

다구찌 기법을 이용한 Down-the-Hole Hammer의 타격성능 최적화에 관한 연구

신 대 영*† · 송 창 현*

* 한국생산기술연구원

Performance Optimization of Down-the-Hole Hammer Using Taguchi Method

Dae Young Shin*† and Chang Heon Song*

* Korea Institute of Industrial Technology

(Received June 21, 2011 ; Revised November 14, 2011 ; Accepted November 16, 2011)

Key Words: Down-the-Hole Drilling(하향천공), Down-the-Hole Hammer(하향천공햄머), Pneumatic Hammer(공압 햄머), Taguchi Method(다구찌 기법)

초록: 현재 천공장비 및 천공방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있지만 DTH hammer의 타격성능을 규명하고 최적화에 대한 연구는 전무하다. 또한 DTH drilling의 시험 장비를 구축하기 위해서는 막대한 비용과 많은 시간이 요구되기 때문에 성능규명에 있어 시험적으로 접근하기가 매우 곤란한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 DTH hammer의 구동원리를 파악 후 공압 해석을 이용하여 구동 특성 및 성능을 규명하였다. 또한 실험계획법을 이용하여 DTH hammer의 성능에 영향력이 있는 설계인자를 도출하고 이를 다구찌 기법에 적용해 DTH hammer의 타격성능인 타격수와 타격에너지의 최적화에 대한 연구를 수행하였다.

Abstract: There are a number of studies concentrating on drilling equipment and drilling methods, but none investigates the impact performance and optimization of DTH (down-the-hole) drilling. It is very difficult to experimentally evaluate the performance of a DTH hammer, because putting together an experimental setup for DTH drilling requires a great deal of money and time. Therefore, this paper examines the characteristics and performance of DTH hammers through pneumatic simulation after a thorough investigation of their working mechanism. In addition, the parameters linked to the performance of DTH hammers were selected using the design-of-experiment method, and then the optimization of performance factors, which are the impact rate and impact energy, was investigated using Taguchi method.

1. 서 론

세계적으로 광산기계산업의 지속적인 성장으로 천공장비에 대한 관심이 늘고 있으며 Down-the-Hole 천공 방식에 이목이 집중되고 있다.

동력원으로 압축공기를 이용하는 DTH hammer는 타격을 가하는 Hammer가 시추공 방향으로 진행하며 천공작업을 수행하는 장비로서 자원채굴, 터널 및 지하광산 등 여러 분야에 사용된다. 일

반적으로 DTH 천공 방식은 압축공기에 의하여 유도되는 피스톤의 타격과 Rotary head에 의한 회전운동을 이용하는데, 이때 피스톤이 비트를 타격하는 시점의 피스톤 속도는 암반 및 지반을 파쇄하는 타격에너지로 해석할 수 있다. 하지만 천공 깊이가 깊어질수록 공기압 손실로 인해 타격수 및 타격에너지의 감소가 발생된다. 따라서 천공장비인 DTH hammer의 성능 규명과 타격성능의 최적화에 대한 연구가 절실히 요구된다.

현재 국내·외 천공장비 및 천공방식에 대한 연구 내용을 살펴보면 여러 암질에 따른 DTH 타격시스템의 특성을 시뮬레이션과 수치해석을 통해

† Corresponding Author, dyshin@kitech.re.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

규명한 연구,⁽¹⁾ DTH rock drilling에 설계변수를 선정하고 충격량-운동량 정리를 기반으로 수치해석을 수행한 연구,⁽²⁾ 유압식 착암기에 천공메커니즘을 고려해 천공변수를 선정하고 이들의 상관관계를 분석한 연구⁽³⁾ 등 많은 연구들이 수행되었다. 하지만 DTH hammer의 타격성을 규명하고 성능 최적화에 대한 연구는 전무한 상태이다. 이에 더불어 DTH 천공방식의 시험 장비를 구축하기 위해서는 막대한 비용과 많은 시간이 요구되기 때문에 성능규명에 있어 시험적으로 접근하기가 매우 곤란한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 공압 해석을 통해 현재 상태의 타격성을 규명하고, 최적화에 대한 연구를 진행하여 구조분석에서 성능에 대한 최적조건을 제시하였다. 일반적으로 타격식 착암기의 성능 향상을 위해 설계 치수를 확대하면 장비가 필요이상으로 커지거나 구조적으로 취약부위가 발생 할 수 있다. 이러한 문제를 회피하기 위해 실험계획법의 스크리닝 설계법을 이용하여 DTH hammer의 전체 크기는 유지하면서 변경이 용의한 설계인자를 도출하였고, 도출한 설계인자를 다구찌 기법에 적용해 성능 최적화를 진행하였다.

