

Top-Hammer 천공기 국내외 기술동향 분석

송창현, 권기범, 신대영, 황윤규, 임종혁, 조정우*

Trend Analysis of Drilling Technology for
Top-Hammer Drilling MachineChang-heon Song, Ki-beom Kwon, Dae-Young Shin, Woon-kyu Hwang,
Jong-hyuk Lim, Jung-Woo Cho*

Abstract This report introduced the types of drilling equipment and their operation mechanisms. The state of the art technologies of the Top-hammer drill equipment were investigated and the technology level of Korean drill industry was compared to that of the advanced country. Based on the investigation, the necessity of fusion research and development in the Korean drilling technology and industry was discussed, and the future strategy to catch up with the advanced technology was suggested.

Key words Rock drill, Top-hammer drilling machine, Drilling industry, Trend of drilling technology

초 록 본 기술보고에서는 천공장비의 종류와 작동방식에 대해 간략히 소개하였다. 이 중 탐해머 방식의 천공기에 탑재되는 부품 및 세부 기술을 조사하였다. 탐해머 천공기술에 연관된 국내외 기술현황을 분석하고, 국내 기술수준과 선진기술 수준을 비교하였다. 이를 바탕으로 천공 관련 융복합 기술의 연구개발 필요성을 토의하고, 선진국과 기술격차를 줄이기 위한 천공산업의 미래 전략을 제안하였다.

핵심어 암반천공, 탐해머 방식 천공기, 천공산업, 천공기술현황

1. 서론

천공기(drilling machine)는 추진력(feed force), 회전력(rotation force), 충격력(percussion force)을 이용하여 암반을 천공하는 장비이다. 천공기는 노천광산이나 토목공사 현장에서의 지표면 천공, 터널 또는 지하광산에서의 천공, 석유시추와 지하수개발 등 자원개발을 위한 천공, 암벽 절개면의 보강을 위한 천공 등 다양한 목적으로 사용된다. 천공작업 방식에 따라 Top hammer drilling(THD), Down the hole drilling(DTH) 그리고

Rotary drilling(RD)으로 크게 3가지 천공방식으로 구분된다. 이 중 THD와 DTH 방식은 추진력, 회전력, 충격력 3가지 힘을 모두 사용하고, RD방식은 일반적으로 추진력과 회전력, 2가지 힘만을 사용하는 메커니즘을 가지고 있다.

천공작업과 관련된 국외 연구사례들을 살펴보면, Drill steel과 암반 사이의 에너지 전달 및 타격력에 따른 비에너지(Specific energy) 측정에 대한 연구(Hustruid & Fairhurst, 1971(a), 1971(b), 1972(a), 1972(b))와 암반 종류 및 타격 속도에 따른 DTH hammer의 암반 파쇄 깊이 변화를 수치해석을 통해 규명한 연구가 있다(Bu 외, 2009). 그리고 드릴비트와 암반의 동적인 충돌 과정을 유변학적 모델(rheological model)로 모사한 연구가 있다(Franca, 2011). 이 연구에서는 암석을 스프링 모델로만 모사한 한계가 있다.

천공기술 관련 국내 연구현황은 다음과 같다. 유공압 시스템 해석을 통해 DTH hammer 및 드리프터(Drifter)의 타격성능을 분석한 연구(shin & Song, 2012, Oh,

Received: Aug. 5, 2013

Revised: Aug. 26, 2013

Accepted: Aug. 27, 2013

*Corresponding Author: Jung-Woo Cho
Tel) +82535800185, Fax) +82535800150
E-Mail) chojw1665@gmail.com

Construction Equipment R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Daegu-si, Korea

2011) 등이 있다. Song 등(2012)은 암분유동해석을 통해 드릴비트의 내부유로를 최적화하는 연구도 수행한 바 있다. Kwon 등(2013)은 타격시험을 통해 천공조건에 따른 암반파쇄 효율을 조사하였다.

천공기술 관련 국내의 연구사례를 살펴보면, 유공압 및 기계공학 관련 연구는 다수 진행된 바 있으나 암반과 기계장비의 상호작용(interaction)에 대한 연구와 암반 물성과 작업조건에 따른 천공제어 메커니즘에 대한 연구는 아직 미진한 상황이다.

본 기술보고에서는 천공장비의 종류와 작동방식에 대해 간략히 소개하였다. 그리고 천공산업과 연관된 국내외 기술현황을 조사하고, 선진기술을 국내 기술수준과 비교하였다. 이를 바탕으로 천공기술의 연구개발 필요성 및 미래 전략에 대해 논의하였다.

2. 천공장비 개요

2.1 천공장비 종류

천공장비는 광물자원채굴, 터널작업, 자원탐사 등에 주로 사용되며, 사용용도와 작업조건에 따라 적합한 형태의 천공장비가 요구된다. 서론에서 언급한 바와 같이, 천공기는 천공작업 방식에 따라 THD, DTH 그리고 RD로 구분된다(Table 1). 현재 국내 제조업체의 천공기 완성차 생산량을 기준으로 THD 장비가 전체 천공시장의 70%, DTH 장비가 27-30%이 생산되고 있으며, RD방식 천공기는 현재까지 국내에서 생산된 바 없다(한국산업기술평가관리원, 2012).

