

# 8인치급 다운더홀(DTH) 해머의 모델링 및 설계 인자에 따른 영향도 분석 Analysis of the Influence of the Design Factors and Modeling for the 8inch Class Down-the-Hole Hammer

이충노<sup>1</sup> · 홍기창<sup>1</sup> · 정헌술<sup>1\*</sup>

Chung No Lee, Ki Chang Hong and Heon Sul Jeong

Received: 25 Sep. 2017, Accepted: 28 Nov. 2017

**Key Words** : Down-the-Hole hammer(하향천공 해머), Pneumatic hammer(공압 해머), Rock Drill(암반 드릴), BPM(분당 타격수), Strike force(타격력), ANalysis Of VAriance (분산분석)

**Abstract:** The Down-the-Hole hammer is one of the pneumatic drill equipment used for grinding, drilling, and mining. One the advantages of which is that a reduction work efficiency at deep site are relatively small compared to other drilling methods. Due to the large vibration in the underground area, it is difficult to measure the performance of the hammer, and hammer testing requires substantial production cost and operating expenses so research on the development of the hammer is insufficient. Therefore, this study has developed a dynamic simulation model that apprehends the operating principles of an 8-inch DTH hammer and calculates performance data such as performance impact force, piston speed, and BPM. By using the simulation model, design factors related to strike force and BPM were selected, and the influence of each design factors on performance was analyzed through ANOVA analysis. As a result, be the most important for BPM and the strike force are position of upper port that push the piston in the direction of the bit and in BPM, the size of the empty space between the bits and the piston is the second most important design factor.

## 기호 설명

$E_n$  : strike force,  $J$

$W$  : out put,  $J/s$

$M_{pis}$  : piston mass,  $kg$

$V_{pis}$  : piston velocity,  $m/s$

$Q_{in}$  : supply flow rate,  $cfm$

$T_{in}$  : supply Temperature,  $^{\circ}C$

BPM : bit per minute,  $N/min$

$P_{in}$  : supply pressure,  $bar$

$V_T$  : top chamber volume,  $mm^3$

$V_L$  : lower chamber volume,  $mm^3$

$D_r$  : piston rod diameter,  $mm$

$U_U$  : upper port underlap,  $mm$

$U_L$  : lower port underlap,  $mm$

$U_D$  : distributor underlap,  $mm$

$K_{eq}$  : equivalent spring constant

$A$  : bedrock surface,  $mm^2$

$E$  : elastic modulus,  $Mpa$

$L$  : bedrock height,  $mm$

$M$  : bedrock weight,  $kg$

$\gamma$  : damping coefficient

$z$  : damping ratio

\* Corresponding author: hsjeong@kunsan.ac.kr

1 Construction Machinery Engineering, Kunsan University, Kunsan, Korea

Copyright © 2017, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서 론

DTH(Down The Hole) 해머와 같은 천공장비는 대,

소규모 기초공사, 시추 작업, 채광 등 다양한 곳에서 사용되고 있다. 천공장비는 타격 및 구동 방식에 따라 대표적으로 상단 타격 방식(Top), 하향 천공 방식(Down the hole), 회전 천공 방식(Rotary drilling) 3가지 형식으로 나누어지며, 이에 관한 특징이 Fig.1에 나타나 있다.<sup>1)</sup> 상단 타격 방식은 해머를 회전시키며 해머의 가장 최상단을 타격하여 충격 에너지가 체결부를 통해 암반까지 전달하여 천공하는 방식이다. 회전 천공 방식은 회전장치 상단 부분이 위, 아래로 움직이며 유압이나 전기모터의 변속장치를 통해 회전하면서 해머에 에너지를 전달하여 천공하므로 비트(bit)의 윗부분에 충분한 무게가 요구된다.<sup>1)</sup> 반면에 DTH 방식은 타격부가 암석에 직접 닿아 있는 구조로, 천공기 내부에서 타격에너지를 발생시켜 충격파를 암석에 전달한다. 따라서 상단 타격 방식보다 천공 깊이 증가에도 타격에너지 손실이 비교적 낮아 천공 깊이의 증가에도 같은 작업효율을 유지하여 고심도 작업에서 빠른 천공이 가능하여 관정 및 광물 채굴 목적으로 DTH 방식 사용이 증가하고 있다.<sup>2)</sup> 현재 DTH 해머의 대표적 연구로는 실제 실험 데이터를 기반으로 실험계획법을 이용하여 DTH 해머 최적화 개발한 연구<sup>3)</sup>, 스크리닝 설계법을 이용하여 DTH 해머의 유의한 설계 인자를 찾아낸 뒤 다구찌 기법을 이용하여 타격 성능 최적화를 진행한 연구<sup>4)</sup>, DTH 해머의 부품의 강도와 여러 암반의 강도에 따른 해머의 성능 특성을 시뮬레이션을 이용하여 해석한 연구<sup>5)</sup>, DTH 해머의 설계 인자를 선정하고 충격량과 운동량을 기반으로 수치 해석한 연구<sup>6)</sup> 등이 있다. 하지만 천공을 위한 타격부가 지하 수십~수백 미터 아래에 위치하고, 내부에 고압의 공압이 흐르며, 타격 시 회전과 함께 높은 충격에너지와 진동이 발생하기 때문에 데이터를 측정하는데 어려움이 있다. 또한, 측정을 위해 DTH 장비를 운용해야 하므로 시간과 비용의 소모가 크다. 이러한 문제로 DTH 해머 성능을 향상시키기 위한 개발이 어려운 상황이다. 따라서 DTH 해머 최적화 개발의 기초로서 본 논문에서는 현재 개발된 8인치 규모 해머의 실험 데이터와 동특성 시뮬레이션을 개발하여 타격에너지와 분당 타격수 성능을 규명하고 성능과 밀접하게 연계된 설계 인자를 분산분석을 이용하여 각 설계 인자가 성능에 미치는 영향도 확인하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 모델링

