

유압브레이커의 틈새누설과 타격력과의 상관관계

Correlation Between Gap Leakage and Blow Force Of Hydraulic Breakers

이원준¹ · 장주섭^{1*} · 강영기²

Won Jun Lee, Joo Seop Jang and Young Ky Kang

Received: 4 Nov. 2024, Accepted: 19 Nov. 2024

Key Words : Hydraulic Breaker (유압브레이커), Gap Leakage(틈새누유), Blow Force(타격력), SimulationX(시뮬레이션엑스)

Abstract: Most papers related to hydraulic breakers are studies on structural analysis and performance. This study was conducted on the correlation between gap leakage and performance to identify areas to be designed more carefully when designing actual models.

The hydraulic breaker has a supply line, which is the hydraulic fluid inlet, and a return line through which the used fluid is discharged. Both the theoretical implementation of no fluid outflow and the part where gap leakage is expected to affect actual performance were reflected in the modeling. Through this, the difference in performance was confirmed by comparing and analyzing the ideal hydraulic breaker with minimal gap leakage, and the resulting value was obtained for areas to be noted during design.

1. 서 론

본 연구는 여러 건설기계장비들 중에 유압브레이커에 대한 연구이다. 유압 브레이커는 굴착기와 같은 건설기계에 연결하여 사용되는 부착형 어태치먼트(Attachment)의 일종이다. 일반적인 유압 브레이커는 타격피스톤의 왕복 운동을 통하여 정해진 타격력으로 건물의 해체 작업, 석산 혹은 광산에서의 파쇄작업을 담당하는 장비이다.

현재 국내에서는 유압 브레이커와 관련된 연구들은 유압 브레이커 구조해석, 최적 설계, 적용 사례, 제어기구 개발, 소음 등이 있지만 누설과 관련한 연구는 거의 존재하지 않는다¹⁻⁴⁾. 하지만 대부분의 유

압 브레이커에는 틈새 누설로 인한 문제가 존재한다.⁵⁾ 이러한 틈새 누설로 인하여 타격력이 어느 정도 손실이 생기는지를 확인하기 위하여 상용 프로그램인 SimulationX를 사용하여 유압 브레이커 모델을 개발하여 틈새 누설을 설정하였다.

본 연구의 목적은 브레이커의 누설에 따른 타격력의 변화에 대한 영향을 분석함으로써 이에 따른 타격력을 비교하여 틈새 누설이 발생하였을 때 누설량에 따라 실제 성능에 얼마만큼의 차이가 발생하는지 확인하여 설계에 도움이 되었으면 한다.

2. 유압브레이커의 작동원리

본 유압 브레이커는 지능형 유압브레이커로 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 그 구성은 메인밸브, 자동제어밸브, 타격피스톤이다. 그중 타격피스톤은 망치에 해당하는 피스톤(Piston)이 왕복 운동을 하고 파괴 목적의 로드(Rod)가 암반을 파쇄하는 역할을 한다. 자동제어밸브는 메인밸브의 운동을 제어하는 역할을 한다.

* Corresponding author: jjs1@gachon.ac.kr

1 Department of Mechanical Engineering, Gachon University, SeongNam 13120, Korea

2 SOOSAN CORPORATION Co., Ltd. Hwaseong 18628, Korea
Copyright © 2024, 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.

이 유압 브레이커의 작동 원리는 피스톤의 상하운동을 통하여 이루어진다. 처음으로 유압 펌프에서 유압 유체를 공급하는 공급 라인을 통하여 시작이 된다. 이 공급 라인을 통하여 피스톤 아래쪽으로 유체가 공급되며 고압이 형성되어 피스톤의 상승운동이 시작되고 제어 밸브를 통하여 피스톤이 하강하도록 전환되면, 치즐을 타격하게 되고 이 충격력을 타격물체에 가할 수 있게 되고 힘의 평형 상태가 만들어진다. 굴삭기에 있는 유압 펌프를 이용해 이러한 운동을 반복하여 피스톤이 치즐을 연속하여 타격해 타격

대상물을 파쇄한다.

