

Jumbo Drilling M/C 국산개발연구

박철환, 신중호, 김민규, 조원재, 이경운

1. 서 언

광산개발을 비롯하여 터널 및 지하공간의 굴착에서 안전하고 경제적인 공법개선과 국내의 현장조건에 부응하는 굴착시스템과 장비의 개발은 점차 그 필요성이 높아지고 있다. 굴착속도를 높이는 것은 이와 같은 작업에 경제성을 더하는 요소이며 이를 위하여서는 기계화된 굴착작업이 필요하며 그 근본은 유압에 의해 작동하는 굴착장비에 달려있다. 작업 수행의 능숙도, 발파공 배치 형태설계 및 적절한 화약종류의 선택은 굴착작업을 지원하는 후속시스템과 더불어 효율적인 굴착작업과 직접 관련되는 주요 사항이며 이의 대부분은 투입되는 장비와 연계되어 계획되고 설계되기 때문에 장비의 선택은 매우 중요하다.

국내에 활용되고 있는 굴착장비의 대부분이 수입에 의존하고 있어 굴착부분의 기술적인 발전 역시 외국 기술에 크게 영향을 받고 있다. 그러므로, 굴착장비의 고유모델의 개발을 비롯하여 자동화 굴착공법의 개발, 굴착장비와 굴착공법의 연계 등을 위한 연구 개발은 국내의 굴착기술 발전에 시급히 요구되는 사항이다. 본 연구에서 목표로 하는 유압식 착암기 시스템 즉 점보드릴은 굴착 단면이 점차 대형화되는 추세에 맞추어 적용될 수 있도록 두 대의 유압착암기를 동시에 가동하는 중형화를 목표로 하였다.

본 사업은 핵심부품인 유압착암기(Hydraulic Drill)의 국산개발을 중점목표로 하여, 이를 작동시키는 유압시스템을 확립하여 점보드릴장비(Jumbo Drilling M/C)로 발전시키는 연구가 본 연구진을 비롯하여 서울대학교 기계설계공학과와 (주)수산특장의 산학연 공동으로 3년간 추진되었다. 본 발표에서는 이의 연구내용과 추진결과를 소개하고자 한다.

2. 국내 현황분석

(1) 굴착량분석

1995년 국내 석탄생산량은 약 550만톤으로 석탄생산을 위한 갱도의 연간 굴진량은 55km가 예상된다. 서울을 비롯한 대도시 지하철은 95년말 현재 244.6km 보유하고 있으며 96년 이후 2003년까지 매년 약 50km씩 건설예정이며 이중 터널굴착부분을 약 20%로 보면 연간 굴착량은 10km가 예상된다.(표 1 참조)

경부고속전철은 총연장 410km중 터널부분은 140km로써 2000년 이전까지 약 7년에 걸쳐서 굴착이 완료되어야 하므로 연간 약 20km씩 굴착되어야 한다. 고속철도는 이후에도 호남 및 영동고속철도의 계속사업으로 연결될 것이다. 1995년 이후 2004년까지 10년간 고속도

주요어 : 점보드릴, 유압착암기, 충격파 전달, 타격에너지

소 속 : 한국자원연구소

로는 연간 약 120km 씩 건설예정이며 고속도로 1km 당 터널길이가 약 9.4m이므로 고속도로터널은 연간 약 1.1km 굴착될 예정이다. 일반도로현황은 선진국 수준이 되기 위해서는 연간 약 9km의 터널이 굴착되어야 한다.

이상으로 분석된 터널의 굴착량은 연간 100km에 달하며, 분석되지 않은 금속광산, 도수로, 양수발전, 유류 및 가스 저장시설, 통신 및 전력선 공동구 등 여러 부분에 지하공동 건설공사가 이루어질 것으로 판단되어 연간 최대 굴착량은 200km 이상이 될 것이다.

