암반 천공장비의 시장 및 기술동향
Market and Technical Trend of Rock Drilling Machine

권기범 · 송창헌 · 윤주섭 · 황운규
K. B. Kwon, C. H. Song, J. S. Yun and U. K. Hwang

1. 서 론

천공장비는 회전력과 충격력을 이용하여 암반에 구멍을 뚫는 장비로, 지표면 천공장비와 지하 천공장비로 구분된다. 지표면 천공장비는 노천광산이나 토목공사 현장에서의 지표면 천공, 석유시추와 지하수 개발 등 자원개발을 위한 천공, 암벽 절개면의 보강을 위한 천공 등 다양한 용도로 사용되며, 천공 방식에 따라 Top Hammer Drilling (THD), Down The Hole (DTH) Drilling, Rotary Drilling (RD) 으로 구분된다.

현재 세계 천공장비 시장은 스웨덴의 Sandvik사와 Atlas Copco사에 의해 주도되고 있으며 이들 선진 천공장비 제조업체는 원격제어, 자기 진단 시스템, 저소음 구현 기술, 천공 자세 및 천공위치 모니터링 시스템, 암반대응 최적 작업 구현 시스템 등을 도입하여 한국과 기술격차를 벌리고 있다. 또한, 2008년 중국산 Top hammer 천공장비의 등장으로 수년 내 중국산 장비의 세계시장 점유율이 상당한 수준으로 성장할 전망이다. 연평균 10% 정도로 성장하고 있는 세계 천공장비 시장 상황과 향후 지속적인 성장이 예상되는 자원개발 시장의 전망을 고려해볼 때, 국내 천공장비 산업에 대한 집중적인 투자와 기술개발을 통해 제품경쟁력을 강화할 필요가 있다.

본 기술보고에서는 천공장비의 종류, 구조 및 작동방식에 대해 간략히 소개하고, 천공장비의 시장현황 및 기술현황에 대해 조사하였다.

2. 암반 천공장비의 시장동향

2.1 국외 시장동향

암반 천공장비의 세계시장 규모는 2006년 57억 달러에서 2011년 75억 달러로 매년 10% 이상의 성장세를 보이고 있으며, 2020년에는 170억 달러 이상 성장이 예상된다.

그림 1에 제시된 지역별 천공장비의 시장현황을

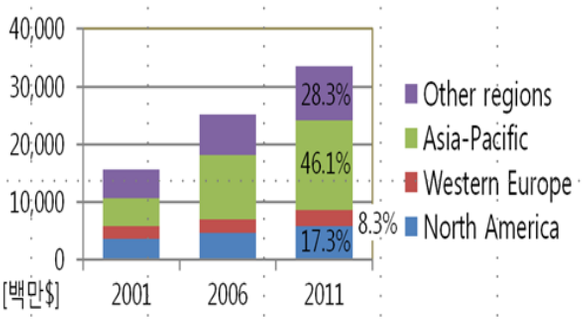

그림 1 지역별 천공장비의 시장 현황[1)]

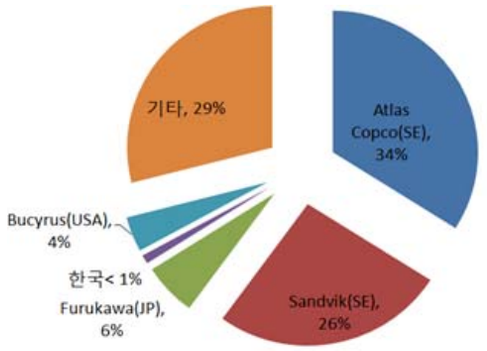

그림 2 제조사별 세계시장 점유율[1)]

보면, BRICs 주도 이머징마켓의 경제 성장과 광물자원의 수요 증가 및 투자 활성화 그리고 건설/광산기계의 글로벌 수요 증가 지속에 따라 아시아-태평양, 중남미, 중동 등 이머징마켓의 비중은 전체 시장의 3/4을 차지한다.

그림 2에 나타나 있듯이, 천공장비의 세계시장은 Atlas Copco사(스웨덴)와 Sandvik사(스웨덴)가 60% 정도로 독점하고 있으며, 한국 천공기 제조기업의 세계시장 점유율은 0.6%로 미미하다.

