Estimate Calcário Limestone Project, Minas Gerais State, Brazil*, 120p.
- West African Resources Limited, 2018. *NI 43-101 Technical Report: Open Pit and Underground Feasibility Study, Sanbrado Gold Project, Burkina Faso*, 387p.

김 장 하

1998년 서울대학교 자연과학대학 자연
과학부(지구시스템과학전공) 이학사

현재 지오제니컨설팅 부장
(E-mail: jhkim@geogeny.biz)

최 용 근

현재 지오제니컨설팅 전무
(本 學會誌 第56卷 第2号 参照)

김 우 정

2018년 고려대학교 이과대학 지구환경과
학과 이학사

현재 지오제니컨설팅 사원
(E-mail: wjkim@geogeny.biz)