THD 방식의 천공기는 추진력이 유압으로, 핵심 유압 부품인 드리프터(drifter)에서 발생하는 회전력과 타격력이 로드와 드릴비트를 통해 암반면에 전달되어 암반을 파쇄하는 천공 메커니즘을 가지고 있다(Fig. 1(a)). 천공장이 증가하면 익스텐션 로드(extension rod)를 드리프터 아래에 추가로 부착하며 천공작업이 연속적으로 진행된다. 그러나 익스텐션 로드가 길어질수록 드리프터에서 제공하는 타격 에너지가 암반면에 전달되는 비율(전달율)이 감소하므로 천공장이 길어짐에 따라 천

공효율 및 천공속도가 점차 떨어지게 된다. 그래서 일반적으로 THD 장비는 경암 또는 연암에서 비교적 저심도 작업(최대 40 m, 대부분 20 m 미만)과 소구경(\varnothing 50-127 mm) 작업에 사용되는데(지식경제부, 2010), 국내에서는 주로 터널면 발파 혹은 노천광산과 암반사면의 벤치발파용 천공작업에 사용되고 있다.

DTH 천공기는 THD와 마찬가지로 추진력, 회전력, 타격력을 모두 이용한다(Fig. 1(b)). THD에서는 로드 상부에 위치가 드리프터가 타격력과 회전력을 제공하지만, DTH에서는 공압 해머가 로드 하부에 장착된다는 점이다. DTH 해머 내부의 공압 작동식 해머가 비트 직상부에서 드릴비트를 직접 타격하여 암반에 충격 에너지를 전달하므로 천공깊이와 상관없이 비교적 일정한 타격력을 암반에 전달할 수 있다(Shin and Song, 2012). 따라서 경암 또는 연암에서 비교적 깊은 천공깊이(최대 4,000 m, 대부분 50-80 m 미만)와 중간 구경(\varnothing 100-178 mm)의 천공작업에 사용된다(지식경제부, 2010). 국내에서는 주로 지하수 개발에 사용되고 있으며, 소규모 천심도 지열발전에도 적용되고 있다.

RD방식 천공기는 3가지 천공법 중 가장 규모가 큰

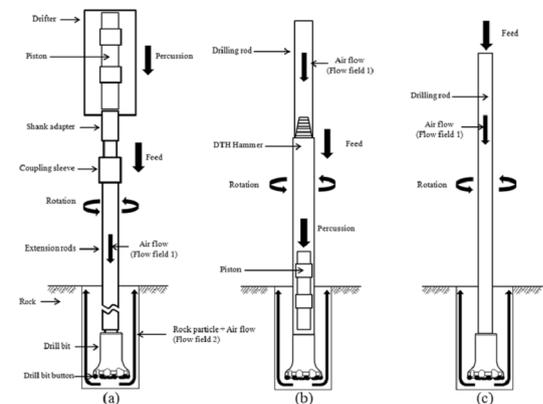


Fig. 1. Drilling mechanism of three types of rock drill machines. (a) Top hammer drilling; (b) Down the hole drilling; (c) Rotary drilling.

Table 1. Type of rock drill machines (Ministry of Knowledge Economy 2010)

Machine type	Operation mode	Hole diameter (mm)	Maximum depth (m)	Target rock
Top-hammer(TH) drilling	Percussion & rotating	50-127	40	Soft rock Hard rock
Down-the-hole(DTH) Drilling	Percussion & rotating	100-178	4,000	Soft rock Hard rock
Rotary drilling(RD)	rotating	100-610	20,000 -30,000	Soft rock

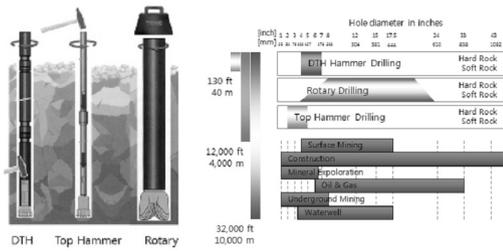


Fig. 2. Applicable ranges of three types of drilling machines (Ministry of Knowledge Economy, 2010)

형태로 RD방식은 타격력 없이 회전력과 추진력만으로 천공작업이 진행된다(Fig. 1(c)). 추진력과 회전력은 지상의 드릴 리그(drill rig)의 자중과 대형 유압장비를 통해 제공된다. 연암 천공작업에 많이 사용되고 있으며, 대심도 작업(최대 2-3 km, 대부분 1 km 미만)과 대구경(Ø100-610 mm) 작업에 사용되는데, 주로 석유와 가스 개발 목적의 자원개발용 혹은 대심도 지열개발용으로 사용되고 있다(Fig. 2). 지상의 RD 리그는 천공 기능뿐만 아니라 시추, 저장, 이송 기능을 포함해야 하므로, 플랜트 규모의 구조물로 건설된다. 수직개착용 Tunnel Boring Machine(TBM)인 Raise boring machine(RBM)과 Vertical shaft sinking machine도 RD방식 천공기에 포함되며 경암과 연암 천공이 모두 가능하다.

2.2 THD 천공기 소개

천공장비는 장비의 이동 역할을 하는 하부 주행체(undercarriage), 엔진과 유압시스템(hydraulic system) 그리고 제어모듈(control module)을 탑재하는 상부 동력시스템(hydraulic power system), 토사와 암석에 천공작업을 수행하는 천공모듈(drill module), 그리고 운전실로 구성된다(Fig. 3). 제어모듈은 천공모듈의 천공 위치, 천공자세, 천공모드 등의 전반적인 천공작업을 제어한다. 천공모듈은 천공리그모듈(drill rig module)과 천공공구(drill tool)로 구성된다.

천공 리그 모듈은 회전과 타격운동을 발생하는 모듈로서 천공장비의 붐(boom)에 장착되며 자동 로드탈부착시스템(auto rod changer, ARC), THD 방식의 드리프터(drifter), 마스트(mast) 등으로 구성된다. 천공리그 모듈은 굴착성능 및 에너지 효율을 좌우하는 장비로 로드와 비트에 회전력과 추진력 그리고 타격력을 제공하며 암반 천공작업을 가능하게 한다.