본 논문에서는 모델링을 진행하기 위해 에버다임의 ROCKY08 8인치 DTH 해머의 제품 도면, 유압 회로도 등을 수집하여 모델 분석을 하였고, 이를 토대로 AMESim S/W를 이용하여 제품의 동특성 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

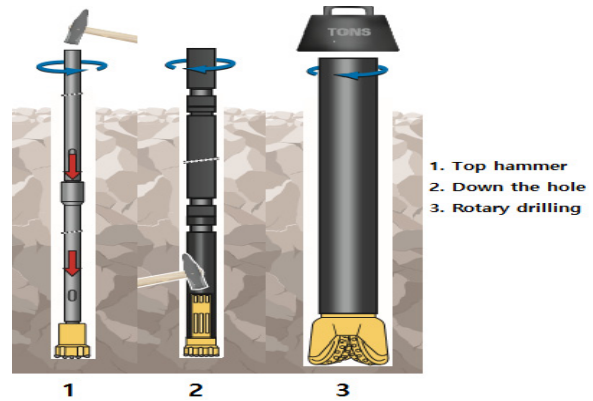


Fig. 1 Difference between drilling methods<sup>1)</sup>

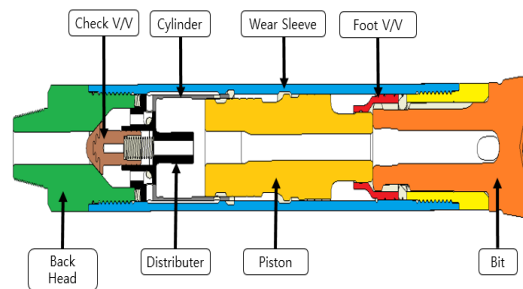


Fig. 2 Structure of DTH hammer<sup>7)</sup>

### 2.1 DTH 해머의 구조

DTH 해머의 구조와 동작 원리는 제조사 별로 차이가 있다. 본 논문에서는 에버다임의 8인치 해머의 도면을 제공받아 구조를 파악하였다. Fig.2의 가장 왼쪽부터 압축공기가 유입되는 입구(back head), 공기의 유동을 제어하는 분배기(distributer) 왕복운동을 하여 타격력을 만드는 피스톤(Piston), 공기의 유동을 제어하는 밸브(foot valve), 피스톤의 타격에너지를 전달하는 비트(bit) 그리고 이러한 부품을 보호하고 피스톤의 왕복운동을 안내하는 외피(wear sleeve)로 구성되어 있다.<sup>3)</sup>

### 2.2 DTH 해머의 작동원리

DTH 해머의 작동원리는 크게 4가지 과정으로 구분할 수 있으며 이 내용을 Fig.3에 표시하였다. Step

1에서는 피스톤이 비트와 접촉한 상태에서 해머의 뒤쪽 입구에서 고압의 공기가 유입되고  $V_{IN}$ 을 통해  $V_L$ 로 공급된다. 그러면, 피스톤 하단부에 압력이 상승하면서 피스톤이 상승한다. 그때 피스톤과 분배기가 서로 빠져 있어,  $V_T$ 의 공기는 비트의 가운데 유로를 통해 빠져나가게 된다. 피스톤이 상승하면서 어느 순간을 지나면 하단의 유로는 닫혀  $V_L$ 로 들어오는 공기는 차단된다.