3. 시뮬레이션 모델링

3.1 유압 브레이커 모델

본 연구에선 현재 생산 중인 기업에서 제공받은 유공압식 유압 브레이커 설계 자료를 토대로 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 유압 유체는 ISOVG46 레이션 모델을 개발하였다. 유압 유체는 ISOVG46 등급을 사용하였고 사용 온도는 40°C로 설정하였다.

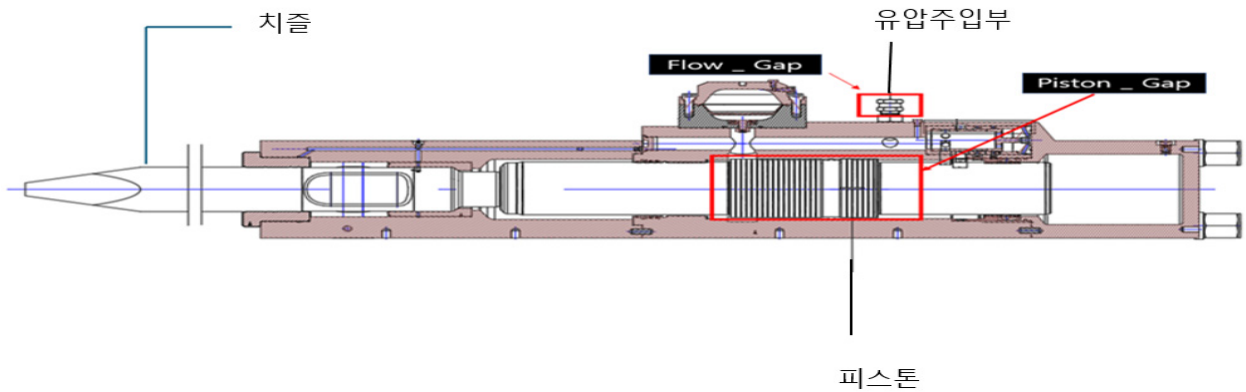


Fig. 1 Drawing of the hydraulic breaker

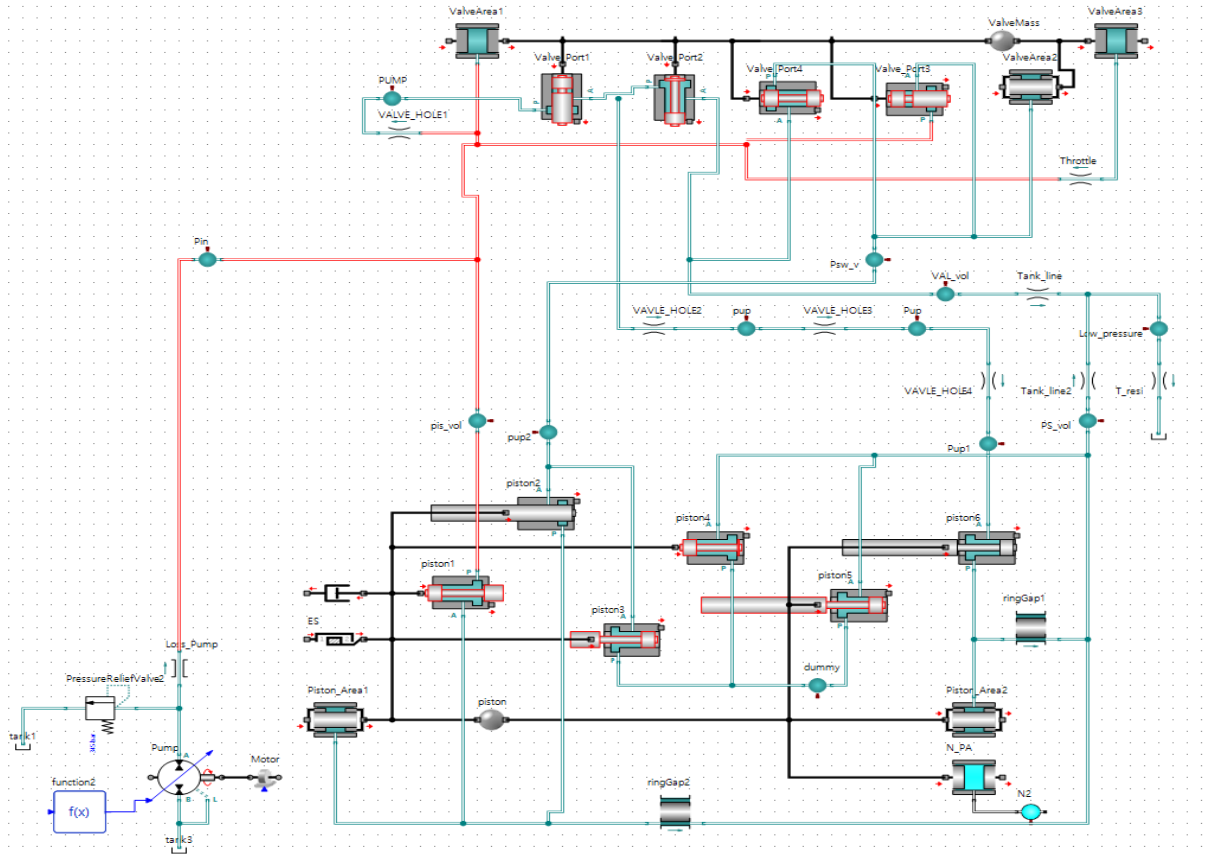


Fig. 2 Complete model of the hydraulic breaker

시뮬레이션 모델의 확인은 피스톤과 밸브의 움직임에 따라 포트(Port)의 개방량을 확인함으로써 설계 정보가 정확하게 반영되었는지 확인하였다. 브레이크의 성능은 기본적으로 로드에게 전달되는 타격력을 대상으로 하였고, 틈새량 변화에 따른 타격력 변화량을 비교하였다.

Fig. 1에서 크게 유압 브레이크의 에너지원인 유압 주입부, 유압의 제어를 위한 제어 밸브, 충격을 가하기 위한 피스톤으로 나누어 Fig. 2와 같은 해석 모델을 개발하였고, 이 해석모델의 릴리프 밸브의 설정값은 다음과 같다. 초기 압력은 230bar, 유압펌프는 1000 rpm으로 일정한 회전 속도가 되도록 설정하여 290 l/min의 오일의 공급과 초기의 압력이 일정하게 유지될 수 있도록 값을 설정하였다.

3.2 밸브

Fig. 3은 밸브 부분의 모델링을 확대한 형태이다. 밸브의 경우 Port1은 초기에 닫혀 있지만, 압력이 작동하면 스톱이 이동하며 열리게 된다. 이와 연결되어 있고 초기에 열려있는 Port2는 스톱의 움직임에 따라 닫히게 된다. Port3는 Port1과 같은 모습을 보여 주고 Port4와 연결되어 있다. Port4는 슬롯의 형태로 port2와 연결되어 있고 초기에 열려있다. 이후 스톱의 움직임에 따라 닫히게 된다. Fig. 4는 밸브 부품들의 상세한 구조를 나타낸 것이다.