천공공구는 천공리그모듈에서 가해지는 회전과 타격 에너지를 암반이나 지표면에 전달하여 암석을 천공하는 소모성 부품으로서 샹크 어댑터(shank adapter), 커

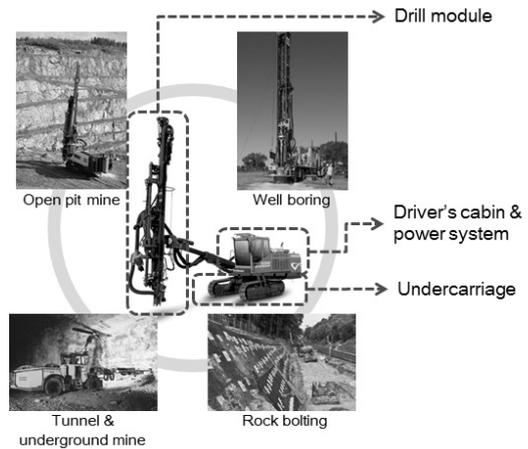


Fig. 3. Uses of Top-hammer drill (THD) machine

플링(coupling), 익스텐션 로드(extension rod), 드릴비트(drill bit)로 구성된다. 천공공구는 암반을 직접 타격하는 극한조건에서 작동하므로 내마모성과 내충격성이 요구되는 부품이다.

Fig. 1(a)는 천공기 핵심부품인 천공모듈의 드리프터에 의해 발생된 에너지가 전달되는 과정과 작동 원리를 도식적으로 보여주고 있다. THD 방식을 사용하는 천공기의 붐은 일반적으로 드리프터, 익스텐션 로드, 드릴비트로 구성된다. 천공기의 드리프터는 유압에 의해 내부의 피스톤을 왕복 운동시키는 장치이며, 그 내부는 피스톤과 샹크 어댑터 등으로 구성된다. 피스톤은 전방의 샹크 어댑터를 연속적으로 타격하고, 이로 인해 발생된 에너지는 샹크 어댑터에 연결된 익스텐션 로드와 드릴 비트에 차례로 전달되어 암반 굴착에 필요한 에너지를 암반면에 전달하게 된다. 이렇게 전달된 타격 에너지로 인해 암반은 파쇄되고, 비트의 회전에 의해 분쇄되며, 에어 플러싱을 통하여 천공홀 밖으로 배출된다(Song 외, 2012). 비트의 회전은 분쇄의 역할뿐만 아니라 비트헤드의 버튼을 새로운 타격 위치로 자리잡게 하는 역할도 한다(Kim 외, 2008). 또한 효율적인 암반 천공을 위해서는 암반에 비트가 확실하게 밀착되어야 하며, 이 때 드릴 비트의 직경 및 버튼배열에 따라 피드압, 타격압, 타격수, 회전수 등이 적절하게 공급되어야 한다(Kwon 외, 2013).

2.3 천공기술과 천공인자

Fig. 4의 천공작업 운용 프로세스를 보면 제어모듈은 천공모듈의 천공위치와 천공자세 그리고 천공운전을 제어한다. 천공모듈은 비트에 토크와 추진력 그리고 타

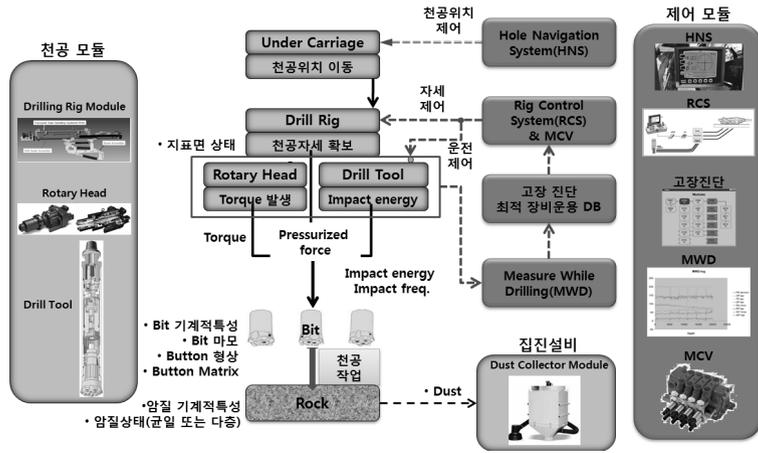


Fig. 4. Drilling technology and operation process of THD machine (Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT), 2012)

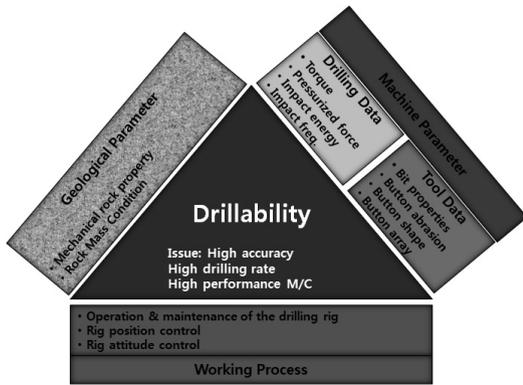


Fig. 5. Drilling factors for the high performance drill machine (KEIT, 2012)

격에너지를 제공하며 암반 천공작업을 진행한다. 천공 모듈의 핵심 서브모듈에서 천공 리그 모듈과 rotary head는 제어모듈에 따라 천공위치와 천공자세 그리고 천공운전을 수행하며 비트에 타격에너지를 제공한다. 제어모듈의 핵심 서브모듈에서 Hole navigation system (HNS)은 천공위치를 제어하는 서브모듈이고 Rig control system(RCS)은 천공자세를 제어하는 서브모듈이며 Measurement while drilling(MWD)은 천공과정을 모니터링 하는 서브모듈이다.