Step 2에서는 하단 유로가 닫히더라도 피스톤은 관성에 의해 상승한다. 그로 인해 분배기와 피스톤 상단은 결합하여 비트의 가운데 유로를 통해 빠져나가는 공기는 차단된다. 또한 피스톤 하단은 밸브와의 결합이 해제되어  $V_L$ 와 비트의 가운데 유로가 서로 연결되어 공기가 빠져나가  $V_L$ 의 압력은 점차 감소한다. 이로 인하여 피스톤의 상승 속도도 점차 감소한다.

Step 3에서는 피스톤이 관성에 의해 계속 상승하면서 상단의 유로가 열려 해머의 입구로 들어온 고압의 공기가  $V_T$ 로 공급된다.  $V_T$ 는 압력이 상승하고  $V_L$ 는 압력이 감소함에 따라 피스톤은 상승을 멈추고 하강하기 시작한다.

Step 4에서 피스톤이 하강하게 되면 분배기와 피스톤의 결합이 해제된다. 그로 인해  $V_T$ 는 개방되어 압축된 공기가 가운데 유로를 따라 빠져나오게 되어 압력이 낮아진다. 또한, 피스톤 하단은 밸브와 결합되어  $V_L$ 는 밀폐되어 압력이 상승하게 된다. 따라서 피스톤의 하강속도는 점차 감소한다. 그러나 하강속도는 완전히 감소하지 않아 비트를 타격하게 되고 Step 1의 상태로 돌아가게 되어 다시 과정을 반복한다.

### 2.3 동특성 시뮬레이션 모델

에버다임의 8인치 ROCKY08 DTH 해머의 제품 도면을 통해 유압, 열, 공압, 유동 등 다양한 분야의 해석이 가능한 AMESim 프로그램을 이용하여 동특성 시뮬레이션 모델 개발을 진행하였다. 도면상의 수치를 측정하고 빈 공간의 체적을 구하는 과정은 Fig.4와 같이 측정하여 파라미터 입력을 완료 하였다. DTH 해머는 비트 및 암반의 특성에 따라 영향을 받는다. 동특성 시뮬레이션 모델에서 암반은 중경암으로 가정하여 탄성-감쇠 요소로 단순하게 나타내었다. 여기에 입력된 암반의 강성에 해당하는 값 탄성계수(E)는 220MPa<sup>1</sup>, 단면적은 비트(Bit)의 지름을 대입하였고, 길이는 1m로 가정하여 다음 식에 대입하여 등가 탄성 계수를 구하였다.

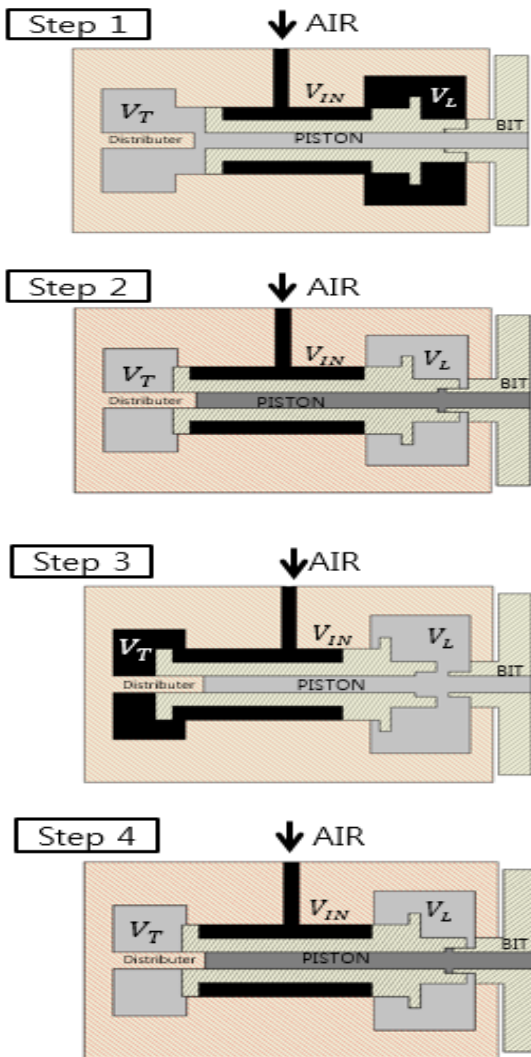


Fig. 3 Working principle of DTH hammer

$$K_{eq} = \frac{AE}{L} \quad (1)$$

그다음 등가 탄성 계수와 중경암의 밀도와 체적의 곱(M)을 아래 식에 대입하여 중경암의 감쇠 계수를 구하였다.