2.2 국내 시장동향

현재 국내 천공장비 및 부품 시장의 규모는 약 1,100억 원 규모로, 제조기업은 수산중공업, 에버다임, 전진CSM 등이 있으며, 국내 점유율은 10%로 조사되었다(그림 3 및 Table 1 참조).

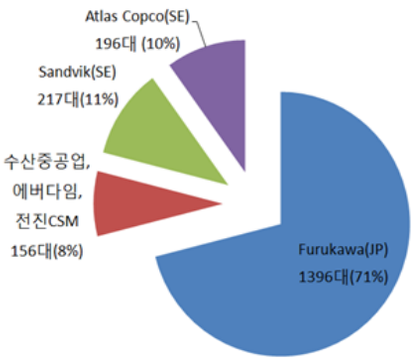

그림 3 제조사별 한국시장 점유율[1)]

표 1 제조사별 국내 천공기 등록 현황

내용	천공기 회사	등록대수 (1996년 이후)	점유율
국내 업체	전진CSM, 에버다임, 수산중공업 외	156 대	8 %
국외 업체	Sandvik사 (스웨덴)	217 대	11 %
	Atlas Copco사 (스웨덴)	196 대	10 %
	Furukawa사 (일본)	1,396 대	71 %

3. 암반 천공장비의 기술동향

3.1 암반 천공장비의 종류

천공장비는 자원채굴, 터널작업, 자원탐사 등 사용용도와 작업조건에 따라 적합한 형태의 천공장비가 사용되며, 그림 4와 같이 천공작업 방식에 따라 Top Hammer Drilling (THD), Down The Hole (DTH) Drilling, Rotary Drilling(RD) 등 크게 3가지로 구분된다[2)].

그림 4 천공작업 방식에 따른 분류

표 2 천공작업 방식에 따른 적용 범위

구분	천공방식	천공경 (mm)	천공깊이	적용 암질
THD	Percussion & Rotating	50-127	Max. 40 m	Soft rock Hard rock
DTH	Percussion & Rotating	100-178	Max. 4 km	Soft rock Hard rock
RD	Rotating	100-610	Max. 10 km	Soft rock

THD 방식의 천공장비는, 추력을 가해 비트를 암반에 밀착시킨 상태에서 핵심부품인 드리프터(Drifter)에서 발생되는 회전력과 타격력이 로드와 드릴비트를 통해 암반면에 전달되어 암반을 파쇄하는 천공 메커니즘을 가지고 있다. 그러나 로드의 길이가 길어질수록 드리프터에서 발생된 타격 에너지가 암반으로 전달되는 과정에서 손실되어 감소하므로 천공효율이 떨어지게 된다. 따라서 일반적으로 THD 방식의 천공장비는 경암 또는 연암에서 비교적 낮은 깊이(최대 40 m, 대부분 20 m 미만)의 소구경(∅50~127 mm) 천공작업에 사용된다.

DTH 방식의 천공장비는 THD 방식의 천공장비와는 다르게 DTH 해머라는 핵심부품이 사용된다. DTH 해머 내부의 공압 작동식 해머가 드릴비트를 직접 타격하여 암반에 충격 에너지를 전달하므로, 천공깊이와 상관없이 비교적 일정한 타격력을 암반에 전달할 수 있다. 따라서 일반적으로 DTH 방식의 천공장비는 경암 또는 연암에서 비교적 깊은 깊이(최대 4 km, 대부분 50~80 m 미만)의 중간 구경(∅100~178 mm)의 천공작업에 사용된다.

RD방식의 천공장비는 타격력 없이 추진력과 회전력만으로 천공작업이 진행된다. 주로, 연암 천공작업에 많이 사용되고 있으며, 대심도(최대 10 km, 대부분 1 km 미만), 대구경(∅100~610 mm) 천공작업에 사용되고 있다.

3.2 암반 천공장비의 구조 및 기능

일반적으로 흔히 사용되는 THD 방식의 천공장비는 그림 5와 같은 구조로 되어있다.