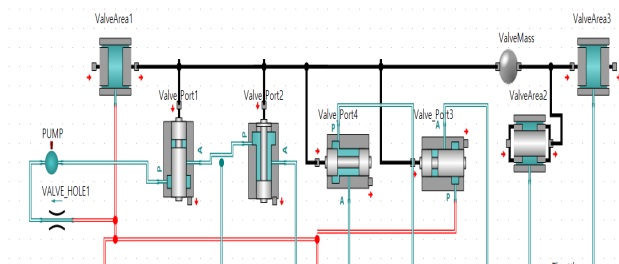


Fig. 3 Model of the hydraulic breaker valve

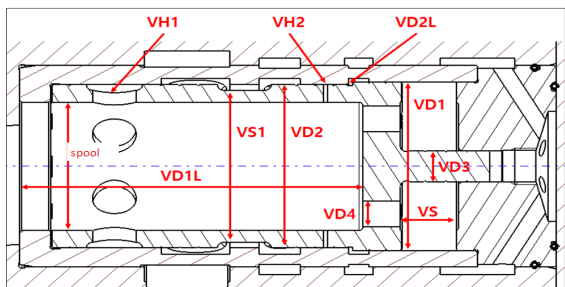


Fig. 4 Detailed setting of hydraulic valve

3.3 피스톤

Fig.5 는 피스톤을 모델링한 부분으로 피스톤의 충격량은 엔드스탑(End stop)으로 모델링 하였으며, 피스톤 port들과 가스 주입부 그리고 질소가스 주입부로 구성되어 있다. 여기서 타격대상물은 많은 현장에서 활발하게 타격을 하여 채광을 하는 석회암을 기준으로 Fig. 6과 같이 엔드스탑 파라미터를 설정하여 충격조건을 묘사하였다.⁵⁾ 질소가스의 충전압력은 항상 16.5bar로 일정하게 설정되어 있다.

피스톤은 port2를 제외하곤 모든 port들이 초기 설정에는 닫혀 있다. 그 후 스톱의 움직임에 따라 닫혀 있던 port들은 열리고 닫히게 된다.

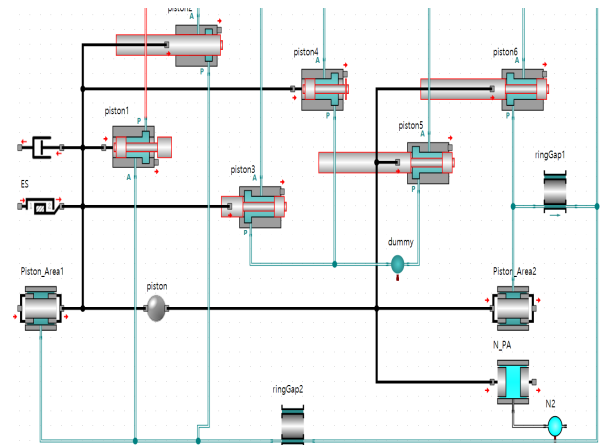


Fig. 5 Model of the hydraulic breaker piston

Properties - ES			
Parameters Friction Advanced Results General			
General Parameters			
End Stop Distance 1	I1:	0	mm
End Stop Distance 2	I2:	PS_DL2.F	m
Model	mode:	Elastic End Stop	
Stiffness Stop 1	k1:	7E7	N/m
Stiffness Stop 2	k2:	0	N/m
Damping Stop 1	b1:	10000	Ns/m
Damping Stop 2	b2:	b	Ns/m

Fig. 6 Detailed setting value of end stop

3.4 누설이 있는 유압 브레이커 모델

실제 유압 브레이커에서의 대부분의 누설은 실린더의 실(seal)의 마모 그리고 유로의 연결 부위에서의 틈새에서 누설이 생기게 된다. 시뮬레이션 프로그램에 연결 부위와 피스톤 실의 마모를 고려하여 Fig. 7에 네모로 강조한 곳에서 틈새 누설을 설정하였다. 본 해석에서는 실린더 실과 유로의 연결 부위에 70 μm의 틈새로 설정하여 분석하였다.⁷⁾