표 1. 지하철 건설 추이 (누계값, km, 단 대전 및 대구 3단계 계획은 불포함)

연도	서울	부산	인천	대구	합계
1974	9.5				9.5
1984	63.8				63.8
1985	123.0				123.0
1987	123.0	26.1			149.1
1992	135.0	26.1			161.1
1993	218.5	26.1			244.6
1996	280.0	86.3		28.0	394.3
1997	280.0	86.3	26.1	28.0	420.4
1999	400.0	86.3	26.1	51.0	563.4
2001	400.0	153.2	26.1	73.0	652.3
2003	400.0	153.2	50.5	73.0	676.7
2008	400.0	153.2	86.8	98.0	738.0

(2) 굴착장비 수요량 분석

동일 장소에서 Jumbo Drill 1대의 작업량을 년 1km 씩으로 추정하면 100대의 장비가 소요되고 여기에 가동율 80%, 예비율 30%를 고려하면 최소한 165대 이상이 항상 보유되어 있어야 하므로 매년 30대 정도가 국내에서 소비될 것으로 예상된다.

1995년까지 굴착장비로 대한건설중기협회에 등록된 장비수를 95년도 상반기까지의 자료를 근거로 하여 미확인된 것을 제외하더라도 모두 12개국으로부터 306종 2,236대가 수입된 것으로 집계되고 있다.(표 2 참조) 표에서 알 수 있듯이 국내에 수입되는 굴착장비는 계속 증가되는 추세를 보일 뿐만 아니라, 1989년부터 약 4년간은 급격한 증가를 나타내고 있다. 이중 점보드릴로 수입된 장비는 2개 회사(Atlas Copco 및 Tamrock)에서 169대이고 주로 90년도 이후에 집중되어 있는 것으로 볼 때, 근래에 와서 수요가 급증하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 연도별 수입현황

연도	81년 이전	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	계
수입량	101	58	29	40	55	29	38	54	153	539	470	236	130	150	146	2,236

3. 장비의 제원 및 부품개발

연구개발은 한국형 점보드릴의 설계 제작, 최적 설계 기술 정립에 주안점을 두어, 광산 작업에서 가장 기본적인 작업의 하나인 터널 굴착 작업을 수행하는 유압착암기 시작품 제작과 유압 시스템, 정밀 위치제어 시스템에 의한 자동 작동방식을 채택한 장비로서의 개발, 그리고 대상 암석 조건에 따른 적정 발파공 배치설계 소프트웨어 개발 및 탑재 등을 포함하는 것으로 최종목표를 삼았다.

1차년도에는 유압착암기의 개발이 완성되었으며, 2차년도에는 붐과 피드를 비롯한 각종 부품이 제작되었다. 연구의 최종년도에서는 작업장까지 신속한 이동을 위하여 Tire mounted 형태로 설계된 차대를 제작완성하여 개발된 부품을 탑재하고 현장시험을 수행하는 것으로 계획되어졌다. 그러나 참여기업인 (주) 수산특장의 경영상 어려움으로 차대의 설계를 완성한 이후 연구는 더 이상 진전되지 않았다.

그림 1은 이상으로 계획된 장비의 전체 조립도이다. 본장에서는 붐(5)과 피드(7)의 설계제작에 관하여 언급하고 유압착암기(10)는 다음 장에서 기술하였다.

