자동차 제동시스템의 패드, 라이닝, 허브디스크에 관련된 트라이볼로지적인 특성에 관한 고장사례연구

이일권[†] · 김청균* · 조승현**

대림대학교 자동차공학과

*홍익대학교 트리보메카 · 에너지기술 연구센터

**동양미래대학 기계공학부

Failure Study for Tribological Characteristics Including with Pad, Lining and Hub disk in Vehicle Brake System

IL Kwon Lee[†], Chung Kyun Kim* and Seunghyun Cho**

Department of Automotive Engineering, Daelim University College

*Research Center of Tribology, Mechatronics and Energy Technology, Hongik University

**Department of Mechanical Engineering, Dongyang Mirae University

(Received May 1, 2011; Revised July 15, 2011; Accepted August 1, 2011)

Abstracts – The purpose of this paper is to study and analyze the improvement method for the failure examples including the vehicle brake system in actual field. It was verified that the indicator plate of pad wear scratched the brake disk because of wearing after displacement of non-identification parts pad. The caliper of other vehicle was installed with brake system verified the phenomenon produced groove in center point because of one side wear when the pad was not fully contacted with the rub disk by other action surface pressure and pad action condition. It verified that the crack phenomenon fatigue was produced by brake thermal deformation because of decreasing the thickness by grinding to modify the non-uniformed wear of brake disk. It verified that the friction sound was produced by the friction phenomenon because of non-uniformed contact of lining and an alien substance with inner of the drum and lining braking by crack phenomenon with brake drum surface.

Keywords – pad(패드), lining(라이닝), hub disk(허브 디스크), caliper cylinder(캘리퍼 실린더), wheel cylinder(휠 실린더), brake fluid(브레이크 액)

1. 서 론

일반적으로 제동장치는 차량이 운행중에 운전자가 차량의 속도를 줄이거나 차량을 정지시키기 위한 차량의 중요한 안전장치이다. 따라서 차량을 운행하는 중에 필요시 시스템의 제 역할을 하지 못한다면 대단히 위험한 상황이 발생하게 된다. 이러한 상황을 최소화하기 위해 보조 제동 시스템을 개발하여 제동력의 안정성을 향상시켰다[1]. 또한, 충돌을 하였을 때 탑승자의 부상을 경감

하기 위해 제동시스템에 대한 연구도 꾸준히 진행되고 있다[2]. 운전자가 브레이크 페달을 밟는 감을 예측하여 제동 성능을 최적화 시키는 시스템도 연구되고 있다[3].

제동시 운전자는 차량으로부터 제동충격을 최소화하고, 제동시 차량의 진동이 운전자와 승객들에게 미세하게 전달되어 승객들의 불쾌감을 느끼지 않아야 한다[4]. 또한, 제동할 때 발생하는 열은 휠 커브에 의해 영향을 받는다는 연구사례도 발표되었다[5]. 경주용 차량이나 고속 에너지 운전조건에서 운행하는 자동차의 경우에는 제동할 때 냉각효과를 극대화하여야 하는 데 이것은 제동시스템의 각 구성품과 재료에 의해 영향을 받는다고

[†]주저자 · 책임저자 : iklee@daelim.ac.kr

알려져 있다[6]. 또한, 운전자가 운전을 하다가 제동을 하였을 때 차체의 진동을 수반하며 소음이 발생하는 저더현상(Judder phenomenon)에 대한 연구도 꾸준히 진행되고 있다[7].

제동장치에 대한 설계과정은 타이어 특성, 디스크, 피스톤과 패드의 크기, 마찰계수, 브레이크 평형상태, 페달의 비율, 진공보조제동 부스터, 펌프, 라이닝과 캘리퍼 특성 등과 같은 제동시스템의 관련항목에 대하여 다양하게 연구되어져 왔다[8].

최근 마찰제가 석면재질에서 비석면 재질로 바뀌면서 마찰효율이 떨어지고 제동시 소음이 나는 현상도 발생하였다. 최근에는 마찰제의 개발로 인해 제동 소음은 많이 개선되었다[9].

일반적으로 자동차가 운행되는 도로에서 발생하는 제동 장치의 고장은 자동차의 내구성이 떨어질수록 많이 발생할 수 있다[10]. 운전자가 제동을 할 때 제동 시스템은 최적화가 되어 운전자의 제동감에 만족을 주어야 한다[11].