THD 방식을 사용하는 천공기의 붐(boom)은 드릴비트를 암반면에 밀착시킬 수 있는 Feed drive와 로드를 탈부착 할 수 있는 Rod changer, 그리고 천공장비 핵심 부품인 드리프터(Drifter)가 장착되어 있다. 드리

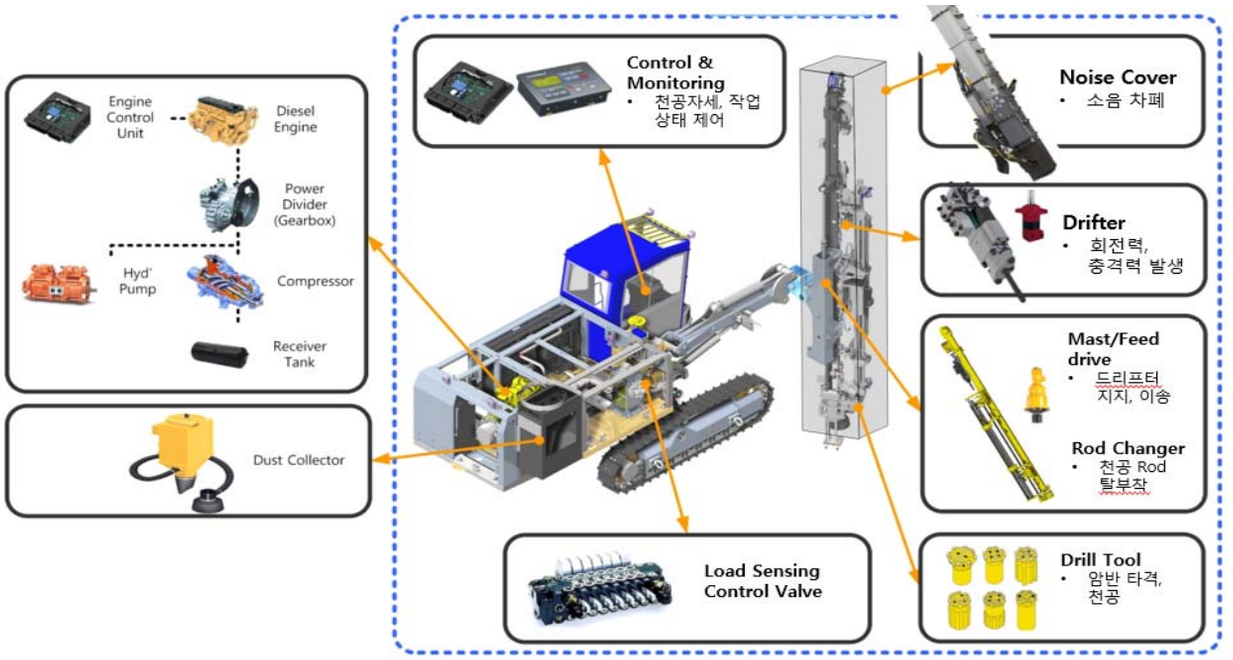

그림 5 THD 방식의 천공장비 구조 및 기능

프터 내부의 피스톤은 유압에 의해 왕복운동을 하며 Shank 어댑터를 연속적으로 타격하고, 여기서 발생된 타격 에너지는 익스텐션 로드와 드릴 비트를 통해 암반면에 전달되어 천공작업이 이루어지게 된다.

3.3 연구개발 추세 및 현황

세계 천공장비기술은 스웨덴의 Atlas Copco사와 Sandvik사에 의하여 주도되고 있으며, 선진사의 천공장비는 저소음, 저연비, 자동화, 원격제어, 자기진단 기술 등을 접목하거나 완전자동 로드탈부착 기능 등 핵심기술을 접목하여 운전자의 편의성을 극대화하였다. 또한, 성능과 생산성 위주에서 환경과 인간을 고려하는 패러다임으로 변화함에 따라 소음, 진동, 배기가스 규제가 강화되고 있다.

따라서 환경적인 문제와 효율, 사용자의 안전 문제가 대두됨에 따라, 해외 선진사 Atlas Copco사는 IT 기술 융합화를 통해 다음 표 3에 나타낸 지능형 제어 핵심기술인 Hole Navigation System(HNS), Measure While Drilling(MWD), Rig Control, Rock Pilot Control(RPC), Self-Adjusting Drill System(SADS) 등의 개발에 성공하여, 후발 경쟁업체와의 기술격차를 더욱 벌려나가고 있다. 이에 반해, 국내 지능형 제어 기술의 현실은 자세제어, 모니터링, 자동화 기능 등의 스마트화 기술의 경우, 우수한 IT기술과 인력을 확보하였으나 개발경험과 응용기술 부족으로 적용된 사례가 아직 없으며, 현재는 저가형 천공장비 개발에 머물고 있는 실정이다.

