

## 습식 브레이크의 소음 저감에 대한 연구

구자함\*, 권순홍\*\*, 정성원\*\*, 박종민\*\*, 최원식\*\*, 김종순\*\*, 권순구\*\*,#

\*,\*\*부산대학교 바이오산업기계공학과

## Study on the Reduction of Wet-Brake Noise

Ja-Ham Koo\*, Soon-Hong Kwon\*\*, Sung-Won Chung\*\*, Jong-Min Park\*\*,  
Won-Sik Choi\*\*, Jong-Soon Kim\*\* and Soon-Goo Kwon\*\*,#

\*Dept. of Bio-Industrial Machinery Eng., PNU., \*\*Dept. of Bio-Industrial Machinery Eng., PNU.

(Received 8 January 2015; received in revised form 2 February 2015; accepted 10 February 2015)

### ABSTRACT

The wet brakes used on a forklift often produce noise upon engagement. The elimination or reduction of this squeal noise is an important task for the improvement of the comfort of those operating these machines. In this paper, a test rig was developed for the testing of brake noise, and the squeal noise was measured with this apparatus. Automatic transmission fluid and grooves in the material of the friction-plate pad were found to be the main factors causing squeal noise. In order to identify the characteristics of this type of noise, signal analyses of the noise were conducted using different frequency spectra. The experimental results showed that the viscosity of the automatic transmission fluid and the groove pattern on the friction-plate pad largely affected the reduction of the wet brake squeal noise made by an industrial forklift.

**Key Words** : Noise(소음), Wet Disk Brake(습식 판 브레이크), Friction Plate Pad(마찰판 패드)

### 1. 서 론

차량을 제동함에 따라 발생하는 브레이크 소음은 자동차 관련기술의 발전과 소비자 만족도에 큰 영향을 미치는 매우 중요한 설계요인 가운데 하나이다. 차량 브레이크 시스템은 윤활유의 공급 유무에 따라 건식과 습식 구조로 분류 할 수 있다. 최근 산업 고도화와 환경 친화적인 제품의 요구측면에서 습식 브레이크 시스템을 사용하는 산업용 차량의 브레이크 소음 저감에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

일반적으로 지게차와 같은 중장비의 차축에 사

용되는 주행 브레이크 시스템은 습식 디스크 브레이크를 사용한다. 습식 디스크 브레이크(wet disc brake)는 디스크 플레이트(disk plate)와 마찰판 패드(plate-friction pad) 사이의 유막에서 오일 점도에 의해 생성된 전단력(shear force)으로 제동력을 발생시킨다. 그러므로 플레이트와 마찰판 패드 간의 직접 접촉이 방지되고, 오일에 잠겨 있기 때문에 외부 환경과 완전히 차단되어 내구성이 우수하다는 장점이 있으나, 그 구조와 작동원리가 다른 브레이크보다 복잡하고 소음의 발생원이 또한 다양하여 문제해결이 어렵다는 특징을 갖고 있다.

최근까지 습식 브레이크의 소음에 관한 연구는 습식 브레이크의 유체 윤활 마찰특성 이론과 설계에 관한 이론적 연구<sup>[1],[2]</sup>가 있었으나 주로 실험적

# Corresponding Author : sgkwon@pusan.ac.kr  
Tel: +82-55-350-5423, Fax: +82-55-350-5429

방법에 의하여 진행되었다. 스켈 소음의 원인중 하나로 평가받는 브레이크 시스템의 채터(chatter) 측정에 관한 연구<sup>[3]</sup>, 오일 첨가제에 따른 소음저감 연구<sup>[4]</sup>, 브레이크 디스크의 마찰열 측정에 관한 연구<sup>[5]</sup>, 브레이크 제동 시 발생하는 토크를 측정하여 마찰계수와의 관계에 관한 연구<sup>[6],[7]</sup>가 있었다. 또한, 산업용 지게차에 대해서는 브레이크의 오일 압력, 첨가제, 패드 재질을 인자로 하여 지게차 브레이크 시스템의 소음저감 최적화에 관한 연구<sup>[8]</sup>와 타이어 패턴의 그루브 인자에 따른 소음특성 연구<sup>[9]</sup>가 있었다. 그러나, 산업현장에서는 주로 경험에 의한 스켈소음의 저감방법이 일반적으로 활용되고 있는 실정이며, 습식 브레이크의 스켈소음 저감에 대한 체계적인 방법에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 논문에서는 개발된 실험장치를 이용하여 지게차 습식 브레이크 시스템의 스켈소음의 특성을 파악하기 위하여 설계변수에 관한 연구를 수행하였다. 지게차용 습식 브레이크의 스켈소음 저감설계를 위해, 구동축의 윤활유(ATF) 모델, 마찰판 패드의 재질, 마찰판 패드의 그루브 형상과 면적 같은 설계 변수에 따른 스켈소음을 측정하여, 시험조건별 소음 특성을 분석하였다.