최적화 결과, 타격수와 타격에너지는 각각 5.2%, 16.2% 증가하였다. 또한 DTH hammer의 성능개선과 본 연구의 검증 및 타당성을 위해서는 향후 추가적인 특성 시험이 요구된다.

2. DTH hammer의 구조 및 작동 과정

2.1 DTH hammer의 구조

DTH hammer는 Fig. 1과 같이 Rotary head에 장착되는 Top sub, 공기압축기로부터 토출되는 압축공기의 흐름을 결정하는 Check valve와 Rigid valve, 왕복운동을 하면서 타격을 가하는 Piston, 암석 및 지반에 천공 작업을 가능케 하는 Button bit등으로 구성이 되어있다.

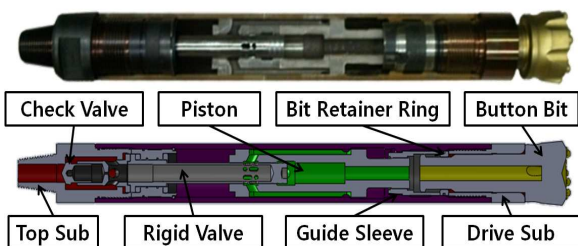


Fig. 1 Down The Hole hammer

2.2 DTH hammer의 작동 과정

DTH hammer는 공기 압축기에서 토출되는 압축공기의 공압에너지를 피스톤의 운동에너지로 변환하고, 비트를 통해 변환된 운동에너지와 회전을 이용해 대상물을 천공하는 장비이다.

Fig. 2를 참고로 구성된 부품별로 작동과정을 분석하면 챔버 V_{10} 과 V_{20} 을 통해 유입되는 압축공기로 인해 V_{30} 에 압력이 형성되고 피스톤의 단면적 A_p^2 에 작용하는 압력으로 피스톤은 좌측으로 이동하게 된다. 피스톤의 이동이 계속되어 오리피스 개구 면적 A_{24} 와 Rigid valve가 유로를 형성하면 피스톤은 동작을 멈추게 되고, 압축공기는 V_{40} 에 유입되어 고압을 형성하게 된다. 이때, V_{30} 에 형성되었던 공압은 비트를 통해 외부로 배출이 되어 V_{30} 은 대기압 상태가 되기 때문에 V_{30} 은 V_{40} 보다 상대적으로 저압상태가 된다.

결과적으로 A_p^1 에 작용하는 압력과 피스톤의 자중에 의해 피스톤은 우측으로 이동하여 비트 타격하게 된다. 이러한 반복행정으로 DTH hammer는 작동이 된다.

3. 공압 해석

3.1 공압 해석 모델링

본 연구에서는 압축 공기를 이용하는 DTH hammer의 3차원 측정을 통해 공압 해석 모델링을 수립

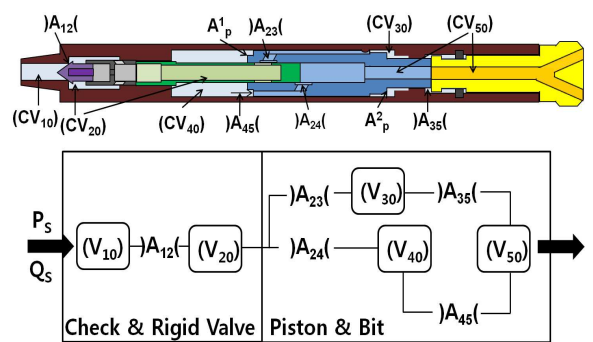


Fig. 2 Schematic of DTH hammer

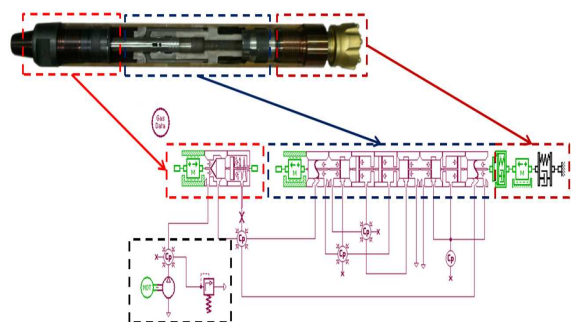


Fig. 3 Modeling of pneumatic circuit

하였다. 완성된 모델링은 Fig. 3과 같으며 Table 1과 같은 실제 작동 조건을 적용하였다.