천공에 관련된 파라미터 및 세부적인 특성이 Fig. 5에 설명되어 있다. 일반적으로 천공 성능(drillability)의 주요 사양은 천공 정확성(drilling accuracy)과 천공 작업성(drilling performance)으로 구분된다. 천공 정확성으로는 천공 위치 정밀도, 천공 경사도 정밀도, 천공 직진성, 천공 직경 유지, 천공 깊이가 있으며 천공 작업성으로

천공속도(drilling rate)가 있다.

천공 성능은 지질특성(geological parameter)과 장비 특성(machine parameter) 그리고 장비운용능력(working process)에 의해 좌우된다. 지질특성은 다시 암석의 기계적 물성과 암반 조건으로 구분되어 천공성능에 영향을 미친다. THD의 경우에는 대부분 천공 심도가 수 미터 내외이므로 주로 암석의 기계적 물성(압축강도)이 천공작업시 고려된다. 장비특성은 천공 데이터와 장비 데이터에 의해 영향을 받는다. 천공데이터는 천공장비가 배출하는 토크, 추진, 타격에너지, 타격주파수 등에 해당되고, 장비 데이터는 소모품성 장비인 비트의 설계 인자가 이에 해당한다. 드릴비트 설계인자로는 비트의 기계적 물성, 버튼 내마모성, 버튼 형상, 버튼 배열방법 등이 있다. 드릴비트는 주로 일반강을 절삭가공한 후 표면 열처리하여 제작되며, 암반을 직접 타격하는 버튼은 텅스텐 카바이드 분말을 이용하여 sintering 공정을 거쳐 소결된다. 텅스텐 카바이드 버튼의 소재 기술은 천공성능 및 드릴비트의 내구성과 직접적인 연관이 있다.

3. Top-hammer 천공기술 현황 분석

3.1 해외 천공기술 현황

세계 천공장비 기술은 스웨덴의 Atlas Copco사와 Sandvik AB사에 의하여 주도되고 있다(The freedonia group, 2009). 이들 선진 업체(Atlas Copco, Sandvik AB)는 제품의 고급화 및 다품종화 전략을 가지고 있다. IT, 금속소재공학, 유공압공학, 제어공학 및 암반공학 등의 기술융합을 통해 지능화, 친환경, 고내구성 제품 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 또한 저소음, 저연

비, 자동화, 원격제어, 자기진단 기술을 접목하거나 완전자동 로드탈부착 기능을 부여하여 운전자의 편의성을 극대화하고 있으며 미주 및 아시아의 후발 경쟁업체와 기술격차를 꾸준히 유지하고 있다.

선진업체가 기술격차를 유지하는 비결 중 하나는 기술 간의 융합을 적극 활용한다는 점이다. IT기술과 기계공학, 유공압공학, 전자제어공학, 암반공학 융합의 대표적인 고부가가치 제품의 예가 점보드릴장비이다(Fig. 6). 점보드릴은 핵심 장비인 천공모듈에 복수개의 THD 붐으로 구성되어 있고, 각각의 붐에 드리프터가 장착되어 있다. 사전 계획된 장약공 패턴설계 따라 최초의 심발부, 주장약공, 최외각 제어발과공으로 분류된다. 각 장약공의 3차원 위치(벡터)정보를 운전실의 제어컴퓨터로 입력하면 제어부에서 장약공의 순서대로 천공작업이 자동으로 제어된다. 터널면 천공작업에서는 최대 4m를 천공하므로 extension rod의 준비공간이 필요 없는 특징이 있다. 점보드릴 장비는 스웨덴 선진 업체들 (Atlas Copco, Sandvik AB)이 세계 생산시장을 독점하고 있기 때문에 국내 터널 시공시 전량 수입 및 대외에 의존해서 터널 발파작업을 진행하고 있다. 점보드릴과 같은 고부가가치 제품화 기술은 국내 천공장비 기술 분

야간 융합과 국산화 개발이 시급한 분야 중 하나이다.

3.2 국내 천공기술 현황

국내 천공장비 제조업체는 아직까지 종래의 유압제어 방식의 천공장비만을 생산하고 있으며, 전자제어방식의 저소음형 친환경 천공장비는 개발하지 못하고 있다. 현재 THD 장비 기준으로 국내 천공업체의 기술 격차는 선진사 대비 5년이며, DTH 장비는 7-8년, RD장비는 10년 이상의 기술격차를 가지는 것으로 분석되고 있다 (한국산업기술평가관리원, 2012). 세계적으로 고유가에 따른 에너지 비용 상승이 이슈가 되고 있으므로, 저연비, 경량화, 고효율의 친환경 제품의 확보가 절대적으로 요구되고 있으며, 이를 위해서는 주요 핵심부품의 설계·제조 기술과 시스템 통합 기술의 자립이 절실한 상황이다.

현재 천공장비 관련 기술 중, 선진국 대비 기술수준이 낮아 대외 의존도가 높기 때문에 자립기술 개발시 국산화 및 수출 효과가 높은 품목은 다음과 같다.

- 저소음 경량 천공리그모듈: 드리프터, 마스트, 자동 로드탈부착시스템, 소음차폐 유니트, DRM 제어시스템
- 주요 핵심부품: 드리프터용 유압모터, 피드 드라이브용 유압모터 및 감속기, 주제어밸브(MCV)
- 천공공구: 드릴비트, 쉘크 어댑터, 커플링, 익스텐션 로드 등

이 중 THD장비의 드리프터 부품 등의 핵심기술은 선진사에 2-3년 이내로 근접한 상황이다. 드리프터 및 유압/전장시스템의 기술력 및 천공성능은 선진사 대비 70-80% 수준으로 분석되고 있다. 드리프터의 경우, 선진제품을 추격하기 위해서 충격완화, 역방향타격, 스트로크 자동제어 등의 세부기술에 대한 기술개발이 시급한 상황이다.