$$\gamma = 2z \sqrt{K_{eq}M} \quad (2)$$

분배기와 밸브는 작동원리에서 피스톤의 왕복운동으로 인해 유로의 개폐 제어만 하고 힘을 생성하거나 피스톤에 전달하지 않는다. 따라서 변위 측정 요소를 이용하여 피스톤의 이동 거리에 따라 유로가 개폐되도록 나타내었다. 피스톤과 닿는 부분의 마찰

부에는 누설이 있다고 가정하여 누설 요소를 사용하여 나타내고 도면에서 여유 치수 값을 입력하였다. DTH 해머는 공기 압축기에서 일정 유량의 공기를 지속해서 공급받기 때문에 일정한 온도의 공기를 공급한다는 가정으로 공기 압축기와 모터로 구성하였다. 공급되는 공기는 실제로는 공기와 같이 윤활유를 분사하여 공급하지만 동특성 시물레이션 모델에서는 실제 공기 요소를 사용하였다. 공기 압축기에서 해머 입구로 들어가는 연결부가 길수록 압력이 상승하는 시간과 해머가 안정화하는데 걸리는 시간이 길어지므로 1m로 가정하였다. 전체적으로 열교환이 없는 상태로 가정하였으며, 완성된 동특성 시물레이션 모델은 Fig. 5에 나타내었다. 시물레이션 결과 데이터는 해머가 안정화가 된 이후 4~5초 사이 데이터에서 결과를 얻었다.

동특성 시물레이션 모델의 중요한 초기 조건 및 타격에너지, 분당 타격수 결과는 Table 1에 정리하였다.

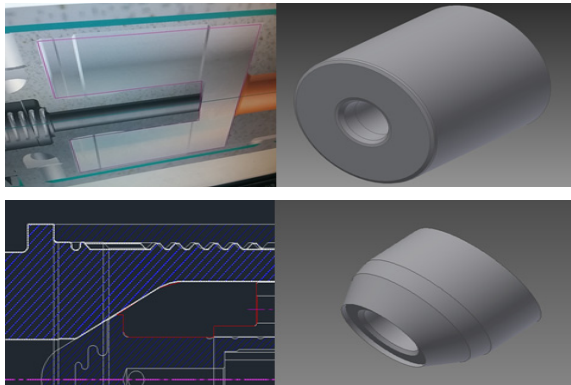


Fig. 4 Empty space volume calculation

Table 1 Initial condition

Parameter	Value	Unit
Simulation Time	5	sec
Sampling rate	0.0001	sec
$M_{pis}$	51.5	kg
$V_{pis}$	10.427	m/s
$Q_{in}$	1070	cfm
$T_{in}$	20	°C
$N$	1125	BPM
$E_n$	2799.6	J
$W$	52492.5	J/s

### 2.4 AMESim 모델 검증

동특성 시물레이션 모델 검증을 위해 같은 규격의 에바다임 8인치 해머 RK08 제품 도면과 실험 데이터를 받아 모델링 한 동특성 시물레이션 모델에 파라미터 입력 후 압력과 분당 타격수(N)을 비교 분석하였다. 압력은 Fig.6과 같이 그래프가 나왔으며, 분당 타격수는 Fig.7과 같이 피스톤의 이동거리를 분석하여 측정하였다. 종합적인 결과는 Table 2에 정리하였다. 결과를 보면 실험에서는 해머 입구로 들어오는 공기의 압력이 14.5bar로 측정되었지만 시물레이션에서는 그보다 높은 16.7~18.5bar 압력이 나왔다. 결과에 차이가 발생하는 원인은 실제 실험에서는 공기에 오일이 혼합 분사되어 공급되지만, 정확한 혼합량을 알지 못해 시물레이션에서는 공기만 공급되도록 조건을 간단하게 설정하였기 때문에 실제와 시물레이션의 공급되는 유체의 조건이 다르기 때문으로 판단된다.