따라서, 이 논문은 자동차 제동장치에서 발생하는 마찰과 마멸에 관련된 현상의 고장사례를 조사하고, 분석하여 이에 대한 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2-1. 브레이크 장치의 메커니즘

운전자가 브레이크 페달을 밟게 되면 브레이크 페달에 가해지는 압력은 배력장치에 입력된다. 배력장치에서는 그 힘을 다시 다른 에너지에 의해 배력되어 브레이크 마스터 실린더에 전달한다. 브레이크 마스터 실린더에서는 그 힘을 액압으로 변환하여 브레이크 파이프, 조인트, 브레이크 호스를 거쳐 휠 브레이크에 전달한다. 휠 브레이크에서는 액압에 의해 디스크 패드 또

Fig. 1. Mechanism of brake system.

는 브레이크 슈를 디스크나 드럼에 밀착시켜 패드와 마찰력을 발생시켜 제동이 이루어지면서 제동 감속도가 발생한다. Fig. 1은 브레이크 시스템의 메커니즘 사례를 보여주는 것이다.

2-2. 브레이크 입력 및 배력 시스템

브레이크 입력 시스템은 브레이크 페달 등의 입력 기구에 가해지는 조작력을 액압으로 변환하는 장치로서, 브레이크 액을 저장하는 리저버 탱크와 액압을 발생시키는 실린더 부분으로 구성되어 있다. 또한, 브레이크 배력 시스템은 동력원으로서 엔진의 흡기 부압 또는 진공 펌프에 의한 부압을 사용하는 진공방식이 있고, 유압 배력 브레이크는 유압 펌프에 의해 보내어지는 작동유를 유압 부스터에 의해 압력을 증가시켜 마스터 실린더를 거쳐 각 휠 실린더를 작동시키는 유압방식이 있다[12].

2-3. 브레이크 출력 시스템

브레이크의 출력 시스템은 차륜과 일체로 회전하는 디스크의 양면에 패드를 압착시켜 제동력을 발생시키는 디스크 방식과 휠 실린더 입력부로부터의 힘에 의해 드럼 내에서 확장하여 제동력을 발생하는 브레이크 슈 및 슈를 지지하는 앵커부로 구성되어 있는 드럼 방식이 있다.

2-4. 브레이크 액(brake liquid) 및 마찰제

브레이크 액은 브레이크 페달의 압력을 정확하게 브레이크에 전달하기 위한 매체로 자동차가 사용되고 있는 모든 환경 하에서 작동하고, 만족스런 압력 전달을 하지 않으면 안 되는 중요한 유체이다. 브레이크 액은 정상적인 조건하에서는 급격히 소모되지 않는다. 그러나 브레이크 패드와 라이닝이 마모되고 주행거리가 늘어남에 따라 줄어든다. 또한, 자동차용 마찰제는 적당한 마찰 계수, 제동할 때 접촉 압력, 온도, 물, 습도 등에 의한 마찰 계수의 변화가 적어야 한다. 또한, 사용상의 내구성이 우수하고 기계적강도와 열에 의한 변화가 작아야 한다. 제동할 때는 디스크와 드럼에 접촉할 때 제동효율이 높아야 하며, 브레이크 소음과 저더(judder)와 같은 마찰 진동을 잘 일으키지 말아야 한다.

3. 브레이크의 트라이볼로지 사례

3-1. 브레이크 패드의 과다마멸 사례

3-1-1. 현 상

운전자가 자동차를 운행하던 중 제동을 할 때 프런트

우측 휠 부위에서 쇠를 긁는 듯한 소음이 발생하였다.

3-1-2. 분 석

이 자동차는 시운전을 하여 확인한 결과 제동을 할 때 프런트 우측 휠에서 “찍~찍” 긁는 듯한 소음이 발생하였으며 이와 동시에 자동차가 밀리는 현상을 확인하였다. 이 자동차는 운전자에게 확인한 결과 패드를 교환한 다음 4,500 km 정도를 주행하였으나, 브레이크 패드가 거의 마멸되어 사용할 수 없을 정도였다. 일반적으로 브레이크 패드의 두께는 자동차의 차종마다 차이는 있으나 9~11 mm 정도이다. 그러나 이 패드가 자동차를 운행하다 보면 제동할 때 마찰력에 의해 점차적으로 마멸되어 자동차를 제동할 때 브레이크 패드가 약 2 mm 정도 남아있을 때부터 패드에 조립되어 있는 철판의 인디케이터가 바뀌 허브 디스크의 금속부와 접촉되어 쇠를 긁는 소음이 발생된다. 이러한 소음이 발생되면 브레이크 패드가 거의 마멸된 것으로 판단할 수 있다.