현재, 국내 천공장비 제조기술은 선진사 대비 5년 이상의 기술격차가 나는 것으로 조사되었으며, 유압 핵심기술인 드리프터 및 유압/전장시스템은 선진사 대비 70~80% 수준이다. 특히, 드리프터의 핵심기술인 충격완화, 자동스트로크 제어 등은 선진제품 수준으로 기술 개발이 절실히 요구되는 상황이다.

천공장비와 관련된 국내외 연구사례를 살펴보면, Drill steel과 암반 사이의 에너지 전달 및 타격력에 따른 비에너지(Specific energy) 측정에 대한 연구[3-6]와 암반 종류 및 타격 속도에 따른 DTH hammer의 암반 파쇄 깊이 변화를 수치해석을 통해 규명한 연구가 있다[7]. 또한, 국내에서는 유공압시스템 해석을 통해 DTH Hammer 및 드리프터(Drifter)의 타격성능을 분석한 연구[8-9], 다상 CFD를 이용해 암분의 유동장을 모사하여 드릴비트의 내부유로 최적화에 관한 연구[10], 타격시험을 통해 천공조건에 따른 암반파쇄 효율을 분석한 연구[11] 등이 수행된 바 있다.

2011년에서 2013년까지, 지식경제부 기술혁신사업으로 굴착용 천공드릴 모듈 개발이라는 연구 과제가 수행된 바 있다. 이 과제에는 국내 천공장비 완성차 제조업체인 에버다임, 전진CSM, 수산중공업 등이 참여하여, 천공장비의 드릴리그 차폐모듈의 저소음화를 달성하였으며 핵심부품인 드리프터, 유압시스템의 국

산화를 성공하였다. 또한, 한국생산기술연구원에서 천공공구 드릴비트의 내부 유로 설계 및 버튼의 배열법이 독자적으로 개발된 기술이 보고되었다. 이로 인해, 저소음, 경량화 등 핵심부품 개발(그림 6 참조)에 필요한 천공관련 기술력을 보유하게 되어, 해외 선진기업과의 기술격차를 줄일 수 있는 계기가 될 것으로 예상된다.

표 3 국내·외 천공장비 적용 지능형 제어 기술

● 적용 ○ 개발

분야	세부기술	개발 및 적용 여부	
		국외	국내
		Atlas copco	에버다임 전진CSM 수산중공업
안전성	작업자 모니터링	●	○
	천공지반 모니터링	●	○
편의성	자동 로드 탈부착 시스템	●	○
	천공자동화 캐빈	●	-
	소음차폐유닛	●	○
	DRM 제어 시스템	●	○
	다수의 붐 독립제어	●	-
	Hole Navigation System	●	-
	Measure While Drilling	●	-
	Automatic Feed Alignment	●	-
	Rock Pilot Control	●	-
	Self-Adjusting Drill System	●	-
효율성	지반별 천공속도 제어	●	○

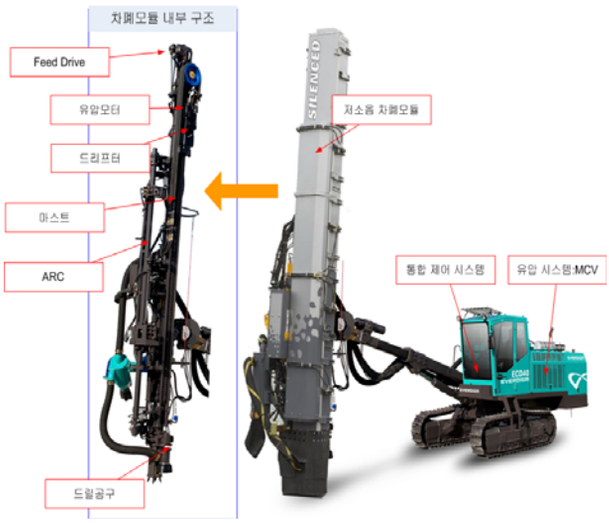

그림 6 저소음 천공장비의 핵심부품 예시

4. 결 론

지금까지 암반 천공장비의 시장동향과 구조를 비롯한 기능 및 기술동향에 대해 알아보았다.