Table 1 Driving conditions of DTH hammer

Supply pressure [bar]	Supply flow rate [cfm]
25	750

Table 2 Pneumatic analyzed results

Impact rate [bpm]	Impact energy [J]
2500	600.3

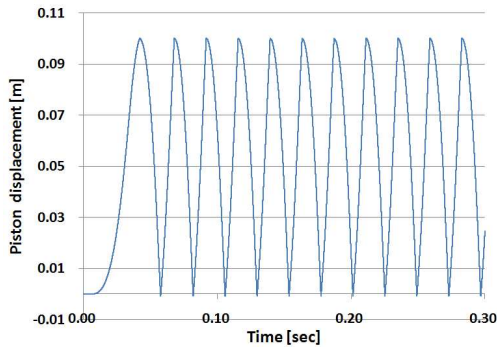


Fig. 4 Displacement of piston

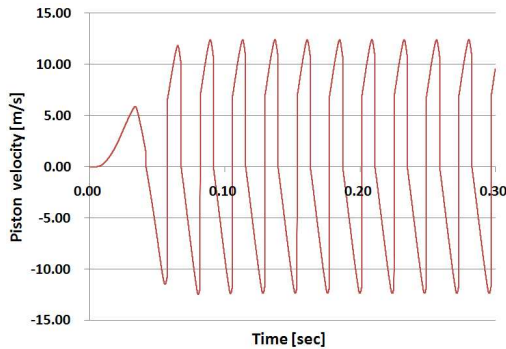


Fig. 5 Velocity of piston

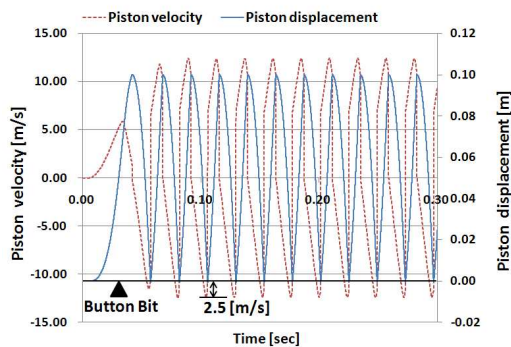


Fig. 6 Impact performance of DTH hammer

DTH hammer의 공압 해석 결과는 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었으며, Fig. 4는 피스톤의 운동 및 타격주기를 나타내고 있으며, Fig. 5는 피스톤이 비트를 타격할 때, 피스톤의 속도를 나타낸다. 타격수의 계산은 안정화 구간인 0.2[sec]~ 0.25[sec] 사이의 타격주기로 계산되었다.

다음 Fig. 6을 보면 타격 시에 약 2.5[m/s]의 감속이 일어나는 것을 확인할 수 있는데, 이는 피스톤이 하강할 때 CV₃₀에서 공기의 단열압축이 발생한다. 따라서 타격에너지는 타격직전의 피스톤의 속도를 이용해 계산하였다.

공압 해석을 통해 얻은 DTH hammer의 타격수 및 타격에너지는 Table 2에 나타내었다.

4. 타격성능 최적화

4.1 스크리닝 설계법

본 연구에서는 DTH hammer의 타격성능인 타격수와 타격에너지에 영향을 주는 중요설계인자의 효율적인 식별을 위해 스크리닝 설계법을 수행하였다. 스크리닝 설계법으로 많이 쓰이는 실험계획법은 2수준 완전요인설계법, 부분배치법, Plackette-Burman법 등이 사용되어지고 있다.

본 연구에서는 가공성과 장비의 크기 및 외관형상 비롯해 내구성에 영향을 미치지 않는 설계인자를 Table 3과 같이 선정하였으며, 설계인자의 영향력의 판단을 위해 기존의 제원에서 10% 변동된 수치를 적용해 9인자 3수준의 부분배치법을 이용하였다.