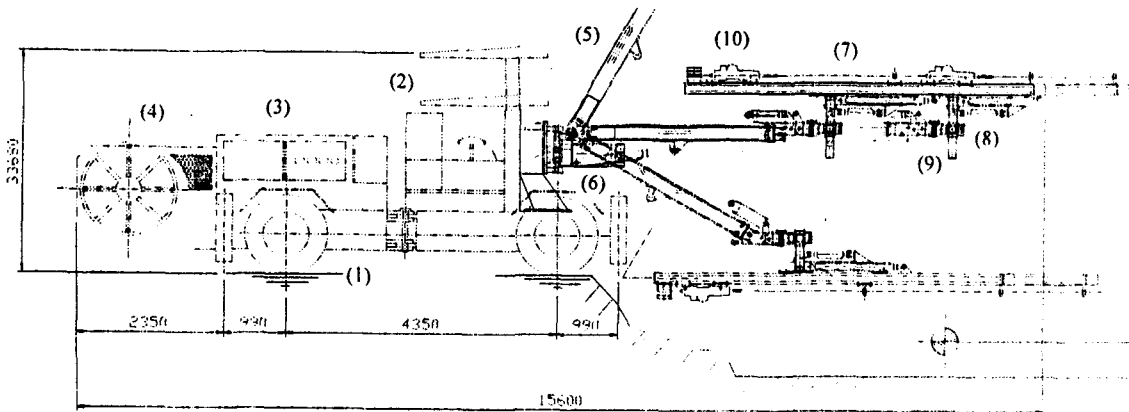


그림 1. 2-Boom Jumbo Drilling M/C 시작품 조립도

현재 활용되고 있는 장비들 중에서 2-boom이 차지하는 비율이 56%로 3-boom (36%)이나 1-boom 보다 크며, 현장에서 사용자들의 의견을 종합한 결과, 장비의 제원결정에 앞서 개발대상은 2-boom system으로 선정되었다. 국내에서 가장 많은 비율로 굴착되고 있는 공동의 단면적은 80~90m²의 도로터널이지만 2단으로 굴착하므로 실제 30~41m²의 규격이 차지하는 비율이 높다. 이에 투입되는 점보드릴은 2-boom과 3-boom이 혼용되고 있으나 2-boom의 점보드릴이 굴착능력과 효율면에서 우수한 것으로 판단되어 한국형 모델로 선정하였다.

붐은 2단으로 설계하였으며 단면은 제작과정을 용이하도록 사각형으로 설계하였다. 2번붐이 신장되었을 때의 최대길이는 3.3m로서, 1번붐의 외형크기는 254 x 290 x 3,263mm이며, 신장실린더에 의하여 작동되는 2번붐의 외형크기는 188 x 218 x 3,142mm 이다. 전체 붐의 연장크기는 1.79m 크기의 Creadle 과 4.1m 크기의 피드의 연결에 의하여 최대 5.3m가 된다. 각각의 붐과 피드에는 상하 및 좌우로 회전할 수 있게 4개씩의 실린더가 있는데 붐의 회전각은 좌우 45도, 위로 60도, 아래로 30도이며, 피드의 회전각과 함께 전체는 상하좌우 각각으로 90도 회전이 가능하다. 이러한 붐의 크기와 회전으로 2-boom system이 한번의 장착으로 천공가능한 크기는 H 8.2m x W 9.2m 이며, 단면적은 65m²이다.

피드의 설계에서는 마모에 따른 Slide Bracket과 Rail 간의 유격을 쉽게 조정하는데 주안점을 두었다. 제품화되어 사용되고 있는 Drill Steel의 길이는 10' ~20' 가 일반적이며 현재 국내에서 많이 사용하고 있는 피드의 길이는 14' 이며, 이 때의 천공장은 평균 3.4m 이다. 따라서 본 시작품의 설계에서 피드는 14' 를 기준으로 하여 총길이는 5880mm이며 운전거리리는 3500mm로 설계되었다. 이의 단면크기는 폭 220mm, 높이 184mm로서 시그마형태로 설계제작되었다. 회전모터에 의해 구동되는 체인의 장력은 최대 4200kgf이며, 보통 2500kgf 을 사용하게 설계되었다.

그림 2는 제작완성된 붐과 피드를 결합하여 원활한 운전과 관련한 여러가지 기능을 시험장치에 장착하여 시험하고 있는 장면이다.