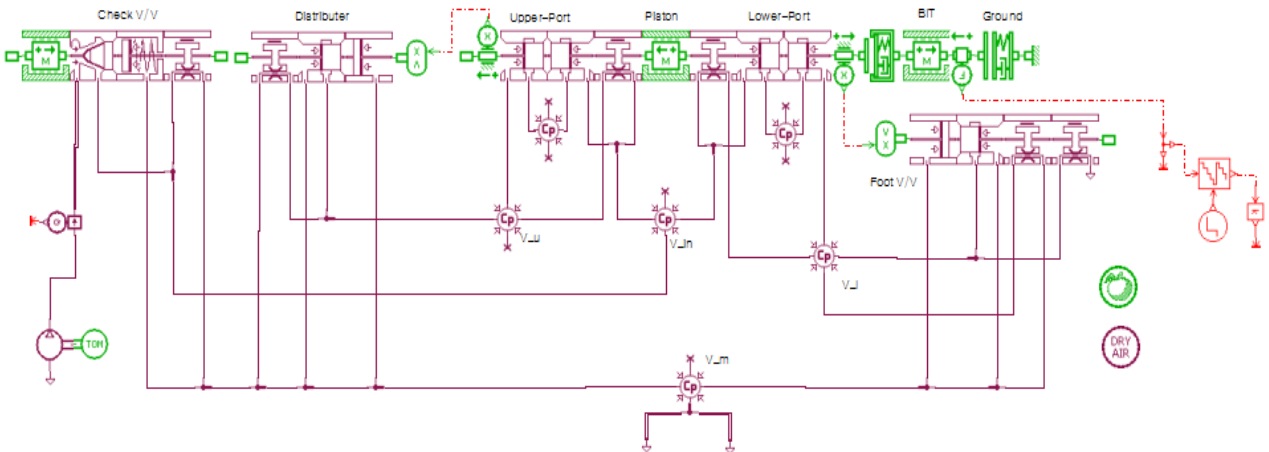


Fig. 5 DTH hammer simulation model

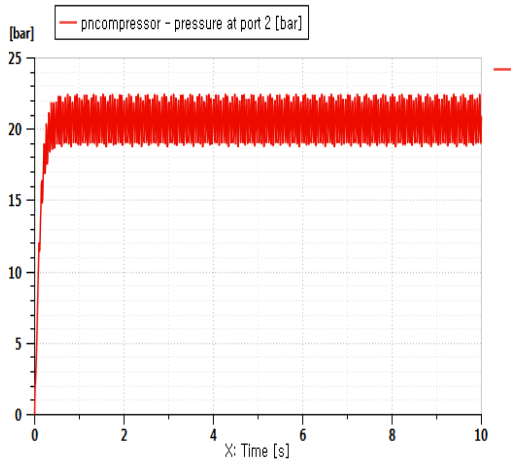


Fig. 6 DTH hammer input pressure

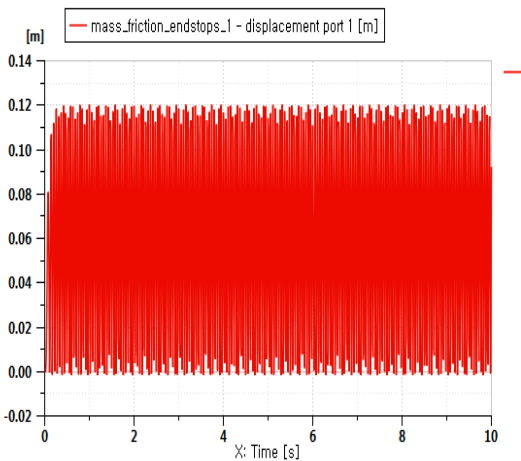


Fig. 7 DTH hammer piston displacement

Table 2 Simulation-Field Test result

Parameter	Unit	Simulation		Field Test
		Dry Air	Water Vapor	Air + Oil
$P_{in}$	bar	18.5	16.7	14.5
$N$	BPM	1255	1205	1050-1150

$$E_n = \frac{1}{2} M_{pis} V_{\pi s}^2 \quad [J] \quad (3)$$

$$W = \frac{E_n N}{60} \quad [J/s] \quad (4)$$

### 3. 영향도 분석

#### 3.1 설계 인자 선정

타격에너지는 DTH 해머의 중요한 성능지표 중

하나이다. 타격에너지는 식 (3)과 같이 계산할 수 있다. 타격에너지를 증가시키기 위해서는 피스톤 질량을 조절하는 것이 가장 좋은 방법이지만, 제품 크기의 제약이 있기 때문에 질량을 조절하기보다는 타격속도를 증가시키는 것이 상대적으로 쉽다.<sup>2)</sup>

DTH 해머의 출력은 식 (4)와 같이 계산할 수 있다. 타격에너지 또는 타격수를 늘리면 이를 증가시킬 수 있다. 타격에너지와 타격수는 피스톤의 상, 하단의 압력과 각 유로의 언더랩 길이 등이 복합적으로 연관되어 나타난다. 본 논문에서는 여러 가지 설계 인자 중 작동원리에서 피스톤 운동 전환 타이밍에 영향을 주는 상단 언더랩, 하단 언더랩, 분배기 언더랩, 압력에 영향을 받는 피스톤 상단 로드길이, 상단과 하단 챔버 총 6개의 설계변수를 선정하였다. 선정된 설계 인자는 Fig 8에 나타내었다.