이 자동차의 고장 사례는 패드의 수명이 운전자의 운전습관에 따라 차이는 있다고 할 수 있으나, 패드를 교환한 다음 4,500 km를 주행한 것으로 볼 때 패드 이외의 브레이크 라인이나 캘리퍼의 유압 시스템을 점검하였으나 고장현상이 발생되지 않은 것을 확인하였다. 그러나 브레이크 패드의 부품을 상세하게 확인한 결과 품질이 인정되지 않은 재생 브레이크 패드로 확인되었다. 따라서, 이 자동차의 경우에는 품질이 인정되지 않은 불량 브레이크 패드를 교환한 결과 브레이크 패드의 재질불량에 의해 패드가 심하게 마멸되어 브레이크 패드 상태의 마멸을 운전자에게 알려주는 인디케이터가 허브 디스크의 마찰면과 접촉되어 소음이 발생된 것을 확인되었다.

3-1-3. 고 찰

일반적으로 브레이크 패드는 패드의 재질과 브레이크

크의 작동 습관에 따라 마멸률이 다르게 나타날 수 있다[13]. 또한, 자동변속기와 수동변속기 차량, 제동습관, 풋 브레이크와 엔진브레이크의 작동 횟수에 따라 다를 수도 있다. 운전자중 일부는 패드의 내구성을 높인다고 엔진 브레이크를 이용한 제동을 빈번하게 사용하는 경우도 있다. 그러나 이러한 운전방법도 좋은 운전방법이라고 할 수는 없다. 품질이 인증된 브레이크 패드의 선정과 풋 브레이크와 엔진 브레이크를 적당하게 조화하여 운전하는 것이 좋은 방법이라 할 수 있다[14-16].

3-2. 브레이크 디스크의 불균일 접촉으로 인한 마멸 사례

3-2-1. 현상

운전자가 자동차를 운행하던 중 80 km/h 정도의 속도영역에서 제동을 하였을 때 차체의 진동과 함께 스티어링 핸들이 떨리는 현상이 발생하였다.

3-2-2. 분석

이 자동차는 28,120 km를 운행한 차량으로 시운전을 한 결과 운행중에 운전자가 제동을 하기 위해 브레이크를 밟았을 때 80 km/h의 속도에서 자동차의 차체와 스티어링 핸들이 떨리는 현상을 확인하였다. 특히, 이러한 현상은 속도가 80 km/h 이상에서는 더욱 심하게 발생되었다. 브레이크는 주행 중 운전자가 제동을 하기 위해 브레이크를 밟았을 때 브레이크 압력이 모든 바퀴에 동일하게 작동해서 패드는 회전중인 허브 디스크의 접촉면에 완착한 후 회전하는 허브 디스크를 제동하도록 설계되어 있다. 그러나 브레이크 패드나 허브 디스크 부품중 하나가 불완전한 마멸에 의해 완전한 접촉이 되지 못할 경우 제동 중에 차량은 진동이나 소음이 발생할 수 있다. 이러한 현상이 심한 경우에는 주행중 제동을 할 때 차체가 흔들림, 또한 핸들에 진

Fig. 2. A much wear example of brake pad.

Fig. 3. Wear example of hub disk and pad.

동이 전달되는 현상이 발생할 수 있다.

이 고장사례의 경우는 브레이크 시스템을 분해하여 확인하여 본 결과 패드를 움직여 허브 디스크에 밀착시키는 역할을 하는 캘리퍼가 해당차종의 것이 아니고 다른 자동차의 캘리퍼가 장착된 것을 확인하였다. 이러한 경우 원래 차량의 경우 제동시 설계된 유압에 의해 캘리퍼의 피스톤이 패드에 유압을 작동시켜 일정한 디스크 면과 마찰에 의해 제동을 하여야 하나, 다른 차종의 캘리퍼가 장착되어 제동을 할 때 캘리퍼 피스톤에 작용하는 압력이 규정압력과 맞지 않아 디스크 패드를 브레이크 디스크 허브의 면에 완전하게 접촉하지 못함으로써 디스크 허브에 계단형의 마멸이 발생된 것을 확인하였다. Fig. 3은 패드와 허브 디스크의 편마모 현상에 의해 허브 디스크의 가장자리만 마멸된 사례를 보여주는 것이다.

3-2-3. 고 찰

자동차의 부품은 차종마다 특성에 따라 약간씩 차이가 난다. 그러나 자동차를 생산할 때나 자동차의 고장 현상을 수리하기 위해 부품을 분해한 다음 부품을 교환해야 할 때 차이나는 부분을 확인하지 못하고 다른 자동차의 동일 시스템 부품으로 교환하는 사례가 발생될 수가 있다. 따라서, 작업자는 철저하게 확인하여 이러한 오작업이 없도록 꼼꼼하게 확인하여야 할 것으로 판단된다.