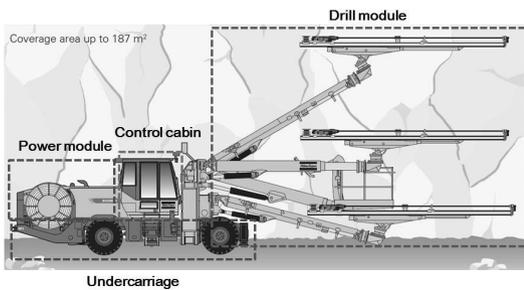


Fig. 6. Parts and modules of Jumbo drill machine (Atlas Copco, 2013).

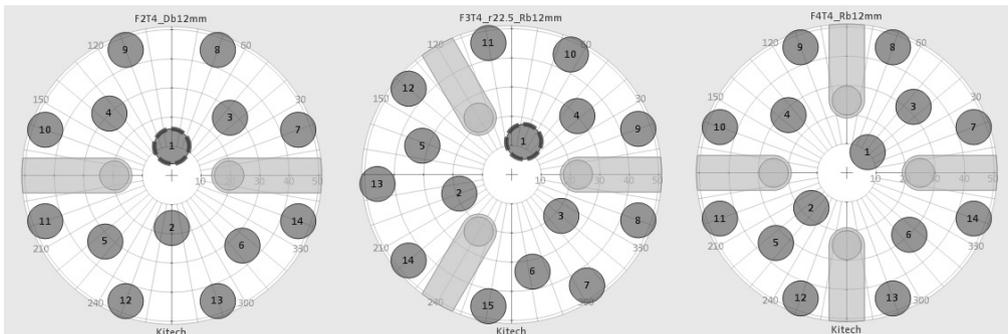


Fig. 7. Design method for button arrangement.

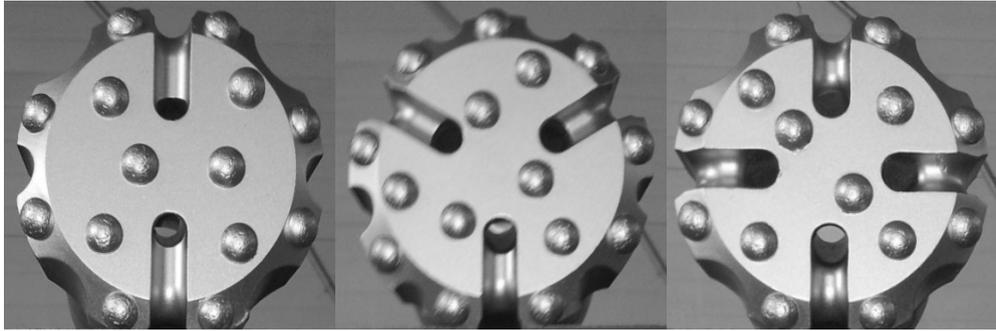


Fig. 8. Drill bit trial product with new button arrangement.

반면, 천공공구 관련 기술은 선진국에 비해 5년 이상 많이 뒤쳐진 상황이다. 특히 소재 및 재료 분야의 제품 격차가 크다. 천공공구인 드릴비트 및 로드의 원소재는 대부분 수입에 의존하고 있으며, 수입된 원소재를 국내에서 일부 열처리 가공하여 활용하고 있는 실정이다(지식경제부, 2012). 국산 텅스텐 카바이드 드릴 비트의 내구성능은 선진사 제품의 70% 수준으로 보고되고 있다(지식경제부, 2010). 하지만 중소기업에서 제조되는 한계가 있어 고가의 미세분말 및 정밀 소결공정이 활용되지 못하고 있다. 따라서 비트 버튼의 내마모성 소재 기술, 최적 소결공정 기술을 추격하기 위한 연구개발이 필요하고, 드릴비트 표면 및 로드의 내구성을 위한 열처리 기술의 축적도 시급한 실정이다.

또한 천공공구의 드릴 비트의 설계 및 버튼 배열 기술은 선진사 제품의 복제에 그치고 있다. 최근 독자적인 드릴 비트 설계안 및 버튼 배열법이 고안된 바 있으나(Song 외, 2012; Kwon 외, 2013), 아직 비트 제조업체에 활용되지 못하고 있다(Fig. 7, 8). 향후 한-미 FTA, 한-EU FTA에 선제적으로 대응해서 국산화, 자립화 기술개발이 꾸준히 요구된다.

향후 국내의 천공장비의 시장동향을 고려할 때 친환경과 지능형 기술을 접목한 고부가가치의 천공장비를 개발하면 세계시장 경쟁력을 갖출 수 있다. 이를 위해서는 국산 천공기 및 부품제조 변수에 따른 천공모듈 운용 데이터 축적을 바탕으로 천공기술 분야에 대한 원천 및 응용기술을 꾸준히 확보해 나가야 한다.

3.3 기술개발 전략 및 비전

1) 가격경쟁력과 기술력

국내 업체는 THD와 DTH 천공기 등 저가형 소품종 제품만을 생산하며 가격경쟁력에만 집중하고 있다. 그러나 최근 중국산 천공장비의 등장으로 소형 및 저가형 천공장비 시장에서는 수년 내 중국산 장비에 추월당할

것으로 예측되므로, 가격경쟁력만으로는 후발 국가의 추격을 피할 수 없는 상황이다.