이 6개의 설계 인자를 5수준으로 나누어 최소값은 기존값의 절반, 최대값은 기존값의 1.5배 값으로 설정하여 각 설계 인자 값의 변화에 따라 타격에너지와 타격수의 변화에 따른 설계 인자가 미치는 영향을 분석하였다.

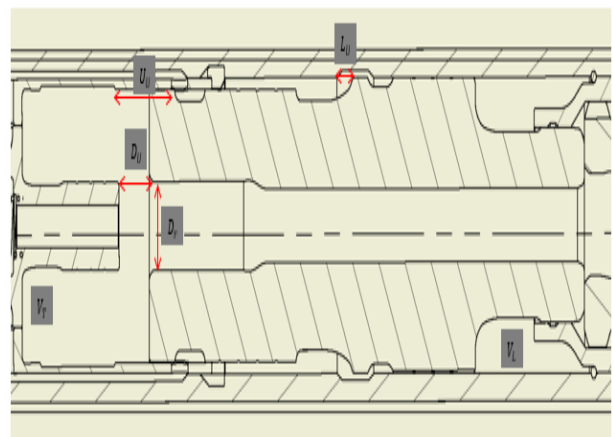


Fig. 8 Design Parameters

#### 3.2 실험 행렬 결정 및 인자 배치

실험 행렬은 객관성 있는 실험을 위해 직교 배열표를 활용하였으며 실험계획(DOE)은  $L_{25}(5^6)$ 를 선정하였다. 설계 인자는 Table 3에서 좌측, 출력값은 우측배열에 배치하였다.

#### 3.3 제어인자 선정 및 데이터 분석

타격에너지와 출력의 목적함수로 피스톤 속도와 분당 타격수를 선정하였으며, 여러 설계요인의 복잡한 관계로 성능이 차이하기 때문에 25번의 시뮬레이

Table 3  $L_{25}(5^6)$  Simulation Matrix and Result

No	$U_U$	$L_U$	$D_U$	$D_r$	$V_T$	$V_L$	$P_v$	BPM	$E_n$	W
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[m/s]	[N/min]	[J]	[J/s]
1	-50%	-50%	-50%	-50%	-50%	-50%	3.8	1600	375.4	10009.6
2	-50%	-25%	-25%	+0%	+25%	+25%	10.1	1100	2645.0	48491.6
3	-50%	+0%	+0%	+25%	+50%	+50%	10.8	1170	3003.5	58567.9
4	-50%	+25%	+25%	+50%	-25%	-25%	10.6	1080	2908.0	52344.5
5	-50%	+50%	+50%	-25%	+0%	+0%	10.0	1080	2590.5	46628.5
6	-25%	-50%	-25%	-25%	-25%	-25%	9.2	1140	2173.8	41302.2
7	-25%	-25%	+0%	+50%	-50%	-50%	10.5	1080	2849.8	51295.7
8	-25%	+0%	+50%	-50%	+25%	+25%	8.8	1220	2003.2	40730.8
9	-25%	+25%	-50%	+25%	+0%	+0%	10.1	1040	2642.4	45801.3
10	-25%	+50%	+25%	+0%	+50%	+50%	10.8	1180	3003.5	59068.4
11	+0%	-50%	+0%	+0%	+0%	+0%	10.4	1160	2792.6	53990.7
12	+0%	-25%	+50%	+25%	-25%	-25%	10.6	1240	2905.8	60054.0
13	+0%	+0%	+25%	-25%	-50%	-50%	9.9	1100	2510.0	46016.9
14	+0%	+25%	-25%	-50%	+50%	+50%	8.0	1180	1639.4	32240.7
15	+0%	+50%	-50%	+50%	+25%	+25%	10.4	1120	2794.2	52159.0
16	+25%	-50%	+25%	+25%	+25%	+25%	10.2	1120	2691.7	50244.2
17	+25%	-25%	-50%	-25%	+50%	+50%	9.3	1240	2212.8	45730.6
18	+25%	+0%	-25%	+50%	+0%	+0%	10.4	1200	2803.9	56078.0
19	+25%	+25%	+50%	+0%	-50%	-50%	10.4	1160	2798.5	54104.8
20	+25%	+50%	+0%	-50%	-25%	-25%	8.1	1180	1698.6	33406.7
21	+50%	-50%	+50%	50%	+50%	+50%	9.9	1080	2511.5	413.4
22	+50%	-25%	+25%	-50%	+0%	+0%	10.1	1180	2643.4	446.4
23	+50%	+0%	-50%	+0%	-25%	-25%	9.7	1070	2440.8	396.1
24	+50%	+25%	+0%	-25%	+25%	+25%	10.9	2020	3059.4	555.8
25	+50%	+50%	-25%	+25%	-50%	-50%	10.0	1090	2549.3	422.8