3.3. 브레이크 디스크의 파손사례

3-3-1. 현상

운전자가 자동차를 운전하던 중 제동을 하기 위해 브레이크 페달을 밟았을 때 프런트 우측 바퀴측에서 “땡”하는 소리와 함께 자동차의 차체가 흔들리는 충격이 발생하였다.

3-3-2. 분석

이 자동차는 185,000 km를 주행한 자동차로 바퀴를 분해한 다음 브레이크 시스템을 점검한 결과 허브 디스크 부분의 균열이 발생된 것을 확인하였다. 일반적으로 자동차는 주행중 제동을 할 때 허브 디스크는 매우 높은 열을 발생한다. 디스크에서 발생하는 이러한 열은 브레이크 디스크에 영향을 주어 디스크를 변형시키는 것으로 알려져 있다[17]. 자동차 디스크는 주행중 제동할 때 발생하는 열을 효과적으로 제거하지 못하면 디스크는 변형이 될 수 있다.

Fig. 4. Fracture of hub disk by fatigue.

이 고장사례는 운전자가 자동차를 사용하던 중 142,500 km에서 디스크 면의 불균일한 마멸을 수정하기 위해 허브 디스크를 연삭하였던 자동차로 허브 디스크의 두께가 얇아져 제동할 때 제동열에 의한 열변형에 의해 균열 현상이 누적되어 허브 디스크가 파손된 것을 확인하였다. Fig. 4는 계속적인 열에 의한 변형으로 인해 허브 디스크 내의 피로 축적으로 인해 허브 디스크가 균열에 의해 파손된 사례를 보여주는 것이다.

3-3-3. 고찰

자동차가 운행 중 제동할 때 패드와의 마찰력으로 인해 허브 디스크는 열을 받는다. 이러한 열을 흡수하고 냉각작용을 제대로 하여야 하고 디스크는 열에 의한 변형을 적게 받아야 한다. 만약, 그렇지 못하면 열에 의한 변형으로 인해 디스크는 변형되어 제동시 진동이 발생될 수 있다. 이러한 열 변형을 최소화할 수 있도록 디스크는 최적 상태로 설계될 수 있도록 고려되어야 한다. 또한 표면의 거칠기도 적정상태에서 가공되어야 허브 디스크의 내구성 및 제동효율이 최적화될 수 있다.

3.4. 리어드럼과 라이닝의 불균일 마멸사례

3-4-1. 현상

운전자가 운전중 제동을 할 때 차체의 진동 및 소음이 발생되는 현상이 발생되었다.

3-4-2. 분석

이 자동차는 67,000 km를 주행한 자동차로 시운전을 하여 점검한 결과 제동을 할 때 자동차의 차체가 흔들리면서 브레이크 드럼을 긁는 소음이 발생하는 것

Fig. 5. Non-even wear of drum and lining.

을 확인하였다. 일반적으로 자동차가 운행 중 제동을 할 때 자동차의 뒷바퀴에는 라이닝이라는 마찰제에 의해 회전하는 드럼을 압착하여 마찰시킨다. 이 마찰력에 의해 자동차의 속도를 감속시키거나 정지시키는 역할을 한다. 뒷바퀴에 장착되는 제동시스템은 앞바퀴에 사용하는 패드와는 달리 드럼의 내경을 라이닝이라는 마찰제를 이용하여 접촉함으로써 제동하는 방식이다.

이러한 내부 확장식의 드럼브레이크는 가격이 저렴하고 디스크 브레이크에 비해 구조가 단순하다는 것이 장점이지만 다소 제동력이 떨어지고 물이 유입될 경우 제동력이 심하게 떨어진다는 것이 단점이다. 또한 결정적으로 잦은 제동을 할 경우 과열로 인해 브레이크를 잡아도 밀리는 페이드(fade)현상이 심하게 나타날 수 있다.

이 고장사례는 자동차의 뒷바퀴 브레이크 시스템을 분해하여 점검하였을 때 라이닝이 드럼과 접촉하여 제동을 할 때 드럼내부의 균열이 생성되어 불균일한 마멸이 발생된 것을 확인하였다. 이 현상으로 인해 제동을 할 때 라이닝의 불균일한 접촉과 드럼과 라이닝 내부의 이물질에 의한 마찰 현상으로 인해 마찰음이 발생된 것을 확인하였다.

Fig. 5는 드럼과 라이닝의 불균일한 마멸에 의해 제동을 할 때 차량의 떨림 현상이 발생된 사례를 보여주는 것이다.