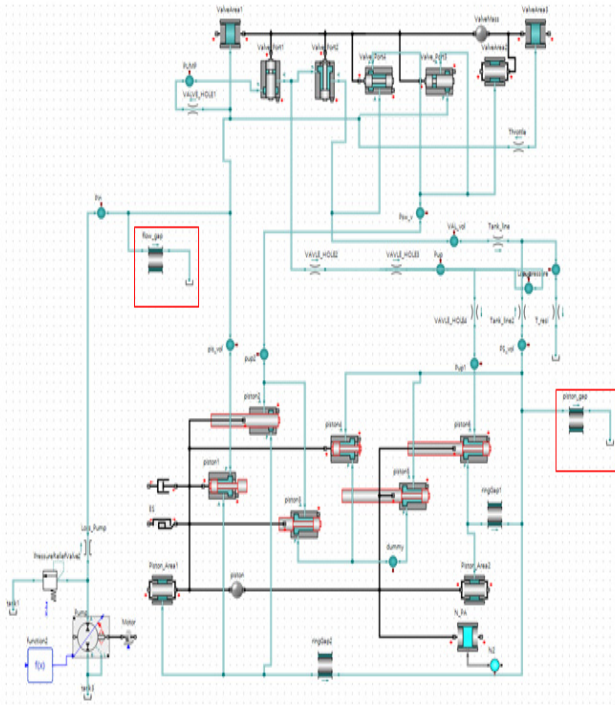


Fig. 7 Changed model of the hydraulic breaker

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 30회 이상의 사이클이 반복되는 최소 시간인 15초 동안을 기준으로 결과 값을 산출하였다. 시뮬레이션 동안에 외부의 힘이 추가로 작용하지 않고 초기 압력과 공급 유량은 같도록 설정하였다.

이후 누설이 없는 모델의 결과 그래프는 실선, 누설이 있는 모델의 결과 그래프는 파선으로 나타내어 비교하였다.

Fig. 8, 9에서 제어 밸브의 경우는 피스톤 상승시 관성과 피스톤 제어 밸브의 전환 시간에 의해 그래프가 피스톤과 비교를 하였을 때 최대변위를 움직인 후에 더 많은 진동이 있는 차이를 보인다. 이는 유량의 제어를 위한 밸브의 오버랩으로 인한

windup 현상에 의하여 최대 위치에 도달한 후 잠시동안 한계치에 도달한 상태에서 정지해 있고 이후에 추가로 진동이 생긴다. 아래의 해석을 통하여 누설이 존재하더라도 피스톤과 밸브의 움직임은 시간의 지연이 존재하더라도 설계시 계획한 대로 피스톤은 최대거리 221.4mm, 밸브는 23mm의 움직임이 동일한 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10과 Table 1. 을 통하여 누설이 있는 브레이커에서는 한 사이클에 소모되는 시간이 더 늘어나고 유량 또한 줄어드는 것을 알 수 있다.

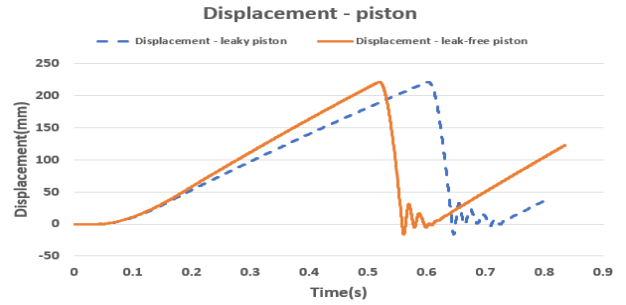


Fig. 8 Displacement of piston

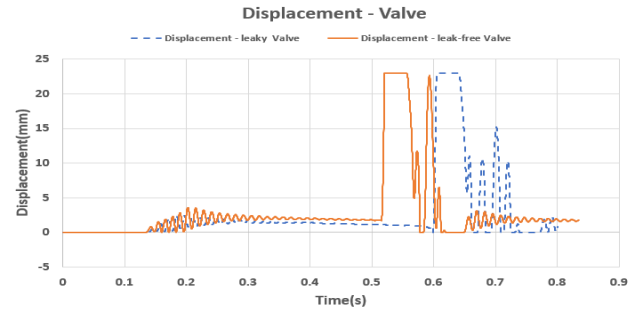


Fig. 9 Displacement of valve

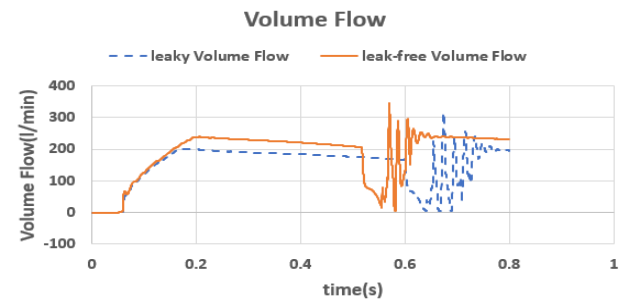


Fig. 10 Flow through the hydraulic breaker

Table 1. Average Flow value for 1 cycle

	average value for 1 cycle	
	no leak model (l/min)	leak model (l/min)
volume flow	204.1	160.3