## 2. 습식 브레이크의 실험장치

지게차의 유압 습식 브레이크가 내장된 구동축을 이용하고, 엔진 대용으로 모터(40HP 380V 6극의 인버터 구동)를 사용하여 실험장치를 개발하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같으며, 구동축과 모터의 축이 수평으로 연결되도록 차축의 각도를 43°로 기울여 실험장치의 지지구조에 고정하였다. 구동축과 모터축을 연결시키기 위하여 클러치와 유니버설 조인트를 각각 적용하였으며, 각각의 조건에 대해 시행착오의 시험을 거쳐 최종적으로 유니버설 조인트를 사용하였다. 시험장치 프레임의 진동을 저감하기 위해 바닥면에 방진패드를 적용하였으며, 구동축에 하중을 부가시키기 위하여 총 8개의 플라이휠(fly wheel)을 장착하였다.

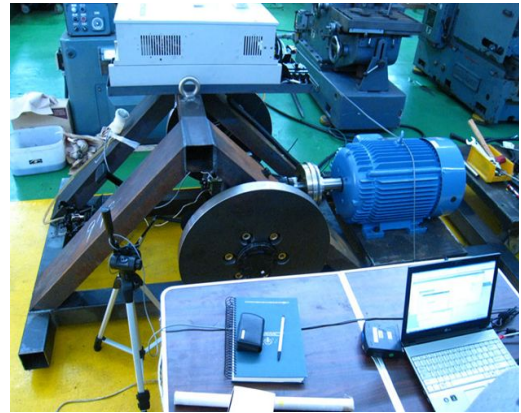


Fig. 1 Test rig for squeal noise

본 논문의 지게차 모델은 자체의 중량이 4.3ton 인 모델이므로 바퀴 당 1,000kg의 플라이휠 중량이 최소한 작용되어야 한다. 하지만, 비용 및 장착 공간 확보 등의 문제로 Fig. 2와 같은 형상의 마찰판을 4쌍에서 2쌍으로 줄임으로써 브레이크의 제동력을 반으로 감소시켜 플라이휠의 중량을 500kgf 수준으로 하여 장착하였다. 또, 2쌍의 마찰판을 장착하여 비게 되는 공간에는 디스크와 같은 형상의 대응 부품을 가공하여 장착하였다. 이와 같은 시행착오의 시험과정을 거쳐, 윤활유의 교체, 회전수의 변경, 마찰판/디스크 부품 교체 등이 가능한, 다양한 시험조건에서 스켈소음의 발생 유무와 그 특성의 측정이 가능한 실험장치를 개발하였다.

## 3. 실험조건과 실험방법

제작된 실험장치를 이용하여 윤활유와 마찰판 패드, 모터의 회전 속도를 변경시켜 브레이크 소음을 측정하였다. 윤활유는 Table 1과 같이 자동변속장치 윤활유(ATF)의 3종류 모델을 사용하였으며, 마찰판 패드는 펄프의 기본재질에 규조토를 조정제로 첨가하여 제작하였다.

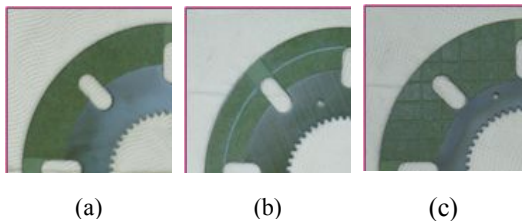
마찰판 패드는 Fig. 2와 같이 3종류의 그루브 형상을 적용하였고, 하나의 패드에 3종류의 첨가제를 각각 적용하여 Table 2와 같이 총 9종류 마찰판

패드를 제작하여 실험하였다. 단, 격자무늬 패드의 경우, 면적을 더 크게 하여 패드의 면적에 따른 스켈소음 특성도 실험하였다. 모터의 회전수는 인버터를 적용하여 5개 조건(600rpm, 800rpm, 1,000rpm, 1,200rpm, 1,500rpm)으로 가변속시켜 실험하였다.