선으로 각 설계요소의 유의성을 알아내기 위해 여러 요소의 평균차로 유의성을 검증하는 분산분석(Analysis of Variance)을 이용하여 각 설계 인자에 따른 출력 인자 분당 타격수와 피스톤 속도의 결과를 각각 Table 4~5에 나타내었다.

결과 값들 중 피스톤 속도와 분당 타격수 두 응답을 모두 고려했을 때, 피스톤 속도 응답에서는  $U_U$ 를 제외한 나머지 설계 인자의 기여도가 비슷하다. 따라서  $U_U$ 를 제외한 나머지 변수의 기여도(Mean Square)는 Table 5의 분당 타격수 응답 결과를 참고하여 판단하는 것이 옳다. Table 5에서 기여도(MS) 값이 가장 작은  $U_D$ ,  $V_T$ 를 유의하지 않은 인자라고 판단하여 풀링(Pooling)시켜 F검정을 수행했다. 그 결과는 Table 6~7에 나타내었다. F검정 수행 시 유의수준(Significance Level)  $\alpha=0.1(90\%)$ 로 분석하였다.

Table.6과 Table.7에서 F-ratio값이  $F(\alpha)$ 값보다 낮으면 유의하지 않은 설계 인자이며 F-ratio값이 크면 클수록 성능에 영향도가 큰 설계 인자이다.

$$F-ratio = MS/MS_{Error} \tag{5}$$

Table 4 Analysis of Variance (Piston Velocity)

Parameters	Sum of Squares	DOF	Mean Squares
$U_U$	6536896	4	1634224
$U_L$	135818	4	33954
$U_D$	136138	4	34035
$D_r$	135067	4	33767
$V_T$	135985	4	33996
$V_L$	134519	4	33630

Table 5 Analysis of Variance (BPM)

Parameters	Sum of Squares	DOF	Mean Squares
$U_U$	5391354	4	1347839
$U_L$	35681	4	8920
$U_D$	30820	4	7705
$D_r$	64580	4	16145
$V_T$	26277	4	6569
$V_L$	83442	4	20861

Table 6 Analysis of Variance by F-test (Piston Velocity)

Para-meters	Sum of Squares	DOF	Mean Squares	F-ratio	$F(\alpha)$
$U_U$	6536896	4	1634224	48.04	2.81
$U_L$	135818	4	33954	1.00	2.81
$D_r$	135067	4	33767	0.99	2.81
$V_L$	134519	4	33630	0.99	2.81
Error	272123	8	34015	0	0
Total	7214423	24	-	-	-

Table 7 Analysis of Variance by F-test (BPM)

Para-meters	Sum of Squares	DOF	Mean Squares	F-ratio	$F(\alpha)$
$U_U$	5391354	4	1347839	188.85	2.81
$U_L$	35681	4	8920	1.25	2.81
$D_r$	64580	4	16145	2.26	2.81
$V_L$	83442	4	20861	2.92	2.81
Error	57098	8	7137	-	-
Total	5632155	24	-	-	-