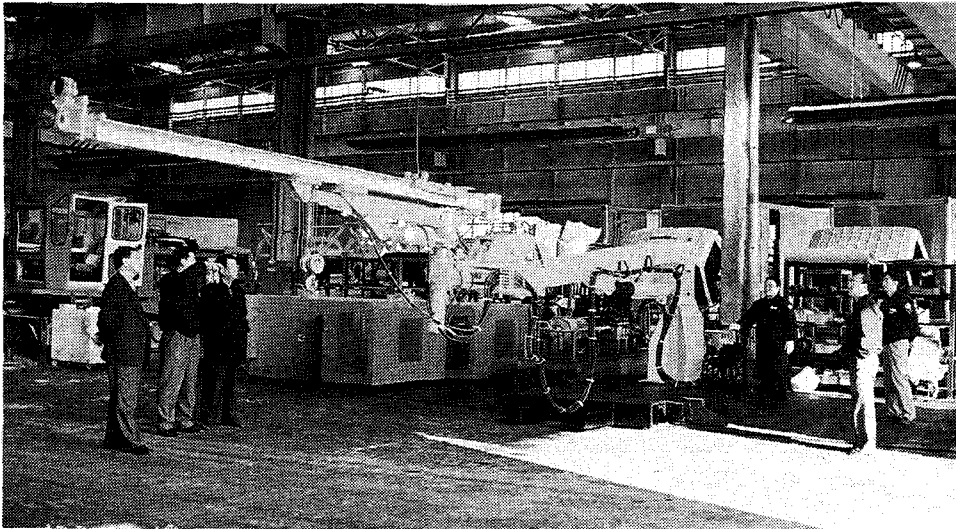


그림 2. Operating test for boom and feed assembly

4. 유압착암기 개발

점보드릴의 핵심장비인 유압착암기는 2차단계로 설계 및 제작, 시험이 이루어졌다. 시제품은 1차년도에 SP-2를 제작하여 시험을 통하여 그 문제점을 검토하여 새로운 모델인 SP-3J를 설계하여 2차년도에 제작완성하였다. 작동유압이 170bar에서 SP-2 모델의 타격에너지는 10kW 내외인데 비하여 2차모델인 SP-3J는 16kW 이다.

유압이 작동하여 충격식 착암기의 피스톤이 왕복하면서 충격이 일어날 때 그 충격력은 긴 로드를 통하여 반대쪽 끝에 있는 비트에 전달되어 암반을 천공한다. 피스톤이 가지고 있는 운동에너지가 로드 에 압축응력파를 발생시키고 이 응력파는 약 5km/sec의 속도로 로드 내에서 전파한다. 이때 응력파에 의한 변형에너지의 크기는 다음과 같다.

$$E_s = \frac{A c}{E} \int \sigma^2 dt$$

여기서 E_s = energy in a strain wave in the rod

E = Young's modulus of the rod

A = cross sectional area of the rod

c = longitudinal wave velocity of sound

σ = stress wave which traverses the rod

표 3은 두종의 시제품에 대하여 미국 건설장비 제조협회의 규정에 따라 1MHz 단위로 측정하여 시험한 결과를 설계값과 함께 수록한 것이다. 시험결과 타격력은 1차 시제품에서는 목표값의 85%, 2차 시제품에서는 95%의 크기를 얻었다.

그림 3은 측정된 충격파와 이론해석에 의한 충격파를 동시에 표현한 것이다. 여기서 충격하중이 급격히 증가하고 급격히 감소할 때 그 크기가 상이하나 충격파의 전파유형은 매우 유사하여 모델해석과 시험이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

표 3. Test result of the trial hydraulic drills, Model SP-2 and SP-3J

variable	unit	Model SP-2		Model SP-3J	
		design value	test result	design value	test result
impact time	micro second	2 x 161	362	2 x 202	417
impact energy	Joul	240	201	270	284
blow per minute	BPM	3000	2740	3000 - 3600	3200
power	kW	12	10.20	16	15.17
test condition	percussion = 170-180 bar, feeding = 20-30 bar, rotation = 30 bar				