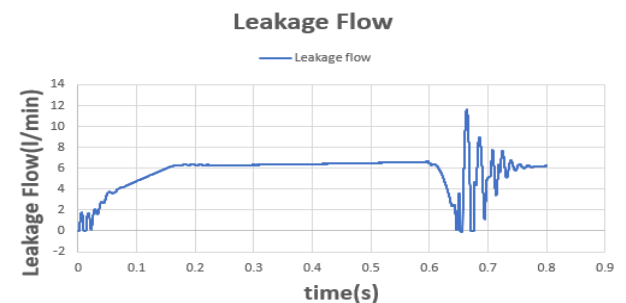


Fig. 11 Leakage flow rate of hydraulic breaker

누설이 있는 모델링의 누설량을 확인하여 Fig. 11에 나타내었고 이 결과 틸새를 통하여 한 사이클 동안 유압브레이커에서 평균적으로 6 l/min의 유량이 틸새 누설로 흐르게 되는 것을 확인할 수 있었다. Fig.12는 브레이커 동작에 따른 밸브 port들의 열리고 닫힘에 대한 해석 결과이다. 여기서 포트들의 개구 면적은 누설이 있는 모델링과 누설이 없는 모델링 모두 동일한 것을 확인할 수 있고 정상적으로 작동한다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 13은 타격체에 작용하는 힘으로 유압 브레이커의 타격력을 측정하여 그 결과 값을 확인하였으며 이 값들의 최대치를 Table 2.에 나타내었다.