세계시장에서 경쟁력을 가지기 위해서는 향후 금속소재공학 및 암반공학의 접목으로 독자적 기술개발이 반드시 필요하다. 이를 통해 선진업체와의 기술격차를 최소화한 후, 중대형 기술집약형 신제품을 출시하여 세계시장 진출에 적극 도전해야 한다. 그러기 위해서 선진사의 시공기술 및 천공장비의 핵심부품, 핵심기능에 대한 다량의 특허를 충분히 파악하여 특허를 회피한 신모델 개발이 필요하다. 또한 기술력 축적과 신기술 개발, 전문 인력의 확보를 바탕으로 신규 특허가 요구된다.

2) 암반강도에 따른 지능형 작업

천공기 운용시 암반강도에 따라 최적의 천공압력(feed, percussion, rotation)과 적절한 운용조건(RPM, BPM)이 적용되어야 최상의 천공효율을 얻을 수 있다(Atlas Copco, 2006). 하지만, 현재 대부분의 국산 및 일본 THD 장비는 작업실 계기판에 RPM, BPM이 표시되지 않기 때문에 작업자의 경험에 의존해서 천공작업이 운용되고 있다. 또한 암반강도에 따른 천공압의 데이터베이스 및 매뉴얼이 축적되지 않은 상황이다. 따라서 비효율적인 운용조건을 피하기 위한 천공기술 및 설계방법들이 요구되고 있다.

일반적으로 직경 102 mm 드릴비트의 버튼은 4개의 동심원(track)을 그리며 암반을 타격한다(Fig. 9)(Kwon 외, 2013). 암반을 천공하는 과정에서 이러한 드릴비트 버튼의 타격 지점은 드리프터의 운용 조건에 따라 달라지게 된다. 전체적으로 고른 타격 지점을 갖도록 드리프터를 운용하는 것이 효율적인 암반 천공을 위하여 이상적이지만, 특정 운용조건에서는 Fig. 10과 같이 버튼의 타격 지점이 중복되어 천공 효율이 낮아질 수 있다.

현재의 기술로는 현장에서 항상 고른 타격 지점을 갖도록 드리프터를 운용한다는 것이 어렵다. 따라서 천공

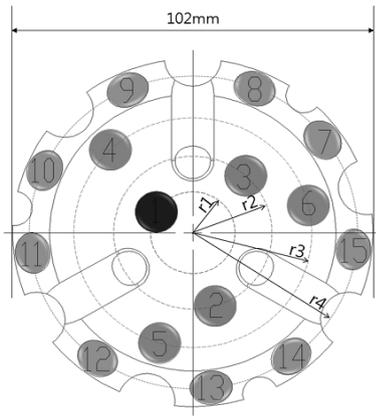


Fig. 9. Conventional button arrangement (∅ 102 mm)

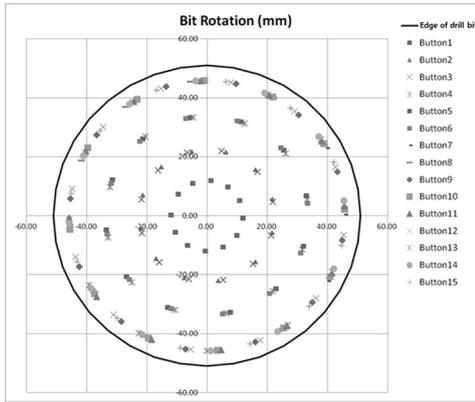


Fig. 10. Blow spots on rock superposed at RPM=180 and BPM=2200.

효율을 제고하기 위해서 특정 운용조건에서도 버튼이 같은 지점을 중복 타격하지 않는 독자적인 버튼 배열 설계 기술이 국내에서 개발된 바 있다(Kwon 외, 2013). 국내에서도 독자적인 연구 사례 및 현장시험 데이터가 축적이 되면 선진 제품과의 기술격차를 해소하는 시작점이 될 수 있을 것으로 기대된다.

3) 방음기술 및 자동제어 기술

방음기술은 환경 및 민원피해 최소화하여 도심지 작업시 작업효율을 극대화하기 위한 것이다. 현재 선진업체에서는 차폐모듈을 통해 방음기술을 상용화하고 있으며, 국내에서도 차폐모듈의 국산화를 시도하고 있다(산업통상자원부, 2013). 차폐기술이 국산화되면 선진국으로의 적극적인 진출 및 굴삭기 유압브레이커 방음 기술 등의 산업으로 기술을 확장하여 건설기계장비의

Current Status of Detonators and Explosives in use

Type	Surface Color (no)	Initiation Sequence	Detonator	Initiation Time (ms)	Number	Charge Weight / Hole			Total Charge Weight / Hole	Charg
						New Emulte *25mm(200mm 0.100kg)	New Emulte *32mm(200mm 0.150kg)	Kron-1 *17mm(1000mm 0.250kg)		
Cut	1	MS-0	0+0	4	15.0	0.0	0.0	1.500	60.0	
	2	MS-2	25+0	4	15.0	0.0	0.0	1.500	60.0	
	3	MS-3	50+0	4	15.0	0.0	0.0	1.500	60.0	
	4	MS-4	75+0	4	15.0	0.0	0.0	1.500	60.0	
	5	MS-5	100+0	4	15.0	0.0	0.0	1.500	60.0	
	6	MS-6	125+0	4	15.0	0.0	0.0	1.500	60.0	
Stopping	7	MS-7	150+0	8	9.0	1.5	0.0	1.140	72.0	
	8	MS-8	175+0	8	9.0	1.5	0.0	1.140	72.0	
	9	MS-9	200+0	6	9.0	1.5	0.0	1.140	54.0	
	10	MS-10	225+0	4	9.0	1.5	0.0	1.140	36.0	
	11	MS-11	250+0	6	9.0	1.5	0.0	1.140	54.0	
	12	MS-12	275+0	5	9.0	1.5	0.0	1.140	45.0	
Bufferrow	13	MS-13	300+0	5	9.0	1.5	0.0	1.140	45.0	
	14	MS-14	325+0	5	9.0	1.5	0.0	1.140	45.0	
	15	MS-15	350+0	6	8.5	0.0	0.0	0.860	51.0	
	16	MS-16	375+0	6	8.5	0.0	0.0	0.860	51.0	
	17	MS-17	400+0	6	8.5	0.0	0.0	0.860	51.0	
	18	MS-18	425+0	6	1.0	0.0	0.0	1.5	0.475	
Contour	19	MS-19	450+0	6	1.0	0.0	0.0	1.5	0.475	
	20	MS-20	475+0	5	1.0	0.0	0.0	1.5	0.475	
	21	LP-2	500+0	5	1.0	0.0	0.0	1.5	0.475	
	22	LP-3	600+0	6	1.0	0.0	0.0	1.5	0.475	
Lifter	23	LP-4	700+0	5	9.0	1.5	0.0	1.140	45.0	
	24	LP-5	800+0	5	9.0	1.5	0.0	1.140	45.0	
	25	LP-6	900+0	6	9.0	1.5	0.0	1.140	54.0	
	26	LP-7	1000+0	6	9.0	1.5	0.0	1.140	54.0	
Sum					140				1102.0	