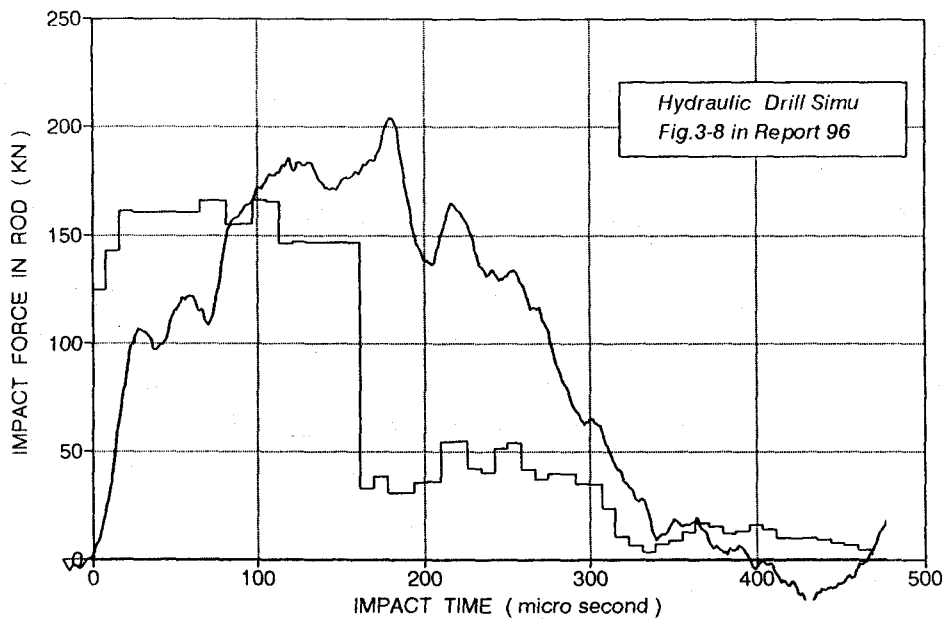


그림 3. Comparison of waveforms from computation and measurement

5. 결 언

점보드릴의 국산화개발은 참여기업의 어려움으로 인하여 중단되었으며, 새로운 참여기업의 발굴도 국가적 경제위기상황에서 성공하지 못하였다. 그러나 우리나라의 기술은 한번의 장착으로 단면적 $65m^2$ 를 천공할 수 있는 2-boom 시스템을 개발할 수 있는 능력을 확보하였다. 이는 수입품에 의존하고 있는 장비에 대하여 수입가격의 적정성과 원활한 운용에 큰 전환점이 될 것으로 판단된다.

연구의 핵심이 되는 유압착암기는 2단계로 설계 및 제작, 시험이 완수되어 시작품이 완성되었으며, 이의 기술을 이전할 기업도 발굴되어 기업화되고 있는 것은 본 연구의 큰 성과이다. 또한 굴착장비의 천공능력을 제시하는 타격력 측정기술도 확보되어 더 이상 외국의 시험에 의존하지 않는 능력을 갖추었다. 16kW 능력의 유압착암기가 생산되었을 때 예상판매량은 연간 50-200대에 이르며, 이는 수십억원의 외화절감 효과를 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 박 철환 외, 1998, "한국형 Jumbo Drilling M/C 개발연구 최종보고서", 통산산업부
2. 박 철환, 1987, "충격식 착암기의 천공속도와 암석파쇄에 관한 연구", 공학박사학위논문
3. 미국 건설장비 제조협회, 1996, "Measuring guide for tool energy rating for hydraulic breakers"
4. McCloy D. and Martin H. R., 1980, "Control of Fluid Power", John Wiley & Sons
5. 이 교일 외, 1992, "건설 중장비용 핵심유압부품(공유압식 브레이커의 작동밸브설계제작) 기술개발에 관한 연구", 상공부