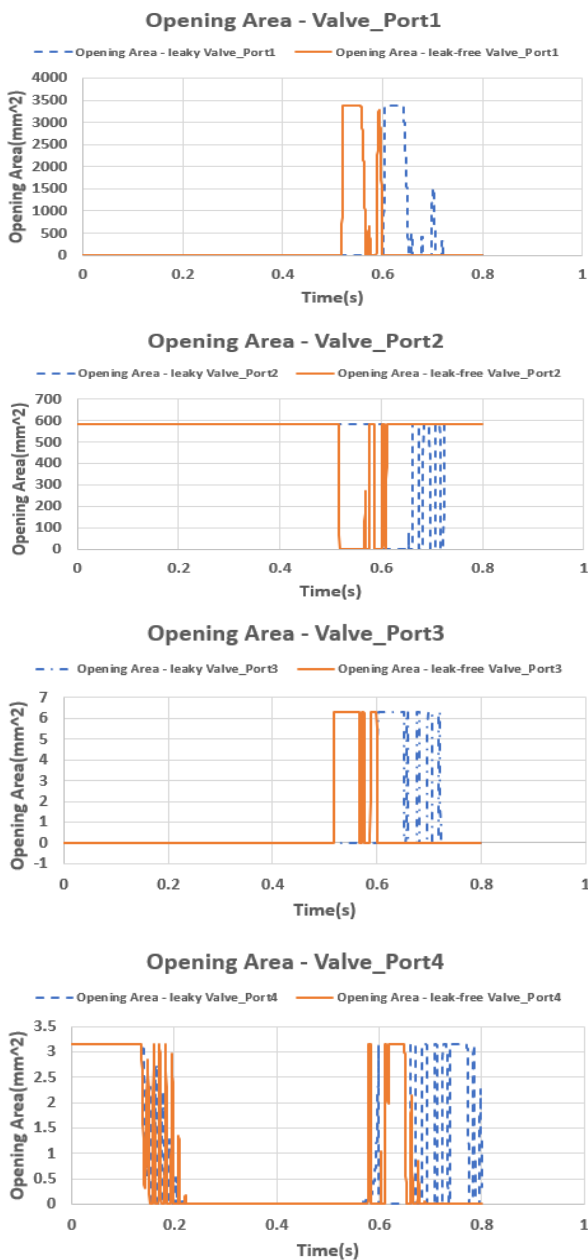


Fig. 12 Opening area of valve port 1,2,3,4

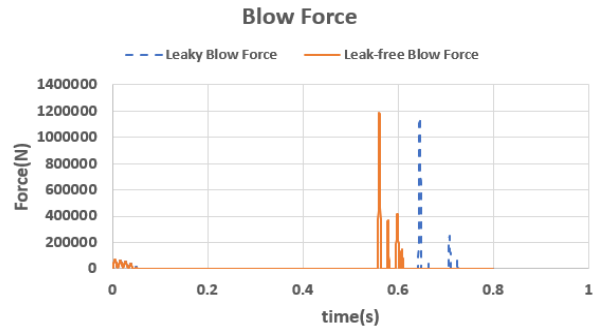


Fig. 13 Blow force of hydraulic breaker

Table 2. The largest value about blow force

	the largest value in 1 cycle	
	no leak model (kN)	leak model (kN)
force	1187.574	1153.702

5. 타격력 데이터의 비교

Fig. 14는 유압브레이커 시스템에 흐르는 평균적인 유량을 비교해볼 수 있고 이 값들을 표로 정리하여 Table 3.에서 값을 얻을 수 있다. 이것으로 틸새 누설로 인하여 유압 브레이커의 정상상태의 타격행정이 일어나는 동안에 5.8 l/min의 유량의 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다.

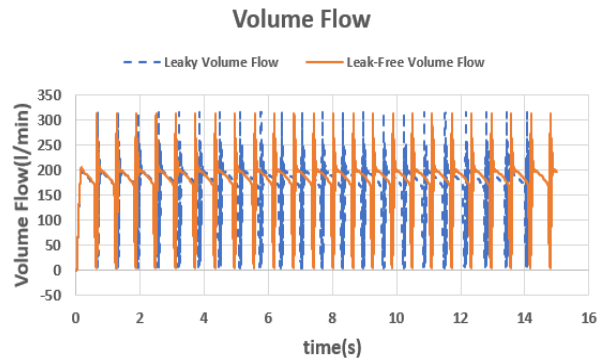


Fig. 14 Flow through the hydraulic breaker

Table 3. The average value Flow through the hydraulic breaker

	average value for 15 seconds	
	no leak model (l/min)	leak model (l/min)
volume flow	174.3	168.5

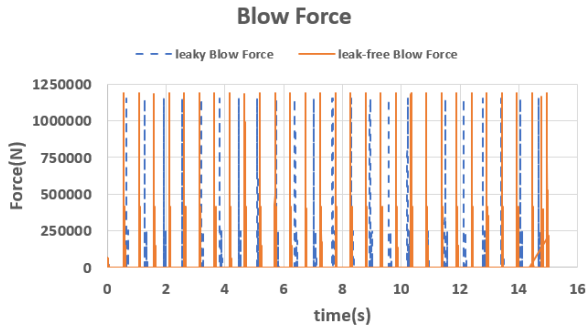


Fig. 15 Blow force of hydraulic breaker

Fig. 15는 누설이 없는 것과 있는 브레이커의 타격력과 타격수를 비교한 그래프이다. 두 타격력을 비교하였을 때 1187.574 kN에서 1153.702 kN으로 33.872kN의 타격력의 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다. 누설이 있는 모델링은 누설이 없는 모델링에 비해 2.85%의 타격력이 감소하였다.

누설이 없는 모델링의 정상상태 해석에서의 30번의 타격이 누설이 있는 모델링에서 24번의 타격으로 6번의 타격 횟수가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 총 유압 브레이커에 흐르는 유량을 비교하였을 때 누설이 없는 모델링에서는 5.8 l/min의 유압 유체를 사용하여 1번의 타격을 할 수 있는 유압 브레이커이고 누설이 있는 모델링은 7 l/min의 유압 유체가 공급이 되었을 때 1번의 타격을 할 수 있는 유압브레이커인 것을 확인할 수 있었다. 위의 결과로 1 l/min 당 타격력의 차이는 누설이 없는 모델링에서는 204.754 kN의 타격력이 생기고 누설이 있는 모델링에선 164.814 kN의 타격력이 생기게 된다. 이는 39.940 kN의 힘의 차이가 생기게 된 것이고 대략 19% 정도의 타격력 손실이 발생하였다.