천공장비의 핵심기술은 국내 다양한 연구 및 기술개발로 인해, 선진기업 대비 5년 이내로 기술격차가 줄어들 것이라 예상되며, 추후 해외 선진사의 기술과 대등할 것으로 판단된다.

또한, 세계시장에서 천공장비 및 핵심기술에 대한 경쟁력을 가지기 위해서는, 유공압, 전자제어, 금속소재공학 및 암반공학 등의 기술융합을 통한 독자적인 기술개발로 선진업체와의 기술격차를 최소화하는 것이 급선무이다. 이를 위해서는, 천공장비관련 전문인력의 양성과 천공산업에 대한 기술개발에 정부의 적극적인 지원이 이루어져야 할 것이다.

사 사

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

참 고 문 헌

1) 한국산업기술평가관리원, “굴착용 천공장비의 기술개발동향 및 건설기계산업의 발전방향”, KEIT PD Issue report, 12.10(2012. Nov.), pp. 33-58, 2012.
2) Atlas Copco, “Surface Drilling in Open Pit Mining”, 2006.

3) Hustruid, W.A. and Fairhurst, C., “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, pp. 311-333, 1971(a).
4) Hustruid, W.A. and Fairhurst, C., “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, pp. 335-356, 1971(b).
5) Hustruid, W.A. and Fairhurst, C., “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, pp. 417-429, 1972(a).
6) Hustruid, W.A. and Fairhurst, C., “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, pp. 431-449, 1972(b).
7) Bu, C., Qu, Y., Cheng, Z., Liu, B., “Numerical simulation of impact on pneumatic DTH hammer percussive drilling”, Journal of Earth Science, Vol. 20, No. 5, pp. 868~878, 2009.
8) D. Y. Shin, C. H. Song, “Performance Optimization of Down-the-Hole Hammer Using Taguchi Method”, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A Vol. 36, No. 1, pp. 109~116, 2012.
9) 오주영, 이근호, 송창섭, 2011, 천공용 드릴 드리프터 유압 회로 해석에 관한 연구, 유공압시스템학회, 2011 춘계학술대회 논문집, 70-75.
10) C. H. Song, K. B. Kwon, J. Y. Park, D. Y. Shin, J. W. Cho, “Optimization of Flow Path of Drilling Bit using CFD Simulation.” Journal of Korean Society for Rock Mechanics, TUNNEL AND UNDERGROUND SPACE, Vol. 22. No. 4, pp. 257-265, 2012.
11) K. B. Kwon, C. H. Song, J. Y. Park, D. Y. Shin, J. W. Cho, S. H. Cho, “Rock Fragmentation Assessment of a Drill Bit by Hopkinson Bar Percussion Test.” Journal of Korean Society for Rock Mechanics, TUNNEL AND UNDERGROUND SPACE, Vol. 23. No. 1, pp. 42-53, 2013.

[저자 소개]

권기범
E-mail : kbkwon@kitech.re.kr
Tel : 053-607-1125
2009년 한국산업기술대학교 기계설계공과 학사, 2011년 동대학원 기계시스템설계 전공 석사, 2013~현재 한국생산기술연구원 건설기계부품연구그룹 연구원, 유공압건설기계학회, 대한기계학회, 정밀공학회 등 회원

송창헌
E-mail : sch8310@kitech.re.kr
Tel : 053-607-1124
2009년 한국산업기술대학교 기계설계공과 학사, 2011년 동대학원 기계시스템설계 전공 석사, 2013~현재 한국생산기술연구원 건설기계부품연구그룹 연구원, 유공압건설기계학회, 대한기계학회, 정밀공학회 등 회원

윤주섭
E-mail : jsyun@kitech.re.kr
Tel : 053-607-1104
2009년 오사카대학교 전자제어기계공학과 박사과정 졸업. 2012년 한국생산기술연구원 입사. 현재, 한국생산기술연구원 대경권지역본부 건설기계부품연구그룹 선임연구원. 공학박사

황운규
E-mail: ukhwang@everdigm.com
Tel : 043-530-3355
2003년 홍익대학교 기계공학과 박사. 2003년 에버다임 입사, 2013~현재 에버다임 선행개발팀 부장, 한국 교통대학 항공기계설계학과 겸임교수, 대한기계학회, 유공압건설기계학회 등의 회원, 공학박사