소음측정 시험은 실험장치를 30분 이상 운전시켜 브레이크 마찰판이 위치하는 구동축 프레임의 표면온도를 약 80℃ 수준에서 유지시켜 시험하였다. 이것은 윤활유의 온도는 점성을 결정하는 주요한 인자이므로, 시험의 온도조건을 일정하게 하고자 하였다. 각 시험조건에 대해 제동실험을 반복 수행하였으며, 마이크로폰을 시험장치에 근접시켜 (30cm) 음압(SPL)을 측정하였다. 동시에 모터축과 구동축의 회전수와 구동축 프레임의 온도를 관찰하였다. 소음 신호는 시간 간격 0.05ms (20kHz) 으로 30만개의 데이터를 한 세트로 샘플링하여 주파수 특성을 분석하였다.

**Table 1 Test ATF**

Model No.	SAE viscosity class	Viscosity (cSt at 100℃)
1	10W	7.38
2	80W/90	13.5
3	85W/140	24



**Fig. 2 Plate-friction pads: (a) no groove; (b) circumferential groove; (c) waffle type groove.**

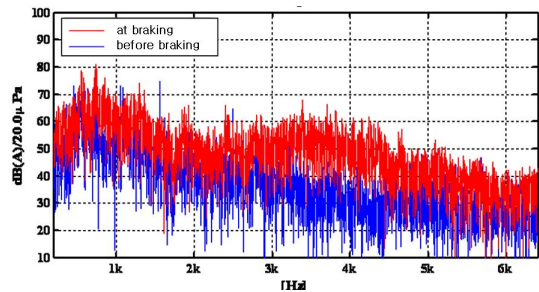
**Table 2 Plate-friction pads**

Pad No.	Groove	additives
1	No Groove	Aramid
2	Circumferential groove	
3	Waffle type groove & large pad	
4	No Groove	Carbon fiber
5	Circumferential groove	
6	Waffle type groove & large pad	
7	No Groove	Carbon fiber & carbon powder
8	Circumferential groove	
9	Waffle type groove & large pad	

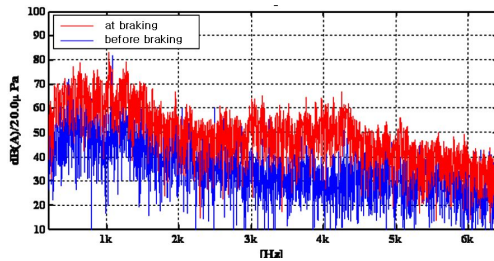
## 4. 스켈소음 측정실험 결과

### 4.1 마찰판 패드의 재질 변경 조건

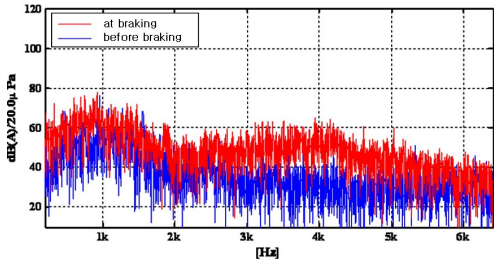
Table 2의 1번, 4번, 7번 패드와 3번 모델 윤활유(ATF)를 사용하여 모터 회전수 1,200rpm에서 브레이크 작동 전과 브레이크 작동 후의 소음을 주파수 스펙트럼 선도로 Fig. 3에 나타내었다.



**(a) Pad #1**



(b) Pad #4



(c) Pad #7

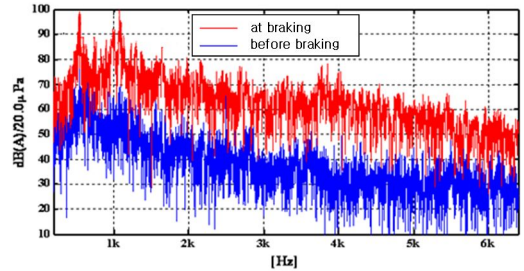
Fig. 3 Comparison of the frequency spectrum with different materials

1번, 4번 패드를 적용한 경우에 비하여 7번 패드를 적용한 경우의 스킬소음 크기가 약간 적게 나타났지만, 재질에 따른 영향이라고 판단하기에는 소음레벨의 차이가 적다. 또한, 원주방향 그루브가 있는 패드들(2번, 5번과 8번 패드)을 사용하여 소음을 측정하였을 경우와 격자 무늬 형태의 그루브(3번, 6번과 9번 패드)를 사용하여 소음을 측정하였을 경우에도 소음레벨의 차이는 작게 나타났다.