DTH hammer의 타격성능에 대한 설계인자의 영향력을 확인하기 위해 분산분석을 수행하였다. Table 4 및 Table 5에 나타난 분산분석 결과를 보면 유의수준 95%에서 타격수에 대한 유의한 설계인자는 B, C, D, G로 타격수에 영향을 미치는 반면 A, E, F, H, I는 영향을 미치지 못하였다. 또한 타격에너지에 대해 유의한 설계인자는 B, C, G로 타격에너지에 영향을 미치는 반면 A, D, E, F, H, I는 영향을 미치지 못하였다.

DTH hammer의 성능 최적화에 관한 모든 설계인자를 선별하였고, Table 6과 같이 앞 단계의 스크리닝 설계법을 통해 타격성능에 영향력이 있는 설계인자의 기여율을 비교 하였다. 비교 결과 타격수와 타격에너지 모두에 영향력이 있는 B, C, G를 주요 설계인자로 확정하고 이를 다구찌 기법에 적용하여 성능 최적화를 진행하였다.

Table 3 Level of design factors

Design factor		Level 1	Level 2	Level3
A	하단 언더랩[mm]	53.1	59.0	64.9
B	상단 언더랩[mm]	27.9	30.9	34.9
C	설정압[mm]	22.5	25.0	27.5
D	공급 유량[cfm]	675	750	825
E	상단 체적[m ³]	0.618	0.687	0.756
F	하단 체적[m ³]	0.286	0.318	0.35
G	행정 거리[cm]	9.0	10.0	11.0
H	top sub. 홀 직경[mm]	27.9	31.0	34.1
I	스프링 초기 압축력[N]	1.43	1.59	1.70

Table 4 Analysis of variance of impact rate

타격수에 대한 분산 분석 (검정을 위해 수정된 제곱합을 사용)							
출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
A	2	1109	1109	555	2.89	0.113	
B	2	2110	2110	1055	5.51	0.031	
C	2	179026	179026	89513	467.14	0.000	
D	2	10550	10550	5275	27.53	0.000	
E	2	159	159	79	0.41	0.674	
F	2	277	277	138	0.72	0.515	
G	2	172592	172592	86296	450.35	0.000	
H	2	171	171	85	0.45	0.655	
I	2	303	303	151	0.79	0.486	
오차	8	1533	1533	192			
전체	26	367829					

S = 13.8427 R-제곱 = 99.58% R-제곱(수정) = 98.65%

Table 5 Analysis of variance of impact energy

타격에너지에 대한 분산 분석 (검정을 위해 수정된 제곱합을 사용)							
출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
A	2	848	848	424	1.77	0.231	
B	2	5566	5566	2783	11.62	0.004	
C	2	52199	52199	26100	109.03	0.000	
D	2	998	998	499	2.08	0.187	
E	2	241	241	120	0.50	0.623	
F	2	394	394	197	0.82	0.473	
G	2	202524	202524	101262	423.00	0.000	
H	2	1954	1954	977	4.08	0.060	
I	2	302	302	151	0.63	0.557	
오차	8	1915	1915	239			
전체	26	266940					

S = 15.4722 R-제곱 = 99.28% R-제곱(수정) = 97.67%

Table 6 Contribution ratio of design factors

Design factor	Impact rate	Impact energy
A	하단 언더랩	-
B	상단 언더랩	0.6%
C	설정압	48.7%
D	공급 유량[cfm]	2.9%
E	상단 체적	-
F	하단 체적	-
G	행정 거리	46.9%
H	Top. sub 홀 직경	-
I	스프링 초기 압축력	-

* (-)유의하지 않은 설계 인자

Table 7 Level of design factors

Optimum factor		Level				
		1	2	3	4	5
A	Pressure	22.5	23.8	25.0	26.3	27.5
B	Stroke	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0
C	Underlap	27.9	29.4	30.9	32.5	34.0

Table 8 Selecting of noise factors

Noise factor	N1	N2
	10 % Pressure increase	10 % Pressure decrease

4.2 다구찌 기법

DTH hammer의 성능인 타격수와 타격에너지의 성능 최적화에 대한 설계인자로는 Table 7과 같이 스크리닝 설계법을 통해 얻은 상단언더랩, 설정압, 행정거리등 3가지로 선정하였고, 분석의 비선형성과 오차를 고려해 설계인자의 수준을 5수준으로 선정하였다.