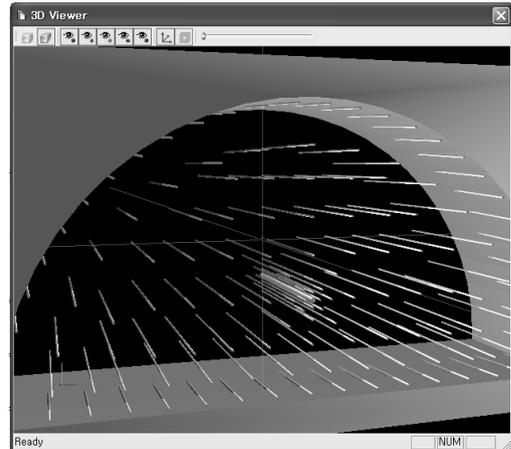


Fig. 11. 3D Drill hole design program (Geogeny consultants, 2006)

수출시장을 확대할 수 있다.

또한, 천공모듈 및 천공공구의 자동제어 기술은 스위덴의 선진 업체가 세계시장을 주도하고 있으며, 장기간의 기술축적으로 후발 주자들과 상당한 격차를 가지고 있다. 국내에서도 붐의 자동제어 기술이 국산화 개발 중에 있다. 자동제어 기술은 점보드릴 등 고부가가치 산업으로 연결될 수 있는 기술이다. Fig. 11에 나타난 터널 장약공 설계기술 및 소프트웨어(TunDesign 4)는 현재 국산화가 완료되었으므로, 점보드릴에 필요한 3차원 위치제어 기술, 붐의 정밀제어 및 연속 자동천공 기술 등을 기계발된 천공 설계기술과 접목하면 단기간 내에 점보드릴 개발이 가능할 것으로 기대된다(GeoGeny Consultants Group, 2006).

4. 결론

본 기술보고는 국내외 천공기술 현황을 조사하고, 국내 기술수준을 선진국의 기술수준과 비교하였다. 천공산업의 유공압 분야의 핵심기술은 선진국 대비 2-3년 이내로 기술격차가 줄어든 상황이지만, 전자제어 및 IT 기술 등의 융합기술 분야는 약 5-8년 정도 격차가 줄어들지 않고 있다. 중국 등의 후발국가와의 기술격차는 1-2년 이내로 좁혀진 상황이어서 국내 천공산업의 샌드위치 위기가 현실화되고 있다.

세계시장에서 경쟁력을 가지기 위해서는 유공압 분야 뿐만 아니라 전자제어공학, IT, 금속소재공학 및 암반공학 등의 기술융합을 통해 선진업체와의 기술격차를 최소화하는 것이 급선무이다. 이를 통해 중대형 기술집약형 신제품을 생산해야 한다. 기술융합을 통해 개발할 수 있는 제품기술로는 암반에 따른 지능형 작업, 붐의 자동제어 및 원격제어 기술, 천공소음 차폐기술, 천공위치 제어기술 등이 있다.

그러나 국내 천공장비 제조업체는 아직까지 종래의 유압제어방식의 천공장비만을 생산하고 있으며, 전자제어방식의 저소음형 친환경 천공장비는 개발하지 못하고 있다. 세계적으로 고유가에 따른 에너지 비용 상승이 이슈가 되고 있으므로, 저연비, 경량화, 고효율의 친환경 제품의 확보가 절대적으로 요구되고 있다. 이러한 추세를 감안할 때, 친환경과 지능형 기술을 접목한 고부가가치의 천공장비를 개발하면 세계시장 경쟁력을 갖출 수 있다. 이를 위해서는 국산 천공기 및 부품제조 변수에 따른 천공모듈 운용 데이터 축적을 바탕으로 천공기술 분야에 대한 원천 및 응용기술을 꾸준히 확보해 나가야 한다.

본 기술보고에서 언급된 융합기술이 향후 국산화된다면 선진국형 제품 생산 및 출시가 가능할 것으로 기대된다. 또한 현재 THD 장비에 집중되어 있는 국내 천공산업 구조도 DTH와 RD 장비 등의 중대형 고부가가치 제품을 생산하는 다품종 구조로 재편될 것으로 판단된다. 그러기 위해서 천공 기술력 축적과 다양한 분야의 전문 인력 확보로 신기술이 개발이 꾸준히 요구된다.