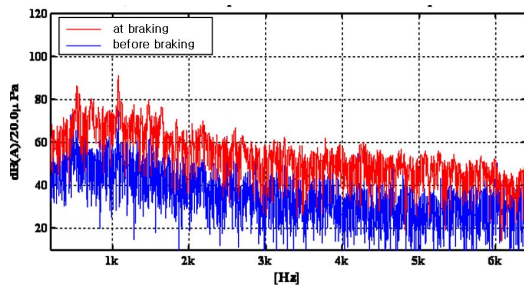
#### 4.2 마찰판 패드의 그루브형상 변경 조건

Fig. 4는 모터 회전수 1,200rpm과 1번 모델 윤활유를 사용하여 때, 1번, 2번과 3번 패드를 적용하였을 때의 스킬소음을 측정하여 주파수 스펙트럼 선도로 나타낸 것이다.

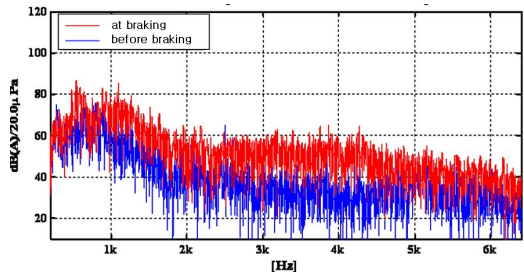
1번 패드를 적용한 경우에서 가장 큰 스킬소음이 나타났으며, 3번 패드를 적용한 경우에서 가장 작은 스킬소음이 나타났다. 또한, 1번 패드와 2번 패드를 적용한 경우에 측정된 스킬소음 레벨의 차이(10dB)가 2번 패드와 3번 패드를 적용한 경우의



(a) Pad #1



(b) Pad #2



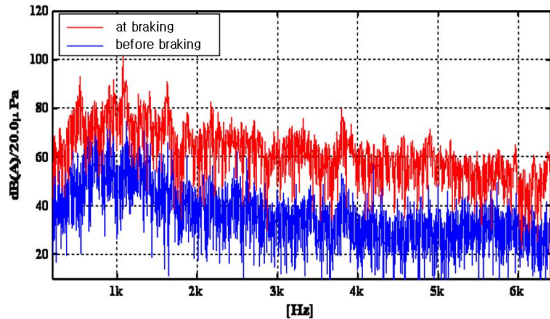
(c) Pad #3

Fig. 4 Comparison of the frequency spectrum with different groove pattern

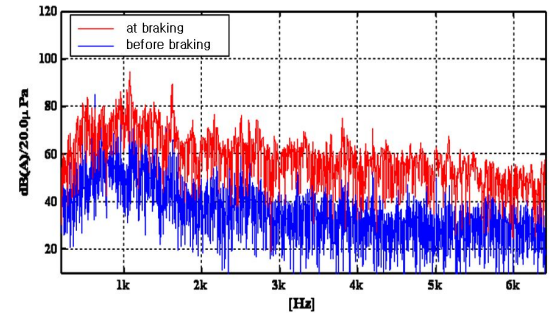
스킬소음 레벨 차이(5dB)보다 현저히 크게 나타났다. 따라서, 마찰판 패드 그루브의 유무가 스킬소음 저감에 큰 영향을 주고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 탄소섬유 첨가제를 사용한 패드들(4번, 5번과 6번 패드)과 탄소섬유와 탄소분말을 첨가제로 사용한 패드(7번, 8번과 9번 패드)를 이용한 소음측정 결과에서도 유사하게 나타났다.

### 4.3 윤활유 변경 조건

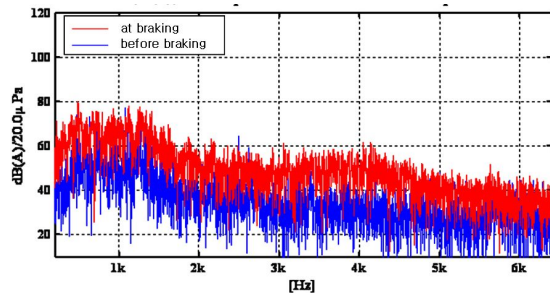
마찰판에 6번 패드를 적용하고, 모터를 1,200rpm으로 회전시킨 가운데 3종류의 윤활유를 바꿔가면서 소음측정 실험한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.



(a) ATF Model #1



(b) ATF Model #2



(c) ATF Model #3

Fig. 5 Comparison of the frequency spectrum with different ATF

1번 패드를 적용한 경우에서 가장 큰 스컬소음이 나타났으며, 3번 패드를 적용한 경우에서 가장 작은 스컬소음이 나타났다. 또한, 1번 패드와 2번 패드를 적용한 경우에 측정된 스컬소음 레벨의 차이(10dB)가 2번 패드와 3번 패드를 적용한 경우의 스컬소음 레벨 차이(5dB)보다 현저히 크게 나타났다. 따라서, 마찰판 패드 그루브의 유무가 스컬소음 저감에 큰 영향을 주고 있다는 것을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 탄소섬유 첨가제를 사용한 패드들(4번, 5번과 6번 패드)과 탄소섬유와 탄소분말을 첨가제로 사용한 패드(7번, 8번과 9번 패드)를 이용한 소음측정 결과에서도 유사하게 나타났다.