6. 결 론

본 연구는 유압 브레이커의 정해진 타격력이 틈새 누설로 인하여 어느 정도의 차이가 생기는지 확인하기 위하여 틈새 누설을 직접 틈새량으로 모델링에 설정하였고 정상상태에서의 타격력과 타격 횟수의 차이를 확인하기 위하여 상용 프로그램인 SimulationX 사용하여 해석하였다.

타격력에 가장 큰 영향을 미치는 부분을 유압 주입부에서 피스톤과 밸브로 향하는 유로인 것을 확인하였기 때문에 그 부분에서의 틈새 누설을 고려하여 연구를 시작하였고 성능의 차이를 확인할 수 있었다.

이 연구를 통하여 틈새 누설에 따른 힘의 차이를 확인해 본 결과 전체 흐름에서의 틈새누설로 인한 최대 타격력의 차이는 2.85%로 나타났다. 이는 실제 유압브레이커에 흐르는 유량의 차이가 3.4%인 것과 아주 비슷한 수치로 유량의 감소된 비율과 타격력의 감소된 비율은 비슷한 것을 알 수 있었다.

하지만 이 수치는 최대 타격력의 차이일 뿐 1 l/min당 가할 수 있는 총 타격력에서는 19%의 손실이 발생하고 타격 횟수 또한 6회가 감소하는 것을 알 수 있다.

이것을 통하여 앞으로 유압브레이커의 개발에 있어 누설량의 검토가 설계에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

이 논문은 한국산업기술진흥원의 지원으로 “3D기반 건설기계 설계해석 전문인력양성(P0020612)”의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

이해관계(CONFLICT OF INTEREST)

저자는 이 논문과 관련하여 이해관계 충돌의 여지가 없음을 명시합니다.

참고 문헌

- 1) Dae-Young Shin, Ki-Beom Kwon, Hae-Jeong Yang, Ki-Sung Nam “A study for the performance optimization of the hydraulic breaker” June 2011 Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A 35(6)
- 2) Sung-Hyun Kim, Jaeho Chung, Dong-Cheon Baek, Jong-Won Park, “Modeling and Simulation for Predicting the Impact of Hydraulic Breaker”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 20, No. 2, pp. 741-749, 2019
- 3) Young Ky Kang, Joo Sup Jang, “Feasibility Study on the Vibration Reduction for Hydraulic Breaker by the Dynamic Vibration Absorber”, Journal of Drive and Control, Vol.18 No.4, pp.65-71 Dec. 2021
- 4) Dae-ji Kim, Jung-Woo Cho, Joo-Young Oh, Jintai

- Chung, and Changheon Song, "The Theory of Load Estimation Method and Case Study of Hydraulic Breaker for Rock Drilling" TUNNEL & UNDERGROUND SPACE Vol.29, No.3, 2019, pp.135-147
- 5) Young Ky Kang, Joo Sup Jang, "A Study on the Automatic Impact Force Control Mechanism Design for the Hydraulic", Journal of Drive and Control, Vol.19, No.3, pp.1-8 Sep. 2022
- 6) Dae Hee Lee, Dae Kyung Noh, Dong Won Lee and Joo Sup Jang "Technique Proposal of Auto-Sensing Hydraulic Breaker with Stepwise Impact Stroke Variable Mechanism", Journal of Drive and Control, Vol.15, No.2, pp.9-21 Jun. 2018
- 7) Sang Myung Chun, "A Study on Engine Oil Consumption Considering Wear of Piston-Ring and Cylinder Bore", Transactions of KSAE, Vol. 15, No. 2, pp.143-150 (2007)