사 사

본 논문은 산업자원통상부 기술혁신사업(10036999, 굴착용 천공 드릴 모듈) 및 한국생산기술연구원 기관고유사업의 지원을 받은 연구결과입니다.

References

1. Atlas Copco, 2006, Surface Drilling in Quarry and Construction.
2. Atlas Copco, 2013, Technical specification; Face drilling rigs, Boomer E3 C, pp. 1-4.
3. Bu, C., Qu, Y., Cheng, Z., Liu, B., 2009, Numerical simulation of impact on pneumatic DTH hammer percussive drilling, *Journal of Earth Science*, 20.5, 868-878.
4. Franca, L., 2011, A bit-rock interaction model for rotary-percussive drilling, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 48, 827-835.
5. Geogeny Consultants Group Inc., 2006, TunDesign 4; Design & modeling program for tunnel blasting.
6. Hustruid, W.A. and Fairhurst, C., 1971(a), A theoretical and experimental study of the percussive drilling of rock, Part I-Theory of percussive drilling, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 8, 311-333.
7. Hustruid, W.A. and Fairhurst, C., 1971(b), A theoretical and experimental study of the percussive drilling of rock, PART II-Force-penetration and specific energy determinations, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 8, 335-356.
8. Hustruid, W.A. and Fairhurst, C., 1972(a), A theoretical and experimental study of the percussive drilling of rock, PART III-Experimental verification of the mathematical theory, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 9, 417-429.
9. Hustruid, W.A. and Fairhurst, C., 1972(b) A theoretical and experimental study of the percussive drilling of rock, PART IV-Application of the model to actual percussion drilling, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* Vol. 9, 431-449.
10. Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, 2012, 굴착용 천공장비의 기술개발동향 및 건설기계산업의 발전방향, KEIT PD Issue report, 12.10(2012. Nov.), pp. 33-58.
11. Kwon, K. B., Song, C. H., Park, J. Y., Shin, D. Y., and Cho, J. W., 2013, Investigation of drilling efficiency using percussion test of drill bit, *International Symposium on Green Manufacturing and Applications (ISGMA 2013)*, June 26th, 2013. P-C-Machining 19.
12. Kwon, K. B., Song, C. H., Park, J. Y., Shin, D. Y., Cho, J. W., and Cho, S. H., 2013, Rock Fragmentation Assessment of a Drill Bit by Hopkinson Bar Percussion Test, *Korean Society for Rock Mech., Tunnel & Underground Space*, 23.1, 42-53.
13. Kim, K. Y., Kim, C. Y., Kim, K. S., 2008, Assessment of Hydraulic Drilling Data on Homogeneous Rock Mass, *Korean Society for Rock Mech., Tunnel & Underground Space*, 18.6, 480-490.
14. Shin, D. Y., Song, C. H., 2012, Performance Optimization of Down-the-Hole Hammer Using Taguchi Method, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A* 36.1, 109-116.
15. Ministry of Trade, Industry and Energy, 2013, 지식경제 부품소재기술개발사업 기술혁신사업, “굴착용 천공드릴 모듈”, 최종 연구보고서
16. Ministry of Knowledge Economy, 2010, 지식경제 부품소

재기술개발사업, “굴착용 천공드릴 모듈”, 지식경제 기술 혁신사업 계획서

17. Ministry of Knowledge Economy, 2012, 지식경제 부품소재기술개발사업 기술혁신사업, “굴착용 천공드릴 모듈”, 2차년도 연구보고서

18. Oh, J. Y., Lee, G. H., Song, C. S., 2011, A Study on the Analysis of Hydraulic Circuit of a Rockdrill Drifter,

Proceedings of the KFPS 2011 Spring Conference, 70-75.

19. Song, C. H., Kwon, K. B., Park, J. Y., Shin, D. Y., and Cho, J. W, 2012, Optimization of Flow Path of Drill Bit using CFD Simulation, Korean Society for Rock Mech., Tunnel & Underground Space, 22.4, 257-265.

20. The freedonia Group Inc., 2009, Industry Study 2562: World Mining Equipment.

송 창 현



2009년 한국산업기술대학교 기계설계 공학부 학사
 2011년 한국산업기술대학교 기계시스템설계공학부 석사

Tel: 053-607-1124
 E-mail: jsch8310@kitech.re.kr
 현재 한국생산기술연구원 건설기계부품연구그룹 연구원

권 기 범



2009년 한국산업기술대학교 기계설계 공학부 학사
 2011년 한국산업기술대학교 기계시스템설계공학부 석사

Tel: 053-607-1125
 E-mail: kbkwon@kitech.re.kr
 현재 한국생산기술연구원 건설기계부품연구그룹 연구원

신 대 영



1989년 한양대학교 정밀기계공학과 학사
 1991년 한양대학교 정밀기계공학과 석사
 2000년 한양대학교 정밀기계공학과 박사

Tel: 053-607-1100
 E-mail: dyshin@kitech.re.kr
 현재 한국생산기술연구원 대경본부 연구부문장/ 수석연구원

황 윤 규



1999년 홍익대학교 기계공학과 학사
 2003년 홍익대학교 기계공학과 박사(석박사통합)

Tel: 043-530-3355
 E-mail: ukhwang@everdigm.com
 현재 에버다임 선행개발팀 부장

임 중 혁



1988년 서울대학교 공과대학 기계설계학과 학사
 1990년 서울대학교 공과대학 기계설계학과 석사

Tel: 043-530-3350
 E-mail: jhlim@everdigm.com
 현재 (주)에버다임 드릴사업본부 본부장/ 상무이사

조 정 우



2002년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 학사
 2010년 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 박사

Tel: 053-580-0185
 E-mail: chojw1665@gmail.com
 현재 한국생산기술연구원 건설기계부품연구그룹 선임연구원