3-4-3. 고찰

브레이크 페달을 밟았을 때 제동 초기 또는 브레이크가 작동할 때 소리가 나는 상태로 제동중에 발생하는 브레이크 울림은 라이닝이 강한 힘으로 드럼에 밀착되면 마찰에너지에 의하여 라이닝에 전달되어 이것을 미세하게 진동시켜 소리가 날 수 있다. 이것은 라이닝의 마모로 인한 접촉불량, 라이닝의 표면의 변형,

브레이크 드럼의 손상이나 이물질 부착, 각 접동부의 윤활부족으로 이와 같은 소음이 발생될 수 있다. 따라서, 뒷바퀴의 브레이크 시스템을 분해한 다음 이물질 제거, 접동부에 그리스를 도포, 브레이크 슈와 리턴 스프링의 쇠손 및 절손상태 점검, 휠 실린더 피스톤의 고착 및 녹의 제거 등을 한 다음 자동차를 철저히 관리하여 이러한 고장현상이 발생하지 않도록 하여야 한다.

4. 결 론

1) 품질이 인증되지 않은 불량 패드를 교환한 결과 패드가 과다 마멸되어 인디케이터 표시 철편이 디스크를 긁는 현상을 확인하였다.

2) 해당 자동차의 캘리퍼가 아닌 다른 자동차의 캘리퍼가 장착됨으로써 패드를 디스크면에 밀착시킬 때 완전하게 디스크 면에 접촉하지 않고 편마모가 발생되어 디스크의 중앙부에 흠을 발생시키는 현상을 확인하였다.

3) 허브 디스크의 불균일 마멸을 수정하고자 디스크를 연삭한 결과 두께가 얇아져 제동열에 의한 열변형에 의해 균열 현상이 누적되어 허브 디스크가 파손된 것을 확인하였다.

4) 드럼면에 균열 현상이 발생하여, 제동을 할 때 라이닝의 불균일한 접촉 및 드럼과 라이닝 내부의 이물질에 의한 마찰 현상으로 인해 마찰음이 발생된 것을 확인하였다.

참고문헌

1. Hiroaki Yoshida, Tatsuo Sugitani, and Massashi Ohta et al., "Development of the Brake Assist System," SAE paper 980601.
2. Yoji Seto, Takayuki Watanabe, and Teruo Kuga et al., "Research on a Braking System for Reducing Collision Speed," SAE paper 2003-01-0251.
3. Andrew J. Day, Hon Ping Ho, Khalid Hussain, and Allan Johnstone, "Brake System Simulation to Predict Brake Pedal Feel in a Passenger," SAE paper 2009-01-3043.
4. Steffen Eppler, Thomas Klenk, and Jochen Wiedman, "Thermal Simulation Within the Brake System Design process," SAE paper 2002-01-2587.
5. Leandro Ratamero and Ricardo L. Ferreira, "Wheel Cover Affected by the Heat Generated in the Brake System," SAE paper 2010-36-0368.
6. Robert L. Nisonger, Chih-hung Yen, and David

- Antanaitis, "High Temperature Brake Cooling Characterization for Brake High Energy Driving Condition," SAE paper 2011-11-0566.
7. Ralf Meyer, "Brake Judder-Analysis of the Excitation and Transmission Mechanism Brake, Chassis and Steering System," SAE paper 2005-01-3916.
 8. Leonardo Pascali, Claudio Ricci, Guglielmo Caviasso, and Luigi Petruccelli, "Customer Orientation - A Further Target in Brake System Design," SAE paper 2003-01-0599.
 9. Chung Kyun Kim, Nickolai K Myshkin, Mark I, Petrokovests, "Introduction to Tribology," Cheong Moon Gak, 1997.
 10. Il Kwon Lee, et al., "Automotive Failure Diagnosis," Sun Hak, 2002.
 11. Jovan Todorovic, Cedimir Duboka, and Zivan Arsenic, "Braking System Quality for Customer Satisfaction," SAE paper 950790.
 12. Korea society automotive engineering, "Handbooks of automotive technology," 1996.
 13. Chungkyun Kim, Seunghyun Cho, and Il Kwon Lee et al., "Experimental Study on the Tribological Characteristics of Disk Brake," *Spring conference proceeding of KSAE*, Vol. 2, pp. 911-916, 2004.
 14. Maintenance manual of Hyundai Motors.
 15. Maintenance manual of Kia Motors.
 16. Maintenance manual of GM Daewoo Motor.
 17. Il Kwon Lee and Chung Kyun Kim, "Finite Element Analysis on the Thermoelastic Wear Behaviors for a High-Speed Disk Brake," *Journal of the KSTLE*, Vol. 15, No. 4, pp. 291-296, 1999.