● 잡음인자 선정

DTH hammer는 공기 압축기에서 유도되는 압축공기에 의해 작동되기 때문에 잡음의 원인을 공기 압축기의 성능변동으로 선정하였다. 공기 압축기의 대표적인 성능에는 토출되는 압력과 유량인데, 스크리닝 분석 결과, 유량은 타격성능 중 타격에너지에 대한 영향력이 없기 때문에 잡음인자로는 Table 8과 같이 압력의 변동만을 고려하였다.

● 타격수

Table 9의 직교배열표 상의 각 설계인자와 수준의 조합에 따라 25개의 모델을 해석 하였을 때, DTH hammer의 각 수준의 조합에 따른 타격수의 SN비를 나타내고 있다. 이때 타격수는 망대 특성으로 SN비를 계산하였다.

다음 Fig. 7은 타격수에 대한 SN비의 주효과를 나타내고 있으며, A(설정압)는 5수준, B(행정거리)와 C(상단언더랩)는 모두 1수준이 최적 조건으로 분석 되었다. 또한 Table 10에 나타낸 SN비의 분산분석 결과를 통해 기여율을 계산하면 타격수에 가장 영향을 미치는 설계인자 A와 B의 기여율은 각각 49.8%와 49.5%로 절대적인 영향을 미

Table 9 Orthogonal arrays and analysis results of impact rate

No.	A	B	C	Impact rate		
				N1	N2	SN ratio
1	22.5	9.0	27.9	2622.4	2402.9	67.9778
2	22.5	9.5	29.4	2560.8	2346.5	67.7714
3	22.5	10.0	30.9	2500.0	2290.1	67.5613
4	22.5	10.5	32.5	2440.0	2233.0	67.3457
5	22.5	11.0	34.0	2383.8	2177.9	67.1354
6	23.8	9.0	29.4	2681.0	2454.0	68.1647
7	23.8	9.5	30.9	2617.8	2400.0	67.9651
8	23.8	10.0	32.5	2556.5	2340.1	67.7518
9	23.8	10.5	34.0	2496.9	2280.5	67.5365
10	23.8	11.0	27.9	2461.0	2248.9	67.4132
11	25.0	9.0	30.9	2732.2	2500.0	68.3274
12	25.0	9.5	32.5	2661.9	2436.1	68.1018
13	25.0	10.0	34.0	2604.2	2382.8	67.9105
14	25.0	10.5	27.9	2571.8	2350.2	67.7958
15	25.0	11.0	29.4	2510.5	2289.2	67.576
16	26.3	9.0	32.5	2785.5	2549.9	68.4973
17	26.3	9.5	34.0	2718.6	2488.6	68.2861
18	26.3	10.0	27.9	2690.6	2461.0	68.1924
19	26.3	10.5	29.4	2628.1	2401.9	67.9844
20	26.3	11.0	30.9	2561.9	2337.4	67.7547
21	27.5	9.0	34.0	2835.5	2589.6	68.6408
22	27.5	9.5	27.9	2805.0	2567.4	68.5573
23	27.5	10.0	29.4	2737.2	2505.2	68.3445
24	27.5	10.5	30.9	2671.4	2452.0	68.1467
25	27.5	11.0	32.5	2606.4	2385.7	67.9196

Table 11 Orthogonal arrays and analysis results of impact energy

No.	A	B	C	Impact energy		
				N1	N2	SN ratio
1	22.5	9.0	27.9	511.3	414.0	53.1608
2	22.5	9.5	29.4	553.9	448.0	53.8496
3	22.5	10.0	30.9	596.2	483.3	54.5002
4	22.5	10.5	32.5	636.8	517.0	55.0813
5	22.5	11.0	34.0	678.7	551.0	55.6343
6	23.8	9.0	29.4	525.7	425.2	53.3956
7	23.8	9.5	30.9	569.8	461.4	54.1018
8	23.8	10.0	32.5	614.7	497.2	54.755
9	23.8	10.5	34.0	658.1	532.4	55.3486
10	23.8	11.0	27.9	784.2	634.7	56.8731
11	25.0	9.0	30.9	536.3	433.9	53.5706
12	25.0	9.5	32.5	581.9	472.3	54.2962
13	25.0	10.0	34.0	629.4	509.4	54.9635
14	25.0	10.5	27.9	762.0	617.9	56.6338
15	25.0	11.0	29.4	807.9	654.9	57.1401
16	26.3	9.0	32.5	546.0	442.6	53.7377
17	26.3	9.5	34.0	595.1	482.3	54.4844
18	26.3	10.0	27.9	734.5	596.2	56.3195
19	26.3	10.5	29.4	784.2	637.8	56.8992
20	26.3	11.0	30.9	833.1	676.5	57.4164
21	27.5	9.0	34.0	554.9	447.1	53.8453
22	27.5	9.5	27.9	700.8	568.8	55.9116
23	27.5	10.0	29.4	751.6	610.6	56.5243
24	27.5	10.5	30.9	801.9	652.8	57.0974
25	27.5	11.0	32.5	853.8	694.1	57.6355