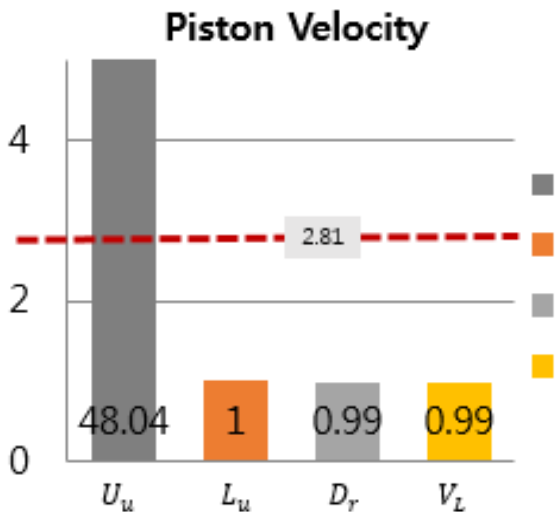


Fig. 9 Piston velocity F-test result

### BPM

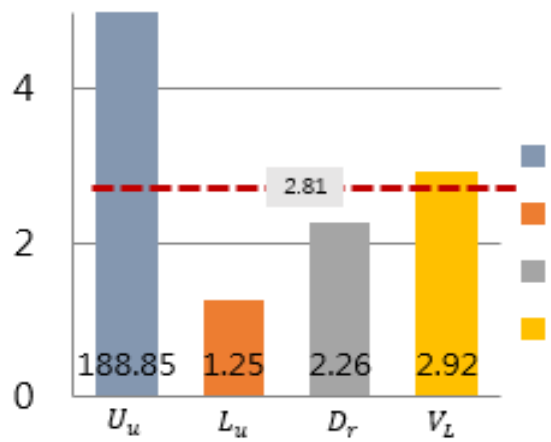


Fig. 10 BPM F-test result

분산분석의 결과처럼 동특성 시뮬레이션 모델에서 영향이 큰 설계 인자와 그렇지 않은 설계 인자 값에 변화를 주었을 때 분당 타격수와 피스톤 속도의 크기 변화가 어느 정도 차이가 있는지 Table 8과 같이 데이터를 정리하여 확인해보았다. 출력의 결과를 보면 피스톤이 비트 방향으로 하강할 때 공기압력이 주입되는  $U_U$ 과 피스톤과 비트 사이 공간  $V_L$ 이 값의 변화에 따라 출력 변화의 폭이 가장 크다. 영향도가 클 것으로 선정된 설계 인자가 그렇지 않은 설계 인자의 출력 변화보다 적게는 2% 크게는 9% 이상 차이가 나는 것을 확인함으로써 선정된 설계 인자가 출력에 미치는 영향이 크다는 것을 증명하였다.

Table 8 Result of design factor value change

Parameters	Design factor value	Result of BPM	Result of $V_{pis}$ [m/s]	W [J/s]
Basic	0%	1146	10.5	-
$U_U$	+50%	1140	10.15	7% ↓
	-50%	1178	10.62	5.2% ↑
$L_U$	+50%	1040	10.59	1.2% ↑
	-50%	1248	8.44	0.2% ↑
$D_r$	+50%	1120	10.43	3.6% ↓
	-50%	1170	10.5	2.1% ↑
$V_L$	+50%	1072	10.36	8.9% ↓
	-50%	1230	10.6	9.4% ↑

### 4. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션과 분산분석을 이용하여 DTH 해머의 타격에너지와 분당 타격수 성능에 가장 영향이 큰 설계 인자와 그 영향도를 확인하는 것을

시도하였다. 그 결과 Fig 9~10에서 피스톤 속도에서는  $U_u > L_u > D_r > V_L$  순으로 영향도가 차이 나며,  $U_u$ 가 유의하며 영향도가 높은 설계 인자임을 확인하였다. BPM은  $U_u > V_L > D_r > L_u$  순으로 영향을 미치며  $U_u$ 와  $V_L$ 이  $F(\alpha)$ 보다 크므로 유의한 설계 인자이고 영향도가 높음을 확인하였다.  $U_u$ 은 피스톤이 비트 방향으로 하강할 때 공기압력이 주입되는 위치와 관련된 설계요소로서 성능은 피스톤을 밀어주는 시점이 가장 영향이 큰 것으로 판단되었다.

## 후 기

본 연구는 국립 군산대학교 건설기계R&D전문인력 양성사업의 지원으로 수행한 연구의 일부입니다.

## References

- 1) Surface Drilling in Quarry and Construction, Atlascopco, Third Edition, pp. 33-35, 147-149, 2006
- 2) U. K. Hwang. "Modeling and Test of Down-the-Hole hammer", Journal of Drive and Control, Vol.12 No.2 pp.34-38 Jun. 2015
- 3) U. K. Hwang, J. H. Lim "Optimization of Down-the-Hole hammer Using Experimental Design Method", Soc. Mech. Eng. A, Vol. 40, No. 6, pp. 603~611, 2016
- 4) Shin D. Y. and Song C. H., "Performance Optimization of Down-the-Hole hammer Using Taguchi Method", Journal of KSME A, Vol 36, No. 1, pp. 109~116, 2012
- 5) 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
- 6) 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.
- 7) Lee C. N. and Hong K. C., Lim J. H., Na I. S., Hwang U. G., Jeong H. S. 2016, "Analysis of the influence of the design parameters and modeling for the 8 inches down-the-hole hammer" Journal of 2016 fall conference Drive and Control KSFC, pp.184~189.