## 5. 결론

본 논문에서는 지게차용 유압 습식 브레이크에서 발생하는 스컬소음 저감을 위해 설계단계에서 활용할 수 있는 실험장치를 개발하고, 윤활유, 마찰판 패드의 재질, 그루브 형상을 변경시켜 스컬소음을 측정하였다. 마찰판 패드의 재질을 변경하였을 경우에는 소음의 차이가 2dB 이하로 나타났으며, 그루브의 형상을 변경하였을 경우에는 소음의 차이가 10dB로 나타났으며, 윤활유를 변경하였을 경우에는 소음의 차이가 23dB로 나타났다. 이들 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 동일한 모터 회전속도, 윤활유와 그루브 형상을 사용한 조건에서 마찰판의 첨가제가 다른 시편의 스컬소음을 측정하였을 경우, 시편에 따라 1~3dB 정도의 소음레벨 차이가 나타났으나, 마찰판 패드의 재질에 따른 소음레벨 차이라고 판단하기에는 그 차이가 너무 적게 나타났다. 따라서 습식 유압 브레이크의 경우, 펄프 재질에 아라미드, 탄소섬유, 탄소섬유 & 탄소분말의 첨가제를 각각 적용한 마찰판 패드에서 스컬소음 저감 현상은 특별히 나타나지 않는다고 판단된다.

(2) 마찰판 패드의 그루브에 의한 스컬소음 특성을 파악하기 위한 실험에서, 그루브가 없는 패드는 그루브가 있는 패드를 적용하여 스컬소음을 측

정하였을 때 보다 훨씬 큰 스켈소음(100dB)이 발생하였으며, 격자 무늬 그루브 형상 마찰판 패드가 원주방향 그루브를 적용한 패드를 사용하였을 경우보다 스켈소음 저감이 5dB 큰 것으로 확인되었다.

(3) 동일한 모터의 회전속도, 재질과 그루브 형상이 동일하고 윤활유만 다른 조건에서 스켈소음을 측정하였을 때, 그루브가 없는 마찰판 패드(101dB)의 경우에는 윤활유의 점도에 따른 스켈소음 저감현상이 나타나지 않았으나, 원주방향의 그루브를 적용한 패드(93dB)의 경우에는 부분적으로 윤활유 점도값에 따른 스켈소음 저감현상이 나타났으며, 격자무늬 그루브를 적용한 패드(80dB)의 경우에는 윤활유 점도값의 영향이 명백하게 나타났다.

이상의 실험결과로부터, 습식 브레이크의 제동시 스켈소음은 윤활유 특성에 영향을 받는 유체윤활의 특성을 나타낸다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 습식 브레이크의 경우, 스켈소음은 패드 그루브의 면적이 증가하거나 윤활유의 점도값이 큰 경우에 스켈소음 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

## 후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

## References

1. Michael, R. A., 1992, "Key Elements of Wet Brake and Clutch Design", SAE 921660.
2. Michael A. A., 1986., "Vibration and Noise in Oil-Immersed Friction Couples-A Basic Discussion", SAE 861202
3. Friesen, T. V., 1983, "Chatter in Wet Brakes", SAE 831318.

4. Scott W., Suntiawattana P., 1995, "Effect of oil additives on the performance of a wet friction clutchmaterial", Wear, Vol. 181, pp. 850~855.
5. Severin D., Dorsch S., 2001, "Friction mechanism in industrial brakes", Wear, Vol. 249, pp. 771~779.
6. Stempien, Vincent M., 1981, "Wet Disk Brakes for Off-Highway Vehicles", SAE 811288.
7. Staph, Horace E., 1985, " Experimental Study of Wet-Brake Friction", SAE 851575.
8. Jang, H. K., Lee, S. H. and Kim, T. I., 1996, "Reduction of Wet Brake Squeal in Forklift", Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 98~103.
9. Han, J. H., Hwang, S. W., Kang, Y. G., Han, M. H., 2011, "The Study on the Characteristics of Groove Wandering and Noise Caused by the Design Parameter of Longitudinal Groove on the Tire's Pattern", KSMPE, Vol. 10, pp. 100~116.