Table 10 Analysis of variance for S/N ratio of impact rate

타격수	SNRA1	대한	분산	분석	(검정을 위해 수정된 제곱합을 사용)	
출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	4	1.81303	1.81303	0.45326	7559.63	0.000
B	4	1.80219	1.80219	0.45055	7514.40	0.000
C	4	0.02344	0.02344	0.00586	97.75	0.000
오차	12	0.00072	0.00072	0.00006		
전체	24	3.63938				

S = 0.00774324 R-제곱 = 99.98% R-제곱(수정) = 99.96%

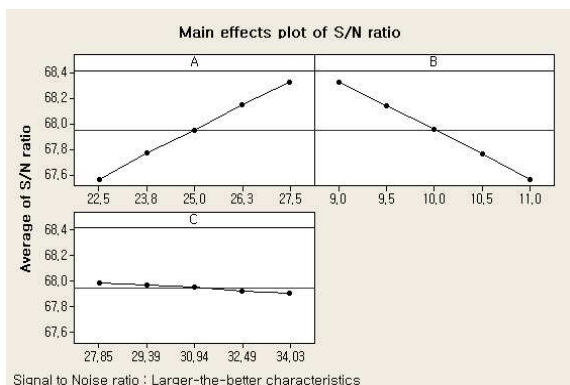


Fig. 7 Main effects plot of S/N ratio for impact rate

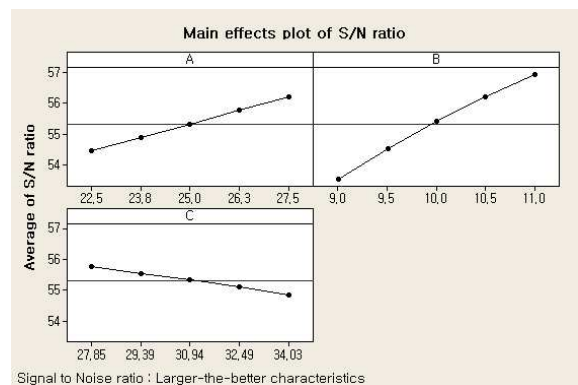


Fig. 8 Main effects plot of S/N ratio for impact energy

치는 반면에 설계인자 C는 기여율이 0.6%로 상대적으로 적은 영향을 미치고 있다.

● 타격에너지

Table 11의 직교배열표 상의 각 설계인자와 수준에 따라 25개의 모델을 해석 하였다. 이때 타격에너지 또한 망대 특성으로 SN비를 계산하였다.

Table 12 Analysis of variance of S/N ratio for impact energy

출처	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	4	9.6443	9.6443	2.4111	737.98	0.000
B	4	36.0770	36.0770	9.0193	2760.60	0.000
C	4	2.6691	2.6691	0.6673	204.24	0.000
오차	12	0.0392	0.0392	0.0033		
전체	24	48.4296				

S = 0.0571589 R-제곱 = 99.92% R-제곱(수정) = 99.84%

Table 13 Optimum level of design factors

Factor		Optimum level
A	Pressure	5
B	Stroke	3
C	Underlap	1

Table 14 Comparison of S/N ratio

	Impact rate	Impact energy
Original model	68.0 [dB]	55.4 [dB]
Optimized model	68.4 [dB]	56.7 [dB]
ΔdB	0.4 [dB]	1.3 [dB]

Fig. 8은 타격에너지에 대한 SN비의 주효과를 나타내고 있으며, 설계인자 A(설정압)와 B(행정거리)의 수준은 5수준, C(상단언더랩)는 1수준이 최적 조건이며 타격에너지에 상대적으로 많은 영향을 미치는 설계인자는 A와 B이고 C가 미치는 영향은 미비하였다. 또한 Table 12에 나타낸 SN비의 분산분석 결과를 통해 기여율을 계산하면 A와 B의 기여율은 각각 19.9%와 74.5%로 절대적인 영향을 미치는 반면에 C는 기여율이 5.5%로 상대적으로 적은 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

● 타격성능 최적화 결과

DTH hammer의 타격성능인 타격수와 타격에너지의 증가는 A(설정압)와 B(행정거리)에 따라 바뀌는데, 타격수를 증가시키기 위해 행정거리를 1수준으로 선정하게 되면 타격에너지의 감소가 불가피하게 되고 행정거리를 5수준으로 선정하면 타격에너지의 증가를 기대해볼 수 있으나 타격수의 감소가 발생한다.

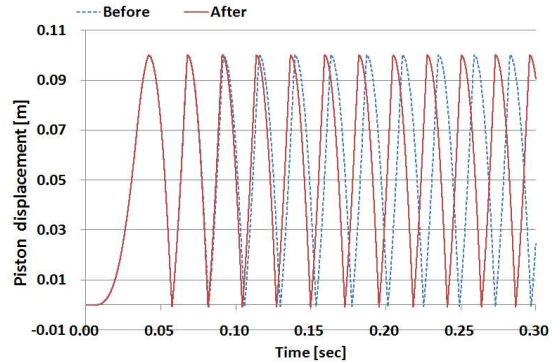


Fig. 9 Displacement of optimized piston

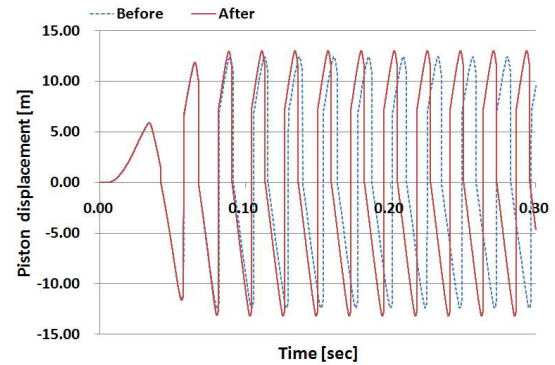


Fig. 10 Velocity of optimized piston

일반적으로 유압브레이커를 비롯한 타격식 착암기는 구조상 타격수가 증가(또는 감소)하면 타격에너지는 감소(또는 증가)하는 모순된 관계가 있다는 것을 알 수 있는데, 이는 피스톤의 행정거리에 따라 피스톤의 운동량의 증가 혹은 감소 때문이라고 판단된다.

본 연구에서는 DTH hammer의 타격성능인 타격수와 타격에너지의 최적이 목적이기 때문에 인자간의 조율을 통해 기여율이 낮은 모든 설계인자는 기존의 상태를 유지하고 Table 13과 같이 최적의 설계인자의 수준 조합을 도출하였다.

Table 14는 DTH hammer 타격성능 향상을 위한 최적의 설계인자의 수준인 A는 5수준, B는 3수준, C는 1수준에서 예측되는 SN비와 기존 설계치의 SN비를 나타내었다. 기존 설계에서 타격수의 SN비는 68.0[dB], 타격에너지의 SN비는 55.4[dB]였지만, 최적화 후 타격수와 타격에너지의 SN비는 각각 68.4[dB]와 56.7[dB]로 타격수는 기존에서 0.4[dB], 타격에너지는 1.3[dB]의 개선효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Table 15 Performance optimization of DTH hammer

	Impact rate	Impact energy
Original model	2500 [bpm]	600.3 [J]
Optimized model	2630 [bpm]	697.4 [J]
Improvement ratio	5.2%	16.2%

● 최적화 모델 검증

최적화된 설계인자의 타당성을 검증하기 위해 DTH hammer의 공압 해석을 다시 수행하였다.

Fig. 9와 Fig. 10은 최적화 후의 피스톤 변위 및 속도에 대한 동특성을 기존설계와 비교하여 나타내고 있다.

피스톤의 타격주기는 기존 23.93[msec]에서 최적화 후 22.81[msec]로 단축되었고, 타격 속도는 11.68[m/s]에서 12.59[m/s]로 증가하였다.

해석 결과를 정리한 Table 15를 보면 타격수는 2500[bpm]에서 2630[bpm]으로 증가하여 5.2%의 개선 효과를 가져왔고, 타격에너지 또한 기존 600.3[J]에서 최적화 후 697.4[J]로 증가해 16.2%의 개선 효과를 가져왔다. 따라서 DTH hammer의 전체크기는 유지하면서 타격수와 타격에너지의 최적 성능을 확보할 수 있을 것이라 예상된다.

5. 결 론

DTH drilling의 시험 장비를 구축하기 위해서는 막대한 비용과 많은 시간이 요구되기 때문에 DTH hammer의 타격성능 규명에 있어 시험적으로 접근하기가 매우 곤란한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 천공장비인 DTH hammer의 작동 원리 파악하고 공압 해석을 실시해 DTH hammer의 공압적 특성을 규명하고, 타격성능에 영향력이 있는 설계인자의 도출과 도출된 설계인자를 다구찌 기법에 적용해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 공압 해석 결과를 바탕으로 타격성능 최적화를 수행한 결과 설정압 27.5[bar], 행정거리 10.0[cm], 상단 언더랩 27.9[mm]에서 타격수는 2500[bpm]에서 2630[bpm]으로 증가하였고, 타격에너지 또한 600.3[J]에서 697.4[J]로 증가하였다.

(2) DTH hammer의 타격성능에 절대적인 영향

을 미치는 설계인자는 설정압과 행정거리를 확인하였다.

(3) 다구찌 기법을 통해 찾아낸 최적의 성능은 기존설계와 비교하였을 때, 타격수는 5.2%, 타격에너지는 16.2%까지 증가시키는 성능개선의 효과가 있음을 확인하였다.

(4) 다구찌 분석 결과 비선형성을 고려해 수준을 5수준으로 선정하였으나, 수준의 변화에 따라 타격성능이 선형적으로 증가 혹은 감소됨을 확인할 수 있었다. 따라서 설계인자의 수준을 낮춰 실험계획법을 사용한다면 실제 DTH hammer의 설계비용을 감소시킬 수 있다고 판단된다.

본 연구에서 제시한 해석 결과는 DTH hammer의 성능을 미리 예측할 수 있는 중요한 자료가 될 것으로 판단되며, 연구의 검증 및 타당성을 위해서는 향후 추가적인 특성 시험이 요구된다.

참고문헌

- (1) Bu, C., Qu, Y., Cheng, Z. and Liu, B., 2009., "Numerical Simulation of Impact on Pneumatic DTH Hammer Percussive Drilling," *Journal of Earth Science*, Vol. 20, No. 5, pp.868-878.
- (2) Chiang, L. E. and Elias, D. A., 2000, "Modeling Impact in Down-The-Hole Rock Drilling," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37, pp.599-613.
- (3) Kim, K. Y., Kim, C. Y. and Kim, K. S., 2008, "Assessment of Hydraulic Drilling Data on Homogeneous Rock Mass," *Journal of the Korea Society for Rock Mechanics, Tunnel & Underground Space*, Vol. 18, No. 6, pp.480-490.
- (4) Kim, K. Y., Kim, C. Y. and Kim, K. S., 2008, "Assessment of Hydraulic Drilling Data on Homogeneous Rock Mass," *Journal of the Korea Society for Rock Mechanics, Tunnel & Underground Space*, Vol. 18, No. 6, pp.480-490.
- (5) Markku, T., 2006, "Surface Drilling in Open Pit Mining" : Atlascopco, First edition
- (6) Lars, B., 2008., "Mining Method in Underground Mining" : Atlascopco, Third edition
- (7) Yang, H. S., Doo, J. K., Cho, S. H. and Kim, W. B., 2003, "Numerical Analysis on Controlled Tunnel Blasting by Deck Change," *Journal of the*

- Korea Society for Rock Mechanics, Tunnel & Underground Space*, Vol. 13, No. 5, pp.403~411.
- (8) Shin, D. Y., Kwon, K. B., Yang, H., J. and Nam, K., S., 2009, "A Study on the Performance Optimization of the Hydraulic Breaker," *Proceedings of the KSME 2009 Fall Annual Meeting*, pp. 1325~1330.
- (9) Shin, D. Y. and Kwon, K. B., 2010, "Optimum Design for Main Frame of Mini Loader Using FEM and Taguchi Method," *Proceedings of the KSPE 2010 Autumn Conference*, pp.605~606.